

Подвижные радиосети обмена данными для железнодорожного транспорта



Радиосети стандартов GSM-R и TETRA, применяемые на железнодорожном транспорте и оптимизированные для голосовых сообщений, практически не подходят для обмена данными. В статье показано, что возможности обеих этих систем могут быть кардинально улучшены с помощью специализированного конвенционального оборудования.

ООО «Независимый исследовательский центр перспективных разработок» (НЦПР), г. Москва

Ограничения систем связи стандартов GSM-R и TETRA по обмену данными

Системы связи GSM-R и TETRA изначально создавались как многоканальные «голосовые», предусматривающие обмен речевыми сообщениями между значительным количеством абонентов в географических зонах с высокой плотностью населения, и для решения этой задачи они являются лучшим на сегодняшний день решением.

Однако обмен данными предъявляет несколько иные требования к средствам связи, более того, эффективность адаптированной для передачи данных системы голосовой связи серьезно зависит от характера и передаваемых данных.

Реализованные в современных «голосовых» средствах связи принципы работы, направленные на их оптимизацию в части голосовой связи, во многом являются серьезным ограничением при обмене данными. Например, в транковой системе отсутствует жесткое закрепление канала между абонентами на весь период установления связи¹. С этой целью в такой системе используются служебный и груп-

па информационных каналов. Запрос на доступ к информационному каналу, по которому производится речевой обмен, принимается по служебному каналу связи. При получении запроса от абонента система автоматически находит свободный информационный канал и предоставляет доступ к нему. Если один канал в системе уже занят, а другая группа абонентов пытается установить связь, то система автоматически предоставит второй канал в их распоряжение. Относительно быстрая смена каналов связи для одних и тех же абонентов в процессе сеанса связи позволяет использовать паузы в переговорах одной группы абонентов для обеспечения связью другой. В результате при прочих равных пропускная способность у транковой системы при обмене голосовыми сообщениями оказывается в несколько раз выше, чем у обычной (конвенциональной) системы голосовой связи.

В настройках транковых систем предусмотрена дополнительная задержка после завершения передачи очередного голосового сообщения, длительность которой может составлять до нескольких секунд. Это позволяет удерживать активных абонентов на одном канале и снизить нагрузку на служебный канал, связанную с переводом абонентов между информационными каналами.

Такие прекрасные технические решения для голосовой связи оказываются абсолютно неэффективными

при обмене данными. Голосовые сообщения имеют существенно большую длину (продолжительность при передаче) по сравнению с данными. Если возникающие при выделении абоненту информационного канала задержки являются практически незаметными при переговорах, то для системы обмена данными² они оказываются неприемлемыми. Например, в транковых системах задержка в предоставлении доступа к каналу связи составляет не менее 300 мс (это лучший показатель), а в GSM-R — до нескольких секунд. За это время в конвенциональной системе может быть передано от нескольких до нескольких десятков коротких сообщений.

Серьезным ограничением является и пропускная способность служебного канала. В случае с голосовыми сообщениями интенсивность поступления запросов в служебный канал относительно невысока — активность работы абонентов учитывается при проектировании радиосети и реально поддерживается на низком уровне в повседневной обстановке. Возрастание интенсивности работы в ава-

¹ Порядок организации доступа к каналу в цифровых транковых системах связи и использования нескольких временных «слотов» (квантов) для обмена сообщениями между несколькими пользователями детально описан в специальной литературе. В настоящей статье представлен упрощенный вариант, описывающий общий принцип работы, создающий ограничения для обмена данными.

² Здесь и далее имеются в виду системы обмена данными, применяемые в ответственных приложениях, характерных для АСУ на железнодорожном транспорте. Все оценки даются применительно к характеру циркулирующих в технологической радиосети сообщений (короткие сообщения, передаваемые с высокой плотностью и требующие минимальных и полностью детерминированных задержек при доставке).

рийных ситуациях может компенсироваться за счет предоставления более высоких приоритетов отдельным группам абонентов за счет других. При передаче данных интенсивность поступления запросов оказывается как минимум на порядок выше и служебный канал объективно не в состоянии с ними справиться. Выделение дополнительного служебного канала за счет сокращения числа информационных — также неэффективное решение. В аварийных ситуациях, как правило, отсутствует возможность предоставления приоритета одному элементу АСУ за счет другого, поскольку это приводит к срыву нормальной работы последнего. Таким образом, пропускная способность служебного канала в случае использования транковой системы для обмена данными оказывается критическим ограничением.

Существенным недостатком сетей GSM-R (как и обычных сотовых радиосетей, использующих обмен данными по протоколам GPRS³ и EDGE⁴) является недетерминированная задержка в доставке данных. Работа значительной части АСУ настраивается

с учетом времени, необходимого на передачу запросов и получение ответов на эти запросы. Чем меньше допустимые предельные значения параметров доставки сообщений, тем эффективнее работа АСУ. В случае использования для обмена данными радиосетей GSM-R параметры предельно допустимых задержек при доставке сообщений приходится увеличивать, снижая тем самым эффективность работы АСУ.

Возможность использования единой радиосети (а следовательно, и единого радиочастотного ресурса) для обмена голосовыми сообщениями и данными может рассматриваться как серьезное преимущество в радиосетях общего пользования.

Действительно, многие на себе ощутили всю прелесть работы в информационной сети интернет и одновременного общения по телефону на том же канале. Однако в технологических радиосетях такое решение оказывается принципиально неприемлемым: работа АСУ требует строго детерминированного потока данных и задержек, а обеспечить выполнение этого требования при наличии «голосового» потока невозможно — любой абонент будет говорить столько, сколько посчитает нужным, и тогда, когда ему это потребуется. Практический опыт показывает, что относительно высокая надежность такой радиосети может быть достигнута, если

для передачи данных требуется не более 15% пропускной способности всей сети, и только при отсутствии резких «всплесков» в объеме «голосовых» сообщений, что в принципе невозможно в ответственных технологических радиосетях.

Таким образом, эффективные технические решения по оптимизации голосовой связи в современных радиосетях стандартов GSM-R и TETRA оказались серьезным ограничением для этих систем в части обмена данными. Практический опыт показывает, что возможности обеих этих систем связи по обмену данными могут быть кардинально улучшены за счет интеграции в их состав специализированного конвенционального оборудования.

Возможности конвенциональных радиосетей по обмену данными

Перечисленные выше ограничения полностью отсутствуют в конвенциональных технологических радиосетях. Доступ к радиоканалу в таких радиосетях осуществляется напрямую, без использования промежуточного служебного канала, поэтому описанные выше задержки полностью отсутствуют.

Сравнительные данные о задержках при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях представлены в таблице 1. Для повышения объективности этих данных необходимо отметить, что за-

Таблица 1. Сравнительные данные о задержках при передаче данных в радиосетях TETRA, GSM-R и конвенциональных радиосетях

Наименование параметра	Радиосеть GSM-R ¹			Радиосеть TETRA	Конвенциональная радиосеть ³
	CSD ²	GPRS real COM	GPRS «клиент – сервер»		
Средняя задержка в канале, мс	600	500	1300	>300	25
Минимальная/максимальная задержка в канале ⁴ , с	500/900	300/1500	100/3900	>500	22,5/27,5
Заявленная скорость обмена данными, кбит/с	9,6	171,2 ⁵	171,2	28,8 ⁶	64
Средняя пропускная способность канала, кбит/с	8,168	5,152	4,904	-	-
Минимальная/максимальная пропускная способность канала, кбит/с	7,520/8,960	1,520/14,296	0,336/9,520	2,4/4,8 ⁷	23,46/114,27 ⁸

¹ Данные приведены для реального сегмента сети сотовой связи стандарта GSM (И. Масленкова, А. Команцев. GSM/GPRS технологии в системах промышленной автоматизации // Control Engineering Россия. Декабрь 2008).

² Circuit Switched Data — технология передачи данных, разработанная для мобильных телефонов стандарта GSM. CSD использует один временной интервал для передачи данных на скорости 9,6 кбит/с в подсистему сети и коммутации, где они могут быть переданы через эквивалент нормальной модемной связи в телефонную сеть.

³ Здесь и далее рассматриваются подвижные конвенциональные радиосети на радиомодемах Dataradio ParagonG3/GeminiG3 (www.calamp.com).

⁴ Время от передачи запроса до получения доступа к каналу связи и готовности к передаче сообщения.

⁵ Максимальная теоретическая скорость обмена данными при использовании всех восьми «таймслотов» в полосе 200 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается).

⁶ Максимальная скорость обмена данными при использовании всех четырех «таймслотов» в полосе 25 кГц (частотный ресурс для голосовой связи не предусматривается).

⁷ Указаны скорости обмена данными при обеспечении высокой и средней помехоустойчивости.

⁸ Указаны данные при отсутствии и максимальном использовании встроенной функции сжатия данных при обеспечении высокой помехоустойчивости.

меры параметров работы радиосети GSM производились на конкретном сегменте сотовой сети связи конкретного оператора и в конкретный период времени. Эти данные могут отличаться в зависимости от текущей нагрузки на сеть сотовой связи.

Стабильность параметров функционирования такой радиосети в части пропускной способности может быть обеспечена только за счет выделения для обмена данными отдельных канальных и частотных ресурсов.

Анализ представленных в таблице 1 данных показывает следующее:

- при работе в режиме CSD обеспечивается наиболее стабильный обмен данными, однако даже в этом случае разница между минимальным и максимальным значением пропускной способности составляет около 12 %, а собственно скорость обмена данными относительно мала;

- разница между минимальным и максимальным значением пропускной способности при работе с использованием GPRS составляет около 94 % и 280 % для GPRS real COM и GPRS «клиент — сервер» соответственно. Низкая стабильность данных показателей связана с одновременным использованием радиосети для обмена речевыми сообщениями, поток которых не может быть детерминирован;

- поскольку использование технологической радиосети связи стандарта TETRA предусматривается для подвижного приложения, в ней должны быть реализованы функции помехозащитности. Номинальная скорость обмена данными в такой радиосети при обеспечении высокой помехозащитности может составлять от 2,4 (один «таймслот») до 4,8 кбит/с (два «таймслота»). Использование для обмена данными большего количества «таймслотов» делает радиосеть неэффективной с точки зрения обмена голосовыми сообщениями, который является ее основной задачей;

- в конвенциональной технологической радиосети обмена данными предусматривается только высокая помехозащитность. Пропускная способность такой радиосети будет в значительной степени зависеть от применяемого встроенного метода сжатия данных, однако для одинаковых потоков данных и выбранных методов сжатия параметры стабильности пропускной способности будут

неизменными на протяжении всей эксплуатации;

- даже при условии использования всех радиочастотных ресурсов («таймслотов») пропускная способность радиосетей GSM-R и TETRA в части обмена данными оказывается ниже по сравнению со специализированными конвенциональными радиосетями. Это отставание является системным и сохранится в перспективе.

Типовая структура технологической радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте включает в себя сеть базовых станций (БС), установленных 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. В современной радиосети для

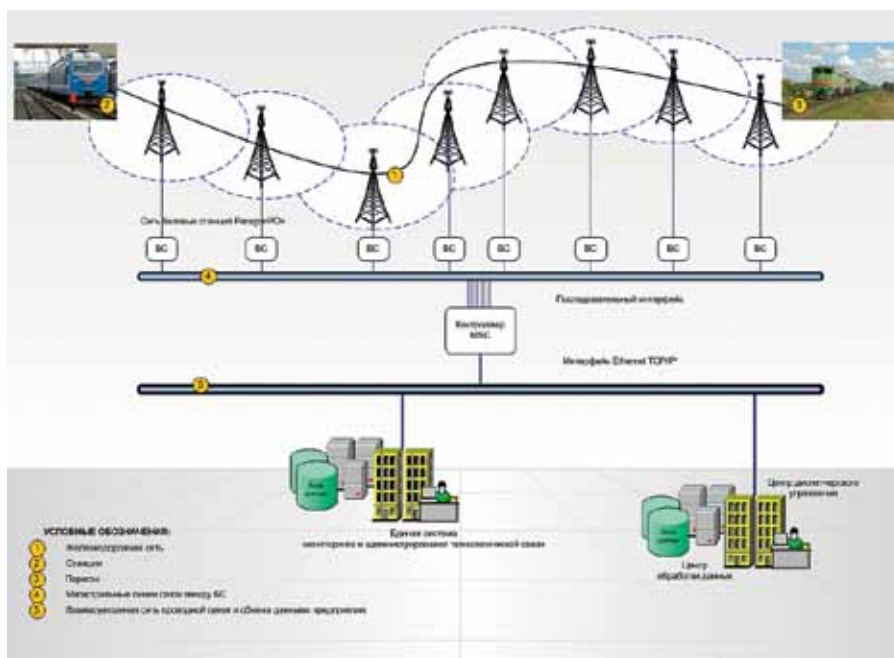


Рис. 1. Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования ParagonPD+

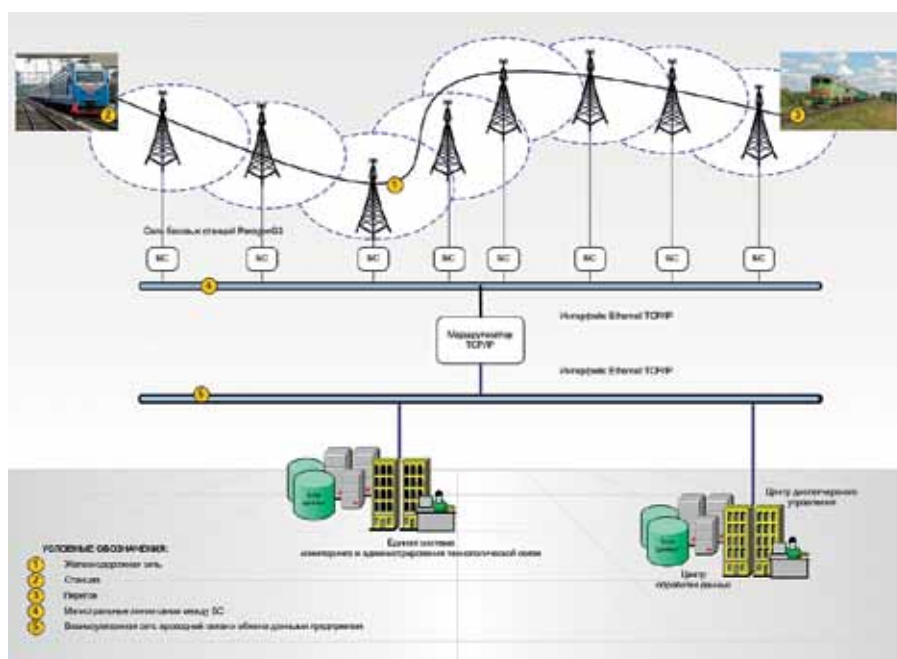


Рис. 2. Типовая схема конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте с использованием оборудования ParagonG3

железнодорожной зоны соседних БС полностью перекрывают друг друга, в результате чего формируется единая оперативная зона с повышенной надежностью и живучестью.

Переключение поездов на работу с соседней станцией («хендовер») осуществляется автоматически. 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 и сопряжение с любой современной автоматизированной системой управления, не представляет трудностей.

Типовые схемы конвенциональной радиосети обмена данными на железнодорожном транспорте представлены на рис. 1 и 2.

Принципиальным различием двух рассматриваемых схем является использование в первой из них последовательных интерфейсов, по которым каждая базовая станция ParagonPD+

подключается к многобазовому контроллеру MSC (multi-site controller), выполняющему функции централизованного технического управления и сопряжения с взаимоувязанной сетью проводной связи и обмена данными ОАО «РЖД». Во втором случае применяется единый для всей конвенциональной технологической радиосети обмена данными интерфейс Ethernet и стандартное сетевое оборудование.

Однако обе рассматриваемые схемы в полной мере удовлетворяют требованиям, установленным в «Белой книге» ОАО «РЖД» и направленным на создание единого информационного пространства, интегрированного с информационными системами других видов транспорта и промышленности, а также иностранных железных дорог. Следует помнить, что надежность любой системы определяется в том числе количеством входящих в ее состав компонентов и отдельных узлов — чем меньше их количество, тем проще при прочих равных обеспе-

чить необходимый уровень надежности и живучести системы в целом. Это в полной мере относится к количеству базовых станций в составе технологической радиосети обмена данными: чем их меньше, тем проще система управления и обеспечения их работоспособности.

В настоящее время серийно выпускается оборудование для создания конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными в диапазонах 132–174, 215–240, 403–512, 700, 800 и 900 МГц. Типовые технические характеристики радиомодемов для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными представлены в табл. 2 и 3.

В отличие от радиосетей GSM-R и TETRA, предусматривающих использование в их составе не только мобильных, но и носимых связных терминалов с невысокой выходной мощностью (обычно от 0,9 до 3 Вт), в конвенциональных технологических радиосетях применяются тер-

Таблица 2. Технические характеристики базовых радиомодемов Dataradio ParagonG3 для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными

Общие характеристики	ParagonG3		
Диапазон рабочих частот, МГц	403–512	передача: 762–773	передача: 851–869
		прием: 792–803	прием: 806–824
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50		
Габаритные размеры, см	192,6 (Ш) × 56,0 (В) × 81,3 (Г)		
Потребление тока в режиме передачи, В	20 А / 13,8 (ном.)	24 А / 13,8 (ном.)	28 А / 13,8 (ном.)
Рабочая температура, °С	От -30 до +60		
Температура хранения, °С	От -40 до +70		
Режим работы	Дуплекс, 100 % цикл		
Избирательность, дБ	75 (50 кГц), 85 (25 кГц)		
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность	1 × 10 ⁻⁹ (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Защита данных	128-битный ключ		
Приемник			
Избирательность:			
• 50 кГц		75	
• 25 кГц	87		85
Интермодуляция:			
• 50 кГц		80	
• 25 кГц	85		80
Побочное излучение, дБм	-90 до 4 ГГц		
Чувствительность, дБм (1 % поврежденных пакетов на несущей частоте с применением технологии параллельного декодирования)	-98 (64 кбит/с)	-96 (128 кбит/с)	-95 (64 кбит/с)
	-104 (48 кбит/с)	-102 (96 кбит/с)	-101 (48 кбит/с)
	-110 (32 кбит/с)	-108 (64 кбит/с)	-107 (32 кбит/с)
Передатчик			
Выходная мощность, Вт	20–100	35–70	20–70

Таблица 3. Технические характеристики бортовых радиомодемов Dataradio GeminiG3 для конвенциональных подвижных технологических радиосетей обмена данными

Общие характеристики	GeminiG3		
Диапазон рабочих частот, МГц	403–460 , 450–512	прием: 792–803	прием: 851–869
		передача: 762–773	передача: 806–824
Шаг сетки радиочастот, кГц	25 или 50		
Скорость обмена данными, кбит/с	32,0; 48,0 или 57,6 в канале с шагом сетки 25 кГц	64,0; 96,0 или 128,0 в канале с шагом сетки 50 кГц	32,0; 48,0 или 64,0 в канале с шагом сетки 25 кГц
Габаритные размеры, см	15,4 (Ш) × 5,1 (В) × 18,2 (Г)		
Количество каналов	32 (программируемые, удаленная настройка)		
Режим работы	полудуплекс		
Питающее напряжение, В	13,6 (ном.); 10,9–16,3		
Рабочая температура, °С	От -30 до +60		
Защита данных	AES 128-бит.		
Защита по питанию	15 А (внешний предохранитель), защита от переполюсовки		
Потребляемый ток:			
• передача при 13,3 В, А	<12		
• прием при 13,3 В, мА	<750 (включая навигационный приемник)		
Приемник			
Чувствительность, дБм	-98 (64 кбит/с)	-94 (128 кбит/с)	-95 (64 кбит/с)
	-104 (48 кбит/с)	-100 (96 кбит/с)	-101 (48 кбит/с)
	-108 (43,2 кбит/с)	-106 (64 кбит/с)	-105 (43,2 кбит/с)
	-110 (32 кбит/с)		-107 (32 кбит/с)
Избирательность, дБ	77, номинально	68, номинально	77, номинально
	>75 мин. (25 кГц)	>65 мин. (50 кГц)	>75 мин. (25 кГц)
Интермодуляция, дБ	80, номинально,	78, номинально,	80, номинально,
	>75 мин	>75 мин	>75 мин
Передачик			
Время атаки передатчика	< 10 мс (отклонение не более 1 мс)		
Выходная мощность	10–40 Вт	10–35 Вт	
Модем			
Коррекция ошибки	Гиперкод		
Программная синхронизация	Поддерживается при затухании сигнала		
Достоверность	1 × 10 ⁻⁹ (номинально, поврежденные пакеты посылаются повторно)		
Частота появления ошибок	<1 % @ -107 с коррекцией ошибки на скорости 32,0 кбит/с;		
	<1 % @ -110 с коррекцией ошибки на скорости 25,6 кбит/с;		
	<1 % @ -112 с коррекцией ошибки на скорости 19,2 кбит/с		
Защита данных	128-битный ключ		
Протокол обмена данными	TCP/IP		

миналы с выходной мощностью 20–45 Вт. Это обеспечивает существенно большую по сравнению с радиосетями GSM-R и TETRA зону покрытия с позиции одной базовой станции, поскольку размер оперативной зоны базовой станции на практике будет определяться максимально возможной дальностью связи для самого маломощного оборудования, работающего в составе радиосети.

Все выпускаемое оборудование имеет встроенные средства диагностики, обеспечивающие удаленный доступ к текущим данным о техническом состоянии, и использует открытые интерфейсы, включая широко применяемый протокол обмена данными TCP/IP, что позволяет эффективно и просто интегрировать их в Единую систему мониторинга и администрирования технологической связи ОАО «РЖД», а также в системы

технологической связи промышленного железнодорожного транспорта и метро.

С. А. Маргарян,
заместитель генерального директора,
главный конструктор,
ООО «Независимый исследовательский
центр перспективных разработок» (НЦПР),
г. Москва,
тел.: +7 (499) 113-2698,
e-mail: sm@flexlab.ru,
сайт: www.flexlab.ru