

Система связи КВ- и МВ-диапазона на отечественной элементной базе

А. Бороздин¹

УДК 621.396 | ВАК 05.13.01

Рассматриваются требования к современным средствам связи на российских железных дорогах, описываются аппаратные и программные технические решения локомотивной радиостанции.

Радиосвязь на железной дороге необходима для обмена оперативной информацией между машинистами, диспетчерами, ремонтными бригадами и другими участниками, а также для организации информационного канала между локомотивным и станционным автоматическим оборудованием. Поскольку связь оперативная, к осуществляющим ее средствам выдвигаются прежде всего такие требования, как надежность, автономность, гарантированность, время выхода на передачу. Ширина канала должна быть достаточной для передачи голоса (300–3400 Гц) и в то же время в выделенном ГКРЧ-диапазоне должно помещаться большое количество частотных каналов. Традиционно на российских железных дорогах используется аналоговая радиосвязь в двух диапазонах – 2 и 150 МГц. В обоих диапазонах используется частотная модуляция сигнала, мощность передатчика составляет 10 Вт. В диапазоне 2 МГц существует два канала, в диапазоне 150 МГц – 172 канала. Аналоговая радиосвязь широко используется в настоящее время, но ей присущи такие недостатки, как ухудшение качества речи на границе зоны покрытия, отсутствие контроля доступа к каналу, относительно широкий частотный канал и невозможность одновременной передачи голоса и данных.

Для решения указанных выше проблем и расширения возможностей средств связи, ОАО РЖД утвердило использование стандарта цифровой связи DMR. Этот стандарт разработан европейским институтом телекоммуникационных стандартов как единый открытый стандарт цифровой радиосвязи для профессиональных систем связи [1].

Основные характеристики стандарта DMR:

- разнос частот между соседними каналами 12,5 кГц;
- цифровая передача информации в радиоканале с применением помехоустойчивого кодирования;
- тип модуляции 4FSK;
- метод уплотнения каналов на одной несущей – TDMA;
- число временных каналов на несущей – два;
- скорость цифрового потока в радиоканале – 9,6 кбит/с;

- способ разделения каналов – частотно-временной;
- одновременная передача голоса и данных;
- развитая логическая организация – приоритетный, групповые и индивидуальные вызовы.

Важной особенностью DMR является возможность использования одного и того же приемопередатчика для цифровой и аналоговой связи, что позволяет использовать одну и ту же радиостанцию в различных сетях, выбирая соответствующий алгоритм работы. Требования к средствам связи, реализующим DMR-протокол, определяются в ГОСТ Р 56172.

Стандарт DMR определяет несколько уровней организации сетей, в терминологии DMR они называются Tier. Tier 1 – это простейший вариант реализации стандарта, предусматривающий групповые и широкоэмиттерные вызовы и не использующий деление TDMA (выходящая на передачу радиостанция занимает оба тайм-слота). Tier 2 – более функциональный уровень, поддерживающий адресацию абонентов и передачу различных данных. Tier 3 – уровень построения транкинговых систем на основе базовых станций. За основу цифровой системы связи на РЖД принят Tier 2 с некоторыми протокольными особенностями. Как и в аналоговой, существуют два типа радиосвязи: станционная и поездная. Они получили названия ЦСРС-160 и ЦПРС-160 соответственно. В этих сетях предусмотрена одновременная передача голоса и служебных данных, таких как координаты локомотива, скорость, уровень принимаемого сигнала и т. п. В системе поездной связи ЦПРС-160 реализуется переход между базовыми станциями (хэндовер).

DMR использует разные виды кодирования для передачи различных типов информации. Голосовые данные сжимаются вокодером AMBE2+, выделяющим и обрабатывающим только основные фонемы речи, тем самым удаляя посторонние шумы и повышая разборчивость. Вокодер использует проприетарный механизм помехоустойчивого кодирования, что позволяет сохранить приемлемое качество речи при частичной или полной потере пакета. Для передачи данных, включая служебные (заголовки пакетов), информация кодируется блочными кодами Hamming, Golay, Quadratic residue и кодами четности SPC. Коды Hamming используются в качестве компонентных

¹ АО «ПКК Миландр», начальник отдела разработки программного обеспечения ЦП РЭА, borozdin.a@milandr.ru.

кодов в турбокодах BPTC. Описанные помехоустойчивые коды представляют основную сложность реализации, так как требуют значительных вычислительных ресурсов.

При реализации системы связи, совместимой с DMR, возможны два пути: использование готового аппаратного или аппаратно-программного решения, либо разработка собственного такого решения. Использование готового решения выглядит привлекательно, но особенности протокола верхнего уровня, принятые в РЖД, требуют определенной гибкости настройки такого решения. К тому же локомотивные радиостанции обладают набором интерфейсов и стыков с различным специальным оборудованием, применяющимся в локомотивах, что еще больше ограничивает возможность использования готового решения. С другой стороны, привлекательно выглядит программная реализация стека DMR на процессоре, на который также возложены функции обработки данных с различных интерфейсов, управления и взаимодействия с машинистом. На основании этого в качестве центрального процессора разрабатываемой локомотивной радиостанции выбран процессор цифровой обработки сигнала 1967BH044 производства компании «ПКК Миландр».

Процессоры серии 1967 предназначены для эффективного решения задач и реализации алгоритмов ЦОС. Из основных особенностей архитектуры можно отметить одновременное выполнение до четырех инструкций за такт, векторные операции над числами в формате с плавающей точкой

разрядностью 32 и 64 бит, аппаратную поддержку операций типа умножение с накоплением (MAC), на основе которой реализуются цифровые фильтры, операции «бабочка», основной элемент реализации быстрого преобразования Фурье (БПФ), а также блок коммуникационных функций (CLU) [2]. В частности, аппаратная реализация операции кросс-корреляции XCORRS за один такт ядра позволяет получить корреляцию длинной входной последовательности и известной опорной последовательности для нескольких значений задержки, за счет чего одна из самых вычислительно затратных функций при обработке DMR-сигнала – поиск корреляции с известной синхропоследовательностью (что, в свою очередь, необходимо для символьной синхронизации) реализуется эффективно и не требует большого количества процессорного времени [3].

За счет аппаратной реализации других базовых операций, применяющихся ЦОС, обработка аналогового сигнала также получается эффективной и требует относительно небольших затрат процессорного времени. Благодаря этому появляется ресурс процессорного времени, нужный для функций контроля и управления, а также для взаимодействия с пользователем. Это позволяет использовать процессор не только для реализации цифрового модема, но и также в качестве процессора приложений.

Структурная схема радиостанции изображена на рис. 1. Периферийными интерфейсами к процессору подключены последовательные порты ввода-вывода, многоканальные

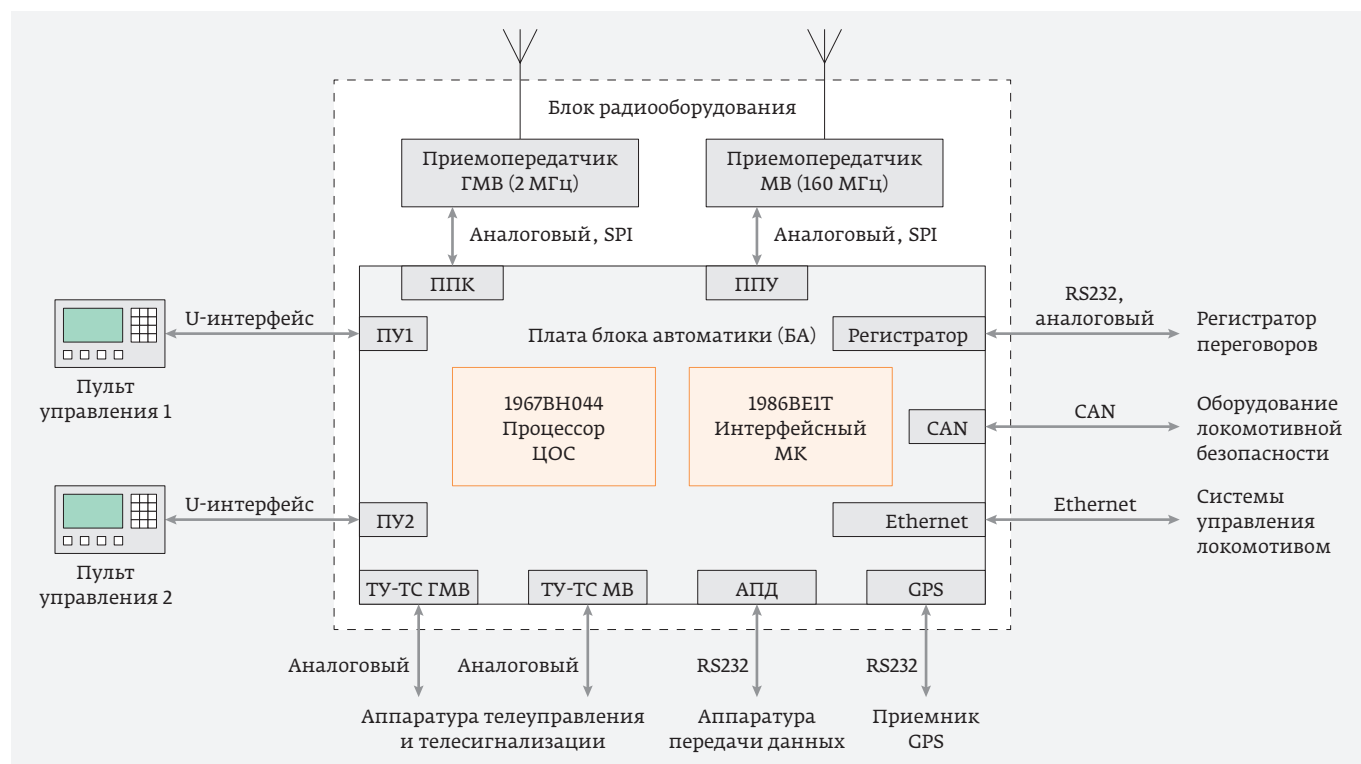


Рис. 1. Структурная схема разработанной радиостанции

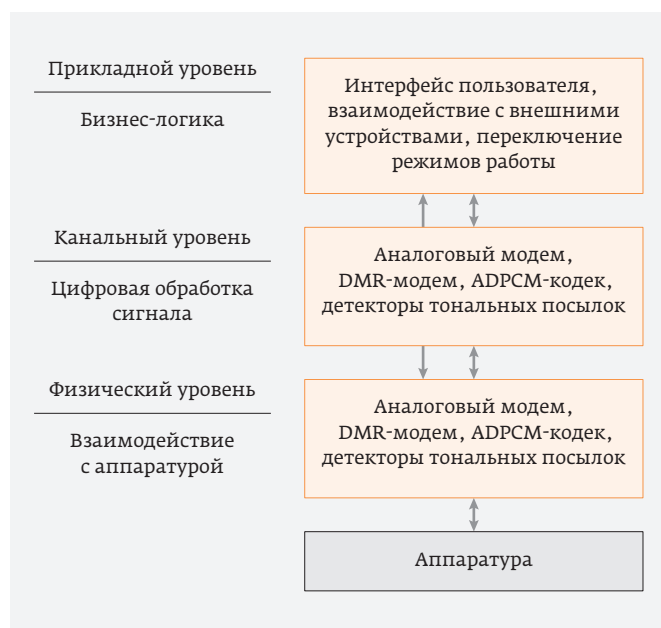


Рис. 2. Распределение функций по уровням организации

АЦП, ЦАП, а также ПЛИС, в которой реализованы различные контроллеры ввода-вывода. В передающем тракте источником ВЧ-сигнала служит синтезатор частоты с возможностью узкополосной частотной модуляции, далее сигнал поступает на усилитель мощности с цифровой регулировкой, проходит через контрольный датчик падающей и отраженной волны и излучается в антенну. Приемный тракт выполнен по супергетеродинной схеме с тройным преобразованием. Для подавления внеполосных частот на входе приемника имеется управляемый преселектор. Сигнал второй ПЧ 455 кГц после фильтрации захватывается АЦП, работающим в режиме субдискретизации, в цифровом виде смешивается с третьим гетеродином, фильтруется и далее обрабатывается в виде синфазной и квадратурной компонент.

Для обмена по интерфейсам Ethernet и CAN на плате установлен МК 1986BEIT. Он используется в качестве промежуточного звена и реализует протоколы взаимодействия по интерфейсам, разгружая основной процессор. Существует возможность обновления программного обеспечения как основного, так

и интерфейсного процессора при помощи специальной утилиты.

При разработке такого сложного и разнородного ПО, как ПО радиостанции, требуется детально проработать декомпозицию на модули и организацию взаимодействия между ними. Для программных модулей, работающих с потоками данных, характерны регулярные периодические вызовы, обычно привязанные к наполнению внутренних буферов данными контроллером прямого доступа к памяти DMA. Обработка разовых событий, например внешних команд, подаваемых через один из интерфейсов, или действий пользователя, носит нерегулярный характер и происходит по мере возникновения этих событий. Исходя из этих соображений, для распределения процессорного времени используется ОСРВ с вытесняющей многозадачностью. Программные модули сгруппированы в шесть задач с различными приоритетами, соответствующими выполняемым ими функциям (рис. 2, 3). Контроллеры управляющей бизнес-логики описаны в виде машин состояний или конечных автоматов (FSM), взаимодействующих друг с другом.

Вид радиостанции со снятой крышкой показан на рис. 4. В диапазоне МВ разрабатываемая радиостанция может работать в аналоговом режиме, режиме цифровой связи DMR Tier 2, а также в системах станционной и поездной цифровой связи РЖД ЦСРС-160 и ЦПРС-160, построенных на основе стандарта DMR. Реализованы алгоритмы поиска



Рис. 3. Распределение функций по задачам ОСРВ. Справа от названия задачи ее приоритет: чем меньше номер, тем выше приоритет



МИЛАНДР
ГРУППА КОМПАНИЙ

МИКРОСХЕМЫ / ПРИБОРЫ / СИСТЕМЫ

Разработка и производство

2019



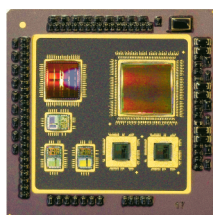
Разработка электронной техники: микросборки в конечной аппаратуре

МИКРОСБОРКИ

Микросборки производства компании «МИЛАНДР» позволяют разрабатывать современную малогабаритную аппаратуру цифровой обработки и захвата сигнала повышенной степени надежности

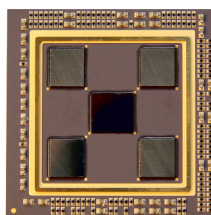
**Оптимальное
соотношение
технических
характеристик,
надежности
и стоимости**

«ОСВЕДОМЛЕННОСТЬ»



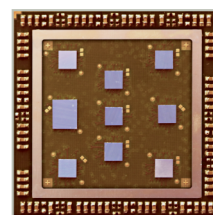
- DSP-процессор до 230 МГц
- Один 8-разрядный приемопередающий LINK-порт до 230 МГц
- 2 канала АЦП по 14 бит, семплирование 15–125 МГц
- Встроенная Флеш-память 16 Мбит (2 М x 8)
- Встроенная СОЗУ 12 Мбит
- Встроенные контроллеры 2 UART, 5 SPI, 2 SSI, LCD-конт-р, VideoCam, 2 МКМО (МКПД), 4 ARINC-429, 2 GPS
- Корпус 51 x 51 мм, CPGA

«ФЛИП-ЧИП»



- 4 DSP-процессора до 450 МГц
- Внешняя DSP шина, 32 бита адреса, 64 бита данных
- Четыре 4-разрядных приемопередающих LINK-порта до 450 МГц
- Встроенная Флеш-память 16 Мбит 2М x 8
- Встроенная СОЗУ 96 Мбит
- Напряжение питания 1.0 В ядро, 2.5 В LINK, 3.3 В Флеш
- Корпус 42 x 42 мм, CPGA

«МОДУЛЬ-АЦП8»



- АЦП 8 каналов по 14 бит, семплирование 15–125 МГц
- Отношение сигнал/шум не менее 70 Дб
- Когерентный захват сигнала по всем каналам АЦП
- Корпус 41 x 41 мм, CPGA

Мы создаём будущее

124498, г. Москва, Зеленоград, Георгиевский пр-т, д. 5 • info@milandr.ru

+7 (495) 981-54-33 • +7 (495) 981-54-36 (факс)

/ MILANDR.RU



Рис. 4. Внешний вид блока радиостанции со снятой крышкой

цифровых сетей при нахождении в аналоговом режиме, механизмы группового и индивидуального вызовов, а также хэндовер между базовыми станциями сетей цифровой

связи РЖД. В настоящее время начинается разработка базовой станции систем ЦСРС-160 и ЦПРС-160, что в сочетании с локомотивной радиостанцией создаст законченную цифровую систему связи.

ЛИТЕРАТУРА

1. Technical Specification ETSI TS102 361: Electromagnetic compatibility and Radio spectrum Matters (ERM); Digital Mobile Radio (DMR) Systems https://www.etsi.org/deliver/etsi_ts/102300_102399/10236101/02.02.01_60/ts_10236101v020201p.pdf
2. Процессор цифровой обработки сигналов 1967BH044. Спецификация. <https://ic.milandr.ru/upload/iblock/1dc/1dcec3b58e044bd3adb853be35d1defb.pdf>
3. Decoding of DMR-Standard Block Codes on the 1967BH034 Processor (2017 IVth International Conference on Engineering and Telecommunication (EnT)) <https://ieeexplore.ieee.org/document/8241258>