12+

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

wireless technologies

www.wireless-e.ru

№ 2 (59) 2020 сентябрь

ISSN 2079-9233

Представляем новое поколение микроконтроллеров AVR®

Проекты с универсальными МК AVR-DA

Микроконтроллеры нового поколения AVR-DA, обеспечивающие функциональную безопасность (Functional Safety Ready), работают с частотой до 24 МГц во всем диапазоне напряжения питания 1,8–5,5 В. Эти МК оснащены интеллектуальной аналоговой и независимой от ядра периферией.

Семейство микроконтроллеров AVR-DA, использующее самую современную независимую от ядра периферию и обладающее малым энергопотреблением, реализует управляющие функции в режиме реального времени в промышленных системах, бытовых электроприборах, автомобильной электронике и интернете вещей (IoT).

Периферийный модуль системы событий (Event System) и периферийные конфигурируемые заказные логические модули (CCL) осуществляют требующие немедленной обработки функции с почти нулевой задержкой. Интеллектуальные аналоговые устройства, к которым относятся 12-бит дифференциальный АЦП, детектор пересечения нуля (ZCD), 10-бит ЦАП и периферийный сенсорный контроллер (PTC) самого последнего поколения, ставят МК AVR-DA во главу угла в приложениях для сенсорных интерфейсов, мониторинга систем и человеко-машинных интерфейсов. Поскольку эти микроконтроллеры работают от напряжения 5 В, что повышает помехоустойчивость, и имеют малое энергопотребление, решение задач по обеспечению питания упрощается.

Functional Safety Ready

www.microchip.com/avr-da

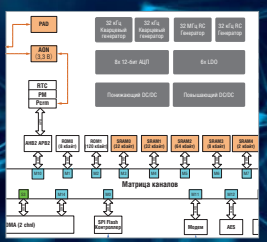
MICROCHIP

Название и логотип Microchip, AVR являются зарегистрированными торговыми марками компании Microchip Technology Incorporated в США и других странах. Названия других торговых марок являются собственностью их зарегистрированных собственников.
© 2020 Microchip Technology Inc. Все права защищены. MEC2327A-RUS-08-20

реклама

Новинки компании Semtech для технологии LoRa

стр. 9



Встроенное программирование BLE-модуля BT4502 от HopeRF

стр. 18

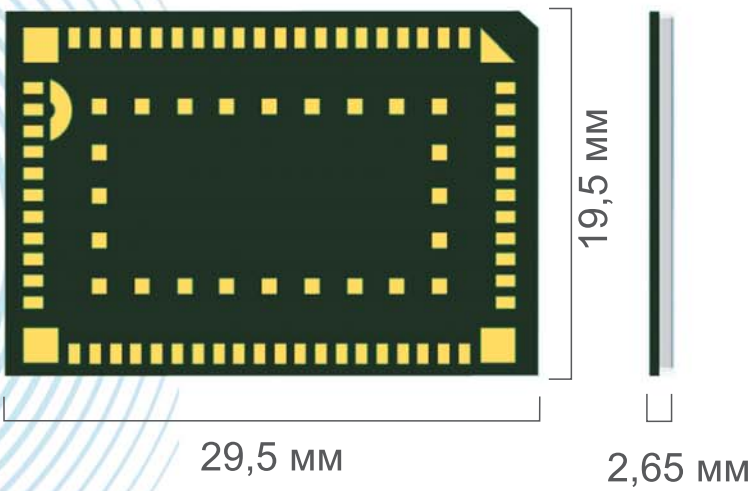
LG77L — новый компактный мультиформатный GNSS-модуль с ультранизким потреблением от компании Quectel

стр. 22

LoRaWAN в России. Реальные проекты на основе модулей ACSIP

стр. 36

ПРОГРЕСС НАВИА



ПН6280 – единственный 2G/3G модуль на чипсете Mediatek, который поддерживает работу функционала ЭРА-ГЛОНАСС/eCall

- UMTS/HSPA+ 900/2100 МГц
- GSM/GPRS/EDGE 900/1800 МГц
- Выходная мощность:
  - UMTS 900/2100 0,25Вт
  - GSM900 2 Вт
  - DCS1800 1 Вт
- Диапазон напряжения питания: от 3,3 до 4, 2 В (3,8 В типовое)
- Программное обеспечение Российской разработки. Возможность доработки ПО по требованиям заказчика
- Сигнал передачи данных в 2G диапазоне (для повышения устойчивости работы навигационных приемников)
- Вес: 5 г

3G | -40°C ...+85°C | USB 2.0 | USB Drivers | AT команды | LGA корпус | ЭРА ГЛОНАСС eCall

реклама

www.naviawireless.ru +7 (812) 324-63-50 support@naviawireless.ru

EXPO ELECTRONICA

23-я Международная выставка
электронных компонентов, модулей
и комплектующих

expoelectronica.ru

ELECTRON TECHEXPO

18-я Международная выставка
технологий, оборудования и материалов
для производства изделий электронной
и электротехнической промышленности

electrontechexpo.ru

13–15 апреля 2021
Москва, Крокус Экспо

0+

Получите Ваш
бесплатный билет
по промокоду **ee21print**

реклама

Hyve

БЕСПРОВОДНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

№ 2 (59) 2020
Сентябрь

Главный редактор
Павел Викторович Правосудов | pavel@fsmedia.ru
Заместитель главного редактора
Ольга Зайцева | olga_z@fsmedia.ru
Выпускающий редактор
Алина Жилина | alina.zhilina@fsmedia.ru
Новостной редактор
Наталья Новикова | natalia.novikova@fsmedia.ru
Дизайн и верстка
Дмитрий Никаноров | dmitry.nikanorov@fsmedia.ru
Отдел рекламы
Ирина Миленина | irina@fsmedia.ru
Отдел подписки
podpiska@fsmedia.ru
Отдел распространения
Москва
115088, ул. Южнопортовая, д. 7, строение Д, этаж 2
Тел./факс (495) 987-3720

Санкт-Петербург
197101, Санкт-Петербург, Петроградская наб., д. 34, лит. Б
e-mail: compitech@fsmedia.ru
web: www.fsmedia.ru

Республика Беларусь
«ПремьерЭлектрик»
Минск, ул. Маяковского, 115, 7-й этаж
Тел./факс: (10*37517) 297-3350, 297-3362

Дата выхода в свет 20.09.20
Тираж 3000 экз.
Свободная цена

Журнал «Беспроводные технологии» зарегистрирован Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия по Северо-Западному федеральному округу. Свидетельство о регистрации средства массовой информации ПИ № ФС 2-7791 от 07.11.2005.

Учредители ООО «Издательство Файнстрит»

Дружинина Галина Алексеевна

Адрес редакции
197046, Санкт-Петербург, Петроградская наб., д. 34 литер Б, помещение 1-Н, офис 321в

Издатель ООО «Медиа КиТ»
197046, Санкт-Петербург, Петроградская наб., д. 34 литер Б, помещение 1-Н, офис 321в

Отпечатано в типографии «Премиум Пресс»
197374, Санкт-Петербург, ул. Оптиков, 4.

Редакция не несет ответственности за информацию, приведенную в рекламных материалах. Полное или частичное воспроизведение материалов допускается с разрешения ООО «Медиа КиТ». Все рекламируемые товары и услуги имеют необходимые лицензии и сертификаты.

Журнал включен в Российский индекс научного цитирования (РИНЦ). На сайте Научной электронной библиотеки eLIBRARY.RU (www.elibrary.ru) доступны полные тексты статей. Статьи из номеров журнала текущего года предоставляются на платной основе.

Возрастное ограничение 12+

Содержание

Компоненты

Джеймс Вонг (James Wong), Кейси Чатзопулос (Kasey Chatzopoulos), Муртаза Тхахиралли (Murtaza Thahirally)
Перевод: Михаил Русских
Новые широкополосные интегрированные преобразователи Analog Devices для СВЧ-радиосистем 6

Константин Верхулевский
Новинки компании Semtech для технологии LoRa 9

Дмитрий Новинский
Модули A-серии от SIMCom Wireless Solutions: обзор возможностей и создание пользовательских приложений 14

Сергей Гаевский
Встроенное программирование BLE-модуля BT4502 от HopeRF 18

Сергей Стукало
LG77L — новый компактный мультиформатный GNSS-модуль с ультранизким потреблением от компании Quectel 22

Инна Жаботинская, Денис Шелаев
Тестирование точности определения траектории в режиме PPP-RTK спутниковым приемником 4GNSS OC-103 25

Интеграция

Сергей Гаевский
Миниатюрное цифровое переговорное устройство с радиусом действия до 300 м 28

Алексей Орешников
LoRaWAN в России. Реальные проекты на основе модулей ACSIP 36

Измерение

Александр Константинов, Алексей Пивак
Анализ процедуры тестирования базовых станций на соответствие стандарту 5G NR 40

Мониторинг транспорта

Светлана Хадонова, Александр Уфимцев
Инновационная система мониторинга и контроля персонала и транспортных средств 44

Отраслевые решения

Сергей Маргарян
Радиосеть управления и сбора данных для железнодорожных приложений. Часть 2 48

ЭЛЕКТРО

МИНПРОМТОРГ РОССИИ

ТПП РФ

29-я международная выставка «Электрооборудование. Светотехника. Автоматизация зданий и сооружений»

7–10 ИЮНЯ 2021

Россия, Москва, ЦВК «ЭКСПОЦЕНТР»
Краснопресненская наб., 14
Павильон №2 (залы 1, 2)
www.elektro-expo.ru

12+

Реклама

ЭКСПОЦЕНТР

ЭЛЕКТРО МАРКЕТ
ВАЖНЫЕ СВЯЗИ ДЛЯ ВАЖНЫХ ДЕЛ

ЭЛЕКТРО TALK
РАЗГОВОРЫ С ТОЛКОМ

ЭЛЕКТРО SKILLS
ПРОКАЧАЙ НАВЫКИ И КОМПЕТЕНЦИИ

Для 5G в России предложили новый диапазон

Научно-исследовательский институт радио (НИИР) до конца 2021 года планирует провести испытания для определения возможности развертывания сетей 5G в диапазоне 6 ГГц (6425–7100 МГц). Об этом «Известиям» рассказал замдиректора научно-технического центра НИИР Евгений Девяткин. Сейчас НИИР уже договаривается об испытаниях с одним из поставщиков опытных образцов оборудования 5G в этом диапазоне. Институт рассчитывает оценить основные показатели и характеристики сети: размеры зоны обслуживания, пропускную способность и временные задержки.

На Всемирной конференции радиосвязи в 2023 году диапазон 6,42–7,1 ГГц могут определить под 5G (решение участников грядущей конференции повлияет на развитие сетей пятого поколения во всем мире). Впрочем, по словам Евгения Девяткина, диапазон 6 ГГц — это не альтернатива для 3,4–3,8 ГГц (используется для сетей пятого поколения за рубежом, но в России диапазон занят силовыми структурами) и 4,8–4,99 ГГц (рассматривался властями для 5G), а дополнение, которое позволяет обеспечить большую гибкость для операторов при построении сетей 5G.

По словам источников в Минобороны, ведомство готово рассмотреть возможность проведения испытаний для запуска сетей 5G в диапазоне 6 ГГц, но только после поступления конкретных предложений и запросов. В то же время позиция военного ведомства по поводу доступности спектра в диапазоне 3,4–3,8 ГГц остается неизменной. Собеседники настаивают на том, что этот диапазон критически важен для обеспечения безопасности страны, поэтому развертывание сетей 5G там невозможно.

www.iot.ru

На развитие 5G предложили направить 200 млрд рублей

Развитие связи 5G в России до 2024 года обойдется в 208 млрд руб., из которых почти 30 млрд руб. привлекут из бюджета. Это следует из «дорожной карты», которую больше года разрабатывали «Ростех» и «Ростелеком» и наконец согласовало правительство.

Основные цели к 2024 году:

- Сети 5G с использованием отечественного оборудования развернуты не менее чем в десяти городах-миллионниках.
- Объем капитальных вложений в строительство 5G в России должен составить 152 млрд руб. (к 2030 году — 241,3 млрд руб.).
- Число абонентов в сетях 5G — 5 млн чел. (к 2030-му — 50 млн).
- Общее число установленных базовых станций 5G составляет 10 тыс., доля отечественного оборудования в инфраструктуре коммерческих сетей должна составить 30%.
- На базе сетей 5G должны запустить 20 проектов в ключевых отраслях экономики.
- Доля российских компаний на мировом рынке решений на базе 5G должна составить 1,8%, а объем продаж на внутреннем рынке — 19,5%.
- Россия должна занять восьмое место в международных рейтингах по уровню развития 5G и др.

www.comnews.ru

Samsung разработала технологию UWP — высокоскоростную альтернативу NFC

Южнокорейская компания Samsung, как сообщают СМИ, разработала новую технологию беспроводной передачи данных, которая будет использоваться в мобильных устройствах.

Решение получило обозначение UWP. Известно, что данная система будет представлять собой альтернативу NFC (Near Field Communication) — технологии беспроводной передачи данных малого радиуса действия, которая позволяет пересылать информацию на расстояние около 10 см. NFC применяется, в частности, для осуществления бесконтактных платежей.

Что касается системы UWP, то о ней пока известно не очень много. Говорится лишь, что она обеспечит более высокую пропускную способность по сравнению с NFC. Ожидается, что технология UWP может дебютировать в составе смартфонов Galaxy Note 20.

www.3dnews.ru

Базовая станция 5G российского производства появится до конца года

Исследовательский центр «Глобальные беспроводные системы связи» (ЛИЦ) разрабатывает

отечественную базовую станцию 5G. Создать первый опытный образец планируют до конца года. В 2023 г. разработчики рассчитывают запустить станцию в массовое производство.

Сейчас в ЛИЦ готовят макет станции 5G и исследуют алгоритмы и ПО, которые станут ее основой. Архитектуру базовой станции уже разработали. Разработка системы управления сетью 5G займет как минимум год. Станция будет работать на частоте 3,3–4,2 ГГц.

В дальнейшем ЛИЦ создаст российскую компанию-вендора телеком-оборудования для сетей 4G и 5G. Чтобы создать первую отечественную 5G-станцию, ЛИЦ (ОАО «ГлобалИнформСервис») и ФГУП «НИИР» организовали консорциум.

www.comnews.ru

В ТУСУРе разрабатывают IIoT-систему для городского водоканала

ТУСУР и ОАО «Манотомь» представили на форуме «Армия – 2020» специализированный программно-аппаратный комплекс для контроля и управления технологическими процессами производства типа «городской водоканал».

В рамках проекта разработкой датчиков учета давления и температуры воды в скважине занимается ОАО «Манотомь», а специальное конструкторское бюро «Смена» ТУСУРа отвечает за организацию надежной беспроводной передачи полученных данных.

По словам Александра Бомбизова, начальника специального конструкторского бюро «Смена», планируется, что система будет организована по принципу mesh-сети, в которой каждый участник с одной стороны является источником данных, с другой — ретранслятором для других участников. Причем промежуточных ретрансляторов будет несколько, что позволит обеспечить непрерывность и устойчивость передачи данных.

К концу этого года участники планируют доработать макет, а весной 2021 года установить тестовые установки на скважинах для тестирования системы связи.

После завершения работы устройство будет передано в ОАО «Манотомь» для постановки на серийное производство.

В дальнейшем использовать разработку можно не только для нужд водоканалов. Она подойдет для решения задачи сбора и передачи данных в любых отраслях, где используются телеметрические датчики, расположенные на больших расстояниях, а использование проводной связи крайне затратно.

www.tusur.ru

«Ростех» разработал комплекс беспроводной передачи данных на большие расстояния

Научно-производственное предприятие «Радиосвязь» холдинга «Росэлектроника» разработало оборудование беспроводного доступа, обеспечивающее передачу данных со скоростью до 50 Мбит/с на расстояние до 80 км. Оно позволит оперативно разворачивать широкополосные сети связи в районах со слабо развитой телекоммуникационной инфраструктурой.

Основная функция комплекса «Степь» — организация стационарной и подвижной связи на участке «последней мили». В комплект входит точка доступа, которая интегрируется с наземной инфраструктурой связи и действует как ретранслятор. Для подключения удаленных пользователей к сети используются абонентские устройства, действующие в качестве мобильных модемов. Оборудование выдерживает экстремальные температуры –50…+65 °С и защищено от влияния осадков.

Ожидается, что аппаратура будет востребована при проведении спасательных операций, строительных работ, на удаленных промышленных объектах.

«Степь» может использоваться как для построения сетей с архитектурой «точка-точка», так и «точка-многоточка». Аппаратура гарантирует помехоустойчивость связи за счет применения технологий псевдослучайной перестройки рабочей частоты и когнитивного радио. Оборудование представлено в трех различных модификациях для работы в диапазонах 2,1–2,5 ГГц, 5,6–6,4 ГГц и 10,1–10,7 ГГц, совместимо со всенаправленными, направленными (ФАР), секторными антеннами, а также антеннами с АФАР.

www.rostec.ru

Тестирование мультигигабитной подвижной связи «поезд-земля» на линии Санкт-Петербург — Хельсинки

Компания «ДОК», российский производитель радиорелейных систем на скорость 10–40 Гбит/с, сообщила о подписании комиссией ОАО «РЖД» протокола испытаний системы передачи данных «поезд-земля» на базе оборудования миллиметрового диапазона длин волн РРС-10G. В процессе испытаний продемонстрирована скорость передачи между вагоном-лабораторией и базовыми станциями (БС) на уровне 11,3 Гбит/с.

Система на базе оборудования РРС-10G предназначена для решения задачи обеспечения связью высокоскоростных поездов на прямолинейных участках железной дороги. Чтобы стоимость системы была минимальной, надо не только снижать стоимость оборудования. Учитывая затраты на установку БС, подведение электропитания и доступа к опорной сети передачи данных, ключевым фактором стоимости проекта является расстояние между базовыми станциями. Второй фактор — низкая стоимость монтажа: базовые станции РРС-10G устанавливаются непосредственно на опорах контактной сети, что значительно упрощает процесс монтажа и уменьшает стоимость проекта. Базовые станции РРС-10G оснащены малогабаритными антеннами диаметром 30 см и располагаются вблизи уровня контактной сети на высоте около 5 м от верхней головки рельсов.

На этапе испытаний в 2020 году был выбран прямолинейный участок «Солнечное — Зеленогорск» Октябрьской железной дороги (высокоскоростная линия Санкт-Петербург — Выборг — Хельсинки). Целью этого этапа испытаний была демонстрация связи «поезд-земля» с пропускной способностью, превышающей 10 Гбит/с, при расстояниях между БС порядка 2 км. На тестовом участке установили четыре БС на расстояниях 2300, 1300 и 2700 м в пределах прямой видимости. Путевая инфраструктура на этом участке модернизирована под скоростной поезд «Аллегро» Санкт-Петербург — Хельсинки.

Результаты признаны успешными.

www.dokltd.ru

«Газпром нефть» и МТС протестировали выделенную беспроводную сеть Private LTE для управления удаленными объектами производства

«Газпром нефть» в партнерстве с МТС испытала пилотную выделенную корпоративную

сеть Private LTE на производственных объектах в ХМАО и ЯНАО. Проект подтвердил возможность значительно ускорить обмен данными на удаленных нефтепромыслах Сибири и их устойчивую коммуникацию с технологическими центрами «Газпром нефти» на расстоянии более 2 тыс. км.

В качестве центрального узла связи был использован технопарк «Газпром нефти» в Санкт-Петербурге. К пилотной технологической сети с единым центром управления цифровыми сервисами на основе концепции «граничных вычислений» (edge computing) компания подключила Пальяновский нефтепромысел в ХМАО, промышленный район города Муравленко в ЯНАО, а также нефтебазу «Гладкое» в Ленинградской области.

Сеть тестировалась в диапазонах 1800 МГц и 2600 МГц на 5G-ready оборудовании технического партнера — компании Ericsson. В ходе пилотного проекта апробирован функционал систем телеметрии и геопозиционирования, протестированы сервисы голосовой связи и цифрового помощника для AR-гарнитуры при контроле выполнения технологических работ.

На сети Private LTE «Газпром нефти» удалось совместить основной функционал распределенной экосистемы связи — высокоскоростную сотовую сеть, корпоративную телефонию (в том числе FMC), а также интегрированную систему подвижной радиосвязи стандарта DMR со службой группового мультимедийного вещания (MC-PTT).

«Газпром нефть» рассматривает возможность тиражирования цифровых сервисов, объединенных скоростной сетью Private LTE, на других нефтепромыслах. В перспективе это может дополнительно повысить эффективность управления производственными и бизнес-процессами предприятий. Компания проведет испытания с целью проработки будущего формата новой беспроводной сети в соответствии с самыми высокими стандартами информационной безопасности. После этого будет разработана общекорпоративная архитектура корпоративной сети передачи данных, а также проведен отбор потенциальных технологических партнеров для развития этой системы.

www.gazprom-neft.ru

Новые широкополосные интегрированные преобразователи Analog Devices

для СВЧ-радиосистем

Работающие в частотном диапазоне 24–44 ГГц широкополосные интегрированные преобразователи с повышением или понижением частоты позволяют улучшить характеристики СВЧ-радиосистем и уменьшить их размеры.

Джеймс Вонг (James Wong)

Кейси Чатзопулос (Kasey Chatzopoulos)

Муртаза Тхахирали (Murtaza Thahirally)

Перевод: Михаил Русских
tau68@rambler.ru

Analog Devices выпустила две высокоинтегрированные микросхемы преобразователей с повышением и понижением частоты ADMV1013 и ADMV1014 соответственно. Эти микросхемы работают в очень широком частотном диапазоне 24–44 ГГц с согласованием на 50 Ом и могут поддерживать полосу пропускания более 1 ГГц. Характеристики ADMV1013 и ADMV1014 упрощают проектирование и реализацию небольших 5G-станций, которые охватывают популярные полосы частот 28 и 39 ГГц, используемые в ретрансляторах и оборудовании прямой трансляции, а также во многих других передатчиках и приемниках со сверхширокой полосой частот.

Каждая микросхема преобразования с повышением или понижением частоты характеризуется высокой степенью интеграции (рис. 1) и содержит квадратурный смеситель

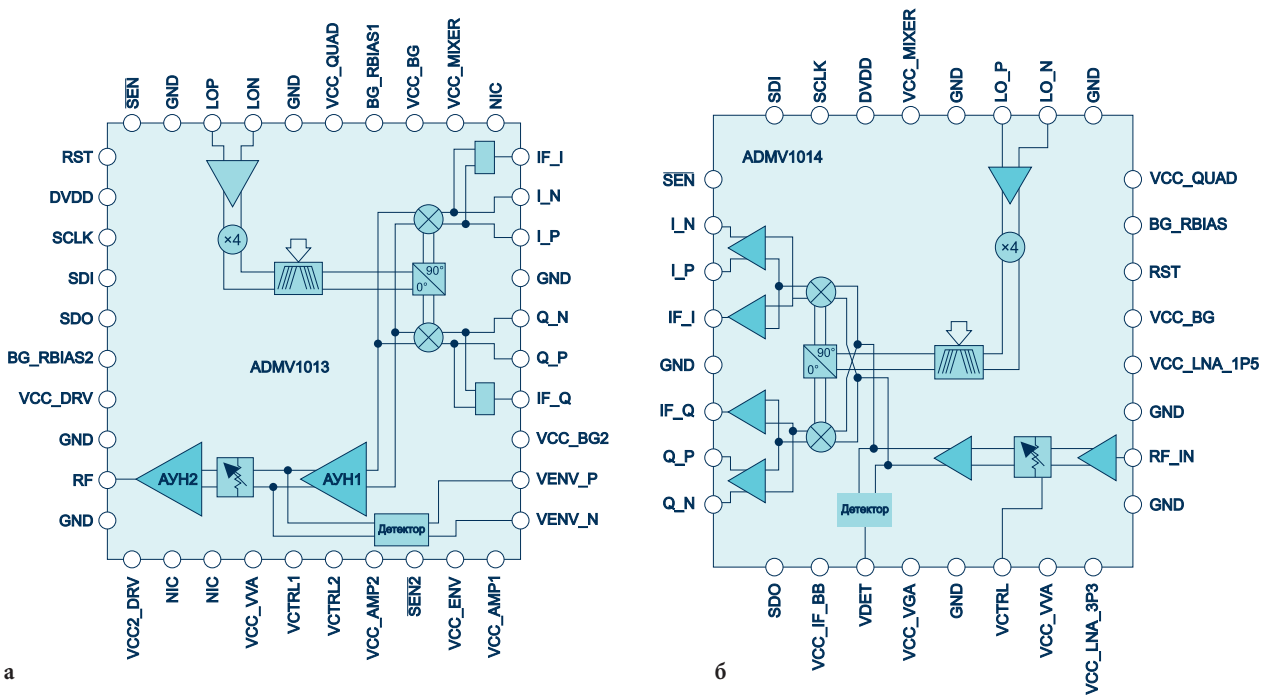


Рис. 1. а) Блок-схема микросхемы преобразователя с повышением частоты ADMV1013; б) блок-схема микросхемы преобразователя с понижением частоты ADMV1014

со встроенным квадратурным фазовращателем, конфигурируемым для прямого преобразования в/из несущей частоты (0–6 ГГц) или в/из промежуточной частоты (ПЧ) 800 МГц — 6 ГГц. ВЧ-выход преобразователя с повышением частоты имеет встроенный усилитель-драйвер тракта передачи с аттенюатором, управляемым напряжением (АУН), а ВЧ-вход преобразователя с понижением частоты содержит малошумящий усилитель (LNA) и каскад усиления с АУН. Цепь гетеродина обеих микросхем состоит из встроенного буфера гетеродина, умножителя частоты на 4 и программируемого полосового фильтра. Управление большинством функций программирования и калибровки осуществляется через интерфейс SPI, что делает эти микросхемы легко настраиваемыми программным способом, благодаря чему значительно повышается удобство их использования.

Подробное рассмотрение преобразователя с повышением частоты ADMV1013

ADMV1013 имеет два режима преобразования частоты. Один из режимов — это прямое преобразование с повышением частоты квадратурных составляющих сигналов синфазной (I) и квадратурной (Q) до несущей частоты. В этом I/Q-режиме дифференциальные входы I и Q могут работать с сигналами с частотой 0–6 ГГц, например генерируемыми двумя высокоскоростными цифро-аналоговыми преобразователями (ЦАП). Эти входы имеют настраиваемый диапазон синфазного напряжения 0–2,6 В, в связи с чем могут легко сопрягаться с большинством ЦАП. Поэтому при выборе ЦАП с определенным синфазным напряжением регистры преобразователя с повышением частоты могут быть легко настроены так, чтобы обеспечивалось соответствие оптимальному смещению для этого синфазного напряжения, благодаря чему упрощается сопряжение компонентов. Другим режимом является однополосное преобразование с повышением частоты в область ВЧ из области комплексных сигналов ПЧ, таких как сигналы, генерируемые квадратурным цифровым устройством преобразования с повышением частоты. Уникальной особенностью ADMV1013 является его способность обеспечивать цифровую коррекцию ошибки смещения смесителей I- и Q-составляющих в I/Q-режиме, благодаря чему минимизируется утечка от гетеродина в выходной канал ВЧ. Утечка гетеродина после калибровки может составлять до –45 дБм на выходе ВЧ при максимальном усилении. Еще более сложной задачей, которая затрудняет разработку радиоустройства с преобразователем с повышением частоты, является дисбаланс фаз I- и Q-составляющих, что ухудшает подавление боковой полосы. Дополнительная сложность, связанная с преобразованием с повышением частоты, заключается в том, что боковая полоса обычно находится слишком близко к несущей СВЧ-диапазона, из-за чего применение фильтров становится непрактичным. ADMV1013 решает эту задачу за счет того, что позволяет пользователю выполнять цифровую коррекцию дисбаланса фаз I- и Q-составляющих посредством настройки регистра. При работе в штатном режиме преобразователь с повышением частоты демонстрирует подавление боковой полосы 26 дБн до калибровки. После калибровки с помощью встроенных регистров подавление боковой полосы может быть улучшено до 36 дБн. Управление обеими функциями коррекции осуществляется через интерфейс SPI и не требует дополнительных схем. Также можно осуществить дополнительное подавление путем выполняемой в I/Q-режиме дополнительной регулировки баланса фаз I- и Q-составляющих на выходе ЦАП в основной полосе. Эти функции позволяют упростить структуру внешних фильтров и повысить высокочастотные характеристики в СВЧ-диапазоне.

Благодаря встроенному буферу гетеродина уровень входного сигнала может составлять 0 дБм. За счет этого данное устройство можно непосредственно подключать к синтезатору со встроенным генератором, управляемым напряжением (ГУН), такому как ADF4372 или ADF5610, при этом количество внешних компонентов может быть значительно сокращено. Встроенный умножитель преобразует частоту гетеродина на желаемую несущую частоту и пропускает через программируемый полосовой фильтр для уменьшения нежелательных гармоник умножителя перед подачей на относящийся к смесителю каскад квадратурного фазового генератора. Такая конфигурация значительно уменьшает внесение паразитных помех в частотные смесители, обеспечивая при этом надежную работу компонента с внешним недорогим низкочастотным синтезатором/ГУН. Модулированный выходной ВЧ-сигнал затем усиливается, проходя через два усилительных каскада со стоящим между ними аттенюатором, управляемым напряжением. Функция регулировки усиления обеспечивает диапазон регулировки 35 дБ с максимальным межкаскадным усилением преобразования 23 дБ. ADMV1013 имеет 40-выводной корпус LGA (рис. 2). Сочетание всех этих функций позволяет достичь высоких характеристик, максимальной универсальности и легкости в использовании, при этом для работы данного устройства требуется минимальный набор компонентов. Таким образом, на основе этого устройства можно реализовать компактные СВЧ-платформы, в том числе базовые станции небольшой мощности.

Подробное рассмотрение преобразователя с понижением частоты ADMV1014

ADMV1014 (рис. 3) также имеет некоторые элементы, присутствующие в ADMV1013, — например, буфер гетеродина, частотный умножитель, программируемый полосовой фильтр и квадратурный фазовращатель в своем тракте гетеродина. Тем не менее, поскольку это устройство представляет собой преобразователь с понижением частоты (блок-схема — рис. 1б), то в состав его высокочастотного входного интерфейса входит МШУ, за которым следуют аттенюатор, управляемый напряжением, и усилитель. Полный диапазон регулировки усиления 19 дБ управляется с помощью напряжения постоянного тока, подаваемого на вывод VCTRL. Пользователи могут использовать ADMV1014 в I/Q-режиме в качестве демодулятора прямого преобразования из СВЧ-диапазона в диапазон основной полосы частот. В этом режиме демодулированные I- и Q-сигналы усиливаются на соответствующих дифференциальных выходах I- и Q-составляющих. Их усиление и максимальное синфазное напряжение могут быть установлены путем записи определенных значений в регистры через интерфейс SPI, что позволяет связывать по постоянному току дифференциальные сигналы, например, с парой аналого-цифровых преобразователей основной полосы частот. Кроме того, ADMV1014 можно использовать в качестве преобразователя с понижением частоты, подавляющего помехи по зеркальному каналу, для синфазных ПЧ-портов I и Q. В любом режиме дисбаланс фаз и амплитуд I- и Q-составляющих может быть скорректирован с помощью интерфейса SPI, тем самым улучшив у преобразователя с понижением частоты характеристики подавления помех по зеркальному каналу, поскольку он демодулирует в основную полосу или ПЧ. Этот преобразователь с понижением частоты имеет коэффициент шума всех каскадов 5,5 дБ, а максимальное усиление преобразования составляет 17 дБ в диапазоне частот 24–42 ГГц. При приближении рабочей частоты к границе полосы частот до 44 ГГц коэффициент шума всех каскадов будет все еще составлять 6 дБ.

Улучшение характеристик 5G-радиосистем миллиметрового диапазона

На рис. 4 показаны измеренные характеристики преобразователя с понижением частоты при работе на частоте 28 ГГц с использованием сигналов 5G NR на четырех независимых каналах полосой 100 МГц, модулированных посредством квадратурной

Рис. 2. Оценочная плата на основе ADMV1013 в корпусе для поверхностного монтажа размером 6×6 мм

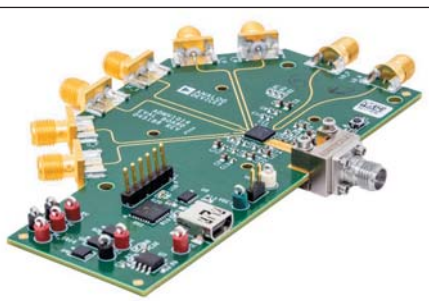
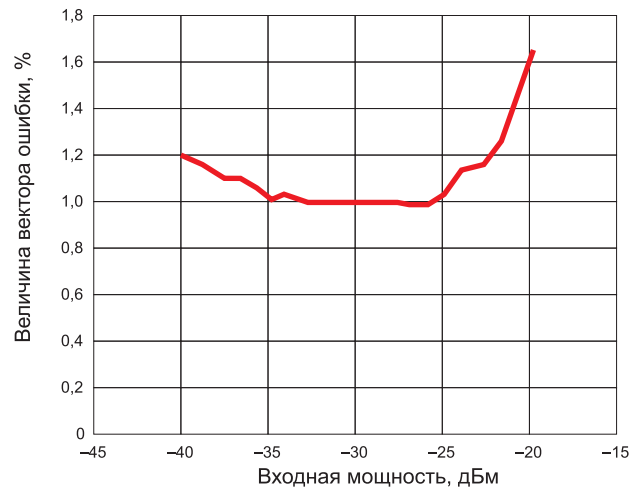


Рис. 3. Оценочная плата на основе ADMV1014 в корпусе для поверхностного монтажа размером 5×5 мм



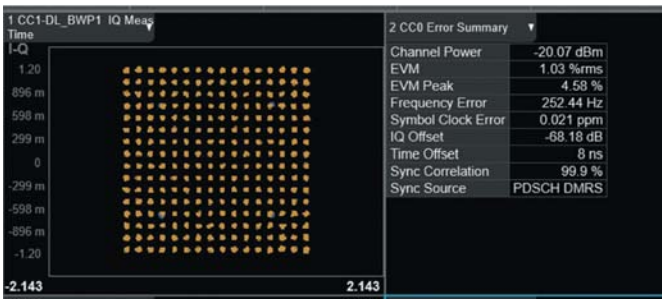


Рис. 4. Полученная величина вектора ошибки в среднеквадратическом процентном отношении к входной мощности и соответствующая диаграмма созвездия модуляции 256 QAM на частоте 28 ГГц

амплитудной модуляции 256 QAM при входной мощности –20 дБм на канал. Полученная величина вектора ошибки составила –40 дБ (1% среднеквадратического значения), что позволяет демодулировать схемы модуляции более высокого порядка, которые требуются для 5G-радиосистем миллиметрового диапазона. Благодаря ширине полосы пропускания этих преобразователей, составляющей более 1 ГГц, а также точке пересечения интермодуляции третьего порядка по выходу, равной для преобразователя с повышением частоты 23 дБм и для преобразователя с понижением частоты 0 дБм, можно ожидать, что данная комбинация будет поддерживать квадратурные амплитудные модуляции высокого порядка и, следовательно, более высокую пропускную способность при передаче данных. Данные устройства могут быть полезны и в других областях применения, например в широкополосных линиях связи для спутников и наземных станций, защищенных радиостанциях, высокочастотном контрольно-измерительном оборудовании и радиолокационных системах. Эти преобразователи обладают лучшими характеристиками подавления помех по зеркальному каналу и превосходной линейностью среди подобных устройств, а учитывая компактные размеры и высококачественные СВЧ-каналы, можно утверждать, что эти преобразователи могут стать отличным вариантом для создания на их основе широкополосных базовых станций. ■

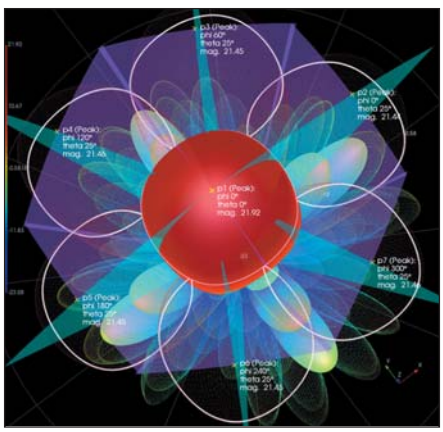
НОВОСТИ

Новый пакет программ PathWave Design 2021 от Keysight Technologies для устройств и сетей 5G

Компания Keysight Technologies, Inc. объявила о выпуске PathWave Design 2021 — открытого, масштабируемого и предсказуемого программного решения для проектирования сетей 5G и миллиметрового диапазона. PathWave Design 2021 позволит инженерам-проектировщикам и тестировщикам ускорить разработку микросхем, печатных плат и системных продуктов благодаря точной и высокоэффективной интеграции процессов проектирования устройств, схем и систем.

Рынок 5G-технологий развивается стремительными темпами. По всему миру сетевые операторы переходят от использования стандарта 4G к коммерческому развертыванию 5G-сетей. Новые возможности PathWave позволяют решить вопросы, возникающие на всех этапах разработки от моделирования до верификации, а также в процессе тестирования и производства устройств 5G. Инженеры смогут сократить длительность разработки продукции для высокочастотного/микроволнового (RF/MW) диапазона на несколько месяцев за счет внедрения следующих рекомендованных практических методов:

- Ускорение и снижение сложности процессов анализа и проверки на уровне микросхем благодаря встроенной функции моделирования электромагнитных взаимодействий.



- Прогнозирование характеристик устройств на схемотехническом и системном уровне при анализе с модулированными сигналами.
- Масштабирование всей экосистемы (от среды разработки устройств и печатных плат до процессов тестирования и производства) с помощью проектирования на основе моделей.
- Ускорение процесса проверки благодаря параллельному запуску моделирования.

Функции программного пакета PathWave Design 2021 от Keysight:

- моделирование температурных эффектов и эффектов захвата носителей заряда при проектировании усилителей мощности с РЧ-компонентами на основе нитрида галлия (GaN), обеспечивающего огромные преимущества с точки зрения мощности, габаритов и эффективности;
- технологии быстрого и эффективного моделирования взаимовлияний при проектировании интерфейсных модулей и высокочастотных приемопередатчиков;
- прогнозирование характеристик высокочастотных схем при проектировании 5G-сетей системными интеграторами;
- высокоточное моделирование при разработке системной архитектуры с помощью комбинированной платформы для моделирования цифровых, антенных и высокочастотных систем;
- быстрое и высокоточное моделирование систем с приемопередающими модулями и фазированными антенными решетками.

Программный пакет PathWave Design от Keysight включает следующие компоненты: PathWave Advanced Design System (ADS), PathWave RFIC Design (GoldenGate), PathWave System Design (SystemVue), PathWave EM Design (EMPro) и PathWave Device Modeling (IC-CAP). Эти компоненты обеспечивают основные возможности, необходимые для решения вопросов проектирования сетей 5G, в том числе задач моделирования и проверки устройств высокочастотного/микроволнового диапазонов (RF/MW), моделирования электронных систем на системном уровне (ESL).

www.keysight.com

Новинки компании Semtech

для технологии LoRa

Компания Semtech, как активный участник организации LoRa Alliance, постоянно работает над улучшением ключевых характеристик и расширением функциональных возможностей LoRa-изделий. Статья посвящена новым ИС, предназначенным для использования в узлах малопотребляющих сетей LoRaWAN. Приведен обзор их типовых параметров и описано взаимодействие основных блоков в различных режимах работы.

Константин Верхулевский
info@icquest.ru

Введение

Корпорация Semtech — ведущий производитель высококачественных аналоговых и аналого-цифровых интегральных схем, рекомендованных для использования в системах беспроводной и оптоволоконной связи, потребительской электронике, устройствах «Интернета вещей», информационно-вычислительных центрах, высоконадежном промышленном оборудовании, устройствах военного и аэрокосмического назначения и во многих других применениях. Более 5000 крупных потребителей по всему миру при производстве своей аппаратуры рассчитывают на продукцию компании [1]. Имея за плечами более чем 60-летний опыт разработки, Semtech предлагает одну из самых сбалансированных линеек продукции. В настоящее время для заказчиков доступно огромное количество компонентов, в том числе:

- Полупроводниковые устройства, разработанные для защиты чувствительных цепей от электростатических разрядов (ESD), от быстрых электрических переходных процессов (EFT), вызванных ударами молний, от перенапряжений в линиях связи (CDE) и других деструктивных воздействий. Данная группа объединяет EMI-фильтры, дискретные TVS-диоды и специализированные сборки, ориентированные на работу с интерфейсами Ethernet, HDMI, HD-SDI, LVDS, RS-232, RS-485, USB, xDSL и многими другими. Характеризуются низкой вносимой емкостью, малыми токами утечки и широким диапазоном рабочих напряжений.
- ИС и модули для организации беспроводной зарядки. Контроллеры, трансиверы и приемники, выпускаемые под торговой маркой LinkCharge, полностью соответствуют требованиям спецификаций Qi и Airfuel.
- Группа интеллектуальных сенсоров. Включает миниатюрные малопотребляющие микросхемы контроллеров резистивных и емкостных сенсорных экранов, SAR-датчиков и датчиков приближения, широко применяемых в мобильных телефонах, GPS-навигаторах и другой портативной электронике.

Таблица. Основные характеристики субгигагерцевых LoRa-трансиверов компании Semtech

Наименование	Диапазон рабочих частот, МГц	Выходная мощность, дБм	Скорость передачи при использовании модуляции LoRa, кбит/с	Чувствительность, дБм (макс.)	Бюджет канала связи, дБ (макс.)	Потребление тока в режиме передачи, мА	Потребление тока в режиме приема, мА (макс.)	Корпус
SX1272	860–1020	−1...+20	0,24–37,5	−123 (FSK); −137 (LoRa)	157	28 (при P_{out} = 13 дБм)	11,2	QFN-28 (6×6 мм)
SX1273			1,7–37,5	−123 (FSK); −130 (LoRa)	150			
SX1276	137–1020		0,018–37,5	−123 (FSK); −148 (LoRa)	168	29 (при P_{out} = 13 дБм)	12	
SX1277	137–1020		0,11–37,5	−123 (FSK); −139 (LoRa)	159			
SX1278	137–525		0,018–37,5	−123 (FSK); −148 (LoRa)	168			
SX1279	137–960		0,018–37,5					
SX1261	150–960	−1...+15	0,018–62,5	−123 (FSK); −148 (LoRa)	163	39 (при P_{out} = 14 дБм)	4,6	QFN-24 (4×4 мм)
SX1262		−1...+22		−123 (FSK); −148 (LoRa)	170	32 (при P_{out} = 14 дБм)		
SX1268	410–810			−123 (FSK); −148 (LoRa)				
LLCC68	150–960		1,76–62,5	−123 (FSK); −129 (LoRa)	151	32 (при P_{out} = 14 дБм)	4,6	
LR1110				−123 (FSK); −144 (LoRa)	168	28 (при P_{out} = 14 дБм)	5,7	QFN-32 (5×5 мм)

- ИС управления питанием представлены полнофункциональными LED-драйверами, ШИМ-контроллерами, LDO-регуляторами, импульсными DC/DC-преобразователями напряжения, драйверами управления MOSFET, силовыми ключами, интеллектуальными твердотельными коммутаторами и т. д. Наряду с защитными устройствами это одна из наиболее обширных групп продукции.
- ИС для передачи данных по оптическим сетям связи с пропускной способностью до 400 Гбит/с. Поддерживают все распространенные стандарты, такие как Fibre Channel, InfiniBand, Ethernet, CPRI, PON, OTN, SONET и PCI Express. Основу группы составляют драйверы лазеров, оптические трансиверы, ограничивающие и трансимпедансные усилители, формирователи сигналов, микросхемы восстановления тактовых импульсов и т. д.
- Коммуникационные ИС для систем видеотрансляции. Содержат конфигурируемые решения (кабельные передатчики, эквалайзеры, коммутаторы, сериализаторы/десериализаторы, реклокеры и т. д.) для работы с HD-, UHD/4K-, HDR-, HFR- и WCG-платформами.
- Высоконадежные дискретные компоненты и модули на их основе. Данная группа предназначена для жестких условий эксплуатации и состоит из выпрямительных диодов, TVS-супрессоров, стабилитронов в различном корпусном исполнении, сильноточных и высоковольтных диодных сборок, одно- и трехфазных диодных мостов и т. д. Они идеально подходят для применения в оборудовании аэрокосмического, военного и высоконадежного промышленного назначения.
- ИС беспроводной связи. Линейка беспроводных устройств состоит из приемников, передатчиков и трансиверов, способных работать в стандартных ISM-диапазонах частот (от десятков кГц до 2,4 ГГц).

В последней группе особого внимания заслуживают микросхемы, необходимые для построения оконечных узлов и базовых станций сетей LoRaWAN и выполненные с применением запатентованного компанией Semtech метода модуляции LoRa. Его использование позволяет добиться увеличения дальности действия в 10 раз и уменьшения энергопотребления в 3 раза по сравнению с традиционным FSK-способом. Наибольшее распространение получили ИС серии SX127x, появившиеся на рынке электронных компонентов еще в 2013 году. В настоящее время подавляющее большинство серийно выпускаемых LoRa-модулей, реализующих функции оконечных узлов, изготовлено именно на их основе [2, 3]. Продукцию данного типа предлагают, например, такие известные компании, как Multitech, IMST, Nemeus, Link Labs, Embit и HopeRF. Спустя несколько лет с целью увеличения максимального бюджета канала связи линейка была расширена за счет устройств серии SX126x, обладающих чувствительностью до –148 дБм и выходной мощностью до +22 дБм (табл.). Из прошлогодних новинок необходимо отметить трансиверы субгигагерцевого диапазона LLCC68 и LR1110.

До недавнего времени промышленно выпускаемые базовые станции сетей LoRaWAN использовали в основном связку многоканальных концентраторов SX1301/SX1308 и трансиверов SX1255, SX1257 или SX1258, отвечающих за радиочастотную часть. Данная группа в конце 2019 года была дополнена микросхемами SX1302 и SX1250.

LoRa-трансивер LLCC68

LoRa-приемопередатчик субгигагерцевого диапазона LLCC68 оптимизирован для применения в устройствах с батарейным питанием. Построенный на основе трансивера SX1262 на аппаратном уровне, он соответствует микросхемам серии SX126x. Потребляет всего 600 нА в спящем режиме, 4,6 мА в режиме приема (при LoRa-модуляции и ширине полосы канала 125 кГц) и может обеспечивать выходную мощность до +22 дБм благодаря высокоэффективным встроенным усилителям. С учетом высокой чувствительности (до –129 дБм) расчетный бюджет канала связи трансивера достигает 151 дБ. Трансивер LLCC68 совместим с существующими сетями LoRaWAN, а также может работать с проприетарными протоколами, используя, помимо LoRa, модуляцию типов FSK, GFSK, MSK и GMSK. При FSK-модуляции гарантируется скорость передачи данных до 300 кбит/с, LoRa-модуляция рассчитана на более низкую пропускную способность (1,76–62,5 кбит/с). Широкая полоса рабочих частот 150–960 МГц позволяет поддерживать все основные ISM-диапазоны, разрешенные в различных странах. LLCC68 полностью соответствуют требованиям регламентирующих стандартов ETSI EN 300 220, FCC CFR 47 (часть 15) и ARIB T-108.

На рис. 1 показана упрощенная внутренняя структура трансивера LLCC68. В зависимости от функционального назначения можно выделить четыре составные части: приемопередающий ВЧ-тракт, объединенный со схемами преобразования сигналов и источниками тактовых частот, блок цифровых модемов для реализации выбранного способа модуляции, блок питания, цифровой блок управления, обеспечивающий формирование и передачу пакета полезных данных, а также конфигурирование внутренних регистров посредством интерфейса связи SPI. Все конструктивные узлы размещены в малогабаритном корпусе QFN-24 с размерами всего 4×4×1 мм.

Радиоприемный тракт реализован по схеме квадратурного преобразования, позволяющей получить улучшенные характеристики трансивера в плане чувствительности и избирательности по сравнению со схемой прямого преобразования. Он характеризуется хорошими селективными свойствами (численные показатели указаны для модуляции LoRa): подавление помех по соседнему каналу 65 дБ (при ширине полосы 125 кГц), динамический диапазон по блокированию 80 дБ (при отстройке

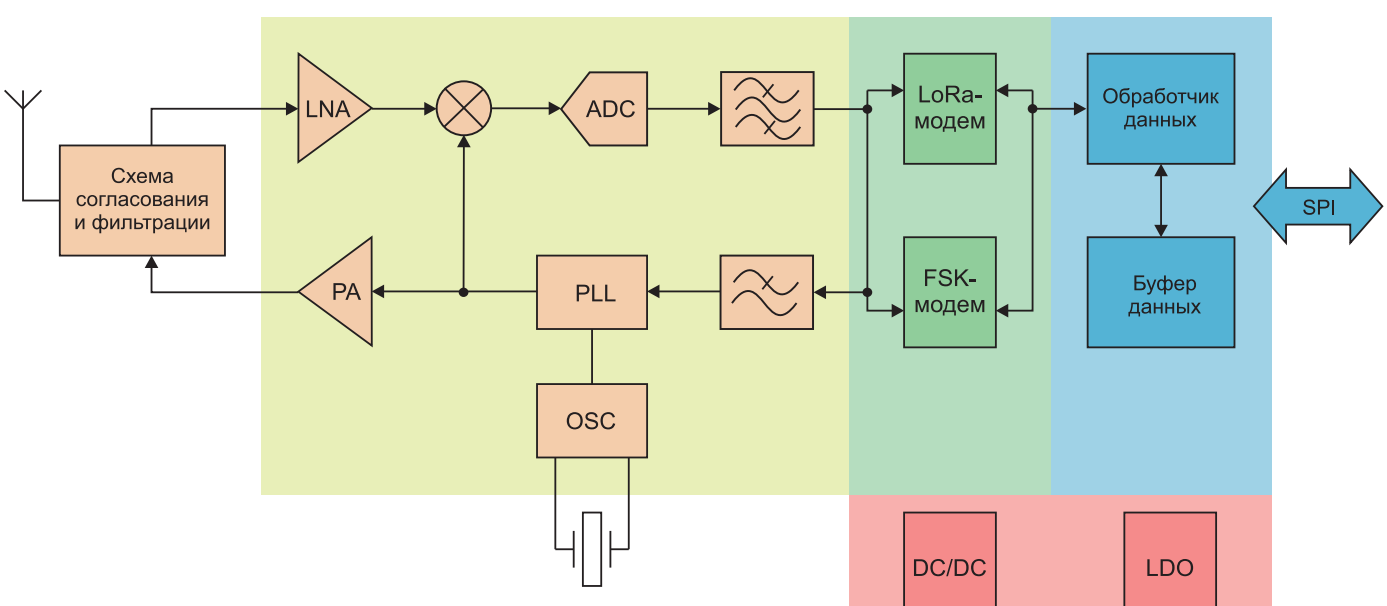


Рис. 1. Упрощенная структурная схема трансивера LLCC68

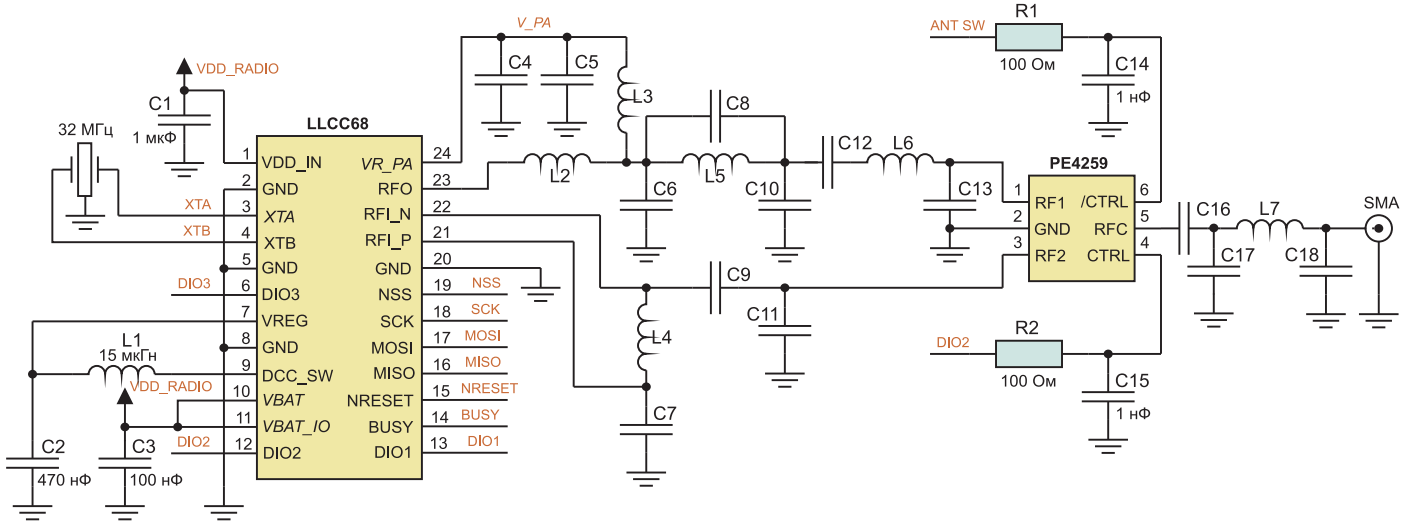


Рис. 2. Типовая схема использования трансивера LLCC68

на ±1 МГц) и 91 дБ (при ±10 МГц), подавление зеркального канала 54 дБ.

Принимаемый сигнал сначала подается на малошумящий усилитель, для упрощения проектирования и минимизации количества внешних компонентов используется несимметричный вход. Для устранения гармоник производится преобразование сигнала в дифференциальную форму, а при помощи смесителя — перевод на пониженную промежуточную частоту. Затем синфазная и квадратурная составляющие сигнала промежуточной частоты поступают на сигма-дельта-АЦП, обладающий динамическим диапазоном более 80 дБ. Дальнейшая обработка (фильтрация, децимация и т. д.) выполняется над сигналом, представленным в цифровом виде. Затем выполняется демодуляция полученного сигнала, в зависимости от выбранного метода используются FSK- или LoRa-модемы. Для оптимизации работы трансивера в режиме LoRa-модуляции задается коэффициент расширения спектра SF (5–12), ширина полосы частот (125, 250 или 500 кГц) и скорость кодирования для коррекции ошибок. Эти параметры позволяют найти желаемое сочетание между бюджетом канала связи, устойчивостью к помехам и скоростью передачи данных. Блок управления пакетами данных, используемый совместно с 256-байтным буфером, автоматизирует процесс приема, передачи и обработки данных (генерацию преамбулы, вставку и обнаружение синхрослова, проверку адреса, гибкий выбор длины пакета и т. д.).

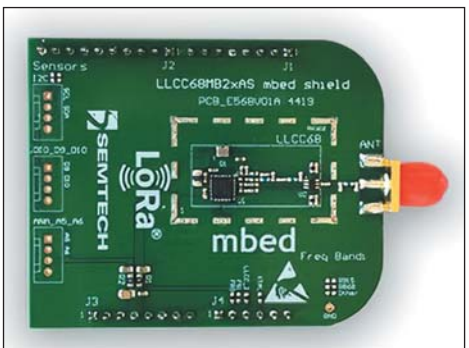


Рис. 3. Внешний вид отладочной платы LLCC68MB2BAS

При передаче данных сигнал гетеродина модулируется с помощью цифрового модулятора, после чего усиливается и подается на выход. По умолчанию выходная мощность устанавливается на максимальном уровне +22 дБм и может регулироваться в широком диапазоне с шагом 1 дБ. Усилитель мощности в схеме передатчика запитывается от отдельного регулятора напряжения. Ток потребления в режиме передачи вырастает, например, при выходной мощности +14 дБм он составляет 32 мА. Питание всего трансивера осуществляется от источника постоянного тока с напряжением 1,8–3,7 В, встроенные DC/DC- или линейные LDO-регуляторы служат для получения требуемых для отдельных узлов значений напряжения.

Синтезатор с ФАПЧ и дробным коэффициентом деления частоты, отличающийся наличием функции автокалибровки, малым временем запуска (40 мкс) и шагом частоты от 0,95 Гц, обеспечивает функционирование как приемного, так и передающего тракта. В качестве источника тактовых импульсов применяется внешний термостабилизированный генератор или обычный кварцевый резонатор, каждый из которых рассчитан на частоту 32 МГц. Внутренние RC-генераторы на 64 кГц и 13 МГц рекомендованы для организации периодического радиообмена и синхронизации работы SPI-интерфейса соответственно.

На рис. 2 представлена типовая схема подключения трансивера LLCC68. На ее основе производятся отладочные платы, рассчитанные на несущие частоты 490, 868 и 915 МГц.

Они выпускаются в виде модулей с необходимыми для конкретного диапазона номиналами радиочастотных компонентов и разъемами для подключения внешних управляющих контроллеров. Внешний вид одной из таких плат показан на рис. 3.

Трансивер LR1110

Новый трансивер LR1110, предлагаемый под торговой маркой LoRa Edge, является универсальной программно-определяемой радиосистемой (SDR), предназначенной для упрощения и ускорения внедрения приложений «Интернета вещей». Однокристальное решение, помимо обычного приемопередатчика LoRa с диапазоном рабочих частот 150–960 МГц, оснащено навигационным чипом для получения геолокации от спутниковых систем GNSS (GPS/BeiDou), а также пассивным Wi-Fi-сканером стандарта 802.11b/g/n. Основное преимущество LR1110 — сверхнизкое энергопотребление по сравнению с аналогичными решениями от других производителей. Например, в спящем режиме трансивер потребляет не более 2 мкА, с подключенным GNSS-узлом примерно 6 мА, а с Wi-Fi-модулем до 12 мА (при номинальном напряжении питания 3,6 В).

На рис. 4 представлена упрощенная структурная схема трансивера с указанием основных узлов. Радиочастотная LoRa-часть имеет строение, аналогичное ИС LLCC68. Чувствительность приемника достигает –144 дБм, входные сигналы сети LoRaWAN подаются на малошумящий усилитель LNA LF0. В тракте передачи доступно два усилителя, обеспечивающих выходную мощность до +15 дБм и до +22 дБм и подключенные к выводам RFO_LP_LF и RFO_HP_LF соответственно. В режиме GNSS-сканирования принимаемые сигналы проходят через внешние согласующие цепи, рассчитанные на частоты 1,57542 ГГц (GPS) или 1,5611 ГГц (BeiDou), и поступают на входной усилитель LNA LF1.

При Wi-Fi-подключении используется стандартная рабочая частота 2,45 ГГц, поэтому согласующие цепи являются интегрированными.

Синтезатор с фазовой автоподстройкой частоты генерирует сигналы в широком диапазоне 150–2700 МГц, достаточном для обеспечения должного функционирования всех узлов LR1110. В качестве источников тактовых сигналов применяются:

- Встроенный низкочастотный RC-генератор на 32,768 кГц (LF RC), опционально ис-

пользуемый часами реального времени (RTC).
- Низкочастотный кварцевый генератор (LF XOSC) с внешним кристаллом на 32,768 кГц. Может синхронизироваться с дополнительным внешним источником путем использования входа DIO11.
- Высокочастотный (32 МГц) генератор (HF RC) с интегрированной RC-цепочкой. Позволяет выполнить конфигурирование микросхемы посредством SPI без подключения основного кристалла.
- Высокочастотный (32 МГц) кварцевый генератор (HF XOSC), используемый для организации работы всех радиоканалов.

ИС LR1110 имеет 12 цифровых конфигурируемых входов/выходов общего назначения, обычно применяемых для подключения датчиков и периферийных устройств, обработки внешних прерываний и управления антенными переключателями. Аппаратный криптографический модуль служит для защиты информации и поддерживает операции шифрования/дешифрования по алгоритму AES-128. Конструктивно трансивер изготавливается в малогабаритном пластиковом 32-выводном корпусе QFN с размерами всего 5×5 мм. Диапазон рабочих температур — промышленный (–40…+85 °C).

В режиме GNSS-геолокации LR1110 сканирует доступные спутники и передает полученные данные посредством LoRaWAN-сети на сервер и далее в облачное хранилище, где определяется широта, долгота и высота над уровнем моря заданного модуля. Для ускорения процесса и минимизации потребления трансивера необходимо использовать предварительно загруженную информацию о местоположении сети спутников, примерном расположении устройства и текущем времени. Облачный сервис предоставляется компанией Semtech, также пользователи могут применять свои облачные хранилища.

Wi-Fi-геолокация работает похожим образом: трансивер пассивно сканирует окружающее пространство, пытаясь найти точки доступа стандарта 802.11b/g/n. MAC-адреса и уровни мощности принимаемых сигналов от обнаруженных устройств записываются в пакет данных, отправляемый на сервер для определения местоположения. Точность позиционирования при таком способе невысокая, порядка 30 м, но длительность сканирования не превышает 80 мс.

Нужно отметить, что LR1110 — первое устройство подобного типа, выпущенное компанией Semtech, но в 2020 году планируется производство еще нескольких изделий семейства LoRa Edge. Оценить работу трансивера можно уже сейчас при помощи отладочного комплекта (рис. 5). Он обладает совместимостью с платами Nucleo компании ST Microelectronics и состоит из:
- двух модулей на основе трансивера LR1110;
- демонстрационной платы Nucleo-L476RG на основе микроконтроллера STM32L476RG;
- TFT сенсорного экрана;
- активной GNSS-антенны с подключением к SMA-разъему;
- пассивной GNSS-антенны с подключением к SMA-разъему;
- антенны на 2,4 ГГц для Wi-Fi;
- антенны, рассчитанной на специфичную для региона ISM-частоту (490, 868 или 915 МГц).

Прилагаемое программное обеспечение включает ряд тестовых примеров и утилиты для настройки параметров связи.

Многоканальный концентратор SX1302

В LoRaWAN-сетях с высокой плотностью абонентских устройств полноценные базовые станции (шлюзы) изготавливаются на основе специальных многоканальных концентраторов. Новая ИС SX1302 представляет собой чип последнего поколения, способный обнаруживать и демодулировать данные от множества узлов одновременно. По сравнению с SX1301 он может обрабатывать более высокий объем трафика, кроме того, отличается меньшим собственным энергопотреблением, что позволяет упростить тепловой расчет конструкции шлюзов и сократить перечень требуемых компонентов. Одним из важных изменений является поддержка коэффициентов расширения спектра SF5 и SF6, использование которых стало возможным благодаря восьми дополнительным демодуляторам. Восемь остальных по-прежнему предназначены для обработки пакетов данных с SF 7-12.

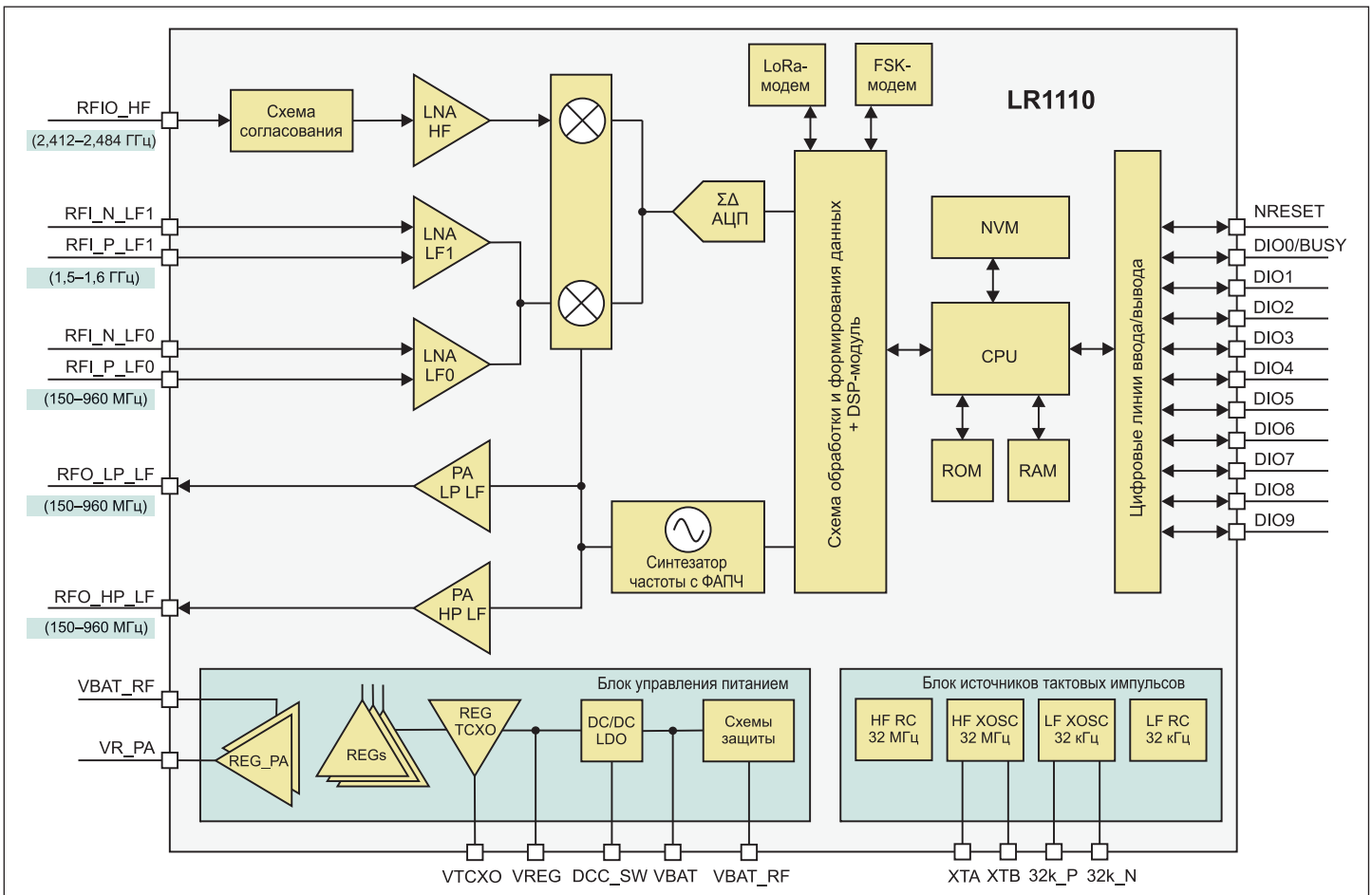


Рис. 4. Упрощенная структурная схема трансивера LR1110

Рис. 5. Внешний вид оценочного комплекта на базе трансивера LR1110

На рис. 6 показана внутренняя структура чипа SX1302. Поскольку микросхема SX1302 не содержит интегрированного радиотракта, то для реализации радиочастотной части шлюза используются трансиверы SX1255 или SX1257 производства Semtech, их выбор зависит от номинального частотного диапазона. Универсальным решением является применение трансивера SX1250, обладающего широкой полосой рабочих частот в субгигагерцевом диапазоне (150–960 МГц). Полученная связка обеспечивает выполнение типовых функций базовых станций сети LoRaWAN, при этом чувствительность приема достигает –141 дБм. Стоит отметить, что в отличие от полнофункциональных трансиверов SX126x устройства семейства SX125x не имеют встроенных модемов и обработчиков данных, реализуя только операции предварительного преобразования и оцифровки входных данных.

На вход ИС SX1302 с выхода устройств серии SX125x поступают I- и Q-составляющие полезных сигналов. После входных фильтров-дециматоров и детекторов при помощи блока из шестнадцати демодуляторов с адаптируемыми настройками выполняется их преобразование. Восемь LoRa-каналов обладают фиксированной шириной полосы частот 125 кГц. Каждый из них может работать с любым коэффициентом SF (без его предварительного указания) и тем самым обеспечить одновременную обработку пакетов, имеющих различные скорости передачи данных. Использование такого подхода позволяет динамически регулировать скорость передачи в зависимости от бюджета линии связи, а также в случайном порядке менять частоту при каждой передаче, повышая помехозащищенность. Девятый LoRa-канал чаще всего применяется для взаимодействия с другими шлюзами сети. Для него существует возможность конфигурирования полосы частот (125, 250 или 500 кГц) и выбора всего одного из доступных коэффициентов расширения (SF5–SF12). Десятый канал выполняет демодуляцию входной FSK- или GFSK-последовательности, если применяются сигналы с соответствующими методами модуляции. Связь с хост-контроллером организуется посредством высокоскоростного интерфейса SPI. Контроллер выполняет калибровку, переключение режимов работы, управляет автоматической регулировкой усиления и другими параметрами радиочастотного тракта трансиверов SX125x, а также задает характеристики отдельных каналов. При передаче сформированный пакет данных модулируется при помощи соответствующих FSK/LoRa-модуляторов и отправляется на выход.

Для функционирования всех узлов необходима тактовая частота 32 МГц, согласно типовой схеме включения она берется от трансиверов SX125x и подается на вход RADIO_A_CLK_I. Питание микросхемы осуществляется от двух источников стабилизированного напряжения: с номиналом выхода 3,3 В для входных цепей, линий ввода/вывода и SPI-интерфейса, а с напряжением 1,2 В — для ядра SX1302. ИС изготавливается в планарном корпусе QFN-68, допустимые температуры эксплуатации –40…+85 °C, хранения — –40…+125 °C.

Заключение

Компания Semtech регулярно модернизирует линейку LoRa-устройств. Предлагаемые новинки, отличающиеся гибкостью применения и пониженным энергопотреблением, позволяют качественно улучшить характеристики проектируемых изделий, предназначенных для сетей стандарта LoRaWAN. Наличие оценочных комплектов, программного обеспечения для их настройки и отличной технической поддержки от производителя способствует повышению скорости разработки и вывода на рынок конечного устройства. ■

Литература

1. Официальный сайт компании Semtech. www.semtech.com
2. Верхулевский К. Технология LoRa компании Semtech: новый импульс развития «Интернета вещей» // Беспроводные технологии. 2015. № 3.
3. Верхулевский К. Особенности и тенденции развития технологии LoRaWAN // Беспроводные технологии. 2017. № 1.

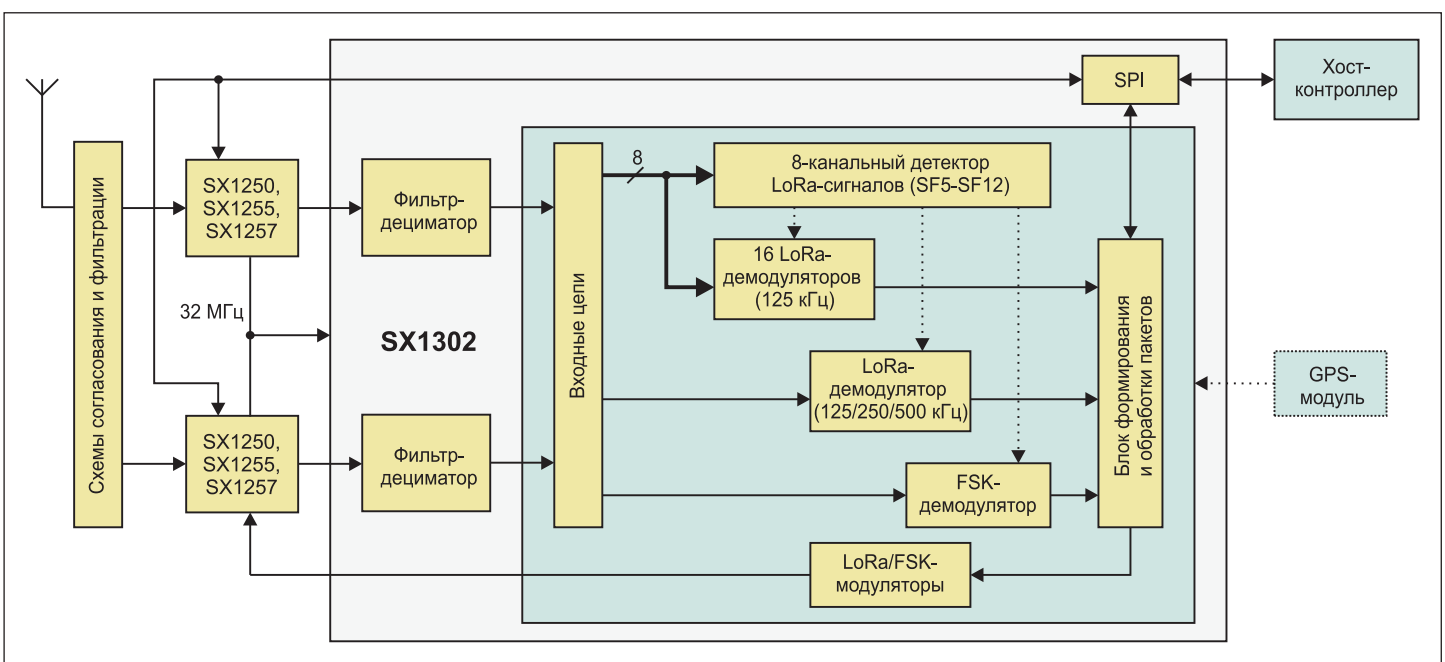


Рис. 6. Упрощенная структурная схема ИС SX1302

Модули A-серии от SIMCom Wireless Solutions:

обзор возможностей и создание пользовательских приложений

Рефарминг частот, а также высокая загруженность сетей GSM все чаще заставляет разработчиков M2M-устройств смотреть на решения, которые позволяют обмениваться информацией и в рамках других технологий. И здесь есть три альтернативы: 3G-сети, теряющие свою актуальность, сети LTE NB-IoT, которые пока имеют ограниченное покрытие и подходят не для всех применений, а также полноценные сети четвертого поколения (LTE). До последнего времени, несмотря на свою универсальность, 4G-модули были не самым доступным решением. Исправить это призваны новые решения SIMCom Wireless Solutions: A7670E и A7600E.

Дмитрий Новинский
novinsky.d@mt-system.ru

LTE без 3G

Основные характеристики указанных решений приведены в таблице. Первое, что бросается в глаза, — наличие только технологии LTE и связанных с GSM частот, то есть отсутствие 3G. Обусловлено это двумя факторами.

Первый — актуальность 3G как технологии. Заняв промежуточное положение между GSM и LTE, сейчас технология уже мало интересует consumer-рынок (мобильные телефоны), а следовательно, и производителей чипсетов, что справедливо и для операторов сотовой связи, поскольку большинство их абонентов мигрируют в 4G. Общая тенденция такова, что покрытие сетей 3G деградирует, и в итоге они будут сворачиваться. Это подтверждают примеры США и Северной Европы.

Во-вторых, отсутствие 3G позволило реализовать модуль в компактном корпусе (речь о A7670E). В каждом из решений используются две ключевые для сотовой связи технологии: GSM, которая, несмотря на утрату актуальности, все равно остается сегодня наиболее распространенной сетью, и как основная —

Таблица. Характеристики решений A7670E и A7600E

	A7670E	A7600E
Поддерживаемые технологии и частоты	LTE-FDD: B1/B3/B5/B7/B8/B20	
	LTE-TDD: –	LTE-TDD: B38/B40/B41
	GSM/GPRS/EDGE: 900/1800 МГц	
Корпус	24×24 мм QFN	30×30 мм LCC
Напряжение питания	3,4–4,2 В	
Рабочий диапазон температур	–40...+85 °C	
Напряжение логических выводов	1,8 В	
Пропускная способность	LTE Cat.1 DL/UL 10/5 Мбит/с	
Интерфейсы управления	UART (до 3,6 Мбит/с), USB (комбинация устройств: AT-порт, модемный, диагностический, RNDIS)	
Прочие интерфейсы	USIM, UART, I²C, ADC	USIM, SPI, UART Debug, I²C, SDIO, GPIO, ADC
Аудиоинтерфейс	PCM	
Обновление ПО модуля	USB или FOTA (по воздуху)	
Совместимые решения	SIM800/SIM800F (GSM) SIM5300E (3G) SIM7060R/G (NB-IoT) SIM7070E/G (NB-IoT)	SIM5320E/SIM5360E (3G) SIM7600E/E-L1C (LTE Cat. 1) SIM7600E-H / E-H1C (LTE Cat. 4)
Прочее	SMS, DTMF, голосовые вызовы (обычные и VoLTE)	

LTE, которая в будущем станет основной технологией, поскольку на ее базе возможно организовать работу всех типов абонентского оборудования, как с точки зрения скорости, так и принципов работы. Это единственная на текущий момент сеть, покрытие которой только расширяется.

Что это значит для пользователя? Уверенность в том, что данное решение будет работать в каждой точке, где есть покрытие сети (GSM или LTE имеется на любой базовой станции), а также актуальность в обозримом будущем, ведь пока альтернатив LTE не существует.

Оба решения выполнены на одной и той же аппаратной платформе, и в целом их возможности и характеристики совпадают. Но есть и ряд отличий.

Первое — отсутствие диапазона LTE-TDD в A7670E. Для каких-то применений это может стать ограничением (скажем, если данные частоты требуются по ТЗ), но для фактической работы это не столь критично, так как данные частоты не являются образующими покрытие, в отличие от частот LTE-FDD.

Второе отличие — разница в форм-факторах, следствием чего становятся доступные пользователю интерфейсы, а также совместимые решения. Модуль A7670E выполнен в компактном корпусе 24×24 мм QFN. Это позволяет организовать общее посадочное место для модулей GSM, 3G и NB-IoT [3] с таким же форм-фактором. Решение совместимо с ними в части основных AT-команд и по всем ключевым выводам. При создании совместимого дизайна с GSM-модулями SIM800x необходимо учесть разницу в логических уровнях: 2,8 В против 1,8 В у всех остальных; но это легко решить применением буферной микросхемы с опорным напряжением от вывода VDD_EXT модуля.

В свою очередь, A7600E выполнен в традиционном для 3G и LTE SIMCom Wireless Solutions форм-факторе 30×30 мм с торцевыми контактами. Это делает его полностью совместимым с актуальными LTE-решениями линейки SIM7600x [4] как по посадочному месту, так и по AT-командам. Несмотря на полную совместимость, у него есть отличия в плане использования хостом в режиме RNDIS, этот момент будет дополнительно рассмотрен далее.

Программная часть

Модуль унаследовал стеки и протоколы от модулей линейки SIM7500x и SIM7600x, то есть при переходе с этих решений никаких изменений в программную часть вносить не потребуется. Между модулями A7670E и A7600E также нет различий с точки зрения программной части. На текущий момент в модуле доступны:

- TCP и UDP: клиент/сервер; прозрачный/непрозрачный режим;
- FTP-клиент; скачивание/выгрузка файлов;
- HTTP-клиент;
- MQTT-клиент; издатель/подписчик;
- SSL-шифрование для всех указанных выше протоколов, поддержка сертификатов;
- LBS — получение времени и координат по БС;
- проигрывание аудиофайлов;
- CMUX;
- FOTA;
- NTP;
- сканирование Wi-Fi.

Также присутствуют и стандартные возможности: PPP, голосовые вызовы, VoLTE, CMC и т. д. Обновить ПО можно через USB или по воздуху (FOTA): в модуль скачивается разностный файл, подается команда на выполнение обновления, после окончания модуль перезагружается и готов к работе с новым ПО внутри.

Наряду с традиционным подключением по UART модули данного класса нередко подсоединяют к хосту по USB. Это помогает обойти скоростные ограничения, накладываемые UART (не более 3,6 Мбит/с), использовать модуль в режиме сетевой карты (RNDIS), а также позволяет обойтись без CMUX (передачу данных и AT-команды можно разнести по разным виртуальным портам/устройствам).

При подключении к USB модуль определяется как составное устройство, содержащее комбинацию, показанную на рис. 1 (пример для Windows).

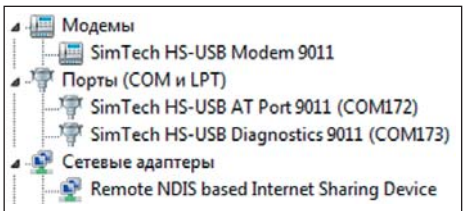


Рис. 1. Комбинация USB-устройств

Назначение портов следующее:

- SimTech HS-USB AT Port 9011 — порт для подачи AT-команд;
- SimTech HS-USB Modem 9011 — модемный порт; в Linux он определяется просто как еще один COM-порт. Поднять PPP-соединение по USB можно только через него;
- SimTech HS-USB Diagnostics 9011 — порт, предназначенный для снятия диагностической информации, а также обновления ПО;
- Remote NDIS based Internet Sharing Device — RNDIS-устройство, в Linux определяется как USB-адаптер.

Поднятие соединения через PPP — стандартная задача, для указанных решений разницы с другими модулями сотовой связи нет. А вот при использовании с адаптером в режиме RNDIS есть особенности и потребуется подать ряд команд для работы:

```
AT+CPIN?
+CPIN: READY //проверка готовности сим-карты
OK
AT+CGREG?
+CGREG: 0,1 //проверка регистрации в сети передачи пакетных данных
OK
AT+CGDCONT=1, «IP»,»internet» //задаем APN, при наличии USER/PWD — дополнительно задать через команду AT+CGAUTH
OK
AT+DIALMODE=0 //активируем автоподнятие соединения, параметр сохраняется при перезагрузках
OK
AT+CGCONTRDP
+CGCONTRDP: 1,5,»internet «,»100.69.189.13»,»»,»10.78.83.245»,»10.78.62.245»,»»,»»,0,0
OK //проверка, что IP получен и можно продолжать работу
```

После выполнения этих команд модуль готов к передаче данных. В случае Windows требуется активировать адаптер (если был включен, то выключить и включить снова). Для Linux — подать:

```
udhcpc -I usb0
```

Обозначение адаптера может иметь другой номер — это зависит от конфигурации оборудования в системе. Затем хост получает IP и выход в сеть.

С точки зрения скорости для данных модулей не должно быть отличий в PPP и RNDIS, поскольку в первом случае максимальные скорости будут заведомо меньше предельных для протокола (~20 Мбит/с), а во втором, где модуль выступает в роли своеобразного роутера, мощностей внутри вполне достаточно для обработки потока в 10 и 5 Мбит/с на скачивание и выгрузку соответственно. Что и подтверждается тестами в реальных сетях.

Особо отмечу, что для Windows требуются специальные драйверы — их можно получить через дистрибьютора («МТ-Системс»). Для Linux, в общем случае, специальных драйверов не требуется, модуль автоматически распознается как составное устройство: три COM-порта и одно RNDIS-устройство.

Сканирование Wi-Fi-сетей

Уникальной возможностью модулей, которая была упомянута выше, является сканирование точек доступа Wi-Fi. Данная возможность в первую очередь нужна для так называемой Wi-Fi Location, когда видимые точки доступа с известными координатами и уровень сигнала от них используются для определения положения самого устройства.

Для работы данного функционала в модуле должно быть актуальное ПО, а также сотовая антенна, в которой присутствует диапазон B40 (2300 МГц). Собственно, от качества работы на этих частотах и будет зависеть качество сканирования. Если все условия выполнены, то далее все сводится к последовательности команд:

```
AT+CWSTASCAN=1
OK
AT+CWSTASCAN?
+CWSTASCAN: 1
OK
AT+CWSTASCAN
+CWSTASCAN:
f4:83:cd:d8:24:c8,Uno,-52
80:89:17:10:e6:23,Dos,-58
14:2d:27:24:98:61,Tres,-58
...
OK
```

Как видно из лога, модуль возвращает связку MAC, отображаемого имени и уровня сигнала. Непосредственное местоположение модуль не возвращает, но эти данные могут быть использованы или в сочетании со сторонними БД (содержащими информацию по положению

точек доступа) или для indoor-навигации, когда положение Wi-Fi-точек заведомо известно.

Написание пользовательских приложений

Как и многие другие модули SIMCom Wireless Solutions, A7600E и A7670E поддерживают возможность написания пользовательских приложений, которые выполняются в RTOS модуля. В случае A-серии технология называется OpenSDK. Как и прежде, алгоритм работы следующий: пользовательская программа компилируется, сформированный файл помещается в файловую систему модуля (при необходимости заливается специальное ПО для работы с OpenSDK), при следующем запуске модуль начинает выполнение программы. Разумеется, при взаимодействии со средой разработки есть ряд особенностей, поэтому далее рассмотрим состав SDK, процесс компиляции, заливки и отладки пользовательских приложений.

Ниже будет описан SDK, который имеется на текущий момент, со временем его состав может меняться, обрастая новым функционалом и возможностями. Для получения актуального SDK обращайтесь с запросом напрямую к дистрибьютору («МТ-Системс»).

```
Please select an option to test from the items listed below.
************************************************************
1. NETWORK                  2. SIMCARD
3. SMS                      4. UART
5. USB                      6. GPIO
7. PMU                      8. I2C
9. AUDIO                    10. FILE SYSTEM
11. TCPIP                   12. HTTP
13. FTP                     14. MQTT
15. SSL                     16. OTA
17. LBS                     18. NTP
19. HTP                     20. INTERNET SERVICE
21. TTS                     22. CALL
23. WIFI
************************************************************
3 //выбираем пункт смс
Please select an option to test from the items listed below.
************************************************************
1. Init sms demo            2. Write a msg to SIM card
3. Read a msg               4. Send a msg
5. Send a stored msg        6. Delete all stored msg
7. DeInit sms demo
************************************************************
1  //инициализируем demo для sms
SUCCESS: SMS Init success!
Please select an option to test from the items listed below.
************************************************************
1. Init sms demo            2. Write a msg to SIM card
3. Read a msg               4. Send a msg
5. Send a stored msg        6. Delete all stored msg
7. DeInit sms demo
************************************************************
4  //активируем часть примера, отвечающего за отправку

Please input SEND sms para in order:
1. Formatmode: 1  //Формат: 1 – Текст, 0 - PDU
2. SmsData: hello  //содержание смс
3. SmsLen: 5    //длина
4. SrcAddr: номер телефона
5. Confirm to send:    //подтверждение отправки
1. yes  2. no
1YES, send msg now.

sAPI_SmsSendMsg:
primID[13]
resultCode[0]
rspStr[+CMGS: 182]  //сообщение отправлено
```

Рис. 2. Внешний вид демопримера и отправка СМС

Архив с SDK состоит из следующих каталогов:

- DOC — документация: описание API, структуры SDK, доступные ресурсы, описание процесса компиляции, процедур заливки ПО и дебага, разбор демопримера;
- DRIVERS — драйверы для USB и UART;
- OPEN SDK — непосредственно сам SDK;
- TOOLS — утилиты для дебага и заливки ПО в модуль.

Доступные пользователю функции и их описание содержатся в APIs Programming User Guide: функции работы с ОС (таски, семафоры, мьютекс и т. д.), периферией (GPIO, UART, SPI и т. д.), работы с сетью (статусы, звонки и СМС), а также для абсолютно всех стеков и протоколов указанные ранее (TCP, FTP, SSL и т. д.). Отмечу, что в случае стеков речь идет именно об API-функциях. Тем не менее есть возможность обработки AT-команд с помощью виртуального UART внутри приложения, если это требуется.

Сам SDK также состоит из нескольких каталогов:

- sc_app — директория с исполняемым файлом и самой программой:
  - файл makefile.mk — задает каталог(и) для компиляции. По умолчанию там указаны каталоги application и demo для сборки примера all-in-one;
  - simcom_application — all-in-one-пример, компилируется по умолчанию;
  - simcom_demo — демофайлы с примерами: периферия, работа с системой, внутренней памятью, стеками, протоколами и т. д.;
  - simcom_lib — библиотеки.
- sc_config — файлы, необходимые для сборки.
- sc_sdk_images — образы прошивок для различных модулей A-серии (которые используются при сборке).
- sc_tool — инструменты для работы с компилятором (используется GCC); при условии сборки из командной строки (как будет показано ниже) никаких действий от пользователя по настройке не требуется.

Поскольку по умолчанию собирается общий демопроект, в данном случае мы не будем вносить изменения в make и соберем все в исходном виде. Простейшим способом компиляции проекта является командная строка (но при желании работу с SDK можно перевести в Eclipse или прочие редакторы) — для этого необходимо перейти в каталог с SDK и запустить build.bat с нужными параметрами. Синтаксис выглядит следующим образом:

```
bulid.bat<module><part> [option]
<module> - модуль, для которого предназначена сборка “A7600E_LNSE” или “A7670E”
<part> — “all” (полная сборка), “image” (ПО), “app” (пользовательский код) и “clean”
(для очистки)
[option] — может использоваться вместе с part с указанием “clean”
```

Важный момент: для сборки образа на ПК должен быть установлен Python версии 3.8.5 или более поздней. Как пример для A7600E:

```
bulid.bat A7600E_LNSE all clean //очищаем SDK
bulid.bat A7600E_LNSE all //компилируем и собираем образ прошивки
```

В результате в корне SDK появится директория target и в ней будет два архива: SC_A7600E_LNSE_16M_A0_16MB — ПО модуля + app-часть и SC_A7600E_LNSE_16M_CUSTOMER_APP_ONLY — только app-часть. Это именно прошивки, готовые для заливки, сам пользовательский файл находится в директории *build*.

Сформированные на прошлом шаге архивы распаковывать не требуется. Для заливки прошивки в модуль можно воспользоваться как утилитой, идущей с SDK (работа с ней описана в Debug and Download Guide), так и стандартной утилитой для обновления ПО модуля. Общее для них одно — модуль должен быть подключен к ПК с Windows по USB. В случае если модуль с заводским ПО, необходимо выбирать архив, содержащий обе части, при последующих обновлениях достаточно заливать только app-часть.

После обновления модуль необходимо перезагрузить, затем он начинает выполнять программу. Демопрограмма от SIMCom содержит почти все примеры из директории simcom_demo и объединяет их в одном интерфейсе. Для проверки необходимо подключиться

к аппаратному UART (не USB) на скорости 115 200 и отправить любой символ; в ответ будет выдано меню, показанное на рис. 2. В качестве примера продемонстрирована отправка СМС, цветом указана информация, подаваемая пользователем.

Такая разбивка на подпункты упрощает изучение демопримеров, поскольку показывает каждый шаг правильного алгоритма работы с использованием api. Следует отметить, что в данный демопример вошла только часть программ из директории simcom_demo, поэтому для полного понимания работы OpenSDK рекомендуется изучить и остальные.

Отдельно отмечу пункт 16 из демопримера — это OTA, то есть обновление по воздуху. При работе устройств «в полях» может возникнуть потребность внести изменения в код программы, без непосредственного подключения. Эту задачу поможет решить данная функция — пользовательская часть кода помещается в память модуля (сам файл может быть получен по любому из протоколов, имеющихся в модуле), после чего с помощью api проверяется целостность и начинается обновление.

Немаловажный вопрос — отладка приложения. Она производится с помощью диагностического порта модуля и утилиты CATStudio. Подробная инструкция по работе с утилитой представлена в Debug and Download Guide. Здесь же только отмечу, что при работе необходимо выбрать порт диагностики как источник информации (по умолчанию утилита может задать произвольный), указать путь к файлу БД (он находится в папке *sc_sdk_images*, *A7600E_LNSE_16M* — для A7600E) и далее отфильтровать данные, идущие от приложения, фильтром CUSTLOG. За выдачу отладочной информации в самом коде отвечает функция sAPI_Debug.

Каждый из модулей обладает различными интерфейсами, которые доступны пользователю:

- A7600E: SDCx1, USB, UART (7 pin), SPI, UART (Tx/Rx), I²C, SDIO, PCM, GPIOx15, ADCx2, CLK, LDO 3 В/400 мА, LDO 1,8 В/50 мА;
- A7670E: LDO 1,8 В/50 мА, USB, UART (7 pin), UART (Tx/Rx)x2, I²C, PCM, GPIOx10, ADC.

Если говорить о ресурсах, то для пользователя доступно несколько мегабайт Flash и RAM, но лишь часть из них может быть занята непосредственно самим приложением (речь о Flash в первую очередь). Как я писал ранее, эти цифры зависят от конкретной версии SDK и приводятся в специальном файле. Но в целом можно сказать, что не каждый функционал может быть полностью перенесен на модуль. С другой стороны, простые задачи вроде обработки данных и отправки их на сервер (телеметрия статичных и движущихся объектов, например) модуль вполне способен выполнять. Также данная технология станет хорошим подспорьем, если требуется разгрузить хост от ряда задач, для упрощения взаимодействия или удешевления устройства.

Заключение

Модули A7600E и A7670E открывают новые возможности для разработчиков M2M-устройств. Сделав их максимально доступными, SIMCom Wireless Solutions открыла возможность применения полноценных LTE-решений даже в самых массовых устройствах, где конечная стоимость является одним из важнейших факторов. Наличие двух самых актуальных на данный момент технологий — GSM и особенно LTE — позволяет забыть о необходимости модернизации устройств в ближайшей перспективе. Совместимость с популярными форм-факторами гарантирует преемственность и универсальность. Наличие среды разработки открывает новые возможности организации работы устройств. ■

Литература

1. www.simcom.com
2. www.mt-system.ru
3. Новинский Д., Тучкин В. Актуальные LTE-решения SIMCom Wireless Solutions: переход на модули нового поколения // Беспроводные технологии. 2019. № 1.
4. Новинский Д. Высокоскоростные LTE-решения SIMCom Wireless Solutions // Беспроводные технологии. 2020. № 1.

реклама

Встроенное программирование BLE-модуля BT4502

от HopeRF

В статье представлен новый миниатюрный микропотребляющий BLE SoC CMT4502 от CMOSTEK и выполненный на его основе модуль HM-BT4502B от HopeRF. Подробно описано подключение выводов модуля в режиме обнаружения, передачи данных и сна. Приведен пример настройки терминальной Android-программы для обмена данными с UART модуля. Дана методика создания собственного программного обеспечения в среде Keil uVision5 и загрузки его в модуль. Статья может быть полезной разработчикам устройств для «умного дома» и построения на их основе IoT-сети.

Сергей Гаевский
info@nuvoton.com.ua

Разработка современной электроники немыслима без использования беспроводных технологий малого радиуса действия, обеспечивающих взаимосвязь различных устройств на небольших расстояниях. Разнообразные сетевые архитектуры («точка-точка», «звезда», Mesh, широковещательная передача и т. п.) могут строиться на базе различных радиотехнологий нижнего уровня, реализующих физический канал передачи данных с необходимыми характеристиками. Важнейшими требованиями к подобным системам обычно становятся энергосбережение и совместимость (стандартизация различных сетевых уровней). Одно из лучших решений, удовлетворяющих данным критериям, — Bluetooth Low Energy (BLE).

Эта технология прочно вошла в мир «Интернета вещей» и, несмотря на свою молодость, успела завоевать огромную популярность среди IoT-разработчиков. В сравнении с технологией классического Bluetooth технология BLE спроектирована с учетом максимального энергосбережения: BLE-устройства могут годами работать от миниатюрной батареи, постоянно оставаясь на связи. Для обеспечения такой экономии была полностью изменена концепция протокола: периферийные устройства являются серверными и подавляющее большинство времени находятся в режиме сна. Периодически, в течение очень короткого времени, устройства передают специальный широковещательный пакет (Advertising) на так называемых «рекламных» выделенных радиоканалах. Для этого используются канал 0 (2402 МГц), канал 12 (2424 МГц) и канал 39 (2480 МГц), расположенные между основными каналами Wi-Fi, обычно загруженными пользователями, что позволяет даже при малом уровне мощности быть «услышанными» другими устройствами. Значительный разнос частот между «рекламными» радиоканалами уменьшает эффект интерференции в помещениях, приводящий к появлению «мертвых» зон приема. Таким образом, на «рекламных» каналах BLE-устройства сообщают о себе другим BLE-устройствам, находящимся в зоне радиовидимости.

В отличие от «классического» Bluetooth устройства BLE предоставляют так называемые сервисы, объединяемые в профили. Обычно IoT-разработчики используют профиль, объединяющий сервисы UART (последовательного порта, аналогично SPP в «классическом» Bluetooth). Для обмена данными с конкретным BLE-чипсетом приложение должно получить от него идентификаторы характеристик (UUID) необходимого сервиса с помощью встроенного протокола GATT. Как вариант, можно получить нужные UUID из документации на чипсет и на этапе разработки добавить их в список UUID, поддерживаемых приложением.

Сегодня на рынке доступно несколько десятков BLE-чипсетов, отличающихся по ключевым характеристикам (размеру корпуса, энергопотреблению, излучаемой мощности) и по возможностям встроенного программного обеспечения нижнего уровня, реализующего поддерживаемые сервисы и определяющего их UUID. Также большое значение для разработчика имеет возможность устанавливать встроенное программное обеспечение верхнего уровня, обеспечивающее пользовательскую логику работы чипсета в составе модуля или готового устройства, включающую сетевые протоколы и интерфейс. Обычно производитель предоставляет среду разработки (SDK) и интерфейс нижнего уровня (API), с помощью которых пользователь может создавать программное обеспечение под конкретную решаемую им задачу. Скомпилированный бинарный код записывается во Flash-память чипсета с помощью специальной загрузочной утилиты и выполняется в виде отдельной задачи, управляя работой чипсета путем

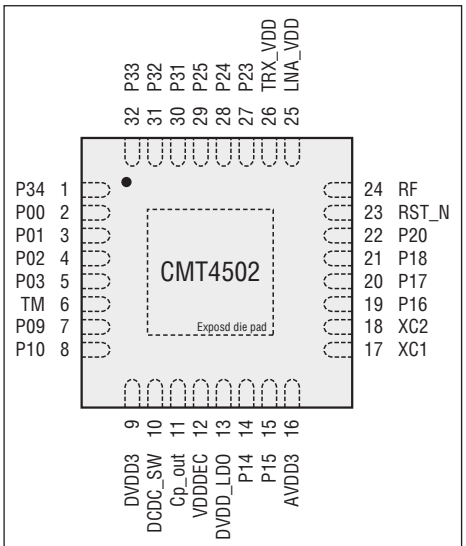


Рис. 1. Назначение выводов BLE SoC CMT4502

взаимодействия с «ядром», непосредственно работающим с аппаратными ресурсами кристалла.

Компания CMOSTEK — разработчик специализированных радиочастотных SoC, использующихся в продукции компании HopeRF, представила BLE-чипсет CMT4502 [1] — усовершенствованный аналог более раннего чипсета PHY6212 с аппаратной поддержкой стандарта BLE 5.0 (рис. 1). Новый чипсет обеспечивает чувствительность –97 дБм на скорости 1 Мбит/с и –103 дБм на скорости 125 кбит/с.

Широкий диапазон допустимых питающих напряжений (1.8–3,6 В) позволяет использовать данный чипсет в устройствах с различными элементами питания. Максимальная выходная мощность составляет +10 дБм, что эквивалентно 10 мВт. При этом ток потребления в режиме постоянного приема составляет 6,7 мА, а в режиме передачи — 7 мА. Максимальная скорость передачи полезных данных может достигать 1,6 Мбит/с с учетом задержки подключения. Предусмотрена аппаратная поддержка функций SIG-Mesh, обеспечивающая эффективную работу в составе Mesh-сетей с сохранением низкого энергопотребления.

Для удобства инсталляции чипсета в пользовательское устройство радиочастотная часть имеет внутренний переключатель и обеспечивает работу с 50-омной антенной, подсоединенной непосредственно к единственному выводу без дополнительных цепей согласования импеданса.

Чипсет выполнен в миниатюрном корпусе QFN32 и сохраняет работоспособность в индустриальном диапазоне температур –40…+125 °C.

Реализация BLE-стека и пользовательских приложений обеспечивается интегрированным в чипсет Cortex M0 микроконтроллером, содержащим 512 кбит Flash-памяти, 128 кбит предварительно запрограммированного ПЗУ для системных функций и 138 кбит ОЗУ с возможностью сохранения данных в режиме сна. Периферия представлена восемью каналами 12-битного АЦП, шестью каналами ШИМ, четырьмя каналами I²S, двумя каналами I²C и SPI, интерфейсами UART и JTAG (рис. 2).

Подробное техническое описание встроенного микроконтроллера доступно пользователю [2], но радиоинтерфейс и его регистры являются закрытыми.

Компания HopeRF представила на рынок BLE-модуль HM-BT4502B [3], базирующийся на вышеописанном чипсете и включающий необходимую обвязку: цепи питания, кварцевый резонатор с требуемой точностью установки частоты и элементы защиты линий ввода/вывода (рис. 3). Размеры модуля 15×11 мм при толщине 2 мм. Встроенная антенна расположена на верхней стороне платы, выво-

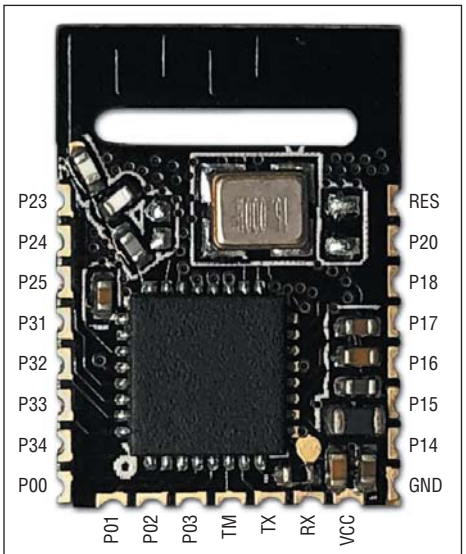


Рис. 3. Bluetooth 5.0 модуль HM-BT4502B

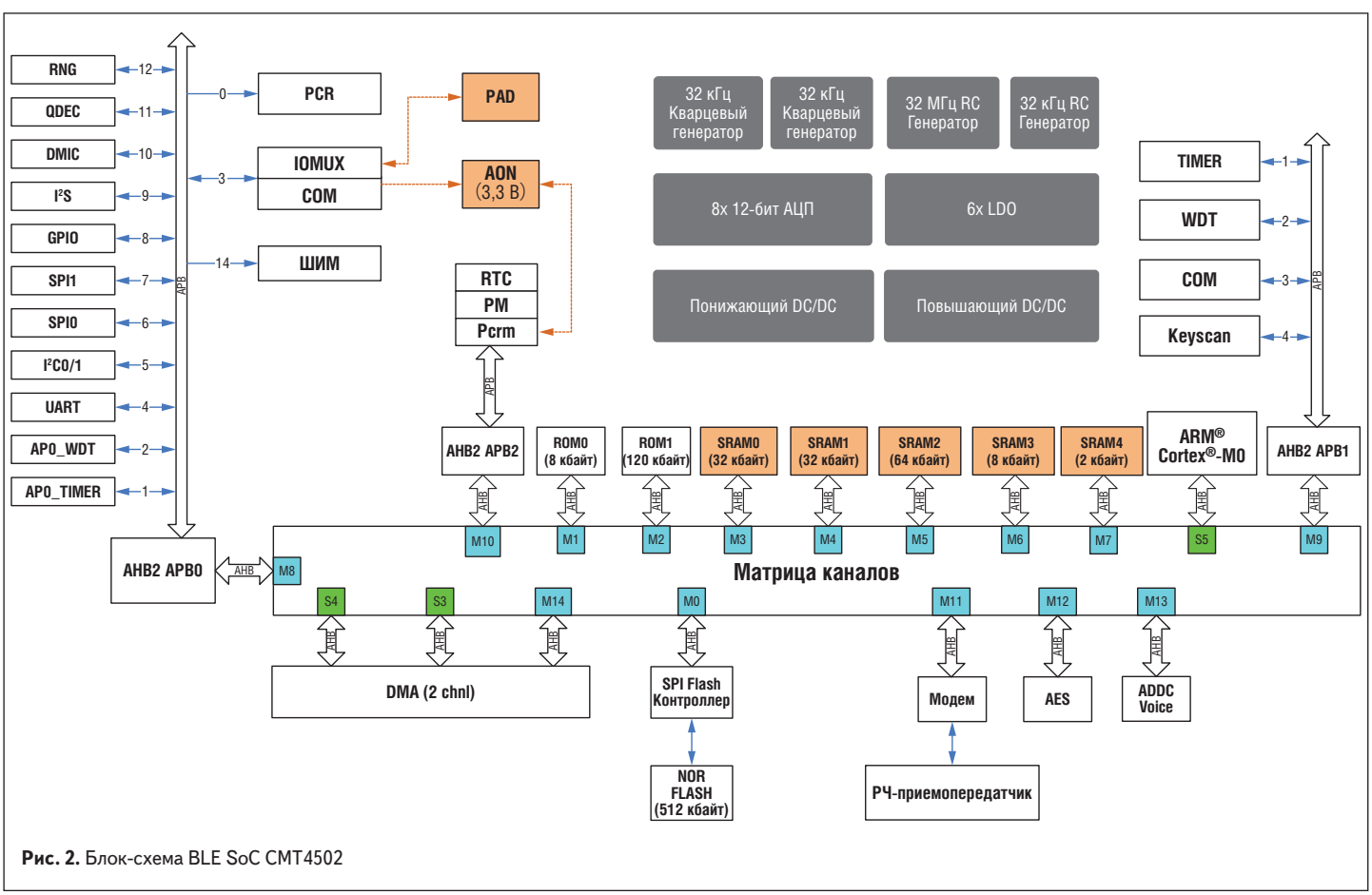


Рис. 2. Блок-схема BLE SoC CMT4502

ды — на остальных трех сторонах. Монтаж модуля осуществляется на материнскую плату пользовательского устройства.

Характеристики модуля определяются используемым чипсетом и программным обеспечением, реализующим верхний уровень протокола управления и обмена данными между модулем и пользовательским устройством. При напряжении питания 3 В ток в режиме низкого энергопотребления составляет 4 мкА, а максимальный ток в короткие периоды приема и передачи пакетов не превышает 8 мА. Подключение внешнего микроконтроллера реализуется через двухпроводный дуплексный интерфейс UART, включающий линии RX и TX и по умолчанию работающий на скорости 115 200 бод. Дополнительно для контроля режимов энергосбережения предусмотрены три аппаратные линии: PND, WKU и INT. Программно модуль управляется с помощью специальных команд, начинающихся с префикса TTM: (аналог AT+ в GSM-модулях) и содержащих последующую строку команды, дополненную символами возврата каретки <CR=0x0A>, перевода строки <LF=0x0D> и обязательным терминирующим нулем <0x00>. Набор команд предоставляет широкие возможности по настройке модуля перед началом его работы. Можно изменить BLE-имя, MAC-адрес, установить интервал подключения 20–2000 мс (по умолчанию используется значение 30 мс), интервал отправки широковещательного оповещения (200 мс — 5 с) и назначить его содержимое, установить требуемую выходную мощность передатчика в интервале –20…+10 дБм и т. п. Из списка следует выделить команду установки кода безопасности TTM:PID-XXXX<CR><LF><0>, позволяющую изменить PIN-код, требуемый при первичном подключении внешнего BLE-устройства к модулю. По умолчанию этот код равен 0000. В таком случае внешнее устройство имеет возможность подключаться к модулю автоматически без аутентификации. После смены пользовательского PIN-кода внешнее устройство должно запросить новый PIN-код у оператора или выбрать из списка, предоставляемого производителем устройства, включающего BLE-модуль. Подробно команды управления модулем приведены в техническом описании [4].

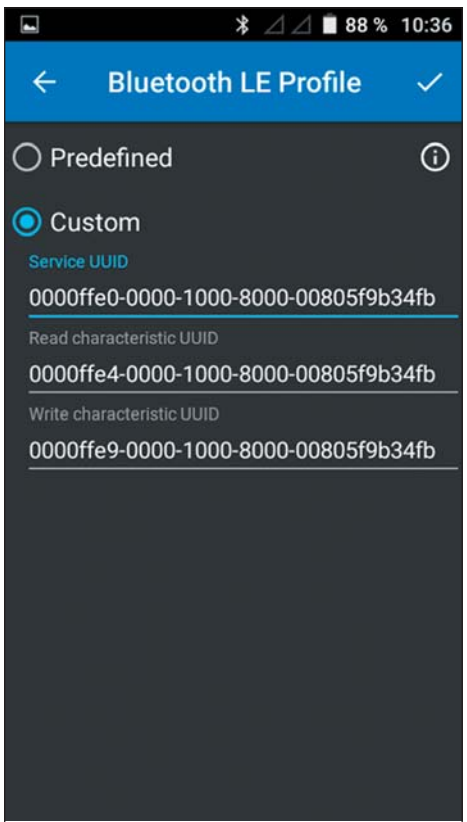


Рис. 4. Настройка BLE-сервиса для обмена данными через UART с внешним терминальным приложением

Большинство информационных выводов чипсета подключено к контактным площадкам модуля, расположенным с трех сторон мини-платы с шагом 1,25 мм (рис. 3).

Некоторые выводы имеют специальные альтернативные функции: P15 — АЦП0, P20 — АЦП1, P31 — ШИМ2, P33 — ШИМ3 и т. д. К выводам P16 и P17 может быть подключен кварцевый резонатор на частоту 32 768 Гц для повышения точности отсчета временных интервалов в режиме сна. Особую роль играют следующие выводы: P0 — вход сигнала PowerDown (PDN), P14 — вход сигнала WakeUp (WKU) и P18 — выход сигнала INT.

Входы PDN и WKU имеют внутреннюю подтяжку к напряжению питания (VCC) и для активации указанных сигналов должны быть установлены в нулевой уровень внешним микроконтроллером. Для корректного старта модуля в момент подачи питания вывод PDN должен быть заземлен, а вывод WKU — отключен. Через 100 мс после подачи питания вывод WKU необходимо также заземлить. В таком состоянии модуль отвечает на команды управления и доступен для обнаружения другими BLE-устройствами.

Для обмена данными с модулем удобно использовать Android-приложение Serial Bluetooth Terminal [6]. После обнаружения Bluetooth-устройства из меню настроек телефона и удачного подключения BLE-имя модуля (по умолчанию CMT4501-XXXXXXXX, где XXXXXXXX — четыре последних байта MAC-адреса) появляется на вкладке приложения Bluetooth LE.

Длинным нажатием на появившемся имени модуля необходимо вызвать меню и выбрать EDIT для настройки используемого сервиса. Чипсет BT4502 является сравнительно новым на рынке, поэтому, к сожалению, далеко не все приложения (в том числе и Serial Bluetooth Terminal в его текущей редакции) имеют предустановленные настройки для реализации обмена данными через UART. Вследствие этого коды UUID необходимо задать согласно даташиту на чипсет, выбрав из списка, формируемого GATT-запросом. Считав список UUID нажатием на одноименную кнопку, выбираем сервис со значением 0000ffe0 в первом поле, а затем подключаем UUID для чтения и записи данных нажатием соответствующих кнопок. Результат настройки показан на рис. 4.

После выполненных настроек можно подключаться к устройству из основного меню терминала и обмениваться данными с UART в обоих направлениях. Допускается применение произвольных бинарных данных, передача которых производится пакетами. Максимальная длина данных в одном пакете составляет 240 байт. При подключении внешнего устройства модуль выводит в UART сообщение TTM:CONNECT<CR><LF><0>, а при отключении — сообщение TTM:DISCONNECT<CR><LF><0>. Во время активного подключения можно снизить энергопотребление модуля, отсоединив вывод PDN. При этом данные, отправленные внешним устройством на модуль, будут успешно приняты и выведены в UART, но данные, отправленные в UART, не будут передаваться на внешнее устройство. При обратном подключении вывода PDN на «землю» двухсторонний обмен данными возобновляется. При отключении вывода WKU от «земли» модуль переходит в режим сна, соединение с внешним устройством разрывается. Также необходимо отметить, что при отключении от «земли» вывода PDN модуль становится недоступным для обнаружения (не передает пакеты представления). Выход модуля INT используется для пробуждения микроконтроллера из режима сна. При получении пакета данных от удаленного устройства модуль генерирует смену уровня от высокого к низкому, а затем через настраиваемое время задержки (по умолчанию 500 мкс) отправляет принятые данные в UART. Таким образом, и внешний микроконтроллер, и BLE-модуль могут при необходимости «будить» друг друга, большую часть времени находясь в режиме низкого энергопотребления.

Для расширения возможностей использования модуля компания HopeRF предоставляет свою среду разработки (SDK) [6], разрешающую пользователю создавать собственное программное обеспечение верхнего уровня и устанавливать его в модуль, заменяя описанный выше заводской функционал управления TTM-командами и работы с UART. Архитектура базируется на операционной системе реального времени OSAL. Большинство компонентов представлено в виде исходного кода, за исключением библиотеки работы с радиотрансивером, поставляемой в виде предварительно скомпилированных бинарных lib-файлов.

Среда разработки не требует дополнительной индивидуальной настройки и использует Keil uVision V5 для компиляции проекта. Последняя версия SDK хорошо документирована и включает широкий набор примеров, сгруппированных по функционалу. Каждый пример является самодостаточным Keil-проектом, готовым к компиляции.

Список примеров, имеющихся в SDK, предусматривает реализацию центрального устройства с возможностью подключения к другим модулям, различные варианты реализации сетей BLE-Mesh, примеры работы с периферией встроенного в чипсет микроконтроллера, а также множество реализаций протоколов верхнего уровня: различные

маяки, чаты, сенсоры и другие приложения, на базе которых можно разработать практически все необходимые устройства, использующиеся в IoT.

После успешной компиляции Keil генерирует HEX-файл пользовательской прошивки, готовый для загрузки в модуль. Загрузка осуществляется через UART-интерфейс с помощью специальной утилиты [7], работающей в среде Windows (рис. 5). Компьютер необходимо предварительно подключить к UART модуля, используя переходник FTDI USB — UART, обеспечивающий 3-В уровни сигналов.

Для активации внутреннего загрузчика перед подачей питания на модуль необходимо подсоединить вывод TM модуля (описано выше) к шине VCC. В прошивочной утилите двойным щелчком по полям загружаемых файлов нужно выбрать hex-файл пользовательской прошивки и файл загрузчика *ota_dualbank_noFCT.hex* из SDK-папки *CMT4502.SDK2.0.0exampleOTAOTA_internal_flashbin*. После завершения прошивки необходимо отключить вывод TM для нормального старта модуля при следующем его включении. ■

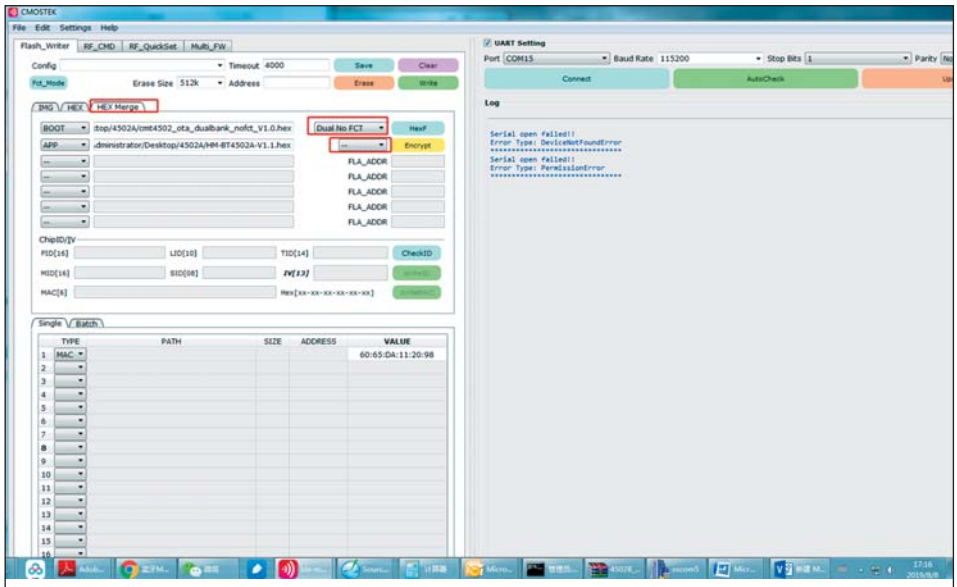


Рис. 5. Утилита от CMOSTEK для загрузки пользовательского кода в модуль HM-BT4502B

Литература

1. CMT4502: Bluetooth Low Energy (BLE) System on Chip. www.hoperf.com/ic/rf_BLE/CMT4502.html
2. CMT4502 Technical reference manual. www.hoperf.com/data/upload/portal/20200320/CMT4502_BLE_SoC_Datasheet_V01_English.pdf
3. HM-BT4502B Bluetooth Low Energy (BLE) Pass-through Module. www.hoperf.com/modules/Bluetooth/HM-BT4502(-1).html
4. HM-BT4502B Bluetooth Low Energy Pass-through Module Specification. www.microchip.ua/wireless/HM-BT4502B.pdf
5. Serial Bluetooth Terminal. www.play.google.com/store/apps/details?id=de.kai_morich.serial_bluetooth_terminal&hl=ru
6. CMT4502 SDK. 2.0.0. www.hoperf.com/data/upload/back/20190628/CMT4502%20SDK%202.0.0.rar
7. CMOSTEK CMT4502 firmware down-load tool. www.microchip.ua/wireless/cmt4502_tool.rar

реклама

LG77L — новый компактный мультиформатный GNSS-модуль

с ультранизким потреблением от компании Quectel

Компания Quectel (Шанхай), ведущий разработчик и производитель радиочастотных модулей, функционирующих на основе технологий GSM, GNSS (а в последнее время и Wi-Fi и 5G), представлена на рынке уже 10 лет. За это время она выпустила и отгрузила более 100 млн модулей, зарекомендовав себя в качестве надежного и авторитетного партнера, в том числе и у отечественных производителей радиоэлектронного оборудования. Продукты Quectel как профессионального разработчика технологий «Интернета вещей» и поставщика разнообразных сотовых модулей широко применяются в различных приложениях беспроводного сегмента IoT/M2M, включая системы интеллектуальных платежей, фискальное оборудование, телематику и транспорт, а также интеллектуальную энергетику, интеллектуальные офисы, здания и города, простые и сложные системы безопасности, беспроводные шлюзы, промышленность, здравоохранение, сельское хозяйство и оперативный мониторинг окружающей среды.
Статья может быть полезна профессиональным разработчикам и производителям систем позиционирования и местоопределения.

Сергей Стукало, к. т. н.
sns41@mail.ru

Число выпускаемых компанией Quectel модулей GNSS впечатляет — сегодня в этой линейке представлено около 20 моделей. Более того, совсем недавно компанией анонсирован выпуск еще одной новинки — сверхкомпактного GNSS-модуля LG77L с ультранизким потреблением, габаритные размеры которого составляют всего 7×7×2 мм. Внешний вид модуля представлен на рис. 1.

Высокая производительность используемого чипсета делает LG77L оптимальным решением для промышленных КПК, а также для различных бытовых и промышленных приложений. Чрезвычайно низкое энергопотребление превращает его в отличную основу для реализации батарейных и других автономных приложений с длительным сроком автономной работы, чувствительных к потреблению. Особенно это касается портативных устройств, для которых важны не только габаритные размеры компонентов, но и их экономичность при регулярно востребованной достаточно высокой производительности самого устройства.

Функциональные особенности GNSS-модуля LG77L

GNSS-модуль LG77L от Quectel поддерживает эффективный прием сигналов систем позиционирования GPS, ГЛОНАСС, BeiDou (опционально) и QZSS, как парциально, так и в различных сочетаниях, через стандартный

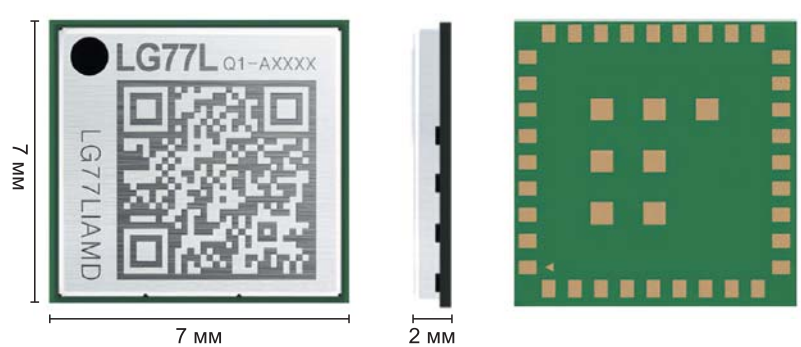


Рис. 1. Внешний вид модуля LG77L

50-омный ВЧ-вход, обеспечивающий работу активных и пассивных внешних антенн. Встроенной антенны у модуля нет. Имея 33 канала отслеживания, 99 каналов сбора данных и 210 каналов PRN, модуль может отслеживать, реализовывать сборку и осуществлять обработку любых сочетаний сигналов GPS, ГЛОНАСС (или BeiDou) и SBAS.

Включение и одновременная обработка сигналов нескольких систем GNSS обычно увеличивает количество видимых спутников, сокращает время на первое определение местоположения и повышает точность позиционирования, особенно при движении в сложных городских условиях.

Сочетая такие передовые функционалы AGNSS, как EASY (Embedded Assist System) и режимы низкого энергопотребления, в том числе GLP (GNSS Low Power), модуль LG77L отличается высокой производительностью, низким энергопотреблением и полностью соответствует самым жестким промышленным стандартам.

Технология EASY позволяет новому модулю автоматически рассчитывать и прогнозировать орбиты с использованием эфемеридных данных (до 3 дней), хранящихся в его собственной внутренней памяти, поэтому LG77L может быстро определять собственное положение даже при низких уровнях сигнала (сохраняя в критичных условиях низкое энергопотребление). Благодаря технологии GLP модуль LG77L может адаптивно регулировать время собственного включения/выключения, автоматически достигая оптимального баланса между точностью позиционирования и потребляемой мощностью в зависимости от изменяющихся условий окружающей среды и движения.

Технические особенности модуля LG77L

Мультиформатный GNSS-движок использованного в модуле чипсета поддерживает не только наиболее популярные навигационные системы, но и функционал обнаружения подключенной к нему антенны и защиту входных контуров приемника от короткого замыкания. Модуль имеет в своем составе эффективный контур встроенной защиты от помех, реализованный на основе их многочастотного активного подавителя.

GNSS-приемник модуля LG77L поддерживает работу в стандартных диапазонах следующих систем:

- GPS L1 C/A: средняя частота диапазона 1575,42 МГц;
- GLONASS L1 C/A: средняя частота диапазона 1602,5625 МГц;
- BeiDou B1 C/A: средняя частота диапазона 1561,098 МГц.

При этом поддерживаются функционалы SBAS: WAAS, EGNOS, MSAS и GAGAN. Данные местоопределения выдаются модулем в формате протоколов NMEA 0183 и PMTK. В автономном режиме функционирования система горизонтального позиционирования способна определять координаты стационарных и подвижных объектов не менее чем в 75% измерениях с ошибкой CEP<2,5 м. Точность определения скорости подвижных объектов составляет <0,1 м/с (без использования корректирующих данных); точность определения величины ускорения <0,1 м/с^2 (без использования корректирующих данных); точность синхронизации: 1 PPS <100 нс; время повторного приобретения синхронизма после его потери: <1 с. Более подробные технические характеристики модуля представлены в сравнительном формате в таблице 1.

Таблица 1. Сравнение основных характеристик компактных модулей GNSS различных производителей

Модель GNSS модуля	LG77L	SE873Q5	EVA-M8M/Q
Производитель	Quectel	Telit	u-blox
Чипсет	–	SiRF Star V B02	–
Частота обновления данных, Гц	1 (по умолчанию, и до 10)	5	5/10/18
Режимы слежения (track) и сбора данных	33/99	33/96 (power supply (switching))	
Поддерживаемые интерфейсы	UART, I^{2}C и PPS	2×UART, I^{2}C, SPI, PPS, GPIO	UART, DDC (I^{2}C compliant), SPI, PPS, USB
Питающее напряжение, В	3,3 (2,8–4,3)	1,8 (1,75–1,85)	1,65–3,6 (M) 2,7–3,6 (Q)
Габаритные размеры, мм	7×7×2	7×7×1,85	7×7×1,06
Форм-фактор	36 pad QFN	20 pad QFN	36 pad EVA
Рабочий температурный диапазон	–40...+85 °C	–40...+85 °C	–40...+85 °C

Сочетание нескольких режимов низкого энергопотребления, а также адаптивные режимы автономного управления ими обеспечивают сверхнизкое потребление устройства в целом.

Модуль поддерживает функционал AGNSS, а также группу специализированных команд SDK, разработанных Quectel.

При этом модуль LG77L от Quectel — в первую очередь за счет использования инновационного китайского чипсета — вполне способен оказаться существенно дешевле аналогичных изделий в близком или аналогичном форм-факторе от других представленных на рынке производителей. Источник питания модуля должен быть рассчитан на нагрузочную способность до 100 мА. Напомним также, что по умолчанию модуль настроен на поддержку GNSS-конфигурации «GPS + ГЛОНАСС».

Вес модуля составляет 0,2 г. При этом он имеет впечатляющие динамические эксплуатационные характеристики — он сохраняет работоспособность до высот 18 000 м (максимальная альтитуда) над уровнем моря, а также при движении со скоростями до 515 м/с и при ускорениях до 4g.

Распиновка модуля LG77L представлена на рис. 2. Как видно на рисунке, значительная часть имеющихся у него пинов зарезервирована производителем под возможную реализацию в будущем некоего дополнительного функционала (попутно этот подход позволил приблизить форм-фактор модуля к стандартным решениям серии QFN, что сделало дизайн устройств на его основе более универсальным).

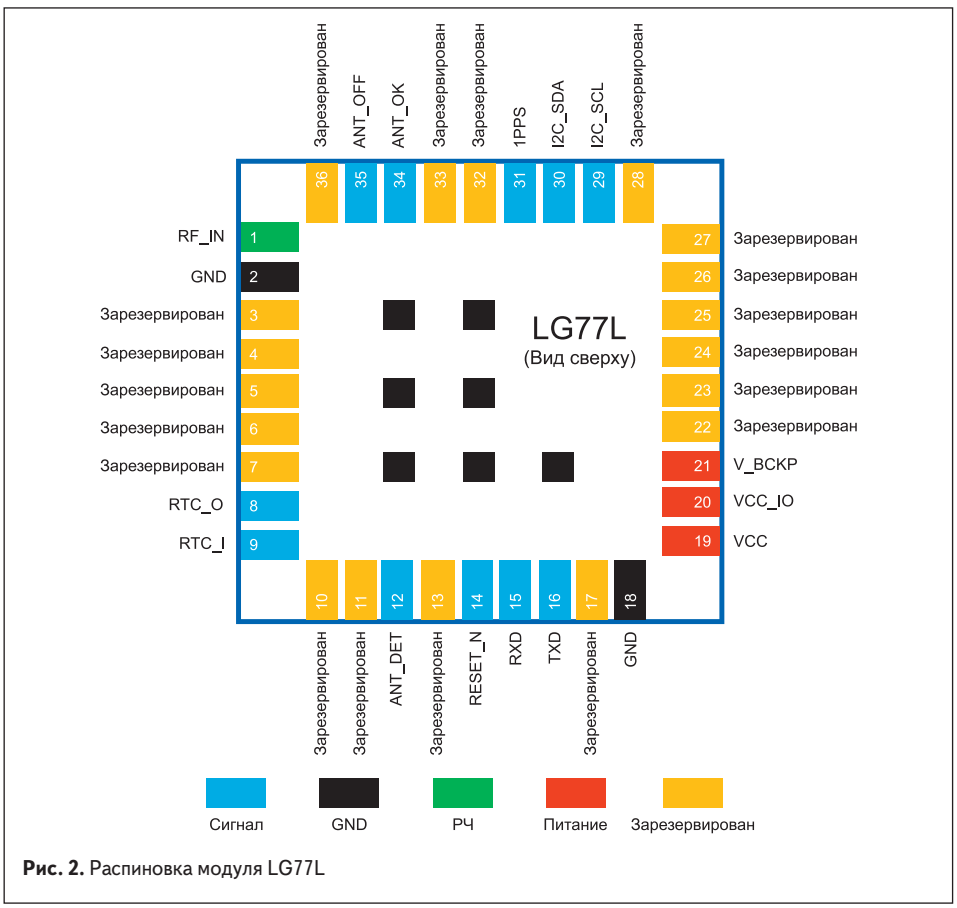


Рис. 2. Распиновка модуля LG77L

Таблица 2. Чувствительность модуля LG77L и оперативность его выхода в рабочий режим

Характеристика	Стартовые условия эксплуатации и соответствующие им эксплуатационные показатели	
	TTFF @ –130 дБм с EASY™	TTFF @ –130 дБм без EASY™
Холодный старт, с	< 15	< 35
Теплый старт, с	< 5	< 30
Горячий старт, с	< 1	< 1
Чувствительность приемного тракта, дБм	–145 (режим захвата)	
	–162 (режим сопровождения)	
	–157 (повторный захват)	

Модуль имеет возможность раздельного питания встроенного в него сегмента RTC, в том числе и для случая принудительного погружения в режим глубокого сна. Также, в числе прочих пинов, модуль имеет пин RESET_N (пин № 14), предназначенный для аппаратного перезапуска управляющего контроллера.

Интерфейс I²C модуля поддерживает работу на скоростях до 400 кбит/с, интерфейс UART по умолчанию настроен на работу со скоростью 9600 бит/с (при этом возможен выбор скоростей в диапазоне 4800–115 200 бит/с).

Интерфейс UART (пины № 15 и 16) используется для вывода предложений NMEA, ввода команд PMTK/PQ и обновления прошивки. При этом когда интерфейс I²C (пины № 29 и 30) используется для вывода предложений NMEA по умолчанию, модуль также поддерживает и получение команд PMTK/PQ по шине I²C. Обратите внимание, что интерфейс I²C поддерживается только в версиях прошивки, оканчивающихся на «SC». В других версиях прошивок пины модуля I²C_SDA и I²C_SCL используются для ввода данных RTCM. Когда эти пины применяются для ввода данных RTCM, их функционирование в качестве портов I²C не поддерживается.

Внимание! Не используйте UART для вывода предложений NMEA, если активирована поддержка I²C. Если функционал I²C не используется, держите его контакты открытыми.

В таблице 2 представлены данные по чувствительности модуля LG77L и по оперативности его выхода в рабочий режим при различных исходных состояниях.

Подробные технические характеристики других моделей модулей GNSS от Quectel приведены на официальном сайте компании.

Заключение

Компания Quectel предлагает вниманию разработчиков и производителей электроники высококачественные надежные радиочастотные модули, в том числе и около 20 модулей местоопределения и позиционирования стационарных и подвижных объектов и устройств, за дизайном и производством которых стоят большой опыт команды разработчиков компании и наиболее современные технологии изготовления и контроля качества. Модули GNSS от Quectel оптимальны для применения в самом широком спектре современных бытовых и промышленных приложений. Новейший GNSS-модуль компании — LG77L — сориентирован на использование в компактных батарейных приложениях с длительным сроком автономного функционирования. ■

Литература

1. Официальный сайт компании Quectel. www.quectel.com
2. Каталог продукции компании Quectel (доступен для скачивания на официальном сайте).
3. Техническое описание модуля LG77L.
4. Описание аппаратной части модуля LG77L.

НОВОСТИ

Выставка технических средств охраны и оборудования для обеспечения безопасности и противопожарной защиты Securexpo

Securexpo — это единственная в Краснодарском крае выставка по тематике обеспечения безопасности. Выставка предоставляет оптимальную площадку для заключения договоров на поставку оборудования и технологий, отвечающих современным требованиям, предъявляемым к средствам обеспечения безопасности.

- Время проведения: 24–27 февраля 2021 года.
- Место проведения: Краснодар, ул. Конгрессная, 1, ВКК «Экспоград Юг».

Участники выставки Securexpo — отечественные и зарубежные производители, представляющие полный спектр продукции и услуг для комплексного обеспечения безопасности во всех сферах современной жизни.

В числе основных разделов выставки:

- Оборудование и аксессуары для систем видеонаблюдения.
- Оборудование и средства для обеспечения противопожарной защиты.
- Оборудование для систем сигнализации и оповещения.
- Оборудование для систем контроля и управления доступом.

Посетителями выставки являются специалисты Юга России по продаже, проектированию, установке и эксплуатации технических средств безопасности, оборудования для обеспечения

противопожарной защиты и охраны зданий и сооружений, а также частные лица.

Выставка Securexpo проходит на одной площадке с выставкой отделочных и строительных материалов, инженерного оборудования, архитектурных проектов YugBuild.

Организатор: компания MVK.

www.securexpo.ru

Приемопередатчик LoRa LLCC68 для субгигагерцевого диапазона компании Semtech

Компания Semtech представила LoRa приемопередатчик субгигагерцевого диапазона LLCC68, оптимизированный для применения в устройствах с батарейным питанием.

Разработанный на основе трансивера SX1262, на аппаратном уровне LLCC68 соответствует микросхемам серии SX126x. Он потребляет всего 600 нА в спящем режиме, 4,6 мА в режиме приема (при LoRa-модуляции и ширине полосы канала 125 кГц) и может обеспечивать выходную мощность до +22 дБм благодаря высокоэффективным встроенным усилителям. С учетом высокой чувствительности (до –129 дБм) расчетный бюджет канала связи трансивера достигает 151 дБ.

Трансивер LLCC68 совместим с существующими сетями LoRaWAN, а также может работать с проприетарными протоколами, используя, помимо LoRa, модуляцию типов FSK, GFSK, MSK и GMSK. При FSK-модуляции гарантируется скорость передачи данных до 300 кбит/с, LoRa-модуляция рассчитана на более низкую пропускную способность (1,76–62,5 кбит/с).

Широкая полоса рабочих частот (150–960 МГц) позволяет поддерживать все основные ISM-диапазоны, разрешенные в различных странах. LLCC68 полностью соответствуют требованиям регламентирующих стандартов ETSI EN 300 220, FCC CFR 47 (часть 15) и ARIB T-108.

Компания Semtech также производит отладочные платы, рассчитанные на несущие частоты 490, 868 и 915 МГц. Они выпускаются в виде модулей с необходимыми для конкретного диапазона номиналами радиочастотных компонентов и разъемами для подключения внешних управляющих контроллеров.

www.icquest.ru

Тестирование точности определения траектории в режиме PPP-RTK

спутниковым приемником 4GNSS OC-103

Цель данного теста — определить точность позиционирования в режиме PPP-RTK, который реализован с использованием потока корректирующей информации формата PPP-SSR от японской службы MADOCA (подразделение космического агентства JAXA). В случае получения точности, достаточной для таких приложений, как кадастровые работы, геофизика, СХ и другие, у нас появилась бы возможность заменить режим RTK на PPP-RTK, а значит, убрать из системы пользователя базовую станцию или подписку на сеть референсных станций, что существенно сократило бы стоимость проведения работ.

Инна Жаботинская
ir@orsyst.ru

Денис Шелаев
d.shelaev@orsyst.ru

Как известно, абсолютный метод определения координат характеризуется невысокой точностью: 3–15 м. Однако если использовать уточненные эфемериды и уходы часов, то абсолютный метод может обеспечивать субдециметровую (менее 10 см) точность. Именно таким образом реализуется метод PPP, или Precise Point Positioning (рис. 1).

Основная задача спутниковой навигации по определению координат заключается в решении обратной пространственной засечки, где за исходные пункты принимаются спутники, а определяемый — на поверхности земли. Метод PPP представляет собой то же решение обратной пространственной засечки, но точность координат исходных пунктов гораздо выше (в данном случае за счет эфемерид), а временная шкала приведена к времени навигационной системы, что позволяет более точно вычислить псевдодальности.

Референсные станции производят спутниковые измерения и передают в центр управления сетью, где на их основе генерируются поправки PPP-SSR (State Space Representation). Поток поправок передается на ГНСС-оборудование пользователя через Интернет либо через геостационарный спутник (после загрузки данных через наземную систему загрузки).

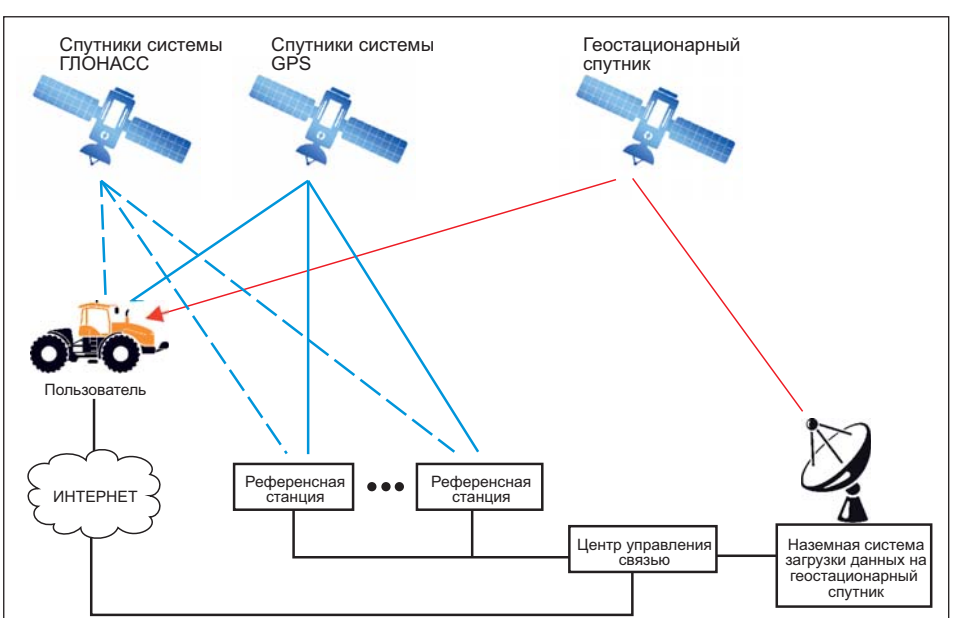


Рис. 1. Схема метода PPP (Precise Point Positioning)

Условно метод можно разделить по способу обработки ГНСС-данных:

- PPP — при постобработке в специальных ПО, например GrafNav;
- PPP-RTK — при обработке данных в режиме реального времени с уточненными эфемеридами и моделью ухода шкалы часов.

Для реализации режима PPP-RTK требуется источник корректирующей информации в специальном формате. В зависимости от типа ГНСС-приемника таким источником могут быть платные сервисы (RTX, TerraStar и др.) либо поток поправок в формате RTCM-SSR.

Поскольку метод Precise Point Positioning набирает все большую популярность, а в идеале должен упростить работу во многих областях — кадастровых, геофизических и высокоточных логистических приложениях в труднодоступных районах, то мы решили провести небольшой тест и сравнить данные, полученные в режиме PPP-RTK, с данными, полученными стандартным методом постобработки (PPK).

Результатом измерений должны стать два набора данных:

- PPK (Post Processing Kinematic — кинематика в постобработке);
- PPP-RTK (PPP в реальном времени).

Для теста мы использовали в качестве подвижного спутникового приемника 4GNSS OC-103, так как он поддерживает работу по всем доступным спутниковым системам: GPS, ГЛОНАСС, BeiDou, Galileo, а также способен принимать поправки RTCM-SSR. Такие поправки мы получали от сервиса MADOCA.

Приемник был установлен на автомобиле и одновременно:

- записывал спутниковые измерения для постобработки траектории (реализация режима PPK), как и базовая станция, находящаяся на пункте, точно определенном в системе координат ITRF08 на эпоху 2019.1 на удалении около 1 км (рис. 2);
- принимал поправки PPP-SSR для определения координат траектории в режиме реального времени через Интернет.

Рис. 2. Траектория в PPK-режиме, обработанная от БС (зеленый — фиксированное решение)

Рис. 3. Траектория PPP-RTK (голубой — режим PPP-RTK, красный — автономный режим)

Первые 10 мин теста длился период сходимости (стандартно продолжается около 15 мин для режима PPP-RTK). Во время движения поток поправок RTCM-SSR был искусственно прерван единожды для определения влияния отсутствия потока корректирующей информации на режим PPP-RTK (рис. 3).

В качестве эталонной траектории мы приняли данные PPK, как более надежные и точные. Также все системы координат были приведены к ITRF08 на эпоху 2019.1. Для определения точности и достоверности траектории, полученной разными способами, использовали разность координат.

На рис. 4 видно, что первые 5 мин автомобиль стоял на месте, а затем начал движение. Так как период сходимости длится дольше, то еще некоторое время (около 5 мин) точность определения координат в режиме PPP-RTK была близка к автономной (рис. 5).

Как только сходимость была достигнута, траектория PPP-RTK прекрасно легла на траекторию PPK (рис. 6). Разность плановых координат не превышает 10 см, а разница высотных — 30 см.

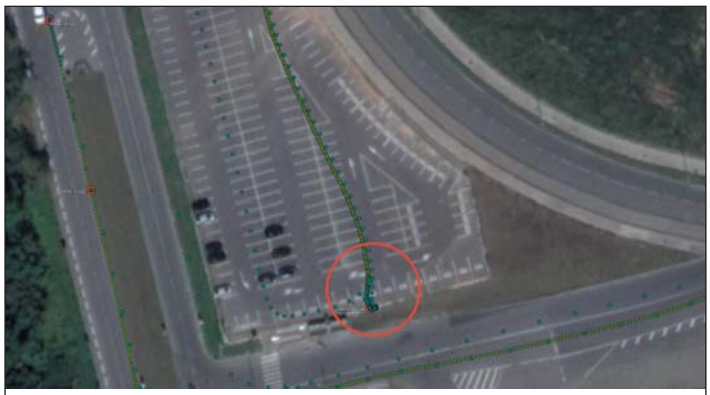


Рис. 4. Начало траектории, период сходимости

Рис. 5. Точность в начале траектории, период сходимости не завершен

Рис. 6. Сверху проходит траектория PPP-RTK на обратном пути автомобиля и в данном тесте не рассматривается

Рис. 7. Прекращение приема поправок PPP-SSR

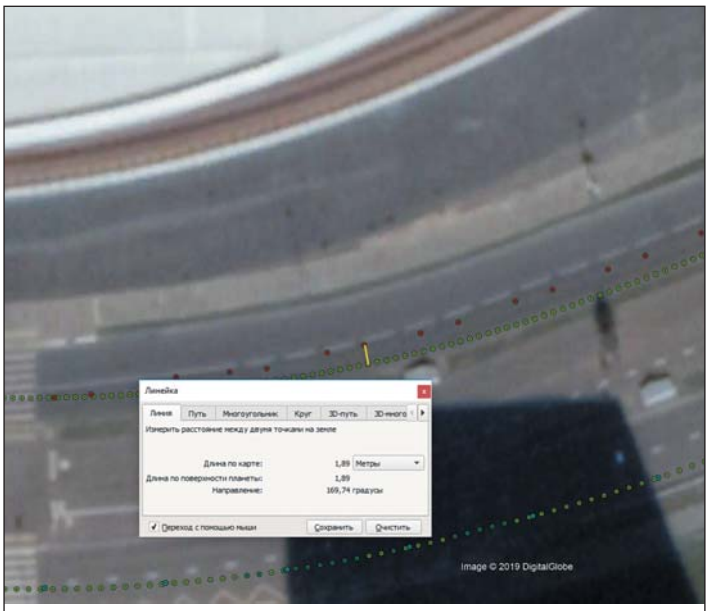


Рис. 8. Точность определения координат при прекращении приема поправок PPP-SSR

В определенный момент мы прервали прием потока поправок PPP-SSR, этот момент видно на рис. 7. Результат получен весьма ожидаемый: решение снова стало автономным, а разница координат становилась все больше (рис. 8).

Следует отметить, что это наш первый тест режима PPP на приемнике ОС-103 с новой прошивкой. Но даже подобный результат вполне может устроить тех пользователей ГНСС-оборудования, кому плановой точности в 10 см, а высотной — в 30 см достаточно! В таком случае пользователь может работать с одним двухчастотным ГНСС-приемником независимо от расстояния до базовой станции, что станет отличным решением для применения в точном земледелии, логистических работах и других высокоточных приложениях. ■

реклама

Миниатюрное цифровое переговорное устройство

с радиусом действия до 300 м

В статье представлен проект малопотребляющего беспроводного симплексного переговорного устройства, выполненного на базе микроконтроллера серии NUC505 от Nuvoton и радиомодуля RFM300W от HopeRF. Открытый исходный код проекта написан на языке C в среде Keil uVision 5. Подробно рассмотрена техника программирования микроконтроллера для обработки звука в реальном времени и для синхронной демодуляции радиосигнала.
Статья может быть полезной разработчикам систем связи для стационарных и мобильных объектов или студентам в качестве основы для учебных проектов.

Сергей Гаевский
info@nuvoton.com.ua

Речевое общение сегодня является неотъемлемой частью существования человека, без него немыслимо функционирование множества сервисов, в том числе обеспечивающих нашу безопасность. Мобильная связь прочно вошла во все сферы промышленности и быта и стала базисом, на котором строится иерархия наших взаимоотношений. Использование публичной инфраструктуры, предоставляемой сотовыми операторами, накладывает определенные ограничения на доступность сервиса и выдвигает свои требования к клиентам. Так, отсутствует возможность моментальной связи между участниками группы, кроме того, обычно взимается абонентская плата или плата за предоставленное время разговора. Часто такие условия не являются оптимальными для пользователей и заставляют их искать альтернативные способы голосовой связи, например применять радиостанции. В отличие от сотовой связи, предоставляющей глобальное покрытие, радиостанции обеспечивают связь лишь в зоне обслуживания определенного радиуса с дополнительной возможностью организации интернет-шлюзов, например для общения с удаленным диспетчером. Современные средства радиокоммуникаций среднего и малого радиуса действия сегодня широко применяются для передачи потоковой мультимедийной информации. Подобные решения весьма эффективны в бизнесе (например, охрана в торговых залах), сфере досуга (коллективные виды спорта) и быта (домофоны, коммуникаторы в лифтах). Сдерживающими факторами остаются сравнительно высокая стоимость абонентских устройств и необходимость их лицензирования. Поэтому сегодня актуальна разработка дешевых и энергоэффективных цифровых устройств, функционирующих в ISM-диапазонах в пределах разрешенной мощности [1] и обеспечивающих передачу сжатого речевого сигнала в виде потока данных.

Как известно, оцифрованная речь избыточна в плане информации, действительно необходимой для ее понимания. «Лишнюю» информацию можно исключить, разбивая речь на небольшие фрагменты и заменяя их описателями, содержащими характеристики фрагмента, в той или иной степени достаточные для его восстановления в виде, пригодном для понимания человеком. Существуют разнообразные алгоритмы кодирования, оптимальные для различных применений. Например, в системах сотовой связи 2G-поколения GSM-FR-кодек обеспечивает десятикратное сжатие речи, в то время как кодек MELPE-600, используемый в спутниковых системах связи военного назначения, сжимает речь более чем в 200 раз. Степень сжатия речи определяет необходимую скорость битового потока, передаваемого по радио, и, соответственно, так называемый показатель бюджета канала, пропорционально влияющий на дальность связи при ограниченной мощности передатчика. Обратной «стороной медали» является некоторая потеря индивидуальных особенностей речи и общей разборчивости при высоких степенях сжатия. Дополнительным преимуществом цифровой передачи становится возможность сильной криптографической защиты речевой информации, недоступной в аналоговых радиостанциях. Так, 128-битный уровень защиты легко достигается с помощью современных потоковых шифров и позволяет использовать как индивидуальные, так и групповые ключи шифрования. При необходимости имеется возможность расширения защиты индивидуального сеанса связи за счет так называемой совершенной обратной секретности (невозможности расшифровать ранее записанный радиообмен, даже получив полный доступ к абонентским терминалам и их содержимому). Данная функция предполагает обмен публичными ключами и вычисление временного ключа шифрования в начале каждого сеанса связи, что легко реализуемо при использовании цифровой передачи данных.

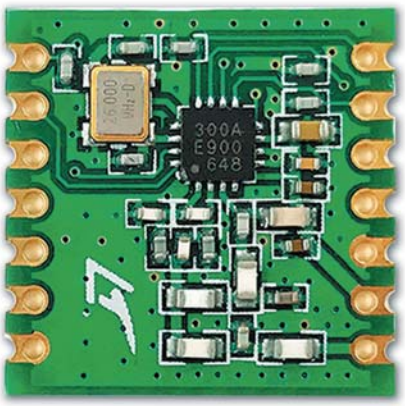


Рис. 1. Модуль RFM300 на базе трансивера CMT2300A с цепями обвязки

Цель данного проекта — разработка миниатюрного и недорогого беспроводного переговорного устройства (радиостанции), не требующего лицензирования и обеспечивающего симплексную связь с качеством речи, сопоставимым с таковым в сотовой телефонии. Дополнительным требованием было снижение тока потребления в режиме дежурного приема до значений, позволяющих устройству работать в течение нескольких месяцев от одной зарядки аккумулятора. Для реализации проекта выбраны доступные бюджетные радиокомпоненты: микроконтроллер Nuvoton NUC505DSA и радиомодуль HopeRF RFM300W. Необходимая обвязка включала стабилизатор питания 3,3 В с током до 100 мА, кварцевый резонатор 12 МГц, микрофон, наушники (или динамик с отключаемым усилителем мощности класса D на микросхеме PAM8403), кнопку тангенты и светодиод, а также несколько блокировочных конденсаторов и резисторов. Устройство питалось от Li-Ion-аккумулятора емкостью 2400 мА·ч или сменного комплекта батарей с напряжением не менее 3,2 В.

Радиомодуль RFM300W от компании HopeRF (рис. 1), базирующийся на FSK-трансивере CMT2300A, неоднократно [2] описывался в предыдущих статьях [3, 4]. Он представляет собой цифровой приемопередатчик, интегрирующий цепи генератора опорной частоты, входного усилителя с АРУ, FSK/OOK-модема с АПЧ, выходного усилителя мощностью до 100 мВт, модуля пакетирования с буферами для передаваемых и принимаемых данных, модуля синхронизации и модуля таймеров для автоматической смены режимов работы в цикле (рис. 2). Трансивер поддерживает как пакетный режим работы, подробно описанный в нашей предыдущей статье [4], так и «прозрачный» режим, использовавшийся в данном проекте. Особенностью «прозрачного» режима работы является отсутствие предварительной обработки данных в трансивере, осуществляющем лишь частотную модуляцию и демодуляцию радиосигнала с автоматической подстройкой частоты приемника.

Сами данные для передачи полностью формируются микроконтроллером: он определяет битрейт и подает поток битов на вход трансивера. На приемной стороне трансивер формирует соответствующий поток принятых «сырых» битов на выходе. Существует возможность определения битрейта потока принимаемых битов и сопровождения выдачи данных импульсами тактирования (так называемый механизм CDR, встроенный в трансивер), но мы предпочли программную обработку «сырых» данных средствами микроконтроллера для большей наглядности и познавательности проекта.

Предварительная настройка радиочастотных параметров выполнялась с помощью графической утилиты RFPDK от компании HopeRF [5], позволяющей сформировать банк значений всех регистров трансивера для его инициализации на старте. Были созданы отдельные настроечные блоки для работы трансивера в обычном режиме и в режиме дежурного приема. Смена режимов осуществлялась путем полного перезапуска и повторной инициализации трансивера, на что требовалось около 50 мс.

При настройке трансивера в рабочем режиме на основной вкладке программы RFPDK выбирались базовая рабочая частота (Frequency = 868 МГц), скорость передачи данных (Data rate = 5 кбит/с), тип модуляции (Modulation = FSK), девиация частоты (Deviation = 5 кГц) и мощность передатчика (TX Power = +13 дБм), что соответствовало 20 мВт. Остальные настройки устанавливались по умолчанию.

На вкладке FSK Demod Settings подстройка битрейта была отключена (CDR = None). Таким образом, в режиме приема трансивер выдавал «сырые» данные, а функция синхронизации возлагалась на микроконтроллер. На вкладке Baseband 1 Settings был выбран «прозрачный»

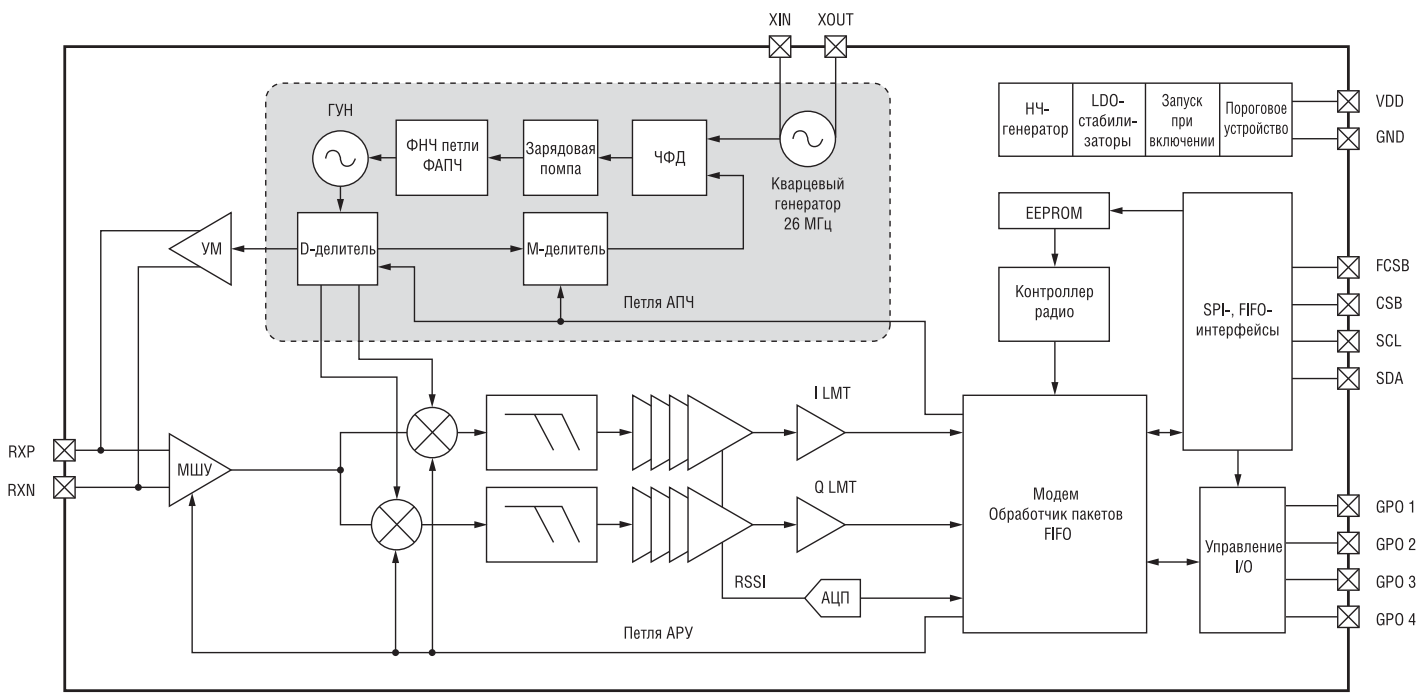


Рис. 2. Блок-схема трансивера CMT2300A.

Примечания. POR (Power-on Reset) — сброс при включении питания, используется для генерации стабильного сигнала сброса системы и принудительного сброса системы при включении питания, для того чтобы избежать неожиданного поведения микроконтроллера;
LVR (Low Voltage Reset) — функция сброса низкого напряжения, активируется путем установки бита разрешения сброса низкого напряжения;
BOR (Brown-out Detector) — функция детектора пониженного напряжения, активирована установкой бита включения детектора пониженного напряжения; **RTC (Real Time Clock)** — контроллер часов реального времени, предоставляет сообщения реального времени и календаря;
LDO (Low-dropout regulator) — стабилизатор напряжения с низким падением напряжения на регулирующем элементе

режим работы (Data Mode = Direct). На вкладке Feature Settings функция подавления выхода приемника при отсутствии сигнала была отключена (Dout Mute = Off). Дополнительно на этой же вкладке был установлен минимальный уровень детектора снижения напряжения питания (LBD Trashold = 1,8 В), что предотвращало перманентную блокировку трансивера при кратковременном падении напряжения, требующую полного перезапуска устройства.

Для формирования альтернативного набора параметров, обеспечивающих режим дежурного приема, были сделаны дополнительные настройки. На вкладке Operation settings активирован таймер приема (RX Duty-Cycle = On, RX Timer = On, RX Time T1 = 20 мс, RX Exit State = SLEEP) и таймер сна (Sleep Timer = On, Sleep Time = 500 мс). Для быстрой смены режимов приема и сна была отключена калибровка тактовой частоты таймеров (LFOSC Calibration = Off). Это в некоторой степени снижало точность отсчета интервала сна, что некритично для данного приложения. Кроме того, на этой же вкладке были заданы параметры обнаружения несущей, необходимые для разблокирования выхода приемника в случае наличия передачи в радиоканале (RSSI Valid Source = PJD и PJD Window = 8 Jumps). Выбор этих параметров определял метод обнаружения передачи: вместо замера силы сигнала детектировались скачки фазы, характерные для частотной модуляции при смене значения передаваемых битов. Сигнал считался обнаруженным при детектировании 8 скачков фазы (прием байта 0xAA или 0x55). При этом существенно снижалась вероятность ложных срабатываний от помех и сигналов других радиосистем, поскольку обнаружение полезного сигнала было привязано к используемому нами битрейту 5 кбит/с. Надежность обнаружения сигнала обеспечивалась соответствующей маской, накладываемой нашим передатчиком на передаваемые данные. При наличии речевых пауз, фиксируемых детектором голоса (VAD), кодек формировал блок из 12 нулевых байт, которые после маскировки модулировались как последовательность байт 0x55 или 0xAA и определялись приемником как преамбула.

На вкладке Feature Settings был включен режим подавления выхода приемника (Dout Mute = On) и настроен режим детектирования уровня принимаемого сигнала (RSSI Detect Mode = Always, RSSi Filter Settings = 8-tap, RSSI Offset = 10, RSSI Offset Sign = 0). Благодаря вышеуказанным настройкам трансивер после первичной инициализации входил в состояние дежурного приема и не требовал дополнительного управления со стороны микроконтроллера. В этом режиме трансивер слушал эфир в течение 20 мс, потребляя 8 мА тока, затем на 500 мс погружался в сон, потребляя при этом 800 нА. Таким образом, среднее энергопотребление составляло около 320 мкА с учетом периода выхода из режима сна с ожиданием запуска опорного генератора радиочастоты. Выход приемника находился в стабильном нулевом состоянии до обнаружения частотно-модулированного сигнала в радиоканале, после чего трансивер выдавал биты преамбулы в течение периода активного приема. Микроконтроллер использовал прерывание по фронту этого сигнала для выхода из режима глубокого сна, работая на пониженной тактовой частоте. В течение 1 с производился анализ состояния выхода приемника. При наличии постоянного битового потока микроконтроллер аппаратно перезапускался, происходил сброс трансивера и его перенастройка для функционирования в рабочем режиме. При отсутствии постоянного битового потока микроконтроллер возвращался в режим глубокого сна, считая, что прерывание было вызвано радиопомехой или спонтанным пакетом чужой радиосистемы. При тестировании в условиях города подобные спонтанные прерывания возникали не чаще одного раза в несколько минут, поэтому их влияние на общее энергопот-ребление в режиме дежурного приема было незначительным.

После формирования утилитой RFPDK выходных текстовых файлов с расширением *.exp отдельно для рабочего режима и режима дежурного приема они конвертировались с помощью утилиты cmt2300a_params_convert.py в соответствующие заголовочные h-файлы и подключались к исходному коду проекта.

Критериями выбора микроконтроллера являлись наличие ядра Cortex-M4F с аппаратной поддержкой математических вычислений с плавающей точкой, тактовой частотой процессора не ниже 72 МГц, объемом постоянной Flash-памяти не менее 128 кбайт и оперативной

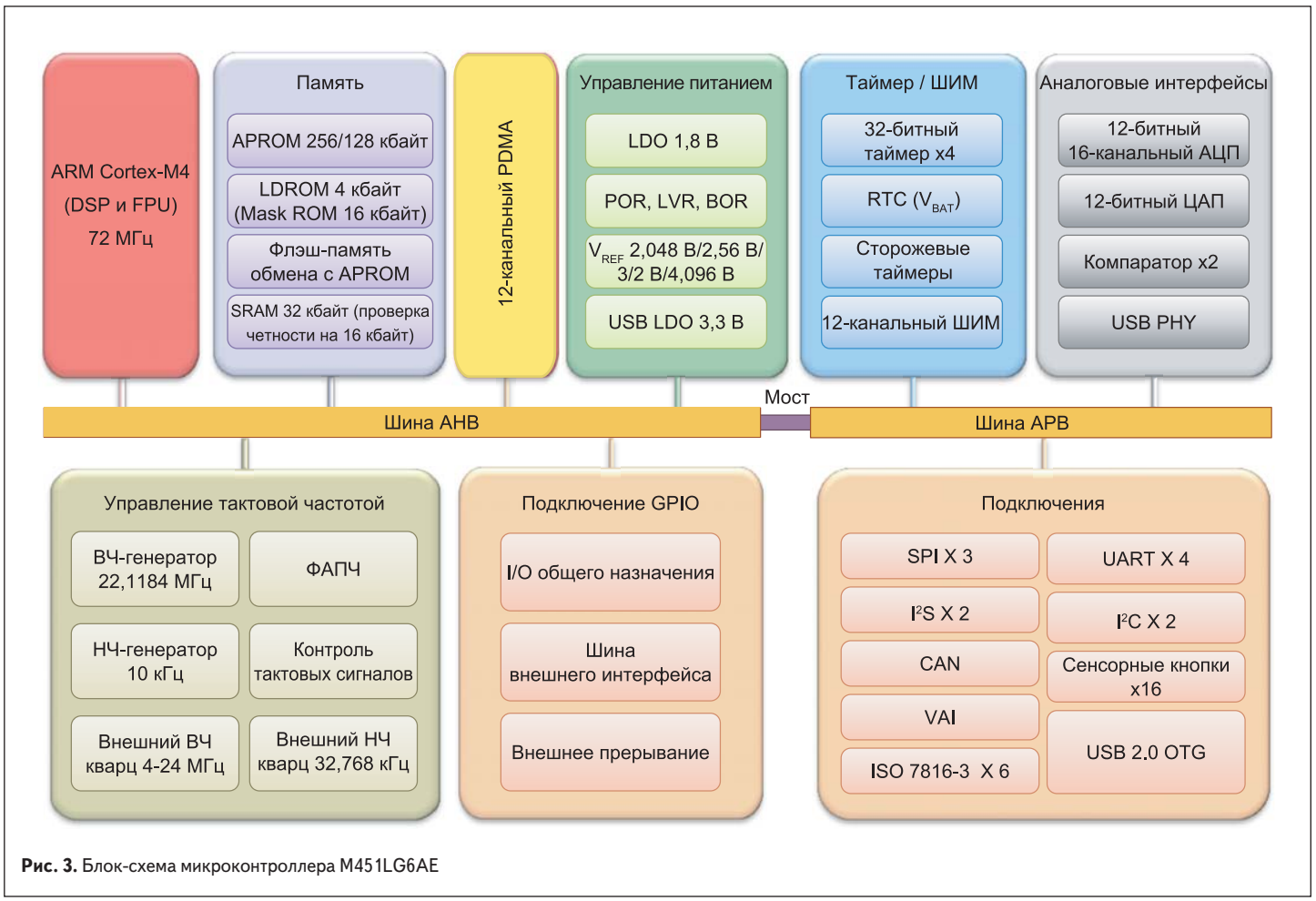


Рис. 3. Блок-схема микроконтроллера M451LG6AE

памяти не менее 32 кбайт. Наиболее бюджетным выбором, соответствующим вышеуказанным характеристикам, явились микроконтроллеры Nuvoton M451LG6AE [6] и NUC505DSA [7]. Блок-схемы данных микроконтроллеров представлены на рис. 3, 4.

Последний вариант выгодно отличался наличием встроенного аудиокодека, исключающего необходимость использования внешнего микрофонного усилителя и выходного усилителя мощности для наушников, необходимых при записи звука с помощью АЦП и воспроизведении с помощью ЦАП (вариант подобной обработки звука был описан в нашей статье [8]).

Серия микроконтроллеров Nuvoton NUC505, представленная нами ранее [9], использует встроенную Flash-память, подключенную к ядру по SPI-интерфейсу, что существенно снижает ее стоимость. Недостатком подобного решения является чрезвычайно низкая скорость исполнения кода непосредственно из Flash-памяти. Так, у микроконтроллеров серии NUC505 при максимальной тактовой частоте ядра Cortex-M4F, равной 100 МГц, обеспечивается реальное быстродействие всего в несколько MIPS, что критически мало для сжатия речи. Единственным выходом становится использование загрузчика, обычно применяемого микропроцессорами: на старте содержимое Flash-памяти, включая исполняемый код и постоянные табличные данные, копируется в ОЗУ, а затем с помощью аппаратных средств область адресов Flash-памяти начиная со стартового вектора отображается на адреса ОЗУ. Код в ОЗУ выполняется без задержки на чтение, что в описанном случае обеспечивает быстродействие около 125 MIPS, вполне достаточное для поставленных нами задач. Единственным ограничивающим фактором остается размер ОЗУ: в выбранном микроконтроллере он составляет 128 кбайт. В него должны поместиться исполняемый код (секция CODE), табличные данные (секция RO), пользовательские переменные и массивы, область стека и область «кучи», необходимая для динамического выделения памяти (секция ZI).

Nuvoton предоставляет шаблоны проектов с уже готовыми scatter-файлами для процесса сборки с размещением исполняемого кода полностью в ПЗУ (по умолчанию), полностью в ОЗУ или частично в ОЗУ (только код, требующий высокого быстродействия). Также имеется шаблон для организации динамической загрузки необходимых фрагментов кода в ОЗУ во время исполнения программы (механизм оверлеев). Для упрощения нашего проекта мы выбрали вариант размещения всего исполняемого кода в ОЗУ, за исключением служебных процедур инициализации микроконтроллера и самого загрузчика, помещаемых в ПЗУ. Основной объем кода формировался за счет AMR-аудиокодека и его табличных данных. Для максимального уменьшения этого объема из кодека была удалена поддержка режимов сжатия, кроме единственного используемого нами режима AMR-4750. В имеющемся у нас исходном коде AMR-кодека [10] кодер и декодер полностью независимы друг от друга и используют различную математику: кодер — с плавающей точкой, а декодер — 32-битную целочисленную. Поэтому табличные данные также независимы, хотя и содержат одинаковые значения, но в различном представлении. При уровне оптимизации O2 (с максимальной скоростью исполнения) размер кода AMR-кодека составил 35 492 байт (из них 10 796 — кодер, 24 696 байт — декодер), размер табличных данных — 27 697 байт (из них 19 140 байт — кодер, 8556 байт — декодер), размер области динамически выделяемой ОЗУ — 6592 байта (из них 5316 байт — кодер, 1276 байт — декодер). Таким образом, полный AMR-кодек занимает около 64 кбайт ПЗУ и дополнительно требует еще около 7 кбайт динамически выделяемой памяти. Для обеспечения стабильной работы кодека в нашем проекте было зарезервировано 12 кбайт ОЗУ для «кучи» и 8 кбайт — для стека. При рабочей частоте Cortex-M4F-процессора 100 МГц и выполнении кода в ОЗУ время процедуры кодирования составило около 8,7 мс при наличии голоса и около 2,9 мс в случае его отсутствия. Время декодирования составило около 1,5 мс, что суммарно с длительностью процедуры кодирования при дуплексной обработке равнялось половине длительности обрабатываемого голосового фрейма продолжительностью 20 мс. Исходя из приведенных расчетов можно сделать вывод, что в данных условиях около половины вычислительных ресурсов процессора остаются свободными и могут быть задействованы на усмотрение пользователя, например для обеспечения

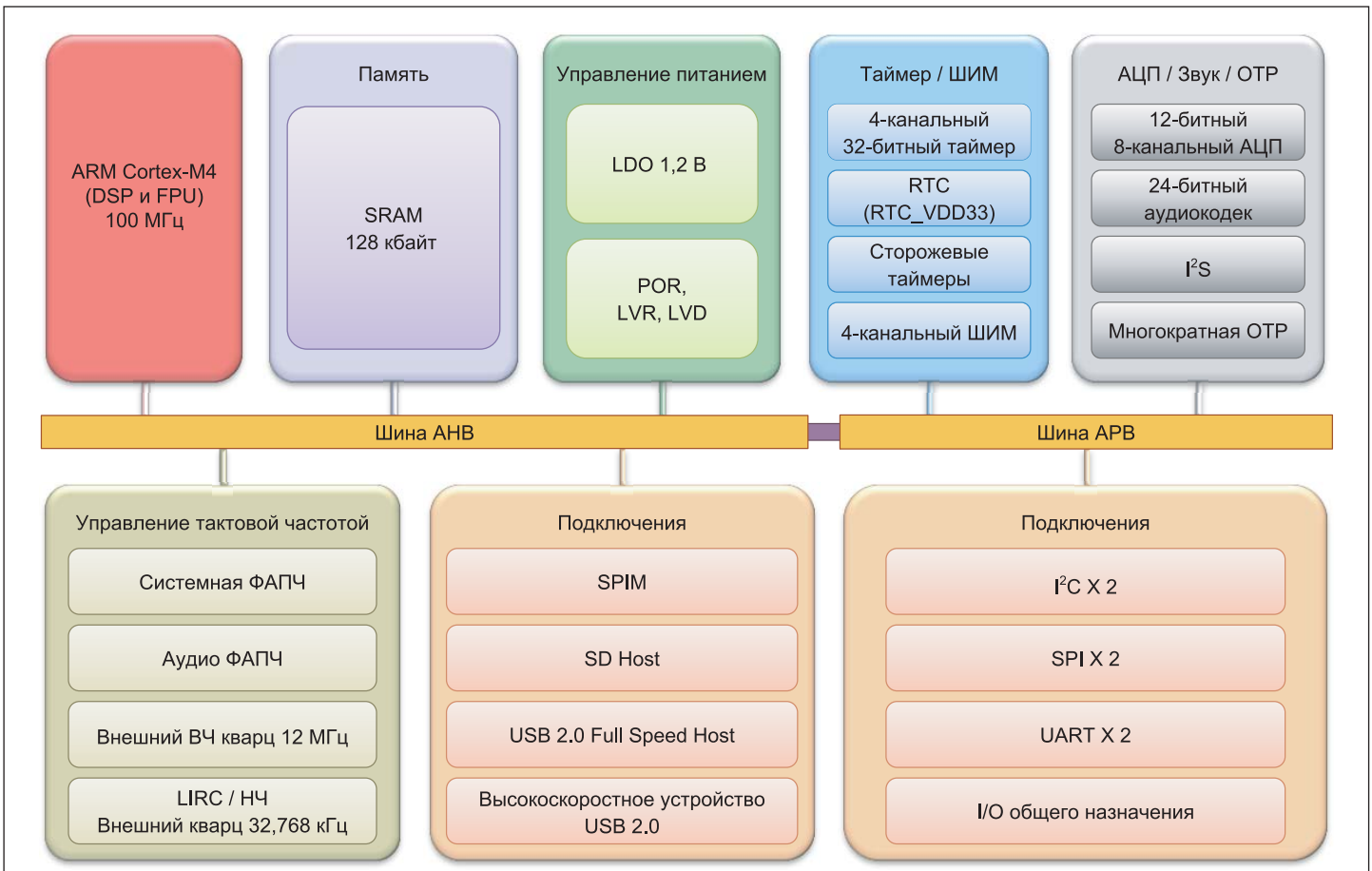


Рис. 4. Блок-схема микроконтроллера NUC505DSA

стойкого шифрования речи с использованием самых надежных криптографических алгоритмов.

Исходный код проекта хорошо структурирован и включает файлы AMR-кодека (папка flt), файлы управления аппаратными модулями (папка hw), файлы управления трансивером (папка rf) и файлы модема (папка mdm). В корневом каталоге находится основной файл main.c и файл обработчика аудиоданных prc.c. Основной файл содержит вызовы процедур стартовой инициализации и основной рабочий цикл программы, в котором обеспечивается взаимодействие периферийных модулей и обработчика аудиоданных одновременно для передачи и приема (дуплекс), хотя трансивер может работать только в одном из этих режимов. Перенастройка трансивера, осуществляемая через SPI-подобный интерфейс, является блокирующей процедурой и выполняется только при смене режима работы «прием-передача» на входе в основной цикл программы.

Обработчик аудиоданных, представленный в файле prc.c, содержит две FIFO-очереди (одна — для передачи, другая — для приема), каждая состоит из трех сжатых речевых фреймов. Речевой фрейм, обрабатываемый AMR-кодеком, — это 160 16-битных PCM-сэмплов с частотой сэмплирования 8 кГц. Длительность такого фрейма составляет 20 мс. В сжатом виде фрейм представляет собой 12-байтный блок данных (1 бит — индикатор голоса или тишины, 95 бит — описатель голоса или нули в случае тишины). Определение речевых пауз производится голосовым детектором, встроенным в AMR-кодек. Таким образом, во время голосовых пауз существует возможность передачи произвольных пользовательских данных, например, для синхронизации однонаправленных счетчиков фреймов или обмена сессионными публичными ключами при использовании шифрования.

Интерфейс обработчика аудиоданных в режиме передачи обеспечивает:

- сжатие речевого фрейма, полученного от записывающего аудиоустройства, и помещение полученного блока данных в очередь;
- извлечение блока данных из очереди и модуляция его в последовательность бит для отправки на вход трансивера.

В режиме приема обеспечивается:

- демодуляция последовательности бит, захваченных с выхода трансивера, и помещение полученного блока данных в очередь;
- извлечение блока данных из очереди, декодирование и выдача PCM-фрейма для дальнейшего проигрывания через устройство воспроизведения аудио.

Дополнительно реализован механизм, позволяющий избежать переполнения или недонаполнения очереди приемника. Темп проигрывания аудиоблоков определяется частотой кварцевого резонатора приемника, в то время как темп их поступления — частотой кварцевого резонатора удаленного передатчика. Допустимая погрешность кварцевых резонаторов может достигать 20 ppm, таким образом, разность частот в худшем случае составляет 40 ppm. Для компенсации такой разности предусмотрен механизм контроля наполнения очереди приемника и формирование сигнала ускорения или замедления темпа проигрывания аудио. При использовании проигрывания аудио с помощью ЦАП его скорость может быть скорректирована аппаратно подстройкой соответствующего таймера, но при использовании встроенного кодека скорость проигрывания равна скорости записи. Поэтому любое изменение частоты сэмплирования приведет к нарушению скорости передачи, что недопустимо в дуплексном режиме. Единственным выходом является программное изменение в небольших пределах частоты сэмплирования аудиопотока перед его выдачей на проигрыватель. В нашем проекте это обеспечивал ресемплер, вычисляющий значение выдаваемого сэмпла по двум соседним сэмплам методом линейной интерполяции. Ухудшения качества речи на выходе такого ресемплера вполне приемлемо для телефонии, а вычислительные затраты намного ниже по сравнению с более сложными алгоритмами, используемыми, например, для обработки музыки. Незначительное изменение тональности речи в пределах диапазона подстройки незаметно на слух, что избавляет от необходимости применения более сложных алгоритмов изменения темпа речи при сохранении ее тональности. Кроме того, процесс ресемплирования запускается только при проигрывании непрерывных речевых фрагментов длиной в несколько десятков секунд. При наличии речевых пауз наполнение очереди корректируется путем вставки или пропуска фреймов тишины, при этом наблюдается незначительное увеличение или уменьшение пауз между словами, что также незаметно на слух.

Реализация аппаратного захвата и проигрывания аудио описана в файле aud.c и зависит от возможностей конкретного микроконтроллера. В случае выбора серии Nuvoton NUC505 применяется встроенный кодек, предварительно настраиваемый на этапе инициализации, использующий прямой доступ к памяти (DMA) для записи фрейма в буфер и формирующий аппаратное прерывание при его готовности. Для обеспечения одновременного непрерывного процесса записи и воспроизведения в памяти выделяется два двойных буфера: в то время, когда кодек работает с одной половиной буфера в режиме DMA, вторая половина доступна микропроцессору.

Интерфейс программного аудиомодуля представлен двумя неблокирующими функциями опроса готовности буферов записи и воспроизведения, постоянно вызываемыми из основного цикла программы. Каждые 20 мс при готовности аудио функция записи возвращает указатель на буфер, содержащий записанный фрейм, а функция воспроизведения — на буфер, куда необходимо поместить новый фрейм для дальнейшего его проигрывания. При получении ненулевого указателя необходимо вызвать соответствующую функцию модуля обработки аудио для помещения записанного фрейма в очередь передатчика или извлечения следующего фрейма для его проигрывания из очереди приемника.

Реализация выдачи битового потока на трансивер в режиме передачи и захвата данных с трансивера в режиме приема описана в файле spp.c. Для обеспечения дуплексной работы предусмотрены два независимых аппаратных SPI-модуля микроконтроллера. Оба модуля работают в режиме мастера, их тактовая частота равна 16-кратному битрейту радиоканала и составляет 80 кГц. Таким образом, приемник в течение одного бита данных захватывает 16 отсчетов, а в передатчике каждый бит кодируется записью значения 0x0000 или 0xFFFF в регистр данных SPI.

Использование приемником и передатчиком двух различных аппаратных SPI-модулей необходимо для обеспечения независимой подстройки тактовой частоты приемника, которая должна соответствовать тактовой частоте передатчика на удаленной стороне. Как уже говорилось выше, разница в частоте кварцевых резонаторов передатчика и приемника может достигать 40 ppm, и в этих пределах частота тактирования SPI-приемника должна быть скорректирована для обеспечения синхронизации и непрерывности потока принимаемых данных. Корректирующий сигнал формируется демодулятором (см. ниже) и на короткое время изменяет коэффициент делителя тактового сигнала аппаратного модуля SPI-приемника, удерживая его среднюю частоту в пределах частоты удаленного передатчика. При этом в дуплексном режиме частота аппаратного модуля SPI-передатчика должна оставаться стабильной в качестве мастер-сигнала для синхронизации удаленного приемника.

Модули SPI-микроконтроллеров серии NUC505, к сожалению, не имеют прямого доступа к памяти, поэтому для работы с ними мы применяли прерывания. Использование 32-битного режима работы и встроенного аппаратного 8-уровневого буфера обеспечивает обработку всего 6–7 прерываний в течение длительности аудиофрейма (20 мс), что незначительно сказывается на быстродействии в целом. Интерфейс программного модуля данных аналогичен аудиоинтерфейсу и представлен двумя неблокирующими функциями, возвращающими ненулевые указатели на соответствующие половины двойных буферов данных передатчика и приемника при их готовности.

Битовый поток, захваченный с выхода приемника, поступает на демодулятор, описанный в файле mdm.c. Основными задачами демодулятора являются:

- определение границ информационного бита, представленного 16 отсчетами (двумя байтами), и его детектирование — определение значения 0 или 1, а также их вероятности (LLR);
- определение границ блоков данных, соответствующих аудиофреймам, упаковка принятых информационных бит в 12-байтный блок;
- строгая синхронизация счетчика принятых блоков со счетчиком на стороне передатчика (необходима для криптографических целей);
- формирование флага обнаружения или потери синхронизации для дальнейшего управления работой приемника (включением выходного усилителя и переключением в режим дежурного приема).

Первая из поставленных задач заменяет аппаратный механизм CDR, отключенный нами в трансивере. Так как каждый бит представлен 16 отсчетами, предполагается, что эти отсчеты в своем большинстве будут одинаковы на протяжении бита, за исключением, возможно, небольшой области смены значения бита на противоположное и ошибок вследствие действия радиопомех. Таким образом, демодулятор подсчитывает количество совпадающих отсчетов в пределах границы бита для каждой из 16 возможных позиций. Результат усредняется с помощью фильтра на протяжении нескольких обработанных блоков данных, затем определяется позиция с наибольшим количеством совпадений. Исходя из выбранной позиции, анализируется 8 отсчетов, расположенных в центре предполагаемой области информационного бита, определяется значение бита («0» или «1») и его вероятность по количеству совпадающих отсчетов. Сигнал для подстройки битрейта приемника формируется таким образом, чтобы удерживать битовую границу в пределах седьмого-восьмого отсчета. При небольшой разности битрейта передатчика и приемника наблюдается медленный уход границы бита в одну или другую сторону, соответственно, периодически формируется сигнал ошибки, корректирующий частоту тактирования приемного SPI-модуля и удерживающий битовую границу в указанных пределах.

Для определения границы блока используется механизм синхронизации демодулятора «на лету». Обычно при пакетной передаче данных аналогичная задача решается отправкой преамбулы с последующей синхронизирующей последовательностью в начале каждого пакета. Подобный механизм добавляет к полезным данным значительную избыточность. Для непрерывной потоковой передачи оптимальна вставка короткой синхронизирующей битовой последовательности между блоками данных и использование фильтрации для накопления информации о ее позиции в течение приема нескольких блоков. Мы использовали 4-битовую синхронизирующую вставку в виде увеличивающегося счетчика блоков, добавляя ее в поток данных после каждых 96 бит полезной нагрузки (12 байт, соответствующих сжатому аудиофрейму длительностью 20 мс). Таким образом, избыточность составила всего 4%, и в течение 20 мс по радиоканалу передавалось 100 бит данных, что определяло рабочий битрейт в 5 кбит/с. Поиск границы фрейма производился путем подсчета совпадений текущего значения синхровставки (счетчика блоков) с предыдущим, увеличенным на единицу. Соответствующее количество совпадений накапливалось для каждой из 100 возможных битовых позиций, и определялась позиция с максимальным количеством таких совпадений, предположительно являющаяся границей блока данных. Зная границу блока данных, демодулятор упаковывал принимаемые биты в блок, расставляя каждый из них на свое место.

Значения синхровставок (номера блоков данных) использовались для синхронизации внутреннего счетчика принятых блоков. Синхронизация выполнялась с помощью фильтрации на протяжении нескольких последовательных блоков, что исключало спонтанные ошибки при наличии помех и формировало стабильное значение номера принятого блока, пригодное для криптографических целей (для потокового шифрования речи). Для определения флага состояния синхронизации приемника, указывающего на наличие сигнала в радиоканале, применялись счетчики совпадений и несовпадений принятого номера блока с предполагаемым его значением. При достижении определенных порогов состояние флага изменялось, динамически отображая наличие или отсутствие синхронизации демодулятора.

В файле com.c описан интерфейс работы с аппаратным модулем UART, обеспечивающим прием пользовательских команд и передачу тестовой информации о состоянии устройства. Микроконтроллеры серии NUC505 имеют 64-байтные FIFO-буферы UART, что гарантирует передачу и прием пакетов данных соответствующей длины без использования DMA или прерываний. Готовность принятого пакета определяется по аппаратному флагу тайм-аута, который выставляется при неактивности приемника UART в течение заданного интервала времени длительностью 100 бит (около 1 мс при скорости обмена 115 200 бит/с) и наличии данных в аппаратном буфере. Принятые данные помещаются в 64-байтный массив, и интерфейсная неблокирующая функция, постоянно вызываемая из основного цикла, возвращает их длину.

В данном проекте возможность смены частотного канала была реализована с помощью команды:

F = xxx<CR><LF>,

где xxx — номер канала в пределах 0–255.

Фактическая частота определяется увеличением базовой частоты нулевого канала (в нашем случае равной 868 МГц) на значение, равное номеру канала, умноженному на интервал (в нашем случае установленный в 10 кГц). Таким образом, частота канала 255 равна 870,55 МГц. Новая частота канала устанавливается при смене режима работы с приема на передачу и наоборот. При выборе канала пользователь должен следить за тем, чтобы оставаться в пределах ISM-диапазона, разрешенного местным законодательством в сфере планирования радиочастотного спектра.

В режиме приема при отсутствии активности пользователя (переключении в режим передачи нажатием кнопки тангенты) и активности в радиоканале в течение установленного промежутка времени (в нашем проекте 60 с) коммуникатор переходит в режим дежурного приема с минимальным энергопотреблением. Работа в этом режиме описана в файле pdc.c. Трансивер переводится в режим автоматического чередования приема и сна путем полного перезапуска и загрузки альтернативного комплекта радиопараметров в его регистры. Затем микроконтроллер останавливает все работающие аппаратные модули, потребляющие энергию, понижает рабочую частоту шины процессора до минимально возможного значения (для серии NUC505 это 750 кГц), активирует прерывания по изменению состояния выхода трансивера и кнопки тангенты и входит в состояние глубокого сна. К сожалению, архитектура серии NUC505 не предназначена для эффективного энергосбережения, так как требуется непрерывная регенерация данных в ОЗУ, при этом потребляется ток около 700 мкА, что в сумме со средним потреблением трансивера в режиме периодического приема составляет около 1 мА. При использовании серии M451 в режиме глубокого сна удается снизить потребляемый микроконтроллером ток до 20 мкА и таким образом почти втрое продлить время работы устройства от батареи в режиме дежурного приема.

После выхода из режима глубокого сна при обнаружении активности в радиоканале микроконтроллер в течение заданного промежутка времени (1 с) периодически сканирует выход трансивера и подсчитывает количество случаев определения логической единицы. После сравнения результата с пороговым значением принимается решение о переходе в рабочий режим или возвращении обратно в режим сна. Этот механизм предотвращает выход из режима дежурного приема при обнаружении единичного «чужого» пакета, тем самым дополнительно экономя энергию батареи.

Переключение из режима дежурного приема в рабочий режим происходит путем полного перезапуска микроконтроллера и повторной инициализации регистров трансивера. К сожалению, в микроконтроллере серии NUC505 при выполнении кода в ОЗУ не удалось с помощью программного сброса выполнить полноценную передачу управления коду загрузчика, расположенному в Flash-памяти, поэтому мы использовали аппаратный сброс путем установки нулевого уровня на выводе микроконтроллера, физически соединенном с цепью сброса. Для микроконтроллеров серии M451, выполняющих код непосредственно из Flash-памяти, программный сброс приводит к полному перезапуску, что избавляет от необходимости использования дополнительной цепи аппаратного сброса.

Нужно отметить, что после начала передачи в радиоканале устройству, находящемуся в режиме дежурного приема, потребуется около 3 с до включения усилителя динамиков и выдачи голосового сообщения. При этом выполняются следующие операции: открытие окна приема (0–500 мс), определение активности в канале по последовательным скачкам фазы сигнала (1–2 мс), дополнительный анализ выхода приемника (1 с), аппаратный сброс с переносом исполняемого кода в ОЗУ (около 300 мс), инициализация трансивера (50 мс) и синхронизация демодулятора (около 200 мс).

В случае работы трансивера в режиме обычного приема задержка после включения передатчика составляет менее 200 мс и определяется временем, необходимым на синхронизацию демодулятора. Светодиодный индикатор отображает текущее состояние устройства: в режиме передачи он зажигается при наличии речи, в режиме приема при отсутствии сигнала вспыхивает раз в секунду, а при его наличии быстро мигает. В режиме дежурного

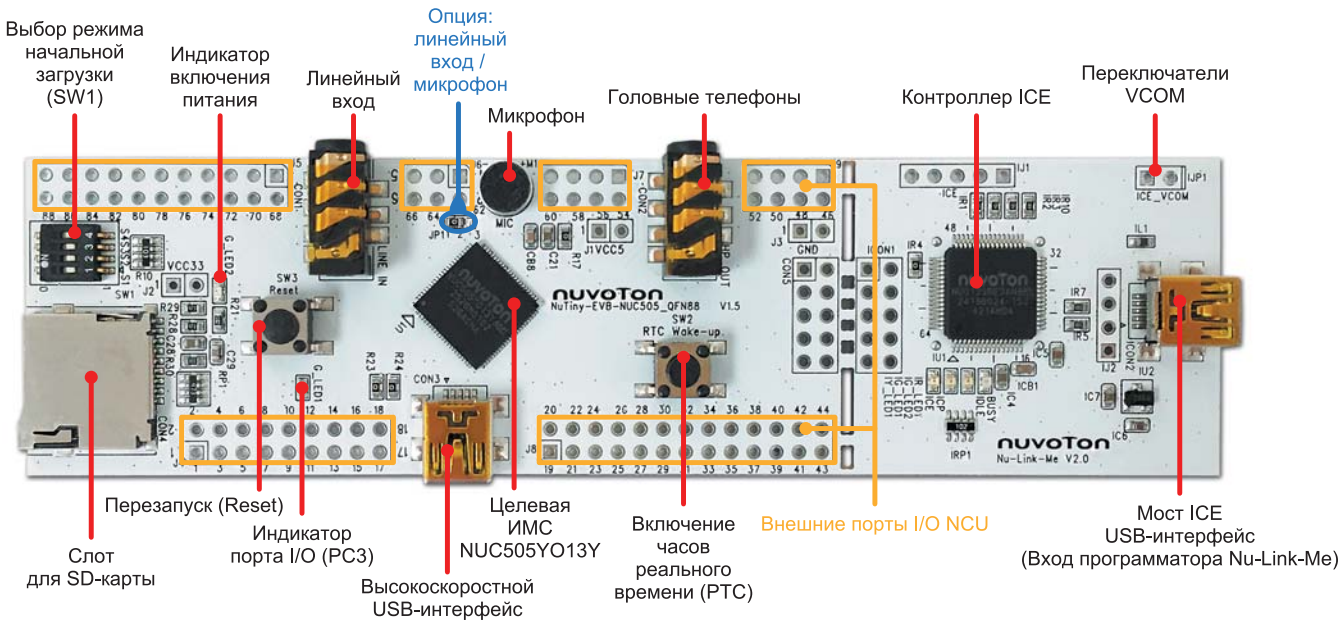


Рис. 5. Отладочная плата NuTiny-SDK-NUC505 с микроконтроллером NUC505YO13Y

приема светодиод для экономии заряда батареи не включается.

На этапе разработки проекта [11] использовалась отладочная плата NuTiny-SDK-NUC505 [12] с установленным на ней старшим представителем серии NUC505: микроконтроллером NUC505YO13Y в 88-выводном корпусе (рис. 5). Шаблон нашего проекта соответствовал данному микроконтроллеру. При переносе проекта на один из младших представителей серии (например, на рекомендуемый нами микроконтроллер NUC505DSA) необходимо обратить внимание на наличие физических портов ввода/вывода, использующихся в проекте, и при необходимости переназначить отсутствующие сигналы в файлах pdc.c, gpc.c и gpc.h. В качестве альтернативного решения нами представлен параллельный проект [13] для серии M451, использующий вместо аудиокодека модули АЦП и ЦАП для записи и проигрывания аудио. Проект был реализован на отладочной плате NuTiny-SDK-M453 [14] с установленным на ней микроконтроллером M453VG6AE, но с вышеприведенными оговорками совместим с более дешевыми младшими представителями серии, например M451LG6AE (рис. 6). Подключение к данным отладочным платам модуля RFM300W и других необходимых внешних элементов показано в таблицах 1 и 2 соответственно.

Испытания устройства проводились в условиях умеренной городской застройки, устройства находились в руках операторов. В качестве антенн использовались четвертьволновые отрезки провода длиной 85 мм. Связь обеспечивалась на расстоянии около 300 м. Сигнал успешно преодолевал препятствие в виде железобетонного здания, позволяя организовать уверенную связь в пределах нескольких этажей. В режиме активного приема общий потребляемый ток составлял около 50 мА, в режиме передачи при выходной мощности трансивера 20 мВт — около 90 мА.

Таким образом, разработанные нами проекты демонстрируют возможность использования Cortex-M4F-микроконтроллеров общего назначения Nuvoton NUC505DSA (со встроенным аудиокодеком) или Nuvoton M451LG6AE (со встроенными 12-битными модулями АЦП и ЦАП) вместе с радиотрансивером HopeRF RFM300W в составе миниатюрной цифровой радиостанции.

Для записи и воспроизведения речи используются интегрированные в микроконтроллер аудиокодек или 12-битные АЦП и ЦАП. Трансивер CMT2300A функционирует в «прозрачном» режиме, модуляция и демодуляция осуществляются программными средствами микроконтроллера. Скорость передачи данных в радиоканале составляет 5 кбит/с.

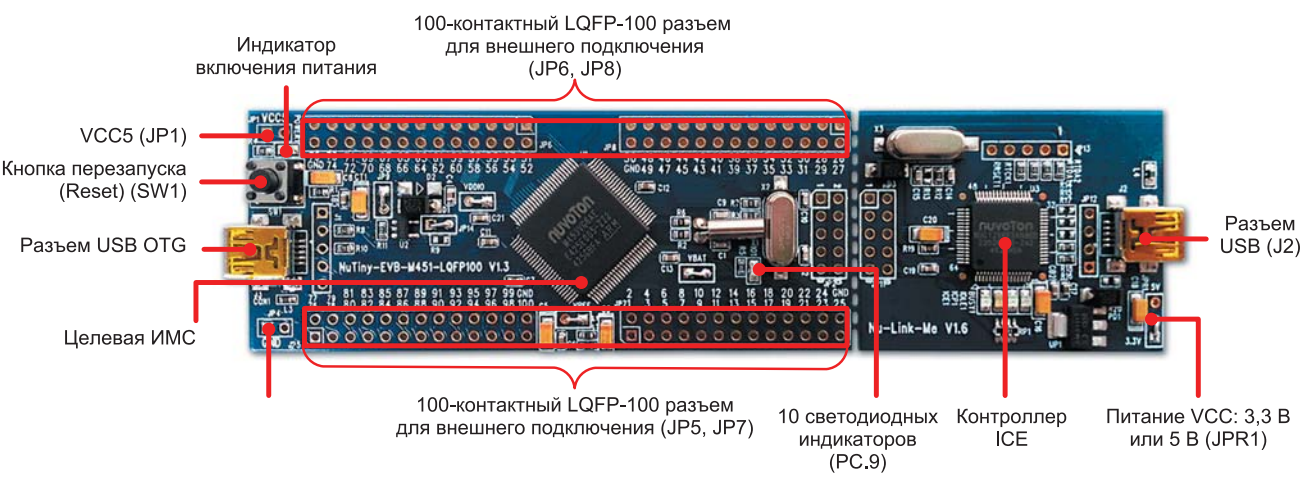


Рис. 6. Отладочная плата NuTiny-SDK-M453 с микроконтроллером M453VG6AE

Для сжатия речи применяется алгоритм AMR-4750 с математикой с плавающей точкой одинарной точности, аппаратно поддерживаемой ядром Cortex-M4F. Качество речевого сигнала соответствует обычной GSM-связи.

Такая радиостанция позволяет организовать симплексную радиосвязь на расстояниях до 300 м и при необходимости обеспечить шифрование голоса с нужным уровнем защиты. Сверхнизкий ток потребления в режиме дежурного приема гарантирует длительную работу от одного комплекта батарей. Доступность и невысокая стоимость используемых компонентов определяют привлекательность такого изделия для массового производства. ■

Литература

1. Об утверждении плана использования радиочастотного ресурса Украины. www.search.ligazakon.ua/l_doc2.nsf/link1/KP060815.html
2. CMT2300AW — new 4-wire SPI 213-960Mhz RF Transceiver IC. www.hoperf.com/ic/rf_transceiver/CMT2300A.html
3. Гаевский С. Новый интегрированный трансиве CMT2300AW — универсальное решение для передачи данных на короткие дистанции // CHIP NEWS Украина. 2018. № 3 (173).
4. Гаевский С. Радиоудлинитель COM-порта с низким энергопотреблением // CHIP NEWS Украина. 2020. № 4 (194).
5. HOPERF & CMOSTEK RFPDK tool for Wireless RF Developing Stage. CMOSTEK RFPDK_V1.50. www.hoperf.com/information/tool.html
6. M451LG6AE NuMicro M451 Base series 32-bit microcontroller. www.nuvoton.com/products/microcontrollers/arm-cortex-m4-mcus/m451-base-series/m451lg6ae/
7. NUC505DSA NuMicro NUC505 seri-es 32-bit microcontroller. www.nuvoton.com/products/microcontrollers/arm-cortex-m4-mcus/nuc505-series/nuc505dsa/
8. Гаевский С. Голосовой коммуникатор на базе микроконтроллера Nuvoton M451LG6 // CHIP NEWS Украина. 2018. № 1 (171).
9. Захаров В. Микроконтроллеры серии NUC505 на базе ядра ARM Cortex-M4 компании Nuvoton Technology // CHIP NEWS Украина. 2016. № 6 (156).
10. TS 26.104 ANSI-C Code for the floating-point Adaptive Multi-Rate (AMR) Speech Codec. www.portal.3gpp.org/desktopmodules/Specifications/SpecificationDetails.aspx?specificationId=1400
11. Low power voice digital radio on Nuvoton NUC505 Microcontroller and CMOSTEK CMT2300A transceiver. www.github.com/gegel/NUC505_radio
12. NuMicro Family NuTiny-SDK-NUC505 User Manual. www.microchip.ua/nuvoton/UM_NuTiny-SDK-NUC505_EN_Rev1.01.pdf
13. Low power voice digital radio on Nuvoton M451 Microcontroller and CMOSTEK CMT2300A transceiver. www.github.com/gegel/M451_radio
14. NuTiny-SDK-M453 User Manualfor NuMicro M453 Series. www.nuvoton.com/export/resource-files/UM_NuTiny-SDK-M453_EN_Rev1.00.pdf

Таблица 1. Подключение внешних модулей к отладочной плате NuTiny-SDK-NUC505

Порт МС	Вывод платы	Сигнал	Примечание	Назначение
Подключение модуля трансивера RFM300				
PB12	80	SPI1 MOSI	Подключено через резистор 1 кОм	GPIO1
PB5	46	SPI0 MISO		
PB0	41	INT	Прерывание по активности приемника	
PB6	47	IN/OUT	Данные управления трансивером	SDIO
PB7	48	OUT	Такт управления трансивером	SCLK
PB8	50	OUT	Сигнал выбора трансивера	CSB
PB9	51	OUT	Доступ к буферу данных трансивера	FCSB
VDD	52	PWR	Питание трансивера 3,3 В	VDD
GND	89	PWR		GND
Дополнительные цепи управления				
PA10	30	OUT	Управление внешним УНЧ	1 — вкл. УНЧ
PA11	31	OUT	Управление внешним микрофоном	1 — вкл. МК
PC0	7	OUT	Сигнал аппаратного сброса	Соединить
RST	1	RST IN	Цепь сброса микроконтроллера	
Интерфейс пользователя				
PA9	29	UART1 RX	Посылка команды смены радиоканала	115200 бит/с
PA8	28	UART1 TX	Выдача тестового лога	115200 бит/с
PC12	83	IN, pull up	Тангента, кнопка замыкает на GND	Соединить, на кнопку
PB1	42	INT	Соединить с тангентой, прерывание	
PC13	84	OUT	Светодиод, анод соединить с VCC ч/з R = 1 кОм	
PC6	14	IN, pull up	Джампер включения режима тестовой передачи (непрерывный счет)	Соединить для включения теста
PC5	13	OUT	«Земля» для джампера	

Таблица 2. Подключение внешних модулей к отладочной плате NuTiny-SDK-M453

Порт МС	Вывод платы	Сигнал	Примечание	Назначение
Подключение модуля трансивера RFM300				
PA5	61	SPI1 MOSI	Подключено через резистор 1 кОм	GPIO1
PE10	68	SPI0 MISO		
PE5	54	INT	Прерывание по активности приемника	
PE1	65	IN/OUT	Данные управления трансивером	SDIO
PE8	66	OUT	Такт управления трансивером	SCLK
PE9	67	OUT	Сигнал выбора трансивера	CSB
PE4	53	OUT	Доступ к буферу данных трансивера	FCSB
VDD	64	PWR	Питание трансивера 3,3 В	VDD
GND	63	PWR		GND
Дополнительные цепи управления				
PA14	85	OUT	Управление внешним УНЧ	1 — вкл. УНЧ
PA15	86	OUT	Управление внешним микрофоном	1 — вкл. МК
Интерфейс пользователя				
PD6	21	UART0 RX	Посылка команды смены радиоканала	115200 бит/с
PD1	15	UART0 TX	Выдача тестового лога	115200 бит/с
PB1	92	ADC IN	Микрофонный вход, DC = 1,5 В, 1 В эфф.	На вход УНЧ
PB0	91	DAC OUT	НЧ-выход, 1 В эфф.	На выход МК
PC7	52	IN, pull up	Тангента, кнопка замыкает на GND	На кнопку
PC6	51	OUT	Светодиод, анод соединить с VCC ч/з R = 1 кОм	На светодиод
PB13	1	IN, pull up	Джампер включения режима тестовой передачи (непрерывный счет)	Соединить для включения теста
PB14	2	OUT	«Земля» для джампера	

LoRaWAN в России.

Реальные проекты на основе модулей ACSIP

Сети LoRa активно наращивают абонентскую базу. При помощи сервисов LoRaWAN компании могут определять влажность и температуру на промышленных объектах, городские электросети — экономить на энергопотреблении уличного освещения, поставщики коммунальных ресурсов — контролировать расход газа, воды и электроэнергии в режиме реального времени или с заданной регулярностью. Множество российских проектов основано на модулях компании ACSIP, официальным дистрибьютором которых является компания «Евромобайл».

Алексей Орешников
alexey.oreshnikov@euroml.ru

Что такое LoRa

LoRa (Long Range Radio) в переводе на русский язык означает «дальняя радиосвязь». LoRa одновременно является методом модуляции и технологией, которые были разработаны и запатентованы в 2015 году французской компанией Semtech. Метод модуляции основан на технике расширения спектра и представляет собой вариацию линейно-частотной модуляции.

Благодаря высокой чувствительности технология LoRa подходит для устройств с низким энергопотреблением и для устойчивой связи на большие расстояния. Этот стандарт предназначен для сетей межмашинного взаимодействия и IoT.

LoRaWAN — сетевой протокол, который поддерживается некоммерческой организацией LoRa Alliance. Члены LoRa Alliance разрабатывают конечные устройства, базовые станции, программное обеспечение и т. д.

Конечные устройства по протоколу LoRaWAN соединяются с базовой станцией, далее через Интернет информация с устройств поступает на серверы, где и обрабатывается (рис. 1). Затем данные с серверов отображаются в пользовательском ПО: в личном кабинете или диспетчерском пункте.

Как LoRaWAN работает в России

В России действует несколько операторов LoRaWAN. Самые крупные по количеству

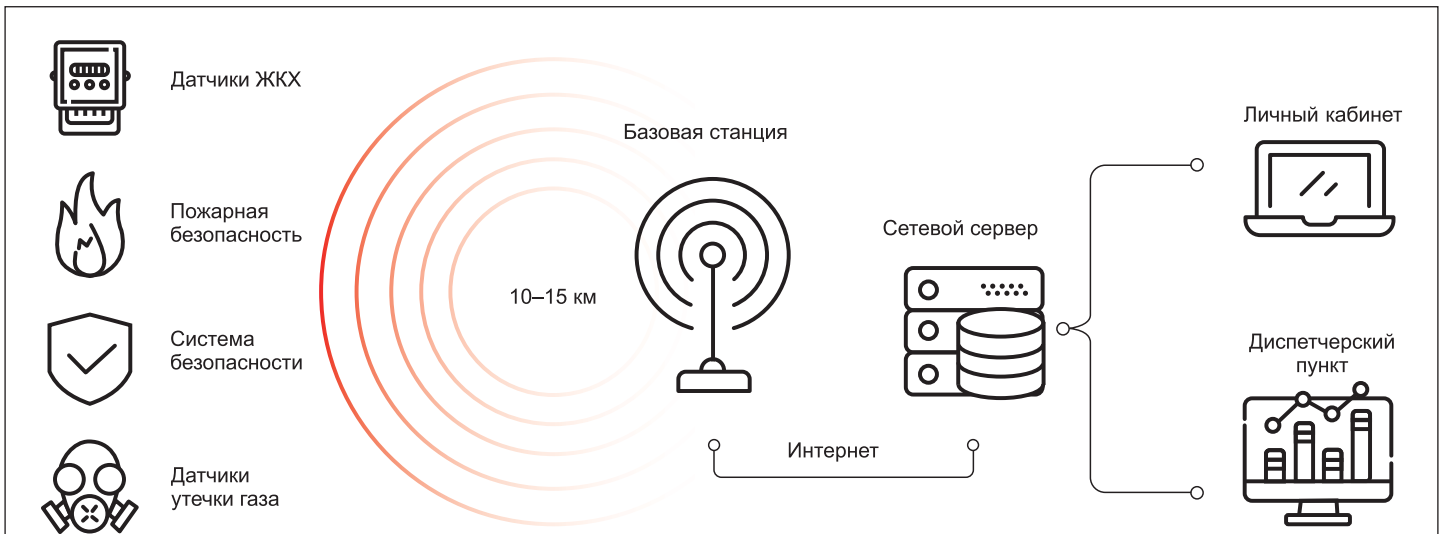


Рис. 1. Архитектура сети на основе LoRaWaN

подключенных абонентских устройств — «Эр-Телеком», LarTech и «Сеть 868». Например, «Эр-Телеком» отхватывает 2/3 территории России и первым развернул сети в 62 городах страны. LarTech подключила свыше 100 тыс. устройств более чем в 20 регионах России. «Сеть 868» представлена почти в 30 регионах, а количество подключенных устройств превысило 50 тыс.

Кроме того, сети LoRa разворачивают сами предприятия, например на промышленном объекте. Такие сети называют частными. Для того чтобы компания сама оперировала LoRaWAN, потребуются базовая станция, блок питания и конечные устройства, локальный сервер и пользовательское программное обеспечение.

В каталоге «Евромобайл» представлен широкий выбор готового оборудования и модулей LoRa для разработки собственных конечных устройств (рис. 2). Для приобретения доступны и модули тайваньской компании ACSIP (Advanced Communication System in Package).

ACSIP основана в 2009 году и делает фокус на создание миниатюрных модулей в SIP-корпусе. У компании есть линейки Wi-Fi-, Bluetooth- и LoRa-модулей.

Рис. 2. Оборудование для построения локальных сетей LoRa

Обзор линейки LoRa-модулей ACSIP

В портфеле ACSIP — четыре LoRa-модуля, но только два из них — S76S (рис. 3) и S76G (рис. 4) — работают в диапазоне 868 МГц, используемом LoRaWAN-операторами в России.

Модуль S76S исполнен в SIP-корпусе, монтируется по схеме LGA, его размеры 13×11×1,1 мм. Трансивером служит чип Semtech SX1276, имеется встроенный процессор STM32 и встроенная флэш-память 192 кбайт и 20 кбит ОЗУ. S76S оснащен всеми современными интерфейсами, необходимыми разработчикам.

Диапазон рабочих температур модуля составляет –40…+85 °C. Управлять S76S можно с помощью внешнего процессора посредством AT-команд либо использовать SDK для написания приложения. Софт будет применяться внутри модуля. Модуль успешно прошел испытания в лаборатории LoRa Alliance.

Особенности модуля S76S:

- готовый модуль с эпоксидным литьем в исполнении LGA;
- встроенная память: до 192 кбайт флэш-памяти и 20 кбайт ОЗУ;
- выходная мощность (макс.): +14 дБ (EU868); +20 дБ (опционально);
- настраиваемая скорость передачи данных: до 300 кбит/с;
- высокая чувствительность: менее –137 дБм;
- модуляция FSK, GFSK, MSK, GMSK, LoRa и OOK;
- пакетная передача до 256 байт с CRC;
- встроенный температурный датчик и индикатор низкого заряда батареи.

Также для модуля разработана отладочная плата EK-S76SXB с антенным выходом с разъемом SMA и USB-интерфейсом для подключения к компьютеру. Отладочная плата — это оптимальный инструмент для разработчиков и тех, кто интересуется технологией LoRa. Поддерживает соединения типа «точка-точка» и «точка-многоточка». Для тестирования LoRa достаточно двух отладочных плат и соединения «точка-точка».

Модуль S76G — более новый в линейке ACSIP, оснащен встроенным навигационным приемником от компании Sony. Остальные характеристики схожи с S76S (память, трансивер, рабочие температуры). Распиновки чипов немного отличаются, а S76G — немного толще. Если планируется использовать S76S и S76G на одной плате, то придется предусматривать площадку под оба модуля. Отладочная плата для этого модуля отличается от S76S только наличием разъема под навигационную антенну.

Характеристики модуля S76G:

- микроконтроллер STM32L073Z;
- высокопроизводительный ARM Cortex-M0+ 32-bit RISC, 32 МГц;
- встроенная память: до 192 кбайт флэш-памяти и 20 кбайт ОЗУ;
- интерфейсы SWD и JTAG для прошивки и отладки;
- USB 2.0;
- особенности LoRa:
  - LoRa-чип Semtech SX1276;
  - LoRa-модем;
  - выходная мощность (макс.): +14 дБ (EU868); +20 дБ (опционально);
  - настраиваемая скорость передачи данных: до 375 кбит/с;
  - высокая чувствительность: до –137 дБм;
  - защита от блокировки;
  - детектор преамбулы;
  - автоматическое определение частоты и CAD со сверхбыстрой автоподстройкой частоты приема;
  - полезная нагрузка до 128 байт с CRC;
- особенности ГНСС:
  - ГНСС-чип: SONY CXD5603GF;
  - приемник ГЛОНАСС/GPS/GALILEO/BEIDOU;
  - ультранизкое энергопотребление;
  - поддержка SBAS/QZSS.

Недавно компания ACSIP запустила в серийное производство модуль S62F (рис. 5). Его размеры меньше, чем у предыдущих модулей, и составляют 9×8×1,1 мм. Он имеет программируемый битрейт и низкое энергопотребление. Модуль построен на более новой микросхемы Semtech SX1262. В нем нет встроенного процессора и памяти. Управление модулем осуществляется

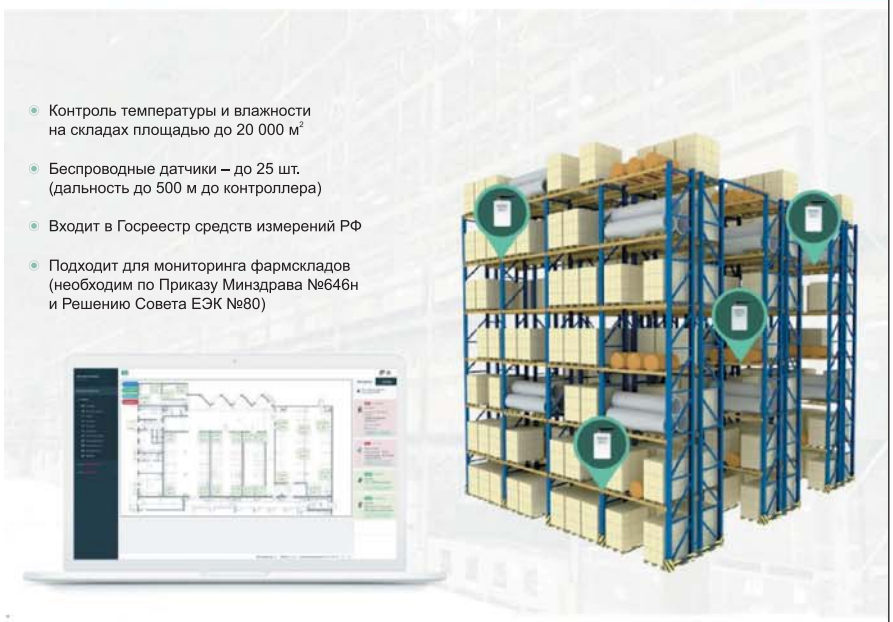
S76S (863–928 МГц)

Рис. 3. Внешний вид модуля S76S

S76G (863–928 МГц) + GNSS

Рис. 4. Внешний вид модуля S76G

а



б

в

Рис. 6. AlertBoxRadio: а) общая схема работы; б) для мониторинга микроклимата на складе; в) для контроля температуры при перевозках

Рис. 5. Новый модуль ACSIP S62F

с помощью SPI. Температурный диапазон работы устройства –40…+85 °С.

Особенности модуля:

- модуль приемопередатчика LoRa +22 дБм (макс. выходная мощность);
- настраиваемая скорость передачи данных: до 62,5 кбит/с LoRa;
- настраиваемая скорость передачи данных: до 300 кбит/с FSK;
- высокая чувствительность: до –137 дБм;
- встроенный TCXO 32 МГц.

Реальные проекты

Компания Unimon на модулях S76S и S76G разработала AlertBoxRadio (рис. 6) — беспроводную систему мониторинга температуры, влажности и углекислого газа. Здесь беспроводная связь между контроллером и датчиком осуществляется по протоколу LoRaWAN.

Система состоит из датчиков температуры и влажности, в которых используется S76S. В качестве базовой станции выступает контроллер. Через Интернет информация поступает на серверы Unimon, а далее — отображается в пользовательском ПО. Для AlertBoxRadio создано даже мобильное приложение, благодаря чему получение данных происходит оперативно. Такую систему можно применять для мониторинга микроклимата на складе, например, фармацевтических компаний, в лабораториях, для контроля температуры при перевозках в рефрижераторах и в холодильниках. Система работает в диапазоне –30…+100 °С.

Еще один проект — «умное» уличное освещение от компании AirBit. В AirBit разработали световой контроллер, который управляется по протоколу LoRaWAN. Контроллер позволяет управлять каждым светильником по отдельности, имеет функции диммирования, акселерометр и возможности расширения с GPS. Использование системы «умного» освещения позволяет снизить расходы на электроэнергию до 30%, а окупаемость системы не превысит двух лет.

Также на модулях S76G создана система дистанционного мониторинга в условиях карантина от компании «Интернет людей» (рис. 7). Конечным устройством стал ком-

пактный наручный браслет с датчиком снятия и кнопкой SOS. Встроенная батарея позволяет работать 144 ч без подзарядки. Определение координат происходит с помощью приемника.

В интерфейсе онлайн-сервиса можно увидеть человека на карте, задать зону карантина, при входе-выходе из которой контролирующим органам поступит оповещение. Подобную систему можно использовать для отслеживания персонала на предприятии.

Сценариев применения модулей компании ACSIP много (рис. 8). Модули могут стать элементами контроля показателей расхода электроэнергии, газа, датчиками контроля температуры, влажности, освещения и т. д. Выбор остается за компаниями, которые реализуют LoRaWAN-проекты. ■

Рис. 7. Система дистанционного мониторинга

Рис. 8. Возможности использования модулей ACSIP

НОВОСТИ

Высокопроизводительные Bluetooth 5.2-модули u-blox NORA-B1

Компания u-blox AG представила линейку Bluetooth 5.2-модулей NORA-B1 на базе высокопроизводительного и энергоэффективного nRF5340 — первого Bluetooth-чипсета, в основе которого двухъядерный Cortex-M33 с поддержкой технологий безопасности TrustZone и CryptoCell. Технология Arm TrustZone предлагает повышенную защиту, обеспечивая надежную среду выполнения программного кода, полностью разделяя безопасные и небезопасные флэш-память, RAM, периферийные устройства и GPIO. Технология Arm CryptoCell-312 поддерживает шифрование с аппаратным ускорением, безопасное хранение ключей и позволяет иметь несколько корней доверия для различных задач (Root-of-Trust).

Модули NORA-B1 поддерживают Bluetooth Low Energy 5.2, Bluetooth Long Range, Bluetooth Mesh, BLE Audio, а также функцию Direction Finding — Angle-of-Arrival (AoA) и Angle-of-Departure (AoD) для определения местоположения внутри помещения. А протоколы ячеистых сетей Bluetooth Mesh, Thread и ZigBee могут выполняться одновременно с Bluetooth LE.

Модули NORA-B1 будут доступны в трех повыводно совместимых исполнениях, отличающихся типом подключения антенны:

- NORA-B100 — u.fl-разъем;
- NORA-B101 — вывод под антенну;
- NORA-B106 — встроенная PCB-антенна.

www.u-blox.com

реклама

Анализ процедуры тестирования базовых станций

на соответствие стандарту 5G NR

Тестирование базовых станций на соответствие стандарту 5G NR отличается тем, что предусматривает испытания не только при проводном, но и при беспроводном подключении. В настоящей статье выполнен анализ тестируемых параметров радиооборудования gNB и особенностей проведения испытаний, а также подробно рассмотрена процедура тестирования приемников gNB при беспроводном подключении.

Александр Константинов
Alexander.Konstantinov@rohde-schwarz.com

Алексей Пивак
Alexey.Pivak@rohde-schwarz.com

Анализ тестируемых параметров радиооборудования gNB

Одной из основных тенденций в отрасли подвижной связи является повышение пропускной способности с целью удовлетворить пользовательский спрос на передачу больших объемов данных. Для этого в системе связи нового поколения 5G NR предусмотрена возможность работать со сверхширокими полосами частот из миллиметрового диапазона (Frequency Range 2, FR2), что, в свою очередь, накладывает дополнительные конструктивные ограничения на инфраструктуру сети. Особенностью устройств 5G NR с поддержкой FR2 зачастую становится невозможность размещения необходимых для проводного подключения коннекторов. Кроме этого, существенное увеличение количества антенных элементов для использования технологии MIMO с расширенными возможностями в аспекте формирования направленных лучей обуславливает необходимость проверки их свойств. Поэтому главным отличием процедуры тестирования базовых станций (next generation Node B, gNB) на соответствие стандарту 5G NR является проведение испытаний не только при проводном, но и при беспроводном (Over-The-Air, OTA) подключении [1–5]. Это отражено в разделении технической спецификации 38.141 консорциума 3GPP на две части: 38.141-1 и 38.141-2. В технической спецификации 38.141-2 предусмотрено тестирование 14 параметров передатчиков, девяти параметров приемников, а также параметров производительности каналов физического уровня PUSCH, PUCCH и PRACH при беспроводном подключении [2]. Перечень тестируемых параметров передатчиков и приемников gNB приведен в таблицах 1 и 2.

Особенностью тестирования при беспроводном подключении является учет свойств распространения электромагнитных волн в свободном пространстве. Антенные системы устройств 5G NR могут содержать множество элементов, образующих активные фазированные антенные решетки. За счет этого обеспечивается

Таблица 1. Тестируемые параметры передатчиков gNB при беспроводном подключении

№	Наименование
1	EIRP (Effective Isotropic Radiated Power) (пп. 6.2)
2	Полная излучаемая мощность (пп. 6.3)
3	Динамический диапазон мощности ресурсного элемента (пп. 6.4.2)
4	Динамический диапазон полной мощности (пп. 6.4.3)
5	Уровень выходной мощности передатчика в состоянии OFF (пп. 6.5.1)
6	Длительность перехода между состояниями передатчика ON и OFF (пп. 6.5.2)
7	Погрешность частоты (пп. 6.6.2)
8	EVM (Error Vector Magnitude) (пп. 6.6.3)
9	Погрешность выравнивания по времени (пп. 6.6.4)
10	Занимаемая полоса частот (пп. 6.7.2)
11	Коэффициент утечки мощности в соседний канал (пп. 6.7.3)
12	Нежелательные излучения в рабочей полосе частот (пп. 6.7.4)
13	Побочные излучения (пп. 6.7.5)
14	Интермодуляции на выходе передатчика (пп. 6.8)

Таблица 2. Тестируемые параметры приемников gNB при беспроводном подключении

№	Наименование
1	Направленная чувствительность (пп. 7.2)
2	Эталонная чувствительность (пп. 7.3)
3	Динамический диапазон (пп. 7.4)
4	Избирательность по соседнему каналу (пп. 7.5.1)
5	Внутриполосные блокировки (пп. 7.5.2)
6	Внеполосные блокировки (пп. 7.6)
7	Паразитные излучения (пп. 7.7)
8	Интермодуляции (пп. 7.8)
9	Внутриканальная избирательность (пп. 7.9)

возможность формирования и управления направленными лучами (beam). Беспроводные испытания позволяют выполнять проверку представленных в таблицах 1 и 2 параметров для каждого направленного луча с учетом свойств антенных решеток тестируемых gNB, а также энергетических потерь, связанных с распространением электромагнитных волн в свободном пространстве (Free Space Path Loss, FSPL). Это отличает процедуру беспроводного тестирования от проводного и существенно ее усложняет.

Например, если при проводном подключении передатчика базовой станции достаточно проверять один параметр выходной мощности, то при беспроводном подключении должны проводиться испытания двух параметров — EIRP и полной излучаемой мощности.

Параметр передатчика EIRP представляет собой энергетическую характеристику передатчика gNB, численно равную мощности, которую должен излучать изотропный излучатель, чтобы на одинаковом удалении плотность потока мощности создаваемого им радиоизлучения равнялась плотности потока мощности радиоизлучения данного передатчика gNB в направлении максимума диаграммы направленности антенной решетки. Расчет EIRP производится следующим образом:

$$EIRP = P \times G, \quad (1)$$

где P — уровень мощности, подводимой к антенной решетке; G — коэффициент усиления антенной решетки.

Полная излучаемая мощность (Total Radiated Power, TRP) передатчика представляет собой интенсивность излучения, интегрированную по сфере вокруг антенной решетки. Пример для полусферы с радиусом r представлен на рис. 1.

Расчет полной излучаемой мощности производится по формуле:

$$P_{TRP} = \frac{1}{4\pi}\int_{\varphi=0}^{2\pi}\int_{\theta=0}^{\pi} EIRP(\theta,\varphi)\times\sin\theta d\theta d\varphi\,. \quad (2)$$

При беспроводном тестировании чувствительности приемника gNB необходимо дополнительно проверять параметр направленной чувствительности. Направленная чувствительность представляет собой уровень чувствительности устройства с изотропной направленностью, эквивалентной чувствительности тестируемого приемника, на который падает электромагнитная волна под определенными углами. Данный параметр проверяется для всех заявленных производителем направлений прихода электромагнитных волн. Расчет для каждого конкретного направления выполняется следующим образом:

$$EIS(\theta,\varphi) = \frac{P_S}{G(\theta,\varphi)}, \quad (3)$$

где P_S — уровень чувствительности приемника gNB; $G(\theta,\varphi)$ — коэффициент усиления антенной решетки для соответствующего направления прихода электромагнитной волны.

Из приведенных формул видно, что расчеты должны осуществляться на основе заданной системы координат. Поэтому перед началом испытаний каждый производитель радиооборудования обязан предоставить сведения об опорной системе координат для тестируемой gNB. В описании тестовых процедур перед началом проведения измерений каждого параметра предусмотрена установка положения тестируемого устройства таким образом, чтобы его опорная система координат соответствовала системе координат тестовой системы.

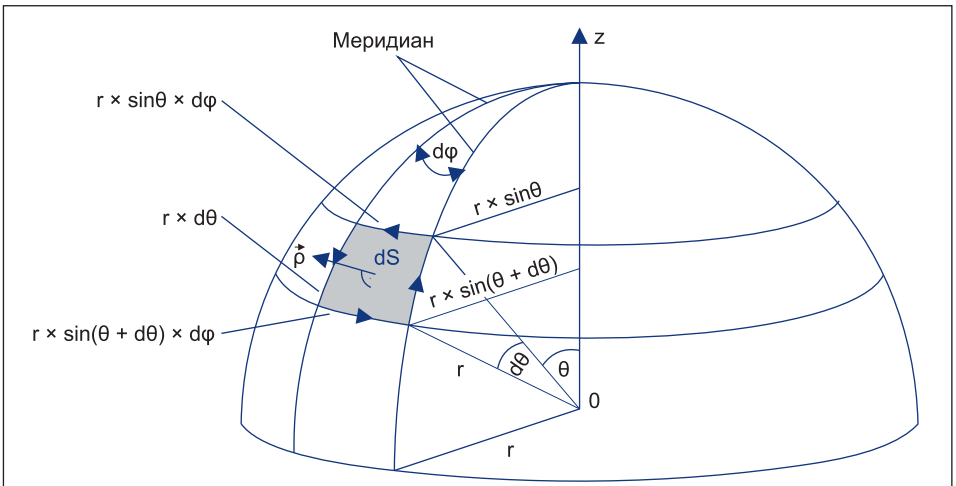


Рис. 1. Процесс расчета полной излучаемой мощности передатчика gNB

Тестирование параметров радиооборудования gNB при беспроводном подключении

Стандартом 5G NR определены два типа gNB, поддерживающие диапазоны частот FR1 (410 МГц — 7125 МГц) и FR2 (24250 МГц — 52600 МГц) соответственно. Пример общей схемы рабочего места для тестирования параметров радиооборудования при беспроводном подключении приведен на рис. 2.

На рис. 2 показано, что тестовая антенна при проверке различных параметров может выступать как в роли передающей, так и приемной. Для обеспечения повторяемости измерений излучений тестируемой gNB спецификациями 3GPP определены настройки физических каналов, которые должны быть заданы перед началом испытаний. Соответствующие конфигурации описываются тестовыми моделями (Test Model, TM): для диапазона частот FR1 предусмотрено восемь моделей, а для FR2 — пять моделей. Каждая модель предназначена для проверки определенной группы параметров gNB [1, 2]. Вспомогательная антенна используется при измерении излучений или при генерации помех в следующих случаях:

- совместно с векторным генератором сигналов в процессе тестирования уровня интермодуляций на выходе передатчика gNB;
- совместно с анализатором сигналов в процессе тестирования уровня мощности передатчика в состоянии OFF, длительности перехода между состояниями ON и OFF, а также побочных излучений;
- при тестировании блокировок приемника.

Для обеспечения беспроводных измерений gNB компания Rohde & Schwarz предлагает тестовые системы PWC200 для диапазона частот FR1 и TS8991 для диапазонов частот FR1 и FR2 [4, 5]. Каждая система в своем составе

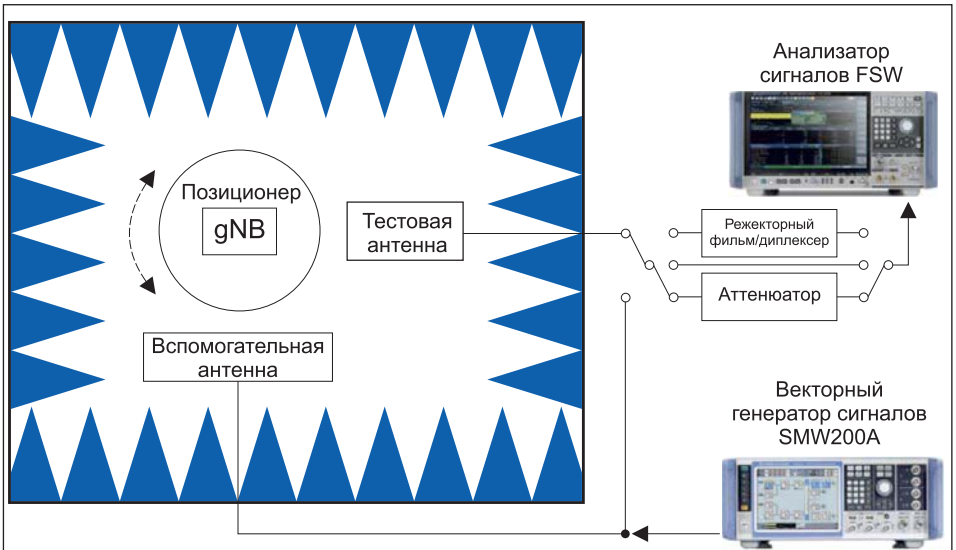


Рис. 2. Общая схема подключения при беспроводном тестировании gNB

Таблица 3. Предельные значения погрешностей при тестировании паразитных излучений в диапазоне частот FR1

Диапазон частот, ГГц	0,03 < f ≤ 6	6 < f ≤ 26
Допустимое отклонение, дБ	±2,5	±4,2

Таблица 4. Предельные значения погрешностей при тестировании паразитных излучений в диапазоне частот FR2

Диапазон частот, ГГц	0,03 < f ≤ 6	6 < f ≤ 40	40 < f ≤ 60
Допустимое отклонение, дБ	±2,5	±2,7	±5

имеет устройство позиционирования, тестовую антенну и контрольно-измерительное оборудование — векторный генератор сигналов SMW200A с поддержкой частотного диапазона до 65 ГГц и анализатор сигналов FSW с поддержкой частотного диапазона до 500 ГГц при использовании внешних преобразователей частоты, оснащенные соответствующими опциями 5G NR [6].

Анализ процедуры тестирования приемников gNB при беспроводном подключении

Для беспроводного тестирования приемников gNB спецификациями 3GPP определены критерии соответствия стандарту и методы тестирования, однако отсутствуют минимальные требования почти для всех параметров, поскольку расчет конкретных значений зависит от заявленных производителем характеристик радиооборудования. Критерии соответствия представляют собой расчетные формулы на основе указанных характеристик радиооборудования. При проведении испытаний производится контроль пропускной способности, которая должна быть не ниже 95% от заявленной, а измеренные значения параметров должны удовлетворять критериям соответствия с учетом погрешностей (Measurement Uncertainty, MU) [2, 7, 8]. Бюджет погрешностей рассчитывается до начала тестирования и должен учитывать влияние тестовой системы, являющейся неотъемлемой частью рабочего места.

Конкретные минимальные требования определены только к паразитным излучениям. Цель тестирования паразитных излучений — проверка допустимого уровня мощности излучений антенной решетки приемника в соответствующих диапазонах частот и при заданной полосе измерения 100 кГц — 10 МГц. Процедура тестирования отличается тем, что при проведении измерений тестовая антенна используется в качестве приемной совместно с анализатором сигналов. Кроме того, испытания проводятся только в режиме работы с временным дуплексом (Time Division Duplex, TDD) при выключенном передатчике. Это связано с тем, что в режиме работы с частотным дуплексом (Frequency Division Duplex, FDD) невозможно различить паразитные излучения передатчика и приемника.

Предельные значения погрешностей при тестировании паразитных излучений в диапазонах частот FR1 и FR2 приведены в таблицах 3 и 4 соответственно.

Процедура тестирования предусматривает установку положения радиооборудования gNB относительно тестовой антенны, настройку режима работы и проведение измерений уровня мощности с использованием среднеквадратичного детектора анализатора сигналов.

Данные измерения должны быть выполнены для всех точек сферической сетки, охватывающей gNB, расстояние между которыми определяется угловым шагом θ и φ. Величина шага не может превышать 15° и в общем случае должна определяться следующим образом [2]:

$$\begin{cases} \Delta\theta = \dfrac{180^\circ}{\pi} \times \dfrac{\lambda}{\sqrt{d^2 + w^2 + h^2}}, \\ \Delta\varphi = \dfrac{180^\circ}{\pi} \times \dfrac{\lambda}{\sqrt{d^2 + w^2}} \end{cases}, \quad (4)$$

где d, w и h — глубина, ширина и высота gNB в метрах соответственно. Минимальные значения углового шага могут составлять доли градуса.

На основе полученных результатов производится расчет величины полной излучаемой мощности (TRP) паразитных излучений и проверяется соответствие минимальным требованиям, указанным в таблицах 5 и 6, с учетом предварительно рассчитанного бюджета погрешностей [7, 8].

По представленным в таблицах 5 и 6 требованиям можно сделать вывод, что тестовая система совокупно с контрольно-измерительным оборудованием должна предоставлять возможность проводить измерения на частотах 30 МГц — 60 ГГц. В спецификациях 3GPP рассматриваются подобные условия и принимается во внимание, что в силу больших потерь в свободном пространстве на частотах выше 18 ГГц уровень собственного шума для измерительной установки должен быть не более –100 дБм/Гц при минимальном уровне мощности паразитных излучений –20 дБм в полосе 10 МГц (–90 дБм/Гц). Таким образом, обеспечивается запас в 10 дБ, достаточный для проведения измерений.

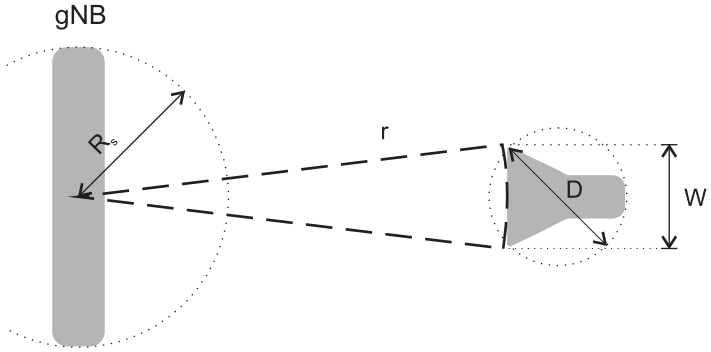


Рис. 3. Иллюстрация расчета минимального расстояния между gNB и измерительной антенной

Таблица 5. Минимальные требования к уровню паразитных излучений в диапазоне частот FR1

Диапазон частот паразитных излучений, ГГц	Минимальные требования, дБм	Полоса частот при измерении, МГц
0,03 < f ≤ 1	–27	0,1
1 < f ≤ 12,75	–21	1
12,75 < f ≤ X*		

Примечание. *Значение X соответствует пятой гармонике верхней граничной частоты рабочего диапазона частот восходящего направления в ГГц.

Таблица 6. Минимальные требования к уровню паразитных излучений в диапазоне частот FR2

Диапазон частот паразитных излучений, ГГц	Минимальные требования, дБм	Полоса частот при измерении, МГц
0,03 < f ≤ 1	–36	0,1
1 < f ≤ 18	–30	1
18 < f ≤ Y[1]	–20	10
Y[1] < f ≤ Y[2]	–15	
Y[2] < f ≤ Y[3]	–10	
Y[4] < f ≤ Y[5]		
Y[5] < f ≤ Y[6]	–15	
Y[6] < f ≤ Y[7]	–20	

Примечания. В зависимости от рабочих диапазонов частот:
1. Для n257, n258 и n261 Y = 18 ГГц, для n259 Y = 23,5 ГГц, для n260 Y = 25 ГГц.
2. Для n257 Y = 23,5 ГГц, для n258 Y = 21 ГГц, для n259 Y = 35,5 ГГц, для n260 Y = 34 ГГц, для n261 Y = 25,5 ГГц.
3. Для n257 Y = 25 ГГц, для n258 Y = 22,75 ГГц, для n259 Y = 38 ГГц, для n260 Y = 35,5 ГГц, для n261 Y = 26 ГГц.
4. Для n257 Y = 31 ГГц, для n258 Y = 29 ГГц, для n259 Y = 45 ГГц, для n260 Y = 41,5 ГГц, для n261 Y = 29,85 ГГц.
5. Для n257 Y = 32,5 ГГц, для n258 Y = 30,75 ГГц, для n259 Y = 47,5 ГГц, для n260 Y = 43 ГГц, для n261 Y = 30,35 ГГц.
6. Для n257 Y = 41,5 ГГц, для n258 Y = 40,5 ГГц, для n259 Y = 59,5 ГГц, для n260 Y = 52 ГГц, для n261 Y = 38,35 ГГц.
7. Y принимает значение второй гармоники верхней граничной частоты рабочего диапазона частот восходящего направления в ГГц, но не более 60 ГГц.

Для достижения такой чувствительности измерительной системы необходимо обеспечить минимальное расстояние r между тестируемой gNB и измерительной антенной. При этом должно выполняться условие сохранения режима работы измерительной антенны в дальней зоне. Отметим, что для самой антенной решетки gNB данное требование не применяется [8]. Оценка величины r выполняется с учетом следующих выражений:

$$\begin{cases} r \geq \dfrac{2D^2}{\lambda}, \\ r \geq \dfrac{2w(R_S + \lambda)}{\lambda} \end{cases}, \quad (5)$$

где D — размер апертуры измерительной антенны; λ — длина волны; w — наибольший размер раскрыва измерительной антенны;

R_s — радиус воображаемой сферы, охватывающей gNB.

Например, на частоте 60 ГГц при использовании стандартных рупорных антенн для измерения паразитных излучений приемника gNB с R_s = 0,5 минимальное расстояние r составит около 0,7 м, а потери в свободном пространстве будут около 65 дБ.

Иллюстрация расчета приведена на рис. 3.

Для измерения паразитных излучений при беспроводном подключении компания Rohde & Schwarz предлагает систему TS8996, которая позволяет выполнять тестирование на частотах до 200 ГГц с автоматическим расчетом TRP. При этом в наиболее требовательном по потерям в свободном пространстве диапазоне сыше 40 ГГц на расстоянии 1 м обеспечивается чувствительность не хуже –40 дБм/МГц, что соответствует –100 дБм/Гц. Это полностью удовлетворяет требованиям стандарта 5G NR. Зависимость величины чувствительности от частоты приведена на рис. 4.

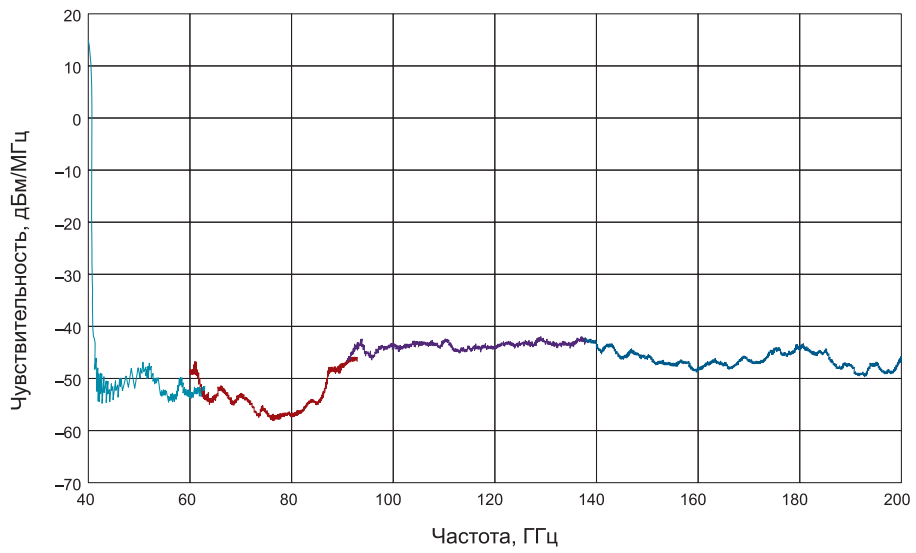


Рис. 4. Зависимость чувствительности от частоты для TS8996

Заключение

В статье проведен анализ процедуры тестирования базовых станций стандарта 5G. Отдельно проанализирована процедура тестирования приемников gNB при беспроводном подключении. На примере измерения паразитных излучений разобраны нюансы, связанные с измерениями по эфиру. Выполнена оценка соответствия параметров измерительного оборудования требованиям спецификаций консорциума 3GPP. ■

Литература

1. 3GPP TS 38.141-1, release 16.4.0, June 2020.
2. 3GPP TS 38.141-2, release 16.4.0, June 2020.
3. Константинов А. С. Методы тестирования радиооборудования сети LTE. Подробный анализ. Издательские решения, 2016.
4. 5G New Radio Over-The-Air Base Station Transmitter Tests. Application Note GFM324. Rohde & Schwarz.
5. 5G New Radio Over-The-Air Base Station Receiver Tests. Application Note GFM325. Rohde & Schwarz.
6. Константинов А. С., Пивак А. В. Решения компании Rohde & Schwarz для тестирования радиочастотного оборудования 5G NR FR1 & FR2 // Компоненты и технологии. 2020. № 10.
7. 3GPP TS 38.104, release 16.4.0, June 2020.
8. 3GPP TR 37.941, release 16.0.1, June 2020.

19-я МЕЖДУНАРОДНАЯ ВЫСТАВКА ЭЛЕКТРОНИКИ

ChipEXPO-2021

КОМПОНЕНТЫ | ОБОРУДОВАНИЕ | ТЕХНОЛОГИИ

ОРГАНИЗАТОРЫ:
ЗАО «ЧипЭКСПО»
Москва,121351,
ул. Ярцевская, д.4.
Тел.: +7 (495) 221-50-15
E-mail: info@chipexpo.ru
http://www.chipexpo.ru

ВЫСТАВКА ПРОЙДЕТ

14-16.09

В ТЕХНОПАРКЕ ИННОВАЦИОННОГО ЦЕНТРА

СКОЛКОВО

ТЕМАТИЧЕСКИЕ ЭКСПОЗИЦИИ:
- Экспозиция Департамента радиоэлектронной промышленности Минпромторга России, включая:
  - экспозицию предприятий, являющихся изготовителями изделий, включенных в единый реестр российской радиоэлектронной продукции (Постановление Правительства РФ №878)
  - экспозицию разработок, созданных в рамках государственной программы «Развитие электронной и радиоэлектронной промышленности на 2013-2025 годы» (Постановление Правительства РФ №109)
  - экспозицию разработок, обеспечивающих выполение приоритетных национальных проектов.
- Дивизионы кластера «Радиоэлектроника» ГК «Ростех»
- Квалифицированные поставщики ЭКБ
- Участники конкурса «Золотой Чип»
- Стартапы в электронике
- Консорциумы и дизайн-центры по электронике
- Корпорация развития Зеленограда

ОФИЦИАЛЬНАЯ ПОДДЕРЖКА:

Sk Сколково · ДУМА · МИНПРОМТОРГ РОССИИ · Ростех · РОСЭЛ

реклама

Инновационная система мониторинга и контроля

персонала и транспортных средств

Цифровые технологии все глубже проникают во все сферы. Главный экономический тренд нынешней эпохи — цифровая трансформация бизнеса. Наибольшую популярность получили технологические решения, направленные на безопасность работ, снижение издержек, оптимизацию логистики производственных процессов и эффективное управление производственными активами. Для оптимизации бизнес-процессов и контроля деятельности предприятия необходима цифровая автоматизация мониторинга и контроля работы и перемещений персонала, транспортных средств, погрузочной техники на территории предприятия, в том числе вне и внутри закрытых цехов при отсутствии спутниковых навигационных сигналов ГЛОНАСС/GPS. В статье рассмотрено инновационное решение, основанное на технологиях спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS, Bluetooth Low Energy (BLE), сквозной (бесшовной) навигации и промышленного «Интернета вещей» (IoT), — автоматизированная система мониторинга и контроля персонала, транспортных средств и погрузочной техники вне и внутри помещений (OUTDOOR, INDOOR) с использованием смартфона или «умных» часов в качестве персональных носимых устройств.

Светлана Хадонова
sv@st-hld.ru

Александр Уфимцев
a_ufimtsev@st-hld.ru

С возникновением новых вызовов и запросов потребителей навигационных услуг, ростом спроса на цифровые технологии для подключенного и беспилотного транспорта навигация и телематика становятся больше, чем просто набором рутинных операций или функцией для узконаправленных отраслей. Цифровизация навигационной отрасли развивается на наших глазах. Владельцы автопарков стремятся к снижению стоимости владения транспортными средствами, повышению качества транспортных услуг и безопасности перевозок, владельцы личных автомобилей хотят получать больше качественных услуг и новые сервисы. В тренде подключенная мобильность, навигация и цифровые технологии в логистике людей и вещей, цифровая трансформация отрасли, развитие «умных» городов и интеллектуальные транспортные системы (ИТС), цифровые платформы и большие данные (BigData), применение дронов и беспилотных систем, страховая телематика, защищенная мобильность, кибербезопасность и блокчейн. В контексте четвертой промышленной революции производства хотят получать все больше данных в режиме реального времени: где находятся люди, как перемещается техника, есть ли предпосылки для внештатной ситуации? Forbes прогнозирует, что оборот компаний, перешедших на технологии «Индустрии 4.0», в 2022 году покорит отметку в $1,5 трлн, а их эффективность превысит текущий уровень производительности более чем в 7 раз. Многие проекты связаны с позиционированием движущихся объектов на карте помещений, в том числе вне и внутри помещений. Опишем назначение, функциональные возможности и принцип работы автоматизированной системы мониторинга и контроля персонала, транспортных средств и погрузочной техники вне и внутри помещений, основанной на технологиях спутниковой навигации ГЛОНАСС/GPS, технологии Bluetooth Low Energy, сквозной (бесшовной) навигации и промышленного «Интернета вещей» с использованием смартфона или «умных» часов в качестве персональных носимых устройств.

Система предназначена для владельцев и руководителей предприятий в качестве источника данных о перемещениях персонала и транспорта в пределах занимаемого ими офисного, торгового, производственного пространства и прилегающих к нему открытых территорий, в качестве инструмента анализа технологических и производственных процессов, связанных с перемещением, а также для диспетчерских служб этих организаций. Система рекомендуется к внедрению и может использоваться:

- на станциях технического обслуживания (СТОА) и в дилерских центрах для контроля перемещения обслуживаемых автомобилей и работы персонала;
- на промышленных предприятиях;

- в строительной отрасли для контроля работы геподрядчиков, строительной техники, соблюдения требований техники безопасности;
- в компаниях нефтегазового и топливно-энергетического сектора.

Основные задачи системы — безопасность работы персонала, повышение операционной эффективности логистики, оптимизация управления персоналом, централизованный мониторинг и управление производственными ресурсами, экономия рабочего времени, контроль выполнения требований техники безопасности, контроль жизненно важных биометрических параметров сотрудников, анализ и учет работы сотрудников в целях оптимизации бизнес-процессов, выявления систематических ошибок/недоработок в деятельности персонала и случаев ненадлежащего выполнения обязанностей, контроль присутствия на рабочем месте, оперативное реагирование на ЧС и ЧП.

Функциональные возможности системы на уровне менеджмента предприятия:

- Круглосуточный мониторинг и контроль местоположения мобильных сотрудников в режиме реального времени на электронной карте местности с высокой точностью навигации; оперативная передача данных в диспетчерский центр оперативному дежурному или диспетчеру.
- Дистанционная постановка задач сотрудникам и контроль выполнения, координация действий сотрудников путем направления им команд в режиме текущего времени, в том числе в экстренных ситуациях, онлайн-выдача, подтверждение и изменение заданий, управление статусами выполнения.
- Фиксация маршрута перемещения и времени нахождения сотрудников в определенных зонах, формирование правил фиксации нарушений, контроль появления сотрудников в опасных/запретных зонах. Цифровой наряд-допуск на работы повышенной опасности и контроль его выполнения.
- Возможность обмена текстовой и графической информацией между сотрудником и диспетчером. Голосовая связь. Организация удаленных консультаций, передача визуальной информации с места проведения работ.
- Автоматические оповещения при вхождении сотрудника в запрещенную и/или опасную зону, при превышении временного норматива нахождения в определенной зоне/помещении.
- Отображение на устройстве наличия или отсутствия средств индивидуальной защиты (СИЗ), отправка аварийного оповещения диспетчеру в случае отсутствия СИЗ у сотрудника.
- Анализ и учет деятельности сотрудника за выбранный период, аналитика производственной деятельности, система отраслевой отчетности, контроль выполнения правил и инструкций техники безопасности, контроль основных биометрических показателей здоровья и т. д.

На рис. 1 приведена общая схема работы системы. В ней используются инновационные технологии определения местоположения объектов BLE (Bluetooth Low Energy), цифровые технологии, в том числе технологии искусственного интеллекта, машинного обучения, IoT, M2M, сквозной навигации, имеется возможность сочетать локальную и глобальную навигацию в едином интерфейсе. Точность определения местоположения объектов — до помещения или до 2 м в пределах одного помещения. Большие помещения разбиваются на зоны. Система бесперебойно работает в холодных и влажных помещениях. Фактически данная система позволяет определить местоположение объекта в любом месте, даже под землей, куда не проникают сигналы навигационных спутников.

С помощью специализированного облачного сервиса мониторинга транспорта ST Flagman Web и мобильного приложения на смартфоне система позволяет обеспечивать онлайн-мониторинг местоположения объектов, контролировать присутствие на рабочем месте, планировать и фиксировать своевременное выполнение служебных заданий, оповещать в случае фиксации отклонений (вход/выход из заданных зон), проводить анализ и учет проделанной работы. В системе формируются отчеты о посещении заданных зон, времени нахождения на объекте, а также тревожные сообщения при нарушении заданных правил перемещения с возможностью отправлять эти сообщения на электронный адрес либо мобильное устройство уполномоченного персонала. При необходимости в системе используются ультразвуковые и RFID-датчики, что позволяет повысить точность определения местоположения подвижных объектов в помещениях до нескольких сантиметров. Использование мобильного приложения, BLE-меток и интеллектуальной платформы навигации позволяет в достаточно сжатые сроки провести внедрение и начать эксплуатацию системы. В алгоритмы работы платформы заложен механизм искусственного интеллекта и машинного обучения, что позволяет накапливать и улучшать точность определения местоположения внутри помещений ежедневно. Учитывая пожелания пользователей, возможна адаптация системы под бизнес-потребности отраслей и интеграция с ERP-системами на предприятии.

Рис. 1. Схема работы автоматизированной системы мониторинга и контроля персонала, транспортных средств и погрузочной техники вне и внутри помещений на базе интеллектуальной платформы ST Connect

Рис. 2. Персональное носимое устройство: «умные» часы

Для позиционирования персонала в системе используются обычно два носимых устройства — «умные» часы и смартфон с операционной системой (ОС) Android. Расскажем подробнее о часах. На рис. 2 приведен общий вид часов. Система контроля перемещения персонала на основе разработанных технологий и мобильного приложения на базе ОС Android позволяет решать задачи не только фиксации местоположения сотрудников, но и их текущего состояния за счет анализа показателей встроенного в «умные» часы пульсометра и измерителя артериального давления. Применение таких технологий совместно с технологиями классического спутникового мониторинга на основе ГЛОНАСС/GPS помогает осуществлять управление и контроль над производственными активами в едином интерфейсе. Данное решение востребовано в компаниях нефтегазового и топливно-энергетического сектора для оптимизации производственных процессов, минимизации издержек до 30%, эффективного контроля подрядчиков и обеспечения безопасности при производстве работ, для контроля водителей. Часы автоматически в режиме онлайн идентифицируют водителя в машине или сотрудника вне и внутри помещения, данные передаются диспетчеру, который понимает, какое транспортное средство использует водитель, и система автоматически сверяет эту информацию с данными путевого листа. Точность определения местоположения составляет несколько метров. Также в часах имеется шагомер, встроенная камера. Используются технологии Bluetooth: 4.0 LE, GPS. При отсутствии связи часы записывают данные в черный ящик. Часы позволяют вести круглосуточный контроль и выявлять аномалии в состоянии сотрудника в течение всей рабочей смены. Они умеют автоматически оповещать пользователя о его вхождении в запрещенную или опасную зону. Данные с часов поступают в интеллектуальную платформу, в которой с помощью технологий искусственного интеллекта в виде нейронной сети обрабатывается и анализируется большой массив данных, что позволяет иметь в едином интерфейсе сводную информацию по транспорту и персоналу. «Умные» часы могут контролировать наличие средств индивидуальной защиты, таких как газоанализатор, противогаз, каска и т. д.

Разработка также может использоваться для контроля торговых представителей в больших супермаркетах, для контроля персонала на производствах и в промышленных помещениях.

Также в качестве персонального носимого устройства для позиционирования сотрудника в системе предусмотрен смартфон с операционной системой (ОС) Android (рис. 3), на котором в фоновом режиме непрерывно действует мобильное приложение. В приложение заложен функционал обработки производственных заданий, поступающих из системы мониторинга и управления или из внешней ERP-системы. Обычно это пылевлагозащищенный смартфон с долгоживущим аккумулятором. Его основные функциональные возможности: отправка координат в диспетчерский центр в режиме онлайн в трех режимах — с настраиваемым интервалом времени, при изменении местоположения на заданное расстояние, при наступлении события; запись координат в черный ящик при временном отсутствии связи. Устройство автоматически оповещает пользователя при его вхождении в запрещенную и/или опасную зону, подает сигнал тревоги в диспетчерский центр, проводит оперативную съемку события и сохраняет его в памяти устройства или отправляет фото и видео диспетчеру. Имеется возможность обмена с сотрудниками заранее заданными и произвольными текстовыми и графическими сообщениями, отправка на смартфон перечня точек, которые должен посетить сотрудник с возможностью их отображения в текстовом виде и на карте.

В системе предусмотрена возможность двух вариантов установки оборудования на территории, на которой требуется обеспечить мониторинг объектов. Первый вариант — на территории размещаются приемопередатчики (трекеры), объединенные в LAN вместе с серверной частью системы. Отслеживаемые объекты оснащаются радиомаяками iBeacon, работающими в полосе 2,4 ГГц. Радиомаяки iBeacon периодически, с интервалом от долей секунды до нескольких секунд, передают в соответствии со стандартом Bluetooth Low Energy пакеты установки соединения

МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ НА СМАРТФОН

spaceteam

Функциональные возможности:

- Отправка координат в диспетчерский центр в режиме онлайн
  - с настраиваемым интервалом времени
  - при изменении местоположения на заданное расстояние
  - при наступлении события
- Запись координат в «черный ящик» при временном отсутствии связи
- Автоматическое оповещение пользователя при его вхождении в запрещеную и/или опасную зону
- Подача пользователем сигнала тревоги в диспетчерский центр
- Оперативная съемка события и сохранение его в памяти устройства и/или отправка фото и видео диспетчеру
- Возможность обмена сотрудниками заранее заданными и произвольными текстовыми и графическими сообщениями
- Возможность отправки на смартфон перечня точек, которые должен посетить сотрудник, с возможностью их отображения в текстовом виде и на карте

Рис. 3. Персональное носимое устройство — смартфон с операционной системой (ОС) Android

(advertising packets). Конструктивное исполнение радиомаяков зависит от типа объекта, который требуется оснастить этим радиомаяком. Трекеры принимают сигналы от радиомаяков и по LAN отправляют данные на центральный сервер, определяющий координаты объекта.

Второй вариант — на территории устанавливаются радиомаяки iBeacon. Трекеры размещают на подвижных объектах. Для персонала функции трекера выполняют смартфоны и «умные» часы со специальным мобильным приложением. Трекер принимает сигналы от маяков, делает первичную обработку сигнала и передает информацию на сервер по каналам сотовой связи, где ведется окончательная обработка сигнала. После определения координат они передаются в пользовательскую часть системы (сервер приложений), которая осуществляет их дальнейшую обработку в соответствии с запросами пользователей. Формирование запросов пользователей и отображение результатов этих запросов осуществляется по веб-интерфейсу системы.

Ядром описываемой системы является универсальная интеллектуальная телематическая платформа ST Connect, на базе которой создаются системы мониторинга подвижных объектов и контроля. Платформа необходима для обеспечения приема информации о подвижных объектах, находящихся в условиях отсутствия приема сигналов спутниковой навигации (GPS/ГЛОНАСС), агрегации информации, обработки и определения на ее основе их местоположения, хранения и передачи этой информации с использованием технологий межсерверного взаимодействия в навигационно-информационные системы мониторинга и управления подвижными объектами. В платформе при расчете местоположения используются инновационные методы и алгоритмы, в том числе технологии искусственного интеллекта в виде обучаемой нейронной сети. Телематическая платформа является универсальной и позволяет использовать различные технологии и подключать к системе датчики для определения местоположения подвижных объектов в помещениях, в частности радиомаяки iBeacon (протокол Bluetooth Low Energy), RFID-метки и УЗ-датчики. Применение УЗ-датчиков позволяет повысить точность определения местоположения объектов до 10 см. Платформа может одновременно реализовывать различные схемы построения систем мониторинга, в том числе схему с датчиками, размещенными на подвижных объектах, и стационарными модулями получения данных и схему со стационарным размещением датчиков и реализацией модуля получения данных в виде мобильного приложения для смартфонов и планшетов (рис. 4).

Оценить эффективность применения технологий позволяет не только опытная разработка или тестирование, но и успешное использование системы на станции технического обслуживания одного из немецких производителей автомобилей в Москве. Назначение системы — контроль перемещения обслуживаемых автомобилей на СТОА, оптимизация управления движимыми и недвижимыми активами в помещениях, определение узких мест в технологических цепочках, анализ и эффективное планирование. Объекты слежения — автомобили клиентов (200 шт./день). Система оперативно формирует отчеты по машинам, по ремонтным зонам (помещениям), по событиям. Обеспечивается удаленный контроль работоспособности серверов, трекеров и радиомаяков. В результате работы системы зафиксированы попытки приема в ремонт машин «в обход бухгалтерии», приписки в работе автомойки. За счет анализа и оптимизации процессов технического обслуживания удалось оптимизировать количество обслуживающего персонала. В итоге промышленное использование технологии помогло сократить затраты компании до сотен тысяч рублей в месяц.

В целом, система позволяет оптимизировать процессы управления и контроля, до 25% сократить издержки на эксплуатацию транспортных средств и погрузочной техники, на 10% повысить производительность труда и эффективность работы персонала, сократить время на выполнение служебных заданий на 15–30%. Обеспечивается 100%-ный контроль соблюдения правил, норм и стандартов безопасности при выполнении работ. Значительно повышается безопасность и дисциплина персонала. ■

Литература

1. Платонов С. А. Использование ГНСС для решения комплексных прикладных задач. Сборник тезисов XXIII Международной научной конференции «Системный анализ, управление и навигация». М.: МАИ, 2018.
2. Макеев А. А. Система GPS (ГЛОНАСС) мониторинга сотрудников станций технического обслуживания автомобилей // Наука, техника и образование. 2017. № 3.
3. www.iot.ru/wiki/indoor-navigatsiya
4. www.space-team.com/pressa/detail/systems_indoor_outdoor_navigation_sept2019/
5. Комраков Д. В. Технологии позиционирования наземных подвижных объектов в сетях GSM. М.: Буки-Веди, 2012.
6. Материалы (доклады) XIII Международного навигационного форума. Москва, Красная Пресня, 23–24 апреля 2019 г.
7. Материалы (лекции) IX Школы по спутниковой навигации. Москва, ВДНХ, сентябрь 2019 г.

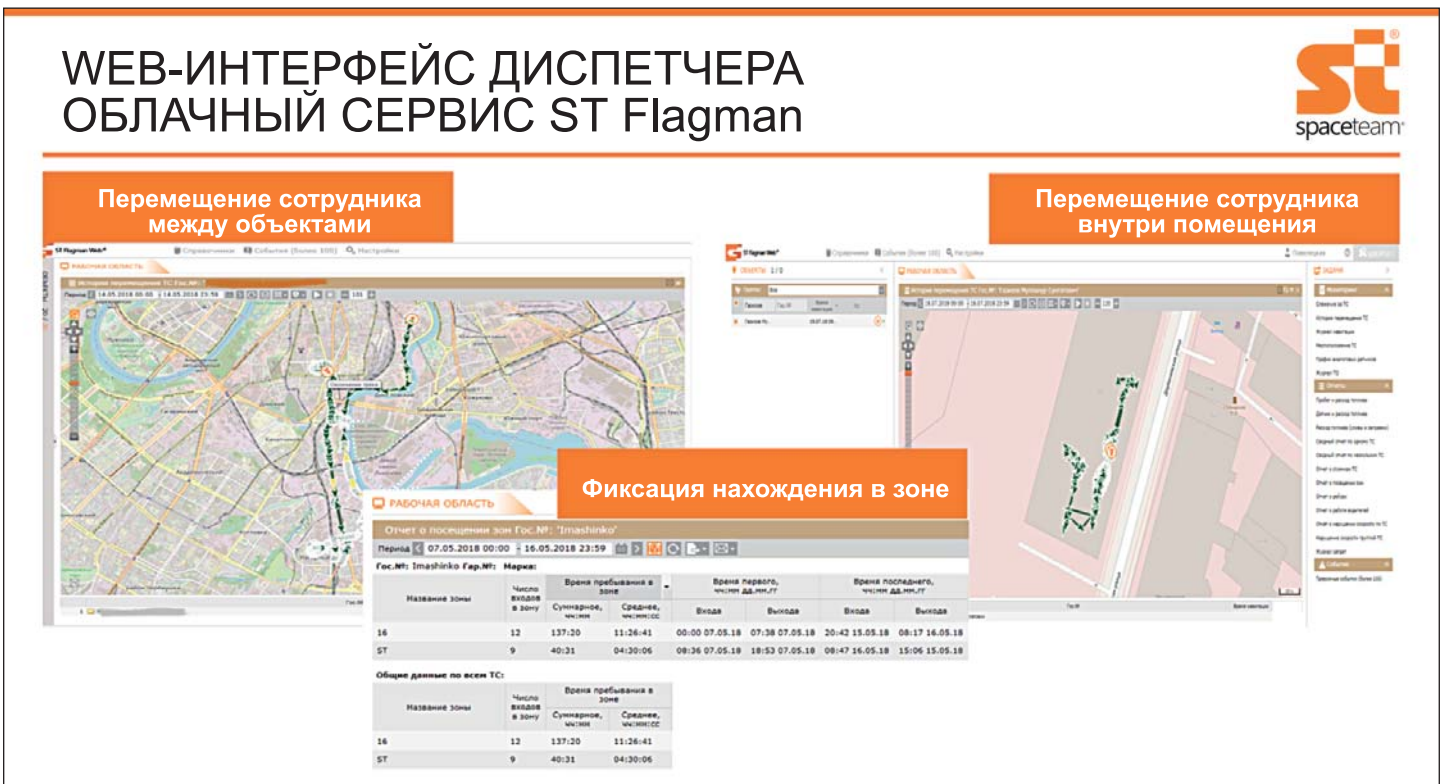


Рис. 4. Примеры веб-интерфейса диспетчера системы

Продолжение. Начало в № 1’2020

Радиосеть управления и сбора данных

для железнодорожных приложений. Часть 2

Во второй части статьи представлены разработанные в разных странах радиотехнические средства для систем управления движением на железнодорожном транспорте, описаны некоторые особенности их использования.
Автор благодарит руководство компании «АВП-технология» за возможность публикации настоящих материалов.

Сергей Маргарян

Перспективные радиотехнические средства для систем управления движением на железнодорожном транспорте

Основная часть перспективных европейских разработок, относящихся к управлению железнодорожным транспортом, предусматривает использование системы связи LTE-R, которая должна заменить действующие системы GSM-R в период 2025–2030 гг.

Сравнительные технические характеристики оборудования связи стандартов GSM-R и LTE-R представлены в таблице 1.

В базовых системах связи GSM-R и LTE-R работа пользователей допускается только через базовую станцию. Несмотря на то, что

Таблица 1. Сравнительные технические характеристики оборудования связи стандартов GSM-R и LTE-R

Характеристика	GSM-R	LTE-R
Рабочая частота	876–880, 921–925 МГц	450 и 800 МГц, 1,4 и 1,8 ГГц
Пропускная способность радиоканала	200 кГц	1,4–20 МГц
Максимальная скорость обмена данными	172 кбит/с	10/50 Мбит/с
Поддержка IP-протокола	Нет	Да
Вид модуляции, метод доступа к каналу связи	GMSK, TDMA	QPSK, 16-QAM, 64-QAM (OFDM, SCFDMA)
Пиковая спектральная эффективность	0,33 бит/с/Гц	2,55 бит/с/Гц
Максимальный радиус действия одной соты	8 км	4–12 км
Передача данных	Требуется соединение по голосовому каналу	Коммутация пакетов, трансляция данных по протоколу UDP*
Передача данных в пакетном режиме	Нет (только последовательный поток данных)	Ограниченные возможности (по протоколу UDP)
Разнесенный прием (MIMO)**	Нет	2×2
Надежность эстафетной передачи пользователей между соседними базовыми станциями (хэндовер)	⩾ 99,5%	⩾ 99,9%
Вариант реализации «хэндовера»	Техническими средствами	Программными средствами (без потери данных)
Допустимая максимальная скорость движения поезда	500 км/ч	500 км/ч
Состояние	Серийное производство	Разработка
Позиционирование на рынке	Планируется использовать до 2030 года	Согласование стандарта

Примечания.

*UDP (англ. User Datagram Protocol — протокол пользовательских датаграмм) — один из ключевых элементов TCP/IP, набора сетевых протоколов для Интернета. С UDP компьютерные приложения могут посылать сообщения (в данном случае называемые датаграммами) другим хостам по IP-сети без необходимости предварительного сообщения для установки специальных каналов передачи или путей данных. Протокол был разработан Дэвидом П. Ридом в 1980 году и официально определен в RFC 768. Протокол не предусматривает подтверждение абонентами полученных сообщений.

** MIMO (англ. Multiple Input Multiple Output) — метод пространственного кодирования сигнала, позволяющий увеличить полосу пропускания канала, в котором передача и прием данных осуществляется системами из нескольких антенн.

такая централизация управления радиосетью представляется весьма полезной, некоторые прикладные задачи на железнодорожном транспорте требуют организации связи по принципу «каждый с каждым». Для этого в перспективной системе связи LTE-R предполагается реализовать режим LTE ProSe (Proximity Services), который позволит абонентам радиосети LTE-R соединяться друг с другом напрямую.

Следует отметить, что указанный режим будет доступен только в отдельных рабочих поддиапазонах системы связи LTE-R. В США для этих целей выделен диапазон 788–798 МГц, а в Южной Корее — 703–748 МГц.

Выходная мощность терминалов LTE-R составляет для европейской зоны 200 мВт и 1 Вт для США. В результате исследовательских испытаний, проведенных в Бонне в 2014 году специалистами компаний Deutsche Telecom (Германия), Huawei (Китай) и Qualcomm (США), установлено, что максимальная дальность связи терминалов LTE-R при работе в режиме «каждый с каждым» составила 550 м на открытой местности, 350 м в условиях города при наличии прямой радиовидимости и 170 м в городских условиях при отсутствии прямой радиовидимости (работа по отраженному сигналу). Поскольку исследовательские испытания проводились на повышенной выходной мощности, то выполнявшие их специалисты считают, что максимальная дальность работы терминалов LTE-R в реальной обстановке будет существенно меньше.

Система связи LTE-R является интегрированной, поэтому предполагается, что она будет предоставлять услуги голосовой связи и обмена данными для всех имеющихся на железнодорожном транспорте приложений, включая перспективное — так называемый вариант «Интернет интеллектуальных поездов». Данное приложение предусматривает организацию подключения к Интернету всех железнодорожных приложений, в том числе приложений пассажиров. По оценке зарубежных специалистов, для обслуживания данного приложения потребуется пропускная способность, равная 3,6 ГГц (предполагается, что понадобится обеспечить одновременную работу 130–180 пользователей, половина из которых будет смотреть видео с высоким разрешением). При организации двустороннего обмена, например проведения видеоконференции, эти потребности удваиваются до 7,2 ГГц, что не может быть обеспечено перспективной системой связи LTE-R, имеющей пропускную способность 20 МГц. Считается, что такая задача может быть решена только системами связи 5G или mmWave/sub-mmWave, работающими в диапазонах 28 и 300 ГГц соответственно.

Реальные потребности в пропускной способности систем управления движением поездов существенно скромнее и измеряются килогерцами. Однако обмен данными в таких системах должен быть строго детерминированным, а работа организована в режиме реального времени, что не обеспечивается даже перспективными системами связи и обмена данными общего пользования.

Европа

Создание перспективной системы управления движением в Европе ведется в рамках программы CBTC (Communications-based train control), которая предусматривает автоматизацию технологических процессов в трех основных областях: безопасность, управление и контроль движения поезда. Система должна выполнять непрерывное автоматизированное управление поездом на основе сбора текущих данных о его местоположении и параметрах движения, а также постоянного информационного обмена между пунктом диспетчерского управления, поездами и ЖАТ. Программа предполагает возможность организации движения поездов в автоматическом режиме без участия машиниста в процессе управления поездом на перегонах или на всем участке движения.

Схемы реализации автоматизированного управления движением железнодорожного транспорта представлены на рис. 1.

Основная цель реализации программы CBTC — увеличение пропускной способности железных дорог за счет сокращения интервалов движения между идущими в одном направлении (попутными) поездами.

Традиционная система управления движением предполагает разделение маршрута на блок-участки и определение местоположения поезда по привязке к ним. Данные о местоположении транслируются по рельсовым цепям. Таким образом, интервал попутного следования определяется протяженностью блок-участка, как указано на схеме. В зарубежной прессе системы управления, использующие описанный принцип, называются системами управления движением с фиксированными блок-участками.

В системе CBTC интервал попутного следования определяется максимальной длиной тормозного пути между двумя попутными поездами, который устанавливается с незначительным резервом, обеспечивающим необходимый уровень безопасности, как указано на схеме. Система автоматизированного управления непрерывно получает информацию о параметрах движения поездов попутного маршрута и устанавливает между ними безопасный интервал движения, протяженность которого меняется в зависимости от реальных условий.

В качестве составной части CBTC может рассматриваться проект ERTMS (European Railway Traffic Management System), предполагающий создание единой общеевропейской системы управления устройствами сигнализации, централизации и блокировки, использующей для работы систему связи GSM-R.

Хотя проект ERTMS сулит значительные выгоды для железнодорожной отрасли, он пока не получил должного развития. Работы по проекту продолжаются, однако в качестве основной причины задержек в реализации называют высокую стоимость системы связи GSM-R, неприемлемую для большинства участников данного проекта.

Наиболее далеко в реализации рассматриваемого проекта продвинулись Дания, Бельгия, Нидерланды, Люксембург, Италия, Испания и Австрия. Германия, Франция и ряд других стран Европейского союза в настоящее время разрабатывают планы мероприятий, направленных на ускорение реализации проекта.

В Дании подготовлен план реализации проекта до 2023 года в объеме всей железнодорожной сети страны. Общая стоимость проекта оценивается в 2,6 млрд евро. Учитывая общую протяженность железных дорог страны, составляющую 3181 км, средняя стоимость оснащения 1 км пути превышает 815 тыс. евро.

В Бельгии реализация проекта ведется с 2009 года только на скоростных линиях от Брюсселя до границы с Германией и Нидерландами. В 2010 году принято решение о распространении проекта на всю железнодорожную сеть, длина которой составляет 3374 км. Общая стоимость проекта оценивается в 2 млрд евро, или около 592 тыс. евро на 1 км пути.

В Голландии разработан план оснащения средствами ERTMS всех международных и наиболее сильно загруженных внутренних железнодорожных путей до конца 2030 года. В настоящее время проект реализован на 10% этих путей, а техническими средствами оснащено 20% подвижного состава. Расчетная стоимость завершения реализации проекта составляет 2,3 млрд евро, или 884,6 тыс. евро на 1 км.

В 1999 году в Люксембурге было принято решение о реализации проекта на всей железнодорожной сети общей протяженностью 300 км к концу 2017 года. Общая стоимость только оборудования СЦБ для данного проекта составила 70 млн евро, или 233 тыс. евро на 1 км пути.

Сообщается о том, что значительные финансовые средства истрачены на реализацию проектов по рассматриваемой программе в Италии и Испании, однако конкретные цифры вложений не раскрываются.

В период 2009–2013 гг. в Австрии средствами ERTMS оснащены около 500 км железнодорожных путей. Затраты только на приобретение оборудования составили 80 млн евро, или 160 тыс. евро на 1 км пути.

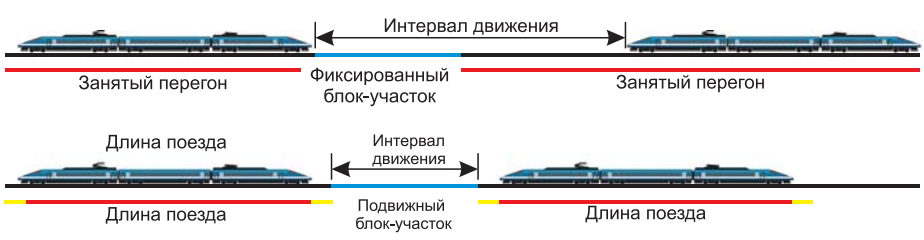


Рис. 1. Схемы реализации управления движением железнодорожного транспорта

Следует отметить, что для связи в направлениях «поезд-станция» и «поезд-поезд» в европейских странах используются самые различные средства, а система связи GSM-R не стала отраслевым стандартом.

В декабре 2017 года австрийская компания Kapsch CarrierCom и венгерская Hungary's MVM OVIT National Power Line завершили четырехлетний проект общей стоимостью 46 млн евро по созданию системы связи GSM-R для венгерских железных дорог. Созданная система охватывает участок общей протяженностью 300 км из имеющихся 7800 км, что составляет 3,8%. Таким образом, взвешенная стоимость оснащения системой связи GSM-R 1 км пути составляет 153,5 тыс. евро.

Компания Kapsch CarrierCom занимает 52% рынка GSM-R в Европе. По заявлению ее специалистов, средствами компании оснащено около 35 тыс. км железнодорожных путей. Таким образом, общая протяженность оснащенных оборудованием GSM-R железнодорожных путей в Европе может составлять 67 тыс. км, или 25% от общей протяженности (около 260 тыс. км). Учитывая заявленный срок жизни системы связи GSM-R, можно считать маловероятным ее дальнейшее активное внедрение.

Реализованные в Европе проекты, использующие сети связи стандарта GSM-R, включают магистрали Роттердам — Женева, Неаполь — Гамбург — Стокгольм, Антверпен — Базель — Лион, Севилья — Лион — Турин — Триест — Любляна, Дрезден — Прага — Брно — Вена — Будапешт, Дуйсбург — Берлин — Варшава.

Азия, Африка и Австралия

Наиболее активно работы по внедрению систем управления движением железнодорожного транспорта с использованием радиоканала ведутся в Китае. В 2007 году компания Nokia Siemens Networks заключила контракт с Министерством железных дорог Китая для реализации системы GSM-R для планируемой пассажирской линии между городами Ухань и Гуанчжоу на юге страны. Однако в основной массе выполненных и реализуемых в настоящее время проектов применяется система связи GSM-R, производство которой освоено китайской компанией Huawei Technologies, специализирующейся на системах сотовой связи общего назначения.

Выполненные Huawei Technologies проекты включают:

- железную дорогу, соединяющую центр Шанхая с аэропортом (движение поездов на скорости до 430 км/час);
- железную дорогу Дацин (провинция Шанси) — Циньхуандао (провинция Хэбей) общей протяженностью 670 км. Местность между конечными пунктами исключительно сложная, в основном горы и холмы, а также около 60 тоннелей общей протяженностью 48 км, с самым длинным их них — 8,4 км. Емкость сети — 5000 абонентов и 1000 пользователей GPRS;
- скоростную магистраль Гуандун — Шэньчжэнь — Гонконг протяженностью 115 км, одну из крупнейших высокоскоростных линий в мире, где скорость поездов достигает 350 км/час;
- самую длинную железную дорогу в Китае Пекин — Гонконг протяженностью 2364 км;
- железную дорогу Пекин — Чэнду — Ухань с кольцевой структурой протяженностью более 800 км.

Активные работы по созданию системы управления поездами ведутся в Индии. Однако эти работы имеют ограниченные цели и направлены в первую очередь на повышение безопасности движения по проектам TCAS (Train Collision Avoidance System) и ATP (Automatic Train Protection).

Система управления включает бортовое оборудование локомотива и станционное оборудование, связь между которыми организуется на расстоянии не менее 3000 м. В состав системы входит также напольное оборудование. Предполагается, что для предотвращения столкновения система должна автоматически регулировать скорость движения поезда средствами встроенной системы управления торможением.

Создаваемая система предполагает реализацию следующих функций:

- предотвращение лобовых столкновений (Head On Collision Prevention);
- предотвращение столкновений при попутном следовании (Rear End Collision Prevention);
- предотвращение боковых столкновений (Side On Collision Prevention);
- трансляция сигнала тревоги с поезда и станции;
- автоматическое включение звукового сигнала при приближении к переездам.

Обмен данными в системе управления производится по каналам связи и обмена данными УВЧ-диапазона с использованием серийно выпускаемых радиомодемов Guardian. Работа организована в дуплексном режиме. Применяются дуплексные базовые станции повышенной надежности и живучести со 100%-ным дублированием. Разработчик выполнил доработку оборудования, направленную на сокращение задержек в передаче данных, возникающих при организации связи, с 40 до 30 мс. Длина пакета передаваемых с локомотива данных составляет 512 бит.

Таблица 2. Основные технические характеристики радиомодема Guardian

Характеристика		Радиомодем Guardian-100/200/400/900			
		ОВЧ		УВЧ	900 МГц
Диапазон частот, МГц		136–174	215–240	406–470 450–512	928–960
Шаг сетки частот, кГц		25 или 12,5 (настраивается программно)			
Тип излучения		9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D			
Потребляемый ток:	прием, мА	360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В)			
	передача 40 дБм (10 Вт), А	4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)			
	передача 30 дБм (1 Вт), А	1,2–3,6 (10 В); 0,6–1,8 (20 В); 0,4–1,2 (30 В)			
Номинальная задержка при холодном старте, с		20			
Рабочее напряжение, В		10–30 (постоянный ток)			
Рабочая температура, °С		–30...+60			
Температура хранения, °С		–45...+85			
Влажность, %		5–95 (без образования конденсата)			
Габаритные размеры, см (Ш×Г×В)		13,97×10,80×5,40			
Масса (в упаковке), кг		1,1			
Рабочий режим		Симплекс, полудуплекс, дуплекс		Симплекс, полудуплекс	
Приемник					
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:	25 кГц	–100 (19,2 кбит/с), –107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)			
	12,5 кГц	–107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)			
Подавление помех по соседнему каналу, дБ		60/12,5 кГц; 70/25 кГц			
Интермодуляция, дБ		> 75			
Избирательность, дБ		> 70/25 кГц; > 60/12,5 кГц			
Передатчик					
Полоса пропускания без подстройки, МГц		38	38	64 (406,1–470) 62 (450–512)	32
Выходная мощность при напряжении 13,6 В, Вт		1–10			1–8
Время атаки, мс		< 1			
Время переключения между каналами, мс		< 15			
Импеданс, Ом		50			
Цикл работы на передачу, %		100			
Стабильность частоты, ppm		1			
Интерфейсы		RS-232 (DB9)			
Антенна		TNC («мама») — прием/передача, SMA («мама») — прием (для дуплексных моделей)			
Модем					
Скорость, кбит/с		4,8; 9,6; 19,2			
Индикация		Питание, состояние, подключение к ЛВС, работа ЛВС, прием/передача			
Вид модуляции		2FSK			

Рис. 2. Внешний вид терминала машиниста системы управления поездами индийских железных дорог на этапе внедрения

Рис. 3. Внешний вид рабочего макета бортового комплекса системы управления поездами индийских железных дорог на этапе внедрения

Общий вид терминала машиниста вышеупомянутой системы представлен на рис. 2.

Общий вид рабочего макета бортового комплекса системы управления поездами индийских железных дорог показан на рис. 3.

Внешний вид радиомодема Guardian представлен на рис. 4.

Основные технические характеристики радиомодема Guardian отображены в таблице 2.

Оборудование Guardian имеет встроенную диагностику и позволяет организовать автоматический сбор данных о текущем техническом состоянии в реальном масштабе времени. Диагностическая информация передается с каждым отправляемым сообщением. Для ее получения не требуется отдельного запроса, поскольку данные поступают в режиме OOB (Out-of-band), не загружая радиоканал и не требуя отправки отдельного запроса о техническом состоянии и ответа на него.

Одна из наиболее современных схем управления движением поездов на промышленном железнодорожном транспорте реализована в автоматизированной системе диспетчерского управления и интервального регулирования, созданной для компании «Рио Тинто» (Австралия). АСУ обеспечивает автоматическое ведение поезда без участия машиниста с дистанционным управлением параметрами движения из объединенного центра диспетчерского управления на железнодорожной сети общей протяженностью более 1800 км. Технологическая радиосеть обмена данными функционирует на скорости 64 кбит/с с использованием радиомодемов ParagonG3 (базовая станция) и GeminiG3 (подвижный объект). Базовые станции подключены к центру диспетчерского управления по волоконно-оптическому каналу связи. В центр управления поступают сведения о параметрах движения и техническом состоянии поездов, информация о техническом и оперативном состоянии средств железнодорожной автоматики, включая информацию с автоматически регулируемых железнодорожных переездов.

Внешний вид радиомодема базовой станции ParagonG3 представлен на рис. 5.

Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ParagonG3 указаны в таблице 3.

Рис. 4. Внешний вид радиомодема Guardian

Рис. 5. Внешний вид радиомодема базовой станции ParagonG3

Таблица 3. Основные технические характеристики радиомодема базовой станции ParagonG3

Характеристика		ParagonG3		
Диапазон рабочих частот, МГц		403–512	Передача: 762–773	Передача: 851–869
			Прием: 792–803	Прием: 806–824
Шаг сетки радиочастот, кГц		25 или 50		
Габаритные размеры, см (Ш×В×Г)		192,6×56×81,3 (Г)		
Потребление тока в режиме передачи, В		20 А/13,8 (ном.)	24 А/13,8 (ном.)	28 А/13,8 (ном.)
Рабочая температура, °С		−30...+60		
Температура хранения, °С		−40...+70		
Режим работы		дуплекс, 100% цикл		
Избирательность, дБ		75 (50 кГц), 85 (25 кГц)		
Программная синхронизация		Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность		1×10^{-9} (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Защита данных		128-битный ключ		
Приемник				
Избирательность:	50 кГц		75	
	25 кГц	87		85
Интермодуляция:	50 кГц		80	
	25 кГц	85		80
Побочное излучение, дБм		−90...+4 ГГц		
Чувствительность, дБм (1% поврежденных пакетов на несущей частоте с применением технологии параллельного декодирования)		−98 (64 кбит/с)	−96 (128 кбит/с)	−95 (64 кбит/с)
		−104 (48 кбит/с)	−102 (96 кбит/с)	−101 (48 кбит/с)
		−110 (32 кбит/с)	−108 (64 кбит/с)	−107 (32 кбит/с)
Передатчик				
Выходная мощность, Вт		20–100	35–70	20–70
Тип излучения:	32 кбит/с	16K0F1D		16K5F1D
	48 кбит/с	13K7F1D		16K5F1D
	64 кбит/с	13K7F1D	30K0F1D	16K5F1D
	96 кбит/с		30K0F1D	
	128 кбит/с		30K0F1D	
Вид модуляции:	32, 48 и 64 кбит/с (25 кГц)	SRRC16FSK		
	128 кбит/с	SRRC16FSK		
	96 кбит/с	SRRC8FSK		
	64 кбит/с	SRRC4FSK		
Побочное излучение:	в режиме передачи	от −36 дБм до 1 ГГц/от −30 дБм до 4 ГГц		
	в режиме ожидания	от −57 дБм до 1 ГГц/от −47 дБм до 4 ГГц		
Стабильность		5:1		

Рис. 6. Внешний вид бортового радиомодема GeminiG3

Внешний вид бортового радиомодема GeminiG3 изображен на рис. 6.

Основные технические характеристики радиомодема GeminiG3 представлены в таблице 4.

Внедрение системы позволило не только исключить локомотивную бригаду из процесса управления поездом, но и коренным образом изменить всю систему диспетчерского управления и интервального регулирования. Возможность одновременного управляющего воздействия на все локомотивы позволила реализовать новую схему интервального регулирования, отказаться от значительной части железнодорожной автоматики и заметно сократить интервалы движения при сохранении высокого уровня безопасности. В результате были существенно увеличены объемы перевозок, поскольку новая система поддерживает одновременное начало торможения для двигающихся в попутном направлении составов, что обеспечивает повышение плотности движения на железнодорожной сети.

В 2014 году на территории Республики Казахстан началось внедрение системы интервального регулирования движения поездов на базе радиоканала СИРДП-Е. В качестве системы передачи данных между подвижными объектами и стационарным оборудованием СИРДП была выбрана система радиосвязи TETRA. По оценке казахстанских специалистов, преимуществами этой системы связи по сравнению с GSM-R являются ее более низкая стоимость и более высокая эффективность использования радиочастотного спектра. При построении сети связи применялся принцип двойного перекрытия оперативной зоны с позиций соседних базовых станций.

Средствами системы оборудовано несколько участков железнодорожной сети АО «НК «Казахстан Темир Жолы» общей протяженностью более 1600 км.

Российская Федерация и другие государства СНГ

Работы по созданию автоматизированных систем управления движением поездов с использованием радиоканала в Российской Федерации ведутся уже около 20 лет. В рамках этих работ созданы опытные участки и проведены испытания аппаратуры связи стандартов GSM-R и TETRA.

Внедренные и эксплуатируемые системы включают железнодорожный участок Туапсе — Сочи — Адлер — Альпика-Сервис — Веселое Северо-Кавказской железной дороги, имеющий следующие характеристики:

- Участок Туапсе — Адлер (исключая):
  - протяженность: 105 км;
  - количество раздельных пунктов на участке: 14;
  - однопутный с двухпутными вставками;
  - количество тоннелей: 11;
  - электрифицирован по системе постоянного тока $U_н$ = 3 кВ.
- Участок Адлер (исключая) — Альпика-Сервис:
  - протяженность: 41,5 км;
  - количество раздельных пунктов: 6;
  - однопутный с двухпутными вставками;
  - количество тоннелей на участке проектирования: 6;
  - электрифицирован по системе переменного тока $U_н$ = 25 кВ.
- Участок Адлер — Веселое:
  - протяженность: 7 км;
  - количество раздельных пунктов: 3;
  - двухпутный;
  - электрифицирован по системе постоянного тока $U_н$ = 3 кВ.
- Участок Адлер (исключая) — аэропорт Сочи:
  - протяженность: 2,7 км;
  - количество раздельных пунктов: 1;
  - однопутный;
  - количество тоннелей: 2;
  - электрифицирован по системе постоянного тока $U_н$ = 3 кВ.

Общая протяженность железнодорожного участка, оснащенного системой связи GSM-R, составляет 156,2 км. На данном участке 54 основных и 125 дополнительных базовых станций (удаленных блоков). Средняя плотность основных базовых станций на данном участке составляет одна БС на 2,89 км, с учетом дополнительных — одна БС на 1,15 км. Максимальная используемая емкость одной БС составляет семь групповых каналов из 19 допустимых. Проектная абонентская емкость составляет 10 000 подключаемых пользователей, значительную часть из которых представляют собой абоненты, работающие в голосовом режиме. В составе радиосети действует всего 611 терминалов, относящихся к пользователям ОАО «РЖД», в том числе 555 носимых, 42 мобильных и 14 стационарных. Таким образом, максимальная загрузка радиосети по назначению составляет 6,1% от общей емкости.

Система связи GSM-R использована при строительстве Московского центрального кольца (МЦК). Общая протяженность МЦК составляет 54 км. В составе системы развернуто и эксплуатируется 22 базовые станции. Средняя плотность базовых станций составляет одна БС на 2,45 км. В качестве резервной продолжается эксплуатация радиосети УКВ-диапазона.

Таблица 4. Основные технические характеристики радиомодема GeminiG3

Характеристика		GeminiG3		
Диапазон рабочих частот, МГц		403–460, 450–512	Прием: 792–803	Прием: 851–869
			Передача: 762–773	Передача: 806–824
Шаг сетки радиочастот, кГц		25 или 50		
Скорость обмена данными, кбит/с		32, 48 или 57,6 в канале с шагом сетки 25 кГц	64, 96 или 128 в канале с шагом сетки 50 кГц	32, 48 или 64 в канале с шагом сетки 25 кГц
Габаритные размеры, см (Ш×В×Г)		15,4×5,1×18,2		
Количество каналов		32 (программируемые, удаленная настройка)		
Режим работы		полудуплекс		
Питающее напряжение, В		13,6 (ном.); 10,9–16,3		
Рабочая температура, °С		–30...+60		
Защита данных		AES 128-бит		
Защита по питанию		15 А (внешний предохранитель), защита от переполюсовки		
Потребляемый ток:	передача при 13,3 В, А	< 12 А		
	прием при 13,3 В, мА	< 750 (включая навигационный приемник)		
Приемник				
Чувствительность, дБм		–98 (64 кбит/с)	–94 (128 кбит/с)	–95 (64 кбит/с)
		–104 (48 кбит/с)	–100 (96 кбит/с)	–101 (48 кбит/с)
		–108 (43,2 кбит/с)	–106 (64 кбит/с)	–105 (43,2 кбит/с)
		–110 (32 кбит/с)		–107 (32 кбит/с)
Избирательность, дБ		77, номинально	68, номинально	77, номинально
		>75 мин. (25 кГц)	>65 мин. (50 кГц)	>75 мин. (25 кГц)
Интермодуляция, дБ		80 ном.	78 ном.	80 ном.
		>75 мин.	>75 мин.	>75 мин.
Передатчик				
Время атаки, мс		< 10 (отклонение не более 1 мс)		
Выходная мощность, Вт		10–40	10–35	
Модем				
Коррекция ошибки		Гиперкод		
Программная синхронизация		Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность		1×10^{-9} (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Частота появления ошибок		< 1% @ –107 с коррекцией ошибки на скорости 32,0 кбит/с		
		< 1% @ –110 с коррекцией ошибки на скорости 25,6 кбит/с		
		< 1% @ –112 с коррекцией ошибки на скорости 19,2 кбит/с		
Защита данных		128-битный ключ		
Протокол обмена данными		TCP/IP		

Из разработанных в настоящее время технических средств наиболее полно критериям универсальной системы интервального регулирования движения поездов для перегонов соответствует система АБТЦ-М. В системах автоблокировки для контроля местоположения поезда (определения свободности или занятости блок-участка) могут использоваться рельсовые цепи или счетчики осей. Традиционным решением являются рельсовые цепи.

Система автоблокировки с тональными рельсовыми цепями, централизованным размещением аппаратуры и дублирующими каналами передачи информации АБТЦ-М представляет собой современную, выполненную на микропроцессорной элементной базе систему ИРДП и обеспечения безопасности движения поездов на перегонах. Движение поездов осуществляется как по сигналам напольных светофоров, так и с помощью автоматической локомотивной сигнализации как основного средства интервального регулирования с возможностью применения дублирующего радиоканала передачи информации. Система обеспечивает взаимодействие с аппаратурой электрической, диспетчерской централизации и другими системами автоматики. Важнейшим звеном систем интервального регулирования и обеспечения безопасности движения поездов является комплексное локомотивное устройство безопасности КЛУБ-У.

В настоящее время в системе микропроцессорной автоблокировки АБТЦ-М реализовано управление с подвижными блок-участками, обеспечивающее минимальный интервал попутного следования до 2,5 мин, что соизмеримо с работой метрополитена. Данный класс микропроцессорных систем управления принят в качестве базовой технологии для решения задач интервального регулирования как на интенсивных пассажирских ходах (Московское центральное кольцо), так и при реконструкции участков с интенсивным движением — Транссиб, БАМ и ВСМ.

Основные функции системы АБТЦ-М:

- организация и обеспечение безопасности движения поездов на участках с применением подвижных блок-участков;
- передача извещения в систему переездной сигнализации и контроль ее работы;
- автоматическая диагностика устройств системы с регистрацией отказов.

Упрощенная схема перспективной системы ИРДП с использованием радиоканала представлена на рис. 7.

Применение аппаратуры ИРДП в совокупности с устройствами цифрового радиоканала позволяет на действующей инфраструктуре ОАО «РЖД» организовать многозначную автоматическую локомотивную сигнализацию по главным путям как для правильного, так и для неправильного направления движения без установки оборудования АЛС-ЕН (автоматическая локомотивная сигнализация — единая непрерывная).

Комплекс обеспечивает формирование и передачу на подвижной состав следующей информации:

- состояние станционных маршрутов приема, передачи и отправления;
- показание входных светофоров;
- установленное направление движения по каждому пути перегона;
- состояние блок-участков каждого из путей перегона;
- ограничение скорости применительно к станционным маршрутам;
- ограничение скорости на блок-участке.

Для передачи информации между станционными и локомотивными устройствами предназначено оборудование цифрового радиоканала, размещенное на станциях и перегонах в соответствии с расчетами зон электромагнитной доступности (ЭМД), а также непосредственно на подвижном составе.

Информация о предлагаемой схеме передачи информации на локомотив по радиоканалу с использованием радиомодемов «МОСТ» представлена на рис. 8.

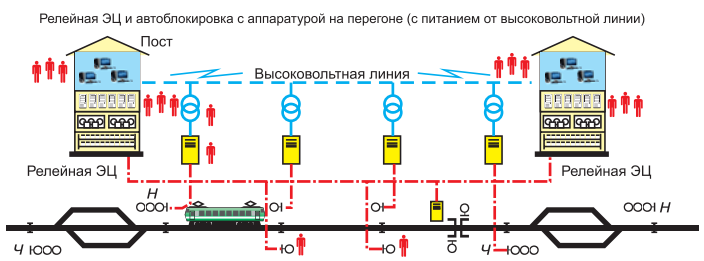
В качестве основного варианта реализации обмена данными между стационарными пунктами управления и подвижным составом разработчиками предлагается создание автономной радиосети для каждого перегона с разделением в пространстве, во времени и по радиочастоте перегонов индивидуально или в составе диспетчерского участка. Считается, что общий объем передаваемой информации в направлении «пункт управления — локомотив» в пределах каждого перегона диспетчерского участка может составлять до 240 байт, а в направлении «локомотив — пункт управления» — 400 байт (20 байт с каждого поезда, находящегося на каждом перегоне диспетчерского участка, при числе поездов не более 20). Границы перегонов должны определяться по данным приемника спутниковой навигации.

Предложенная схема организации связи предусматривает работу радиомодемов на базовых станциях и локомотивах с непрерывным циклом 3 с. Для обеспечения надежности доведения информации базовые станции должны дублировать передаваемые на борт поездов данные. Первая секунда выделяется для передачи на борт поездов сообщения длиной 240 байт одной базовой станцией и повторения его другой. То есть в течение 1 с двумя базовыми станциями должно быть передано в общей сложности не менее 4800 бит (480 байт, где 1 байт = 8 бит

Развитие систем интервального регулирования движения поездов с переходом к бессветофорной сигнализации

Существующие системы ЖАТ

Внедрение инновационной разработки позволит отказаться от необходимости размещения напольного оборудования СЦБ на перегонах включая проходные светофоры автоблокировки



Перспективные системы ЖАТ

Система интервального регулирования движения поездов с применением бессветофорной автоблокировки с подвижным блок-участком и передачей данных по цифровому радиоканалу

- Увеличение пропускной способности
- Сокращение эксплуатационных затрат
- Обеспечение участка цифровой технологической связью и сетью передачи данных

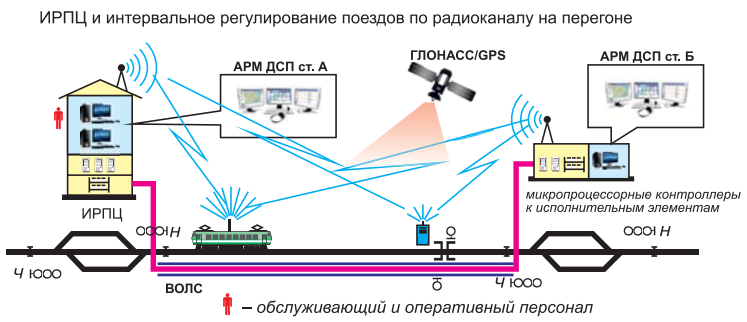


Рис. 7. Упрощенная схема перспективной системы ИРДП с использованием радиоканала

информации + 2 служебных «старт-стопных» бита). Общеизвестно, что при работе радиомодема не все выделенное для работы время используется на передачу информации. Значительная его часть затрачивается на выполнение служебных процедур, включая установление связи (включение и выключение радиомодема, набор необходимой выходной мощности для начала передачи и ее сброс после завершения). И чем выше выходная мощность, тем больше эти временные затраты. Например, в современных специализированных телеметрических радиомодемах время атаки передатчика может достигать 10 мс, а в обычных радиостанциях — десятков и даже сотен миллисекунд. Освобождение радиоканала потребует вдвое меньшего времени. В связи с этим в рассматриваемом варианте двум базовым станциям не хватит одной секунды, выделенной для передачи, для трансляции и дублирования сообщения в направлении «пункт управления — локомотив» со скоростью 4800 бит/с. Скорость обмена данными в радиосети, обслуживающей работу АБЦТ-М, должна быть выше обеспечиваемой радиомодемом «МОСТ».

При создании систем обмена данными с жесткой синхронизацией кроме времени, необходимого для выполнения процедур связи, следует учитывать нестабильность (допуски) заявленных технических параметров работы для индивидуальных устройств. В лучших образцах радиомодемов время атаки отдельных устройств одинаковой модели может отличаться на ±10%. Таким образом, при расчете радиосети требуется устанавливать между сеансами связи так называемый защитный интервал. Обычно он составляет не менее 20% заявленного в технических характеристиках устройства времени установления связи.

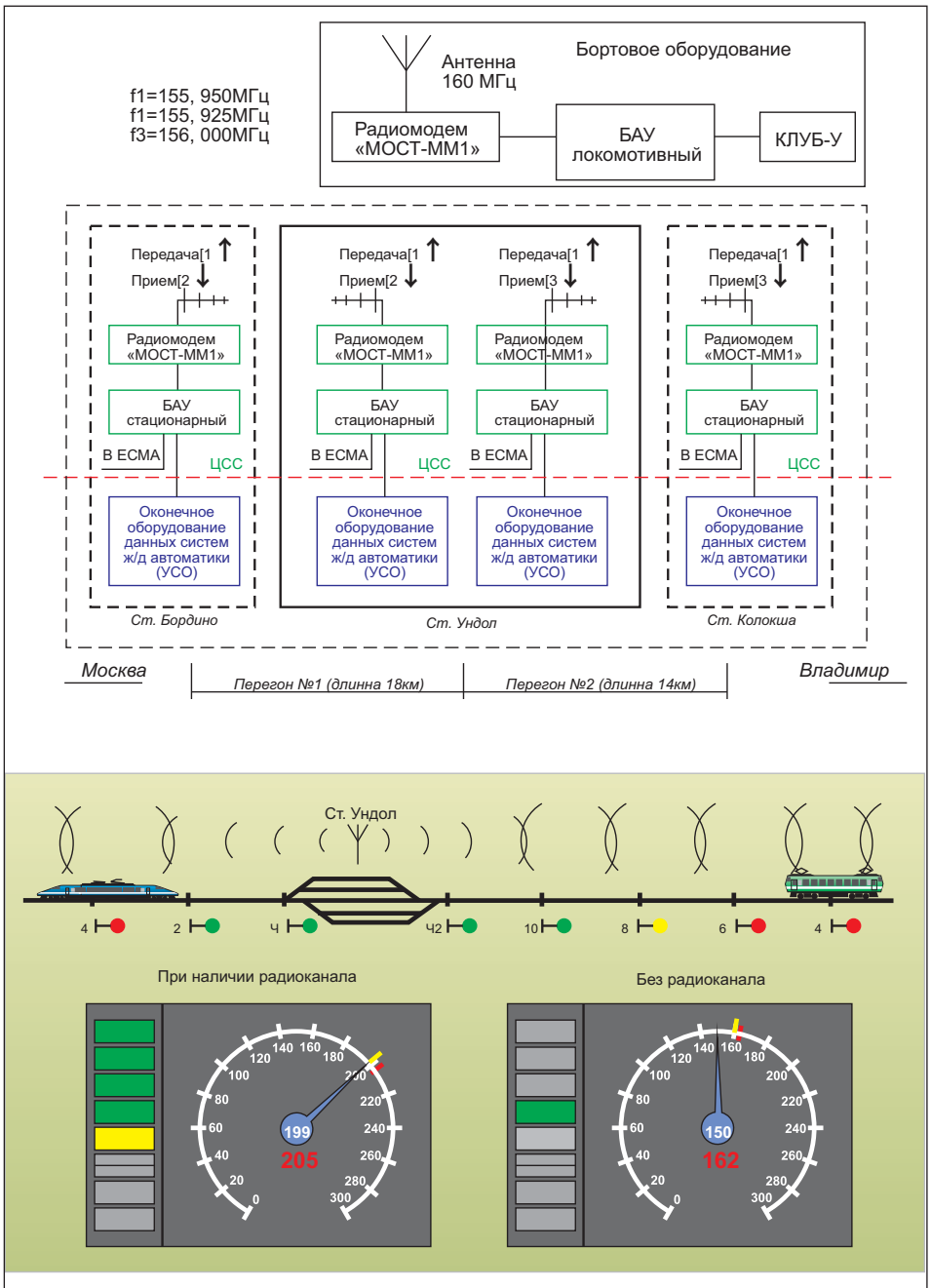


Рис. 8. Предлагаемая для АБТЦ-М схема передачи информации на локомотив по радиоканалу

Выполнение аналогичных приведенным выше расчетов с учетом реальных временных затрат для передачи данных в направлении «локомотив — пункт управления» дает следующий результат. Общее время для передачи данных от 20 поездов (максимально допустимое в АБТЦ-М количество) составляет 2000 мс, то есть каждому локомотиву выделяется для трансляции сообщения не более 100 мс. С учетом заявленных ограничений — 90 мс. Минимальное общее время передачи одного сообщения на скорости 9600 бит/с для радиомодема «МОСТ» составит 57 мс (установление связи — 22 мс; передача данных — 20 мс; освобождение канала — 11 мс; защитный интервал — 4 мс).

Указанного времени радиомодему «МОСТ» не хватает для того, чтобы провести повторную передачу сообщения в направлении «локомотив — пункт управления» в случае сбоя при доставке первого сообщения, что снижает надежность системы в целом.

Минимальное общее время передачи одного сообщения при работе на скорости 9600 бит/с через прозрачный радиомодем Guardian — 23 мс (установление связи — 1 мс; передача данных — 20 мс; освобождение канала — 1 мс; защитный интервал — 1 мс), что представляется вполне достаточным и обеспечивает адекватный резерв для дальнейшего развития системы с учетом имеющейся возможности наращивания скорости обмена данными без замены и модернизации технических средств.

Разработчики АБЦТ-М планируют повысить надежность системы за счет использования помехоустойчивого кодирования с применением кодов Рида — Соломона или Рида — Маллера. Такое решение потребует увеличения размера транслируемого с борта локомотива сообщения не менее чем на 50% и полностью исключит повторную трансляцию, существенно ограничив возможности по повышению надежности доставки данных за счет дублирования сообщения.

В настоящее время радиомодем «МОСТ» позволяет работать в помехоустойчивом режиме, но в этом случае обеспечивается передача пакетами данных длиной 6–15 байт. Время от начала загрузки пакета передаваемой информации длиной 8 байт до окончания выдачи пакета информации на приемной стороне составляет до 115 мс[1], что не удовлетворяет требованиям АБЦТ-М.

Сравнительные технические характеристики «прозрачных» радиомодемов УКВ-диапазона, работающих на скоростях выше 4800 бит/с, приведены в таблице 5.

Обеспечить дублирование при передаче данных в направлении «локомотив — пункт управления» с использованием помехоустойчивого кодирования в предлагаемой схеме организации обмена данными можно только в случае кардинального увеличения пропускной способности аппаратуры радиосети за счет повышения скорости обмена данными и сокращения времени выполнения служебных процедур связи.

В 2017 году специалистами ЗАО «НПП «Родник» (Москва) и ЗАО «НПЦ «Промэлектроника»

[1] Радиостанция 1Р22СВ-2 «МОСТ». Руководство по эксплуатации.

(Екатеринбург) проведены натурные испытания радиосети подсистемы управления железнодорожными переездами с использованием радиомодемов Guardian. По результатам испытаний программное обеспечение системы управления было доработано и полностью подготовлено к функционированию по радиоканалу.

В 2017 году специалистами ООО «Атомэлектроприбор» (Белгород) завершены работы по развертыванию в АО «Лебединский ГОК» (Губкин) системы радиоуправления и контроля стрелочными переводами (СРКСП), предназначенной для дистанционного управления стрелочными электроприводами, установленными на значительном удалении от постов централизации и не подключенными к системе управления устройствами сигнализации, централизации и блокировки предприятия и отображения их текущего состояния в реальном масштабе времени. В первую очередь стрелочными переводами в погрузочно-разгрузочных тупиках, местах подготовки, очистки и взвешивания вагонов, что позволяет производить размен подвижного состава без дополнительных затрат на обустройство железнодорожных путей и систем СЦБ. Применение СРКСП позволяет управлять стрелками как из кабины локомотива, так и с поста централизации.

СРКСП обеспечивает:

- контроль положения стрелки;
- контроль взреза стрелки;
- местное управление стрелкой при неисправности системы дистанционного управления;
- контроль нахождения подвижного состава в пределах стрелочного перевода;
- контроль нитей красного огня указателей светофорного типа;
- отмену приготовленного маршрута;
- аварийный перевод стрелки при неисправности стрелочной секции;
- установку и замыкание маршрута в нужном направлении;
- аварийное отключение стрелки.

Управление стрелочным переводом с применением цифрового радиоканала выполняется с помощью маневровой колонки на базе сенсорной панели или из кабины локомотива.

СРКСП не допускает:

- перевода стрелки под составом;
- перевода стрелок с других локомотивов при установленном маршруте;
- изменение установленного маршрута при движении по нему подвижного состава.

Функционирование СРКСП обеспечивается беспроводной технологической сетью связи, созданной на базе современных узкополосных радиомодемов диапазона ультракоротких волн.

Общая схема технологической радиосети обмена данными СРКСП представлена на рис. 9.

Рассматриваемая технологическая радиосеть обмена данными реализована на радиомодемах Viper-SC+. Она обеспечивает автоматический двусторонний обмен алфавитно-цифровой информацией между абонентами радиосети по IP-протоколу. К сети подключены пульты управления операторов и электроприводы стрелочных переводов. Учитывая, что пульты управления операторов подключены к общей информационной сети предприятия, дальнейшее распространение циркулирующей через них информации как по штатным каналам связи, так и по каналам технологической радиосети не представляет сложности.

Следует отметить, что первоначальная реализация СРКСП была выполнена на «прозрачных» радиомодемах Guardian, однако отсутствие необходимого радиочастотного ресурса (в распоряжении заказчика имелось только два радиочастотных номинала) предопределило переход на радиомодемы Viper-SC+, имеющие более высокую пропускную способность.

ОАО «НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова» (ОАО «Концерн ВКО «Алмаз-Антей») разрабатывает и производит систему интервального регулирования движения поездов метро. Работа данной системы обеспечивается комплексом технических средств каждого поезда, который вырабатывает и передает команды для диспетчерского пункта и позади идущего поезда о своей фактической скорости и коор-

Таблица 5. Сравнительные характеристики радиомодемов УКВ-диапазона

Характеристика		Радиомодем «МОСТ-Л»		Радиомодем Guardian-100/200/400/900			
		ОВЧ	УВЧ	ОВЧ		УВЧ	900 МГц
Внешний вид							
Диапазон частот, МГц		146–174	450–470	136–174	215–240	406–512	928–960
Шаг сетки частот, кГц		25		25 или 12,5 (настраивается программно)			
Тип излучения		16KF2D		9K55F1D, 9K35F1D, 11K6F1D, 14K6F1D, 16K4F1D			
Потребляемый ток:	прием, мА	350 (48 В)		360 (10 В); 200 (20 В); 150 (30 В)			
	передача 40 дБм (10 Вт), А	1,75 (48 В)		4,6 (10 В); 2,04 (20 В); 1,37 (30 В)			
	передача 30 дБм (1 Вт), А	не применимо		1,2–3,6 (10 В); 0,6–1,8 (20 В); 0,4–1,2 (30 В)			
Номинальная задержка при холодном старте, с		60		20			
Рабочее напряжение, В		48 (постоянный ток)		10–30 (постоянный ток)			
Рабочая температура, °С		–40...+60		–30...+60			
Температура хранения, °С		–50...+70		–45...+85			
Влажность, %		не более 80 (при температуре +25 °С)		5–95 (без образования конденсата)			
Габаритные размеры, см (Ш×Г×В)		22×24×9,7		13,97×10,8×5,4			
Масса (в упаковке), кг		4,1		1,1			
Рабочий режим		Симплекс, полудуплекс		Симплекс, полудуплекс, дуплекс			Симплекс, полудуплекс
Приемник							
Чувствительность (вероятность ошибки 1×10^{-6}), дБм:	25 кГц	–110 (9,6 кбит/с), –113 (4,8 кбит/с)		–100 (19,2 кбит/с), –107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)			
	12,5 кГц	не применимо		–107 (9,6 кбит/с), –110 (4,8 кбит/с)			
Подавление помех по соседнему каналу, дБ		нет данных		60/12,5 кГц; 70/25 кГц			
Интермодуляция, дБ		> 70		> 75			
Избирательность, дБ		> 73		> 70/25 кГц; > 60/12,5 кГц			
Передатчик							
Полоса пропускания без подстройки, МГц		28		38	25	64 (406,1–470) 62 (450–512)	32
Выходная мощность, Вт		5, 10		1–10			1–8
Время атаки, мс		< 22 (9,6 кбит/с), < 30 (4,8 кбит/с)		< 1			
Время переключения между каналами, мс		нет данных		< 15			
Импеданс, Ом		50		50			
Цикл работы на передачу, %		50% (продолжительность непрерывной передачи 60 с)		100			
Стабильность частоты, ppm		2,5		1			
Модем							
Скорость, кбит/с		4,8; 9,6		4,8; 9,6; 19,2			
Интерфейсы		последовательный, RS-232/485		последовательный, RS-232/422/485			
Антенна		PL-259		TNC («мама») — прием/передача, SMA («мама») — прием (для дуплексных моделей)			
Индикация		питание, перегрузка I, перегрузка U, прием/передача, RSSI, подключение к антенне		питание, состояние, подключение к сети, работа сети, прием/передача, RSSI, температура			
Вид модуляции		GMSK		2FSK			

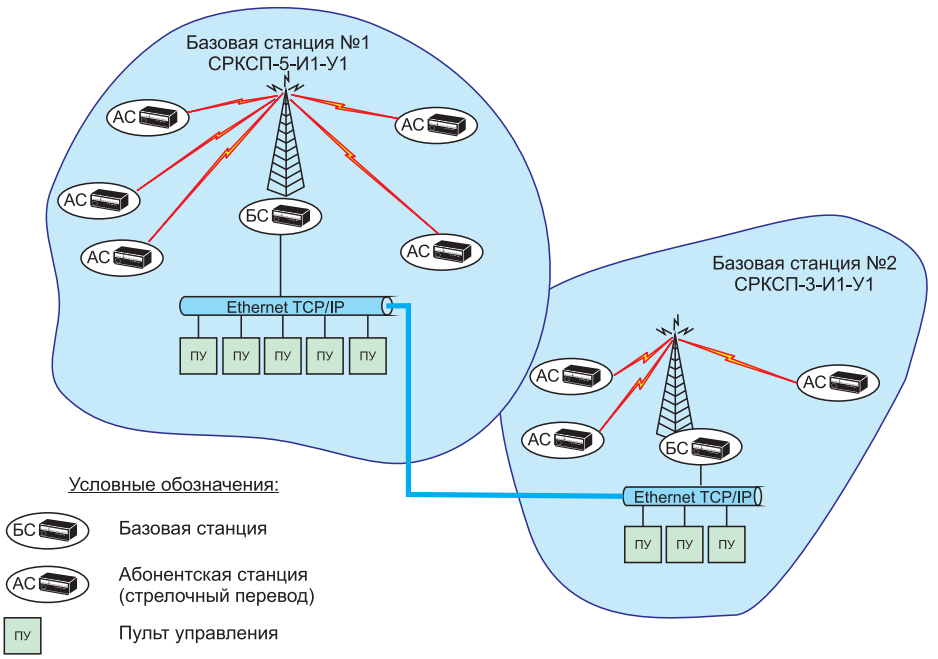


Рис. 9. Общая схема технологической радиосети обмена данными СРКСП

динатах собственных головы и хвоста, а также об исправности поездных устройств.

Позади идущий поезд должен гарантированно получать от впереди идущего состава информацию для автоматического регулирования скорости с периодом следования, определяемым поездной ситуацией на линии и действующими нормативными документами.

По принципу действия система передачи информации между поездами и диспетчерскими пунктами по радиоканалу должна быть непрерывно функционирующей: отсутствие информации о параметрах впереди идущего поезда в течение заданного периода должно приводить к торможению поезда до полной остановки.

В настоящее время на поездах метро применяется автоматизированная система управления, технической диагностики и безопасности движения нового поколения «Витязь»[2], которая обеспечивает автоматизированное «управление в одно лицо» составом до 10 вагонов метро, повышая надежность и безопасность движения в метрополитене.

Система «Витязь» — принципиально новая система, интегрирующая в единую многопроцессорную сеть все локальные системы управления оборудованием поездов метрополитена. Ее основные функции:

- автоматизированное управление оборудованием поезда метрополитена;
- автоматическое регулирование скорости, обеспечивающее безопасность движения на линии;
- диагностика и контроль устройств поезда и отдельных вагонов с отображением результатов и рекомендаций на цветном мониторе;
- противоюзовая защита колесных пар;
- автоматическая диагностика вагонного оборудования перед выездом на линию;
- резервирование основных функций управления составом для обеспечения надежности соблюдения графика движения на линии;
- регистрация параметров движения поезда в защищенном накопителе (функции «черный ящик»).

Система «Витязь» работает в режиме реального времени и по принципу многих единиц обеспечивает управление всем вагонным оборудованием, безопасность движения, полную диагностику вагонного оборудования и выдачу рекомендаций машинисту по управлению поездом.

Построение системы «Витязь» на основе открытой архитектуры дает возможность оперативной модернизации вагонов и улучшения их эксплуатационных характеристик.

В настоящее время на базе системы «Витязь» разработана система определения местоположения поезда на линии методом радиочастотной идентификации, проведены испытания режима прицельной остановки состава на станции в автоматическом режиме.

Подготовлена концепция создания комплексной системы управления движением поездов, реализующая следующие основные функции:

- обеспечение безопасности движения поезда путем постоянного контроля фактической скорости и ее автоматического снижения при превышении допустимых значений на основе информации, передаваемой по радиосети;
- управление движением поезда в автоматическом режиме с выполнением графика движения — роль машиниста при этом либо полностью отсутствует, либо ограничивается управлением дверями и отправлением поезда от станции.

В период с апреля 2009 по декабрь 2010 года были успешно проведены предварительные и демонстрационные испытания оборудования конвенциальной радиосети обмена данными на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3 в Московском метрополитене с целью определения возможности его использования в составе комплексной системы управления метрополитена и обеспечения надежного функционирования системы «Витязь» в звене «поезд — диспетчер станции».

Испытания выполнялись в три этапа.

На первом этапе в депо производились измерения рабочих параметров устройств конвенциональной радиосети на совместимость с действующими техническими средствами метрополитена, отрабатывались варианты размещения радиооборудования в головном вагоне поезда, осуществлялась его стыковка с поездной системой управления. Наличие у оборудования обмена данными развитых современных интерфейсов обеспечило его сопряжение с комплектами аппаратуры системы «Витязь» без его дополнительной доработки.

На втором этапе осуществлялась передача информации средствами конвенциальной радиосети в тоннеле метрополитена в автономном режиме (без подключения к поездной системе управления). Базовая станция устанавливалась на станции метрополитена, стационарные приемопередающие антенны — в портале тоннеля. Абонентский радиомодем размещался на дрезине и перемещался по тоннелю в направлении от базовой станции. При этом выполнялись измерения дальности действия радиосвязи и уровней сигналов в зависимости от мощности передатчика, скорости обмена данными и типа приемопередающих антенн. Результаты показали возможность обеспечения надежного обмена данными с одной базовой станции по двум тоннелям метро на удаление до 1200 м без использования щелевого кабеля.

На третьем этапе абонентский радиомодем располагался на поезде и был подключен к поездной системе управления. Выполнялась передача информации о фактических параметрах движения поезда от поездной системы управления на базовую станцию радиосети при контрольных обкатках поезда. Передача данных при испытаниях контролировалась как на борту поезда, так и на станции метрополитена. Конвенциональная радиосеть обеспечила трансляцию телеметрической информации с борта поезда метро с заданной периодичностью (изменялась от двух до пяти сообщений в секунду в зависимости от удаления поезда от станции) и задержками. Наилучшие результаты были получены при использовании протокола UDP. Оценка пропускной способности радиосети показала, что каждая базовая станция обеспечивает обслуживание не менее 12 поездов метро в двух параллельных тоннелях при заданной интенсивности трансляции сообщений с борта каждого из них.

По результатам испытаний оборудование конвенциональной радиосети не оказывает влияния на действующие технические средства метрополитена и обеспечивает гарантированный обмен информацией между поездной системой управления и стационарным оборудованием. ■

Продолжение следует

[2] Медуницин Н. Б., Малинин О.В. Автоматизированная система управления, диагностики и безопасности движения вагонов метро нового поколения «Витязь». Жуковский, ГП НИИ приборостроения им. В. В. Тихомирова, 2006.

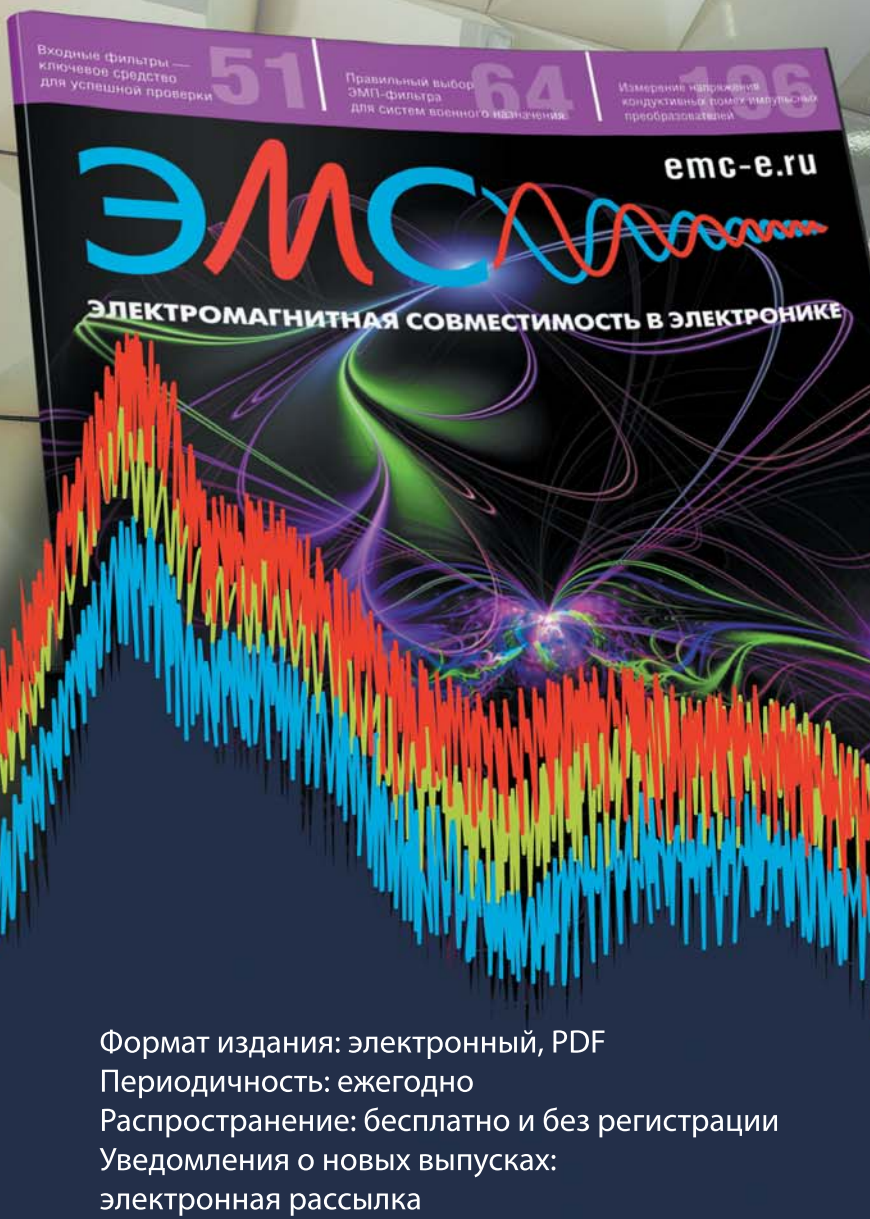
Ежегодный электронный сборник
«Электромагнитная совместимость в электронике»

Сборник материалов из журналов «Компоненты и технологии», «Электронные компоненты» и «Современная электроника», посвященный электромагнитной совместимости

КОМПОНЕНТЫ И ТЕХНОЛОГИИ
Components & Technologies

WWW.ELCOMDESIGN.RU
ЭК
Electronic Components

СОВРЕМЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА



РУБРИКИ:

- Стандарты ЭМС
- Пассивные компоненты
- ЭМП-фильтры
- Заземление
- Экранирование
- Топология печатных плат
- САПР
- Разработка и конструирование
- Испытание на ЭМС

Формат издания: электронный, PDF
Периодичность: ежегодно
Распространение: бесплатно и без регистрации
Уведомления о новых выпусках: электронная рассылка

Принимаем свежие новости и статьи от компаний и независимых авторов.
Успейте попасть в новый номер!

ЗАХОДИТЕ НА САЙТ, ЧИТАЙТЕ И СКАЧИВАЙТЕ ИНТЕРЕСУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

emc-e.ru

MEDIA C&T
МЕДИА КИТ

electronics
media group

QUECTEL
Build a Smarter World

LG77L — высокопроизводительный GNSS-модуль

- Супер компактный
- Мульти констелляция
- Сверхнизкое потребление энергии

реклама

For more information contact us at

www.quectel.com

Quectel is the leading global supplier of cellular and GNSS modules, with a broad product portfolio covering the most recent wireless technologies

Tel: +86 21 5108 6236
Tel.: Mobile: +7 9117240893
Web: www.quectel.com
Email : alexander.pronin@quectel.com