Московский Государственный Институт Электронной Техники

(Технический университет)

Курсовая работа по дисциплине : Основы построения телекоммуникационных систем

На тему : Модемные протоколы

Выполнил :Куликов И.Н. МП-39

Проверил :Баринов В.В.

Москва 2002

Содержание:

1.Что такое модем

2.Стандарты и протоколы

3. Модемные протоколы физического уровня

3.1 Общеупотребительные модемные протоколы ITU-T

3.2 Экзотические модемные протоколы ITU-T

3.2 Общеупотребительные факс-протоколы ITU-T

3.3 Фирменные протоколы передачи данных

4.Протоколы коррекции ошибок и сжатия данных

4.1 Сравнительный анализ протоколов V.42 и MNP 2-4

5.Заключение

6.Список литературы

Что такое модем

Как известно, данные в компьютере представлены в цифровой форме - закодированные в виде нулей и единиц, которым физически соответствует низкий или высокий уровень напряжения. Телефонная же сеть рассчитана на передачу речевых сообщений, представляемых в форме аналоговых электрических сигналов, поэтому непосредственная передача цифровой информации через телефонную сеть невозможна. Итак, для преобразования форм представления информации необходимо некоторое устройство включаемое между компьютером и телефонной линией. Такое устройство называют модемом (сокращение от МОДулятор-ДЕМодулятор). В общих чертах, связь через модем работает следующим образом: Пусть два компьютера соединены через модемы друг с другом по телефонной линии. Тогда поток данных из первого компьютера в цифровой форме поступает в модем первого компьютера, где преобразуется в аналоговую форму, пригодную для передачи по телефонному каналу. Процесс преобразования данных из цифровой в аналоговую форму называется модуляцией. В свою очередь, аналоговый сигнал, попав из телефонной линии на вход модема второго компьютера, преобразуется в цифровой поток данных, который принимается вторым компьютером. Процесс преобразования данных из аналоговой формы в цифровую называется демодуляцией. Таким образом, основное назначение модема - преобразование данных из цифровой формы в аналоговую, пригодную для передачи по телефонному каналу и наоборот из аналоговой в цифровую, воспринимаемую компьютером.

Редкий серьезный деловой человек, профессиональный программист или системный оператор может представить себе полноценную работу без использования такого мощного, оперативного и удобного сочетания как обычная телефонная линия, модем и компьютерная сеть. В то время как первые две составляющие всего лишь техническая сторона новой организации информационного обмена между пользователями, компьютерная сеть - это та глобальная идея, объединяющая разрозненных обладателей компьютеров и модемов, систематизирующая и управляющая хаотически предъявля- емыми требованиями и запросами по быстрому информационному обслуживанию, моментальной обработкой коммерческих предложений, услугами личной конфиденциальной переписки и т.д. и т.п. Сейчас, в условиях многократно возрастающих каждый год информационных потоков, уже практически невозможно вообразить четкое взаимодействие банковских структур, торговых и посреднических фирм, государственных учреждений и других организаций без современной вычислительной техники и компьютерных сетей. В противном случае пришлось бы содержать гигантский штат обработчиков бумажных документов и курьеров, причем надежность и быстрота функционирования такой системы все равно была бы значительно ниже предоставляемой модемной связью и компьютерными сетями. А ведь каждая минута задержки в пересылке важных информационных сообщений может вылиться в весьма ощутимые денежные потери и имиджевые крахи.

Без модема немыслима система электронных коммуникаций. Это устройство позволяет включиться в увлекательный, а сегодня, используя последние изобретения мира телекоммуникаций, уже и просто жизненно необходимый, мир информационных потоков, электронных баз данных, электронной почты, электронных справочников, электронных досок объявлений, игр по Internet и dial up и многого другого. Возможности получения и обмена информацией с помощью модемов уже сегодня трудно переоценить, а то, что ждет нас завтра, мы не можем себе даже вообразить. Электронное письмо, посланное по электронной почте в любую точку земного шара, дойдет до адресата в считанные секунды. Мы можем поместить какое-либо объявление или рекламу в систему телеконференции вашей сети электронной почты и эту информацию через сутки узнает весь мир.Посредством модема можно, например, из одной страны подключиться напрямую к серверу в другой и работать с информационными базами данных, которые он содержит. Наконец, мы можем послать факс, а так же в ближайшее время можно будет воспользоваться электронной подписью.Уже сегодня ни одна солидная брокерская контора не может обойтись без оперативного получения и передачи информации с использованием компьютерных каналов связи и, как следствие, модемов.

# Протоколы и стандарты

Если бы не было коммуникационных стандартов, то процесс взаимодействия модемов явно напоминал бы строительство Вавилонской башни, когда ни одно из устройств не смогло бы связаться с другим. Пользователи модемов постоянно сталкиваются с такими словами, как "стандарт" и "протокол". Под протоколом в данном случае понимается некая совокупность правил, регламентирующих формат и процедуры обмена информацией. В частности, там может подробно описываться, как выполняется соединение, преодолевается шум на линии и обеспечивается безошибочная передача данных между модемами. Стандарт в свою очередь включает в себя общепринятый протокол или набор протоколов. В1964 г. крупнейшие производители модемов доверили установление соответствующих стандартов международной организации под названием CCITT (МККТТ - Международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии).

Сегодня эта организация именуется Международным союзом электросвязи (International Telecommunications Union - ITU). Практически все стандарты, касающиеся модемов, установлены именно этой организацией.

Модемные протоколы физического уровня

Телекоммyникации - наиболее динамично развивающаяся отрасль в мире. Актyальность этой отрасли именно для нашей страны в силу ее размеров и традиционных проблем с устойчивостью и управляемостью трyдно переоценить. С другой стороны, неразвитость, к сожалению, современных каналов связи не позволяет в полной мере воспользоваться мировыми достижениями в области высокоскоростных цифровых систем передачи информации. И потому модемы для коммутируемых телефонных каналов связи остаются и еще долго будут оставаться наиболее широко распространенным средством информационных коммуникаций. Попытаемся дать обзор протоколов физического уровня и их параметров для модемов, работающих по коммутируемым и выделенным каналам связи тональной частоты (телефонным каналам). Прежде чем начать собственно обзор, стоит сделать несколько замечаний общего характера относительно принятой терминологии и приниципов работы модемов. Это позволит снять возможные недоразумения, связанные с нечеткостью представления широкой публики о разнице между понятиями бода и бит/с, соответственно между модуляционной скоростью и информационной. Кроме того, небесполезными будут сведения о возможных видах модуляции, применяемых в модемах, а также о дуплексной связи и способах ее обеспечения.

Скорость

Аналоговые каналы тональной частоты характеризуются тем, что спектр передаваемого по ним сигнала ограничен диапазоном от 300 Гц до 3400 Гц. Именно это ограничение спектра и является основной преградой в использовании телефонных каналов для высокоскоростной передачи цифровой информации. Человек, знакомый с трудами Найквиста, без сомнения укажет нам, что скорость передачи информации по каналу с ограниченным спектром не может превосходить ширины этого спектра, т.е. 3100 бод в нашем случае. Но как же тогда быть с модемами, передающими информацию со скоростями 9600, 14400 , 33600бит/с и даже больше? Ответ напрашивается сам: в аналоговой технике передачи данных бод и бит/с не есть одно и то же. Для прояснения этого тезиса стоит рассмотреть внимательнее физический уровень работы модема.

Электрический сигнал, распространяющийся по каналу, характеризуется тремя параметрами - амплитудой, частотой и фазой. Именно изменение одного из этих параметров, или даже совместно некоторой их совокупности в зависимости от значений информационных бит и составляет физическую сущность процесса модуляции. Каждому информационному элементу соответствует фиксированный отрезок времени, на котором электрический сигнал имеет определенные значения своих параметров, характеризующих значение этого информационного элемента. Этот отрезок времени называют бодовым интервалом. Если кодируемый элемент соответствует одному биту информации, который может принимать значение 0 или 1, то на бодовом интервале параметры сигнала соответственно могут принимать одну из двух предопределенных совокупностей значений амплитуды, частоты и фазы. В этом случае модуляционная скорость (еще ее называют линейной или бодовой) равна информационной, т.е. 1 бод = 1 бит/с. Но кодируемый элемент может соответствовать не одному, а, например, двум битам информации. В этом случае информационная скорость будет вдвое превосходить бодовую, а параметры сигнала на бодовом интервале могут принимать одну из четырех совокупностей значений, соответствующих 00, 01, 10 или 11.

В общем случае, если на бодовом интервале кодируется n бит, то информационная скорость будет превосходить бодовую в n раз. Но количество возможных состояний сигнала в трехмерном (в общем случае) пространстве - амплитуда, частота, фаза - будет равно 2\*\*n. Это значит, что демодулятор модема, получив на бодовом интервале некий сигнал, должен будет сравнить его с 2\*\*n эталонными сигналами и безошибочно выбрать один из них для декодирования искомых n бит. Таким образом, с увеличением емкости кодирования и ростом информационной скорости относительно бодовой, расстояние в сигнальном пространстве между двумя соседними точками сокращается в степенной прогрессии. А это, в свою очередь, накладывает все более жесткие требования к "чистоте" канала передачи. Теоретически возможная скорость в реальном канале определяется известной формулой Шеннона:

#### V = F log2(1+S/N),

где F - ширина полосы пропускания канала, S/N - отношение сигнал/шум.

Второй сомножитель и определяет возможности канала с точки зрения его зашумленности по достоверной передаче сигнала, кодирующего не один бит информации в бодовом интервале. Так, например, если отношение сигнал/шум соответствует 20 dB, т.е. мощность сигнала, доходящего до удаленного модема, в 100 раз превосходит мощность шума, и используется полная полоса канала тональной частоты (3100 Гц), максимальная граница по Шеннону равна 20640 бит/с.

Модуляция

Говоря о видах модуляции, ограничимся только теми, которые реально используются в модемах. А таких на самом деле всего три: частотная, фазоразностная и многопозиционная амплитудно-фазовая модуляция. Все остальные - не более, чем вариации этих трех.

При частотной модуляции (FSK, Frequency Shift Keying) значениям 0 и 1 информационного бита соответствуют свои частоты физического сигнала при неизменной его амплитуде. Частотная модуляция весьма помехоустойчива, поскольку искажению при помехах подвергается в основном амплитуда сигнала, а не частота. При этом достоверность демодуляции, а значит и помехоустойчивость тем выше, чем больше периодов сигнала попадает в бодовый интервал. Но увеличение бодового интервала по понятным причинам снижает скорость передачи информации. С другой стороны, необходимая для этого вида модуляции ширина спектра сигнала может быть значительно уже всей полосы канала. Отсюда вытекает область применения FSK - низкоскоростные, но высоконадежные стандарты, позволяющие осуществлять связь на каналах с большими искажениями амплитудно-частотной характеристики, или даже с усеченной полосой пропускания.

При фазоразностной модуляции (DPSK, Differential Phase Shift Keying) изменяемым в зависимости от значения информационного элемента параметром является фаза сигнала при неизменных амплитуде и частоте. При этом каждому информационному элементу ставится в соответствие не абсолютное значение фазы, а ее изменение относительно предыдущего значения. Если информационный элемент есть дибит, то в зависимости от его значения (00, 01, 10 или 11) фаза сигнала может измениться на 90, 180, 270 градусов или не измениться вовсе. Из теории информации известно, что фазовая модуляция наиболее информативна, однако увеличение числа кодируемых бит выше трех (8 позиций поворота фазы) приводит к резкому снижению помехоустойчивости. Поэтому на высоких скоростях применяются комбинированные амплитудно-фазовые методы модуляции. Многопозиционную амплитудно-фазовую модуляцию называют еще квадратурной амплитудной модуляцией (QAM, Quadrature Amplitude Modulation). Здесь помимо изменения фазы сигнала используется манипуляция его амплитудой, что позволяет увеличивать число кодируемых бит. В настоящее время используются модуляции, в которых количество кодируемых на одном бодовом интервале информационных бит может доходить до 8, а, соответственно, число позиций сигнала в сигнальном пространстве - до 256. Однако, применение многоточечной QAM в чистом виде сталкивается с серьезными проблемами, связанными с недостаточной помехоустойчивостью кодирования. Поэтому во всех современных высокоскоростных протоколах используется разновидность этого вида модуляции, т.н. модуляция с решетчатым кодированием или треллис-кодированием (TCM, Trellis Coded Modulation), которая позволяет повысить помехозащищенность передачи информации - снизить требования к отношению сигнал/шум в канале на величину от 3 до 6 дБ. Суть этого кодирования заключается в введении избыточности. Пространство сигналов расширяется вдвое путем добавления к информационным битам еще одного, который образуется посредством сверточного кодирования над частью информационных бит и введения элементов запаздывания. Расширенная таким образом группа подвергается все той же многопозиционной амплитудно-фазовой модуляции. В процессе демодуляции принятого сигнала производится его декодирование по весьма изощренному алгоритму Виттерби, позволяющему за счет введенной избыточности и знания предистории выбрать по критерию максимального правдоподобия из сигнального пространства наиболее достоверную точку и, тем самым, определить значения информационных бит.

Дуплекс

Под дуплексным режимом работы понимается возможность передавать информацию в обе стороны одновременно. Обычный телефонный канал - типичный пример дуплексного канала. Он позволяет Вам говорить что-то своему собеседнику в то же самое время, когда тот в свою очередь пытается что-то сообщить Вам. Другой вопрос, поймете ли Вы друг друга, но это уже Ваши проблемы. Аналогию можно в полной мере отнести и к модемной связи. Проблема для модема будет заключаться не в способности канала передавать дуплексную информацию, а в возможности демодулятора модема распознать входной сигнал на фоне отраженного от аппаратуры АТС собственного выходного сигнала, который фактически становится для модема шумом. При этом его мощность может быть не только сравнима, но в большинстве случаев значительно превосходить мощность принимаемого полезного сигнала. Поэтому, могут ли модемы передавать информацию одновременно в обе стороны определяется возможностями протокола физического уровня.

Каковы же способы обеспечения дуплекса? Самый очевидный способ, не требующий от разработчиков модемов особой фантазии, но зато требующий от телефонной сети возможности подключения к четырехпроводному окончанию, вытекает из упомянутой возможности. Если такая возможность есть, то в этом случае каждая пара используется для передачи информации только в одном направлении.

Если же необходимо обеспечивать дуплекс при работе по двухпроводной линии, то приходится использовать другие способы. Одним из них является частотное разделение каналов. Вся полоса пропускания канала разделяется на два частотных подканала, по каждому из которых производится передача в одном направлении. Выбор подканала передачи осуществляется на этапе установки соединения и, как правило, однозначно связан с ролью модема в сеансе связи: вызывающий или отвечающий. Очевидно, что этот метод не позволяет использовать возможности канала в полном объеме ввиду значительного сужения полосы пропускания. Тем более, что для исключения проникновения боковых гармоник в соседний подканал, разносить их приходится со значительным "зазором", в результате чего частотные подканалы занимают отнюдь не половину полного спектра. Соответственно (см. формулу Шеннона), данный метод обеспечения дуплексной связи ограничивает скорость передачи информации. Существующие протоколы физического уровня, использующие частотное разделение каналов, обеспечивают симметричную дуплексную связь со скоростями, не превышающими 2400 бит/с.

Оговорка про симметричный дуплекс не случайна. Дело в том, что ряд протоколов обеспечивают и более скоростную связь, но в одном направлении, в то время как обратный канал - значительно медленнее. Разделение частот в этом случае осуществляется на неравные по ширине полосы пропускания подканалы. Эта разновидность дуплексной связи называется асимметричной.

Другим методом обеспечения симметричного дуплекса, который используется во всех высокоскоростных протоколах, является технология эхо-подавления (эхо-компенсации). Суть ее заключается в том, что модемы, обладая информацией о собственном выходном сигнале, могут использовать это знание для фильтрации собственного "рукотворного" шума из принимаемого сигнала. На этапе вхождения в связь каждый модем, посылая некий зондирующий сигнал, определяет параметры эхо-отражения: время запаздывания и мощность отраженного сигнала. А в процессе сеанса связи эхо-компенсатор модема "вычитает" из принимаемого входного сигнала свой собственный выходной сигнал, скорректированный в соответствии с полученными параметрами эхо-отражения. Эта технология позволяет использовать для дуплексной передачи информации всю ширину полосы пропускания канала, однако требует при реализации весьма серьезных вычислительных ресурсов на сигнальную обработку.

Наконец, стоит отметить, что многие протоколы и не пытаются обеспечить дуплексную связь. Это так называемые полудуплексные протоколы. В частности, все протоколы, предназначенные для факсимильной связи - полудуплексные. В этом случае в каждый момент времени информация передается только в одну сторону. По окончании приема/передачи некоторой порции информации оба модема (факса) синхронно переключают направление передачи данных (ping-pong). Ввиду отсутствия проблем с взаимным проникновением подканалов передачи, а также с эхо-отражением, полудуплексные протоколы в общем случае характеризуются большей помехоустойчивостью и возможностью использования всей ширины полосы пропускания канала. Однако эффективность использования канала для передачи данных по сравнению с дуплексными протоколами ниже. Связано это прежде всего с тем, что практически все протоколы передачи данных, как канального уровня (MNP, V.42), так и уровня передачи файлов (X, Y, Zmodem), требуют двустороннего обмена, по крайней мере для подтверждения принятой информации. А любое переключение направления передачи, помимо невозможности в данный момент передавать очередную порцию пользовательской информации, требует дополнительных накладных расходов по времени на взаимную пересинхронизацию приемной и передающей сторон.

Общеупотребительные модемные протоколы ITU-T (Краткий обзор)

Протоколы передачи данных Международного союза электросвязи

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Стандарт | Год утверждения | Максимальная скорость, бит/с | Дуплекс/ полудуплекс | Коммутируемые/ выделенные | Тип модуляции |
| V.21 | 1964/1984 | 200/300 | FDX(FDM) | PSTN | FSK |
| V.22 | 1980/1988 | 1200 | FDX(FDM) | PSTN | DPSK |
| V.22 bis | 1984/1988 | 2400 | FDX(FDM) | PSTN | QAM |
| V.23 | 1964/1988 | 1200 | HDX | PSTN | FSK |
| V.26 | 1968/1984 | 2400 | HDX | Private | DPSK |
| V.26 bis | 1972/1984 | 2400 | HDX | PSTN | DPSK |
| V.26 ter | 1984/1988 | 2400 | FDX(EC) | PSTN | DPSK |
| V.27 | 1972/1984 | 4800 | HDX | Private | DPSK |
| V.27 bis | 1976/1984 | 4800 | HDX | Private | DPSK |
| V.27 ter | 1976/1984 | 4800 | HDX | PSTN | DPSK |
| V.29 | 1976/1988 | 9600 | HDX | Private | QAM |
| V.32 | 1984/1988 | 9600 | FDX(EC) | PSTN | QAM/TCM |
| V.33 | 1985/1988 | 14400 | FDX | Private | TCM |
| V.17 | 1991 | 14400 | FDX(EC) | PSTN | TCM |
| V.32 bis | 1991 | 14400 | FDX(EC) | PSTN | TCM |
| V.34 | 1996 | 33600 | FDX | PSTN | QAM |
| V.90 | 1998 | 56700/33600 | FDX | PSTN | PCM/QAM |
| V.92 | 2000 | 56700/48000 | FDX | PSTN | PCM |

### V.21

Это дуплексный протокол с частотным разделением каналов и частотной же модуляцией FSK. На нижнем канале (его обычно использует для передачи вызывающий модем) "1" передается частотой 980 Гц, а "0" - 1180 Гц. На верхнем канале (передает отвечающий) "1" передается частотой 1650 Гц, а "0" - 1850 Гц. Модуляционная и информационная скорости равны - 300 бод, 300 бит/с. Несмотря на невысокую скорость, данный протокол находит применение прежде всего в качестве "аварийного", при невозможности вследствие высокого уровня помех использовать другие протоколы физического уровня. Кроме того, ввиду своей неприхотливости и помехоустойчивости, он используется в специальных высокоуровневых приложениях, требующих высокой надежности передачи.

### V.22

Это дуплексный протокол с частотным разделением каналов и модуляцией DPSK. Несущая частота нижнего канала (передает вызывающий) - 1200 Гц, верхнего (передает отвечающий) - 2400 Гц. Модуляционная скорость - 600 бод. Имеет режимы двухпозиционной (кодируется бит) и четырехпозиционной (дибит) фазоразностной модуляции с фазовым расстоянием между точками, соответственно, в 180 и 90 град. Соответственно, информационная скорость может быть 600 или 1200 бит/с. Этот протокол фактически поглощен протоколом V.22bis.

### V.22bis

Это дуплексный протокол с частотным разделением каналов и модуляцией QAM. Несущая частота нижнего канала (передает вызывающий) - 1200 Гц, верхнего –

2400 Гц. Модуляционная скорость - 600 бод. Имеет режимы четырехпозиционной (кодируется дибит) и шестнадцатипозиционной (кодируется квадробит) квадратурной амплитудной модуляции. Соответственно, информационная скорость может быть 1200 или 2400 бит/с. Режим 1200 бит/с полностью совместим с V.22, несмотря на другой тип модуляции. Дело в том, что первые два бита в режиме 16-QAM (квадробит) определяют изменение фазового квадранта относительно предыдущего сигнального элемента и потому за амплитуду не отвечают, а последние два бита определяют положение сигнального элемента внутри квадранта с вариацией амплитуды. Таким образом, DPSK можно рассматривать как частный случай QAM, где два последних бита не меняют своих значений. В результате из шестнадцати позиций выбираются четыре в разных квадрантах, но с одинаковым положением внутри квадранта, в том числе и с одинаковой амплитудой. Протокол **V.22bis** является стандартом де-факто для всех среднескоростных модемов.

**V.32** Это дуплексный протокол с эхо-подавлением и квадратурной амплитудной модуляцией или модуляцией с решетчатым кодированием. Частота несущего сигнала - 1800 Гц, модуляционная скорость - 2400 бод. Таким образом, используется спектр шириной от 600 до 3000 Гц. Имеет режимы двухпозиционной (бит), четырехпозиционной (дибит) и шестнадцатипозиционной (квадробит) QAM. Соответственно, информационная скорость может быть 2400, 4800 и 9600 бит/с. Кроме того, для скорости 9600 бит/с имеет место альтернативная модуляция - 32-позиционная TCM.

**V.32bis** Это дуплексный протокол с эхо-подавлением и модуляцией TCM. Используются те же, что в V.32, частота несущего сигнала - 1800 Гц, и модуляционная скорость - 2400 бод. Имеет режимы 16-TCM, 32-TCM, 64-TCM и 128-TCM. Соответственно, информационная скорость может быть 7200, 9600, 12000 и 14400 бит/с. Режим 32-TCM полностью совместим с соответствующим режимом V.32. Протокол V.32bis является стандартом де-факто для всех скоростных модемов.

**V.34** включает в себя различные технологии запатентованные 17 компаниями. Этот протокол использует всю ширину аналогового канала. Это и многое другое позволяет ему работать на скоростях до 33600 бит/с по аналоговому каналу, но работа модема на максимальной скорости не возможна через аппаратуру с ЧРК, так как происходит выход за пределы канала ТЧ, поэтому максимальная скорость для канала ТЧ составляет 31200 бит/с, что тоже не плохо. Этот протокол явился последним аналоговым протоколом передачи данных.

**V.90** позволи­л провайдерам Internet поднять обслуживание своих кли­ентов на качественно новый уровень, обеспечив почти двукратное повышение скорости передачи данных до ко­нечного потребителя. Для обеспечения такого сервиса у провайдера должно быть установлено специ­альное оборудование, поддерживающее режим цифро­вой передачи данных. Как правило, это серверы доступа таких известных фирм-производителей, как Ascend, Cisco, Livingston и ЗСом, удельная стоимость которых еще до недавнего времени составляла несколько сот долларов на один канал V.90. Стандарт V.90 еще называют V.PCM (Pulse Coded Modulation) или стандартом импульсно-кодовой модуляци­ей.Cогласно V.90 поток данных, поступающих от провай­дера к конечному потребителю, не проходит фазу аналогового кодирования. Вместо этого данные кодируют­ся по методу РСМ, причем импульсы передаются на раз­ных уровнях сигнала. Естественно, что использование протокола V.90 наклады­вает очень жесткие условия на качество телефонных кана­лов связи и самой АТС. Причем пользовательская АТС и АТС провайде­ра должны быть *цифровыми.*

**V.92** позволяет увеличить максимальную исходящую скорость от пользователя с 33,6 (V.90) до 48 Кбит/с. Используется также ИКМ. Должно быть не более чем *одно* аналого-цифровое преобразование. Исходящая от пользователя информация может передаваться со скоростями от 24 до 48 Кбит/с с шагом 1,333 Кбит/с. Кроме того, уменьшается время вхождения в связь с 20 (V.90) до 10 с.

В цифровой телефонии частота сигнала дискретиза­ции составляет 8 kHz, а число уровней дискретизации - 256, что соответствует восьми разрядам, поэтому макси­мальная скорость передачи данных может составлять 64 Kbps. Откуда же взялось ограничение в 56 Kbps в протоколах V.90 и V.92? Дело в том, что понижение уровня пе­редачи данных с 64 до 56 Kbps преследовало две цели. Во-первых, уменьшить нелинейные характеристики ана­логового оборудования, которое обеспечивает связь с конечным потребителем, и во-вторых, уменьшить уро­вень шумов и перекрестных помех между соседними телефонными каналами.

Экзотические модемные протоколы ITU-T

**V.23** Это полудуплексный протокол с частотной модуляцией FSK. В нем имеется два скоростных режима: 600 бит/с и 1200 бит/с. Модуляционная и информационная скорости равны: соответственно, 600 и 1200 бод. В обоих режимах "1" передается частотой 1300 Гц. В режиме 600 бит/с "0" передается частотой 1700 Гц, а в режиме 1200 бит/с - частотой 2100 Гц. Реализация протокола опционально может включать обратный канал, работающий на скорости 75 бит/с, что превращает протокол в асимметричный дуплексный. Частота передачи "1" в обратном канале - 390 Гц, "0" - 450 Гц. Этот протокол практически вышел из употребления в качестве стандартного протокола межмодемной связи, и далеко не всякий стандартный модем им оснащен. Однако, он служил и до сих пор остается базовым для реализации нестандартных модемов, получивших широкое распространение в нашей стране (типа LEXAND). Видимо, благодаря простоте, высокой помехоустойчивости и приличной (по сравнению с V.21) скорости. Кроме того, в ряде европейских стран этот протокол применяется в информационной системе Videotex.

**V.26, V.26bis, V.26ter** Эти три протокола объединяет тип модуляции - DPSK, частота несущей - 1800 Гц и модуляционная скорость - 1200 бод. Разница между ними заключается в возможности и способах обеспечения дуплексной связи и в информационной скорости. V.26 обеспечивает дуплекс только по четырехпроводной выделенной линии, V.26bis - это полудуплексный протокол, предназначенный для работы по двухпроводной коммутируемой линии, а V.26ter обеспечивает полный дуплекс с помощью технологии эхо-подавления. Кроме того, первые два протокола могут быть асимметричными дуплексными, опционально включая обратный канал, работающий на скорости 75 бит/с в соответствии с V.23. Все три протокола обеспечивают скорость передачи информации 2400 бит/с посредством четырехпозиционной (дибит) DPSK. V.26bis и V.26ter, кроме того, имеют режим двухпозиционной (бит) DPSK, обеспечивая скорость 1200 бит/с.

#### **V.33** В этом протоколе используется модуляция с решетчатым кодированием TCM. Он предназначен для обеспечения дуплексной связи на четырехпроводных выделенных каналах. Имеет частоту несущего сигнала 1800 Гц, и модуляционную скорость 2400 бод. Работает в режимах 64-TCM и 128-TCM. Соответственно, информационная скорость может быть 12000 и 14400 бит/с. Этот протокол очень напоминает V.32bis без эхо-подавления. Более того, если модем с протоколом V.33 установить на четырехпроводное окончание до дифференциальной системы АТС, то он вполне сможет связаться с удаленным модемом V.32bis, установленным на двухпроводной линии.

Общеупотребительные факс-протоколы ITU-T

### V.27ter

В этом протоколе применяется фазоразностная модуляция с частотой несущего сигнала 1800 Гц. Могут использоваться два режима с разными информационными скоростями: 2400 и 4800 бит/с. Информационная скорость 2400 бит/с достигается модуляционной скоростью 1200 бод и кодированием дибита (4-позиционный DPSK), а 4800 бит/с - скоростью 1600 бод и кодированием трибита (8-позиционный DPSK). Стоит отметить, что существуют еще малоупотребительные модемные протоколы данного семейства - V.27 и V.27bis, которые отличаются от V.27ter, главным образом, типом канала (выделенный четырехпроводный), для которого они предназначены.

### V.29

В этом протоколе применяется квадратурная амплитудная модуляция. Частота несущего сигнала - 1700 Гц, модуляционная скорость - 2400 бод. Имеет режимы 8-позиционной (трибит) и 16-позиционной (квадробит) QAM. Соответственно, информационная скорость может быть 7200 и 9600 бит/с.

### V.17

Этот протокол по своим параметрам очень напоминает V.32bis. В нем используется модуляция с решетчатым кодированием. Частота несущего сигнала - 1800 Гц, и модуляционная скорость - 2400 бод. Имеет режимы 16-TCM, 32-TCM, 64-TCM и 128-TCM. Соответственно, информационная скорость может быть 7200, 9600, 12000 и 14400 бит/с.

###### Фирменные протоколы передачи данных

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Стандарт | Год утверждения | Максимальная скорость, бит/с | Дуплекс/ полудуплекс | Коммутируемые/ выделенные | Тип модуляции |
| CSP | 1991 | 9600 | FDX(EC) | PSTN | QAM/TCM |
| Express96 | 1987 | 9600 | FDX(EC) | PSTN | QAM/TCM |
| V.32 ter | 1993 | 19200/16800 | FDX(EC) | PSTN | TCM |
| V.32 ter/ASL |  | 21600 | FDX(EC) | PSTN | TCM |
| ZyX |  | 19200/16800 | FDX(EC) | PSTN | TCM |
| HST | 1992 | 16800/14400 | FDX | PSTN | TCM |
| HST/ASL |  | 21600 | FDX | PSTN | TCM |
| PEP | 1988 | 19200 | HDX | PSTN | QAM |
| TurboPEP |  | 23000 | HDX | PSTN | TCM |
| V.fast | 1994 | 28800 | FDX | PSTN | TCM |
| X2 | 1997 | 56700/33600 | FDX | PSTN | PCM/QAM |
| K56Flex | 1997 | 56700/33600 | FDX | PSTN | PCM/QAM |

Время от времени те или иные фирмы - производители модемов приходили к выводу, что их собственные разработки позволяют им обеспечить более высокую скорость и лучшее качество связи, чем стандарты ITU-Т. Так возникали - и продолжают возникать - *фирменные* (proprietary) протоколы связи, принадлежащие одной какой-то фирме и поддерживаемые только модемами этой фирмы. Эти протоколы нередко выигрывают в сравнении с стандартами ITU-Т, и не только в отношении пропускной способности - они обладают большей устойчивостью, защищенностью от помех, лучше приспосабливаются к особенностям линий.

Конечно, главный недостаток любого фирменного протокола - то, что с ним умеют работать только модемы данной фирмы, и для связи по фирменному протоколу нужно, чтобы на обоих концах линии были совместимые модемы. Правда, большинство модемов с фирменными протоколами поддерживают и обычные протоколы ITU-Т, так что владелец такого модема может без труда связываться с кем угодно. Но во всем блеске его модем покажет себя только при работе с аппаратом той же фирмы.

**CompuCom CSP**. В то время, когда каждый изготовитель модема переходил на V.32, компания CompuCom в 1991 году выпустила модем SpeedModem Champ. Это был модем со скоростью 9600 бит/с с частным протоколом модуляции, называемым CSP. SpeedModem Champ был модемом с частным протоколом, который стоит меньше, чем модем с V.32. CompuCom распалась в 1992 году.

**Express 96** "Ping Pong Protocol". Этот протокол появился в модемах Hayes в 1987 году марки Smartmodem 9600. Модем использовал частный протокол модуляции, называемый Express 96 (также известный как Hayes " Ping Pong Protocol"). По своей сути он был близок к V.32. На сегодняшний день он не используется.

**V.32terbo** Этот протокол, разработанный фирмой AT&T, является открытым для реализации разработчиками модемов. В частности, помимо БИС фирмы AT&T, данный протокол реализован в некоторых модемах фирмы U.S.Robotics. Протокол фактически является механическим развитием технологии V.32bis: дуплекс с эхо-подавлением, модуляция с решетчатым кодированием, модуляционная скорость - 2400 бод, несущая - 1800 Гц, расширение информационных скоростей значениями 16800 и 19200 бит/с за счет 256-TCM и 512-TCM. Следствием такого подхода является весьма жесткие требования, предъявляемые данным протоколом к линии. Так, например, для устойчивой работы на скорости 19200 бит/с отношение сигнал/шум должно быть не менее 30 dB.

### ZyX Протокол разработан фирмой ZyXEL Coммunications Corporation и реализован в собственных модемах. Этот протокол также, как и V.32terbo, расширяет V.32bis значениями информационных скоростей 16800 и 19200 бит/с с сохранением технологии эхо-подавления, модуляции с треллис-кодированием и несущей 1800 Гц. Модуляционная же скорость 2400 бод сохраняется лишь для 16800 бит/с. Скорость 19200 бит/с обеспечивается повышением модуляционной скорости до 2743 бод при сохранении режима модуляции 256-TCM для обоих скоростей. Такое решение позволяет снизить требование к отношению сигнал/шум на линии на 2.4 dB, однако расширение полосы пропускания может негативно сказываться при больших искажениях амплитудно-частотной характеристики канала.

**HST** (High Speed Technology) разработан фирмой U.S.Robotics и реализован в модемах фирмы серии Courier. Это асимметричный дуплексный протокол с частотным разделением каналов. Обратный канал имеет режимы 300 и 450 бит/с. Основной канал - 4800, 7200, 9600, 12000, 14400 и 16800 бит/с. Применяется модуляция с решетчатым кодированием и модуляционной скоростью 2400 бод. Характеризуется сравнительной простотой и высокой помехоустойчивостью вследствие отсутствия необходимости в эхо-компенсации и отсутствия же взаимовлияния каналов.

### PEP, TurboPEP

Полудуплексные протоколы семейства PEP (Packetized Ensemble Protocol) разработаны фирмой Telebit и реализованы в модемах фирмы серий TrailBlazer (PEP) и WorldBlazer (TurboPEP). В этих протоколах принципиально иным образом используется вся полоса пропускания канала тональной частоты для высокоскоростной передачи данных. Весь канал разбивается на множество узкополосных частотных подканалов, по каждому из которых независимо передается своя порция бит из общего потока информации. Такого рода протоколы называют многоканальными, или параллельными, или протоколами с множеством несущих (multicarrier). В протоколе PEP канал разбивается на 511 подканалов. В каждом подканале шириной около 6 Гц с модуляционной скоростью от 2 до 6 бод с помощью квадратурной амплитудной модуляции кодируются от 2 до 6 бит на бод. Имеется несколько степеней свободы для обеспечения максимальной пропускной способности каждого конкретного канала, имеющего свои характеристики по части искажений и помеховой обстановки. В процессе установки соединения каждый частотный подканал независимо тестируется и определяется возможность его использования, а также параметры: модуляционная скорость подканала и число позиций модуляции. Максимальная скорость передачи по протоколу PEP может достигать 19200 бит/с. В процессе сеанса при ухудшении помеховой обстановки параметры подканалов могут меняться, а некоторые подканалы - отключаться. При этом декремент понижения скорости не превышает 100 бит/с. Протокол TurboPEP за счет увеличения числа подканалов, а также количества кодируемых на одном бодовом интервале бит, может достигать скорости 23000 бит/с. Кроме того, в протоколе TurboPEP применяется модуляция с треллис-кодированием, что увеличивает помехоустойчивость протокола.

Основными преимуществами этих протоколов является слабая чувствительность к искажениям амплитудно-частотной характеристики канала и значительно меньшая чувствительность к импульсным помехам по сравнению с традиционными протоколами. Если первое не вызывает вопросов, то по части импульсных помех требуются некоторые комментарии. Дело в том, что хотя импульсная помеха "бьет" практически по всей ширине спектра, т.е. по всем подканалам, но в связи со значительно большей длительностью сигнала по сравнению с традиционными протоколами (6 бод против 2400), искаженная помехой доля сигнала много меньше, что позволяет в ряде случаев нормально его демодулировать. И последнее, что стоит отметить, это то, что в ряде стран протоколы этого типа запрещены для использования на коммутируемых телефонных каналах. Возможно потому, что многоканальные протоколы позволяют успешно работать даже на линиях, на которых ретивыми канализаторами установлены режекторные фильтры (для того, по-видимому, чтобы лишить клиентов, в чем-то провинившихся, возможности использовать телефонные каналы для передачи данных с помощью стандартных модемов).

Производители 56К модемов, как с протоколом K56flex, так и с протоколом х2, обеспечили в свое время модернизацию своих изделий до V.90 путем простого перепрограммирования ППЗУ (микросхемы на плате модема).

Кроме того, все модемы 56К совместимы со стандартом ITU V.34, поэтому если пользователь соединяется с провайдером, который не поддерживает 56К техноло­гию, связь будет установлена по стандарту V,34, то есть со скоростью до 33,6 Кбит/с.

**Протоколы коррекции ошибок и сжатия**

Одновременно с развитием протоколов передачи данных шло и развитие протоколов сжатия и коррекции ошибок. Это было связано с тем, что требовалась передача больших объемов информации, чем позволяли существующие модемы, кроме того, как было сказано выше, качество каналов обещало желать лучшего. Поэтому фирмы - производители модемов разрабатывали для своей аппаратуры передачи данных необходимые ей протоколы сжатия и коррекции ошибок.. Почти все представленные протоколы предназначены для асинхронной передачи данных, за исключением SDC, который наиболее эффективен для повышения качества и скорости передачи трафика X.25, Frame Relay, SDLC, PPP.

##### Протоколы сжатия и коррекции ошибок

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| Название | Чей протокол,  год принятия | Назначение |
| V.41 | ITU, 1968, 1972 | Коррекция ошибок |
| V.42 | ITU, 1988 | Коррекция ошибок |
| V.42bis | ITU, 1990 | Сжатие |
| V.43 | ITU, 1998 | Коррекция ошибок |
| V.44 | ITU, 2000 | Сжатие |
| BTLZ | British Telecom | Сжатие |
| ADC | Hayes | Сжатия |
| ACT | Formula | Сжатие |
| MNP1 | Microcom | Сжатие |
| MNP2 | Microcom | Коррекция ошибок |
| MNP3 | Microcom | Коррекция ошибок |
| MNP4 | Microcom | Коррекция ошибок |
| MNP5 | Microcom | Сжатие |
| MNP7 | Microcom | Сжатие |
| MNP9 | Microcom | Сжатие |
| MNP10 | Microcom | Коррекция ошибок |
| ETC | AT&T, 1993 | Коррекция ошибок |
| SDC | Motorola | Сжатие, коррекция ошибок |

**Сжатие информации**

Теперь давайте обсудим еще одно важное понятие - сжатие информации. Конечно, вы знакомы с программами-архиваторами и понимаете, какую выгоду может дать сжатие информации при ее перекачке по каналу связи, за пользование которым приходится платить. Понимали это и разработчики протоколов связи, и поэтому самые совершенные из этих протоколов предусматривают сжатие информации перед самой отправкой. Как вы знаете, достаточно лишь пяти бит, чтобы передать любую из 32-х букв русского алфавита. Это иллюстрирует тот факт, что если в сообщении используются не все 256 символов ASCII, то при его передаче можно обойтись "урезанным байтом" - с меньшим количеством бит (конечно, передаваемые байты остаются восьмибитовыми, а группы из, скажем, 5 бит могут начинаться в одном байте и заканчиваться в следующем).

Разумеется, вряд ли в вашем сообщении будут задействованы все до одного символы таблицы ASCII. Поэтому за счет такого "укорачивания байта" можно заметно сократить объем файла, не потеряв ничего из его содержимого. Более того, длина таких укороченных байтов может быть даже переменной, причем более часто встречающиеся символы кодируются более короткими последовательностями битов. Ну и наконец, еще большей экономии можно достичь, сокращая повторяющиеся группы символов по принципу:

*ААААА - 5A*

Конечно, этим методы сжатия данных не исчерпываются, и, например, программы-архиваторы работают по гораздо более сложным алгоритмам. Но, к сожалению, при сжатии данных прямо во время передачи (как говорят, "на лету") алгоритм в каждый момент времени видит лишь небольшую часть всех данных - один блок (см. ниже). Поэтому большой эффективности достичь при этом не удается; скажем, если два подряд идущих блока совершенно одинаковы, посылающий модем не может просто сказать, что второй блок совпадает с первым, - ему все равно придется послать еще раз те же данные, так как сжимать информацию позволяется только в пределах одного блока.

**Перечень протоколов MNP**

***MNP (Microcom Network Protocols)*** - серия наиболее распространенных аппаратных протоколов, впервые реализованная на модемах фирмы Microcom. Эти протоколы обеспечивают автоматическую коррекцию ошибок и компрессию передаваемых данных.

Сейчас следующие протоколы:

**MNP1**. Протокол коррекции ошибок, использующий асинхронный полудуплексный метод передачи данных. Это самый простой из протоколов MNP.

**MNP2**. Протокол коррекции ошибок, использующий асинхронный дуплексный метод передачи данных.

**MNP3**. Протокол коррекции ошибок, использующий синхронный дуплексный метод передачи данных между модемами (интерфейс модем - компьютер остается асинхронным). Так как при асинхронной передаче используется десять бит на байт - восемь бит данных, стартовый бит и стоповый бит, а при синхронной только восемь, то в этом кроется возможность ускорить обмен данными на 20%.

**MNP4**. Протокол, использующий синхронный метод передачи, обеспечивает оптимизацию фазы данных, которая несколько улучшает неэффективность протоколы MNP2 и MNP3. Кроме того, при изменении числа ошибок на линии соответственно меняется и размер блоков передаваемых данных. При увеличении числа ошибок размер блоков уменьшается, увеличивая вероятность успешного прохождения отдельных блоков. Эффективность этого метода составляет около 20% по сравнению с простой передачей данных.

**MNP5**. Дополнительно к методам MNP4, MNP5 часто использует простой метод сжатия передаваемой информации. Символы часто встречающиеся в передаваемом блоке кодируются цепочками битов меньшей длины, чем редко встречающиеся символы. Дополнительно кодируются длинные цепочки одинаковых символов. Обычно при этом текстовые файлы сжимаются до 35% своей исходной длины. Вместе с 20% MNP4 это дает повышение эффективности до 50%. Заметим, что если вы передаете уже сжатые файлы, а в большинстве это так и есть, дополнительного увеличения эффективности за счет сжатия данных модемом этого не происходит.

**MNP6**. Дополнительно к методам протокола MNP5 автоматически переключается между дуплексным и полудуплексным методами передачи в зависимости от типа информации. Протокол MNP6 также обеспечивает совместимость с протоколом V. 29.

**MNP7**. По сравнению с ранними протоколами использует более эффективный метод сжатия данных.

**MNP9**. Использует протокол V. 32 и соответствующий метод работы, обеспечивающий совместимость с низкоскоростными модемами.

**MNP10**. Предназначен для обеспечения связи на сильно зашумленных линиях, таких, как линии сотовой связи, междугородними линиями, сельские линии. Это достигается при помощи следующих методов:

- многократного повторения попытки установить связь

- изменения размера пакетов в соответствии с изменением уровня помех на линии

- динамического изменения скорости передачи в соответствии с уровнем помех линии

Все протоколы MNP совместимы между собой снизу вверх. При установлении связи происходит установка наивысшего возможного уровня MNP-протокола. Если же один из связывающихся модемов не поддерживает протокол MNP, то MNP-модем работает без MNP-протокола.

**Сравнение V.42 с MNP2-4**

Оснащение стандартных среднескоростных модемов аппаратно реализованными протоколами коррекции ошибок и сжатия данных стало в последнее время стандартом де-факто в модемостроении. Если для западного рынка, где качество телефонных каналов весьма высоко, наличие этих протоколов - небесполезная подробность в рекламе предлагаемого изделия, которая к тому же повышает цену товара не более, чем на 15-20%, то в условиях отечественного телекоммуникационного пространства реализация тем или иным способом коррекции ошибок становится по понятным причинам совершенно необходимой.

Сравнив MNP2-4 и V.42 ITU-T, становится понятно, какой же перспективнее, и разрешается это сравнение в пользу ITU-T. Попытаемся аргументировать справедливость этого вывода ниже.

Принципы коррекции ошибок

Не вдаваясь глубоко в теорию кодирования и помехозащищенности передачи информации, можно лишь констатировать, что бесплатных ужинов не бывает: избыточность - единственный реальный базис обнаружения и коррекции ошибок. Избыточность в широком смысле. Она может быть "последовательной", в случаях применения любого из методов кодирования, т.е. передача дополнительной по отношению к "полезной" информации. Либо "параллельной", в случаях как использования параллельных каналов связи (возможно, различной физической природы), так и применения информационной обратной связи, т.е. возврата, используя дуплексный канал, принятой информации для анализа передатчиком ее правильности. Применение кодирования с решающей обратной связью - это пример комбинированной, "последовательно-параллельной" избыточности. Степень избыточности определяет глубину и надежность обнаружения ошибок. Представляется очевидным, что чем больше дополнительной информации будет передано, тем большее количество ошибок и с большей достоверностью может быть обнаружено и даже, возможно, исправлено. Но, в то же время, тем меньше доля полезной информации в общем потоке данных и - тем меньше эффективная скорость приема/передачи и, в конечном счете, пропускная способность канала. Выбор процедуры коррекции ошибок, таким образом, можно рассматривать как оптимизационную задачу, критерием которой является минимизация накладных расходов при заданной надежности приема/передачи информации.

Физическая природа канала передачи информации - коммутируемая телефонная сеть - определяет те факторы, вес которых оказывается наиболее значим при решении поставленной оптимизационной задачи. Отсутствие дублирования канала (по крайней мере на абонентском участке линии) исключает из рассмотрения физическое параллельное дублирование. В то же время, применение обратной связи вполне допустимо вследствие того, что ка- нал дуплексный.

Фактор "стоимость трафика" заставляет с большой осторожностью относиться к таким методам коррекции ошибок, как многократное дублирование передаваемой информации с мажоритарным выбором или применение информационной обратной связи. Объем передаваемой информации в первом случае возрастает как минимум втрое, а то и более. Во втором случае, гонять одну и ту же информацию в полном объеме в обе стороны только для обнаружения факта наличия ошибки с последующим повтором представляется также излишне расточительным.

Разумным компромиссом было сочтено применение циклического помехозащищенного кодирования с решающей обратной связью. Суть этого метода состоит в следующем. Вся "полезная" информация разбивается на "порции" - кадры. Передача каждого кадра завершается передачей специальной контрольной последовательности кадра, подсчитанной по некоему, заранее определенному алгоритму. Этот рекуррентный алгоритм в процессе выдачи кадра модифицирует контрольную последовательность с помощью очередного выдаваемого байта. Удаленная сторона, принимая кадр, также подсчитывает контрольную последовательность по известному алгоритму. По окончании приема кадра производится сравнение подсчитанной контрольной последовательности с принятым в конце кадра ее значением. По результатам сравнения приемник решает вопрос: быть ли данному кадру, или его следует повторить. Результат решения этого вопроса приемник сообщает передатчику посредством некоей "квитанции". Отсюда другое название этого метода: метод автоматического повтора запроса (ARQ, Automatic Repeat reQuest).

Основная ответственность за надежность обнаружения ошибок при этом методе лежит на алгоритме вычисления контрольной последовательности кадра. Здесь используется аппарат циклического избыточного контроля (CRC, Cyclic Redundance Check). Циклическое кодирование базируется на математической теории групп, алгебре многочленов и теории колец. Оставив для другого раза теоретические основы циклического кодирования, стоит отметить его свойства, обусловившие выбор циклических кодов.

Главное - это то, что циклические коды обладают высокой надежностью коррекции ошибок при весьма невысокой избыточности. Особенно они эффективны при обнаружении пакетов ошибок. Например, для кадра размером в 256 байт и контрольной последовательности в 16 бит (CRC-16) минимальное кодовое расстояние = 3, т.е. одна разрешенная кодовая комбинация отличается от другой, разрешенной же, минимум 3 битами, причем не любыми, а расположенными на вполне определенных местах во всей 2064-битовой последовательности. Вероятность появления нераспознаваемой ошибки, т.е. того, что вследствие ошибок одна разрешенная комбинация перейдет в другую, не превосходит 10^(-14). При уменьшении размера кадра или при увеличении длины контрольной последовательности минимальное кодовое расстояние растет, что еще более уменьшит вероятность появления нераспознаваемой ошибки.

Другое немаловажное свойство - простота кодирования: рекуррентный характер алгоритма при минимальном расходе вычислительных ресурсов. Причем, существуют по крайней мере два алгоритма, дающих идентичный результат. Один - битовый, модификация результата в котором производится по каждому биту. Его удобно реализовывать на аппаратном уровне с помощью сдвигового регистра. Другой - байтово-табличный, в котором модификация результата производится после приема/передачи целого байта. Этот алгоритм больше подходит для реализации на программном уровне, поскольку требует некоторого объема памяти для хранения таблиц.

Данные принципы циклического помехозащищенного кодирования с решающей обратной связью положены в основу всех аппаратных и программных реализаций наиболее широко распространенных протоколов коррекции ошибок MNP2/MNP3 и V.42 CCITT.

Протоколы коррекции ошибок

То, что по недоразумению называют протоколом MNP4, протоколом на самом деле не является. Это не более, чем модифицированная реализация протоколов MNP2 и MNP3. Протокол коррекции ошибок определяет формат кадра, перечень допустимых типов кадров, логическую структуру кадра каждого типа и собственно протокол, т.е. порядок установки режима коррекции ошибок, выхода из режима и допустимого чередования кадров.

MNP2

Протокол коррекции ошибок MNP2 является знак-ориентированным протоколом типа BSC (Binary Synchronous Communications). Его наличие или отсутствие никак не затрагивает формат передачи байта по каналу: он подвергается асинхронно-синхронному преобразованию в соответствии с Рекомендацией V.14 CCITT. Каждый элемент кадра - байт - состоит из 8 информационных бит, передается по каналу последовательно, младшим битом вперед; выдача первого бита предваряется стартовым битом (0), служащим синхросигналом приемнику; после передачи последнего бита выдается стоповый бит (1). Если следующий байт не готов к выдаче, передается поток стоповых битов. Таким образом можно считать, что байт состоит как минимум из 10 бит, включая один стартовый и один стоповый биты .Из этого обстоятельства есть два весьма существенных следствия. Во-первых, процедура входа в протокол прозрачна и не требует специального синхронного переключения обоих модемов в какой-то специфический режим работы асинхронно-синхронного преобразования данных. В любой момент модем может начать передачу символов, являющихся не самоценными данными, а служебным полем кадра протокола MNP2. Лишь бы приемник был готов на логическом уровне идентифицировать это обстоятельство. Во-вторых, реализация протокола может быть вынесена на уровень программного обеспечения компьютера, оставляя модем и вовсе в неведении относительно наличия протокола коррекции ошибок. Хорошо это или плохо - предмет отдельного разговора, но это дополнительная степень свободы, предоставляемая (или, вернее, не отнимаемая) протоколом.

Формат кадра MNP2 следующий:

1. управляющее поле начального флага, включающее три байта: SYN, DLE и STX (16h, 10h, 2h);
2. прозрачные пользовательские данные переменной длины;
3. управляющее поле конечного флага, включающее 2 байта: DLE и ETX (10h, 3h);
4. двухбайтовая контрольная последовательность кадра, подсчитанная с помощью образующего полинома X^16 + X^15 + X^2 + 1.

Кодовая прозрачность управляющих полей обеспечивается байтом DLE, сигнализирующим о специальном значении следующего за ним байта. Если же этот байт встречается в пользовательских данных, то он должен дублироваться, чем обеспечивается прозрачность самих пользовательских данных. Иногда процедуру вставки байта DLE в пользовательские данные в протоко- ле типа BSC называют байтстаффингом. Поскольку протокол MNP2 - знак-ориентированный, в нем нет специального межкадрового заполнителя. Им служит банальный межбайтовый заполнитель - поток стоповых битов.

В протоколе MNP2 существуют 6 типов кадров: LR, LD, LT, LA, LN и LNA. Каждый тип кадра в поле прозрачных пользовательских данных имеет свою собственную логическую структуру, в которой кодируется признак типа кадра, а также присущие ему параметры и пользовательская информация.

MNP3

Протокол коррекции ошибок MNP3 является бит-ориентированным протоколом. Кадровый формат его радикальным образом отличается от вышеизложенного и полностью соответствует основной части Рекомендации V.42, включая асинхронно-синхронное преобразование байта, подсчет двухбайтовой контрольной последовательности кадра с точностью до образующего полинома, обеспечение прозрачности данных и межкадровый заполнитель. Все это подробнее будет рассмотрено ниже, в разделе, посвященном протоколу V.42. Все же остальное - перечень типов кадров, их логическая структура и собственно протокол - полностью идентично протоколу MNP2. При бесспорном снижении накладных расходов, обусловленном переходом на синхронный кадровый формат, MNP3 не достигает кондиций V.42, теряя в гибкости по сравнению с MNP2. Даже экономии вычислительных ресурсов невозможно добиться, отказываясь от реализации байт-ориентированного режима MNP. По той простой причине, что процедура входа в протокол MNP3 заключается в обмене сторонами кадрами LR в байт-ориентированном режиме. Только согласовав с помощью этого кадра применение в дальнейшем бит-ориентированного режима, стороны синхронно в него переключаются. Таким образом, все вычислительные процедуры, присущие

MNP2 - формирование кадра специфического формата, вычисление контрольной последовательности по специфическому образующему полиному, байтстаффинг и пр. - все это необходимо реализовывать для установки протокола MNP3. И в этой связи совершенно непонятна логика разработчиков некоторых дорогостоящих модемов, в которых байт-ориентированный режим MNP считается устаревшим и не поддерживается (например, ZyXEL U-1496). В качестве заметки на полях, хотелось бы обратить внимание sysop'ов BBS, пользующих ZyXEL, на такое его поведение. Полагая, что столь неплохо зарекомендовавший себя модем умеет все делать сам, операторы станций не подключают драйверы, эмулирующие MNP2. И тем самым практически исключают из числа своих абонентов тех несчастных, модемы которых аппаратно не поддерживают протоколы коррекции ошибок и которые вынуждены уповать только на программную реализацию MNP2.

V.42

Протокол коррекции ошибок V.42 является подмножеством, называемым LAPM (Link Access Procedure for Modems), бит-ориентированных протоколов типа HDLC (High-level Data Link Control). Как уже было сказано выше, формат кадра LAPM отличается от кадрового формата MNP2. Если последний можно было условно назвать асинхронным кадровым форматом, то LAPM можно смело называть синхронным.

Кадр LAPM состоит из нескольких полей, каждое из которых включает целое число байт. Все байты в кадре передаются последовательно друг за другом без каких бы то ни было служебных битов: вслед за старшим битом предыдущего байта передается младший бит следующего. Все кадры начинаются и заканчиваются уникальной битовой последовательностью, называемой флагом: шестью единицами подряд, окаймленными нулями (01111110b, 7Eh). Кодовая прозрачность тела кадра обеспечивается вставкой нулевого бита вслед за пятью подряд единицами, независимо от значения следующего бита (битстаффинг). Межкадровым заполнителем служит флаговая последовательность. Завершающий флаг одного кадра может одновременно служить начальным флагом следующего. Таким образом, битстаффинг гарантирует приемник от появления флага в середине кадра; обнаружение флага в потоке данных говорит приемнику об окончании принимаемого кадра; появление в потоке флаговых комбинаций последовательности битов, отличных от флага, говорит о начале следующего кадра. Резюмируя вышеизложенное, правильнее, думается, называть LAPM "кадр-ориентированным" протоколом, нежели "бит-ориентированным".

Формат кадра LAPM следующий:

1. начальный флаг (7Eh);
2. поле адреса;
3. управляющее поле;
4. информационное поле;
5. двухбайтовая или четырехбайтовая контрольная последовательность кадра;
6. конечный флаг (7Eh).

. Стоит отметить, что управляющее поле кадра идентифицирует один из трех форматов кадра. Информационные кадры (I-формат) предназначены для передачи информации с возможностью одновременного подтверждения принятой информации. Супервизорные кадры (S-формат) предназначены для подтверждения принятой информации, запроса на повторную передачу или сообщения оппоненту о неготовности к приему. И, наконец, ненумерованные кадры (U-формат) выполняют дополнительные управляющие сеансом процедуры, как то: установка/прекращение работы протокола, согласование параметров протокола, передача сигнала break, тестирование канала и пр.

Всего в протоколе LAPM насчитывается 13 типов кадров:

1. 1 кадр I-формата;
2. 4 типа кадра S-формата: RR, RNR, REJ и SREJ;
3. 8 типов кадров U-формата: SABME, DM, UI, DISC, UA, FRMR, XID и TEST.

Двухбайтовая контрольная последовательность кадра подсчитывается с помощью образующего полинома X^16 + X^12 + X^5 + 1. Стоит обратить внимание на тот факт, что образующий полином отличается от того, который используется в протоколе MNP2. Четырехбайтовая контрольная последовательность кадра подсчитывается с помощью образующего полинома X^32 + X^26 + X^23 + X^22 + X^16 + X^12 + X^11 + X^10 + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1. Выбор CRC-16 или CRC-32 производится в процессе согласования параметров протокола с помощью кадров XID.

Вход в протокол - операция весьма ответственная и потому тщательно спланирована. Вызывающий модем начинает установку протокола непрерывной передачей своему оппоненту двухбайтовых "шаблонов обнаружения вызывающего" (ODP, Originator Detection Pattern) в байт-ориентированном режиме, соответствующем Рекомендации V.14 CCITT. ODP состоит из байтов 11h и 91h, разделенных между собой 8 - 16 стоповыми битами. Отвечающий модем, приняв два подряд ODP, начинает выдавать "шаблоны обнаружения отвечающего" (ADP, Answerer Detection Pattern) в том же байт-ориентированном режиме. ADP состоит из байтов 45h ('E') и 43h ('C'), разделенных между собой 8 - 16 стоповыми битами. После выдачи десяти ADP отвечающий модем переключается в синхронный режим. Вызывающий модем, приняв два подряд ADP, прекращает передачу ODP и переключается в синхронный режим. Выдача первого кадра в синхронном режиме предваряется как минимум 16 флаговыми последовательностями, с помощью которых выдерживается пауза для гарантированного переключения обоих сторон в синхронный режим. Первым кадром, как правило, оказывается кадр XID, с помощью которого стороны согласуют параметры протокола коррекции ошибок и сжатия.

**Факторы, свидетельствует в пользу V.42**

Минимизация накладных расходов.

Совокупное преимущество V.42 по этому фактору имеет несколько составляющих.

а) Очевидное преимущество MNP3 и V.42 перед MNP2, обусловленное переходом на синхронный кадровый формат, заключается в уменьшении объема передаваемых по каналу данных по крайней мере на 20% вследствие отказа от передачи стартовых и стоповых битов.

б) Обеспечение кодовой прозрачности данных в байт-ориентированном режиме приводит в худшем случае, когда вся пользовательская информация состоит из одних байтов DLE, к увеличению объема передаваемых данных на 100%. Для синхронного кадрового формата худший случай, заключающийся в том, что пользовательская информация состоит из одних единиц (байтов 0FFh), приводит к увеличению объема передаваемых данных лишь на 20% - вставки дополнительного 0 после каждых пяти единиц.

в) Накладные расходы на передачу пользовательской информации посредством I кадра протокола V.42, обусловленные структурой кадра, составляют 6 байт. Аналогичные накладные расходы для кадров LT, осуществляющих передачу пользовательской информации, для протокола MNP3 составляют 8 байт, а для протокола MNP2 - 12 байт.

г) При двусторонней передаче информации протоколы MNP будут либо откладывать подтверждение принятой информации, неоправданно "загромождая" буфера оппонента отправленными, но неподтвержденными кадрами, либо будут вынуждены чередовать передачу пользовательской информации с подтверждениями очередных принятых кадров, т.е. увеличивать накладные расходы на 11 байт для MNP3 и на 15 байт для MNP2 (длина кадра LA). I кадр протокола V.42 в самой своей структуре несет функцию подтверждения принятой информации, и потому дополнительных накладных расходов не требует.

Надежность входа в протокол.

Процедура входа в любой из протоколов MNP заключается в обмене сторонами кадрами LR в байт-ориентированном режиме. Переключение в синхронный кадровый формат протокола MNP3 производится только после выдачи инициатором кадра LA (и, соответственно, его приема отвечающим), подтверждающего прием ответного кадра LR. Длина кадра LR составляет 31 байт, а кадра LA - 15 байт. Таким образом, установка протокола обусловлена безошибочным приемом 31 байта отвечающим модемом, затем 31 байта вызывающим модемом и, наконец, 15 байт вновь отвечающим модемом. В то время, как для установки протокола LAPM требуется безошибочно передать всего лишь по 4 байта в каждую сторону - по 2 ODP/ADP, соответственно. Впрочем, эти 4 байта должны перемежаться потоком стоповых бит длиной в среднем в 1.5 байта. Поэтому для корректности надо говорить о 10 байтах. Очевидно, что при наличии помех (в противном случае в протоколе просто нет нужды) вероятность безошибочного приема 10 байт значительно выше, чем 31 байта и, тем более, 46 байт.

Кроме того, поток ODP/ADP включает в себя не менее 10 шаблонов, т.е. каждая пара повторяется не менее 5 раз. В то время, как в случае неудачи приема кадра LR какой-либо из сторон, обмен этими кадрами будет повторен по истечении тайм-аута лишь однажды. Превосходство в кратности повтора процедуры еще более увеличивает разницу в вероятностях успешного входа в протокол коррекции ошибок, подчеркивая преимущество протокола LAPM над MNP.

Устойчивость к полеганию.

Этот фактор характеризует как преимущество синхронного кадрового формата над байт-ориентированным режимом, так и преимущество собственно протокола LAPM над MNP. Имеется в виду здесь следующее. Помехи не разбирают ,какова логическая значимость того или иного бита, который они искажают до неузнаваемости. Это может быть "рядовой" бит пользовательских данных, а может и бит в управляющем поле кадра. Если представить себе, что этот злосчастный бит находится в двухбайтовом управляющем поле конечного флага кадра протокола MNP2, то нетрудно себе представить что это значит для принимающей стороны. Потеря конца кадра приводит к тому, что принимающая сторона воспринимает поток стоповых битов, являющийся межкадровым заполнителем, в качестве паузы между двумя соседними байтами принимаемого незаконченного кадра. Все это продолжается вплоть до появления стартового флага следующего кадра, либо до истечения тайм-аута. Даже если следующий кадр не заставил себя долго ждать, весь он будет фактически накладным расходом, так как даже при безошибочном его приеме, он будет признан недействительным вследствие ошибки последовательной его нумерации из-за неприема его предшественника. Теперь рассмотрим с этой точки зрения синхронный кадровый формат. Пусть произошел сбой в конечном флаге. Но межкадровым то заполнителем служит все тот же флаг. Стало быть будет пойман пусть не первый, так следующий флаг. Кадр будет признан ошибочным, но ждать "у моря погоды" принимающей стороне незачем, ситуация для нее вполне определенная - можно посылать запрос на повтор кадра. Далее в бой вступают уже протокольные преимущества V.42 над MNP. Во-первых, одним из условий признания кадра недействительным в протоколе V.42, в отличие от протоколов MNP, является превышение размера его информационного поля оговоренного в процедуре входа в протокол значения. Это позволяет принимающей стороне в ситуации пропуска флага, разделяющего два соседних кадра, не дожидаться конечного флага второго кадра, а сразу же выдать запрос на повторную передачу. Во-вторых, наличие типа кадра SREJ в протоколе LAPM позволяет не отбрасывать корректно принятый вслед за ошибочным кадр, а запросить селективный повтор одного единственного неверно принятого кадра.

Гибкость.

Сей фактор целиком обязан своим появлением расширенным возможностям собственно протокола LAPM по сравнению с протоколами MNP. Частично эти возможности уже были упомянуты выше. Здесь же будет приведен краткий, по возможности, их перечень.

а) Раздельное согласование параметров передачи в обе стороны. Таких, как максимальный размер кадра и размер окна. Последний параметр определяет количество кадров максимального размера, которое модем может хранить в своей памяти, ожидая их подтверждения. Оба этих параметра зависят от размеров оперативной памяти модемов, участвующих в сеансе связи. Поскольку они могут иметь разный объем памяти, представляется логичным, что для каждого направления передачи согласуются свои значения этих параметров. В протоколе MNP в процессе согласования параметров выбирается одно, наименьшее значение для передачи в обе стороны.

б) Кадр XID протокола LAPM, с помощью которого производится согласование параметров, позволяет модемам обмениваться дополнительной информацией, такой как "ID (идентификатор) изготовителя". Это потенциально (а может и реально) дает возможность модемам одного и того же изготовителя расширять протокол в процессе сеанса по своему усмотрению.

в) Возможность повышения надежности коррекции ошибок с помощью четырехбайтовой контрольной последовательности кадра (CRC-32) в особо ответственных сеансах, при условии поддержки этой возможности обоими модемами. Поддержка этой возможности необязательна.

г) Совмещение функции передачи пользовательской информации с функцией подтверждения принятых данных.

д) Селективный повтор одного неверно принятого кадра. Реализация этой возможности (тип кадра SREJ) необязательна.

е) Кадр U-формата TEST позволяет в любой момент, не прекращая передачу пользовательской информации, осуществить кольцевое тестирование канала передачи данных. Поддержка этой возможности необязательна.

ж) Пересогласование параметров передачи в любой момент времени после установки протокола. Модем может инициировать пересогласование параметров протокола, послав кадр XID, в любой момент, исходя из своих собственных внутренних критериев. Например, посчитав, что качество канала связи ухудшилось, он может потребовать уменьшить максимальный размер кадра, или включить любую из необязательных процедур: кольцевое тестирование, например, или CRC-32. MNP позволяет согласовывать параметры единожды, при входе в протокол.

з) Неразрывность физического соединения после корректного выхода из протокола. MNP требует разорвать физическое соединение после обмена кадрами LD. После выдачи кадра DISC V.42 физическое соединение не разрывается. Это может быть использовано для перетренировки аппаратуры модема при ухудшении качества канала (retrain) с последующим повторным входом в протокол, или для временного отключения протокола коррекции ошибок, например, при передаче файлов под управлением высокоуровневых канальных протоколов с коррекцией ошибок (типа ZMODEM).

**Заключение**

Последние годы характеризуются быстрым совершенствованием модемов и расширением масштаба их использования. Основными причинами этого стали создание новых высокоэффективных методов модуляции и цифровой обработки сигналов: многопозиционной модуляции в сочетанием со сверточным кодированием и приемом по максимуму правдоподобия, методов защиты от ошибок и сжатия данных.

В массовом производстве был освоен выпуск модемов для коммутируемых каналов на скоростях 14400 бит/с и 28800 бит/с. (что практически совпадает с теоретической границей скорости передачи). Благодаря применению в модемах защиты от ошибок, обеспечивается высокая достоверность передачи, а за счет введения функции сжатия данных - фактические скорости передачи до 57600 бит/с. Эти факторы, наряду с сохраняющимся значительным объемом использования аналоговых телефонных каналов, обусловили быстрое развитие разработки, производства и применения модемов.

Список литературы:

* 1. В.Г.Олифер «Компьютерные сети», издательство «Питер» 2002
  2. А.Пасковатый «Модемы: разработка и использование» 1996
  3. Технологии электронных коммуникаций том 27 «Межсетевые протоколы и мультисети», Москва, «Эко-Трендз» 1992.
  4. П.Боккер «Передача данных»
  5. Интернет ресурсы

5.1 www.intercomservis.com

5.2 www.flashcom.ru

5.3 www.3Dnews.ru