

УДК 656.7.052:681.3

ОСОБЕННОСТИ СОЗДАНИЯ СИСТЕМ ТРАНСЛЯЦИИ РАДИОЛОКАЦИОННОЙ ИНФОРМАЦИИ ПО КОМПЬЮТЕРНЫМ СЕТЯМ И УЗКОПОЛОСНЫМ ЛИНИЯМ СВЯЗИ

А. С. Семеньков,

аспирант

Санкт-Петербургский государственный университет информационных технологий, механики и оптики

Статья посвящена особенностям создания комплекса трансляции радиолокационной информации через компьютерные сети. Рассматривается проблема низкой пропускной способности отдельных каналов связи. Дан анализ использования стандартных методов компрессии и приведены разработанные специализированные алгоритмы обработки радиолокационной информации. Особое внимание уделено адаптивности создаваемой системы трансляции.

This article is dedicated to the creation particularities of radar data translation systems over computer networks. Low communication lines capacity problem is considered here. Description of the elaborated particularized algorithms follows the common compression methods usage analysis. Author has paid special attention to the adaptability of the created system.

Введение

В статье изложены результаты разработок в области систем управления воздушным движением. Цель данной работы – построение системы трансляции радиолокационной информации по узкополосным каналам связи и компьютерным сетям. Для решения этой задачи потребовалась разработка общих и специализированных алгоритмов обработки первичной радиолокационной информации (ПРЛИ) и построение гибкой архитектуры системы трансляции ПРЛИ.

От лоатора поступает большой поток первичной радиолокационной информации. Например, при оцифровке ПРЛИ с частотой дискретизации 1 МГц и соответствующей детализацией видеосигнала 150 м [1] объем ПРЛИ составляет порядка 7–8 Мбит/с. Характерным примером низкоскоростных линий может служить канал тональной частоты (частотный диапазон 300–3400 Гц), где максимальная скорость поступления информации (через протокол V.34) достигает 33 600 бит/с. Решением обозначенной проблемы может быть соответствующая обработка первичных данных с целью их подготовки к передаче по узкополосным линиям связи.

Автором были рассмотрены существующие системы трансляции радиолокационной информации, такие как радиолокационная сеть RADNET фирмы «Comsoft», специализированная линия трансля-

ции РЛ-30-1 (Василек-1). На основе проведенного анализа были выявлены их недостатки. Например, линия трансляции РЛ-30-1 работает только с аналоговыми радиолокационными данными РЛД, позволяя транслировать ПРЛИ на ограниченное расстояние в жестко заданном диапазоне частот. Радиолокационная сеть RADNET не обеспечивает возможности передачи существенной части первичных РЛД при перегруженных каналах связи и компьютерных сетях.

В статье рассматривается возможность применения стандартных методов компрессии к обработке ПРЛИ. Предложены новые принципы построения системы трансляции РЛД и разработаны специализированные алгоритмы обработки ПРЛИ.

Для начала кратко опишем структуру ПРЛИ, что поможет понять возможные способы ее обработки. ПРЛИ, поступающая от лоатора, состоит из следующих каналов:

- 1) канал сигнала запуска (125 Кбайт/с);
- 2) канал сигнала севера (125 Кбайт/с);
- 3) канал сигнала малых азимутальных меток (125 Кбайт/с);
- 4) канал видеосигнала (при пятибитовом квантовании) (625 Кбайт/с);
- 5) канал запрос–ответ (при наличии вторичного лоатора) (125 Кбайт/с).

В списке приведены требуемые полосы пропускания для каждого канала при частоте дискре-

тизации 1 МГц [2]. Первые три канала являются служебными и содержат информацию о состоянии локатора. Видеосигнал представляет собой интенсивность отраженного импульса, принятого локатором. Канал запрос-ответ доступен только при наличии вторичного локатора.

Для точной оценки объема ПРЛИ на основе теории Котельникова был произведен анализ необходимой частоты дискретизации для каждого канала и вычислен поток данных ПРЛИ. Опустим здесь детали расчетов и приведем только результаты. Для минимально возможной частоты дискретизации 1 МГц получаем, что суммарный объем данных для передачи составляет величину порядка 1–1,5 Мбайт/с (в зависимости от количества вторичных каналов). Для трансляции по узкополосным линиям связи потребуется уменьшить объем данных в десятки, если не в сотни раз.

Для выбора оптимальных, с точки зрения коэффициента сжатия, алгоритмов обработки РЛД необходимо классифицировать эту информацию [4]. ПРЛИ трудно однозначно отнести к какому-либо типу данных. Можно отметить, что она тяготеет к графическому типу, а именно к видеoinформации, обладая при этом особой спецификой.

Общие алгоритмы сжатия делятся на две основные группы:

1) сжатие без потерь информации (Лемпель-Зив, RLE, Хаффман);

2) сжатие с потерями (JPEG, M-JPEG, MPEG).

Рассмотрим возможность применения этих алгоритмов для обработки ПРЛИ.

Алгоритм Лемпеля-Зива, лежащий в основе архиваторов (pkzip, arj, lha), эффективен при сжатии текстовой информации. В нем используется словарь и, поскольку для ПРЛИ не характерно частое повторение одинаковых информационных блоков, в данном случае этот алгоритм не подходит.

Алгоритм RLE кодирует последовательности повторяющихся данных и эффективен при передаче растровых изображений [3]. Этот алгоритм неплохо подходит для обработки ПРЛИ, так как ее специфика такова, что в ней часто встречаются большие блоки одинаковых данных. Алгоритм не требует больших вычислительных ресурсов и позволяет добиться сжатия РЛД в 4–10 раз.

Кодирование Хаффмана является статистическим методом и заключается в замене наиболее часто повторяющихся последовательностей данных максимально короткими кодовыми словами. Недостатком этого метода при обработке ПРЛИ является двухпроходность и его малая эффективность в случае зашумленных данных.

JPEG базируется на дискретном косинусном преобразовании, отбрасывании малых высокочастотных компонентов получаемого спектра и последующем энтропийном сжатии. Метод нивелирует неразличимые для глаза оттенки и элементы изображения. Для обработки ПРЛИ применение JPEG не подходит, так как может быть потеряна важная информационная часть данных.

При использовании метода M-JPEG последовательные кадры сжимаются по методу JPEG. При обработке ПРЛИ данный метод неэффективен по тем же причинам.

Метод MPEG передает опорные кадры, сжатые по методу JPEG; далее передаются изменения между соседними кадрами. Этот метод также неэффективен из-за использования JPEG, но его идея – передача относительного изменения РЛД из обзора в обзор – может быть использована при разработке специализированного алгоритма сжатия ПРЛИ. Недостатком MPEG также является критичность к потерям данных в канале связи.

Резюмируя краткий обзор алгоритмов сжатия, нельзя сказать, что для обработки ПРЛИ однозначно подходит какой-либо из рассмотренных методов. Первичная радиолокационная информация настолько специфична, что для полноценной ее обработки необходима разработка специального алгоритма.

Рассмотрим предложенные автором методы обработки первичной радиолокационной информации, которые в совокупности можно определить как общий алгоритм обработки ПРЛИ. Методы делятся на два типа:

1) основные (для основной обработки данных);

2) дополнительные (используются опционально, как вспомогательные).

Цель основных методов – общая, наиболее значимая обработка данных. Рассмотрим основные методы обработки радиолокационной информации.

Преобразование «Сырого Видео». Под термином «сырое видео» в радиолокации подразумевается еще не обработанная аналоговая или цифровая информация, поступившая с локатора. Идея метода заключается в уменьшении объема ПРЛИ за счет упрощения ее структуры и удаления служебных каналов. Объем служебных каналов может достигать 40–50 % от общего объема информации, поэтому на основе данных этих каналов происходит формирование новой структуры ПРЛИ.

Дальность сканирования локатора определяет по формуле $D = \frac{C}{2v}$, где v – частота запусков локатора. Для диспетчерского радиолокатора с частотой запусков 600 Гц дальность сканирования равняется ~250 км. При преобразовании «сырого видео» происходит отбрасывание данных, находящихся за пределом радиуса необходимой дальности сканирования (200 км для диспетчерского локатора).

Таким образом, преобразованная ПРЛИ состоит из одного общего канала данных, содержащего лучи радиолокатора. Отдельные лучи, в свою очередь, содержат информационные дискреты дальности. В заключение отметим, что подобное изменение структуры ПРЛИ позволяет сократить объем данных, требуемых для передачи, от локатора до четырех раз.

RLE. Выше, при анализе использования стандартных алгоритмов сжатия, был сделан вывод об эффективности метода RLE для обработки радиолокационной информации. Автор предложил использовать RLE в качестве одного из основных алгоритмов обработки. Поскольку метод RLE широко известен, коснемся его максимально кратко. Метод RLE – стандартный, немодифицированный метод группового кодирования. Используется в случаях необходимости быстрой обработки

данных. Подходит для уменьшения объема временно хранимых данных в методе выделения статических объектов. Позволяет добиться коэффициента сжатия 4–10.

Битовая поканальная обработка (побитовое RLE). Для более полного отражения сути этого метода его было бы лучше назвать поканальной RLE обработкой. Но, так как основной задачей, которую призван решать этот метод, является эффективное кодирование активных каналов ПРЛИ, которые, в свою очередь, являются бинарными битовыми каналами, было выбрано название побитовое RLE.

Рассмотрим отличие этого метода от алгоритма RLE, лежащего в его основе. Классический метод RLE оперирует байтами. Если во входной цепочке данных произошло повторение минимального блока информации (одного байта), то продолжается кодирование повторяющейся последовательности. В случае первичной радиолокационной информации в одной дискрете, а как следствие, и в одном отсчете, хранится информация нескольких каналов данных: пассивного и активных. Данные пассивного и активных каналов, по сути, разная информация. Поэтому, если в качестве минимального блока информации брать отсчет полностью, то методом RLE будут кодироваться все каналы одновременно, без учета специфики данных этих каналов. Результатом такой одновременной обработки будет худший коэффициент сжатия, чем тот, которого можно добиться, разделив логически разные каналы.

Вероятность того, что в каком-либо из двух-трех каналов последовательность одинаковых значений этих каналов прервется, существенно выше, чем аналогичная вероятность для одного канала. Поэтому естественным решением кажется отдельная RLE обработка каждого канала.

Из табл. 1 видно, что при разделении на логические каналы частота изменения данных в каждом отдельно взятом канале не превышает частоту изменения данных начального канала. Таким образом, эффективность метода побитового RLE на каждом выделенном канале выше, чем на общем канале.

Рассмотрим особенности реализации метода побитового RLE в его работе с каналами произвольной размерности. Основной принцип метода RLE заключается в том, что на выходе кодера выдаются последовательности пар чисел. Первое число – значение, повторяющееся во входной последовательности, второе – количество встретившихся повторений. Размерность первого числа, выдаваемого кодером RLE, равняется размерности числа во входной последовательности, и в общем случае принимается равной одному, двум или четырем байтам в зависимости от необходимого диапазона границ. Если для кодирования канала шириной N бит использовать целое количество байт, отводимых под размерность входной последовательности метода RLE, то при условии не кратности N восьми будет очевидно наличие неиспользуемых битов. Так, для четырехбитового канала избыточные данные будут составлять 4 бита на каждую выходную пару чисел кодера RLE (25 % избыточной информации), а для бинарного канала – 7 бит (около 50 % избыточной информации).

Поэтому в методе побитового RLE при кодировании N -битового канала необходимо использовать размерность, строго равную ширине канала. При этом в выходном потоке данных распределение повторяющихся значений и их счетчиков не обязательно будет приходиться на границы байтов и может быть смещено. Эту особенность необходимо учитывать при декодировании данных.

Особо следует рассмотреть случай бинарного канала данных. По сути, такие каналы содержат информацию либо о низком, либо о высоком уровне в канале. Поэтому методу побитового RLE нет необходимости передавать значение, повторяющееся во входной последовательности, достаточно ограничиться транслированием количества повторений. Каждый новый счетчик повторений будет подразумевать смену значения канала на противоположное. Для работы такого метода требуется лишь передать начальное значение бинарного канала.

Следующий аспект метода побитового RLE касается размерности счетчика повторений. Классический RLE использует фиксированную размерность этого счетчика. При этом, если требуется закодировать небольшое количество повторений во входной последовательности, в выходных данных счетчик повторений будет содержать существенную часть неиспользуемой информации. Это обусловлено тем, что используется не весь возможный диапазон счетчика. Если при фиксированном диапазоне счетчика потребуются передать большое количество повторений, выходная последовательность будет содержать значительное количество одинаковых пар: счетчик – повторяемое значение. Это также не оптимально с

■ Таблица 1. Разделение данных при поканальной обработке

Совместная обработка		Раздельная обработка			
Входные данные	Бинарные представления	Актив 1	Актив 2	Актив 3	Пассив
0x23	00100011	0	0	1	00011
0x23	00100011	0	0	1	00011
0x03	00000011	0	0	0	00011
0x83	10000011	1	0	0	00011
0x83	10000011	1	0	0	00011
0x01	00000001	0	0	0	00001
0x00	00000000	0	0	0	00000
0x20	00100000	0	0	1	00000
0x20	00100000	0	0	1	00000

точки зрения эффективности работы алгоритма. Например, при использовании двухбайтового счетчика и сильно зашумленного канала данных до 10–12 битов счетчика могут остаться неиспользованными, что суммарно может дать больше 50 % неиспользуемой информации. Если же двухбайтовым счетчиком потребуются закодировать последовательность в 10^7 одинаковых значений, то на выходе метода RLE будет более 150 двухбайтовых счетчиков вместо одного пятибайтового.

Таким образом, для эффективного группового кодирования входных данных в методе побитового RLE потребовалось ввести динамическую размерность счетчика. Исходя из проведенного статистического анализа ПРЛИ, автор остановился на методе выбора размерности счетчика, при котором она определяется первыми его битами. Если первый бит равен нулю, то счетчик занимает 4 бита, при этом для эффективного кодирования остается только 3 бита. Для кодирования количества повторений от 9 до 64 первые два бита счетчика должны принимать значение 1 и 0 соответственно, а размерность счетчика равняется 1 байту.

Размерность, структура и диапазон счетчика приведены в табл. 2.

Для первичной радиолокационной информации характерно чередование зашумленных участков с длительными участками тишины в канале. Указанная методика выбора размерности счетчика позволяет эффективно кодировать как участки с частыми изменениями данных, так и характерные участки тишины в канале.

Дополнительно отметим, что, поскольку данная модификация метода RLE допускает работу с каналами произвольной битовой ширины, это позволяет в случае необходимости уменьшать разрядность каналов ПРЛИ. Только за счет уменьшения разрядности можно существенно сократить объем передаваемых данных.

Еще одной особенностью метода побитового RLE является возможность выбора так называемого направления кодирования. Существуют различные варианты в зависимости от того, в какой последовательности берутся и обрабатываются отсчеты обзора локатора. Были выявлены два наиболее оптимальных направления кодирования: вертикальное и горизонтальное.

■ Таблица 2. Динамический счетчик метода побитового RLE

Количество служебных битов	Значения служебных битов	Размерность счетчика, бит	Диапазон значений
1	0	4	0–8
2	1,0	8	9–64
3	1,1,0	16	65–8192
4	1,1,1,0	24	8193–1048576
5	1,1,1,1,0	32	от 1048577

Выбор направления кодирования имеет важное значение, поскольку от него зависит эффективность кодирования. В большинстве случаев оптимальное направление для каждого локатора может быть определено заранее. В модуле передачи ПРЛИ комплекса «Ладoga», разработанном фирмой «НИТА», также реализован динамический выбор направления кодирования. Периодически вычисляется оптимальное направление и, если оно стабильно в течение фиксированного времени, рабочее направление кодирования меняется на оптимальное. В среднем побитовое RLE уменьшает объем входных данных в 20 раз.

Перейдем к рассмотрению дополнительных методов обработки ПРЛИ, которые используются совместно с одним из основных методов для повышения его эффективности либо для увеличения суммарного коэффициента сжатия информации. Использование того или иного дополнительного метода зависит от предварительного анализа обрабатываемых данных и от общих настроек системы обработки ПРЛИ.

Лучевое прореживание. Метод прореживания лучей основан на избыточности радиолокационной информации по оси абсцисс. При нумерации лучей от 0 до 4095 дискрета азимутального положения локатора получается равной $\sim 0^\circ 5' 3''$. Среди возможных вариантов прореживания ПРЛИ можно выделить равномерное и выборочное прореживание.

Равномерное прореживание характеризуется пропуском каждые N из M лучей, где N и M выбираются исходя из величины максимально допустимого объема данных. Для увеличения информативной составляющей радиолокационных данных можно применять выборочное прореживание. Данный способ прореживания подразумевает неравномерное по обзору локатора удаление избыточной информации (лучей). Выбор данных, подлежащих удалению, можно производить двумя способами:

- 1) динамический выбор;
- 2) статическое задание выборки.

Статический способ задания выборки заключается в предварительном анализе входных РЛД и установке выборки лучей, подлежащей удалению. Анализ может производиться на основе статистической, географической и картографической информации.

Динамический способ основывается на непрерывном анализе поступающих данных. Основной задачей метода в этом случае является выявление блоков данных, которые наиболее информативны с точки зрения первичной радиолокационной информации. Такими блоками являются данные, содержащие засветку воздушных судов, метеообразований, различных статических объектов, в том числе так называемых местников (объектов засветки, характерных для данной местности: горы, мачты ЛЭП и пр.).

Для правильного определения информативности входных данных требуется качественный критерий этой информативности. Оптимальным решением этой задачи может быть максимальный анализ входных данных, включающий в себя межобзорный анализ. Но, поскольку он не всегда возможен, ав-

тором были предложены следующие критерии оценки информативности:

- 1) эффективная засветка луча;
- 2) коэффициент градиента луча;
- 3) коэффициент постоянной засветки;
- 4) метод определения пакета сигналов.

Критерий эффективной засветки характеризует суммарную засветку луча по определенному порогу и позволяет выявить наличие в луче локатора явно засвеченных объектов. Эффективная засветка определяется формулой

$$P_j = \int_l (P_j(x) - h) d\mu(x), \quad (1)$$

где $P_j(x)$ – интенсивность засветки j -го луча; $\mu(x)$ – введенная мера по оси абсцисс, как правило, не линейная; h – статистически максимально допустимый уровень шума, по которому определяется возможный эффективный сигнал на выходе локатора; l – дальность сканирования локатора.

Отдельно следует отметить использование нелинейной меры $\mu(x)$, которая позволяет учесть возможную неоднородность распределения сигналов по дальности. В частности, на предельно больших расстояниях сканирования соотношение сигнал/шум существенно ниже, чем на рабочей дальности.

Формулу (1) можно представить как

$$P_j = \int_l M(x)(P_j(x) - h) dx,$$

где $M(x)$ – подынтегральная функция определения меры по дальности. Тогда дискретный вариант формулы (1) для вычисления эффективной засветки будет выглядеть так:

$$P_j = \sum_{i=1}^{D_j} (M_i P_{i,j} - M_i h).$$

Для непосредственного определения информативности луча удобно использовать средний весовой коэффициент засветки луча \bar{K}_j :

$$\bar{K}_j = \sum_{i=1}^{D_j} \frac{(M_i P_{i,j} - M_i h)}{D_j}, \quad (2)$$

где D_j – количество дискрет луча.

Критерий эффективной весовой засветки в основном указывает на наличие в луче локатора метеообразований или больших статических засвеченных объектов.

Следующий критерий – коэффициент градиента луча – позволяет, отсеивая белый шум, выявить наличие в луче локатора явно засвеченных объектов. Градиент j -го луча локатора с учетом меры μ по оси абсцисс определяется следующим образом:

$$G_j(x) = P_j'(x)M(x). \quad (3)$$

Суммарный по всей дальности модуль градиента по уровню h' равен

$$G_j = \int_l G^+(x, h') dx,$$

где G^+ – кусочно-промежуточная функция, определенная на участках, где ее значение не отрицательно; $G^+(x, h') = \begin{cases} P_j'(x)M(x) & \text{if } (P_j'(x)M(x) - h') > 0 \\ 0 & \text{if } (P_j'(x)M(x) - h') \leq 0 \end{cases}$. Для вычисления информативной составляющей луча можно пользоваться дискретным вариантом формулы (3):

$$G_j = \sum_{i=1}^{D_j-1} g_{i,i+1,h'}.$$

где $g_{i,i+1,h'}$ – оператор отношения уровней засветки двух соседних дискрет; $g_{i,i+1,h'} = \begin{cases} (P_{i+1} - P_i)M_i \\ 0 & \text{if } (P_{i+1} - P_i)M_i > h' \\ 0 & \text{if } (P_{i+1} - P_i)M_i \leq h' \end{cases}$. Коэффициент градиента луча характеризует контрастность луча.

При помощи коэффициента постоянной засветки \bar{S}_j можно судить о возможном присутствии в зоне видимости локатора объектов заданной протяженности m :

$$\bar{S}_j = \sum_{i=1}^{D_j-m} \frac{s(i, \dots, i+m, h'')}{D_j}, \quad (4)$$

где $s(i, \dots, i+m, h'') = \sum_{m} \frac{P_i}{m}$ if $(P_i > h'', \dots, P_{i+m} > h'')$. За счет

порогового значения h'' и параметра m метод определения постоянной засветки нечувствителен к внешним шумовым воздействиям.

Используя набор критериев \bar{K}_j , G_j и \bar{S}_j – можно с определенной долей вероятности говорить о нахождении в луче локатора полезного сигнала. Коэффициенты G_j и \bar{S}_j устойчивы к действию белого шума, всегда присутствующего во входных РЛД.

Метод обнаружения пакета сигналов – стандартный алгоритм накопительного типа, использующий такую важную характеристику локатора, как диаграмма направленности антенны (ДНА). Этот метод используется для выявления пачек сигналов в аппаратуре АПОИ. С периодом следования зондирующих импульсов по алгоритму необходимо вычислять величину [5]

$$S_n = \int_{L_{d1}}^{L_{d2}} P_n(x) \alpha(x - L_{d1}) dx,$$

где $P_n(x)$ – интенсивности засветки лучей с азимутами x , приходящиеся на интервалы дальности l ; $\alpha(x)$ – функция ДНА; L_{d1} , L_{d2} определяют ширину ДНА, в пределах которой производится интегрирование. При выполнении условия $S_1 \geq S_{01}$, где S_{01} – пороговое значение, принимается решение об информативной составляющей луча. В дискретном представлении алгоритм определения радиолокационного пакета выглядит так [3]:

$$S_n[\bar{t}] = \sum_{j=1}^N a_j P_n[\bar{t} - (j-1)T],$$

где \bar{t} – текущий момент дискретного времени; a_j – весовые коэффициенты, $0 < a_j \leq 1$; T – период следования зондирующих импульсов.

Для следующих методов, разработанных автором, приведем очень краткое описание, обозначив лишь их основное назначение.

Прореживание отсчетов. Метод аналогичен лучевому прореживанию, за исключением того, что он оперирует дискретами луча, а не самими лучами. Для оценки его информативности применима большая часть критериев, описанных для предыдущего метода.

Сглаживание пассива. Суть метода заключается в статистическом усреднении данных канала пассива и нивелировании различного рода всплесков и шумов.

Уменьшение разрядности пассива. Действие алгоритма заключается в уменьшении уровня квантования канала пассива. Возможно уменьшение разрядности канала в пределах 1–4 бит.

Сдвиг актива. Сдвиг данных канала актива предназначен для увеличения информативной составляющей ПРЛИ и заключается в допустимой коррекции данных актива.

Выделение статических объектов. Этот алгоритм существенно отличается от методов, предложенных выше. Его суть заключается в выделении статических объектов в зоне сканирования локатора и в последующем раздельном кодировании данных. Основная, не статическая часть видеоизображения кодируется по общим правилам, а выделенные статические объекты обрабатываются по отдельности. Статические области засветки транслируются через линию связи реже основной части данных. Выделение неподвижных объектов проводится на основе вычисления дисперсии данных канала пассива:

$$D(x, y) = \int_{\bar{T}} \frac{|V(x, y, t) - \bar{V}(x, y)|}{\mu(x, t)} dt, \quad (5)$$

где $\bar{V}(x, y) = \int_{\bar{T}} \frac{V(x, y, t)}{\mu(x, t)} dt$ – усредненное значение в дискрете (x, y) ; $V(x, y, t)$ – значение канала пассива в дискрете (x, y) во время t ; $\mu(x, t)$ – мера, введенная на массиве обрабатываемых лучей. Критерием статичности изображения для каждой отдельно взятой дискреты является коэффициент $K(x, y) = \frac{\bar{V}(x, y)}{D(x, y)}$.

В табл. 3 приведены сводные коэффициенты сжатия для описанных алгоритмов.

Все рассмотренные методы находятся в определенной зависимости, и оптимальным решением является их правильное комбинирование при обработке ПРЛИ. Так, методы RLE и битовой поканальной обработки исключают одновременное совместное использование. Сглаживание пассива наиболее эффективно при использовании метода битовой поканальной обработки. В случае совместного использования методов битовой обработки и методов прореживания при увеличении

■ Таблица 3. Эффективность алгоритмов обработки ПРЛИ

Методы обработки ПРЛИ	Коэффициенты сжатия	
	Без потерь	С потерями
Преобразование "Сырого Видео"	1,5 – 4*	
RLE	4 – 10	–
Битовая поканальная обработка	15 – 25	До 100 – 200
Лучевое прореживание	–	1,5 – 2
Прореживание отсчетов	–	1,5 – 2
Сглаживание пассива	1,3 – 2,2**	
Уменьшение разрядности пассива	1**	
Сдвиг актива	–	1,2 – 10
Выделение статических объектов.	–	~1,4

* Действие алгоритма можно рассматривать двояко (с одной стороны, работа метода производится с потерей данных, но, с другой стороны, его действия можно рассматривать как стандартную процедуру аналогово-цифрового преобразования, при которой потери данных неизбежны).
 ** Методы не осуществляют непосредственную компрессию данных (эффект сжатия достигается за счет совместного использования с другими методами).

эффективности методов прореживания будет ухудшаться действие битовой обработки.

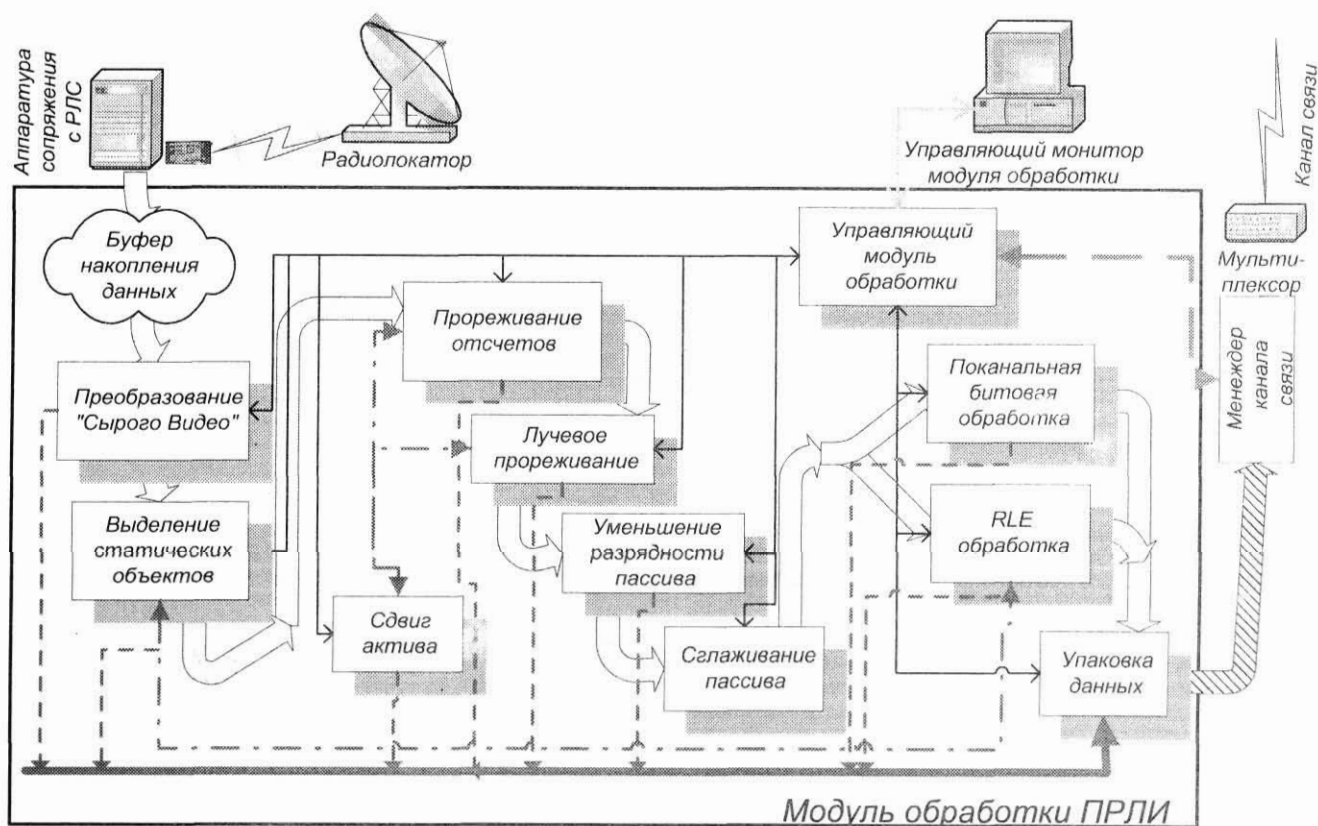
Задачу оптимальности использования тех или иных алгоритмов решает программный модуль обработки ПРЛИ, который выбирает наиболее подходящие алгоритмы и параметры их работы. Решение принимается на основе следующих параметров: анализ входных данных; анализ выходных данных и их объема; результаты работы отдельных алгоритмов; требования и ограничения канала связи (при наличии обратной связи); настройки модуля обработки ПРЛИ.

Подводя итоги рассмотрения коэффициентов сжатия, отметим, что суммарная эффективность алгоритмов определяется не суммированием коэффициентов отдельных методов, а эффективностью совокупного алгоритма. В модуле обработки ПРЛИ, исходя из используемых алгоритмов, предусмотрено пять уровней обработки информации (табл. 4).

В таблице указаны примерные объемы выходного потока данных при соответствующем уровне обработки. Сжатие без потерь осуществляется только при первом уровне обработки (No Loss). Для каналов то-

■ Таблица 4. Уровни обработки ПРЛИ

№ п/п	Уровень обработки	Выходной поток, Кбит/с
1	No Loss	35 – 70
2	Low	25 – 45
3	Average	15 – 40
4	High	9,6 – 30
5	Very High	4,8 – 18



■ Структура модуля обработки ПРЛИ

- > — общие потоки РЛД; <—> — внутренние (служебные) потоки РЛД;
- > — общий канал служебных данных обработки ПРЛИ; - - - - -> — служебные данные обработки ПРЛИ;
- <—> — обратная связь с каналом трансляции; <—> — внутренние связи модулей

нальной частоты, как правило, хватает обработки ПРЛИ с уровнем Average. На определенных блоках данных выходной поток может превышать 33 Кбит/с, но в среднем его величина меньше пропускной способности канала. При изменении состояния канала, например, при ухудшении связи или уменьшении скорости, в модуле обработки ПРЛИ происходит переход на более высокие уровни обработки – четвертый или пятый. Таким образом, начальный поток первичной радиолокационной информации, который определяется величиной порядка 1,5 Мбайт/с, может быть уменьшен до величины 0,6 Кбайт/с. Степень сжатия в данном случае будет составлять 2500.

Помимо разработки алгоритмов обработки ПРЛИ, автором была построена архитектура комплекса обработки и трансляции РЛД. Эта архитектура должна включать в себя грамотное совместное использование всех рассмотренных в статье методов. Поэтому отдельной задачей в комплексе решения проблемы обработки ПРЛИ является внутренняя организация работы модуля обработки и управление его отдельными алгоритмическими частями. Общая структура разработанного модуля представлена на рисунке.

Функции модуля:

1) получение и накопление ПРЛИ в необходимом для обработки объеме;

- 2) внутренняя организация работы алгоритмических частей модуля;
- 3) анализ входной ПРЛИ и выходных данных;
- 4) взаимодействие с каналом связи;
- 5) обеспечение адаптивности работы алгоритмов;
- 6) обеспечение управления внешней программой (монитор, настройки).

На рисунке показаны основные составляющие модуля обработки, информационные и управляющие потоки. Синхронизацию работы всех алгоритмов осуществляет управляющий модуль. На него также ложится задача взаимодействия с управляющим монитором системы и осуществления обратной связи с каналом данных.

Наличие обратной связи с каналом трансляции в такой архитектуре следует отметить особо. Эта связь позволяет осуществлять постоянное изменение параметров работы модуля обработки ПРЛИ в зависимости от текущей пропускной способности или от других параметров канала. Таким образом, можно добиться оптимального использования транслирующей линии и передавать радиолокационную информацию с максимально возможным качеством, не перегружая канал.

Одной из особенностей описанного принципа построения модуля трансляции является осуществ-

ствление анализа всевозможных выходных данных. Анализу подвергаются данные на выходе каждого алгоритма и на выходе всей системы обработки в целом. Результаты анализа сопоставляются с текущими параметрами работы как отдельных алгоритмов, так и всей системы. На основе этих данных управляющий модуль выбирает конкретную стратегию обработки РЛД. Если изначально заданные параметры обработки не являются оптимальными, система путем многократного анализа определяет оптимальные настройки алгоритмов и при устойчивости положительного результата переходит на новые методы обработки. Таким образом, происходит включение или выключение алгоритмов в модуле обработки радиолокационной информации.

Заключение

На основе изложенных принципов построения системы трансляции РЛД фирмой «НИТА» был разработан модуль трансляции радиолокационной информации. Он вошел в комплекс средств передачи и обработки информации «Ладога». В модуле использовались разработанные и описанные в статье алгоритмы обработки радиолокационных данных. Разработанный комплекс позволя-

ет осуществлять трансляцию радиолокационной информации по различным типам каналов связи, как-то: физические (проводные), беспроводные (радиорелейные), магистральные, спутниковые каналы связи.

КСПОИ «Ладога» успешно функционирует в десятках аэропортов России, осуществляя качественную и надежную передачу различного рода информации, в том числе и радиолокационную.

Литература

1. **Перевезенцев Л. Т., Огарков В. Н.** Радиолокационные системы аэропортов. – М.: Транспорт, 1989. – 360 с.
2. **Комплекс** средств передачи радиолокационной, пеленгационной, речевой и управляющей информации «Ладога»: Рук-во по эксплуатации. – 2003. – 109 с.
3. **Кузьмин С. З.** Цифровая обработка радиолокационной информации. – М.: Советское радио, 1967. – 400 с.
4. **ГОСТ 15971–90.** Системы обработки информации. Термины и определения. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 16 с.
5. **Автоматизированные** системы управления воздушным движением / Подред. С. Г. Пятко, А. И. Красова. – СПб.: Политехника, 2004. – 485 с.

Н. Н. Красильников, О. И. Красильникова

Мультимедиа технологии в информационных системах. Методы сжатия и форматы записи графической информации: Учеб. пособие / СПб.: СПбГУАП, 2004. – 68 с.: ил. ISBN 5-8088-00104-4

В учебном пособии изложены вопросы, связанные с теоретическими предпосылками сжатия графической информации, описаны наиболее распространенные и перспективные методы сжатия изображений, а также проблема накопления ошибок, возникающая при многократной перезаписи изображения с применением методов сжатия с потерями, приведены сведения о ряде форматов, предназначенных для графической записи и видеоинформации.

Учебное пособие предназначено для студентов старших курсов, изучающих мультимедиа технологии в рамках технических специальностей.

