

МИНИСТЕРСТВО ОБЩЕГО
И ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
НОВОСИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ
УНИВЕРСИТЕТ

П.В.Вельтмандер

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ ПО ТЕЛЕФОННЫМ КАНАЛАМ

Методическое пособие

Новосибирск
1999

Данное пособие предназначено для студентов, изучающих курс “Распределенные информационно-вычислительные системы”. В пособии рассматриваются основные вопросы, необходимые для понимания принципов работы интенсивно развивающейся области телекоммуникаций — телекоммуникаций по телефонным каналам связи.

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	5
0.1 ТИПЫ ЛИНИЙ СВЯЗИ	6
0.1.1 Коммутируемые каналы	6
0.1.2 Выделенные каналы	6
0.1.3 Линии с гальванической связью	6
0.1.4 Двух- и четырехпроводные линии	6
0.2 СИНХРОННАЯ И АСИНХРОННАЯ ПЕРЕДАЧИ	8
0.2.1 Синхронные модемы	8
0.2.2 Асинхронные модемы	9
0.3 РЕЖИМЫ РАБОТЫ МОДЕМОВ	11
0.3.1 Полудуплексный режим	11
0.3.2 Дуплексный режим	11
0.3.3 Симплексный режим	11
0.3.4 Подавители и прерыватели эха	12
0.4 МЕТОДЫ МОДУЛЯЦИИ	13
0.4.1 Амплитудная модуляция	13
0.4.2 Частотная модуляция	14
0.4.3 Фазовая модуляция	15
0.4.4 Непрерывная фазовая модуляция	15
0.4.5 Дифференциальная фазовая модуляция	16
0.4.6 Квадратурная амплитудная модуляция	16
0.4.7 Решетчатая модуляция	16
0.5 СКОРОСТИ ОБМЕНА МОДЕМОВ	18
0.5.1 Единицы измерения (бит/с и бод)	18
0.5.2 Автоматическое уменьшение скорости	20
0.6 КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ МОДЕМОВ	21
0.6.1 Внешние модемы	21
0.6.2 Внутренние модемы	22
0.6.3 Встроенные (интегрированные) модемы	22
0.7 СТАНДАРТЫ СЕРИИ V	23
0.8 СТАНДАРТЫ КОРРЕКЦИИ ОШИБОК И СЖАТИЯ ДАН- НЫХ	29
0.9 Hayes-КОМАНДЫ	33

0.10 УПРАВЛЕНИЕ ПОТОКОМ	34
0.10.1 Аппаратное управление потоком	34
0.10.2 Программное управление потоком	34
0.11 ПРОТОКОЛЫ ПЕРЕДАЧИ ФАЙЛОВ	35
0.11.1 Протокол Xmodem	35
0.11.2 Протокол Ymodem	36
0.11.3 Протокол Zmodem	36
0.11.4 Протокол Kermit	36
ВОПРОСЫ ДЛЯ КОНТРОЛЯ	37
БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК	38

АКД	—	аппаратура канала данных (см. DCE)
АТС	—	автоматическая телефонная станция
МККТТ	—	международный консультативный комитет по телеграфии и телефонии (см. ССІТТ)
МОС	—	международная организация по стандартизации (см. ISO)
МТС	—	международный телекоммуникационный союз (международный союз по электросвязи). До 1993 назывался МККТТ (см. ITU, ССІТТ)
ООД	—	оконечное оборудование данных (см. DTE)
ПЭВМ	—	персональная ЭВМ
АМ	—	Amplitude Modulation (амплитудная модуляция)
ANSI	—	American National Standards Institute
ASCII	—	American Standard Code for Information Interchange
ССІТТ	—	Comite Consultatif Internationale de Telegraphique et Telephonique (Consultative Committee for International Telephone and Telegraph) (см. МККТТ)
СРМ	—	Continuous Phase Modulation (непрерывная фазовая модуляция)
CTS	—	Clear To Send (сигнал “сброс для передачи” интерфейса RS 232C)
DCE	—	Data Circuit terminating Equipment (см. АКД)
DPM	—	Differential Phase Modulation (дифференциальная фазовая модуляция)
DTE	—	Data Terminal Equipment (см. ООД)
ЕСМА	—	European Computer Manufactures Assotiation
FM	—	Frequency Modulation (частотная модуляция)
FSK	—	Frequency Shift Keying (кодирование сдвигом частот)
IEC	—	International Electrotechnical Commission
IEEE	—	The Institute of Electrical and Electronic Engineers
ISO	—	International Standards Organisation (см. МОС)
ITU	—	International Telecommunications Union
OSI	—	Open Systems Interconnection
PM	—	Phase Modulation (фазовая модуляция)
PSTN	—	Public Service Telephone Network (телефонная сеть коллективного обслуживания)
QAM	—	Quadrature Amplitude Modulation (квадратурная амплитудная модуляция)
RTS	—	Request To Send (сигнал “запрос для передачи” интерфейса RS 232C)
ТСМ	—	Trellis Coded Modulation (решетчатая модуляция)

Потребности связи между отдаленными компьютерами привели к использованию существующей телефонной сети для передачи данных. Особенно широкое распространение использование телефонных линий для таких целей получило в настоящее время с подключением домашних компьютеров к сетям. Большинство телефонных линий было разработано чтобы передавать аналоговую голосовую информацию, в то время как компьютеры и их устройства работают в цифровой форме. Следовательно, чтобы использовать аналоговую среду, необходим преобразователь между двумя системами. Этот преобразователь — МОДЕМ, который выполняет МОДуляцию и ДЕМОдуляцию переданных данных. При передаче модем принимает последовательность двоичных данных из устройства, модулирует один или несколько параметров аналогового сигнала (амплитуду, частоту или фазу) и посылает сигнал в аналоговую среду. При приеме модем демодулирует принятый аналоговый сигнал и передает цифровые данные в компьютер или устройство.

Первый модем, использовавшийся для передачи данных по обычным телефонным линиям, Datephone 103 фирмы Белл (1958 г.), работал на скорости 300 бит/с. Современные модемы работают на скоростях 33600 бит/с. В феврале 1998 г. принят международный стандарт V.90 для обмена со скоростью 56 Кбит/с. В настоящее время модемы для большей надежности связи поддерживают обнаружение и исправление ошибок и методы сжатия данных для увеличения скорости обмена.

Совместимость модемов различных изготовителей обеспечивается соблюдением стандартов. Наиболее известные из них — рекомендации серии V ITU, MNP-протоколы для обеспечения безошибочной передачи и сжатия данных; Hayes-команды для управления работой модема.

Современные модемы действуют как почтовые системы для текста и речи, факс-устройства, интегрируются или подключаются к сотовым и спутниковым телефонам, встраиваются в notebook-компьютеры, что обеспечивает выход в глобальные сети отовсюду.

По экспертным оценкам в 1997 году в мире было установлено около 50 млн модемов, к 2000 г ожидается установка 75 млн.

Модемы можно классифицировать:

- по типу используемой линии (коммутируемые, выделенные);
- по методу синхронизации данных (синхронные и асинхронные);
- по режиму работы (полудуплекс, дуплекс, симплекс);
- по виду модуляции (амплитудная, частотная, фазовая и их комбинации);
- по скорости передачи;
- по конструктивному исполнению (внешние, внутренние, встроенные).

Модемы работают на трех основных типах линий связи:

- обычные телефонные коммутируемые каналы с набором номера,
- выделенные каналы телефонных станций,
- линии с гальванической связью.

0.1.1 Коммутируемые каналы

Модемы с коммутируемым каналом связи могут устанавливать двухточечные соединения через телефонные станции с любой комбинацией ручного или автоматического набора или ответа. Качество соединения не гарантируется. Установленные связи почти всегда двухпроводные.

0.1.2 Выделенные каналы

Выделенные каналы (обычно с 4-мя проводами) служат для исключительного использования “арендованной линии”. Выделение линии означает, что устанавливается жесткая коммутация в кросс-шкафах телефонных станций. При этом, как правило, нет гальванической связи, так как межстанционные связи обычно непроводные. Используются или два модема (в простом двухточечном соединении) или несколько (на многоточечной сети). Если среда — телефонная сеть, то гарантируются амплитудные, фазово-частотные и шумовые характеристики канала, причем качество выше и стабильнее, чем для коммутируемых линий. Если связь включает некоторую радиопередачу, то качество канала может быть переменным.

0.1.3 Линии с гальванической связью

Линии с гальванической связью означают, что между абонентами имеется физическое соединение. В настоящее время сравнительно мало используемый вариант. Телефонные станции обычно готовы предоставлять такую дорогостоящую услугу в пределах одной станции. Такие линии часто организуются в виде специальной прокладки кабелей и оборудуются высокоскоростными модемами (от сотен Кбит/с до первых Мбит/с).

0.1.4 Двух- и четырехпроводные линии

Двухпроводная линия используется или для связи только в одном направлении (от передатчика к приемнику), или для поочередной связи в двух направлениях, или для одновременной связи в двух направлениях с частотным разделением каналов. Четырехпроводная линия — пара двухпроводных линий, одна для передачи и одна для приема, в которых сигналы в двух

направлениях полностью разделены. Полное разделение может иметь место только если четырехпроводная конфигурация поддерживается на всем протяжении от передатчика до приемника. Линии могут быть объединены гибридную двух/четырехпроводную сеть в любой точке на пути сигнала. В этом случае несоответствия импедансов вызовут отражения и интерференцию между двумя сигналами.

0.2.1 Синхронные модемы

Наиболее проста для понимания синхронная передача. Ее суть заключается в том, что одновременно с данными по дополнительной линии передаются синхроимпульсы тактирования. Приемник после получения синхроимпульса просто считывает данные из линии данных. Очевидно, что не требуются никакие дополнительные вычисления или обработка, но на каждую сигнальную линию требуется линия тактирования. Иллюстрация синхронной передачи показана на рис. 1.

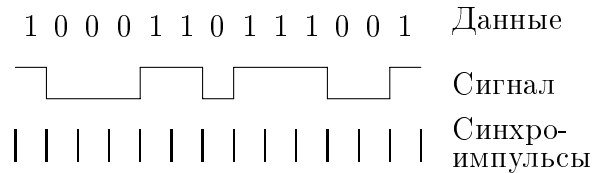


Рис. 1: Синхронная передача

Синхронные модемы, работающие на аналоговых телефонных каналах, используются при высоких скоростях обмена до 28800 бит/сек и выше. Обычные методы модуляции — фазовая и интегрированная фазово-амплитудная (при скоростях выше чем 4800 бит/сек). В синхронных модемах используются эквалайзеры (компенсаторы), чтобы выровнять характеристики телефонных линий. Эти компенсаторы вставлены в дополнение к компенсаторам, иногда уже существующим в телефонных линиях. Компенсаторы могут быть разбиты на следующие три основные группы:

1. Фиксированный (статистический) компенсатор. Эти компенсаторы смещают сигнал согласно среднему из известного затухания на каждой частоте. Настройка компенсатора обычно делается у изготовителя и фиксируется на месте. Такие компенсаторы обычно используются при работе на низких скоростях в линиях с набором номера.
2. Вручную корректируемый компенсатор. Эти компенсаторы могут быть настроены на оптимальную эффективность для данной линии. Они должны периодически подстраиваться для данной линии и быть заново настроены при замене линии. Для настройки используются кнопки внутри модема (или на внешней панели).
3. Автоматический компенсатор. Эти компенсаторы автоматически настраиваются при установлении соединения. В зависимости от качества линии компенсатор непрерывно (через 15–25 мс) производит опрос линии и подстраивается к измененным условиям, так что в каждый момент времени

модем функционирует при оптимальных условиях. В некоторых модемах подстройка выполняется до 2400 раз в секунду.

В синхронных модемах канал может быть разбит для отдельных потребителей на различные скорости. Модемы, которые имеют эту способность, называются SSM — Split System Modem.

0.2.2 Асинхронные модемы

При асинхронной передаче (передаче с нерегулярными интервалами, передаче без тактирующих импульсов) данные передаются по единственной линии. Приемник должен определить, когда и какие данные пришли. Для этой цели приемник часто, обычно в 16 раз чаще, чем максимальное быстродействие связи, опрашивает линию. Таким образом обнаруживается момент прихода и значение данных. Очевидно, что передаваемый элемент данных (обычно это 8-ми разрядный символ) должен быть окаймлен дополнительными битами, что требуется как для синхронизации, так и для того, чтобы можно было передать символ, состоящий из одних нулей или единиц. На рис. 2 показаны обмен данными по последовательной асинхронной связи RS-232 C. Стандарт на интерфейс RS-232 C разработан ассоциацией электронной промышленности (Electronic Industries Association — EIA). Компьютеры IBM PC обычно оборудованы не менее чем одним последовательным асинхронным адаптером, частично поддерживающим протокол RS-232 C.

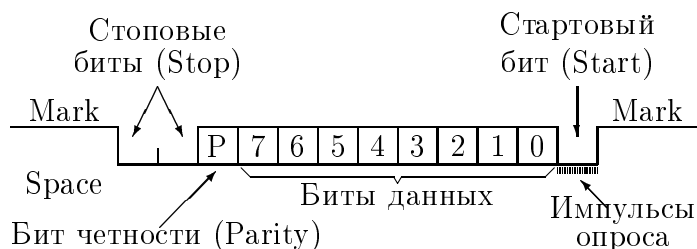


Рис. 2: Асинхронная передача данных

Исходное состояние линии — уровень логической 1, которое называется отмеченным (Mark). При начале передачи уровень переходит в логический 0 (пустое состояние, Space). Если линия находится в данном состоянии более определенного времени, то связь считается разорванной (Break).

После начала передачи уровнем логического 0 передается стартовый бит (Start). На рис. 2 только для стартового бита изображены импульсы опроса, которые генерируются приемной аппаратурой для определения значений передаваемых бит.

За стартовым битом следуют биты данных. На рис. 2 показан пример с 8 битами в символе с номерами от 0 до 7. Вслед за битами данных может следовать бит четности P, если используется проверка на четность.

Завершают передачу символа один или два стоповых бита (Stop). После этого линия опять переходит в состояние Mark.

И передатчик, и приемник должны быть настроены на одинаковый формат посылки (число бит в символе, есть/нет проверка на четность или нечетность, один/два стоповых бита) и одинаковую скорость передачи.

Пример использования асинхронного модема, работающего на двухпроводной телефонной линии с частотным разделением каналов приема и передачи, показан на рис. 3.

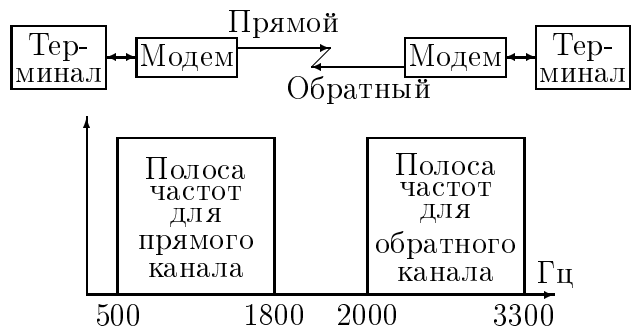


Рис. 3: Работа асинхронного модема на двухпроводной линии

Имеются три режима работы модемов, отличающиеся возможностями одновременной работы на прием и передачу:

- полудуплексный,
- дуплексный,
- симплексный.

0.3.1 Полудуплексный режим

Полудуплекс означает, что сигнал может быть передан в любом направлении, но не в обоих одновременно. Телефонный канал часто включает подавитель эха, позволяя передачу только в одном направлении; это означает полудуплексный канал. Подавители эха постепенно заменяются на эхо прерыватели, которые теоретически являются дуплексными устройствами. Когда модем соединен с двухпроводной линией, импеданс вывода не может быть абсолютно точно согласован с входным импедансом линии, и некоторая (обычно сильно искаженная) часть переданного сигнала будет всегда отражаться обратно. По этой причине полудуплексные приемники заблокированы, когда их локальный передатчик работает. Полудуплексные модемы могут работать в дуплексном режиме.

0.3.2 Дуплексный режим

Полный дуплекс (или просто дуплекс) означает, что сигналы могут быть переданы в обоих направлениях одновременно. Дуплексная работа на двухпроводной линии требует способности отделения принимаемого сигнала от отражения переданного сигнала. Это обеспечивается или FDM (frequency division multiplexing — мультиплексирование разделением частот), в котором сигналы в двух направлениях занимают различные полосы частоты и отделяются фильтрованием или отменой (прерыванием) эха (Echo Canceling — EC). Термин “полный дуплекс” обычно означает, что модем может передавать и получать одновременно на полной скорости. Модемы, которые обеспечивают медленный обратный канал, иногда называются асимметричными модемами или модемами с расщепленной скоростью. Полнодуплексные модемы не будут работать на полудуплексных каналах.

0.3.3 Симплексный режим

В этом режиме сигнал может быть передан только в одном направлении. Удаленный модем телеметрической системы сбора информации может быть симплексным, так как требуется передача только в одном направлении.

На переходе от местной линии, которая обычно является 2х проводной, к магистральной (обычно 4-х проводной) может происходить отражение сигнала. Эффект эха проявляется в том, что человек, говорящий в телефон, слышит свои собственные слова после короткой задержки. Для устранения проблемы эха на линиях длиннее 2000 км устанавливаются подавители эха. (На коротких линиях эхо возвращается настолько быстро, что люди не могут его обнаружить). Подавитель эха — устройство, которое обнаруживает человеческую речь, исходящую из одного конца соединения, и подавляет все сигналы, идущие в ином направлении. Ясно, что подавители эха предотвращают полнодуплексную передачу данных, которая без них была бы возможна даже на местной двухпроводной линии за счет распределения части полосы частот на прямой канал и части на обратный канал. Даже если полудуплексная передача приемлема, подавители эха создают помехи, так как на переключения направлений требуется время. Одновременный разговор полностью путает подавители эха и ослабление может быть неоднократно включено в обоих направлениях. Кроме того, они разработаны для реверсирования после обнаружения человеческой речи, а не цифровых данных. Для разрешения этих проблем, когда подавители эха обнаруживают специфический тон, они выключаются и остаются выключенными, пока присутствует несущая. Это отключение обычно делается в течение начального подтверждения связи одним модемом, передающим тон ответа или 2100 Гц (стандарт ITU), или 2225 Гц (модемы следующие старому стандарту Bell 103). Подавители эха постепенно заменяются на прерыватели эха (Echo Canceler), которые позволяют некоторый объем двойного разговора и не требуют времени “перекрытия” для любого источника разговора, чтобы воспринять управление соединением.

Каналы связи типа телефонных линий — обычно аналоговые каналы с ограниченной полосой частот. Для телефонных линий полосы частот составляет $300 \div 3300$ Гц. Передача цифровых данных, имеющих вид прямоугольных импульсов, по аналоговым каналам с ограниченной полосой частот приводит к их искажениям как это показано на рис. 1.

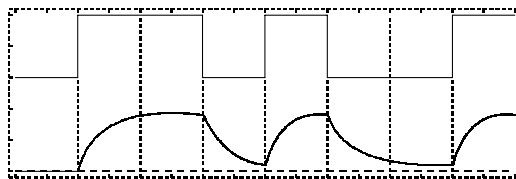


Рис. 1: Искажение цифрового сигнала в аналоговой линии

Приемник, который получает эти искаженные сигналы, будет неспособен их верно интерпретировать. Поэтому цифровые сигналы должны быть преобразованы в аналоговые сигналы так, чтобы каналы связи могли передавать информацию от одного места до другого. Это преобразование называется модуляцией аналогового сигнала. Любой измеримый параметр аналогового сигнала может использоваться для целей передачи информации путем изменения этого параметра некоторым известным способом в передатчике с последующим обнаружением этих изменений в приемнике. Сигнал, который модулируется, называется сигналом несущей, потому что он несет цифровую информацию с одного конца канала связи к другому концу. Устройство, которое изменяет сигнал на передающем конце канала связи, называется модулятором. Устройство в приемном конце канала, который выделяет цифровую информацию из модулируемого сигнала, называется демодулятором. Модулируемый аналоговый сигнал $S(t)$ — синусоидальная волна, которая может быть написана в математической форме следующим образом:

$$S(t) = A \times \sin(2 \times \pi \times f \times t + \phi).$$

Здесь A — амплитуда, f — частота сигнала, ϕ — фаза сигнала.

При модуляции может использоваться любой из этих трех измеримых и изменяемых параметров синусоидальной волны для целей кодирования. Имеются три базовых метода модуляции, каждый из которых изменяет один из параметров модулируемого аналогового сигнала.

0.4.1 Амплитудная модуляция

(Amplitude Modulation — АМ.) В этом виде модуляции в соответствии с цифровыми данными меняется амплитуда сигнала несущей как это показано

на рис. 2 где большой амплитуде синусоидальной волны соответствует “1”, а нулевая амплитуда соответствует “0”.

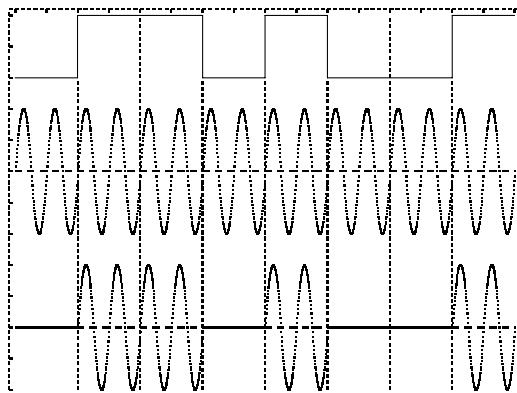


Рис. 2: Амплитудная модуляция

Основное преимущество этого метода — простота формирования и детектирования сигналов. Два главных недостатка заключаются в следующем. Во-первых, скорость изменения амплитуды ограничена шириной полосы частот линии. Во-вторых, ненадежно детектируются малые изменения амплитуды. Телефонные линии ограничивают изменения амплитуды приблизительно до 3000 изменений в секунду. Недостатки амплитудной модуляции привели к тому, что непосредственно она более не используется в модемах, однако используется совместно с другими методами.

0.4.2 Частотная модуляция

(Frequency Modulation — FM.) В этом виде модуляции в соответствии с цифровыми данными меняется частота сигнала несущей. Передатчик посылает различные частоты для “1” и для “0”, как это показано на рис. 3.

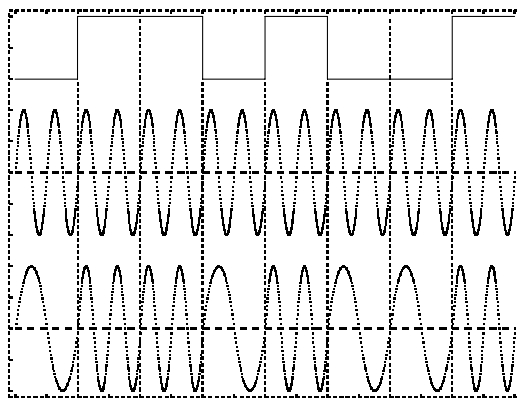


Рис. 3: Частотная модуляция

Этот метод также называется “кодирование сдвигом частот” (Frequency Shift Keying — FSK). Недостатки этого метода, как и амплитудной модуляции, состоят в том, что скорость изменений частоты ограничена шириной

полосы частот линии. Искажения, вызванные линией, делают детектирование в этом случае даже тяжелее, чем при амплитудной модуляции. В настоящее время этот метод используется только в низкоскоростных асинхронных модемах до 1200 бод.

0.4.3 Фазовая модуляция

(Phase Modulation — PM.) В этом методе модуляции передается синусоидальная волна, фаза которой несет цифровые данные. Для “0” передается синусоидальная волна со сдвигом фазы в 0° ($\phi = 0$). Для “1” передается синусоидальная волна со сдвигом фазы в 180° как это показано на рис. 4.

Для выполнения детектирования эта методика требует фазовой синхронизации передатчика и приемника, что усложняет конструкцию приемника.

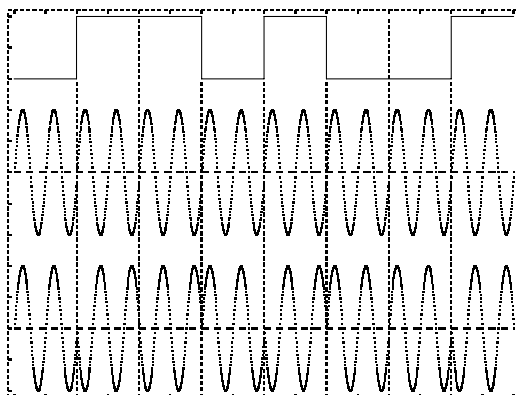


Рис. 4: Фазовая модуляция

0.4.4 Непрерывная фазовая модуляция

(Continuous Phase Modulation — CPM.) Отличие от других методов фазовой модуляции состоит в том, что в переходе от одного символа к другому фаза изменяется непрерывно, а не шагами. Способ непрерывного изменения фазы означает, что ширина полосы частот переданного сигнала ограничена и наивысшая скорость передачи данных может достигать ширины полосы частот.

(Differential Phase Modulation — DPM.) Этот вид модуляции является под-методом фазовой модуляции. Отличия состоят в том, что цифровые данные кодируются не абсолютным значением, а приращением фазы для каждой смены сигнала. Например, “0” кодируется сдвигом фазы в 90° , а “1” кодируется сдвигом фазы в 270° как это показано на рис. 5.

Ясно, что этот метод для детектирования проще предыдущего, так как приемник должен обнаружить сдвиги, а не абсолютное значение фазы. Этот метод также называется “кодирование сдвигом фазы” (Phase Shift Keying — PSK). В зависимости от числа возможных значений сдвига фазы выделяются следующие разновидности PSK — BPSK (два значения), QPSK (четыре значения) и 8PSK (восемь значений).

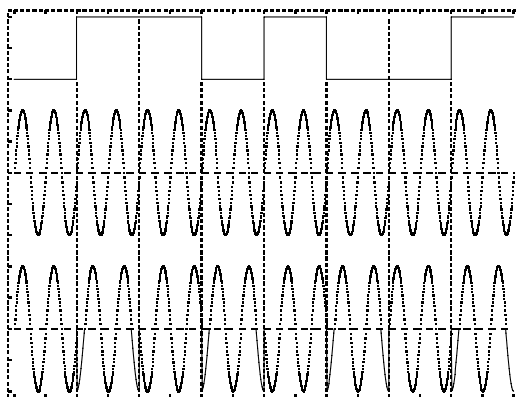


Рис. 5: Дифференциальная фазовая модуляция

0.4.6 Квадратурная амплитудная модуляция

(Quadrature Amplitude Modulation — QAM.) Этот метод — комбинация амплитудной и фазовой модуляции. По этой методике одновременно передаются два сигнала несущей одной и той же частоты со сдвигом фазы между ними на 90° . Математическая форма переданного сигнала следующая:

$$S(t) = A \times \sin(\omega \times t) + B \times \sin(\omega \times t).$$

Здесь A , B , являются амплитудой двух сигналов несущей. Каждая из них может получать одно из допустимых значений. Полагая, что значения амплитуд могут принимать значения из набора 0,1,2,3, получим, что за период могут быть переданы 4 бита. Два бита представит сигнал A и столько же представит сигнал B .

0.4.7 Решетчатая модуляция

(Trellis Coded Modulation — ТСМ.) Современная методика, которая использует ранее рассмотренные методы модуляции типа QAM или PSK совместно с кодированием, чтобы повысить скорости передачи данных.

0.5.1 Единицы измерения (бит/с и бод)

Скорость обмена для пользователей измеряется в количестве переданных битов в секунду. Количество изменений состояний линии в секунду измеряется в бодах. Ясно, что это не одно и то же в том случае, если за одно изменение состояния линии (передачу одного символа) передается не один бит. Рассмотрим некоторые примеры.

Пусть биты 0 и 1 кодируются частотами 420 и 840 Гц, соответственно. Т.е. используется простой метод модуляции — кодирование сдвигом частоты. Ниже показаны последовательности битов и соответствующих им тонов.

0 1 1 0 1 0 0 1 1 1 0 0 1 0 1 0
 420 840 840 420 840 420 420 840 840 840 420 420 840 420 840 420

В этом случае скорости и в бит/с и в бодах, будут совпадать, так как одному биту данных соответствует одно изменение состояния линии. Такой метод использовался на скоростях не выше 1200 бит/с.

Рассмотрим теперь простую схему двухбитового кодирования в соответствии со следующими правилами:

Биты	Частота	Символ
0 0	420	'0'
0 1	840	'1'
1 0	1260	'2'
1 1	1680	'3'

Тогда поток 16 бит из предыдущего примера будет представлен 8 тональными посылками, т.е. 8 символами:

Биты	0 1	1 0	1 0	0 1	1 1	0 0	1 0	1 0
Частота	840	1260	1260	840	1680	420	1260	1260
Символ	'1'	'2'	'2'	'1'	'3'	'0'	'2'	'2'

В примере использовалась частотная модуляция. Обычно используется комбинация методов модуляции. Рассмотрим в качестве примера комбинацию амплитудной и фазовой модуляций для 8-ми уровневой (3-х битовой) схемы кодирования

Относительная амплитуда	Сдвиг фазы	Значения бит	Код символа
1	45	000	'0'
1	135	001	'1'
1	225	010	'2'
1	315	011	'3'
2	45	100	'4'
2	135	101	'5'
2	225	110	'6'
2	315	111	'7'

Уже рассмотренные 16 бит могут быть переданы последовательностью из 6 символов (последняя группа дополнена двумя нулевыми битами):

Биты	0 1 1	0 1 0	0 1 1	1 0 0	1 0 1	0 0 0
Символ	'3'	'2'	'3'	'4'	'5'	'0'

Принимающий модем интерпретирует каждый считанный символ как три бита.

Экстраполируя, при 16-уровневой (4-х битовой) схеме кодирования те же 16 бит мы передадим за 4 посылки в линию.

Таким образом, используя кодирование, мы можем повысить скорость передачи для одной и той же линии связи.

Клод Шеннон в 1948 г. показал, что максимальная пропускная способность (скорость передачи бит информации) линии связи ограничена отношением сигнал/шум:

$$C = W \times \log(1 + S/N) / \log(2),$$

где C — максимальная пропускная способность, W — ширина полосы частот, S/N — отношение мощностей сигнала к мощности шума.

Телефонные линии имеют ширину полосы частот ~ 3000 Гц, максимум S/N составляет примерно 1000 (30 Дб). Следовательно теоретически на телефонных линиях можно достичь фактической скорости обмена порядка 30 Кбит/с.

Рассмотренное выше кодирование повышает эффективную скорость обмена за счет передачи меньшего числа символов.

Дополнительное повышение эффективной скорости обмена может дать сжатие данных перед передачей и их распаковка на приемном конце. В этом случае сокращается объем данных, передаваемых по линии связи, и, следовательно, возрастает эффективная скорость.

Ранние модемы, работавшие на телефонных линиях, имели скорость обмена 1200 бит/с, современные модемы — 33.6 и 56 Кбит/с.

Краткая сводка скоростных характеристик модемов различных типов для коммутируемых каналов приведена далее в табл. 1. Более подробные сведения о типах модемов приведены в разд. 0.7.

Таблица 1: Скорости некоторых модемов

Тип	Год	Бит/с	Тип	Год	Бит/с
V.21	1964	300	V.32	1984	9600
V.22	1980	1200	V.32bis	1991	14400
V.22bis	1984	2400	V.34	1994	28800
V.26bis	1972	2400	V.34bis	1995	33600
V.26ter	1984	2400	V.90	1998	56000

0.5.2 Автоматическое уменьшение скорости

Как видно из табл. 1 различные типы модемов работают на заметно отличающихся скоростях. Для предоставления возможности адаптации к качеству линий связи и к работе с менее скоростными модемами начиная с V.32 (9600 бит/с) модемы имеют средства для работы на более низких скоростях. Вызывающий модем сначала пробует соединиться на самом высоком быстродействии (или лучшей схеме сжатия данных или исправлении ошибок). Если вызываемый модем не отвечает, что он может обрабатывать требуемый протокол, вызывающий модем переходит к меньшему быстродействию или менее эффективной схеме сжатия и пробует соединиться снова. Некоторые сведения о регламентированном понижении скоростей приведены ниже в табл. 2 и разд. 0.7.

Таблица 2: Регламентируемое понижение скорости работы модемов

Тип	Бит/с
V.32	9600, 4800, 2400
V.32bis	14400, 12000, 7200
V.34	от 28800 до 4800
V.34bis	33600 и менее
V.90	56000 совместим с V.34bis

0.6 КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ МОДЕМОВ

Имеется три варианта конструктивного исполнения модемов:

- внешние, подключаемые к компьютеру через порт RS 232C;
- внутренние, устанавливаемые как плата в компьютер;
- встроенные в компьютер.

0.6.1 Внешние модемы

Внешние модемы являются более мобильными устройствами. Он легко переносится от компьютера к компьютеру. Для этого достаточно отключить три разъема. Схема подключения внешнего модема с телефонной линии и компьютеру показана на рис. 1.

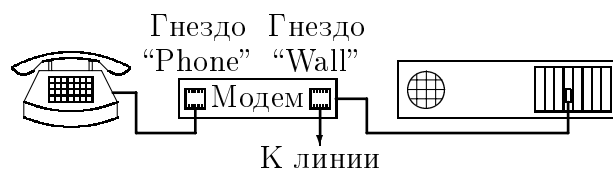


Рис. 1: Подключение внешнего модема

Аналоговые узлы внешнего модема более защищены от внешних помех. При мощных внешних наводках, например от удара молнии, более вероятно, что выгорит только внешний модем, а ПЭВМ останется целой. Кроме того внешние модемы имеют индикацию состояния, вариант которой показан на рис. 2.



Рис. 2: Сигнализация внешнего модема

HS	High Speed	Горит, если модем работает на максимально возможной для него скорости
AA	Auto Answer	Модем работает в режиме автоответа на входящие звонки. Мигает, если модем обнаружил звонок (вызов).
CD	Carrier Detect	Горит на протяжении сеанса связи. Гаснет, если один из (двух) модемов положит трубку.
OH	Off Hook	Горит, если модем снял трубку (занял линию)
RD	Receive Data	Мигает, если модем передает данные компьютеру
SD	Send Data	Мигает, если модем получает данные от компьютера
TR	Terminal Ready	Горит, если компьютер готов к обмену с модемом
MR	Modem Ready	Горит, если модем готов к обмену данными

0.6.2 Внутренние модемы

Внутренние модемы, вставляемые как плата в компьютер, имеют меньшую мобильность и ориентированы на определенный тип компьютера. Они не имеют внешней сигнализации и в принципе более сложна защита их аналоговых цепей от паразитных наводок. В целом они имеют худшее соотношение сигнал/шум, потому что находятся внутри такого мощного источника помех как компьютер. Эти модемы имеют переключатели и перемычки, позволяющие настроить интерфейс модема с компьютером (номер асинхронного порта, номер линии прерываний).

0.6.3 Встроенные (интегрированные) модемы

Встроенными модемами оснащаются некоторые модели ПЭВМ и большинство современных ноутбуков. Их основное отличие от встраиваемых состоит в том что они полностью немобильны.

Рекомендации серии V ITU (до 1993 г. — ССИТТ) регламентируют процедуры передачи данных по телефонной сети. Эти рекомендации содержат следующие основные разделы:

- V.1, V.2,... — общие положения;
- V.1x, V.2x — стыки и модемы тональной частоты;
- V.3x — широкополосные модемы;
- V.4x — защита от ошибок;
- V.5x — качество передачи и техническая эксплуатация;
- V.11x — взаимодействие с другими сетями;
- V.90 — стандарт на 56 Кбит/с модем для телефонных линий.

В этом разделе в виде коротких резюме приведены основные сведения о некоторых из рекомендаций ITU: V.22 bis, V.24, V.25, V.26, V.26 bis, V.26 ter, V.27, V.28, V.29, V.32, V.35.

V.22 bis. Дуплексный модем на скорость 2400 бит/с с применением метода частного разделения, стандартизированный для использования на коммутируемой телефонной сети общего пользования и двухточечных двухпроводных арендованных каналах телефонного типа. Год утверждения — 1984.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью 2400 или 1200 бит/с по 2-х проводному телефонному каналу (коммутируемому или арендованному). Каналы передач данных для двух направлений связи разделяются по частоте. Несущая частота в нижнем канале равна 1200 Гц, в верхнем 2400 Гц. При скорости 2400 бит/с в каждом канале применена относительная амплитудно-фазовая модуляция с 16-ю состояниями сигнала и со скоростью модуляции 600 бод. При скорости 1200 бит/с применена относительная 4-х фазная модуляция. Модем имеет 4 режима работы:

- 2400 бод, синхронно;
- 2400 бод, стартстопно, 8,9,10 или 11 битов в знаке;
- 1200 бод, синхронно;
- 1200 бод, стартстопно, 8,9,10 или 11 битов в знаке.

В состав модема включается адаптивный автоматический корректор, рассчитанный на выравнивание усредненной частотной характеристики коммутируемого канала. Включается также скремблер для обеспечения “прозрачности” организуемого дискретного канала. Для предотвращения ложных срабатываний приемников телефонной сигнализации в модеме предусмотрена передача защитного тона 1800 Гц (допускается 550 Гц).

Стык модема с ООД содержит около 15 цепей, в том числе цепи синхронизации. Электрические характеристики цепей стыка должны соответствовать рекомендации V.28, а распределение контактов в разъеме — стандарту ISO 2110.

V.24. Перечень определений цепей стыка между оконечным оборудованием данных и аппаратурой окончания канала данных. Год утверждения — 1964.

Приведен список рекомендованных цепей стыка между АКД и ООД. Список содержит: цепи стыка серии 100 (цепи общего назначения) и цепи серии 200 (цепи для управления при параллельном автоматическом вызове). Цепи серии 100 включают в себя 43 цепи различного назначения, служащие как для передачи сигналов данных, так и для осуществления ряда служебных функций. Они используются также для программирования АКД и управления при последовательном автоматическом вызове.

Основными цепями серии 100 являются:

- 102 — сигнальная земля или общий обратный провод,
- 103 — передаваемые данные (из ООД в АКД),
- 104 — принимаемые данные (из АКД в ООД),
- 105 — запрос передачи (от ООД к АКД),
- 106 — готов к передаче (от АКД к ООД),
- 107 — аппаратура передачи данных готова (от АКД к ООД),
- 108/1 — подключить аппаратуру передачи данных к линии,
- 108/2 — оконечное оборудование данных готово (от ООД к АКД),
- 109 — детектор принимаемого сигнала канала данных (от АКД к ООД),
- 114 — синхронизация элементов передаваемого сигнала (от АКД к ООД),
- 118 — передаваемые данные обратного канала (от ООД к АКД),
- 119 — принимаемые данные обратного канала (от АКД к ООД),
- 125 — индикатор вызова от (от АКД к ООД),
- 140 — шлейф испытания для техобслуживания (от ООД к АКД),
- 141 — местный шлейф (от ООД к АКД),
- 142 — индикатор испытания (от АКД к ООД).

Цепи серии 200 включают в себя 12 цепей, используемых во время параллельного автоматического вызова, в том числе:

- 202 — запрос вызова (от ООД к АКД),
- 203 — линия данных занята (от АКД к ООД),
- 204 — дальняя установка подключена (от АКД к ООД),
- 206, 207, 208, 209 — цифровой сигнал (от ООД к АКД),
- 210 — запрос следующей цифры (от АКД к ООД).

Определяются функции каждой цепи и взаимосвязь между ними. Для конкретной аппаратуры в соответствии с потребностями может быть произведен выбор цепей из общего списка.

V.25. Устройство автоматического ответа и/или устройство автоматического параллельного вызова для коммутируемой телефонной сети общего пользования, а также нейтрализация устройств управления эхом при руч-

Определены принципы построения устройств параллельного автоматического вызова, включаемого в состав АКД в тех случаях, когда управление вызовом (в том числе набор номера) производится не вручную, а автоматически, под управлением ООД. Для параллельного автоматического вызова используются цепи стыка серии 200. Описываются рекомендуемые процедуры на стыке ООД–АКД в вызывающей и вызываемой оконечных установках данных. Описываются также процедуры в телефонном канале во время установления соединения. После набора номера вызывающая АКД посылает в телефонный канал прерываемый вызывной тон (1300 Гц или другую частоту соответствующую двоичной 1 в применяемой АКД). Вызываемая АКД посылает ответный тон 2100 Гц. Посылаемый в канал сигнал 2100 Гц обеспечивает нейтрализацию (отключение) эхозаградителей или других устройств управления эхо, которые могут содержаться в коммутируемой телефонной сети в канале большой протяженности.

Обычный телефонный абонент, случайно подсоединенный к автоматически вызывающей или автоматически отвечающей установке, будет получать тональные сигналы в течении достаточно длительного времени, чтобы определенно убедиться в неверном соединении.

V.26. Модем на 2400 бит/с, стандартизированный для использования на четырехпроводных арендованных каналах телефонного типа. Год утверждения — 1968.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью 2400 бит/с по 4-проводным арендованным каналам тональной частоты. Используется относительная четырехфазная модуляция. Поток данных, подлежащих передаче, разделяется на пары битов (дибиты). В зависимости от вида дибита изменяется фаза линейного сигнала; изменения производятся со скоростью модуляции 1200 бод. Предусмотрена возможность организации узкополосного канала на скорость 75 бит/с. Особенностью модема является то, что он предназначен для работы по каналам, удовлетворяющим рекомендации M.1020 (то есть по каналам особого качества). Стык модема с ООД содержит около 15 цепей, в том числе цепи синхронизации. Электрические характеристики цепей стыка должны соответствовать рекомендации V.28, а распределение контактов в разъеме — стандарту ISO 2110.

V.26 bis. Модем на 2400/1200 бит/с, стандартизированный для использования на коммутируемой сети общего пользования. Год утверждения — 1972.

Стандартизирован модем для полудуплексной работы со скоростью 2400 или 1200 бит/с по 2-проводным каналам коммутируемой телефонной сети. Принципы построения модема базируются на положениях рекомендации V.26.

Отличие заключается в добавлении уменьшенной скорости 1200 бит/с, на которую можно перейти, если не проходит работа на скорости 2400 бит/с. Указывается, что нормальная работа на скорости 2400 бит/с не может быть гарантирована по каждому соединению или направлению. Рекомендуется проводить испытания до принятия решения об организации конкретной системы передачи данных, работающей по коммутируемой телефонной сети со скоростью 2400 бит/с.

V.26 ter. Дуплексный модем на 2400 бит/с с методом эхокомпенсации, стандартизированный для использования на коммутируемой телефонной сети общего пользования и двухточечных двухпроводных арендованных каналах телефонного типа. Год утверждения — 1984.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью 2400 или 1200 бит/с по 2-проводному телефонному каналу (коммутированному или арендованному). В отличие от модема V.22 здесь каналы передачи данных для двух направлений работают на одинаковой несущей частоте 1800 Гц и разделяются методом эхокомпенсации. Применена относительная 4-фазная модуляция (на скорости 2400 бит/с) и 2-фазная (на скорости 1200 бит/с). Модем имеет 4 режима работы:

- 1) 2400 бит/с, синхронно;
- 2) 2400 бит/с, стартстопно, 8, 9, 10 или 11 битов в знаке;
- 3) 1200 бит/с, синхронно; 4) 2400 бит/с, стартстопно, 8, 9, 10 или 11 битов в знаке.

В состав модема включается скремблер и корректор (адаптивный автоматический или компромиссно фиксированный). Стык модема с ООД содержит около 15 цепей, в том числе цепи синхронизации. Электрические характеристики цепей стыка должны соответствовать рекомендации V.28, а распределение контактов в разъеме – стандарту ISO 2110.

V.27. Модем на 4800 бит/с с ручным корректором, стандартизированный для использования на арендованных каналах телефонного типа. Год утверждения — 1972.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью 4800 бит/с по 4-проводному арендованному каналу тональной частоты. Может использоваться канал особого или обычного качества. В модеме применена относительная 8-фазная модуляция, при которой фаза сигнала изменяется со скоростью фазовой модуляции 1600 бод в зависимости от вида последовательности из трех битов (трибитов). В состав модема должен входить регулируемый вручную корректор, способный компенсировать искажения частотных характеристик канала. Возможно введение узкополосного обратного канала на скорость до 75 бит/с. Этот канал может использоваться, например, для передачи запросов на повторение блоков данных, принятых с ошибками. Стык модема

с ООД содержит около 15 цепей, в том числе цепи синхронизации. Электрические характеристики цепей стыка должны соответствовать рекомендации V.28, а распределение контактов в разъеме — стандарту ISO 2100.

В модеме содержится скремблер/дескремблер. В скремблере (в передающей части модема) передаваемый сигнал умножается на квазислучайный сигнал, генерируемый с помощью образующего полинома $1 + X^{-6} + X^{-7}$. В дескремблере (в приемной части модема) производится обратная операция, после чего сигнал приобретает первоначальную форму. Благодаря этому сигнал в канале связи будет всегда содержать в себе тактовую частоту и будет иметь более равномерный спектр. Это повышает устойчивость работы модема и обеспечивает “прозрачность” организуемого дискретного канала.

V.28. Электрические характеристики несимметричных цепей стыка, работающих двухполюсным током. Год утверждения — 1972.

Нормируются характеристики двухполюсных цепей стыка между ООД и АКД, работающих со скоростями не выше 20000 бод. Рекомендация V.28 предназначена для использования в аппаратуре на транзисторных схемах. Приведены значения электрических характеристик этой схемы. Максимальное напряжение в цепи не должно превышать ± 25 В. В цепях передачи данных позиция “1” должна соответствовать напряжению на стыке не менее -3 В, в позиция “0” — напряжению более $+ 3$ В. В управляющих цепях эти сигналы соответствуют позициям “разомкнуто” и “замкнуто”.

V.29. Модем на 9600 бит/с, стандартизированный для использования на двухточечных четырехпроводных арендованных каналах телефонного типа. Год утверждения — 1976.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью передачи данных 9600 бит/с по 4-проводным арендованным каналам тональной частоты, удовлетворяющим рекомендациям M.1020 или M.1025 (рекомендации о характеристиках каналов особого качества). Предусмотрена возможность снижения скорости до 7200 или 4800 бит/с. При скорости 9600 бит/с применяется относительная амплитудная модуляция с 16-ю состояниями сигнала. При скорости 7200 бит/с используется лишь 8 состояний сигнала. При скорости 4800 бит/с используется 4-фазная модуляция. Скорость модуляции линейного сигнала при всех скоростях передачи данных составляет 2400 бод. В состав модема входит адаптивный автоматический корректор, а также скремблер. Может входить также мультиплексор для разделения общего потока (например, со скоростью 9600 бит/с) на несколько подканалов с меньшими скоростями (например, 2400 и 4800 бит/с). Стык модема с ООД содержит около 15 цепей, в том числе цепи синхронизации. Электрические характеристики цепей стыка должны соответствовать рекомендации V.28, а распределение контактов в разъеме — стандарту ISO 2110.

V.32. Семейство двухпроводных дуплексных модемов со скоростями передачи данных до 9600 бит/с для использования на коммутируемой телефонной сети общего пользования и арендованных каналах телефонного типа. Год утверждения — 1984.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью 9600 или 4800 бит/с (допустима также скорость 2400 бит/с) по 2-проводному телефонному каналу (коммутированному или арендованному). Каналы передачи данных для двух направлений работают на одинаковой несущей частоте 1800 Гц и разделяются методом эхокомпенсации. Увеличение скорости достигнуто применением многоуровневой амплитудно-фазовой модуляции со скоростью модуляции 2400 бод. На скорости 9600 бит/с применяются два метода: с 16-ю и 32-мя состояниями сигнала. Метод с 16-ю состояниями (безизбыточный метод) должен предусматриваться всегда в целях совместимости модемов на скорости 9600 бит/с. Метод с 32-мя состояниями позволяет применить избыточное “решетчатое” кодирование. На скорости 4800 бит/с применяется относительная 4-фазная модуляция. В состав модема входит адаптивный автоматический корректор, а также скремблер. В начале работы модемы обмениваются специальными служебными сигналами, обеспечивающие автоматическое установление скорости передачи и значений других переменных.

На стыке модема с ООД содержит около 15 цепей, в том числе цепи синхронизации. Электрические характеристики цепей стыка должны соответствовать рекомендации V.28, а распределение контактов в разъеме — стандарту ISO 2110.

V.35. Передача данных со скоростью 48 Кбит/с по первичным широкополосным каналам с полосой 60–108 кГц. Год утверждения — 1968.

Стандартизирован модем для дуплексной работы со скоростью передачи данных 9600 бод по арендованным 4-проводным первичным широкополосным каналам с шириной полосы пропускания 48 кГц. Могут применяться только каналы с групповой контрольной частотой 104.08 кГц. Используется амплитудная модуляция с одной боковой полосой, несущая частота равна 100 кГц. Предусмотрен скремблер. Он позволяет не только повысить устойчивость, но и избежать перегрузки широкополосного канала дискретными частотными компонентами с высокими уровнями. В полосе 104–108 кГц может быть организован служебный телефонный канал. Он должен доводиться до помещения абонента даже в случае, когда модем устанавливается на предприятии связи. Стык модема с ООД содержит около 10 проводов. Цепи данных должны выполняться из симметричных скрученных пар с волновым сопротивлением 80–120 Ом. Для остальных (управляющих) цепей рекомендуется применять электрические характеристики по V.28.

С самого начала использования модемов из-за воздействия помех в системах передачи данных начали разрабатываться способы (протоколы) коррекции (исправления) ошибок. Наиболее широкое применение и известность приобрели методы, разработанные фирмой Microcom, которые получили название Microcom Network Protocol — MNP.

В соответствии с протоколом MNP данные пользователя собираются в блоки перед их передачей. Использование блоков данных позволяет выявлять наличие ошибок. В данном случае средства исправления ошибок встроены в модем, так что блоки принимаемых и передаваемых данных проверяются и, если это необходимо, исправляются.

В настоящее время разработаны 9 уровней (классов) протокола MNP. Рассмотрим, где применяются и что позволяют достичь различные классы протокола MNP.

Класс 1. Первый уровень протокола MNP применяется для асинхронного байт-ориентированного полудуплексного метода обмена данными. Эффективность исполнения MNP-1 составляет 70%. Т.е. модем, оснащенный протоколом этого класса, при скорости 2400 бит/с будет в действительности иметь производительность порядка 1690 бит/с.

Класс 2. Второй уровень протокола MNP применяется для асинхронного байт-ориентированного полностью дуплексного метода обмена данными. Эффективность исполнения MNP-2 составляет 84%. Т.е. модем, оснащенный протоколом этого класса, при скорости 2400 бит/с будет в действительности иметь производительность порядка 2000 бит/с.

Класс 3. Третий уровень протокола MNP применяется для синхронного бит-ориентированного полностью дуплексного метода обмена данными. Этот метод обмена данными эффективнее асинхронного байт-ориентированного метода, поскольку асинхронный метод использует 10 бит для представления 8 бит данных из-за “старт” и “стоп” битов. Синхронный метод не требует “старт” и “стоп” битов. Пользователь, тем не менее, посылает данные модему асинхронно; в это же время модемы взаимодействуют друг с другом синхронно.

Эффективность исполнения MNP-3 составляет около 108%. Т.е. модем, оснащенный протоколом этого класса, при скорости 2400 бит/с будет в действительности иметь производительность порядка 2600 бит/с.

Класс 4. На этом уровне с целью дальнейшего увеличения производительности модема вводятся два новых метода: *Adaptive Packet Assembly* и *Data Phase Optimization*.

С помощью метода *Adaptive Packet Assembly* модем постоянно контролирует надежность передающей среды. Если линия связи относительно безошибочна, модем автоматически повышает размеры передаваемых пакетов данных. Тем самым, уменьшается время, необходимое для контроля над передаваемыми пакетами. В случае ухудшения качества линии модем автоматически сокращает размеры передаваемых пакетов, чтобы уменьшить время, необходимое для их повторной передачи.

Метод *Data Phase Optimization* обеспечивает сокращение размеров административной (вспомогательной) информации, которой сопровождаются пакеты данных. Это достигается за счет того, что при устойчивой работе линии связи значительная часть вспомогательной информации от одного пакета данных к следующему не меняется.

Эффективность исполнения MNP-4 составляет около 120%. Т.е. модем, оснащенный протоколом этого класса, при скорости 2400 бит/с будет в действительности иметь производительность порядка 2900 бит/с.

Класс 5. На этом уровне дополнительно к MNP-4 вводится услуга сжатия данных. Используется адаптивный алгоритм реального времени, т.е. процедура сжатия оптимизируется относительно типа данных. Алгоритм сжатия последовательно анализирует передаваемые данные и настраивает свои параметры для получения максимального коэффициента сжатия.

Алгоритм сжатия настраивается на тип обрабатываемых данных. В зависимости от типа данных коэффициент сжатия варьируется от 1.3:1 до 2:1. Так, файлы типа COM и EXE имеют меньший коэффициент сжатия, а текстовые файлы больший. Средний коэффициент сжатия при использовании MNP-5 равен 1.6:1 или 160%.

Эффективность исполнения MNP-5 может достигать 200%. Т.е. модем, оснащенный протоколом этого класса, при скорости 2400 бит/с будет в действительности иметь производительность 4800 бит/с.

Класс 6. На этом уровне дополнительно к услугам MNP-5 вводятся возможности: *Universal Link Negotiation* и *Statistical Duplexing*. Это технология создает универсальный класс модемов и позволяет использовать друг с другом ранее несовместимые устройства.

Большинство модемов работающих на скоростях 1200 и 2400 бит/с спроектированы так, чтобы быть совместимыми с низкоскоростными моделями. Так, модемы типа Bell 212A функционируют со скоростью 1200 бит/с и работают по стандарту Bell 103 на скорости 300 бит/с. Таким же образом модемы выполненные по рекомендации V.22 bis функционируют как модемы Bell 103 на 300 бит/с и Bell 212A на 1200 бит/с. Однако, высокоскоростные модемы, отвечающие V.29 и V.32, не обеспечивают совместимость друг с другом и с низкоскоростными устройствами типа Bell 212A и V.22 bis. До появления

MNP-6, не имелось возможности возмозжности модему функционировать во всем диапазоне скоростей от 300 до 9600 бит/с.

Алгоритм *Universal Link Negotiation* позволяет модемам начать обмен на общей малой скорости и договориться использовать одну из альтернативных высокоскоростных технологий модуляции. Примером такого устройства является модем AX/962C фирмы Microsom. Этот алгоритм использует скорость 2400 бит/с согласно V.22 bis для переговоров по линии связи. При успешном окончании переговоров, модем переключается на работу со скоростью 9600 бит/с согласно V.29.

Алгоритм *Statistical Duplexing* используется при высоко-скоростной работе в полудуплексном режиме. Этот алгоритм динамически управляет трафиком данных пользователя так, что достигается эффект полностью дуплексных услуг обмена данными.

Модем базирующийся на рекомендации V.29 с протоколом MNP-6, достигает максимальной производительности на задачах передачи файлов. При этом, на коммутируемых линиях связи достигается скорость 19.2 Кбит/с и выполняется алгоритм сжатия данных по протоколу MNP-5.

Такие модемы используются для подключения высокоскоростных интерактивных терминалов. Обновление экрана производится со скоростью от 9.6 до 19.2 Кбит/с. Полное обновление экрана занимает время менее 1 секунды.

Класс 7. Определяет технологию повышенного сжатия данных, об использовании которой модемы могут договориться на основе обоюдных вызовов. Аналогично MNP-5, алгоритм сжатия адаптируется к типу передаваемых данных.

Кроме того, в алгоритме MNP-7 осуществляется предсказание вероятности появления символов в потоке данных. Этот алгоритм позволяет кодировать данные наиболее короткими кодами Хаффмана; таким образом достигается повышенный коэффициент сжатия. Реальная оценка коэффициента сжатия — 2.4:1.

Эффективность исполнения MNP-7 может достигать 300%. Т.е. модем, оснащенный протоколом этого класса, при скорости 2400 бит/с будет в действительности иметь производительность 7200 бит/с.

Другая процедура сжатия данных представлена в рекомендации CCITT V.42 bis, принятой в феврале 1988 г.

V.42 bis базируется на алгоритме сжатия данных разработки Lempel-Ziv. Данный алгоритм использует метод скользящего словаря и древовидного кодирования данных. Сообщения разбиваются на блоки размером по 4 К или 8 К.

Используя данные, заложенные в блоке (n-1), проводится последовательное сравнение данных блока n со словарем (n-1). При этом могут сравни-

ваться отдельные фрагменты текста, слова, буквы. Местоположение указанных фрагментов кодируется с указанием начала фрагмента и длины; затем выполняется кодирование по древовидной системе. Незнанные фрагменты анализируются и также кодируются по древовидной схеме. Наиболее часто встречающиеся буквы содержат минимальное число битов для кодирования, редко встречающиеся буквы содержат максимальное число битов для кодирования.

Фирма Hayes в модемах серии Smartmodem реализовала набор команд управления, представляющих собой читаемые текстовые строки, воспринимаемые и интерпретируемые модемом. Команды начинаются с префикса AT (сокращение от Attention — внимание), поэтому они называются AT-командами, и заканчиваются символом возврата каретки (<CR>). Только команда A/ и Escape-последовательность +++ не требуют префикса AT. Модемы, воспринимающие эти команды называются Hayes-совместимыми.

Hayes-совместимые модемы имеют набор из так называемых S-регистров, характеризующих состояние модема. Значения части регистров сохраняются в энергонезависимой памяти и используются при последующих включениях. Значения других же регистров не сохраняются, поэтому при повторных включениях используется значение, устанавливаемое в данный регистр по умолчанию. В табл. ?? приведено пояснение двенадцати “классических” S-регистров. В графе “ЭППЗУ” знаком плюс отмечены регистры, сохраняемые в электрически перезаписываемом ПЗУ. В современных модемах S-регистров больше двенадцати. Более подробные сведения можно получить из технической документации на конкретный модем.

ь	ЭППЗУ	Назначение
S0	+	число звонков до ответа на вызов (0 — нет автоответа)
S1		счетчик звонков, только чтение, нет записи
S2		код Escape-символа, обычно “+”, тогда “+++”
S3		код символа <CR>, обычно 13 (Control M)
S4		код символа <LF>, обычно 11 (Control L)
S5		код символа <Backspace>, обычно 8 (Control H)
S6		время в с ожидания гудка после поднятия трубки
S7		время в с ожидания соединения после набора номера
S8		длительность паузы в ответ на символ “,” в набираемом номере
S9		продолжительность наличия несущей в линии для установления связи
S10		время отсутствия несущей, не приводящее к разрыву связи
S11		время передачи одной цифры номера при тоновой системе
S12	+	задержка переключения в командный режим после получения Escape-последовательности

Скорости обмена модема с ПЭВМ и линией связи различны, поэтому необходимо то, что называется управлением потоком. Пусть имеем модем на 56 Кбит/с, подключенный к ПЭВМ через асинхронный порт со скоростью 115 Кбит/с, тогда разница скоростей составит более 59 Кбит/с. Так как в современных модемах объем встроенной памяти редко превышает 128 Кбайт, то при передаче в линию она была бы заполнена примерно за 19 с. Фактически же объем памяти под буфер меньше. После заполнения буфера модем должен приостановить передачу данных от ПЭВМ и разрешить продолжение после освобождения достаточного места. Эта процедура называется управлением потоком и реализуется либо аппаратным, либо программным путем.

0.10.1 Аппаратное управление потоком

Для аппаратного управления потоком используются сигналы интерфейса RS 232C CTS (Clear To Send — сброс для передачи) и RTS (Request To Send — запрос для передачи). Эти сигналы используются по-разному в зависимости от режима передачи.

При полудуплексной передаче DTE (ПЭВМ) устанавливает сигнал RTS в 1, когда оно желает передать данные. Если DCE (модем) готово, оно устанавливает сигнал CTS в 1 и DTE начинает передачу. До тех пор пока оба сигнала не имеют значение 1 передавать данные может только DCE.

При дуплексной передаче как только DTE может принять данные, оно устанавливает сигнал RTS в 1. Если при этом DCE готово для принятия данных, оно устанавливает в 1 сигнал CTS. Если сигнал или RTS или CTS падает, то это сообщает передающей стороне, что получатель не готов к приему данных.

0.10.2 Программное управление потоком

Программное или XON/XOFF управление потоком осуществляется использованием специальных символов, вставляемых в передаваемые потоки. XON — разрешение передачи (обычно это код 021₈ Control Q). XOFF — запрет передачи (обычно это код 023₈ Control S). Очевидно, что такое управление применимо только для передачи текстовых файлов, использующих ограниченное количество служебных символов и не включающих произвольные битовые комбинации.

Когда принимающая сторона готова получать данные, она выдает символ XON. Если же принимающая сторона не готова получать данные, например из-за переполнения приемного буфера, то она выдает символ XOFF. Ясно, что сигнал XOFF должен выдаваться с некоторым опережением по сравнению с моментом фактического переполнения буфера.

Простейший протокол передачи файлов ASCII — просто передача последовательности отдельных байт. Защита от ошибок выполняется только контролем четности байта. Эффективность обнаружения ошибок при таком протоколе невысокая и составляет 95 %.

В этой связи разработаны и используются более сложные протоколы, передающие информацию блоками с контролем правильности передачи блока с помощью различного рода контрольных сумм.

Для повышения скоростей обмена часто используется техника подтверждения передачи, основанная на механизме окон. В этом случае группа блоков передается за один прием (в одном окне). Подтверждение правильности передачи для всех блоков окна или запрос повторной передачи некоторого блока делаются после приема всех блоков окна.

Широко распространенными протоколами передачи файлов являются Xmodem, Ymodem, Zmodem. Универсальные компьютеры также используют протокол Kermit.

0.11.1 Протокол Xmodem

Первая версия данного протокола была разработана Вардом Кристенсеном (Ward Christensen) в 1977. В настоящее время используются следующие три разновидности протокола Xmodem:

- Xmodem-Checksum;
- Xmodem CRC;
- 1 К Xmodem.

Xmodem Checksum протокол делит данные на блоки. Каждый блок содержит порядковый номер блока, 128 байт собственно данных и контрольную сумму для байт данных. Протокол обеспечивает синхронизацию, проверяя порядковый номер текущего переданного блока, и затем вычисляет контрольную сумму и сравнивает это с переданной контрольной суммой. В случае ошибки запрашивается повторение передачи того же самого блока. Эффективность обнаружения ошибки данным протоколом составляет 99.6 % — при правильной контрольной сумме только один из 256 пакетов может содержать ошибки.

Xmodem CRC — протокол с проверкой 16-ти разрядным циклическим избыточным кодом. Данный протокол подобен протоколу Xmodem Checksum, но 8-битовая контрольная сумма заменена на 16-битовый циклический избыточный код (Cyclic Redundancy Check). Это гарантирует обнаружение всех одиночных и двойных ошибок, всех ошибок четности и всех пакетов ошибок длиной до 16 знаков. Благодаря этому только один из 700 млн пакетов может содержать ошибки при правильном CRC.

Xmodem 1K — подобен протоколу Xmodem CRC, но при передаче без ошибок длина пакета увеличивается до 1024 байт, при возрастании числа ошибок размер пакета опять уменьшается до 128 байт.

0.11.2 Протокол Ymodem

Протокол Ymodem (автор — Chuck Forsberg) подобен протоколу Xmodem 1K. Длина блока данных составляет 1024 байта. Отличия от Xmodem 1K состоят в том, что он может передать пакет файлов вместе с их путями и атрибуты для каждого из передаваемых файлов (имя, дату, размер). Это позволяет сохранить информацию о файле и помогает пользователю видеть время, требуемое для передачи.

Версия этого протокола — Ymodem-g работает без подтверждения успешной передачи по каждому из блоков. Блоки передаются с использованием обычного управления потоком, например XON/XOFF. Подтверждение посылается после успешной передачи всего файла. В случае обнаружения ошибок в очередном принятом блоке предусмотрено прерывание передачи приемником.

0.11.3 Протокол Zmodem

В настоящее время наиболее широко используется протокол Zmodem (автор — Chuck Forsberg), имеющий по сравнению с другими протоколами ряд существенных преимуществ. При передаче используются окна. В каждом окне может передаваться по несколько блоков. Подтверждение правильности передачи или запрос повторной передачи блока с ошибками осуществляется после приема всех блоков окна. Размер блока изменяется от 16 до 1024 байт. Протокол динамически находит оптимальный размер блока для передачи файла для текущей телефонной линии. Передача начинается с размера блока данных в 1 Кбайт. Длина блока автоматически уменьшается в случае, если телефонная линия зашумлена и увеличивается, когда помехи линии уменьшаются. Это позволяет объединить самые лучшие параметры каждой из сторон, участвующих в передаче. Zmodem протокол продолжает передачу после восстановления линии. Размер контрольной суммы — 8 байт (CRC/32), следовательно, это повышает достоверность исправления ошибок.

0.11.4 Протокол Kermit

Протокол использует технику окон. В одном окне может передаваться до 31 блока. Блоки имеют переменный размер с максимальной длиной блока в 94 байта. Для повышения эффективной скорости передачи используется сжатие передаваемых данных.

1. Назначение модемов.
2. Принципы работы модемов.
3. Классификация модемов.

4. Типы каналов связи.
5. Коммутируемые каналы.
6. Выделенные каналы.
7. Линии с гальванической связью.
8. Двух- и четырехпроводные линии.

9. Принципы синхронной передачи.
10. Компенсаторы и их назначение.
11. Принципы асинхронной передачи.
12. Структура посылки для RS 232C.

13. Полудуплексный, дуплексный и симплексный режимы работы.
14. Эхо подавители и эхо прерыватели их влияние на цифровую передачу и методы их отключения.

15. Проблемы передачи импульсного сигнала по телефонной линии.
16. Виды модуляции (амплитудная, частотная (кодирование сдвигом частоты), разновидности фазовой модуляции, квадратурная амплитудная модуляция, решетчатая модуляция).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Белоцерковский И.Л. Протоколы передачи файлов для модемов// Сети. 1995, ь3. С. 53–59.
2. Федоров А.М. Достоверная передача информации по линиям связи// Сети. 1995, ь7. С. 18–26.
3. Фролов А.В., Фролов Г.В. Программирование модемов. М.: “ДИАЛОГ-МИФИ”, 1994. 240 С.

Пётр Вильгельмович Вельтмандер

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ ПО ТЕЛЕФОННЫМ КАНАЛАМ

Методическое пособие

Корректор О.В. Иванова

Подписано в печать 6 января 1999 г. Формат 60 × 84/16.

Офсетная печать. Уч.-изд. л. 2.6

Заказ ь10 Тираж 100 экз. Цена 8000 р.

Редакционно-издательский отдел Новосибирского государственного технического университета; участок оперативной полиграфии НГТУ; 630092, Новосибирск, пр. Маркса, 20.