

Артюшкин А.Б., Куксенко М.А., Пантенков А.П. Экономное кодирование как метод...

4. Halper M.S., Ellenbogen J.C. Supercapacitors: A Brief Overview. McLean: Mitre, 2006.
5. Kansal A., Hsu J., Zahedi S., Srivastava M.B. Power Management in Energy Harvesting Sensor Networks // ACM Transactions on Embedded Computing Systems. 2007. Vol. 6. P. 32–38.
6. Ovshinsky S., Fetcenko M., Ross J. A Nickel Metal Hydride Battery for Electric Vehicles // American Association for the Advancement of Science. 1997. Vol. 260, issue 5105. P. 179–181.
7. Simjee F., Chou P.H. Everlast: Long-Life, Supercapacitor-Operated Wireless Sensor Node. URL: <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.446.3345&rep=rep1&type=pdf> (date of the application: 22.01.2020).
8. Smith D.F., Gucinski J. Synthetic Silver Oxide and Mercury-Free Zinc Electrodes for Silver-Zinc Reserve Batteries // Journal of Power Sources. 1999. Vol. 80, issues 1–2. P. 66–71.
9. Zhang S., Xu K., Jow T. Electrochemical Impedance Study on the Low Temperature of Li-Ion Batteries // Electrochimica Acta. 2003. Vol. 49, issue 7, 15. P. 1057–1061.
10. Zhang Y., Yang H. Modeling and Characterization of Supercapacitors for Wireless Sensor Network Applications // School of Electrical and Computer Engineering. 2010. Vol. 196. P. 4128–4135.

DOI: 10.25586/RNUV9187.20.01.P.043

УДК 621.396

А.Б. Артюшкин, М.А. Куксенко, А.П. Пантенков

ЭКОНОМНОЕ КОДИРОВАНИЕ КАК МЕТОД
ПОВЫШЕНИЯ СКОРОСТИ ПЕРЕДАЧИ ИНФОРМАЦИИ
В ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Оцениваются возможности применения экономных кодов в каналах передачи телеметрической информации. Рассматриваются вопросы, связанные с подготовкой и приведением телеметрических данных к виду, обеспечивающему наиболее эффективное их использование, а также предлагаются принципы построения и логическая структура группового телеметрического сигнала, обеспечивающие возможность передачи кодированной информации.

Ключевые слова: экономное кодирование, код Хаффмана, групповой телеметрический сигнал, сжатие данных, телеметрируемые параметры.

A.B. Artyshkin, M.A. Kyksenko, A.P. Pantenkov

ECONOMICAL CODING AS A METHOD
OF INCREASING THE SPEED OF INFORMATION
TRANSMISSION IN TELEMETRY SYSTEMS

The article evaluates the possibilities of using economical codes in telemetry information transmission channels. We consider the problems of preparing telemetry data and their bringing to the form that world ensure the most effective use thereof. We suggest the principles of forming a group telemetry signal and its logical structure to provide the ability to transfer the coded information.

Keywords: economical coding, Huffman code, group telemetry signal, data compression, telemetry parameters.

Введение

Телеметрия играет важнейшую роль в организации испытаний и эффективной эксплуатации различных видов технических средств. Возрастающие сложность, функциональная емкость, многозадачность современных технических и других объектов телеметрирования, необходимость реализации возможности их функционирования в быстроизменяющихся условиях окружающей обстановки обуславливают рост объемов информационных потоков в каналах передачи телеметрической информации (ТМИ).

Подходы к решению проблемы увеличения информативности каналов телеметрических систем (ТМС) могут быть различными [7].

Очевидным решением проблемы видится увеличение физической скорости передачи данных в телеметрическом канале. Однако данный подход, с одной стороны, требует переноса полосы радиоканала ТМС в более высокий частотный диапазон и, соответственно, определенных ресурсных затрат, в том числе и на решение вопросов помехоустойчивости, с другой – скорость передачи всегда ограничена возможностями существующей элементной и аппаратной базы аппаратуры формирования и обработки данных.

Таким образом, желательно, чтобы интенсивность информационного потока возрастала при минимальном увеличении объема передаваемых данных. Возможным решением является сжатие ТМИ перед выдачей в канал связи.

Существует большое количество методов обработки данных с целью устранения из них тех или иных видов избыточности. Данные методы в том или ином виде реализуют сжатие выходного потока источника информации. Однако на сегодняшний день, являясь весьма популярными в различных областях техники связи и обработки информации, они так и не нашли широкого применения в штатных телеметрических системах.

В статье рассматриваются вопросы, связанные с подготовкой и приведением данных телеизмерений к виду, обеспечивающему наиболее эффективную реализацию кодирования по методу Хаффмана, а также предлагается структура группового телеметрического сигнала (ГТС) для информационной телеметрической системы (ИТС), реализующей экономное кодирование.

*Постановка задачи реализации методов экономного кодирования
в телеметрических системах*

Природа избыточности телеметрических данных различна: нерациональный подбор измеряемых параметров и частот опроса датчиков, нерациональная структура передаваемых сообщений и т.д.

До настоящего времени основным остается механизм передачи телеметрических данных, реализующий непрерывный характер их выдачи в канал связи. В процессе подготовки к передаче телеметрические данные объединяются в структуры, называемые групповым телеметрическим сигналом. В составе ГТС могут передаваться показания разных источников информации: оцифрованные показания аналоговых датчиков, показания цифровых приборов, сигналы с выходов вычислительных систем и т.д. [6; 9; 10]. Кроме непосредственно измерительной телеметрической информации и информации о событиях в ГТС включается служебная информация, необходимая для работы декодера, обнаружения битовых ошибок, кадровой и канальной синхронизации, временной привязки и т.д. Групповые сигналы разных ИТС могут иметь ту или иную степень отличия, однако

Артюшкин А.Б., Куксенко М.А., Пантенков А.П. Экономное кодирование как метод...

логика их построения схожа, и, соответственно, схожи недостатки, присущие методу их формирования:

1) для бортовых систем, функционирующих в нормальных типовых режимах, изменения ТМИ во времени незначительны или вообще отсутствуют. Тем не менее канал ИТС полностью загружен этими избыточными малоинформативными данными;

2) в современных цифровых ИТС информация об отдельных измерениях представляется в виде совокупности двоичных кодовых последовательностей одинаковой длины – с помощью равномерных кодов. В большинстве случаев такое представление не является оптимальным с точки зрения избыточности битового потока.

Парирование данных недостатков может быть достигнуто применением методов энтропийного кодирования в процессе формирования телеметрических данных. Полученное таким образом информационное представление может оказаться существенно более эффективным по сравнению с представлением равномерным кодом.

Энтропийное (экономное, оптимальное) кодирование – это кодирование информации словами (кодами) переменной длины, при котором длина кода символа имеет обратную зависимость от вероятности появления символа в передаваемом сообщении [3; 8].

Использование кодов переменной длины позволяет учесть статистические особенности появления символов в информационном сообщении [8]. Часто встречающимся символам целесообразно ставить в соответствие короткие коды, а символам, встречающимся реже, – длинные.

К энтропийному кодированию относятся три больших класса методов: методы префиксного кодирования, методы кодирования длин серий и методы арифметического кодирования. К префиксным кодам принадлежат коды Хаффмана, Лемпеля – Зива и Шеннона – Фано [1; 3; 4; 8]. При этом по ряду причин в большинстве случаев префиксное кодирование предпочтительнее для практического использования.

Среди префиксных методов кодирования наиболее эффективным является метод Хаффмана. Этот метод производит идеальное сжатие, т.е. сжимает данные до их энтропии, если вероятности символов точно равны отрицательным степеням числа 2 [1; 3; 8].

В телеметрических системах структура информационного потока формируется в виде отдельных информационных массивов, которые называются кадрами. На интервале кадра в телеметрический канал последовательно передаются сигнальные кодовые последовательности, несущие информацию об отдельных измерениях – отсчетах, выполненных на телеметрируемом объекте. Чаще всего кадр включает в себя совокупность данных об измерениях, выполненных за один цикл опроса контролируемых датчиков. При этом значительную долю первичных сигналов, поступающих на вход цифровой телеметрической системы, составляют аналоговые сообщения. Дальнейшая обработка полученных данных предусматривает дискретизацию непрерывного сигнала и цифровое представление полученных отсчетов. Под дискретизацией понимается преобразование аналогового сообщения (функции непрерывного времени) в дискретную последовательность аналоговых величин (функцию дискретного времени). Простейшим цифровым представлением является равномерное квантование шкалы в сочетании с простым (равнодлинным) кодированием уровней квантования. При этом истинному значению λ аналоговой величины Λ ставится в соответствие ее оценка λ , отличающаяся на случайную величину ϵ . Ансамбль оценок, полученных в процессе измерений, образует оценку Λ случайной величины Λ .

Нижняя грань $I_\varepsilon(\lambda)$ среднего количества информации в $\bar{\Lambda}$ относительно Λ , при которой еще обеспечивается получение оценки с допустимой погрешностью, связана с законом распределения рассматриваемого параметра [9]:

$$I_\varepsilon(\lambda) \geq \left\{ H(\Lambda) - 0,5 \log_2 2\pi e \sigma_\varepsilon^2 \right\}, \quad (1)$$

где $H(\Lambda)$ – собственная энтропия случайной величины Λ ; σ_ε^2 – условная дисперсия погрешности (при условии, что истинное значение случайной величины Λ в опыте было λ).

Для оценки эффективности экономного кодирования используется коэффициент сжатия $k_{\text{ск}}$ среднего объема кодового слова при фиксированной погрешности представления равной погрешности квантования $\sigma_\varepsilon^2 = \sigma_{\text{кв}}^2$:

$$k_{\text{ск}} = k / \bar{k}_{\text{min}} = k / I_\varepsilon(\lambda), \quad (2)$$

где k , \bar{k}_{min} – объемы слова при простейшем (равноудлинном) и оптимальном представлениях соответственно.

Оценка $k_{\text{ск min}}$ минимально возможного выигрыша соответствует гауссовскому распределению $\omega_\lambda(\lambda)$ значения телеметрируемого параметра, которое среди всех распределений с ограниченной дисперсией ($\sigma_\lambda^2 < \infty$) имеет наибольшую энтропию $H(\Lambda)$ и наибольшее значение $I_\varepsilon(\lambda)$, определяемое, согласно [9], как

$$I_\varepsilon(\lambda) = \log_2(1/\delta_{\text{кв}}); \quad \delta_{\text{кв}} = \sigma_{\text{кв}} / \sigma_\lambda = \sigma_\varepsilon / \sigma_\lambda. \quad (3)$$

Значение k при высокой точности представления практически не зависит от вида плотности распределения вероятностей и определяется, согласно [9], как

$$k = \log_2(\sqrt{3}/\delta_{\text{кв}} + 1). \quad (4)$$

Таким образом, получаем

$$k_{\text{ск min}} = \min_{\substack{\omega_\lambda(\lambda) \\ \sigma_\lambda^2 < \infty}} k_{\text{ск}} = \log_2(\sqrt{3}/\delta_{\text{кв}} + 1) / \log_2(1/\delta_{\text{кв}}). \quad (5)$$

Полученные по формуле (5) оценки

$$\begin{aligned} \delta_{\text{кв}} & \dots\dots\dots 10^{-1} \quad 10^{-2} \quad 10^{-3}; \\ k_{\text{ск min}} & \dots\dots\dots 1,24 \quad 1,12 \quad 1,08 \end{aligned}$$

приводят к следующим выводам:

1. При гауссовском и близком к нему распределении вероятностей аналоговой случайной величины и малой ($\delta_{\text{кв}} < 10^{-1}$) погрешности цифрового представления (квантования), характерной для измерительных систем, выигрыш от применения оптимального представления, по сравнению с простейшим, незначителен (меньше 25% по объему) и убывает с уменьшением допустимой погрешности представления.

2. Оптимальное представление может дать заметный выигрыш, по сравнению с простейшим, лишь при совместном выполнении двух условий: допустимая погрешность представления велика (больше 10^{-1}) и энтропия плотности распределения вероятностей представляемой аналоговой величины существенно меньше энтропии гауссовского распределения:

$$H(\Lambda) \ll H_\Gamma(\Lambda). \quad (6)$$

Артюшкин А.Б., Куксенко М.А., Пантенков А.П. Экономное кодирование как метод...

3. При равновероятном распределении аналоговой величины простейшее цифровое представление (равномерное квантование в паре с равнодлинным кодированием) является также и оптимальным.

4. Применение оптимального (безыбыточного) кодирования в ИТС оказывается нецелесообразным, поскольку для таких систем требования к точности высоки, а отличия распределений от гауссовского, как правило, несущественны [9].

Иными словами, эффективной реализации оптимального кодирования в цифровых системах мешает ряд объективных причин. Во-первых, это сложившаяся практика использования в штатных ТМС большого количества уровней квантования шкалы при цифровом преобразовании первичных сигналов (от 256 до 1024). То есть при кодировании применяется алфавит большого объема при относительно небольшом количестве значений отсчетов, приходящихся на каждый его элемент. Во-вторых, большинство телеметрируемых параметров характеризуется плотностями распределения вероятностей (ПРВ), близкими к равномерному либо гауссовскому виду, что в первом случае сводит на нет возможность экономного кодирования, во втором – значительно снижает его эффективность. Кроме этого, в соответствии с центральной предельной теоремой, даже в случае объединения в кадре большого количества параметров с ПРВ негауссовского вида, при кодировании их в общей шкале суммарная плотность распределения значений получаемых отсчетов будет стремиться к гауссовскому виду.

Исходя из этого, постановка задачи по реализации методов экономного кодирования в телеметрических системах может быть представлена следующим образом.

Дано:

1. Множество первичных сигналов $\{\lambda\}$ ИТС, характеризуемых распределениями $\{\omega_\lambda(\lambda)\}$.

2. Стандартный алгоритм экономного кодирования Хаффмана.

3. Показатель эффективности реализации метода сжатия:

$$k_{\text{сж}} = k / \bar{k}_{\text{min}} = k / I_\epsilon(\lambda). \quad (7)$$

Требуется:

1. Разработать метод преобразования совокупности получаемых измерений к виду, обеспечивающему наиболее эффективную реализацию метода Хаффмана с учетом выводов 1–4.

2. Предложить примерную структуру группового телеметрического сигнала для ИТС, реализующей кодирование по методу Хаффмана.

*Порядок подготовки данных телеизмерений
к процедуре эффективного кодирования*

Код Хаффмана является кодом переменной длины, т.е. при кодировании часто встречающимся символам назначаются более короткие коды, чем встречающимся реже. При этом количество коротких кодов ограничено количеством возможных комбинаций двоичных символов в слове заданной разрядности, а также требованием префиксности кода, когда ни одно кодовое слово не является полным началом (т.е. префиксом) никакого другого слова. Следовательно, кодирование будет тем эффективнее, чем большее количество элементов N_i будет приходиться на короткие коды и чем короче список использованных элементов алфавита. То есть чем более неравномерным является данное распределение,

тем большую степень сжатия потока данных возможно получить при переходе от равномерного кода к неравномерному.

Пункты 1–4 выводов верны для непрерывных процессов, какими являются первичные аналоговые сигналы на выходе датчиков либо дискретизированные сигналы, длительность которых стремится к бесконечности. Однако реальные результаты измерений в каналах ИТС описываются не непрерывными распределениями, а конечными наборами дискретных отсчетов, алфавиты которых на ограниченном временном промежутке являются менее мощными подмножествами алфавита общей шкалы L . Под алфавитом в данном случае понимается совокупность номеров уровней квантования шкалы L , количество которых – мощность алфавита – равна N . Но важно то, что большинство телеметрируемых процессов протекает в рамках своих максимальных и минимальных значений, т.е. внутри некоторых шкал L_i , размах которых и положение внутри L могут отличаться на разных интервалах наблюдения $T_{и}$.

Реализация алгоритмов экономного кодирования подразумевает предварительное накопление статистических данных об измеряемых сигналах. Кодирование выполняется после того, как будут определены частоты появления v_k всех m реализовавшихся на интервале измерения $T_{и}$ элементов алфавита ($k = 1, \dots, m$) [2; 4; 5].

Таким образом, при $L_i < L$ количество элементов N_i , реализовавшихся на интервале измерения $T_{и}$ i -го канала, заведомо меньше полного объема N алфавита общей шкалы. Это ослабляет п. 1 выводов. То есть всю совокупность параметров, контролируемых ИТС, на интервале $T_{и}$ можно представить набором множеств отсчетов, все возможные значения которых лежат внутри собственных шкал, принадлежащих общей шкале L . Данные множества могут не пересекаться. Графически такое распределение измеренных значений сигналов, полученных на $T_{и}$, можно представить суммой гистограмм.

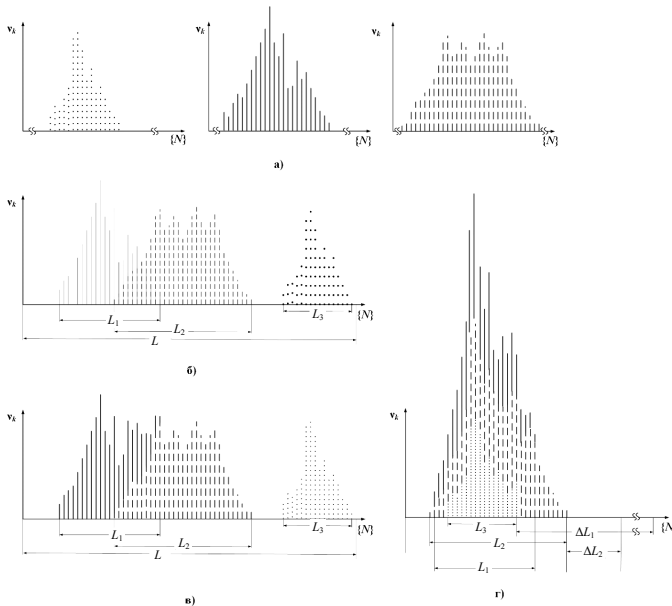


Рис. 1. Формирование суммарной гистограммы для значений отсчетов процессов А, В и С, полученных на интервале $T_{и}$

Артюшкин А.Б., Куксенко М.А., Пантенков А.П. Экономное кодирование как метод...

На рисунке 1-а представлено три гистограммы распределений отсчетов, полученные в ходе выполнения измерений неких первичных сигналов на $T_{и}$. Обозначим их слева направо: процессы А, В и С. По осям абсцисс приведенных графиков в порядке возрастания распределены номера уровней квантования шкалы L , которые можно рассматривать как элементы исходного алфавита $\{N\}$. По осям ординат откладываются количественные показатели частот ν_k появления данных элементов на интервале наблюдения. Из рисунка 1-а видно, что представленные гистограммы соответствуют процессам, ПРВ которых близки к гауссовскому.

На рисунке 1-б показан случай, когда представленные сигналы передаются в общем телеметрическом канале и их шкалы L_1 , L_2 и L_3 распределены в пределах шкалы L канала. При этом L_1 и L_2 частично пересекаются, т.е. для данных сигналов существуют общие элементы алфавита $\{N\}$. Суммарное ПРВ данных процессов приведено на рисунке 1-в.

В данном случае, согласно п. 1–4 выводов, эффективность экономного кодирования, выполняемого в пределах всей шкалы L , будет невысокой. Однако можно предложить метод, который позволит значительно повысить показатели данной операции. Метод основан на возможности модификации суммарного распределения измерений смещением положения шкал отдельных параметров относительно друг друга на некоторые фиксируемые величины ΔL_i . Это позволяет изменять общее количество использованных знаков алфавита $\{N\}$, совмещая гистограммы таким образом, чтобы при минимальном количестве использованных знаков алфавита распределение частот их повторения ν_k в суммарной гистограмме было максимально неравномерным. Таким образом, первоначальное распределение результатов измерения первичных сигналов приводится к виду, более оптимальному с точки зрения возможности использования экономного кодирования (рис. 1-з). При этом информация о ΔL_i должна передаваться в служебной части формируемого кадра ТМИ и использоваться при его декодировании для восстановления первоначального положения шкал L_i .

Процедура модификации распределения частот ν_k должна предусматривать возможность разбиения информационного кадра, формируемого из измерений, полученных на $T_{и}$, на некоторое количество подкадров. Данная величина должна быть оптимальна с точки зрения отношения «количество подкадров (время перекодирования) / степень сжатия потока». Это позволяет более гибко перераспределять массивы измерений по шкале, объединяя их в группы с последующим индивидуальным экономным кодированием групп.

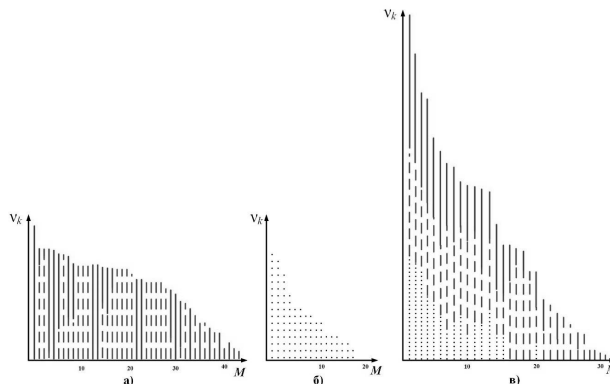


Рис. 2. Градиентная сортировка частот исходного алфавита

На рисунке 2-а показаны результаты градиентной сортировки частот исходного алфавита для совокупности отсчетов процессов А и В, распределение которых приведено на рисунке 1-в. На рисунке 2-б та же характеристика приведена для процесса С, а на рисунке 2-в – для модифицированной суммы этих процессов (см. рис. 1-г).

Из анализа рисунков 1-г и 2 следует, что модификация исходного информационного массива отсчетов позволяет значительно усилить экстремальность ПРВ выходного массива. Кроме этого, уменьшается количество знаков кодового алфавита: сумма 43 знаков для совместного распределения А + В и 16 знаков распределения С почти вдвое превосходит количество знаков алфавита кодирования модифицированного потока, равное 31.

Алгоритм формирования и структура группового телеметрического сигнала для ИТС, реализующей экономное кодирование информации о телеметрируемых параметрах

Экономное кодирование предусматривает предварительное накопление статистических данных о контролируемых сигналах до начала процесса кодирования. Соответственно, возникает задержка потока выходных данных на величину, равную сумме временных промежутков T_n – интервал накопления измерений в двоичном равномерном коде и T_{II} – интервал преобразования накопленных значений в кодовые комбинации экономного кода.

Ниже приведен алгоритм формирования ГТС при реализации метода экономного кодирования телеметрической информации (рис. 3).

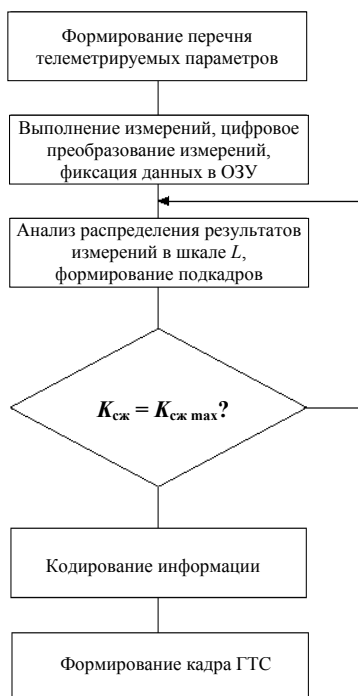


Рис. 3. Алгоритм формирования ГТС при реализации метода экономного кодирования телеметрической информации

Артюшкин А.Б., Куксенко М.А., Пантенков А.П. Экономное кодирование как метод...

Прежде всего анализируется имеющаяся совокупность контролируемых телеметрируемых параметров и формируется их перечень для передачи в кадре ГТС. Далее на основе априорной информации о ПРВ параметров определяется величина интервала накопления T_n и выполняются измерения.

После оцифровки полученных отсчетов данные заносятся в ОЗУ. Полученный информационный массив анализируется, определяется распределение значений по шкале L . На следующем шаге алгоритма выполняется модификация суммарного ПРВ, определяется величина z – количество подкадров, необходимое для достижения максимального сжатия двоичного потока, задаются величины смещений шкал каналов ΔL_i , т.е. каналы перераспределяются по подкадрам. Для каждого подкадра выполняется кодирование информации методом Хаффмана.

Особенностью реализации методов экономного кодирования является необходимость передачи в общем информационном потоке так называемых таблиц соответствия кодов, в которых устанавливается связь между элементом исходного сообщения (алфавита) и сгенерированной для него по выбранному методу совокупности кодовых последовательностей.

После формирования таблиц соответствия устанавливается порядок следования подкадров в общем выходном уплотненном кадре, содержащем информацию, полученную аппаратурой коммутации телеметрической системы в одном цикле опроса датчиков. Совокупность таких кадров, сформированных из телеметрических данных, полученных в течение T_n , образует информационную часть передаваемого пакета или группового телеметрического сигнала.

Целевой функцией модификации суммарного ПРВ является величина $k_{ск}$, выступающая функцией следующих оптимизируемых параметров:

ΔL_i – величина смещений шкал каналов относительно начала кадра;

N_{ij}^0 – номер каналов, объединяемых в j -м подкадре;

z – количество подкадров:

$$k_{ск} = f(\Delta L_i, N_{ij}^0, z) \rightarrow k_{ск\max}. \quad (8)$$

Все операции над данными должны быть закончены в течение интервала преобразования $T_{п}$.

Рассмотрим более подробно структуру формируемого ГТС (пакета). Размещенные в пакете данные группируются в два больших блока – информационный и служебный. Информационный блок (ИБ) содержит закодированные значения измерений, объединенные в определенном порядке в подкадры и кадры. Служебный блок (СБ) имеет более сложную структуру (рис. 4).

Данные, входящие в СБ, предназначены для обеспечения надежного обнаружения пакета, декодирования, декоммутации и других операций, предусмотренных алгоритмом его передачи и обработки.

Требуемая надежность обнаружения начала кадра приемной аппаратурой ИТС обеспечивается наличием в служебной части маркера кадра (МК) – M-последовательности, имеющей малые боковые лепестки автокорреляционной функции.

Указатель количества подкадров представляет собой двоичное число, значение которого соответствует количеству подкадров, формирующих единичный кадр. Разрядность n указателя зависит от возможного количества реализуемых подкадров. Так при $n = 2$ возможное количество подкадров может достигать четырех, при $n = 3$ – восьми.

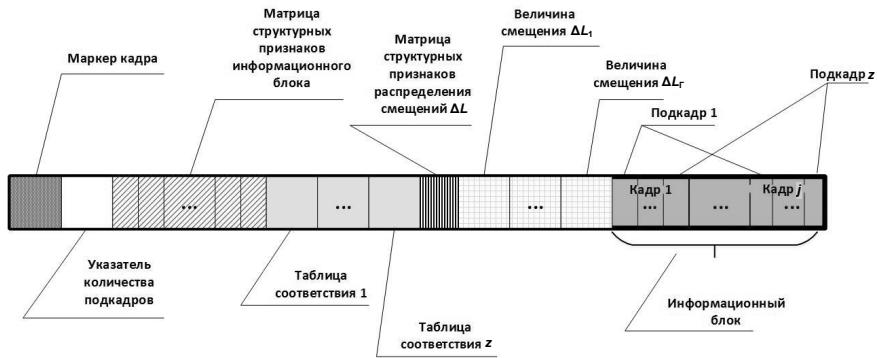


Рис. 4. Структура служебного блока

При неизменном порядке следования измерений, выполняемых системой опроса бортовой ИТС, нет необходимости передавать порядковые номера каналов в цикле опроса, так как они известны заранее. Однако перераспределение каналов по подкадрам требует определить место каждого канала в новой структуре. Для этой цели в состав служебной части кадра вводится матрица структурных признаков информационного блока, состоящая из n -разрядных двоичных слов, количество которых соответствует количеству каналов в исходном кадре. Ее назначение – обеспечить правильную декоммутиацию информационного блока. Порядковая позиция каждого слова в матрице совпадает с позицией соответствующего ему канала в цикле опроса датчиков (рис. 5). Числовое значение слова соответствует порядковому номеру подкадра в выходном кадре, в котором размещается данный канал. Таким образом, все каналы исходного кадра после перекодирования распределяются в подкадрах в порядке возрастания их первоначальных номеров.

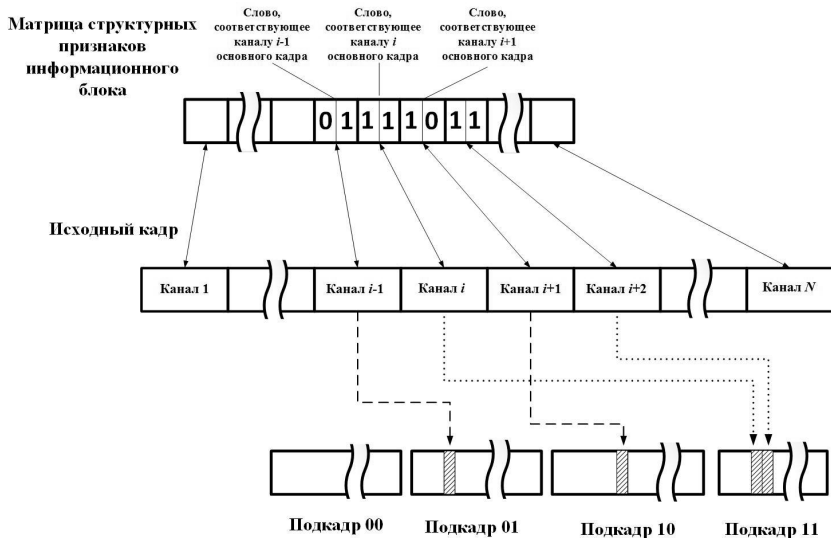


Рис. 5. Принцип перераспределения каналов в кадре с формированием последовательности подкадров

Артюшкин А.Б., Куксенко М.А., Пантенков А.П. Экономное кодирование как метод...

После матрицы структуры кадра для каждого подкадра в порядке их следования передаются таблицы соответствия кодов по возрастанию номера подкадра.

Так как в процессе модификации исходного кадра допустимы смещения шкал каналов ΔL относительно их начального положения в шкале L , в формируемом кадре необходимо предусмотреть возможность передачи информации о реализуемой совокупности таких смещений. Поэтому далее в служебной части размещается еще два массива данных: матрица структурных признаков распределения смещений шкал каналов ΔL_i и непосредственно значения смещений в порядке следования каналов в исходном кадре. Матрица строится по аналогии с матрицей структурных признаков информационной части кадра, с тем лишь отличием, что ее элементы, соответствующие тому или иному каналу, одноразрядны и несут информацию о том, содержит передаваемая последовательность смещений значение смещения для данного канала или нет. В первом случае в разряде с соответствующим порядковым номером передается «1», во втором – «0».

Все двоичные слова, содержащие значения ΔL , имеют одинаковое количество разрядов, равное размеру исходного слова равномерного кода шкалы L .

ИБ включает в себя последовательность выходных кадров, формируемых из подкадров. Каждый подкадр, как уже было сказано, состоит из последовательности информационных слов кода Хаффмана разной длины, полученных перекодированием значений измерительных отсчетов соответствующих им каналов.

Заключение

Представленные в работе принципы и алгоритм формирования ГТС телеметрической системы с реализацией экономного кодирования являются отправной точкой в реализации такой ИТС на современной элементной базе.

В дальнейших исследованиях предполагается рассмотреть следующие вопросы:

1. Необходимо разработать эффективный, с минимальными операционными затратами метод модификации исходного двоичного потока и формирования суммарного ПРВ кадра.

2. Использование неравномерного кода делает невозможной синхронизацию двоичного потока по синхропризнакам слов. В то же время при префиксном кодировании искажение в одном информационном разряде будет приводить к потере целого блока информации. Необходимо предложить метод синхронизации и элементы структуры ГТС для решения данных проблемных вопросов.

3. Рабочие поля служебной части кадра имеют непостоянные размеры вследствие изменения статистических характеристик наборов измерений на различных интервалах наблюдения. Это приводит к затруднениям при определении их границ в двоичном информационном потоке. Необходимо предложить метод надежного определения положения рабочих полей в текущей структуре кадра.

Литература

1. Александров О.Е. Компрессия данных или измерение и избыточность информации. Метод Хаффмана: методические указания к лабораторной работе. Екатеринбург: УГТУ, 2000. 52 с.
2. Вернер М. Основы кодирования: учебник для вузов. М.: Техносфера, 2004. 288 с.

3. Вологдин Э.И. Статистическое компрессирование аудиосигналов: конспект лекций. СПб., 2012. 42 с.
4. Горячкин О.В. Теория информации и кодирования: учебное пособие. Ч. 2. Самара: ПГУТИ, 2017. 138 с.
5. Калмыков Г.И. Методические указания к выполнению лабораторных работ по дисциплине «Теория кодирования»: учебное пособие. М., 2007. 17 с.
6. Лоскутов А.И. и др. Телеметрия: учебник / под общ. ред. А.И. Лоскутова. СПб.: ВКА им. А.Ф. Можайского, 2017. 342 с.
7. Лукин Ф.А. и др. Механизм управляемой телеметрии космического аппарата // Вестник Сибирского государственного аэрокосмического университета имени академика М.Ф. Решетнева. 2008. № 2. С. 140–144.
8. Семенюк В.В. Экономное кодирование дискретной информации. СПб.: СПбГИТМО (ТУ), 2001. 115 с.
9. Фомин А.Ф. и др. Цифровые информационно-измерительные системы: Теория и практика / под ред. А.Ф. Фомина, О.Н. Новоселова. М.: Энергоатомиздат, 1996. 448 с.
10. Эльшафеев М.А. и др. Исследование методов обратимого сжатия ТМИ // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Приборостроение». 2014. № 3. С. 92–104.

Literatura

1. Aleksandrov O.E. Kompresiya dannykh ili izmerenie i izbytochnost' informatsii. Metod Khaffmana: metodicheskie ukazaniya k laboratornoj rabote. Ekaterinburg: UGTU, 2000. 52 s.
2. Verner M. Osnovy kodirovaniya: uchebnik dlya vuzov. M.: Tekhnosfera, 2004. 288s.
3. Vologdin E.I. Statisticheskoe kompressirovanie audiosignalov: konspekt lektsij. SPb., 2012. 42 s.
4. Goryachkin O.V. Teoriya informatsii i kodirovaniya: uchebnoe posobie. Ch. 2. Samara: PGUTI, 2017. 138 s.
5. Kalmykov G.I. Metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu laboratornykh работ po distsipline "Teoriya kodirovaniya": uchebnoe posobie. M., 2007. 17 s.
6. Loskutov A.I. i dr. Telemetriya: uchebnik / pod obshch. red. A.I. Loskutova. SPb.: VKA im. A.F. Mozhajskogo, 2017. 342 s.
7. Lukin F.A. i dr. Mekhanizm upravlyaemoj telemetrii kosmicheskogo apparata // Vestnik Sibirskogo gosudarstvennogo aerokosmicheskogo universiteta imeni akademika M.F. Reshetneva. 2008. № 2. S. 140–144.
8. Semenyuk V.V. Ekonomnoe kodirovanie diskretnoj informatsii. SPb.: SPbGITMO (TU), 2001. 115 s.
9. Fomin A.F. i dr. Tsifrovye informatsionno-izmeritel'nye sistemy: Teoriya i praktika / pod red. A.F. Fomina, O.N. Novoselova. M.: Energoatomizdat, 1996. 448 s.
10. El'shafei M.A. i dr. Issledovanie metodov obratimogo szhatiya TMI // Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya "Priborostroenie". 2014. № 3. S. 92–104.