

О.Е. Жамбаева*, Ж. Сайлауқызы

Карагандинский Технический Университет, Караганда, Казахстан

*e-mail: fokus_1313@mail.ru

ПОМЕХОУСТОЙЧИВОСТЬ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ ПО ЦИФРОВЫМ КАНАЛАМ СВЯЗИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СВЕРТОЧНОГО КОДИРОВАНИЯ

Аннотация. Для повышения надежности цифровых передач в каждой цифровой системе связи используются коды исправления ошибок. Для удовлетворения новых ограничений скорости передачи данных или надежности в настоящее время разрабатываются новые схемы кодирования. Поэтому цифровые системы связи находятся в постоянном развитии. В системе цифровой связи использование кода исправления ошибок является обязательным. Код с исправлением ошибок позволяет получить хорошую устойчивость к ухудшению качества канала связи.

В статье представлен анализ работы цифровой системы связи, описана ее цель, структура, и блоки, на которых строится передача информации. Для описывания методики исправления ошибок в канале связи рассматривается использование канальных кодеров. Кодеры вводят некоторую избыточность в двоичную информационную последовательность, которая может быть использована канальным декодером в приемнике для преодоления эффектов шума и помех, возникающих при передаче сигнала по каналу связи.

В работе приведено описание алгоритма работы сверточного кода коррекции ошибок в цифровом канале связи. Рассматривается алгоритм работы кодера со скоростью 1/2.

Ключевые слова: помехоустойчивое кодирование, цифровой канал связи, сверточное кодирование, каналы связи.

Введение. Канал связи является физической средой, которая используется для передачи сигналов. Сигналы несут кодированную информацию от передатчика к приемнику. На целостность информационного сигнала влияет тип канальной среды. В зависимости от типа, диапазон помех и искажений может включать в себя: тепловой шум, техногенный шум и атмосферный шум.

Модулированный сигнал попадает в приемник, и вполне вероятно, что он будет включать в себя некоторый шум, вносимый каналом. Сигнал с шумом демодулируется канальным демодулятором для получения последовательности кодированных данных в цифровом формате [5]. Канальный декодер обрабатывает полученную кодированную последовательность, и приступает к декодированию битов сообщения с помощью избыточных данных, которые были вставлены канальным кодером в передатчик. Завершающим этапом является восстановление исходного информационного сообщения декодером.

В цифровой системе связи сообщения находятся в аналоговой форме. Перед генерацией источником, сообщения преобразуются в цифровой формат, и затем передаются по каналу связи. На приемном конце оцифрованные данные вновь преобразовываются в аналоговую форму, которая является аппроксимацией исходного сообщения.

Цифровая система связи состоит из шести основных блоков (рис.1). Функциональные блоки передатчика отвечают за обработку входного сообщения, кодирование, модуляцию и передачу по каналу связи. Функциональные блоки приемника выполняют обратный процесс извлечения исходного сообщения.

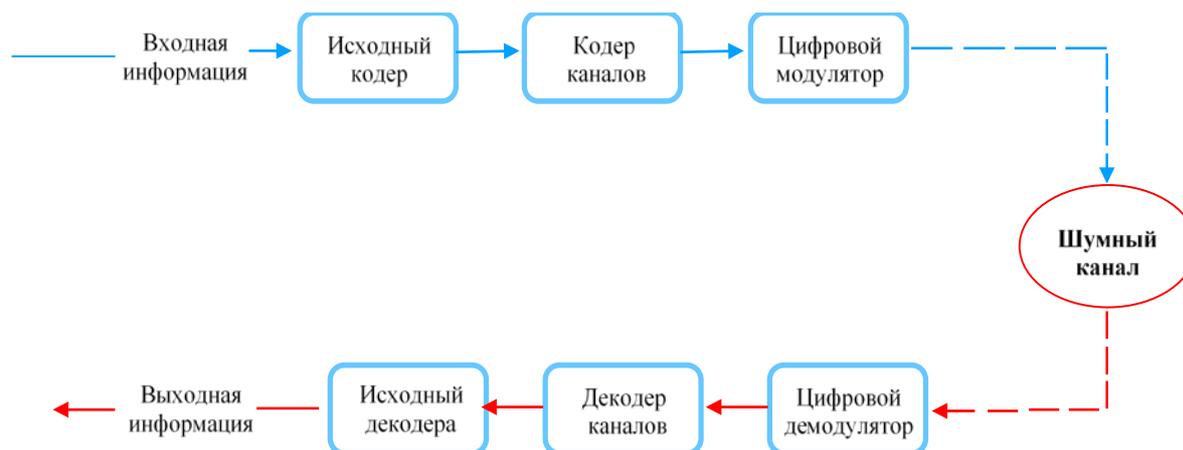


Рисунок 1. Структурная схема цифровой связи

Целью цифровой системы связи является эффективная передача сообщения по каналу связи путем включения различных методов сжатия данных (например, DCT, JPEG, MPEG), кодирования и модуляции, чтобы воспроизвести сообщение в приемнике с наименьшими ошибками. Входная информация, которая обычно находится в аналоговой форме, оцифровывается в двоичную последовательность, также известную как информационная последовательность. Исходный кодер отвечает за сжатие входной информационной последовательности, чтобы представить ее с меньшей избыточностью. Сжатые данные передаются в каналный кодер. Канальный кодер вводит некоторую избыточность в двоичную информационную последовательность, которая может быть использована каналным декодером в приемнике для преодоления эффектов шума и помех, возникающих при передаче сигнала по каналу связи. Следовательно, избыточность, добавленная в информационное сообщение, помогает повысить надежность принимаемых данных, а также повышает точность принимаемого сигнала. Таким образом, каналный, помехоустойчивый кодер помогает приемнику декодировать нужную информационную последовательность. Некоторые из популярных каналных кодеров - это коды проверки четности низкой плотности (LDPC), турбо-коды, сверточные коды и коды Рида-Соломона. Закодированные в канале данные передаются в каналный модулятор, который служит интерфейсом к каналу связи.

Канальные связи и помехоустойчивые кодеры хорошо рассмотрены в работах ученых Ж. Сайлауқызы, А.А Садыков, М.М. Коккоз, Н.У. Жунусов [2], M.N. Andrianov, A. V Bumagin, A. V Gondar, K. S Kalashnikov, Prudnikov A. A., V. B Steshenko [3], M. Marazin, R. Gautier, B. Gilles [4], А.С. Костюков, А.В. Башкиров, Л.Н. Никитин, И.С. Бобылкин, О.Ю. Макаров и др.

Методы. В качестве каналного кодера для исправления возникших ошибок рассматриваются сверточные коды. Ошибки возникают, когда биты повреждаются во время передачи по компьютерной сети из-за помех и сетевых проблем.

Коды коррекции ошибок (ECC) — это последовательность чисел, генерируемых специальными алгоритмами для обнаружения и устранения ошибок в данных, переданных по зашумленным каналам. Коды исправления ошибок устанавливают точное количество поврежденных битов и расположение поврежденных битов в пределах ограничений алгоритма.

Сверточные коды были впервые введены в 1955 году Элиасом. После этого было много промежуточных исследований разных математиков. В 1973 году Витерби разработал алгоритм декодирования схемы максимального правдоподобия, получивший название схемы Витерби, которая привела к современным сверточным кодам [1].

В сверточных кодах сообщение состоит из потоков данных произвольной длины, а последовательность выходных битов генерируется путем применения метода скользящей логической функции к потоку данных.

Сверточный код генерируется последовательной передачей информации через линейный конечный регистр сдвига. Регистр сдвига состоит из (- битовых) каскадов и генераторов, состоящих из булевых функций.

Сверточный код можно представить как (d, k, K) , где

- k – количество входных битов, сдвинутых в кодер за раз. В общем случае $k = 1$;

- d - количество выходных битов кодера, соответствующие информационным k битам;

- Кодовая скорость определяется отношением количества входных битов на количество выходных битов, то есть $R_c = k/d$;

- Память кодера, сдвиговый регистр размера K , является длиной ограничения;

- Состояние кодера задается значением $(K - 1)$ бита.

В общем случае, если длина регистра сдвига равна m , в каждом такте используются k входных символов, и $d \geq 2$ выходов кодера, то очевидно, что каждый входной символ будет влиять на $C_n = \frac{md}{k}$ выходных кодовых символов, где m – это количество информационных символов. Это значение называется полной длиной ограничения кода.

Общий вид сверточного кодера показан на рисунке 2. Стоит отметить, что если $k > 1$, то используется не один, а k регистров сдвига [4]. Более того, входные символы в этом случае поступают параллельно на все входы. Например, если есть входная последовательность $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5 \dots$, то при $k = 2$ за первый такт на входы кодера поступят символы b_0 и b_1 , за второй - b_2 и b_3 и т.д.

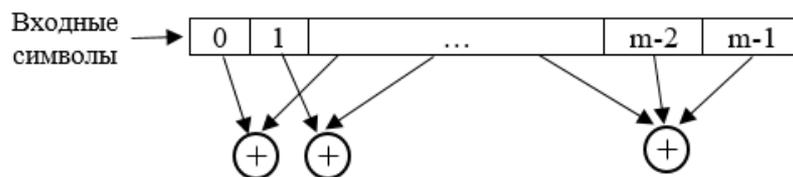


Рисунок 2. Схема двоичного сверточного кодера

Рассмотрим сверточный кодер с $k = 1$, $d = 2$ и $K = 3$. Кодовая скорость, $R_c = k/d = 1/2$ (Рис.3).

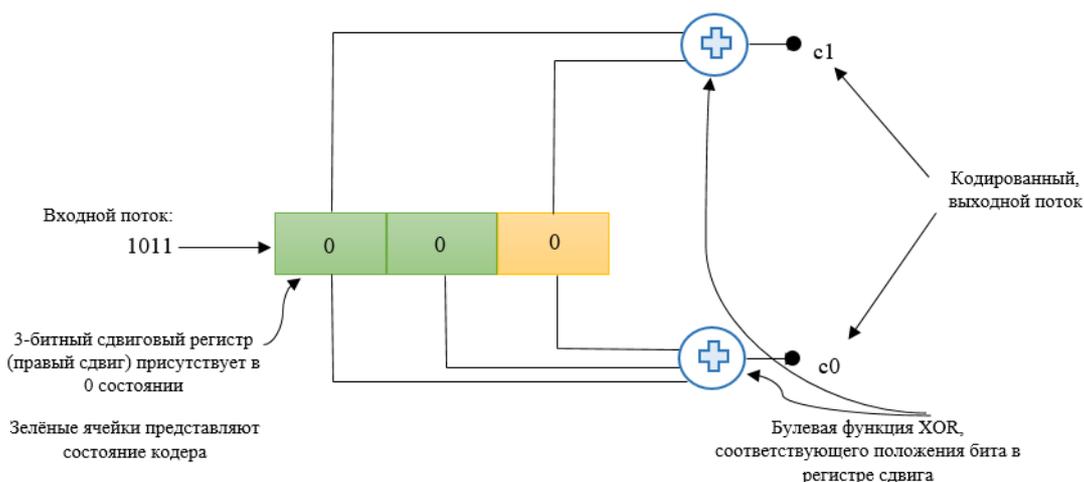


Рисунок 3. Схема кодирования с 4 входными битами

Входная строка передается в кодер справа налево. Когда первый бит, 1, передается в кодер, содержимое кодера будет равна 11 (Рис.4).

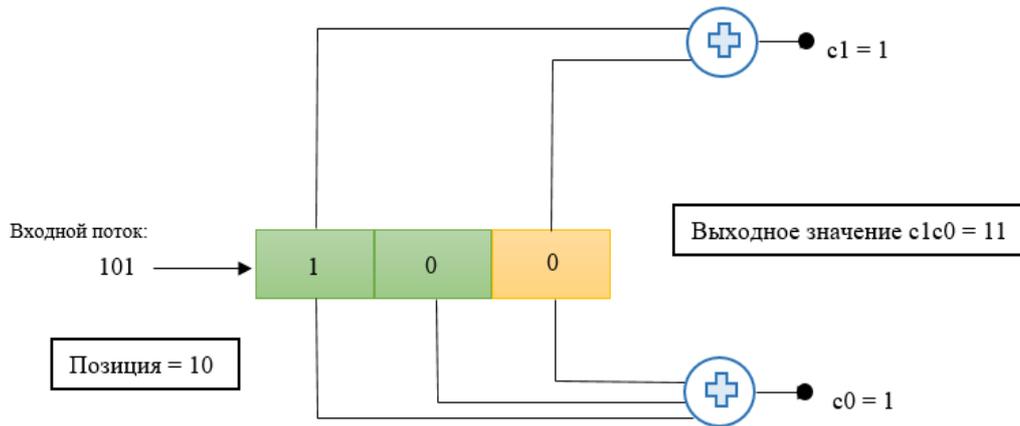


Рисунок 4. Кодирование первого бита

Когда следующий бит 1, будет передан в кодер, содержимое кодера будет равна 10 (Рис.5).

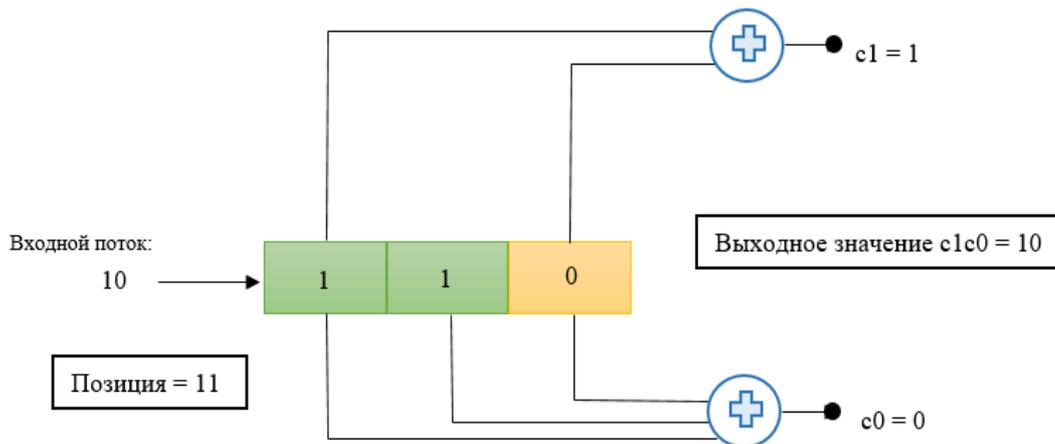


Рисунок 5. Кодирование второго бита

Когда следующий бит, 0, будет передан в кодер, содержимое кодера будет равна 10 (Рис.6).

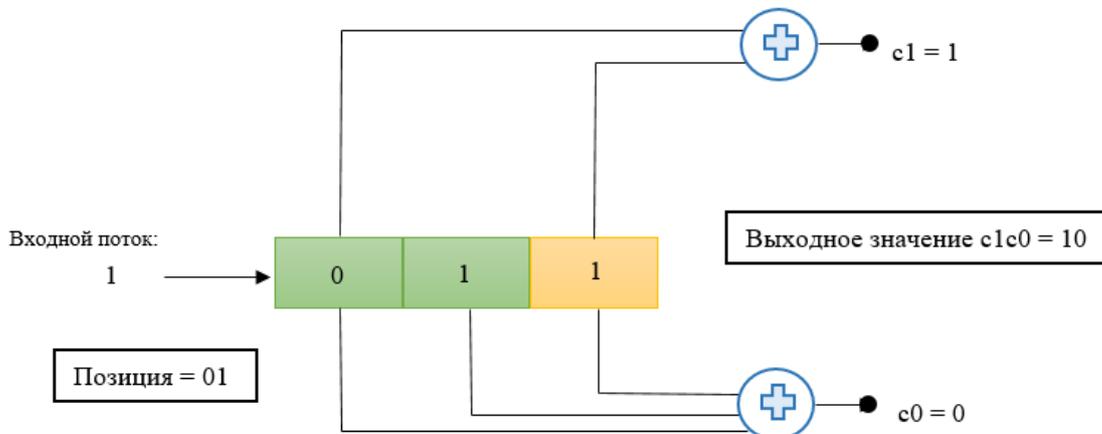


Рисунок 6. Кодирование третьего бита

Когда последний бит, 1, передается в кодер, содержимое кодера будет равна 00 (Рис.7).

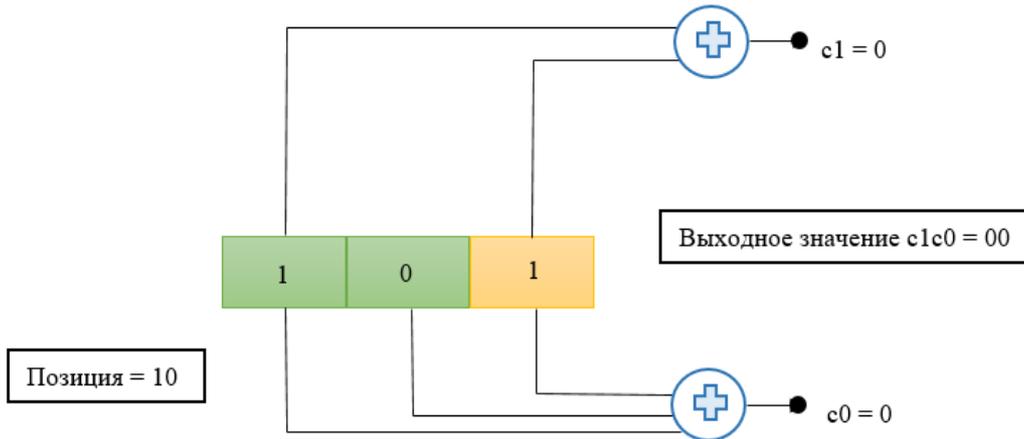


Рисунок 7. Кодирование четвертого бита

Результат. Из приведенного выше примера мы видим, что любой конкретный двоичный сверточный кодер связан с набором двоичных входов, двоичных выходов и набором состояний. Переходы и выходные данные могут быть эффективно представлены диаграммой переходов состояний и таблицей состояний.

Для двоичного сверточного кодера, приведенного в примере:

- Набор входов = {0, 1}
- Набор выходов = {00, 10, 11}
- Множество состояний = {00, 01, 10, 11}

Мы видим, что в начальном состоянии 00, когда вход 1 был задан, следующее состояние стало 10, а соответствующий выход - 11. В этом состоянии 10, когда был задан вход 1, следующее состояние было 11, а выходы кодера - 10. Таким же образом мы получаем и другие переходы. Свернув все результаты, мы получаем таблицу переходов состояний, которые отображены на таблице 1. Также была составлена диаграмма переходов состояний, которая отображена на рисунке 8.

Таблица-1. Переходы состояний в двоичном сверточном кодере

Нынешнее состояние	Следующее состояние		Выходы	
	Вход = 0	Вход = 1	Вход = 0	Вход = 1
00	-	10	-	11
01	-	10	-	00
10	-	11	-	10
11	01	-	10	-

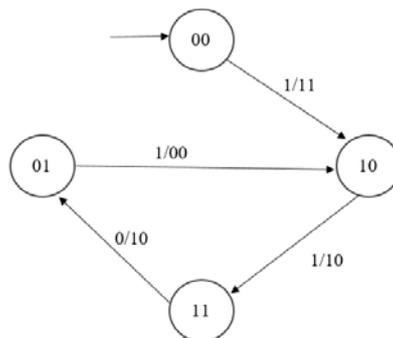


Рисунок 8. Диаграмма переходов состояний бита

Обсуждение. В ходе проведенного исследования была представлена цифровая система связи. Описана ее цель, структура и блоки, которые отвечают за обработку входного сообщения, кодирование, модуляцию и передачу по каналу связи. Была рассмотрена модель работы канальных кодеров, вводящих некоторую избыточность в двоичную информационную последовательность, которая может быть использована канальным декодером в приемнике для преодоления эффектов шума и помех, возникающих при передаче сигнала по каналу связи.

В статье представлены и описаны алгоритмы работы сверточного кода коррекции ошибок для обнаружения и устранения ошибок в данных, переданных по зашумленным каналам. Согласно алгоритму сверточного кодирования был представлен пример кодирования данных со скоростью $1/2$.

ЛИТЕРАТУРА

[1] Сайлауқызы Ж., Садыков А.А. Витерби декодтау алгоритмінің жады арналарында кедергіге төзімділігін зерттеу // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. – 2017. - № 4. – С. 68-76.

[2] Сайлауқызы Ж., Садыков А.А., Коккоз М.М., Жунусов Н.У. Кедергіге төзімді кодтау негізінде сандық байланыстардағы сигналдар тұтастығын зерттеу // Издательство КарТУ «Труды Университета». – 2016. - № 4. – С. 86-89.

[3] Andrianov M. N., Bumagin A. V., Gondar A. V., Kalashnikov K. S., Prudnikov A. A., Steshenko V. B. Radio measurements. A method of increasing the noise-immune and spectral efficiency of data transmission over digital communication channels under conditions generalized rayleigh fadings // Measurement Techniques. – 2010. - Vol. 53. – № 8. – P. 61-65.

[4] Marazin M., Gautier R., Gilles B. Blind recovery of k/n rate convolutional encoders in a noisy environment // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2011. – P. 168.

[5] Костров Б.В., Соломоенцева Н.И. Моделирование канала связи // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2017. – № 2. - С. 95-100.

[6] Кирьянов Д.В., Кирьянов Б.Ф. К проблеме защиты информации в каналах связи // Вестник Новгородского государственного университета им. Ярослава Мудрого. Технические науки. – 2017. - № 6. – С. 74-80.

[7] Костюков А.С., Башкиров А.В., Никитин Л.Н., Бобылкин И.С., Макаров О.Ю. Помехоустойчивое кодирование в современных форматах связи // Вестник Воронежского государственного технического университета. Радиотехника и связь. – 2019. – Т.15. - № 2. – С. 132-138.

[8] Макейчик Е.Г., Королёв А.И., Конопелько В.К. Коррекция зависимых ошибок на основе равномерных сверточных кодов // Доклады Белорусского Государственного Университета информатики и радиоэлектроники. – 2017. - № 4. – С. 43-49.

[9] Турдиев О.А., Яковлев В.В., Клименко С.В. Обзор кодов для помехоустойчивого кодирования // Интеллектуальные технологии на транспорте. – 2019. - № 2. – С. 21-24.

[10] Осокин А.Н., Мальчуков А.Н. Теория информации. – М. : Издательство Юрайт, 2016. – 205 с.

REFERENCES

[1] Sailaukyzy Zh., Sadykov A.A. Viterbi dekodtau algoritminin zhady arnalarynda kedergige tozimdiligin zertteu [Study of interference resistance of the Viterbi decoding algorithm in memory channels] // Vestnik Evraziiskogo natsional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva. [Bulletin of the L. N. Gumilyov Eurasian National University]. – 2017. - № 4. – P. 68-76.

[2] Sailaukyzy Zh., Sadykov A.A., Kokkoz M.M., Zhunusov N.U. Kedergige tozimdi kodtau negizinde sandyk bailanystardagy signaldar tutastygyn zertteu [Investigation of signal integrity in digital communications based on interference-resistant coding] // Izdatel'stvo KarTU «Trudy Universiteta» [Publishing House of Karaganda Technical University «Proceedings of the University»]. – 2016. - № 4. – P. 86-89.

[3] Andrianov M. N., Bumagin A. V., Gondar A. V., Kalashnikov K. S., Prudnikov A. A., Steshenko V. B. Radio measurements. A method of increasing the noise-immune and spectral efficiency of data transmission over digital communication channels under conditions generalized rayleigh fadings // Measurement Techniques. – 2010. - Vol. 53. – № 8. – P. 61-65.

[4] Marazin M., Gautier R., Gilles B. Blind recovery of k/n rate convolutional encoders in a noisy environment // EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking. – 2011. – P. 168.

[5] Kostrov B.V., Solomoentseva N.I. Modelirovanie kanala svyazi [Modeling the communication channel] // Izvestiya Tul'skogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki. [Proceedings of the Tula State University. Technical sciences]. – 2017. – № 2. – P. 95-100.

[6] Kir'yanov D.V., Kir'yanov B.F. K probleme zashchity informatsii v kanalakh svyazi [On the information protection on communication channels] // Vestnik Novgorodskogo gosudarstvennogo universiteta im. Yaroslava Mudrogo. Tekhnicheskie nauki. [Bulletin of the Yaroslav the Wise Novgorod State University. Technical sciences]. – 2017. - № 6. – P. 74-80.

[7] Kostyukov A.S., Bashkirov A.V., Nikitin L.N., Bobylkin I.S., Makarov O.Yu. Pomekhoustoichivoe kodirovanie v sovremennykh formatakh svyazi [Anti-interference coding in modern communication formats] // Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. Radiotekhnika i svyaz' [Bulletin of the Voronezh State Technical University. Radio engineering and communications]. – 2019. – V.15. - № 2. – P. 132-138.

[8] Makeichik E.G., Korolev A.I., Konopel'ko V.K. Korrektsiya zavisimyykh oshibok na osnove ravnomernyykh svertochnyykh kodov [Correction of dependent errors based on uniform convolutional codes] // Doklady Belorusskogo Gosudarstvennogo Universiteta informatiki i radioelektroniki [Reports of the Belarusian State University of Informatics and Radio electronics]. – 2017. - № 4. – P. 43-49.

[9] Turdiev O.A., Yakovlev V.V., Klimenko S.V. Obzor kodov dlya pomekhoustoichivogo kodirovaniya [Overview of codes for error-correcting coding] // Intellektual'nye tekhnologii na transporte [Intelligent technologies in transport]. – 2019. - № 2. – P. 21-24.

[10] Osokin A.N., Mal'chukov A.N. Teoriya informatsii [Information theory]. – M. : Izdatel'stvo Yurait [Yurayt Publishing House], 2016. – 205 p.

О.Е. Жамбаева*, Ж. Сайлауқызы

Қарағанды Техникалық Университеті, Қарағанды, Қазақстан

*e-mail: fokus_1313@mail.ru

ЖИНАҚТАУ КОДТАУДЫ ҚОЛДАНА ОТЫРЫП, САНДЫҚ БАЙЛАНЫС АРНАЛАРЫ АРҚЫЛЫ ДЕРЕКТЕРДІ БЕРУДІҢ ШУЫЛҒА ҚАРСЫ ТҰРАҚТЫЛЫҒЫ

Андатпа. Сандық берілістердің сенімділігін арттыру үшін әр сандық байланыс жүйесінде қателерді түзету кодтары қолданылады. Деректер жылдамдығының немесе сенімділіктің жаңа шектеулерін қанағаттандыру үшін қазіргі уақытта жаңа кодтау схемалары әзірленуде. Сондықтан цифрлық байланыс жүйелері тұрақты дамуда. Сандық байланыс жүйесінде қателерді түзету кодын пайдалану міндетті болып табылады. Қателерді түзету коды байланыс арнасының сапасының нашарлауына жақсы қарсылық алуға мүмкіндік береді.

Мақалада сандық байланыс жүйесінің жұмысына талдау жасалады, оның мақсаты, құрылымы және ақпарат берілуіне негізделген блоктар сипатталған. Байланыс арнасындағы қателерді түзету әдісін сипаттау үшін арна кодерлерін қолдану қарастырылады. Кодерлер екілік ақпарат тізбегіне белгілі бір резервті енгізеді, оны қабылдағыштағы арна декодері сигнал беру кезінде пайда болатын шу мен кедергілердің әсерін жеңу үшін қолдана алады.

Жұмыста сандық байланыс арнасындағы қателерді түзетудің жинақтау кодының алгоритмінің сипаттамасы берілген. Кодер жұмысының алгоритмі 1/2 жылдамдықпен қарастырылады.

Негізгі сөздер: шуылға қарсы кодтау, сандық байланыс арнасы, жинақтау кодтары, байланыс арналары.

O.E. Zhambayeva*, Zh. Sailaukyzy

Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

*e-mail: fokus_1313@mail.ru

NOISE IMMUNITY OF DATA TRANSMISSION OVER DIGITAL COMMUNICATION CHANNELS USING CONVOLUTIONAL CODING

Abstract. To improve the reliability of digital transmissions, error correction codes are used in each digital communication system. New encoding schemes are currently being developed to meet new data rate or reliability constraints. Therefore, digital communication systems are in constant development. In a digital communication system the use of an error correction code is mandatory. The error-correcting code allows you to get good resistance to channel quality degradation.

The article presents an analysis of the digital communication system. The article describes the purpose, structure, and blocks on which information transmission is based. Channel encoders are considered to describe a technique for correcting errors in a communication channel. The encoders introduce some redundancy into the binary information sequence, which can be used by the channel decoder in the receiver to overcome the effects of noise and interference that occur when the signal is transmitted over the communication channel.

The paper describes the algorithm of the convolutional error correction code in a digital communication channel, and analyzes the main performance indicators of convolutional data encoding. The article illustrates the operation of the convolutional encoding algorithm with a data transfer rate of 1/2.

Keywords: noise-proof coding, digital communication channel, convolutional coding, communication channels.