

Кулагин В.П. Высокоскоростной цифровой демодулятор приемного устройства станции спутниковой связи. // Проблемы информатики в образовании, управлении, экономике и технике: Сб. статей XVIII Междунар. научно-техн. конф. – Пенза: ПДЗ, 2018. – С. 141-146.

УДК 621.396.65

ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ЦИФРОВОЙ ДЕМОДУЛЯТОР ПРИЕМНОГО УСТРОЙСТВА СТАНЦИЙ СПУТНИКОВОЙ СВЯЗИ¹

В.П. Кулагин

HIGH-SPEED DIGITAL DEMODULATOR OF THE INTAKE OF STATIONS OF SATELLITE COMMUNICATION

V.P. Kulagin

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы создания цифровых устройств демодуляции и декодирования, используемых в составе интеллектуальных телекоммуникационных систем спутниковой связи, для обеспечения территориальной связанности за счет внедрения высокоскоростных приемных демодуляционных модулей цифровой обработки сигналов.

Ключевые слова: спутниковая радиосвязь, приемо-передающее устройство, демодулятор, цифровая обработка сигнала, наземная космическая станция.

Abstract. The paper deals with the creation of digital devices for demodulation and signal decoding devices as part of intelligent telecommunications satellite communications systems to ensure territorial connectivity by using of high-speed reception demodulation modules for digital signal processing.

Keywords: satellite radio communication, transfer-receiving device, demodulator, digital signal processing, earth-based space station.

Создание и развитие современных систем спутниковой связи во многом связано с необходимостью совершенствования их наземных сегментов, основу которых составляют приемные устройства станций спутниковой связи. Важнейшее место в таких приемных устройствах, а также в многофункциональных радиоэлектронных системах передачи информации занимают устройства демодуляции и декодирования сигналов [1,2], поскольку в основном именно демодуляторы определяют помехоустойчивость и скоростные параметры передачи потоковой информации со спутника.

Дальнейшее развитие телекоммуникационных систем спутниковой связи, в особенности имеющих интеллектуальную компоненту, связано с использованием цифровых технологий высокоскоростной обработки полезного сигнала [3,4]. Существующие в настоящее время устройства демодуляции и декодирования в значительной мере устарели и не обеспечивают демодуляцию сигналов со сложными видами модуляции в широком

¹ Исследование проводится при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации (уникальный идентификатор RFMEFI57418X0190).

диапазоне скоростей передачи информации, что определяет необходимость разработки и внедрения высокоскоростных приемных демодуляционных модулей цифровой обработки сигналов действующих и перспективных систем спутниковой связи.

Анализ современных тенденций развития цифровых систем спутниковой связи и используемых технических решений показывает, что до сих пор имеют место ограничения их применения в современных системах спутниковой связи, касающиеся, в частности, повышения эффективности передачи сигналов. Кроме того, существующие потребности в высоких скоростях передачи информации по беспроводным каналам связи требуют создания демодуляторов с улучшенными техническими характеристиками. Проблема также состоит в том, что в настоящее время существующие демодуляционные устройства систем спутниковой связи имеют высокое энергопотребление и существенные массогабаритные показатели.

Повышение скорости передачи информации может быть достигнуто за счет увеличения битовой скорости при использовании бинарных видов модуляции, таких как BPSK (Binary Phase Shift Key) или MSK (Minimum Shift Key). При этом увеличение битовой скорости влечет за собой повышенные требования не только к быстродействию элементов демодулятора, но и неизбежному увеличению ширины спектра, занимаемой модулированным сигналом, и, как следствие, увеличению ширины канала связи [3].

В условиях дефицита ширины полосы канала связи повышение скорости передачи информации возможно только за счет перехода от бинарных видов модуляции к модуляции более высоких порядков, таких как квадратурная фазовая манипуляция (QPSK) различных модификаций или амплитудно-фазовая манипуляция (APSK) и квадратурная амплитудно-фазовая манипуляция (QAM) порядков 2^n [5]. Однако несмотря на то, что повышение порядка модуляции позволяет получить более высокую спектральную эффективность передачи информации, необходимо учитывать, что при этом неизбежно увеличивается вероятность появления ошибочных символов при одинаковых значениях отношения сигнал-шум. Уменьшить вероятность появления ошибочных символов можно, используя помехоустойчивое кодирование [1,6,7]. Хотя кодирование и не является процессом демодуляции, тем не менее, помехоустойчивые декодеры обычно встраивают в демодуляторы.

Для решения поставленных задач предусматривается создание приемного демодуляционного модуля для цифровой обработки сигналов (далее – демодуляционный модуль или устройство) для интеллектуальных телекоммуникационных систем спутниковой связи, что предусматривает разработку встроженных средств интеллектуального управления сложными процессами демодуляции и декодирования сигналов в зависимости от ситуации и помеховой обстановки. Такой подход позволяет обеспечить оптимальный выбор режимов демодуляции и декодирования сигналов, а

также построить механизмы поддержки корректности данных при цифровой обработке сигналов.

Для реализации описанного подхода предлагается демодуляционный модуль цифровой обработки сигналов, в состав которого входят следующие функциональные блоки: узел высокочастотной аналоговой части, демодулятор, блок вывода данных, блок управления и контроля, блок питания.

Высокочастотная аналоговая часть обеспечивает усиление, предварительную селекцию по частоте и фильтрацию входного сигнала. Демодулятор выполняет цифровую демодуляцию сигнала с различными видами модуляции при скорости передачи символов до 100 Мсим/с в полосе захвата и удержания по несущей частоте не менее 1,0 МГц. Ввиду большого количества схем канального кодирования в демодуляторе целесообразно реализовывать независимые модули демодуляции для каждого вида модуляции, формируя тем самым создание универсального ядра цифрового демодулятора. Блок вывода данных обеспечивает вывод данных и тактового сигнала. Блок управления и контроля необходим для управления и настройки отдельных составных частей устройства, таких как частоты гетеродинов, частоты среза фильтров, коэффициентов усиления тракта промежуточной частоты (ПЧ), выбора конкретного вида входных сигналов, выбора конкретного вида канального кодирования, связи демодулятора с внешним миром. Связь с внешними устройствами предлагается организовать по протоколу Ethernet, как наиболее доступному в настоящее время. Реализацию системы управления целесообразно осуществить в составе программируемой логической интегральной микросхемы (ПЛИС). Подобное решение позволит разрабатывать и отлаживать систему управления независимо от других составных частей демодуляционного модуля. В дальнейшем при модернизации возможно совместить систему управления с демодулятором в микросхеме ПЛИС.

Устройство обеспечивает усиление и демодуляцию сигналов в широком диапазоне скоростей передачи информации и должно отвечать следующим требованиям: а) несущая частота входного сигнала – от 900 МГц до 1500 МГц; б) диапазон изменения уровня входного сигнала – от минус 30 до 0 дБм; в) полоса пропускания входного сигнала по уровню 3дБ должна составлять не менее 300 МГц.

Для получения возможности работы в различных частотных диапазонах демодулятор должен работать на фиксированной промежуточной частоте. Значение ПЧ можно корректировать исходя из соображений спектральной чистоты основной полосы рабочих частот демодулятора от побочных спектральных составляющих, неизбежно возникающих в конвертерах частоты.

Демодулятор должен обеспечивать демодуляцию сигналов с BPSK (Binary Phase-Shift Keying), QPSK (Quadrature Phase Shift Keying), OQPSK (Offset Quadrature Phase Shift Keying), 8-PSK, 16QAM, 16APSK, 32QAM видами модуляции с максимальной скоростью передачи информации для

различных видов модуляции: BPSK – 150 Мбит/с; QPSK, OQPSK – 300 Мбит/с; 8-PSK – 450 Мбит/с; 16QAM, 16APSK – 600 Мбит/с; 32QAM – 750 Мбит/с. Демодулированный выходной информационный поток и импульсы тактовой синхронизации предпочтительнее выводить сигналами в уровнях LVDS-технологии (low-voltage differential signaling – низковольтная дифференциальная передача сигналов).

Программное обеспечение является существенным компонентом устройства, поскольку реализует алгоритмы работы демодуляционного модуля в широком диапазоне скоростей передачи информации с заданными характеристиками. Программное обеспечение для управления и контроля устройства устанавливается на управляющий персональный компьютер (ПК). Предусматривается также разработать программные модули для управления демодулятором с ПК, включая разработку протоколов взаимодействия различных модулей между собой и оператором.

При создании устройства предполагается использовать современную микроэлектронную элементную базу и передовые технологии: специализированные сигнальные процессоры, программируемые логические интегральные схемы. Реализация в них интеллектуальных алгоритмов цифровой обработки сигнала позволяет увеличить тактовую частоту сигналов для демодуляторов до десятков мегагерц, а также снизить массу, габариты и цену устройства, существенно повысить его надёжность.

Исследования по созданию приемных демодуляционных модулей цифровой обработки сигналов, работающих со сложными видами модуляции в широком диапазоне скоростей передачи для использования в системах спутниковой связи, включая наземные приемные комплексы и станции спутниковой связи, а также новые и усовершенствованные интеллектуальные телекоммуникационные системы космической связи, позволят обеспечить решение ключевых проблем территориальной связанности. В качестве целевого рыночного сегмента разработчики ориентируются на сегмент космических систем приема-передачи информации для космического аппарата (КА) дистанционного зондирования Земли, связанных и ретрансляционных КА. Данный сегмент в ближайшие годы имеет устойчивую тенденцию расширения. Кроме того, создание интеллектуальных транспортных и телекоммуникационных систем позволит обеспечить качественную связь и развитие отечественных и международных транспортно-логистических систем.

Библиографический список

1. Крещук А.А., Потапов В.Г. Некоторые статистические демодуляторы для частотно-позиционного кодирования с быстрой перестройкой частот // Автоматика и Телемеханика, ISSN: 0005-2310. М., 2013. №10. С.109-118.
2. Мартиросов В.Е., Алексеев Г.А. Программная реализация квазикоррентного демодулятора сигнала манипуляции минимального сдвига //

Вестник Московского авиационного института, ISSN: 0869-6101. М., 2013. Том 20, №5. С.134-148.

3. Макаров С.Б., Завьялов С.В. Реализация цифровых модуляторов и демодуляторов спектрально-эффективных неортогональных многочастотных сигналов // Радиотехника, ISSN: 0033-8486, М., 2015. №9. С.4-12.

4. Строкова М.С. Исследование вычислительной эффективности нейросетевого демодулятора фазоманипулированных сигналов // Материалы XX Международ. научно-техн. конф. «Радиолокация, навигация и связь». Воронеж, 2014. С.2051-2058.

5. Янушковский А.Ю., Кривошейкин А.В. Точность определения параметров демодулятора в системах с квадратурной амплитудно-фазовой модуляцией // Известия высших учебных заведений. Приборостроение, ISSN: 0021-3454. СПб., 2010. Том 53. №10. С.55-60.

6. Салас Н.А., Королев А.И., Конопелько В.К. Весовое декодирование циклических кодов с использованием квантованных сигналов демодулятора фм-сигналов // Доклады Белорусского государственного университета информатики и радиоэлектроники, ISSN: 1729-7648. Минск, 2013. №6(76). С. 48-54.

7. Каплун Д.И., Гульванский В.В., Канатов И.И., Клионский Д.М., Хачатурян А.Б., Бутусов Д.Н., Лапицкий В.Ф., Бобровский В.И. Разработка и исследование демодуляторов сигналов с псевдослучайной перестройкой рабочей частоты // Известия высших учебных заведений России. Радиоэлектроника, ISSN: 1993-8985. СПб., 2017. № 6. С.15-21.

Кулагин Владимир Петрович
МИРЭА – Российский
технологический университет,
г. Москва, Россия
E-mail: vkulagin@hse.ru

Kulagin V.P.
MIREA – Russian
Technological University,
Moscow, Russia