

8. Uskov A.A., Kuzmin A.V. *Intellektual'nye tekhnologii upravleniya. Iskusstvennye neyronnye seti i nechetkaya logika* [Intelligent control technologies. Artificial neural networks and fuzzy logic]. Moscow, Goryachaya Liniya – Telecom, 2004. 143 p.
9. Berezovskaya E.A., *Intellektual'nye informacionnye sistemy podderzhki prinyatiya resheniy pri ocenke effektivnosti investicionnyh proektov* [Intellectual information systems for decision support in assessing the effectiveness of investment projects]. Diss ... cand. econ. sciences, 2004. 167 p.
10. Rutkovskaya D., Pilinsky M., Rutkowski L. *Neyronnye seti, geneticheskie algoritmy i nechetkie sistemy* [Neural networks, genetic algorithms and fuzzy systems]. Moscow, Goryachaya Liniya – Telecom, 2004. 452 p.

Received 30.07.2018

ТЕХНОЛОГИИ РАДИОСВЯЗИ, РАДИОВЕЩАНИЯ И ТЕЛЕВИДЕНИЯ

УДК 621.397: 681.3.07

ЗАЩИТА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СИСТЕМЫ СВЯЗИ ОТ УЗКОПОЛОСНЫХ ПОМЕХ С ПОМОЩЬЮ БЫСТРОЙ СМЕНЫ РАБОЧЕЙ ЧАСТОТЫ

Долматов А.Г., Лучинин А.С., Малыгин И.В.

Уральский федеральный университет, г. Екатеринбург, РФ

E-mail: pit_pit2@mail.ru

Помехоустойчивость систем связи, использующих шумоподобные сигналы, пропорциональна базе сигнала. Эффективным способом повышения помехоустойчивости является использование псевдослучайной перестройки частоты, инициированной занятостью частотного канала мощной узкополосной помехой. В настоящей работе разработан механизм контроля занятости канала при приеме сигналов с отношением сигнал/шум меньше единицы (до –10 дБ) и перестройки частоты полезного сигнала на другую частотную позицию при его поражении возникающей помехой. В системе используется двухсторонняя симплексная связь. Оценка пораженности канала выполняется на обоих концах системы. Для контроля канала используются запросные сигналы, синхронизированные с основными информационными пакетами. Это обеспечивает непрерывное воспроизведение видео на приемной стороне при перескоках рабочей частоты. Оценены и оптимизированы временные характеристики запросных сигналов, обеспечивающие восстановление связи при ее прерывании из-за потери синхронности перестройки. Показана возможность передачи видеосообщений при стандарте сжатия H.264 без больших разрывов изображения и в этой ситуации.

Ключевые слова: широкополосная система связи, псевдослучайная перестройка частоты, узкополосные помехи, синхронизация

Введение

Аппаратура для управления беспилотными аппаратами и наземными роботами, обеспечивающая передачу видео, телеметрической информации, на рынке предлагается в основном от зарубежного производителя. Как правило, такое оборудование обеспечивает достаточное качество радиосвязи, но не рассчитано для работы в условиях намеренного противодействия. Параметры сигналов: рабочие частоты, вид сигнала, вид модуляции, стандартизованы и хорошо известны.

Высокое качество передачи данных обеспечивается при высоких отношениях «сигнал/шум». Такие системы легко подавляются целевой (по частоте и структуре) помехой.

Для работы системы радиосвязи в условиях радиоэлектронной борьбы (противодействия)

необходимо названные недостатки устранить. Защищенная система должна обладать энергетической скрытностью и повышенной помехозащищенностью.

Скрытность может быть обеспечена следующими средствами: неизвестной и изменяющейся рабочей частотой; неизвестной структурой сигнала; энергетическая скрытность – за счет расширения спектра сигнала по сравнению с шириной спектра сообщения. Те же средства обеспечивают повышенную устойчивость к действию подавляющей помехи [1-7; 13-14].

Вопросы проектирования и опытной эксплуатации широкополосной системы связи (ШСС), созданной в соответствии с приведенными выше соображениями, были рассмотрены в [8-10].

Широкополосная система связи для передачи видеосообщений

Система функционирует в диапазоне частот от 70 МГц до 6 ГГц, обладает пропускной способностью около 1 МБит/с при ширине спектра формируемых и принимаемых сигналов до 56 МГц. Имеющиеся возможности при использовании сжатия изображения с использованием стандарта H.264 позволяют обеспечить удовлетворительное качество передачи видео с разрешением 640×480 пикселей с частотой кадров 30 в секунду при отношении сигнал/шум на входе приемника около -10 дБ. Обработка видеоданных выполняется на микрокомпьютере Raspber-gyPi. Данные на систему формирования сигналов радиоканала подаются в формате UART с тактовой частотой до 2 МГц [10].



Рисунок 1. Макет мобильной версии защищенной системы радиосвязи для рабочего диапазона частот 2,8 – 3,8 ГГц

Внешний вид мобильного макета приемо-передающего устройства системы радиосвязи показан на рисунке 1. В действующем макете системы радиосвязи передаваемая информация кодируется в циклической задержке псевдослучайной последовательности (ПСП) с периодом 255 и в начальной фазе, модулированной ПСП высокочастотной несущей [12]. Такая комбинированная модуляция позволяет получить 510 состояний сигнала и обеспечить передачу и прием одного байта данных плюс служебную информацию при отношении «сигнал/шум» порядка -10дБ. Структура сигнала при передаче данных показана на рисунке 2.

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

1 – синхронизация, 10 периодов; 2 – старт, 2 периода; 3 – данные, до 256 периодов; 4 – синхронизация, 10 периодов; 5 – данные, до 256 периодов; 6 – синхронизация, 10 периодов; 7 – данные, до 256 периодов; 8 – повторение цикла передачи данных неограниченное число раз; 9 – стоп, 1 период.

Рисунок 2. Структура сигнала

Все сигналы в системе построены на основе M-последовательностей с периодом 255, образованных разными порождающими полиномами. Синхронизация выполняется последовательностью №1, передача данных и служебной информации (в том числе сигналов «Старт» и «Стоп») – последовательностью №2. Тактовая частота формирования M-последовательностей 30 МГц. Период M-последовательности равен 8,5 мкс.

Синхропосылка состоит из десяти периодов M-последовательности №1 (длительность синхропосылки 85 мкс) и обеспечивает символьную и фазовую синхронизацию сигнала на приемной стороне. Прием осуществляется согласованным фильтром. В случае передачи длинного пакета данных синхропосылка вставляется в поток каждые 256 периодов последовательности №2, обеспечивая компенсацию рассогласования сигналов приемника и передатчика, вызванного нестабильностью частоты внутренних генераторов и частотным рассогласованием из-за эффекта Доплера.

Данные и служебная информация закодированы в циклической задержке последовательности №2, которая передается с относительной фазовой модуляцией (ОФМ). Начальная фаза ОФМ задается синхропосылкой. Декодирование циклической задержки осуществляется с использованием алгоритма быстрого преобразования Адамара и последующим определением позиции максимума (по уровню). Преобразование Адамара сохраняет информацию о фазе [11], что позволяет выполнить также демодуляцию ОФМ.

Алгоритм перестройки частоты при возникновении мощной помехи

Использование широкополосного сигнала обеспечивает повышенную помехоустойчивость системы радиосвязи при действии широкополосных помех, обеспечивает энергетическую скрытность – прием сигналов осуществляется при малом отношении «сигнал/шум», до -10 дБ.

Для улучшения помехоустойчивости по отношению к мощным широкополосным и узкополосным помехам различного временного и структурного характера описанный алгоритм приема сигналов дополнен механизмом перестройки рабочей (несущей) частоты при появлении помехи в полосе основного сигнала.

При работе приемного устройства с малым отношением «сигнал/шум» на входе (до -10 дБ) контроль состояния частотного канала простыми средствами становится невозможным. В описываемой системе это делается с использованием

специальных запросных сигналов, которые передаются в паузах между основными сигналами, и обработки их подобно основным полезным сигналам. Функциональная схема системы показана на рисунке 3.

Реализация алгоритма перестройки начинается с процесса обнаружения помехи, появление которой фиксируется системой связи по критерию резкого ухудшения передачи данных в канале – невозможность обнаружения тестовых пакетов. После обнаружения помехи одной из сторон оба приемопередатчика переходят на следующую запрограммированную частоту.

Для контроля канала связи обе стороны – «Сервер» и «Клиент» – посылают запросы в виде тестовых пакетов. Каждый тестовый пакет пред-

ставляет собой последовательность из 8 периодов служебного сигнала «Тест» (определенная кодовая комбинация информационной М-последовательности №2). Тестовые пакеты могут передаваться как в потоке данных, так и индивидуально (от «Клиента» к «Серверу»). Структура пакета при индивидуальной передаче показана на рисунке 4.

Период (частота) формирования тестовых пакетов зависит от занятости канала связи. Если устройство («Сервер» или «Клиент») не заняты приемом данных, период формирования пакетов составляет приблизительно 37,5 мс. Если устройство («Клиент») принимает данные, передача пакетов прекращается до окончания приема данных.

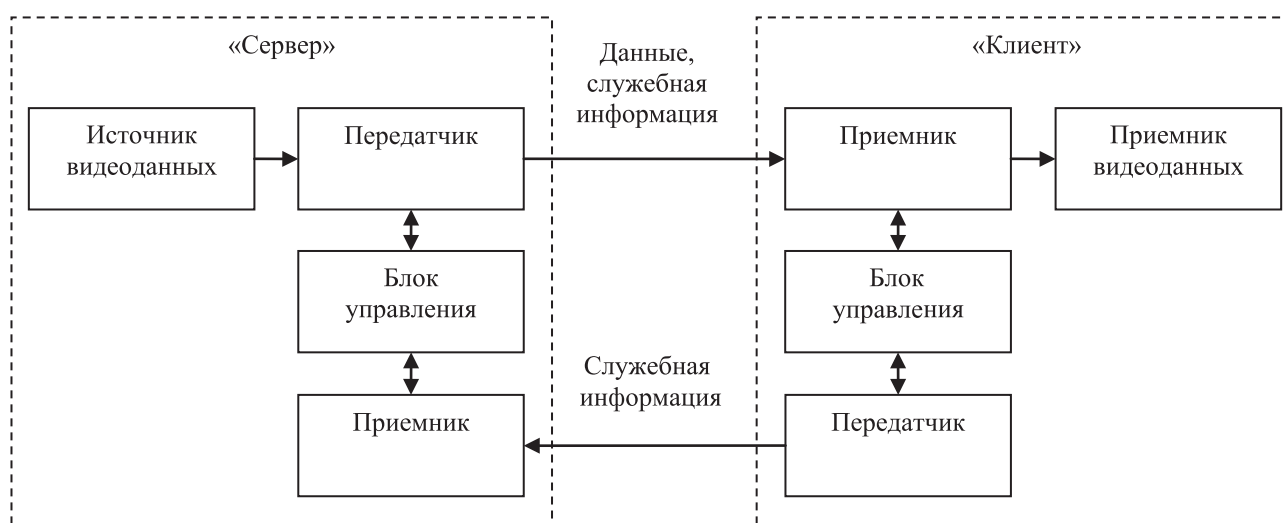


Рисунок 3. Функциональная схема системы радиосвязи

Канал связи считается чистым, если хотя бы в одном из двух последовательно принятых тестовых пакетов обнаружено не менее 6 периодов сигнала «Тест». За 136 мкс система «понимает», что канал чистый. В противном случае (через 75 мс) по радиоканалу на старой частоте передается команда на изменение частоты (команда может передаваться и «Сервером», и «Клиентом»), и устройства перестраиваются на следующую частоту из предварительно установленного (при настройке системы) списка. Частота изменяется примерно за 1 мс.

Синхронизация, 10 периодов	Тест, 8 периодов
-------------------------------	---------------------

Рисунок 4. Структура тестового пакета при индивидуальной передаче

Структура команды изменения частоты совпадает со структурой тестового пакета (см. рис. 4), но вместо сигнала «Тест» передается служебный сигнал «Частота» с указанием номера следующей частоты из списка. На стороне, принимающей команду на смену частоты, переключение происходит, только если в составе пакета обнаруживается не менее половины периодов сигнала «Частота» с одинаковым номером.

В случае сильно зашумленного канала связи возможны ситуации, когда команда на переключение частоты не проходит. В результате связь между устройствами теряется. Для восстановления связи выполняется поиск путем последовательной перестройки приемопередатчиков на все частоты из списка. Поиск продолжается до обнаружения тестовых пакетов в принятых данных. Скорости перестройки частоты устройств в связке «Сервер» – «Клиент» не одинаковые и зависят от роли устройства («Сервер» или «Клиент»).

Рассматриваемая система радиосвязи рассчитана главным образом на передачу видеосообщений. Осуществляющий сжатие кодер видеосигналов (стандарт H.264) формирует опорные кадры, имеющие достаточно большую длительность, и кадры изменений, которые имеют относительно малую длительность (см. рисунок 5).

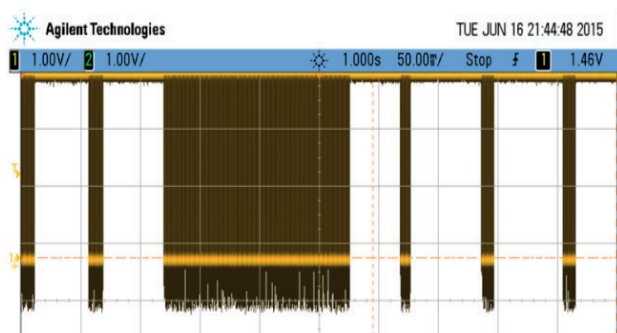


Рисунок 5. Демонстрация частоты следования простых кадров и опорного. Битрейт 400 кбит/с, частота кадров 15 Гц

В этих условиях приемлемыми для практического применения (обеспечивающими непрерывность видео на приемной стороне) получились следующие временные характеристики: период переключения рабочей частоты на стороне «Клиента» равен 75 мс, на стороне «Сервера» – приблизительно 600 мс (такова максимальная длительность опорного кадра видеосигнала).

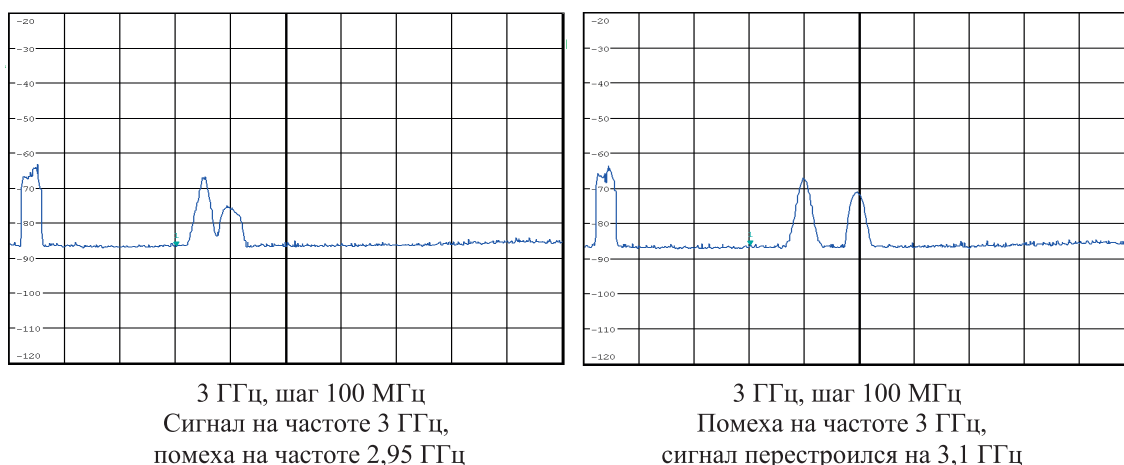
Среди особенностей стандарта H.264, используемого в настоящей системе связи, особое место занимает многокадровое предсказание [15]. Благодаря этой особенности кодер источника не привязан жестко к опорным кадрам (В-кадрам), как в предшествующих стандартах сжатия, но может гибко выбирать порядок следования изображений для компенсации движения, предпочитая изобра-

жение, более близкое по содержанию к кодируемому. В ряде случаев, особенно при передаче изображений с часто повторяющимися одними и теми же участками, такая возможность позволяет существенно снизить требуемый битрейт.

Эти преимущества стандарта H.264, а также особенности обработки сигнала на приемной стороне позволяют системе передавать видео в реальном масштабе времени, не прерывая передачу в процессе компенсации помех. Таким образом, применение стандарта H.264 и высокая скорость обнаружения и перестройки частоты позволяют осуществлять передачу видеoinформации практически без прерывания сеанса связи. Работа алгоритма «ухода» системы от помехи проиллюстрирована на рисунке 6.

На левой части рис. 6 спектр сигнала системы связи расположен на центральной частоте 3 ГГц (ширина спектра сигнала 56 МГц). Помеха на центральной частоте 2,95 ГГц (превышающая по уровню сигнал системы на 10 дБ) пока не мешает работе системы. При перестройке помехи на 3 ГГц происходит изменение рабочей частоты системы – система уходит на частоту 3,1 ГГц (см. правую часть рисунка 6).

Способность переходить на другую рабочую частоту оказывается полезной и при работе системы радиосвязи в сложных условиях распространения радиоволн – в условиях многолучевости и замираний. Качество передачи видеoinформации, например, при работе в здании заметно улучшается. Высокая скорость перестройки частоты с применением описанного алгоритма обеспечивается возможностями трансивера AD 9361. Но возможности микросхемы ограничивают число рабочих частот (8 частотных точек). Если этого количества частот недостаточно, необходимо создание другой радиочастотной части системы.



3 ГГц, шаг 100 МГц
Сигнал на частоте 3 ГГц,
помеха на частоте 2,95 ГГц

3 ГГц, шаг 100 МГц
Помеха на частоте 3 ГГц,
сигнал перестроился на 3,1 ГГц

Рисунок 6. Иллюстрация «ухода» системы связи от помехи

Заключение

1. Проведены анализ и оптимизация временных параметров сигналов широкополосной системы связи, предназначенной для передачи видеосообщений с повышенной помехоустойчивостью – обеспечивается прием сигналов при отношении «сигнал/шум» до –10 дБ [9-10].

2. Разработан механизм оценки состояния частотного канала, в котором принимается полезный сигнал при малом отношении сигнал/шум (до –10 дБ).

3. Разработан механизм быстрой перестройки частоты (ухода от помехи) при обнаружении помехи в основном канале.

4. Экспериментально показано, что передача видеосообщений при использовании стандарта сжатия H.264 и разработанного алгоритма быстрой перестройки частоты обеспечивает наблюдение видео на приемной стороне практически без перерыва.

5. Комбинация двух методов противодействия помехам различного характера, как преднамеренным, так и случайным, повышает живучесть системы связи, обеспечивая тактическое преимущество в условиях проведения специальных операций.

Литература

1. Бернард Склад. Цифровая связь. Теоретические основы и практическое применение. Пер. с англ. М.: «Вильямс», 2016. – 1104 с.
2. Варакин Л.Е. Системы связи с шумоподобными сигналами. М.: Радио и связь, 1985. – 384 с.
3. Гантмахер В.Е., Быстров Н.Е., Чеботарев Д.В. Шумоподобные сигналы. Анализ, синтез, обработка. СПб.: Наука и Техника, 2005. – 400 с.
4. Ярлыков М.С. Меандровые шумоподобные сигналы (вос-сигналы) и их разновидности в спутниковых радионавигационных системах. М.: Радиотехника, 2017. – 416 с.
5. Малыгин И.В. Широкополосные системы связи. LAP Lambert Academic Publishing, 2012. – 200 с.

6. Брауде-Золотарев Ю.М. Современная электроника и беспроводные технологии // Современная электроника. №9, 2013. – С. 6-11.
7. Прозоров Д.Е. Защита от структурных помех в системах связи с шумоподобными сигналами // Инфокоммуникационные технологии. Т.5, №2, 2007. – С.25-29.
8. Малыгин И.В. Один из способов защиты широкополосных систем связи от мощных узкополосных помех. // Телекоммуникации. №11, 2001. – С. 34-39.
9. Долматов А.Г., Лучинин А.С., Малыгин И.В. и др. Реализация защищенной системы радиосвязи по технологии SDR на основе трансивера AD9361 // В сб. СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии. КрыМиКо 2015. Материалы 25-ой Международной Крымской конференции, 2015. – С. 232.
10. Черепанов А.В., Мавричев А.А., Долматов А.Г. и др. Проектирование и исследование интерфейса защищенной системы передачи аудио-видеоинформации // Физика волновых процессов и радиотехнические системы. Т.20, №1, 2017. – С. 53-57.
11. Лосев В.В., Бродская Е.Б., Коржик В.И. Поиск и декодирование сложных дискретных сигналов. М.: Радио и связь, 1988. – 223 с.
12. Боровков К.В., Малыгин И.В. Перспективные способы модуляции в широкополосных системах передачи данных // Технологии и средства связи. №5, 1998. – С. 54-60.
13. Шумоподобные сигналы в системах передачи информации. Под ред. Пестрякова В.Б. М.: Сов. радио, 1973. – 424 с.
14. Алексеев А.И., Шереметьев А.Г., Тузов Г.И., Глазов Б.И. Теория и применение псевдослучайных сигналов. М.: Наука, 1969. – 366 с.
15. Смирнов А.В., Пескин А.Е. Цифровое телевидение: от теории к практике. М.: Горячая линия – Телеком, 2011. – 352 с.

Получено 22.01. 2018

Долматов Андрей Геннадьевич, старший преподаватель Кафедры радиоэлектронных и телекоммуникационных систем Уральского федерального университета (УрФУ). Тел. 8-922-148-2021. E-mail: a.g.dolmatov@urfu.ru

Лучинин Александр Сергеевич, к.т.н. доцент Кафедры теоретических основ радиотехники УрФУ. Тел. 8-912-670-5141. E-mail: r303las@mail.ru

Малыгин Иван Владимирович, к.т.н., доцент Кафедры технологий и средства связи УрФУ. Тел. 8-912-242-9896. E-mail: pit_pit2@mail.ru

SPREAD SPECTRUM SYSTEM PROTECTION FROM NARROWBAND INTERFERENCE WITH FAST FREQUENCY HOPPING

Dolmatov A.G., Luchinin A.S., Malygin I.V.
Ural Federal University, Yekaterinburg, Russian Federation
E-mail: pit_pit2@mail.ru

The interference immunity of communication systems that use spread-spectrum signals is proportional to the signal base. In the presence of a powerful narrowband interference, an effective way to increase noise immunity is to use frequency hopping technique. In this paper, a method has been developed for monitoring the channel occupancy when receiving signals with signal-to-noise ratio less than one (down to -10 dB) and tuning the signal frequency to a different spectrum position if it is affected by the interference. The time characteristics of the procedure are estimated, and the possibility of transmitting video messages with H.264 com-pression without disrupting the image during the frequency hop is shown.

Keywords: spread spectrum system, frequency hopping, narrowband interference, synchronization

DOI: 10.18469/ikt.2018.16.3.11

Dolmatov Andrey Gennadjevich, Ural Federal University, 32 Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation; Senior Lecturer of the Department of Radioelectronic and Telecommunication System. Tel. +79221482021. E-mail: a.g.dolmatov@urfu.ru

Luchinin Alexander Sergeevich, Ural Federal University, 32 Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Theoretical Foundations of Radioengineering, PhD in Technical Sciences. Tel. +79126705141. E-mail: r303las@mail.ru

Malygin Ivan Vladimirovich, Ural Federal University, 32 Mira str., Yekaterinburg, 620002, Russian Federation; Associate Professor of the Department of Technology and Communications, PhD in Technical Sciences. Tel. +79122429896. E-mail: pit_pit2@mail.ru

References

1. Bernard Sklar. Digital Communication. Fundamentals and application. 2th ed. Prentice Hall PTR. Upper Saddle River, New Jersey 07458, 2001. 1079 p. (Russ. ed.: Bernard Skljär. *Cifrovaja svyaz'. Teoreticheskie osnovy i prakticheskoe primeneniye*. Moscow, Izdatel'skiy dom «Vil'jams» Publ., 2003. 1104 p.)
2. Varakin L.E. *Sistemy svyazi s shumopodobnymi signalami* [Communication systems with spread spectrum signals] Moscow, Radio i svjaz' Publ, 1985. 384 p.
3. Gantmaher V.E., Bystrov N.E., Chebotarev D.V. *Shumopodobnye signaly. Analiz, sintez, obrabotka* [Spread spectrum signals. Analysis, synthesis, processing] St. Petersburg, Nauka i Tehnika Publ, 2005. 400 p.
4. Jarlykov M.S. *Meandrovye shumopodobnye signaly (vossignaly) i ih raznovidnosti v sputnikovyyh radionavigacionnyh sistemah* [Meander spread spectrum signals (BOC signals) and their varieties in satellite radio navigation systems] Moscow, Radiotekhnika Publ, 2017. 416 p.
5. Malygin I.V. *Shirokopoposnye sistemy svyazi* [Spread spectrum communication systems]. LAP Lambert Academic Pub, 2012. 200 p.
6. Braude-Zolotorev Ju.M. *Sovremennaya elektronika i besprovodnye tehnologii* [Modern electronics and wireless technologies]. *Sovremennaya elektronika*, 2013, no. 9, pp. 6-11.
7. Prozorov D.E. *Zaschita ot strukturnykh pomeh v sistemah svyazi s shumopodobnymi signalami* [Protection from structural interference in communication systems with spread spectrum signals]. *Infokommunikacionnye tehnologii*, 2007, vol. 5. no. 2, pp. 25-29.
8. Malygin I.V. *Odin iz sposobov zaschity shirokopolosnyh sistem svyazi ot moschnykh uzkopolosnyh pomeh* [One way to protect broadband communication systems from powerful narrowband interference]. *Telekommunikacii*, 2001, no. 11, pp. 34-39.
9. Dolmatov A.G., Luchinin A.S., Malygin I.V., Shabunin S.N., Petrov A.S., Jazovskij A.A. Realization of the protected system of a radio communication on the basis of the AD9361 transceiver *Trudy 25 Mezhdunarodnoj Krymskoj konferencii «SVCh-tehnika i telekommunikacionnye tehnologii – KryMiKo*

- 2015» [Proc. 25th Int. Conf. «Microwave & Telecommunication Technology»]. Sevastopol, 2015, pp. 232-233. (In Russian).
10. Cherepanov A.V., Mavrichev A.A., Dolmatov A.G., Luchinin A.S., Malygin I.V. Proektirovanie i issledovanie interfejsa zashchishhennoj sistemy peredachi audio-videoinformacii [Research and design of communication system interface protected transmission systems audio-video]. *Fizika volnovykh processov i radiotekhnicheskie sistemy*, 2017, vol. 20, no. 1, pp. 53-57.
 11. Losev V.V., Brodskaja E.B., Korzhik V.I. *Poisk i dekodirovanie slozhnykh diskretnykh signalov* [Search and decoding of complex discrete signals]. Moscow, Radio i svyaz' Publ, 1988. 223 p.
 12. Borovkov K.V., Malygin I.V. Perspektivnye sposoby moduljatsii v shirokopolosnykh sistemah peredachi dannykh [Perspective modulation methods in broadband data communication systems]. *Tekhnologii i sredstva svyazi*. 1998, no. 5, pp. 54-60.
 13. Pestryakov V. *Shumopodobnye signaly v sistemah peredachi informacii* [Spread spectrum signals with information transfer systems] Moscow, Sovetskoe radio Publ, 1973. 424 p.
 14. Alekseev A.I., Sheremet'ev A.G., Tuzov G.I., Glazov B.I. *Teoriya i primenenie psevdosluchajnykh signalov* [Theory and application of pseudo-random signals] Moscow, Nauka Publ, 1969. 366 p.
 15. Smirnov A.V., Peskin A.E. *Cifrovoe televidenie: ot teorii k praktike* [Digital television: from theory to practice] Moscow, Goryachaja liniya – Telekom Publ, 2011. 352 p.

Received 22.01.2018

УДК 621.396; 534.86

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭФФЕКТИВНОСТИ СЖАТИЯ АУДИОДАНЫХ

Стефанова И.А., Стефанов М.А., Заболотов В.А.

Поволжский государственный университет телекоммуникаций и информатики, Самара, РФ

E-mail: aistvt@mail.ru

В статье приводятся результаты исследования параметров сжатия звукового сигнала: длины выборки и частоты дискретизации, используемых при спектральном анализе аудиоданных. Определены условия, позволяющие достаточно эффективно восстанавливать звуковой сигнал после его цифровой обработки и применения частотных дискретных ортогональных преобразований к выборкам первичного сигнала. Представлены рекомендации относительно целесообразных значений интервала преобразования и частоты дискретизации аудиосигнала и произведен их расчет для разных диапазонов частот. Сравнение характеристик восстановленных результатов со стандартами MPEG и Dolby AC-3 (A/52) показывает, что они превышают рекомендуемые величины. Время обработки звуковых сигналов можно снизить, если первичный цифровой сигнал разделить банком цифровых фильтров на субполосные составляющие. Определены пути дальнейшего исследования процесса оптимизации частоты дискретизации с учетом психоакустических особенностей слухового восприятия человеком звукового сигнала.

Ключевые слова: сжатие аудиоданных, дискретные ортогональные преобразования, психоакустические свойства слуха, цифровая обработка сигналов

Введение

Главным ресурсом сжатия звукового сигнала (ЗС) является его естественная значительная избыточность. Различают статистическую и психоакустическую избыточность первичных цифровых сигналов [5]. Сокращение статистической избыточности базируется на учете свойств самих ЗС, а психоакустической – на учете особенностей слухового восприятия звука человеком. При этом сжатие производится в частотной области.

Статистическая избыточность обусловлена наличием корреляционных связей между соседними отсчетами ЗС при его дискретизации. Для

ее уменьшения применяют достаточно сложные алгоритмы преобразования, которые позволяют уменьшить пропускную способность канала связи лишь на 15 - 30 %. Такое сжатие не может обеспечить все возрастающие требования, как к количеству, так и к качеству передаваемой информации. Поэтому в последнее время в нашей стране и за рубежом уделяется большое внимание вопросам развития новых методов сжатия ЗС, основанных на использовании психоакустических свойств слуха человека.

Наличие этой избыточности обнаруживается как субъективная психофизическая реакция че-