

# Конвенциональные узкополосные технологические радиосети обмена данными повышенной надежности и живучести

В первой части статьи, опубликованной в REM № 1, 2010, был представлен пример построения конвенциональной широкополосной технологической радиосети обмена данными в МЧС России, а также рассказано о проблемах обеспечения безопасности данных в стационарных радиосетях. Во второй части речь пойдет об обеспечении безопасности данных в подвижных радиосетях и об использовании технологии параллельного декодирования/интеллектуального объединения радиосигналов с целью повышения надежности и живучести технологических радиосетей.

## Обеспечение безопасности данных в подвижных радиосетях

Подвижные технологические радиосети обмена данными подвергаются тем же угрозам, что и стационарные. Однако степень этих угроз существенно выше, поскольку удаленные объекты постоянно перемещаются, и их контроль оказывается более сложным по сравнению со стационарными радиосетями, а количество одновременно работающих в составе подвижной радиосети пользователей динамически изменяется. В подвижных радиосетях более высока угроза хищения радиотехнического оборудования и его использования для несанкционированного доступа в радиосеть.

### Целенаправленный перехват

Необходимо отметить, что в современных технологических подвижных радиосетях обмена данными используется схема централизованного управления радиосетью, а все данные передаются через базовые станции. В них применяется асимметричная схема адресации, то есть аппаратура базовой станции и подвижного объекта ведут себя по-разному, а сообщения, передаваемые в эфир одним подвижным объектом, не могут приниматься и использоваться другим без "разрешения" базовой станции. Таким образом, архитектура подвижной технологической радиосети обладает определенными свойствами, повышающими ее надежность и живучесть в условиях внешних воздействий.

Организация перехвата сообщений в подвижной радиосети обмена данными связана с теми же трудностями, что и в стационарной. Дополнительные трудности созда-

ются вследствие использования уникальных адресов, которые "прошиваются" в радиотехническую аппаратуру в заводских условиях и не могут быть изменены пользователем. Каждый радиомодем для подвижного объекта имеет несколько адресов (индивидуальный, групповой и циркулярный). Все сообщения, за исключением циркулярных, направляются в адрес строго определенного пользователя и не могут приниматься другим радиомодемом, работающим в составе радиосети.

Таким образом, даже при наличии незарегистрированного в радиосети комплекта бортового радиотехнического оборудования можно получить доступ только к циркулярным сообщениям, транслируемым базовой станцией. Комплект базового оборудования теоретически позволяет принимать адресованные базовой станции сообщения. Однако для этого необходимо изменить адрес имеющегося базового радиомодема на адрес радиомодема, реально используемого в составе радиосети, и развернуть оборудование в точке, обеспечивающей прием сообщений от всех или значительной части подвижных объектов, работающих в достаточно большой зоне. Но даже в этом случае эффект от перехвата данных будет весьма мал, поскольку основную оперативную ценность в значительной части подвижных технологических радиосетей представляют собой исходящие данные (управляющие сигналы, команды, распоряжения, результаты обработки обращений к базам данных и т.д.), передаваемые в адрес мобильных пользователей со стороны базовой станции.

Дополнительная безопасность данных обеспечивается применяемыми в аппаратуре для подвижных радиосетей обмена данными методами и средствами, включая парольную защиту и закрытие данных. И хотя такое препятствие не может рассматриваться как серьезное для специалиста, оно достаточно надежно страхует от "случайного доступа" к данным. Обеспечение более высокого уровня безопасности информации достигается за счет применения штатной аппаратуры шифрования.

### Угон служебного автомобиля

В случае угона служебного автомобиля при включении установленного в нем оборудования невозможно получить полный доступ ко всей информации, как в голосовой радиосети. В отличие от конвенциональных голосовых радиосетей, где каждый подключившийся к сети пользователь может принимать циркулирующие в

Окончание. Начало в REM № 1, 2010

ней сообщения, в радиосетях обмена данными это полностью исключено.

Поскольку устанавливаемый на подвижных объектах радиомодем имеет свой уникальный адрес, он может принимать только общие циркулярные сообщения и сообщения, адресованные только данному подвижному объекту в составе группы или индивидуально. Но при получении администратором информационной системы информации об угоне служебного автомобиля он может оперативно исключить адрес установленного на этом автомобиле оборудования из общего списка адресов и предотвратить передачу данных на установленный в угнанном автомобиле компьютер. Передача циркулярных сообщений на период локализации ситуации с угонем служебного автомобиля также может быть временно прекращена, а доведение данных до остальных пользователей производится с использованием групповых и индивидуальных адресов.

Поскольку управление работой всей сети обмена данными строго централизовано и обеспечивается дистанционно с базовой станции, аппаратура на угнанном автомобиле может быть просто дистанционно отключена. Факт отключения радиомодема легко подтверждается, поскольку каждая переданная в его адрес команда, включая команду на отключение, автоматически контролируется и фиксируется. В этом случае передача циркулярных сообщений в радиосети обмена данными может беспрепятственно продолжаться.

В некоторых реально действующих системах реализована специальная функция, обеспечивающая трансляцию ложных сообщений на компьютер в похищенном автомобиле, имитирующих реальный радиобмен, которая позволяет ввести похитителя в заблуждение и в большинстве случаев побудить его к выполнению действий, гарантирующих его задержание.

В современных системах, использующих навигационные средства, обеспечивается автоматическая передача диспетчеру данных о местоположении подвижного объекта. Таким образом, в случае угона служебного автомобиля администратор радиосети имеет возможность дистанционного его контролировать. Поскольку управление работой бортовой аппаратуры и передачей навигационной информации с подвижного объекта также производится дистанционно через базовую станцию, имеется возможность изменения режима ее работы в сторону увеличения интенсивности трансляции навигационных данных с борта угнанного автомобиля, что гарантирует задержание угонщика и возврат автомобиля.

### **Несанкционированное подключение**

Целью подключения к подвижной технологической радиосети обмена данными в большинстве случаев является получение доступа к базам данных или просто "просмотр" передаваемых данных. Эта задача решается с использованием соответствующего специального оборудования, поддерживающего применяемые в радиосети обмена данными протоколы. Получить в распоряжение такое оборудование достаточно просто, но решение второй части задачи представляется существенно более сложным.

Перечисленные выше трудности, возникающие при попытке использовать незаконно полученное оборудо-

вание для целенаправленного перехвата, встают и при попытке получить доступ к работе в составе подвижной радиосети обмена данными. Применяемая схема адресации исключает возможность подключения к сети обмена данными нового пользователя без автоматического уведомления администратора радиосети. Несмотря на то, что функционально оборудование для подвижных радиосетей обмена данными обеспечивает динамическое подключение к сети новых пользователей, информация о вновь появившихся адресах фиксируется и анализируется, что позволяет предпринять любые ответные действия из описанных выше. Поскольку изменение "прошитого" в заводских условиях адреса подвижного радиомодема невозможно, а сам он является уникальным для каждого устройства, оказывается невозможным организовать работу под одним из адресов, официально прописанных в системе.

Кроме того, в этой ситуации достаточно просто запеленговать передатчик "нового пользователя", предоставив ему контролируемый доступ в систему на период, необходимый для проведения мероприятий по его локализации и задержанию, либо дезинформирования. При этом для упрощения процесса пеленгования можно легко организовать интенсивную передачу данных со стороны компьютера "нового пользователя".

### **Устойчивость к подавлению и воздействию помех**

Трудности по постановке помех для стационарных радиосетей обмена данными в полном объеме относятся и к подвижным радиосетям. Поток цифровых данных в подвижных технологических радиосетях более устойчив к воздействию помех по сравнению с речевыми сообщениями вообще, а серьезная устойчивость к воздействию помех дополнительно обеспечивается встроенными функциями контроля и коррекции ошибки. Применяемые в составе подвижных радиосетей обмена данными технические средства имеют более высокую по сравнению со стационарными радиосетями выходную мощность, что также осложняет их подавление.

Целенаправленное подавление подвижных радиосетей связано с еще большими трудностями, если они имеют в своем составе несколько базовых станций и, тем более, если соседние базовые станции имеют полностью перекрывающиеся оперативные зоны. Поскольку передатчик помех всегда будет иметь меньшую зону охвата, значительная часть технологической радиосети обмена данными будет продолжать функционировать даже в случае полного подавления одной из базовых станций.

### **Технология параллельного декодирования/интеллектуального объединения радиосигналов**

Современные подвижные узкополосные технологические радиосети обмена данными строятся на специализированном оборудовании, позволяющем наряду с увеличением их пропускной способности поддерживать высокие характеристики надежности и живучести. Функционирование таких радиосетей организуется, как правило, на базе IP-протокола, что обеспечивает их

совместимость с любым программным обеспечением, поддерживающим этот протокол.

Использование IP-протокола стало возможным и целесообразным только после достижения достаточно высоких скоростей обмена данными в радиосети (выше 19,2 кбит/с). Однако повышение скорости обмена связано с решением ряда технических задач. Известно, что увеличение скорости обмена данными требует дополнительных энергетических затрат. Расчеты и практические измерения показывают, что при прочих равных радиосеть обмена данными, работающая на скорости 19,2 кбит/с, имеет рабочую зону примерно в четыре раза меньше, чем аналогичная радиосеть, работающая на скорости 4,8 кбит/с, при одинаковом соотношении сигнал/шум. При удвоении скорости для обеспечения той же чувствительности необходимо увеличить мощность выходного сигнала на 3 дБ. Увеличение скорости обмена данными с 4,8 до 19,2 кбит/с приводит к минимально возможной потере чувствительности в 6 дБ или выходной мощности в четыре раза.

На практике потери составляют около 9 дБ, поскольку теоретический минимум потерь рассчитан для идеальных условий распространения сигнала. Компенсация потери в 9 дБ требует увеличения выходной мощности применяемой аппаратуры примерно в восемь раз или до 250 Вт для подвижного объекта и 800 Вт для базовой станции. Использование таких мощностей в реальных системах невозможно. Потери в 9 дБ относятся к стационарным системам. Значение этого параметра еще более возрастает в подвижных системах, где более ощутимо влияние эффекта замирания в результате многолучевого распространения сигнала.

В любом случае, увеличение мощности передатчика не может считаться эффективным решением. Одним из достаточно простых решений является увеличение количества базовых станций при уменьшении оперативной зоны каждой из них (как это делается в сотовой связи). В этом случае потери мощности сигнала при передаче снижаются, поскольку мобильные пользователи находятся на более близком расстоянии от базовой станции. При этом для рассмотренного выше варианта, в котором потери мощности сигнала составляют 8-9 дБ, число базовых станций, которые смогут обеспечить работу в заданной зоне на скорости 19,2 кбит/с, должно быть увеличено в четыре раза по сравнению с аналогичной системой, работающей на скорости 4,8 кбит/с.

Как правило, владелец технологической радиосети обмена данными имеет ограниченные возможности по расширению базовой инфраструктуры, что связано, в частности, с дополнительными затратами на обеспечение безопасности системы и увеличением эксплуатационных затрат. В связи с этим в современных технологических радиосетях применяется специализированное оборудование, реализующее методы работы и алгоритмы обработки сигналов, позволяющие сохранить приемлемые размеры оперативной зоны базовой станции при наращивании скорости обмена данными.

Наряду с сокращением оперативной зоны базовой станции возрастает количество ошибок при передаче, которые обусловлены замираниями сигнала при многолучевом распространении в результате того, что радиовол-

ны достигают приемной антенны, проходя путь различной длины. Одни сигналы приходят в точку приема по прямой, другие – многократно отражаясь от местных предметов (зданий, складок местности, автомобилей и т.д.). Такая ситуация наиболее типична для крупных городов.

Замирание сигнала возникает в результате того, что различные радиосигналы, проходя различное расстояние и достигая приемной антенны в различное время, усиливают или, наоборот, подавляют друг друга. Обычно подавление сигнала составляет 30 дБ (то есть коэффициент подавления равняется 1000).

В определенной степени влияние затухания сигнала может быть компенсировано за счет восстановления потерянных во время передачи данных. Оно производится за счет использования избыточных данных, добавляемых к исходному сообщению перед его передачей. Эта технология, получившая наименование “коррекция ошибки” (FEC – Forward Error Correction), основывается на идее, что лучше пожертвовать частью пропускной способности радиоканала и передать сообщение увеличенного объема, чем повторно передавать сообщение полностью (в последнем случае потери пропускной способности радиосети и задержки в доставке данных будут значительно выше).

Как и любая другая, технология коррекции ошибки имеет свои ограничения. На определенном этапе объем избыточных данных, необходимых для надежной передачи сообщения, приводит к заметному снижению эффективности работы радиосети и увеличению накладных расходов, поскольку наиболее мощные алгоритмы коррекции ошибок требуют увеличения объема исходного сообщения в два раза.

С увеличением скорости обмена возрастает и объем избыточных данных, необходимых для восстановления переданного сообщения, поскольку удвоение скорости обмена данными приводит к увеличению в два раза потерь в результате затухания. Таким образом, при увеличении скорости обмена данными с 9,6 до 19,2 кбит/с необходимо увеличить объем избыточных данных в четыре раза. В случае применения IP-протокола объем передаваемых в радиосети данных существенно увеличивается также за счет служебной информации, связанной с использованием самого протокола. Все это ведет к заметному снижению эффективности радиоканала с точки зрения его пропускной способности.

### **Оборудование нового поколения Dataradio ParagonPD/GeminiPD и ParagonG3/GeminiG3**

Связанные с наращиванием скорости обмена данными технические проблемы получили решение в современных образцах радиомодемов, использующих технологию “параллельного декодирования/интеллектуального объединения” радиосигналов (Parallel Decoding/Smart Combining). Затухания радиосигнала возникают в определенных точках оперативной зоны базовой станции. На практике расположение таких точек определяется комбинацией сигналов, принимаемых в заданной точке оперативной зоны, и соотносится с длиной их волны. Если использовать два приемника с двумя разнесенными антеннами, то вероятность одновременного попадания двух антенн в точку затухания сигнала существенно снижается. Другими словами, если

одна антенна попадет в зону затухания сигнала, вторая, как правило, будет находиться вне этой зоны.

Впервые данный принцип был реализован в разработанных компанией Dataradio радиомодемах ParagonPD/GeminiPD и получил дальнейшее развитие в радиомодемах ParagonG3/GeminiG3. Пространственное разнесение приемных антенн не является новым методом, но представляется чрезвычайно эффективным.

Пространственно разнесенный прием может быть реализован двумя способами. Наиболее известным и широко применяемым является разнесенная коммутация, при которой из двух поступающих от приемных антенн сигналов детектируется только наиболее мощный. Этот способ позволяет увеличить процент успешно принятых сообщений, но на этом его преимущества и заканчиваются.

Разработчики вышеуказанных радиомодемов создали и запатентовали более совершенный способ, позволяющий использовать одновременно оба принимаемых сигнала. Одновременное использование двух потоков данных позволяет почти в два раза (реально – в 1,91) увеличить чувствительность приемника независимо от влияния эффекта затухания сигнала. Эта технология и получила наименование “параллельное декодирование/интеллектуальное объединение”.

В результате одновременного приема сигнала на две антенны появляется возможность их использования в различных комбинациях, а не просто выбора наиболее мощного из них. Разработанная Dataradio технология интеллектуального объединения сигналов позволяет применять различные алгоритмы обработки в зависимости от относительной мощности и тренда (тенденции изменения) параллельно принятых сигналов. Например, если более мощный сигнал имеет тенденцию к ослаб-

лению, предпочтение отдается менее мощному сигналу достаточной для использования мощности, который имеет тенденцию к усилению.

Радиомодемы ParagonPD и GeminiPD позволяют улучшить параметры принимаемого сигнала практически на 10 дБ, что соответствует увеличению мощности передатчика базовой станции в аналогичной по своим характеристикам радиосети в 10 раз. Это обеспечивает расширение зоны уверенного приема радиосигнала без использования дополнительных базовых станций. В случае, когда необходимость расширения зоны электромагнитной доступности отсутствует, рассматриваемая технология позволяет серьезно увеличить надежность радиосети и ее живучесть, поскольку обеспечивает увеличение процента корректно принимаемых с первой попытки сообщений, в том числе, в сложной помеховой обстановке. Сокращение количества повторно передаваемых сообщений приводит к существенному росту пропускной способности и сокращению времени реакции системы.

Таким образом, повышение скорости обмена данными в узкополосных радиосетях, работающих в УКВ-диапазоне, связано с решением комплекса проблем, обусловленных необходимостью сохранения размеров зоны уверенного приема и поддержанием высокой пропускной способности. Эта задача может эффективно решаться при использовании современных технологий, реализованных в специализированном оборудовании, которые позволяют обеспечить достаточно высокий уровень надежности и живучести технологических радиосетей обмена данными.

**Сергей Маргарян, Александр Харламов,  
Алексей Хромцев, Алексей Сабунин,  
ЗАО “НПП “Родник”**

КОНТРОЛИРУЙ

скорость  
время  
маршрут  
объем  
направление  
потоки  
безопасность

ВСЁ,

ИСПОЛЬЗУЯ РАБОТАЮЩУЮ

в любых условиях,  
в том числе в полевых,  
в любой обстановке,  
в том числе  
в чрезвычайных ситуациях  
и особых периодах,  
безотказно,  
надежно,  
безопасно

ВСЕГДА

РАДИОСЕТЬ



ПОДВИЖНЫЕ И СТАЦИОНАРНЫЕ  
радиосети обмена данными

Рабочий диапазон:  
132-174, 380,-512, 700, 800,  
900 МГц

Скорость: 4800-128000 бит/сек

Радиомодемы:  
ParagonG3, GeminiG3, I-Base,  
Senrty-4G-900, Viper-100/400,  
Phantom, Integra-TR, T-Base,  
T-96SR, TSLM

**РОДНИК**  
СИСТЕМНЫЙ ИНТЕГРАТОР

Вместе мы можем все

+7 (499) 613-70-01, [www.rodnik.ru](http://www.rodnik.ru)