

# ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

НАУЧНЫЙ ЖУРНАЛ

1(56)/2012

В 2011 году исполнилось 50 лет с момента первого полета Человека в космос и, по существу, с начала отсчета практической пилотируемой космонавтики.

Многое изменилось за истекшие пять десятилетий. Бурный прогресс вычислительной техники и информационных технологий существенно повлиял на совершенствование технологий сбора, передачи и обработки данных, развитие методов анализа и синтеза сложных динамических систем, разработку новых принципов построения интеллектуальных информационно-управляющих комплексов. Ярким примером здесь могут служить реализованные проекты по созданию новых систем глобальной навигации, космические системы и сети передачи информации, космические системы дистанционного зондирования Земли, новые геоинформационные системы и активно развивающиеся международные аэрокосмические системы глобального мониторинга.

Уровнем космических технологий во многом определяется общий уровень развития и общий научный потенциал страны. Космические технологии на протяжении уже многих лет относятся к приоритетным направлениям науки и техники Российской Федерации. Конечно, вполне очевидно, что получение космической информации связано с этапами разработки и создания, испытаний и запуска, управления и эксплуатации космических аппаратов. Эти процессы не могут протекать стихийно, без выполнения большого объема научных исследований в разнообразных фундаментальных и прикладных направлениях.

Решению подобных задач служит создаваемая ныне Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга МАКСМ.

Характерной особенностью представляемого выпуска журнала «Информационно-управляющие системы» является то, что в нем публикуется несколько статей, связанных с реализацией данного проекта. Авторы этих статей – ведущие специалисты в области создания космической техники, разработки космических систем дистанционного зондирования Земли, систем аэрокосмического мониторинга и обработки аэрокосмической информации. Результаты представленных работ были обсуждены и рекомендованы к опубликованию в журнале «Информационно-управляющие системы» оргкомитетом Международного симпозиума «Космос и глобальная безопасность человечества» (г. Санкт-Петербург, июнь 2011 г.).

*Член редакционной коллегии  
доктор технических наук, профессор  
В. И. Хименко*

# ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

**Учредитель**

ОАО «Издательство «Политехника»»

**Главный редактор**

М. Б. Сергеев,  
д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

**Зам. главного редактора**

Г. Ф. Мощенко

**Ответственный секретарь**

О. В. Муравцова

**Редакционный совет:**

**Председатель** А. А. Оводенко,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. Н. Васильев,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. Н. Козлов,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Б. Мейер,

д-р техн. наук, проф., Цюрих, Швейцария

Ю. Ф. Подоплекин,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. В. Симаков,

д-р техн. наук, проф., Москва, РФ

Л. Фортуна,

д-р наук, проф., Катания, Италия

А. Л. Фрадков,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Л. И. Чубраева,

чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Ю. И. Шокин,

акад. РАН, д-р физ.-мат. наук, проф., Новосибирск, РФ

Р. М. Юсупов,

чл.-корр. РАН, д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

**Редакционная коллегия:**

В. Г. Анисимов,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

Б. П. Безручко,

д-р физ.-мат. наук, проф., Саратов, РФ

Н. Блаунштейн,

д-р физ.-мат. наук, проф., Беэр-Шева, Израиль

А. Н. Дудин,

д-р физ.-мат. наук, проф., Минск, Беларусь

А. И. Зейфман,

д-р физ.-мат. наук, проф., Вологда, РФ

Е. А. Крук,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. Ф. Мелехин,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

А. В. Смирнов,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

В. И. Хищенко,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

А. А. Шальто,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

А. П. Шепета,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

З. М. Юлдашев,

д-р техн. наук, проф., С.-Петербург, РФ

**Редактор:** А. Г. Ларионова

**Корректор:** Т. В. Звертановская

**Дизайн:** С. В. Барашкова, М. Л. Черненко

**Компьютерная верстка:** С. В. Барашкова

**Адрес редакции:** 190000, Санкт-Петербург,

Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ

Тел.: (812) 494-70-02

E-mail: 80x@mail.ru

Сайт: www.i-us.ru

Журнал зарегистрирован в Министерстве РФ по делам печати,

телерадиовещания и средств массовых коммуникаций.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-12412 от 19 апреля 2002 г.

Журнал входит в «Перечень ведущих рецензируемых научных журналов

и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные

результаты диссертации на соискание ученой степени доктора

и кандидата наук».

Журнал распространяется по подписке. Подписку можно оформить через

редакцию, а также в любом отделении связи по каталогу «Роспечать»:

№ 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс.

© Коллектив авторов, 2011

**ОБРАБОТКА ИНФОРМАЦИИ И УПРАВЛЕНИЕ**

**Тимофеев Б. С., Мотыко А. А.** Измерение скоростей автомобилей путем мониторинга на базе единой интеллектуальной платформы  
**Арановский С. В., Ловлин С. Ю., Александрова С. А.** Метод идентификации электромеханической системы при переменном моменте трения 2

**ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ**

**Зеленцов В. А., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Хищенко В. И.** Интеграция информационно-телекоммуникационных ресурсов глобальных систем мониторинга на базе единой интеллектуальной платформы 12  
**Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В.** Принципы управления космическими аппаратами мониторинга Земли в аномальных ситуациях 16  
**Курбанов В. Г., Городецкий А. Е.** Логический метод для управления электроприводами контррефлектора 23  
**Погонин В. А., Оневский П. М., Третьяков А. А., Иванов А. М.** Прогнозирующие алгоритмы управления динамическими объектами 27

**МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ И ПРОЦЕССОВ**

**Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Царев А. В., Степанов М. Е.** Модели для решения сетечентрических задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов 33  
**Каргин В. А., Николаев Д. А., Россиев А. Ю., Бородько Д. Н.** Модель измерительной информации в системах мониторинга космических средств 39  
**Макаренко С. И., Татарков М. А.** Моделирование обслуживания нестационарного информационного потока системой связи со случайным множественным доступом 44  
**Бабакина Н. А., Колесников М. П.** Построение динамических геометрических моделей окружающего пространства для мобильных автономных систем 51

**ПРОГРАММНЫЕ И АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА**

**Андреев Н. Д., Новиков Ф. А.** Инкрементальный предметно-ориентированный процесс разработки прикладного программного обеспечения 60

**КОДИРОВАНИЕ И ПЕРЕДАЧА ИНФОРМАЦИИ**

**Осипов Д. С., Грошев Ф. В.** О скорости передачи данных в одной системе множественного доступа 67  
**Крюков Д. А.** Идентификация смарт-карт на основе односторонних преобразований 76

**ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ И ОБРАЗОВАНИЕ**

**Кузнецов И. Б.** Видеоокулографические методы исследования зрительной деятельности пилота 79

**УПРАВЛЕНИЕ В МЕДИЦИНЕ И БИОЛОГИИ**

**Рожков Н. Н.** Оценка качества медицинских услуг на основе статистических критериев соблюдения норм медико-экономических стандартов 84

**УПРАВЛЕНИЕ В СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ**

**Орлова О. Б.** Организация электронного документооборота в портовых экономических зонах 88

**КРАТКИЕ СООБЩЕНИЯ**

**Балонин Ю. Н., Востриков А. А., Сергеев М. Б.** О прикладных аспектах применения М-матриц 92

**ХРОНИКА И ИНФОРМАЦИЯ**

**Проект создания Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга: современное состояние и перспективы реализации** 94

**СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ**

97

**АННОТАЦИИ**

103

ЛР № 010292 от 18.08.98.  
Сдано в набор 23.12.11. Подписано в печать 17.02.12. Формат 60x84/8.  
Бумага офсетная. Гарнитура SchoolBookC. Печать офсетная.  
Усл. печ. л. 12,6. Уч.-изд. л. 15,8. Тираж 1000 экз. Заказ 71.  
Оригинал-макет изготовлен в редакционно-издательском центре ГУАП.  
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.  
Отпечатано с готовых диапозитивов в редакционно-издательском центре ГУАП.  
190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., 67.

УДК 004.932.2

## ИЗМЕРЕНИЕ СКОРОСТЕЙ АВТОМОБИЛЕЙ ПУТЕМ АНАЛИЗА ВИДЕОПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

**Б. С. Тимофеев,**

доктор техн. наук, профессор

**А. А. Мотыко,**

ассистент, младший научный сотрудник

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Проведен краткий обзор дистанционных измерителей скоростей автомобилей, выявлены основные недостатки современных решений. Предложен новый телевизионный метод измерения скорости движущихся объектов на основе анализа видеоряда. Даны результаты экспериментальных исследований.

**Ключевые слова** — телевизионный измеритель скорости, цифровая обработка изображений, система транспортного мониторинга.

### Введение

В настоящее время активно развивают системы транспортного мониторинга, которые служат для контроля магистралей, сбора параметров автомобильного потока (состава, средней скорости, плотности потока и т. п.), фиксации фактов нарушения скоростного режима и других правил дорожного движения [1]. Самыми распространенными устройствами для измерения скоростей автомобилей являются локационные радары и лазерные измерители. Преимуществами данных устройств принято считать высокую точность определения скорости (ошибка не более 2 км/ч) и дальность действия (300–500 м). Однако нужно иметь в виду, что радары и лазерные измерители обеспечивают декларируемые параметры, если транспортное средство (ТС) движется точно по направлению на них. При установке приборов над магистралью или сбоку от нее необходимо учитывать их угловые положения.

Видеокамеры являются неотъемлемой частью приборов мониторинга транспортных потоков, так как без фоторегистрации результаты измерения скорости, каким бы методом они ни были получены, не являются легитимными. Недостатком комбинированных приборов (фоторегистратор плюс радиолокационный измеритель скорости) является отсутствие жесткой связи между результатами измерения и ТС, которое фотографируют видеокамерой. Излучение СВЧ-энергии легко обнаруживается антирадарам.

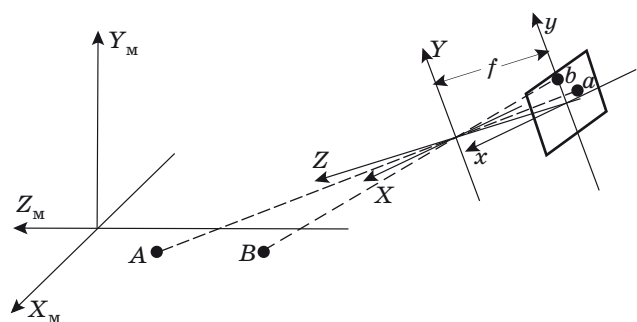
Для повышения достоверности измерений формируют плоскую диаграмму направленности радара шириной  $3,6^\circ$  [2]. Узкие диаграммы направленности радаров вынуждают устанавливать приборы индивидуально для каждой полосы движения и проводить измерения в локальных зонах на магистрали на расстоянии порядка 50–60 м. Это приводит к повышению сложности и общей стоимости стационарного поста. Сказанное справедливо и для лазерных измерителей скорости.

Включение в состав аппаратуры видеокамер не дает возможности реализовать важные преимущества радаров — независимость от погодных условий и высокую дальность действия, так как качественную фотографию ТС, пригодную для его идентификации и определения номерного знака, можно получить в условиях достаточной освещенности на расстоянии 50–100 м.

### Телевизионные измерители скорости

Применение телевизионных методов позволяет исключить дополнительную аппаратуру, одновременно измерять скорости всех автомобилей в поле зрения камеры и обеспечить однозначную связь между результатом измерения и конкретным объектом.

Автомобили двигаются в мировой координатной системе, ориентированной так, что ось  $Z_M$  расположена вдоль дорожной полосы, ось  $X_M$  ей ортогональна, а координата  $Y_M$  отображает высоту (рис. 1). Скорость ТС — это вектор  $\mathbf{v} = (\partial X_M / \partial t,$



■ **Рис. 1.** Мировая, объектная и экранная системы координат

$\partial Y_M/\partial t, \partial Z_M/\partial t)^T$ . Поперечная ( $\partial X_M/\partial t$ ) и вертикальная ( $\partial Y_M/\partial t$ ) составляющие скорости обычно малы и не представляют особого интереса. Необходимо измерить скорость ( $\partial Z_M/\partial t$ ). В объектной системе координат камеры  $\{X, Y, Z\}$  с центром в точке фокуса (см. рис. 1) поступательное движение автомобиля вдоль дорожной полосы приводит к изменению всех трех координат. За время сопровождения  $\Delta t$  объект перемещается в пространстве из точки  $A$  в точку  $B$ . Тогда скорость может быть рассчитана как евклидово расстояние между векторами  $(X_A, Y_A, Z_A)$  и  $(X_B, Y_B, Z_B)$ , деленное на время  $\Delta t$ :

$$v = \frac{\sqrt{(X_A - X_B)^2 + (Y_A - Y_B)^2 + (Z_A - Z_B)^2}}{\Delta t} = \sqrt{v_X^2 + v_Y^2 + v_Z^2}. \quad (1)$$

Современные видеокамеры преобразуют 3D-пространство в 2D и дают изображение в экранной системе координат на плоскости  $\{x, y\}$  (см. рис. 1). Если известны координаты объекта  $(X, Y, Z)$ , то при центральной проекции и расположении центра проекции (точки фокуса) между объектом и плоскостью матрицы ПЗС экранные координаты

$$x = \frac{fX}{f - Z}; \quad y = \frac{fY}{f - Z}.$$

По известным координатам в экранной плоскости  $\{x, y\}$  и координате  $Z$ , которая отражает расстояние до объекта  $L$  и должна быть получена косвенным методом, рассчитывают значения

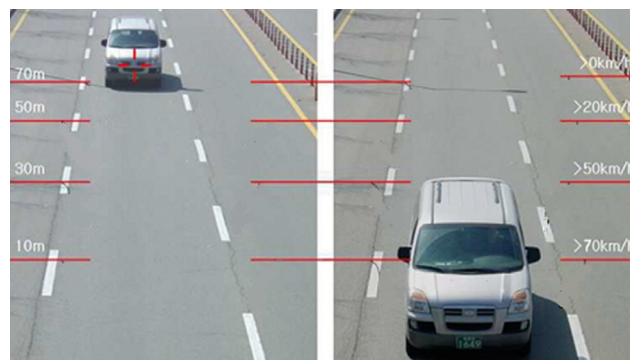
$$X = \frac{x(Z - f)}{f}; \quad Y = \frac{y(Z - f)}{f}.$$

С помощью краски на дороге отмечают контрольную зону с фиксированными линейными размерами. Этот участок автоматически опреде-

ляют на видеокадре, формируют зону в плоскости растра с установленными размерами и осуществляют привязку координат растра камеры к реальным координатам на дороге. Скорость определяют с помощью измерения времени (в кадрах), за которое автомобиль пересек размеченную зону [3]. Вариант данного подхода [4] — нанесение серии линий разметки в плоскости телевизионного кадра (рис. 2). Определяют расстояние, пройденное автомобилем за фиксированное время с момента начала сопровождения. Необходимость нанесения маркеров на дорожное полотно и привязки камеры к местности усложняет процесс установки системы. На момент фиксации пересечения автомобилем границы контрольной зоны влияет высота ТС. Высокий грузовик покинет зону контроля раньше, чем это зафиксирует камера, в связи с тем, что некоторое время оптическая ось камеры будет пересекать верхнюю часть автомобиля, который уже выехал за пределы контрольного участка. Динамические тени и блики от фар автомобилей также негативно влияют на точность измерений.

Другими причинами погрешностей являются ошибки дискретизации во времени и пространстве. Современные видеокамеры обычно работают с частотой кадров 25 Гц. При фиксации момента пересечения линии разметки возможна ошибка до 40 мс. Вследствие пространственной дискретизации телевизионного изображения момент пересечения линии разметки пикселя можно зафиксировать с точностью  $\pm 1$  пиксель.

При установке камеры над магистралью из последовательности видеокадров, помимо информации о пройденном расстоянии, можно извлечь данные об увеличении размера ТС. Для вычисления составляющей скорости  $v_Z$  ТС в направлении на камеру необходимо зафиксировать начало дистанции сопровождения  $L_1$  и получить данные об относительном увеличении размера изображения автомобиля  $k$  за время  $\Delta t$ . Автомобиль, имеющий горизонтальный размер  $d_0$ , приближается к камере. На расстоянии до камеры  $L_1$  горизон-



■ **Рис. 2.** Разметка растра

тальный размер его проекции на матрице ПЗС —  $d_1$ , на расстоянии  $L_2 - d_2$ . Очевидны следующие соотношения:

$$k = \frac{d_2}{d_1} = \frac{L_1}{L_2} = \frac{L_1}{L_1 - \Delta L}; L_1 \approx \frac{d_0}{d_1} f, \quad (2)$$

где  $f$  — фокусное расстояние объектива;  $k$  — коэффициент увеличения размера проекции автомобиля;  $\Delta L$  — преодоленное автомобилем со скоростью  $v_Z$  [см. выражение (1)] расстояние за некоторое время  $\Delta t$ :  $\Delta L = v_Z \Delta t$ .

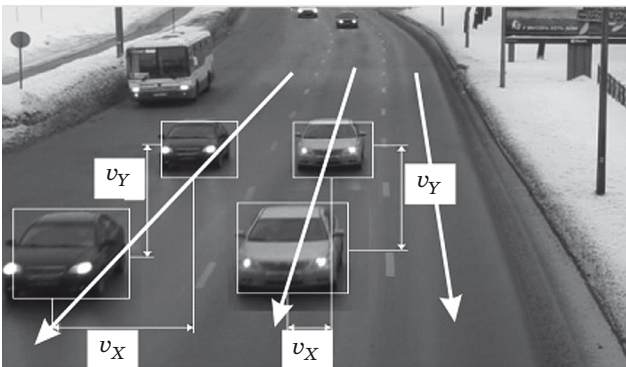
Тогда

$$k = \frac{1}{1 - \frac{v_Z \Delta t}{L_1}}; v_Z = \frac{(k-1)L_1}{\Delta t k}.$$

Сбор данных об увеличении размера проекции и траектории движения ТС начинают с момента пересечения им линии визирования, установленной в экранной плоскости. Началу дистанции сопровождения  $L_1$  соответствует расстояние от камеры до проекции линии визирования на местности в объектных координатах. Значение  $L_1$  находят по выражению (2), зная фокусное расстояние объектива  $f$ , фактические  $d_0$  и экранные  $d_1$  размеры автомобиля. Экранные размеры изображения автомобиля оценивают в пикселях. Для расчетов требуется знать геометрические размеры пикселя  $h$  («цену пикселя»). При размещении камеры над многополосной магистралью изображения автомобилей, движущихся по соседним полосам, имеют различные траектории, с характерными для каждой полосы горизонтальными  $v_X$  и вертикальными  $v_Y$  составляющими скорости в объектной системе координат (см. рис. 1). Телевизионные изображения (рис. 3) содержат всю необходимую для этого информацию [5].

Составляющие скорости

$$v_X = \frac{\Delta x_p (L_2 - f) h}{f \Delta t} = \frac{\Delta x_p (L_1 / k - f) h}{f \Delta t};$$



■ Рис. 3. Направления движения по полосам и составляющие скорости перемещения изображений

$$v_Y = \frac{\Delta y_p (L_1 / k - f) h}{f \Delta t}; v_Z = \frac{(k-1)L_1}{\Delta t k}, \quad (3)$$

где  $\Delta x_p, \Delta y_p$  — смещения экранных координат объекта в пикселях за время сопровождения  $\Delta t$ ;  $k$  — коэффициент увеличения размера объекта в конце сопровождения;  $L_1$  — дистанция начала сопровождения;  $h$  — цена пикселя;  $L_2$  — дистанция окончания сопровождения; скорость автомобиля  $v$  находят по выражению (1).

Значение  $L_1$  можно найти другим способом. В ходе эксперимента оценивают изменения размера проекции автомобиля в каждом кадре телевизионной развертки  $\Delta t_0 N_k$  раз, где  $N_k$  — частота кадров. По экспериментальным точкам, подверженным ошибкам измерения, методом наименьших квадратов строят усредненную функциональную зависимость  $k(t)$  (рис. 4). Далее находят сглаженное значение  $k_0$  при фиксированном  $\Delta t_0$  (или наоборот).

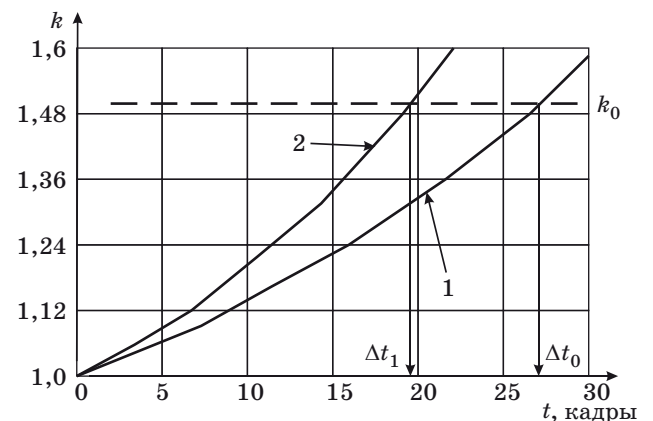
Тогда из выражений (3) следует

$$L_1 = \sqrt{\frac{(v_0 \Delta t_0)^2}{(1 - 1/k_0)^2 + \left(\frac{\Delta y_p h}{f}\right)^2 + \left(\frac{\Delta x_p h}{f}\right)^2}}, \quad (4)$$

так как  $L_1/k \gg f$ .

Второй способ предпочтительнее, так как дает более точные результаты за счет использования накопления результатов измерений за время сопровождения  $\Delta t_0$ . В ходе эксплуатации системы значение  $L_1$  вновь рассчитывать не нужно, важно лишь поддерживать положение линии визирования и начинать сопровождение ТС с одной и той же позиции.

На точность измерения скорости влияют несколько факторов.



■ Рис. 4. Зависимости коэффициента увеличения размера  $k$  от времени  $t$  при различных скоростях объекта: 1 — 60 км/ч (опорная кривая); 2 — 80 км/ч

1. Даже при весьма тщательной настройке системы в ходе эксплуатации сопровождение может быть начато с ошибкой  $\Delta L$  относительно установленного значения  $L_1$ , которая приводит к пропорциональной ошибке в оценке скорости. Например, при  $\Delta L = \pm 2$  м ошибка в дистанции начала сопровождения приводит к ошибке в оценке скорости  $\Delta v_1 = \pm 1,44$  км/ч.

2. В силу дискретности телевизионного изображения значения  $d_1$  и  $d_2$  могут быть измерены с точностью  $\pm 1$  пиксель. В результате значения  $k$  могут быть измерены неточно, что приведет к ошибке в оценке скорости  $\Delta v_2 = \pm 3$  км/ч.

3. В силу дискретности телевизионной развертки по времени значения  $\Delta t$  могут быть измерены с точностью  $\pm 1$  кадр или  $\pm 0,0333$  с, что дает ошибку в оценке скорости порядка  $\Delta v_3 = \pm 0,85$  км/ч для скорости 60 км/ч и  $\Delta v_3 = \pm 1,7$  км/ч для скорости 120 км/ч.

Если считать, что приведенные ошибки независимы, то ожидаемая точность системы в указанных условиях  $\Delta v = (\Delta v_1 + \Delta v_2 + \Delta v_3)^{1/2} = \pm 3,74$  км/ч.

Возможности повышения точности измерения скорости следующие.

Увеличение размера изображения объекта происходит при приближении к камере, причем зависимость  $k = f(Z)$  всегда одинакова для конкретной дистанции сопровождения. Необходимо начинать сопровождение с одного и того же расстояния  $L_1$ , которое было использовано при определении опорной кривой  $k = f(t)$  в ходе контрольного прохождения автомобилем дистанции сопровождения при настройке системы.

Если сопровождение начато с большего (или меньшего) расстояния, зависимость относительного увеличения размера  $k$  от времени  $t$  будет отличаться от опорной (рис. 5, а). В ходе сопровождения одновременно измеряют экранную коор-

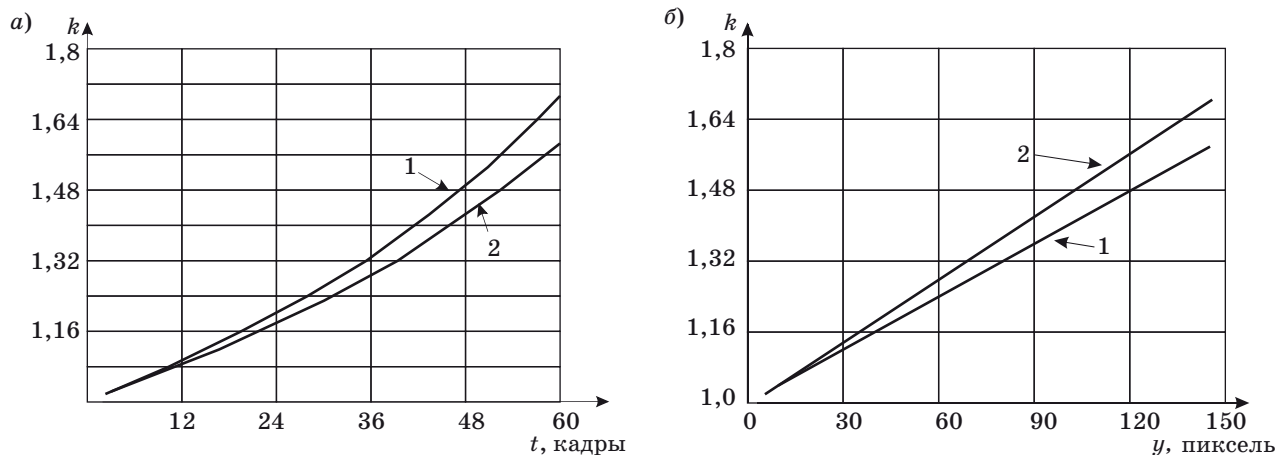
динату  $y = f(t)$ . Графики  $k = f(y)$  аппроксимируют прямыми линиями. Если сопровождение автомобиля начато позже или раньше, угол наклона прямой будет отличаться от аналогичной величины для опорной зависимости (рис. 5, б).

При определении скорости угол наклона линии сопровождаемого объекта сравнивают с углом наклона опорной линии. Результат сравнения учитывают в качестве поправки при определении скорости

$$V' = V \sqrt{\frac{\text{tg}\gamma}{\text{tg}\gamma_0}},$$

где  $V'$  — скорость ТС с учетом коррекции ошибки дистанции начала сопровождения;  $\gamma$  — угол наклона зависимости относительного увеличения размера проекции от координаты  $y$ ;  $\gamma_0$  — угол наклона опорной прямой.

Принцип измерения скорости ТС монокамерой основан на его сопровождении на дистанции порядка 20–30 м. Повышение точности измерения скорости достигают за счет использования накопления по времени и пространству. За время сопровождения получают данные о размерах изображения в пределе в каждом кадре телевизионной развертки. Объект проходит дистанцию сопровождения за время порядка 1–2 с, что позволяет произвести измерения в 25–50 кадрах. На основании результатов измерения, подверженным ошибкам за счет дискретности раstra и шумов, методом наименьших квадратов строят регрессионные кривые на основе полиномов второй или третьей степени (см. рис. 4). Анализ полученных кривых позволяет получать оценки размеров изображения объектов с точностью, лучшей одного пикселя (субпиксельная оценка), и измерять временные промежутки с точностью, лучшей времени одного кадра телевизионной развертки. Тем самым ошибки  $\Delta v_2$  и  $\Delta v_3$  могут быть



■ Рис. 5. Кривые  $k = f(t)$  (а) и зависимости  $k = f(y)$  (б) для различных  $L_1$ : 1 — опорная кривая для скорости 60 км/ч; 2 — сопровождение начато с дистанции, большей на 6 м

снижены приблизительно в  $(N)^{1/2}$  раз, где  $N$  — число обработанных кадров, т. е. в 5–7 раз.

Если проводить сбор данных об объектах вплоть до увеличения коэффициента  $k$ , например в 1,5 раза (см. рис. 4), то значения  $\Delta t_0$  и  $\Delta t_1$ , подставленные в выражение (3), дадут оценки скоростей  $v_{z0}$  и  $v_{z1}$ .

Можно использовать другой подход. Коэффициент увеличения размера объекта зависит только от его расстояния до камеры. Это означает, что кривые 1 и 2 на рис. 4 могут быть совмещены путем варьирования одного параметра — масштаба времени. Совмещение кривых контролируют по всей их длине, а не в одной точке, как это было в предыдущем случае. Это позволяет дополнительно сгладить ошибки измерений.

Для сбора необходимой для расчетов информации проводят сегментацию [6, 7] и сопровождение изображений движущихся объектов с помощью корреляционно-экстремального алгоритма [8, 9]. Относительное увеличение размера проекции объекта  $k$  находят с помощью маски масштабирования, которую создают в начале сопровождения объекта. Алгоритм состоит из следующих шагов: представление текущей маски масштабирования объекта в нескольких масштабах с заданным шагом; корреляционное сравнение текущего бинарного изображения объекта и сформированного набора масок масштабирования и определение лучшего соответствия; модификация маски масштабирования. Набор масок в разном масштабе получают с помощью аффинных преобразований текущей маски объекта. Вектор однородных координат пикселя увеличенной маски объекта

$$\mathbf{x}' = \begin{bmatrix} S & 0 & 0 \\ 0 & S & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \mathbf{x},$$

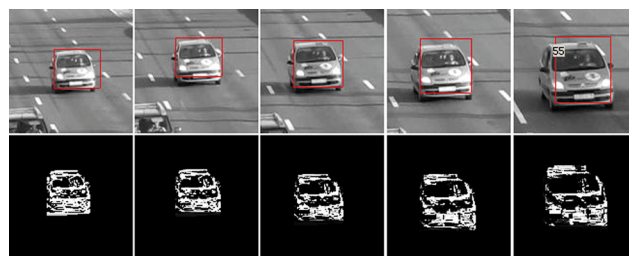
где  $\mathbf{x}$  — вектор однородных координат пикселя исходной маски;  $S$  — коэффициент масштабирования.

Каждую маску из полученного набора сравнивают с изображением объекта и по минимуму меры различия  $R$  подбирают наиболее подходящую:

$$R = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n |L_{\text{рез}}(x, y) - F_i(x, y)|,$$

где  $m, n$  — размеры маски в пикселях;  $L_{\text{рез}}(x, y)$  — пиксели бинарного изображения объекта;  $F_i(x, y)$  — пиксели маски.

Маска с наименьшей  $R$  становится новой текущей маской масштабирования объекта, а соответствующий коэффициент  $S$  считают увеличением объекта в данном кадре видеопоследовательности. Модификацию маски масштабирования проводят для соответствия текущему изобра-



■ Рис. 6. Модификация маски объекта при его приближении к камере

жению объекта. В ходе модификации из маски исключают лишние пиксели, полученные в результате масштабирования, которых нет в реальном изображении (рис. 6).

Для оценки точности измерителя скорости использовали четыре видеофрагмента дорожного наблюдения длительностью около 3500 кадров каждый, полученных в различных условиях и местах съемки. Для всех автомашин, попавших в поле зрения видеокамеры, в ручном режиме были тщательно измерены скорости посредством определения числа кадров, которое потребовалось автомобилю для преодоления известного расстояния на местности  $L$ .

Видеофрагменты подобраны таким образом, чтобы присутствовали разнообразные типы ТС (легковые, грузовые, автобусы и т. д.), а интенсивность дорожного движения была примерно одинаковой для всех полос наблюдаемой магистрали. Для дополнительной проверки достоверности измерений в каждый видеофрагмент включены несколько автомобилей с известной скоростью движения. Суммарное число ТС, для которых была проведена оценка скорости, — 104. По результатам моделирования для всего массива данных рассчитаны следующие статистические характеристики:

- среднеквадратическое отклонение 1,91 км/ч;
- среднее значение ошибки 1,49 км/ч;
- для 97 % ТС максимальная ошибка не превышает 3 км/ч;
- максимальное смещение оценки +0,4 км/ч.

На основании полученного массива данных рассчитаны статистические характеристики для отдельных полос движения (таблица).

Проведенное моделирование позволяет сделать вывод о достаточно высокой точности телевизионной системы измерения скорости. Результаты исследований по полосам движения подтверждают возможность измерения скорости телевизионным методом на многополосной магистрали. Статистические оценки точности измерения мало отличаются по полосам движения и практически не смещены. Основной недостаток телевизионных измерителей — зависимость от



■ Статистические характеристики для отдельных полос движения

Полоса	Среднеквадратическое отклонение, км/ч	Максимальная ошибка, км/ч	Среднее значение абсолютной ошибки, км/ч	Смещение оценки, км/ч
1	1,637	3,0	1,28	0,4
2	2,18	6,0	1,7	0
3	1,34	3,0	0,89	0

погодных условий — компенсируется введением подсветки вблизи стационарного поста в видимом или инфракрасном диапазонах излучения. Точность измерения скорости с помощью одной видеокамеры  $\pm 3$  км/ч уступает радарам, где достигнута точность  $\pm(1 - 2)$  км/ч. Вполне возможно, что эта точность несколько завышена в рекламных целях, так как неизвестно, каким образом учитывают угловые положения приборов и учитывают ли вообще. В условиях, когда водители не могут измерить скорость точнее, чем одно деление шкалы спидометра (10 км/ч), точности, достигнутой телевизионным измерителем, вполне достаточно для практического применения.

**Заключение**

Предложенный метод измерения скорости ТС на основе анализа видеопоследовательности обладает следующими характерными преимуществами.

- Использование накопления данных по времени и пространству путем учета модификации всей площади изображения автомобиля на интервале сопровождения позволило повысить точность измерения по сравнению с известными телевизионными методами.
- При реализации алгоритма измерения нет нужды в трудоемкой калибровке камеры и привязке ее местоположения к мировым координатам.
- При установке и первоначальной настройке системы достаточно в автоматическом режиме получить опорную зависимость коэффициента увеличения размера изображения контрольного

автомобиля при известной скорости его движения и траекторию его движения.

- Другим вариантом настройки является анализ в ручном режиме фрагмента видеопоследовательности, отображающей движение объекта с известными размерами на дистанции сопровождения.

Располагая данными о скоростях и траекториях движения сопровождаемых автомобилей, получают все основные параметры транспортного потока: интенсивность, среднюю скорость. Дополнительно можно судить о нарушениях: выезде на встречную полосу, нарушении рядности движения, остановке в непопозволенном месте и т. п.

**Литература**

1. Leduc G. Road Traffic Data: Collection Methods and Applications, Working Papers on Energy, Transport and Climate Change. <http://ftp.jrc.es/EURdoc/JRC47967.TN.pdf> (дата обращения: 20.10.2011).
2. [http://www.radis.biz/police\\_card.php?prodid=54&cat=4&gr=1](http://www.radis.biz/police_card.php?prodid=54&cat=4&gr=1) (дата обращения: 10.09.2011).
3. Lykke O. Method and device for supervising the speed of an object, US Patent № 4214265. July 22, 1980.
4. Патент Кореи G08G 1/054 № ROK 10-2008-0818323. Январь, 2006.
5. Макарецкий Е. А., Овчинников А. В., Нгуен Лиен Хиеу. Телевизионные измерительные системы контроля скоростного режима дорожного движения // Компоненты и технологии. 2007. № 4. С. 34–37.
6. Тимофеев Б. С., Обухова Н. А. Алгоритм сегментации объектов в последовательности видеок кадров методами нечеткой логики // Информационно-управляющие системы. 2006. № 3. С. 12–18.
7. Обухова Н. А. Сегментация объектов интереса на основе признака движения в видеокomпьютерных системах // Инфокоммуникационные технологии. 2007. № 1. С. 77–85.
8. Буймов А. Г. Корреляционно-экстремальная обработка изображений / ТГУ. — Томск, 1987. — 134 с.
9. Иванов В. А. Моделирование корреляционного сопровождения объектов в реальном времени // Автоматика. 1991. № 3. С. 24–30.

УДК 681.5.015

# МЕТОД ИДЕНТИФИКАЦИИ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ПРИ ПЕРЕМЕННОМ МОМЕНТЕ ТРЕНИЯ

**С. В. Арановский,**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

**С. Ю. Ловлин,**

аспирант, младший научный сотрудник

**С. А. Александрова,**

студентка

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Рассматривается задача идентификации электропривода в условиях переменного момента трения. Предложен подход, основанный на введении обратной связи, возбуждении в системе колебаний и оценке их частоты. Приводится пример использования алгоритма при неравномерностях момента трения, аналогичных наблюдаемым в опорно-поворотном устройстве оптического телескопа.

**Ключевые слова** — идентификация, электропривод, неравномерный момент трения.

## Введение

Задача идентификации часто возникает в инженерной практике. Иногда идентифицируемая система достаточно сложна и при проектировке некоторые ее параметры (вязкое трение, момент инерции и упругие свойства сложной многосоставной механической нагрузки) не рассчитываются. Случается, что параметры готового изделия не совпадают с расчетными, и требуется оперативно определить их значения и провести перенастройку системы. Или стоит задача настройки системы, которая была создана другим коллективом разработчиков, контакт с которыми утерян вместе с документацией на систему. Во всех этих случаях необходимо по результатам эксперимента максимально точно определить значения параметров системы, провести их идентификацию.

Известно большое число методов [1, 2], нацеленных на решение различных проблем идентификации, в том числе ориентированных на электромеханические системы [3–6]. Особую сложность представляют задачи идентификации в условиях возмущений. Например, при идентификации параметров электроприводов момент трения либо вообще не рассматривается, либо считается постоянным. Но в ряде случаев такое предположение недопустимо, так как приводит к ошибочным оценкам параметров объекта и низкому ка-

честву систем управления, построенных на их основе. В то же время среди методов идентификации электромеханических систем практически нет подходов, предназначенных для работы в условиях переменного момента сопротивления. Настоящая работа нацелена на решение этой задачи.

## Описание объекта и действующего возмущения

Рассмотрим модель объекта вида

$$\begin{cases} y(t) = \frac{K}{p}(i(t) + f(t)) \\ i(t) = \frac{1}{T_e p + 1} u(t) \end{cases}, \quad (1)$$

где  $y(t)$  — измеряемый выходной сигнал;  $K$  — неизвестный параметр, подлежащий идентификации;  $i(t)$  — переменная состояния системы;  $f(t)$  — неизвестное внешнее возмущение;  $T_e$  — известный параметр;  $u(t)$  — известный управляющий сигнал. Физическое наполнение такой модели может быть различным. Например, для систем электропривода возможно такое:  $y(t)$  — скорость вращения;  $K$  — неизвестный параметр, равный отношению электромеханической конструктивной постоянной к суммарному моменту инерции;  $i(t)$  — протекающий ток;  $T_e$  — постоянная време-

ни контура тока;  $u(t)$  — задание, поступающее на контур тока. Возмущение  $f(t)$  в этом случае может трактоваться как момент сопротивления, разделенный на величину конструктивной постоянной. В этом случае идентификация параметра  $K$  становится важной инженерной задачей, так как зачастую точный момент инерции сложной многоэлементной нагрузки неизвестен.

Не смотря на кажущуюся простоту идентификации одного неизвестного параметра, даже при упрощенной модели момента сопротивления, суммом трении

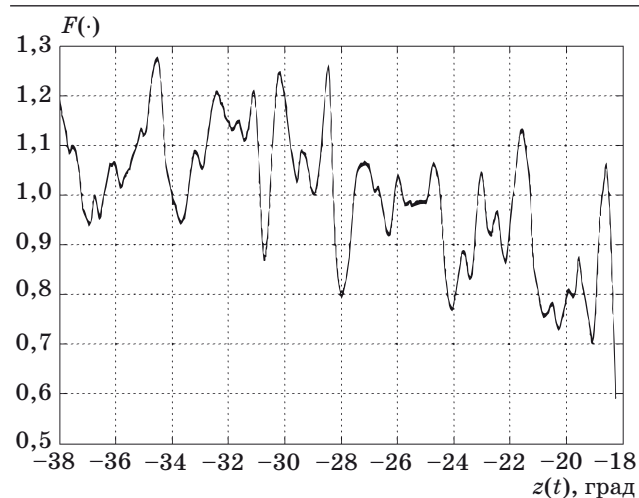
$$f(t) = -f_0 \text{sign}(y(t)), \quad (2)$$

многие типовые алгоритмы не справляются с идентификацией параметра  $K$ . Например, реализованные в MATLAB Identification toolbox методы идентификации авторегрессионных моделей (arx) или метод инструментальной переменной (iv4) показывают неудовлетворительные результаты, ошибаясь более чем в 2 раза. На практике ситуация может быть разрешена за счет остановки такого эксперимента, при котором скорость является знакопостоянной, а возмущение  $f(t)$  — константой. Существуют и другие подходы, основанные на разделении экспериментальных данных на участки знакопостоянной скорости.

Гораздо хуже обстоит ситуация при более сложных моделях трения, нежели (2). Для некоторых объектов из-за их конструктивных особенностей, дефектов изготовления или других факторов момент трения может существенно варьироваться при изменении положения движущихся частей:

$$f(t) = -F(z(t))\text{sign}(y(t)), \quad (3)$$

где  $z(t) = z_0 + \int y(t)dt$  — угол поворота движущихся частей;  $F(z(t)) > 0$ . На рис. 1 представлен



■ Рис. 1. Зависимость момента сопротивления от угла поворота (ось опорно-поворотного устройства оптического телескопа)

график изменения момента сопротивления в зависимости от угла поворота для оси опорно-поворотного устройства оптического телескопа [7, 8]. Угол меняется в диапазоне от  $-18$  до  $-38$  град, момент нормирован относительно средней величины и приведен в безразмерных единицах.

Наклон графика момента на рис. 1 связан с наличием в системе кабельного перехода, который, закручиваясь или раскручиваясь, играет роль пружины. А наблюдаемые на графике пульсации связаны с неидеальностью подшипников и неравномерностью момента трения. При такой зависимости момента сопротивления от угла поворота определение параметра  $K$  классическими методами крайне затруднено даже при обеспечении знакопостоянства момента сопротивления. Это делает актуальной задачу разработки алгоритма идентификации параметра  $K$  при переменном моменте сопротивления.

### Алгоритм идентификации

Будем формировать сигнал  $u(t)$  как

$$u(t) = \frac{K_0(T_e p + 1)}{p} (u_0(t) - y(t)), \quad (4)$$

где  $K_0 > 0$  — настраиваемый параметр, а  $u_0(t)$  — задающий сигнал.

Тогда систему (1) можно записать в виде

$$y(t) = \frac{K_0 K}{p^2 + K_0 K} u_0(t) + \frac{K p}{p^2 + K_0 K} f(t). \quad (5)$$

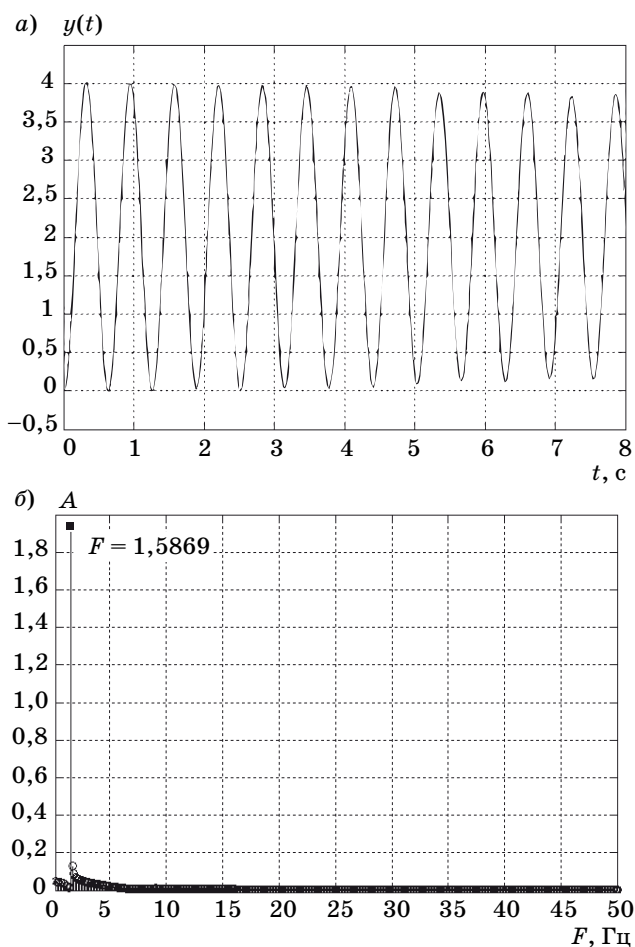
При отсутствии трения ( $f(t) = 0$ ) и  $u_0(t) = u_0 = \text{const}$  в системе (5) будут возникать незатухающие гармонические колебания с частотой

$$\omega_0 = \sqrt{K_0 K}, \quad (6)$$

откуда

$$\hat{K} = \omega_0^2 / K_0. \quad (7)$$

Зависящая от скорости и угла поворота функция  $f(t)$  делает систему (5) нелинейной, что затрудняет анализ траектории  $y(t)$ . Более того, в ряде практических задач точный анализ вообще невозможен, так как для аналитического решения требуется знание функции  $F(z(t))$ , которая на практике почти никогда не известна или известна только в некотором приближении (например, средний момент сопротивления за оборот). Однако для решения поставленной технической задачи идентификации точное определение траектории  $y(t)$  не требуется, достаточно определить частоту  $\omega_0$  (6), обеспечив, например, доминирование колебаний на этой частоте по сравнению с вызванными функцией  $f(t)$  колебаниями на других частотах. На практике этого легко достичь, варьируя параметры  $K_0$  и  $u_0$ , что следует из техни-



■ Рис. 2. Выходной сигнал  $y(t)$  (а) и преобразование Фурье (б)

ческой осмысленности задачи: момент, который может развить электропривод, превосходит осцилляции момента сопротивления.

**Пример.** Рассмотрим объект управления, описываемый выражением (1), где  $T_e = 0,005$ ,  $K = 10$ . Пусть возмущение  $f(t)$  описывается выражением (3), где функция  $F(y)$  соответствует рис. 1. Сформируем сигнал  $u(t)$  как (4) при  $u_0 = 0,1$  и различных значениях  $K_0$ . На рис. 2, а представлен выходной сигнал  $y(t)$  при значении  $K_0 = 10$ , а на рис. 2, б — результат фурье-преобразования этого сигнала. При построении преобразования Фурье использовалась частота дискретизации 1 кГц.

## Литература

1. Льюнг Л. Идентификация систем. Теория для пользователя. — М.: Наука, 1991. — 432 с.
2. Справочник по теории автоматического управления / Под ред. А. А. Красовского. — М.: Наука, 1987. — 712 с.

■ Результаты идентификации при различных значениях  $K_0$  и истинном значении  $K = 10$

$K_0$	$\hat{K}$	$K_0$	$\hat{K}$
5	9,53	20	9,53
10	9,94	25	10,3
15	10,03		

В таблице представлены результаты оценки  $\hat{K}$  для разных значений  $K_0$ .

Из таблицы видно, что предложенный алгоритм позволяет получить достаточно точную оценку  $\hat{K}$  в условиях переменного момента сопротивления. Отклонения результатов идентификации от истинного значения связаны с неточностью оценки частоты методом дискретного преобразования Фурье.

## Заключение

В работе предложен алгоритм идентификации электропривода в условиях переменного момента сопротивления. Данная задача является актуальной с инженерной точки зрения, так как классическими методами идентификации, такими как метод инструментальной переменной, не всегда удается найти удовлетворительную оценку неизвестного параметра.

Предложенный подход основан на введении в систему обратной связи по выходу и организации гармонических колебаний, частота которых позволяет оценить неизвестный параметр. Приведенный пример, основанный на данных, полученных при идентификации электропривода опорно-поворотного устройства оптического телескопа, показал применимость предложенного алгоритма для решения задачи идентификации.

Отклонение результатов идентификации от истинного значения связано с неточностью вычисления частоты колебаний методом дискретного преобразования Фурье. Более точные оценки можно получить, используя альтернативные методы идентификации частоты гармонических сигналов [9, 10].

Работа выполнена при поддержке ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России», контракт 16.740.11.0666.

3. Борцов Ю. А., Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. — Л.: Энергоатомиздат, 1984. — 216 с.
4. Арановский С. В., Бардов В. М. Метод идентификации параметров системы двигатель-двухмассовый

механизм по измерениям выходной переменной // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. № 5. С. 15–18.

5. **Водовозов А. М., Елюков А. С.** Помехозащищенные алгоритмы параметрической идентификации электромеханических систем // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. № 12. С. 40–43.
6. **Анкудинов К. А.** и др. Способ измерения постоянной времени электропривода // Изв. вузов. Приборостроение. 2009. № 12. С. 43–50.
7. **Васильев В. Н., Томасов В. С., Шаргородский В. Д., Садовников М. А.** Состояние и перспективы развития прецизионных электроприводов комплексов

высокоточных наблюдений // Изв. вузов. Приборостроение. 2008. № 6. С. 5–11.

8. **Арановский С. В.** Идентификация полюсов электромеханического объекта на основе сдвигов фаз // Информатика и системы управления. 2011. № 1. С. 97–107.
9. **Арановский С. В.** и др. Идентификация частоты смещенного синусоидального сигнала // АиТ. 2008. № 9. С. 3–9.
10. **Aranovskiy S. et al.** Identification of frequency of biased harmonic signal // European Journal of Control. 2010. N 4. P. 129–139.

**XIX Центрально-Азиатская Международная конференция и Showcase  
«Телекоммуникации и информационные технологии» — KITEL 2012**

**29–31 мая 2012**

**Место проведения: Алматы, Казахстан**

**KITEL 2012** состоится в формате конференции и сопутствующей ей экспозиции. Это единая площадка для обсуждения насущных технических вопросов и решений, установления деловых связей и перспектив сотрудничества в Казахстане.

Конференция осветит два направления: телекоммуникационная отрасль и интернет-технологии. Экспозиция представит возможность наглядно ознакомиться с новинками компаний.

**Организатор**

ITE LLC Moscow, Россия  
Itesa, Казахстан

**Направления работы**

Сектор ИКТ в Центральной Азии сегодня и завтра  
Мобильная связь и VAS-услуги  
Фиксированная связь  
Спутниковая связь  
Телерадиовещание  
Вызовы и решения в области информационных технологий и услуг  
Производство и инновации  
Подготовка и трудоустройство специалистов для сектора ИКТ  
Сотрудничество в сфере образовательных технологий

**Секторы выставки KITEL 2012**

Телекоммуникации

Мобильные технологии

Интернет

Кабельные технологии

Спутниковые технологии

Широкополосные сети связи

Цифровой контент

Системы телерадиовещания: профессиональное видео- и аудиооборудование; HDTV, IPTV, Mobile TV

Компьютерные и информационные технологии

Мониторы и телевизоры: LCD, плазменные и др.

Информационная безопасность

Программное обеспечение

Цифровые устройства

Офисные технологии, расходные материалы

Банковские технологии, оборудование и услуги

Образование

Организаторы приглашают к участию в данном форуме специалистов отечественных и международных телекоммуникационных и IT-компаний, пользователей оборудования и услуг данных отраслей, представителей государственных учреждений и ведомств, деловых ассоциаций.

**Дополнительная информация и справки**

129164 Москва, Зубарев переулок, д. 15, к. 1

ITE Moscow LLC

Елена Кочергина

Тел.: +7 (495) 935 7350

Эл. адрес: Kochergina@ite-expo.ru

Сайт: <http://www.kitel.kz/ru>

УДК 519.8

# ИНТЕГРАЦИЯ ИНФОРМАЦИОННО-ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫХ РЕСУРСОВ ГЛОБАЛЬНЫХ СИСТЕМ МОНИТОРИНГА НА БАЗЕ ЕДИНОЙ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ

**В. А. Зеленцов,**

доктор техн. наук, профессор

**М. Ю. Охтилев,**

доктор техн. наук, профессор

**Б. В. Соколов,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН

**В. И. Хименко,**

доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Анализируются основные требования и базовые подходы к созданию интегрированного информационно-телекоммуникационного ресурса глобальных систем мониторинга природных и техногенных объектов. В качестве прототипа таких систем рассматривается Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга. Показаны состав и основные преимущества использования интеллектуальной информационной технологии и соответствующей платформы для интеграции ресурсов данной системы.

**Ключевые слова** — глобальные системы мониторинга, интеллектуальная информационная технология, информационно-телекоммуникационные ресурсы.

## Введение

В настоящее время в нашей стране и ряде зарубежных государств активно проводятся работы по созданию глобальных систем мониторинга (СМ) потенциально опасных природных процессов и явлений, а также сложных техногенных объектов. Эти работы вызваны огромным и все увеличивающимся количеством человеческих жертв, колоссальными экономическими, экологическими последствиями катастрофических событий и очевидной целесообразностью организации информационного обмена и координации совместных действий на международном уровне. К подобным работам относится проект создания Международной аэрокосмической системы глобального мониторинга (МАКСМ) [1].

МАКСМ предназначена для своевременного предупреждения мирового сообщества о грозящих стихийных бедствиях, а также чрезвычайных ситуациях природного и техногенного ха-

рактера на основе глобального и оперативного мониторинга и прогнозирования с использованием научно-технического потенциала наземного, воздушного, космического мониторинга всех стран мира, дальнейшего развития и постепенной интеграции навигационно-телекоммуникационных и информационных ресурсов планеты в интересах решения гуманитарных проблем человечества [1].

Важнейшей отличительной особенностью МАКСМ с точки зрения обработки информации является обеспечение глобальности, оперативности и возможности осуществления прогноза.

Необходимость решения задач прогнозирования определяет требования к глубине (предыстории) и уровню интеграции разнородных данных СМ. Учитывая сложность объектов мониторинга, принципиально важной является необходимость обработки не только массивов данных, но знаний экспертов о наблюдаемых объектах и процессах.

### Основные требования к информационным ресурсам систем глобального мониторинга

Перечисленные особенности определяют требования к информационно-телекоммуникационным (ИТ) ресурсам МАКСМ.

Основные требования касаются обеспечения оперативного получения и интегрированной обработки всех доступных на современном уровне развития науки и техники данных о существующем состоянии потенциально опасных объектов и процессов, о предвестниках глобальных угроз, выявленных закономерностях, экспертных знаний в данной области и представления результатов обработки и прогнозирования в наглядной, удобной форме заинтересованным лицам и организациям на международном и национальном уровнях.

Из этих требований следует, что ИТ-ресурсы МАКСМ должны:

- иметь в своем составе мощные аналитические системы и модельно-алгоритмическое обеспечение для решения задач прогнозирования и поддержки принятия решений по снижению рисков возникновения и последствий крупных аварий и катастроф;
- обладать свойством катастрофоустойчивости для обеспечения возможности функционирования национальных и международных мониторинговых и кризисных центров в любых условиях.

Реализация перечисленных требований и возможностей вызывает необходимость создания глобальной интегрированной интеллектуальной катастрофоустойчивой информационно-аналитической подсистемы мониторинга и управления, обеспечивающей согласованное функционирование национальных и международных центров мониторинга и управления в обычных условиях

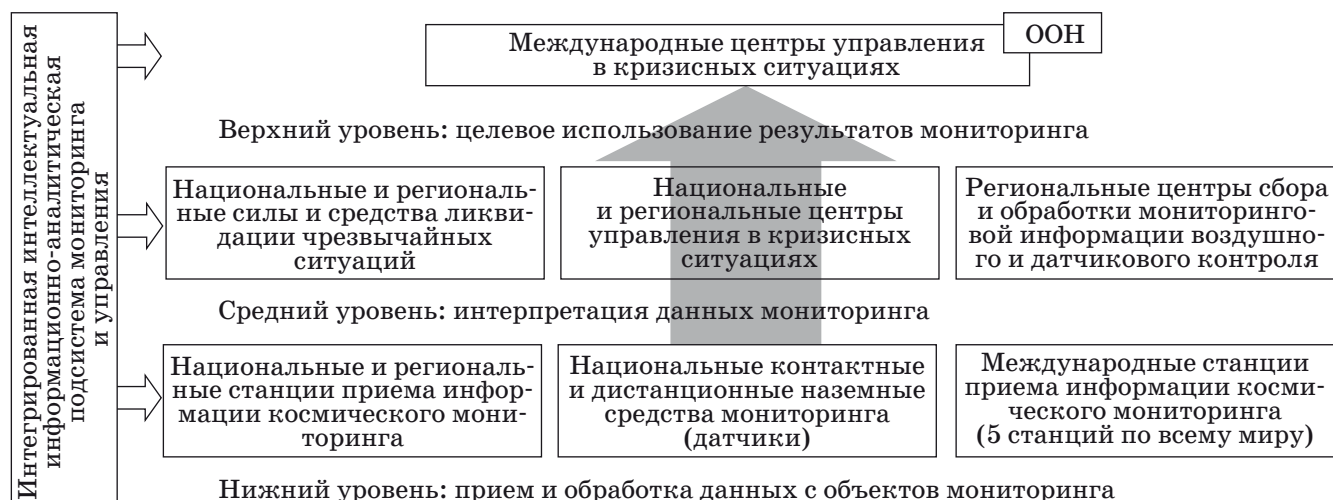
и при возникновении кризисных ситуаций. Эта подсистема является ключевой в составе МАКСМ (рисунок).

Обеспечение глобальности означает, что ИТ-ресурсы МАКСМ должны осуществлять сбор и обработку мониторинговых данных с огромного количества разнородных объектов как природного, так и техногенного характера — от вулканов до АЭС, потенциально опасных химических производств и т. д.

Каждый из этих объектов описывается своим составом параметров, накопленной предысторией их изменения, закономерностями возникновения опасных явлений и пр. Каждый объект должен иметь свои базы данных и знаний, свой комплекс моделей для анализа и прогнозирования его состояния.

Несмотря на все многообразие объектов мониторинга, к СМ их состояния в рамках проекта МАКСМ можно предъявить ряд общих условий:

- жесткие временные ограничения на получение результатов мониторинга — обработка данных, особенно при развитии кризисных ситуаций, должна осуществляться практически в реальном масштабе времени;
- высокие требования к достоверности и точности результатов;
- оперативность обработки больших (или сверхбольших) потоков измерительной информации;
- разнообразие типов измерительной информации как по физической природе объектов мониторинга, так и по большому количеству программно-аппаратных средств, являющихся источниками информации;
- широкий диапазон задач, решаемых при мониторинге (наблюдение, контроль, диагностирование, прогнозирование, управление), а также типов самих объектов мониторинга;



■ Обобщенная иерархическая структура МАКСМ

— повышенные требования к форме и качеству представления конечных результатов анализа информации, вызванные высокой стоимостью возможных ошибок при принятии решений по результатам анализа;

— многочисленность и разнородность потребителей результатов обработки информации, состав которых меняется во времени;

— невысокий уровень программистской квалификации персонала — как конечных пользователей результатов мониторинга, так и разработчиков СМ;

— унификация, модульность и масштабируемость построения конкретных СМ;

— катастрофоустойчивость программно-аппаратных комплексов СМ.

Перечисленные условия существенным образом определяют выбор подходов к созданию систем мониторинга МАКСМ, организации вычислительного процесса и составу модельно-алгоритмического обеспечения обработки данных о состоянии потенциально опасных объектов.

### Подходы к созданию интегрированного информационного ресурса МАКСМ

МАКСМ как надгосударственную систему предполагается построить на принципах использования всего потенциала современной космонавтики, в том числе зарубежных и международных проектов космического мониторинга стихийных бедствий. Анализ таких проектов показывает, что практически все они ориентированы преимущественно на решение задач выявления разрушительных последствий стихийных бедствий и чрезвычайных ситуаций и не акцентированы на решение задач прогноза глобальных катастрофических событий [1]. Кроме того:

— СМ создаются, как правило, на разных программно-аппаратных платформах;

— локальные СМ слабо взаимодействуют между собой, они не включены в единый цикл мониторинга и управления на национальном и международном уровнях;

— отсутствует «прямой» доступ персонала центров управления различных уровней к информации, циркулирующей в локальных СМ, т. е. не обеспечивается создание единого «информационного пространства безопасности», что также является одной из задач проекта МАКСМ.

В настоящее время применительно к МАКСМ достаточно подробно рассмотрены два подхода к интеграции СМ.

Первый подход заключается в обеспечении стандартизованного обмена данными между приложениями, наличия общего каталога метадан-

ных, а также общего программного и Web-интерфейса.

Второй подход предполагает взаимодействие систем на уровне решения задач, совместного использования данных и вычислительных ресурсов. Такой подход целесообразен, в частности, на основе интеграции отдельных Grid-систем.

Особенность данных подходов состоит в необходимости создания большого числа специализированных СМ и последующего приведения результатов обработки данных к единым стандартам передачи и представления информации на разных уровнях иерархии МАКСМ. Кроме того, трудоемким остается процесс создания каждой конкретной СМ, требуется высокая квалификация разработчиков соответствующих программных комплексов.

Состав задач МАКСМ определяет целесообразность принципиально нового подхода к интеграции, заключающегося в разработке и внедрении единой интеллектуальной информационной технологии (ИИТ) мониторинга и управления, на базе которой может осуществляться интегрирование информационных ресурсов МАКСМ, создание конкретных СМ потенциально опасных объектов и процессов, а также оснащение информационно-аналитических систем ситуационных и кризисных центров МАКСМ [2, 3].

Необходимо заметить, что создание и внедрение единой ИИТ не заменяет, а дополняет первые два подхода.

Рассматриваемые три подхода, по сути, соответствуют трем возможным уровням интеграции:

— интеграция разнородной измерительной информации для каждого отдельного объекта;

— интеграция СМ разнородных объектов (национальный или международный уровень);

— интеграция ИТ-ресурсов ситуационных, кризисных центров и систем мониторинга МАКСМ в целом.

Третий уровень интеграции может быть обеспечен только при условии внедрения единой интеллектуальной информационной платформы и технологии создания и сопровождения СМ. Такой уровень интеграции и подход к созданию интегрированного ИТ-ресурса МАКСМ позволит реализовать МАКСМ как единую систему.

### Состав интеллектуальной информационной технологии создания и сопровождения систем мониторинга и управления

Принципиальные методологические и программно-аппаратные решения по созданию предлагаемой информационной технологии базируются на фундаментальных научных результатах, полученных в течение более чем 20 лет [2–4].



Именно эти результаты позволили унифицировать средства работы с разнородной информацией, в том числе со знаниями, и придать свойство интеллектуальности создаваемым СМ, а также значительно упростить и унифицировать процесс проектирования и сопровождения разнообразных СМ. Сама технология создания СМ перестала зависеть от типа объекта мониторинга. От разработчика системы требуется только знание объекта мониторинга, но не требуется высокой программистской квалификации.

Свойство интеллектуальности проявляется также и в том, что в рассматриваемой технологии реализован принцип полимодельного анализа и прогнозирования состояния объекта мониторинга, т. е. в зависимости от исходной измерительной информации осуществляется выбор наиболее адекватного типа модели анализа и прогноза и определение ее параметров в автоматическом режиме.

В состав новой информационной технологии входят:

- унифицированные модели представления знаний о состоянии объектов мониторинга;
- методы, алгоритмы и методики автоматического синтеза программ мониторинга с возможностью их верификации и оптимизации;
- методы, алгоритмы и методики оперативного структурно-функционального синтеза облика информационной СМ в реальном времени, в том числе с использованием критериев катастрофоустойчивости;
- операционная среда автоматизированного проектирования программного комплекса систем, реализующих процессы мониторинга в реальном времени;
- исполнительная система, организующая распределенную потоковую обработку интегрированных входных данных для обеспечения решения задач мониторинга состояния и управления в реальном времени в составе единого информационного пространства.

Одним из основных достоинств технологии является возможность разработки СМ непрофессиональными программистами. Базовыми элементами технологии автоматизированного проектирования СМ при этом являются:

- интеллектуальный интерфейс;
- специализированная операционная среда создания программных комплексов мониторинга;
- оперативная распределенная база данных реального времени для формирования единого информационного пространства.

Это существенно сокращает длительность создания СМ (в 2 и более раз) и исключает до 60–80 % ошибок при разработке программных комплексов СМ.

## Заключение

Таким образом, в настоящее время имеется практическая возможность создания интегрированного ИТ-ресурса глобальных СМ на базе рассмотренной ИИТ разработки и сопровождения СМ и управления. К числу преимуществ технологии относятся:

- значительное сокращение сроков и расходов на создание или модификацию СМ;
- возможность осуществлять мониторинг в реальном времени с большим количеством измеряемых параметров;
- наличие инструментов реализации прогнозирования и поддержки принятия решений по предупреждению аварий и катастроф;
- низкие требования к квалификации разработчиков и операторов СМ и управления, существенное снижение числа ошибок при создании программных комплексов мониторинга;
- возможность интеграции как вновь разрабатываемых, так и существующих специализированных программных комплексов мониторинга в единую информационную систему;
- обеспечение катастрофоустойчивости создаваемых информационно-аналитических СМ.

Перечисленные достоинства подтверждают перспективность использования указанных технологий для интеграции ИТ-ресурсов глобальных СМ, подобных МАКСМ.

Исследования по рассматриваемой тематике проводятся при финансовой поддержке РФФИ (гранты 11-08-01016-а, 10-07-00311-а), отделения нанотехнологий и информационных технологий РАН (проект №О-2.3/03).

## Литература

1. **Меньшиков В. А., Перминов А. Н., Урличич Ю. М.** Глобальные проблемы человечества и космос. — М.: МАКД, 2010. — 570 с.
2. **Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М.** Интеллектуальные технологии мониторинга и управления структурной динамикой сложных технических объектов. — М.: Наука, 2006. — 410 с.
3. **Sokolov B. V., Okhtilev M. Yu., Zelentsov V. A.** New Intellectual monitoring technology for complex objects and processes with use of space information // Space & Global Security of Humanity: Abstracts of the 2<sup>nd</sup> Intern. Symp. Riga, Latvia, 2010. P. 90.
4. **Соколов Б. В., Зеленцов В. А.** Космические информационные технологии и перспективы их использования // Геополитика и безопасность. 2011. № 2(14). С. 90–96.

УДК 629.78

## ПРИНЦИПЫ УПРАВЛЕНИЯ КОСМИЧЕСКИМИ АППАРАТАМИ МОНИТОРИНГА ЗЕМЛИ В АНОМАЛЬНЫХ СИТУАЦИЯХ

**Р. Н. Ахметов,**

канд. техн. наук, генеральный конструктор

**В. П. Макаров,**

доктор техн. наук, профессор, научный советник

**А. В. Соллогуб,**

доктор техн. наук, профессор, главный научный сотрудник

Государственный научно-производственный ракетно-космический центр «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

Приводится постановка задачи управления космическими аппаратами мониторинга Земли в аномальных ситуациях. Определяются свойства, характеризующие их живучесть, и рассматриваются принципы построения системы управления живучестью космических аппаратов мониторинга Земли.

**Ключевые слова** — живучесть космического аппарата мониторинга Земли, аномальные ситуации, целевые показатели эффективности, точки сингулярности, точки бифуркации.

### Введение

Функционирование современных автоматических космических аппаратов мониторинга Земли (КА МЗ) состоит в выполнении на интервале активного функционирования  $T_{а.ф}$  множества целевых задач  $C = \{C_n\} = C(u)$ ,  $n = 1, 2, \dots, N$ , качество которых определяется заданными целевыми показателями эффективности (ЦПЭ). Для этого КА МЗ оснащаются совокупностью бортовых систем (БС)  $B_k = B_k(u_k)$ ,  $k = 1, 2, \dots, K$ , каждая из которых реализует некоторую стратегию управления  $u_k \in U$  из множества  $U$  допустимых стратегий для достижения ЦПЭ. Достижению требуемых ЦПЭ препятствуют различные внешние и внутренние возмущающие факторы. Из них наиболее значимыми, особенно при  $T_{а.ф} \geq 5$  лет на рабочих высотах полета 600–800 км, являются: воздействия тяжелых заряженных частиц (ТЗЧ) и высокоэнергетических протонов (ВЭП) внешних излучений (космических, солнечных, естественных радиационных поясов Земли (ЕРПЗ)) с эффектом накопления, ускоряющего деградацию комплектов для БС [1, 2]. Они приводят к сбоям и отказам бортовой аппаратуры (БА), к изменению текущего состояния  $S$  БС относительно исходного (штатного) состояния  $S_0$ , появлению нештатных или аномальных ситуаций (АС) на борту КА ( $S_{АС}$ ).

В момент появления АС, связанной с отказами БА, состояние БС резко изменяется. Момент возникновения АС можно рассматривать как точку бифуркации, в которой нарушается не только эволюционный регулярный характер процесса функционирования КА МЗ, но скачкообразно изменяются цели и задачи, которые должны решаться на борту в последующие моменты времени. Главной становится задача оперативной нейтрализации АС с восстановлением целевых функций КА МЗ с заданными ЦПЭ. В естественных системах разрушение сложившихся структур сопровождается процессами равновесной, гармонической или стохастической самоорганизации в точках бифуркации. В искусственных системах, к которым принадлежат автоматические КА МЗ, для выхода из точек бифуркации необходимо предусматривать механизмы «встроенной самоорганизации».

### Постановка задачи

В качестве ЦПЭ для автоматических КА МЗ принимаются следующие параметры [2–4]:

$q_1$  — линейное разрешение на местности;

$q_2$  — оперативность получения целевой информации — суммарная длительность наведения на цель, ее экспонирования, предварительной обработки и передачи данных по радиолинии в наземный специальный комплекс (НСК);

$q_3$  — производительность в номинальных условиях функционирования;

$q_4$  — оперативность выхода КА в заданный район зондирования — общая длительность процесса проведения маневра до начала наведения на цель;

$q_5$  — длительность активного функционирования ( $T_{а.ф}$ ).

Эффективность КА МЗ в общем случае оценивается векторным критерием  $\{w_j\}$ , где  $w_j$  —  $j$ -й частный критерий.

Частными критериями эффективности функционирования являются минимизация отклонений достигаемых показателей  $q_j$  относительно заданных в техническом задании значений  $q_j^3$  на интервале активного функционирования:

$$W_j = \min(q_j - q_j^3), n = 1, 2, \dots, 4. \quad (1)$$

Из частных критериев формируется составной или обобщенный критерий

$$W = W(w_j). \quad (2)$$

В работах [2, 4] обобщенный критерий представлен в графической форме в виде звезды ориентиров Боссея.

Функционирование КА МЗ в окрестности точки бифуркации на интервале нейтрализации АС  $\Delta T_H$  с восстановлением его штатных функций описывается некоторым операторным уравнением

$$\Phi\{X_{AC}, d_{Bk}, U_H, U_H^{np}, L_6, L_K, Z_6, Z_K, t\} = 0, t \in \Delta T_H, \quad (3)$$

где:

$X_{AC} = X_{AC}(S_{AC}, t)$  — фазовые переменные, определяющие текущее состояние КА при отказе одной из БС ( $B_k$ ), исходя из текущего состояния последней  $S_{Bk}(t)$  на интервале  $t \in \Delta T_H$ ;

$d_{Bk} \in D_{Bk}^{AC}$  — текущая АС, характеризующаяся определенным видом отказа БС ( $B_k$ ) КА из множества возможных в ней отказов;

$U_H = U_H(U_1, U_2, \dots), U_H^{np} = f\{X_{AC}, Z_6^0, Z_K^0, t\}$  — соответственно текущее управление и стратегия (программа) управления БС на интервале  $\Delta T_H$  при текущих ( $L_6, L_K, Z_6, Z_K$ ) и номинальных параметрах среды функционирования, здесь  $Z_6^0$  — для БС (температура, давление в отсеках, напряжение электропитания и др.) и  $Z_K^0$  — для КА (радиус орбиты, скорость движения КА, характеристики верхней атмосферы, вспышки на Солнце и др.);

$L_6, L_K$  — массо-габаритные характеристики БА и КА.

Процесс функционирования КА МЗ в АС реализуется с учетом заданных энергомассовых,

стоимостных, временных и других ресурсных ограничений [4]:

$$m_{КА} < \bar{m} \text{ (масса); } E_{КА} < \bar{E} \text{ (энергопотребление);}$$

$$S_{КА} < \bar{S} \text{ (стоимостные затраты); } t \in \Delta T_H. \quad (4)$$

К числу факторов, учитываемых при проектировании, относится и ряд ограничивающих условий или требований следующего вида:

— отказ любого элемента в бортовых средствах низшего иерархического уровня не должен приводить к нарушению функций систем более высокого уровня;

— в любой БС на ограниченном интервале времени, например  $\Delta T_{AC}$ , может возникать не более  $m$  отказов ( $m = 1, 2, \dots, M$ ).

Для КА МЗ обычно принимается  $M = 1$ . В других случаях (например, пилотируемых КА) значение  $M$  может быть больше.

Таким образом, целями и задачами функционирования КА в окрестности точки бифуркации ( $T_{AC}$ ) являются оперативное обнаружение факта появления АС и предотвращение ее развития до необратимых последствий, выявление причины АС и восстановление основных функций отказавшей БС, что обеспечивает возможность восстановления штатных функций КА.

В этой связи математическую постановку задачи можно представить следующим образом.

На основе анализа возможных АС из-за отказов БС,  $D_B^{AC} = \{D_{Bk}^{AC}\}, k = 1, 2, \dots, K$ , с учетом воздействий внешних и внутренних дестабилизирующих факторов при длительном ( $T_{а.ф} \geq 5$  лет) функционировании КА МЗ разработать методы и средства нейтрализации АС, обеспечивающие при связях (3) и ограничениях (4) оперативное восстановление функций отказавших БС за время  $\Delta T_H \rightarrow \min$  и последующее штатное функционирование КА МЗ с выбранными показателями и критериями (1), (2).

Решение такой задачи представляет собой сложную проблему методологического, научного и технологического характера, связанную с обоснованием путей реализации длительного функционирования КА МЗ с заданными ЦПЭ в изменяющихся условиях, в том числе при отказах БС.

### Методологический подход к выбору способа решения проблемы

Из анализа особенностей функционирования автоматических КА МЗ как сложной технической системы (СТС) можно выделить некоторое множество  $V$  вариантов решения этой проблемы. Тогда задача на этапе проектирования КА сводится к выбору из множества  $V$  наилучшего вари-

анта  $V^* \in V$  и соответствующих ему методов и средств реализации, которые обеспечивают решение задачи с заданными ЦПЭ  $Q = \{q_1, q_2, \dots, q_N\}$  на интервале  $T_{a,\phi} \geq T_{a,\phi}^3$ . Правило выбора  $P = P(T_{a,\phi}^3, Q, R)$  отражает концепцию достижения цели с учетом заданных ограничений  $R$  (4).

Обобщенная схема способов решения подобных задач, отработанных в практике создания СТС, представлена на рис. 1.

Первое направление базируется на свойстве надежности, которая в соответствии с ГОСТ 34.003–90 [5] представляет собой способность СТС выполнять требуемые функции в течение определенного промежутка времени в нормированных условиях эксплуатации. Она опирается в свою очередь на надежность (безотказность) структурных элементов СТС — аппаратных устройств и их комплектующих.

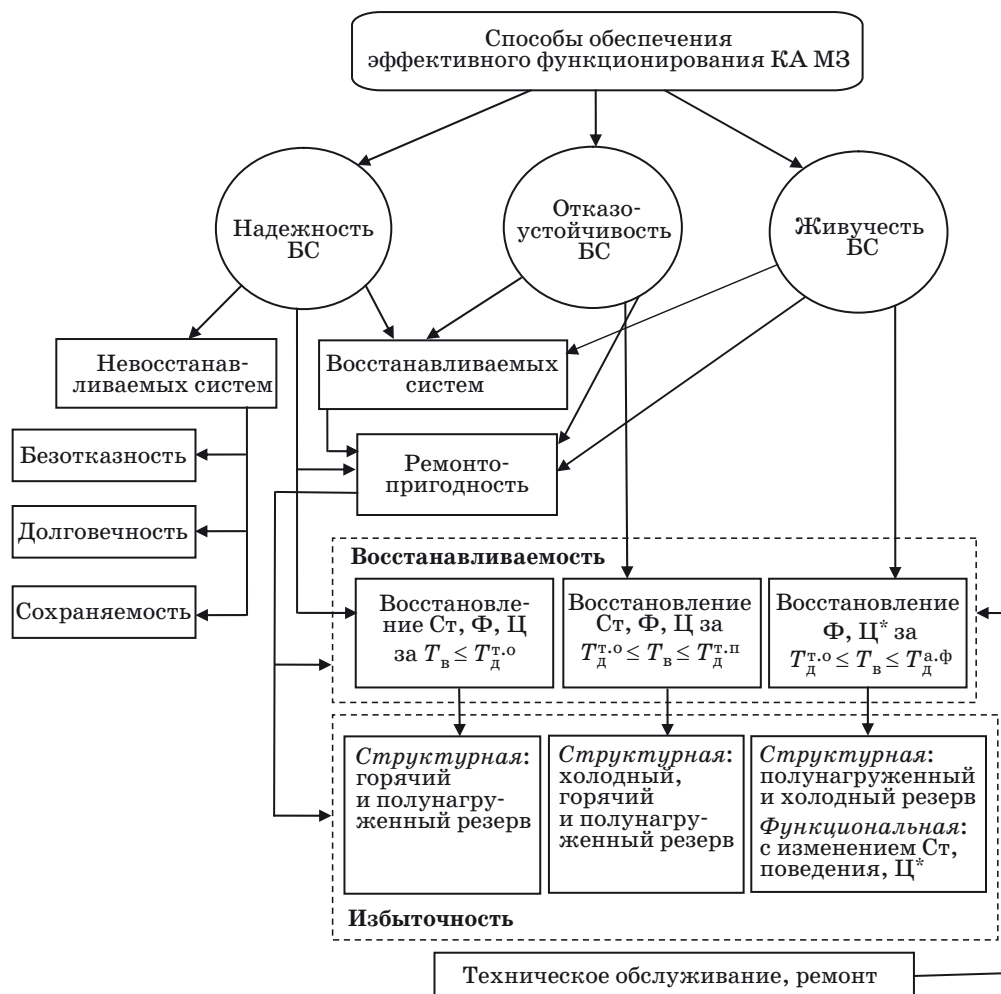
Этот путь достаточно полно изучен в теории надежности СТС и исследован на практике. Опре-

деленные трудности возникают с выбором электрорадиоэлементов при построении БА [1].

Для решения задач КА МЗ в условиях отказов систем применяются два принципиально различающихся подхода — восстановление КА после отказа системы (или ее компонента) и предотвращение отказа системы (отказоустойчивость).

Восстановление может быть прямым (без возврата к прошлому состоянию) и возвратным. Прямое восстановление основано на своевременном обнаружении отказа и устранении его последствий путем приведения системы из АС в работоспособное, причем за время, допустимое для сохранения текущего процесса. Такое восстановление возможно только для определенного набора заранее предусмотренных отказов и сбоев, обеспеченного соответствующими ресурсами.

В общем случае надежность, отказоустойчивость и живучесть СТС обеспечиваются за счет избыточности ресурсов, в первую очередь, струк-



■ Рис. 1. Модель обеспечения эффективного функционирования КА МЗ с заданными ЦПЭ: Ст, Ф, Ц — соответственно структура, функции, целевые показатели (Ц\* — допустимые эксплуатационно-технической документацией при отказах БС);  $T_в$ ,  $T_д^т.о$ ,  $T_д^т.п$ ,  $T_д^а.ф$  — длительности: восстановления, допустимые для технологической операции, технологического процесса и заданного значения  $T_{a,\phi}$

турных и функциональных. Структурная избыточность формируется путем введения в систему, наряду со штатно работающими элементами, ряда резервных, которые в нормальном режиме функционирования системы не используются (или используются с неполной нагрузкой) и вступают в работу лишь после отказа основных элементов. Причем резервные элементы по отношению к штатным могут пребывать в различных состояниях: в холодном резерве, горячем, полунатурном и др. От того, как используются избыточные элементы, зависят свойства СТС, уровень ее надежности, а также устойчивость функционирования или живучесть. Высокий уровень надежности СТС не гарантирует ее высокую живучесть.

Различие между надежностью, отказоустойчивостью и живучестью СТС вытекает из определения надежности как способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения [5, 6]. Следовательно, при АС, когда создаются условия, не предусмотренные эксплуатационно-технической документацией, и когда для сохранения работоспособности системы могут изменяться взаимосвязи ее структурных элементов, их функции и режимы работы, методы теории надежности не дают желаемого результата. В ряде частных случаев, когда длительность восстановления  $T_{\text{в}}$  отказавшего структурного элемента не превышает времени пребывания СТС в состоянии отказа  $T_{\text{д}}^{\text{т.о}}$ , допустимого по условиям сохранения параметров текущей технологической операции, т. е.  $T_{\text{в}} \leq T_{\text{д}}^{\text{т.о}}$ , такой отказ не приводит к нарушению работоспособности СТС. При этом надежность системы поддерживается за счет динамики процесса манипулирования резервами.

При малых значениях  $T_{\text{д}}^{\text{т.о}}$  такой эффект достижим при использовании только структурного резервирования, причем, по большей части, «горячего» резерва, так как введение в строй «холодного» приводит к затратам времени на его «разогрев», особенно в электромеханических системах (гироскопических), что далеко не всегда возможно без нарушения параметров выполняемой технологической операции и структуры системы. Применение в таких условиях функциональных резервов для поддержания надежности (как и отказоустойчивости) СТС практически невозможно, поскольку связано с изменением структуры системы и ее поведения.

Второй подход формируется на основе свойства отказоустойчивости БС, которое чаще всего определяется как способность системы сохранять свою работоспособность, выполняя заданные функции, или восстанавливаться после воздействия одного или нескольких сбоев и отказов компонентов, причем с сохранением и структуры,

и функций, и показателей системы. Отказоустойчивость может измеряться коэффициентом [6]

$$A = (T_{\text{м.о}} - (T_{\text{о.б}} + T_{\text{в}})) / T_{\text{м.о}},$$

где  $T_{\text{м.о}}$  — время между отказами;  $T_{\text{о.б}}$  — время, необходимое для обнаружения (выявления) отказа и выбора решения по восстановлению;  $T_{\text{в}}$  — время восстановления после отказа или сбоя.

Следовательно, в отличие от надежности свойство отказоустойчивости допускает возможность функционирования системы при отказах и сбоях с некоторыми потерями, определяемыми временем простоя и восстановления структуры и функций. Практическая его реализация также требует использования структурной избыточности элементов, обеспечивающей восстановление структуры системы и показателей за время  $T_{\text{д}}^{\text{т.о}} \leq T_{\text{в}} \leq T_{\text{д}}^{\text{т.п}}$ . По сути, отказоустойчивость является промежуточным свойством между надежностью и живучестью.

Третий подход базируется на свойстве живучести БС.

Для обеспечения этого свойства пригодны все формы избыточности (структурная, функциональная, информационная, временная), поскольку допускается возможность изменения не только структуры и поведения СТС, но и ее показателей в пределах, устанавливаемых эксплуатационно-технической документацией [6].

Таким образом, живучесть связана с необходимостью поддержания в заданных пределах ЦПЭ на всех этапах жизненного цикла изделия для всех режимов функционирования СТС при возникновении ситуаций, не предусмотренных условиями нормальной эксплуатации. Живучесть более характерна для СТС с длительным сроком эксплуатации, а также человекомашинных систем: телекоммуникационных и энергетических сетей, подводных лодок, электростанций, космических систем.

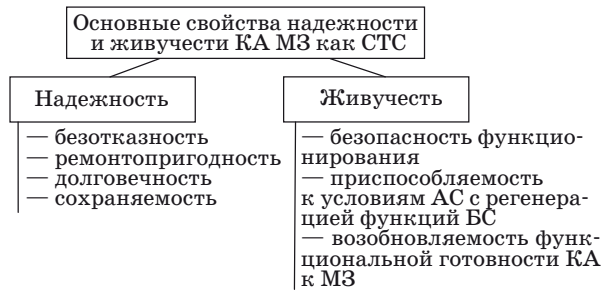
### Свойства живучести КА МЗ

В ГОСТ [5, 6] регламентируются основные свойства, определяющие надежность, но свойства, определяющие живучесть СТС, отсутствуют. В соответствии с этим ставится задача: на основе анализа ЦПЭ КА МЗ, решения оптимизационных задач выбора проектных параметров КА выделить свойства, определяющие живучесть КА МЗ, единичные и комплексные показатели живучести КА, критерии и области живучести КА, а также принципы построения бортовой системы управления живучестью КА в АС [2].

Основные факторы, снижающие живучесть КА МЗ, и принципы нейтрализации их воздействия, положенные в основу построения системы управления живучестью КА (СУЖ КА), приведе-



■ Рис. 2. Основные дестабилизирующие факторы и принципы нейтрализации их воздействия: ГКЛ — галактические космические лучи; СКЛ — солнечные космические лучи; ИС — интегральная схема; ОЭП — оптико-электронный преобразователь; ФЭП — фотоэлектрический преобразователь; БПО — бортовое программное обеспечение



■ Рис. 3. Основные свойства надежности и живучести КА

ны на рис. 2. Для сравнения представлены основные свойства, определяющие надежность и живучесть (рис. 3).

Так, для невозстанавливаемых систем свойства живучести и отказоустойчивости обеспечиваются за счет свойства надежности, которое включает в себя безотказность, долговечность и сохраняемость.

Для восстанавливаемых систем надежность, отказоустойчивость и живучесть базируются на свойстве ремонтпригодности, которое в свою очередь опирается на избыточность технических средств (ресурсов), а также на техническое обслуживание и ремонт.

### Показатели и критерии живучести при построении СУЖ КА

Рассмотрим основные свойства живучести КА МЗ и их место при поддержании функциональной готовности КА МЗ и реализации СУЖ КА.

Функциональная готовность КА МЗ — это способность поддерживать потенциальные возможности целевого функционирования при всех условиях полета, включая АС.

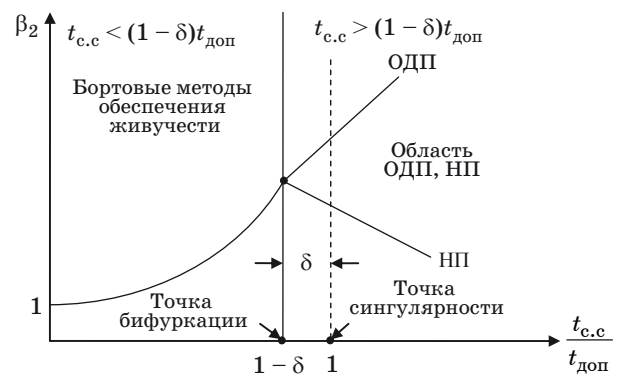
Для исключения возможности попадания системы в область катастрофического развития АС, характеризующейся большой степенью неопределенности с появлением каскада бифуркаций, в СУЖ необходимо предусматривать переход к заранее подготовленным устойчивым состояниям КА, в которых исключается возможность нежелательного развития АС.

В качестве таких состояний можно рассматривать переход в ОДП (ориентированный дежурный полет) и НП (неориентированный полет). Переход в ОДП и НП должен проводиться не в точке сингулярности, а несколько «левее» ее на величину  $\delta$  — в точке бифуркации. Для случая двух временных факторов положение точек показано на рис. 4.

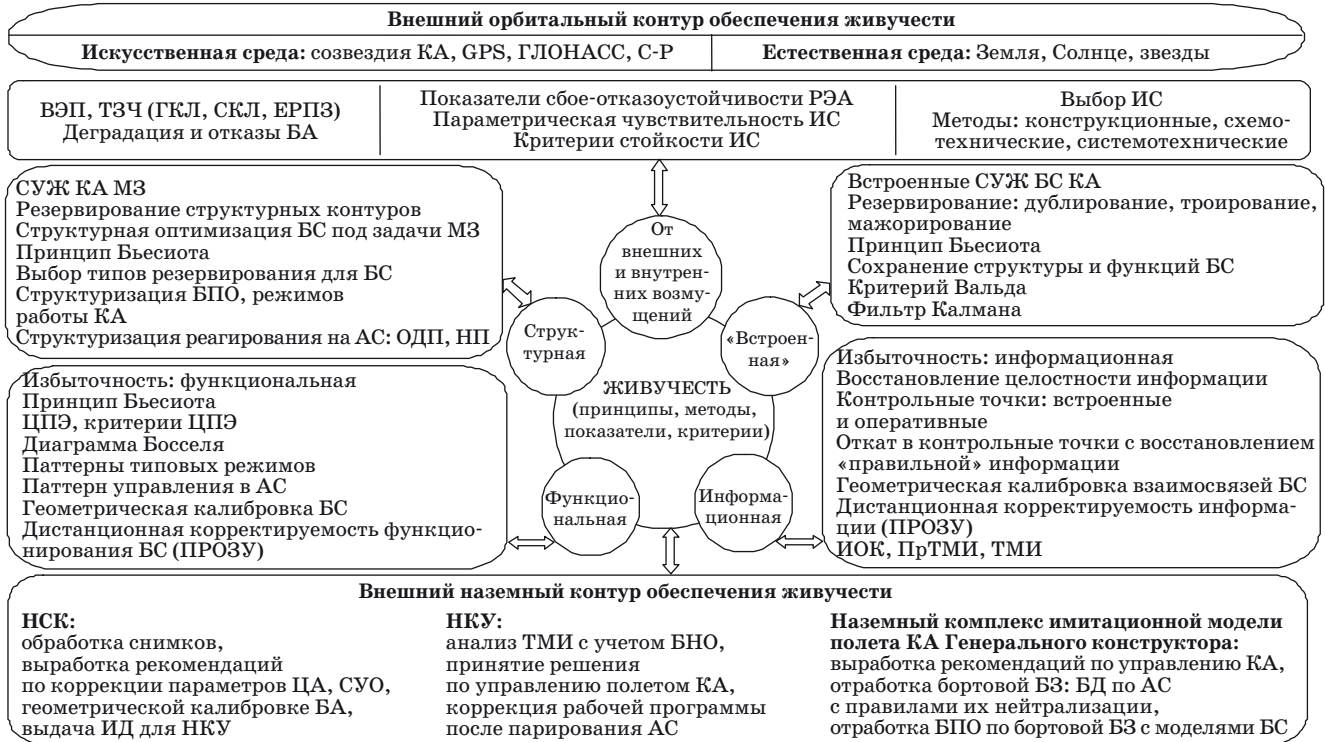
Режимы ОДП и НП реализуются как с использованием бортовых алгоритмов «встроенной самоорганизации», так и с привлечением наземного комплекса управления (НКУ).

Критерии автономности низкоорбитальных КА МЗ детально описаны в работе [7].

Для реализации принципа целостности информации, используемой для поддержания функциональной готовности КА МЗ (которая нарушается из-за аппаратных сбоев и отказов, а также программных ошибок), в бортовой базе знаний СУЖ предусматривается набор решающих правил, приводящих к восстановлению на регистрах вычислительных устройств «правильной информации». Это либо заранее подготовленный фиксированный набор данных, хранящихся в бортовой базе, либо оперативно подготавливаемый в реальном масштабе времени в ходе управления КА. Восстановление целостности информации осуществляется путем «отка-



■ Рис. 4. Области режимов СУЖ:  $t_{c.c.}$ ,  $t_{доп}$  — время скрытого и допустимого состояния отказа соответственно



**Рис. 5.** Принципы диагностики АС, критерии и схемы взаимодействия компонентов СУЖ КА: ПРОЗУ — программа, выполняемая из оперативного запоминающего устройства; ИОК — информация оперативного контроля; ТМИ — телеметрическая информация; ПрТМИ — программная ТМИ; БЗ — база знаний; БД — база данных; БНО — баллистико-навигационное обеспечение; ЦА — целевая аппаратура; СУО — система управления ориентацией; ИД — исходные данные



**Рис. 6.** Схемы обеспечения живучести КА МЗ на всех этапах жизненного цикла: ЛКИ — лётно-конструкторские испытания; БКУ — бортовой комплекс управления; НОК — наземный отлабочный комплекс; ППИ — пункт приема информации

та» процесса не в его начало, а в последнее из запомненных «правильных состояний». В случае реализации режимов ОДП и НП предусматривается возможность дистанционной коррекции бортовой базы данных [2].

Принципы диагностики АС и схемы взаимодействия компонентов системы управления живучестью КА с внешними контурами управления полетом (орбитальным и наземным) представлены на рис. 5, схемы обеспечения живучести КА МЗ на различных этапах жизненного цикла — на рис. 6.

### Заключение

Обеспечение потенциальной способности КА МЗ к эффективному функционированию на всех этапах полета является наукоемким процессом, который накладывает особые требования на управление КА в АС. Предложенный подход позволяет формировать основные свойства, характеризующие живучесть КА МЗ, и принципы управления техническим состоянием БС в целях оперативной нейтрализации АС с последующим восстановлением целевого функционирования КА МЗ.

### Литература

1. Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В. Проблемы обеспечения сбое-отказоустойчивости бортовой аппаратуры КА дистанционного зондирования Земли от воздействия излучений космического пространства // Мехатроника, автоматизация, управление. 2009. № 11. С. 72–78.
2. Кирилин А. Н., Ахметов Р. Н., Соллогуб А. В., Макаров В. П. Методы обеспечения живучести низкоорбитальных КА зондирования Земли. — М.: Машиностроение, 2010. — 384 с.
3. Соллогуб А. В., Аншаков Г. П., Данилов В. В. Космические аппараты систем зондирования поверхности Земли. Математические модели повышения эффективности КА. — М.: Машиностроение, 1993. — 368 с.
4. Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В. Критериальный подход к управлению живучестью автоматических КА ДЗЗ // Полет. 2010. № 6. С. 24–29.
5. ГОСТ 34.003–90 Комплекс стандартов на автоматизированные системы. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1990. — 23 с.
6. ГОСТ 27.002–89 Надежность в технике. Основные понятия. Термины и определения. — М.: Изд-во стандартов, 1989. — 37 с.
7. Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В. Оценка автономности низкоорбитальных КА дистанционного зондирования Земли // Полет. 2009. № 10. С. 7–14.

### УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

Российская универсальная национальная электронная библиотека (РУНЭБ) начала реализацию проекта SCIENCE INDEX. После того как Вы регистрируетесь на сайте РУНЭБ (<http://elibrary.ru/defaultx.asp>), будет создана Ваша личная страничка, содержание которой составят не только Ваши персональные данные, но и перечень всех Ваших печатных трудов, имеющих в базе данных РУНЭБ, включая диссертации, патенты и тезисы к конференциям, а также сравнительные индексы цитирования: РИНЦ (Российский индекс научного цитирования), h (индекс Хирша) от Web of Science и h от Scopus. После создания базового варианта Вашей персональной страницы Вы получите код доступа, который позволит Вам редактировать информацию, в том числе добавлять публикации, которых нет в базе данных РУНЭБ, помогая создавать максимально объективную картину Вашей научной активности и цитирования Ваших трудов.



УДК 681.5

## ЛОГИЧЕСКИЙ МЕТОД ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ КОНТРЕФЛЕКТОРА

**В. Г. Курбанов,**

канд. физ.-мат. наук, старший научный сотрудник

**А. Е. Городецкий,**

доктор техн. наук, профессор

Институт проблем машиноведения РАН, г. Санкт-Петербург

Предложен способ, который позволяет сводить исходные системы в форме системы логических уравнений к линейным системам алгебраических уравнений в форме, известной как линейные последовательностные машины. Это дает возможность привести поиск оптимального управления контррефлектора к задаче математического программирования.

**Ключевые слова** — контррефлектор, логический анализ, электропривод, линейные последовательностные машины.

### Введение

Космический телескоп обсерватории «Миллиметрон» диаметром 12 м предназначен для исследования различных объектов Вселенной в миллиметровом и инфракрасном диапазонах (от 20 мкм до 20 мм) как с ультравысокой чувствительностью (режим одиночного телескопа), так и со сверхвысоким угловым разрешением (в режиме интерферометра — до десятков миллиардных долей угловой секунды).

Высокая чувствительность достигается за счет теплового экранирования антенны и глубокого охлаждения телескопа и приемной аппаратуры с помощью криогенной установки. Высокое угловое разрешение может обеспечиваться за счет использования адаптивного управления элементами зеркальной системы и, в частности, положением контррефлектора (КР). В последнем случае предполагается, что КР радиотелескопа имеет шесть степеней свободы и систему электроприводов, работающих при температуре 4 К, для обеспечения согласования его линейного и углового положения с положением основного зеркала.

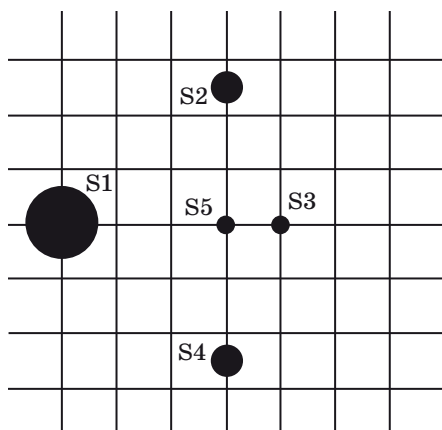
Создание системы автоматического управления положением КР (САУ-КР) охлаждаемого космического радиотелескопа представляет собой сложную проблему, связанную, прежде всего, с необходимостью решать задачи высокоточного управления и измерения в условиях сверхнизких

температур и вакуума, для чего сначала необходимо разработать простой и надежный алгоритм управления электроприводами КР.

### Схема измерения положения контррефлектора

Одной из наиболее очевидных схем измерения положения КР может быть следующая. На отражающей поверхности КР устанавливают пять полупроводниковых светодиодов  $s_1-s_5$ , из которых четыре ( $s_1-s_4$ ) располагают симметрично (по осям  $X$  и  $Y$ ) по краям отражающей поверхности КР и один, контрольный ( $s_5$ ) — в основании отражающей поверхности КР. По ходу лучей перед фокусом располагают поворотное зеркало, поворачивающее в процессе измерения лучи от лазеров на угол  $90^\circ$  относительно фокальной плоскости. В процессе приема сигналов от источников радиоизлучения поворотное зеркало размещают перпендикулярно фокальной плоскости. Далее за поворотным зеркалом по ходу лучей устанавливают автоколлиматор (АК). В этом случае при правильном расположении КР на ПЗС-матрице получается симметричная картинка из пяти одинаковых по площади пятен (идеальная или исходная). При разных смещениях КР (изменении угла наклона КР, перемещении в плоскости  $XY$ ) расположение и площади пятен изменяются (рис. 1).

Поэтому для решения задачи коррекции положения КР будем отслеживать изменения положе-

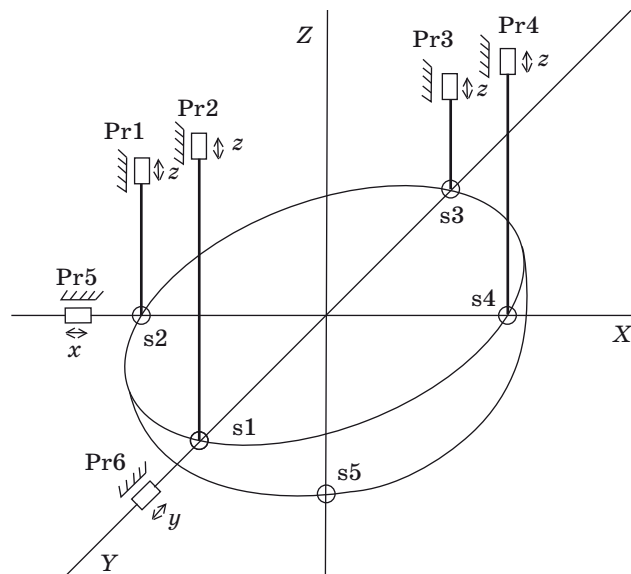


■ Рис. 1. Расположение и площади пятен

ния и размеров пятен засветки на ПЗС-матрице. Можно составить таблицу, где будут учитываться перемещения в плоскости XY (плоскость матрицы) и площадь пятен. Составим эту таблицу для единичных перемещений КР с пятью степенями свободы для пятен S1–S5 (табл. 1).

Логический анализ изображения на ПЗС-матрице позволит выработать управляющие воздействия на линейные электроприводы Pr1–Pr6 (рис. 2), обеспечивающие перемещение КР в требуемое положение.

Расположение приводов Pr1–Pr6, обеспечивающих 6 степеней свободы КР радиотелескопа, а также расположение поверочных источников s1–s5 показано на рис. 2. Примем также допуще-



■ Рис. 2. Схема расположения приводов и источников излучения

ние, что источники точечные, размер матрицы меньше отражающей поверхности КР и расстояния от нее до источников s1, s2, s3, s4 равны.

**Алгоритм управления положением контррефлектора**

Поскольку управляющие сигналы должны быть закодированы бинарно, расширим таблицу так, чтобы для каждого возможного изменения

■ Таблица 1

Возможные отклонения пятен															Управляющие воздействия на привод						Состояние КР
S1			S2			S3			S4			S5			Pr1	Pr2	Pr3	Pr4	Pr5	Pr6	
x	y	D	x	y	D	x	y	D	x	y	D	x	y	D							
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	Исходное
1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	Сдвиг по X+
-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	-	0	Сдвиг по X-
0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	0	-	0	Сдвиг по Y+
0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	0	0	0	0	1	Сдвиг по Y-
0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	0	0	1	-	-	-	-	0	0	Сдвиг по Z+
0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	0	0	-	1	1	1	1	0	0	Сдвиг по Z-
0	-	1	0	-	1	0	-	-	0	-	1	0	-	1	0	-	1	0	0	0	Вращение вдоль X ПЧС
0	1	-	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	1	-	0	0	0	Вращение вдоль X ПрЧС
1	0	1	1	0	1	1	0	1	1	0	-	1	0	1	-	0	0	1	0	0	Вращение вдоль Y ПЧС
-	0	1	-	0	-	-	0	1	-	0	1	-	0	1	1	0	0	-	0	0	Вращение вдоль Y ПрЧС

Примечание. 1 — смещение КР в сторону положительной оси, движение привода на себя; - смещение КР в отрицательную сторону оси, движение привода от себя; D — площадь пятна; ПЧС — поворот по часовой стрелке; ПрЧС — поворот против часовой стрелки.

состояния переменных ( $x, y, D$ ) каждого пятна была одна бинарная переменная  $x_i$ . По три состояния каждого привода также должны быть закодированы тремя бинарными переменными  $y_i$ . Переходим к новым переменным (табл. 2).

Составим правила-продукты (табл. 3).

Вместо  $A$  выступают логические переменные  $x_1...x_{48}$  (между переменными — знак логическое «И»), описывающие возможные отклонения пятен на ПЗС-матрице, которая соответствует положению КР (изменение угла наклона КР, перемещение в плоскости  $XU$ ). Вместо  $B$  выступают логические переменные  $y_1...y_{18}$  (между переменными — знак логическое «И»), описывающие управляющие воздействия на приводы  $Pr_1...Pr_6$ , действия которых вызывают сдвиг КР, в результате чего КР возвращается в исходное состояние.

Используя эквивалентность импликации  $A \rightarrow B$  формуле  $\neg A \vee B$  в булевой алгебре, из этих правил получаем систему логических уравнений.

Используя метод из работы [1], систему логических уравнений сведем к системе

$$AS = b, \quad (*)$$

где  $A$  — прямоугольная двоичная матрица размерности  $[n \times m]$ ,  $n > m$ ;  $S$  — фундаментальный вектор (вектор-строка) логической системы размерности  $n$ ;  $b$  — двоичный вектор (вектор размерности  $n$ ).

Метод [1] позволяет сводить исходные системы в форме конечных автоматов к линейным системам алгебраических уравнений в форме, известной как линейные последовательностные машины [2]. Это позволяет перейти от имитационных методов исследования к аналитическим методам линейной алгебры по модулю 2. В этом случае эксперименты над моделями не проводятся. Численные оценки определяются бесспорными способами, а результаты представляются в аналитической форме. Представление моделей в форме линейных последовательностных машин имеет принципиальное значение, так как позволяет задачи, для которых неизвестно решение за полиномиальное время, привести к задачам, для которых известны эффективные алгоритмы решения. Линеаризация систем уравнений логического типа, содержащих конъюнкции из компонент вектора состояний, позволяет за счет его расширения упорядочить причинно-следственные связи в комбинаторных задачах математического программирования и сравнительно просто определить их сложность, а также оценить логическую замкнутость и непротиворечивость исходной нелинейной системы логических уравнений.

■ Таблица 2

Объект — переменная — состояние	Новая переменная
$S1(S2, S3, S4, S5) - x - 0$	$x1(x10, x19, x28, x37)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - x -$	$x2(x11, x20, x29, x38)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - x - 1$	$x3(x12, x21, x30, x39)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - y - 0$	$x4(x13, x22, x31, x40)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - y -$	$x5(x14, x23, x32, x41)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - y - 1$	$x6(x15, x24, x33, x42)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - D - 0$	$x7(x16, x25, x34, x43)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - D -$	$x8(x17, x26, x35, x44)$
$S1(S2, S3, S4, S5) - - 1$	$x9(x18, x27, x36, x45)$
$Pr1(Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6) - 0$	$y1(y4, y7, y10, y13, y16)$
$Pr1(Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6) -$	$y2(y5, y8, y11, y14, y17)$
$Pr1(Pr2, Pr3, Pr4, Pr5, Pr6) - 1$	$y3(y6, y9, y12, y15, y18)$

■ Таблица 3

Правила-продукты вида «Если $A$ , то $B$ »	Действия $Pr_1...Pr_6$
Если $x1x4x7x10x13x16x19x22x25x28x31x34x37x40x43$ , то $y1y4y7y10y13y16$	Исходное (нет сдвигов КР)
Если $x3x4x7x12x13x16x21x22x25x30x31x34x39x40x43$ , то $y1y4y7y10y15y16$	Сдвиг по $X$ в положительную сторону
Если $x2x4x7x11x13x16x20x22x25x29x31x34x38x40x43$ , то $y1y4y7y10y14y16$	Сдвиг по $X$ в отрицательную сторону
Если $x1x6x7x10x15x16x19x24x25x28x33x34x37x42x43$ , то $y1y4y7y10y13y17$	Сдвиг по $Y$ в положительную сторону
Если $x1x5x7x10x14x16x19x23x25x28x32x34x37x41x43$ , то $y1y4y7y10y13y18$	Сдвиг по $Y$ в отрицательную сторону
Если $x1x4x9x10x13x18x19x22x27x28x31x36x37x40x45$ , то $y2y5y8y11y13y16$	Сдвиг по $Z$ в положительную сторону
Если $x1x4x8x10x13x17x19x22x26x28x31x35x37x40x44$ , то $y3y6y9y12y13y16$	Сдвиг по $Z$ в отрицательную сторону
Если $x1x5x9x10x14x18x19x23x26x28x32x36x37x41x45$ , то $y1y5y9y10y13y16$	Вращение вдоль $X$ ПЧС
Если $x1x6x8x10x15x18x19x24x27x28x33x36x37x42x45$ , то $y1y6y8y10y13y16$	Вращение вдоль $X$ ПрЧС
Если $x3x4x9x12x13x18x21x22x27x30x31x35x39x40x45$ , то $y2y4y7y12y13y16$	Вращение вдоль $Y$ ПЧС
Если $x2x4x9x11x13x17x20x22x27x29x31x36x38x40x45$ , то $y3y4y7y11y13y16$	Вращение вдоль $Y$ ПрЧС

Можно поставить оптимизационную задачу следующим образом: минимизировать время, затраченное на приведение КР на исходное состояние при ограничениях на мощность электроприборов и связь в виде (\*). В результате получается задача математического программирования, аналогичная задаче линейного программирования, но в алгебре по модулю 2 [3].

### Заключение

Логический анализ изображений реперных источников излучения, располагаемых на КР, на ПЗС-матрице, помещаемой в точку приема радиоизлучения, позволяет формировать сигналы управления положением КР.

Сведение исходных систем логических уравнений к форме линейных последовательностных машин позволяет свести поиск оптимального управления КР к задаче математического про-

граммирования, аналогичной задаче линейного программирования, но в алгебре по модулю 2.

### Литература

1. Дубаренко В. В., Курбанов В. Г. Метод приведения систем логических уравнений к форме линейных последовательностных машин // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2009. № 4. С. 37–41.
2. Гилл А. Линейные последовательностные машины. — М.: Наука, 1974. — 288 с.
3. Городецкий А. Е., Тарасова И. Л. Нечеткое математическое моделирование плохо формализуемых процессов и систем. — СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2010. — 336 с.

### Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2009 гг. в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>) и на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2009 гг. Вы можете заказать в редакции по льготной цене.

Журнал «Информационно-управляющие системы» выходит каждые два месяца. Стоимость годовой подписки (6 номеров) для подписчиков России — 3600 рублей, для подписчиков стран СНГ — 4200 рублей, включая НДС 18 % и почтовые расходы.

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья) вы можете подписаться на сайте РУНЭБ (<http://www.elibrary.ru>).

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу:

«Роспечать»: № 48060 — годовой индекс, № 15385 — полугодовой индекс,

а также через посредство подписных агентств:

«Северо-Западное агентство „Прессинформ“»

Санкт-Петербург, тел.: (812) 335-97-51, 337-23-05, эл. почта: [press@crp.spb.ru](mailto:press@crp.spb.ru), [zajavka@crp.spb.ru](mailto:zajavka@crp.spb.ru),

сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-Периодика» (РФ + 90 стран)

Москва, тел.: (495) 681-91-37, 681-87-47, эл. почта: [export@periodicals.ru](mailto:export@periodicals.ru), сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Москва, тел.: (495) 787-38-73, эл. почта: [Alfimov@viniti.ru](mailto:Alfimov@viniti.ru), сайт: <http://www.informnauka.com>

«Гал»

Москва, тел.: (495) 603-27-28, 603-27-33, 603-27-34, сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>

«ИНТЕР-ПОЧТА-2003»

Москва, тел.: (495) 500-00-60, 580-95-80, эл. почта: [interpochta@interpochta.ru](mailto:interpochta@interpochta.ru), сайт: <http://www.interpochta.ru>

Краснодар, тел.: (861) 210-90-00, 210-90-01, 210-90-55, 210-90-56, эл. почта: [krasnodar@interpochta.ru](mailto:krasnodar@interpochta.ru)

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: [podpiska@delpress.ru](mailto:podpiska@delpress.ru), сайт: <http://delpress.ru/contacts.html>

«Коммерсант-Курьер»

Казань, тел.: (843) 291-09-99, 291-09-47, эл. почта: [kazan@komcur.ru](mailto:kazan@komcur.ru), сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan/>

«Урал-Пресс» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«Идея» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«ВТЛ» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html>

и др.

УДК 629.7.0

## ПРОГНОЗИРУЮЩИЕ АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ ДИНАМИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

**В. А. Погонин,**

доктор техн. наук, профессор

**П. М. Оневский,**

канд. техн. наук, доцент

**А. А. Третьяков,**

канд. техн. наук, доцент

**А. М. Иванов,**

аспирант

Тамбовский государственный технический университет

Предложены алгоритмы терминального управления нелинейными динамическими объектами, использующие методы математического программирования для поиска оптимального решения. Благодаря применению прогнозирующих моделей, включающих наряду с моделями объектов уравнения чувствительности, задача оптимального управления сводится к задаче на условный экстремум функции нескольких переменных.

**Ключевые слова** — оптимальное управление, прогнозирующая модель.

### Введение

При решении задач оптимального управления методами математического программирования возникают трудности, связанные с поиском экстремума функций при огромном количестве переменных и ограничений. В соответствии с традиционной используемой методикой при формулировании задачи оптимального управления в виде задачи математического программирования каждая скалярная компонента вектора состояния или управления рассматривается для каждого дискретного момента времени как особая переменная. При этом число таких переменных и соответствующих ограничений увеличивается с увеличением количества временных интервалов дискретизации при описании показателя качества и модели объекта в дискретной форме и в пределе стремится к бесконечности [1]. Увеличение размерности задачи снижает точность вычислений и увеличивает время поиска оптимального решения, что затрудняет использование разрабатываемых алгоритмов управления на практике, особенно при их реализации в реальном масштабе времени.

Использование прогнозирующих моделей для описания поведения объекта в будущем и для определения чувствительности компонент его

вектора состояния к управляющим воздействиям позволяет заменить решение задачи математического программирования в традиционной постановке на последовательность более простых, т. е. с меньшим количеством переменных и ограничений, задач математического программирования. Это даст возможность разработать алгоритмы терминального управления нелинейными объектами, способные функционировать в реальном масштабе времени.

### Алгоритм управления конечным состоянием объекта

Пусть объект управления описывается уравнением

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{U}, t), \quad \mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0, \quad (1)$$

где  $\mathbf{X}(t) = [x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$  — вектор состояния;  $\mathbf{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$  — вектор управляющих функций,  $m \leq n$ ;  $\mathbf{X}_0 = [x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0)]^T$  — вектор начальных условий;  $\mathbf{f} = [f_1, f_2, \dots, f_n]^T$  — дифференцируемая по всем аргументам нелинейная вектор-функция.

Требуется перевести объект (1) из начального состояния  $\mathbf{X}(t_0)$  в конечное состояние  $\mathbf{X}_T(t_1)$ , причем требования на конечное состояние могут на-

кладываться не на все компоненты, а на  $r \leq n$  компонент вектора  $\mathbf{X}$ . Предполагается также, что система (1) управляема по этим  $r$  фазовым координатам. Каких-либо дополнительных требований к траектории  $\mathbf{X}(t)$  в процессе движения объекта (1) в конечное состояние  $\mathbf{X}_T(t_1)$  не предъявляется.

Вектор управлений зададим в виде

$$\mathbf{U}(t) = \mathbf{U}(\mathbf{S}, t), \quad (2)$$

где  $\mathbf{S} = [s_1, s_2, \dots, s_k]^T$  —  $k$ -мерный вектор настраиваемых параметров,  $k \geq m$ .

Компоненты вектора  $\mathbf{U}(t)$

$$u_j(t) = u_j(\mathbf{S}_j, t), \quad j = \overline{1, m}, \quad (3)$$

где  $\mathbf{S}_j \subseteq \mathbf{S}$ ,  $\mathbf{S}_j \neq \mathbf{S}_v$  при  $j \neq v$ ,  $v = \overline{1, m}$ , т. е. множество компонент вектора параметров  $\mathbf{S}$  разбито на  $m$  непересекающихся подмножеств  $\mathbf{S}_j$ .

Функции (3) могут выбираться в достаточной мере произвольно, однако они должны быть дифференцируемы по своим аргументам. Например, возможно их задание в виде

$$u_j(t) = u_j^{\text{оп}}(s_1 t + s_2)(1 + s_3 + s_4 t), \quad (4)$$

где  $u_j^{\text{оп}}(t)$  — опорные управления, получаемые с использованием известных методов оптимального управления, например принципа максимума, для номинального режима функционирования объекта [2]. Таким образом, функции  $u_j^{\text{оп}}(t)$  определяют качество процесса управления и удовлетворение технологическим и техническим ограничениям в определенных пределах в процессе движения объекта к конечной точке. Настраиваемые параметры  $s_j$  в (4) играют роль модулирующих функций, деформируя опорные управления по частоте ( $s_1$ ), фазе ( $s_2$ ), амплитуде ( $s_3$ ) и углу наклона к оси времени ( $s_4$ ). Таким образом, с помощью соответствующего выбора настраиваемых параметров  $s_j$  можно найти такой вектор управляющих функций  $\mathbf{U}(t)$ , который бы перевел систему (1) из начального состояния  $\mathbf{X}_0$  в конечное  $\mathbf{X}_T$ . При этом в ограниченной области изменения начальных и конечных условий получаемые траектории близки к оптимальным в том смысле, в каком были получены опорные управления  $u_j^{\text{оп}}(t)$ .

Управление объектом (1) представляет собой итеративный процесс. На каждом цикле коррекции траектории путем прогнозирования определяются отклонения реализуемых конечных значений вектора  $\mathbf{X}(t_1)$  от заданных  $\mathbf{X}_T$ , на основе которых вычисляются поправки к вектору настраиваемых параметров  $\mathbf{S}$ .

Рассмотрим решение системы (1) с управлением (2). Так как при реализации траектории  $\mathbf{X}(t, t_0, \mathbf{U}(\mathbf{S}, t), \mathbf{X}_0)$  начальные условия в точке  $t = t_0$  уже выбраны и не варьируются, полагаем, что  $\mathbf{X}(t, t_0, \mathbf{U}(\mathbf{S}, t), \mathbf{X}_0) = \mathbf{X}(t, \mathbf{U}(\mathbf{S}, t))$ .

Потребуем, чтобы в некоторый момент времени  $t$  выполнялось равенство  $\mathbf{X}(t, \mathbf{U}(\mathbf{S}, t)) = \mathbf{X}_T$ . Линеаризуя левую часть данного равенства в окрестности точки  $(\mathbf{S}^p, t_1)$ , где  $\mathbf{S}^p$  — значение вектора параметров, полученное на  $p$ -й итерации;  $t_1$  — фиксированный момент времени,  $t_1 > t_0$ , имеем

$$\mathbf{X}(t_1, \mathbf{U}(\mathbf{S}^p, t_1)) + \frac{\partial \mathbf{X}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{S}} \Big|_{\mathbf{S}=\mathbf{S}^p}^{t=t_1} \Delta \mathbf{S} + \frac{\partial \mathbf{X}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial t} \Big|_{\mathbf{S}=\mathbf{S}^p}^{t=t_1} \Delta t + \frac{\partial \mathbf{X}}{\partial t} \Big|_{\mathbf{S}=\mathbf{S}^p}^{t=t_1} \Delta t = \mathbf{X}_T. \quad (5)$$

Выражение (5) может быть использовано для определения поправок  $\Delta \mathbf{S}$  к вектору  $\mathbf{S}^p$  и поправок  $\Delta t$  к длине интервала прогнозирования для случая, когда время управления жестко не фиксировано или неизвестно.

Подставляя  $t = t_1$  в выражение (5), получим уравнение для вычисления поправок  $\Delta \mathbf{S}$  для случая фиксированного конечного момента времени:

$$\frac{\partial \mathbf{X}}{\partial \mathbf{U}} \frac{\partial \mathbf{U}}{\partial \mathbf{S}} \Big|_{\mathbf{S}=\mathbf{S}^p}^{t=t_1} \Delta \mathbf{S} - (\mathbf{X}_T - \mathbf{X}(t_1)) = 0, \quad (6)$$

где  $\mathbf{X}(t_1) = \mathbf{X}(t_1, \mathbf{U}(\mathbf{S}^p, t_1))$ , или в скалярной форме

$$\sum_{j=1}^k a_{ij}^p \Delta s_j - b_i^p = 0, \quad i = \overline{1, r}, \quad (7)$$

где  $a_{ij}^p = \sum_{k=1}^m \frac{\partial x_i}{\partial u_k} \frac{\partial u_k}{\partial s_j} \Big|_{\mathbf{s}=\mathbf{s}^p}^{t=t_1}$  — чувствительность переменной  $x_i$  по параметру  $s_j$ ;  $\Delta s_j$  — поправка к  $j$ -му настраиваемому параметру;  $b_i^p = x_{iT} - x_i(t_1)$  — невязка по  $i$ -й управляемой переменной на  $p$ -й итерации.

В уравнении (7) вошли  $r$  компонент вектора состояния  $\mathbf{X}$ , на которые наложены требования в конечной точке  $t = t_1$ .

При  $r = k$  система (7) представляет собой систему из  $k$  линейных алгебраических уравнений относительно неизвестных поправок  $\Delta s_j$ ,  $j = \overline{1, k}$ . Решая систему (7) относительно  $\Delta s_j$ , производим уточнение вектора параметров  $\mathbf{S}$  по формуле

$$\mathbf{S}^{p+1} = \mathbf{S}^p + \mathbf{\Gamma} \Delta \mathbf{S}^p, \quad (8)$$

где  $\mathbf{\Gamma}$  — симметричная ( $k \times k$ ) матрица, характеризующая величину шага;  $p$  — номер итерации на каждом цикле коррекции траектории.

Выбирая соответствующим образом элементы матрицы  $\mathbf{\Gamma}$ , можно реализовать тот или иной алгоритм спуска к искомому  $\mathbf{S}$ .

Уравнения (6) или (7) могут также использоваться для вычисления поправок  $\Delta s_j$  и для случая, когда время управления жестко не фиксиро-

вано. Это возможно, если контроль за остановом процесса интегрирования при прогнозировании осуществлять по достижению какой-либо монотонно изменяющейся координаты  $x_i$  вектора  $\mathbf{X}$  своего заданного значения  $x_{iT}$ . Это более эффективный способ, чем находить искомые поправки из уравнения (5).

Выражения для частных производных  $\frac{\partial u_k}{\partial s_j}$  в (7) известны и определяются видом управляющих функций (3). Производные  $\frac{\partial x_i}{\partial u_k}$  являются функциями чувствительности параметров траектории  $x_i$  по управлениям  $u_k$  и определяются из решения соответствующих уравнений чувствительности [3]:

$$\dot{\mathbf{Z}}(t) = \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{X}} \mathbf{Z}(t) + \frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{U}}, \quad \mathbf{Z}(t_0) = \mathbf{0}, \quad (9)$$

где  $\mathbf{Z} = \frac{\partial \mathbf{X}}{\partial \mathbf{U}}$  —  $(n \times m)$  матрица чувствительности;  $\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{X}}$ ,  $\frac{\partial \mathbf{f}}{\partial \mathbf{U}}$  — матрицы Якоби размерности соответственно  $(n \times n)$  и  $(n \times m)$ .

Использование уравнений чувствительности резко сокращает число прогнозов по сравнению со случаем, если бы частные производные системы (7) определялись численным дифференцированием, а также повышает точность определения поправок  $\Delta s_j$ .

Таким образом, для организации управления объектом (1) на каждом цикле коррекции траектории необходимо совместно интегрировать уравнения модели (1) и уравнения чувствительности (9), затем, используя выражения (7) и (8), определять уточненные значения вектора параметров  $\mathbf{S}$ . Количество прогнозов (итераций) зависит от требуемой точности, выбранного начального приближения  $\mathbf{S}^0$  и уровня возмущений, действующих на объект (1). Вариант реализации данного алгоритма представлен в работе [4].

### Алгоритм оптимального управления нелинейным объектом при отсутствии ограничений на управления

Решим задачу, рассмотренную выше, при дополнительных требованиях, предъявляемых к управляемому процессу, в виде минимизации некоторого показателя качества:

$$J(\mathbf{S}) = \int_{t_0}^{t_1} f_0(\mathbf{X}(t), \mathbf{U}(\mathbf{S}, t)) dt, \quad (10)$$

где  $f_0(\mathbf{X}, \mathbf{U})$  — дифференцируемая скалярная функция векторных аргументов, отражающая мгновенные потери качества.

Требуется с помощью управления (2) перевести объект (1) из начального состояния  $\mathbf{X}_0$  в конечное  $\mathbf{X}_T$  за время  $t_1 - t_0$  и при этом обеспечить минимизацию показателя качества (10).

В соответствии с (10) расширим вектор состояния системы (1), тогда

$$\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{f}(\mathbf{X}, \mathbf{U}, t), \quad \mathbf{X}(t_0) = \mathbf{X}_0, \quad (11)$$

где  $\mathbf{X}(t) = [x_0(t), x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)]^T$ ;  $\mathbf{U}(t) = [u_1(t), u_2(t), \dots, u_m(t)]^T$ ;  $\mathbf{X}_0 = [0, x_1(t_0), x_2(t_0), \dots, x_n(t_0)]^T$ ;  $\mathbf{f} = [f_0, f_1, f_2, \dots, f_n]^T$ .

Переменная  $x_0(t)$  в системе (11) характеризует текущее значение показателя качества, уравнение для которой получается дифференцированием (10) по  $t$ . При  $t = t_1$  разложим  $x_0(t, \mathbf{U}(\mathbf{S}, t))$  в ряд Тейлора в окрестности точки  $\mathbf{S}^p$ , оставляя в разложении члены до 2-го порядка включительно:

$$x_0(t_1, \mathbf{U}(\mathbf{S}, t_1)) = x_0(\mathbf{S}^p) + \sum_{i=1}^k \frac{\partial x_0}{\partial s_i} \Big|_{s_i=s_i^p} \Delta s_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{\partial^2 x_0}{\partial s_i \partial s_j} \Big|_{\substack{s_i=s_i^p \\ s_j=s_j^p}} \Delta s_i \Delta s_j. \quad (12)$$

При  $t = t_1$  и  $\mathbf{S} = \mathbf{S}^p$  решим задачу на условный экстремум функции (12) при ограничениях (7), для чего введем функцию Лагранжа:

$$L(\Delta \mathbf{S}, \lambda) = x_0(\mathbf{S}^p) + \sum_{i=1}^k \frac{\partial x_0}{\partial s_i} \Delta s_i + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^k \frac{\partial^2 x_0}{\partial s_i \partial s_j} \Delta s_i \Delta s_j + \sum_{i=1}^r \lambda_i \left( \sum_{j=1}^k \frac{\partial x_i}{\partial s_j} \Delta s_j - b_i^p \right), \quad (13)$$

где  $\lambda_i$  ( $i = \overline{1, r}$ ) — множители Лагранжа.

Заметим, что число уравнений системы (7) должно быть меньше числа настраиваемых параметров, т. е.  $r < k$ . Стационарная точка  $(\Delta \mathbf{S}^*, \lambda^*)$ , соответствующая минимуму функции  $L(\Delta \mathbf{S}, \lambda)$ , а следовательно, минимуму по  $\Delta \mathbf{S}$  функции (12) при ограничениях (7), определяется из системы уравнений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial L(\Delta \mathbf{S}, \lambda)}{\partial \Delta s_i} &= \frac{\partial x_0}{\partial s_i} + \sum_{j=1}^k \frac{\partial^2 x_0}{\partial s_i \partial s_j} \Delta s_j + \sum_{\eta=1}^r \lambda_\eta \frac{\partial x_\eta}{\partial s_i} = 0; \\ \frac{\partial L(\Delta \mathbf{S}, \lambda)}{\partial \lambda_j} &= \sum_{v=1}^k \frac{\partial x_j}{\partial s_v} \Delta s_v - b_j^p = 0. \end{aligned} \right\} \quad (14)$$

Решая систему (14), состоящую из  $k + r$  линейных алгебраических уравнений с  $k + r$  неизвестными  $\Delta s_i, \lambda_j$  ( $i = \overline{1, k}, j = \overline{1, r}$ ), производим уточнение вектора параметров  $\mathbf{S}$  по формуле (8).

Частные производные системы (14) определяются из выражений

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial^2 x_0}{\partial s_\mu \partial s_\nu} &= \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^m \frac{\partial^2 x_0}{\partial u_i \partial u_j} \frac{\partial u_i}{\partial s_\mu} \frac{\partial u_j}{\partial s_\nu} + \sum_{i=1}^m \frac{\partial x_0}{\partial u_i} \frac{\partial^2 u_i}{\partial s_\mu \partial s_\nu}; \\ \frac{\partial x_q}{\partial s_\mu} &= \sum_{j=1}^m \frac{\partial x_q}{\partial u_j} \frac{\partial u_j}{\partial s_\mu}, \quad q = \overline{0, r}; \quad \mu = \overline{1, k}; \quad \nu = \overline{1, k}. \end{aligned} \right\} (15)$$

Частные производные  $\frac{\partial u_j}{\partial s_\mu}$ ,  $\frac{\partial^2 u_i}{\partial s_\mu \partial s_\nu}$  в (15) определяются так же, как и в первом разделе, функции чувствительности  $\frac{\partial x_q}{\partial u_j}$ ,  $\frac{\partial^2 x_0}{\partial u_i \partial u_j}$  — из решения следующей системы уравнений чувствительности 1-го и 2-го порядков при нулевых начальных условиях:

$$\left. \begin{aligned} \frac{d}{dt} \frac{\partial^2 x_q}{\partial u_i \partial u_j} &= \sum_{\mu=1}^n \sum_{\nu=1}^n \frac{\partial^2 f_q}{\partial x_\mu \partial x_\nu} \frac{\partial x_\mu}{\partial u_i} \frac{\partial x_\nu}{\partial u_j} + \\ &+ \sum_{\nu=1}^n \frac{\partial f_q}{\partial x_\nu} \frac{\partial^2 x_\nu}{\partial u_i \partial u_j} + \frac{\partial^2 f_q}{\partial u_i \partial u_j}; \\ \frac{d}{dt} \frac{\partial x_q}{\partial u_i} &= \sum_{\nu=1}^n \frac{\partial f_q}{\partial x_\nu} \frac{\partial x_\nu}{\partial u_i} + \frac{\partial f_q}{\partial u_i}, \\ q &= \overline{0, n}; \quad i = \overline{1, m}; \quad j = \overline{1, m}. \end{aligned} \right\} (16)$$

Поскольку порядок дифференцирования в производных 2-го порядка системы (16) безразличен, то общее число различных уравнений этой системы равно  $m(m+3)(n+1)/2$ .

Итак, для определения управлений (2) для объекта (1), доставляющих минимум показателю (10) и переводящих объект из  $X_0$  в  $X_T$ , необходимо на каждом цикле коррекции траектории определять вектор параметров  $S$ , для чего организуется итеративный процесс (8). Поправки  $\Delta S^p$  на каждой итерации определяются из системы линейных алгебраических уравнений (14), коэффициенты которой вычисляются с помощью формул (15). Функции чувствительности, входящие в формулы (15), определяются из решения системы дифференциальных уравнений (16) при  $t = t_1$ , которые интегрируются совместно с уравнениями модели (11).

### Алгоритм оптимального управления нелинейным объектом при наличии ограничений на управления

Рассмотрим задачу из предыдущего раздела при условии, что на управления  $U$  наложены ограничения в виде диапазонов изменения настраиваемых параметров:

$$\alpha_j \leq s_j \leq \beta_j, \quad j = \overline{1, k}, \quad (17)$$

где  $\alpha_j, \beta_j$  — заданные вещественные числа.

Требуется перевести объект (11) из  $X_0$  в  $X_T$ , обеспечив при этом минимизацию  $x_0(t_1, U(S, t_1))$  при выполнении условий (17).

Как и ранее, решение поставленной задачи осуществляем итеративным путем. На каждом цикле коррекции траектории организуем итерации для определения вектора настраиваемых параметров  $S$ . Каждая итерация — переход от  $S^p$  к  $S^{p+1}$  — включает последовательность операций: 1) нахождение направления уменьшения функции  $x_0(t_1, U(S, t_1))$ , т. е. вектора спуска  $\Delta S^p$  с координатами  $\Delta s_j^p$ ,  $j = \overline{1, k}$ ; 2) выбор величины шага, с которым надо двигаться по направлению спуска; 3) собственно итерационный переход от  $S^p$  по направлению спуска с выбранным шагом к следующей точке  $S^{p+1}$ . Выбор величины шага, в отличие от алгоритмов, рассмотренных выше, здесь играет существенную роль, поскольку велика вероятность выхода за границы допустимой области (17).

Таким образом, на каждом цикле коррекции траектории решается задача нелинейного программирования. Воспользуемся для ее решения алгоритмами метода внутренних точек [5], а именно комбинированным алгоритмом, который позволяет совместить поиск допустимого решения с поиском оптимального и упростить тем самым вычислительную процедуру.

#### 1. Определение направления спуска $\Delta S^p$ .

Линеаризуем  $x_0(t_1, U(S, t_1))$  в окрестности точки  $S^p$ :

$$x_0(t_1, U(S, t_1)) = x_0(S^p) + \sum_{j=1}^k c_j^p \Delta s_j, \quad (18)$$

где  $c_j^p = \left. \frac{\partial x_0}{\partial s_j} \right|_{s_j = s_j^p}$ .

Для определения направления спуска, согласно работе [5], необходимо минимизировать функцию

$$F(\Delta S) = \sum_{j=1}^k c_j^p \Delta s_j + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k (\Delta s_j)^2 / \sigma_j^p \quad (19)$$

при условиях (7), где весовые коэффициенты  $\sigma_j^p$  вычисляются по формуле

$$\sigma_j^p = \min \left\{ N, (s_j^p - \alpha_j)^2, (s_j^p - \beta_j)^2 \right\}, \quad j = \overline{1, k}, \quad (20)$$

где  $N$  — некоторое положительное число. При неограниченности по условиям (17)  $s_j$  сверху ( $\beta_j = \infty$ ) и снизу ( $\alpha_j = -\infty$ )  $\sigma_j^p$  всегда равно  $N$ .

Функция Лагранжа для данной задачи имеет вид

$$\begin{aligned} L(\Delta S, \lambda) &= \sum_{j=1}^k c_j^p \Delta s_j + \frac{1}{2} \sum_{j=1}^k (\Delta s_j)^2 / \sigma_j^p - \\ &- \sum_{i=1}^r \lambda_i \left( \sum_{j=1}^k a_{ij}^p \Delta s_j - b_i^p \right). \end{aligned} \quad (21)$$



Следуя известной методике, находим условия оптимальности:

$$\left. \begin{aligned} c_j^p + \Delta s_j / \sigma_j^p &= \sum_{i=1}^r a_{ij}^p \lambda_i, \quad j = \overline{1, k}; \\ \sum_{j=1}^k a_{ij}^p \Delta s_j &= b_i^p, \quad i = \overline{1, r}, \quad r < k. \end{aligned} \right\} \quad (22)$$

Пусть  $\Delta s_j^p$  — решение задачи (19) при условиях (7), тогда

$$\Delta s_j^p = \sigma_j^p \left( \sum_{i=1}^r a_{ij}^p \lambda_i - c_j^p \right). \quad (23)$$

Подставляя  $\Delta s_j^p$  во второе уравнение системы (22), получим систему уравнений

$$\sum_{i=1}^r g_{\mu i}^p \lambda_i = d_{\mu}^p, \quad \mu = \overline{1, r}, \quad (24)$$

где  $g_{\mu i}^p = \sum_{j=1}^k \sigma_j^p a_{\mu j}^p a_{ij}^p$ ;  $d_{\mu}^p = b_{\mu}^p - \sum_{j=1}^k \sigma_j^p a_{\mu j}^p c_j^p$ .

Система (24) состоит из  $r$  линейных алгебраических уравнений с  $r$  неизвестными  $\lambda_i$ , причем матрица  $\|g_{\mu i}^p\|$  всегда симметрична и неотрицательно определена.

Решая систему (24), находим двойственные переменные  $\lambda_i^p$  и вычисляем двойственные невязки:

$\delta_j^p = \sum_{i=1}^r a_{ij}^p \lambda_i^p - c_j^p$ . Затем определяем направление спуска — вектор  $\Delta S^p$  с координатами

$$\Delta s_j^p = \sigma_j^p \delta_j^p, \quad j = \overline{1, k}. \quad (25)$$

Частные производные в выражениях (7), (18) определяются аналогично предыдущим разделам.

## 2. Выбор величины шага.

При определении величины шага  $\gamma^p$  корректировки решения необходимо, во-первых, гарантировать выполнение условий (17) в виде строгих неравенств на следующей итерации. Это достигается при соблюдении соотношения

$$0 \leq \gamma^p \leq \gamma_1^p; \quad (26)$$

$$\gamma_1^p = \min \left\{ \begin{aligned} &\min_{j: \Delta s_j^p > 0} \frac{\beta_j - s_j^p}{\Delta s_j^p} \eta, \\ &\min_{j: \Delta s_j^p < 0} \frac{\alpha_j - s_j^p}{\Delta s_j^p} \eta \end{aligned} \right\}, \quad (27)$$

где  $\eta$  — заданная величина из открытого интервала (0, 1).

Во-вторых, необходимо стремиться к сокращению невязок балансовых ограничений (7)

и уменьшению целевой функции  $x_0(t_1, U(S, t_1))$ . Этого можно достичь с помощью функции

$$G^p(\gamma) = x_0(S^p + \gamma \Delta S^p) + K \max_i |x_{iT} - x_i(S^p + \gamma \Delta S^p)|, \quad i = \overline{1, r}, \quad (28)$$

где  $K$  — достаточно большой штрафной коэффициент.

Шаг корректировки решения вычисляется по формуле

$$\gamma^p = \min \{ \gamma_1^p, \gamma_2^p \}, \quad (29)$$

где  $\gamma_1^p$  определяется из выражения (27),  $\gamma_2^p$  — в точке, где реализуется минимум  $G^p(\gamma)$ .

Таким образом, выбор величины шага сопровождается решением задачи одномерной минимизации функции (28), которая достаточно просто решается одним из регулярных методов оптимизации [6].

## 3. Итерационный переход.

Переход к следующему шагу определения вектора  $S$  производим по формуле

$$S^{p+1} = S^p + \gamma^p \Delta S^p. \quad (30)$$

Компоненты вектора начального приближения  $S^0$  можно определять по правилам:

$$s_j^0 = (\beta_j + \alpha_j) / 2, \quad (\alpha_j \neq -\infty, \beta_j \neq \infty);$$

$$s_j^0 = \alpha_j + \Delta, \quad (\alpha_j \neq -\infty, \beta_j = \infty);$$

$$s_j^0 = \beta_j - \Delta, \quad (\alpha_j = -\infty, \beta_j \neq \infty);$$

$$s_j^0 = 0, \quad (\alpha_j = -\infty, \beta_j = \infty),$$

где  $\Delta$  — заданная положительная величина.

Итерации заканчиваются при выполнении условия

$$|G^{p+1} - G^p| \leq \varepsilon,$$

где  $G^{p+1}$ ,  $G^p$  определяются в соответствии с (28) при  $\gamma = 0$ ;  $\varepsilon$  — заданное достаточно малое положительное число.

## Заключение

При реализации алгоритмов из двух последних разделов в случае незначительных возмущений, действующих на объект управления, нет необходимости использовать данные алгоритмы на каждом цикле коррекции траектории. Если найденный с помощью этих алгоритмов оптимальный вектор настраиваемых параметров  $S^{opt}$  лежит внутри области ограничений (17), то доста-

точно использовать данные алгоритмы только на первом цикле коррекции траектории для определения новых опорных управлений  $u_j^{оп}(t)$ , за которые принимаем управления  $u_j(t)$ , соответствующие вектору  $S^{оп}$ , полученному на первом цикле. Далее на последующих циклах используется алгоритм из первого раздела при начальном приближении  $s_j^0 = 0$ . Аппроксимацию  $u_j^{оп}(t)$  можно произвести либо с помощью метода наименьших

квадратов, либо (для функций сложной формы) с помощью сплайнов или каким-либо другим методом. Во всех случаях функции  $u_j^{оп}(t)$  должны быть дифференцируемы по  $t$ .

Такая комбинация алгоритмов позволит реализовать управление объектом в реальном масштабе времени, сократить вычислительные затраты при незначительном отклонении от оптимального режима.

### Литература

1. Табак Д., Коу Б. Оптимальное управление и математическое программирование. — М.: Наука, 1975. — 280 с.
2. Мазгалин Д. В. Построение способа управления ракетой-носителем при использовании в качестве управления программных угловых скоростей разворотов // Информационно-управляющие системы. 2010. № 3. С. 21–28.
3. Розенвассер Е. Н., Юсупов Р. М. Чувствительность систем управления. — М.: Наука, 1981. — 464 с.
4. Оневский П. М., Оневский М. П., Ишин А. А. Реализация алгоритма терминального управления нелинейным динамическим объектом // Вестник Тамб. гос. техн. ун-та. 2010. Т. 16. № 4. С. 789–796.
5. Дикин И. И., Зеркальцев В. И. Итеративное решение задач математического программирования (алгоритмы метода внутренних точек). — Новосибирск: Наука, 1980. — 144 с.
6. Кудрявцев Е. М. Исследование операций в задачах, алгоритмах и программах. — М.: Радио и связь, 1984. — 184 с.

**Международная выставка  
«СВЯЗЬ, ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ И ИТ-ТЕХНОЛОГИИ – ICT 2012»  
16–18 октября 2012**

**Место проведения:** г. Краснодар, ВЦ «КраснодарЭКСПО»

#### Организатор

Выставочная компания ITE Moscow

Сегодня большое внимание уделяется развитию регионов России: внедрению информационно-коммуникационных технологий, увеличению информационных ресурсов в сети Интернет, обеспечению информационной безопасности, производству современной программной продукции, развитию в сельской местности современных телекоммуникационных услуг, внедрению электронного документооборота и т. д.

Выставка ICT — это единственная выставка информационных технологий, связи и телекоммуникаций на Юге России. Цель выставки — оказать содействие в реализации программы правительства, нацеленной на обеспечение разработки и реализации новой концепции обеспечения телекоммуникаций и связи Юга России.

#### Основные разделы выставки

Телекоммуникации и сети  
ИТ и офисные технологии  
Кабели и беспроводная связь  
Спутниковая связь и технологии  
Оборудование и технологии телерадиовещания  
Банковские технологии и услуги  
Системы безопасности  
Широкополосная связь и технологии  
Программное обеспечение и системы автоматизации  
Э-правительство и э-образование

#### Дополнительная информация и справки

Тел.: +7 (495) 935 7350, доб. 4251  
Факс: +7 (495) 935 7351  
Эл. адрес: [ides@ite-expo.ru](mailto:ides@ite-expo.ru)  
Сайт: <http://www.ides-expo.ru/home/exhibitions/ict/info.aspx>

УДК 629.78

## МОДЕЛИ ДЛЯ РЕШЕНИЯ СЕТЕЦЕНТРИЧЕСКИХ ЗАДАЧ ПЛАНИРОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ ГРУППОВЫМИ ОПЕРАЦИЯМИ КЛАСТЕРА МАЛОРАЗМЕРНЫХ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ

**А. В. Соллогуб,**

доктор техн. наук, профессор  
ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», г. Самара

**П. О. Скобелев,**

доктор техн. наук, ведущий научный сотрудник  
Институт проблем управления сложными системами РАН, г. Самара

**Е. В. Симонова,**

канд. техн. наук, доцент

**А. В. Царев,**

генеральный директор

**М. Е. Степанов,**

разработчик

ООО «Научно-производственная компания «Разумные решения», г. Самара

Предлагаются модели бортовой базы знаний для агентов — малоразмерных космических аппаратов по делу «условия видимости», используемые при решении большого количества задач планирования и управления групповыми операциями, выполняемых кластером малоразмерных космических аппаратов без привлечения наземных служб. Данные модели можно рассматривать как элементы «встроенной самоорганизации» систем управления кластером.

**Ключевые слова** — распределенная космическая система дистанционного зондирования Земли, кластер малоразмерных космических аппаратов, мультиагентная система, бортовая база знаний.

### Введение

Космические системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) предназначены для наблюдения за объектами и процессами, происходящими на поверхности Земли и в околоземном пространстве. С развитием технологии ДЗЗ наметился переход от одиночных крупногабаритных космических аппаратов (КА) ДЗЗ к группировкам (кластерам) распределенных в космическом пространстве малоразмерных КА (МКА) [1–5].

Возможно создание группировок МКА двух типов: систем КА с равномерным распределением их в различных орбитальных плоскостях и в пределах каждой плоскости (диктуется необходимостью улучшения показателей по оперативности и производительности наблюдения заданных районов), а также группировок, которые форми-

руются в некоторой локальной области космического пространства с поддержкой требуемых межспутниковых расстояний и требуемой относительной ориентации друг относительно друга [4]. В последнем случае кластер можно рассматривать как единое целое, т. е. как «виртуальный спутник», эмерджентные свойства которого определяются в результате коллективных групповых действий всех входящих в него КА. При создании «виртуальных спутников» применяются технологии беспроводного обмена данными, космические навигационные системы, прецизионные датчики определения ориентации КА с использованием бортовых каталогов звезд.

Анализ развития технологий ДЗЗ показывает, что дальнейшее улучшение пространственного разрешения не может быть обеспечено одиночными КА. Необходимо формировать системы с син-

тезированной апертурой, что может быть достигнуто путем создания «виртуальных спутниковых систем ДЗЗ». Отметим, что если улучшение показателей по объему и скорости передачи данных ДЗЗ, пространственному разрешению получаемых снимков изменялось в течение последних десятилетий по закону, близкому к закону Мура, то следует ожидать, что с созданием «виртуальных спутниковых систем ДЗЗ» и стоимостные показатели будут снижаться в соответствии с этим законом. В любом случае, дальнейшее развитие систем ДЗЗ связано, с одной стороны, с развитием сетевых технологий, а с другой — с повышением автономности выполнения задач планирования и управления групповыми операциями. Последнее возможно при наличии на борту МКА достаточно развитой базы знаний, т. е. «встроенного интеллекта».

### Гетерогенные мультиагентные системы МКА

Распределенную космическую систему ДЗЗ можно рассматривать как гетерогенную мультиагентную систему, в которой агентами являются одиночные КА ДЗЗ, «виртуальные» КА ДЗЗ, спутники-ретрансляторы, служащие для обеспечения оперативной связи между агентами в случае отсутствия прямой видимости, наземные пункты приема видовой информации, объекты наблюдения (ОН), а также небесные ориентиры — Земля, Солнце, звезды. Агентами системы могут быть также другие глобальные распределенные спутниковые системы, в частности системы связи, глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС). Что касается МКА ДЗЗ, то в группировку могут входить МКА оптико-электронного зондирования (обеспечение панхроматической, многоспектральной, гиперспектральной съемки), радиолокационные МКА с синтезированной апертурой (РСА сантиметрового и дециметрового диапазонов, многопозиционные РСА УКВ-диапазона [6]), МКА радиотехнического зондирования. Объекты наблюдения могут быть точечными, протяженными (реки, ущелья), площадными (зоны затопления, разлива нефти, пожаров, области последствий землетрясений, цунами, населенные пункты, лесные и сельскохозяйственные угодья и др.). Вышесказанное свидетельствует о гетерогенном характере мультиагентной системы.

С использованием систем ДЗЗ могут решаться следующие задачи: планово-периодический мониторинг территорий и объектов, одновременная съемка одного и того же объекта разными КА под разными углами обзора (для построения трехмерных изображений), передача потребителю изо-

бражения в темпе его получения на борту КА, передача управления на продолжение наблюдения за объектом другому КА в случае ухода объекта из его зоны видимости и др.

Мультиагентная система представляет собой глобальную пространственно распределенную сеть, агенты (узлы) которой либо совершают вращение вокруг Земли (КА ДЗЗ, КА-ретрансляторы, созвездия навигационных КА), либо, находясь на поверхности Земли, вращаются вместе с ней (ОН, пункты приема информации (ППИ)), либо совершают свое движение в соответствии с законами небесной механики (Земля, Солнце, звезды). Таким образом, узлы и связи глобальной пространственно распределенной сети находятся в непрерывном движении и изменении. Это приводит к необходимости прогнозировать состояния сети, т. е. прогнозировать условия видимости агентами соответствующих ОН и других агентов на предстоящие интервалы планирования. В основе согласованного управления кластером лежит исключительно информационная парадигма, т. е. насколько агенты-МКА кластера осведомлены о состоянии сети, точнее, о своей роли в сети. Эта роль предполагает «знания» о тех ОН, которые могут наблюдаться конкретным МКА наиболее эффективно, «знания» о других МКА, которые также могут эффективно наблюдать рассматриваемый ОН и которым может быть передано управление.

Будем предполагать, что каждый агент-МКА может автономно определять свои линейные и угловые координаты в пространстве в любой момент времени (оснащен датчиками ГНСС и автономной системой ориентации), имеет в своем составе устройства двусторонней связи с агентами, что дает возможность проводить «диалог» с другими агентами. Важно подчеркнуть, что во избежание информационной перегрузки каждый агент-МКА должен в конкретный момент времени хранить и запрашивать информацию не обо всех агентах сети, а лишь о тех, которые могут выполнять с ним конкретную задачу.

### Автономное определение и поддержание условий взаимной видимости агентов-МКА — основа бортовой базы знаний

Для согласованного управления орбитальной группировкой КА ДЗЗ, автономного динамического построения и принятия решений по планированию собственного поведения необходимо в бортовой базе знаний МКА иметь динамически изменяющийся раздел «условия видимости». Эти условия формируются для отношений типа «один МКА — множество ОН», «один ОН — множество МКА» или в общем случае «один агент —

множество агентов», «множество агентов — один агент», «множество агентов — множество агентов». В базе знаний необходимо иметь аппарат для формирования этих отношений, которые генерируются в зависимости от задач, решаемых в мультиагентной системе.

Кластер МКА может быть использован для решения множества задач, при этом каждый МКА кластера «должен знать», т. е. иметь в своей базе знаний, список и координаты других агентов, которые в данный момент находятся в его прямой видимости. Для планирования собственных операций и выработки управляющих воздействий для других МКА кластера в базе каждого КА эти условия видимости можно представить как множество циклограмм для соответствующих условий полета КА. Кроме этого, в базе знаний необходимо предусмотреть специальный аппарат для выполнения операций над циклограммами.

Рассмотрим задачу зондирования, в которой для наблюдения за конкретным ОН используются возможности группы МКА кластера. При этом каждый из агентов «должен уметь» решать следующие подзадачи.

1. Передача управления на зондирование ОН тому МКА из группировки, который обеспечит продолжение его зондирования с наилучшими характеристиками.

2. Передача управления нескольким МКА из группировки, которые могут одновременно вести зондирование ОН под разными углами обзора (стереоскопическая съемка в интересах получения 3D-изображения).

3. Передача управления на продолжение зондирования ОН тому МКА из группировки, который параллельно с зондированием может передавать получаемую информацию на ППИ.

4. Передача управления другому МКА с помощью одного из МКА-ретрансляторов, на прямой видимости которого находятся требуемый МКА или ППИ, при отсутствии у МКА прямой видимости с МКА-приемником или ППИ.

5. Разделение зондирования площадных ОН между несколькими МКА, которые наблюдают различные части ОН.

6. Одновременное зондирование различными МКА группы ОН, находящихся в различных регионах, но связанных между собой общими целями, т. е. выполняющих одну задачу.

7. Построение цепочки МКА, обеспечивающей либо непрерывное зондирование ОН в течение определенного временного интервала, либо максимально продолжительное покрытие интервала с точки зрения организации зондирования ОН.

Приведенный перечень задач относится как к неподвижным, так и к подвижным относительно Земли ОН.

Если кластер состоит только из МКА оптико-электронного наблюдения (МКА ОЭН), то задачи зондирования не могут решаться в ночное время и при наличии облачности. Для обеспечения всепогодного и ночного зондирования необходимо включить в состав кластера КА РСА и МКА РСА. В этом случае задача зондирования во времени разделяется между МКА ОЭН и МКА РСА, и спектр решаемых задач зондирования существенно расширяется.

Для моделирования, планирования и управления групповыми операциями кластера МКА в базе знаний каждого агента-МКА необходимо иметь аппарат для:

— построения циклограмм, позволяющих для любого момента времени периода планирования генерировать подсеть взаимной видимости участвующих в решении задачи наблюдения агентов (ОН, МКА, КА-ретрансляторов, ППИ и др.);

— выполнения операций над циклограммами для генерации более сложных условий видимости.

### Модели определения условий видимости МКА — ОН

Рассмотрим некоторые из моделей для определения условий видимости между МКА и ОН.

Обращение к программе определения нахождения ОН в зоне обзора КА имеет вид

$$Zona\_obz(ha, hp, \Omega, i, \omega, tp, t, B0, L0, \gamma, s),$$

где  $ha, hp$  — апогей и перигей орбиты;  $i$  — наклонение орбиты;  $\Omega$  — долгота восходящего узла;  $\omega$  — аргумент перигея;  $tp$  — время прохождения МКА через перигей;  $t$  — текущее время полета;  $B0, L0$  — широта и долгота ОН;  $\gamma$  — максимально возможный угол отклонения МКА от вертикали (угол крена), определяющий зону обзора МКА;  $s$  — звездное время на Гринвичском меридиане (определяет угловое положение Гринвичского меридиана относительно точки весеннего равноденствия).

Результат работы программы — бинарная переменная, принимающая значения:

1 — ОН с координатами  $(B0, L0)$  находится в зоне обзора МКА;

0 — ОН с координатами  $(B0, L0)$  находится вне зоны обзора МКА.

В программе проверяется выполнение условия нахождения ОН в зоне обзора МКА [1]:

$$2\arccos(\lambda_0)|_{\Lambda_{KA\_06}} < \rho,$$

где  $\Lambda_{KA\_06}$  — кватернион положения ОН относительно положения МКА, определяемый из соотношения  $\Lambda_{KA\_06} = \tilde{\Lambda}_{ISK\_KA} \circ \Lambda_{ISK\_06}$ ,  $\Lambda_{ISK\_06}$  —

кватернион перехода из инерциальной системы координат (*ISK*) к системе координат, связанной с ОН,  $\tilde{\Lambda}_{ISK\_KA}$  — кватернион, сопряженный кватерниону углового положения подвижной орбитальной системы координат относительно *ISK*,  $\circ$  — операция кватернионного умножения;  $\rho$  — центральный угол зоны обзора МКА из центра Земли.

Обращение к программе выполнения условий освещенности ОН имеет вид

$$Usl\_osv\_ob(dd, mm, jj, L0, B0, s, askr),$$

где *dd* — день; *mm* — месяц; *jj* — год; *askr* — минимально допустимое (критическое) значение угла между направлением на Солнце и плоскостью, касательной к земной поверхности в точке ОН.

Результат работы программы — бинарная переменная, принимающая значения:

1 — выполняются условия освещенности ОН Солнцем;

0 — не выполняются условия освещенности ОН Солнцем.

В теле программы *Usl\_osv\_ob()* осуществляется обращение к программе *N(dd, mm, jj)*, определяющей количество дней, прошедших с 21.03 до текущей даты полета. Эта величина используется при определении угла ( $\alpha_C$ ) между направлением на точку весеннего равноденствия и линией Земля — Солнце в эклиптической системе координат (ЭСК) для рассматриваемой даты полета.

Например, для 15 августа 2011 года имеем  $N(15, 08, 11) = 147$ . Отсюда  $\alpha_C = 2\pi N/365$ . Полученное значение  $\alpha_C$  используется для определения кватерниона перехода от инерциальной к эклиптической системе координат с направлением орта  $i_1^3$  на Солнце ( $i_2^3$  — находится в плоскости эклиптики,  $i_3^3$  — дополняет систему до правой):

$$\Lambda_{ISK\_ЭСК} = \left( \cos \frac{\delta_C}{2} + i_1 \sin \frac{\delta_C}{2} \right) \circ \left( \cos \frac{\alpha_C}{2} + i_3 \sin \frac{\alpha_C}{2} \right),$$

где  $\delta_C = 2\pi \left( 23 + \frac{27}{60} \right) / 360$  — угол между эклиптикой и экватором.

В этом случае при известной дате полета и известных географических координатах ОН можно определить кватернион ( $\Delta\Lambda_{Об\_ЭСК}$ ) углового положения ЭСК и системы координат, связанной с объектом [1]. Из  $\Lambda_{ISK\_ЭСК} = \Lambda_{ISK\_Об} \circ \Delta\Lambda_{Об\_ЭСК}$  получаем  $\Delta\Lambda_{Об\_ЭСК} = \tilde{\Lambda}_{ISK\_Об} \circ \Lambda_{ISK\_ЭСК}$ . Отсюда условие освещенности объекта примет вид

$$2\arccos(\lambda_0) \Big|_{\Delta\Lambda_{Об\_ЭСК}} \leq \frac{\pi}{2} - \alpha_{кр}.$$

Программа *Usl\_nab\_ob()* определения условия наблюдаемости ОН использует результаты

обращения к программам *Zona\_obz()* и *Usl\_osv\_ob()*. Условия наблюдаемости выполняются, если одновременно выполняются условия попадания ОН в зону обзора МКА и условие освещенности ОН Солнцем.

Обращение к программе определения условия нахождения МКА в зоне радиовидимости ППИ имеет вид

$$KA\_zrv\_ppi(h\alpha, h\pi, \Omega, i, \omega\pi, t\pi, t, \varphi\pi, \lambda\pi, \delta\min, s),$$

где  $\varphi\pi, \lambda\pi$  — широта и долгота положения ППИ;  $\delta\min$  — минимальный угол места линии визирования КА антенными устройствами ППИ [1].

Результат работы программы — бинарная переменная, принимающая значения:

1 — МКА находится в зоне радиовидимости ППИ;

0 — МКА находится вне зоны радиовидимости ППИ.

Условие взаимной видимости КА и ППИ имеет вид

$$2\arccos(\lambda_0^{ППИ}) \Big|_{\Lambda_{КА\_ППИ}} < \beta_{max},$$

где  $\Lambda_{КА\_ППИ} = [\lambda_0^{ППИ}, \lambda_1^{ППИ}, \lambda_2^{ППИ}, \lambda_3^{ППИ}]$ ,  $\Lambda_{КА\_ППИ} = \tilde{\Lambda}_{ISK\_КА} \circ \Lambda_{ISK\_ППИ}$ , так как  $\Lambda_{ISK\_ППИ} = \Lambda_{ISK\_КА} \circ \Lambda_{КА\_ППИ}$  и  $\Lambda_{ISK\_ППИ} = \Lambda_{ISK\_GSK} \circ \Lambda_{\lambda\_ППИ} \circ \Lambda_{\varphi\_ППИ}$  (*GSK* — гринвичская вращающаяся система координат);  $\beta_{max} = \arccos\left(\frac{Rz \cos \delta_{min}}{Rz + H}\right) - \delta_{min}$ , *Rz* — радиус Земли, *H* — высота полета КА.

Обращение к программе определения возможности одновременной съемки ОН и передачи результатов съемки на ППИ:

$$Usl\_nab\_ob\_и\_ППИ(h\alpha, h\pi, \Omega, i, \omega\pi, t\pi, t, B0, L0, \gamma, s, dd, mm, jj, askr, \varphi\pi, \lambda\pi, \delta\min).$$

Результат работы программы — бинарная переменная, принимающая значения:

1 — возможна одновременная съемка ОН и передача результатов съемки на ППИ;

0 — одновременная съемка ОН и передача результатов съемки на ППИ не обеспечивается.

### Модели взаимной видимости МКА кластера

Комплекс программ определения взаимной видимости МКА включает:

— программу определения взаимной видимости МКА в орбитальной группировке с размещением МКА в одной плоскости и с фазовым сдвигом по аргументу широты и одинаковыми орбитальными параметрами;

— программу определения взаимной видимости МКА в орбитальной группировке в случае, когда координаты МКА в *ISK* определяются вне программы и используются в качестве входного параметра;

— программу определения массива координат в *ISK* семейства из *N* МКА, находящихся в одной орбитальной плоскости, с равномерным фазированием по аргументу широты;

— программу определения массива координат в *ISK* семейства МКА, находящихся в *K* орбитальных плоскостях по *N* МКА в каждой плоскости, с равномерным фазированием по аргументу широты в каждой плоскости и равномерным фазированием по долготе восходящего узла;

— программу определения взаимной видимости МКА для случая, когда не накладываются ограничения на параметры орбит и на их взаимное расположение.

**Примеры.**

1. Определить возможность одновременной съемки ОН и передачи результатов съемки на ППИ при следующих параметрах МКА, орбиты МКА, даты полета и географических координатах ОН и ППИ:

$$h\alpha = 800, h\pi = 700, \Omega = 1,91, i = 65/180\pi, \omega\pi = 40/180\pi, t\pi = 665,492, t = 1074, B_0 = 0,8, L_0 = 1,05, \gamma = 45/180\pi, s = 27290, dd = 15, mm = 08, jj = 11, \alpha skr = 10, \phi ppi = 1,0, \lambda ppi = 0,7, \delta min = 10/180\pi.$$

Поскольку результат обращения к программе *Usl\_nab\_ob* и ППИ( $h\alpha, h\pi, \Omega, i, \omega\pi, t\pi, t, B_0, L_0, \gamma, s, dd, mm, jj, \alpha skr, \phi ppi, \lambda ppi, \delta min$ ) = 1, такая возможность имеется.

2. Определить матрицу взаимной видимости группировки из 15 МКА, размещенных в 5 орбитальных плоскостях по 3 МКА в каждой с равномерным фазированием по аргументу широты и долготе восходящего узла. Имеем  $K = 5, N = 3, \Omega n = 1,91, un = 64,572/180\pi$ .

Обращение к программе *Koord\_KA\_ISK\_Usl\_vid\_ka2*( ) с помощью оператора  $V2:=Koord\_KA\_ISK\_Usl\_vid\_ka2(h\alpha, h\pi, \Omega n, i, t\pi, \omega\pi, un, K, N)$  позволяет определить и присвоить переменной *V2* матрицу координат положения МКА:

V2 =

	0	1	2	3
0	$-5,155 \cdot 10^3$	$7,029 \cdot 10^3$	$-715,838$	$-875,822$
1	$-2,596 \cdot 10^3$	$-1,064 \cdot 10^4$	$1,18 \cdot 10^4$	$-5,705 \cdot 10^3$
2	$1,228 \cdot 10^4$	$-6,619 \cdot 10^3$	$-6,972 \cdot 10^3$	...

Матрица содержит 15 столбцов, соответствующих 15 МКА.

После обращения к программе *Usl\_vid\_ka2*( ) с помощью оператора  $V3 := Usl\_vid\_ka2(\Delta H, N, K, V2)$ , где  $\Delta H = 100$ , а переменная *V2* использует-

ся в качестве входного параметра, получим матрицу взаимной видимости МКА

V3 =

	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0
1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1
2	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
3	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1
4	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	0	1	1
5	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1	1	1	1
6	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1
7	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1
8	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1	1	1	1
9	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1
10	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	1
11	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0	0	1	1
12	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	1	0	0	1	0
13	1	1	1	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	0	1
14	0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	0	1	0

Работа программы построения матрицы взаимной видимости проверена для различных сочетаний взаимного расположения групп МКА: по разные стороны от центра Земли, по одну сторону от центра Земли, на лучах, исходящих из центра Земли, и др.

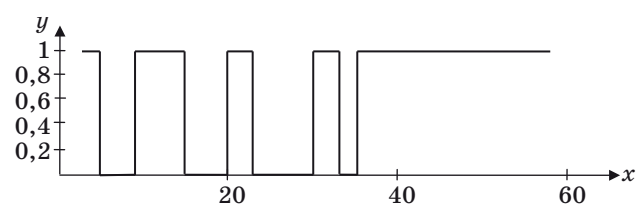
**Формирование циклограмм наличия событий**

Циклограммы, отражающие какое-либо свойство (событие) МКА в течение времени, задаются в виде массивов, содержащих два столбца и количество строк, равное числу событий. Элементы первого столбца определяют момент наступления события, элементы второго столбца определяют момент окончания события. Для определения наличия события в момент времени *x* используется программа *RT*(*T, n, x*), где *T* — имя массива; *n* — число на 1 меньшее числа событий; *x* — момент, в который нужно определить наличие события.

**Пример.**

$$Tr = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 9 & 15 \\ 20 & 23 \\ 30 & 33 \\ 35 & 61 \end{bmatrix}, RT(Tr, 4, 4) = 1, RT(Tr, 4, 27) = 0.$$

Циклограмма может быть представлена в виде графика (рисунок).



■ Циклограмма для массива *Tr*

Разработаны программы для «сложения» и построения результирующих массивов и графиков для двух, трех и любого конечного числа исходных массивов.

**Пример.**

$$Tr = \begin{bmatrix} 3 & 5 \\ 9 & 15 \\ 20 & 23 \\ 30 & 33 \\ 35 & 61 \end{bmatrix}, Ts = \begin{bmatrix} 2 & 16 \\ 21 & 32 \\ 38 & 45 \end{bmatrix},$$

$$Tpp = \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 40 & 65 \end{bmatrix}.$$

Результат «сложения» трех массивов

$$Mat2(Tr, 4, Ts, 2, Tpp, 1) = \begin{bmatrix} 4 & 7 \\ 40 & 45 \end{bmatrix}.$$

### Заключение

Приведенные модели являются неотъемлемой частью бортовой базы знаний агентов-МКА, что позволяет в реальном масштабе времени в автоматическом режиме строить и поддерживать глобальные сетевые структуры, распределенные в космическом пространстве, для эффективного планирования и управления орбитальными группировками МКА.

### Литература

1. Скобелев П. О., Соллогуб А. В., Иващенко А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Решение задач дистанционного зондирования Земли с применением мультиагентных технологий // Вестник Самарского гос. техн. ун-та. 2010. № 7 (28). С. 47–54.
2. Скобелев П. О., Соллогуб А. В., Иващенко А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Мультиагентные системы для исследования методов взаимодействия космических аппаратов дистанционного зондирования Земли // Перспективные информационные технологии для авиации и космоса (ПИТ-2010): тр. Междунар. конф. с элементами научной школы для молодежи. — Самара: СГАУ, 2010. С. 226–230.
3. Скобелев П. О., Соллогуб А. В., Иващенко А. В., Симонова Е. В., Степанов М. Е., Царев А. В. Мультиагентные технологии в задачах дистанционного зондирования Земли // Тр. XIII Междунар. конф. по проблемам управления и моделирования в сложных системах / СамНЦ РАН, ИПУСС РАН. — Самара, 2011. С. 426–434.
4. Сысоев В. К., Пичхадзе К. М., Арапов Е. А. Анализ возможных схем построения космических солнечных электростанций // Полет. 2010. № 6. С. 37–47.
5. Каляев И. А. Стратегии группового управления в распределенных системах // Управление в распределенных сетевых и мультиагентных системах (УРСИМС-2010): материалы науч.-техн. семинара; 3-я мультikonф. по проблемам управления / ОАО «Концерн «ЦНИИ «Электроприбор». СПб., 2010. С. 8–9.
6. Горячкин О. В. Пути развития радиолокационных космических систем дистанционного зондирования Земли // Вестник СГАУ. 2010. № 2 (22). С. 92–104.



УДК 519.2

## МОДЕЛЬ ИЗМЕРИТЕЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ В СИСТЕМАХ МОНИТОРИНГА КОСМИЧЕСКИХ СРЕДСТВ

**В. А. Каргин,**

канд. техн. наук, доцент

**Д. А. Николаев,**

инженер-программист

**А. Ю. Россиев,**

инженер-программист

ЗАО «СКБ Орион», г. Санкт-Петербург

**Д. Н. Бородько,**

преподаватель

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

На основе результатов исследования вероятностной структуры измерительной информации, полученной с ракеты-носителя типа «Союз», предложены одно- и двумерные модели информационных процессов, которые могут быть положены в основу разрабатываемых оперативных алгоритмов обработки измерительной информации для систем мониторинга реального времени.

**Ключевые слова** — системы мониторинга, реальный масштаб времени, ракета-носитель, неопределенность измерительной информации, вероятностные смеси.

### Введение

Расширение круга решаемых задач в ракетно-космической отрасли, совершенствование старых и разработка новых видов ракетно-космической техники (РКТ) приводят к увеличению объемов информации, требующейся для оценивания и прогнозирования технического состояния испытываемых космических средств. Это связано с необходимостью в кратчайшие сроки принимать решение об эффективности функционирования ракеты-носителя (РН), космического аппарата, разгонного блока и их систем. Для решения одной из таких задач в рамках опытно-конструкторской работы «Плесецк» создается комплекс мониторинга состояния и визуального отображения информации полета РН на активном участке траектории по данным измерительной информации. Данный комплекс решает задачи оценивания и прогнозирования технического состояния бортовых систем РН «Союз-2» (космодром «Плесецк») в целях оперативного получения заключений о контролируемых событиях, происходящих на борту, и своевременной выдачи управляющих воздействий.

Анализ испытаний и сопровождения РКТ показывает, что оперативное заключение о техни-

ческом состоянии РН готовится экспертом, использующим в основном допусковой контроль по результатам оценивания отдельных групп информационно-ценных параметров измерительной информации, преимущественно телеметрической. При этом большинство операций оценивания состояния систем и агрегатов не автоматизировано и не интегрировано в общую систему мониторинга [1].

Системный анализ основных проблем создания и сопровождения подобных автоматизированных комплексов (систем) реального времени, функционирующих в критических приложениях, показывает, что эффективность их во многом зависит от возможностей информационных технологий, на базе которых они создаются. Основные достоинства современных автоматизированных систем мониторинга реального времени представлены на рис. 1.

Дефицит времени, сложность и многопоточность схем автоматизированного анализа предъявляют высокие требования к качеству и достоверности обработки информации, поступающей на вход систем мониторинга реального времени. В то же время существенная неопределенность измерительной информации, вызванная ее неод-



Рис. 1. Пример комплекса мониторинга состояния РН, разработанного в рамках опытно-конструкторской работы «Плесецк»

нородностью, избыточностью и разнообразием смыслового содержания, не позволяет классическими методами провести синтез оперативных алгоритмов обработки и выполнить требования по качеству обработки информации в условиях жестких временных ограничений [2–4].

### Классификация измерительной информации как случайных функций

К настоящему времени получены многочисленные результаты по алгоритмизации обработки информации космических средств в реальном масштабе времени. Однако большинство таких результатов представляются весьма разрозненными, они не базируются на едином подходе и их весьма сложно использовать в практических задачах. Проведение дополнительных исследований предполагает формализацию особенностей измерительной информации РН и обоснование обобщенных моделей ее представления для разработки оперативных алгоритмов обработки в системах мониторинга космических средств.

Систематизация особенностей измерительной информации проводилась на основе результатов, полученных в ходе испытаний РН «Союз-2» с 2004-го по 2011 год. Данная РН является сложным динамическим объектом, состоящим из более чем 15 бортовых систем, связанных между собой сложной системой функциональных связей и информационного обмена. Объем данных о функционировании РН «Союз-2» составляет приблизительно 30–40 млн значений измерений, поступающих за 9–10 мин активного участка полета.

Физические процессы, протекающие на борту РН, по своей природе непрерывны, подвержены случайным возмущениям и воздействиям, что предполагает их описание в классе непрерывных случайных процессов [5]:

$$\{\xi(t)\} = \{\xi(t), \xi \in X, t \in T\}, \quad (1)$$

где  $t$  — непрерывный параметр времени;  $T$  — непрерывное множество значений параметра  $t$ ;  $X$  — непрерывное пространство состояний переменной  $\xi$ .

С другой стороны, при передаче измерительная информация подвергается процедурам дискретизации по времени и квантования по уровню, поэтому наиболее удобно для решения практических задач выполнить ее описание в классе случайных последовательностей:

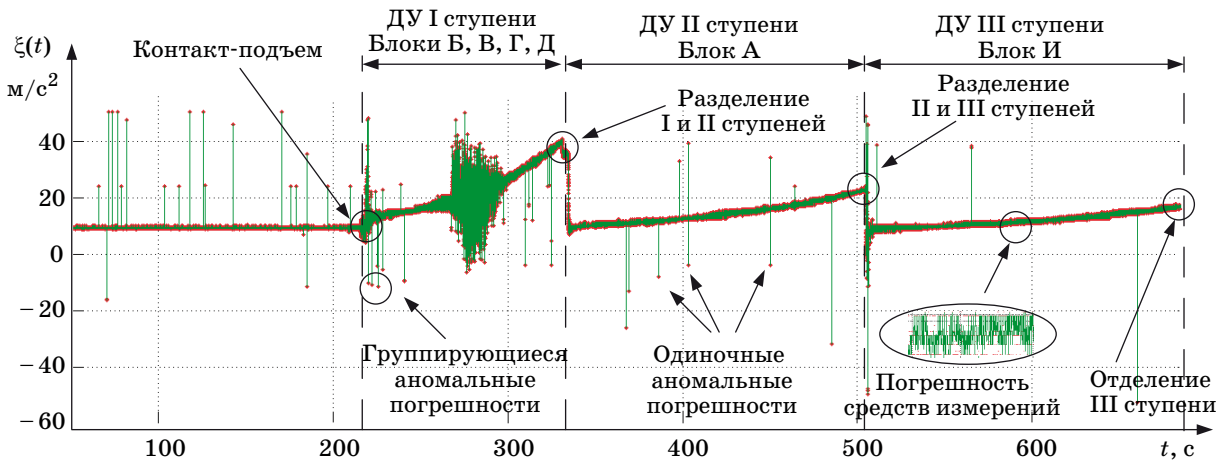
$$\{\xi(t_i)\} = \{\xi(t_i), \xi \in X_1, t_i \in T_1\}, \quad (2)$$

где  $t_i$  — дискретный параметр времени;  $T_1$  — дискретное множество значений параметра  $t_i$ ;  $X_1$  — квантованное пространство состояний переменной  $\xi$ .

Данная классификация (возможности классов случайных функций) учитывается при обосновании моделей и оперативных алгоритмов обработки на различных этапах формирования и передачи измерительной информации с РН.

### Модель временной структуры информационных процессов

По результатам исследований измерительная информация РН может быть охарактеризована (рис. 2) [6]:



■ Рис. 2. Измерительная информация, поступающая с датчика осевой перегрузки АЛЕ048 осевого ускорения III ступени РН «Союз-2» с частотой опроса 200 Гц

— сложной, изменяющейся во времени структурой, явно связанной с режимами функционирования систем и агрегатов РН;

— разнообразием смыслового содержания (телеметрируется более 25 различных типов параметров);

— нестационарностью по математическому ожиданию  $m_\xi = m_\xi(t) \neq \text{const}$ , по дисперсии  $\sigma_\xi^2 = \sigma_\xi^2(t) \neq \text{const}$ , изменчивостью характеристик одномерных распределений  $p(\xi) = p(\xi, t)$  и спектрально-корреляционных  $S_\xi(f) = S_\xi(f, t)$ ,  $R_\xi(\tau) = R_\xi(\tau, t)$  во времени;

— неоднородностью 3–13 % (по различным группам параметров), связанной с наличием погрешностей измерений, одиночных и группирующихся аномалий, пропусками данных;

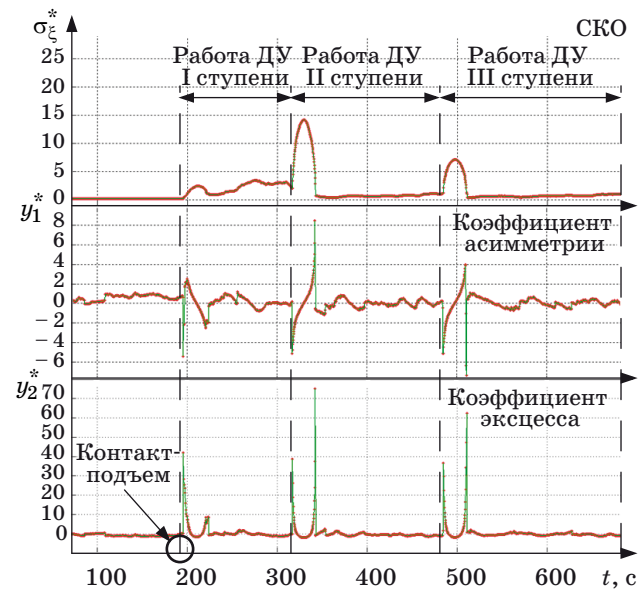
— избыточностью данных, обусловленной фиксированной частотой опроса локального коммутатора различных по динамичности параметров, приводящей к увеличению объема поступающей информации в 10–30 раз.

По результатам оценивания моментов одномерных распределений можно сделать вывод, что информационный процесс  $\xi(t)$  является нестационарным по математическому ожиданию и дисперсии. При этом выделяются продолжительные по времени участки, на которых изменения полученных оценок дисперсии  $\sigma_\xi^{2*}$ , коэффициентов асимметрии  $\gamma_1^*$ , эксцесса  $\gamma_2^*$  случайной компоненты информационного процесса  $\xi(t)$  близки к нулю. Резкие изменения характерны только для переходных процессов, связанных с включением-выключением двигательных установок (ДУ) и разделением ступеней РН, что позволяет рассматривать случайную компоненту устоявшихся режимов работы ДУ РН как непрерывный стационарный случайный процесс. Результаты оценивания среднеквадратического отклонения (СКО)  $\sigma_\xi^*$ , ко-

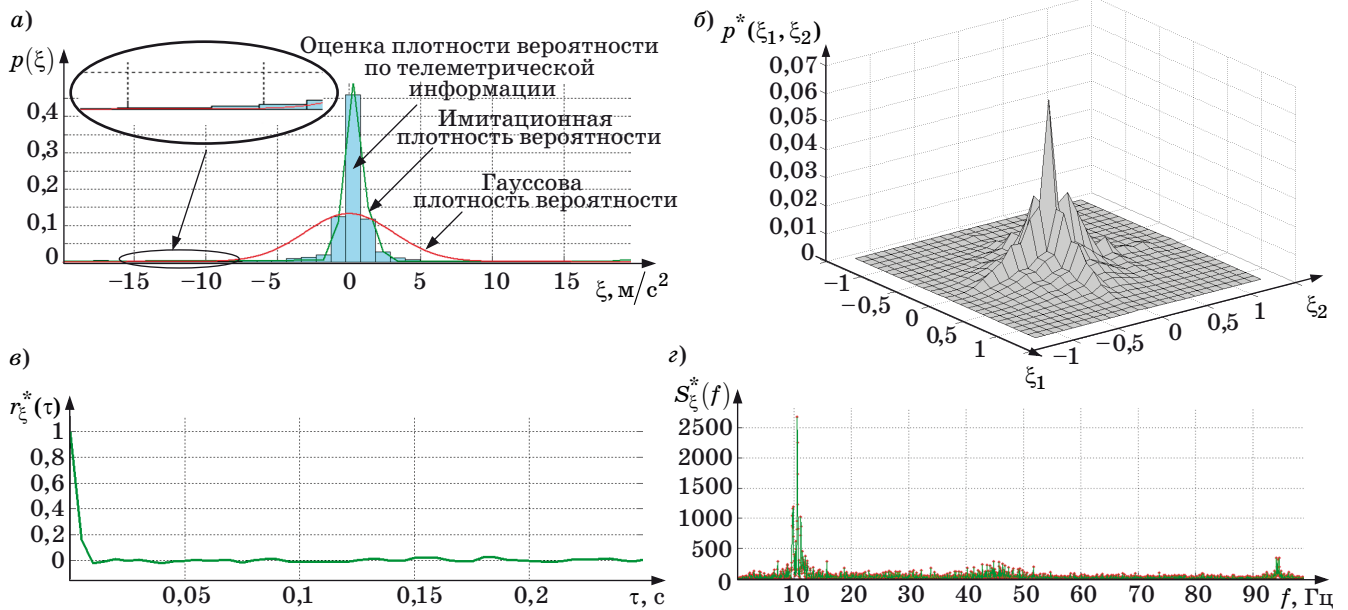
эффициентов асимметрии  $\gamma_1^*$  и эксцесса  $\gamma_2^*$  случайной компоненты параметра осевой перегрузки  $\xi(t)$  представлены на рис. 3.

Анализ результатов оценивания одномерных плотностей вероятности  $p^*(\xi)$  информационных процессов показывает, что полученные оценки не могут быть однозначно сопоставлены с каким-либо параметрическим семейством одномерных распределений. В то же время совместные исследования формы  $\gamma_2^*$  результирующей плотности вероятности  $p^*(\xi)$  и величины энтропийной погрешности  $\Delta_3$  показывают близость полученных оценок плотностей  $p^*(\xi)$  к гауссовым [7].

Учитывая условия формирования и передачи информационного процесса  $\xi(t)$ , а также ре-



■ Рис. 3. Результаты оценивания моментных характеристик случайной компоненты параметра осевой перегрузки



■ **Рис. 4.** Полученные для параметра осевой перегрузки во время работы ДУ II ступени (340–480 с) оценки: *a* — плотности вероятности с наложенной кривой гауссова распределения; *б* — двумерной плотности вероятности; *в* — нормированной корреляционной функции; *г* — спектральной плотности

зультаты исследования и численного моделирования, результирующую плотность вероятности  $p^*(\xi)$  можно представить моделью с  $\alpha$ -загрязнением, состоящей из «смеси» двух компонент [6, 8, 9]:

— флуктуационной компоненты — непрерывного широкополосного случайного процесса, имеющего гауссово распределение  $p_\Phi(\xi)$ ;

— аномальной компоненты — узкополосного непрерывного случайного процесса, имеющего гауссово распределение  $p_a(\xi)$ :

$$p(\xi) \approx (1 - \alpha_a) p_\Phi(\xi) + \alpha_a p_a(\xi) = \frac{1 - \alpha_a}{\sigma_\Phi \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_\Phi^2}\right) + \frac{\alpha_a}{\sigma_a \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{\xi^2}{2\sigma_a^2}\right), \quad (3)$$

где весовой коэффициент  $\alpha_a$  ( $0 < \alpha_a < 1$ ) играет роль вероятности появления аномальной составляющей;  $\sigma_\Phi^2$  — дисперсия флуктуационной компоненты;  $\sigma_a^2$  — дисперсия аномальной компоненты.

Результаты имитационного моделирования подтвердили согласованность модели с реальными информационными процессами  $\xi(t)$ , протекающими на борту РН «Союз-2» (рис. 4, а).

Сравнение полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что затянутые «хвосты» распределения оцениваемой телеметрической информации объясняются влиянием аномальной компоненты. Представленная вероятностная модель отражает основные особенности временной структуры информационных процессов  $\xi(t)$ .

### Модель измерительной информации

В качестве модели двумерного распределения для значений  $\xi_1(t) = \xi(t_1)$  и  $\xi_2(t) = \xi(t_2)$  случайной составляющей информационного процесса  $\xi(t)$  было использовано представление негауссовой двумерной плотности вероятности в виде двухкомпонентной «смеси» двумерных распределений:

$$p(\xi_1, \xi_2; t_1, t_2) = (1 - \alpha_a) p_\Phi(\xi_1, \xi_2 | \sigma_\Phi, r_\Phi(\tau)) + \alpha_a p_a(\xi_1, \xi_2 | \sigma_a, r_a(\tau)), \quad (4)$$

где значения коэффициента  $\alpha_a$  совпадают со значением  $\alpha_a$  для модели одномерного распределения  $p(\xi)$ ;

—  $r_\Phi(\tau)$  и  $r_a(\tau)$  — нормированные корреляционные функции флуктуационной и аномальной компонент;

— при оценивании функции  $p(\xi_1, \xi_2, | \sigma, r(\tau))$  значения переменных  $\xi_1(t) = \xi(t_1)$  и  $\xi_2(t) = \xi(t_2)$  выбираются из условия некоррелированности выборок.

По результатам оценивания экспериментальных данных (по форме полученных двумерных распределений  $p^*(\xi_1, \xi_2, | \sigma, r(\tau))$ ) можно заключить, что флуктуационная и аномальная компоненты имеют гауссово распределение (рис. 4, б).

В условиях «дефицита времени» в системах мониторинга оценивание двумерных плотностей вероятности не представляется возможным, поэтому при решении практических задач используются наиболее простые и распространенные двумерные характеристики, такие как оценки кор-

реляционных функций и спектральных плотностей. Нормированная корреляционная функция  $r_{\xi}(\tau)$  и соответствующая ей нормированная спектральная плотность мощности  $S_{\xi}(f)$  также могут быть представлены моделью с  $\alpha$ -загрязнением:

$$r_{\xi}(\tau) \approx (1 - \alpha_a)r_{\phi}(\tau) + \alpha_a r_a(\tau); \quad (5)$$

$$S_{\xi}(f) \approx (1 - \alpha_a)S_{\phi}(f) + \alpha_a S_a(f). \quad (6)$$

Полученные оценки нормированных корреляционных функций  $r_{\xi}^*(\tau)$  случайной составляющей информационного процесса  $\xi(t)$  представляют собой некоторую осциллирующую, достаточно быстро затухающую функцию, подтверждающую выдвинутое предположение о стационарности процесса  $\xi(t)$  на участках с устоявшейся работой ДУ (рис. 4, в).

Анализируя характер соответствующей оценки спектральной плотности  $S_{\xi}^*(f)$  (рис. 4, г), можно сделать вывод, что спектрально-корреляционные характеристики информационных процессов  $\xi(t)$  действительно могут быть представлены в виде смеси широкополосной и узкополосной гауссовых компонент.

## Заключение

Измерительная информация РН характеризуется сложной изменяющейся во времени веро-

ятностной структурой. Учитывая особенности передачи и формирования, измерительную информацию с РН можно отнести к двум классам случайных функций: непрерывным случайным процессам и случайным последовательностям.

На длительных интервалах времени случайная составляющая представляет собой нестационарный по дисперсии и спектрально-корреляционным свойствам непрерывный случайный процесс. В то же время на этапе анализа выборочные функции информационных процессов могут быть разделены на стационарные участки, соответствующие режимам работы систем и агрегатов РН.

Анализ экспериментальных данных и результаты численных экспериментов позволили обосновать вероятностную двухкомпонентную модель измерительной информации в виде вероятностной смеси распределений (4). Основные составляющие этой смеси позволяют исследовать временную (3) и частотную (5), (6) структуры аномальной и флуктуационной компонент измерительной информации РН. Полученные результаты хорошо согласуются для различных групп параметров РН и дополняют известные к настоящему времени исследования временной и вероятностной структур информационных процессов в системах мониторинга состояния космических средств.

## Литература

1. Каргин В. А., Майданович О. В., Охтилев М. Ю. Автоматизированная система информационной поддержки принятия решений по контролю в реальном времени состояния ракетно-космической техники // Изв. вузов. Приборостроение. 2010. № 11. С. 20–23.
2. Россиев А. Ю., Каргин В. А. Анализ основных проблем при создании автоматизированных систем управления подготовкой и пуском ракет космического назначения // Научная сессия ГУАП: сб. докл.: в 3 ч. Ч. II: Технические науки. СПб.: ГУАП, 2010. С. 173–175.
3. Каргин В. А., Майданович О. В., Охтилев М. Ю., Россиев А. Ю. Автоматизированная система управления подготовкой и пуском ракет космического назначения как корпоративная информационная система // Информационно-измерительные и управляющие системы. 2010. № 7. С. 78–83.
4. Майданович О. В., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Юсупов Р. М. Комплексная автоматизация мониторинга состояния космических средств на основе интеллектуальных информационных технологий // Информационные технологии. 2011. № 10. Приложение. С. 32.
5. Туманова А. В. Вероятностная структура сигналов и помех в лазерных системах передачи и обработки информации: автореф. дис. ... канд. техн. наук. — СПб.: ГУАП, 2008. — 30 с.
6. Каргин В. А., Нездоровин Н. В., Николаев Д. А., Самойлов Е. Б. Особенности обработки телеметрической информации ракет-носителей в реальном времени // Информация и космос. 2009. № 4. С. 77–82.
7. Новицкий П. В., Зограф И. А. Оценка погрешностей результатов измерений. — Л.: Электроатомиздат, 1991. — 304 с.
8. Тихонов В. И., Хименко В. И. Проблема пересечений уровней случайными процессами. Радиофизические приложения // Радиотехника и электроника. 1998. Т. 43. № 5. С. 501–523.
9. Хименко В. И. Проблемы речевых технологий. Вероятностная структура и обобщенная математическая модель речевых сигналов // Вестник молодых ученых. 2005. № 8. С. 5–17.

УДК 681.3

# МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБСЛУЖИВАНИЯ НЕСТАЦИОНАРНОГО ИНФОРМАЦИОННОГО ПОТОКА СИСТЕМОЙ СВЯЗИ СО СЛУЧАЙНЫМ МНОЖЕСТВЕННЫМ ДОСТУПОМ

**С. И. Макаренко,**

канд. техн. наук, преподаватель

**М. А. Татарков,**

инженер

Военно-космическая академия им. А. Ф. Можайского, г. Санкт-Петербург

Проведено моделирование нестационарного потока в сети связи с CSMA методом доступа абонентов. Рассмотрен пуассоновский нестационарный поток с интенсивностью, представленной псевдослучайной тригонометрической функцией. Оценены показатели качества сети связи с данным входным потоком. Обосновано резервирование дополнительного канала в составе системы связи для обслуживания рассматриваемых информационных потоков.

**Ключевые слова** — нестационарный пуассоновский поток, показатели качества обслуживания, метод CSMA.

## Введение

Реальные информационные потоки, передаваемые по информационным вычислительным сетям (ИВС), имеют более сложную структуру (например, обладают свойствами нестационарности, самоподобия и др.), чем используемые в моделях ИВС потоки со стационарными свойствами. Отсутствие учета нестационарности (варьирование в широких пределах интенсивности) входного потока в моделях каналов связи (КС) ведет к существенным погрешностям в определении характеристик качества обслуживания (QoS — Quality of Service) таких ИВС. Это в дальнейшем влияет на качество функционирования автоматизированных систем управления реальным временем, в составе которых функционируют данные ИВС [1].

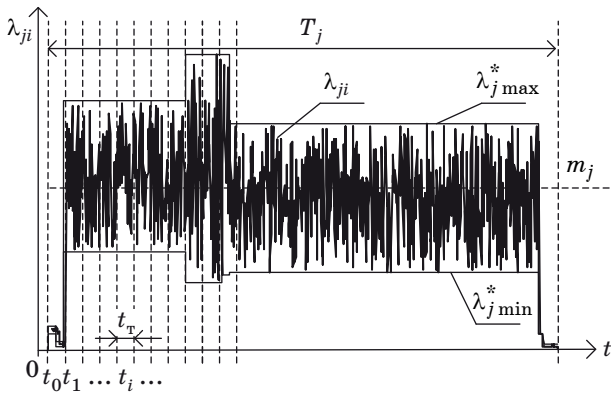
Ранее авторами была предложена обобщенная модель для расчета QoS сети связи (СС), моделируемой системой массового обслуживания (СМО), в случае если на вход системы поступает дважды стохастический поток заявок [2]. Частные решения данной модели были использованы при вычислении QoS проводного канала связи (КС) [3] и спутниковой сети с доступом по типу S-ALOHA [4]. Результатом применения обобщенного подхода [2] для вычисления параметров сети радиосвязи (СРС) с доступом абонентов по типу CSMA [5] явился вывод о невозможности аналитического

вычисления характеристик QoS. При оценке QoS для СРС со случайным множественным доступом с проверкой несущей частоты (МДПН) целесообразно использовать статистическое или численное моделирование. Таким образом, настоящая работа дополняет аналитическое решение [5] и позволяет качественно оценить QoS СРС с МДПН при поступлении на вход СРС нестационарного информационного потока.

## Моделирование нестационарного информационного потока сложной псевдослучайной тригонометрической функцией

Для моделирования СРС с МДПН предлагается использовать модель СМО, предложенную в работе [6]. СРС имеет синхронизацию по тактам, причем на длительности такта  $t_r$  ведет информационный обмен один активный абонент. Пусть интенсивность  $\lambda^*$  реального входного в СРС трафика имеет сложную природу, меняется независимо при переходе от такта к такту, причем заранее неизвестно, какое значение примет данная интенсивность  $\lambda_i^*$  в каждый  $i$ -й такт, однако заданы границы изменения интенсивности потока от каждого абонента для каждого такта (рис. 1).

Интенсивность потока в этом случае необходимо моделировать аналитической функцией, удовлетворяющей следующим требованиям:



■ **Рис. 1.** Интенсивность информационного потока  $\lambda_{ji}^*$  и потока, задаваемого ПСТФ  $\lambda_{ji}$

— вид функции должен соответствовать реальному изменению интенсивности информационных потоков в СРС;

— вероятностные характеристики должны быть равны вероятностным характеристикам реальных информационных потоков от абонентов СРС;

— функция должна иметь псевдослучайный характер изменения интенсивности и быть непериодической.

Для описания входного в СМО потока с изменяющейся нестационарной интенсивностью предлагается использовать сложную псевдослучайную тригонометрическую функцию (ПСТФ) интенсивности входного потока  $\lambda_{ji}$  на  $i$ -м такте от  $j$ -го абонента, удовлетворяющую вышеуказанным требованиям:

$$\left\{ \begin{aligned} \lambda_{ji} &= m_{\lambda_j} + \frac{\sigma_{\lambda_j}^2}{2} \sin(\omega_j t_i + \pi \cos(t_i W_{ji})) \times \\ &\times \cos(\omega_j t_i + \pi \sin(t_i W_{ji})) \\ W_{ji} &= \Omega_j + \sin(k_j \Omega_j t_i) \end{aligned} \right. , \quad (1)$$

где  $m_{\lambda_j}$  — математическое ожидание интенсивности исходящего информационного потока  $j$ -го абонента;  $\sigma_{\lambda_j}^2$  — дисперсия интенсивности реального информационного потока  $j$ -го абонента;  $\omega_j$  — частота ПСТФ  $j$ -го абонента;  $\Omega_j, k_j$  подбирают эмпирическим путем, исходя из наибольшего соответствия ПСТФ реальному информационному потоку от  $j$ -го абонента.

Параметры  $m_{\lambda_j}$  и  $\sigma_{\lambda_j}^2$  могут быть вычислены априорно по анализу больших реализаций  $\lambda_{ji}^*$  на интервале активной передачи абонента  $T_j$ :

$$m_{\lambda_j} = \frac{1}{T_j} \sum_{l \in T_j} \lambda_{jl}^*; \quad \sigma_{\lambda_j}^2 = \frac{1}{T_j} \sum_{l \in T_j} (\lambda_{jl}^* - m_{\lambda_j})^2. \quad (2)$$

Если на основании проверки по критерию Колмогорова возможно выдвинуть гипотезу о нор-

мальном распределении случайных флуктуаций интенсивности  $\lambda_{ji}^*$ :

$$m_{\lambda_j} \approx \frac{1}{2} (\lambda_{j \max, l}^* - \lambda_{j \min, l}^*); \quad \sigma_{\lambda_j} \approx \frac{1}{6} (\lambda_{j \max, l}^* - \lambda_{j \min, l}^*).$$

Параметры  $\Omega_j, k_j$  в (1) определяют исходя из соответствия ПСТФ  $\lambda_{ji}$  реальному информационному потоку  $\lambda_{ji}^*$  от  $j$ -го абонента по критерию Пирсона при заданной доверительной вероятности.

Предполагается, что на длительности  $i$ -го такта информационного обмена  $j$ -й абонент генерирует стационарный пуассоновский поток с интенсивностью  $\lambda_{ji}$ . При переходе к следующему  $i + 1$  такту интенсивность пакетов от  $j$ -го абонента меняется в соответствии с ПСТФ на  $\lambda_{ji+1}$ . Это позволяет сгенерировать нестационарный поток пакетов, для которого в общем случае на всем интервале информационного обмена  $T_j$  выполняется свойство ординарности и отсутствия последействия. Вероятности поступления  $m$  пакетов на  $i$ -м такте за время  $\tau$  ( $t_i < \tau < t_{i+1}$ ) будут распределены по закону Пуассона [7]:

$$P_{ji}(m, \tau) = \frac{(\lambda_{ji} \tau)^m}{m!} e^{-\lambda_{ji} \tau}, \quad \tau \in [t_i, t_{i+1}), \quad (3)$$

параметры которого будут меняться при переходе к каждому следующему такту.

В этом случае для известной СМО с  $j$  входными потоками, при стационарной интенсивности обслуживания  $\mu$ , вероятности нахождения системы в том или ином состоянии (количество заявок в системе  $l$ ) длительности каждого такта будут зависеть от суммы интенсивностей  $\lambda_{ji}$  и, так как сохраняется свойство отсутствия последействия (свойство марковского процесса), будут определяться системой уравнений Колмогорова [7] с вероятностями  $p_0, \dots, p_l$  нахождения в системе соответственно  $0, \dots, l$  заявок:

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{dp_{0i}(t)}{dt} &= \mu p_{1i}(t) - \lambda_{nst i} p_{0i}(t) \\ \frac{dp_{1i}(t)}{dt} &= \mu p_{2i}(t) + \lambda_{nst i} p_{0i}(t) - \\ &- (\lambda_{nst i} + \mu) p_{1i}(t) \\ &\dots \\ \frac{dp_{ki}(t)}{dt} &= \mu p_{k+1, i}(t) + \lambda_{nst i} p_{k-1, i}(t) - \\ &- (\lambda_{nst i} + \mu) p_{k, i}(t) \\ &\dots \\ \frac{dp_{li}(t)}{dt} &= \lambda_{nst i} p_{l-1, i}(t) - \mu p_{l, i}(t) \\ \sum_{k=0}^l p_{ki}(t) &= 1 \\ \lambda_{nst i} &= \sum_j \lambda_{ji} \end{aligned} \right. . \quad (4)$$

Данное представление позволяет решить вышеуказанную систему относительно  $p_0, \dots, p_i$  для каждого  $i$ -го такта, после чего по известным методам [7] вычислить характеристики обслуживания заявок в СМО (время нахождения в очереди, время обслуживания в системе, относительную пропускную способность системы). Предложенный подход существенно упрощает задачу анализа характеристик СМО, так как характеристика интенсивности  $\lambda_{nst\ i}$  не зависит от времени в течение длительности такта, а задача вычисления характеристик вышеуказанной системы при произвольных законах распределения  $\lambda_j(t)$  практически не может быть решена в аналитическом виде [7]. Вместе с тем при представлении интенсивности в виде ПСТФ необходимо дополнительно оценить «шумы квантования» для выражений (1) и (2) либо использовать в (1) частоты в соответствии с частотой квантования Котельникова.

Использование при моделировании предложенной ПСТФ для описания нестационарного потока отличает данную работу от аналогов, где для упрощенного описания нестационарного потока требований в СМО используется поток второго порядка стохастичности [2–5], интервальные стационарные функции [8] или аппроксимация интенсивности интервально-линейными функциями [9].

**Моделирование процесса обслуживания нестационарного информационного потока сетью радиосвязи со случайным множественным доступом**

При моделировании обслуживания СРС с МДПН входного нестационарного потока нескольких абонентов за основу была взята модель из работы [6]. Пусть в системе имеется  $j$  абонентов, каждый из которых на протяжении независимого времени  $T_j$  активен и ведет информационный обмен по СРС. Обмен ведется в режиме разделения канала обслуживания во времени, по тактам длительностью  $t_T$  (размер окна передачи, соответствующий времени передачи одного абонента). В начале каждого такта абоненты пытаются получить доступ к КС; если КС свободен, то абонент осуществляет передачу длительностью  $t_T$ . В случае занятости КС абонент откладывает свою передачу до следующего такта в соответствии со случайным распределением задержки повторной передачи. Когда наступает это время, абонент вновь проверяет КС и повторяет описанный алгоритм.

Введем обозначения:  $C$  — пропускная способность КС;  $S$  — относительная пропускная способность СРС;  $G$  — число попыток передач пакетов

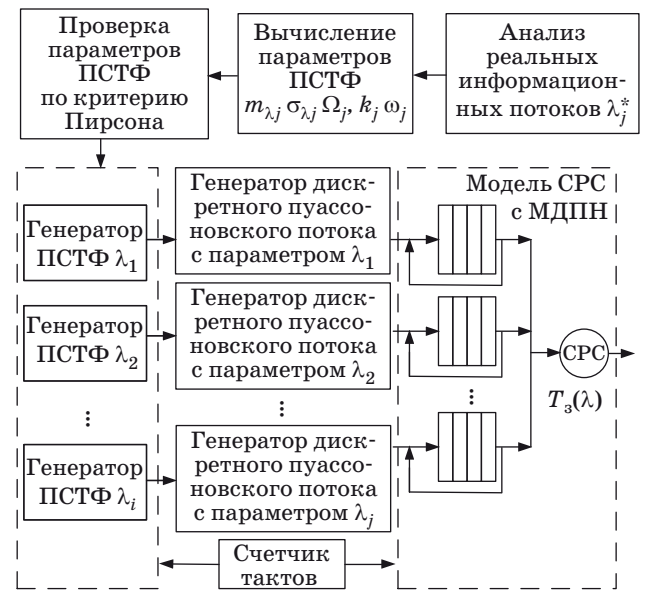
$G(t)$  за длительность такта  $t_T$ ;  $G_j$  — вероятность, что  $j$ -й абонент передаст пакет за длительность данного такта  $t_T$ ;  $T_3$  — среднее время задержки пакета в системе, за которое пакет будет успешно передан и принят;  $K$  — задержка повторной передачи в количестве тактов, равномерно распределенная со средним значением  $K$  единиц на такт;  $c$  — скорость света;  $D_{mes}$  — объем пакета, бит;  $d_{max}$  — радиус СРС, км.

Ограничения модели [6]: канал является бесшумным; все абоненты находятся в пределах прямой видимости; канал для передачи квитанций отделен от рассматриваемого КС и предполагается, что квитанции о доставке прибывают надежно и без затрат; рассматриваемая модель действительна при наличии большого числа «равномерно интенсивных» пользователей.

Используем модель СРС в виде СМО (рис. 2), для упрощения рассмотрим случай, когда  $j = 4$ . Каждый абонент генерирует поток пакетов с интенсивностью  $\lambda_{ji}$ , причем интенсивность на  $i$ -м такте определяется выражением (1). Абоненты вступают в информационный обмен поочередно в моменты времени  $t_1, t_2, t_3, t_4$  и завершают его в момент  $t_5$  (рис. 3). Суммарная интенсивность пакетов, поступающих в систему, для данной модели определяется суммой

$$\lambda_{nst}(t_i) = \sum_{j=1}^4 \lambda_j(t_i), \quad t = 0..t_5. \quad (5)$$

Поток с нестационарной интенсивностью  $\lambda_{nst}(t_i)$  существенно отличается от потока со стационарной интенсивностью  $\lambda_{st}(t_i)$ , который, как



■ Рис. 2. Модель обслуживания СРС с МДПН нестационарных информационных потоков



правило, используется при моделировании СРС с МДПН и в данной модели определяется как

$$\lambda_{st}(t_i) = \sum_{j=1}^4 m_{\lambda_j}(t_i), \quad t = 0..t_5. \quad (6)$$

В результате по мере вступления все большего количества абонентов в информационный обмен расхождение между результатами модели потока, представляемого ПСТФ, и моделью стационарного пуассоновского потока нарастает (см. рис. 3):

$$\Delta\lambda(t_i) = |\lambda_{nst}(t_i) - \lambda_{st}(t_i)|, \quad t = 0..t_5, \quad (7)$$

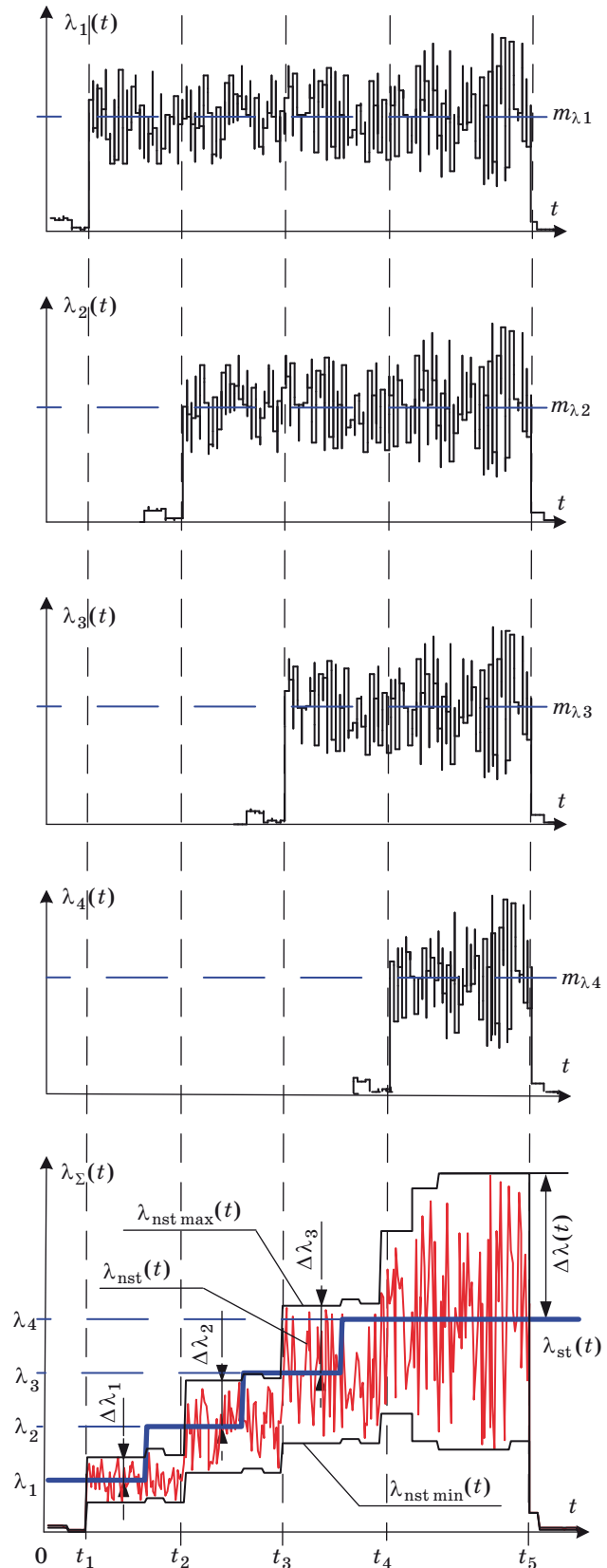
$$\Delta\lambda_1 < \Delta\lambda_2 < \Delta\lambda_3 < \Delta\lambda_4.$$

Дисперсионная характеристика нестационарного потока  $\lambda_{nst}(t_i)$  существенно возрастает при росте количества абонентов. Так как качество обслуживания СРС с МДПН зависит от характеристик входного потока, возникает систематическая ошибка между результатами по качеству обслуживания СРС потока с интенсивностью  $\lambda_{nst}(t_i)$ , представляемой ПСТФ, и моделью, в которой качество обслуживания рассчитывается как функция от стационарной интенсивности  $\lambda_{st}(t_i)$ .

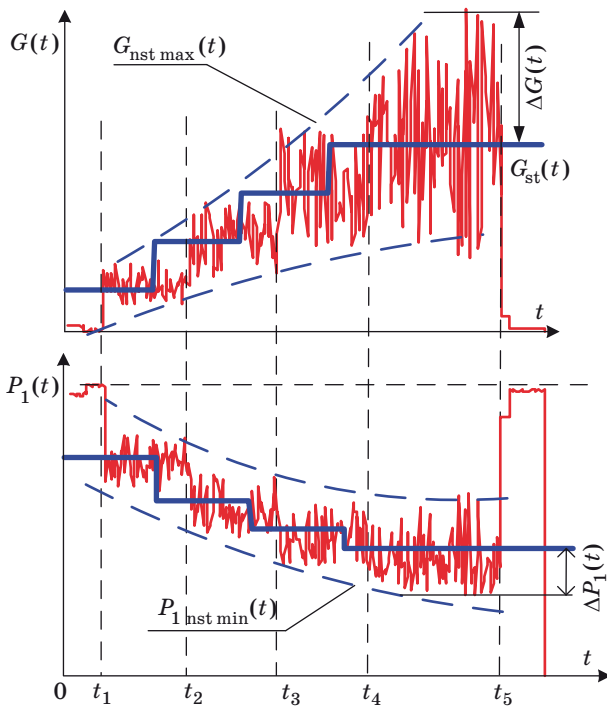
Произведем расчет значений показателей качества обслуживания для модели СРС с МДПН [6] с учетом того, что на вход системы с пропускной способностью  $C$  поступает поток с интенсивностью, определяемой выражениями (1) и (5). Рассмотрим число попыток передач пакетов  $G(t)$  за длительность такта  $t_T$ . В соответствии с [6] данный параметр определяется как

$$\begin{cases} G_j(t_i) = \frac{t_T \lambda_j(t_i)}{D_{mes}} \\ G(t_i) = \sum_j G_j(t_i) = \frac{1}{C} \sum_j \lambda_j(t_i) \end{cases} \quad (8)$$

Результаты аналитического моделирования (рис. 4) показывают, что при использовании потока с интенсивностью, представленной ПСТФ, существенно возрастает максимально необходимое число попыток передач пакета  $G_{nst \max}(t)$ . При сравнении с результатами  $G_{st}(t)$  для модели стационарного пуассоновского потока с ростом количества абонентов, участвующих в информационном обмене, на  $\Delta G(t)$  возрастает число попыток передач пакета. Проведенный анализ показывает, что рост  $\Delta G(t)$  пропорционален росту дисперсионной характеристики  $\lambda_{nst}(t_i)$  и количеству абонентов  $j$ . При этом снижается минимальная вероятность передачи пакета с первой попытки  $P_{1 \text{ nst max}}(t)$  на  $\Delta P_1(t)$  по сравнению со стационарным потоком, что ведет к увеличению пакетов, требующих повторной передачи, и, соответственно, росту загрузки СРС.



■ Рис. 3. Частные и суммарная интенсивности стационарного  $\lambda_{st}(t_i)$  и нестационарного  $\lambda_{nst}(t_i)$  потоков пакетов в систему



■ **Рис. 4.** Моделирование числа попыток передач пакета  $G(t)$  и вероятности передачи пакета  $P_1(t)$  при входных стационарном и нестационарном потоках

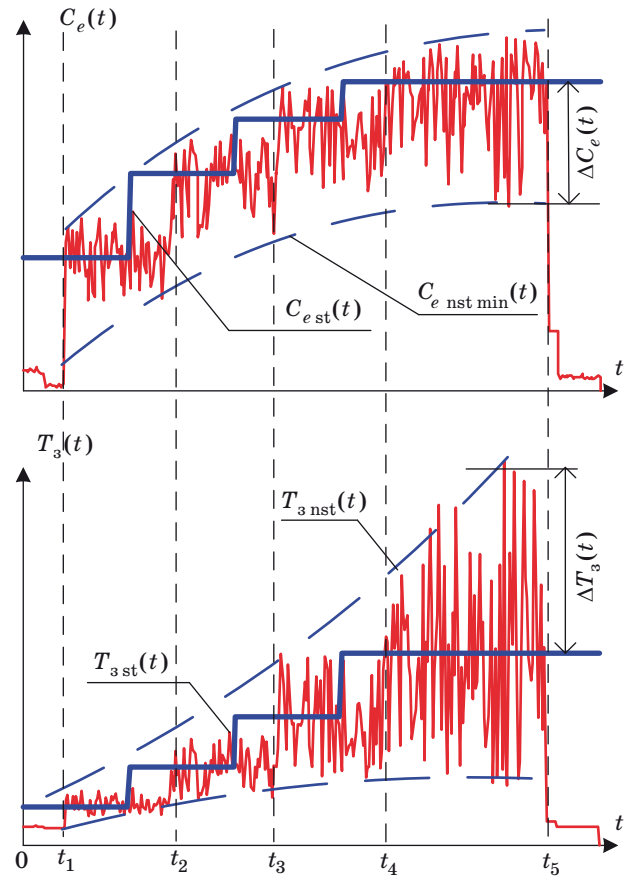
Произведем расчет значений времени задержки при доставке пакетов и относительной пропускной способности СРС с МДПН [6] с учетом входного потока с интенсивностью, определяемой выражениями (1) и (5). Эффективная пропускная способность СРС с МДПН  $C_e$  определяется как [6]

$$\begin{cases} C_e(t_i) = CS(t_i) \\ S(t_i) = \frac{\lambda_{nst}(t_i) e^{-\frac{d_{max}\lambda_{nst}(t_i)}{cD_{mes}}}}{\lambda_{nst}(t_i) \left(1 + 2\frac{d_{max}C}{cD_{mes}}\right) + Ce - \frac{d_{max}\lambda_{nst}(t_i)}{cD_{mes}}} \end{cases} \quad (9)$$

Время задержки  $T_3$  при передаче пакета в СРС с МДПН определяется выражением [6]

$$T_3 = \frac{D_{mes}}{C} \times \left[ \left( \frac{\lambda_{nst}(t_i)}{SC} - 1 \right) \left( 2\frac{d_{max}C}{cD_{mes}} + 1 + K \right) + 1 + \frac{d_{max}C}{cD_{mes}} \right] \quad (10)$$

Результаты аналитического моделирования по выражениям (9) и (10) с учетом (1) и (4), представленные на рис. 5, показывают, что при ис-



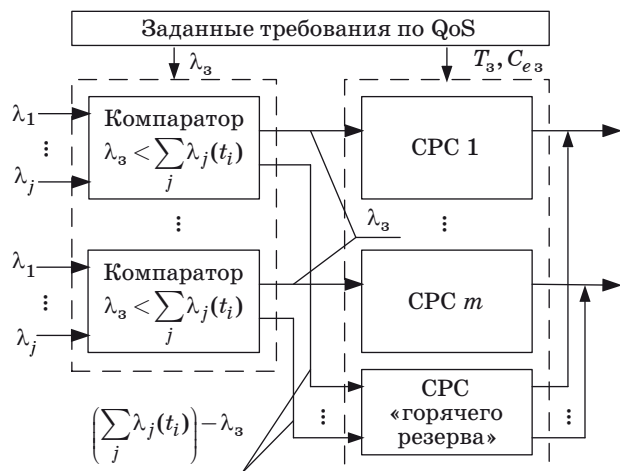
■ **Рис. 5.** Моделирование эффективной пропускной способности СРС  $C_e(t)$  и времени задержки передачи пакета  $T_3(t)$  при входных стационарном и нестационарном потоках

пользовании потока с нестационарной интенсивностью, представленной ПСТФ, расчетная эффективная пропускная способность  $C_{e\ nst}(t)$  существенно снижается с ростом количества участников информационного обмена (на значение  $\Delta C_e(t)$ ) по сравнению со значением пропускной способности, рассчитанной для стационарного пуассоновского потока. Соответственно, со снижением пропускной способности возрастает задержка в доставке пакетов по СРС с  $T_{3\ st}(t)$  до  $T_{3\ nst}(t)$ . Увеличение  $\Delta C_e(t)$  и  $\Delta T_3(t)$  пропорционально дисперсионной характеристике  $\lambda_{nst}(t_i)$  и увеличению количества абонентов  $j$ . Проведенный анализ показал, что при моделировании стандартных информационных потоков сетей специального назначения отклонение эффективной пропускной способности  $\Delta C_e(t)$  достигает относительных значений порядка 10–30 % от  $C_{e\ st}(t)$ , а  $\Delta T_3(t)$  — до 50–80 % от  $T_{3\ st}(t)$ . Порядок данных величин позволяет сделать вывод о необходимости учета нестационарности информационных потоков в системах связи специального назначения и систем управления реальным временем.

**Предложения по обработке нестационарных информационных потоков в системах связи**

Таким образом, предложенная модель, представляющая входящий в СРС информационный поток с интенсивностью в виде ПСТФ, является более адекватной и позволяет более точно оценить время обслуживания заданных информационных потоков и пропускную способность СРС с МДПН. Это особенно актуально в случае, когда подобные потоки циркулируют в составе систем управления реального времени и погрешности в оценке времени обслуживания информационных потоков ведут к существенным ошибкам в определении эффективности функционирования всей системы, как, например, для случая, рассмотренного в работе [9].

Таким образом, снижение QoS в результате обслуживания нестационарного потока требует введения новых способов обработки и передачи пакетов в СРС. В работе [9] автором было предложено динамически перераспределять пропускную способность логических соединений в пользу абонентов с высокими требованиями по QoS. Однако такое перераспределение невозможно в случае, если требования по QoS превышают общие возможности СРС по пропускной способности. Для компенсации данного недостатка предлагается для системы связи, состоящей из нескольких высоконагруженных СРС, ввести дополнительную СРС, функционирующую в режиме «горячего резерва» и параллельно включаемую для тех СРС, в которых обслуживание общей интенсивности нестационарных потоков приведет к снижению QoS ниже заданного (рис. 6).



■ **Рис. 6.** Использование дополнительной СРС для обслуживания нестационарных информационных потоков

**Заключение**

В данной работе рассмотрено обслуживание нестационарных потоков в СРС с CSMA методом доступа абонентов. Полученные результаты дополняют работы автора [2–5], в частности позволяют методами статистического моделирования оценить качество обслуживания для СМО, аналитическое решение для которых невозможно [5]. Предложенное представление нестационарного информационного потока в виде дискретного пуассоновского потока с интенсивностью, представленной ПСТФ, и выполненный расчет качества обслуживания ИВС отличаются от существующих подходов. В современных работах по расчету ИВС с нестационарными информационными потоками сложной структуры большое распространение получили методы диффузной аппроксимации [10–13]. Так, в работе Н. И. Головки [11] для учета нестационарности предложено использовать аппроксимацию нестационарного потока дважды стохастическим потоком с диффузионной интенсивностью. В работах Н. Ф. Бахарева [12] и К. И. Сычева [13] предложена аппроксимация интервалов времени между пакетами для непуассоновских потоков и оценка предельных границ характеристик качества обслуживания ИВС в условиях предложенной аппроксимации. Вместе с тем, как отмечается в работе Ю. И. Рыжикова [14], при такой аппроксимации ошибки в аналитическом расчете качества обслуживания растут пропорционально усложнению структуры аппроксимируемого потока. Существенные погрешности имеют место при расчете качества обслуживания многоканальных приоритетных [15] систем обслуживания или систем со сложной процедурой обработки информационных потоков (например, при групповом [16] или случайном [17] обслуживании пакетов). Предложенный способ учета нестационарности информационных потоков может быть сравним с аппроксимацией информационных потоков гиперэкспоненциальным [18] или Кокса [19] распределениями, однако в сравнении с указанными распределениями может иметь ПСТФ параметра распределения и невысокую вычислительную сложность расчета качества обслуживания. Методом имитационно-аналитического моделирования в работе получены качественные результаты оценки QoS при обслуживании СРС с МДПН потока предлагаемого вида. Кроме того, предложены рекомендации по обслуживанию нестационарных потоков в интересах повышения надежности (по показателю отказ в обслуживании) и пропускной способности системы связи, отличающиеся от аналога [9] тем, что используется СРС «горячего резерва».

Литература

1. **Макаренко С. И.** Обоснование актуальности исследования вопросов передачи нестационарных информационных потоков по сетям связи, находящихся под воздействием средств радиоэлектронной борьбы // *Инновации в авиационных комплексах и системах военного назначения: сб. докл. Всерос. НТК / ВАИУ. Воронеж, 2009. Т. 10. С. 117–122.*
2. **Макаренко С. И.** Методика вероятностной оценки показателей качества обслуживания сети связи при передаче нестационарных информационных потоков // *Успехи современной радиоэлектроники. 2010. № 11. С. 78–81.*
3. **Макаренко С. И.** Методика оценки времени задержки пакета в канале связи в условиях неустойчивости входного трафика // *Инфокоммуникационные технологии. 2007. Т. 5. № 3. С. 94–96.*
4. **Макаренко С. И., Кихтенко А. В.** Методика оценки времени задержки пакета в спутниковой сети связи в условиях неустойчивости входного трафика // *Системы управления и информационные технологии. 2007. № 1.3 (27). С. 344–348.*
5. **Макаренко С. И., Сидорчук В. П., Краснокутский А. В.** Методика оценки времени задержки пакета в сети воздушной радиосвязи в условиях неустойчивости входного трафика // *Физика волновых процессов и радиотехнические системы. 2007. Т. 10. № 6. С. 70–74.*
6. **Клейнрок Л.** Вычислительные сети с очередями: пер с англ. — М.: Мир, 1979. — 600 с.
7. **Вентцель Е. С.** Исследование операций: задачи, принципы, методология. — М.: Наука, 1988. — 208 с.
8. **Баканов М. И., Степанов В. Г.** Информационные технологии контроля качества функционирования систем обслуживания в торговле // *Аудит и финансовый анализ. 2000. № 4. [http://www.cfin.ru/press/afa/2000-4/52\\_bak.shtml](http://www.cfin.ru/press/afa/2000-4/52_bak.shtml). (дата обращения: 19.12.2011).*
9. **Макаренко С. И.** Адаптивное управление скоростями логических соединений в канале радиосвязи множественного доступа // *Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 54–58.*
10. **Ададунов С. Е., Мальцев Г. Н., Моторин Н. М., Ададунов А. С.** Диффузионная аппроксимация процессов информационного обмена в низкоорбитальных спутниковых радиосетях // *Информационно-управляющие системы. 2006. № 4. С. 40–44.*
11. **Головко Н. И.** Исследование моделей систем массового обслуживания в информационных сетях: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.18. — Владивосток: Тихоокеанский ГЭУ, 2007. — 404 с.
12. **Бахарева Н. Ф.** Аппроксимативные методы и модели массового обслуживания для исследования компьютерных сетей: дисс. ... д-ра техн. наук: 05.13.15. — Пенза: Поволжский ГУТИ, 2011. — 360 с.
13. **Назаров А. Н., Сычев К. И.** Модели и методы расчета показателей качества функционирования узлового оборудования и структурно-сетевых параметров сетей связи следующего поколения. — Красноярск: Поликом, 2010. — 389 с.
14. **Рыжиков Ю. И., Уланов А. В.** Опыт расчета сложных систем массового обслуживания // *Информационно-управляющие системы. 2009. № 2. С. 56–62.*
15. **Рыжиков Ю. И.** Средние времена ожидания и пребывания в многоканальных приоритетных системах // *Информационно-управляющие системы. 2006. № 6. С. 43–49.*
16. **Рыжиков Ю. И.** Расчет систем обслуживания с групповым поступлением заявок // *Информационно-управляющие системы. 2007. № 2. С. 39–49.*
17. **Рыжиков Ю. И.** Расчет систем со случайным выбором на обслуживание // *Информационно-управляющие системы. 2007. № 3. С. 56–59.*
18. **Алиев Т. И.** Основы моделирования дискретных систем. — СПб.: СПб ГИТМО (ТУ), 2009. — 363 с.
19. **Рыжиков Ю. И.** Полный расчет системы обслуживания с распределениями Кокса // *Информационно-управляющие системы. 2006. № 2. С. 38–46.*

УДК 004.896:004.925.8

# ПОСТРОЕНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МОДЕЛЕЙ ОКРУЖАЮЩЕГО ПРОСТРАНСТВА ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ

**Н. А. Бабакина<sup>1</sup>,**  
ассистент, аспирант

**М. П. Колесников,**  
старший преподаватель

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рассматривается метод построения динамических геометрических моделей объектов окружающего пространства, позволяющий решать задачу целенаправленного перемещения мобильных автономных систем. Предлагаемый подход основан на представлении получаемых образов окружающего пространства в виде упорядоченных структур одномерных симплексов, что дает возможность реализовать быстродействующие алгоритмы картографирования, локализации и идентификации объектов окружающего пространства.

**Ключевые слова** — техническое зрение, локализация, SLAM, представление окружающего пространства, построение карты, геометрическая модель объекта.

## Введение

В связи с постоянным расширением области применения робототехнических систем предъявляются все более высокие требования к способам получения сенсорной информации об окружающей среде, а также к методам обработки и анализа этих данных. Очевидно, что наиболее информативным каналом получения сенсорных данных для мобильного робота, действующего в частично наблюдаемом, динамически изменяющемся, стохастическом окружении, является набор видеокамер, позволяющий обеспечить «восприятие» визуальной информации по типу бинокулярного зрения.

Геометрическое представление окружающего пространства (составление карты) и одновременная локализация относительно выделенных объектов является одной из важнейших задач, решаемых при разработке мобильных автономных систем. Выделение объектов позволяет решать уже последующие задачи классификации и точной идентификации [1]. Обзор окружающего

пространства посредством видеокамер (либо локационное сканирование в радиочастотном или ультразвуковом диапазонах) предоставляет некоторый образ, который подлежит дальнейшей обработке. В случае, когда мобильный робот помещен в нестационарную произвольную среду, его быстродействие должно быть сравнимо со скоростью изменения параметров окружающего пространства. То есть получение данных с сенсоров (видеокамер, радиолокаторов, сонаров и т. п.) и их обработка по времени должны быть сопоставимы с инерционностью окружающей среды. Иначе говоря, мобильный робот сможет обрабатывать данные и принимать решения в режиме реального времени. Отметим, что изменение параметров окружающего пространства может быть также связано с изменением состояния самого робота (например, с его движением).

Это приводит к необходимости разработки методов и алгоритмов, которые могли бы быть реализованы на бортовых электронных устройствах мобильного робота, имеющих ограничения по потребляемой мощности и производительности. Такие методы позволят системе принятия решений работать в режиме реального времени с учетом определенных ограничений, например, на возможную скорость перемещения робота.

<sup>1</sup> Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой распределенных интеллектуальных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета *В. П. Шкодырев*.

## Представление окружающего пространства

При решении задачи локализации мобильных автономных систем (роботов) часто решается параллельная задача построения карты, т. е. геометрического представления окружающего пространства. Это связано с тем, что при движении недостаточно знать начальную и конечную точки пути, которые могли бы быть достигнуты с использованием современных систем спутниковой навигации. Во время движения на пути робота могут возникать различные стационарные и движущиеся препятствия естественного и искусственного происхождения, а также неровности поверхности, по которой происходит движение. Решение задачи картографирования локального (или, с сохранением данных, — глобального) окружающего пространства позволит роботу выбирать возможный путь для достижения поставленной цели.

В рамках данной работы примем следующие ограничения:

- наблюдаемые объекты являются стационарными;
- главной целью наблюдателя (робота) при движении является перемещение из начальной точки пространства в некоторую конечную;
- сенсорами системы являются как минимум две цифровые камеры, не изменяющие своего взаимного расположения.

## Представление объектов на основе геометрических примитивов

Предположим, что с помощью определенного алгоритма  $A_1$  на полученном кадре может быть выделен некоторый простейший геометрический объект (примитив)  $P$ . С помощью алгоритма  $A_2$  могут быть вычислены геометрические параметры расположения данного объекта в пространстве относительно робота. Тогда задача состоит в том, чтобы составить геометрическое описание объекта  $\mathcal{H}$  на базе примитивов типа  $P$ , которое бы однозначно описывало геометрическое представление заданного физического объекта  $\mathbf{H}$ . Другими словами, нужно определить оператор

$$L: \mathbf{H} \rightarrow \mathcal{H}$$

с базисом типа  $\{P\}$  и преобразованиями  $\{A_1, A_2\}$ .

Известно, что геометрический объект в пространстве может быть описан как полиэдр, основанный на простейших симплексах данного пространства [2, с. 21–34]. Однако триангуляционную модель сложного объекта практически невозможно наделить свойствами инвариантности ввиду возможных необратимых изменений триангуляционной картины при изменении ракурса или условий наблюдения. Кроме того, реализа-

ция данного метода требует существенных вычислительных затрат, увеличения времени обработки, а следовательно, и реакции системы, что недопустимо для автономных мобильных систем в условиях неопределенности. Одним из путей решения проблемы и упрощения вычислительной процедуры является сокращение размерности базисного симплекса. В качестве такой «единицы» целесообразно выбрать отрезок. Задача выделения отрезков в кадре является более простой, чем получение точек с последующей их триангуляцией. Процедуры получения образа объекта при повороте на заданный угол и идентификации также упрощаются. Дальнейшее уменьшение размерности базисного объекта нецелесообразно, так как точка может быть описана с помощью отрезка нулевой длины.

Экспериментальная проверка с использованием библиотеки OpenCV позволила получить исходные данные для построения моделей объектов с различной структурой наблюдаемых поверхностей. В этом случае применяется детектор границ Кенни (Canny) [3] для получения контуров объекта и преобразование Хафа (Hough Transform) [4] для выделения аналитически заданных примитивов (рис. 1). Эти алгоритмы подробно описаны и широко применяются для решения различных прикладных задач, что обусловило их использование для предварительной оценки скорости работы и особенностей реализации разрабатываемого метода. Проверка производилась на тестовом стенде и выявила, что при обработке данных с двух камер, составляющих стереоскопическую пару, суммарное время обработки в среднем не превышало 45–50 мс, а загрузка процессора не превышала 38 %. В дальнейшем предполагается, что выделение границ на обрабатываемых изображениях будет производиться на основе более совершенных алгоритмов представления изображений в частотной области [5], а повышение производительности библиотеки OpenCV — на базе



■ **Рис. 1.** Пример применения детектора границ Кенни с последующим выделением отрезков на основе преобразования Хафа

программно-аппаратного обеспечения Intel IPP и NVIDIA CUDA.

Конфигурация тестового стенда: CPU — Intel Core2Duo 2 ГГц; RAM — DDR II 2 ГБ; стереопара — две камеры с разрешением  $640 \times 480 \times 24$  бит и шиной USB2.0; программное обеспечение — OS Debian GNU/Linux, ker.3.0, KDE4, Qt4, OpenCV2.1.

Таким образом, наблюдаемый физический объект может быть представлен в следующем виде:

$$L: \mathbf{H} \rightarrow \mathcal{H} = \sum_k \sigma_k, \quad (1)$$

где  $\sigma_k$  —  $k$ -й отрезок с координатами, заданными в относительной системе координат робота.

Дадим точное математическое определение. Рассмотрим множество точек  $P \subseteq E$ , которые принадлежат поверхности объекта  $\mathbf{H}$ , и  $E$  — глобальное  $n$ -мерное пространство. Зададим отрезок с началом в точке  $p_1 \in P$  и концом в точке  $p_2 \in P$  как множество точек

$$\sigma(p_1, p_2) = \{\alpha p_2 + (1-\alpha)p_1 \mid p_1, p_2 \in P, \alpha \in [0, 1]\}. \quad (2)$$

Как ранее было сказано, точка  $p \in P$  может быть представлена отрезком с совпадающими концами:

$$p \rightarrow \sigma(p, p).$$

Следовательно, образ физического объекта  $\mathbf{H}$  будет иметь вид

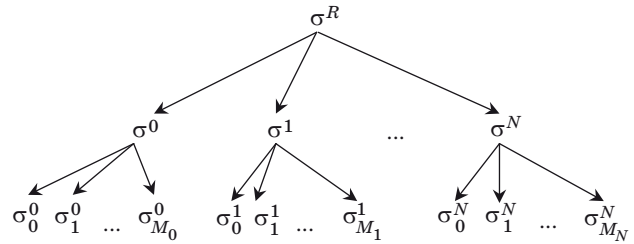
$$\mathcal{H} = \sum_k \sigma_k = \sum_k \sigma(p_1^k, p_2^k). \quad (3)$$

### Древовидная структура отображения объектов окружающего пространства

Окружающее робота пространство, как правило, включает в себя более одного объекта, поэтому необходимо рассматривать случай суммы объектов  $\cup_p \mathbf{H}_p$ . Возможность рассмотрения каждого физического объекта индивидуально позволяет говорить о линейности оператора  $L$  относительно операции объединения

$$L: \bigcup_p \mathbf{H}_p \rightarrow \bigcup_p \mathcal{H}_p.$$

Таким образом, окружающее пространство может быть представлено в виде набора некоторых объединений отрезков. Учитывая относительный характер измерений координат (главной системой координат является система координат оси движущегося робота), данный набор можно представить в виде древовидной структуры, где каждому «листу» дерева соответствует отображение  $\mathcal{H}_p$  конкретного физического объекта  $\mathbf{H}_p$ , а корнем дерева является точка, соответствующая началу координат в системе координат ро-



■ Рис. 2. Древовидная двухуровневая структура описания  $N$  объектов

бота (физическое расположение центра робота). С физической точки зрения объект может быть представлен одной своей точкой, которая, например, лежит на оси вращения или является центром масс объекта. Так или иначе, удобно ввести в рассмотрение точку, которая будет являться началом координат локальной системы координат объекта. Остальные точки и отрезки, описывающие объект, вычисляются уже в локальной системе координат. Получающаяся древовидная структура представлена на рис. 2.

### Представление единичного физического объекта при движении наблюдателя

Рассмотрим случай наблюдения одного неподвижного физического объекта и построения его геометрической модели.

#### Описание объекта при движении наблюдателя

Движение наблюдателя относительно неподвижного объекта может быть представлено двумя взаимно независимыми процессами: круговым движением вокруг объекта и изменением расстояния наблюдения. С физической точки зрения движение наблюдателя (робота) может быть перенесено с помощью принципа относительности на сам объект. Тогда можно говорить о вращении объекта и изменении расстояния между объектом и наблюдателем. Изменение расстояния между объектом характеризует изменение масштаба образа объекта, получаемого при его наблюдении (посредством камер). Иными словами, математическое описание движения сводится к условному повороту объекта на угол  $\varphi$  и масштабированию его образа с коэффициентом  $\alpha$ . Рассмотрим эти два случая отдельно.

*Вращение объекта.* Пусть наблюдатель производит наблюдение объекта из позиции  $P_1$ , в результате которого строится геометрическая модель  $\mu_1$ . Данная модель, как было сказано выше, описывает лишь видимую часть физического объекта, полностью базируясь на проекциях объекта на сенсорные элементы наблюдателя. Поэтому

она несет лишь частичную информацию о внешней геометрии наблюдаемого объекта:

$$\mu_1 = \sum_{k=0}^{N_1} \sigma_k^{\mu_1},$$

где  $\sigma_k^{\mu_1}$  — симплексы, соответствующие модели  $\mu_1$ .

Зададим вращательное движение (действие) наблюдателя вокруг объекта как вращение последнего на некоторый угол  $g(\Phi)$ . При этом наблюдатель переместится из позиции  $P_1$  в позицию  $P_2$  и будет производить новую процедуру наблюдения, в результате которой получим новую геометрическую модель объекта  $\mu_2$ :

$$\mu_2 = \sum_{k=0}^{N_2} \sigma_k^{\mu_2},$$

где  $\sigma_k^{\mu_2}$  — симплексы, соответствующие модели  $\mu_2$ .

При этом в общем случае  $N_1 \neq N_2$ , а также расположение и размеры отрезков  $\sigma_k^{\mu_1}$  и  $\sigma_k^{\mu_2}$  различны.

На основе набора  $\{\mu_1, g(\Phi), \mu_2\}$  синтезируем две новые модели следующим образом. Так как движение  $g$  задано и известна исходная модель  $\mu_1$ , то при данном действии она перейдет в модель

$$\mu'_2 = g\mu_1,$$

где в общем случае действие  $g$  на модель  $\mu$  сводится к действиям на составляющие ее симплексы:

$$g\mu = \sum_k g\sigma_k.$$

Модель  $\mu'_2$  характеризует представление в позиции  $P_2$  тех частей наблюдаемого объекта, которые были зафиксированы при нахождении наблюдателя в позиции  $P_1$ . Так как эти части могут быть не наблюдаемы в позиции  $P_2$ , то уточненная модель может быть получена посредством объединения

$$\tilde{\mu}_2 = \mu_2 \cup \mu'_2 = \mu_2 \cup g\mu_1.$$

Вторая синтезируемая модель  $\mu'_1$  получается с помощью обратного действия  $g^{-1}$ :

$$\mu'_1 = g^{-1}\mu_2.$$

Данная модель характеризует представление в позиции  $P_1$  тех частей наблюдаемого объекта, которые были зафиксированы при нахождении наблюдателя уже в новой позиции  $P_2$ . Уточненная модель в данном случае будет следующей:

$$\tilde{\mu}_1 = \mu_1 \cup \mu'_1 = \mu_1 \cup g^{-1}\mu_2.$$

Очевидно, что данные модели должны быть эквивалентны при условии установки соотношения эквивалентности в соответствии с действием  $g$ :

$$g\tilde{\mu}_1 = \tilde{\mu}_2.$$

*Изменение масштабов объекта.* Движение наблюдателя вдоль радиус-вектора на объект

приведет к тому, что образ объекта, фиксируемый сенсорными элементами, будет пропорционально изменять свои размеры. Иначе говоря, будет происходить масштабирование образа объекта с коэффициентом  $\alpha$ . Данное действие может быть задано с помощью линейного оператора в матричной форме как

$$g'(\alpha) = \alpha E_n,$$

где  $\alpha \in \mathbb{R}^1$  — коэффициент масштабирования;  $E_n$  — единичная матрица размера  $n \times n$ .

При действии  $g'$  структура модели наблюдаемого объекта при переходе из точки наблюдения  $P_1$  в точку наблюдения  $P_2$  не изменяется. Поэтому действия масштабирования в идеальном случае не влияют на уточнение модели объекта. Однако в реальности необходимо говорить о разрешающей способности сенсорных элементов, что приводит к потере данных при достижении определенного граничного случая. Рассмотрим эту ситуацию подробнее.

Пусть сенсорные элементы наблюдателя обладают разрешающей способностью, заданной в виде линейного размера фиксирующего элемента  $\delta x$ . Обозначим в качестве  $\mathbf{P}$  оператор проектирования отрезка  $\sigma_k$  на сенсорный элемент. Тогда потеря данных будет происходить в случае значительного уменьшения длины проекции отрезка по отношению к разрешающей способности сенсорного элемента:

$$\delta x > \alpha |\mathbf{P}\sigma_k|.$$

С другой стороны, потеря данных возможна также и при увеличении коэффициента  $\alpha$  (приближение). При достаточно больших  $\alpha$  может произойти исчезновение отрезка  $\sigma_k$  из зоны видимости сенсорного элемента. Как в первом, так и во втором случае все зависит от качества сенсорных элементов наблюдателя.

Таким образом, при малых перемещениях объекта движение наблюдателя может быть задано математически через преобразование  $g(\Phi)$  при вращениях и  $g'(\alpha)$  при масштабировании. Как известно, все преобразования  $g(\Phi)$ ,  $\Phi \in \mathbb{R}^{n-1}$  сохраняют евклидову квадратичную форму и с операцией композиции образуют специальную ортогональную группу вращений  $SO_n$ . Добавление операции  $g'$  приведет к обобщению и переходу к ортогональной группе  $O_n$ .

### Инвариантность модели объекта при движении

Движение наблюдателя вызывает изменение в текущей модели объекта и требует решения одной из основных задач технического зрения — идентификации объекта согласно заданной его проекции. Поставим задачу более строго. Пусть



дан один объект наблюдения и наблюдатель находится в заранее не известной случайной точке пространства относительно объекта, при этом имея возможность произвести процедуру наблюдения. Наблюдателем ранее сформирована полная геометрическая модель некоего объекта. По результатам наблюдения необходимо определить, принадлежит ли наблюдаемая часть тому объекту, для которого сформирована модель.

Для решения поставленной задачи необходимо найти такие величины, которые однозначно определяют заданный объект и являются инвариантными относительно преобразований вращения  $g(\varphi)$  и масштабирования  $g'(\alpha)$ . Группа преобразований  $SO_n$  оставляет неизменной евклидову метрику пространства. Следовательно, при действии  $g \in SO_n$  будут сохраняться расстояния и углы геометрического объекта. С другой стороны, действия из группы  $O_n$  сохраняют в общем случае только углы. При заданном множестве действий  $g'$  будут сохраняться геометрические пропорции. Рассмотрим теперь свойства модели объекта.

Модель объекта задается как множество одномерных симплексов (отрезков), которые расположены друг относительно друга определенным образом (З). Следовательно, одну модель от другой отличает количество симплексов, их параметры и взаимное расположение, и два объекта можно считать равными, если они описаны моделями, состоящими из равных множеств элементов (симплексов). С этой точки зрения можно говорить о «структурной топологии» объекта как критерии инвариантности. То есть структурная топология данного множества является основным свойством, которое позволяет идентифицировать объект по его модели и отличать от других. Основными рассматриваемыми характеристиками этой модели в данном случае являются размеры симплексов и их взаимное расположение. Преобразование масштабирования  $g'(\alpha)$  сохраняет геометрические пропорции, что приводит к необходимости рассмотрения отношений длин между различными отрезками. Преобразование вращения  $g(\varphi)$  сохраняет углы, что дает право производить первичную идентификацию объектов именно по этим характеристикам.

Согласно определению (2), одномерный симплекс задается посредством двух точек  $p_1, p_2$ , что позволяет однозначно определить наклон прямой, проведенной через него, относительно заданной оси (например,  $Ox$ ).

Рассмотрим пример в двумерном пространстве. Пусть даны два отрезка  $\sigma_1$  и  $\sigma_2$ , которые заданы точками  $\{p_1^1, p_2^1\}$  и  $\{p_1^2, p_2^2\}$  соответственно. Тогда наклон прямой к оси  $Ox$  будет задан коэффициентами

$$b_1 = \frac{y_2^1 - y_1^1}{x_2^1 - x_1^1}, \quad b_2 = \frac{y_2^2 - y_1^2}{x_2^2 - x_1^2},$$

что соответствует углам  $\gamma_1 = \arctg(b_1), \gamma_2 = \arctg(b_2)$ .

Действие  $g(\varphi)$  приведет к изменению углов наклона каждого симплекса, но не изменит их разности:

$$\gamma_1 \rightarrow (\gamma_1 - \varphi), \quad \gamma_2 \rightarrow (\gamma_2 - \varphi);$$

$$\Delta\gamma = (\gamma_2 - \gamma_1) \rightarrow \Delta\gamma' = [(\gamma_2 - \varphi) - (\gamma_1 - \varphi)] = \Delta\gamma.$$

Таким образом, угол между двумя симплексами инвариантен относительно поворотов и масштабирования и может быть использован для идентификации объекта по сформированной в результате наблюдения модели. При этом удобно использовать не сами углы, а их тангенсы. Тогда получим

$$\text{tg}(\gamma_2 - \gamma_1) = \frac{b_2 - b_1}{1 + b_1 b_2}.$$

Найденные величины позволяют предложить следующий метод решения задачи идентификации объекта:

- производится наблюдение объекта и построение проекционной модели  $\mu'$ ;
- для проекционной модели вычисляются ее структурно-топологические характеристики: углы между симплексами и отношения сторон;
- производится поиск в дереве объектов того объекта, который имеет такой же набор топологических характеристик, что и проекционная модель  $\mu'$ ;
- при нахождении заданного объекта (модель  $\mu$ ) вычисляется действие  $g(\varphi)$  и действие  $g'(\alpha)$ ;
- вычисленные действия  $g$  и  $g'$  применяются к проекционной модели  $\mu'$ ;
- производится оценка равенства  $\mu \cap \mu' = \mu'$ ;
- в случае равенства можно утверждать, что наблюдаемый объект ранее описан и имеет геометрическую модель  $\mu$ , а наблюдатель находится в позиции относительно объекта, соответствующей вычисленным действиям  $g(\varphi)$  и  $g'(\alpha)$ .

Данный подход дает однозначное решение задачи в случае, если модель  $\mu$  не имеет двух и более пар симплексов с эквивалентными геометрическими характеристиками (углами и отношениями сторон). Множество из двух и более эквивалентных пар приведет к тому, что описанный выше метод даст множество пар действий  $\{g, g'\}$ . Тогда возникает ситуация, когда метод позволяет подтвердить, что наблюдаемые части имеются в составе модели объекта, однако данных для идентификации наблюдаемой части (из множества возможных эквивалентных частей) и положения относительно объекта не достаточно.

В соответствии с указанным выше алгоритмом рассчитаем необходимый объем вычисли-

тельных операций. Пусть проекционная модель  $\mu'$  содержит  $N$  симплексов. Для данной модели необходимо произвести следующие вычисления:

— длин симплексов (или квадратов длин) —  $N$  операций;

— тангенсов углов наклона (к осям системы координат в трехмерном пространстве) —  $2N$  операций;

— тангенсов углов между симплексами —  $N(N - 1)$  операций.

Всего получается  $N^2 + 2N$  вычислительных операций.

Рассмотрим случай прямого неоптимизированного поиска объекта, описываемого моделью  $\mu'$ , в дереве. Пусть дерево содержит всего  $M$  симплексов. Тогда процедура поиска будет состоять из сравнения тангенсов углов между симплексами модели  $\mu'$  с тангенсами углов между симплексами, находящимися в дереве. Всего получаем операций сравнения

$$\frac{M(M-1)}{2} \frac{N(N-1)}{2}.$$

Очевидно, что при увеличении  $M$  время процедуры поиска в дереве будет возрастать квадратично при учете, что среднее количество симплексов, наблюдаемых в проекционной модели  $\mu'$ , не превышает некоторого  $N_{\max}$ . Поэтому целесообразно применить дифференциальный подход, использующий данные о проекционной модели, на предыдущем этапе наблюдения. Данный подход возможен при незначительных изменениях в наблюдаемых проекционных моделях, что достигается за счет повышения частоты процедур наблюдения. Пусть имеем проекционную модель  $\mu'$ , описывающую предыдущее наблюдение, и проекционную модель  $\mu''$ , которая описывает обрабатываемое наблюдение. Пусть количество симплексов модели  $\mu' - N'$ , в модели  $\mu'' - N''$ . Можно предполагать, что  $N'$  сравнимо с  $N''$ , т. е.  $N' \approx N'' \approx N$ . Тогда приблизительное число операций сравнения составит

$$\frac{N^2(N-1)^2}{4} \leq \frac{N_{\max}^2(N_{\max}-1)^2}{4}.$$

Например, при ограничении сверху  $N_{\max} = 500$  получаем приблизительно  $15,625 \cdot 10^9$  операций сравнения.

Дополнительные симплексы, которые составляют разницу между моделями  $\mu'$  и  $\mu''$ , добавляются в итоговое дерево представления объектов.

Для уменьшения количества операций сравнения можно воспользоваться свойством малых отклонений модели  $\mu''$  от модели  $\mu'$ . Тогда в случае совпадения пар симплексов двух моделей в дальнейшем они не участвуют в процедуре покомпонентного сравнения  $\mu'$  и  $\mu''$ , что значительно

но снижает количество операций сравнения. Так, например, если модель  $\mu'$  содержит  $N' = 3$  симплекса, а модель  $\mu'' - N'' = 4$  симплекса и только первая процедура сравнения дала положительный итог, результирующее количество операций сравнения равно 11 вместо  $3(3-1)4(4-1)/4 = 18$ .

### Применение стохастических моделей

Описанный выше подход носит детерминированный характер. Однако это противоречит реальной ситуации, когда движение наблюдателя и процедура наблюдения являются стохастическими. Случайность приводит к возникновению множества ошибок и потере данных, вследствие чего указанный подход не может быть применим на практике. Для устранения подобных затруднений перейдем к стохастической модели процедуры наблюдения, а также стохастической модели движения наблюдателя.

При описании отдельного физического объекта была предложена множественная модель с использованием одномерных симплексов (3). Предположим, что модель  $\mathcal{H}$  является наиболее полной геометрической моделью объекта, т. е.

$$\forall \hat{\mathcal{H}}, \hat{\mathcal{H}} \cup \mathcal{H} \equiv \mathcal{H},$$

где  $\hat{\mathcal{H}}$  — идеальная модель объекта (рассматривается в том же базисе, что и  $\mathcal{H}$ ).

*Стохастическая модель наблюдения.* Рассмотрим процедуру наблюдения. Данная процедура может быть как единичной (дискретной), так и непрерывной. Случай непрерывного наблюдения будет интересовать нас с точки зрения описания динамики моделей в зависимости от динамики физических объектов. Однако изначально необходимо описать случай дискретных наблюдений стационарного объекта.

При единичном наблюдении наблюдатель формирует текущую наблюдаемую модель физического объекта  $\mu$ . Данная модель даже при идеальной процедуре наблюдения приведет к получению лишь частичной информации об объекте, так как будет являться подмножеством полной идеальной модели

$$\mu \subseteq \mathcal{H},$$

где эквивалентность возможна только для самых простых объектов. Тогда последовательность формирования геометрической модели наблюдаемого физического объекта  $\mathbf{H}$  может быть представлена следующим образом:

$$\mathbf{H} \rightarrow \mathcal{H} \rightarrow \mu.$$

Остановимся на исследовании перехода  $\mathcal{H} \rightarrow \mu$ . Для определения процедуры наблюдения выделим оператор, позволяющий получить максимально полную геометрическую модель физиче-

ского объекта при нахождении в позиции наблюдателя. То есть  $\mathcal{H}$  и наблюдатель имеют различные ортогональные реперы, и физический объект находится на некотором неизвестном расстоянии:

$$\text{Pr} : \mathcal{H} \rightarrow \hat{\mathcal{H}},$$

причем  $\hat{\mathcal{H}} \subseteq \mathcal{H}$ . Оператор  $\text{Pr}$  является идемпотентным, т. е.  $\text{PrPr} = \text{Pr}$ , что позволяет говорить о нем, как об операторе проектирования.

Теперь рассмотрим оператор наблюдения  $O$ , позволяющий получить из идеальной модели  $\hat{\mathcal{H}}$  геометрическую модель наблюдения физическо-го объекта  $\mu$ :

$$O : \hat{\mathcal{H}} \rightarrow \mu.$$

Случай идеального наблюдения приводит к тому, что  $\mu \equiv \hat{\mathcal{H}}$ . Однако в реальной ситуации необходимо учесть следующие замечания:

- при наблюдении элементы множества  $\hat{\mathcal{H}}$  могут не войти в состав множества  $\mu$ ;
- наблюдение переводит симплекс  $\sigma_i \in \hat{\mathcal{H}}$  в другой симплекс  $\tilde{\sigma}_i \in \mu$ .

Оба замечания обусловлены стохастической природой процедуры наблюдения.

Рассмотрим первое замечание. При наблюдении ненулевые элементы из  $\hat{\mathcal{H}}$  могут стать элементами множества  $\mu$ , но могут и не попасть в него. Это обусловлено различными факторами процедуры наблюдения (например, частичное размывание образа не позволяет выделить одномерные симплексы). Случай непопадания элемента во множество  $\mu$  зададим как преобразование в нулевой элемент (вырождение):

$$O(\hat{h}) \rightarrow 0, \quad \hat{h} \in \ker O, \quad \hat{h}, 0 \in \hat{\mathcal{H}},$$

где  $\ker O$  — ядро оператора наблюдения  $O$  [6, с. 51].

Ранее были рассмотрены действия над объектом, приводящие к изменениям геометрической модели, а именно повороты и масштабирование. Действие поворота  $g$  влияет только на оператор проектирования  $\text{Pr}$ . Действие масштабирования  $g'$  влияет только на оператор наблюдения  $O$ . Рассматривая реальную ситуацию, необходимо установить зависимость оператора наблюдения от решающей способности сенсорных элементов наблюдателя. Указанные зависимости оператора  $O$  индуцируют такие же зависимости и на ядро  $\ker O$ :

$$O(\alpha, \delta) \rightarrow K(\alpha, \delta) = \ker O(\alpha, \delta).$$

Случайный характер процедуры наблюдения приводит к тому, что множество  $K(\alpha, \delta)$  также будет случайным. Пусть задан элемент  $h \in \hat{\mathcal{H}}$ . Определим для него вероятность попадания в ядро оператора

$$P^K(h), \quad h \in K(\alpha, \delta).$$

Тогда вероятность попадания элемента в  $\mu$

$$P^\mu(h) = 1 - P^K(h).$$

Функции  $P^K(h)$  и  $P^\mu(h)$  имеют все свойства индикаторных функций (функций принадлежности) для множеств  $K(\alpha, \delta)$  и  $\mu$ . Совместно с множеством  $\hat{\mathcal{H}}$  они задают  $K$  и  $\mu$  как нечеткие множества [7].

Рассмотрим теперь второе замечание о стохастичности процедуры наблюдения. Помимо того, что элемент из  $\hat{\mathcal{H}}$  в соответствии с заданной вероятностью может попасть в  $\mu$ , при наблюдении он претерпевает стохастические изменения, т. е.

$$h \in \hat{\mathcal{H}} \rightarrow \tilde{h} \in \mu, \quad h \neq \tilde{h},$$

что приводит в общем случае к получению стохастической модели наблюдения  $\mu$  такой, что  $\mu \cap \hat{\mathcal{H}} = \emptyset$ . Данная ситуация была описана выше для случая, когда наблюдатель, производя наблюдение, каждый раз получает новую геометрическую модель, которая при прямом сравнении (стандартные действия над множествами) даст отрицательные результаты.

Рассмотрим отдельно элементы  $h$  и  $\tilde{h}$ . Так как это одномерные симплексы, то можно задать симплекс невязки в виде

$$\begin{aligned} \Delta h = \tilde{h} - h &= \sigma(\tilde{p}_1, \tilde{p}_2) - \sigma(p_1, p_2) = \\ &= \sigma(\tilde{p}_1 - p_1, \tilde{p}_2 - p_2), \end{aligned}$$

где арифметические операции над точками производятся по координатам.

Симплекс  $\tilde{h}$  является стохастическим, поэтому его свойства переносятся на симплекс  $\Delta h$  ввиду детерминированности  $h$ . Форма задания симплексов (1) позволяет говорить о стохастичности невязок

$$\Delta p_1 = \tilde{p}_1 - p_1, \quad \Delta p_2 = \tilde{p}_2 - p_2.$$

Поскольку  $p_i \in \mathbb{R}^n$ , то и  $\Delta p_i \in \mathbb{R}^n$ . Представим отрезок  $h$  как точку в пространстве  $\mathbb{R}^{2n}$ . Тогда и симплекс  $\Delta h$  может быть представлен в этом же пространстве случайной точкой.

Введем предположение о том, что каждая координата точки  $\Delta p_i$ ,  $i = \{1, 2\}$ , является случайной гауссовой величиной, описываемой плотностью распределения вероятностей

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi} |D|^{1/2}} e^{-\frac{x^2}{2D}},$$

где  $D$  — дисперсия случайной величины.

Согласно работе [8, с. 380–385], симплекс  $\Delta h$  будет случайным вектором с многомерным гауссовым распределением вероятностей, зависящим от  $2n$  переменных:

$$f_{2n}(x) = \frac{|\mathbf{A}|^{1/2}}{(2\pi)^{2n/2}} \exp\left\{-\frac{1}{2}(\mathbf{A}x, x)\right\}, \quad (4)$$

где  $x = (x_1, \dots, x_{2n})$ ;  $\mathbf{A} = \mathbf{R}^{-1}$  и  $\mathbf{R}$  — матрица ковариаций.

Будем предполагать, что:

1) все случайные величины, задающие конкретные координаты невязок, являются независимыми;

2) все случайные величины имеют одинаковое гауссово распределение вероятностей.

Данные предположения, с одной стороны, не являются точными, так как каждая точка симплекса может описываться совершенно различными законами распределения. С другой стороны, существует возможность описания геометрической модели с необходимой точностью за счет снижения порога чувствительности алгоритма сравнения симплексов. Это достигается использованием определенных критериев подбора параметров распределения и способа его модификации.

Независимость случайных величин приводит к диагональному виду матрицы ковариаций  $\mathbf{R}$  и невырожденности матрицы  $\mathbf{A}$ .

Согласно (4), вероятность попадания симплекса  $\Delta h$  в  $2n$ -мерный шар радиуса  $r$

$$P_c(r) = \int_{|x|<r} f_{2n}(x) dx.$$

Устанавливая вероятность  $P_c(r)$  и зная среднее отклонение, можно решать обратную задачу по определению радиуса  $2n$ -мерного шара, в который попадет точка с указанной вероятностью. Это дает основание использовать статистическую процедуру по определению эквивалентности симплексов.

Пусть для заданного симплекса  $h$  определена невязка  $\Delta h$  со средним отклонением  $|D|^{1/2}$ . Тогда, задав вероятность  $P_c(r)$ , вычислим радиус шара  $r$ . В случае каждого нового наблюдения симплексы, соответствующие исходному отрезку  $h$ , будут попадать в этот шар с указанной вероятностью. Следовательно, при проведении следующего наблюдения эквивалентность симплексов может быть определена на основе того, попал ли измеренный симплекс в заданную зону или нет.

Меняя вероятность попадания в интервал, а также итерационным способом определяя параметры распределения, можно устанавливать точность статистического описания модели.

## Заключение

В работе предложен подход к построению специализированных геометрических моделей физических объектов произвольной формы в условиях отсутствия каких-либо начальных данных. Функциональная особенность предлагаемого метода связана с обработкой вторичных данных в виде наборов координат отрезков, выделяемых из образов окружающего пространства. Это позволяет, во-первых, избирательно подходить к методам определения границ и выделения отрезков и улучшать их (например, применяя адаптивные методы для выбора параметров) независимо друг от друга и от предлагаемого подхода. Во-вторых, допустимо применение сенсорных систем, основанных на различных физических принципах работы (например, получение образа окружающего пространства с использованием радиолокационного или ультразвукового сканирования). Реализация алгоритма последовательного уточнения моделей объектов окружающего мира и адаптивной статистической оценки результатов в системе приводит к возможности выстраивания оперативной (локальной) и глобальной карт заранее не известного окружающего пространства в режиме реального времени.

Дальнейшие исследования связаны с развитием и расширением представленного метода на задачи непрерывного слежения за объектами, сквозного наблюдения множества объектов при движении, снятии ограничения на стационарность объектов, а также выработки критериев для решения задач классификации и идентификации объектов. Особое внимание предполагается уделить разработке и оптимизации методов сравнения геометрических моделей и динамического изменения итоговой древовидной модели окружающего пространства.

Рассматриваемый подход является основой для создания аппаратно-программного комплекса автономной мобильной роботизированной системы с использованием в качестве вычислительного устройства системы NI EVS-1464RT с возможностью дополнительного применения встроенной ПЛИС и двумя цифровыми камерами высокого разрешения Basler Scout, имеющими высокоскоростную шину передачи данных стандарта IEEE 1394b (800 Мбит/с).

## Литература

1. Nuchter A. 3D Robotic Mapping: The Simultaneous Localization and Mapping Problem with Six Degrees of Freedom. — Springer, 2009. — 219 p.
2. Рурк К., Сандерсон Б. Введение в кусочно-линейную топологию. — М.: Мир, 1974. — 208 с.
3. Canny J. A computational approach to edge detection // IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. 1986. Vol. PAMI-8. N 6. P. 679–698.
4. Ballard D. H. Generalizing the Hough transform to detect arbitrary shapes // Pattern Recognition. 1981.

Vol. 13. N 2. P. 111–122. <http://www.cs.utexas.edu/~dana/HoughT.pdf> (дата обращения: 23.11.2011).

5. **Kovesi P. D.** Invariant Measures of Image Features From Phase Information: Ph. D. dissertation. — University of Western Australia, 1996. <http://www.csse.uwa.edu.au/pub/robvis/theses/PeterKovesi/> (дата обращения: 23.11.2011).
6. **Данфорд Н., Шварц Дж. Т. при участии Бейда У., Бартла Р.** Линейные операторы. Общая теория:

пер. с англ. / Под ред. с предисл. А. Г. Костюченко. 2-е изд., стер. — М.: Эдиториал УРСС, 2004. — 896 с.

7. **Пегат А.** Нечеткое моделирование и управление: пер. с англ. — М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2009. — 798 с.
8. **Ширяев А. Н.** Вероятность: в 2 кн. 3-е изд., перераб. и доп. — М.: МЦНМО, 2004. Кн. 1. — 520 с.

**XI Международная конференция и выставка-презентация по телекоммуникациям,  
IT-технологиям для стран СНГ, Каспийского и Черноморского регионов, Турции и Центральной Азии  
«CASPIAN TELECOMS 2012»  
19–20 апреля 2012**

**Место проведения:** Турция, г. Стамбул, гостиница Hilton

**Организаторы**

ITE LLC Moscow, Россия

E International Exhibitions Inc., Турция

**Caspian Telecoms** по праву признана отраслевым сообществом ведущим форумом по телекоммуникациям и информационным технологиям для Каспийского региона, стран СНГ, Турции и Центральной Азии. Конференция ежегодно собирает мировых лидеров на телекоммуникационном рынке.

**Caspian Telecoms** — это уникальная возможность в одном месте представить Вашу компанию наибольшему числу специалистов в области фиксированной, мобильной, спутниковой связи и в сфере информационных технологий из стран СНГ, Каспийского региона, Турции и Центральной Азии.

**VIP-делегации на конференции**

Высокопоставленных делегатов на конференцию ежегодно направляют телекоммуникационные ведомства стран СНГ и соседних государств, международные организации и компании, государственные и частные операторы связи, инвестиционные компании и банки.

Успех конференции происходит, в значительной степени, благодаря присутствию официальных делегаций из стран СНГ и соседних государств. Государственные и коммерческие телекоммуни-

кационные организации могут подробно обсудить актуальные вопросы и потенциальные возможности для индустрии, включая лицензирование, слияние и поглощение, приватизацию. Конференция создает идеальную обстановку для встреч с партнерами, ведения бизнеса, проведения переговоров и установления новых контактов.

**Страны-участники**

Россия, Турция, Казахстан, Азербайджан, Узбекистан, Туркменистан, Грузия, Таджикистан, Армения, Украина, Беларусь, Молдова, Монголия, Румыния, Греция и Киргизская Республика.

**Направления работы**

Мобильная связь и VAS-услуги

Фиксированная связь

Спутниковая связь

Телерадиовещание

Вызовы и решения в области информационных технологий и услуг

Производство и инновации

**Дополнительная информация и справки**

129164 Москва, Зубарев переулок, д. 15, к. 1

ITE Moscow LLC

Елена Кочергина

Тел.: +7 (495) 935 7350

Эл. адрес: [Kochergina@ite-expo.ru](mailto:Kochergina@ite-expo.ru)

Сайт: <http://www.caspiantelecoms.com/ru>

УДК 004.434

## ИНКРЕМЕНТАЛЬНЫЙ ПРЕДМЕТНО-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПРОЦЕСС РАЗРАБОТКИ ПРИКЛАДНОГО ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

**Н. Д. Андреев,**

начальник отдела разработки программного обеспечения  
ООО «Джи Джи Эй Софтвэр Сервисес», г. Санкт-Петербург

**Ф. А. Новиков,**

доктор физ.-мат. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Рассматриваются причины ограниченного применения проблемно- и предметно-ориентированных языков и предлагается инкрементальный и итеративный предметно-ориентированный процесс разработки прикладного программного обеспечения, призванный расширить сферу применения предметно-ориентированного подхода на практике. Раскрываются преимущества использования этого подхода для разработки заказного прикладного программного обеспечения, ориентированного на определенную предметную область.

**Ключевые слова** — программное обеспечение, процесс разработки, предметно-ориентированные языки, аутсорсинг в информационных технологиях.

### Введение

В настоящее время эффективность и результативность используемых процессов для разработки прикладного программного обеспечения (ППО) оставляют желать лучшего. Несмотря на заметное развитие технологий программирования, принципы подходов и процессов разработки остаются в сущности все теми же. Вначале заказчики пытаются объяснить, а разработчики пытаются понять цели и задачи проекта в терминах соответствующей предметной области. Затем разработчики приступают к разработке программы с помощью языка программирования, в котором нет этих терминов предметной области, а есть термины систем программирования — переменные, процедуры, поля и их видимость. Такой «коммуникационный разрыв» негативно сказывается на эффективности разработки. Модные в последние годы гибкие процессы разработки [1] позволяют решить часть проблем, но не могут полностью гарантировать, что будет разработано именно то, что ожидает заказчик. Действительно, ведь само программирование в этом случае обычно осуществляется без какого-либо участия заказчика на чуждом ему языке. Даже если представитель заказчика сидит в одной комнате с раз-

работчиками, он не принимает участие в написании кода и в большинстве случаев не может оценить и понять промежуточные артефакты разработки.

Подход, при котором разработка ППО ведется на предметно- и проблемно-ориентированных языках, призван изменить ситуацию в лучшую сторону, поскольку трудозатраты на разработку ППО существенно сокращаются за счет небольшого увеличения трудозатрат на разработку инструментального ПО [2]. Суть подхода — конструирование программ на предметном уровне. Под конструированием мы понимаем процесс создания визуальных и текстовых описаний программы в различных представлениях [3].

В настоящее время активно исследуются вопросы создания и использования проблемно- и предметно-ориентированных языков [4], однако в силу ряда причин на практике такой подход применяется достаточно ограниченно.

### Применение проблемно- и предметно-ориентированных языков

При проблемно- или предметно-ориентированном подходе для определенных целей или предметной области обычно создается специа-

лизированный язык прикладного программирования.

Проблемно-ориентированные (ПО — Problem Oriented) языки создаются для решения конкретной проблемы или ряда сходных проблем в различных предметных областях. Например, язык, определяющий сущности и связи между ними, может иметь семантику системы с базой данных (БД), набором форм пользовательского интерфейса и логикой работы с БД [5]. Предметно-ориентированные (DS — Domain Specific) языки имеют специфику конкретной предметной области — например, язык для создания информационных систем в области химии [6].

Преимущества разработки в терминах предметной области очевидны. Действительно, решать определенную проблему на специализированном языке проще и быстрее. При использовании специализированного высокоуровневого языка часто используется идея порождающего программирования [7–9], и это помогает избежать повторной разработки однотипного кода. А если создан специализированный предметно-ориентированный язык, то в нем используются термины предметной области, и значит можно с большим успехом привлекать к разработке «сильных пользователей» — специалистов в этой предметной области. При этом риск появления неправильно понятых требований к продукту будет минимальным. Также дизайнерские решения можно с легкостью модифицировать даже на последних стадиях разработки — ведь дублирование шаблонов и кода будет ниже, чем при традиционном подходе. Кроме того, при поддержке системы обновление технологий тоже будет проходить менее болезненно — необходимо лишь изменить существующий или реализовать новый генератор с языка высокого уровня.

Этот подход не является новым; такие проблемно-ориентированные языки, как SQL, T<sub>EX</sub> появились достаточно давно. Однако толчок к потенциально массовому использованию подходов дало появление методологии языково-ориентированного программирования [1] и инструментов, его поддерживающих [2]. Также свое место в подходах к разработке ПО и даже модели СММІ заняла методология разработки фабрик ПО [10]. Суть ее заключается в обобщении множества программных продуктов, выделении и разработке общих частей и построении, таким образом, линии по созданию серии программных продуктов. Часто способом обобщения служит предметно-ориентированный язык, а процесс его создания обычно характеризуется следующим.

1. Язык создается с нуля — не расширяет какие-то другие проблемно- или предметно-ориентированные языки.

2. Язык проектируется и реализуется так, чтобы его можно было сразу использовать для разработки различных продуктов линии.

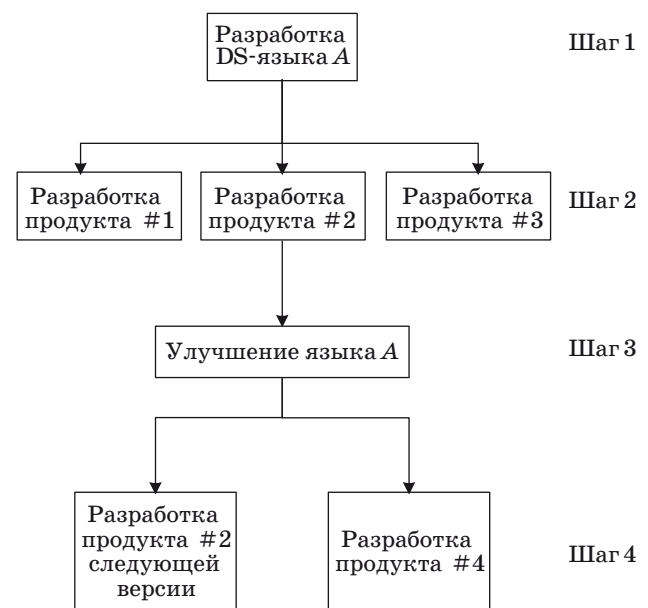
3. Получаемый исходный код на языке более низкого уровня сложно поддерживать в дальнейшем — не предполагается, что можно частично или полностью продолжить разработку на языке более низкого уровня.

В целом подход оказывается не гибким [11], и для разработки *нескольких* продуктов процесс выглядит следующим образом (рис. 1). На первом шаге разрабатывается предметно-ориентированный язык А. Далее этот язык используется для разработки ряда продуктов, например #1, #2 и #3. Производятся изменения языка А по результатам его использования для разработки продуктов. Новая версия языка А используется для разработки новой версии продукта #2 и нового продукта #4.

Недостатки такого процесса состоят в следующем.

1. Высокая стоимость и длительность шага #1 — анализ требований, обобщение продуктов и разработка соответствующего языка потребуют существенных времени и ресурсов.

2. Первые результаты работы над продуктом #1 достигаются значительно позже, чем при использовании обычных методологий. На практике это вызывает недовольство и недоверие заказчика, а значит, требует дополнительных усилий от команды разработки. Например, приходится вести практически параллельную разработку для демонстрации прогресса заказчику. Заказчика редко удается убедить в необходимости соз-



■ Рис. 1. Традиционный предметно-ориентированный процесс разработки ППО

дания специализированного языка до создания этого языка.

3. Существуют риски, характерные для водопадных процессов разработки, например, неправильное понимание требований к языкам и продуктам линии. Выявление непонимания на поздних фазах разработки ведет к большим потерям.

Кроме того, иногда в силу различных причин поддерживать разработанный язык гораздо дороже, чем вручную изменять сгенерированный код на языке общего назначения. К сожалению, создатели генератора кода с предметно-ориентированного языка часто не предполагают, что получаемый код можно дорабатывать или поддерживать вручную. В таком случае мы становимся «заложниками» разработанного языка, и риски разработки в целом повышаются. Авторы неоднократно сталкивались на практике с подобными ситуациями, и обычно руководство тогда принимало решение о разработке на языке низкого уровня с «нуля» и без какого-либо использования предметно-ориентированного подхода.

Вышеперечисленные свойства и недостатки процесса, по нашему мнению, являются причинами ограниченного использования предметно-ориентированного подхода на практике.

### Инкрементальный и итеративный предметно-ориентированные процессы разработки

На практике необходим более гибкий предметно-ориентированный процесс разработки, при котором мы предлагаем использовать следующие подходы.

1. Не ставить перед собой цель создать «пределно» общий язык, который сразу окажется применимым для большого количества различных продуктов предметной области.

2. Начинать с создания частных проблемно-ориентированных языков. При этом время, потраченное на создание подобных языков, не должно сильно замедлить создание продукта. Мы рекомендуем применять тут правило «трех ударов» [12] при нахождении однотипного программного кода.

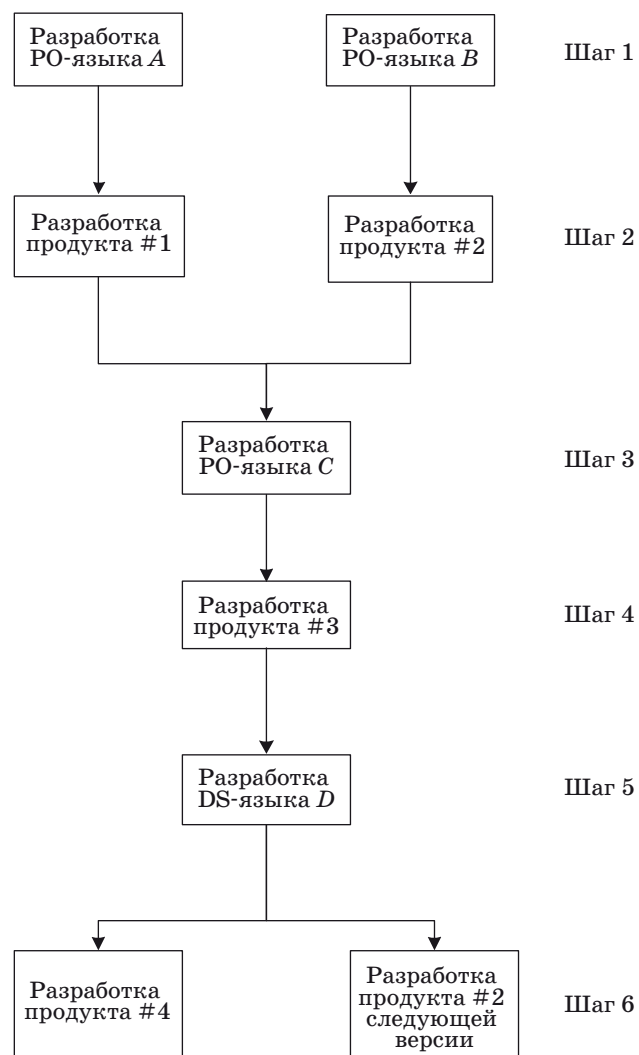
3. Повторно использовать существующие проблемно- и предметно-ориентированные языки — создавать новые языки на основе уже существующих.

4. Не исключать полностью дописывание кода на языке обычного на сегодняшний день уровня (например, Java или C#). Важно, чтобы код, генерируемый из проблемно- и предметно-ориентированных языков, был поддерживаемым.

5. При наличии одновременно генерируемого и рукописного кода использовать модель частично генерируемого кода [13].

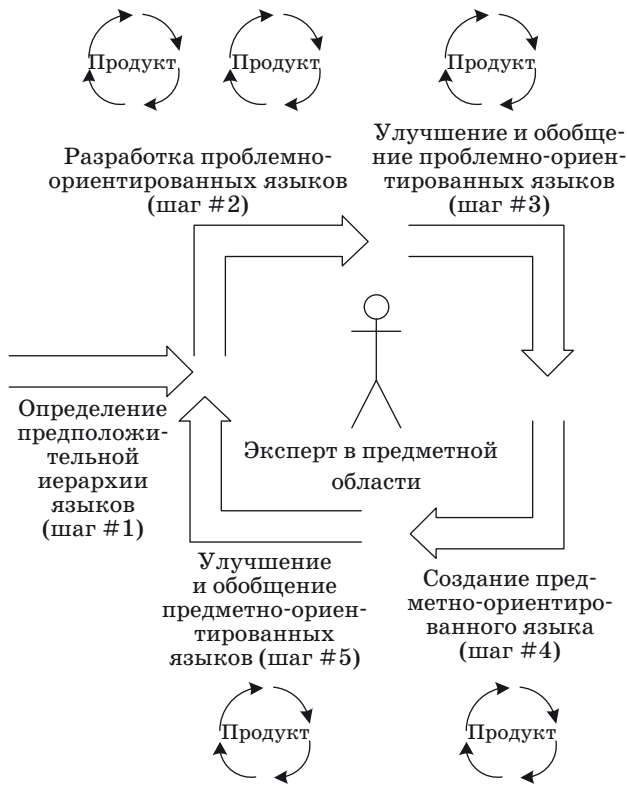
Предлагаемый процесс на основе этих принципов является инкрементальным (рис. 2) и итеративным (рис. 3).

На первом шаге разрабатываются проблемно-ориентированные языки *A* и *B*, которые используются на шаге #2 для создания продуктов. На шаге #3 создается новый проблемно-ориентированный язык *C*, основанный на созданных ранее языках. На шаге #4 разрабатывается новый продукт при помощи языка *C*. На шаге #5 создается предметно-ориентированный язык *D* на основе ранее созданных проблемно-ориентированных языков. На последнем шаге язык *D* используется для создания нового и доработки старого продуктов. Таким образом обеспечивается инкрементальность процесса.



■ Рис. 2. Пример инкрементальной предметно-ориентированной разработки ПО



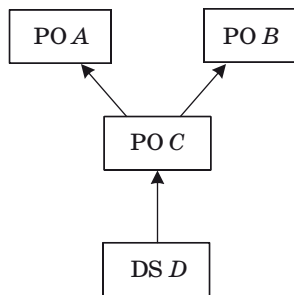


■ Рис. 3. Пример итеративной и инкрементальной предметно-ориентированной разработки ПО

Ключевая часть процесса — создание эффективной иерархии обобщения проблемно- и предметно-ориентированных языков (рис. 4).

В целом предлагаемый процесс выглядит следующим образом (см. рис. 3).

1. Определение предположительной иерархии проблемно- и предметно-ориентированных языков.
2. Реализация одного или нескольких проблемно-ориентированных языков в рамках бюджета одного из продуктов.
3. Улучшение и обобщение созданных проблемно-ориентированных языков в рамках одного или нескольких продуктов.
4. Создание предметно-ориентированного языка на основе существующих проблемно-ориенти-



■ Рис. 4. Иерархия наследования проблемно- и предметно-ориентированных языков

рованных языков и его использование для создания одного из продуктов.

5. Улучшение и обобщение созданных предметно-ориентированных языков в рамках создания одного или нескольких продуктов.

6. Переход к шагу #2.

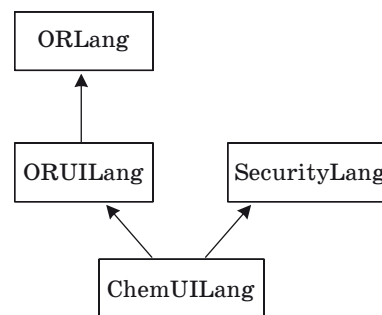
Важно отметить, что разработанные проблемно-ориентированные языки могут быть повторно использованы для создания других предметно-ориентированных языков, в том числе в других предметных областях. Итеративность процесса состоит в продолжающемся процессе создания новых проблемно- и предметно-ориентированных языков и их обобщении.

### Пример иерархии проблемно- и предметно-ориентированных языков

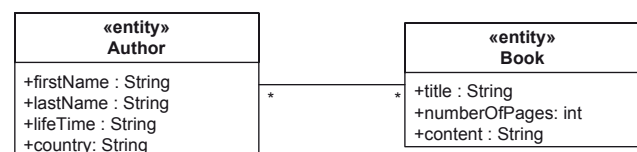
Иерархия разработанных проблемно- и предметно-ориентированных языков представлена на рис. 5.

Проблемно-ориентированный язык ORLang определяет сущности, их связи и логику сохранения/получения в БД. В результате работы транслятора с этого языка сгенерируются скрипты создания схемы БД (например, Oracle или MS SQL Server), объектная модель и код DAL (Data Access Layer) для работы с этой БД (например, на Java или C#). Этот язык — графический и является подмножеством нотации диаграмм классов UML (рис. 6).

Проблемно-ориентированный язык ORUILang расширяет синтаксис и семантику языка ORLang. Дополнительная семантика — пользовательский интерфейс для работы с БД. На уровне



■ Рис. 5. Иерархия разработанных проблемно- и предметно-ориентированных языков



■ Рис. 6. Пример описания связи двух сущностей на языке ORLang

синтаксиса дополнительно настраиваются свойства получаемого пользовательского интерфейса (рис. 7). На стороне пользовательского интерфейса возможно несколько видов форм — «Search» (Поиск), «Search Results» (Результаты поиска) и «Input Data» (Ввод данных). На расширенной диаграмме сущностей языка ORLang определяются свойства форм с помощью следующих стереотипов:

«search» — поле может быть использовано как критерий поиска и выводится в таблицу результатов поиска;

«search result» — поле выводится в таблицу результатов поиска;

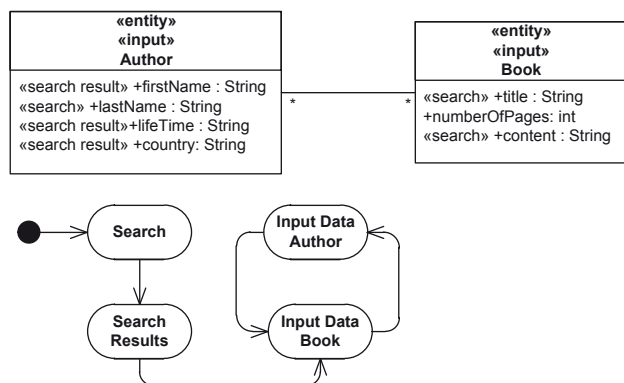
«input» — сущность может быть отредактирована или введена новая.

На дополнительной диаграмме состояний задается взаимодействие этих форм.

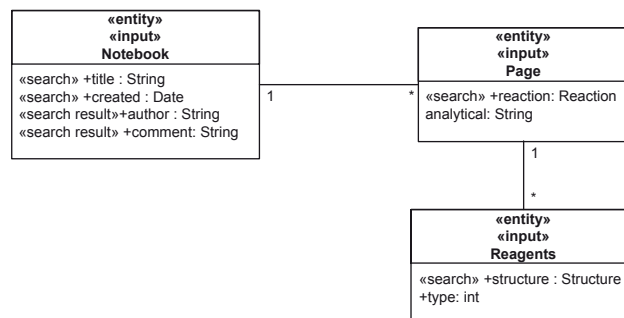
Проблемно-ориентированный язык SecurityLang определяет, как приложение работает с точки зрения безопасности: задаются параметры аутентификации, роли — и какие части приложения (пакеты) доступны для каких ролей. Синтаксис языка основан на XML:

```
<security>
  <authentication>
    <ldap url="ldap://ldap.xyz.com"
      username="ldap" password="ldappas">
  </authentication>
  <authorization>
    <role name="readonly">
      <package>com.xyz.view</package>
    </role>
    <role name="write">
      <package>com.xyz.view</package>
      <package>com.xyz.create</package>
    </role>
  </authorization>
</security>
```

Предметно-ориентированный язык для создания информационных систем в области химии ChemUILang расширяет два проблемно-ориентированных языка — ORUILang и SecurityLang.



■ Рис. 7. Пример описания взаимодействия форм на языке ORUILang



■ Рис. 8. Пример описания свойств пользовательского интерфейса на языке ChemUILang

В этом языке можно дополнительно определять свойства специальных типов (рис. 8) — химическая структура (Structure) и химическая реакция (Reaction). Семантика таких типов — отображение соответствующих свойств на пользовательском интерфейсе в виде химических структур или реакций. Кроме того, в системе автоматически поддерживается подструктурный поиск по соответствующим полям в БД.

### Применение предметно-ориентированного процесса при аутсорсинге

Теоретики создания линий разработки ПО обычно приводят в качестве примера компанию, работающую в определенной предметной области, которой нужно разрабатывать ПО в этой области: например, автоконцерну необходимо создавать ПО для различных моделей автомобилей [14]. Мы считаем, что при некоторых условиях предметно-ориентированный процесс может не менее эффективно применяться и при аутсорсинге — разработке ПО на заказ.

Несмотря на бурное развитие в последние годы, аутсорсинг разработки ПО в России развит не очень сильно по сравнению с аналогичным рынком, например, в Индии. Основные проблемы — «нефтяная» экономика, завышенные зарплатные ожидания и гораздо меньшее количество профессиональных разработчиков ПО. Следовательно, для того чтобы победить в конкурентной борьбе, разработку надо вести более эффективно.

Прежде всего, компании необходимо сфокусироваться на одной из предметных областей и достичь в этой области признанной экспертизы. Даже для больших аутсорсинговых компаний сложно иметь экспертизу и наработки в различных предметных областях. При наличии же только одной предметной области может эффективно применяться предложенный итеративный предметно-ориентированный подход разработки.

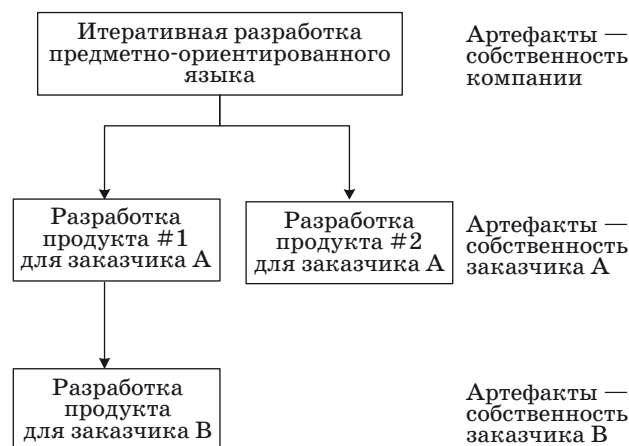
При использовании предметно-ориентированного подхода разработка становится более интеллектуальной. Это позволяет не только повысить эффективность и превзойти конкурентов, программирующих в стиле *copy-paste* (дублирование кода и подходов), но и привлекать и удерживать талантливых молодых разработчиков.

Когда у компании несколько заказчиков в одной предметной области, то встает проблема повторного использования кода и знаний. Во-первых, люди обычно продолжают разрабатывать или поддерживать существующую систему, и переключить их на другого заказчика крайне сложно. Во-вторых, обычно заказчики очень строго относятся к разделению ресурсов и почти наверняка не позволят использовать разработанный код для других компаний. Если необходимо создать систему для одного заказчика, очень похожую на систему, разработанную для другого заказчика, то проблематично повторно использовать на уровне компании даже знания, не говоря о программном коде.

При использовании предложенного предметно-ориентированного процесса знания могут постепенно накапливаться в созданных специализированных языках. Если в результате разработки системы для одного заказчика будет создан предметно-ориентированный язык, то разработка аналогичной системы для другого заказчика будет существенно дешевле (возможно, даже дешевле, чем разработка в Индии или Китае). При этом совсем не обязательно говорить заказчику о том, что был создан какой-то предметно-ориентированный язык. Если, как писалось выше, результирующий код будет поддерживаемым и не будет восприниматься как генерируемый, то условия стандартного контракта на разработку ПО будут выполнены — весь результирующий (сгенерированный) программный код будет принадлежать заказчику. При этом код генератора и созданные языки будут принадлежать компании-разработчику.

## Литература

1. Бек К. Экстремальное программирование. — СПб.: Питер, 2003. — 224 с.
2. Ward M. Language Oriented Programming // Software — Concepts and Tools. 1994. Vol. 15. N 4. P. 147–161.
3. Новиков Ф. А. Визуальное конструирование программ // Информационно-управляющие системы. 2005. № 6. С. 9–22.
4. Dmitriev S. Language Oriented Programming: The Next Programming Paradigm. <http://www.onboard.>



■ Рис. 9. Процесс разработки для нескольких заказчиков

Применение предложенного процесса разработки для нескольких заказчиков показано на рис. 9. Ключевая особенность такого процесса — использование разработанного предметно-ориентированного языка при создании различных программных продуктов для нескольких заказчиков.

## Заключение

В работе предложен итеративный процесс разработки ППО в форме линейки продуктов на основе иерархии предметно- и проблемно-ориентированных языков в конкретных предметных областях, который позволяет использовать предметно-ориентированный подход на практике. Кроме того, рассмотрены вопросы использования предметно-ориентированного процесса при аутсорсинге.

Дальнейшее развитие работы мы видим в разработке подходов повторного использования и построения эффективной иерархии проблемно- и предметно-ориентированных языков.

[jetbrains.com/articles/04/10/lop/mps.pdf](http://jetbrains.com/articles/04/10/lop/mps.pdf) (дата обращения: 04.12.2011).

5. Андреев Н. Д. Предметно-ориентированный язык моделирования, основанный на UML // Формирование технической политики инновационных наукоемких технологий: материалы конф. и школы-семинара СПбГПУ. СПб., 2004. С. 75–82.
6. Cheng Y., Zhang R., Hu C., Li S., Zhang M. Design and implementation of UDLC: Unified Job-Description Language on Chemical-Grid // ICECE-2011. P. 2967–

2971. [http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs\\_all.jsp?arnumber=6057124](http://ieeexplore.ieee.org/xpl/freeabs_all.jsp?arnumber=6057124) (дата обращения: 04.12.2011).
7. Czarnecki K., Ulrich W. Generative Programming — Methods, Tools, and Applications. — Addison-Wesley, 2000. — 864 p.
8. Новиков Ф. А., Степанян К. Б. Использование порождающего программирования при реализации языка описания диаграмм // Информационно-управляющие системы. 2008. № 6. С. 32–35.
9. Новиков Ф. А., Новосельцев В. Б. Язык исполняемых программных спецификаций // Программирование. 2010. № 1. С. 66–78.
10. Jones L. G., Soule A. L. Software Process Improvement and Product Line Practice: CMMI and the Framework for Software Product Line Practice. <http://www.sei.cmu.edu/library/abstracts/reports/02tn012.cfm> (дата обращения: 04.12.2011).
11. Rumpe B., Schindler M., Völkel S., Weisemöller I. Agile Development with Domain Specific Languages // Proc. of the 7<sup>th</sup> European Conf. on Modelling Foundations and Applications (ECMFA 2011). Springer-Verlag, June 2011. P. 387–388.
12. Fowler M. et al. Refactoring: Improving the Design of Existing Code. — Addison-Wesley Professional, 1999. — 464 p.
13. Herrington J. Code Generation in Action. — Manning, 2003. — 350 p.
14. Grandy H., Benz S. Specification based testing of automotive human machine interfaces // GI Jahrestagung. 2009. Vol. 154GI. P. 2720–2727.

**Международная выставка «Охрана, безопасность, противопожарная защита — SIPS 2012»  
16–18 октября 2012**

**Место проведения:** г. Краснодар, ВЦ «КраснодарЭКСПО»

**Организатор**

Выставочная компания ITE Moscow

**При поддержке**

МВД России  
Министерства транспорта РФ  
Федеральной таможенной службы  
МЧС Краснодарского края  
Администрации Краснодарского края  
ВДПО

**Основные разделы выставки**

Технические средства обеспечения безопасности  
Системы охранного телевидения и наблюдения  
Защита информации, смарт-карты  
Современные системы связи, оповещения и телекоммуникаций  
Пожарная безопасность  
Таможенный контроль  
Пограничный контроль

Выставка SIPS 2012 по традиции будет проходить в рамках проекта IDES, объединившего на одной выставочной площадке 7 специализированных выставок. По признанию специалистов IDES, это уникальный отраслевой коммуникационный проект, сумевший охватить основные направле-

ния экономики края и объединить вокруг себя профессионалов.

Выставка представляет полный спектр продукции и услуг для комплексного обеспечения безопасности во всех сферах современной жизни.

Важным стимулом для участия и посещения выставки является насыщенная деловая программа, представленная конференциями, семинарами, круглыми столами. Участники — специалисты строительных компаний, проектно-монтажных организаций, торговли, органов управления, банков, армии, НИИ, представители отраслей промышленности.

Участникам выставки SIPS 2012 предоставится уникальная возможность встретиться на одной площадке с представителями отраслевых министерств и департаментов Южного федерального округа, специалистами ведущих нефтегазовых и энергетических компаний края.

Формирование выставочной экспозиции и деловой программы продолжается.

**Дополнительная информация и справки**

Тел.: +7 (495) 935-73-50, доб. 4242

Эл. адрес: [ides@ite-expo.ru](mailto:ides@ite-expo.ru)

Сайт: <http://www.ides-expo.ru/home/exhibitions/sips.aspx>

УДК 621.391

## О СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В ОДНОЙ СИСТЕМЕ МНОЖЕСТВЕННОГО ДОСТУПА

**Д. С. Осипов,**

канд. техн. наук, старший научный сотрудник

**Ф. В. Грошев,**

младший научный сотрудник

Институт проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН, г. Москва

Рассматривается система множественного доступа, использующая псевдослучайное переключение частот в динамически выделяемом частотном диапазоне и некогерентный пороговый прием. Для такой системы предложен метод увеличения скорости передачи на основе выделения пользователю нескольких независимых потоков данных. Показаны эффективность данного метода (с точки зрения максимальной скорости надежной передачи), а также эффективность использования порога, имеющего постоянную величину.

**Ключевые слова** — множественный доступ, псевдослучайное переключение частот, динамически выделяемые частотные поддиапазоны, некогерентный пороговый прием, скорость передачи.

### Введение

Одними из наиболее важных аспектов развития современных информационных технологий являются интенсивный рост объемов данных, передаваемых в системах беспроводной связи, и интенсивное увеличение числа приложений, использующих этот тип связи. Особую актуальность приобретает в этих условиях задача множественного доступа, суть которой состоит в том, что более чем один пользователь может использовать некоторый канал в течение определенного промежутка времени.

Следует отметить, что широкий диапазон приложений, использующих методы множественного доступа для передачи данных, предъявляет к таким системам целый ряд специфических требований.

Среди важнейших требований, предъявляемых к системам множественного доступа, выделим обеспечение защиты данных от прослушивания и подавления. Эта задача с успехом решается методами CDMA (Code Division Multiple Access) — кодового разделения пользователей в системах множественного доступа (СМД) и, в частности, методом псевдослучайно-переключающихся радиочастот (ППРЧ). Однако системы, использующие метод ППРЧ, оказываются неэффективными в случае применения новейших технологий подавления. В работе [1] была предложена моди-

фикация системы, использующей ППРЧ, — система с динамическим выделением диапазона переключающихся частот (Dynamic Hopset Allocation Frequency Hopping Orthogonal Frequency Division Multiple Access, ДНА FH OFDMA). Ниже будет рассмотрена одна из многочисленных модификаций системы такого типа, позволяющая снизить ущерб от применения новейших технологий подавления, — СМД, использующая псевдослучайное переключение частот в динамически выделяемом частотном диапазоне и некогерентный пороговый прием.

Другим важным требованием, предъявляемым к системам передачи данных, является обеспечение широкого диапазона скоростей передачи данных в зависимости от ограничений, накладываемых конкретным типом приложения, видом передаваемых данных и т. п. В настоящей работе предложен метод решения этой проблемы применительно к системе ДНА FH OFDMA.

### Описание системы

Будем рассматривать передачу от многих пользователей по каналу «вверх» (т. е. передачу на базовую станцию — БС) и, соответственно, полагать, что все пользователи, ведущие передачу, передают данные асинхронно и некоординированно. Кроме того, мы будем полагать, что в описываемой системе налажен оптимальный кон-

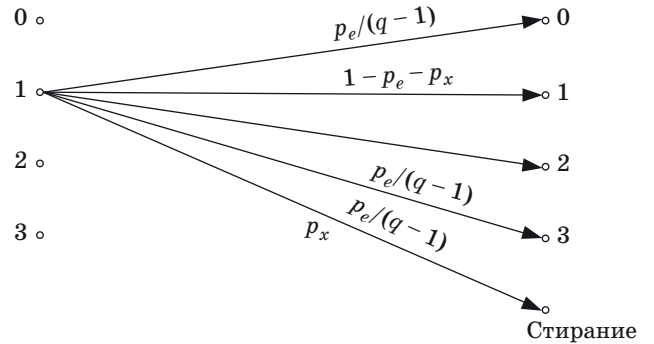
троль мощности, т. е. мощность сигнала, передаваемого каждым из пользователей, выбирается так, чтобы мощность соответствующего сигнала на приемном конце равнялась некоторому заранее заданному значению  $P$ . Пусть используемый канал разбит при помощи технологии OFDM на  $Q$  непересекающихся частотных подканалов. Ниже мы будем предполагать, что в канале присутствует аддитивный белый гауссов шум. Таким образом, исследуемая нами система может рассматриваться как идеализированная модель таких реальных систем, как спутниковые системы связи или системы сотовой связи, а ее анализ — как первый этап анализа такого рода систем.

Рассмотрим передачу  $q$ -ичного символа одним из пользователей (здесь и далее будем называть этого пользователя «рассматриваемым», а остальных пользователей, передающих данные в системе в момент рассмотрения, и передаваемые ими сигналы — «мешающими»). Предполагается, что активный пользователь оснащен генератором номеров подканалов, который случайным образом без повторения выбирает из множества  $Q$  подканалов вектор  $q$  подканалов, которые могут быть использованы при передаче. Передаваемый символ кодируется позицией в этом векторе.

Предполагается, что БС оснащена генератором, синхронизированным с генератором активного пользователя. Это означает, что БС известны наборы подканалов, выбранные генератором активного пользователя. При этом неизвестно, какой именно из подканалов использовался для передачи. Для того чтобы разрешить эту неопределенность, БС сравнивает энергию каждого из сигналов, принятых из подканалов, выбранных генератором, с некоторым порогом. В случае если превышение порога регистрируется лишь по одному из подканалов, принимается символ, поставленный в соответствие этому подканалу, в противном случае принимается решение о стирании. Если принят символ, отличный от переданного, говорят об ошибке.

**Критерий выбора порога**

Мы рассматриваем лишь передачу информации от рассматриваемого пользователя на БС. Сигналы, передаваемые другими пользователями, при таком способе рассмотрения трактуются как источник дополнительных помех. С точки зрения пары «рассматриваемый пользователь — БС», описываемая система представляет собой, говоря языком теории информации, дискретный  $q$ -ичный канал без памяти со стираниями (здесь и далее мы будем обозначать этот канал как  $K_0$ ). Диаграмма состояний такого канала показана на

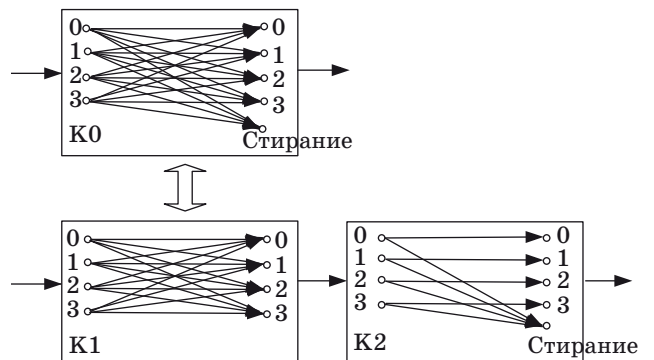


■ Рис. 1. Диаграмма состояний и величины переходных вероятностей для используемого канала

рис. 1 (так как переходные вероятности для различных состояний совпадают, для удобства восприятия на диаграмме показаны переходные вероятности лишь для одного состояния).

На этом рисунке вероятность ошибки обозначена как  $p_e$ , а вероятность стирания как  $p_x$ . Такой канал уместно представить как композицию  $q$ -ичного дискретного симметричного канала без памяти и стирающего канала (под стирающим каналом здесь подразумевается канал, в котором всякий символ переходит либо в себя, либо в стирание), как показано на рис. 2.

Заметим, что выбранное нами представление использует предположение о том, что вероятность появления стираний на любой позиции в передаваемом сообщении не зависит ни от положения самой этой позиции в этом сообщении, ни от того, произошла ли ошибка при передаче сообщения (что делает используемую модель адекватной, так как в реальной системе как ошибки, так и стирания являются результатом работы приемника и, кроме того, позиции ошибок неизвестны приемнику, по крайней мере, до декодирования). Будем обозначать  $q$ -ичный дискретный симметричный канал без памяти как  $K_1$ , а стирающий канал как  $K_2$ . Кроме того, будем обозначать ве-



■ Рис. 2. Представление используемого канала в виде композиции дискретного  $q$ -ичного канала без памяти и стирающего канала

роятность стирания в К2 как  $\tilde{p}_x$ , а вероятность ошибки в К1 как  $\tilde{p}_e$ .

Поскольку стирания независимы, можно утверждать, что

$$p_x = \tilde{p}_x(1 - \tilde{p}_e) + \tilde{p}_x\tilde{p}_e = \tilde{p}_x.$$

Кроме того, для вероятности ошибки верно следующее равенство:

$$p_e = \tilde{p}_e(1 - p_x),$$

а для вероятности правильного приема

$$\begin{aligned} p_c &= (1 - \tilde{p}_e)(1 - p_x) = \\ &= \left(1 - \frac{p_e}{1 - p_x}\right)(1 - p_x) = 1 - p_e - p_x. \end{aligned}$$

Полученные соотношения позволяют нам определить пропускную способность канала КО. Выражение для этой величины в явном виде было получено авторами в работе [2]. Здесь мы лишь вкратце воспроизведем вывод этого выражения, так как оно будет играть важную роль в дальнейшем изложении. Согласно [3]:

$$C_e = C - p_x C,$$

где  $C_e$  — пропускная способность исследуемого канала;  $C$  — пропускная способность канала К1:

$$C = \log_2(q) - H,$$

$$H = -\left[(1 - \tilde{p}_e)\log_2(1 - \tilde{p}_e) + \frac{\tilde{p}_e}{q-1}\log_2\frac{\tilde{p}_e}{q-1}(q-1)\right].$$

Таким образом, пропускная способность исследуемого канала (канала КО) может быть записана в следующем виде:

$$\begin{aligned} C_e &= [\log_2 q + (1 - \tilde{p}_e)\log_2(1 - \tilde{p}_e) + \\ &+ \tilde{p}_e \log_2 \tilde{p}_e - \tilde{p}_e \log_2(q-1)](1 - p_x), \end{aligned} \quad (1)$$

$$\text{где } \tilde{p}_e = \frac{p_e}{1 - p_x}.$$

Следует отметить, что величина, которая описывается выражением (1), является пропускной способностью канала КО, но не является пропускной способностью канала множественного доступа, так как методы приема и передачи фиксированы. Эта величина имеет смысл наибольшей скорости, с которой пользователь может надежно передавать информацию в СМД, построенной в соответствии с вышеописанными принципами и характеризующейся данными значениями переходных вероятностей (термин «надежно» имеет здесь тот же смысл, который вкладывается в него в работе [4]). Подставляя выражение для  $\tilde{p}_e$  в аналитическое выражение (1), имеем

$$\begin{aligned} C(p_e, p_x) &= [\log_2 q + \left(1 - \frac{p_e}{1 - p_x}\right)\log_2\left(1 - \frac{p_e}{1 - p_x}\right) + \\ &+ \frac{p_e}{1 - p_x}\log_2\left(\frac{p_e}{1 - p_x}\right) - \frac{p_e}{1 - p_x}\log_2(q-1)](1 - p_x) = \\ &= ((1 - p_x)\log_2 q) + (1 - p_e - p_x)\log_2\left(1 - \frac{p_e}{1 - p_x}\right) + \\ &+ p_e \log_2\left(\frac{p_e}{1 - p_x}\right) - p_e \log_2(q-1). \end{aligned} \quad (2)$$

Как видно из формулы (2), наибольшая скорость, с которой пользователь может вести передачу в рассматриваемой системе, определяется как вероятностью ошибки, так и вероятностью стирания. Эти вероятности, в свою очередь, определяются как особенностями метода приема и передачи (технологией частотно-позиционного кодирования, используемым методом приема, условиями, наложенными на процесс передачи данных активными пользователями) и особенностями используемого физического канала связи (т. е. среды, в которой распространяется передаваемый сигнал), так и параметрами СМД. К последним относятся общее число выделяемых подканалов, число подканалов, которые выделяются каждому из пользователей, число активных пользователей и величины порогов.

Следует отметить, что из всех вышеперечисленных параметров БС может изменять лишь величины порогов. Так как мы рассматриваем систему с оптимальным контролем мощности, в которой сигналы от различных пользователей имеют одну и ту же мощность на приемном конце, целесообразно выбрать величину порога одинаковой для всех пользователей и всех подканалов, выделенных этим пользователям. Как видно из вышесказанного, переходные вероятности ошибки и стирания, которыми описывается канал с точки зрения каждого из рассматриваемых пользователей, в общем случае будут различными для различных значений величины порога. Иными словами, хотя с точки зрения рассматриваемого пользователя математическая модель канала остается неизменной, меняя величину порога, мы тем самым переходим к каналу с новыми параметрами и, соответственно, другой пропускной способностью. Следует отметить, что прочие параметры и ограничения, от которых зависят вероятности ошибки и стирания, полагаются неизменными, иначе говоря, мы выбираем величину порога для конкретных значений таких параметров, как  $Q$  — общее число подканалов;  $q$  — число подканалов, динамически выделяемых каждому пользователю для передачи одного символа;  $K$  — число ак-

тивных пользователей и SNR — отношение сигнал/шум. Представляется целесообразным выбрать величину порога  $TR$ , соответствующей каналу, характеризующемуся наибольшей пропускной способностью

$$C(Q, q, K, SNR) = \max(C(p_e(Q, q, K, SNR, TR), p_x(Q, q, K, SNR, TR))). \quad (3)$$

Заметим, что пропускная способность канала, характеризующегося такой величиной порога, имеет смысл наибольшей скорости, с которой пользователь может надежно вести передачу в системе рассматриваемого типа, характеризующей заданными значениями параметров и наложенными на передачу ограничениями (такая интерпретация была использована еще в работе [5]). Необходимо еще раз отметить, что словосочетание «пропускная способность» относится в данном случае лишь к дискретному каналу, к которому сводится СМД, использующая описанные выше методы приема и передачи и характеризующая конкретными параметрами (в том числе «оптимальной» в вышеуказанном смысле величиной порога). Подлинная пропускная способность СМД представляет собой скорость надежной передачи данных, максимизированную по всевозможным методам приема и передачи (разумеется, использование других методов приема и передачи может привести к тому, что для использующей их СМД уже не будут характерны такие особенности, как, например, устойчивость к подавлению). В рассматриваемом случае максимизация скорости надежной передачи ведется лишь по одному параметру, а именно величине порога, в то время как прочие параметры, а также метод приема и передачи и наложенные на систему ограничения (равенство мощностей сигналов на приемном конце, отсутствие синхронизации между пользователями и т. п.) фиксированы. Поэтому в дальнейшем будем обозначать характеристику, задаваемую равенством (3), как  $R_m$ , для краткости опуская переменные, от которых зависит величина этой характеристики (при этом, разумеется, сравнения величин  $R_m$  будут производиться для одних и тех же значений этих параметров):

$$R_m = C(Q, q, K, SNR),$$

а саму эту величину будем называть «максимальной скоростью надежной передачи» (опуская для краткости слова «в системе множественного доступа описанного типа», так как далее речь пойдет о передаче информации исключительно в СМД, построенной в соответствии с вышеописанными принципами).

### Увеличение скорости передачи данных в СМД рассматриваемого типа

Описанная нами СМД защищена от подавления при помощи сосредоточенных (по спектру) помех существенно лучше, чем известные ныне системы, благодаря использованию технологии частотно-позиционной модуляции и некогерентного приема. Рассмотрение вопросов подавления не входит в нашу задачу, поэтому, иллюстрируя это утверждение, мы ограничимся лишь кратким изложением наиболее общих соображений относительно эффективности применения различных стратегий подавления в системе описываемого типа. В работе [5] было показано, что в системе описываемого типа использование «следающих» помех, имитирующих сигналы авторизованных пользователей, не приводит к значительному ухудшению качества связи даже в том случае, если мощность каждого из сигналов помехи больше, чем мощность сигналов, передаваемых каждым из авторизованных пользователей (при этом общая мощность сигнала помехи была во много раз больше, чем мощность сигналов, передаваемых каждым из авторизованных пользователей). Между тем использование «следающей» помехи (transponder jamming, follower jamming) является одним из наиболее эффективных методов подавления полезного сигнала, применяемых в настоящее время [6]. Другим популярным в настоящее время методом подавления является ретрансляция сигнала, переданного авторизованными пользователями с задержкой (repeater jamming). Эта стратегия рассматривается некоторыми авторами как разновидность «следающей» помехи [6]. Действительно, если выполняются определенные ограничения на задержки распространения, этот метод позволяет сравнительно просто реализовать «следающую» помеху (заметим, что в общем случае для этого необходимо анализировать спектр, в то время как в рассматриваемом случае противник лишь ретранслирует сигнал). Такая стратегия оказывается весьма эффективной, например, при подавлении сигналов в системе DS CDMA [7]. Эта стратегия с успехом может применяться и в системах, использующих ППРЧ с частотно-позиционной модуляцией, причем в некоторых случаях ограничения на задержки оказываются не такими жесткими (тогда уместнее говорить о воспроизведении перехваченных и записанных сигналов от авторизованных пользователей, и такая помеха уже не сводится к «следающей»). Например, в традиционной системе, использующей ППРЧ и частотно-позиционную модуляцию с пороговым приемом, воспроизведение ранее переданных сигналов приводит к тому, что в части поддиапазонов (а именно в тех из них, ко-



торые использовались при передаче в момент записи) будут переданы сигналы помехи и, следовательно, вероятность стирания символов, которые будут передаваться по этим поддиапазонам, будет очень большой, а значит, повысится и вероятность стирания в целом. Это, однако, не относится к рассматриваемой системе: так как диапазоны выделяются динамически, повторение ранее переданных сигналов будет равносильно передаче соответствующего числа сигналов в случайно выбранных подканалах. Заметим, что повторение ранее записанных сигналов, как и передача сигналов помехи на случайных позициях, фактически эквивалентно введению новых активных пользователей. Резюмируя сказанное, можно утверждать, что использование описанных выше методов приема и передачи существенно снижает эффективность методов ретрансляции сигнала как средства создания помех корректному приему.

Из вышесказанного видно, почему частотно-позиционная модуляция, динамическое выделение поддиапазонов и некогерентный пороговый прием играют столь существенную роль в описанной нами системе. Вместе с тем использование частотно-позиционной модуляции приводит к тому, что скорость передачи в системе описываемого типа невелика. Одним из возможных методов повышения скорости в системе такого типа является использование вложенной модуляции более высокого порядка (например, фазовой). При этом часть информации по-прежнему кодируется положением номера подканала, в котором ведется передача, в векторе номеров подканалов, а часть — при помощи вложенной модуляции выбранного типа. Следует отметить, что при таком подходе биты, которые соответствуют состояниям вложенной модуляции, существенно хуже защищены от подавления. Поэтому целесообразно исследовать методы, позволяющие повысить скорость передачи в системе описываемого типа без изменения типа модуляции. Одним из возможных подходов является выделение каждому из пользователей нескольких кодовых последовательностей (последнее позволяет каждому из пользователей передавать несколько потоков данных). Следует отметить, что общее число подканалов всегда много больше, чем число подканалов, которые выбираются генератором номеров рассматриваемого пользователя, поэтому общее число кодовых последовательностей описываемого типа очень велико (тривиальная верхняя оценка на это число равна  $C_m^q$ ). Даже если каждому из абонентов будет выделена группа кодовых последовательностей сравнительно большой мощности, число таких групп (т. е. число потенциальных абонентов, за каждым из которых может быть за-

креплена такая группа) окажется существенно превышающим потребности современных систем связи. В частности, для анализируемого ниже случая ( $Q = 4096$  и  $q = 4$ ) оценка сверху на число последовательностей дает число  $S \approx 10^{13}$ , на несколько порядков превышающее население Земли, и даже если каждому из абонентов будут выданы сотни таких последовательностей, количество потенциальных абонентов все же будет больше, чем численность жителей Земли. По этой причине последовательности, приписываемые каждому из пользователей, могут быть выбраны непересекающимися. Такой подход к выбору последовательностей представляется разумным, так как в противном случае существует ненулевая вероятность того, что некоторые подканалы будут выбраны для передачи различных потоков данных от одного пользователя. Это приведет к росту вероятности ошибки и стирания, который в свою очередь неизбежно приведет к снижению максимально возможной скорости надежной передачи данных. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать следующую модификацию вышеописанной модели СМД: будем полагать, что рассматриваемый пользователь одновременно передает  $z$   $q$ -ичных символов, используя для этого  $z$  векторов подканалов (длиной  $q$ ), выбираемых случайно (без повторения) из  $Q$  подканалов, причем каждый из  $z$  векторов используется для передачи одного символа, а передача происходит так, как было описано выше.

Поскольку векторы номеров подканалов, используемые одним пользователем, не пересекаются, такой способ передачи можно трактовать как выделение пользователю нескольких независимых каналов «вверх». Как и прежде, будем характеризовать каждый из таких каналов величиной максимально возможной скорости надежной передачи в соответствующем канале  $R_m(j, k)$  (где  $j = 1 : z$  — индекс, обозначающий номер потока данных,  $k$  — индекс, обозначающий номер активного пользователя). Каналы взаимно независимы, поэтому можно утверждать, что максимальная скорость, с которой рассматриваемый пользователь может вести передачу в такой системе, есть

$$R_m(k) = \sum_{j=1}^z R_m(j, k).$$

По аналогии с пропускной способностью канала на бит, можно определить максимальную скорость передачи на бит:

$$R_m^b(k) = \frac{R_m(k)}{z \log_2 q}.$$

Кроме того, определим суммарную скорость передачи в системе описанного типа. Так как все

пользователи передают информацию независимо и некоординированно, суммарная скорость равна сумме скоростей от каждого из пользователей:

$$R_m^t = \sum_{k=1}^K R_m(k).$$

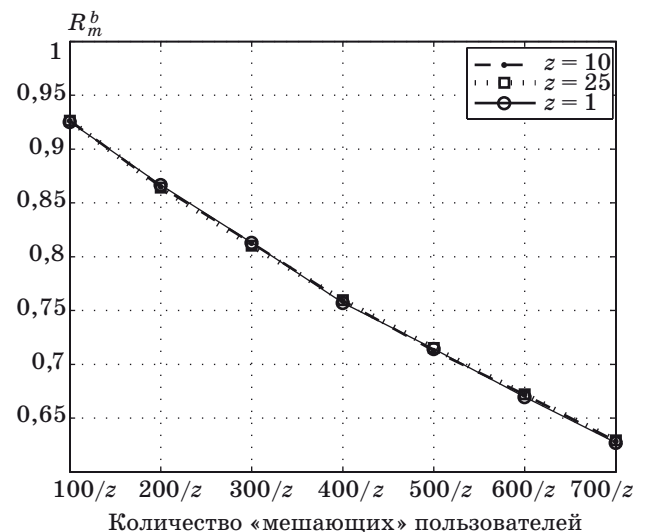
Для того чтобы проводимое нами сравнение было корректным, будем полагать, что число «мешающих» сигналов остается неизменным. Такое предположение дает возможность рассматривать различные ситуации, в которых одна группа пользователей имеет одну скорость, а другие группы — другую (с тем, однако, чтобы ограничение на число «мешающих» пользователей выполнялось). При большом числе «мешающих» сигналов число различных ситуаций, которые приходится рассматривать, оказывается весьма значительным, поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать предельную ситуацию, в которой все пользователи (включая и рассматриваемого) передают  $z$  различных потоков, а число «мешающих» пользователей меняется обратно пропорционально  $z$ . Можно предположить, что коль скоро число «мешающих» пользователей не меняется, вероятности ошибки и стирания, а следовательно, и максимальная скорость передачи не должны измениться значительно. Однако необходимо учитывать, что перераспределение ресурсов (числа одновременно выделяемых одному пользователю потоков) приводит к появлению новых ограничений. Так, раньше, говоря о «мешающих» сигналах, мы предполагали, что каждый из «мешающих» сигналов ассоциируется с одним из пользователей и, следовательно, в общем случае все сигналы асинхронны. Помимо этого, любой из сигналов может быть передан в любом из подканалов (даже в том, в котором уже передаются сигналы других пользователей; такую ситуацию мы будем называть «коллизией», а число пользователей, одновременно передающих в некотором подканале, — «кратностью коллизии»). В модифицированной модели для каждого сигнала, переданного по некоторому частотному подканалу, гарантированно найдется  $z - 1$  синхронизированных с ним по времени сигналов (так как эти сигналы излучаются одним пользователем). Кроме того, если подканал, в котором рассматриваемый пользователь передает сигнал, уже используется для передачи другим пользователем, то можно утверждать, что  $z - 1$  сигналов, передаваемых последним, не будут переданы в рассматриваемом подканале в силу особенностей вышеописанного метода передачи. Это обстоятельство, разумеется, влияет на характер распределения числа коллизий и их кратностей. Вопрос состоит лишь в том, насколько существенно влияние этих факторов на максимальную скорость передачи в рас-

сматриваемой системе. Ниже для ответа на этот вопрос мы воспользуемся имитационным моделированием.

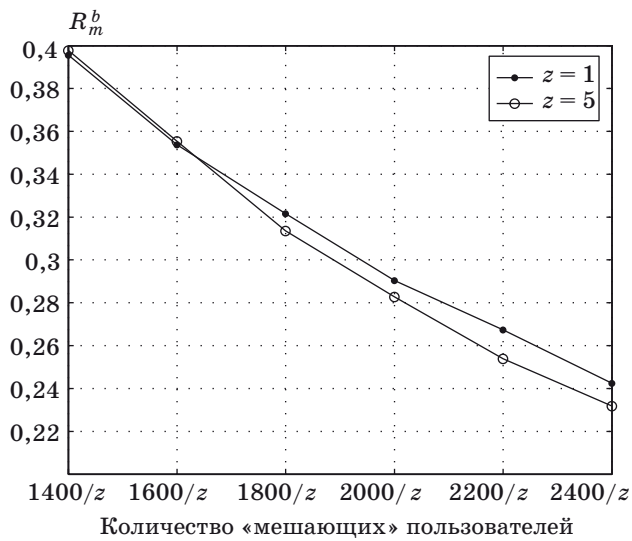
При моделировании такой системы будем использовать следующие параметры: общее число подканалов  $Q = 4096$ , число номеров подканалов в каждом векторе-элементе используемой кодовой последовательности  $q = 4$ , количество «мешающих» пользователей  $K$  меняется от  $100/z$  до  $700/z$  с шагом  $100/z$  (где  $z$  — по-прежнему число потоков данных, передаваемых одним пользователем),  $SNR = 10$  дБ. Нас будет интересовать максимальная скорость надежной передачи данных, которая достижима при тех или иных параметрах системы. Для того чтобы оценить ее, мы будем программно имитировать вышеописанную систему, оценивая по результатам испытаний значения вероятностей ошибки и стирания, вычисляя с использованием полученных оценок значения достижимой скорости передачи для различных значений параметров системы (в том числе величины порога) и выбирая из диапазона значений, вычисленных для различных величин порога, такие, которые максимизируют (при прочих равных) достижимую скорость надежной передачи.

На рис. 3 приведены графики зависимости  $R_m^b$  (в битах на OFDM символ) от числа «мешающих» пользователей для различного числа потоков.

Как видно из графика, кривые, соответствующие различному числу потоков, почти совпадают. Следует, однако, отметить, что использование сравнительно большого числа параллельных потоков может сказываться на величине максимальной скорости надежной передачи на бит пе-



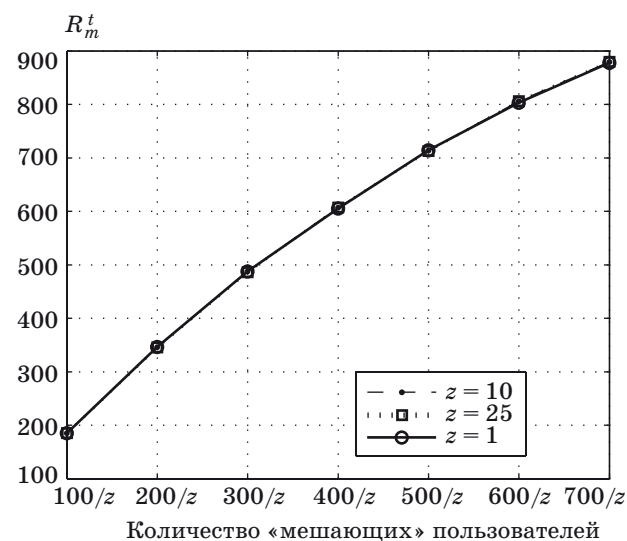
■ Рис. 3. Зависимость значений максимальной скорости надежной передачи на бит передаваемой информации от числа «мешающих» пользователей



■ Рис. 4. Пример изменения значений максимальной скорости надежной передачи на бит передаваемой информации при изменении числа потоков (при сравнительно большом числе «мешающих» пользователей)

редаваемой информации при относительно больших величинах  $K$  (рис. 4).

Как видно из рис. 4, различия в значениях  $R_m^b$  для разных  $z$  более существенны, чем различия между значениями, приведенными на рис. 3. Вместе с тем с практической точки зрения больший интерес представляет исследование предлагаемого метода при значениях  $K$ , для которых можно получить приемлемые значения максимальной скорости передачи. Поэтому в дальнейшем мы будем рассматривать диапазон значений  $K$ , который рассматривали выше:  $K = 100/z \dots 700/z$ .



■ Рис. 5. Зависимости суммарной скорости передачи от числа «мешающих» пользователей

На графике рис. 5 даны зависимости суммарной скорости передачи от числа «мешающих» пользователей для различного числа потоков  $z$ . Кривые практически совпадают, что позволяет сделать вывод, что использование нескольких потоков не снижает эффективности предлагаемого метода передачи (при условии, что число сигналов от мешающих пользователей остается тем же, а число активных пользователей лежит в диапазоне, представляющем интерес с практической точки зрения).

### Зависимость скорости надежной передачи данных от параметров СМД

Выше, говоря о скоростях передачи информации, доступных пользователю, передающему информацию в СМД, использующей псевдослучайное переключение частот в динамически выделяемом частотном диапазоне, мы полагали, что порог выбирается таким образом, чтобы максимизировать скорость, при которой еще возможна надежная передача информации. При этом величина порога зависела от таких величин, как число «мешающих» пользователей и SNR, и, следовательно, информация о значениях этих величин была необходима для правильного выбора порога. Предположим теперь, что величина порога фиксирована. Использование фиксированного порога не требует знания указанных параметров и позволяет не подстраивать порог адаптивно. Вместе с тем использование величины порога, отличной от оптимального значения, приводит к уменьшению достижимой скорости надежной передачи. Для того чтобы охарактеризовать величину этих потерь, будем изменять порог на некоторую фиксированную величину (в данном случае  $\Delta = 0,05P$ , где  $P$  — мощность сигнала на приемном конце) и станем оценивать отношение величины достижимой (при данной величине порога и фиксированном количестве «мешающих» пользователей) скорости надежной передачи  $R$  к величине максимальной скорости надежной передачи  $R_m$ . Следует отметить, что под значением «величины максимальной скорости надежной передачи» здесь подразумевается наибольшее из вычисленных нами значений достижимой скорости надежной передачи при данном количестве «мешающих» пользователей и различных значениях величины «порога» (т. е. величина  $\Delta$  предопределяет требования к точности оптимизации). Соответственно оптимальность вычисленных значений является, в известной степени, условной. Впрочем, такой подход к определению оптимальной величины вполне согласуется с тем, который используется в реальных системах, так как на практике оптимальные значения должны быть

вычислены заранее (с фиксированной точностью) и храниться в виде таблицы, по которой БС выбирает оптимальную для текущих параметров величину. В таблице приведены значения отношения  $R/R_m$  для различного количества «мешающих» пользователей и различных значений величины порога (при различных значениях SNR). Для наглядности были выбраны те значения величины порога, которые обеспечивают значения отношения  $R/R_m$ , близкие к 1.

Оценивая результаты моделирования, приведенные в таблице, можно отметить, что при всех проанализированных значениях SNR при сравнительно малых и больших величинах числа «мешающих» пользователей значения отношения  $R/R_m$ , близкие к 1, обеспечивают значения величины порога в диапазоне  $0,5P \div 0,55P$  и  $0,45P \div 0,5P$  соответственно.

Вместе с тем все полученные значения величины  $R_m$  для различных значений величины порога весьма близки. В частности, для анализируемых значений числа «мешающих» пользователей наименьшее значение отношения  $R/R_m$  (т. е. значение, соответствующее наибольшим потерям) равно 0,957, что соответствует потере 4,3 % от максимальной (для соответствующих значений числа «мешающих» пользователей, величины порога и SNR) величины. Таким образом, если величина порога фиксирована и находится в интервале  $0,45P - 0,55P$ , значения максимально возможной скорости надежной передачи при таком выборе порога незначительно отличаются от тех, которые обеспечивают оптимальный выбор порога в достаточно широком диапазоне значений количества «мешающих» пользователей (и, соответственно, числа «мешающих» сигналов). Это

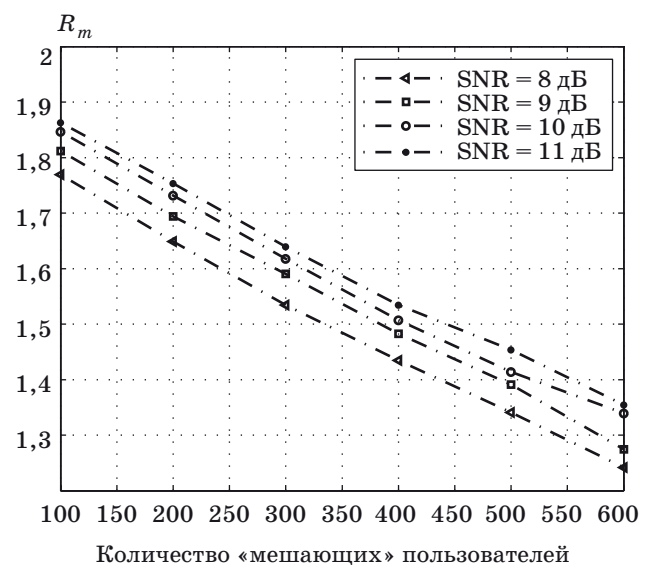
■ Значения отношения  $R/R_m$  в зависимости от количества «мешающих» пользователей и значения величины порога

TR	Количество «мешающих» пользователей					
	100	200	300	400	500	600
SNR = 9 дБ						
0,45P	0,9819	0,9725	1,0000	0,9964	1,0000	1,0000
0,5P	0,9751	1,0000	0,9969	1,0000	0,9961	0,9929
0,55P	1,0000	0,9773	0,9886	0,9832	0,9700	0,9642
SNR = 10 дБ						
0,45P	0,9570	0,9778	0,9840	0,9979	1,0000	1,0000
0,5P	1,0000	0,9924	1,0000	1,0000	0,9938	0,9904
0,55P	0,9935	1,0000	0,9962	0,9864	0,9865	0,9726
SNR = 11 дБ						
0,45P	0,9810	0,9858	0,9899	1,0000	1,0000	0,9982
0,5P	0,9735	0,9835	1,0000	0,9955	0,9967	0,9946
0,55P	0,9931	1,0000	0,9990	0,9927	0,9862	0,9865

в частности означает, что фиксированный порог может использоваться даже в том случае, когда число «мешающих» сигналов меняется значительно (например, вследствие большой мобильности активных пользователей или использования активными пользователями метода повышения скорости передачи, описанного выше). Кроме того, полученный результат свидетельствует о том, что даже если система использует адаптивную подстройку порога, нет необходимости вычислять оптимальные величины порога с высокой точностью.

Выберем теперь фиксированную величину порога и сравним значения максимально возможной скорости надежной передачи для различных значений SNR (рис. 6).

Анализируя полученные зависимости, можно отметить, что даже при уровне фонового шума, равном 8 дБ, значения, соответствующие величине порога  $0,45P$ , отличаются от тех, которые соответствуют SNR = 11 дБ, не более чем на 0,13 бит на OFDM кадр. Для SNR, отличающихся менее чем на 3 дБ, различие оказывается еще менее существенным. Это позволяет сделать вывод, что при использовании фиксированного порога изменение величины SNR на 1–2 дБ не приводит к существенному изменению характеристик системы, что весьма важно с точки зрения использования описанных методов приема и передачи в реальных системах, так как механизмы контроля мощности, используемые в реальных системах, субоптимальны, и потому мощность принятого сигнала (а значит, и величина SNR) может меняться.



■ Рис. 6. Зависимость скорости передачи от числа «мешающих» пользователей при различных значениях SNR (для фиксированной величины порога  $TR = 0,45P$ )

**Заключение**

Суммируя полученные в работе результаты, можно отметить, что при сравнительно небольшом числе пользователей использование предложенного метода повышения скорости передачи данных практически не приводит к снижению эффективности передачи, о чем свидетельствует близость значений максимальной скорости на-

дежной передачи на бит передаваемой информации для различных значений числа потоков. Результаты моделирования указывают также на небольшие потери при использовании фиксированного порога в СМД, построенной в соответствии с вышеописанными принципами, из чего можно сделать вывод, что с практической точки зрения такое решение представляется вполне оправданным.

**Литература**

1. **Зяблов В., Осипов Д.** Об оптимальном выборе порога в системе множественного доступа, основанной на перестроении ортогональных частот // Проблемы передачи информации. 2008. Т. 44. № 2. С. 23–31.
2. **Грошев Ф., Осипов Д.** Исследование пропускной способности системы множественного доступа с пороговым приемом // Информационные технологии и системы: 32-я конф. молодых ученых и специалистов, Бекасово, Россия, 15–18 декабря 2009 г. / ИППИ РАН. М., 2009. С. 152–155.
3. **Verdu S., Weissman T.** The Information Lost in Erasures // IEEE Transactions On Information Theory. Nov. 2008. Vol. 54. N 11. P. 5030–5058.
4. **Галлагер Р.** Теория информации и надежная связь. — М.: Сов. радио, 1974. — 738 с.
5. **Осипов Д. С.** Система множественного доступа, использующая некогерентный пороговый прием, частотно-позиционное кодирование и динамически выделяемый диапазон частот, в условиях подавления полезного сигнала // Информационно-управляющие системы. 2010. № 6 (49). С. 28–32.
6. **Poisel R.** Modern Communications Jamming Principles and Techniques. 2<sup>nd</sup> ed. — Norwood: ARTECH HOUSE, 2011. — 870 p.
7. **Wang H., Guo J., Wang Z.** Evaluation of Security for DSSS Under Repeater Jamming // Proc. of ICC'2007, Glasgow, Scotland, June 24–28, 2007. P. 5525–5530.

**ПАМЯТКА ДЛЯ АВТОРОВ**

*Поступающие в редакцию статьи проходят обязательное рецензирование.*

При наличии положительной рецензии статья рассматривается редакционной коллегией. Принятая в печать статья направляется автору для согласования редакторских правок. После согласования автор представляет в редакцию окончательный вариант текста статьи.

Процедуры согласования текста статьи могут осуществляться как непосредственно в редакции, так и по e-mail (80x@mail.ru).

При отклонении статьи редакция представляет автору мотивированное заключение и рецензию, при необходимости доработать статью — рецензию. Рукописи не возвращаются.

*Редакция журнала напоминает, что ответственность за достоверность и точность рекламных материалов несут рекламодатели.*

УДК 004.03

# ИДЕНТИФИКАЦИЯ СМАРТ-КАРТ НА ОСНОВЕ ОДНОСТОРОННИХ ПРЕОБРАЗОВАНИЙ

**Д. А. Крюков<sup>1</sup>,**  
аспирант

Московский государственный институт радиотехники, электроники и автоматики

Рассматривается подход к построению системы идентификации для устройств с ограниченными ресурсами и памятью, таких как смарт-карты, брелоки, устройства RFID и т. п. Стойкость протокола основывается на стойкости используемых криптопримитивов, а также на предполагаемой возможности стойкого объединения логики при проектировании схем устройства терминала.

**Ключевые слова** — смарт-карты, RFID, симметричные алгоритмы, системы идентификации.

## Введение

Стандартным и широко распространенным способом реализации процедуры идентификации являются так называемые парольные системы [1, 2], в которых каждому участнику системы соответствует пара (имя, пароль). Для прохождения идентификации пользователь должен назвать себя (сообщить имя) и назвать правильный пароль, соответствующий этому имени. Очевидный недостаток данной системы состоит в том, что для прохождения идентификации терминал должен знать все секретные пароли всех пользователей. Таким образом, требуется построение системы, в которой терминал способен проверить наличие у пользователя, выдающего себя за  $U$ , секрета  $S_U$ , не зная этого секрета.

В работе [3] Шамир предложил идею использования в качестве открытого ключа  $P_U$  пользователя  $U$  непосредственно данных об идентичности этого пользователя (или значения, напрямую вычисляемого из этих данных). Помимо удобства, достоинством этого подхода является то, что решается проблема аутентичности открытого ключа. Такой подход получил название «основанного на идентичности» (ID-based) или «личностного». Стоит отметить, что личностная криптография особенно удобна в задаче идентификации, так как в любом протоколе идентификации

пользователь вначале должен сообщить терминалу, «за кого он себя выдает»; в личностной криптографии это позволяет одновременно передать открытый ключ.

Автор построил систему личностной идентификации, которая может быть использована на смарт-картах как устройствах с ограниченными ресурсами.

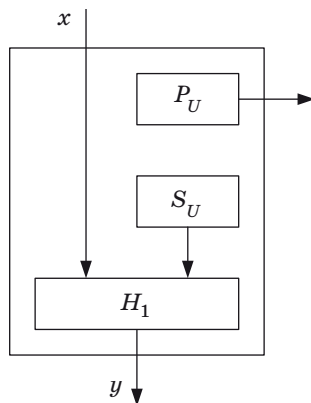
## Схема идентификации, основанная на изолировании запроса

Рассмотрим подход к организации идентификации между картой и терминалом, основанный на так называемом изолировании запроса.

Предположим, что мы рассматриваем карту, принадлежащую пользователю  $U$ . В дальнейшем не будем различать пользователя и его карту и будем называть карту «картой  $U$ ». Предположим далее, что мы рассматриваем личностную криптографию, и открытый ключ пользователя получается из данных об идентичности данного пользователя. Будем считать в связи с этим, что  $P_U = U$ .

Секретный ключ  $S_U$  вычисляется авторизованным центром с помощью секретного преобразования  $E$ . Фактически это означает, что при вычислении  $E$  используется дополнительный секретный аргумент. Будем считать, что авторизованный центр  $A$  вычисляет секретный ключ пользователя  $U$  как  $S_U = E_{S_A}(U)$ , где  $S_A$  — секретный ключ центра  $A$ . Структура карты изображена на рис. 1. Здесь  $H_1$  — (несекретное) одностороннее преобразование. Карта способна со-

<sup>1</sup> Научный руководитель — кандидат технических наук, доцент кафедры корпоративных информационных систем Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики *Е. Г. Андрианова*.

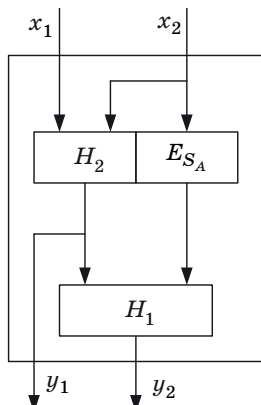


■ Рис. 1. Структура карты  $U$

общать свой открытый ключ  $P_U$ , а также вычислять функцию  $y = H_1(x, S_U)$  для некоторого входа  $x$ . Отметим, что сама архитектура карты, представленная на рис. 1, не является новой — например, она используется в микрочипах ST1335 и SLE4436 карт оплаты телефонии T2G.

Функциональная структура терминала изображена на рис. 2. Важнейшим условием предлагаемой системы является то, что устройство, реализующее данную функциональность и предоставляемое авторизованным центром всем терминалам, является для них «черным ящиком». Оно принимает на вход два аргумента  $x_1$  и  $x_2$  и вычисляет  $y_1$  и  $y_2$ , но не может быть (за приемлемое время) разложено на составляющие  $H_1$ ,  $H_2$  и  $E_{S_A}$  или эквивалентные им. На практике это может быть осуществлено на уровне логики интегральной схемы. Таким образом, на рис. 2 показана именно функциональность блока на стороне терминала, а не действительная архитектура.

Блоки  $H_1$  и  $H_2$  — открытые, но односторонние преобразования, а  $E_{S_A}$  — секретное преобразование авторизованного центра (см. рис. 2). Вследствие предполагаемой невозможности обратного инжиниринга преобразование  $E_{S_A}$ , а также все



■ Рис. 2. Структура терминала

промежуточные значения «внутри» изображенного блока остаются недоступными извне. При этом само устройство, как некоторое отображение из двух входов в два выхода, может рассматриваться как общедоступное и служить аналогом открытого ключа авторизованного центра  $A$ .

Теперь рассмотрим осуществление протокола идентификации между картой и терминалом.

1. На первом шаге протокола карта называет себя и таким образом передает терминалу свой открытый ключ  $U = P_U$ .

2. Терминал подает на вход своего устройства  $x_1 = R$  и  $x_2 = P_U$ , где  $R$  — случайное число, получая на выходе  $y_1$  и  $y_2$ . Значение  $y_1$  передается карте.

3. Карта подает на вход своего устройства полученное значение  $x = y_1$  и вычисляет соответствующий  $y$ , который передает терминалу.

4. Терминал проверяет  $y_2 = y$  и в случае равенства считает идентификацию успешной. В противном случае идентичность карты отвергается.

Рассмотрим описанный протокол более подробно. Фактически, он представляет собой протокол типа «клик-отзыв» [1, 2], в котором терминал задает вопрос (случайное число), а карта должна правильно на него ответить, используя свой секретный ключ. Терминал при этом должен иметь возможность проверить правильность ответа карты.

В данном случае в качестве критерия правильности служит выработка картой и терминалом общего значения. Однако в качестве клика используется не само случайное число, а его образ, вычисляемый с помощью односторонней функции  $H_2$ . Мотивация этого будет приведена ниже. Легко видеть, что значение, вычисляемое картой, представляет собой

$$y = H_1(y_2, S_U),$$

а значение, вычисляемое терминалом:

$$y_2 = H_1(H_2(R), E_{S_A}(U)) = H_1(y_1, S_U) = y.$$

Таким образом, при правильном функционировании и обладании картой знанием  $S_U$ , должно выполняться  $y_2 = y$ , что и проверяет терминал.

Отметим, что основными «строительными блоками» схем карты и терминала на рис. 1 и 2 являются секретная односторонняя функция  $E_{S_A}$  и две открытые односторонние функции  $H_1$  и  $H_2$  (при этом нет необходимости специально публиковать  $H_1$  и  $H_2$ ). Можно заметить, что требования односторонности функций  $H_1$  и  $H_2$  удовлетворяются использованием (бесключевых) криптографических хэш-функций, а требование секретной односторонней функции может быть

реализовано с помощью симметричного блочного шифра или ключевой хэш-функции (например, кода аутентификации сообщения MAC) [1, 2].

### Анализ протокола

Рассмотрим различные свойства полученного протокола.

*Личностная идентификация.* По построению данный протокол является основанным на идентичности пользователя, что являлось желаемым свойством, сформулированным выше.

*Быстрая и компактная реализация.* Протокол использует эффективно реализуемые криптопримитивы: хэш-функции и симметричный блочный шифр, — что дает значительный выигрыш по ресурсоемкости в сравнении с теоретико-числовыми протоколами идентификации. Для многих практических систем этот выигрыш может достигать тысяч раз.

*Требуемый трафик.* Терминал пересылает карте значение  $y_1$ , являющееся выходом  $H_2$ . Карта пересылает терминалу идентичность  $U$  и значение  $y$ , являющееся выходом  $H_1$ . Если предположить, что в качестве однонаправленных функций используются хэш-функции ГОСТ Р 34.11–94 с 256-битными выходами, то терминал передает карте 256 бит, и карта передает 256 бит плюс размер  $U$ . Если считать, что размер  $U$  не превышает 256–512 бит, получаем общий трафик не более 1024 бит. Это соответствует всего лишь среднему размеру одного числа в теоретико-числовом протоколе идентификации (например, Фиата–Шамира [1, 4]), при этом в протоколе количество подобных передаваемых чисел оценивается примерно как  $2t$ , где  $t$  — количество раундов, обычно выбираемое порядка нескольких десятков.

*Универсальность карты.* Представленная на рис. 1 карта является универсальной в том смысле, что при смене пользователя или даже алгоритма преобразования  $E$  авторизованного центра нет необходимости проектировать новую карту — достаточно перезаписать хранимые в ней значения  $U$  и  $S_U$  (конечно, аппаратное обеспечение терминала при этом все же придется проектировать заново).

*Стойкость.* Сначала рассмотрим необходимость использования одностороннего преобразования  $H_2$ . В самом деле, в его отсутствие можно было бы описать схожий протокол следующим образом.

1. Карта называет себя и передает терминалу свой открытый ключ  $U = P_U$ .

2. Терминал отправляет карте случайное число  $R$ , одновременно вычисляя при этом  $y_2 = H_1(R, E_{S_A}(U))$ .

3. Карта подает на вход своего устройства полученное значение  $x = R$  и вычисляет соответствующий  $y$ , который передает терминалу.

4. Терминал проверяет  $y_2 = y$  и в случае равенства считает идентификацию успешной. В противном случае идентичность карты отвергается.

Легко видеть, что описанный протокол также «работает» с точки зрения легальных пользователей в том смысле, что если все участники честны, то действительно выполняется  $y = y_2$ .

Однако вспомним, что мы считали устройство терминала доступным всем участникам как своеобразный открытый ключ авторизованного центра  $A$ . В этом случае ничто не мешает злоумышленнику, не обладающему картой  $U$ , но желающему себя выдать за  $U$ , воспользоваться точно таким же устройством, что и у терминала, подать на его вход известные ему  $R$  и  $U$  и вычислить то же самое  $y_2$ , что и значение, полученное терминалом. Для предотвращения такой атаки случайный оклик терминала закрывается с помощью односторонней функции.

Стойкость данной системы основывается на стойкости используемых функций хэширования (необходима устойчивость к вычислению второго прообраза [3]) и шифрования.

### Заключение

В статье рассмотрена схема идентификации, использующая в качестве базовых блоков эффективно реализуемые и не требовательные к ресурсам симметричные алгоритмы, применяемая в устройствах с ограниченными ресурсами, в которых затруднено использование традиционной теоретико-числовой криптографии с открытым ключом.

### Литература

1. Шнайер Б. Прикладная криптография. Протоколы, алгоритмы, исходные тексты на языке Си. — М.: Триумф, 2002. — 816 с.
2. Menezes A. J., van Oorschot P. C., Vanstone S. A. Handbook of Applied Cryptography. — CRC Press, 1996. — 780 p.
3. Shamir A. Identity-Based Cryptosystems and Signature Schemes. Advances in Cryptology // Advances in Cryptology — CRYPTO 84: Lecture Notes in Computer Science. 1984. Vol. 196. N 7. P. 47–53.
4. Fiat A., Shamir A. How to Prove Yourself: Practical Solutions to Identification and Signature Problems // Advances in Cryptology — CRYPTO 86: Lecture Notes in Computer Science. 1987. Vol. 263. P. 186–194.



УДК 629.7.072.4

## ВИДЕООКУЛОГРАФИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ЗРИТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ ПИЛОТА

**И. Б. Кузнецов,**

канд. техн. наук

Учебно-тренировочный центр, г. Санкт-Петербург

*Приводятся методика и результаты экспериментального исследования зрительной деятельности пилота, обосновывается необходимость обучения и предлагается использование специального оборудования для подготовки пилотов на комплексных и пилотажных тренажерах.*

**Ключевые слова** — авиационный тренажер, распределение, переключение зрительного внимания, пилотажные параметры, система отображения информации.

### Введение

Условия эксплуатации современных воздушных судов (ВС) предъявляют к пилотам высокие профессиональные и психофизиологические требования, соответствие которым является одним из важнейших факторов, влияющих на надежность и безопасность функционирования эргатической авиационной системы (ЭАС) «пилот — ВС — среда». В указанной системе наиболее динамично развивающимися и разработанными остаются технические составляющие. Сравнительно меньшее внимание уделяется пилоту (экипажу), его свойствам и качествам, необходимым для повышения надежности функционирования ЭАС. Повышение эффективности и надежности функционирования ЭАС за счет возможно более полного учета человеческого фактора на всех стадиях проектирования и эксплуатации бортовых систем и наземного оборудования остается одной из актуальных проблем современной авиации.

Анализ статистики безопасности полетов ВС гражданской авиации продолжает показывать значительное количество авиационных происшествий и катастроф, связанных с ошибочной деятельностью летного экипажа [1]. Обобщение результатов анализа аварийных полетов позволяет сделать вывод о том, что основной причиной катастроф в большинстве случаев является потеря экипажами пространственной ориентировки (spatial disorientation). Поэтому умение правильно распределять и переключать зрительное внимание (РПЗВ) на приборы необходимо для обеспечения безопасности в случае возникновения ава-

рийных ситуаций на борту ВС. Следовательно, ни внедрение новых систем навигации и посадки, ни автоматизация управления самолетом, ни оборудование ВС современными интегральными приборами с самой совершенной индикацией не снизили требования к умению летчика своевременно получать необходимую информацию в ожидаемых условиях эксплуатации при усложнении условий полета или отказе авиационной техники.

### Краткий анализ зрительной деятельности пилота

Известно, что 90 % всей информации, необходимой экипажу для выполнения своих профессиональных обязанностей, воспринимается через глаза [2]. При этом непрерывно используемая пилотом в полете индикация пилотажных параметров (ПП) сосредоточена на приборах, дающих информацию о траектории движения ВС и состоянии работы двигателей. Возможное частичное или полное изменение этой информации, вызванное возмущениями в полете или отказами техники, требует постоянного зрительного контроля этих параметров, соотнесения их с заданными и предельно возможными.

Проведенные автором исследования в Учебно-тренировочном центре г. Санкт-Петербурга подтверждают, что проблема правильного распределения зрительного внимания есть как у начинающих, так и у опытных пилотов, имеющих тысячи летных часов [3]. Крайне остро необученность РПЗВ проявляется в условиях минимизации со-

става экипажа (двухчленный экипаж), компьютеризации и автоматизации процесса управления, придающих зрительной деятельности особую важность в условиях возможных отказов техники. Экспериментальные полеты на авиационном тренажере КТС Ту-204 показали, что для удержания самолета на заданной траектории в режиме директорного захода на посадку частота переноса взгляда пилота от одного контролируемого параметра к другому составляет 130–150 переносов взгляда в минуту. В таких условиях предельной зрительной загрузки пилота необходимо выделить основные характеристики распределения зрительного внимания, влияющие на надежность процесса контроля и управления ВС.

При полете по приборам пилоты справедливо отмечают, что большое количество индицируемой информации на панели современного самолета вынуждает часто переключать внимание с одного ПП на другой и, следовательно, прерывать зрительное восприятие. Однако проведенный экспертный опрос членов экипажей показал, что никто из них не может сформулировать правила и назвать оптимальную схему переключения внимания, используемую ими в полете [3].

### Экспериментальное исследование РПЗВ при пилотировании по приборам

Исследования зрительной деятельности пилота в процессе пилотирования ВС по приборам с первых же шагов сталкиваются со значительными трудностями, обусловленными, на первый взгляд, кажущимся случайным характером РПЗВ пилота между различными приборами, высокой вариабельностью зрительных действий пилота, его индивидуальными особенностями и отсутствием непосредственной, детерминированной связи между отдельными проявлениями этой деятельности, выступающими как фиксации взгляда на приборах или на внекабинном пространстве, их результатами или следствиями в виде управляющих действий пилота. На протяжении всего полета пилот непрерывно получает через зрительный канал информацию о пространственном положении ВС, его динамике и работе бортовых систем, однако в каждый конкретный момент полета характер и количество получаемой им информации неизвестны. Более того, принимая во внимание чрезвычайно сложные механизмы получения, переработки и хранения информации пилотом, представляется принципиально невозможным определить характер требуемой пилоту в данный момент полета информации и установить требуемую полетной ситуацией в рассматриваемый момент времени зрительную деятельность пилота.

Особенно важна роль экспериментальных исследований при оценке временных характеристик зрительной деятельности пилота в процессе его взаимодействия с приборной информацией, поскольку от точности фиксаций временных интервалов обращений к приборам, точности идентификации места, к которому направлен взгляд, во многом зависят результаты исследований и выводы по качеству взаимодействия с системой отображения информации (СОИ).

Целью экспериментальных полетов на КТС Ту-204 ставилось получение фактических результатов по маршрутам и временным параметрам РПЗВ пилотом при пилотировании ВС с электронной индикацией СОИ при заходе на посадку в основных (наиболее часто встречающихся) режимах и условиях пилотирования, а также при выполнении аварийного снижения с эшелона и выполнении виражей с максимальными кренами на крейсерских скоростях. Инструментальное исследование и регистрация зрительной деятельности пилота по РПЗВ и запись точки фиксации взгляда (ТФВ) выполнялись на основе метода видеоокулографии с применением прибора NAC Eye Mark Recorder (EMR) [3]. В ходе выполнения экспериментальных полетов данный прибор позволял свободно двигаться голове пилота, определять и записывать визуальную метку движения глаза путем фокусировки освещенной метки, отраженной от глазного яблока. При этом метка накладывалась и записывалась на магнитный носитель вместе с полем зрения пилота — СОИ ВС Ту-204. Прибор размещался в пилотской кабине за спиной командира ВС на штатном месте дополнительного члена экипажа (рис. 1, а, б).

Пример получаемой информации о РПЗВ с помощью прибора NAC EMR в виде метки ТФВ — направления взгляда пилота на фоне электронной СОИ — показан на рис. 2. Дополнительно, в целях синхронизации записей полетов и их расшифровки, проводилась съемка штатной цифровой видеокамерой динамических изменений параметров СОИ.

С помощью специального программного обеспечения выполнялась синхронизация информации о РПЗВ и показаний СОИ. Пример синхронизации информации при заходе на посадку по резервным приборам показан на рис. 3.

Полученные с помощью прибора NAC EMR записи преобразовывались специальным программным обеспечением в стандартные файлы .avi для возможности дальнейшей работы с ними стандартными программами Word. Программа VirtualDub позволила с точностью до 0,04 с произвести расшифровку маршрутов РПЗВ с фиксацией полетного параметра и времени нахождения на нем взгляда (ТФВ) пилотирующего пило-



■ **Рис. 1.** Общий вид прибора NAC EMR: *а* — размещение в кабине ВС Ту-204; *б* — размещение на голове пилота: 1 — оптическая система метки глаза; 2 — записывающий адаптер (специальная видеокамера); 3 — ПЭВМ со специальным программным обеспечением



■ **Рис. 2.** Изображение записи метки, фиксирующей взгляд пилота



■ **Рис. 3.** Синхронизация СОИ и метки ТФВ пилота

та. При расшифровке объективно накладывалось ограничение, при котором принималась во внимание только физическая (внешняя) дискретность поступления информации о ПП и не учитывалось доминантное состояние психики, при котором пилот смотрит на ПП и не воспринимает его параметры. Пример расшифровки маршрутов РПЗВ пилота показан в табл. 1.

Зафиксированные экспериментальные данные содержат информацию о маршрутах РПЗВ и времени нахождения взгляда пилота на ПП, соответствующих основным режимам захода на посадку современных ВС с электронными СОИ, а также при пилотировании по электромеханическим СОИ при заходе на посадку по резервным приборам. Полученные результаты могут быть

■ **Таблица 1.** Пример отображения расшифрованных экспериментальных результатов

№ пп.	Параметр	Маршрут и время на параметре, с							
1	$V_{\text{прибор}}$		0,24			0,36			
2	$V_{\text{вертикаль}}$								
3	Директорные стрелки	1,48		1,36			0,92		2,32
4	$H$ (высота)								0,32
5	Стрелки курса глиссальной системы						0,76		
6	Крен								
7	Вне ПП								
8	Курс								
9	Угол атаки				0,6				

использованы для систематизации, обобщения и анализа в целях подтверждения и уточнения соответствия теоретических закономерностей и общих принципов РПЗВ пилотом в процессе летной эксплуатации современных ВС [4, 5].

### Обработка и обобщение экспериментальных исследований РПЗВ пилота

Обработку экспериментально полученных результатов можно производить по следующим направлениям.

1. Расчет среднего времени нахождения взгляда пилотирующего пилота (ТФВ) на ПП в зависимости от режима и этапа захода на посадку:

$$T_{\text{ТФВ}}^{\text{ср}} = \frac{T_{\text{полета}}^{\Sigma}}{N_{\text{ТФВ}}^{\Sigma}},$$

где  $T_{\text{полета}}^{\Sigma}$  — суммарное время полета;  $N_{\text{ТФВ}}^{\Sigma}$  — общее количество переносов ТФВ за полет.

2. Расчет относительного времени к общему времени нахождения взгляда пилота на ПП в зависимости от этапа полета:

$$T_{\text{ТФВ}}^{\%} = \frac{T_{\text{ПП}}^{\Sigma} \times 100}{T_{\text{этапа}}^{\Sigma}},$$

где  $T_{\text{ПП}}^{\Sigma}$  — суммарное время нахождения ТФВ на ПП;  $T_{\text{этапа}}^{\Sigma}$  — время полета на этапе захода на посадку.

3. Расчет интервалов между фиксацией взгляда на ПП:

$$\Delta_{\tau} = \frac{\Sigma(\Delta_{\tau 1} + \dots + \Delta_{\tau i})}{N_{\text{инт}}},$$

где  $N_{\text{инт}}$  — общее количество интервалов между конкретным ПП.

■ **Таблица 2.** Заход на посадку в автоматическом режиме / по резервным приборам

Вид маршрута РПЗВ	Удельный вес маршрута по полетам, %					
	Пилот 1	Пилот 2	Пилот 3	Пилот 4	Пилот 5	Пилот 6
Одномаршрутный	53,2	48,9	28,6	42,9	41,8	33,3
	Нет	76,0	56,9	48,5	16,1	53,5
Двухмаршрутный	29,8	27,2	25	28,6	26,6	12,1
	Нет	14,6	8,6	12,1	Нет	20,2
Трехмаршрутный	12,8	14,1	26,8	12,2	15,2	12,1
	Нет	5,2	5,2	12,1	22,6	13,1
Четырехмаршрутный	0,7	3,3	5,4	4,1	3,8	15,2
	Нет	3,1	10,3	4,6	9,7	4,1
Более четырех	3,5	6,5	14,2	12,2	12,6	27,3
	Нет	1,1	19	22,7	51,6	9,1

4. Расчет маршрутов РПЗВ пилотирующего пилота в различных режимах пилотирования; классификацию маршрутов целесообразно выполнять по количеству ПП в цикле.

Примеры полученных результатов подсчетов маршрутов РПЗВ пилотом при заходе в автоматическом режиме и при пилотировании по резервным приборам представлены в табл. 2.

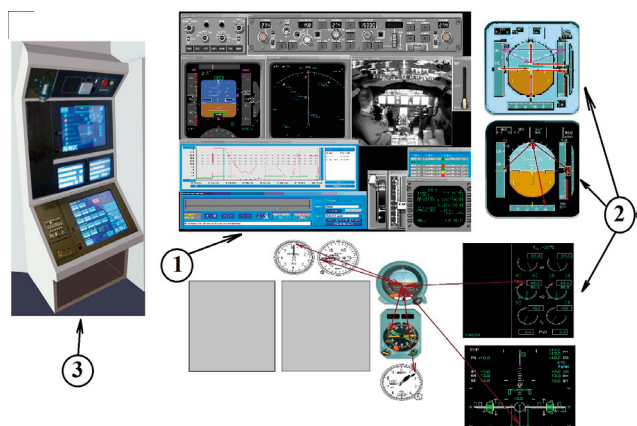
Анализ зафиксированных средствами объективного контроля КТС Ту-204 параметров пролета контрольных точек схемы захода на посадку показал, что пилоты 3, 4 и 5 допустили условное авиационное происшествие при заходе на посадку по резервным приборам и практически не справились с пилотированием в созданных условиях. Причина условных происшествий заключается в том, что у данных пилотов присутствуют маршруты РПЗВ с четырьмя и более (в ряде случаев до восемнадцати) ПП в одном цикле, что и привело к потере контроля за положением ВС при пилотировании по приборам.

### Заключение

На этапе развития авиации подготовка пилотов к правильному распределению зрительного внимания в процессе управления ВС сводилась к соблюдению простейшего правила: «...капот-горизонт-капот...». Но на современных самолетах уже нет капотов, не всегда наблюдается горизонт, и управлять ВС приходится по приборам, что, несомненно, требует нахождения новых правил и технических средств обучения. Поэтому на данном уровне изученности процесса взаимодействия пилота с приборной информацией наиболее правомерным и перспективным направлением разработки новых методов подготовки экипажей является поиск общих принципов организации зрительной деятельности пилота, исключающей непреднамеренный выход за пределы эксплуатационных ограничений.

Проведенные исследования показали, что количество ПП в цикле РПЗВ пилотирующего пилота является скрытым параметром техники пилотирования (летного мастерства), который явно не виден, не фиксируется средствами объективного контроля ВС, отсутствует в нормативах (критериях) техники пилотирования и субъективно не оценивается контролирующим пилотом в процессе тренировки и проверки экипажа ВС. Данный параметр оказывает доминирующее влияние на точность пилотирования на наиболее напряженных этапах и в усложненных условиях летной эксплуатации ВС, является в большинстве случаев основной причиной авиационных происшествий.

Предлагается при разработке новых комплексных и пилотажных тренажеров оснащать их ста-



■ **Рис. 4.** Информация на пульте инструктора тренажера с возможными вариантами графического изображения маршрутов РПЗВ пилотирующего пилота: 1 — индикация записи параметров тренировочного полета; 2 — возможные варианты графического изображения маршрутов РПЗВ пилота; 3 — общий вид пульта инструктора внутри кабины тренажера

ционарными системами записи на основе использования стационарных систем видеоокулографии с возможностью оперативной расшифровки маршрутов РПЗВ пилотирующего пилота и индикацией обработанной информации на дисплей инструктора. Пример возможных вариантов вывода графической информации о маршрутах РПЗВ пилотирующего пилота представлен на рис. 4.

Таким образом, основываясь на сформулированных ранее принципах оптимального распре-

деления зрительного внимания пилота при пилотировании по приборам [4, 5], используя оперативную информацию о фактических маршрутах РПЗВ, полученную с применением встроенного в приборную доску тренажера стационарного оборудования видеоокулографии, инструктор тренажера может выполнить объективный анализ и внести корректирующие воздействия в тренировочный процесс обучаемого пилота.

### Литература

1. **Анализ** состояния безопасности полетов в гражданской авиации РФ в 2010 году / Федеральное агентство воздушного транспорта (Росавиация). — М., 2011. — 70 с.
2. **Боднер В. А.** Оператор и летательный аппарат. — М.: Машиностроение, 1976. — 222 с.
3. **Кузнецов И. Б.** Экспериментальные исследования зрительной деятельности пилота при пилотировании ВС с электронной системой отображения информации // Науч. вестник МГТУ ГА. 2011. № 172(10). С. 120–126.
4. **Кузнецов И. Б., Столяров Н. А.** Формирование основных закономерностей взаимодействия пилота с приборным оборудованием // Полет. 2011. № 7. С. 22–26.
5. **Кузнецов И. Б.** Закономерности распределения внимания пилота, определяемые аэродинамическими характеристиками и точностью пилотирования // Полет. 2011. № 9. С. 26–31.

УДК 61:006

## ОЦЕНКА КАЧЕСТВА МЕДИЦИНСКИХ УСЛУГ НА ОСНОВЕ СТАТИСТИЧЕСКИХ КРИТЕРИЕВ СОБЛЮДЕНИЯ НОРМ МЕДИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИХ СТАНДАРТОВ

**Н. Н. Рожков,**

канд. физ.-мат. наук, доцент

Санкт-Петербургский государственный университет технологии и дизайна

Соблюдение нормативных требований медико-экономических стандартов проверяется при помощи статистических критериев, основанных на значениях частоты применения и средней кратности оказания медицинских услуг.

**Ключевые слова** — качество медицинских услуг, медико-экономический стандарт, частота применения.

### Введение

Одной из наименее формализованных составляющих в задаче комплексной оценки качества медицинских услуг является оценка показателей, относящихся к непосредственному взаимодействию медицинского персонала и пациента, а также к оптимальности использования ресурсов. Важным инструментом повышения качества по указанным показателям является применение медико-экономических стандартов (МЭС). Вместе с тем на сегодня не отработаны критерии проверки соблюдения требований МЭС по каждой из предусмотренных в стандарте медицинских услуг. Отсутствие таких критериев затрудняет взаиморасчеты между страховыми компаниями и лечебными учреждениями.

### Сущность и структура медико-экономических стандартов

Медико-экономические стандарты представляют собой перечень медицинских услуг, необходимых при лечении заболеваний данной однородной группы. В МЭС содержится номенклатура этих услуг с указанием их количества, применяемого медикаментозного и оперативного лечения, а также сроков лечения. МЭС отражает затраты лечебно-профилактического учреждения (ЛПУ), необходимые для обеспечения качественного оказания помощи, и в системе обязательного медицинского страхования является основой для расчетов страховых компаний с ЛПУ за закон-

ченный случай оказания медицинской помощи пациенту.

Требования МЭС формулируются не в отношении каждого отдельного пациента, а в отношении «массива» пациентов, проходивших лечение по профилю данного МЭС за определенный промежуток времени. Этот принцип реализуется за счет того, что основными параметрами, указанными в МЭС для каждой услуги, служат:

ЧП — частота предоставления услуги в массиве пациентов, подлежащих лечению по данному МЭС, которая отражает относительную частоту выполнения услуги и может принимать значение от 0 до 1;

СК — среднее количество, или *средняя кратность*, оказания услуги одному получившему ее пациенту;

УЕТ(вр.) и УЕТ(ср.) — число *условных единиц трудоемкости*, которое требуется, соответственно, от врача и от среднего медицинского персонала для однократного оказания каждой услуги.

С помощью значений УЕТ(вр.) и УЕТ(ср.) можно оценить стоимость всех услуг, включаемых в МЭС, а значит, с учетом стоимости медикаментов и средств медицинского назначения оценить и стоимость стандарта в целом. Именно эта стоимость должна быть возмещена (согласно программе обязательного медицинского страхования) страховой компанией в пользу оказавшего услугу медицинского учреждения. Вот почему проверка соблюдения предписаний МЭС становится не только инструментом контроля качества оказания медицинских услуг при взаимодей-

ствии пациента и ЛПУ, но и основанием для финансовых расчетов между страховой компанией и медицинским учреждением — исполнителем услуг. Это делает весьма актуальным решение задачи о выработке объективных и научно обоснованных критериев соблюдения требований МЭС на заданном массиве пациентов. Эти критерии, очевидно, должны базироваться на применении методов математической статистики [1], что обусловлено самой спецификой МЭС, а именно статистической природой его контролируемых параметров.

### Статистические критерии проверки соблюдения норм МЭС

Прежде всего, необходимо определить, позволяет ли объем массива сделать выводы о совпадении реально наблюдаемой ЧП данной услуги со значением ЧП, которое записано в МЭС. Без ответа на этот вопрос неизбежны дискуссии между заинтересованными сторонами о том, можно ли считать, что услуга не была оказана в предписанном МЭС объеме при имеющемся числе пациентов.

Оценим минимальный объем массива пациентов исходя из требования, чтобы при соблюдении стандарта фактически наблюдаемое значение ЧП данной услуги отличалось от значения ЧП, указанного в стандарте, не более чем на заданную величину (требуемую точность оценки) с заданной вероятностью (характеризующей достоверность вывода). Это требование можно записать в виде

$$P\left(\left|\frac{d}{n} - p\right| < \varepsilon\right) \geq \gamma, \quad (1)$$

где  $d$  — число пациентов в массиве, которым данная услуга фактически была оказана;  $n$  — искомый объем массива;  $d/n = \text{ЧП}_{\text{факт}}$  — фактическое значение частоты применения данной услуги в массиве;  $p$  — частота применения данной услуги, указанная в МЭС,  $p = \text{ЧП}_{\text{МЭС}}$ ;  $\varepsilon$  — заданная точность, т. е. предельно допустимое значение отклонения между  $\text{ЧП}_{\text{факт}}$  и  $\text{ЧП}_{\text{МЭС}}$ ;  $\gamma$  — заданная доверительная вероятность.

Исходя из соображений здравого смысла, можно предположить, что при строгом следовании требованиям стандарта, достаточности ресурсов и т. п. каждый пациент будет получать данную услугу с одной и той же вероятностью  $p = \text{ЧП}_{\text{МЭС}}$ , причем получение данной услуги пациентом зависит только от его индивидуального хода лечения и не зависит от хода лечения других пациентов. Эти допущения позволяют воспользоваться известными из теории вероятностей приближениями, согласно которым величина  $d$  может рассматриваться как подчиняющаяся стандартному нормальному закону распределения,

что дает искомую оценку для минимального значения  $n$ , удовлетворяющего (1), в виде

$$n \geq \frac{p(1-p)}{\varepsilon^2} (U_\alpha)^2,$$

где  $U_\alpha$  —  $\alpha$ -процентная точка стандартного нормального закона распределения, здесь  $\alpha = (1 - \gamma)/2$ .

Задача о проверке значимости отклонения фактически наблюдаемого значения частоты применения услуги  $\text{ЧП}_{\text{факт}} = d/n$  от указанного в стандарте значения  $\text{ЧП}_{\text{МЭС}}$  также сводится к проверке статистической гипотезы о равенстве вероятности  $p$  заданному значению, которое указано в МЭС. Учитывая содержательный смысл задачи, гипотезу следует проверять против односторонней альтернативы, согласно которой ЧП является меньшей, чем указанная в стандарте, так как именно это означает, что стандарт не выполняется и, следовательно, услуга оказывается пациентам на ненадлежащем уровне качества. Если отклонение будет признано значимым, то страховая компания вправе не оплачивать медицинскому учреждению стоимость данной услуги. Данную гипотезу необходимо рассматривать применительно к каждой указанной в МЭС услуге.

Применяя известные вероятностные соотношения [2], получаем, что при выполнении условия

$$\frac{d}{n} > p - U_\alpha \sqrt{\frac{p(1-p)}{n}} \quad (2)$$

можно (при заданном уровне значимости  $\alpha$ ) сделать вывод, что требования стандарта соблюдены, поскольку возможные отклонения  $\text{ЧП}_{\text{факт}}$  от  $\text{ЧП}_{\text{МЭС}}$  не значимы, так как лежат в пределах допустимой статистической погрешности. В формуле (2) использованы те же обозначения, что в (1).

Так, для проверки соблюдения требований МЭС на массиве, содержащем  $n = 50$  пациентов, имеем для различных значений  $\text{ЧП}_{\text{МЭС}}$  следующие предельно допустимые значения  $\text{ЧП}_{\text{факт}}$  (таблица).

В целом вопрос, соблюдаются ли требования МЭС по данной услуге, должен решаться с учетом обоих нормируемых показателей: ЧП и СК. Для ответа на него определим

$$\lambda_{\text{МЭС}} = \text{ЧП}_{\text{МЭС}} \cdot \text{СК}_{\text{МЭС}}$$

— среднее число случаев оказания услуги, которое должно приходиться на одного пациента со-

#### ■ Предельно допустимые значения $\text{ЧП}_{\text{факт}}$ ( $n = 50$ )

$\alpha$	$p = \text{ЧП}_{\text{МЭС}}$						
	0,9	0,8	0,7	0,6	0,5	0,4	0,3
0,05	0,830	0,707	0,593	0,486	0,384	0,286	0,193
0,01	0,801	0,668	0,549	0,439	0,336	0,239	0,149

гласно МЭС. Располагая статистическими данными для конкретного массива пациентов, определим  $n_i$  как число пациентов, которым данная услуга была оказана  $i$  раз ( $i = 0, 1, \dots, k$ ). Нетрудно видеть, что справедливы соотношения

$$\begin{aligned} n &= n_0 + n_1 + \dots + n_k; \\ \text{ЧП}_{\text{факт}} &= (n - n_0)/n; \\ \text{СК}_{\text{факт}} &= \frac{n_1 + 2n_2 + \dots + kn_k}{n - n_0}, \end{aligned}$$

которые позволяют в явном виде находить выборочную оценку для  $\lambda_{\text{МЭС}}$ :

$$\lambda_{\text{факт}} = \text{ЧП}_{\text{факт}} \cdot \text{СК}_{\text{факт}}. \quad (3)$$

Соблюдение требований стандарта по данной услуге (с учетом обоих заданных нормативов  $\text{ЧП}_{\text{МЭС}}$  и  $\text{СК}_{\text{МЭС}}$ ) проверим при помощи статистической гипотезы

$$H: \lambda = \lambda_{\text{МЭС}}, \quad (4)$$

где критерием проверки будет служить выборочная оценка (3). Учтявая содержательный смысл параметра  $\lambda$ , гипотезу следует проверять против односторонней альтернативы:  $\lambda < \lambda_{\text{МЭС}}$ , которая означает невыполнение норм стандарта в части оказания рассматриваемой услуги для данного массива пациентов.

При достаточно больших  $n$   $\lambda_{\text{факт}}$  имеет нормальное распределение, среднее значение и среднеквадратическое отклонение которого равны, соответственно,  $\lambda$  и  $\sqrt{\lambda/n}$ . Это позволяет непосредственно проверить гипотезу (4). А именно, при заданном уровне значимости  $\alpha$  гипотезу следует принять, если выполняется условие

$$\lambda_{\text{факт}} > \lambda_{\text{МЭС}} - U_{\alpha} \sqrt{\frac{\lambda_{\text{МЭС}}}{n}}.$$

В противном случае следует сделать вывод о том, что среднее число случаев оказания данной услуги статистически значимо отличается от предписаний стандарта, что свидетельствует о неудовлетворительном качестве оказания данной медицинской услуги.

В ряде случаев также требуется проверить значимость различия показателей ЧП и СК в двух сравниваемых медицинских учреждениях, оказывающих услуги по одному и тому же стандарту. Этот вопрос возникает при необходимости сопоставления уровня качества у нескольких поставщиков медицинских услуг, а также при составлении рейтингов медицинских учреждений. Ответ на него можно получить путем проверки статистической гипотезы о равенстве

средних в двух рассматриваемых массивах пациентов.

Проверяемую гипотезу формализуем в виде

$$H: \text{ЧП}_{(1)} = \text{ЧП}_{(2)},$$

где  $\text{ЧП}_{(1)}$ ,  $\text{ЧП}_{(2)}$  — частоты применения данной медицинской услуги в двух сравниваемых медицинских учреждениях.

Критерием принятия решения, согласно известным из теории математической статистики результатам [2], будет служить проверка выполнения неравенства

$$\frac{|R|}{\sqrt{D(R)}} < U_{\alpha/2}, \quad (5)$$

где  $R$  — разность фактически наблюдаемых частот применения услуги в данных медицинских учреждениях:

$$R = \frac{d_1}{n_1} - \frac{d_2}{n_2};$$

$D(R)$  — выборочная оценка дисперсии  $R$ :

$$D(R) = \frac{d_1 + d_2}{n_1 + n_2} \left[ 1 - \frac{d_1 + d_2}{n_1 + n_2} \right] \left[ \frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2} \right];$$

$n_1$  и  $n_2$  — объемы двух массивов пациентов, которые проходили лечение по данному МЭС в двух сопоставляемых медицинских учреждениях;  $d_1$  и  $d_2$  — число пациентов, соответственно, в первом и втором массиве, которым была оказана услуга.

Если неравенство (5) не выполняется, то гипотеза о равенстве двух сравниваемых частот применения услуги должна быть отвергнута.

## Заключение

Вышеизложенные критерии были использованы при анализе выполнения требований утвержденного Администрацией Санкт-Петербурга МЭС № 821010 «Амбулаторное ведение больного с пересаженной почкой», который с 01.12.10 вступил в силу как региональный законодательный стандарт. Пациенты, получавшие медицинские услуги согласно данному МЭС, проходили курс лечения в двух специализированных лечебных учреждениях г. Санкт-Петербурга. Объемы массивов собранных данных составили, соответственно, 340 и 171 медицинских карт, что позволило оценить соответствие параметров требованиям МЭС с точностью  $\varepsilon = 0,1$  и с доверительной вероятностью  $\gamma = 0,99$ .

Проведенный анализ показал, что оба лечебных учреждения не полностью соблюдают нормативы МЭС, так как по целому ряду услуг отличие



между  $ЧП_{\text{факт}}$  и  $ЧП_{\text{МЭС}}$  является статистически значимым. То же относится и к проверке гипотезы (4) о среднем числе услуг, приходящихся на одного пациента. Эти выводы служат индикаторами для принятия обоими клиниками мер по повышению качества медицинской помощи в части, касающейся конкретных услуг, необходимых пациентам, проходящим курс лечения согласно стандарту МЭС № 821010.

## Литература

1. Кудрявцев А. А. Менеджмент в здравоохранении: Медико-экономические стандарты и методы их анализа. — СПб.: Изд-во СПбГУ, 2004. — 172 с.
2. Вентцель Е. С., Овчаров Л. А. Теория вероятностей и ее инженерные приложения. — М.: Наука, 1988. — 480 с.

## УВАЖАЕМЫЕ АВТОРЫ!

**При подготовке рукописей статей редакция просит Вас руководствоваться следующими рекомендациями.**

Объем статьи (текст, таблицы, иллюстрации и библиография) не должен превышать эквивалента в 20 страниц, напечатанных на бумаге формата А4 на одной стороне через 1,5 интервала в Word шрифтом Times New Roman размером 13, поля: слева три сантиметра, остальные не менее двух.

Обязательными элементами оформления статьи являются: индекс УДК, заглавие, инициалы и фамилия автора (авторов), ученая степень, звание, полное название организации, аннотация (7–10 строк) и ключевые слова на русском и английском языках, подрисуночные подписи.

**Формулы** в текстовой строке набирайте в Word, не используя формульный редактор (Mathtype или Equation), только в том случае, если средства Word не позволяют набрать формулу или символ (например, простая дробь, символы с «крышками» и т. д.), используйте имеющийся в Word формульный редактор Mathtype или Equation; формулы, стоящие в отдельной строке, могут быть набраны как угодно; при наборе формул в формульном редакторе знаки препинания, ограничивающие формулу, набирайте вместе с формулой; для установки размера шрифта никогда не пользуйтесь вкладкой Other..., используйте вкладку Define; в формулах не отделяйте пробелами знаки: + = -; не подгоняйте размер символов в формулах под размер шрифта в тексте статьи, не растягивайте и не сжимайте мышью формулы, вставленные в текст.

При наборе символов в тексте помните, что символы, обозначаемые латинскими буквами, набираются светлым курсивом, русскими и греческими — светлым прямым, векторы и матрицы — прямым полужирным шрифтом.

### Иллюстрации:

— рисунки, графики, диаграммы, блок-схемы предоставляйте в виде отдельных исходных векторных файлов, поддающихся редактированию: \*.vsd, \*.cdr, \*.xls, \*.doc, \*.ai, \*.dxf;

— при наличии надписей на рисунке используйте тот же шрифт, что и в основном тексте (Times New Roman), размер шрифта не более 10 pt, но не менее 8 pt;

— если при изготовлении рисунка Вы используете стрелочки, руководствуйтесь принципом единообразия;

— фото и растровые — в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением (не менее 300 pixels/inch).

### В редакцию предоставляются:

— сведения об авторе (фамилия, имя, отчество, место работы, должность, ученое звание, учебное заведение и год его окончания, ученая степень и год защиты диссертации, область научных интересов, количество научных публикаций, домашний и служебный адреса и телефоны, факс, эл. адрес), фото авторов: анфас, в темной одежде на белом фоне, должны быть видны плечи и грудь, высокая степень четкости изображения без теней и отблесков на лице, фото можно представить в электронном виде в формате \*.tif, \*.png с максимальным разрешением — не менее 300 pixels/inch при минимальном размере фото 40 × 55 мм;

— экспертное заключение.

**Список литературы** составляется по порядку ссылок в тексте и оформляется следующим образом:

— для книг и сборников — фамилия и инициалы авторов, полное название книги (сборника), город, издательство, год, общее количество страниц;

— для журнальных статей — фамилия и инициалы авторов, полное название статьи, название журнала, год издания, номер журнала, номера страниц;

— ссылки на иностранную литературу следует давать на языке оригинала без сокращений;

— при использовании web-материалов указывайте адрес сайта и дату обращения.

Более подробную информацию см. на сайте: [www.i-us.ru](http://www.i-us.ru)

УДК 334.021.1

## ОРГАНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА В ПОРТОВЫХ ЭКОНОМИЧЕСКИХ ЗОНАХ

**О. Б. Орлова<sup>1</sup>,**

старший государственный таможенный инспектор  
Балтийская таможня, Санкт-Петербург

*Рассмотрены проблемы организации межведомственного электронного документооборота в особых портовых экономических зонах. Продемонстрировано соответствие между сформулированными предложениями и общей тенденцией развития электронного документооборота в стране. Предложена схема взаимодействия заинтересованных сторон по обмену информацией.*

**Ключевые слова** — электронный документооборот, особые портовые экономические зоны, управление товародвижением.

### Введение

Активное увеличение объема международного товарообмена, на которое не оказал существенного влияния даже последний экономический кризис, и стремление использовать передовой зарубежный опыт по упрощению таможенной обработки грузов при их движении через границы Российской Федерации послужили причиной того, что в нашей стране начата работа по созданию особых портовых экономических зон. Законодательной основой для появления таких зон служит принятый Государственной думой Федеральный закон от 30.10.2007 г. № 240-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об особых экономических зонах в Российской Федерации» и отдельные законодательные акты Российской Федерации». Согласно этому закону, в стране предполагается создание особых экономических зон (ОЭЗ), прилегающих к морским или воздушным портам, на территории которых должен осуществляться широкий круг различных видов деятельности, выполняемых под таможенным контролем.

Основная задача таких зон состоит в повышении эффективности обеспечения товародвижения, поскольку половина из разрешенных законом видов деятельности на территории зон (ст. 10, п. 2) относится к задачам логистики и торговли. Таким образом, портовые особые экономические

зоны (ПОЭЗ) целесообразно рассматривать в качестве информационно-логистических центров, входящих в единую информационную среду на транспорте России и отличающихся исключительно спецификой, обусловленной таможенным контролем грузов, проходящих через этот центр.

### Особенности информационного обмена в портовых зонах

Эта специфика оказывает большое влияние на организацию управления товародвижением на территории зоны. Дело в том, что обычные логистические центры, создаваемые в крупных населенных пунктах на пересечении транспортных путей, не имеют ограничения связности территории, заложенного в упомянутый выше закон. Однако в России практически нет мест, где бы можно было выполнить требование «единого забора» для создаваемых портовых зон [1], и их развитие возможно только с использованием распределенной инфраструктуры. До тех пор, пока велась дискуссия о создании таких зон, на противоречивость этого положения законодательства никто не обращал внимания, однако, как только были выпущены постановления Правительства о создании портовых зон в городах Советская Гавань и Мурманск, проблема обеспечения таможенного контроля на территории создаваемых зон приобрела особую актуальность.

Юридически проблема может быть решена с использованием внутреннего таможенного транзита, который по Таможенному кодексу «приме-

<sup>1</sup> Научный руководитель — доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой электронной коммерции и маркетинга ГУАП А. П. Ястребов.

няется при перевозке товаров из места их прибытия до места нахождения таможенного органа назначения (ст. 92), из места нахождения товаров при их декларировании до места вывоза с таможенной территории Российской Федерации, между складами временного хранения, таможенными складами, а также в иных случаях перевозки иностранных товаров по таможенной территории Российской Федерации, если на эти товары не предоставлено обеспечение уплаты таможенных платежей». Однако с технической точки зрения задача усложняется тем, что необходимо обеспечить трассировку и диспетчирование товародвижения, идентификацию перемещаемых грузов, а также мониторинг перемещения грузов в реальном времени. В работе [2] были детально рассмотрены способы решения этой проблемы, основывающиеся на уже отработанных в логистике технических решениях.

Информационная основа для учета грузов на территории ПОЭЗ образуется после обработки разнообразных грузосопроводительных документов, рассматриваемых декларантами при подготовке грузовых таможенных деклараций (ГТД) и проверяемых сотрудниками таможни при выдаче разрешения на выпуск груза в свободное обращение. Сведения о грузе накапливаются в Единой автоматизированной информационной системе таможни, в которой формируется электронная версия ГТД в виде совокупности файлов в формате Dbase. В частности:

DBRHEAD.DBF «ГТД — общие сведения»;  
 DBRTOVAR.DBF «ГТД — сведения о товарах»;  
 DBRTOVG.DBF «ГТД — описание и характеристика товаров»;  
 DBRPK.DBF «ГТД — информация об упаковках»;  
 DBRCONT.DBF «ГТД — информация о контейнерах»;  
 DBRAVTMB.DBF «ГТД — данные об автомобилях (гр. 31)»;  
 DBRDINFO.DBF «ГТД — дополнительная информация»;  
 DBRUSLT.DBF «Сведения при использовании ГТД в качестве заявления на получение разрешения на переработку товаров (гр. 44)»;  
 DBRCRDTS.DBF «Карточки транспортных средств (Ктс)».

Раньше эти данные служили для формирования электронных сообщений в адреса внутренних таможенных постов, куда груз направлялся в целях окончательного таможенного оформления. В настоящее время, в связи с реализацией Концепции таможенного оформления и таможенного контроля товаров в местах, приближенных к государственной границе Российской Федерации, эта информация должна использовать-

ся, прежде всего, в интересах таможенной статистики. Однако ориентация этой информации на использование для контроля товародвижения позволяет применить ее для той же цели, но на территории ПОЭЗ. Как уже отмечалось [2], указанные сведения должны пересылаться в места доставки грузов, а также заноситься в сопроводительные машиночитаемые документы (штриховые коды или радиочастотные идентификационные метки) для повышения надежности контроля доставки грузов.

Рассмотрение целесообразного с экономической точки зрения построения системы управления ПОЭЗ показывает [3], что сфера ответственности таможни должна распространяться, как и сейчас, лишь на контроль товародвижения через государственную границу и урегулирование финансовых вопросов. Остальные функции, связанные с товарной логистикой, должны быть возложены на управляющую компанию ПОЭЗ, являющуюся коммерческой организацией. В связи с этим возникает проблема информационного обмена между таможней, управляющей компанией и резидентами ПОЭЗ. В настоящее время решена только часть этой проблемы на уровне электронного декларирования (приказ ФТС от 24.01.2008 г. № 52 «О внедрении информационной технологии представления таможенным органам сведений в электронной форме для целей таможенного оформления товаров, в том числе с использованием международной ассоциации сетей Интернет»), хотя речь должна идти о полноценном межведомственном обмене информацией.

### Электронный документооборот в портовых зонах

Нормативную основу внедрения межведомственного электронного документооборота (МЭДО) составляют Поручение Президента Российской Федерации по итогам заседания Государственного совета Российской Федерации от 17.06.2008 г., которым была поставлена задача обеспечить переход федеральных учреждений исполнительной власти на преимущественное применение электронного документооборота не позднее 1 января 2011 года, Положение о системе межведомственного электронного документооборота, утвержденное постановлением Правительства Российской Федерации от 22.09.2009 г. № 754, а также ряд других поручений, распоряжений и иных актов правительства и федеральных органов исполнительной власти.

Согласно первоначальной редакции Положения, участниками МЭДО должны стать федеральные органы государственной власти, Администрация Президента Российской Федерации

и Аппарат Правительства Российской Федерации. В настоящее время число участников МЭДО расширено и, согласно новой редакции Положения (утвержденной постановлением Правительства Российской Федерации от 01.08.2011 г. № 641), МЭДО представляет собой взаимодействие информационных систем электронного документооборота федеральных органов исполнительной власти, органов исполнительной власти субъектов Российской Федерации и иных государственных органов. Также в развитие концепции электронного правительства постановлением Правительства Российской Федерации от 08.09.2010 г. № 697 утверждено Положение о единой системе межведомственного электронного взаимодействия, а также вышел приказ Минкомсвязи России от 27.12.2010 г. № 190 об утверждении технических требований к взаимодействию информационных систем в единой системе межведомственного электронного взаимодействия.

Однако все перечисленные документы направлены на решение, к сожалению, частной задачи: передачи отчетности высшим органам власти от нижестоящих организаций, что подтверждается поручением на реализацию этой системы Федеральной службе охраны. Это означает, что никакого полноценного обмена информацией между организациями эта система не предусматривает, а решает только задачу доставки документов с помощью защищенной электронной почты вместо фельдъегерской службы. И рассчитывать на то, что система распространит свое действие на уровень ниже регионов, в обозримом будущем не приходится.

Казалось бы, большее внимание следует обратить на разработанные в интересах МЭДО рекомендации по технической реализации системы электронного документооборота (распоряжение Правительства РФ от 02.10.2009 г. № 1403-р «О технических требованиях к организации взаимодействия системы межведомственного документооборота с системами электронного документооборота федеральных органов исполнительной власти»). В настоящее время утверждены технические требования по МЭДО, в том числе требования к шлюзу. Так, например, состав программно-обеспечения автоматизированного рабочего места шлюза должен включать:

- операционную систему типа Windows XP Professional Russian;
- Secure Pack Rus 1.0 for Windows XP;
- Office Professional Plus 2007 Russian OLP NL, а в качестве программного обеспечения сервера шлюза использовать:
- операционную систему типа Windows Server Standard Edition 2003 R2 Win32 Russian OLP NL;

— SQL Server Standard Edition 2005 Win32 Russian OLP C.

Однако и здесь не все так просто. По мнению специалистов, занимающихся этой проблемой, внедрение унифицированной системы электронного документооборота во всех организациях, пусть только верхнего уровня, крайне затруднительно для исполнения. Во-первых, развитие вычислительных средств в этих организациях имеет свою инерцию, и ломка устоявшихся решений приведет к большим временным, финансовым и иным затратам. Во-вторых, даже если принять идеальный вариант проектирования и внедрения с нуля, та же инерция приведет к тому, что системы будут настраиваться и развиваться под конкретные задачи организаций имеющимися специалистами, и очень быстро их унификация будет нарушена [4]. Наглядно это может быть проиллюстрировано на примере создания Единой государственной автоматизированной информационной системы, предназначавшейся для автоматизации государственного контроля за объемом производства и оборота этилового спирта, алкогольной и спиртосодержащей продукции. Поэтому унификация должна происходить на самом низком уровне — уровне форматов данных, которыми обмениваются взаимодействующие организации, тем более что провести одновременную унификацию программно-аппаратных средств в государственных и коммерческих структурах вряд ли возможно.

### Распределение информационных потоков в портовых зонах

Несравненно более важным обстоятельством для успешного функционирования электронного документооборота в ПОЭЗ является организация информационных потоков и распределение ответственности за их качество и своевременность между таможенной, резидентами зоны и управляющей компанией. В настоящее время задачи управляющей компании ПОЭЗ точно не определены, и в местах создания экономических зон образуются филиалы ОАО «Особые экономические зоны», в функции которых, по примеру Санкт-Петербургского филиала, входит:

- создание, управление и эксплуатация объектов инженерной, транспортной, социальной, инновационной и иной инфраструктуры (ОЭЗ), объектов, необходимых для обеспечения деятельности ОЭЗ, и их материально-техническое обеспечение;
- анализ проектов создания ОЭЗ;
- привлечение инвестиций для ОЭЗ;
- содействие в привлечении квалифицированной рабочей силы;

— содействие деятельности резидентов ОЭЗ.

Несмотря на то, что в этом перечне преобладают девелоперские функции, по мере развития ПОЭЗ вопросы управления займут в деятельности филиалов достойное место.

### Заключение

Таким образом, для обеспечения полной поддержки деловых процессов, которые осуществляются в ПОЭЗ, необходимо сформировать трехуровневую систему электронного документооборота, в которую входят:

— таможня, ответственная за ведение базы данных проходящих через ПОЭЗ грузов и выдачу разрешений на пересечение грузами таможенной границы РФ;

— управляющая компания, ответственная за обеспечение слежения за перемещением грузов в пределах ПОЭЗ и эффективное использование складских ресурсов коллективного пользования;

— резиденты ПОЭЗ, ответственные за обеспечение идентификации принадлежащих им грузов и предоставление достоверных сведений о поступающих, отправляемых и перемещаемых внутри ПОЭЗ грузах, а также используемых транспортных средствах.

Отсюда следует, что информационная система ПОЭЗ образует иерархию баз данных с соответствующими СУБД, разделенных шлюзами для обеспечения их интеграции и одновременной защиты информации [5]. Успешность построения таких систем применительно к таможне можно

проиллюстрировать на примере системы электронного декларирования, которая реализована уже во втором поколении (ЭД-2).

Рассмотренная система электронного документооборота должна послужить основой для функционирования системы управления товародвижением на территории особой портовой экономической зоны.

### Литература

1. Орлова О. Б. Организация управления особой экономической зоной с распределенной инфраструктурой // Надежность и качество — 2010: тр. Междунар. симп. Пенза, 2010. Т. 2. С. 301–304.
2. Орлова О. Б. Использование электронного документооборота при управлении грузопотоками в особых портовых зонах // Уч. зап. Санкт-Петербургского им. В. Б. Бобкова филиала Российской таможенной академии. 2010. № 3(37). С. 34–47.
3. Орлова О. Б. Соотношение государственного и корпоративного участия в управлении портовыми особыми экономическими зонами // Вестник ИНЖЭКОН. Сер. Экономика. 2011. № 3. С. 406–409.
4. Колесов А. МЭДО — лишь первый шаг к межведомственному документообороту // PC Week Review. Апрель 2010. С. 15–17.
5. Лодыженский Г. Шлюзы как средство интеграции баз данных. Практический подход // Открытые системы. 1999. № 2. С. 28–35.

УДК 004.9

## О ПРИКЛАДНЫХ АСПЕКТАХ ПРИМЕНЕНИЯ M-МАТРИЦ

**Ю. Н. Балонин,**  
инженер

**А. А. Востриков,**  
канд. техн. наук

**М. Б. Сергеев,**  
доктор техн. наук, профессор

Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения

Рассматриваются свойства ортогональных минимаксных  $M$ -матриц, затрагивающие аспекты их прикладного использования для кодирования и маскирования изображений.

**Ключевые слова** — ортогональные минимаксные матрицы,  $M$ -матрицы, матрицы Адамара, матрицы Белевича, маскирование изображений.

В работе [1] предложен способ маскирования цифровых изображений, обеспечивающий их конфиденциальность при передаче по каналам сетей общего пользования. Способ основан на применении аппарата матричного преобразования тела изображения, производимого с использованием уникальной матрицы, поиск которой представляет значительную вычислительную сложность [2].

В работах [3–5] описан класс минимаксных  $M$ -матриц, являющихся ортогональными матрицами с минимальным максимальным по абсолютной величине элементом. Важными представителями этого класса являются матрицы Адамара [6–8] и Белевича [9].

Указанные ортогональные матрицы связаны с нахождением спектров сигналов и заменяют матрицу преобразования Фурье в частных случаях обработки дискретных сигналов. По отношению к матрицам Адамара, имеющим всего два уровня значений элементов  $\{1, -1\}$ ,  $M$ -матрицы допускают большее число уровней —  $\{a, b, c, d, \dots\}$ . Несмотря на то, что эти новые матрицы оптимальны в строгом математическом смысле, как и матрицы Адамара, это все же некоторое послабление в сторону более мягкой дискретизации уровней гармонических базисных функций, представленных после специфического квантования столбцами  $M$ -матрицы.

Применение матриц Адамара закрепилось в практике помехоустойчивого кодирования. Например, в космической индустрии с ними связана история передач первых снимков Юпитера, Сатурна удаленными космическими аппаратами

[10]. Кратко пояснить целесообразность передачи спектров, а не самих сигналов, можно тем, что одиночная радиопомеха (всплеск) на спектре приведет после обратного преобразования, согласно равенству Парсевала, всего лишь к легкой ряби снимка. Причем импульс помехи в начале передачи кадра даст низкочастотный шум, тогда как в конце — синусное искажение высокой частоты и малой амплитуды. Перестановкой столбцов нормализованной матрицы можно менять характер проявления искажения.

До тех пор, пока обрабатывающие изображение процессоры были маломощны, для реализуемости подхода определенное значение играла двухуровневость матрицы Адамара, обеспечивающая небольшую вычислительную сложность процедуры обработки изображений. Сегодня, с увеличением их производительности, этот фактор отходит на второй план, и в технологии кодирования и маскирования может быть использован весь набор матриц, включая  $n$ -уровневые  $M$ -матрицы.

Связь  $M$ -матриц с теорией защиты информации была обнаружена благодаря работам В. Белевича. В работе [3] опубликована  $M$ -матрица 22-го порядка, замещающая отсутствующую  $S$ -матрицу Белевича, нахождение которой связано со значительными вычислительными затратами ввиду сверхчувствительности алгоритма к начальным условиям.

Перечислим, помимо математических аспектов, аргументы в пользу целесообразности применения  $M$ -матриц для помехоустойчивого кодирования и защиты информации.

Прежде всего, эти матрицы, по сравнению с матрицами Адамара, новы и изучены значительно меньше. Это означает дополнительные трудности поиска  $M$ , поскольку подход неизвестен или малоизвестен. Как и все ортогональные матрицы, они имеют преимущество хорошей обусловленности для проведения математических операций обработки сигналов. Их  $n$ -уровневость наследует крайне усеченное проявление этого свойства у матриц Адамара. Вместо двух целых уровней  $\{1, -1\}$  имеем целые или, при повышении порядка, иррациональные значения  $n$  уровней. Для хранения таких матриц в памяти процессоров достаточно штампов поэлементно заданной структуры. Иррациональность уровней — лишь дополнительный аргумент к приведенным выше. Вычислять значения уровней можно по найденным аналитическим формулам [3, 4].

Конечно,  $M$ -матрицы — некоторый компромисс между помехоустойчивостью, максимальной у матриц Адамара, и информационной защищенностью, поскольку они имеют больше факторов влияния на процесс построения эвристических алгоритмов, дополнительной вариативно-

сти. Перечислять эвристические приемы не имеет смысла ввиду их очевидного разнообразия. Всего лишь тривиальная перестановка строк и столбцов не меняет ортогональности матрицы (инвариантная операция) и порождает большое количество вариантов, зависящее от порядка матрицы. Порядок же может быть выбран сколь угодно большим. Тем самым  $M$ -матрицы, безусловно, интересный объект и для теории, и для практики помехоустойчивого и помехозащитного кодирования.

Результаты проводимых исследований позволили дополнить постоянно ведущийся мониторинг  $M$ -матриц [11] континуальными семействами уровней матриц, представителями которых являются, в том числе, регулярные (правильные уровневые) решения и оптимальные  $M$ -матрицы.

В заключение отметим, что работа по поиску, исследованию основных свойств  $M$ -матриц важна для становления новой ветви прикладного использования матриц Адамара в их обобщении на нечетные и некоторые исключительные четные порядки.

## Литература

1. **Ерош И. Л., Сергеев М. Б., Филатов Г. П.** О защите цифровых изображений при передаче по каналам связи // Информационно-управляющие системы. 2007. № 5. С. 20–22.
2. **Eroch I., Sergeev M.** Fast encryption of various types of messages // Mechanical Engineering. 2007. Vol. 51. N 1. P. 1–10.
3. **Балонин Ю. Н., Сергеев М. Б.**  $M$ -матрица 22-го порядка // Информационно-управляющие системы. 2011. № 5. С. 87–90.
4. **Балонин Н. А., Сергеев М. Б.**  $M$ -матрицы // Информационно-управляющие системы. 2011. № 1. С. 14–21.
5. **Балонин Н. А., Мироновский Л. А.** Матрицы Адамара нечетного порядка // Информационно-управляющие системы. 2006. № 3. С. 46–50.
6. **Hadamard J.** Resolution d'une question relative aux determinants // Bull. sci. math. 1893. Vol. 2. P. 240–248.
7. **Paley R. E. A. C.** On orthogonal matrices // J. Math. Phys. 1933. N 12. P. 311–320.
8. **Мониторинг** матриц Адамара. <http://mathworld.wolfram.com/HadamardMatrix.html> (дата обращения: 10.02.2012).
9. **Belevitch V.** Theory of  $2n$ -terminal networks with applications to conference telephony // Electrical Communication. 1950. Vol. 27. P. 231–244.
10. **Van Lint J. H., Seidel J. J.** Equilateral point sets in elliptic geometry // Indagationes Mathematicae. 1966. Vol. 28. P. 335–348.
11. **Мониторинг**  $M$ -матриц. <http://mathscinet.ru> (дата обращения: 10.02.2012).

# ПРОЕКТ СОЗДАНИЯ МЕЖДУНАРОДНОЙ АЭРОКОСМИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ГЛОБАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА: СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РЕАЛИЗАЦИИ

Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга (МАКСМ) — это инициатива российских научных и общественных организаций по созданию «системы систем», предназначенной для эффективного предупреждения мирового сообщества о грозящих угрозах глобального характера, в том числе космического происхождения. Землетрясение в Новой Зеландии и сейсмосообытия в Японии подтвердили актуальность МАКСМ. Достигнутые результаты в реализации проекта можно разделить на три большие группы: научно-технические, политические и организационные.

Выполненные обширные научно-технические исследования по обоснованию будущей системы полностью подтвердили техническую реализуемость основных идей, заложенных в ее основу.

МАКСМ должна создаваться и развиваться на принципах поэтапного формирования глобальной сети, интегрирующей в своем составе наряду с уже существующими информационно-навигационными и телекоммуникационными ресурсами традиционных космических систем нацио-

нальной, региональной и международной принадлежности специализированный прогнозный, мониторинговый потенциал, который должен появиться в ходе реализации основной идеи проекта — эффективного сбора данных о предвестниках стихийных бедствий и техногенных катастроф. В то же время, предоставляя ресурсы в МАКСМ, ее участники получают прямой и безвозмездный доступ ко всей информации, циркулирующей внутри системы.

В рамках разрабатываемого системного проекта МАКСМ предстоит наполнить реальным содержанием ключевые направления работ:

- по обоснованию путей, методов и средств корректной интеграции (технического сопряжения) имеющихся информационных, телекоммуникационных и мониторинговых ресурсов в единую систему;
- по синтезу рационального состава и орбитального построения специализированного космического сегмента МАКСМ с перспективной аппаратурой регистрации предвестников стихийных бедствий и техногенных катастроф;



■ Последствия землетрясений Японии



• по решению вопросов развития наземной инфраструктуры приема, обработки, интеграции, интерпретации и распространения данных прогнозного мониторинга, корректно преобразуемого в информацию предупреждения на международном и национальном уровнях.

Результатом **первого технического направления** работ по проекту должны стать алгоритмы и технологии интеграции в МАКСМ средств и ресурсов, включая их информационное сопряжение, что является хотя и весьма сложной, но решаемой задачей.

**Второе направление** — создание специализированного космического сегмента МАКСМ — является наиболее сложным. Российские ученые и инженеры достигли реальных успехов в решении задач прогнозирования природных стихийных бедствий. Подтверждением этому служат получивший недавно грант Евросоюза проект ОАО «Российские космические системы» по комплексному мониторингу ионосферы в районе о. Сахалин; разработки специалистов «Научного центра оперативного мониторинга Земли» по анализу конфигурации облачности в преддверии недавних землетрясений в Японии и Новой Зеландии, позволившие спрогнозировать их наступление за несколько часов до начала. Однако, несмотря на достигнутые результаты, пока нельзя говорить о приемлемо достоверном прогнозе магнитуды и времени наступления землетрясений с выходом на задачи предупреждения.

Эффективный прогнозный мониторинг станет возможен лишь при условии дооснащения существующих космических систем новыми геофизическими приборами и средствами оптико-электронного наблюдения во всем диапазоне электромагнитного спектра, которые активно разрабатываются во многих странах мира. Образцы бортовой геофизической аппаратуры, пригодные для монтажа на борту малых и микроспутников, уже созданы в России и апробированы в космосе (КА «Компас-1» и «Компас-2»). На этапе опытно-конструкторских работ находится уникальный отечественный проект мониторинга ионосферы «Геофизика».

Для прогнозирования критических ситуаций техногенной природы потребуется аналогичный состав бортовой аппаратуры, дополненный инструментарием прецизионной геодезической, интерферометрической и стереосъемки из космоса, а также средствами сбора датчиковой информации о состоянии потенциально опасных технических объектов с использованием возможностей группировок систем космической навигации (в частности, ГЛОНАСС).

Руководство проектом рассчитывает на использование научно-технического задела в обла-

сти создания малых КА «САТ-О» в рамках российско-белорусской программы и широкую международную кооперацию. Первые позитивные результаты рабочих контактов с группой профильных канадско-американских (CANEUS), британских (SURREY) и китайских (DFH Satellite Co.Ltd.) компаний дают основания надеяться на продуктивность такого подхода.

**Третье магистральное техническое направление работ по проекту** — развитие наземной инфраструктуры МАКСМ для приема, обработки, интегрирования, интерпретации и распространения данных прогнозного мониторинга — предполагает решение широчайшего спектра организационно-технических, политических и правовых вопросов.

Иерархическая наземная инфраструктура МАКСМ состоит из трех уровней. Нижний уровень представлен существующими средствами для приема и обработки мониторинговой информации и датчиковыми сетями национальной и региональной принадлежности, которые в перспективе могут быть дополнены и специализированными международными станциями; средний уровень — средствами интерпретации мониторинговых данных национальной и региональной принадлежности; а верхний — международными центрами управления в кризисных ситуациях. Руководство проектом уже провело неформальные консультации с представителями ряда стран (Украины, Камеруна, Китая, Вьетнама, Индонезии) о возможности размещения на их территориях информационной инфраструктуры МАКСМ и получило принципиальную поддержку этой идеи.

Проект уже трижды представлялся на уровне ООН. В результате к нему привлечено внимание ряда стран (Индонезии, Тайваня, Японии) и международных организаций (секретариата ГЕО и Управления ООН по космосу, руководства СПАЙДЕР-ООН).

Особую роль в политическом продвижении идеи МАКСМ играет прошлогодний Вашингтонский саммит руководителей космических агентств, где проекту практически целиком был посвящен один из пленарных докладов.

Цель МАКСМ целиком и полностью поддерживается профильными учреждениями ГЕОСС, а секретариат ГЕО готов начать процедуру официального признания проекта.

Организационный аспект продвижения проекта МАКСМ связан с его поддержкой со стороны Российской академии космонавтики им. К. Э. Циолковского и Международной академии астронавтики. В 2010 г. создан Международный комитет по реализации проекта МАКСМ. Комитет — неправительственная организация, в составе которой 77 официальных членов и наблюдателей,

представляющих более 30 стран и международных организаций.

На заседании Комитета в сентябре 2010 г. в дни работы 61-го Международного конгресса астронавтики были приняты Устав организации, план работы, а также решение о регистрации. Комитет уже заключил более 60 соглашений о сотрудничестве с профильными национальными, региональными и международными организациями.

Комитет подписал соглашения с космическими агентствами Аргентины, Индонезии и Испании, провел переговоры о присоединении к проекту с Китайской национальной космической администрацией, Национальной академией наук Армении, секретариатом АСЕАН и Управлением космической политики в структуре правительства Австралии.

В течение 2010–2011 гг. проект МАКСМ представлялся на научных форумах и переговорах в Риме (Италия), Хайфе (Израиль), Париже (Франция), Бонне (Германия), Риге (Латвия), Стокгольме (Швеция), Донецке (Украина), Пекине (Китай), Москве, Казани (Россия), Праге (Чехия), Вашингтоне (США), Бойе (Камерун), Джакарте (Индонезия), Мельбурне (Австралия), Мадриде (Испания). Особо следует отметить Первую региональную конференцию в Юго-Западной Африке (Камерун), организованную по инициативе Международной академии астронавтики.

Международный специализированный симпозиум «Космос и глобальная безопасность человечества» по тематике МАКСМ проводится в течение года по «диверсифицированной схеме» — в виде отдельных тематических семинаров и круглых столов в рамках научных форумов. На «Международном форуме по проблемам информатизации общества — проблемы, перспективы, инно-

вационные подходы» работает отдельная секция «Проблемы формирования единого информационного ресурса МАКСМ».

Таким образом, достаточно эффективно решаются задачи продвижения проекта за рубежом с необходимым охватом научной аудитории, политических и бизнес-кругов различных стран.

Наряду с позитивными политическими последствиями создания и использования МАКСМ существуют проблемы, связанные с научным и промышленным шпионажем, использованием мониторинговых технологий и информационно-телекоммуникационных ресурсов системы в военно-прикладных целях. Принятие политической декларации с рабочим названием «О консолидации усилий мирового сообщества по использованию аэрокосмического потенциала в интересах предупреждения о природных и техногенных угрозах глобального характера» могло бы послужить делу политической транспарентности МАКСМ.

Создание МАКСМ даст возможность решать широкий спектр общечеловеческих задач, объединить усилия многих стран в рамках новой единой стратегии сугубо мирного освоения космоса, направленной на обеспечение безопасного и социально устойчивого развития мирового сообщества в XXI столетии.

*Меньшиков В. А.,  
доктор техн. наук, профессор,  
генеральный директор Проекта МАКСМ  
Пушкарский С. В.,  
канд. техн. наук, старший научный сотрудник  
Черкас С. В.,  
канд. техн. наук, доктор военных наук  
НИИ КС им. А. А. Максимова — филиал  
ФГУП ГКНПЦ им. М. В. Хруничева*

**АЛЕКСАНДРОВА**  
**Софья**  
**Александровна**



Студентка кафедры электротехники и прецизионных электро-механических систем Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.  
Область научных интересов — системы управления.  
Эл. адрес:  
alexandrova\_sophie@mail.ru

**АНДРЕЕВ**  
**Николай**  
**Дмитриевич**



Начальник отдела разработки ПО компании «Джи Джи Эй», ассистент кафедры прикладной математики Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.  
В 2002 году окончил физико-механический факультет Санкт-Петербургского государственного политехнического университета по специальности «Прикладная математика и информатика».  
Является автором двух научных публикаций.  
Область научных интересов — процессы разработки программного обеспечения, предметно-ориентированные языки, технология программирования.  
Эл. адрес: nandreev@acm.org

**АРАНОВСКИЙ**  
**Станислав**  
**Владимирович**



Старший научный сотрудник кафедры электротехники и прецизионных электро-механических систем Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики.  
В 2006 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики.  
В 2009 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 37 научных публикаций.  
Область научных интересов — прецизионные системы управления, идентификация систем, адаптивные системы, линейные системы.  
Эл. адрес:  
s.aranovskiy@gmail.com

**АХМЕТОВ**  
**Равиль**  
**Нургалеевич**



Генеральный конструктор ФГУП ГНИ РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, Академии навигации и управления движением.  
В 1973 году окончил Куйбышевский политехнический институт по специальности «Промышленная электроника».  
В 1985 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 70 научных публикаций.  
Область научных интересов — проектирование и испытания ракетно-космической техники.  
Эл. адрес: csdb@samtel.ru

**БАБАКИНА**  
**Надежда**  
**Александровна**



Ассистент, аспирант кафедры распределенных интеллектуальных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.  
В 2004 году окончила Санкт-Петербургский государственный политехнический университет по специальности «Информационно-измерительная техника и технологии».  
Является автором восьми научных публикаций.  
Область научных интересов — обработка изображений, распознавание образов, мобильные автономные системы  
Эл. адрес:  
nadia.babakina@gmail.com

**БОРОДЬКО**  
**Денис**  
**Николаевич**



Преподаватель кафедры технологий и средств комплексной обработки и передачи информации в АСУ Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского.  
В 1997 году окончил Военную инженерно-космическую академию им. А. Ф. Можайского по специальности «Системы управления космических аппаратов и наземное проверочно-пусковое оборудование».  
Является автором трех научных публикаций.  
Область научных интересов — технология программирования, проектирование алгоритмов обработки телеметрической информации, системы автоматизированного анализа и поддержки принятия решений реального времени.  
Эл. адрес: shmelozavr@yandex.ru

**ГОРОДЕЦКИЙ  
Андрей  
Емельянович**



Доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией методов и средств автоматизации Института проблем машиноведения РАН, заслуженный деятель науки и техники.

В 1965 году окончил Ленинградский политехнический институт им. М. И. Калинина.

В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 150 научных публикаций и 70 изобретений.

Область научных интересов — математическое моделирование, оптимальное управление, идентификация и диагностика.

Эл. адрес: gorodetsky@mail23.ipme.ru

**ГРОШЕВ  
Федор  
Владимирович**



Младший научный сотрудник лаборатории информационных технологий передачи, анализа и защиты данных Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН.

В 2006 году окончил Московский государственный технический университет им. Н. Э. Баумана по специальности «Информационные системы и телекоммуникации».

Является автором 12 научных публикаций и одного запатентованного изобретения.

Область научных интересов — теория кодирования, множественный доступ, методы проектирования и моделирования систем передачи данных.

Эл. адрес: groshev@iitp.ru

**ЗЕЛЕНЦОВ  
Вячеслав  
Алексеевич**



Ведущий научный сотрудник, руководитель группы космических информационных технологий и систем Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, профессор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения.

В 1977 году окончил Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского по специальности «АСУ и связь».

В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 180 научных публикаций и 21 изобретения.

Область научных интересов — системный анализ, теория надежности, методы управления эксплуатацией сложных систем.

Эл. адрес: zvrambler@rambler.ru

**ИВАНОВ  
Андрей  
Михайлович**



Аспирант кафедры информационных процессов и управления Тамбовского государственного технического университета. В 2008 году окончил Тамбовский государственный университет по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств».

Является автором четырех научных публикаций.

Область научных интересов — теория управления, методы моделирования процессов и систем, автоматизация технологических процессов.

Эл. адрес: roshimzaschita@gmail.com

**КАРГИН  
Виктор  
Александрович**



Доцент, ведущий инженер ЗАО «СКБ Орион».

В 1991 году окончил Военный инженерно-космический Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского по специальности «Радио- и электропроводная связь».

В 2004 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 19 научных публикаций.

Область научных интересов — прикладная теория случайных процессов, модели и алгоритмы обработки информационных процессов космических средств, автоматизированные системы управления в космической отрасли.

Эл. адрес: kargin@skborion.ru

**КОЛЕСНИКОВ  
Максим  
Павлович**



Старший преподаватель кафедры распределенных интеллектуальных систем Санкт-Петербургского государственного политехнического университета.

В 2004 году окончил магистратуру Санкт-Петербургского государственного политехнического университета по специальности «Автоматизация и управление».

Является автором 11 научных публикаций.

Область научных интересов — динамические системы на многообразиях, геометрические методы теории управления, определение изменений (изучение эволюции) систем при взаимодействии, методы динамических систем в теории построения искусственных когнитивных систем принятия решений и др.

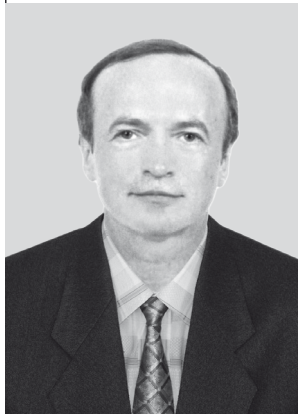
Эл. адрес: maxim.p.kolesnikov@gmail.com

**КРЮКОВ  
Дмитрий  
Алексеевич**



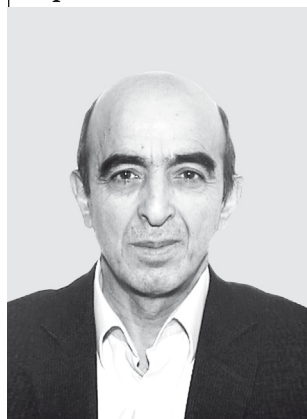
Аспирант Московского государственного института радиотехники, электроники и автоматики. В 2009 году окончил Институт криптографии, связи и информатики по специальности «Вычислительные машины, комплексы, системы и сети». Область научных интересов — GSM-сети, SMART-карты, программирование на языках высокого уровня.  
Эл. адрес: dm.bk@bk.ru

**КУЗНЕЦОВ  
Игорь  
Борисович**



Директор Санкт-Петербургского «Учебно-тренировочного центра», заслуженный работник транспорта РФ. В 1977 году окончил Ленинградскую академию гражданской авиации по специальности «Эксплуатация воздушного транспорта». В 1990 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 19 научных публикаций. Область научных интересов — летная эксплуатация воздушных судов, исследование вопросов совершенствования пилотирования и подготовки летного состава.  
Эл. адрес: kuzn@smart.spb.ru

**КУРБАНОВ  
Вугар  
Гариб оглы**



Старший научный сотрудник лаборатории методов и средств автоматизации Института проблем машиноведения РАН. В 1976 году окончил Азербайджанский государственный университет им. С. М. Кирова по специальности «Прикладная математика». В 1983 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук. Является автором более 45 научных публикаций. Область научных интересов — математическое моделирование процессов управления, методы логического анализа систем, логико-вероятностные методы.  
Эл. адрес: vugar\_borchali@yahoo.com

**ЛОВЛИН  
Сергей  
Юрьевич**



Аспирант, младший научный сотрудник кафедры электротехники и прецизионных электромеханических систем Санкт-Петербургского государственного университета информационных технологий, механики и оптики. В 2010 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики по специальности «Электропривод и автоматика промышленных установок и технологических комплексов». Является автором трех научных публикаций. Область научных интересов — прецизионные системы управления.  
Эл. адрес: seri-l@yandex.ru

**МАКАРЕНКО  
Сергей  
Иванович**



Преподаватель кафедры автоматизации управления войсками Военно-космической академии им. А. Ф. Можайского. В 2007 году окончил Ставропольский филиал Военного авиационного технического университета им. Н. Е. Жуковского по специальности «Автоматизированные системы управления и обработки информации». В 2007 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором более 80 научных публикаций. Область научных интересов — воздействие преднамеренных помех на канальном, сетевом, транспортном уровнях сетей связи, нестационарные процессы в сетях связи.  
Эл. адрес: mak-serg@yandex.ru

**МАКАРОВ  
Валентин  
Павлович**



Профессор, советник ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», действительный член Академии навигации и управления движением, член-корреспондент Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского. В 1965 году окончил Куйбышевский политехнический институт по специальности «Электроизмерительная техника». В 1996 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 70 научных публикаций. Область научных интересов — системы управления движением автоматических космических аппаратов.  
Эл. адрес: csdb@samtel.ru

**МОТЫКО**  
**Александр**  
**Александрович**



Ассистент кафедры электронных и телевизионных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2008 году окончил Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения по специальности «Аудиовизуальная техника». Является автором восьми научных публикаций. Область научных интересов — цифровая обработка изображений. Эл. адрес: motyko.alexandr@yandex.ru

**НИКОЛАЕВ**  
**Дмитрий**  
**Андреевич**



Инженер-программист ЗАО «СКБ Орион». В 2000 году окончил Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» по специальности «Информационно-измерительные системы и технологии». Является автором 12 научных публикаций. Область научных интересов — теория выбросов траектории случайных процессов, проектирование алгоритмов обработки телеметрической информации, системы автоматизированного анализа и поддержки принятия решений реального времени. Эл. адрес: nikolaev@skborion.ru

**ОНЕВСКИЙ**  
**Павел**  
**Михайлович**



Доцент кафедры информационных процессов и управления Тамбовского государственного технического университета. В 1979 году окончил Киевское высшее военное авиационное инженерное училище по специальности «Автоматическое электро- и приборное оборудование пилотируемых летательных аппаратов». В 1986 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 56 научных публикаций. Область научных интересов — теория управления, методы моделирования процессов и систем, автоматизация технологических процессов. Эл. адрес: onev1@mail.ru

**ОРЛОВА**  
**Оксана**  
**Баировна**



Старший государственный таможенный инспектор Балтийской таможни, аспирант кафедры электронной коммерции и маркетинга Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 2004 году окончила Санкт-Петербургский государственный университет по специальности «Юриспруденция». Является автором девяти научных публикаций. Область научных интересов — системный анализ, проектное управление предприятиями и др. Эл. адрес: boksa007@rambler.ru

**ОСИПОВ**  
**Дмитрий**  
**Сергеевич**



Старший научный сотрудник лаборатории информационных технологий передачи, анализа и защиты данных Института проблем передачи информации им. А. А. Харкевича РАН. В 2003 году окончил Московский государственный технический университет по специальности «Системы автоматического управления». В 2008 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 20 научных публикаций. Область научных интересов — теория передачи информации, разработка и исследование моделей систем множественного доступа, технологии защиты данных, передаваемых по беспроводным каналам связи и др. Эл. адрес: d\_osipov@iitp.ru

**ОХТИЛЕВ**  
**Михаил**  
**Юрьевич**



Профессор кафедры компьютерной математики и программирования Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, лауреат премии Правительства Санкт-Петербурга. В 1982 году окончил Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского по специальности «Автоматизированная обработка и анализ информации». В 2000 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 150 научных публикаций, в том числе трех монографий. Область научных интересов — теория программирования, теория алгоритмов, системы реального времени, математическая логика и др. Эл. адрес: oxt@mail.ru

**ПОГОНИН**  
**Василий**  
**Александрович**



Профессор кафедры информационных процессов и управления Тамбовского государственного технического университета, почетный работник высшего профессионального образования РФ. В 1970 году окончил Воронежский политехнический институт по специальности «Автоматика и телемеханика».

В 2002 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором 76 научных публикаций и семи запатентованных изобретений.

Область научных интересов — теория управления, методы моделирования процессов и систем, робототехника.

Эл. адрес: pva@mail.ahp.tstu.ru

**РОЖКОВ**  
**Николай**  
**Николаевич**



Доцент кафедры математики, главный специалист отдела менеджмента качества Санкт-Петербургского государственного университета технологии и дизайна.

В 1977 году окончил Ленинградский государственный университет им. А. А. Жданова по специальности «Прикладная математика».

В 1981 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата физико-математических наук.

Является автором более 60 научных публикаций, в том числе одной монографии.

Область научных интересов — статистика объектов нечисловой природы, статистический контроль качества, применение методов квалиметрии в оценке качества услуг в социальной сфере. Эл. адрес: nnr29@bk.ru

**РОССИЕВ**  
**Андрей**  
**Юрьевич**



Ведущий инженер ЗАО «СКБ Орион».

В 1984 году окончил Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского по специальности «Системы управления летательных аппаратов».

Является автором десяти научных публикаций.

Область научных интересов — модели и алгоритмы оценивания технического состояния космических систем, автоматизированные системы управления в космической отрасли.

Эл. адрес: rossiev@skborion.ru

**СИМОНОВА**  
**Елена**  
**Витальевна**



Доцент кафедры информационных систем и технологий Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королева, ведущий аналитик ООО «НПК «Разумные решения».

В 1985 году окончила Куйбышевский авиационный институт по специальности «Автоматизированные системы управления».

В 1994 году защитила диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 80 научных публикаций.

Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, онтологическое представление знаний.

Эл. адрес: simonova.elena.v@gmail.com

**СКОБЕЛЕВ**  
**Петр**  
**Олегович**



Профессор кафедры инженерии знаний Поволжского государственного университета телекоммуникаций и информатики, ведущий научный сотрудник Института проблем управления сложными системами РАН, президент группы компаний «Генезис знаний».

В 1983 году окончил Куйбышевский авиационный институт.

В 2003 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором 120 научных публикаций и трех запатентованных изобретений.

Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, понимании текста, извлечении знаний и др.

Эл. адрес: petr.skobelev@gmail.com

**СОКОЛОВ**  
**Борис**  
**Владимирович**



Заместитель директора по научной работе Санкт-Петербургского института информатики и автоматизации РАН, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства Санкт-Петербурга.

В 1974 году окончил Военный инженерный Краснознаменный институт им. А. Ф. Можайского.

В 1993 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук.

Является автором более 180 научных публикаций и 21 изобретения.

Область научных интересов — автоматизация процессов управления сложными техническими объектами, структурно-функциональный синтез и управление развитием самоорганизующихся информационных систем и др.

Эл. адрес: sokol@iias.spb.su

**СОЛЛОГУБ**  
**Анатолий**  
**Владимирович**



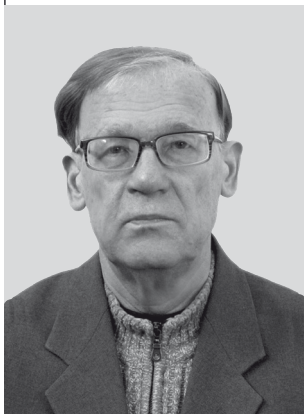
Профессор, главный научный сотрудник ФГУП ГНП РКЦ «ЦСКБ-Прогресс», заслуженный деятель науки и техники РФ, действительный член Академии космонавтики им. К. Э. Циолковского, Академии навигации и управления движением. В 1960 году окончил Куйбышевский авиационный институт по специальности «Инженер-механик по самолетостроению». В 1988 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 90 научных публикаций. Область научных интересов — моделирование и автоматизация проектирования ракетно-космической техники. Эл. адрес: SollogubAV@mail.ru

**СТЕПАНОВ**  
**Максим**  
**Евгеньевич**



Студент факультета информатики Самарского государственного аэрокосмического университета им. академика С. П. Королёва, разработчик ООО «НПК «Разумные решения». Является автором трех научных публикаций. Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами. Эл. адрес: multinodus@gmail.com

**ТИМОФЕЕВ**  
**Борис**  
**Семенович**



Профессор кафедры электронных и телевизионных систем Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения. В 1959 году окончил Ленинградский институт авиационного приборостроения по специальности «Радиотехника». Является автором 151 научной публикации. Область научных интересов — автоматизированные телевизионные системы, цифровая обработка изображений. Эл. адрес: timofeev-boris36@mail.ru

**ТРЕТЬЯКОВ**  
**Александр**  
**Александрович**



Доцент кафедры информационных процессов и управления Тамбовского государственного технического университета. В 1997 году окончил Тамбовский государственный университет по специальности «Автоматизация технологических процессов и производств». В 2003 году защитил диссертацию на соискание ученой степени кандидата технических наук. Является автором 34 научных публикаций. Область научных интересов — теория управления, методы моделирования процессов и систем, автоматизация технологических процессов. Эл. адрес: sasha@mail.ahp.tstu.ru

**ХИМЕНКО**  
**Виталий**  
**Иванович**



Профессор, заведующий кафедрой компьютерной математики и программирования, первый проректор Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического приборостроения, заслуженный деятель науки РФ, лауреат премии Правительства РФ в области образования. В 1969 году окончил Куйбышевский политехнический институт. В 1992 году защитил диссертацию на соискание ученой степени доктора технических наук. Является автором более 150 научных публикаций. Область научных интересов — статистическая радиофизика, обработка информации в системах живой и неживой природы. Эл. адрес: vera@aanet.ru

**ЦАРЕВ**  
**Александр**  
**Вячеславович**



Генеральный директор ООО «НПК «Разумные решения», аспирант Института проблем управления сложными системами РАН. В 2001 году окончил Самарский государственный аэрокосмический университет по специальности «Физика». Является автором 30 научных публикаций. Область научных интересов — мультиагентные системы для решения сложных задач в управлении ресурсами, онтологическое представление знаний, искусственный интеллект. Эл. адрес: at@anarun.net



УДК 004.932.2

Измерение скоростей автомобилей путем анализа видеопоследовательности

*Тимофеев Б. С., Мотыко А. А.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 2–7.

Проведен краткий обзор дистанционных измерителей скоростей автомобилей, выявлены основные недостатки современных решений. Предложен новый телевизионный метод измерения скорости движущихся объектов на основе анализа видеоряда. Даны результаты экспериментальных исследований.

*Ключевые слова* — телевизионный измеритель скорости, цифровая обработка изображений, система транспортного мониторинга.

Список лит.: 9 назв.

УДК 681.5.015

Метод идентификации электромеханической системы при переменном моменте трения

*Арановский С. В., Ловлин С. Ю., Александрова С. А.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 8–11.

Рассматривается задача идентификации электропривода в условиях переменного момента трения. Предложен подход, основанный на введении обратной связи, возбуждении в системе колебаний и оценке их частоты. Приводится пример использования алгоритма при неравномерностях момента трения, аналогичных наблюдаемым в опорно-поворотном устройстве оптического телескопа.

*Ключевые слова* — идентификация, электропривод, неравномерный момент трения.

Список лит.: 10 назв.

УДК 519.8

Интеграция информационно-телекоммуникационных ресурсов глобальных систем мониторинга на базе единой интеллектуальной платформы

*Зелентцов В. А., Охтилев М. Ю., Соколов Б. В., Хименко В. И.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 12–15.

Анализируются основные требования и базовые подходы к созданию интегрированного информационно-телекоммуникационного ресурса глобальных систем мониторинга природных и техногенных объектов. В качестве прототипа таких систем рассматривается Международная аэрокосмическая система глобального мониторинга. Показаны состав и основные преимущества использования интеллектуальной информационной технологии и соответствующей платформы для интеграции ресурсов данной системы.

*Ключевые слова* — глобальные системы мониторинга, интеллектуальная информационная технология, информационно-телекоммуникационные ресурсы.

Список лит.: 4 назв.

УДК 004.932.2

Measuring the Speed of Vehicles by Analyzing Image Sequence

*Timofeev B. S., Motyko A. A.* IUS, 2012. N 1. P. 2–7.

The article gives a short review of the methods of measuring the speed of vehicles. It explains the main disadvantages of the existing methods. A new television method of measuring the speed of vehicles based on the analysis of image sequences is proposed. The results of the experiments are given.

*Keywords* — TV Measuring the Speed, Digital Image Processing, Road Traffic Data.

Refs: 9 titles.

УДК 681.5.015

Identification Method for the Electromechanical System with the Variable Friction Torque

*Aranovskiy S. V., Lovlin S. U., Aleksandrova S. A.* IUS, 2012. N 1. P. 8–11.

The problem of identification of the drive with the variable friction torque is considered. The method based on endorsement of feedback, exaction of harmonic oscillations in the system and its frequency estimation is proposed. An example of using the proposed algorithm for the variable friction torque equal to the one existing in the optical telescope is given.

*Keywords* — Identification, Drive, Variable Friction Torque.

Refs: 10 titles.

УДК 519.8

Integration of Information and Telecommunication Resources of Global Monitoring Systems based on the Uniform Intelligent Platform

*Zelentsov V. A., Okhtilev M. Yu., Sokolov B. V., Khimenko V. I.* IUS, 2012. N 1. P. 12–15.

The basic requirements and fundamental approaches to creation of an integrated information and telecommunication resource of global monitoring systems for natural sites and industrial facilities are considered. The International Global Monitoring Aerospace System (IGMASS) is considered as a prototype of such a system. The structure and main advantages of the intelligent information technology and related platform for the integration of IGMMASS resources are demonstrated.

*Keywords* — Global Monitoring Systems, Intelligent Information Technology, Information Resources, IT Resources.

Refs: 4 titles.

УДК 629.78

Принципы управления космическими аппаратами мониторинга Земли в аномальных ситуациях

*Ахметов Р. Н., Макаров В. П., Соллогуб А. В.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 16–22.

Приводится постановка задачи управления космическими аппаратами мониторинга Земли в аномальных ситуациях. Определяются свойства, характеризующие их живучесть, и рассматриваются принципы построения системы управления живучестью космических аппаратов мониторинга Земли.

*Ключевые слова* — живучесть космического аппарата мониторинга Земли, аномальные ситуации, целевые показатели эффективности, точки сингулярности, точки бифуркации.

Список лит.: 7 назв.

УДК 681.5

Логический метод для управления электроприводами контррефлектора

*Курбанов В. Г., Городецкий А. Е.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 23–26.

Предложен способ, который позволяет сводить исходные системы в форме системы логических уравнений к линейным системам алгебраических уравнений в форме, известной как линейные последовательностные машины. Это дает возможность привести поиск оптимального управления контррефлектора к задаче математического программирования.

*Ключевые слова* — контррефлектор, логический анализ, электропривод, линейные последовательностные машины.

Список лит.: 3 назв.

УДК 629.7.0

Прогнозирующие алгоритмы управления динамическими объектами

*Погонин В. А., Оневский П. М., Третьяков А. А., Иванов А. М.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 27–32.

Предложены алгоритмы терминального управления нелинейными динамическими объектами, использующие методы математического программирования для поиска оптимального решения. Благодаря применению прогнозирующих моделей, включающих наряду с моделями объектов уравнения чувствительности, задача оптимального управления сводится к задаче на условный экстремум функции нескольких переменных.

*Ключевые слова* — оптимальное управление, прогнозирующая модель.

Список лит.: 6 назв.

УДК 629.78

Principles of the Earth Observation Satellites Control in Contingencies

*Akhmetov R. N., Makarov V. P., Sollogub A. V.* IUS, 2012. N 1. P. 16–22.

The Problem of the Earth observation satellites control in contingencies is put forward. Survivability behavior properties of unmanned spacecrafts are defined. Principles of satellites survivability control system arrangement are considered.

*Keywords* — Survivability of the Earth Observation Satellite, Contingencies, Target Efficiency Indices, Points of Singularity and Bifurcation.

Refs: 7 titles.

УДК 681.5

Logical Method of Control over Electric Drives of Sub-Reflector

*Kurbanov V. G., Gorodetsky A. E.* IUS, 2012. N 1. P. 23–26.

The method which enables bringing the initial systems in the form of logical equations to the linear systems of algebraic equations in the form of linear sequential machines is proposed. The scheme of bringing the optimization task of the Sub-Reflector to the task of mathematical programming is shown.

*Keywords* — Sub-Reflector, Logical Analysis, Electric Drive, Linear Sequential Machines.

Refs: 3 titles.

УДК 629.7.0

Predicting Algorithms of Dynamic Objects Control  
*Pogonin V. A., Onevsky P. M., Tret'yakov A. A., Ivanov A. M.* IUS, 2012. N 1. P. 27–32.

Terminal control algorithms of non-linear dynamic objects using methods of mathematical programming for the search of an optimum decision are proposed. Due to the use of the predicting models which include both models of objects and equations of sensitivity the task of optimal control is reduced to the task on the conditional extremum of a several variables function.

*Keywords* — Optimal Control, Predicting Model.

Refs: 6 titles.

## УДК 629.78

Модели для решения сетевых задач планирования и управления групповыми операциями кластера малоразмерных космических аппаратов

*Соллогуб А. В., Скобелев П. О., Симонова Е. В., Царев А. В., Степанов М. Е.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 33–38.

Предлагаются модели бортовой базы знаний для агентов — малоразмерных космических аппаратов по разделу «условия видимости», используемые при решении большого количества задач планирования и управления групповыми операциями, выполняемых кластером малоразмерных космических аппаратов без привлечения наземных служб. Данные модели можно рассматривать как элементы «встроенной самоорганизации» систем управления кластером.

*Ключевые слова* — распределенная космическая система дистанционного зондирования Земли, кластер малоразмерных космических аппаратов, мульти-агентная система, бортовая база знаний.

Список лит.: 6 назв.

## УДК 519.2

Модель измерительной информации в системах мониторинга космических средств

*Каргин В. А., Николаев Д. А., Россиев А. Ю., Бородько Д. Н.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 39–43.

На основе результатов исследования вероятностной структуры измерительной информации, полученной с ракеты-носителя типа «Союз», предложены одно- и двумерные модели информационных процессов, которые могут быть положены в основу разрабатываемых оперативных алгоритмов обработки измерительной информации для систем мониторинга реального времени.

*Ключевые слова* — системы мониторинга, реальный масштаб времени, ракета-носитель, неопределенность измерительной информации, вероятностные смеси.

Список лит.: 9 назв.

## УДК 681.3

Моделирование обслуживания нестационарного информационного потока системой связи со случайным множественным доступом

*Макаренко С. И., Татарков М. А.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 44–50.

Проведено моделирование нестационарного потока в сети связи с CSMA методом доступа абонентов. Рассмотрен пуассоновский нестационарный поток с интенсивностью, представленной псевдослучайной тригонометрической функцией. Оценены показатели качества сети связи с данным входным потоком. Обосновано резервирование дополнительного канала в составе системы связи для обслуживания рассматриваемых информационных потоков.

*Ключевые слова* — нестационарный пуассоновский поток, показатели качества обслуживания, метод CSMA.

Список лит.: 19 назв.

## UDK 629.78

Simulation Models for Network-Centric Problems of Scheduling and Group Operational Control of a Cluster of Small Space Ships and Mini-Satellites

*Sollogub A. V., Skobelev O. P., Simonova E. V., Tzarev A. V., Stepanov M. E.* IUS, 2012. N 1. P. 33–38.

The models of the on-board knowledge base for the agents of mini-satellites differentiated by visibility conditions are proposed. These models are used to solve a big amount of scheduling and control problems of group operations carried out by a cluster of mini-satellites without any involvement of the land service. The given models can be regarded as components of «embedded self-organization» of the cluster control system.

*Keywords* — Distributed Space System of the Earth Remote Sensing, Small Satellites Cluster, Multi-Agent System, On-Board Knowledge Base.

Refs: 6 titles.

## UDK 519.2

Measuring Information Model in the Spacecraft Monitoring Systems

*Kargin V. A., Nikolaev D. A., Rossiev A. Yu., Borodko D. N.* IUS, 2012. N 1. P. 39–43.

One and two-dimension models of information processes are suggested based on the research results of measuring information probability structure obtained from the launch vehicle «Soyuz». These models may form a foundation for developed operational algorithms of measuring information processing for real time monitoring systems.

*Keywords* — Monitoring Systems, Real Time Scale, Launch Vehicle, Uncertainty of Measurement Data, Probabilistic Blends.

Refs: 9 titles.

## UDK 681.3

Non-Stationary Traffic Service Modeling in the Communication System with CSMA

*Makarenko S. I., Tatarkov M. A.* IUS, 2012. N 1. P. 44–50.

The modeling of service of the non-stationary traffic in the communication system with CSMA is carried out. The Poisson non-stationary stream with the intensity represented by a pseudorandom trigonometric function is considered. The quality of service for the communication system with the non-stationary traffic input is assessed. The use of the additional telecommunication channel for the communication system structure of service of the non-stationary traffic is grounded.

*Keywords* — Non-Stationary Poisson Traffic, Quality of Service, CSMA Method.

Refs: 19 titles.

УДК 004.896:004.925.8

Построение динамических геометрических моделей окружающего пространства для мобильных автономных систем

*Бабакина Н. А., Колесников М. П.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 51–59.

Рассматривается метод построения динамических геометрических моделей объектов окружающего пространства, позволяющий решать задачу целенаправленного перемещения мобильных автономных систем. Предлагаемый подход основан на представлении получаемых образов окружающего пространства в виде упорядоченных структур одномерных симплексов, что дает возможность реализовать быстродействующие алгоритмы картографирования, локализации и идентификации объектов окружающего пространства.

*Ключевые слова* — техническое зрение, локализация, SLAM, представление окружающего пространства, построение карты, геометрическая модель объекта.

Список лит.: 8 назв.

UDK 004.896:004.925.8

Construction of Dynamic Geometric Models of the Environment for Mobile Autonomous Systems

*Babakina N. A., Kolesnikov M. P.* IUS, 2012. N 1. P. 51–59.

The construction method for dynamic geometric models of surrounding space objects allowing to solve the problem of the goal-oriented moving of mobile autonomous system is considered. The proposed approach is based on surrounding space image representation in the form of ordered structures of one-dimension simplexes that gives an opportunity to develop the fast algorithms of mapping, localization and surrounding space objects identification.

*Keywords* — Machine Vision, Localization, SLAM, Surrounding Space Representation, Surrounding Space Mapping, Geometric Model of the Object.

Refs: 8 titles.

УДК 004.434

Инкрементальный предметно-ориентированный процесс разработки прикладного программного обеспечения

*Андреев Н. Д., Новиков Ф. А.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 60–66.

Рассматриваются причины ограниченного применения проблемно- и предметно-ориентированных языков и предлагается инкрементальный и итеративный предметно-ориентированный процесс разработки прикладного программного обеспечения, призванный расширить сферу применения предметно-ориентированного подхода на практике. Раскрываются преимущества использования этого подхода для разработки заказного прикладного программного обеспечения, ориентированного на определенную предметную область.

*Ключевые слова* — программное обеспечение, процесс разработки, предметно-ориентированные языки, аутсорсинг в информационных технологиях.

Список лит.: 14 назв.

UDK 004.434

Incremental Domain-Oriented Applied Software Development Process

*Andreev N. D., Novikov F. A.* IUS, 2012. N 1. P. 60–66.

The reasons of limited usage of problem- and domain-oriented languages are considered. The incremental and iterative domain-oriented software development process is proposed to address these issues and to widen the usage of the domain-oriented approach in practice. Advantages of using such an approach for business of outsourcing software development companies oriented toward a particular domain are shown.

*Keywords* — Software Development Process, Software Engineering, Domain-Specific Languages, Outsourcing in Information Technologies.

Refs: 14 titles.

УДК 621.391

О скорости передачи данных в одной системе множественного доступа

*Осипов Д. С., Грошев Ф. В.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 67–75.

Рассматривается система множественного доступа, использующая псевдослучайное переключение частот в динамически выделяемом частотном диапазоне и некогерентный пороговый прием. Для такой системы предложен метод увеличения скорости передачи на основе выделения пользователю нескольких независимых потоков данных. Показаны эффективность данного метода (с точки зрения максимальной скорости надежной передачи), а также эффективность использования порога, имеющего постоянную величину.

*Ключевые слова* — множественный доступ, псевдослучайное переключение частот, динамически выделяемые частотные поддиапазоны, некогерентный пороговый прием, скорость передачи.

Список лит.: 7 назв.

УДК 004.03

Идентификация смарт-карт на основе односторонних преобразований

*Крюков Д. А.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 76–78.

Рассматривается подход к построению системы идентификации для устройств с ограниченными ресурсами и памятью, таких как смарт-карты, брелоки, устройства RFID и т. п. Стойкость протокола основывается на стойкости используемых криптопримитивов, а также на предполагаемой возможности стойкого объединения логики при проектировании схем устройства терминала.

*Ключевые слова* — смарт-карты, RFID, симметричные алгоритмы, системы идентификации.

Список лит.: 4 назв.

УДК 629.7.072.4

Видеоокулографические методы исследования зрительной деятельности пилота

*Кузнецов И. Б.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 79–83.

Приводятся методика и результаты экспериментального исследования зрительной деятельности пилота, обосновывается необходимость обучения и предлагается использование специального оборудования для подготовки пилотов на комплексных и пилотажных тренажерах.

*Ключевые слова* — авиационный тренажер, распределение, переключение зрительного внимания, пилотажные параметры, система отображения информации.

Список лит.: 5 назв.

УДК 621.391

The Information Transmission Rate in a Multiple Access System

*Osipov D. S., Groshev F. V.* IUS, 2012. N 1. P. 67–75.

The Dynamic Hopset Allocation OFDMA system employing frequency hopping in a dynamically allocated hopset as well as non-coherent threshold reception is considered. For the system under consideration a method enabling rate increase by allocating several independent data threads to a certain user is introduced. The effectiveness of the proposed method (in terms of the maximum possible transmission rate (MPTR) that ensures reliable data transmission) is evaluated. Effectiveness of the fixed threshold value use (in terms of MPTR) is verified.

*Keywords* — Multiple Access, Frequency Hopping, Dynamically Allocated Hopsets, Non-Coherent Threshold Reception, Transmission Rate.

Refs: 7 titles.

УДК 004.03

Smart Card Identification Model Based on One-Way Transformations

*Kryukov D. A.* IUS, 2012. N 1. P. 76–78.

An approach to construction of the identification system for the devices with limited resources and memory such as smart cards, e-tokens, RFID devices, etc. is laid down. The protocol persistence is based on encryption solutions as well as on the alleged possibility of a stable association of logic circuits at engineering the terminal equipment.

*Keywords* — Smart-Card, RFID, Symmetrical Algorithms, Identification Systems.

Refs: 4 titles.

УДК 629.7.072.4

Videoculographic Methods of the Pilot's Visual Activity Research

*Kuznetsov I. B.* IUS, 2012. N 1. P. 79–83.

Methodology and results of the pilot's visual activity experimental research are given. The necessity of training is justified. Special equipment application for pilots' training on full flight simulators and flight simulators is suggested.

*Keywords* — Flight Simulator, Visual Attention Distribution, Visual Attention Changeover, Flight Parameters, Data Display System.

Refs: 5 titles.

## УДК 61:006

Оценка качества медицинских услуг на основе статистических критериев соблюдения норм медико-экономических стандартов

*Рожков Н. Н.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 84–87.

Соблюдение нормативных требований медико-экономических стандартов проверяется при помощи статистических критериев, основанных на значениях частоты применения и средней кратности оказания медицинских услуг.

*Ключевые слова* — качество медицинских услуг, медико-экономический стандарт, частота применения.

Список лит.: 2 назв.

## УДК 334.021.1

Организация электронного документооборота в портовых экономических зонах

*Орлова О. Б.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 88–91.

Рассмотрены проблемы организации межведомственного электронного документооборота в особых портовых экономических зонах. Продемонстрировано соответствие между сформулированными предложениями и общей тенденцией развития электронного документооборота в стране. Предложена схема взаимодействия заинтересованных сторон по обмену информацией.

*Ключевые слова* — электронный документооборот, особые портовые экономические зоны, управление товародвижением.

Список лит.: 5 назв.

## УДК 004.9

О прикладных аспектах применения M-матриц

*Балонин Ю. Н., Востриков А. А., Сергеев М. Б.* Информационно-управляющие системы, 2012. № 1. С. 92–93.

Рассматриваются свойства ортогональных минимаксных M-матриц, затрагивающие аспекты их прикладного использования для кодирования и маскирования изображений.

*Ключевые слова* — ортогональные минимаксные матрицы, M-матрицы, матрицы Адамара, матрицы Белевича, маскирование изображений.

Список лит.: 11 назв.

## UDK 61:006

Quality Assessment of Medical Services based on Statistical Criteria for Compliance with Medico-Economic Standards

*Rozhkov N. N.* IUS, 2012. N 1. P. 84–87.

Compliance with the requirements of medico-economic standards is tested by means of statistical criteria based on the values of the frequency of use and the average multiplicity of medical services.

*Keywords* — Quality of Medical Services, Medico-Economic Standard, Frequency of Use.

Refs: 2 titles.

## UDK 334.021.1

Electronic Document Circulation Management in Seaport Economic Areas

*Orlova O. B.* IUS, 2012. N 1. P. 88–91.

The problems of the interdepartmental electronic document circulation in the special seaport economic area have been considered. The correspondence between the formulated proposals and a common electronic document circulation development trend in our country has been demonstrated. The set-up of interaction between the parties interested in information interchange has been proposed.

*Keywords* — Electronic Document Circulation, Special Seaport Economic Area, Goods Traffic Management.

Refs: 5 titles.

## UDK 004.9

Applied Aspects of M-Matrix Use

*Balonin Yu. N., Vostrikov A. A., Sergeev M. B.* IUS, 2012. N 1. P. 92–93.

The properties of orthogonal minimax M-matrixes with regard to the aspects of their applied use for coding and image fault masking are considered.

*Keywords* — Orthogonal Minimax Matrixes, M-matrixes, Hadamard Matrixes, Belevitch Matrixes, Image Fault Masking.

Refs: 11 titles.

IX специализированная выставка  
информационных технологий

# Мир Телеком

## 12-14 марта

Волгоград 2012

Дворец Спорта профсоюзов

IT городской среды

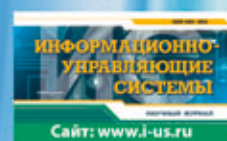
Телекоммуникационные технологии

Развитие IT

IT для бизнеса

IT-безопасность

ИНФОРМАЦИОННАЯ  
ПОДДЕРЖКА:



ОРГАНИЗАТОР:

**ВОЛГОГРАДСКИЙ  
ВЫСТАВОЧНЫЙ  
ЦЕНТР «РЕГИОН»**

Тел/факс: (8442) 26-51-86, 23-28-99, 24-26-02

E-mail: bez@regionex.ru, www.regionex.ru



ЖУРНАЛ

# ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ



Адрес: 190000, Санкт-Петербург,  
Большая Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ.  
Тел.: (812) 494-70-02. Эл. почта: 80x@mail.ru

На электронную версию нашего журнала (все выпуски, годовая подписка, один выпуск, одна статья), начиная с № 1, 2002 г. и далее, вы можете подписаться на сайте **РУНЭБ**: <http://www.elibrary.ru>

Подписку на печатную версию журнала можно оформить в любом отделении связи по каталогу: «РОСПЕЧАТЬ»: № 48060 – годовой индекс, № 15385 – полугодовой индекс;

а также посредством:

«СЕВЕРО-ЗАПАДНОЕ АГЕНТСТВО „ПРЕССИНФОРМ“»

Эл. почта: [press@crp.spb.ru](mailto:press@crp.spb.ru) [zajavka@crp.spb.ru](mailto:zajavka@crp.spb.ru)

Сайт: <http://www.pinform.spb.ru>

«МК-ПЕРИОДИКА» (РФ + 90 стран)

Эл. почта: [export@periodicals.ru](mailto:export@periodicals.ru)

Сайт: <http://www.periodicals.ru>

«АРТОС-ГАЛ»

Сайт: <http://www.artos-gal.mpi.ru/index.html>

«ИНТЕРПОЧТА»

Эл. почта: [interpochta@interpochta.ru](mailto:interpochta@interpochta.ru)

Сайт: <http://www.interpochta.ru>

«УРАЛ-ПРЕСС» (филиалы в 40 городах РФ)

Сайт: <http://www.ural-press.ru>

«ИНФОРМНАУКА» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

Эл. почта: [Alfimov@viniti.ru](mailto:Alfimov@viniti.ru)

Сайт: <http://www.informnauka.com>

«АГЕНТСТВО „ГАЗЕТЫ В РОЗНИЦУ“» (Екатеринбург)

Эл. почта: [box@e-rospechat.ru](mailto:box@e-rospechat.ru)

Сайт: <http://e-rospechat.ru>

«КОММЕРСАНТ-КУРЬЕР» (Казань)

Эл. почта: [kazan@komcur.ru](mailto:kazan@komcur.ru)

Сайт: <http://www.komcur.ru/contacts/kazan>

«ИДЕЯ» (Украина)

Сайт: <http://idea.com.ua>

«BTL» (Узбекистан)

Сайт: <http://btl.sk.uz/ru/cat17.html>

и др.

Возможно оформление редакционной подписки, как на текущий год, так и на все вышедшие в свет номера журнала, по заявке организации или частного лица:

по эл. почте: [80x@mail.ru](mailto:80x@mail.ru)

по телефону: (812) 494-70-02

по почте: 190000, Санкт-Петербург, Б. Морская ул., д. 67, ГУАП, РИЦ,  
Редакция журнала «Информационно-управляющие системы».

После оплаты счета мы высылаем заказанные номера журнала.  
При необходимости высылаем журнал наложенным платежом.

Выходит каждые два месяца.

Стоимость годовой подписки (6 номеров): для подписчиков России – 3600 рублей, для зарубежных подписчиков – 4200 рублей, включая НДС 18 %, таможенные и почтовые расходы.

