

## РАДИОСЕТЬ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ МОБИЛЬНЫМИ СЛУЖБАМИ общественной безопасности

С.Маргарян, зам. генерального директора ЗАО "НПП "РОДНИК"

*Продолжение. Начало в №2, 2014 г.*

Статья рассказывает о создании и эксплуатации радиосети обмена данными нового поколения для автоматизированных систем управления силами служб общественной безопасности. В первой части статьи были рассмотрены задачи, решаемые системой управления, ее функциональные возможности, вопросы обеспечения ее безопасности и устойчивости к несанкционированному подключению и воздействию помех.

### **ОСОБЕННОСТИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ РАБОТЫ ПОДВИЖНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РАДИОСЕТЕЙ**

Подвижные технологические радиосети обмена данными подвергаются всем описанным выше угрозам. 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 утраты радиотехнического оборудования и его использования для несанкционированного доступа в радиосеть.

Практический опыт эксплуатации подвижных технологических радиосетей обмена данными служб общественной безопасности позволяет рассмотреть возможные угрозы на примере двух наиболее типовых ситуаций: целенаправленного перехвата и угона служебного

автомобиля, оснащенного бортовым радиотехническим оборудованием.

Прежде чем рассмотреть каждую из этих ситуаций, необходимо отметить, что в современных подвижных технологических радиосетях обмена данными используется схема централизованного управления радиосетью, а все данные передаются через базовые станции. В них применяется асимметричная схема адресации, т.е. 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.

### **ЦЕЛЕНАПРАВЛЕННЫЙ ПЕРЕХВАТ**

Организация перехвата сообщений в подвижной радиосети, которая использует современные

протоколы обмена, реализующие возможность инициализации работы по инициативе подвижного объекта, связана с теми же трудностями, что и в радиосетях, применяющих более простые протоколы опроса. Дополнительные трудности для перехвата создаются наличием уникальных адресов, которые прошиваются в радиотехническую аппаратуру в заводских условиях и не могут быть изменены пользователем. Каждый радиомодем 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 не зарегистрированного 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. 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 зоне. Но даже в этом случае эффект от перехвата данных будет весьма мал, поскольку основную оперативную ценность в значительной части подвижных технологических радиосетей представляют исходящие данные, 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 хотя такое препятствие не может рассматриваться как серьезное, 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 с подключенным к радиосети радиотехническим оборудованием**

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 ней сообщения, в радиосетях обмена данными это полностью исключено.

Поскольку устанавливаемая на подвижных объектах радиотехническая аппаратура имеет свой уникальный адрес, она может принимать только общие циркулярные сообщения и сообщения, адресованные только данному подвижному объекту. Но при получении сведений об угоне служебного автомобиля администратор информационной системы 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 угонщиком служебного автомобиля также может быть временно прекращена, а доведение данных до остальных пользователей может производиться с использованием групповых и индивидуальных адресов.

Поскольку управление работой всей сети обмена данными строго централизовано, 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 современных системах, использующих навигационные средства, обеспечивается автоматическая передача диспетчеру данных о местоположении подвижного объекта, что гарантирует задержание угонщика и возврат автомобиля.

#### **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 измерения показывают, что при одинаковом отношении сигнал/шум 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. 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 25 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 возрастает в подвижных системах, где более ощутимо влияние эффекта замирания в результате многолучевого распространения сигнала.

Взаимосвязь скорости обмена данными и соотношения сигнал/шум хорошо известна. Более 50 лет назад она была описана теоремой Шэннона, а вышеприведенный вывод подтверждается расчетами, выполненными по следующей формуле:

$$C = B \log_2(1 + S/N),$$

где  $C$  – пропускная способность канала, бит/с;  $B$  – ширина канала, Гц;  $S/N$  – отношение сигнал/шум.

При увеличении отношения  $S/N$  увеличивается пропускная способность канала передачи данных. Отношение энергетических затрат на бит данных к уровню шума можно определить по следующей формуле:

$$E_b/N_0 = (S/N)/(B/R),$$

где  $E_b$  – энергетические затраты на передачу бита данных, Дж/бит;  $N_0$  – спектральная плотность шума, Вт/Гц;  $R$  – скорость передачи, бит/с.

При прочих равных условиях в случае удвоения скорости передачи  $R$  величина  $E_b/N_0$  снизится вдвое, или на 3 дБ. Для достижения одинаковой производительности системы необходимо увеличить вдвое значение  $S/N$  или ширину канала  $B$ . Если величина  $E_b/N_0$  не увеличивается, то растет вероятность ошибок при приеме. Для обеспечения заданного уровня вероятности ошибок в случае увеличения скорости передачи необходимо увеличить ширину канала или мощность сигнала либо оба параметра одновременно.

Поскольку ширина канала постоянна, единственный способ добиться необходимого значения вероятных ошибок при приеме – увеличение отношения  $S/N$ . В этом случае для компенсации потерь, например, в 8 дБ теоретически необходимо увеличить мощность сигнала в 6,3 раза. Если в системе со скоростью обмена данными 4,8 Кбит/с удовлетворительная работа обеспечивается при использовании передатчика мощностью 25 Вт, то для работы с такой же достоверностью данных на скорости 19,2 Кбит/с потребуется передатчик мощностью более 150 Вт.

Как следует из представленных расчетов, увеличение мощности передатчика не может считаться эффективным решением, поскольку имеет ряд существенных ограничений, определенных действующими нормативными документами. Одно из достаточно простых решений – 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. Для рассмотренного выше варианта, в котором потери мощности сигнала составляют 8–9 дБ, число базовых станций, обеспечивающих 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.

Наряду с сокращением оперативной зоны базовой станции возрастает количество ошибок, которые обусловлены замираниями сигнала при его многолучевом распространении: радиоволны достигают приемной антенны, проходя путь различной длины. Одни сигналы приходят в точку приема по прямой, другие – многократно

\* Далее в расчетах принимается скорость обмена данными 19 200 бит/с как минимально целесообразная для IP-протокола.

отражаясь от местных предметов (зданий, складов местности, автомобилей и т.д.). Такая ситуация наиболее типична для крупных городов.

Замирание сигнала возникает в результате того, что различные радиосигналы, проходя различные расстояния и достигая приемной антенны в различное время, могут подавлять друг друга. Подавление сигнала может составлять 30 дБ.

В определенной степени затухание сигнала может быть скомпенсировано за счет использования избыточных данных, добавляемых к исходному сообщению перед его передачей. Эта технология, получившая наименование FEC (Forward Error Correction), основывается на том, что лучше пожертвовать частью пропускной способности радиоканала и передать сообщение увеличенного объема, чем повторно передавать сообщение полностью.

Как и любая другая, технология коррекции ошибки имеет свои ограничения. 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. При увеличении скорости обмена данными в два раза (например, 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 за счет служебной информации, связанной с использованием самого протокола. Все это ведет к заметному снижению эффективности радиоканала с точки зрения его пропускной способности.

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). Такие радиомодемы обеспечивают устойчивую работу на скоростях 64 Кбит/с в радиосетях с шагом сетки радиочастот 25 кГц и 128 Кбит/с в сетях с шагом сетки радиочастот 50 кГц. 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 радиомодемах Paragon PD/Gemini PD и получил дальнейшее развитие в радиомодемах Paragon G3/Gemini G3. Пространственное разнесение приемных антенн – не новый, но чрезвычайно эффективный метод. Радиомодемы оснащены двумя приемниками с антеннами, позволяющими использовать данный принцип.

Пространственное разнесение может быть реализовано двумя способами. Наиболее известный и широко применяемый – 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 раза) увеличить чувствительность приемника независимо от влияния эффекта затухания сигнала. Эта технология и получила наименование "параллельного декодирования/интеллектуального объединения".

В результате одновременного приема сигнала на две антенны появляется возможность их использования в различных комбинациях, а не просто выбора наиболее мощного из них. Разработанная компанией технология интеллектуального объединения сигналов позволяет применять различные алгоритмы обработки в зависимости от относительной мощности и тенденции изменения параллельно принятых сигналов. Например, если более мощный сигнал имеет тенденцию к ослаблению, предпочтение отдается менее мощному сигналу (при условии достаточной для использования мощности), который имеет тенденцию к усилению.

Практические результаты оценки эффективности технологии параллельного декодирования/интеллектуального объединения сигналов представлены в таблице. Эти данные демонстрируют преимущества рассматриваемой технологии при сравнении с работой аналогичной радиоприемной системы, использующей одну антенну, в различных условиях приема. Сравнение проводилось для условий успешного приема 99% сообщений длиной 800 бит каждое. Как видно из таблицы, радиомодемы, использующие технологию параллельного декодирования/интеллектуального объединения сигналов, позволяют снизить мощность принимаемого сигнала практически на 10 дБ, что эквивалентно допустимому снижению мощности передатчика базовой станции в десять раз. При сохранении мощности передатчика это решение позволяет расширить зону уверенного приема радиосигнала без использования дополнительных базовых станций. Если необходимости расширения зоны доступности нет, 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.

## Выигрыш в чувствительности системы параллельного декодирования/интеллектуального объединения сигналов по сравнению с традиционной

Условия испытаний	Допустимый уровень сигнала, дБм		Выигрыш, дБ
	Один приемник	Два приемника	
Стационарный прием	-110,7	-113,5	2,8
Городская застройка	-98,7	-108,2	9,5
Сельская местность	-99,5	-109,5	10
Пересеченная местность	-99,3	-108,5	9,2

Размер оперативной зоны и количество повторно передаваемых сообщений оказывают серьезное влияние на пропускную способность. В случае возникновения необходимости повторной передачи сообщений в радиосети обмена данными, работающей на скорости 19,2 Кбит/с, ее пропускная способность для отдельных видов данных (коротких сообщений) может сократиться в десять раз.

Другой фактор, влияющий на снижение пропускной способности, – избыточная информация, необходимая для реализации функции коррекции ошибок. Нельзя считать корректным утверждения типа: "Наш протокол использует алгоритм коррекции ошибки, имеющий 25% избыточности, поэтому пропускная способность в нашей радиосети составляет  $19,2 \times 0,75 = 14,4$  Кбит/с". Такое утверждение только частично соответствует действительности. Простые расчеты, подобные приведенным выше, игнорируют многие важные факторы, которые должны учитываться при оценке пропускной способности. К ним, в частности, относятся адресация, порядковые номера пакетов данных, алгоритмы обнаружения ошибки и подтверждения приема сообщений. Все данные, которые добавляются к информационному сообщению не пользователем, а средствами системы (а не только избыточные данные, необходимые для реализации функции коррекции ошибки), непроизводительны и отражаются на ее пропускной способности.

Не менее серьезное влияние на пропускную способность оказывает время "атаки" передатчика (набора передатчиком мощности, необходимой

для начала передачи данных, РТТ – Power to Transmit) и стабилизации по частоте. Этот важный компонент очень часто недооценивается, поскольку он не оказывает серьезного влияния на работу речевых каналов связи, где процесс нажатия тангенты радиостанции и начала передачи речевого сообщения занимает не менее четверти секунды. В случае с обменом данными все обстоит иначе.

Для иллюстрации этого положения были проведены сравнительные испытания радиомодема Gemini (время "атаки" – менее 10 мс) и другого радиомодема с аналогичными параметрами, подключенного к серийно выпускаемой современной мобильной радиостанции одного из ведущих производителей оборудования этого класса (время "атаки" передатчика – 80 мс). В обоих случаях передавались одинаковые сообщения. В результате модель Gemini затратила на передачу 52 мс, а ее оппонент – 87 мс, или на 40% больше. При скорости обмена данными 19,2 Кбит/с это соответствует дополнительной пропускной способности, равной 7680 бит/с.

## Итоги

Подвижная технологическая радиосеть обмена данными УКВ-диапазона обладает всеми характеристиками, обеспечивающими ее эффективное применение для обслуживания работы АСОДУ. Она позволяет решать комплекс проблем, обусловленных необходимостью сохранения размеров зоны уверенного приема и поддержанием высокой пропускной способности при сохранении достаточно высокого уровня надежности и живучести.

Архитектурно такая радиосеть представляет собой группу базовых станций, установленных таким образом, чтобы охватить всю оперативную зону в территориальном образовании с учетом плотности размещения пользователей

в населенных пунктах и на междугородных магистралях. Каждая базовая станция обслуживает группу подвижных объектов в закрепленной зоне, обеспечивая двусторонний обмен данными. Все базовые станции сопряжены с центральным компьютером, который также выполняет функции коммутации сообщений, передаваемых в радиосети обмена данными, и обеспечивает их автоматическое доведение до адресатов. Переход подвижных пользователей из зоны действия одной базовой станции в соседнюю производится по эстафете в автоматическом режиме.

Работа в составе радиосети осуществляется по IP-протоколу, специально оптимизированному для обслуживания подразделений служб общественной безопасности и предусматривающему возможность автоматической передачи данных о местоположении подвижных объектов при каждом сеансе связи. Радиосеть обеспечивает двусторонний обмен данными между стационарными пунктами управления и подвижными объектами, что позволяет организовать надежное автоматизированное управление с гарантированным доведением команд диспетчера до подвижных средств и докладов с подвижных средств до соответствующих должностных лиц. Каждое сообщение в системе отправляется строго по заданному адресу и не может быть получено и использовано абонентом, не имеющим права доступа к нему.

Каждый подключенный к системе подвижный объект имеет возможность послать запрос в адрес диспетчера или в любую удаленную базу данных, сопряженную с информационной системой любой службы общественной безопасности, и получить ответ на запрос в виде сообщений различной длины. Весь обмен данными контролируется автоматически центром коммутации сообщений. Работа радиосети обмена данными имеет жесткое централизованное управление. ■