

К. т. н. С. А. КРАВЧУК

Украина, НТУУ "Киевский политехнический институт"
E-mail: sonar@gu.kiev.ua

Дата поступления в редакцию
18.04 2003 г.

Оппонент д. т. н. С. Г. БУНИН
(НТУУ "КПИ", г. Киев)

АРХИТЕКТУРА ФИКСИРОВАННЫХ СИСТЕМ ШИРОКОПОЛОСНОГО РАДИОДОСТУПА

Впервые представлены основные элементы сетевой архитектуры фиксированных систем широкополосного радиодоступа как самостоятельного вида телекоммуникаций.

Фиксированные системы широкополосного радиодоступа (ФСШР) являются основной составной частью систем широкополосного беспроводного доступа, отличительной особенностью которых служит стремление к предоставлению в пределах своей рабочей зоны полного набора мультимедийных услуг, а также к освобождению пользователей от проводной зависимости как на персональном уровне, так и на уровне дома, района и города [1, 2].

К ФСШР можно отнести хорошо известные радиосистемы MMDS (Multichannel Multipoint Distribution Service), LMDS (Local Multipoint Distribution Service), MVDS (Multipoint Video Distribution Service), МИТРИС (микроволновая интегрированная телерадиоинформационная система) и новые системы т. н. третьего поколения WAND (Wireless ATM Network Demonstrator), CRABS (Cellular Radio Access for Broadband Services), МТРС (микроволновая телекоммуникационная распределительная система разработки НИИ телекоммуникаций НТУУ "КПИ") и др.

Дальнейшее развитие ФСШР как самостоятельного вида телекоммуникаций связывается с разработкой единых концептуальных положений по структурно-функциональному построению таких систем. В этой связи становится актуальной выработка обобщенной архитектуры ФСШР, особенно в части микроволнового транспортного уровня.

Уровни ФСШР

В архитектуре ФСШР выделяются два основных системных уровня — транспортный и уровень доступа [3]. На транспортном уровне организуются каналы связи для обеспечения обращения оборудования абонентских терминалов (АТ) через шлюзовую станцию доступа (базовую станцию — БС) к сетям передачи данных, телефонной сети общего пользования (ТСОП) и источникам мультимедийной информации. Транспортный уровень формируется на базе микроволновых приемопередатчиков с антенным оборудованием и каналобразующей аппаратуры (модемы и мультиплексоры).

На уровне доступа организуется доступ оконечного абонентского оборудования к общему каналному ресурсу с последующим выходом на соответствующие сети. В качестве оборудования уровня доступа АТ, в зависимости от типа услуг, которые предоставляются абонентам системы, могут быть использованы кроссмultipлексоры, цифровые автоматические телефонные станции небольшой емкости, цифровые абонентские концентраторы, маршрутизаторы, системы мультимедиа. Оборудование доступа БС должно поддерживать все типы протоколов, которые используются аппаратурой АТ. Наибольшую гибкость система имеет при использовании кроссмultipлексоров, которые разрешают поддерживать все службы сети с интеграцией услуг.

Для ряда ФСШР, располагаемых в рамках одной территории, кроме системных различают еще зональные уровни, основанные на принципе многоуровневого сотового построения: макросота, сота или микросота. Макросота (или сота) представляет собой первый уровень системы, который формируется радиолиниями между БС и локальными ретрансляторами (ЛР). Сота (или микросота) формирует второй уровень "последней мили", предназначенный для обеспечения связи ЛР с оконечными АТ. Развязка между уровнями осуществляется посредством частотного разнесения диапазонов их рабочих частот.

Топологии ФСШР

Основным элементом архитектуры любой радиосистемы является ее топология, определяемая топологией используемых каналов связи. На рис. 1 представлены базовые варианты сетевых топологий ФСШР. Рассмотрим их подробнее.

Полносвязная топология (рис. 1, а) берет свое начало от первых пакетных наземных и спутниковых радиосистем, в которых станции системы непосредственно связываются между собой самостоятельными, независимыми дуплексными линиями связи. Однако сеть на основе полносвязной топологии не является оптимальной, т. к. наличие большого числа самостоятельных радиолиний ведет к снижению коэффициента использования этих линий. Поэтому данный вид топологии используется только в некоторых компьютерных радиосетях дециметрового диапазона волн.

Наибольшее распространение получила звездообразная топология (рис. 1, б — д) [4], содержащая

центральный узел, в качестве которого может выступать БС, располагаемая в центре зоны действия системы, и ряд АТ, способных принимать информационный поток от центрального узла. Последний отвечает за маршрутизацию трафика через себя к АТ; он также отвечает за локализацию неисправностей. Локализация неисправностей является относительно простой в звездообразной системе, поскольку решение проблемы обусловлено возможностью локализации линии связи. Однако система с такой топологией подвержена потенциальным проблемам "узкого горла" и отказов, связанных с центральным узлом, что вызывает потребность в 100%-ном резервировании его оборудования.

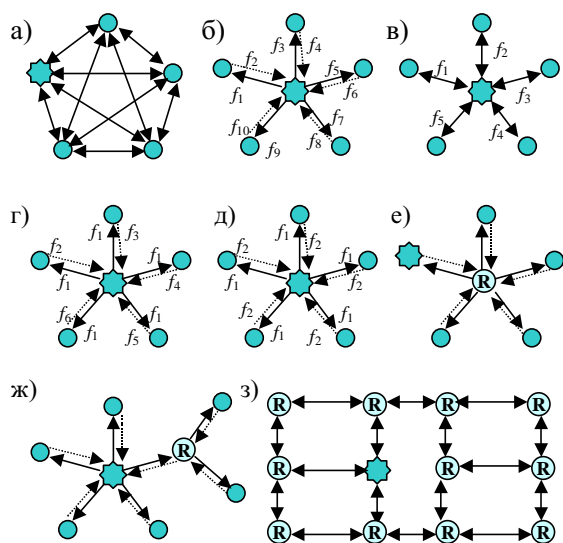


Рис. 1. Топологии ФСШР:

a — полностью связанная; *б* — звездообразная типа "точка — точка" с дуплексными радиоканалами; *в* — то же с полудуплексными радиоканалами; *г* — звездообразная типа "точка — много точек" многостанционного доступа с частотным разделением каналов; *д* — то же с временным разделением каналов; *е* — звездообразная с ретранслятором в качестве центрального узла системы; *ж* — звездообразная с ретранслятором как мостом для расширения зоны действия системы; *з* — ячеистая (сетчатая)
 ● — БС; (R) — ретранслятор; ● — АТ

Системы со звездообразной топологией, показанной на рис. 1, *б*, представляют собой объединение отдельных дуплексных радиорелейных линий (РРЛ) вокруг одного центрального узла. Примером такой системы может послужить радиальная система распределительных РРЛ, связывающих одну БС подвижной сотовой связи с другими БС и центральным узлом коммутации сети. Главным достоинством данной системы является возможность смены топологии сети путем изменения направленности антенн радиорелейных станций (РРС) или переноса БС в другое место.

Однако увеличение количества РРС в одном месте создает сложную электромагнитную обстановку и ведет к неэффективному использованию радиорелейного оборудования. Действительно, например, из точки БС расходятся k РРЛ, что влечет за собой необходимость задействования для их дуплексной работы $2k$ частотных литер и $2k$ приемопередатчиков с соответствующим модемным оборудованием. Одним из решений данной проблемы стало создание звездообразной радиосистемы с полудуплексными радиоканалами

с временным разделением "передача — прием" (рис. 1, *в*), что позволило уменьшить количество частотных литер до k , но, одновременно, снизило интегральную пропускную способность системы из-за использования одного канала на прием и передачу.

Другое решение данной проблемы заключается в переходе от систем типа "точка — точка" к системам типа "точка — много точек" с задействованием современных многостанционных методов разделения каналов. На рис. 1, *г* представлена такая звездообразная топология, где используется широкополосный симплексный радиоканал от БС к АТ и ряд обратных запросных каналов от АТ к БС. Здесь вместо $2k$ РРС потребуется только один центральный приемопередатчик на БС с широкополосным каналом передачи на одной частоте и k приемопередатчиков АТ на концах лучей звезды. При этом будет задействовано только $k+1$ частотных литер.

В данной системе, в границах одного высокочастотного канала f_1 , может использоваться комбинированный метод многостанционного доступа: в направлении от БС к АТ — временное разделение каналов, в направлении от абонентской станции к базовой — частотно-временное разделение. Такой метод доступа возможен, например, за счет организации каналов плезиохронной цифровой иерархии E1 (2048 кбит/с), E2 (8448 кбит/с), E3 (34368 кбит/с) согласно G.703, G.704, что разрешает осуществлять мультиплексирование разноресурсных потоков. При этом мультиплексоры БС предназначены для объединения потоков E1 и E2 в поток E3, а мультиплексоры АТ — для выделения соответствующих потоков. Подобное построение усложняет контроль ошибок в канале связи при применении плезиохронной цифровой иерархии, поэтому применяется прямая коррекция ошибок, которая разрешает дополнительно повысить достоверность передачи информации и улучшить энергетические показатели канала.

В настоящее время использование такой топологии для ФСШР, построенных с применением технологии DVB (Digital Video Broadcasting), регламентировано рядом Рекомендаций ETSI [5, 6]. В результате стало возможным появление новых широкополосных услуг: мультимедийное и веб-вещание, асимметричный доступ к Интернет, сбор и распространение различной служебной информации коммунальных служб, подразделений министерств внутренних дел и чрезвычайных ситуаций.

Кроме этого, использование современных методов многостанционного доступа позволяет существенно повысить пропускную способность радиоканалов без расширения отведенного под систему частотного диапазона. Так, на рис. 1, *д* представлена звездообразная топология типа "точка — много точек" многостанционного доступа с временным разделением каналов. Вид топологии с кодовым разделением будет таким же, как и с временным.

Развитием принципов, положенных в основу звездообразной топологии, явилась трансформация центрального узла в ретранслятор и вынос БС как точки входа в систему на периферию лучей звезды (рис. 1, *е*) [7]. Здесь ретранслятор принимает сигналы в по-

лосе множественного доступа и ретранслирует их в широкополосной полосе. Ретранслятор в этой системе не выполняет никаких логических операций (логически пассивный ретранслятор). Он решает следующие задачи: 1) обеспечивает полносвязность сети; 2) обеспечивает прослушивание в процессе передачи собственных сигналов абонентами, что позволяет повысить эффективность использования полосы частот; 3) улучшает энергетику сети и таким образом повышает достоверность передачи.

Основным недостатком топологии с центральным ретранслятором является уменьшение пропускной способности по сравнению с сетью, не имеющей ретранслятора и полностью использующей выделенную полосу для непосредственной передачи информации между АТ.

Ретрансляцию можно осуществить двумя способами: на уровне элементарных сигналов путем разнесения каналов приема и передачи по частоте; на уровне пакетов за счет разнесения во времени процессов передачи и приема в общей полосе частот.

Наконец, на рис. 1, ж представлена звездообразная топология с ретранслятором в качестве моста для расширения зоны действия системы.

Рост емкости трафика в густонаселенных центрах, сложность обеспечения прямой видимости между БС и АТ в системах со звездообразной топологией привели к появлению ФСШР типа "точка — точка" с ячеистой (сетчатой) топологией (рис. 1, з) [8]. Привлекательность ячеистой топологии заключается в относительной устойчивости к перегрузкам и отказам. Благодаря множественности путей между АТ, которые являются также и ретрансляторами, трафик может быть направлен в обход отказавших или занятых узлов. Несмотря на то, что ячеистые сети отмечаются сложностью и дороговизной, они могут обеспечить наиболее высокую надежность.

Протоколы доступа

Радиоканал как физическая среда передачи информации обладает специфическими свойствами: разнообразны количественный состав и местоположение абонентов, значительна флюктуация параметров, условия распространения сигналов зависимы от места функционирования сети, наличествуют административно-правовые ограничения на передачу данных по радиоканалу, достаточно широк диапазон возможных скоростей передачи, сравнительно низка стоимость канала связи. Вследствие всего этого невозможно механически перенести принципы, средства и технологии, разработанные для сетей с проводной связью, на радиосети.

Определение протоколов управления доступом к радиоканалу является одной из основных задач при разработке любой радиосети, т. к. от их характеристик в конечном итоге зависит эффективность функционирования сети в целом. Причем в каждой сетевой системе необходимо иметь несколько вариантов таких протоколов. Это обусловлено тем, что параметры радиосети, такие как уровень и характер трафика, количество и типы абонентов, качество радиосвязи, топология, размеры сети в реальных условиях эксплуатации, могут изменяться в широких пределах. Для адаптации к текущему состоянию параметров

требуется периодическая смена протоколов. Критерием выбора того или иного типа протокола управления доступом служит обменное соотношение между скоростью и задержкой передачи в пределах установленного либо прогнозируемого диапазона изменения системных параметров сети.

Протоколы доступа системы полностью зависят от выбранной технологии уровня доступа — плеззиохронной или синхронной цифровой иерархий, АТМ (Asynchronous Transfer Mode), IP (Internet Protocol), Ethernet и пр. Ранее, при анализе топологии, изображенной на рис. 1, з, уже было рассмотрено применение плеззиохронной иерархии для ФСШР.

Для поддержания разнородного по своей природе трафика (голос, данные, видео) большой интерес в качестве базовой технологии вызывает АТМ. С одной стороны, ФСШД можно строить как сугубо беспроводную АТМ-систему, как показано на рис. 2, а с другой стороны — как систему, в которой АТМ выполняет роль транспортной среды.

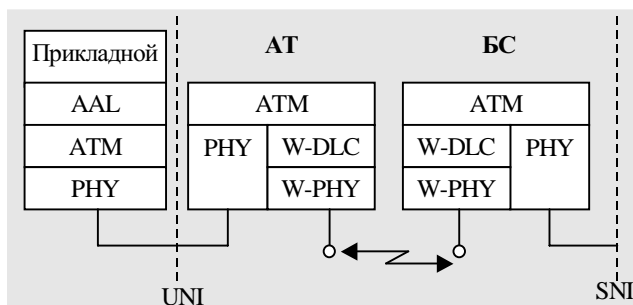


Рис. 2. Уровни протоколов беспроводной АТМ-системы: ААL — уровень адаптации АТМ (АТМ Adaptation Level); PHY — физический уровень; UNI (User-to-Network Interface) и SNI (Server-Network Interface) — интерфейсы АТМ; W-DLC (Wireless Data Link Control) — беспроводный уровень контроля передачи данных; W-PHY — физический уровень беспроводного доступа

В последнем случае требуется задействование специального протокольного уровня системы, предназначенного для прозрачного поддержания соединений между АТ разных стандартов через специальный интерфейс. Действие протоколов доступа такой отдельной ФСШР ограничивается шлюзовой аппаратурой на БС и не распространяется на внешние сети. Тогда нет потребности производить никаких модификаций к внешним протоколам. Такой подход наиболее привлекателен в сетях, где АТМ не является доминирующим транспортным механизмом.

На рис. 3 представлены уровни протоколов асимметричной ФСШР, предназначенной для поддержания доступа к IP-сети. В такой системе прямой широкополосный радиоканал (рис. 3, а) от БС к АТ строится на базе технологии DVB, а обратные запросные каналы (рис. 3, б) от АТ к БС — на многостанционном доступе с временным разделением. При этом на АТ в качестве сетевой технологии применяется Ethernet.

Следует отметить, что в радиосистемах использование IP-трафика имеет ряд ограничений по скорости передачи. Кроме ограничения на физическом уровне (широкополосность среды распространения), суще-

ТЕХНИЧЕСКАЯ ПОЛИТИКА

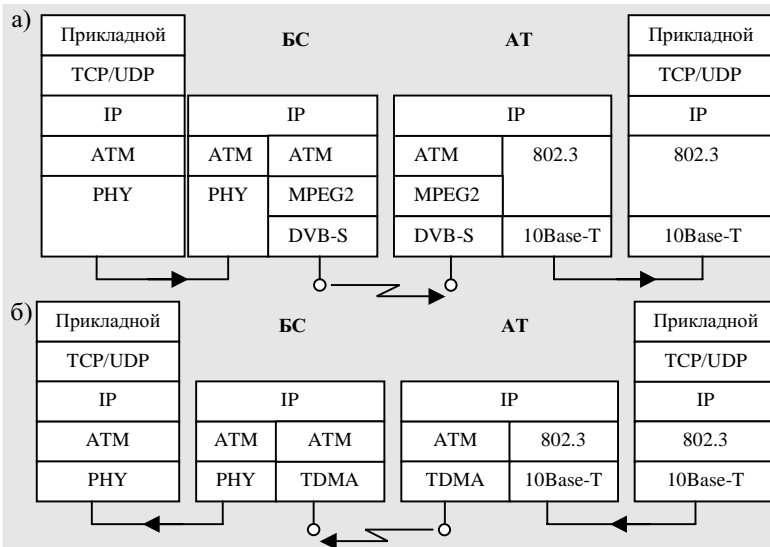


Рис. 3. Уровни протоколов ФСШР на основе технологии DVB для прямого (а) и обратного (б) каналов:

TDMA (Time-Division Multiple Access) — многостанционный доступ с временным разделением; 10 Base-T — интерфейс Ethernet для неэкранированной витой пары; 802.3 — спецификация Ethernet IEEE 802.3

То есть маршрутизируются первые несколько дейтаграмм, последующие коммутируются. Протокол ARIS (Aggregate Route-Base IP Switching), например, выполняет маршрутизацию меток.

3. На канальном уровне сказывается недостаточная производительность сетевого оборудования. Эта проблема может быть снижена за счет оптимального управления потоками в сети. При этом

стывают ограничения, связанные с особенностями самого стека протоколов TCP/IP, а именно:

1. Транспортный уровень в процессе функционирования может привести к снижению средней скорости передачи TCP-сессии из-за временных задержек при распространении сигнала в физической среде, при обработке портами сетевых узлов. Снижение средней скорости происходит из-за простоя канала связи при квинтировании (аналог — сеть X.25, в которой подобные процедуры вписаны в канальный уровень).

Методы снижения такого влияния — протокольное разрешение передавать данные без получения квитанции. Например, в сети X.25 подобная задача решается использованием службы расширенной нумерации пакетов, относящейся к необязательным — дополнительным.

2. На сетевом уровне на скорость оказывают влияние: производительность портов маршрутизаторов, эффективность протоколов маршрутизации.

Эффективность протоколов маршрутизации определяется рядом параметров, например, потенциальной способностью образовывать "петли" в нештатных ситуациях и др. Применение более эффективных протоколов маршрутизации позволяет решить задачу более эффективного использования канального ресурса за счет уменьшения объема передаваемой непроизводительной информации. Так, протокол OSPF (Open Shortest Path First Protocol) позволяет достаточно эффективно осуществлять внутрисистемную маршрутизацию даже при больших значениях числа пересылок. При этом вероятность образования "петель" сводится к пренебрежимо малой величине. Протокол бесклассовой маршрутизации CIDR (Classless Inter-Domain Routing) позволяет более экономно расходовать адресное пространство, в какой-то мере снизить нагрузку на порты маршрутизаторов и тем самым уменьшить задержки при обработке.

Рост интенсивности IP-трафика приводит к увеличению накладных расходов и, следовательно, к снижению скорости передачи информационного трафика. Эта проблема в значительной мере снимается средствами коммутации третьего уровня. Такими протоколами являются протоколы маршрутизации потоков.

уменьшаются очереди в буферах коммутаторов и маршрутизаторов, тем самым снижаются задержки в канале.

Таким образом, в настоящей работе впервые с единых позиций представлены основные элементы сетевой архитектуры фиксированных систем широкополосного радиодоступа как самостоятельного вида телекоммуникаций, что дает возможность определить основные концептуальные положения по структурно-функциональному построению таких систем, а также выработать требования как к микроволновому, так и к цифровому оборудованию системы.

ИСПОЛЬЗОВАННЫЕ ИСТОЧНИКИ

1. Кравчук С. А., Ильченко М. Е. Системы широкополосного беспроводного доступа. Термины и определения / Мат-лы 12-й Междунар. конф. КрыМиКо'2002 "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии", 9—13 сентября 2002 г., Севастополь, Крым, Украина.— С. 52—55.
2. Ильченко М. Е., Кравчук С. А. Перспективы развития телекоммуникаций / Там же.— Мат-лы 11-й конф. КрыМиКо'2001, 10—14 сентября 2001 г.— С. 237—240.
3. Ильченко М. Ю., Кайдено М. М., Кравчук С. О. Цифрові мережі з інтеграцією послуг на основі мікрохвильової телекомунікаційної розподільчої системи / Мат-ли 2-го міжнар. конгресу "Розвиток інформаційного суспільства в Україні", 4—6 грудня 2001 р., Київ, Україна.— С. 87—95.
4. Кравчук С. А., Потієнко В. П., Петухов І. М. Реалізація технології передачі Internet-інформації путем створення зоновий цифрової мікрохвильової мережі / Мат-лы 8-й Междунар. конф. КрыМиКо'98 "СВЧ-техника и телекоммуникационные технологии", 14—17 сентября 1998 г., Севастополь, Крым, Украина. Т. 2.— С. 808—811.
5. Digital Video Broadcasting (DVB); Multipoint Video Distribution Systems (MVDS) at 10 GHz and above.— European Standard ETSI EN 300 748 V1.1.2 (Telecommunications series).— 1997.
6. Digital Video Broadcasting (DVB); Microwave Multipoint Distribution Systems (MMDS) below 10 GHz.— European Standard ETSI EN 300 749 V1.1.2 (Telecommunications series).— 1997.
7. Бунин С. Г., Войтер А. П. Вычислительные сети с пакетной радиосвязью.— К.: Техніка, 1989.
8. Webb W. Broadband fixed wireless access as a key component of the future integrated communications environment // IEEE Communications Magazine.— 2001.— Vol. 39, N 9.— P. 115—121.