

Вопросы применения многопараметрической адаптации для железнодорожной технологической радиосвязи

А. А. Привалов

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I
apivalov@inbox.ru

П. Н. Ерлыков

Петербургский государственный университет путей
сообщения Императора Александра I
petrerlikov@mail.ru

Аннотация. В статье описаны вопросы применения многопараметрической адаптации для систем подвижной радиосвязи, и, в частности, применение адаптации в цифровой системе технологической радиосвязи DMR, которая призвана заменить аналоговую радиосвязь в качестве технологической связи на железнодорожном транспорте.

Ключевые слова: многопараметрическая адаптация; подвижная радиосвязь; стандарт DMR; технологическая радиосвязь

I. ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ СЕТЕЙ ПОДВИЖНОЙ РАДИОСВЯЗИ. АДАПТИВНЫЕ МЕТОДЫ РАЗВИТИЯ

С развитием систем связи широкое распространение получают спутниковые, волоконно-оптические и сотовые системы связи.

Общими тенденциями развития систем подвижной радиосвязи на современном этапе следует считать увеличение доли документальной информации, повышение объемов передаваемой информации и скорости ее передачи, ужесточение требований к качеству связи (в первую очередь к достоверности передаваемой информации) и переход к пакетной передаче данных.

При этом изменяется структура и организационно-технические принципы построения перспективных сетей радиосвязи, строящихся на основе автоматической маршрутизации, ретрансляции и доступа корреспондентов к узловым радиостанциям сети.

С другой стороны, современный уровень развития техники и широкое применение цифровой обработки сигналов позволяют реализовать эффективные алгоритмы обработки сигналов в системах радиосвязи, что приводит к повышению качества радиосвязи за счет уменьшения влияния непреднамеренных и преднамеренных радиопомех и уменьшению энергетических параметров радиополитий. Такое положение позволяет снизить требования по электромагнитной доступности систем радиосвязи и ускорить возможности перехода к автоматизированным сетям радиосвязи.

Однако существует **противоречие** между требованиями по повышению объема передаваемых

данных к системам радиосвязи в условиях воздействия интенсивных шумов и помех, а также их смесей и невозможностью существующих алгоритмов адаптации параметров сигналов обеспечить необходимый уровень качества передачи информации.

Анализ перспектив развития сетей подвижной радиосвязи позволяет выявить основные тенденции их развития:

- **многопараметрическая адаптация** – заключается в целенаправленном изменении в зависимости от условий распространения радиоволн и помеховой обстановки таких параметров, как рабочая частота, скорость передачи данных, адаптация по мощности передатчика.
- применение помехоустойчивого кодирования, которое включает в себя: сверточное и блочное кодирование, перемежение и скремблирование.
- переход на цифровую пакетную радиосвязь между всеми участниками сети.

Таким образом, совершенствование системы подвижной связи должно идти по пути использования **адаптивных методов**, состоящих в постоянном слежении за состоянием канала связи и использованием в каждый момент времени оптимальной сигнально-кодовой конструкции, частоты, мощности и алгоритма обработки сигналов. Также может быть использована адаптация по диаграмме направленности приёмных антенн. [2]

II. ЗАДАЧИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ.

ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ И РЕЧИ В СТАНДАРТЕ DMR

Технологическая железнодорожная радиосвязь – один из важнейших информационных каналов технологического процесса перевозок на железнодорожном транспорте, непосредственно влияющий на эффективность и безопасность его работы. Технологическая радиосвязь делится на поездную (ППС), станционную (СПС) и ремонтно-оперативную (РОПС) радиосвязь.

При этом технологическая железнодорожная радиосвязь предполагает использование передачи данных

и речи. Предполагаемое использование передачи речи и передачи данных в различных технологических процессах показано в табл. 1.

ТАБЛИЦА I ПРЕДПОЛАГАЕМОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ И ДАННЫХ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ

Технологические процессы	Услуга	
	Речь	Данные
Связь контроллера с поездным радиоустройством*	Используется	Используется
Автоматическое управление движением поездов*	Не используется	Используется
Экстренный групповой вызов	Используется	Не используется
Маневровые групповые вызовы	Используется	Не используется
Ремонт пути	Используется	Не используется
Местная связь на станциях*	Используется	Используется
Радиосвязь на подвижном составе*	Используется	Используется
Приоритетные вызовы*	Используется	Используется
Отслеживание положения поезда*	Не используется	Используется
Приложения телеметрии	Не используется	Используется

Исходя из потребностей по передаче речи и передаче данных и учитывая, что сети технологической радиосвязи также могут использоваться при высокоскоростном движении поездов, можно сформировать требования для этих сетей по достоверности, своевременности и безопасности (табл. 2).

ТАБЛИЦА II ОСНОВНЫЕ ТРЕБОВАНИЯ ПО СВОЕВРЕМЕННОСТИ, ДОСТОВЕРНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ

Наименование параметра сети связи	Значение
Коэффициент готовности	Не хуже 0,999
Вероятность установления соединения	Не менее 0,95
Вероятность своевременной доставки сообщений	Не хуже 0,99
Вероятность ошибочного приема символа: – для телефонных переговоров – для передачи данных и документального обмена	Не более 10^{-4} Не более 10^{-5}
Вероятность появления ложных сигналов (трансформации команды)	Не более 10^{-7}
Скорость передачи информации	9,6 кбит/с

При этом самыми критичными параметрами являются коэффициент готовности, вероятность своевременной доставки сообщений и вероятность трансформации команды и приведены для высокоскоростного движения. Высокие показатели по коэффициенту готовности можно обеспечить за счёт «двойного покрытия». Для своевременной доставки сообщений возможно уменьшение объёма их передачи, что, в принципе, уже реализуется за счет упрощения (снижения) трафика при высокоскоростном движении.

Рассмотрим передачу данных и речи в системах технологической радиосвязи на примере стандарта подвижной радиосвязи DMR (Digital Mobile Radio). Основные характеристики стандарта DMR были рассмотрены в [3]. Поэтому в данной статье рассмотрим лишь структуру пакетов DMR.

Обобщенная временная диаграмма обмена между абонентской (MS) и базовой (BS) станцией представлена на рис. 1, где слоты двух физических каналов TDMA маркированы «1» и «2». Восходящая посылка маркирована «MS TX», а нисходящая посылка маркирована «BS TX» [4].

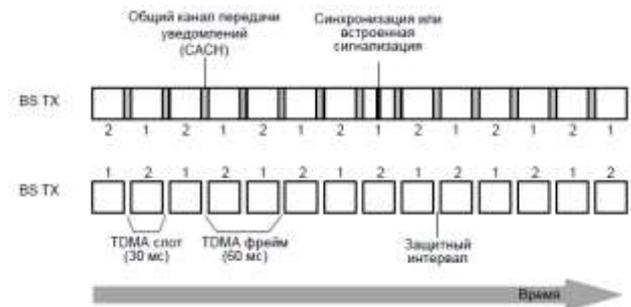


Рис. 1. Временная диаграмма обмена данными в DMR

Восходящий канал имеет неиспользуемый защитный временной интервал между пакетами, чтобы компенсировать задержку распространения и время нарастания сигнала усилителя.

Нисходящий канал имеет общий канал передачи уведомлений (далее CACH) между пакетами для управления каналом трафика (структурирование и доступ), а также низкоскоростную сигнализацию.

В пакете имеется синхрогруппа или встроенная сигнализация, расположенная в центре пакета. Размещение встроенной сигнализации в центре пакета позволяет во время передачи от абонентской станции дополнительно переходить к нисходящему каналу и восстанавливать информацию о реверсивном канале.

Канальные пакеты 1 и 2 в восходящем канале смещены на 30 мс относительно канальных пакетов 1 и 2 в нисходящем канале. Такая схема передачи позволяет использовать одно поле идентификатора общего канала передачи уведомлений в нисходящем канале при обращении к восходящему и нисходящему каналу с тем же номером.

В речевых пакетах и пакетах данных используются различные синхрогруппы, чтобы позволить получателю различать пакеты. Различные синхрогруппы используются для восходящих и нисходящих каналов, чтобы помочь получателю исключать помехи от соседних каналов.

Универсальная структура пакета состоит из двух 108-битных информационных полей и 48-битной синхронизации или поля сигнализации как показано на рисунке 2. У каждого пакета есть общая длина 30 мс, но лишь 27,5 мс имеют 264 бита, которых достаточно для

передачи 60 мс сжатой речи, используя 216 бит информационного поля.

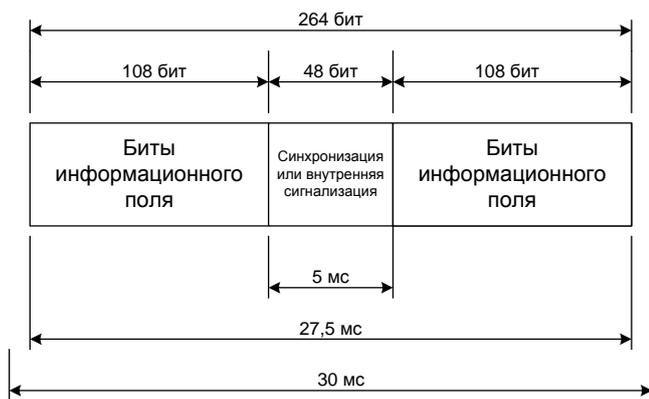


Рис. 2. Универсальная структура пакета в DMR

В восходящем канале оставшиеся 2,5 мс используются в качестве защитного интервала для компенсации задержки распространения сигнала и времени нарастания сигнала усилителя (см. рис. 3).

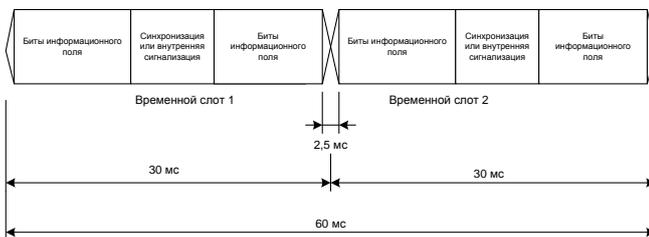


Рис. 3. Фрейм TDMA абонентской станции

III. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ РЕЧИ И ДАННЫХ В УСЛОВИЯХ ВОЗДЕЙСТВИЯ ПОМЕХ. ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АДАПТИВНЫХ МЕТОДОВ В СТАНДАРТЕ DMR

Передача каждого вида сообщений имеет ряд особенностей. Механизмы адаптации при передаче речи ограничены необходимостью обеспечить передачу синхронного цифрового потока с постоянной скоростью при выполнении достаточно жестких требований по задержке сигналов. Поэтому для передачи речи практически не применимы такие методы адаптации, как адаптация по скорости, глубине перемежения, виду сигнально-кодовой конструкции. При применении адаптации по частоте возникают сложности по обеспечению сохранения синхронизации при передаче речи.

Передача данных позволяет шире применять методы адаптации (адаптация по скорости, сигнально-кодовой конструкции, частоте, глубине перемежения), а также не предъявляет такие жесткие требования по задержкам. Требования по вероятности ошибки для передачи данных обычно значительно жестче, поэтому в условиях замираний и высокого уровня шума необходимо применять различные помехоустойчивые коды,

позволяющие снизить вероятность ошибки до требуемых величин. Также широкое распространение получили методы автоматического запроса повторной передачи неправильно принятых пакетов, позволяющие повысить достоверность.

Исходя из выше изложенного, можно сказать, что передача речи и данных в стандарте DMR должны осуществляться в разных пакетах. Требования по достоверности передачи речи значительно ниже, чем при передаче данных из-за того, что при возможном искажении символов пользователь все равно поймет значение речи «по смыслу». Поэтому скорость помехоустойчивого кодирования и глубина перемежения при передаче речи не критичны.

Передача данных в технологической радиосвязи может быть как связана с безопасностью движения поездов, так и не связана. В табл. 1 технологические процессы, в которых передача данных связана с безопасностью движения поездов помечены звездочкой (*). При этом самым опасным видом искажения при передаче данных является появление ложного сообщения или команды (см. табл. 2). Поэтому применение помехоустойчивого кодирования и увеличение глубины перемежения может оказаться недостаточным. Может потребоваться автоматический запрос повторной передачи неправильно принятых пакетов. Это вызовет уменьшение скорости передачи данных, но при отсутствии передачи видеозображений, – это не критично.

Методы адаптации по рабочей частоте при использовании подвижной радиосвязи были подробно рассмотрены в [1] и [3].

Что касается адаптации по мощности передатчика, то она может потребоваться при резком ослаблении сигнала в точке приёма из-за многолучевости радиоканала и уменьшения соотношения сигнал-шум. Однако в этом случае могут возникнуть проблемы с электромагнитной совместимостью, особенно на станциях. Поэтому практическое применение адаптации по мощности в системах технологической радиосвязи, и, в частности, в стандарте DMR, может быть осуществлено в системе поездной радиосвязи на перегонах. Более эффективным способом борьбы с многолучевостью и замираниями в радиоканале на станциях является метод разнесённого приёма.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Комарович В.Ф., Липатников В.А. Многоуровневая защита радиолиний декаметрового диапазона. СПб, 2003. 248 с.
- [2] Киселев О.Н., Панкин А.А., Корсунский А.С., Масленникова Т.Н. Метод связи с многопараметрической адаптацией // Интегрированные системы управления. Сборник трудов научно-технической конференции. 2016. с. 29-33.
- [3] Привалов А.А., Ерлыков П.Н. Методы многоуровневой защиты сетей подвижной радиосвязи стандарта DMR от случайных и преднамеренных помех // 75-я научно-техническая конференция, СПб НТО РЭС им. А.С. Попова, посвященная дню Радио. Сборник докладов, 2020. с.191-193.
- [4] СТБ ETSI TS 102 361-1/OP. Системы цифровой подвижной радиосвязи (DMR). Часть 1. DMR протокол радиointерфейса.