

УДК 621.395

ВЫСОКОСКОРОСТНЫЕ РРЛ НА СОВРЕМЕННОМ ЭТАПЕ

Ю.М. Кирик, доцент МТУСИ, к.т.н.; kirikyur@mail.ru

А.А. Петренко, преподаватель Учебного центра «Алкатель-Лусент», магистр

Ключевые слова: высокоскоростные РРЛ, магистральные РРЛ, NGSDH, пакетные РРЛ, адаптивная модуляция, показатель готовности.

Введение. Еще несколько лет назад радиорелейные линии (РРЛ) с пропускной способностью до 100 Мбит/с [1] составляли основу городской радиорелейной связи, а главной областью их применения представлялась организация соединительных трактов для сетей мобильной связи. Мультиплексоры таких РРЛ основывались на плезихронной иерархии (PDH), где «разменной монетой» служит поток 2,048 Мбит/с. Это было оправданно, потому что информация на базовые станции стандарта GSM подавалась именно такими потоками.

Высокоскоростные РРЛ использовались в основном в транспортных сетях, где доминировала оптическая связь, и воспринимались как некая экзотика. Однако потребность в передаче больших объемов информации скорректировала направление развития техники РРЛ. Сегодня в России радиорелейные линии все чаще применяются в качестве основного средства при подаче высокоскоростных (до 2 Гбит/с) цифровых потоков между областными центрами, особенно в Сибири, в районах с интенсивной добычей углеводородного сырья, в условиях сурового климата и вечной мерзлоты. Но в последние годы появилось еще одно направление, где потребовались сети с мощными цифровыми потоками. Это южные районы России, в частности предгорья Кавказа и в первую очередь территория будущей сочинской Олимпиады.

Новые РРЛ немыслимы без передачи пакетных сообщений. Планируется, что после 2013 г. на долю IP-трафика будет приходиться более 80% общего объема передаваемых сообщений [2]. Сегодня компании-производители работают над созданием оборудования, которое бы наиболее экономичным способом передавало пакетные сообщения по РРЛ. Исследовательский период еще не закончен, и технические решения разных производителей зачастую существенно отличаются друг от друга.

В данной статье рассматриваются особенности радиорелейного оборудования, позволяющие осуществлять передачу пакетных сообщений с высокими скоростями.

Передача сигналов SDH по РРЛ – самый известный и удобный способ скоростной передачи. Наибольшее распространение получил метод передачи потока STM-1 со скоростью 155,5 Мбит/с по одному стволу РРЛ. Достичь этого удается с помощью многоуровневой квадратурной амплитудной модуляции (QAM). Ограничение полосы частот на передаче в РРЛ необходимо для того, чтобы исключить влияние на соседние стволы. Использование QAM позволяет уменьшить полосу радиосигнала и «уложить» его в полосу, удовлетворяющую нормативным требованиям. Эффективность такого вида модуляции и радиосистемы в целом характеризуется коэффициентом частотной эффективности канала передачи g , т.е. отношением скорости передачи канала к полосе радиочастот. На магистральных линиях полоса частот радиоствола

чаще всего составляет 28 МГц. Для передачи в этой полосе потока со скоростью 155,5 Мбит/с используют модуляцию 128QAM. Реальная частотная эффективность подобной аппаратуры достигает $g = 5,6$, и поток STM-1 занимает не более 28 МГц.

Прежде операторы связи испытывали трудности при передаче сигналов Ethernet по трактам синхронной цифровой иерархии (SDH) из-за низкой эффективности загрузки пакетного трафика в виртуальные контейнеры (VC) оборудования SDH. Потери пропускной способности происходили отчасти из-за несоответствия стандартов скоростей Ethernet потенциальным возможностям виртуальных контейнеров. В частности, стандартами скоростей передачи пакетов являются Fast Ethernet (FE) – 100 Мбит/с и Gigabit Ethernet (GE) – 1 Гбит/с, а коридор, предоставляемый VC-4, – 150 Мбит/с. При загрузке FE в VC-4 потери составляли 33%, а передача GE вообще была затруднена.

Сегодня технология загрузки пакетов усовершенствована и осуществляется двумя способами. Первый заключается в использовании для обработки трафика стандарта общей процедуры разбиения на кадры – GFP (Generic Framing Procedure – G.7041). При этом Ethernet-трафик предварительно разбивается на кадры GFP, уже готовые для установки в виртуальные контейнеры SDH. Второй способ предусматривает применение стандарта виртуальной конкатенации (сцепки) – VCAT (Virtual Concatenation – G.707), устраняющего противоречия между Ethernet и SDH.

Поток GE на конечных мультиплексорах РРЛ разбирается и вкладывается в контейнеры VC-4, передаваемые параллельно по семи стволам РРЛ с эффективностью 80–90%. На приеме информация собирается в единый поток. Потоки с низкими скоростями, например FE, также могут разбираться и передаваться с помощью контейнеров VC-12 (2 Мбит/с).

Системы SDH с возможностью эффективной передачи пакетов анонсируются как NGSDH, т.е. SDH следующего поколения [3]. Поэтому, исходя из опыта эксплуатации РРД, авторы данной статьи особое внимание уделили применению SDH, так как именно системы со стабильной тактовой частотой незаменимы в радиоприемах с QAM при высоком уровне помех приемника, когда демодуляция происходит синхронно и из входного колебания нужно выделять несущую и тактовые частоты. Для развития РРЛ можно считать большой удачей, что технологии SDH получили новые возможности в условиях работы в IP-сетях.

Удвоение скорости передачи в полосе частот радиоствола РРЛ. Современное оборудование только за счет применения новых цифровых технологий позволяет передавать вдвое больше информации в полосе одного радиоствола. На рис. 1 представлена именно такая схема организации двух стволов РРЛ, когда информация с общей скоростью 311 Мбит/с передается в полосе 28 МГц. Цифровой поток на входах модуляторов образуется из разных видов информации в цифровом коммутаторе, представляющем собой вариант современного мультиплексора. На выходе мультиплексора органи-

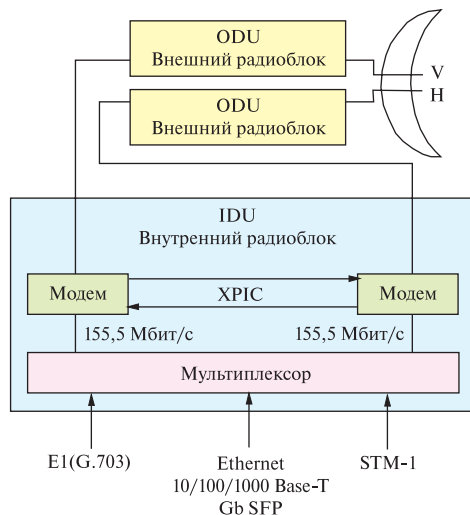


Рис. 1

зовано два независимых потока, подаваемых на два модема 128QAM. Эти элементы конструктивно расположены во внутреннем блоке (indoor unit – IDU). Навверх, на входы независимых внешних блоков (outdoor unit – ODU), сигналы подаются по промежуточной частоте по двум кабелям. Блоки ODU работают на одной радионесущей – сигналы подаются к антенне в разных поляризациях.

Достижение последних лет – эффективное поляризационное уплотнение. Ранее на РРЛ применялась только поляризационная защита, которая обеспечивала дополнительную развязку при работе стволов на соседних частотах, снижая требования к полосовым фильтрам. Поляризационная защита (в современной терминологии ACAP – Adjacent Channel Alternate Polarized) при задействовании двух стволов требовала полосы 56 МГц. Без использования специальных технологий развязка по поляризации не могла обеспечить работу двух стволов на одной несущей. Связано это с деполяризацией – поворотом плоскости поляризации радиоволн на трассе между соседними станциями при тропосферном рассеянии и в зоне осадков. Во время осадков, например, усиливалась интерференционная помеха от соседнего ствола, а так как значение сигнал/помеха для 128QAM должно быть очень высоким (более 27–29 дБ), линия переставала работать.

Метод работы с уплотнением по поляризации (Co-Channel Dual-Polarization – CCDP) предусматривает использование новой технологии взаимного подавления помех в радиорелейных стволах, работающих на одной частоте, – XPIC (Cross Polar Interference Cancellation) [4]. Это позволит увеличить отношение сигнал/интерференционная помеха и повысить скорость передачи до 311 Мбит/с в полосе 28 МГц. Дополнительные платы XPIC устанавливаются в блоках IDU. Испытания показали, что платы улучшают развязку примерно на 23 дБ, начиная работать уже при отношении полезного сигнала к интерференционному в 5 дБ.

Метод с удвоением пропускной способности также применяется при организации магистральных РРЛ, т.е. линий из нескольких пролетов, в каждом из которых на одну антенну работают радиостволы, разделенные высокочастотными фильтрами. Компании-производители считают реальностью работу до 8 двоекных стволов (7 основных и 1 резервный) в одном направлении, что соответствует общей скорости 2,177 Гбит/с (311 Мбит/с × 7). По некоторым данным, для повышения пропускной способности оборудования про-

изводители стремятся одновременно применить в образцах 2010 г. все последние достижения радиорелейной техники [5].

Скоростные РРЛ с пакетной технологией станут частью общей пакетной транспортной сети, основанной на сетевых протоколах контроля качества, таких как IP/MPLS. При использовании этого протокола для работы оборудования выделяется только часть максимально возможной полосы с учетом статистических измерений. В случае максимальной нагрузки на транспортную сеть организуются так называемые очереди трафика, согласно которым гарантированный трафик, в частности голосовые сообщения, пропускается без задержек, а негарантированный (например, пакеты пользователей, осуществляющих доступ в Интернет) буферизируется и передается с задержкой, незаметной для конечных потребителей.

Рассмотренные РРЛ синхронной цифровой иерархии (SDH) не относятся к пакетным, а являются лишь средством для передачи трафиков TDM и IP. В них нет интеллектуальных узлов – выделенный раз и навсегда радиочастотный ресурс используется полностью, независимо от занятости телефонных линий и загрузки IP-сети. Переход к IP/MPLS вынуждает производителей оборудования и операторов менять концепцию развития, постепенно заменяя устаревшие TDM-системы новейшими пакетными устройствами.

Сегодня на телекоммуникационном рынке предлагаются два принципиально разных решения в области пакетных РРЛ.

1. *Гибридная радиорелейная система.* В таких системах для обработки и коммутации трафика используются два процессора – отдельно передается TDM-трафик и отдельно пакетный IP-трафик. Оба поступают с входного интерфейса, который и определяет емкость системы, т.е. число подключаемых потоков E1 и стандарт пакетного сообщения, например Fast Ethernet. Сообщения не перемешиваются между собой, а передаются в эфире по двум радиоканалам с разделением по времени. Передача TDM-трафика осуществляется по аналогии с предыдущими радиорелейными TDM-системами; Ethernet-трафик передается с различными приоритетами и в разных очередях. Производители этого оборудования заявляют, что только таким способом можно достичь идеальной синхронизации при осуществлении процесса демодуляции, поскольку TDM-сообщение не прерывается. Но есть и другие способы передачи синхронизации, которые производители полноценных пакетных РРЛ считают более простыми и надежными.

Основным недостатком гибридного оборудования является половинчатость решения – отсутствует возможность занять частотный ресурс радиооборудования, который тратится на «молчание» телефонные каналы. Также остается проблема так называемых кроссировок, когда на станциях с демультимплексированием приходится вручную проводить коммутацию потоков E1.

2. *Полностью пакетная радиорелейная система с возможностью агрегации трафика* за счет приоритетов при создании очередей оптимизирует трафик и передает большие объемы информации в малых полосах пропускания. Это чисто радиорелейное преимущество реализуется при помощи адаптивной модуляции, сжатия заголовков Ethernet-кадров и удаления избыточных MAC-адресов. При ухудшении погодных условий (дождь, мокрый снег, туман) в оборудовании с фиксированным уровнем модуляции при снижении сигнала

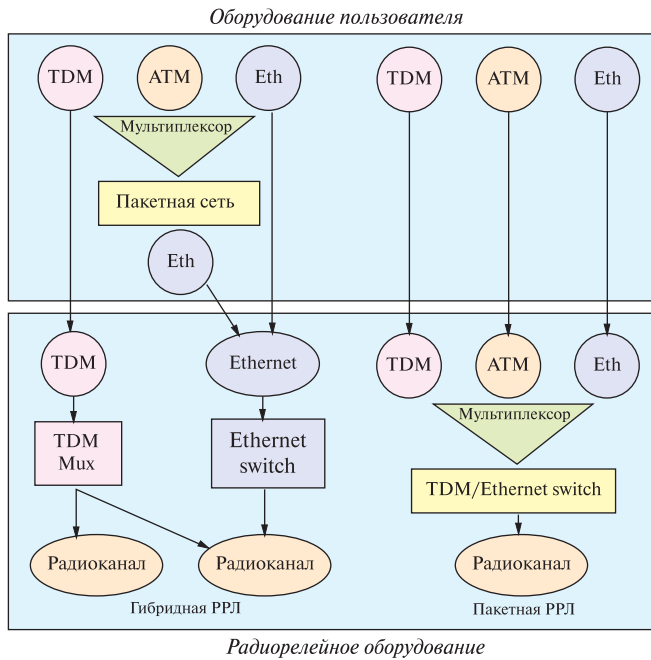


Рис. 2

ниже порогового уровня приемника начинают возникать неполадки, вплоть до полного отключения РРЛ и потери всех данных.

Современные системы с адаптивной модуляцией при изменении погодных условий автоматически, без разрыва существующих соединений, переключаются на модуляцию более низкого уровня в диапазоне от 256QAM до QPSK. Помехоустойчивость повышается, РРЛ не выключается, показатель готовности растет. И наоборот, при улучшении качества радиосигнала уровень модуляции возрастает и пропускная способность РРЛ увеличивается. Например, для стандартного канала 28 МГц при повышении уровня модуляции с QPSK до 256QAM пропускная способность возрастает с 40 до 180 Мбит/с. При настройке адаптивной модуляции необходимо учитывать гарантированный трафик. В то же время негарантированная часть трафика может не передаваться при низком качестве принимаемого сигнала.

На сегодняшний день данное решение как элемент ответвлений от магистральных линий является оптимальным на рынке телекоммуникационного оборудования. Благодаря своей гибкости оно позволяет удовлетворить потребности как операторов сотовой связи со смешанными видами трафика, так и интернет-провайдеров с пакетным трафиком. На вход оборудования может поступать трафик практически с любым интерфейсом. Находящаяся внутри оборудования матрица обработки и кросскоммутирует входящий трафик в пакеты Ethernet и передает в радиотракт. Инкапсуляции TDM в Ethernet обеспечивают дополнительный

выигрыш в занимаемой полосе за счет удаления незанятых при телефонии временных промежутков. Проблема синхронизации потоков E1 решается передачей сигналов тактовой частоты по отдельным гарантированным каналам в радиоинтерфейсе, также возможна синхронизация от внешних источников синхронизации (GPS, ГЛОНАСС) и некоторых других.

Дополнительный плюс РРЛ с агрегацией – удобство стыковки с другими элементами транспортной сети. То есть с одной стороны такой РРЛ потоки E1 могут «расширяться» на обычном кроссе, а с другой – вводиться эмулированными в IP-сеть с помощью интерфейса Ethernet.

Схема построения радиорелейных систем с пакетной технологией представлена на рис. 2. Следует обратить внимание, что в гибридной системе TDM- и Ethernet-трафики передаются параллельно, а в пакетном решении весь трафик передается по одному радиостволу.

Заключение. Рассмотренные методы построения РРЛ, предназначенных для передачи больших объемов информации, позволяют выбрать такое оборудование, которое наилучшим образом соответствовало бы конкретным задачам потребителя. При ограниченном частотном ресурсе можно выбрать отечественную или зарубежную аппаратуру, которая в полосе частот одного радиоствола (28 МГц) будет передавать большой объем информации – 311 Мбит/с. Для таких линий лучше использовать современные NGSDH-системы с большой эффективностью загрузки пакетных сообщений в виртуальные контейнеры. Если есть возможность получить радиочастоты для нескольких стволков, надо строить многоствольные линии, где пропускная способность увеличивается пропорционально.

При планировании новейших РРЛ, которые станут частью будущей транспортной IP-сети, следует выбирать полностью пакетные РРЛ, где эффективно используется адаптивная модуляция, существенно улучшая показатель готовности линии.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кирик Ю.М. Тенденции в развитии городской радиорелейной связи // Электросвязь. – 2009. – № 3. – С. 11–13.
2. Мермельштейн Д. РРЛ и IP – новая реальность // Технологии и средства связи. – 2010. – № 2. – С. 41–42.
3. Бакланов И.Г. NGSDH: успех неизбежен // Connect! Мир связи. – 2004. – № 11. – С. 164–167.
4. A study into the application of interference cancellation techniques// Summary report//Volume 2//University of Bristol//April, 2006// http://www.ofcom.org.uk/research/technology/research/emerg_tech/intex/vol2.pdf.
5. <http://eon.businesswire.com> (26 May 2010. Peninsula engineering solutions new microwaves RF repeaters with XPIC, adaptive modulation and Ethernet).

Получено 11.01.11