

## АНАЛИТИЧЕСКИЙ ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ МЕТОДОВ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ В КОСМИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ОПТИКО- ЭЛЕКТРОННОГО НАБЛЮДЕНИЯ

*Abstract.* The article refers to the results of the analysis of video information channel and the existing methods of data compression in space systems opto-electronic surveillance.

*Keywords:* compression techniques, space image, optical and electronic surveillance.

**Актуальность.** Новейшие технологии, возникшие на стыке электросвязи и компьютерной техники, стали в космических системах основой исследований и разработок в области создания принципиально новых систем, способных предоставить пользователю практически любые услуги по передаче информации. В настоящее время задача уменьшения объема видеоданных решается путем применения на борту космического аппарата (КА) систем сжатия видеоданных [1, 2, 3]. Применение систем сжатия видеоданных целесообразно и на этапе хранения видеоданных в бортовых запоминающих устройствах (БЗУ), в периодах между сеансами связи, что позволяет разместить дополнительный объем информации без увеличения емкости БЗУ КА [1]. В связи с этим представляется актуальной задача рассмотрения особенностей построения информационного канала.

**Постановка задачи.** В настоящее время, в связи с увеличением объемов передаваемой специальной информации в космических системах оптико-электронного наблюдения возникает необходимость осуществлять передачу «Борт-Земля» в реальном масштабе времени или в максимально сжатые сроки [1, 2]. Однако возможности применяемого при этом радиоканала ограничены [2, 3]. Кроме этого, с увеличением пропускной способности радиоканала постоянно возникает задача, связанная с помехоустойчивостью наземного радиотехнического комплекса [1, 3]. Таким образом, приходится искать компромисс между передаваемым объемом, скоростью передачи информации и помехоустойчивостью наземной станции.

**Решение задачи.** Особенностью информационного канала, предназначенного для передачи и обработки изображений (видеоинформации) является большой объем данных, получаемых ими от преобразователей изображений. Действительно, один кадр цветного изображения (24 бита на элемент) стандартного разрешения размером 720x576 точек (европейский формат) занимает объем примерно 1,2 Мбайт [4]. Это не вызывает больших технических трудностей, если речь идет об обработке одиночного изображения, но создает ряд проблем при создании

больших архивов, например, при архивации снимков местности и неподвижных объектов изображений. В этом случае их целесообразно хранить в сжатом виде [3]. Сжатие видеоинформации с целью ее хранения в компактном виде может быть названо первой целью использования алгоритмов сжатия. Однако, наиболее значимую роль сжатие играет для систем цифровой передачи сигналов подвижных изображений, так как передача необходимого для них несжатого цифрового потока (при передаче 25 кадров в секунду он составит около 30 Мбайт/с) сложна для транспортировки через любой физический канал связи (за исключением оптоволоконных линий), особенно если необходимо введение дополнительного помехоустойчивого кодирования, которое используют при передаче через каналы связи с помехами [4]. Именно поэтому такое кодирование называется канальным. В любом случае передачу несжатого цифрового видеоинформационного потока надо признать нерациональной и дорогой. Применение алгоритмов сжатия позволяет использовать канал связи с меньшей пропускной способностью, а при заданной пропускной способности канала увеличить скорость передачи или число одновременно передаваемых изображений (или другой информации). Это вторая цель применения алгоритмов сжатия.

Видеоинформационная система может быть представлена в виде обобщенной структурной схемы, приведенной на рис. 1.

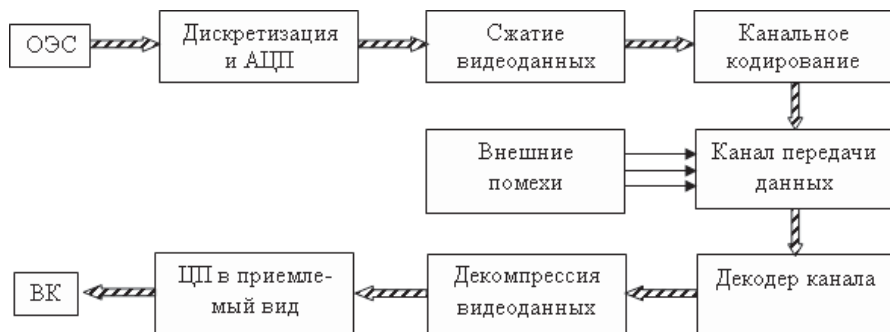


Рис. 1. Структурная схема видеоинформационного канала

Применение сжатия для целей архивирования и передачи отличается только тем, что для передачи требуется обработка сигналов в реальном времени и соответствующие алгоритмы должны допускать такую возможность (обычно путем использования специализированных аппаратных средств). Для архивирования же, как правило, этого не требуется, поэтому оно может быть реализовано при помощи программных средств, более дешевых и допускающих применение более сложных алгоритмов [4].

Следует отличать назначение алгоритмов сжатия видеоданных от канального помехоустойчивого кодирования. Сжатие видеоданных преследует цель снизить коррелированность входного потока данных изображения, поэтому при выборе его алгоритма и параметров необходимо руководствоваться данными статистической модели входного изображения. Оно не определяет, каким образом эти потоки далее передаются по каналам связи. С информационно-системной точки зрения оно называется кодированием источника и формирует на выходе псевдослучайный некоррелированный сигнал.

Помехоустойчивое кодирование канала решает задачу безошибочной передачи сжатых данных через канал связи, подверженный действию помех. В гипотетическом канале связи без помех этой операции не требуется вообще. В любом реальном канале помехи присутствуют, причем их вид и влияние определяются физической реализацией канала. Например, в радиоканале – искажение радиосигнала при прохождении атмосферы Земли и т.д. Использование различных видов модуляции и помехоустойчивого кодирования позволяет более точно учитывать помехи и бороться с ними в каналах, имеющих разную физическую природу. Однако это всегда сопряжено с введением в сигнал некоторой избыточности (наиболее часто используется корректирующий код Рида-Соломона совместно со специальными видами модуляции) [3]. Помехоустойчивое кодирование приводит к обратному экспандированию (расширению) сжатых видеоданных, однако позволяет (до определенного значения уровня помех) восстановить в приемнике не пораженный помехами сигнал. Способы передачи цифровых транспортных потоков по некоторым каналам связи определены в документах Европейского института по стандартам телекоммуникаций (European Telecommunications Standarts Institute - ETSI), в частности, для передачи по спутниковым каналам [2, 3]. Таким образом, в процессе передачи происходит преобразование сигнала изображения через следующие формы: исходное сильно коррелированное изображение после сжатия становится практически некоррелированным (псевдошумовой сигнал), после помехоустойчивого кодирования снова приобретает избыточность и корреляцию, за счет которой в приемнике при возникновении ошибок передачи возможно восстановление неискаженного сжатого потока, а затем и исходного изображения. Теоретически кодирование канала и источника могут быть объединены в едином алгоритме, не разлагаемом на эти две последовательные операции, то есть без создания промежуточного некоррелированного сигнала. Однако эта задача очень сложна, так как требует одновременного учета статистики как изображения, так и помех канала. Кроме того, часто возникает задача передачи изображения от одного источника сразу нескольким потребителям через различные по физической природе или параметрам каналы связи или же последовательной передачи одного сигнала по таким каналам, которые требуют соответственно либо многократного применения усложненных алгоритмов кодирования, либо

промежуточных операций декодирования (зачастую сопряженных с потерями информации).

Остановимся на тех процессах, которые происходят с изображением в информационном канале. Первоначально определим понятие – обработка изображения. Под обработкой изображения будем понимать именно математическую обработку видеосигнала. При этом следует выделить категории задач обработки изображения: коррекция изображающих систем; препарирование изображений; визуализация информации; измерения на изображениях; сжатие изображения [1, 4].

Коррекция изображающих систем – это обработка видеосигнала в реальной изображающей системе, направленная на получение изображения, соответствующего идеальной изображающей системе [4]. Под идеальной можно понимать систему, наличие которой между наблюдаемым объектом и собой наблюдатель согласен не замечать, т.е. это система, создающая изображение, эквивалентное для наблюдателя объекту. При создании изображающих систем требования к идеальной системе обычно формулируются требования к определенным техническим характеристикам системы, таким как разрешающая способность, фотометрическая точность, уровень посторонних шумов и т.д. Таким образом, коррекция изображающих систем – это коррекция характеристик систем и приведение их к требуемым. Примером коррекции может служить повышение четкости расфокусированных изображений, устранение смаза, подавление шумов [1].

Причем идеальная изображающая система необязательно дает изображение, наилучшим образом соответствующее конкретным задачам визуального анализа изображений и извлечения из них информации, поскольку требования к идеальным характеристикам практически являются компромиссом между требованиями широкого класса задач. Для определенных задач могут требоваться дополнительные преобразования сигнала, облегчающие визуальный анализ путем подчеркивания одних особенностей и деталей изображений и устранения других, изменения пространственных соотношений, измерения и визуализации количественных характеристик и т.д. Такие преобразования, являющиеся инструментом визуального анализа, называются препарированием изображений.

Под визуализацией информации будем понимать обработку сигналов для представления их в виде изображений с целью последующей визуальной интерпретации [2]. Например, визуализацией является представление одной величины как функции другой в виде графика.

В принципе, любой сигнал может быть так или иначе представлен человеку в виде изображения. Но многие задачи извлечения информации из сигналов могут и должны решаться автоматическими устройствами. Автоматическую обработку сигналов, которые, будучи представлены в виде изображений, могли бы анализироваться визуально, назовем - измерениями на изображениях. Это, например, автоматическое измерение размеров и пространственного расположения объектов, их обнаружение, классификация.

Сжатие изображения – это преобразование видеосигнала, необходимое для его запоминания в запоминающих устройствах или передачи по каналам связи в цифровой форме [5]. Рассмотрим более подробно методы сжатия изображений.

В настоящее время существует большое разнообразие методов сжатия изображений, и они достаточно широко освещены в литературе [5, 6, 7]. Практически все известные методы сжатия можно упорядочить в схему, представленную на рис. 2.

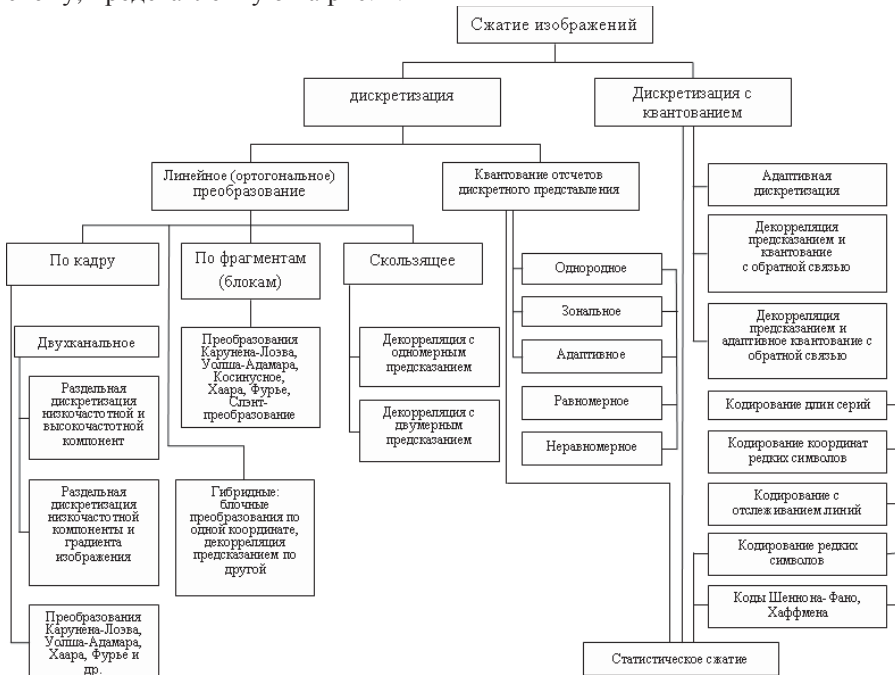


Рис. 2. Методы сжатия изображений

Большинство представленных методов предполагают использование трехступенчатой процедуры – раздельную дискретизацию и квантование отсчетов дискретного представления с последующим статистическим кодированием цифрового сигнала [5, 6, 7]. Дискретизация обычно основана на теореме отсчетов и линейных преобразованиях, с помощью которых находят дискретное представление сигнала по различным базисам либо линейно предсказывают сигнал с тем, чтобы затем использовать базис из отсчетных функций. Линейным (ортогональным) преобразованием может подвергаться сразу все изображение (кадр) или фрагменты изображения (блоки). Практически линейные преобразования для сжатия выполняются в цифровых процессорах после первичной избыточной дискретизации по теореме отсчетов. Оптимальный

размер блока при двумерном преобразовании – от нескольких десятков до нескольких сотен элементов (отсчетов) изображения (типичный размер блока  $16 \times 16$  элементов) [5, 7]. Из рекомендуемых для кодирования линейных преобразований особо следует отметить так называемое косинусное преобразование и Слэнт-преобразование, которое лучше соответствует структуре изображений, чем преобразования Уолша-Адамара, Хаара и Фурье, но столь же простое для реализации в цифровых процессорах [7].

Для использования в специализированных кодирующих устройствах, работающих в реальном масштабе времени в темпе развертки видеосигнала, наиболее удобны скользящие преобразования. Это преобразования, реализуемые с помощью операций свертки (иными словами, преобразованием с базисом, зависящим от разности аргументов). При этом линейное преобразование сводится к декорреляции видеосигнала путем вычитания из его текущего значения величины, найденной линейным предсказанием по прошедшим значениям. Предсказание может быть как однородным, так и двумерным. Этот метод кодирования (в сочетании с соответствующим квантованием декоррелированного сигнала) называют дифференциально-импульсно-кодовой модуляцией (ДИКМ). В системах считывания и передачи изображения с датчиками параллельно-последовательного типа (параллельным по одной координате и разверткой по другой) определенные перспективы имеет гибридный метод преобразования – блочный по одной координате с декорреляцией по другой. Гибридные преобразования перспективны также для межкадрового кодирования последовательностей кадров при передаче изображений подвижных объектов [5, 6, 7].

Простейший метод квантования отсчетов дискретного преобразования – однородное квантование, когда правило квантования (число и расположение уровней) одинаково для всех отсчетов [6, 7]. Обычно он употребляется для квантования при дискретизации посредством измерения отсчетов исходного непрерывного сигнала и при дискретизации с использованием скользящих преобразований. В остальных случаях используется неоднородное квантование – зональное и адаптивное.

При зональном квантовании отсчеты разбиваются на группы (зоны), для каждого из которых устанавливается свое правило квантования. К зональным методам квантования можно отнести также квантование отсчетов при двухканальной дискретизации.

При адаптивном квантовании разбиение на группы производится адаптивно. Возможны разные подходы к адаптации. Например, отбрасываются все коэффициенты преобразования (отсчеты), сумма квадратов которых не превышает заданной доли от суммы квадратов всех коэффициентов, или коэффициенты, не превышающие по абсолютной величине заданный порог, или разбиение на группы производится по величине суммы квадратов коэффициентов и т.д [6, 7].

Однородное и зональное квантование может быть равномерным или – для более экономного квантования – неравномерным.

В некоторых случаях оказывается возможным и удобным (с точки зрения реализации) построить смешанную процедуру дискретизации и квантования. При этом, как и при адаптивной дискретизации, расположение отсчетов сигнала определяется результатами квантования ошибки восстановления или, как при декорреляции - предсказанием и квантованием с обратной связью. Предсказанное значение сигнала формируется из квантованных значений результата дискретизации предыдущих значений сигнала [5, 6].

Заключительным этапом сжатия является статистическое кодирование результатов квантования отсчетов. С помощью статистического сжатия получают значительную экономию в объеме цифрового описания изображения за счет использования неравномерности в частоте появления отдельных значений квантованного сигнала [1, 6, 7]. При этом используются неравномерные коды Шеннона-Фано и Хаффмана, а также различные методы сжатия редких символов в сочетании с кодами Шеннона-Фано и Хаффмана. Последние используются в основном в системах с ДИКМ, адаптивной дискретизацией, а также в двухканальных системах (при сжатии сигнала градиента). Среди методов сжатия редких символов, использующихся для сжатия изображений, можно особо отметить методы сжатия с прослеживанием линий (образуемых, например, сигналом градиента) как один из наиболее эффективных.

**Выводы.** Таким образом, в статье представлены результаты анализа видеоинформационного канала и существующих методов сжатия данных в космических системах оптико-электронного наблюдения. В ходе аналитического обзора рассмотрены особенности построения информационного канала, предложены направления использования сжатия данных в космических системах в различных ситуациях для передачи данных в радиоканале.

1. *Дистанційне зондування Землі: інформаційні технології збирання, оброблення та використання даних аерокосмічного спостереження Землі / Під ред. В.І. Волошина та В.М. Корчинського.* – Д.: Проспект, 2007. – 208 с.
2. *Кашкин В.Б., Сухинин А.И. Дистанционное зондирование Земли из космоса. Цифровая обработка изображений.* – М.: Логос, 2001. – 264 с.
3. *Асташкин А.А. Космические системы, аппараты и приборы для решения задач природоиспользования и экономического контроля.* – М.: ВИНТИ, 1991. – 142 с.
4. *Шлихт Г.Ю. Цифровая обработка цветных изображений.* – М.: ЭКОМ, 1997. – 336 с.
5. *Чернега В.С. Сжатие информации в компьютерных сетях.* – Севастополь: СевГУ, 1997. – 214 с.
6. *Ахмед Н., Рао К.Р. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. / Под ред. И.Б. Фоменко.* – М.: Связь, 1980. – 248 с.
7. *Александров В.В., Горский Н.Д. Представление и обработка изображений. Рекурсивный подход.* – Л.: Наука, 1985. – 192 с.

*Поступила 16.9.2013р.*