

радиосеть управления и сбора данных для железнодорожных приложений

ООО «НЦПР» (Технический бюллетень)

В данной статье представлена краткая информация о возможностях узкополосных технологических радиосетей управления и сбора данных в интересах организации перспективной командной радиосети обмена данными между стационарными и подвижными объектами, входящими в структуру железных дорог. Описаны некоторые особенности использования вышеуказанных технических средств, применительно к созданию автоматизированной системы управления движением с использованием современных методов и алгоритмов.

Изложенные в статье общие принципы организации технологических радиосетей могут успешно применяться на распределенных объектах в других отраслях промышленности и транспорта.

Статья предназначена для руководителей и технических специалистов, связанных с организацией работы железнодорожного транспорта, управления напольным оборудованием, удаленного сбора производственной телеметрии, а также компаний-интеграторов, разрабатывающих и внедряющих автоматизированные системы управления технологическими процессами (АСУ ТП) в промышленности и на транспорте.



Мы благодарим руководство компании «АВП-технология» (<http://www.avpt.ru>), лидера в отрасли автоматизации процессов управления подвижным составом железных дорог, за возможность публикации настоящих материалов.

7.1 Особенности перспективной подвижной радиосети интеллектуального железнодорожного транспорта

Разработка современной системы связи и обмена данными для ИРДП является основным условием перехода к интеллектуальному железнодорожному транспорту. Движение в этом направлении связано с увеличением объёма данных, циркулирующих в технологических радиосетях между стационарными пунктами управления, локомотивами и устройствами ЖАТ. Такая радиосеть должна гарантированно обеспечить своевременное доведение данных до всех заинтересованных пользователей на всей дорожной сети и в любой штатной ситуации (ситуации со сбоями в работе и выходом из строя комплектов оборудования в такой радиосети должны обрабатываться как штатные, не приводящие к срыву работы АСУ).

В связи с этим формирование архитектуры радиосети для каждого перегона с ограничением объёмов передаваемых данных и строгим расписанием трансляции представляется нецелесообразным: любой пользователь системы должен иметь возможность передачи требуемого в данный момент объёма информации с гарантированным ее доведением в установленные сроки в любое время. Естественно, что пропускная способность такой радиосети определяется на этапе проектирования исходя из имеющихся максимальных потребностей, но архитектура радиосети должна предусматривать возможность гибкого ее наращивания без замены ранее развернутых комплектов оборудования и изменения базовых первоначальных настроек.

Такие возможности в полной мере обеспечиваются специализированной радиотехнической платформой Paragon/Gemini, включающей в себя оборудование для базовых станций, в том числе, многочастотных и с повышенной надёжностью и живучестью Paragon, и подвижных объектов Gemini.

Оборудование данной радиотехнической платформы разработано специально для создания распределённых подвижных радиосетей обмена данными с практически неограниченным количеством базовых станций, работающих с использованием IP-протокола и формирующих единую зону электромагнитной доступности (ЭМД) для всех пользователей, которые могут свободно перемещаться в данной зоне без перерывов в связи. Оно позволяет организовать хэндовер¹ (эстафетную передачу абонентов) между соседними базовыми станциями с автоматическим распределением нагрузки между базовыми станциями в общих зонах ЭМД. Надёжность доставки данных обеспечивается встроенной функцией коррекции ошибок при передаче.

Базовый радиотехнический комплекс представляет собой приемопередающее устройство с открытой архитектурой, предназначенное для организации радиосети обмена данными с удалёнными бортовыми радиомодемами. Он имеет в своем составе мощный приемопередатчик, радиомодем нового поколения на цифровом сигнальном процессоре с двумя адресуемыми последовательными портами RS-232, встроенным двухпортовым маршрутизатором Ethernet и портом USB, а также блок питания. Обеспечивает обмен данными в пакетном режиме с поддержкой протокола TCP/IP.

Бортовой навигационно-связной комплекс представляет собой радиотехническое устройство с открытой архитектурой, объединяющее в себе 32-канальную радиостанцию с малым временем атаки, радиомодем на базе мощного цифрового сигнального процессора, спутниковый навигационный приемник, два

последовательных порта RS-232, сконфигурированных для терминального сервера, порт 10/100Base-T Ethernet с встроенным маршрутизатором и порт USB, размещенные в едином корпусе. Работа обеспечивается через базовую станцию с использованием трех антенн (разнесенный приём) с использованием технологии параллельного декодирования и интеллектуального объединения принимаемых сигналов. Аппаратура радиотехнической платформы позволяет существенно расширить функциональные возможности подвижных технологических радиосетей, обеспечив, наряду с оперативным обменом и трансляцией докладов о местоположении, передачу графической информации, файлов большого объёма и видеоданных (по отдельному каналу).

Работа в радиосети на оборудовании радиотехнической платформы Paragon/Gemini организуется по протоколам UDP или TCP/IP с автоматическим сжатием пакетов данных. Применение сигнализации ООВ для передачи навигационной информации и данных о техническом состоянии позволяет существенно увеличить количество работающих на одном радиоканале подвижных объектов за счет автоматической передачи навигационной и диагностической информации при каждом сеансе связи. В аппаратуре реализована функция встроенной диагностики, которая позволяет получать информацию о техническом состоянии оборудования в реальном масштабе времени.

Типовая структура технологической радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте включает в себя сеть базовых станций, устанавливаемых вдоль железнодорожного пути и соединенных каналами магистральной проводной или беспроводной связи с пунктами сбора данных и управления. Каждая БС обеспечивает связь с группой поездов, находящихся в ее оперативной зоне. Зоны соседних БС полностью перекрывают друг друга, в результате чего формируется единая оперативная зона с повышенной надёжностью и живучестью, работу в которой обеспечивает не менее двух базовых станций, каждая из которых может быть в отказоустойчивом исполнении. Переключение поездов на работу с соседней станцией осуществляется автоматически с учетом текущей загруженности соседних БС и уровней сигнала. Таким образом, отпадает необходимость в жестком определении точки выполнения «хэндовера» и привязке ее к границам перегона или зоны ЭМД заданной базовой станции. Учитывая, что рассматриваемое оборудование для конвенциональных радиосетей обмена данными использует открытый протокол TCP/IP, наращивание комплектов оборудования и создание многоканальных базовых станций в составе радиосети, равно как сопряжение с любой современной автоматизированной системой управления не представляет трудностей.

Связанные с наращиванием скорости обмена данными в подвижных технологических радиосетях 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^{PD}/Gemini^{PD} 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 приём 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 принимаемых сигналов 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 приёма 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 ниже. Эти данные демонстрируют преимущества рассматриваемой технологии при сравнении с работой аналогичной радиоприемной системы, использующей одну антенну, в различных условиях приёма. Сравнение производилось для условий успешного приёма 99% сообщений длиной 800 бит каждое.

Модель затухания	Один приемник	Два приемника (PD)	Разница
Стационарный приём	-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

Как видно из таблицы, радиомодемы, использующие технологию параллельного декодирования/интеллектуального объединения радиосигналов, позволяют улучшить параметры принимаемого сигнала практически на 10 дБ, что соответствует увеличению мощности передатчика радиомодема в аналогичной по своим характеристикам радиосети в 10 раз. Это обеспечивает расширение зоны уверенного приёма радиосигнала без использования дополнительных базовых станций. В случае, когда необходимость расширения зоны электромагнитной доступности отсутствует, рассматриваемая технология позволяет серьезно увеличить надёжность 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 то, что такое утверждение в принципе соответствует действительности, оно верно 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 приёма сообщений. Все данные, которые добавляются к информационному сообщению не пользователем, а средствами системы (а не только избыточные данные, необходимые для реализации функции коррекции ошибки), являются непроизводительными (служебными) и отражаются на ее реальной пропускной способности.

Не менее серьезное влияние на пропускную способность оказывает время «атаки» передатчика (набора передатчиком мощности, необходимой для начала передачи данных), 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 совсем иначе.

Для иллюстрации этого положения были проведены сравнительные испытания радиомодема Gemini^{PD} (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^{PD} 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 приёма и поддержанием высокой пропускной способности. Эта задача может эффективно решаться при использовании современных технологий, реализованных в специализированном оборудовании, которые позволяют обеспечить достаточно высокий уровень надёжности и живучести технологических радиосетей обмена данными.

(окончание следует)

Сноски

1. **Хэндовер** (англ. *Handover*) - процесс автоматической передачи сеанса связи подвижного абонента от одной [базовой станции](#) к другой без нарушения и потери обслуживания. ↩