

# Сети Frame Relay

## Назначение и общая характеристика

Сети frame relay - сравнительно новые сети, которые гораздо лучше подходят для передачи пульсирующего трафика локальных сетей по сравнению с сетями X.25, правда, это преимущество проявляется только тогда, когда каналы связи приближаются по качеству к каналам локальных сетей, а для глобальных каналов такое качество обычно достижимо только при использовании волоконно-оптических кабелей.

Преимущество сетей frame relay заключается в их низкой протокольной избыточности и дейтаграммном режиме работы, что обеспечивает высокую пропускную способность и небольшие задержки кадров. Надежную передачу кадров технология frame relay не обеспечивает. Сети frame relay специально разрабатывались как общественные сети для соединения частных локальных сетей. Они обеспечивают скорость передачи данных до 2 Мбит/с.

Особенностью технологии frame relay является гарантированная поддержка основных показателей качества транспортного обслуживания локальных сетей - средней скорости передачи данных по виртуальному каналу при допустимых пульсациях трафика. Кроме технологии frame relay гарантии качества обслуживания на сегодня может предоставить только технология АТМ, в то время как остальные технологии предоставляют требуемое качество обслуживания только в режиме «с максимальными усилиями» (best effort), то есть без гарантий.

Технология frame relay в сетях ISDN стандартизована как служба. В рекомендациях 1.122, вышедших в свет в 1988 году, эта служба входила в число дополнительных служб пакетного режима, но затем уже при пересмотре рекомендаций в 1992-93 гг. она была названа службой frame relay и вошла в число служб режима передачи кадров наряду со службой frame switching. Служба frame switching работает в режиме гарантированной доставки кадров с регулированием потока. На практике поставщики телекоммуникационных услуг предлагают только службу frame relay.

Некоммерческую организацию Frame Relay Forum образовали в 1990 году компании Cisco Systems, StrataCom (сегодня - подразделение Cisco Systems), Northern Telecom и Digital Equipment Corporation для развития и конкретизации стандартов CCITT и ANSI. Спецификации Frame Relay Forum носят название FRF и имеют порядковые номера. Спецификации FRF часто стандартизуют те аспекты технологии frame relay, которые еще не нашли свое отражение в стандартах ITU-T и ANSI. Например, спецификация FRF. 11 определяет режим передачи голоса по сетям frame relay.

Консорциум Frame Relay Forum разработал спецификацию, отвечающую требованиям базового протокола frame relay, разработанного T1S1 и CCITT. Однако консорциум расширил базовый протокол, включив дополнительные возможности по управлению сетью со стороны пользователя, что очень важно при использовании сетей frame relay в сложных составных корпоративных сетях. Эти дополнения к frame relay называют обобщенно *Local Management Interface (LMI) - локальный интерфейс управления*.

Стандарты ITU-T обычно отличаются высоким уровнем сложности и наличием многих возможностей, которые достаточно трудно воплотить на практике. Спецификации Frame Relay Forum упрощают некоторые аспекты стандартов ITU-T или отбрасывают некоторые возможности. Так, технология frame switching не нашла своего отражения в спецификациях FRF, а процедуры создания коммутируемых виртуальных каналов появились в спецификациях FRF позже, чем в стандартах ITU-T, и оказались более простыми.

Стандарты frame relay, как ITU-T/ANSI, так и Frame Relay Forum, определяют два типа виртуальных каналов - постоянные (PVC) и коммутируемые (SVC). Это соответствует потребностям пользователей, так как для соединений, по которым трафик передается почти всегда, больше подходят постоянные каналы, а для соединений, которые нужны только на несколько часов в месяц, больше подходят коммутируемые каналы.

Однако производители оборудования frame relay и поставщики услуг сетей frame relay начали с поддержки только постоянных виртуальных каналов. Это, естественно, является большим упрощением технологии. Тем не менее в последние годы оборудование, поддерживающее коммутируемые виртуальные каналы, появилось, и появились поставщики, предлагающие такую услугу.

## Стек протоколов frame relay

Технология frame relay использует для передачи данных технику виртуальных соединений, аналогичную той, которая применялась в сетях X.25, однако стек протоколов frame relay передает кадры (при установленном виртуальном соединении) по протоколам только физического и канального уровней, в то время как в сетях X.25 и после установления соединения пользовательские данные передаются протоколом 3-го уровня.

Кроме того, протокол канального уровня LAP-F в сетях frame relay имеет два режима работы - основной (core) и управляющий (control). В основном режиме, который фактически практикуется в сегодняшних сетях frame relay, кадры передаются без преобразования и контроля, как и в коммутаторах локальных сетей. За счет этого сети frame relay обладают весьма высокой производительностью, так как кадры в коммутаторах не подвергаются преобразованию, а сеть не передает квитанции подтверждения между коммутаторами на каждый пользовательский кадр, как это происходит в сети X.25. Пульсации трафика передаются сетью frame relay достаточно быстро и без больших задержек.

При таком подходе уменьшаются накладные расходы при передаче пакетов локальных сетей, так как они вкладываются сразу в кадры канального уровня, а не в пакеты сетевого уровня, как это происходит в сетях X.25.

Структура стека (рис. 1) хорошо отражает происхождение технологии frame relay в недрах технологии ISDN, так как сети frame relay заимствуют многое из стека протоколов ISDN, особенно в процедурах установления коммутируемого виртуального канала.

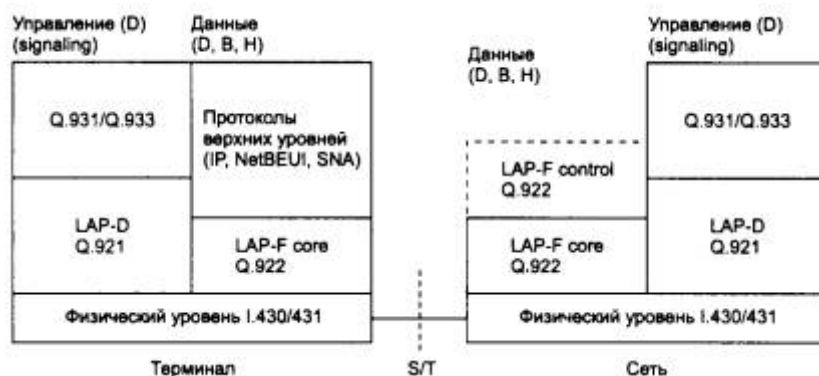


Рис. 1. Стек протоколов frame relay

Основу технологии составляет протокол LAP-F core, который является весьма упрощенной версией протокола LAP-D. Протокол LAP-F (стандарт Q.922 ITU-T) работает на любых каналах сети ISDN, а также на каналах типа T1/E1. Терминальное оборудование посылает в сеть кадры LAP-F в любой момент времени, считая что виртуальный канал в сети коммутаторов уже проложен. При использовании PVC оборудованию frame relay нужно поддерживать только протокол LAP-F core.

Протокол LAP-F control является необязательной надстройкой над LAP-F core, которая выполняет функции контроля доставки кадров и управления потоком. С помощью протокола LAP-F control сетью реализуется служба frame switching.

Для установки коммутируемых виртуальных каналов стандарт ITU-T предлагает канал D пользовательского интерфейса. На нем по-прежнему работает знакомый протокол LAP-D, который используется для надежной передачи кадров в сетях ISDN. Поверх этого протокола работает протокол Q.931 или протокол Q.933 (который является упрощением и модификацией протокола Q.931 ISDN), устанавливающий виртуальное соединение на основе адресов конечных абонентов (в стандарте E.164 или ISO 7498), а также номера виртуального соединения, который в технологии frame relay носит название Data Link Connection Identifier - DLCI.

После того как коммутируемый виртуальный канал в сети frame relay установлен посредством протоколов LAP-D и Q.931/933, кадры могут транслироваться по протоколу LAP-F, который коммутирует их с помощью таблиц коммутации портов, в которых используются

локальные значения DLCI. Протокол LAP-F core выполняет не все функции канального уровня по сравнению с протоколом LAP-D, поэтому ИТУ-Т изображает его на пол-уровня ниже, чем протокол LAP-D, оставляя место для функций надежной передачи пакетов протоколу LAP-F control.

Из-за того, что технология frame relay заканчивается на канальном уровне, она хорошо согласуется с идеей инкапсуляции пакетов единого сетевого протокола, например IP, в кадры канального уровня любых сетей, составляющих интернет. Процедуры взаимодействия протоколов сетевого уровня с технологией frame relay стандартизованы, например, принята спецификация RFC 1490, определяющая методы инкапсуляции в трафик frame relay трафика сетевых протоколов и протоколов канального уровня локальных сетей и SNA.

Другой особенностью технологии frame relay является отказ от коррекции обнаруженных в кадрах искажений. Протокол frame relay подразумевает, что конечные узлы будут обнаруживать и корректировать ошибки за счет работы протоколов транспортного или более высоких уровней. Это требует некоторой степени интеллектуальности от конечного оборудования, что по большей части справедливо для современных локальных сетей. В этом отношении технология frame relay близка к технологиям локальных сетей, таким как Ethernet, Token Ring и FDDI, которые тоже только отбрасывают искаженные кадры, но сами не занимаются их повторной передачей.

Структура кадра протокола LAP-F приведена на рис. 2.

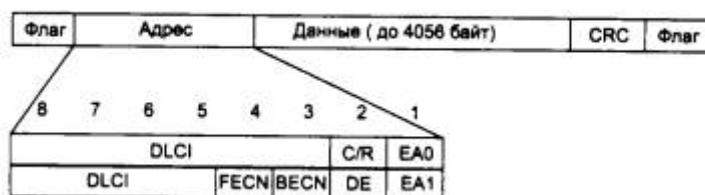


Рис. 2. Формат кадра LAP-F

За основу взят формат кадра HDLC, но поле адреса существенно изменило свой формат, а поле управления вообще отсутствует.

Поле номера виртуального соединения (Data Link Connection Identifier, DLCI) состоит из 10 битов, что позволяет использовать до 1024 виртуальных соединений. Поле DLCI может занимать и большее число разрядов - этим управляют признаки EA0 и EA1 (Extended Address - расширенный адрес). Если бит в этом признаке установлен в ноль, то признак называется EA0 и означает, что в следующем байте имеется продолжение поля адреса, а если бит признака равен 1, то поле называется EA1 и индицирует окончание поля адреса.

Десятиразрядный формат DLCI является основным, но при использовании трех байт для адресации поле DLCI имеет длину 16 бит, а при использовании четырех байт - 23 бита.

Стандарты frame relay (ANSI, ITU-T) распределяют адреса DLCI между пользователями и сетью следующим образом:

- 0 - используется для виртуального канала локального управления (LMI);
- 1-15 - зарезервированы для дальнейшего применения;
- 16-991 - используются абонентами для нумерации PVC и SVC;
- 992-1007 - используются сетевой транспортной службой для внутрисетевых соединений;
- 1008-1022 - зарезервированы для дальнейшего применения;
- 1023 - используются для управления канальным уровнем.

Таким образом, в любом интерфейсе frame relay для конечных устройств пользователя отводится 976 адресов DLCI.

Поле данных может иметь размер до 4056 байт.

Поле C/R имеет обычный для протокола семейства HDLC смысл - это признак «команда-ответ».

Поля DE, FECN и BECN используются протоколом для управлением трафиком и поддержания заданного качества обслуживания виртуального канала.

### Поддержка качества обслуживания

Способность технологии frame relay гарантировать некоторые параметры качества обслуживания (QoS) является ключевой. Именно поэтому данная технология получила широкое распространение и считается одной из самых перспективных технологий глобальных сетей. Технология frame relay благодаря особому подходу гарантированно обеспечивает основные параметры качества транспортного обслуживания, необходимые при объединении локальных сетей.

Вместо приоритезации трафика используется процедура заказа качества обслуживания при установлении соединения, отсутствующая в сетях X.25 и пробивающая себе дорогу в сетях TCP/IP в форме экспериментального протокола RSVP, который пока не поддерживается поставщиками услуг Internet. В технологии frame relay заказ и поддержание качества обслуживания встроены в технологию.

Для каждого виртуального соединения определяется несколько параметров, влияющих на качество обслуживания.

- *CIR (Committed Information Rate)* - согласованная информационная скорость, с которой сеть будет передавать данные пользователя.
- *Bc (Committed Burst Size)* - согласованный объем пульсации, то есть максимальное количество байтов, которое сеть будет передавать от этого пользователя за интервал времени  $T$ .
- *Be (Excess Burst Size)* - дополнительный объем пульсации, то есть максимальное количество байтов, которое сеть будет пытаться передать сверх установленного значения  $B_c$  за интервал времени  $T$ .

Гарантий по задержкам передачи кадров технология frame relay не дает, оставляя эту услугу сетям ATM.

Основным параметром, по которому абонент и сеть заключают соглашение при установлении виртуального соединения, является согласованная скорость передачи данных. Для постоянных виртуальных каналов это соглашение является частью контракта на пользование услугами сети. При установлении коммутируемого виртуального канала соглашение о качестве обслуживания заключается автоматически с помощью протокола Q.931/933 — требуемые параметры CIR,  $B_c$  и  $B_e$  передаются в пакете запроса на установление соединения.

Так как скорость передачи данных измеряется на каком-то интервале времени, то интервал  $T$  и является таким контрольным интервалом, на котором проверяются условия соглашения. В общем случае пользователь не должен за этот интервал передать в сеть данные со средней скоростью, превосходящей CIR. Если же он нарушает соглашение, то сеть не только не гарантирует доставку кадра, но помечает этот кадр признаком DE(Discard Eligibility), равным 1, то есть как кадр, подлежащий удалению. Однако кадры, отмеченные таким признаком, удаляются из сети только в том случае, если коммутаторы сети испытывают перегрузки. Если же перегрузок нет, то кадры с признаком DE=1 доставляются адресату.

Такое щадящее поведение сети соответствует случаю, когда общее количество данных, переданных пользователем в сеть за период  $T$ , не превышает объема  $B_c+B_e$ . Если же этот порог превышен, то кадр не помечается признаком DE, а немедленно удаляется из сети.

Для контроля соглашения о параметрах качества обслуживания все коммутаторы сети frame relay выполняют так называемый алгоритм «дырявого ведра» (Leaky Bucket). Алгоритм использует счетчик  $C$  поступивших от пользователя байт. Каждые  $T$  секунд этот счетчик уменьшается на величину  $B_c$  (или же сбрасывается в 0, если значение счетчика меньше, чем  $B_c$ ). Все кадры, данные которых не увеличили значение счетчика свыше порога  $B_c$ , пропускаются в сеть со значением признака DE=0. Кадры, данные которых привели к значению счетчика, большему  $B_c$ , но меньшему  $B_c+B_e$ , также передаются в сеть, но с признаком DE=1. И наконец, кадры, которые привели к значению счетчика, большему  $B_c+B_e$ , отбрасываются коммутатором.

Пользователь может договориться о включении не всех параметров качества обслуживания на данном виртуальном канале, а только некоторых.

Например, можно использовать только параметры CIR и  $V_c$ . Этот вариант дает более качественное обслуживание, так как кадры никогда не отбрасываются коммутатором сразу. Коммутатор только помечает кадры, которые превышают порог  $V_c$  за время  $T$ , признаком  $DE=1$ . Если сеть не сталкивается с перегрузками, то кадры такого канала всегда доходят до конечного узла, даже если пользователь постоянно нарушает договор с сетью.

Популярен еще один вид заказа на качество обслуживания, при котором оговаривается только порог  $V_e$ , а скорость CIR полагается равной нулю. Все кадры такого канала сразу же отмечаются признаком  $DE=1$ , но отправляются в сеть, а при превышении порога  $V_e$  они отбрасываются. Контрольный интервал времени  $T$  в этом случае вычисляется как  $V_e/R$ , где  $R$  — скорость доступа канала.

На рис. 3 приведен пример сети frame relay с пятью удаленными региональными отделениями корпорации. Обычно доступ к сети осуществляется каналами с большей чем CIR пропускной способностью. Но при этом пользователь платит не за пропускную способность канала, а за заказанные величины CIR,  $V_c$  и  $V_e$ . Так, при использовании в качестве канала доступа канала T1 и заказа службы со скоростью CIR, равной 128 Кбит/с, пользователь будет платить только за скорость 128 Кбит/с, а скорость канала T1 в 1,544 Мбит/с будет влиять на верхнюю границу возможной пульсации  $V_c+V_e$ .

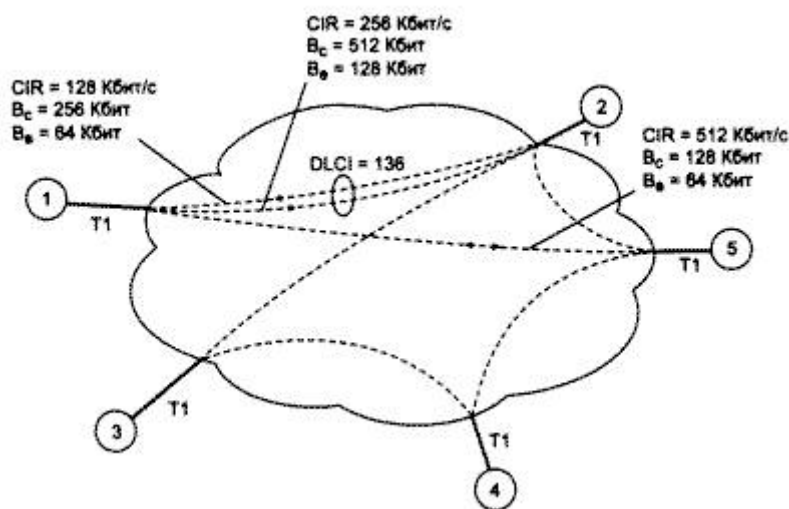


Рис. 3 Пример использования сети frame relay

Параметры качества обслуживания могут быть различными для разных направлений виртуального канала. Так, на рис. 3 абонент 1 соединен с абонентом 2 виртуальным каналом с DLCI=136. При направлении от абонента 1 к абоненту 2 канал имеет среднюю скорость 128 Кбит/с с пульсациями  $V_c=256$  Кбит (интервал  $T$  составил 1 с) и  $V_e=64$  Кбит. А при передаче кадров в обратном направлении средняя скорость уже может достигать значения 256 Кбит/с с пульсациями  $V_c=512$  Кбит и  $V_e=128$  Кбит.

Механизм заказа средней пропускной способности и максимальной пульсации является основным механизмом управления потоками кадров в сетях frame relay. Соглашения должны заключаться таким образом, чтобы сумма средних скоростей виртуальных каналов не превосходила возможностей портов коммутаторов. При заказе постоянных каналов за это отвечает администратор, а при установлении коммутируемых виртуальных каналов - программное обеспечение коммутаторов. При правильно взятых на себя обязательствах сеть борется с перегрузками путем удаления кадров с признаком  $DE=1$  и кадров, превысивших порог  $V_c+V_e$ .

Тем не менее в технологии frame relay определен еще и дополнительный (необязательный) механизм управления кадрами. Это механизм оповещения конечных пользователей о том, что в коммутаторах сети возникли перегрузки (переполнение необработанными кадрами). Бит FECN

(Forward Explicit Congestion Bit) кадра извещает об этом принимающую сторону. На основании значения этого бита принимающая сторона должна с помощью протоколов более высоких уровней (TCP/IP, SPX и т. п.) известить передающую сторону о том, что та должна снизить интенсивность отправки пакетов в сеть.

Бит BECN (Backward Explicit Congestion Bit) извещает о переполнении в сети передающую сторону и является рекомендацией немедленно снизить темп передачи. Бит BECN обычно обрабатывается на уровне устройств доступа к сети frame relay - маршрутизаторов, мультиплексоров и устройств CSU/DSU. Протокол frame relay не требует от устройств, получивших кадры с установленными битами FECN и BECN, немедленного прекращения передачи кадров в данном направлении, как того требуют кадры RNR сетей X.25. Эти биты должны служить указанием для протоколов более высоких уровней (TCP, SPX, NCP и т. п.) о снижении темпа передачи пакетов. Так как регулирование потока иницируется в разных протоколах по-разному - как принимающей стороной, так и передающей, - то разработчики протоколов frame relay учли оба направления снабжения предупреждающей информацией о переполнении сети.

В общем случае биты FECN и BECN могут игнорироваться. Но обычно устройства доступа к сети frame relay (Frame Relay Access Device, FRAD) обрабатывают по крайней мере признак BECN.

При создании коммутируемого виртуального канала параметры качества обслуживания передаются в сеть с помощью протокола Q.931. Этот протокол устанавливает виртуальное соединение с помощью нескольких служебных пакетов.

Абонент сети frame relay, который хочет установить коммутируемое виртуальное соединение с другим абонентом, должен передать в сеть по каналу D сообщение SETUP, которое имеет несколько параметров, в том числе:

- DLCI;
- адрес назначения (в формате E.164, X.121 или ISO 7498);
- максимальный размер кадра в данном виртуальном соединении;
- запрашиваемое значение CIR для двух направлений;
- запрашиваемое значение  $B_c$  для двух направлений;
- запрашиваемое значение  $B_e$  для двух направлений.

Коммутатор, с которым соединен пользователь, сразу же передает пользователю пакет CALL PROCEEDING - вызов обрабатывается. Затем он анализирует параметры, указанные в пакете, и если коммутатор может их удовлетворить (располагая, естественно, информацией о том, какие виртуальные каналы на каждом порту он уже поддерживает), то пересылает сообщение SETUP следующему коммутатору. Следующий коммутатор выбирается по таблице маршрутизации. Протокол автоматического составления таблиц маршрутизации для технологии frame relay не определен, поэтому может использоваться фирменный протокол производителя оборудования или же ручное составление таблицы. Если все коммутаторы на пути к конечному узлу согласны принять запрос, то пакет SETUP передается в конечном счете вызываемому абоненту. Вызываемый абонент немедленно передает в сеть пакет CALL PROCEEDING и начинает обрабатывать запрос. Если запрос принимается, то вызываемый абонент передает в сеть новый пакет - CONNECT, который проходит в обратном порядке по виртуальному пути. Все коммутаторы должны отметить, что данный виртуальный канал принят вызываемым абонентом. При поступлении сообщения CONNECT вызываемому абоненту он должен передать в сеть пакет CONNECT ACKNOWLEDGE.

Сеть также должна передать вызываемому абоненту пакет CONNECT ACKNOWLEDGE, и на этом соединении считается установленным. По виртуальному каналу могут передаваться данные.

### **Использование сетей frame relay**

Услуги frame relay обычно предоставляются теми же операторами, которые эксплуатируют сети X.25. Большая часть производителей выпускает сейчас коммутаторы, которые могут работать как по протоколам X.25, так и по протоколам frame relay.

Технология frame relay начинает занимать в территориальных сетях с коммутацией пакетов ту же нишу, которую заняла в локальных сетях технология Ethernet. Их роднит то, что они предоставляют только быстрые базовые транспортные услуги, доставляя кадры в узел назначения без гарантий, дейтаграммным способом. Однако если кадры теряются, то сеть frame relay, как и сеть Ethernet, не предпринимает никаких усилий для их восстановления. Отсюда следует простой вывод - полезная пропускная способность прикладных протоколов при работе через сети frame relay будет зависеть от качества каналов и методов восстановления пакетов на уровнях стека, расположенного над протоколом frame relay. Если каналы качественные, то кадры будут теряться и искажаться редко, так что скорость восстановления пакетов протоколом TCP или NCP будет вполне приемлема. Если же кадры искажаются и теряются часто, то полезная пропускная способность в сети frame relay может упасть в десятки раз, как это происходит в сетях Ethernet при плохом состоянии кабельной системы.

Поэтому сети frame relay следует применять только при наличии на магистральных каналах волоконно-оптических кабелей высокого качества. Каналы доступа могут быть и на витой паре, как это разрешает интерфейс G.703 или абонентское окончание ISDN. Используемая на каналах доступа аппаратура передачи данных должна обеспечить приемлемый уровень искажения данных - не ниже  $10^{-6}$ .

На величины задержек сеть frame relay гарантий не дает, и это основная причина, которая сдерживает применение этих сетей для передачи голоса. Передача видеоизображения тормозится и другим отличием сетей frame relay от ATM - низкой скоростью доступа в 2 Мбит/с, что для передачи видео часто недостаточно.

Тем не менее многие производители оборудования для сетей frame relay поддерживают передачу голоса. Поддержка устройствами доступа заключается в присвоении кадрам, переносящим замеры голоса, приоритетов. Магистральные коммутаторы frame relay должны обслуживать такие кадры в первую очередь. Кроме того, желательно, чтобы сеть frame relay, передающая кадры с замерами голоса, была недогруженной. При этом в коммутаторах не возникают очереди кадров, и средние задержки в очередях близки к нулевым.

Необходимо также соблюдение еще одного условия для качественной передачи голоса - передавать замеры голоса необходимо в кадрах небольших размеров, иначе на качество будут влиять задержки упаковки замеров в кадр, так называемые задержки пакетизации, которые более подробно рассматриваются в разделе, посвященном технологии ATM.

Для стандартизации механизмов качественной передачи голоса через сеть frame relay выпущена спецификация FRF.11. Однако в ней решены еще не все проблемы передачи голоса, поэтому работа в этом направлении продолжается.

Ввиду преобладания в коммерческих сетях frame relay услуг постоянных коммутируемых каналов и гарантированной пропускной способности, эти сети предоставляют услуги, очень похожие на услуги дробных выделенных линий T1/E1, но только за существенно меньшую плату.

При использовании PVC сеть frame relay хорошо подходит для объединения локальных сетей с помощью мостов, так как в этом случае от моста не нужна поддержка механизма установления виртуального канала, что требует некоторого программного «интеллекта». Мост может отправлять кадры протокола Ethernet или FDDI непосредственно в кадрах LAP-F или же может использовать поверх протокола LAP-F протокол PPP. Стандарт Internet RFC 1490 определяет формат заголовка SNAP для случая передачи через сеть frame relay непосредственно кадров канального уровня.

Чаще доступ к сетям frame relay реализуют не удаленные мосты, а маршрутизаторы, которые в случае поддержки на последовательных портах протокола frame relay как основного называют устройствами доступа FRAD (хотя и мост, и любое устройство, которое поддерживает протоколы UNI frame relay, относятся к классу FRAD).

Так как сети frame relay передают кадры с небольшими задержками, с их помощью часто передают трафик сетей SNA, особенно в том случае, когда они используют такие чувствительные к задержкам протоколы, как SDLC (фирменный протокол канального уровня компании IBM).

Виртуальные каналы в качестве основы построения корпоративной сети имеют один недостаток - при большом количестве точек доступа и смешанном характере связей необходимо большое количество виртуальных каналов, каждый из которых оплачивается отдельно. В сетях с маршрутизацией отдельных пакетов, таких как TCP/IP, абонент платит только за количество точек доступа, а не за количество связей между ними.