# Модемы и коммуникационные протоколы

Вопреки предсказанному спаду, связанному с введением цифровых сетей, в последние годы значительно расширилась сфера применения и увеличился объем выпуска модемов, предназначенных для организации передачи данных по телефонным каналам. Основной причиной этого стало существенное увеличение скорости передачи (до 40-60 кбит/с) при высокой надежности доставки информации, что делает экономичным использование широко доступных аналоговых телефонных каналов. Новыми областями применения модемов стали телематические службы (телетекс, электронная почта, видеотекст, телефакс и др.), связь между персональными компьютерами, локальными сетями, Internet.

Такой прогресс в области модемов стал возможен только благодаря тому, что за последнее десятилетие были разработаны новые методы модуляции и цифровой обработки сигналов (адаптивная коррекция, эхокомпенсация, сверточное кодирование и декодирование), введены в модемы коррекция ошибок и сжатие данных, найдены высокоэффективные способы реализации модемов на базе микропроцессоров (МП), цифровых сигнальных процессоров (ЦСП). В серийном производстве были освоены специализированные БИС для модемов, а также высокопроизводительные ЦСП, что позволило создать более совершенные модемы, имеющие меньшие габариты, вес, энергопотребление, стоимость и лучшие потребительские характеристики.

Модемы классифицируются, в основном, по величине скорости и типу канала, для которого они предназначены (выделенная или коммутируемая линия). Cовместимость модемов разных изготовителей обеспечивается соответствием их нормам международных Рекомендаций серии **V** Международного консультативного комитета по телеграфии и телефонии МККТТ. В таблице приведены основные характеристики модемов на разные скорости и соответствующие номера Рекомендаций, в которых изложены технические требования к модемам. При этом приняты следующие условные обозначения:

ЧМ – частотная модуляция;

ДОФМ, ТОФМ – двухкратная (4-позиционная), трехкратная (8-позиционная) относительная фазовая модуляция, соответственно;

КАМ-n – "n"-позиционная квадратурная амплитудная модуляция;

АФМ-n – "n"-позиционная амплитудно-фазовая модуляция;

КК – коммутируемый телефонный канал общего пользования;

КА – некоммутируемый, или арендованный телефонный канал;

дупл. – дуплексный;

п/дупл – полудуплексный;

фикс. – фиксированный;

автом. – автоматический

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость передачи данных, бит/с | 300 | 1200 | 2400 | 1200 | 2400 | 2400 | 2400 |
| Вид модуляции | ЧМ | ДОФМ | КАМ | ЧМ | ДОФМ | ДОФМ | ДОФМ |
| Тип канала связи | КК | КК | КК | КК | КА | КК | КК |
| Режим работы | Дупл. | Дупл. | Дупл. | П/Дупл. | П/ Дупл. | Дупл. | Дупл. |
| Тип корректора | – | Автом. | Автом. | Фикс. | Фикс. | Фикс. | Автом. |
| Рекомендация МККТТ | V.21 | V.22 | V.22bis | V.23 | V.26 | V.26bis | V.26ter |

|  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Скорость передачи данных, бит/с | 4800 | 4800 | 9600 | 9600 | 14400 | 19200 | 33600 |
| Вид модуляции | ТОФМ | ТОФМ | КАМ-16 | АФМ-16 | АФМ-128 | АФМ-160 | АФМ-256 |
| Тип канала связи | КА | КК | КК | КК | КА | КА | KK |
| Режим работы | Дупл. | П/Дупл. | Дупл. | Дупл. | Дупл. | Дупл. | Дупл. |
| Тип корректора | Фикс | Автом. | Автом. | Автом. | Автом. | Автом. | Автом. |
| Рекомендация МККТТ | V.27 | V.27ter | V.29 | V.32 | V.33 | V.33 | V.34+ |

Таблица

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. 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 4800, 9600, 14400 бит/с и даже больше? В аналоговой технике передачи данных бод и бит/с не 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 2n. Это значит, что демодулятор модема, получив на бодовом интервале некий сигнал, должен будет сравнить его с 2n 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 = Flog (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.

Основной задачей модема является преобразование исходной цифровой информации в вид, пригодный для передачи по каналу связи, и обратное преобразование на приеме. Вид модуляции и метод построения модема в значительной степени определяют скорость передачи данных и эффективность использования канала связи. Применительно к передаче данных по телефонным каналам, виды модуляции, используемые в модемах, регламентируются МККТТ. В Рекомендациях МККТТ определены основные технические характеристики модема, такие, как форма спектра передаваемого сигнала, структура настроечной комбинации, образующий полином скремблера (дескремблера) и другие параметры, обеспечивающие совместимость модемов, выпускаемых разными изготовителями.

Качество работы модема определяется способностью противодействовать мешающим факторам, а, именно:

* Гауссовскому шуму;
* межсимвольной интерференции, вызванной неидеальностью передаточной функции канала связи;
* флуктуациям фазы несущей частоты, обусловленным низкочастотной паразитной модуляцией в генераторном оборудовании систем передачи с частотным разделением каналов.

Поэтому для повышения качества работы модема требуется применение оптимальных (либо близких к ним) алгоритмов обработки сигналов, позволяющих уменьшить влияние мешающих факторов.

Повышение эффективности использования канала связи, т.е. удельной скорости передачи (числа передаваемых бит на единицу полосы пропускания канала связи), требует применения в модеме следующих систем:

1. адаптивного корректора сигнала для уменьшения межсимвольной интерференции в принимаемом сигнале;
2. дискретного (или цифрового) формирователя спектра сигнала на передаче (в качестве его дополнительной функции может быть введение предыскажений с целью компенсации межсимвольной интерференции);
3. скремблера (на передаче) и дескремблера (на приеме) для преобразования исходной последовательности данных в псевдослучайную и обратного преобразования на приеме;
4. системы компенсации флуктуаций фазы несущей частоты,

## Дуплексный режим передачи данных

Под дуплексным режимом работы модема понимается возможность передавать и принимать информацию одновременно. Проблема для модема заключается не в способности канала передавать дуплексную информацию, т.к. обычный телефоныый канал – дуплексный, а в возможности демодулятора модема распознать входной сигнал на фоне отраженного от аппаратуры АТС собственного выходного сигнала. При этом его мощность может быть не только сравнима, но в большинстве случаев значительно превосходить мощность принимаемого полезного сигнала (так как обьединение и разделение передачи и приема производится с помощью дифсистем, которые невозможно идеально настроить на полное подавление сигнала передатчика местного модема). Поэтому, могут ли модемы передавать информацию одновременно в обе стороны определяется возможностями протокола физического уровня.

Соединение абонента передачи данных с телефонным каналом может осуществляться с помощью четырехпроводного окончания (главным образом с арендованными каналами) и/или двухпроводным окончанием (в основном с коммутируемыми каналами). При четырехпроводном окончании передача и прием осуществляются независимо друг от друга. В этом случае каждая пара используется для передачи информации только в одном направлении и проблемы разделения входного сигала и отраженного выходного не существует.

Передача данных по телефонным каналам с двухпроводным окончанием организуется с использованием одного из следующих методов:

1. поочередой передачи в каждом из направлений (полудуплексный режим);
2. частотного разделения направлений передачи (дуплексный режим: симметричный или ассимметричный – в зависимости от равенства или неравенства скоростей передачи в разных направлениях);
3. одновременной передачи в обоих направлениях с подавлением на приеме отраженного сигнала собственного передатчика (дуплексный режим с эхокомпенсацией).

Наиболее простым в реализации и наименее эффективным по использованию канала связи является метод поочередной передачи (полудуплексный), т.к. передача ведется только в одном направлении, и имеют место потери времени на смену направлений передачи. 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. Этот метод применяется при малых скоростях передачи (см.табл.1). Все протоколы, предназначенные для факсимильной связи – полудуплексные. С освоением более высоких скоростей появилась возможность организации на базе этого метода псевдодуплексной передачи (дуплексный режим оконечного оборудования данных при полудуплексной передаче в канале) – т.н. метод "ping-pong".

На начальном этапе применения одновременной передачи использовался метод частотного разделения (стандарты Bell 103 и Bell 212A, Рекомендация V.22). Вся полоса пропускания канала разделяется на два частотных подканала, по каждому из которых производится передача в одном направлении. Из-за уменьшения практически в 2 раза полосы частот, выделяемой для передачи сигналов в каждом из направлений, при этом методе применяются более многопозиционные т.е. менее помехоустойчивые методы модуляции. 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. Поэтому данный метод разделения направлений передачи получил распространение для скоростей передачи до 2400 бит/с, а Рекомендация V.22bis стала фактическим стандартом на скорость передачи 2400 бит/с.

Нашла также применение разновидность данного метода – асимметричный дуплекс (напр., в Рекомендации V.23 – комбинация скоростей 1200/75 бит/с). 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.

Наиболее эффективным, но и самым сложным в реализации, является метод одновременной передачи с помощью эхо-компенсации. В данном варианте используется вся полоса частот канала связи и наиболее помехоустойчивые для данной скорости методы модуляции. 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. Этот метод применен в модеме по Рекомендациям V.26ter (2400 бит/с), V.32 (9600 бит/с). Первые модемы, соответствующие Рекомендации V.32, были созданы в 1985г. Модемы по Рекомендации V.26ter не получили широкого распространения, на начальном этапе это было вызвано конкуренцией с более простыми и дешевыми модемами по Рекомендации V.22bis. В настоящее время модемы по Рекомендации V.26ter, имеющие более высокую помехоустойчивость (в них используется метод ДОФМ), могут быть реализованы более экономично, но их не выпускают из-за несовместимости с распространенными типами модемов.

Следует отметить, что модемы для коммутируемых каналов, наряду с выполнением основных функций модуляции-демодуляции, аналогичных реализуемым в модемах для арендованных каналов, решают ряд дополнительных сложных задач, обусловленных особенностями коммутируемых телефонных каналов. Кроме разделения сигналов, передаваемых в противоположных направлениях по одной паре проводов, к этим задачам относятся: сопряжение с коммутируемым каналом (создание шлейфа по постоянному току, формирование и передача сигналов набора и автоответа, прием вызова и других служебных тональных сигналов); обеспечение высокой достоверности передачи информации по каналам пониженного по сравнению с арендованными каналами качества.

## Модуляция

В современных модемах используются три основных типа модуляции:

При **частотной модуляции** (ЧМ, 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 ЧМ – низкоскоростные, но высоконадежные стандарты, позволяющие осуществлять связь на каналах с большими искажениями амплитудно-частотной характеристики, или даже с усеченной полосой пропускания.

При**фазоразностной модуляции** (ДОФМ, ТОФМ, 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.

Миогопозиционную амплитудно-фазовую модуляцию называют еще **квадратурной амплитудной модуляцией** (КАМ-n, 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 а 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 (ТСМ, 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.

В модемах с высокой удельной скоростью передачи для коррекции межсимвольной интерференции используются адаптивные корректоры межсимвольных искажений (АКМИ). На практике наиболее широкое применение нашли АКМИ, реализованные на базе нерекурсивного фильтра (трансверсальный фильтр). Причем в качестве алгоритма адаптации весовых коэффициентов фильтра используются алгоритмы стохастической аппроксимации, минимизирующие величину среднего квадрата ошибки недокоррекции. Коррекция осуществляется либо в полосовой области (в диапазоне частот передаваемого сигнала), либо в области низких частот, используя двумерное представление сигнала данных. Следует отметить, что применение АКМИ обеспечивает оптимальную поэлементную обработку принимаемого сигнала при межсимвольных интерференции из-за фазовых искажений передаточной функции канала связи.

В передатчике модема выполняются следующие операции:

1. посредством скремблера формируется псевдослучайная информационная последовательность, которая в преобразователе кода отображается в последовательность двумерных сигналов данных (x/n/);
2. цифровой формирователь спектра осуществляет формирование спектра единичного элемента сигналов, который в ряде случаев выполняет функцию блока предыскажения, компенсирующего детерминированную часть межсимвольной интерференции, вносимой каналом связи;
3. модулятор переносит спектр сигнала в заданную область частот.

На приеме сигнал данных подвергается обратным преобразованиям. Линейные блоки приемника осуществляют согласование по уровню с принимаемым сигналом (АРУ), расщепление сигнала на квадратурные компоненты и выборку отсчетов двумерного сигнала данных ( x`/n/, y`/n/) путем дискретизации во времени в АЦП.

При коррекции в области нижних частот расщепление принимаемого сигнала на квадратурные составляющие осуществляется в демодуляторе (при аналоговой реализации входных блоков приемника) или в преобразователе Гильберта – при цифровой реализации.

Задача компенсации межсимвольной интерференции обеспечивается, если линейный тракт передачи удовлетворяет условию селективности сквозной импульсной реакции (при этом сквозная передаточная функция тракта удовлетворяет критерию Найквиста). На практике получило распространение формирование сквозных передаточных функций с косинус-квадратичным скруглением (иногда такой вид скругления называют "приподнятым косинусом"). Причем обычно для предотвращения снижения помехоустойчивости по отношению к флуктуационному шуму передаточную функцию модема разделяют поровну между коэффициентами передачи формирователя спектра на передачи и фильтром входного блока приемника.

В случае, когда канал связи вносит амплитудно-частотные искажения, линейные методы коррекции не обеспечивают оптимальную обработку сигнала. Поэтому прибегают к нелинейным методам коррекции (корректор с решающей обратной связью) и/или – к нелинейной процедуре оценивания принимаемой информационной последовательности, используя алгоритм Витерби, либо его модификации.

Помехоустойчивость модема с высокой удельной скоростью в значительной мере определяется независимыми ошибками за счет воздействия Гауссовского шума и недокоррекции межсимвольной интерференции. Традиционным методом повышения помехоустойчивости является применение кодирования передаваемой информации путем введения избыточности. При независимых ошибках использование сверточного кодирования позволяет существенно улучшить помехоустойчивость модема. Поэтому в Рекомендациях МККТТ V.32 и V.33 регламентируется совместное использование квадратурной АМ и сверточного кодирования – решетчатого кодирования.

Введение решетчатого кодирования для скорости 14400 бит/с (добавление одного проверочного бита в каждую исходную последовательность из 6 бит информации) позволяет повысить помехоустойчивость на 3,8 дБ. При этом число позиций сигнала данных равно 128 (т.е. 2 в степени 6+1 ). Следует отметить, что применение решетчатого кодирования для скорости 19200 бит/с приводит к повышению помехоустойчивости на 5.4 дБ. Широкое распространение решетчатого кодирования связано с возможностью использования на приеме эффективной процедуры декодирования по максимуму правдоподобия на базе алгоритма Витерби.

В Рекомендациях V.32 и V.33 метод построения модема с использованием решетчатого кодирования указан как предпочтительный. Однако, в этих Рекомендациях оговаривается возможность применения и других методов модуляции. Например, в одной из работ приводится описание и результаты испытаний цифрового модема на скорость 14400 бит/с с использованием амплитудно-фазовой модуляции с одной боковой полосой.

## Модемные протоколы (краткий обзор)

**V.21** Это дуплексный протокол с частотным разделением каналов и частотной модуляцией. 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. Например, при установке соединения между модемами по новой Рекомендации V.8, или для передачи управляющих команд при факсимильной связи (верхний канал).

**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 (квадро-бит) 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 ТСМ.

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

# Что такое K56flex?

K56flex – это совместно разработанный компаниями Lucent и Rockwell протокол модемной связи, позволяющий загружать данные из Internet по стандартным телефонным линиям со скоростью до 56 кбит/с. Эта технология, которая служит своего роста мостом между существующими методами передачи данных по аналоговым линиям и цифровым сетям, например, ISDN. Однако он обеспечивает повышенную скорость обмена данными, не требуя в отличие от ISDN дополнительных капиталовложений в цифровые линии связи.

На сегодняшний день K56flex практически полностью вытеснен протоколом x2 с рынка коммуникационного оборудования. По сути, K56flex и х2 – близнецы-братья, просто за х2 стоит более крупный производитель – US Robotics, точнее – корпорация 3Com.

Технология х2, разработанная USRobotics позволяет модемам принимать данные со скоростью до 56Kbps на обычных коммутируемых линиях. х2 преодолевает теоретический порог, наложенный на стандартные аналоговые модемы, задействуя цифровые соединения, которые в подавляющем большинстве используются Интернет-провайдерами вплоть до аналоговой части обычных линий.

Обычно, единственным аналоговым соединением в телефонной сети является телефонный кабель от абонента до АТС. За последние несколько месяцев телефонные компании начали процесс замены частей изначально аналоговых соединений цифровыми. Однако самым отстающим звеном в этом деле остается тот кабель, который соединяет вас и вашу АТС.

х2 не требует никаких изменений в телефонных сетях, которые сейчас используются. Все, что необходимо для изменения качественного уровня пула модемов провайдера – программный апгрейд. USRobotics назвал модемы, имеющие прямое цифровое соединение с аналоговыми линиями х2-серверными модемами. Аналогично, преобразование аналогового модема Courier V.Everything в х2-клиет модем также просто, как установка новой программы.

### Почему V.34 не оказался последним достижением в передаче данных?

Модемы V.34 оптимизированы для работы на полностью аналоговых линиях. Hо сегодня имеет смысл принять во внимание тот факт, что сервисные провайдеры обладают цифровыми каналами вплоть до обычной телефонной линии.

### V.34-модемы оптимизированы для соединений типа аналог-аналог

Hесмотря на то, что большая часть сети цифровая, модемы, работающие на протоколе V.34 используют ее как полностью аналоговую. V.34-модемы очень мощны, но тем не менее, они не могут получить максимум выигрыша от расширенной полосы пропускания, открывающейся, если на одном из концов цифровая линия. Эти модемы были разработаны, исходя из предположения, что   
оба конца линии испытывают резкое ухудшение связи из-за помех АЦП.

Рисунок Соединение V34

Аналоговая информация должна быть преобразована в цифровую, чтобы быть посланной по телефонной сети. Исходный аналоговый сигнал изменяется 8000 раз в секунду, и каждый раз его амплитуда записывается в виде PCM-кода. Система, производящая преобразование (модуляцию) использует 256-дискретный 8-битный PCM код.

В связи с тем, что аналоговый сигнал непрерывен, а цифровая информация дискретна, данные, посылаемые по линии приблизительно соответствует оригинальному сигналу. Разница между исходным сигналом и восстановленным демодулированным сигналом называется модуляционными помехами, которые и ограничивают скоростные качества модемов.

Вышеописанные помехи ограничивают скорость передачи данных приблизительно до 35Kbps. Однако они [помехи] влияют только на преобразование аналог-цифра, но не на цифра-аналог. Это и является основой технологии х2: Если между х2-сервер-модемом и коммутируемой линией нет преобразования аналог-цифра, и если модулятор использует 255-дискретное преобразование сигнала, то тогда исходная цифровая информация в точности достигает клиента.

### Отношение Сигнал-Шум

Даже при самых благополучных обстоятельствах, когда сигнал претерпевает аналого-цифровое преобразование, отношение составляет 38-39 dB ("нижний шумовой порог"), которое и ограничивает скорости на V.34 до 33.6 Kbps.

Итак:

1. Сервер подключается по цифровому каналу к кабелю телефонной компании.
2. Сигналы сервера заставляют использовать только 256 PCM модуляционного шума, код. Иными словами, нет появляющегося при конвертации аналоговых сигналов к кодам. дискретным PCM
3. Эти PCM коды преобразуются в соответствующий дискретный аналоговый сигнал и отсылается клиенту по тем же коммутируемым аналоговым линиям. Hет никаких потерь информации (см.график "Соединение х2".)
4. Клиент принимает сигнал и восстанавливает исходные PCM коды из аналогового сигнала.

Каналы: туда и сюда. Ассиметричные х2 соединения используют одну часть двунаправленного канала (туда и сюда). Клиентский х2 модем способен принимать данные с большей скоростью по одной части канала по той причине, что часть информации не теряется при цифра-аналог преобразованиях. Однако при посылке данных клиентским модемом по второй части канала (туда), сигнал претерпевает преобразование аналог-цифра, что и ограничивает возможность использования х2 и навязывает V.34.

### Подробнее о кодировании

Как уже было рассказано, данные, посланные с х2-сервер модема передаются по телефонной линии в двоичной форме. Hо чтобы удовлетворить условиям пункта 2 (см.выше), х2-сервер модем передает данные (восемь битов в секунду) к ЦАП (цифро-аналоговому преобразователю) с той же частотой,на которой работает телефонная линия (8000 герц). Это означает, что частота модема должна совпадать с частотой линии.

Рисунок Соединение x2

Во время установления связи, х2 модемы испытывают линию на использование аналог-цифровых преобразователей в сторону клиента. При обнаружении подобных конвертаций, модемы соединятся просто на V.34. Клиентский модем также пытается установить связь на V.34 при невозможности серверного модема использования х2.

Задача х2-клиентского модема – распознать в сигнале PCM-коды с частотой 8000 герц. Если это удается, тогда скорость в сторону клиента будет около 64 килобит/с (8000\*8 бит в коде). В то же время, некоторые проблемы все таки возникают, что немного сокращает скорость.

Во-первых, несмотря на то, что модуляторный шум удален, другой, намного меньший шум возникает при работе цифра-аналогового преобразователя и местной АТС. Этот шум возникает в связи с различными нелинейными искажениями и посторонними шумами от других соединений.

Во-вторых, телефонные ЦАПы - не линейные преобразователи, а используют несколько иной закон конвертации (µU Law - в США, А Law - в других странах).

В результате, PCM коды представляющие собой слабые сигналы получаются на выходе ЦАПа слабыми сигналами, тогда как большие сигналы-коды получаются большими после выхода (Т.е. скачкообразно изменяющийся сигнал вместо линейного, постепенно меняющегося - прим. перевода).

Эти две проблемы исключают возможность использованию всех 256 дискретных кодов, так как соответствующий выходной после ЦАПа сигнал (слабый) слишком тесно зажат в границах пропускной способности локальной АТСи не может абсолютно корректно анализировать данные. (Замечание: каждый PCM-код соотносится с выходным после ЦАПа сигналом). Таким образом, х2 кодировщик использует различные уровни 256-кодов, что делает ЦАП более чувствительным к помехам. Hапример, 128 уровней используется для передачи данных со скоростью 56 кбит/с, 92 - 52 кбит/с и так далее. Использование еще более меньшего числа уровней деет большую надежность, но и снижает скорость.

### Требования х2

х2 требует выполнения следующих условий:

1. Цифровой канал в одном конце. Один конец соединения должен оканчиваться на магистральную цифровую линию, например, T1, ISDN PRI или ISDN BRI.

Локальные линии T1 не будут давать нужных результатов, так как на них будут иметь место дополнительные преобразования аналог-цифра и цифра-аналог. В магистральных каналах сигнал преобразовывается лишь однажды, а после этого свободно достигает по каналам Т1, PRI или BRI серверного х2-модема.

2. х2 должен поддерживаться модемами на обоих концах соединения: у клиента и на сервере провайдера. Предполагается, что клиентским модемом станет USRobotics Sportster, Courier TM или Megahertzo, а у провайдера USRobotics MP I-Modem, NetServer I-Modem, Courier I-Modem или Total   
Control Enterprise NetWork Hub.

3. Может быть только одно преобразование аналог-цифра на пути от клиентского модема до сервера. Если используется линия Т1, то это должна быть магистральная линия, а не локальная. Применяя локальное соединение Т1, местные телефонные компании используют обычно еще ряд дополнительных преобразований.

### Только USRobotics может обеспечить технологию х2

Оборудование USRobotics, такое как например Total Control Enerprise Network Hub, уже сейчас позволяет обрабатывать цифровые сигналы с цифровых линий. Серверное оборудование может быть модернизировано до х2 программным путем. Другие компании, не производящие цифровых моделей модемов, должны будут затратить большое количество финансов и времени на   
разработку собственных изделий.

Модемы USRobotics поставляемые сейчас позволяют модернизировать их до технологии х2.

# Глоссарий

**Basic Rate InterFace (BRI)**

Линия ISDN, дающая возможность использования двух 64-килобитных В-каналов и одного 16-битного D-канала на одной двупроводной телефонной линии. В-каналы переносят данные или голосовую информацию, а D-канал управляющие сигналы для передачи данных.

**Цифровой сигнальный процессор (Digital Signal Processor – DSP)**

Процессор, оптимизированный для работы со сложными математическими операциями, происходящими при обработке цифровых сигналов. Дискретный процессор может быть перепрограммирован. Процессор же интегрированный в чипсет обычно несет в себе микросхему ROM и как следствие не может быть перепрограммирован.

### Е1

Четырех проводная цифровая линия, магистраль, которая переносит данные со скоростями до 2 мегабит/с.

### Локальная Т1

Канал Т1, на котором сигнал испытывает преобразование на пути от серверного модема до локальной АТС.

**Primary rate Interface (PRI)**

В Северной Америке PRI – четырех-проводный ISDN-канал (магистраль) с теми же скоростными возможностями, что и Т1, 1.554 мегабит/с. PRI содержит 23 В-канала 64 килобит/с и один D-канал 64 килобит/с. В других странах PRI содержит 30 В-каналов 64 килобит/с и один D-канал 64 килобит/с.   
Четырех проводная ISDN линия с теми же скоростными характеристиками, что и Е1, 2.048 мегабит/с. D-канал переносит сигналы контроля передачи данных для всех В-каналов.

**Пульсовая модуляция кода (Pulse Code Modulation PCM)**

Технология преобразования аналоговых сигналов с бесконечным числом возможных значений в дискретные цифровые сигналы с ограниченным числом значений. После оцифровки аналоговых сигналов, они разбиваются на PCM-коды.

### Т1

Четырех проводная цифровая линия (магистраль) переносящая 1.554 мегабит/с. Т1 содержит 24 линии DSO, каждая из которых переносит 56 килобит/с. (Сигналы контроля соединения переносятся внутри DSO)

**х2 клиент-модем**

Модем оборудованный усовершенствованиями х2 и подключенный к обычной аналоговой линии. Для получения соединения на скоростях х2 (56 килобит/с), модем на другом конце соединения должен представлять собой х2-модем, подключенный к магистральной линии Т1, BRI или PRI.

**х2 сервер-модем**

Цифровой модем, подключенный к магистральной линии Т1, BRI или PRI. Клиентский модем также должен поддерживать стандарт х2 для получения скоростей х2 (56 килобит/с). В настоящее время х2-сервер модемами могут выступать Total Control Enterprise Network Hub, Netserver I-modem, MP I-modem и Courier TM I-modem.