

# Конвенциональные широкополосные технологические радиосети обмена данными **повышенной надежности и живучести\***



В статье рассматриваются широкополосные технологические радиосети обмена данными повышенной надежности и живучести, приведены характеристики специализированных радиомодемов для подвижных и стационарных технологических радиосетей обмена данными.

ЗАО «НПП «Родник», г. Москва

## 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 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 сообщения об угона 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 угоном 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 подтверждает-

ся, 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 радиообмен, 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 слу-

\* 2-я часть, начало в номере № 2(26)2010.

чае угона служебного автомобиля администратор радиосети имеет возможность дистанционно 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. Это 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 оборудование 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 дезинформацию. 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.

#### Физическая безопасность технологической радиосети

Обеспечение безопасности данных, передаваемых по кабельной линии связи, необходимо на всей ее протяженности. В случае с технологической радиосетью обмена данными достаточно защитить от-

дельные помещения, в которых размещается приемно-передающая аппаратура.

Таким образом, первое впечатление действительно обманчиво: «присущая» кабельным системам связи и обмена данными безопасность информации такой же миф, как и слабая защита данных в технологических радиосетях. Высокий уровень защиты передаваемых в технологических радиосетях данных обеспечивает их высокую надежность и живучесть.

#### Технология параллельного декодирования/интеллектуального объединения радиосигналов как средство повышения надежности и живучести технологических радиосетей обмена данными

Оборудование нового поколения Dataradio Paragon<sup>PD</sup>/Gemini<sup>PD</sup> и ParagonG3/GeminiG3

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<sup>1</sup>). 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,

<sup>1</sup> Далее в расчетах принимается скорость обмена данными, равная 19 200 бит/с, как минимально целесообразная для организации обмена данными по IP-протоколу.

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.

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

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

где  $C$  – пропускная способность канала (в бодах);

$BW$  – ширина канала (Гц);

$S/N$  – соотношение сигнал/шум.

Даже не выполняя операцию с логарифмами, можно легко заметить, что, если соотношение сигнал/шум равно 1, пропускная способность канала равна  $BW$ , а если соотношение сигнал/шум равно 3, то пропускная способность канала равна  $2BW$  или удваивается. Другими словами, при увеличении соотношения сигнал/шум увеличивается пропускная способность канала передачи данных. И, наоборот, при уменьшении соотношения сигнал/шум пропускная способность канала уменьшается.

Отношение энергетических затрат на бит данных в зависимости от уровня шума можно определить по следующей формуле:

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

где  $E_b/N_0$  – отношение энергетических затрат на бит данных в зависимости от уровня шума;  $S/N$  – соотношение сигнал/шум несущей частоты;  $W$  – ширина канала в Гц;  $R$  – скорость передачи в битах.

Для упрощения расчетов можно предположить, что величина  $S/N = 1$  и величина  $WR = 1$ . В этом случае значение  $E_b/N_0 = 1$ . Таким образом, при прочих равных, в случае удвоения скорости передачи  $R$  до  $2R$  величина  $E_b/N_0$  будет равна 0,5. Переведя ее в дБ (мощность сигнала) получаем значение 3 дБ. Другими словами, на передаче одного бита данных теряются 3 дБ. Для достижения одинаковой производительности системы необходимо увеличить значение соотношения сигнал/шум на 3 дБ либо увеличить ширину канала до  $2W$ , то есть удвоить ее.

Если величина  $E_b/N_0$  не увеличивается, то это приводит к возрастанию вероятных ошибок при передаче. Для обеспечения заданного числа минимальных вероятных ошибок в случае увеличения скорости передачи необходимо увеличить ширину канала или мощность сигнала либо обоих параметров одновременно.

Поскольку ширина канала является величиной постоянной, единственным способом добиться необходимого значения вероятных ошибок при передаче является увеличение соотношения сигнал/шум. В этом случае для компенсации потерь, например, в 8 дБ теоретически необходимо увеличить мощность сигнала в 6,3 раза. То есть 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 доведения данных на скорости 19,2 кбит/с потребуется передатчик мощностью более 150 Вт.

Как следует из представленных выше расчетов, увеличение мощности передатчика не может считаться эффективным решением. Одним из достаточно простых решений является увеличение количества базовых станций при уменьшении опе-

ративной 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, которая связана, 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 радиоволны достигают приемной антенны, проходя путь различной длины. Одни сигналы приходят в точку приема по прямой, другие, многократно 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 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 составляет 1000).

Любой пользователь сотового телефона испытывал отрицатель-

ное воздействие замирания сигнала на качество связи. Изменение положения сотового телефона всего на несколько десятков сантиметров может очень сильно влиять на качество принимаемого сигнала. Обмен данными подвержен более серьезному влиянию затухания по сравнению с речевым обменом.

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 том, 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 для компенсации этого эффекта 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 радио-

канала с точки зрения его пропускной способности.

#### Технология параллельного декодирования/интеллектуального объединения сигналов

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 радиомодемах Paragon<sup>PD</sup>/Gemini<sup>PD</sup> и получил дальнейшее развитие в радиомодемах ParagonG3/GeminiG3. Пространственное разнесение приемных антенн не является новым методом, но представляется чрезвычайно эффективным. Радиомодемы оснащены двумя приемниками с антеннами, позволяющими использовать данный принцип.

Пространственно разнесенный прием может быть реализован двумя способами. Наиболее известным и широко применяемым приемом является разнесенная коммутация, при которой из двух поступающих от приемных антенн сигналов детектируется только наиболее мощный. Этот способ позволяет увели-

чить процент успешно принятых сообщений, но на этом его преимуществе 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 компанией 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 ослаблению, предпочтение отдается менее мощному сигналу достаточной для использования мощности, который имеет тенденцию к усилению.

Практические результаты оценки эффективности технологии параллельного декодирования/интеллектуального объединения представлены в табл. 3. Эти данные демонстрируют преимущества рассматриваемой технологии при сравнении с работой аналогичной радиоприемной системы, использующей одну антенну, в различных условиях приема. Сравнение производилось для условий успешного приема 99% сообщений длиной 800 бит каждое.

Как видно из таблицы, радиомодемы ParagonPD и GeminiPD

Таблица 3. Практические результаты оценки эффективности технологии параллельного декодирования/интеллектуального объединения сигналов

Модель затухания	Один приемник	Два приемника (PD)	Разница
Стационарный прием	-110,7 дБм	-113,5 дБм	2,8 дБ
Городская застройка	-98,7 дБм	-108,2 дБм	9,5 дБ
Сельская местность	-99,5 дБм	-109,5 дБм	10 дБ
Пересеченная местность	-99,3 дБм	-108,5 дБм	9,2 дБ

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.

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 10 раз.

Другим фактором, влияющим на снижение пропускной способности, является 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». Несмотря на это, такое утверждение в принципе соответствует действительности, но только частично.

Простые расчеты, подобные приведенному 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 (не только избыточные данные, необходимые для реализации функции коррекции ошибки), являются непроизводительными (служебными) 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 «накладных расходов» 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 GeminiPD (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 GeminiPD 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.

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.

ЗАО «НПП «Родник», г. Москва,  
тел.: (499) 613-7001,  
e-mail: sales@rodnik.ru

Эффективная реклама за разумные деньги

[www.isup.ru](http://www.isup.ru)

(495) 542-03-68, reklama@isup.ru