

Обзор кодов для помехоустойчивого кодирования

О.А. Турдиев, д.т.н. В.В. Яковлев

Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I
Санкт-Петербург, Россия
odiljan.turдиеv@mail.ru, jakovlev@pgups.ru

С.В. Клименко

Инженер-программист Dell EMC
Санкт-Петербург, Россия
s.klimenko@live.ru

Аннотация. Рассматриваются базовые алгоритмы помехоустойчивого кодирования для обеспечения достоверности передаваемых и хранимых данных в вычислительных системах и сетях передачи данных. Подробно описаны принципы работы кодов, таких как бит четности, вертикальный и горизонтальный контроль по четности и код Хэмминга, и сфера их применения.

Ключевые слова: четность, помехи, кодирование, декодирование.

ВВЕДЕНИЕ

При передаче сообщения (данных) от источника к приемнику может произойти ошибка (помехи, неисправность оборудования и пр.). Для обнаружения и исправления ошибок применяют помехоустойчивое кодирование, т. е. кодируют сообщение таким образом, чтобы принимающая сторона знала, произошла ошибка или нет, и могла исправить ошибки в случае их возникновения. Применение помехоустойчивого кодирования с исправлением ошибок в современных системах связи является обязательным. Под кодированием понимается добавление к исходной информации дополнительной проверочной информации. Для кодирования на передающей стороне используется кодер, а на принимающей стороне для получения исходного сообщения используют декодер (рис. 1), [1, 2].

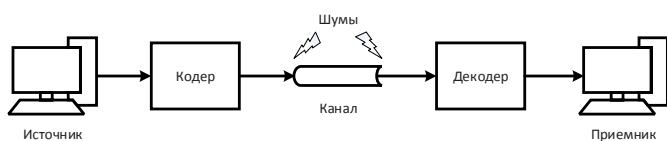


Рис. 1. Прохождение сигнала по каналу связи

При использовании кодирования возникает понятие избыточности кода. Под ним понимается количество проверочной информации в сообщении.

БИТ ЧЕТНОСТИ

Бит четности (бит паритета) — метод для обнаружения ошибок в передаваемом пакете данных. Позволяет обнаружить одиночную ошибку, без возможности восстановить данные [3, 4].

Этот бит рассчитывается и устанавливается во время отправки данных кодером (рис. 2); после получения данных декодером (рис. 3) он рассчитывается заново и сравнивается с полученным. Для расчета бита четности используется булева функция — сумма по модулю 2 (исключающее «ИЛИ») для всех бит данных. Изменение значения этого бита с 0 на 1 или с 1 на 0 свидетельствует о наличии ошибки [5].

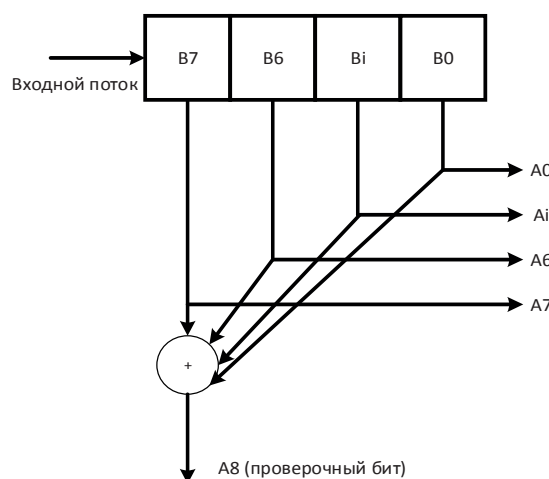


Рис. 2. Структурная схема работы кодера

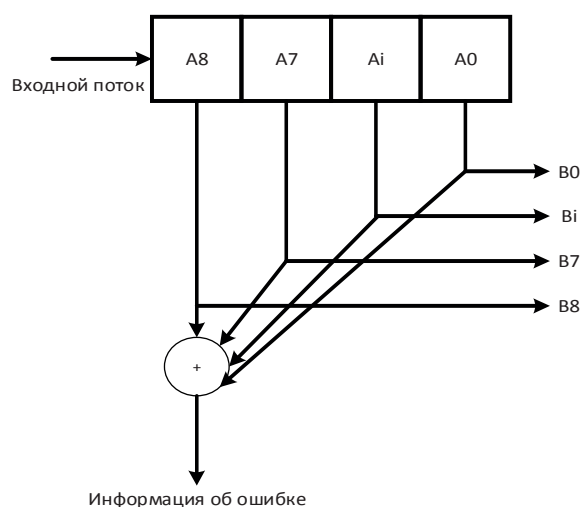


Рис. 3. Структурная схема работы декодера

Многие реализации UART (Universal Asynchronous Receiver-Transmitter — универсальный асинхронный приемопередатчик) имеют возможность автоматически контролировать целостность данных методом контроля битовой четности. Когда эта функция включена, последний бит данных в минимальной посылке («бит четности») контролируется логикой UART и содержит информацию о четности количества единичных бит в этой минимальной посылке.

ВЕРТИКАЛЬНЫЙ И ГОРИЗОНТАЛЬНЫЙ КОНТРОЛЬ ПО ЧЕТНОСТИ

Представляет собой модификацию описанного выше метода. Его отличие состоит в том, что исходные данные

рассматриваются в виде матрицы, строки которой составляют байты данных. Контрольный разряд подсчитывается отдельно для каждой строки и для каждого столбца матрицы. Пример построения и проверки метода на основе формирования ВСС (Block Check Character – проверка суммы блока) показан на рисунке 4. Метод позволяет обнаружить большую часть двойных ошибок, однако обладает еще большей избыточностью.

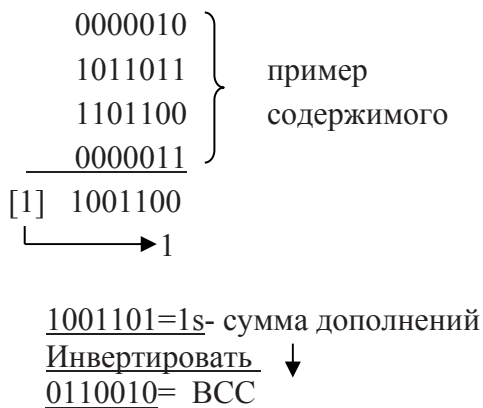
На практике метод почти не применяется из-за его большой избыточности и невысокой диагностической способности.

а)

A	B ₇	B ₆	B ₅	B ₄	B ₃	B ₂	B ₁
0	0	0	0	0	0	1	0
1	0	1	0	1	0	0	0
0	1	0	0	0	1	1	0
0	0	1	0	0	0	0	0
1	0	1	0	1	1	0	1
0	1	0	0	0	0	0	0
1	1	1	0	0	0	1	1
1	0	0	0	0	0	1	1
1	1	0	0	0	0	0	1

б)

На стороне отправки:



На стороне приема:

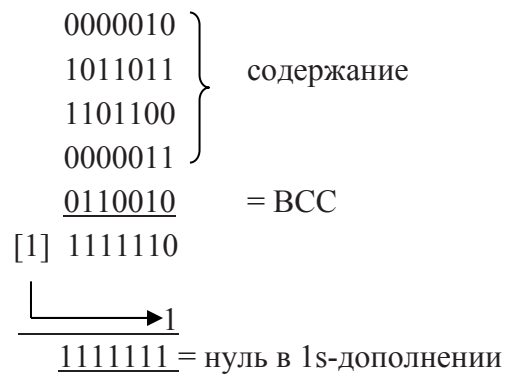


Рис. 4. Метод проверки на основе формирования ВСС: а – пример построения вертикального и горизонтального контроля по четности; б – формирование дополнительного кода суммы

Код ХЭММИНГА

Коды Хэмминга — наиболее известные из семейства самокорректирующихся кодов. Построены они применительно к двоичной системе счисления [6, гл. 5; 7].

Код Хэмминга позволяет закодировать какое-либо информационное сообщение на основе представленного на рисунке 5 алгоритма и после передачи определить, появилась ли какая-либо ошибка в этом сообщении (ввиду помех, неисправности оборудования и пр.), и при возможности восстановить это сообщение [8, 9].

Для каждого числа проверочных символов используется специальная маркировка вида (k, i) , где k — количество символов в сообщении, i — количество информационных символов в сообщении. Например, существуют (см. рис. 5) коды $(7, 4)$ $(15, 11)$, $(31, 26)$. Каждый проверочный символ в коде Хэмминга представляет сумму по модулю 2 некоторой подпоследовательности данных.

Код Хэмминга используется в некоторых прикладных программах в области хранения данных, например в RAID-2. Кроме того, метод Хэмминга давно применяется в памяти типа ECC (error-correcting code memory — память с коррекцией ошибок), позволяет «на лету» исправлять однократные и обнаруживать двукратные ошибки [10].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В статье рассмотрены простые методы обнаружения и исправления ошибок. Представлены структурные схемы работы кодеров, декодеров для каждого из них, отмечены принципиальные отличия методов друг от друга, а также определена сфера применения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Ромашенко А.Е. Заметки по теории кодирования / А.Е. Ромашенко, А.Ю. Румянцев, А. Шень. — 2-е изд., испр. и доп. — М. : МЦНМО, 2017. — 88 с.
2. Яковлев В. В. Оценка влияния помех на производительность протоколов канального уровня / В. В. Яковлев, Ф. И. Кушназаров // Известия Петербургского университета путей сообщения. — 2015. — № 1 (42). — С. 133–138.
3. Halsall, F. Computer Networking and the Internet, 5th edition, Addison-Wesley, 2005, 832 p.
4. Олифер В. Г. Компьютерные сети. Принципы, технологии, протоколы : учебник для вузов / В. Г. Олифер, Н. А. Олифер. — 3-е изд. — СПб. : Питер, 2006. — 958 с.
5. Halsall, F. Data Communications, Computer Networks and Open Systems, 4th edition, Addison-Wesley, 1996, 928 p.
6. Уоррен Г., мл. Алгоритмические трюки для программистов = Hacker's Delight / пер. с англ. — 2-е изд., испр. — М. : Вильямс, 2007. — 289 с.
7. Питерсон У., Уэлдон Е. Коды, исправляющие ошибки / пер. с англ. ; под ред. Р. Л. Добрушина и С. И. Самойленко. — М. : Мир, 1976. — 594 с.
8. Радиотехнические системы передачи информации : учебное пособие для радиотехн. спец. вузов / П.И. Пенин, Л.И. Филиппов. — М. : Радио и связь, 1984. — 256 с.
9. Блейхут Р.Э. Теория и практика кодов, контролирующих ошибки / пер. с англ. И. И. Грушко, В. М. Блиновского ; под ред. К. Ш. Зигангирова. — М. : Мир, 1986. — 576 с.
10. Галлагер Р. Теория информации и надежная связь / пер. с англ.; под ред. М.С. Пинскера и Б.С. Цыбакова. — М. : Советское радио, 1974. — 720 с.

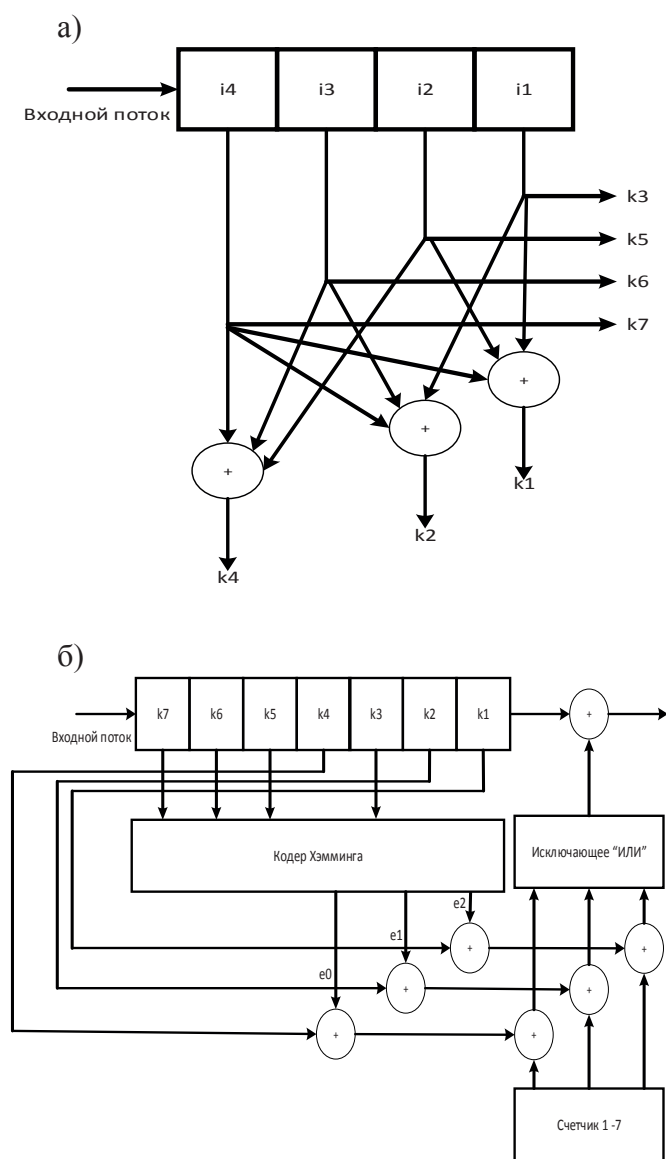


Рис. 5. Структурная схема работы декодера

Overview of Codes for Error-Correcting Coding

O.A. Turdiyev, Grand PhD V.V. Yakovlev
Emperor Alexander I Petersburg State Transport
University St. Petersburg, Russia
odiljan.turdiyev@mail.ru, jakovlev@pgups.ru

S.V. Klimenko
Engineer software Dell EMC
St. Petersburg, Russia
s.klimenko@live.ru

Abstract. The article discusses the basic error-correcting coding algorithms to ensure the reliability of transmitted and stored data in computing systems and data networks. The principles of operation of codes (such as: parity bit, vertical and horizontal parity check and Hamming code) and scope are described in detail.

Keywords: parity, interference, encoding, decoding.

REFERENCES

1. Romashchenko A. Ye., Rumyantsev A.Yu., Shen A. Notes on coding theory [Zametki po teorii kodirovaniya], Moscow, Moscow Center for Continuous Mathematical Education, 2017, 88 p.
2. Yakovlev V.V., Kushnazarov F.I. Evaluation of the Effect of Interferences on Link-Layer Protocol Performance [Otsenka vliyaniya pomekh na proizvoditel'nost' protokolov kanal'nogo urovnya], *Proc. of Petersburg Transport University [Izvestiya Peterburgskogo universiteta putey soobshcheniya]*, 2015, No. 1 (42), pp. 133–138.
3. Halsall, F. Computer Networking and the Internet, 5th edition, Addison-Wesley, 2005, 832 p.
4. Olifer V.G., Olifer N.A. Computer network. Principles, technologies, protocols: Textbook [Komp'yuternye seti. Printsipy, tekhnologii, protokoly: Uchebnik dlya vuzov], Saint Petersburg, Peter, 2006, 958 p.
5. Halsall, F. Data Communications, Computer Networks and Open Systems, 4th edition, Addison-Wesley, 1996, 928 p.
6. Warren H.S., Jr. Hacker's Delight [Algoritmicheskie tryuki dlya programmistov], Moscow, Williams, 2007, 289 p.
7. Peterson W., Weldon E., Jr. Error-Correcting Codes [Kody, ispravlyayushchie oshibki], Moscow, Mir Publishers, 1976, 594 p.
8. Penin P.I., Filippov L.I. Radio transmission system information: Study guide [Radiotekhnicheskie sistemy peredachi informatsii: Uchebnoe posobie], Moscow, Radio and Communication Publishers, 1984, 256 p.
9. Blahut R. E. Theory and practice of error control codes [Teoriya i praktika kodov, kontroliruyushchikh oshibki], Moscow, Mir Publishers, 1986, 576 p.
10. Gallager R. G. Information Theory and Reliable Communication [Teoriya informatsii i nadezhnaya svyaz'], Moscow, Soviet Radio, 1974, 720 p.