

Методы защиты сетей подвижной радиосвязи стандарта DMR от случайных и преднамеренных помех

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. The article describes the results of the efficiency analysis of methods multilevel protection of mobile communication systems. This article deals of methods protection digital railway radio DMR. DMR is designed to replace analog radio to digital radio.

Ключевые слова: *multilevel protection; mobile communication; Digital Mobile Radio (DMR); railway operational radio*

I. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Сети подвижной связи подвержены как случайным, так и преднамеренным помехам. Случайные помехи постоянно присутствуют в радиоканале и распределены по нормальному закону. Преднамеренные помехи создаются искусственно и могут поражать каждый из семи уровней системы передачи в соответствии с моделью взаимодействия открытых систем OSI (Open System Interconnection). Одним из способов борьбы с преднамеренными и случайными помехами является метод многоуровневой защиты сетей подвижной связи. Он подразумевает помехозащиту на каждом из семи уровней модели OSI.

II. ПРИНЦИПЫ МНОГОУРОВНЕВОЙ ПОМЕХОЗАЩИТЫ РАДИОКАНАЛА

На различных уровнях модели OSI помеха может быть представлена в виде:

- на физическом уровне – подавление сигнала путем создания оптимальной помехи в частотно-временном пространстве и с учетом значений фазовых параметров информационных элементов;
- на канальном уровне – создание структурной помехи с нарушением исправляющей способности кода; подавление системы синхронизации; оптимизация структуры помехи на длине кодовой комбинации при различных уровнях неопределенности о кодовой структуре сигнала.
- на сетевом уровне – подавление служебной управляющей информации; подавление элементов (узлов) сети блокирования, создание кольцевых

тупиковых маршрутов; воздействие имитационных помех на управление сетью;

- на транспортном уровне – перегрузка средств обмена с учетом дисциплины обслуживания; воздействие на алгоритм управления и протокольные блоки данных;
- на сеансовом уровне – подавление служебных и абонентских сообщений в зависимости от процедуры сеанса обмена данными; нарушение диалога между логическими объектами;
- на представительском уровне – создание помех с учетом принятого метода криптозащиты, разрушение кадров;
- на прикладном уровне – воздействие на данные прикладных процессов пользователей сети. [1]

Конструктивными принципами многоуровневой помехозащиты радиолинии являются:

- контроль рабочих и резервных каналов (методики построения алгоритмов контроля протоколов модификация последовательных процедур контроля);
- адаптация по частоте, структурой сигнала протоколом звена передачи данных, структурой и топологией сети связи;
- управление частотно-энергетическим ресурсом и маршрутным ресурсом.

Существуют следующие направления решения проблем помехозащиты:

- своевременное распознавание помех, адаптивное управление частотными, маршрутными и аппаратными ресурсами;
- динамическое управление помехозащищенностью радиолиний, оперативное распознавание помех и принятие мер на уровне звена передачи данных;
- динамическое формирование сигналов и протокола их передачи при повышении разведзащищенности и помехозащищенности на физическом уровне.

Для успешного применения методов многоуровневой защиты защищаемая сеть должна работать по принципу пакетной коммутации передаваемых сообщений с их предварительной обработкой и запоминанием, а также адаптивный выбор пути передачи сообщений.

При этом важнейшей является задача динамического управления частотным ресурсом, поскольку ее решение обеспечивает образование радиоканалов, в которых будут передаваться сообщения, а также поддержание требуемого качества образованных радиоканалов.

III. ОСОБЕННОСТИ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ В СТАНДАРТЕ DMR

Система цифровой подвижной радиосвязи DMR (Digital Mobile Radio) применяет технологию многостанционного доступа с временным разделением каналов TDMA (Time Division Multiple Access) и полосу радиочастотной несущей, равной 12,5 кГц. Пакет DMR – период радиочастотной несущей, которая модулируется потоком данных. Поэтому пакет представлен тайм слотом физического канала. Физический канал подсистемы DMR требуется, чтобы поддерживать логические каналы.

Логические каналы могут быть разделены на две категории:

- каналы информационного обмена, передающие речь или данные;
- каналы управления, несущие сигнализацию.

Обобщенная временная диаграмма обмена между абонентской (MS) и базовой (BS) станциями 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».

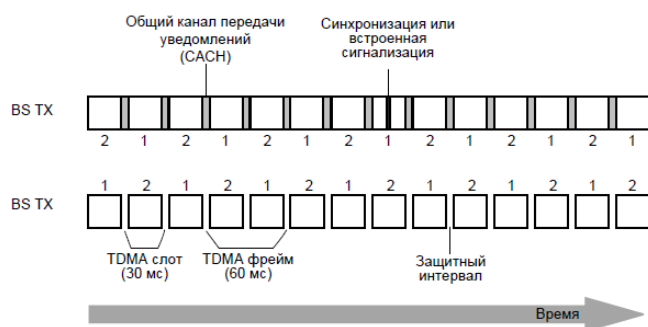


Рис. 1. Временная диаграмма обмена данными в DMR

В то время как базовая станция активна, в нисходящем канале осуществляется непрерывная передача, даже при отсутствии информации для отправки. Передача данных в восходящем канале прекращается, когда на мобильной станции отсутствует информация для передачи.

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.

Центры восходящих и нисходящих пакетов должны быть выравнены по времени.

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.

Расположение пакетов синхронизации в канале 1 не зависит от расположения пакетов синхронизации в канале 2. Расположение пакетов синхронизации в восходящих каналах не зависит от расположения пакетов в восходящих каналах.

Универсальная структура пакета состоит из двух 108-битных информационных полей и 48-битной синхронизации или поля сигнализации как показано на рис. 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.

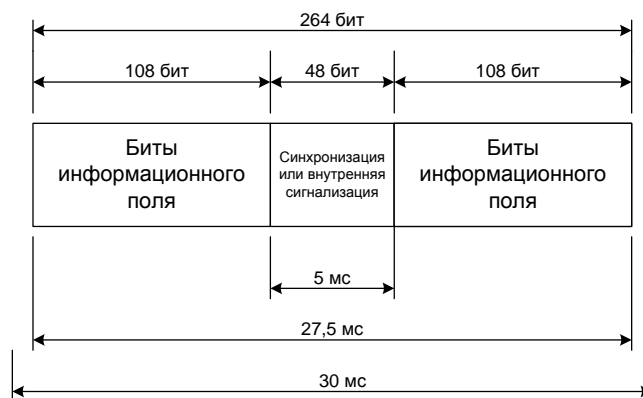


Рис. 2. Универсальная структура пакета в DMR

В центре каждого пакета имеется поле, которое содержит синхрогруппу или встроенную сигнализацию. Это поле помещено в середине пакета, что необходимо для реализации реверсивного канала сигнализации.

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

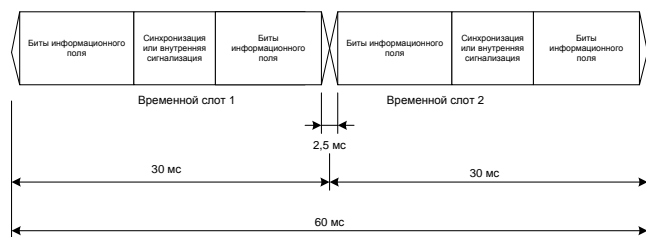


Рис. 3. Фрейм TDMA абонентской станции

IV. ВАРИАНТ РЕАЛИЗАЦИИ МНОГОУРОВНЕВОЙ ЗАЩИТЫ СЕТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ РАДИОСВЯЗИ DMR

Рассмотрим основные варианты реализации многоуровневой защиты в DMR.

Одной из мер многоуровневой защиты радиолиний является адаптивное управление частотными ресурсами. Метод динамического управления частотным ресурсом при воздействии помехи предполагает:

- контроль резервных частот и прогнозирование качества связи на этих частотах;
- управление частотным ресурсом радиолинии и адаптацию в сети;
- обмен информацией о состоянии частотного ресурса между радиолиниями.

DMR реализуется в полосах радиочастот 151,7–154,0; 155,0–156,0 МГц, что соответствует выделенному для ОАО «РЖД» диапазону метровых волн, который использовался для аналоговой радиосвязи. В отличие от аналоговых систем радиосвязи «Транспорт» стандарт DMR позволяет использовать как аналоговый, так и цифровой режим работы.

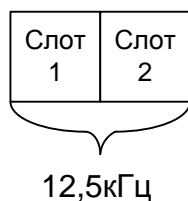


Рис. 4. Временная структура частотного канала в DMR

При работе DMR в цифровом режиме этот стандарт также использует технологию TDMA. При этом на каждом частотном канале шириной 12,5 кГц могут быть организованы 2 временных канала, выделяемых различным абонентам.

В качестве «резервных» частот в DMR могут быть выбраны соседние частоты с разносом 12,5 кГц и более между соседними частотами. Предпочтительное построение сети DMR предполагается по методу

чередующихся частот на линейном участке, т.е. периодическое повторение полос частот через определенное количество линейных базовых станций. Поэтому при перестроении одной частоты на «резервную», необходимо сетевое перестроение всех частот линейного участка, во избежание проблем с электромагнитной совместимостью.

Также мерой многоуровневой защиты сети является адаптивное управление маршрутными ресурсами. Маршрутизация в сети должна быть динамической, сеть должна использовать режим с коммутацией пакетов с предварительной обработкой и запоминанием передаваемых сообщений.

При этом стоит отметить, что передача данных с коммутацией пакетов осуществляется на основе предварительного разбиения передаваемой информации на пакеты, а передача данных с коммутацией каналов в DMR в чистом виде никогда не используется из-за интенсивности помеховых битов не менее 10^{-4} . SMS в DMR передаются по управляющему каналу (т.е. не в режиме реального времени), а SDS передаются по выделенному каналу (т.е. в режиме реального времени).

Одним из критериев наличия случайных и преднамеренных помех является наличие искаженных символов в переданной последовательности. Методами помехоустойчивого кодирования в радиоканале являются перемежение, блочное кодирование, свёрточное кодирование и скремблирование. При этом скорость помехоустойчивого кодирования обычно составляет 2/3. Помехоустойчивые биты можно расположить в битах внутренней сигнализации (рис. 2).

Однако наибольшую точность передачи может обеспечить передача данных через передающее оборудование с различной физической основой по мажоритарному принципу (для устранения систематической ошибки).

При рассмотрении использования «прямого режима» в DMR задача многоуровневой защиты будет более сложной, так как в этом режиме отсутствует управление по сети. Также при использовании режима «одной волны» (Simulcast) базовая станция включается в режим ретранслятора и передает свою частоту по радиоканалу другой базовой станции и т.д. Это дает возможность так называемого «мягкого» хэндовера, то есть при переходе абонента из одной соты в другую частота вызова не меняется. В этом случае адаптивное управление частотным ресурсом сводится к использованию «резервного» канала.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- [1] Комарович В.Ф., Липатников В.А. Многоуровневая защита радиолиний декаметрового диапазона. СПб, 2003. 248 с.
- [2] Лобов С.А., Семерков Н.Н., Егоров В.В. Системы и сети радиодоступа: Учебное пособие. СПб. Государственный университет аэрокосмического приборостроения, 2019. 130 с.
- [3] СТБ ETSI TS 102 361-1/OP. Системы цифровой подвижной радиосвязи (DMR). Часть 1. DMR протокол радиоинтерфейс.