

УДК 004.896

МОДЕЛЬ НАВИГАЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО КОМПЛЕКСА В МНОГОКОМПОНЕНТНОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СРЕДЕ

А. А. Кобяков^а, заместитель генерального директора

К. В. Лапшина^а, начальник научно-исследовательской лаборатории

Е. Л. Новикова^б, ассистент

Ю. А. Ямщиков^а, инженер-программист

^аОАО «Концерн «Гранит-Электрон», Санкт-Петербург, РФ

^бСанкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения, Санкт-Петербург, РФ

Постановка проблемы: при проектировании современных морских робототехнических комплексов возникают различные проблемы: анализа информационных потребностей автономных агентов; исследования и моделирования информационных структур и процессов, связанных с поиском, получением, накоплением и обработкой информации искусственными когнитивными агентами; изучения методов формирования оценок, мнений и знаний искусственными когнитивными агентами на основе перерабатываемой ими информации. Для решения этих проблем авторами предлагается общая модель навигации робототехнического комплекса, основанная на агентно-ориентированной методологии, в которой рассматриваемые системы и их компоненты интерпретируются как когнитивные агенты. **Результаты:** исследованы основные особенности проектирования робототехнических комплексов с использованием агентно-ориентированного подхода, в том числе раскрыты особенности архитектуры и функционирования интеллектуальных агентов. Описана особенность искусственных когнитивных агентов, которая отличает их от других интеллектуальных систем, — получение информации непосредственно от человека, от сенсорной сети и из своей базы знаний и данных. Разработана общая структура комбинированной навигации когнитивного агента, обеспечивающая его функционирование в двух разных режимах: «первичной» навигации, связанной с перемещением агента к цели на основе гранулярной информации; «уточненной» навигации, опирающейся на текущие числовые данные о среде, получаемые от сенсорной системы. Сформирована иерархическая двухконтурная система управления, где обычная схема классического управления дополняется подсистемой нечеткого управления. **Практическая значимость:** предложенная авторами навигационная модель, основанная на агентно-ориентированном подходе, может быть использована при проектировании морских робототехнических комплексов как гражданского, так и военного назначения, что позволит значительно уменьшить трудоемкость проектирования в целом.

Ключевые слова — робототехнические комплексы, когнитивные агенты, архитектура, информационное взаимодействие, диалоговое и рефлексивное управление, многокомпонентная внешняя среда, восприятие, поведение, навигация.

Введение

Современные робототехнические комплексы нуждаются в разработке общих навигационных моделей для многокомпонентных информационных пространств, где системы и их компоненты рассматриваются как когнитивные агенты. Основная особенность таких агентов — информационное взаимодействие высокого уровня. В рассматриваемой многокомпонентной среде присутствуют как естественные, так и искусственные информационные агенты. Исходя из этого, мы отмечаем необходимость анализа потребностей когнитивных агентов при моделировании ситуаций взаимодействий (поиск, получение и обработка информации когнитивными агентами). Очень важным моментом при этом является возможность обрабатывать разноуровневые и слабоформализованные информационные потоки, а также формализовать взаимодействия когнитивных агентов. Последнее потребует применения специфических методов и алгоритмов. Отдельно стоит рассмотреть методы управления когнитивными агентами, исходя из специфики решаемых задач.

Основы проектирования когнитивных агентов

Уровень интеллектуальности робота оценивают по следующим параметрам [1]:

- сложность и динамичность внешней среды;
- восприятие роботом информации о внешней среде;
- гибкость планирующей и управляющей систем робота;
- степень автономности робота.

Главным признаком интеллектуальности служит наличие развитой модели внешней среды (динамической базы знаний), что позволяет роботу действовать в условиях неопределенности. Роботы должны быть способны:

- работать в открытых динамических мирах;
- строить сложные многоцелевые планы поведения, определяемые как оценкой внешней ситуации, так и внутренней мотивацией;
- вести диалог с другими агентами.

Физический интеллектуальный агент (робот) — это техническое устройство, способное самостоятельно и целенаправленно функционировать в реальной физической среде и адекватно

реагировать на происходящие в ней изменения [2]. В его состав входит интеллектуальная система управления. Помимо этого, интеллектуальный робот должен иметь внутреннюю модель внешней среды, развитую сенсорную систему, способность к распознаванию различных ситуаций [3].

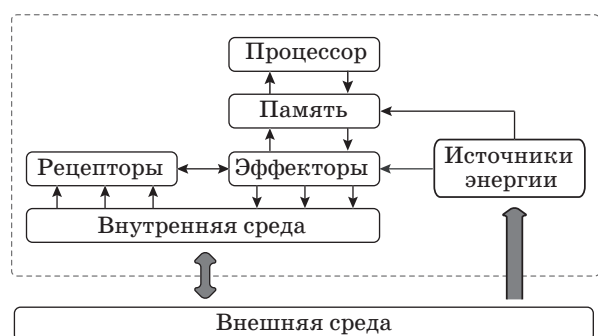
Отличительной особенностью интеллектуального агента является способность эффективно работать в условиях неполной, противоречивой, неточной, нечеткой входной (рецепторной) информации. Подобные агенты требуются, в первую очередь, для функционирования в агрессивных и экстремальных средах.

Интеллектуальный робот может рассматриваться как когнитивная система, обладающая возможностью действовать после принятия решения. Общая структура интеллектуального робота соответствует следующей схеме: интеллектуальный робот = подсистема восприятия + интеллектуальная система + подсистема действия. В развитие этой позиции можно утверждать, что роботы нового поколения должны иметь статус когнитивного агента [4].

Характер среды накладывает существенные требования на модель (архитектуру) агента, обращение к теории деятельности представляется необходимым условием проектирования индивидуальных и совместных действий агентов, а выявление особенностей взаимодействия (влияния, кооперации, коммуникации) агентов позволяет разработать исходную структуру многоагентной системы [5].

Представление об агенте как искусственном организме, развивающемся в некоторой среде, предполагает формирование и использование в качестве одной из базовых моделей агента структуры «организм — среда». Модель простейшего агента представлена на рис. 1.

Рецепторы (сенсоры) образуют систему восприятия агента, обеспечивая при этом первичную обработку информации. В памяти агента должны храниться сведения о типовых реакциях на информационные сигналы от рецепторов (датчиков, устройств контроля), а также инфор-



■ Рис. 1. Модель простейшего агента

мация о состоянии эффекторов (исполнительных устройств) и о располагаемых ресурсах (других агентах, располагаемом времени и пр.). В памяти должны содержаться программы переработки входной информации в управляющие сигналы. Блок памяти должен включать внутреннюю модель внешнего мира, модель самого агента и систему фильтров, позволяющую выделять значимую для агента информацию.

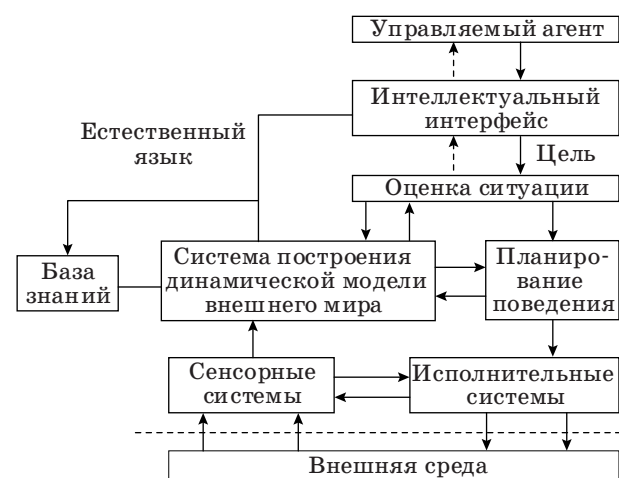
Процессор (система процессоров) обеспечивает объединение и переработку разнородных данных, выработку соответствующих решений о выполнении тех или иных действий. Выбор необходимых действий при заданных ограничениях — это ключевая способность любых агентов.

Функция эффекторов состоит в воздействии на среду, например, в захвате или перемещении объектов внешней среды.

Общая структура искусственного интеллектуального агента, получающего целеуказание от управляющего агента, приведена на рис. 2. Архитектура физического агента, управляемого путем постановки целей, включает интеллектуальный интерфейс; систему оценки ситуации; модель внешнего мира; систему планирования поведения; информационно-сенсорную и исполнительную системы, обрабатывающие информацию в реальном масштабе времени. Модель внешнего мира строится на основе базы знаний и данных, получаемых от сенсорной системы.

Главная особенность искусственного когнитивного агента (ИКА), отличающая его от других интеллектуальных систем, заключается в том, что он получает и интегрирует информацию I из трех источников:

1) от человека-пользователя на ограниченном естественном языке в виде целеуказаний и инструкций I_U ;



■ Рис. 2. Архитектура искусственного интеллектуального агента

2) от датчиков сенсорной системы I_S ;

3) из собственной базы знаний I_{kb} .

Неоднозначным (полиморфным) оказывается соответствие между множеством входных воздействий внешней среды и сенсорно-информационным множеством, а также между восприятием и представлением агента. Таким образом, основные функции агента можно описать с помощью отображений вида «один-ко-многим»:

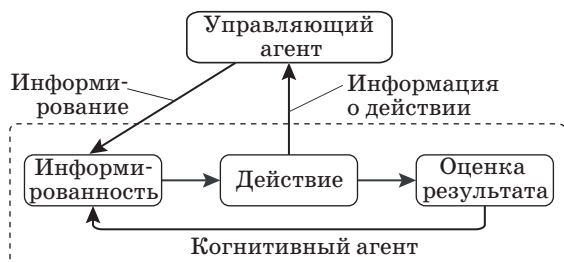
— функция восприятия имеет вид $Per: E \rightarrow A_i$, где E — внешняя среда, а A_i — множество значений атрибутов, соответствующих ее воспринимаемым компонентам (например, пространственным — «далеко», временным — «немного позже», динамическим — «движение с большой скоростью» и пр.);

— функция построения обобщенной оценки (решения) $Dec: A_i \rightarrow B_0$, где B_0 — оценка общего состояния агента («нормальное», «хорошее» и др.).

Следовательно, все большую важность приобретает проблема преобразования многоуровневой системы абстрактных пространств, используемых при описании поведения агента, с помощью семейств полиморфных отображений (т. е. отображений «один-ко-многим»).

Отличительными особенностями ИКА являются возможность общения с человеком на ограниченном естественном языке, интерпретация понятий и формирование модели внешней среды, распознавание и анализ ситуаций. Выделяются две функции общения — коммуникативно-регулятивная и коммуникативно-информационная [6]. Эти функции могут использоваться в контексте управления ИКА, когда его взаимодействие с человеком носит интерактивный характер, что приводит к сочетанию процессов самоуправления и внешнего управления. Так, достижение автономным мобильным роботом статуса когнитивного агента требует развития новых стратегий внешнего управления (со стороны человека). К их числу относятся понятия информационного, рефлексивного, адаптивного, диалогового управления.

Под информационным управлением (рис. 3) здесь понимается любое целенаправленное воз-



■ Рис. 3. Общая модель информационного управления

действие естественного агента (человека), связанное с информированием искусственного агента, которое побуждает последнего к совершению требуемых действий. Информирование может носить характер целеуказания, ограничения, создания общей информационной картины, уточнения ситуации или оценки действия. Управляющий агент передает сообщение, связанное с его потребностью, мобильному когнитивному агенту, который выбирает действие на основе своей информированности о существенных параметрах задачи. Совершив действие, ИКА наблюдает его результат и оценивает его, что, соответственно, меняет уровень информированности ИКА.

Таким образом, управляющее воздействие носит косвенный характер — оно запускает определенный алгоритм поведения физического когнитивного агента в плохо определенной среде [7].

Близкое понятие рефлексивного управления заключается в том, что управляющий агент вначале прогнозирует возможные действия управляемого агента в конкретной ситуации, сообщая ему затем определенную информацию, которая стимулирует желательный для управляющей системы выбор. Рефлексивное управление обладает рядом особенностей:

1) оно носит отражательный характер (у управляющего агента создается представление о возможной реакции управляемого агента);

2) в рефлексивном управлении велика роль формирования мотивации, определяющей цели управления;

3) рефлексивное управление пронизано неопределенностями.

Условия функционирования искусственного агента могут быть заранее неизвестными или меняться непредвиденным образом в процессе его работы. Для мобильного робота неизвестными могут быть объекты внешней среды и их отдельные параметры, характеристики грунта или характеристики информационно-измерительных датчиков, исполнительных приводов и механизмов.

Таким образом, возникает необходимость в построении адаптивных управляющих систем с элементами искусственного интеллекта, т. е. таких систем, которые способны обеспечивать целесообразное поведение агента в условиях неопределенности. Характерной чертой функционирования таких систем является то, что недостаток априорной информации компенсируется оперативной обработкой текущей информации, получаемой от сенсоров.

Диалоговое управление искусственным агентом представляет собой высшую форму интерактивного управления. Под диалогом понимается последовательность коммуникативных актов между человеком и ИКА, которые считаются способными меняться ролями («активный-пассив-

ный» участник или «говорящий-слушающий» в процессе общения). Любой диалог предполагает обмен сообщениями между агентами, связанный с изменением их задач и состояний (мнений, целей, обязательств и пр.). Диалог человека с искусственным агентом предполагает двустороннюю связь: с одной стороны, целеуказания и инструкции, передаваемые человеком агенту, с другой стороны — просьба от агента человеку уточнить исходные инструкции, сообщение сведений о текущей ситуации или информации о достижении поставленной цели.

Он может осуществляться разными способами, например, с использованием естественно-языковых средств (текстовых или голосовых). Общая модель диалогового управления представлена на рис. 4 [8].

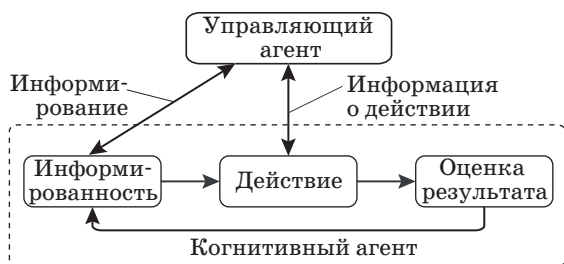
Структура диалога может рассматриваться на трех уровнях: глобальном, тематическом и локальном. Глобальная структура определяется общими свойствами решаемых системой «человек — искусственный агент» задач. Тематическая структура диалога зависит от конкретных особенностей решаемой задачи, т. е. от алгоритма ее решения (распределения задач на подзадачи) и распределения ролей между человеком и ИКА [9–11].

На локальном уровне рассматриваются отдельные шаги диалога, образуемые взаимосвязанными высказываниями его участников. Здесь шаг диалога понимается как пара «действие-реакция», где высказывание активного участника соответствует действию, а пассивного — реакции.

Основными параметрами структуры диалога на этом уровне являются инициатор шага и вид инициирования (вид действия), способ влияния действия на реакцию, способ спецификации задачи, решаемой на данном шаге. В то же время структура диалога может быть жесткой, альтернативной, гибкой (с перехватом инициативы), свободной.

Принцип диалогового управления лежит в основе построения гибкой системы навигации, способной функционировать в разных режимах (рис. 5):

1) «первичная» навигация связана с обеспечением перемещения физического когнитивного агента (ФКА) к цели на базе указаний и инструк-



■ Рис. 4. Общая модель диалогового управления



■ Рис. 5. Иерархическая схема информационного взаимодействия когнитивного агента со средой

ций, задаваемых человеком на ограниченном естественном языке;

2) «уточненная» навигация опирается на текущие данные о среде, получаемые от сенсорной системы.

В результате формируется иерархическая двухконтурная система управления, где обычная схема классического управления дополняется подсистемой нечеткого управления. Этот подход предполагает переходы от точной информации к гранулярной и наоборот.

Заключение

В статье предложены основы единого агентно-ориентированного подхода к построению модели навигации робототехнических комплексов, согласно которому системы и все их компоненты рассматриваются как естественные и искусственные агенты, взаимодействующие между собой. Сделан обзор основных свойств, интерпретаций и типов искусственных фунгов, раскрыты особенности архитектуры и функционирования интеллектуальных агентов.

Рассмотрена концепция когнитивных агентов, получающих информацию из трех источников: в процессе диалога от человека, из собственной базы знаний (данных) и от сенсорной системы.

Предложенная навигационная модель когнитивного агента обеспечивает его работу в двух разных режимах: «первичной» навигации, связанной с движением агента к цели, и «уточненной» навигации, основанной на текущих данных о среде (от сенсорной системы). В основе режима «первичной» навигации лежит организация информационного (диалогового) взаимодействия между человеком и искусственным агентом.

Литература

1. Павловский В. Е. Задачи динамики и управления мобильными роботами // Искусственный интеллект — проблемы и перспективы. Политехнические чтения. М.: Политехнический музей; РАИИ. 2006. Вып. 7. С. 155–174.
2. Скобелев П. О. Виртуальные миры и интеллектуальные агенты для моделирования деятельности компаний // Сб. науч. тр. 6-й Национальной конф. по искусственному интеллекту, Пуццо, 5–11 октября 1998 г. / РАИИ. Пуццо, 1998. Т. 2. С. 714–719.
3. Платонов А. К. Проблемы и перспективы робототехники // Робототехника, прогноз, программирование. — М.: ЛКИ, 2008. С. 9–36.
4. Кузнецов О. П. Когнитивное моделирование слабоструктурированных ситуаций // Искусственный интеллект — проблемы и перспективы. Политехнические чтения. М.: Политехнический музей; РАИИ. 2006. Вып. 7. С. 86–100.
5. Калыев И. А., Гайдук А. Р., Капустян С. Г. Модели и алгоритмы коллективного управления в группах роботов. — М.: Физматлит, 2009. — 280 с.
6. Попов Э. В. Общение с ЭВМ на естественном языке. 2-е изд. — М.: Едиториал УРСС, 2004. — 360 с.
7. Мартыненко Ю. Г. Проблемы управления и динамики мобильных роботов // Новости искусственного интеллекта. 2002. № 4. С. 18–23.
8. Васильевский А. С., Коржавин Г. А., Лапшин К. В., Никольцев В. А. Технология многоагентных систем в задаче проектирования комплекса имитационного моделирования // Менеджмент качества. Информационные технологии. 2007. № 5. С. 12–17.
9. Рыбина Г. В., Паронджанов С. С. Моделирование процессов взаимодействия интеллектуальных агентов в многоагентных системах // Искусственный интеллект и принятие решений. 2008. № 3. С. 3–15.
10. Тимофеев А. В. Многоагентное и интеллектуальное управление сложными робототехническими системами // Теоретические основы и прикладные задачи интеллектуальных информационных технологий: сб. статей/ СПИИРАН, 1998. С. 71–81.
11. Ющенко А. С. Диалоговое управление роботами с использованием нечетких моделей // Интегрированные модели и мягкие вычисления в искусственном интеллекте: сб. тр. 5-й Междунар. науч.-практ. конф., Коломна, 28–30 мая 2009 г. М.: Физматлит, 2009. Т. 1. С. 97–108.

UDC 004.896

Robotic Complex Navigation Model in Multicomponent Information Environment

Kobyakov A. A.^a, Deputy General Director, cri-granit@peterlink.ruLapshin K. V.^a, Chief of Scientific Research Laboratory, kir_i_k@mail.ruNovikova E. L.^b, Assistant Professor, kir_i_k@mail.ruYamshchikov Y. A.^a, Programmer Engineer, gcabman@yandex.ru^aFSPC JSC «Concern «Granit-Electron», 3, Gospitalnaia St., 191014, Saint-Petersburg, Russian Federation^bSaint-Petersburg State University of Aerospace Instrumentation, 67, B. Morskaya St., 190000, Saint-Petersburg, Russian Federation

Purpose: In the design of modern marine robotic complexes, various problems arise: analyzing the informational needs of autonomous agents; studying and modeling the information structures and processes associated with the search, acquisition, accumulation and processing of the information by artificial cognitive agents; the development of estimates, opinions and knowledge by artificial cognitive agents on the basis of the information they process. To solve these problems, the authors propose a general model of a navigational robotic complex based on agent-oriented methodology where the systems and their components are interpreted as cognitive agents. **Results:** The main features of developing robotic complexes using agent-oriented approach were studied, including the architectural features and intelligent agent functioning. A feature of artificial cognitive agents was described which distinguishes them from other intelligent systems – getting information from three sources: directly from a human, from a sensory system and from its own database/knowledge base. A general scheme was developed of a combined navigation for a cognitive agent, which provides its functioning in two different modes: "rough" navigation associated with the movement of the agent to the target on the base of the granular information, and "accurate" navigation based on the current numerical data about the environment obtained from the sensor system. A hierarchical dual control system was formed where the classical control scheme is complemented by a fuzzy control subsystem. **Practical relevance:** The proposed navigation model based on the agent-oriented approach can be used in the design of marine robotic complexes for both civilian and military purposes, which will greatly reduce the complexity of the design as a whole.

Keywords — Robotic Complexes, Cognitive Agents, Architecture, Information Interaction, Dialog and Reflexive Control, Multicomponent External Environment, Perception, Behavior, Navigation.

References

1. Pavlovskii V. E. Problems of Dynamics and Control of Mobile Robots. *Iskusstvennyi intellekt — problemy i perspektivy. Politehnicheskie chteniia*. Polytechnical Museum; RAAI Publ., 2006, vol. 7, pp. 155–174 (In Russian).
2. Skobelev P. O. Virtual Worlds and Intelligent Agents for the Simulation of the Companies. *Sbornik nauchnykh trudov 6 Natsional'noi konferentsii po iskusstvennomu intellektu* [Proc. 6th Nat. Conf.]. Pushino, RAAI Publ., 1998, vol. 2, pp. 714–719 (In Russian).
3. Platonov A. K. Problems and Prospects of Robotics. *Robototekhnika, prognoz, programirovanie* [Robotics, forecast, programming]. Moscow, LKI Publ., 2008, pp. 9–36 (In Russian).

4. Kuznetsov O. P. Cognitive Modeling Semistructured Situations. *Iskusstvennyi intellekt — problemy i perspektivy. Politehnicheskie chteniia*. Polytechnical Museum; RAAI Publ., 2006, vol. 7, pp. 86–100 (In Russian).
5. Kalyaev I. A., Gaiduk A. P., Kapustian S. G. *Modeli i algoritmy kollektivnogo upravleniia v gruppakh robotov* [Models and Algorithms of Collective Management in Groups of Robots]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009. 280 p. (In Russian).
6. Popov E. V. *Obshchenie s EVM na estestvennom iazyke* [Communication with the Computer in Natural Language]. Moscow, Editorial URSS Publ., 2004. 360 p. (In Russian).
7. Martynenko Y. G. Problems of Control and Dynamics of Mobile Robots. *Novosti iskusstvennogo intellekta*, 2002, vol. 4, pp. 18–23 (In Russian).
8. Vasilievskii A. S., Korzhavin G. A., Lapshin K. V., Nikoltsev V. A. Multiagent Systems Technology in the Problem of Designing Complex Simulation. *Menedzhment kachestva. Informatsionnye tekhnologii*, 2007, no. 5, pp. 12–17 (In Russian).
9. Rybina G. V., Parondzhanov S. S. Simulation of Interaction of Intelligent Agents in Multi-agent Systems. *Iskusstvennyi intellekt i priniatie reshenii*, 2008, vol. 3, pp. 3–15 (In Russian).
10. Timofeev A. V. Multi-agent and Intelligent Control of Difficult Robotic Complexes. *Teoreticheskie osnovy i prikladnye zadachi intellektual'nykh informatsionnykh tekhnologii* [Theoretical Bases and Applied Problems of Intelligent Information Technologies]. SPIIRAN Publ., 1998, pp. 71–81 (In Russian).
11. Iushchenko A. S. Dialog Control Robots Using Fuzzy Models. *Sbornik trudov 5-i Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii "Integrirovannye modeli i miagkie vychisleniia v iskusstvennom intellekte"* [Proc. 5th Int. Conf. "Integrated Models and Soft Computing in Artificial Intelligence"]. Moscow, Fizmatlit Publ., 2009, vol. 1, pp. 97–108 (In Russian).

Уважаемые подписчики!

Полнотекстовые версии журнала за 2002–2013 гг. в свободном доступе на сайте журнала (<http://www.i-us.ru>), НЭБ (<http://www.elibrary.ru>) и Киберленинки (<http://cyberleninka.ru/journal/n/informatsionno-upravlyayuschiesistemy>). Печатную версию архивных выпусков журнала за 2003–2013 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 — 4200 рублей, для подписчиков стран СНГ — 4800 рублей, включая НДС 18 %, почтовые и таможенные 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, 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, сайт: <http://www.periodicals.ru>

«Информнаука» (РФ + ближнее и дальнее зарубежье)

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

«Гал»

Москва, тел.: (495) 500-00-60, 580-95-80, эл. почта: 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

Новороссийск, тел.: (8617) 670-474

«Деловая пресса»

Москва, тел.: (495) 962-11-11, эл. почта: 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, 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>

«BTL» (Узбекистан)

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

и др.