

*А. Г. Убиенных, Г. Ф. Убиенных, О. Н. Бодин,
А. В. Кузьмин, А. Ю. Тычков, О. А. Тимохина*

ПРИМЕНЕНИЕ КАНАЛЬНОГО КОДИРОВАНИЯ В РАСПРЕДЕЛЕННОЙ СИСТЕМЕ СБОРА И ОБРАБОТКИ КАРДИОГРАФИЧЕСКОЙ ИНФОРМАЦИИ

*A. G. Ubiennykh, G. F. Ubiennykh, O. N. Bodin,
A. V. Kuzmin, A. Y. Tychkov, O. A. Timokhina*

APPLICATION OF CHANNEL CODING IN THE DISTRIBUTED SYSTEM FOR COLLECTION AND PROCESSING OF CARDIOGRAPHIC INFORMATION

А н н о т а ц и я. Актуальность и цели. Заболевания сердечно-сосудистой системы являются важной медицинской и социальной проблемой. Использование распределенной системы сбора и обработки кардиографической информации – один из возможных методов снижения последствий заболеваний сердца, позволяющий производить анализ электрокардиосигнала на протяжении продолжительного времени в условиях повседневной жизни. Использование канального кодирования является одним из необходимых элементов систем, использующих локальную вычислительную сеть (LAN). Объект исследования – распределенная система мониторинга электрокардиосигналов с использованием LAN. Предмет исследования – технические средства канального кодирования / декодирования. **Материалы и методы.** Исследования выполнены с использованием теории обработки сигналов, системного анализа, теории помехоустойчивого кодирования. **Результаты.** Разработана и проанализирована архитектура распределенной системы мобильного мониторинга электрокардиосигналов с использованием LAN. Предложены схемы кодера / декодера канального кода. Проведено моделирование работы системы, которое подтвердило повышение достоверности передачи данных на основе использования канальных кодов. **Выводы.** Предложенные технические средства для распределенной системы мобильного мониторинга электрокардиосигналов учитывают специфику построения системы с использованием как беспроводных, так и проводных сетей передачи информации. Применение предложенных средств канального кодирования / декодирования позволяет повысить достоверность передачи информации в распределенной системе мониторинга состояния сердечной деятельности пациентов.

A b s t r a c t. Background. Cardiovascular diseases are an important medical and social problem. One of the possible methods for reducing the impact of heart diseases is the use of a distributed system for collecting and processing of cardiographic information. It allows the continuous electrocardiosignal analysis in everyday life conditions. Channel coding is one of the necessary elements of the systems with local area network (LAN). The object of the study is a distributed system with LAN for electrocardiosignal monitoring. The subject of the study is the technical means of channel coding / decoding. **Materials and methods.** The study is conducted using such theories as signal analysis theory, information analysis and processing theo-

ry, systematic analysis theory, interference-resistant coding theory. **Results.** The architecture of the distributed system with LAN for electrocardiosignal monitoring was developed and analysed. The schemes of coder / decoder for channel coding are proposed. The modelling was conducted to increase the reliability of data transmission. **Summary.** Proposed technical means of the distributed system for electrocardiosignal monitoring take into account the specificities of building a system using wireless and wired network of information transmission. The use of proposed means of channel coding / decoding will allow the development of the distributed system for collection and processing of data for heart activity monitoring.

К л ю ч е в ы е с л о в а: электрокардиосигнал, мониторинг, распределенный сбор информации, локальная вычислительная сеть, каналный код, кодер / декодер.

К e y w o r d s: electrocardiosignal, monitoring, distributed collection of information, local area network, channel code, coder / decoder.

Введение

Заболевания сердечно-сосудистой системы, характеризующиеся скоротечностью и приводящие к потере трудоспособности или смерти больных, являются важной медицинской и социальной проблемой [1]. Современные технические средства, применяемые в области медицины, позволяют собирать и накапливать большие объемы диагностических данных, которые могут использоваться для оценки состояния и прогнозирования течения заболевания с использованием методов обработки сигналов, распознавания образов и анализа информации [2–4]. Одним из возможных средств снижения последствий заболеваний сердца является использование распределенной системы сбора и обработки кардиографической информации, позволяющей производить анализ электрокардиосигнала (ЭКС) на протяжении продолжительного времени и заблаговременно обнаруживать признаки опасных состояний сердца.

Распределенный сбор кардиографической информации

Распределенный сбор кардиографической информации осуществляется системой сбора кардиографической информации. Структура системы сбора кардиографической информации приведена на рис. 1.

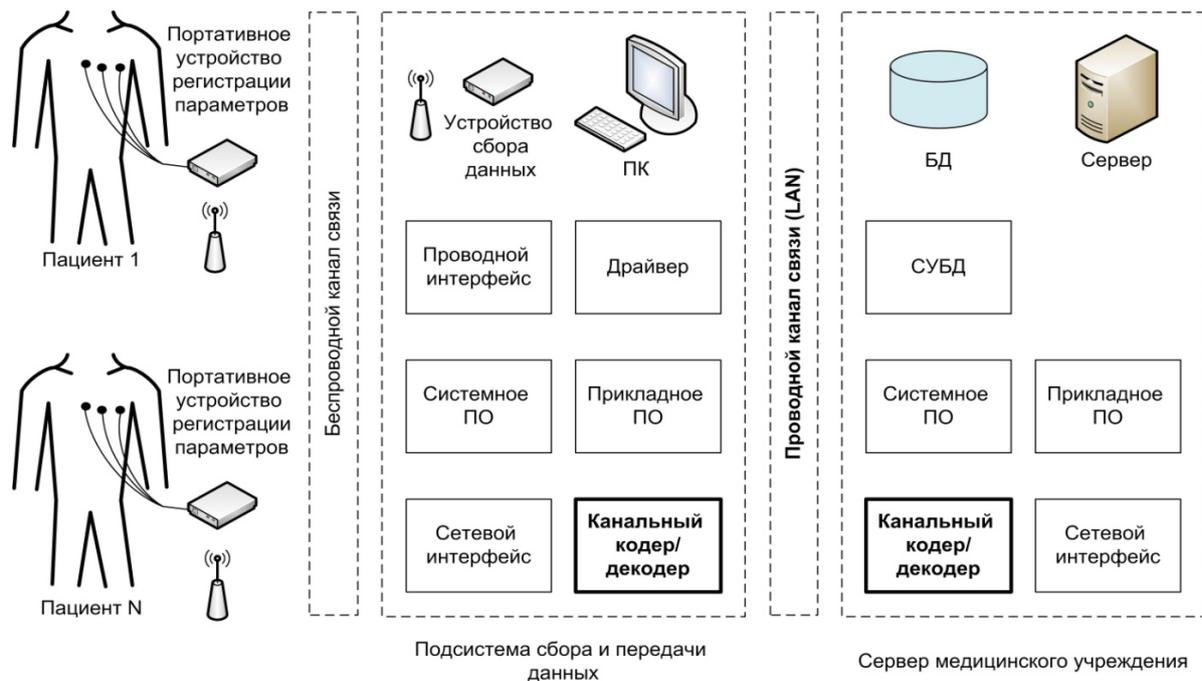


Рис. 1. Структура системы сбора кардиографической информации

Система сбора кардиографической информации реализует следующие функции: сбор кардиографической информации; передачу кардиографической информации; накопление и хранение кардиографической информации; анализ кардиографической информации; отображение результатов анализа. Сбор и передача кардиографической информации реализуются подсистемой сбора и передачи данных. Функции накопления и хранения кардиографической информации, анализа кардиографической информации и отображения результатов анализа реализуются на сервере медицинского учреждения.

Функция сбора кардиографической информации с портативных устройств регистрации параметров, установленных на пациентах, реализуется устройством сбора данных через беспроводной канал связи. Аппаратная реализация данного компонента системы осуществляется с помощью портативного устройства регистрации ЭКГ и вычислительного устройства (например, смартфона) [5]. Часто при мониторинге пациентов медицинский работник сохраняет накопленные данные на ПК, являющийся рабочим местом кардиолога. Затем эта информация должна быть передана на сервер медицинского учреждения для хранения и обеспечения доступа другим медицинским работникам.

Функция передачи кардиографической информации от подсистемы сбора и передачи данных на сервер медицинского учреждения реализуется прикладным ПО и сетевым интерфейсом по проводному каналу связи (*LAN*). Обмен между подсистемами осуществляется канальными кодерами / декодерами, обеспечивающими помехоустойчивое кодирование информации [6, 7].

Функция накопления и хранения кардиографической информации реализуется базой данных (БД). БД управляется системой управления базами данных (СУБД). Личные данные каждого регистрируемого перед началом выполнения задания должны быть занесены в БД на основе предварительных исследований. Прежде всего, это минимальное, среднее, максимальное значения, а также допустимое отклонение от нормы. Эти параметры являются индивидуальными и впоследствии играют ключевую роль при мониторинге кардиографической информации.

Анализ кардиографической информации реализуется с помощью специализированного прикладного ПО, которое может запускаться как на локальном ПК, так и на сервере. Для автоматизированного анализа ЭКС разработано значительное число алгоритмов, имеющих свою специализацию и ориентированных на различные типы заболеваний [3]. Одним из перспективных методов обработки ЭКС является разложение сигнала на эмпирические моды [4], применение вейвлет-преобразования [8] для обнаружения аритмий, а также амплитудно-временные методы анализа, как, например, определение точки *J* при анализе электрической активности сердца [5]. Поскольку реализация многих алгоритмов является ресурсоемкой, перспективным подходом представляется возможность их запуска на сервере с возможностью доступа с мобильных устройств, т.е. облачный сервис [9].

Функция отображения результатов анализа реализуется на мобильном устройстве [5], на локальном ПК и на сервере. Функция включает отображение динамики изменения ЧСС зарегистрированного ЭКС в одном из стандартных отведений по выбору пользователя или по всем сразу.

Одним из элементов архитектуры распределенной системы сбора данных является локальная вычислительная сеть, связывающая локальные рабочие места с сервером медицинского учреждения. Передача данных по такому каналу связи требует кодирования/декодирования информации с использованием канального кода. Важными характеристиками при этом являются уровень достоверности передачи информации и ее устойчивость к помехам.

Система передачи данных на основе канального кода

В локальных вычислительных сетях нашел широкое применение канальный код типа *NEW* [10, 11–13].

Схема кодера кода *NEW* представлена на рис. 2.

Схема кодера кодом *NEW* может быть выполнена на трех сумматорах по модулю два, двух логических схемах, двух элементах задержки на инверторах, триггерах *D* и *T*.

Разработанная схема декодера кода *NEW* [14] приведена на рис. 3.

В данном декодере внутреннего кода одновременно решаются вопросы синхронизации и преобразования канальных сигналов в двоичные.

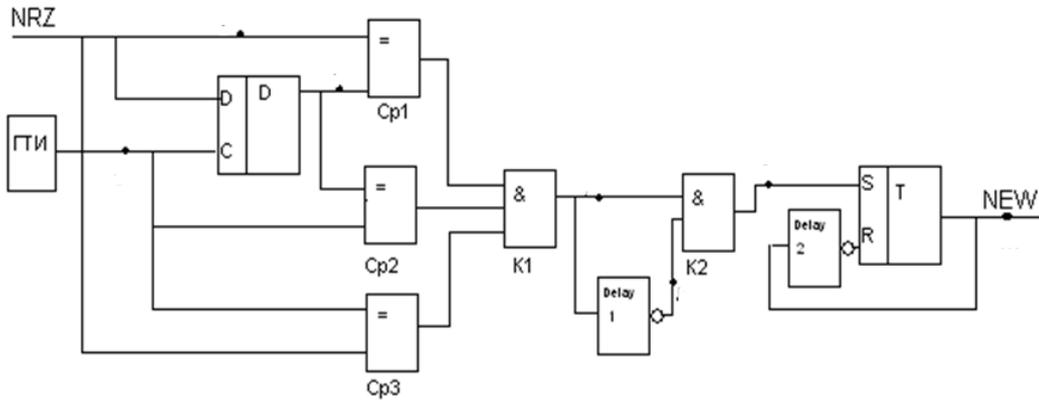


Рис. 2. Кодер кода NEW

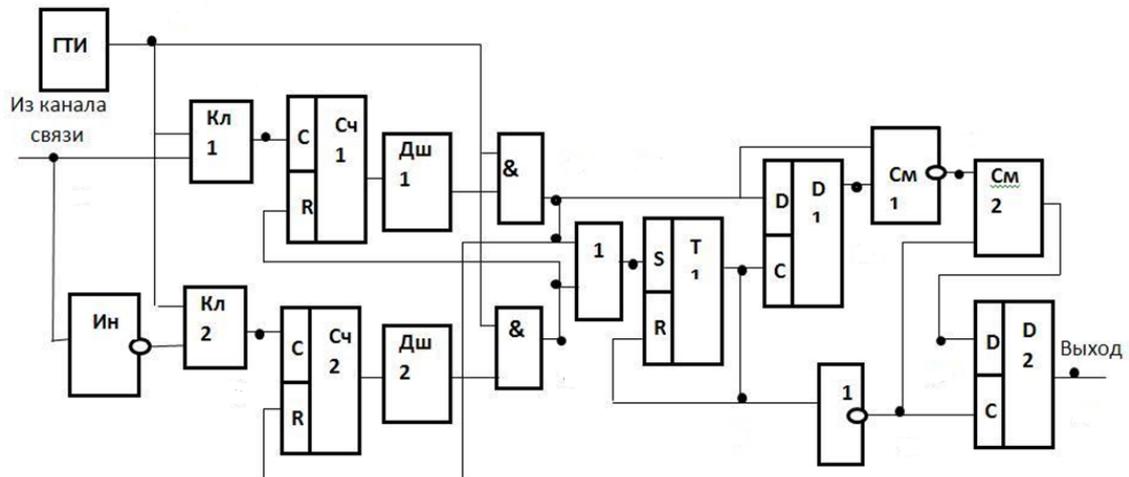


Рис. 3. Декодер кода NEW

Моделирование системы кодирования и декодирования

Модель кодера канального кода NEW представлена на рис. 4. Временные диаграммы работы кодера представлены на рис. 5.

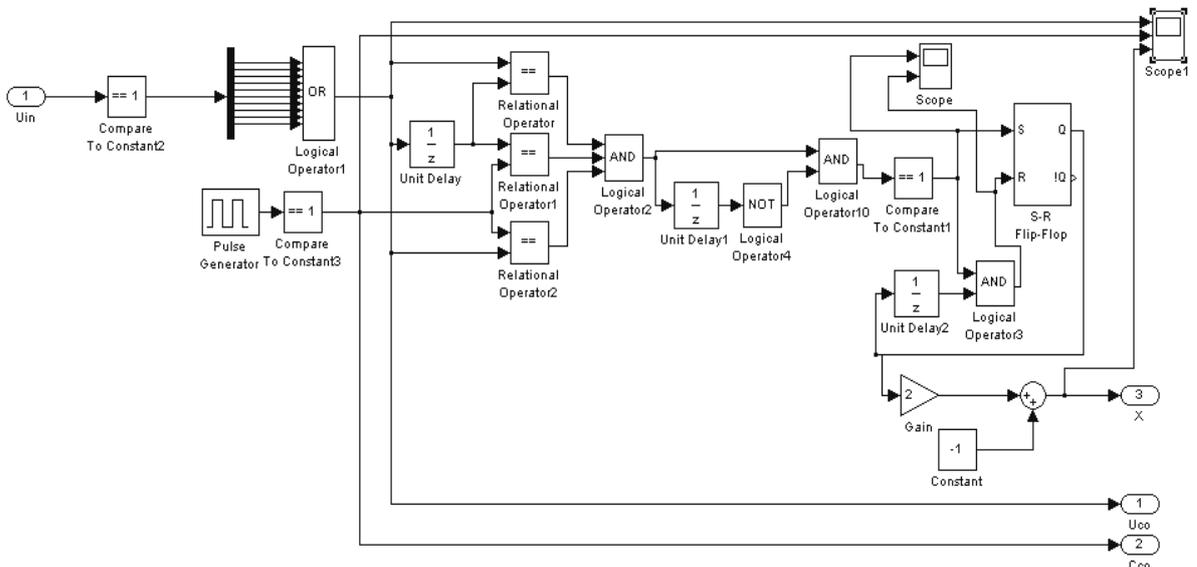


Рис. 4. Модель кодера канального кода NEW

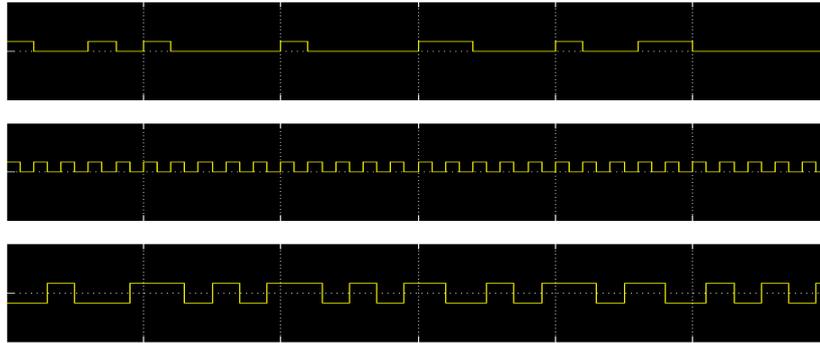


Рис. 5. Временные диаграммы работы кодера канального кода *NEW*

Биполярный сигнал на выходе кодера формируется с помощью схемы, состоящей из типовых блоков пакета Simulink [15]: *Gain* – блок усиления на константу 2, *Constant* – блок входной константы (-1) и *Add* – сумматор на 2 входа.

Модель декодера канального кода *NEW* также реализована на основе типовых блоков пакета *Simulink* и показана на рис. 6. Временные диаграммы работы декодера приведены на рис. 7.

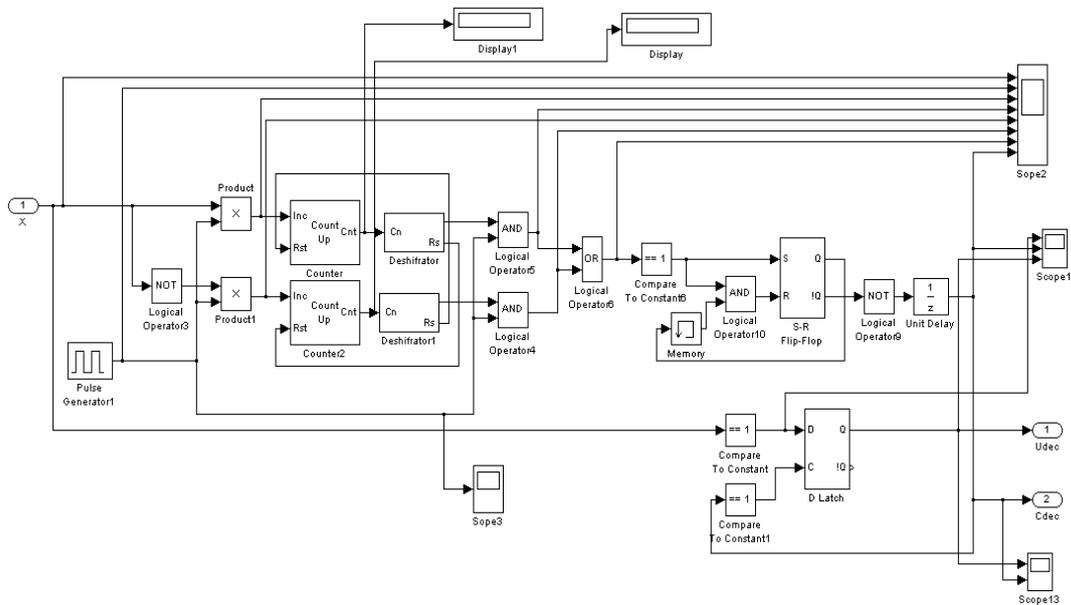


Рис. 6. Модель декодера канального кода *NEW*

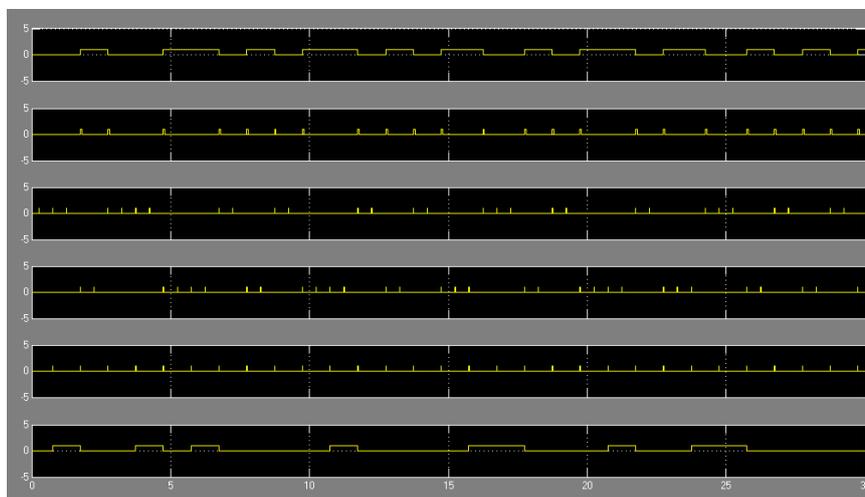


Рис. 7. Временные диаграммы работы декодера канального кода *NEW*

Функции регистрации и синхронизации сигналов кода *NEW* выполняются с помощью двух счетчиков (*Counter*) и двух дешифраторов (*Deshifrator*), которые обеспечивают стробирование положительных и отрицательных импульсов кода *NEW*. Основные результаты процессов декодирования показаны на временных диаграммах рис. 7. На нижней диаграмме получен двоичный код: 1001010000110001001100001.

Модель системы передачи данных на основе канального кода

Модель системы передачи на основе канального кода и разработанных моделей кодера и декодера в программной среде *Simulink* приведена на рис. 8.

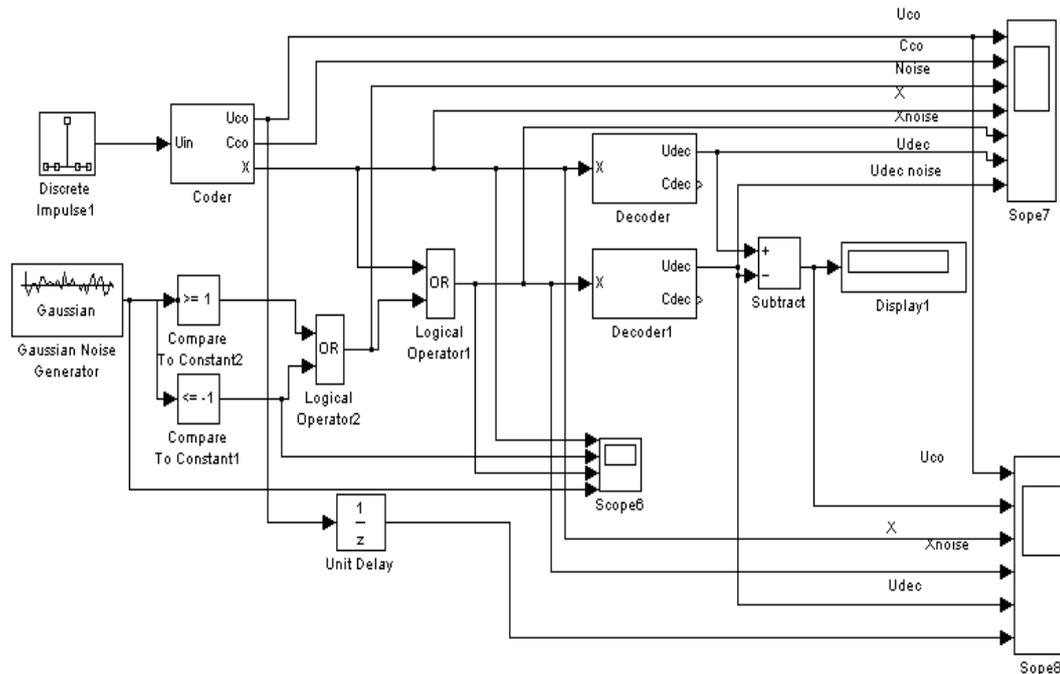


Рис. 8. Модель системы передачи данных канальным кодом для статистических испытаний

Модель содержит следующие основные блоки:

- *Discrete Impulse 1* – генератор случайной двоичной последовательности импульсов;
- *Gaussian Noise Generator* – источник дискретного гауссова белого шума;
- *Coder* – кодер канального кода;
- *Decoder*, *Decoder 1* – декодеры канального кода.

Остальные блоки являются стандартными из пакета *Simulink*.

Дискретная двоичная последовательность вырабатывается блоком *Discrete Impulse 1* и подается на кодирование канальным кодом, например *NEW*. Затем закодированная последовательность поступает на декодер канального кода *Decoder*. С помощью блоков *Logical Operator 1* и *Logical Operator 2* на сигналы канального кода накладывается дискретный белый гауссов шум определенного уровня, и эта смесь сигнал-плюс-шум подается на второй декодер *Decoder 1*.

Декодированные последовательности выдаются на сравнение в блок *Subtract*. Несовпадающие двоичные биты подсчитываются счетчиком *Display 1*. Полученные данные позволяют определить вероятность ошибочного приема на бит канальным кодом.

При добавлении в рассмотренную модель (см. рис. 8) блока анализа структуры канального кода можно определить ошибкообнаруживающие способности канального кода.

Статистические испытания системы передачи данных на основе канального кода

Код *NEW* и другие канальные коды обладают способностью к обнаружению ошибок. Поскольку регистрация на приеме осуществляется у каждого полубита (биимпульса), то можно обнаружить искажение некоторых биимпульсов.

При приеме разнополярных сигналов с амплитудами $\sqrt{E_b}$ вероятность ошибки на бит равна [16–18]

$$p = Q\left(\sqrt{\frac{2E_b}{N_0}}\right), \quad (1)$$

причем

$$Q(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} \int_x^{\infty} \exp\left(-\frac{u^2}{2}\right) du, \quad (2)$$

где E_b – мощность полезного сигнала на бит; $N_0/2 = \sigma_0^2$ – дисперсия шума на выходе приемного фильтра (аддитивный белый гауссовский шум АБГШ).

График зависимости вероятности ошибки на бит от отношения сигнал/шум E_b/N_0 , рассчитанный по формулам (1) и (2), приведен на рис. 9.

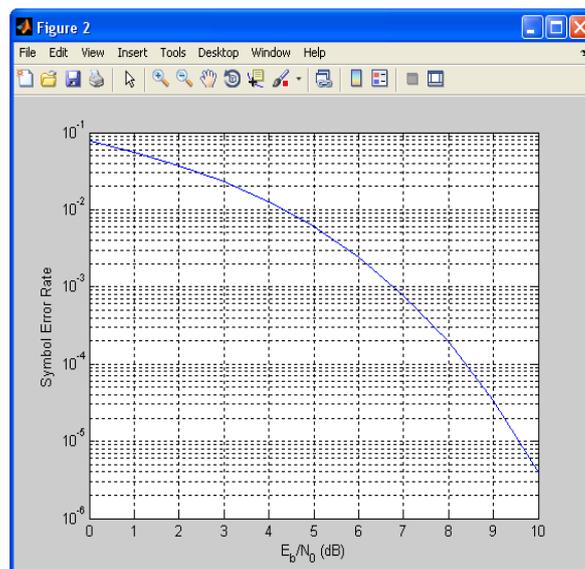


Рис. 9. Зависимость вероятности ошибки на бит от соотношения мощности сигнала и помехи

Вероятность ошибки кода NEW [16]

$$P_{\text{ош}}(n) = \sum_{i=1}^n C_n^i p^i (1-p)^{n-i} = \sum_{i=1}^{2k} C_{2k}^i \cdot p^i (1-p)^{2k-i}. \quad (3)$$

Вероятность необнаружения ошибок этим кодом

$$P_{\text{но}}(n) = \frac{1}{2^k} \sum_{j=1}^{2k} W_j p^j (1-p)^{2k-j}, \quad (4)$$

где W_j – число вариантов j -кратной необнаруживаемой канальными кодами ошибки.

Разработанные модели кодера и декодера для канального кода типа NEW протестированы и могут быть использованы для исследования характеристик канальных кодов, в частности, их способности к обнаружению ошибок в каскадных системах кодирования.

Заключение

Разработана и проанализирована архитектура распределенной системы мобильного мониторинга электрокардиосигналов с использованием LAN . Данная система может использоваться для сбора первичных данных пациентов для диагностики как состояния сердечно-сосудистой системы, так и психоэмоционального состояния. Проанализированы системы передачи информации на основе канального кода типа NEW с помощью программного пакета

Simulink. Разработаны программы моделирования системы кодирования и декодирования на основе программных пакетов *Matlab* и *Simulink*. Проведено моделирование системы передачи информации на основе канального кода и разработанных моделей кодера и декодера в программной среде *Simulink*, которое доказало повышение достоверности передачи данных при использовании канального кода *NEW*.

Статья подготовлена при поддержке Российского научного фонда (мероприятие «Проведение исследований научными группами под руководством молодых ученых» Президентской программы исследовательских проектов, реализуемых ведущими учеными, в том числе молодыми учеными, номер проекта 17-71-20029).

Библиографический список

1. *Albert, C. Triggering of Sudden Death from Cardiac Causes by Vigorous Exertion / C. Albert, M. Mittleman, C. Chae // New England Journal of Medicine. – 2000. – № 343. – P. 1355–1361.*
2. *Borodin, A. Architectural Approach to the Multisource Health Monitoring Application Design / A. Borodin, Y. Zavyalova, A. Zaharov, I. Yamushev // 17th Conference of Open Innovations Association FRUCT. – Helsinki, Finland : FRUCT Oy, 2015. – P. 16–21.*
3. *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis / G. Clifford, F. Azuaje, P. McSharry (eds.). – Norwood, MA : Artech House, 2006 – 270 с.*
4. *Тычков, А. Ю. Применение теории Гильберта-Хуанга в задачах обработки кардиографической информации : монография / А. Ю. Тычков, А. В. Кузьмин, П. П. Чураков ; под общ. ред. П. П. Чуракова. – Пенза : Изд-во ПГУ, 2015. – 150 с.*
5. *Kuzmin, A. Mobile Heart Monitoring System Prototype Based on the Texas Instruments Hardware: Energy Efficiency and J-point Detection / A. Kuzmin, M. Safronov, O. Bodin, M. Petrovsky, A. Sergeenkov // International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems. – 2016. – Vol. 7, № 7. – P. 64–84.*
6. *Форни, Ф. Каскадные коды / Ф. Форни. – Москва : Связь, 1974. – 207 с.*
7. *Chung, S. On the Design of Low – Density Parity – Check Codes within 0.0045 db of the Shannon Limit / S. Chung, D. Forney, T. Richardson, R. Urbanke // IEEE Comm. Letters. – 2001. – Vol. 5, № 2. – P. 58–60.*
8. *Kuzmin, A. Mobile ECG Monitoring System Prorotype and Wavelet-Based Arrhythmia Detection Proceedings of the / A. Kuzmin, M. Safronov, O. Bodin, S. Prokhorov, A. Stolbova // 21st Conference of Open Innovations Association FRUCT. – Helsinki, Finland : FRUCT Oy, 2017. – P. 210–216.*
9. Особенности обработки электрокардиосигналов в системах мобильного мониторинга / В. И. Волчихин, М. А. Митрохин, А. В. Кузьмин, М. А. Сафронов, О. Н. Бодин, Н. Ю. Митрохина, А. Ю. Тычков // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. – 2018. – № 1 (45). – С. 54–63.
10. *Tood, K. M. Error Correction Coding / K. M. Tood. – Wiley, 2005. – P. 804.*
11. *Кларк, Дж. Кодирование с исправлением ошибок в системах цифровой связи : пер. с англ. / Дж. Кларк, Дж. Кейн. – Москва : Радио и связь, 1987. – 214 с.*
12. *Порохов, О. Н. Сигналы и коды цифровых систем передачи / О. Н. Порохов // Электросвязь. – 1980. – № 1. – С. 33–37.*
13. *Столингс, В. Передача данных / В. Столингс. – 4-е изд. – Санкт-Петербург : Питер, 2004. – 750 с.*
14. А.с. 1.591.189 СССР, Н03М 5/12, 13/00. Устройство для декодирования сигналов / Савельев Б. А. – 1990. – Бюл. № 33.
15. *Черных, И. В. SIMULINK Среда создания инженерных приложений / И. В. Черных. – Москва : ДИАЛОГ-МИФИ, 2004. – 496 с.*
16. *Corazza, G. Digital Satellite Communications / G. Corazza. – Italy, University of Bologna, 2007. – P. 578.*
17. *Скляр, Б. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение / Б. Скляр. – Москва : Вильямс, 2003. – 1104 с.*
18. *Савельев, Б. А. Оценка корректирующих свойств каскадных кодов на основе канальных кодов типа (n,k) / Б. А. Савельев, Г. В. Бобрышева, А. Г. Убиенных // Вопросы радиоэлектроники. Сер.: ЭВТ. – 2003. – Вып. 1. – С. 17–24.*

References

1. Albert C., Mittleman M., Chae C. *New England Journal of Medicine*. 2000, no. 343, p. 1355–1361.
2. Borodin A., Zavyalova Y., Zaharov A., Yamushev I. *17th Conference of Open Innovations Association FRUCT*. Helsinki, Finland: FRUCT Oy, 2015, pp. 16–21.

3. Clifford G., Azuaje F., McSharry P. (eds.) *Advanced Methods and Tools for ECG Data Analysis*. Norwood, MA: Artech House, 2006, 270 p.
4. Tychkov A. Yu., Kuz'min A. V., Churakov P. P. *Primenenie teorii Gil'berta-Khuanga v zadachakh obrabotki kardiograficheskoy informatsii: monografiya* [Application of Hilbert-Huang theory in problems of cardiographic information processing: monograph]. Penza: Izd-vo PGU, 2015, 150 p. [In Russian]
5. Kuzmin A., Safronov M., Bodin O., Petrovsky M., Sergeenkov A. *International Journal of Embedded and Real-Time Communication Systems*. 2016, vol. 7, no. 7, pp. 64–84.
6. Forni F. *Kaskadnye kody* [Concatenated code]. Moscow: Svyaz', 1974, 207 p. [In Russian]
7. Chung S., Forney D., Richardson T., Urbanke R. *IEEE Comm. Letters*. 2001, vol. 5, no. 2, pp. 58–60.
8. Kuzmin A., Safronov M., Bodin O., Prokhorov S., Stolbova A. *21st Conference of Open Innovations Association FRUCT*. Helsinki, Finland: FRUCT Oy, 2017, pp. 210–216.
9. Volchikhin V. I., Mitrokhin M. A., Kuz'min A. V., Safronov M. A., Bodin O. N., Mitrokhina N. Yu., Tychkov A. Yu. *Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Povolzhskiy region. Tekhnicheskie nauki* [University proceedings. Volga region. Engineering sciences]. 2018, no. 1 (45), pp. 54–63. [In Russian]
10. Tood K. M. *Error Correction Coding*. Wiley, 2005, p. 804.
11. Klark Dzh., Keyn Dzh. *Kodirovanie s ispravleniem oshibok v sistemakh tsifrovoy svyazi: per. s angl.* [Encoding with error correction in digital communication systems : transl. from English]. Moscow: Radio i svyaz', 1987, 214 p. [In Russian]
12. Porokhov O. N. *Elektrosvyaz'* [Telecommunication]. 1980, no. 1, pp. 33–37.
13. Stolings V. *Peredacha dannykh* [Data transmission]. 4th ed. Saint-Petersburg: Piter, 2004, 750 p. [In Russian]
14. A.s. 1.591.189 SSSR, H03M 5/12, 13/00. *Ustroystvo dlya dekodirovaniya signalov* [A. S. 1.591.189 of the USSR, H03M 5/12, 13/00. Signal decoding device]. Savel'ev B. A. 1990, bull. no. 33. [In Russian]
15. Chernykh I. V. *SIMULINK Sreda sozdaniya inzhenernykh prilozheniy* [SIMULINK authoring Environment engineering applications]. Moscow: DIALOG-MIFI, 2004, 496 p. [In Russian]
16. Corazza G. *Digital Satellite Communications*. Italy, University of Bologna, 2007, p. 578.
17. Sklyar B. *Tsifrovaya svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye* [Digital communication. Theoretical basis and practical application]. Moscow: Vil'yams, 2003, 1104 p. [In Russian]
18. Savel'ev B. A., Bobrysheva G. V., Ubiennykh A. G. *Voprosy radioelektroniki. Ser.: EVT* [Questions of electronics. Ser.: EVT]. 2003, iss. 1, pp. 17–24. [In Russian]

Убиенных Анатолий Геннадьевич

старший преподаватель,
кафедра информационно-вычислительных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: utolg@mail.ru

Ubiennykh Anatoliy Gennad'evich

senior lecturer,
sub-department of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Убиенных Геннадий Федорович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-вычислительных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40),
E-mail: ugf@mail.ru

Ubiennykh Gennadiy Fedorovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Бодин Олег Николаевич

доктор технических наук, профессор,
кафедра информационно-измерительной
техники и метрологии,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: bodin_o@inbox.ru

Bodin Oleg Nikolaevich

doctor of technical sciences, professor,
sub-department of information-measuring
equipment and metrology,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Кузьмин Андрей Викторович

кандидат технических наук, доцент,
кафедра информационно-вычислительных систем,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40),
E-mail: flickerlight@inbox.ru

Kuz'min Andrey Viktorovich

candidate of technical sciences, associate professor,
sub-department of information and computing systems,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Тычков Александр Юрьевич

кандидат технических наук, заместитель директора
научно-исследовательского института
фундаментальных и прикладных исследований,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: tychkov-a@mail.ru

Tychkov Aleksandr Yur'evich

candidate of technical sciences,
deputy director at the Research Institute
for Basic and Applied Studies,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Тимохина Ольга Алексеевна

студент,
Пензенский государственный университет
(Россия, г. Пенза, ул. Красная, 40)
E-mail: timokhina.olga.14.12@mail.ru

Timokhina Olga Alekseevna

student,
Penza State University
(40 Krasnaya street, Penza, Russia)

Образец цитирования:

Применение канального кодирования в распределенной системе сбора и обработки кардиографической информации / А. Г. Убиенных, Г. Ф. Убиенных, О. Н. Бодин, А. В. Кузьмин, А. Ю. Тычков, О. А. Тимохина // Измерение. Мониторинг. Управление. Контроль. – 2019. – № 3 (29). – С. 77–86. – DOI 10.21685/2307-5538-2019-3-9.