

ИССЛЕДОВАНИЯ И РАЗРАБОТКА РАДИОЭЛЕКТРОННОЙ АППАРАТУРЫ И СИСТЕМ / RESEARCH AND DEVELOPMENT OF RADIO-ELECTRONIC EQUIPMENT AND SYSTEMS

DOI: 10.21778/2413-9599-2019-29-2-8-16
УДК 621.398

Обзор способов снижения избыточности телеметрической информации

Ф. Н. Байбекова¹, В. В. Подольцев¹, Н. М. Беспалова¹,
Л. А. Сологубова¹

¹ Краснодарское высшее военное училище им. генерала армии С. М. Штеменко, Краснодар, Россия

Избыточность телеметрической информации (ТМИ) ощутимо усложняет обработку потоков информации в реальном времени. Для ускорения процесса обработки телеметрии необходимо применение методов снижения избыточности ТМИ с целью сокращения потоков ТМИ, поступающих в системы мониторинга с сохранением при этом высокой скорости обработки и достоверности информации. В статье представлен обзор методов сокращения избыточности ТМИ, таких как увеличение физической скорости канала передачи ТМИ, алгоритм Хаффмана, пакетный механизм формирования и передачи ТМИ, адаптивный разностный алгоритм, алгоритм преобразования данных на основе представления их образами-остатками, коды Голомба–Райса, метод обратимого сжатия. Рассмотрены достоинства и недостатки каждого из них. Даны рекомендации по использованию многоуровневой системы сжатия ТМИ, позволяющей эффективно комбинировать целевые алгоритмы сжатия данных, которые дают наибольший коэффициент сжатия в зависимости от типа передаваемой ТМИ.

Ключевые слова: телеметрическая информация, избыточность, метод сжатия, управляемая телеметрия, пакетная телеметрия, обратимое сжатие

Для цитирования:

Обзор способов снижения избыточности телеметрической информации / Ф. Н. Байбекова, В. В. Подольцев, Н. М. Беспалова, Л. А. Сологубова // Радиопромышленность. 2019. Т. 29, № 2. С. 8–16. DOI: 10.21778/2413-9599-2019-29-2-8-16

© Байбекова Ф. Н., Подольцев В. В., Беспалова Н. М., Сологубова Л. А., 2019



Overview of the ways to reduce telemetric information redundancy

F.N. Baibekova¹, V.V. Podoltsev¹, N.M. Bepalova¹, L.A. Sologubova¹

¹ Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S.M. Shtemenko, Krasnodar, Russia

The redundancy of telemetric information significantly complicates the real-time processing of the information flows. To speed up the telemetry processing process, the methods for telemetric information redundancy reduction should be applied in order to reduce its flows entering the monitoring systems while maintaining a high speed of processing and reliability of the information. The article provides an overview of the methods for reduction of telemetric information redundancy, such as the increase in PHY-rate of telemetry channel, the Huffman algorithm, the batch mechanism for generation and transmission of telemetry information, the adaptive difference algorithm, the algorithm for transmission of the information based on its representation by residual images, Golomb-Rice codes, reversible compression method. The advantages and disadvantages of each of them are considered. Recommendations on the use of multi-level telemetry information compression system are given, which makes it possible to effectively combine target data compression algorithms that give the highest compression ratio depending on the type of telemetry information transmitted.

Keywords: telemetry information, redundancy, compression method, controlled telemetry, packet telemetry, reversible compression

For citation:

Baibekova F.N., Podoltsev V.V., Bepalova N.M., Sologubova L.A. Overview of the ways to reduce telemetric information redundancy. Radiopromyshlennost, 2019, vol. 29, no. 2, pp. 8–16 (In Russian). DOI: 10.21778/2413-9599-2019-29-2-8-16

Введение

Для большинства современных многоканальных телеметрических станций характерна одинаковая частота опроса по всем телеметрическим каналам. При штатном режиме работы бортовой системы частота опроса оказывается сильно завышенной, и объем получаемой телеметрической информации (ТМИ) избыточен.

В настоящее время автоматизированные системы обработки информации в ракетно-космической технике характеризуются высокими требованиями к качеству обработанной информации и оперативностью многопоточной обработки в условиях весьма ограниченного количества времени, отводимого на решение этих задач. Избыточность ТМИ ощутимо усложняет обработку потоков информации в реальном времени. Чтобы ускорить процесс обработки информации, необходимо сократить потоки ТМИ, поступающие в системы мониторинга технического состояния космических аппаратов (КА) с сохранением при этом высокой скорости и достоверности обработки информации.

Причинами избыточности данных могут быть не соответствующий требованиям выбор контролируемых параметров, погрешности измерений, нерациональная структура передаваемых сообщений (транспортных кадров, сегментов передачи) и т.д.

Для уменьшения избыточности применяются следующие методы: оптимизация параметров

канала передачи ТМИ, предварительное сжатие ТМИ, алгоритм Хаффмана и т.д.

Снижение избыточности путем оптимизации параметров канала передачи ТМИ

В ряде случаев ширина частотной полосы передающего канала, соединяющего бортовые системы и системы сбора ТМИ, ограничена, как и его пропускная способность, в то время как доставка информации об измеряемых параметрах от всех источников должна быть гарантированно своевременной. Пакеты данных от источника, имеющие большую длину и занимающие канал передачи на значительные промежутки времени, затрудняют управление потоками ТМИ по причине вынужденной большой буферизации телеметрии от источников, для которых канал оказывается в данный промежуток времени недоступен. Избежать этих затруднений можно путем создания виртуальных каналов и сегментации пакетов ТМИ.

Один из очевидных способов сокращения избыточности – увеличение физической скорости канала передачи ТМИ. Для этого необходимо переключить канал ТМИ на диапазон более высоких частот, что невозможно без привлечения большего количества технических средств, поскольку используемые в настоящее время скорости передачи телеметрии (2, 4, 8 кбит/с) недостаточны для передачи больших объемов информации в кратчайшие сроки [1].

Предварительное сжатие ТМИ, алгоритм Хаффмана

Для сжатия данных чаще всего применяется так называемое прореживание отсчетов, когда для передачи осуществляется отбор одного из заданного количества отсчетов для каждого измеряемого параметра. Однако использование такого метода уменьшения объема ТМИ может привести к сокращению достоверности данных, особенно при возникновении нештатных ситуаций на борту КА в том случае, если отсчеты с важной информацией были исключены. В какой-то степени ликвидировать эту проблему можно, осредняя отсчеты и передавая среднее значение.

Достаточно распространенным методом сжатия данных также служит алгоритм Хаффмана. Он может помочь осуществить идеальное сжатие (сжатие данных до их энтропии) при соблюдении условия: вероятность символа равна отрицательной степени числа 2. Подробно суть алгоритма описана в [2, 3]. Кодирование Хаффмана является беспрефиксным, т.е. ни одно кодовое слово не является префиксом другого. Кодовые слова беспрефиксного кода представляются вершинами двоичного дерева.

Порядок построения двоичного дерева следующий:

- 1) составляется перечень символов кодируемого алфавита (в порядке уменьшения их вероятностей);
- 2) последовательными шагами от корня строится дерево:
 - а) кодируемые символы – листья строящегося дерева;
 - б) выбираются два символа с минимальной вероятностью;
 - в) выбранные символы помещаются в узлы и удаляются из перечня символов;

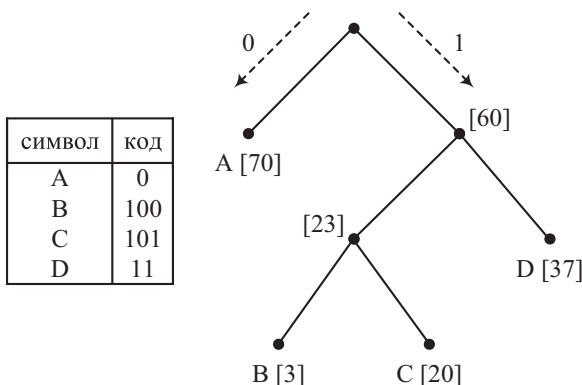


Рисунок 1. Пример дерева Хаффмана для четырех букв A, B, C, D
Figure 1. An example of a Huffman tree for four letters A, B, C, D

- г) исключенные символы заменяются вспомогательным, вероятность которого определяется сложением вероятностей исключенных;
 - д) если в перечне остается только один вспомогательный символ, дерево считается построенным (оставшийся символ представляет весь кодируемый алфавит) [3];
- 3) путем спуска по дереву определяются коды символов.

Каждый узел дерева либо является условным листом, либо имеет две ветви. Поворот налево – 0, поворот направо – 1. Нахождение в листе означает, что код следующего символа найден. Найденный символ фиксируется.

Повтором вышеперечисленных шагов определяются коды для всех символов. Пример такого дерева для четырех букв A, B, C, D представлен на рис. 1.

Частоты – количество символов в кодируемом слове. Чтобы определить оптимальное дерево Хаффмана, имея информацию о частотах, нужно максимально сократить стоимость дерева. Определение стоимости дерева подробно рассмотрено в [4].

Чем больше символов в алфавите с минимальной вероятностью, тем больше вариантов построения дерева Хаффмана возможно, а следовательно, и больше различных кодов Хаффмана с одинаковой средней длиной можно получить.

По мере формирования кодов сжатые данные размещаются в буфере и далее передаются в канал передачи.

Длина кодов зависит от кодируемого алфавита. Логично, что чем больше символов в алфавите, тем меньше их вероятность, и наоборот. При малых вероятностях длина кодов Хаффмана велика. В алфавите с небольшим количеством символов ситуация противоположная.

В случае алфавита, состоящего только из двух символов, алгоритм Хаффмана неприменим, поскольку одному из символов будет определен код 0, а присваиваемый код не может быть меньше 1 бита.

Хотя и предполагается, что декодеру известны частоты символов алфавита, это редкий случай. Повторное чтение исходных данных может помочь решить проблему. При первом чтении определяются частоты, при втором данные сжимаются. Дерево Хаффмана формируется при этом между этапами. Такой полуадаптивный алгоритм, хотя и работает на практике, обладает низкой скоростью.

Целесообразнее использовать адаптивный (динамический) алгоритм Хаффмана, суть которого в том, что сначала формируется пустое дерево и коды символам не определяются. Первый входящий символ при размещении в выходной файл не сжимается. Далее этот символ размещается на дереве и ему определяется код, который тоже

будет размещен в файл при повторном появлении символа. При этом частота упомянутого символа увеличится на единицу. По завершении назначения каждого кода необходимо проверять, является ли измененное дерево деревом Хаффмана. Если это не так, требуется переформировать дерево и коды.

Все эти шаги зеркально дублируются декодером. Здесь появляется еще одна сложность. Необходимо знать, является ли образец еще не сжатым символом или это код переменной длины. Для устранения этой неоднозначности перед каждым несжатым символом должен идти специальный код *esc* (*escape*). При обнаружении этого кода декодер однозначно распознает далее следующий код, впервые появившийся на входе. Поскольку коды символов алфавита постоянно претерпевают изменения, код *esc* тоже должен изменяться. Единственным выходом является создание на дереве еще одного пустого листа с неизменяющейся частотой, равной нулю. В таком случае коду *esc* постоянно будет определяться ветвь из одних нулей. Даже при постоянном изменении дерева и расположении на нем пустого листа код *esc* будет указывать на каждый несжатый символ.

Если дерево строится для слишком большого количества символов, может произойти кодовое переполнение. В этом случае коды становятся длиннее. Слишком длинные коды (когда их длина превышает разрядность формируемого целого) приведут к сбою программы. Спасти ситуацию можно, если накопление битов кода будет происходить в связанном списке с возможностью добавления новых узлов. Тогда ограничивать длину кодов будет только доступный объем памяти. В качестве альтернативы можно накапливать код в длинной целой переменной. Первый вариант снижает быстродействие алгоритма, второй может привести к переполнению счетчиков символов [3].

Таким образом, можно сказать, что благодаря свойству префиксности коды Хаффмана обладают возможностью однозначного декодирования. Но вместе с тем у них есть и ряд недостатков, один из которых – сложность реализации [2]. Хранение частот символов открытого текста (вещественных чисел) ведет к потере точности и не только уменьшает быстродействие, но и требует дополнительной памяти, в связи с чем на практике чаще всего используют целочисленные переменные.

Пакетный механизм формирования и передачи ТМИ

Пакетная телеметрия представляет собой механизм, включающий стандартные структуры данных и протоколы, позволяющие упростить разработку и расширить возможности передачи ТМИ от источников.

Принцип пакетной телеметрии заключается в следующем. В соответствии с источниками ТМИ о различных процессах и состояниях бортовых систем КА группируются в информационные блоки (пакеты). Далее пакеты ТМИ транслируются по каналу передачи с возможностью полного и достоверного восстановления их принимающими устройствами. Согласно ГОСТ Р 56096–2014 «Системы передачи космических данных и информации. Пакетная телеметрия», телеметрическая система должна быть иерархической структурой, представляющей систему как формализованный набор операций в соответствии с рекомендациями Международного Консультативного Комитета по космическим системам передачи данных – Consultative Committee for Space Data Systems (CCSDS). Иерархическая модель телеметрических служб CCSDS состоит из семи уровней (рис. 2).

В рекомендациях комитета CCSDS речь идет только об уровнях пакетирования, сегментации и передачи. Сокращения избыточности данных не произойдет, если уровень, на котором осуществляется преобразование физических величин в блоки ТМИ, будет функционировать аналогично форматному механизму формирования и передачи телеметрии. Пакеты данных, принимаемые наземным комплексом управления (НКУ), будут содержать в большинстве своем повторяющуюся информацию. Кроме того, с точки зрения защиты информации использование этих рекомендаций небезопасно, так как облегчает противнику процесс дешифрования.

Для уменьшения избыточности пакетной ТМИ требуется дополнительно к пакетной ТМИ применить режим управляемой телеметрии, суть которого заключается в том, что блоки данных передаются исключительно по командным запросам, направляемым с НКУ в командно-измерительную систему (КИС) КА. Без запроса передача телеметрии не осуществляется.

Управляемая выдача ТМИ освобождает канал передачи данных от значительной части нагрузки, что позволяет увеличить число опрашиваемых источников. Одним из таких источников может быть система журналирования, отслеживающая управляющие команды бортового компьютера, взаимодействие бортовых систем и блоков, неисправность оборудования и аварийные ситуации на борту КА.

Важно правильно оценивать возможности реализации предложенного механизма управляемой выдачи ТМИ. Поскольку при соединении источников телеметрии с телеметрической КИС напрямую реализовать запросный механизм возможности нет, возникает необходимость создания аппаратного хранилища для накопления данных и дальнейшей передачи их в канал ТМИ.

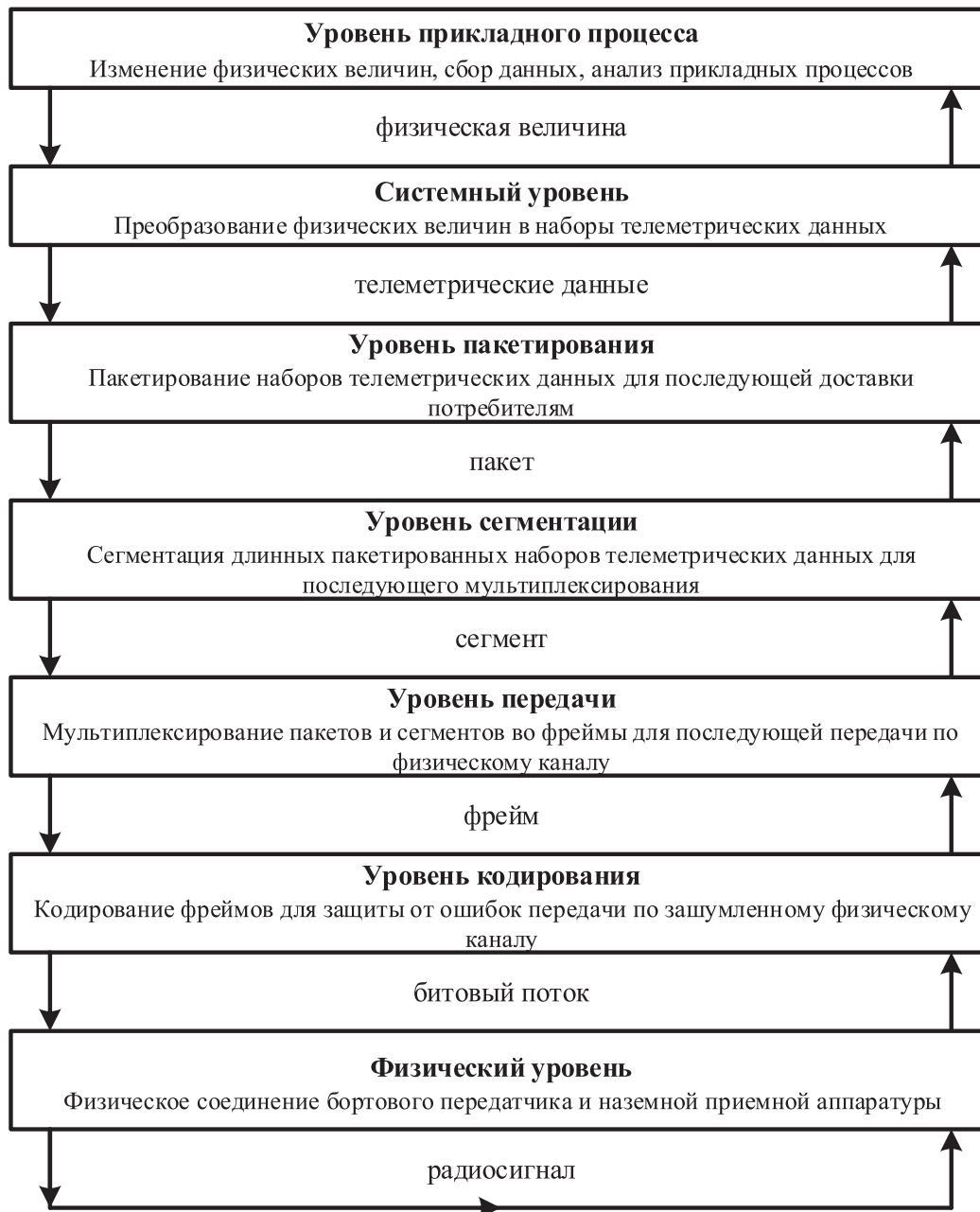


Рисунок 2. Семиуровневая иерархическая модель телеметрических служб
Figure 2. The seven-level hierarchical model of telemetry services

База данных (БД) может быть оптимальным вариантом такого хранилища. Она позволяет наиболее эффективно осуществлять хранение, запись, поиск и отбор информации, но с определенными условиями. База данных должна быть размещена в памяти с независимым энергообеспечением и обладающей возможностью ее перепрограммирования. Располагающаяся в КИС БД, состоящая из пакета взаимосвязанных файлов (символьных комбинаций, таблиц), позволит существенно разгрузить бортовой компьютер в части управления БД. Система управления БД должна быть организована как некая система, осуществляющая согласно

запросным командам запись, обработку, хранение и передачу ТМИ.

Выдача ТМИ по запросу, в свою очередь, также может привносить избыточность, но другого типа. В общем виде очередность передачи ТМИ от источников в информационном блоке может быть любой и зависит от типа запроса. Существует множество способов избежать появления упомянутой избыточности. Как вариант, длину идентификатора можно значительно сократить, если характеристики принимаемого сообщения и количество опрашиваемых источников известны заранее. Но при любых обстоятельствах такая избыточность оказывает меньшее

влияние на информативность и достоверность телеметрии, чем избыточность, возникающая при форматном механизме непрерывной выдачи ТМИ [1].

Адаптивный разностный алгоритм

Это накопительный алгоритм с пакетным способом передачи ТМИ. Размер пакета данных должен быть фиксированным. Адаптивность состоит в том, что количество измерений в пакете зависит от разницы между соседними измерениями. Чем меньше эта разница, тем больше измерений может вместить пакет. Подробно алгоритм рассмотрен в [5].

Коэффициент сжатия и время задержки выдачи первого пакета обратно пропорциональны частоте сигнала, а уменьшение размера пакета ведет к уменьшению как коэффициента сжатия, так и времени задержки информации.

У рассматриваемого алгоритма есть два недостатка, ограничивающих возможность его использования:

- 1) низкая помехоустойчивость алгоритма. Если в результате помехи произойдет искажение нескольких бит в пакете, то начиная с места повреждения и далее корректность всех данных в пакете будет сомнительна (недостоверна). При этом возможность контроля достоверности и восстановления информации отсутствует;
- 2) поскольку алгоритм является накопительным, существует задержка передачи информации.

Первый недостаток можно устранить путем использования дополнительного помехоустойчивого кодирования информации внутри пакета с помощью образов-остатков, которое будет более подробно рассмотрено далее, однако задержка получения данных при этом сохранится [5].

Алгоритм преобразования данных на основе представления их образами-остатками

Существует несколько вариантов такого кодирования. Например, каждый байт определяется как два остатка от деления на 15 и 16. Размер каждого из остатков не превышает 4 бит, при этом возможно однозначное восстановление данных из двух остатков по алгоритму на основе конструктивной теоремы об остатках, представленному в [6]. Также есть возможность применения алгоритма помехоустойчивого кодирования с декодированием двух типов на принимающей стороне, так называемое «мягкое» и «жесткое» декодирование [5]. Суть алгоритма заключается в следующем.

Исходный байт кодируется по формуле

$$C_i \equiv (X_i m_2) \pmod{m_3}, \quad (1)$$

где X_i – исходный байт, $m_2 = 17$, $m_3 = 256$.

Преобразованием данных на основе представления их образами-остатками можно добиться как сокращения избыточности, так и повышения помехоустойчивости. Подробно способ описан в [6, 7]. Суть способа состоит в двукратном сокращении динамического диапазона передаваемых данных. Передается не исходное $2n$ -разрядное слово-измерение, а его остаток от деления на 2^n , занимаемый объем которого меньше в два раза.

Поскольку необходимости в накоплении данных для дальнейшей обработки нет, недостаток в виде задержки поступающей информации у рассмотренного алгоритма отсутствует. Однако применим он не во всех случаях. Применение этого алгоритма для уменьшения избыточности возможно при условии предварительного наличия информации о том, что у контролируемого параметра не может возникнуть скачков между соседними измерениями, больших, чем 2^n при шкале 2^{2n} . Кроме того, неизвестно, откуда брать первое значение измерения в случае продолжительного отсутствия связи между бортовой радиотехнической системой (БРТС) и НКУ.

Применять адаптивный разностный алгоритм и алгоритм преобразования данных на основе представления их образами-остатками для устранения избыточности следует с учетом требований технического задания на БРТС. При осуществлении управления или возникновении штатных ситуаций внесение дополнительных задержек в процесс поступления информации недопустимо. При аварийных ситуациях могут возникнуть резкие скачки между ближайшими измерениями контролируемых параметров, которые при использовании рассматриваемого алгоритма могут быть восстановлены с ошибкой.

Применение кодов Голомба–Райса

Коды Райса – частный случай кодов Голомба. Коды Голомба эффективно применяются для распределений частот символов открытого текста, подчиняющихся геометрическому распределению $P(r_\theta = i) = (1 - \theta)\theta^i$, $\theta(0, 1)$. Двустороннее геометрическое распределение является статистической моделью сигнала ошибки линейного предсказания. Подробно коды Голомба–Райса описаны в [8].

Некоторые модификации кодов Голомба применяются в алгоритмах сжатия ввиду простоты реализации.

Величина N , подлежащая кодированию, раскладывается на два слагаемых: $N = N_i + N_f$, где

$$N_i = \left\lceil \frac{N}{2^k} \right\rceil \text{ и } N_f = N \bmod 2^k.$$

Кодовое слово составляется из представленного унарным кодом $N_i + 1$ и N_f представленного k битами двоичного кода. Унарное кодирование Райса оптимально для значений кодируемой величины N ,

близких к 2^k , и рекомендуется для источников, имеющих геометрическое распределение вероятности символов [8].

Метод обратимого сжатия

Свойства кодируемой информации во многом влияют на эффективность метода обратимого сжатия. Хорошо сжимающие текст алгоритмы могут не удовлетворять требуемым параметрам сжатия информации от датчиков. Малоэффективные при обработке входных стационарных данных алгоритмы могут значительно повысить качество сжатия при условии быстрого изменения статистических характеристик входных данных. Процедура обратимого сжатия состоит из:

- сегментирования;
- декорреляции;
- энтропийного кодирования.

Методы декорреляции основываются на способе предсказания значений входного сигнала X . Эффективность алгоритмов декорреляции определяется по:

- отношению дисперсии исходных данных к дисперсии сигнала ошибки предсказания;
- энтропии сигнала ошибки предсказания.

Квантование по уровню считываемого сигнала производится с использованием ранее считанных значений x_{i-1}, x_{i-2}, \dots с вычислением ошибки предсказания следующего значения x_i по формуле

$$e_i = x_i - Q \left\{ \sum_{j=1}^p \hat{a}_j x_{i-j} \right\}, \quad (2)$$

где \hat{a}_j – коэффициент фильтра предсказателя.

Фильтр работает по принципу линейной экстраполяции по времени (предсказания) в предположении линейной рекурсии с передаточной функцией $\hat{A}(z)$. Экстраполяция последовательности x_i с известными ошибками e_i производится при условии

минимальности среднего квадратичного отклонения.

Разность предсказанного и реального значений на входе декоррелятора поступает на вход энтропийного кодера (рис. 3).

В случае периодического потока данных, при порядке фильтра, равном длине периода, коэффициент сжатия существенно возрастает.

Повышение эффективности обратимого сжатия данных становится возможным благодаря использованию априорных сведений о структуре потока ТМИ. В случае фиксированной структуры кадров декорреляции есть возможность использовать линейный фильтр с порядком, равным длине периода при циклическом опросе каналов поступления данных. В случае сложных телеметрических кадров, сформированных, например, на основе двухступенчатой схемы коммутации, разделение каналов значительно повышает коэффициент сжатия. Для реализации последнего требуется дополнительная (параллельная) схема декоммутации каналов поступления данных ТМИ. При этом статистические характеристики информационного потока частично компенсируются во времени [2].

Выводы

Оптимальным вариантом сокращения избыточности является сочетание нескольких методов.

Пакетная телеметрия обладает высокой степенью автоматизации благодаря применению помехоустойчивого кодирования, выявлению и устранению ошибок, появившихся в ходе трансляции сигнала, и обеспечивает оптимальные характеристики передачи данных от источников. Пакетная телеметрия предоставляет механизм для реализации общих структур данных и протоколы, которые могут способствовать развитию и эксплуатации КИС КА [9].

При канальном кодировании исходных данных сообщения отличаются друг от друга без каких-либо сложностей. Благодаря этому восстановление передаваемой с КА в НКУ телеметрии происходит с низкой вероятностью ошибок, повышая, таким

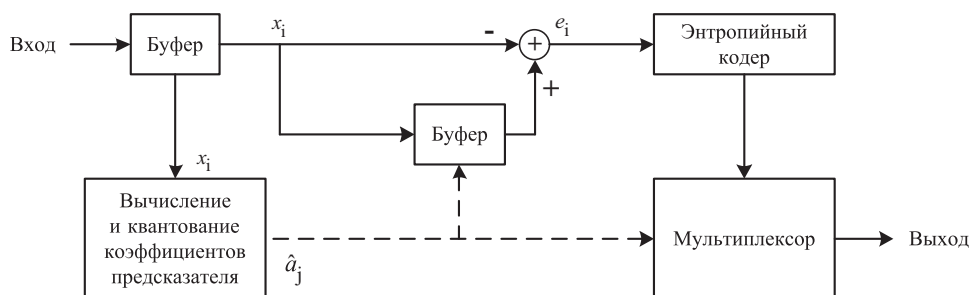


Рисунок 3. Структура системы сжатия на основе линейного предсказания
Figure 3. Linear prediction compression system structure

образом, производительность канала передачи ТМИ. А также за счет канального кодирования обеспечивается защита канала от вероятного несанкционированного доступа [10].

Простой переход на пакетный механизм передачи ТМИ в соответствии с рекомендациями CCSDS не решает проблему избыточности [11]. Для реализации принципа сокращения избыточности ТМИ предлагается дополнить пакетную телеметрию

запросным механизмом ее формирования и передачи, что позволит снизить затраты и скорость приема-передачи ТМИ. Также рекомендуется использовать многоуровневую систему сжатия ТМИ. На каждом уровне сжатия информации для бортового комплекса управления эффективно комбинировать те целевые алгоритмы сжатия данных, которые дают наибольший коэффициент сжатия в зависимости от типа информации [12].

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. *Механизм управляемой телеметрии космического аппарата* / Ф. А. Лукин, А. В. Шахматов, К. В. Мушовец, П. В. Зеленков // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М. Ф. Решетнева. 2012. № 5. С. 140–144.
2. *Исследование методов обратимого сжатия телеметрической информации* / М. А. Эльшафеи, И. М. Сидякин, С. В. Харитонов, Д. С. Ворнычев // Вестник МГТУ им. Н. Э. Баумана. Сер. «Приборостроение». 2014. № 3. С. 92–104.
3. *Salomon D. Data compression methods*. 4th ed. New York, Springer Publ., 2007, 1092 p.
4. *Dasgupta S., Papadimitriou C. H., Vazirani U. V. Algorithms*. New York, McGraw Publ., 2008, 320 p.
5. *Орешко В. В.* Алгоритмы устранения избыточности информации, передаваемой от бортовых телеметрических систем на Землю // Ракетно-космическое приборостроение и информационные системы. 2017. Т. 4, № 2. С. 85–94.
6. *Кукушкин С. С.* Теория конечных полей и информатика: в 2 т. Т. 1. Методы и алгоритмы, классические и нетрадиционные, основанные на использовании конструктивной теоремы об остатках. М.: МО РФ, 2003. 284 с.
7. *Патент РФ 2571584.* Способ передачи телеметрической информации, адаптированный к различным ситуациям, появляющимся при проведении испытаний ракетно-космической техники, и система для его осуществления / Кукушкин С. С., Кузнецов В. И.; опубл. 2014.
8. *Павлов Ю. Н., Сидякин И. М.* Применение кодов Голомба–Райса для сокращения избыточности данных телеизмерений // Наука в образовании. 2006. № 10 [Электронный ресурс]. URL: <http://engineering-science.ru/doc/60606.html> (дата обращения: 28.02.2019).
9. *Скляр Б.* Цифровая связь. М.: Вильямс, 2003. 1104 с.
10. *Мишуров А. В., Панько С. П.* Использование международных стандартов при проектировании новых командно-измерительных систем космических аппаратов // Исследования Наукограда. 2017. Т. 1, № 1. С. 11–15.
11. *Чье Ен Ун, Левенец А. В., Нильга В. В.* Представление телемеханических данных однородными n-мерными структурами как предварительная обработка в задачах сжатия // Информационно-управляющие системы. 2011. № 6. С. 7–10.
12. *Тулукбаев Е. Т.* Эффективные методы сжатия телеметрической информации для наземных комплексов управления // Вестник науки и образования. 2017. № 10. С. 14–20.

REFERENCES

1. Lukin F. A., Shakhmatov A. V., Mushovets K. V., Zelenkov P. V. Mechanism of operated telemetry for a spacecraft. *Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M. F. Reshetneva*, 2012, no. 5, pp. 140–144. (In Russian).
2. Elshafei M. A., Sidiyakin I. M., Kharitonov S. V., Voronichev D. S. Study of methods for lossless compression of the telemetry information stream. *Vestnik MGTU im. N. E. Baumana. Seriya «Priborostroenie»*, 2014, no. 3, pp. 92–104. (In Russian).
3. Salomon D. *Data compression methods*. 4th ed. New York, Springer Publ., 2007, 1092 p.
4. Dasgupta S., Papadimitriou C. H., Vazirani U. V. *Algorithms*. New York, McGraw Publ., 2008, 320 p.
5. Oreshko V. V. Algorithms of elimination of redundancy of the information transmitted from onboard telemetric systems to the Earth. UDC621.398. *Raketno-kosmicheskoe priborostroenie i informatsionnye sistemy*. 2017, vol. 4, no. 2, pp. 85–94. (In Russian).
6. Kukushkin S. S. *Teoriya konechnykh polei i informatika: v 2-kh t. T. 1. Metody i algoritmy, klassicheskie i netraditsionnye, osnovannye na ispol'zovanii konstruktivnoi teoremy ob ostatkakh* [The theory of finite fields and informatics. In 2 vols. Vol. 1]. M, MO RF Publ., 2003, 284 p. (In Russian).
7. Patent RF 2571584. *Sposob peredachi telemetricheskoi informatsii, adaptirovanniy k razlichnym situatsiyam, povlyayushchimsya pri provedenii ispytaniy raketno-kosmicheskoi tekhniki, i sistema dlya ego osushchestvleniya* [The method of transmitting telemetry information, adapted to various situations that appear during the tests of rocket and space technology, and a system for its implementation]. Kukushkin S. S., Kuznetsov V. I. Published 2014. (In Russian).
8. Pavlov Yu. N., Sidiyakin I. M. The use of Golomb-Rice codes to reduce the redundancy of measurement data. *Nauka v obrazovanii*, 2006, no. 10. Available at: <http://engineering-science.ru/doc/60606.html> (accessed 28.02.2019). (In Russian).
9. Sklyar B. *Cifrovaya svjaz* [Digital communication]. Moscow, Viljams Publ., 2003, 1104 p. (In Russian).
10. Mishurov A. V., Panko S. P. The Use of international standards in the design of new command and measurement systems of spacecraft. *Issledovaniya Naukograda*, 2017, vol. 1, no. 1, pp. 11–15. (In Russian).
11. Chie Yen Un, Levenets A. V., Nilga V. V. The view of telemetry data of a homogeneous n-dimensional structures such as pre-processing in the problems of compression. *Informacionno-upravljajushhie sistemy*, 2011, no. 6, pp. 7–10. (In Russian).

12. Tulekbaev E. T. Efficient methods for the compression of telemetry information for the ground control complexes. *Vestnik nauki i obrazovanija*, 2017, no. 10, pp. 14–20. (In Russian).

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

Байбекова Фатима Наильевна, младший научный сотрудник, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко, 350063, Краснодар, ул. Красина, д. 4, тел.: +7 (909) 464-50-46, e-mail: kvvu@mil.ru.

Подольцев Виктор Владимирович, начальник научно-исследовательской лаборатории, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко, 350063, Краснодар, ул. Красина, д. 4, тел.: +7 (861) 268-35-09, e-mail: kvvu@mil.ru.

Беспалова Наталья Михайловна, научный сотрудник, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко, 350063, Краснодар, ул. Красина, д. 4, тел.: +7 (918) 621-45-48, e-mail: kvvu@mil.ru.

Сологубова Лариса Анатольевна, младший научный сотрудник, Краснодарское высшее военное училище имени генерала армии С. М. Штеменко, 350063, Краснодар, ул. Красина, д. 4, тел.: +7 (905) 402-39-85, e-mail: kvvu@mil.ru.

AUTHORS

Fatima N. Baibekova, junior research assistant, Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S. M. Shtemenko, 4, ulitsa Krasina, Krasnodar, 350063, Russia, tel.: +7 (909) 464-50-46, e-mail: kvvu@mil.ru.

Viktor V. Podoltsev, head of laboratory of scientific, Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S. M. Shtemenko, 4, ulitsa Krasina, Krasnodar, 350063, Russia, tel.: +7 (861) 268-35-09, e-mail: kvvu@mil.ru.

Nataliya M. Bespalova, scientist, Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S. M. Shtemenko, 4, ulitsa Krasina, Krasnodar, 350063, Russia, tel.: +7 (918) 621-45-48, e-mail: kvvu@mil.ru.

Larisa A. Sologubova, junior research assistant, Krasnodar Higher Military School named after General of the Army S. M. Shtemenko, 4, ulitsa Krasina, Krasnodar, 350063, Russia, tel.: +7 (905) 402-39-85, e-mail: kvvu@mil.ru.

Поступила 30.10.2018; принята к публикации 20.03.2019; опубликована онлайн 27.05.2019.

Submitted 30.10.2018; revised 20.03.2019; published online 27.05.2019.