

Повышение эффективности многоканальных систем связи на основе методов координированного дифференциального преобразования сообщений и сигналов

Г.С. Воронков¹, П.Е. Филатов¹, А.Х. Султанов¹, А.В. Воронкова¹,
И.Л. Виноградова¹, И.В. Кузнецов¹

¹Уфимский государственный авиационный технический университет, ул. Карла Маркса, 12, Уфа, Россия, 450000

Аннотация. Рассмотрен способ повышения эффективности многоканальных систем связи на основе экстраполяции сигналов и дифференциального преобразования. Производится анализ возможных структур экстраполяторов на основе линейной оптимальной фильтрации Калмана – Бьюси и Винера – Хопфа и способов реализации схемы для первичных сигналов и сигналов высокочастотного тракта. Проводится имитационное моделирование, приводятся результаты, подтверждающие эффективность предложенных схем.

1. Введение

В настоящее время наблюдается бурное развитие систем подвижной радиосвязи. Так, по статистике организации GSA (Global Mobile Suppliers Association), количество абонентов сетей LTE превышает 1,453 млрд. [1]. Ведутся активные работы по разработке спецификаций стандарта мобильной связи 5 поколения, организацией 3GPP опубликован черновик стандарта [2], запуск первой коммерческой сети стандарта 5G планируется в 2020 году [3]. Также активно развивается направление спутникового дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ). За 2016 год на орбиту выведено 95 новых космических аппаратов (КА) ДЗЗ различных классов и назначения, а в первом квартале 2017 года на орбиту выведено 97 КА ДЗЗ [4], для которых организуются высокоскоростные каналы передачи данных. Развивается также сегмент беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) различного назначения, для связи с которыми также требуются высокоскоростные каналы передачи данных.

Можно утверждать, что общей чертой для устройств всех вышеперечисленных систем связи является необходимость обеспечивать их автономное функционирование в течение возможно большего времени при ограниченной ёмкости аккумуляторных батарей, то есть повысить их энергетическую эффективность. Указанное свойство позволяет объединить такие устройства в отдельный класс энергодефицитных систем связи.

В качестве одного из направлений решения проблемы обеспечения энергетической эффективности могут быть рассмотрены методы дифференциальной обработки сигналов и сообщений. Их суть заключается в передаче сигнала разности между исходными сигналами и

их экстраполированными значениями, что позволяет снизить динамический диапазон канальных сигналов либо пик-фактор сигналов, что, в свою очередь, обеспечивает снижение энергопотребления систем связи (без снижения качества связи), повышение помехозащищённости каналов связи, а также повышает их защищённость за счёт затруднения обнаружения сигналов в эфире [5]. Описанные эффекты достигаются за счёт модернизации структурных решений как в части первичной обработки сообщений, так и на уровне формирования полосового сигнала.

2. Структурные решения методов дифференциальной обработки сигналов

2.1. Групповые кодеки дифференциальной импульсно-кодовой модуляции (ДИКМ)

На уровне формирования первичных сигналов реализацией дифференциального метода обработки сигналов могут служить групповые ДИКМ-кодеки [6, 7], общая схема которых приведена на рисунке 1. Различия в структурах кодеков обусловлены способами формирования координированных сигналов, например, по суммирующей и разностной схемам [8], либо по иным схемам.

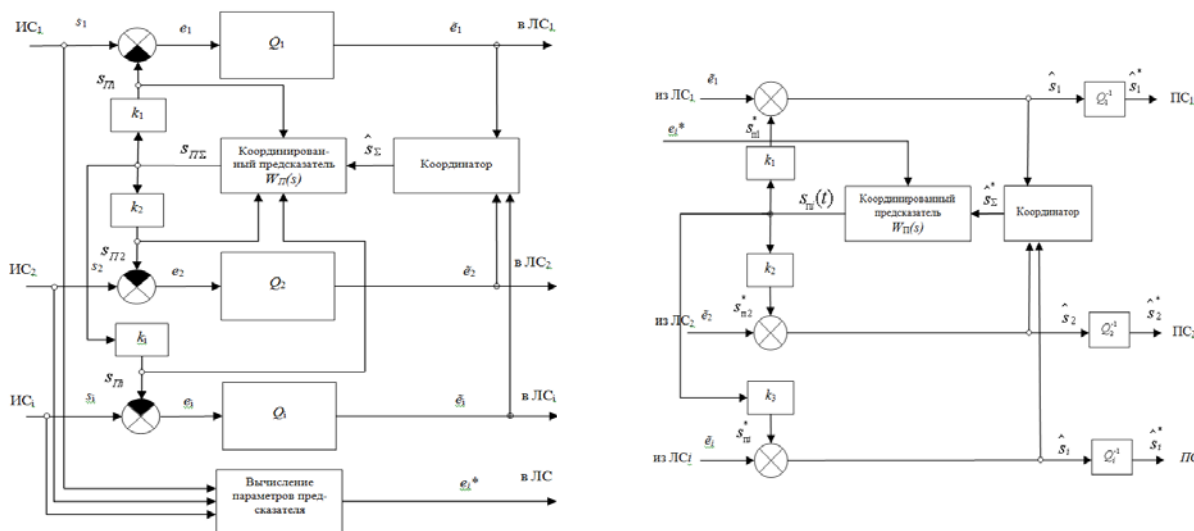


Рисунок 1. Структурная схема группового ДИКМ-кодека. ИС – источник сообщения, ЛС – линия связи, s_i – сигнал канала номер i , e_i – соответствующий ему разностный сигнал.

В ходе исследований было проведено моделирование группового ДИКМ-кодека для трёхканальной системы. Для случая ступенчатого воздействия на входах системы снижение динамического диапазона сигналов за счёт их экстраполяции составило 7,3 дБ. При гармоническом воздействии снижение динамического диапазона составило 10,7 дБ, для случайного воздействия – 13, 07 дБ [9]. Результаты моделирования для случайных входных воздействий приведены на рисунке 2.

2.2. Дифференциальное преобразование сигналов OFDM

В области формирования полосовых сигналов исследовалась возможность применения дифференциального преобразования к сигналам OFDM-систем. Были исследованы схемы построения экстраполяторов на основе математического аппарата теории линейной оптимальной фильтрации Калмана – Бьюси и Винера – Хопфа. Обобщённая структурная схема кодека OFDM-сигнала представлена на рисунке 3. Тракт формирования сигнала OFDM дополнен координированным экстраполятором, синтезирующим сигнал на основе известных спектральных характеристик сигналов синфазной и квадратурной составляющей комплексной огибающей сигнала OFDM и помехи. Исходные значения этих сигналов сравниваются с экстраполированными, и в качестве модулирующего сигнала используется результат их сравнения (разность). При этом дифференциальное преобразование возможно осуществить как

«по входу», так и «по выходу». При приёме после демодуляции полученный сигнал восстанавливается за счёт сложения с сигналом, синтезированным экстраполятором. Отдельное внимание следует при рассмотрении схемы уделить возможности синхронизации экстраполяторов приёмного и передающего блоков по каналам вторичного уплотнения [10, 11] (что свидетельствует и о повышении спектральной эффективности системы).

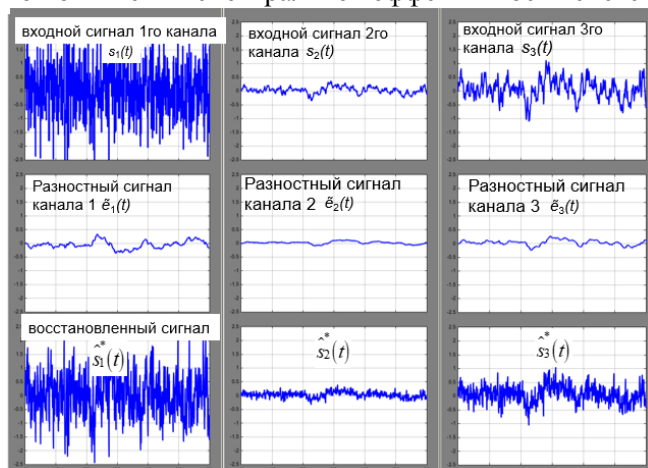


Рисунок 2. Результаты моделирования ДИКМ-кодека.

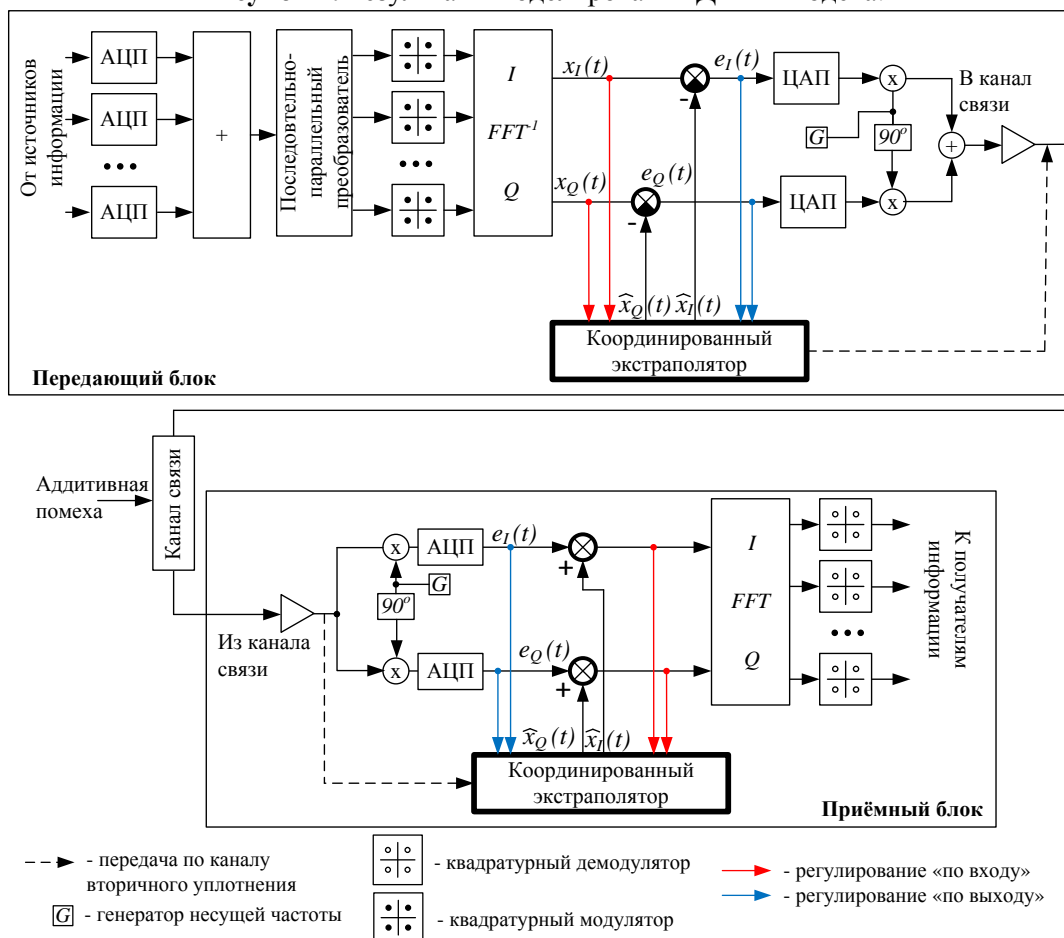


Рисунок 3. Обобщённая структура тракта OFDM при использовании дифференциальной схемы преобразования сигнала.

Моделирование предложенной схемы проведено для канала передачи микроспутника системы дистанционного зондирования Земли (ДЗЗ) «УГАТУ-CAT2» [12]. Были приняты

следующие параметры системы передачи. Ширина полосы канала составляет 8 МГц, количество поднесущих OFDM – 16, модуляция на поднесущих – QPSK. Канал моделируется как среда с аддитивным белым гауссовским шумом (АБГШ), мощность которого обуславливает отношение сигнал-шум на приёме на уровне 22 дБ. При этом не учитывается многолучевое распространение и замирания в канале связи. В качестве сообщения используется снимок системы ДЗЗ размером 512x512 пикселей в формате BMP без сжатия, цветовая схема – оттенки серого.

Графический файл, в соответствии с разработанной методикой, разбивается на фрагменты 32x32 пикселя, затем каждый из полученных 256 фрагментов используется для формирования символов QPSK, которые подвергаются обратному быстрому преобразованию Фурье, что позволяет получить первый тип полосового сигнала – сигнал системы передачи OFDM без использования дифференциального преобразования (сигнал 1). Далее полученный сигнал подвергается свёртке с импульсной характеристикой экстраполятора, вычисляется разность между сигналом 1 и его экстраполированным значением, таким образом, формируется второй тип полосового сигнала – сигнал, сжатый по дифференциальной схеме (сигнал 2). Далее формируется третий вариант полосового сигнала (сигнал 3) – мощность сигнала 1 понижается до соответствующего значения мощности сигнала 2. Затем имитируется передача сформированных полосовых сигналов по каналу с АБГШ. Принятый полосовой сигнал проходит процедуру прямого преобразования Фурье. Поскольку ранее было получено 3 варианта полосового сигнала, появляется возможность сравнить сигнальные созвездия QPSK, полученные обработкой разных полосовых сигналов, и оценить коэффициент символьной ошибки.

В результате моделирования было получено 256 значений выигрыша по мощности при использовании дифференциального преобразования. На рисунке 4 приведена гистограмма полученных значений. По горизонтальной оси отложены коэффициенты сжатия, дБ, по вертикальной – количество информационных посылок. Приведённая гистограмма показывает, что применяемый метод обеспечивает сжатие от 1,6 дБ до 3,5 дБ, среднее сжатие составляет 2,49 дБ. В ходе моделирования также выявлено, что коэффициент символьной ошибки для приёма сигналов 1 и 2 практически совпадают, а коэффициент символьной ошибки сигнала 3 превышает их на 2 порядка.

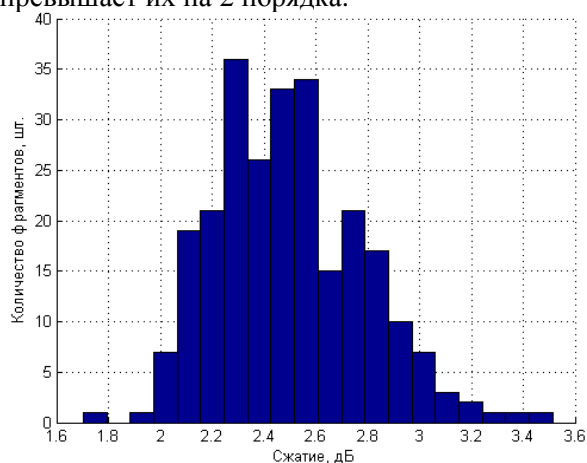


Рисунок 4. Гистограмма коэффициентов сжатия.

2.3. Анализ результатов

Оба рассмотренных варианта построения структурных схем имеют свои преимущества и недостатки. Например, при дифференциальном преобразовании исходных сигналов снижаются требования к быстродействию экстраполяторов, а установка экстраполятора в высокочастотном блоке позволяет напрямую в модели учесть канальную помеху при синтезе передаточной функции экстраполятора.

3. Заключение и перспективы дальнейших исследований

Предложенные решения могут быть использованы в различных областях связи для достижения различных целей. В радиоканале разработанные методы повышают энергетическую эффективность и защищённость каналов связи. В проводных системах (технологии xDSL, PLC) предложенные схемы повышают помехоустойчивость каналов. В оптических системах снижение динамического диапазона канальных сигналов позволит снизить влияние нелинейных эффектов, повысив тем самым спектральную эффективность систем связи. Дополнительно необходимо отметить, что в оптических системах передачи возможна организация канала вторичного уплотнения на основе пространственного уплотнения сигналов [Руслан Сибиркон].

Перспективным направлением исследований в рассматриваемой области является создание интеллектуальных (в том числе т.н. инвариантных) систем, адаптирующихся к виду передаваемых сообщений и условиям распространения сигналов, что позволит существенно расширить функциональность систем связи.

4. Благодарности

Исследование проводится при поддержке Министерства образования и науки Российской Федерации в рамках базовой части государственного задания образовательным организациям высшего образования № 8.5701.2017/БЧ.

5. Литература

- [1] GSA confirms LTE connects 1 in 5 mobile subscribers worldwide: Q2 2016 [Электронный ресурс] // Официальный сайт CSA. URL: <https://gsacom.com/press-release/gsa-confirms-lte-connects-1-5-mobile-subscribers-worldwide-q2-2016/> (дата обращения: 20.11.2017).
- [2] Draft new Report ITU-R M.[IMT-2020.TECH PERF REQ] – Minimum re-quirements related to technical performance for IMT-2020 radio interface(s). [Электронный ресурс] // Официальный сайт ITU. URL: <https://www.itu.int/md/meetingdoc.asp?lang=en&parent=R15-SG05-C-0040> (дата обращения: 20.11.2017).
- [3] Doug Irvin. Japan, China Plan Commercial 5G Networks by 2020 [Электронный ресурс] // Radio – The radio technology leader. URL: <http://www.radiomagonline.com/around-the-world/0020/japan-china-plan-commercial-5g-networks-by-2020/38939> (дата обращения: 20.11.2017).
- [4] Мировая отрасль космической съемки в итогах запусков спутников ДЗЗ в 2016 году [Электронный ресурс] // Сайт группы компаний СКАНЭКС. URL: <http://new.scanex.ru/company/news/mirovaya-otrasl-kosmicheskoy-semki-v-itogakh-zapuskov-sputnikov/> (дата обращения: 20.11.2017).
- [5] Беккиев, А.Ю. Базовые принципы создания помехозащищённых систем радиосвязи / А.Ю. Беккиев, В.И. Борисов // Теория и техника радиосвязи. – 2014. – №1. – С. 5-18.
- [6] Кузнецов, И.В. Разработка группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов для многоканальных энергодефицитных систем передачи данных / И.В. Кузнецов, П.Е. Филатов, А.Н. Гимаев // Радиотехника. – М.: Радиотехника. – 2015. – №2. – С. 87-92.
- [7] Кузнецов, И.В. Разработка группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов на основе разностной схемы остатков предсказания / И.В. Кузнецов, А.Х. Султанов, П.Е. Филатов, Е.А. Смирнова // Журнал “Радиотехника”. – 2017. – № 2. – С. 23-30.
- [8] Кузнецов, И.В. Аспекты построения группового кодека с дифференциальной импульсно-кодовой модуляцией сигналов для многоканальных систем связи / И.В. Кузнецов, П.Е. Филатов // Т-Comm: Телекоммуникации и транспорт. – 2016. – Т. 10, № 2. – С. 34-39.
- [9] Филатов, П.Е. Повышение эффективности энергодефицитных многоканальных систем передачи информации на основе координированного преобразования сигналов / П.Е. Филатов // VI Международная заочная научно-технической конференции

- «Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации (ITRT-2016)». – Тольятти: Поволжский государственный университет сервиса, 2016. – С. 274-278.
- [10] Кузнецов, И.В. Разработка дифференциального OFDM-преобразователя с координированным предсказанием сигналов для энергодефицитных систем связи / И.В. Кузнецов, Г.С. Воронков, А.Х. Султанов, В.В. Антонов // Радиотехника. – М.: Радиотехника. – 2016. – №12. – С. 59-63.
- [11] Воронков, Г.С. Возможность вторичного уплотнения в системах с ортогональным частотным мультиплексированием / Г.С. Воронков // Труды МНТК «Перспективные информационные технологии». – Самара, 2017. – С. 65-66.
- [12] Voronkov, G.S. Increasing the energy efficiency of OFDM systems using differential signal conversion / G.S. Voronkov, I.V. Kuznetsov, A.Kh. Sultanov // CEUR Workshop Proceedings. – 2017. – Vol. 1901. - P. 259-263.
- [13] Kutluyarov, R.V. Increase of nonlinear signal distortions due to linear mode coupling in space division multiplexed systems / R.V. Kutluyarov, V.Kh. Bagmanov, V.V. Antonov, A.Kh. Sultanov, V.S. Lyubopytov // International Multi-Conference on Engineering, Computer and Information Sciences (SIBIRCON). – Novosibirsk, 2017. – P. 282-286.

Signals and messages differential transformation research for increasing multichannel systems efficiency

G.S. Voronkov¹, P.E. Filatov¹, A.Kh. Sultanov¹, A.V. Voronkova¹, I.L. Vinogradova¹, I.V. Kuznetsov¹

¹Ufa State Aviation Technical University, 12, K. Marx St., Ufa, Russian, 450000

Abstract. The problem of differential transformation for multichannel systems efficiency increasing is described. Examples for low-frequency and high-frequency circuits are given; different circuits' advantages are described. The achieved results on the energy efficiency increasing due to the differential transformation of the primary signals and OFDM band signal for the case of the AWGN-channel are given. Different telecommunication implementation and further research directions are described.

Keywords: differential transformation, multichannel systems, extrapolation, efficiency.