

Практическая работа № 1

Тема: Расчет характеристик линий связи

Цель: научиться определять полосу пропускания, рассчитывать пропускную способность, задержку распределения сигнала, задержку передачи данных и затухание.

Теоретические сведения

Формулы Шеннона для непрерывного и дискретного каналов

Как уже отмечалось, локальные сети в настоящее время практически всегда имеют выход в какую-то глобальную сеть. Как правило, для подключения к глобальной сети используются модемы.

Модем (сокращение от «модулятор-демодулятор») - это устройство, преобразующее цифровые данные от компьютера в аналоговые сигналы перед их передачей по последовательной линии и, после передачи, производящее обратное преобразование. Основная цель преобразования состоит в согласовании полосы частот, занимаемой сигналами, с полосой пропускания линии передачи. Сигналы могут занимать всю полосу пропускания линии передачи либо ее часть (при частотном разделении каналов, например, в случае организации полностью дуплексного обмена). Кроме того, модемы должны обеспечивать необходимую амплитуду и мощность сигналов для достижения большого отношения сигнал/шум и, как следствие обоих перечисленных факторов (полосы частот и отношения сигнал/шум), возможно большей скорости передачи.

Модемы наиболее часто используются для подключения отдельных компьютеров либо локальных сетей к телефонной линии и, через нее, к другим компьютерам и сетям, в том числе и к глобальной сети Internet. Возможно, однако, использование достаточно экзотичных (по крайней мере, в настоящее время) линий передачи (типа силовой линии электропитания или системы кабельного телевидения) и не менее экзотичных модемов для связи компьютеров (и не только компьютеров), подключенных к той же самой линии связи. Все эти вскользь упомянутые темы, а также принципы работы и внутреннее устройство модемов (в упрощенном виде) рассматриваются в данной главе.

Внимание к характеристикам, внутреннему устройству модемов и принципам их работы вызвано отнюдь не абстрактным соображением о пользе знаний вообще и даже не только чисто прагматическим взглядом на проблему выбора конкретного типа модема, исходя из анализа доступных (часто не полных) сведений и цен. Дело в том, что модемы, используемые для передачи уязвимых по отношению к помехам цифровых данных по отнюдь неидеальным также и в других отношениях линиям передачи, являются хорошим примером «торжества человеческой мысли», воплощенном в достаточно компактном и зачастую интеллектуальном техническом устройстве. Весьма наглядно это проявляется на примере все тех же модемов для подключения к телефонным линиям, которые, как известно, имеют весьма ограниченную полосу пропускания (стандартное значение 3100 Гц) и прочие неприятные и не всегда предсказуемые особенности (временные перерывы в связи,

искажения вплоть до полной неузнаваемости формы сигналов после передачи и др.). Для модемов, работающих на аналоговых телефонных линиях, в настоящее время достигнут теоретический предел, определяемый теоремами Шеннона. Работа на пределе возможностей приводит, как всегда, к наукоемким и оригинальным в техническом отношении решениям, которые могут быть полезны широкому кругу специалистов, занимающихся собственными разработками.

Формулы Шеннона представляют собой математические записи теорем кодирования Шеннона для дискретных и непрерывных сообщений, передаваемых по каналам с ограниченной пропускной способностью на фоне шумов и помех.

Каналы связи принято делить на дискретные, непрерывные и смешанные в зависимости от типов сигналов на входе и выходе. В общей структурной схеме канала передачи (рис. 1) дискретными являются каналы от входа модулятора до выхода демодулятора и от входа кодера до выхода декодера. Непрерывный (аналоговый) канал - это собственно последовательная линия передачи (телефонная линия, скрученная пара проводов, коаксиальный кабель и др.). Дискретные каналы не являются независимыми рт

аналогового канала, который часто образует наиболее «узкое место» при передаче и из-за собственной ограниченной полосы пропускания и внешних шумов и помех определяет общую достижимую скорость передачи (при заданном допустимом уровне ошибок при приеме).

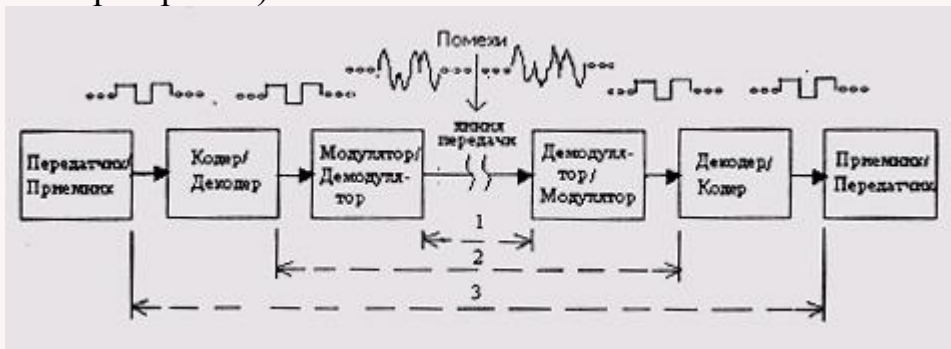


Рис. 1. Общая структурная схема канала передачи: 1 - непрерывный (аналоговый) канал; 2,3- дискретные каналы

Прежде чем рассматривать формулы Шеннона, целесообразно обратиться еще раз к рис. 12.1 и пояснить функции отдельных устройств, так как это пригодится при дальнейшем изложении.

Кодер/декодер в конкретной системе может совмещать, на первый взгляд, прямо противоположные функции.

Во-первых, кодер может быть использован для внесения избыточности в передаваемую информацию с целью обнаружения влияния шумов и помех на приемном конце (там этим занимается соответствующий декодер). Избыточность проявляется в добавлении к передаваемой полезной информации так называемых проверочных разрядов, формируемых, как правило, чисто аппаратными средствами из информационной части сообщения. Известно много различных помехоустойчивых кодов, причем самый простой однобитовый код (бит четности/нечетности) далеко не всегда удовлетворительно работает на практике. Вместо него в локальных сетях используются контрольная сумма или, что еще лучше, циклический код (CRC - Cyclic

Redundancy Check), занимающий в формате передаваемого сообщения 2 или 4 байта, независимо от длины в байтах информационной части сообщения.

Во-вторых, при больших объемах передаваемой информации целесообразно ее сжать до передачи, если есть такая возможность. В этом случае говорят уже о статистическом кодировании. Здесь уместна аналогия с обычными программами архивации файлов (типа arj, rar, pkzip и др.), которые широко используются при организации обмена в сети Internet. Волею того, если проблема с большими объемами информации и после такого обратимого сжатия до конца не решается, можно рассмотреть возможность необратимого сжатия информации с частичной ее потерей («огрублением»). Конечно, здесь не может быть и речи об отбрасывании части чисто цифровых данных, но по отношению к изображениям иногда можно пойти на снижение разрешения (числа пикселей) без искажения общего вида «картинки». Здесь можно упомянуть алгоритмы сжатия JPEG для изображений и MPEG для видео- и аудиопотоков, допускающие значительные степени компрессии без уменьшения разрешения и с минимальными потерями.

Понятно, что оба типа кодирования (помехоустойчивое избыточное кодирование и статистическое кодирование) служат, в конечном счете, решению одной задачи - повышению качества передачи как в смысле отсутствия или минимального допустимого уровня ошибок в принятом сообщении, так и в смысле максимального использования пропускной способности канала передачи. Поэтому в высокоскоростных модемах нередко реализуются оба типа кодирования. Что касается функций модулятора/демодулятора на рис. 12.1, то они, как уже было сказано, включают согласование полосы частот, занимаемой сигналами, с полосой пропускания линии передачи. Кроме того, выходные каскады передатчиков (после модуляторов) реализуют усиление сигналов по мощности и амплитуде, что является наиболее очевидным средством увеличения отношения сигнал/шум. Действительно, ничто (кроме, пожалуй, техники безопасности...) не заставляет разработчиков придерживаться в аналоговом канале столь жестких ограничений сигналов по амплитуде, как в дискретных (цифровых) каналах (от 0 до + 5В при использовании аппаратуры в стандарте ТТЛ). Например, для распространенного стандарта последовательного порта компьютера RS-232C предусмотрена «вилка» амплитуд от - (3...12)В до +(3...12)В. Конечно, в обоих случаях речь идет об амплитудах вблизи передатчика, в то время как вблизи приемника амплитуда сигналов может быть существенно ослаблена.

Формула Шеннона для непрерывного (аналогового) канала связи достаточно проста:

$$V_{\text{макс}} = \Delta f \cdot \log_2(1 + S/N), (1)$$

где $V_{\text{макс}}$ - максимальная скорость передачи (бит/сек), Δf — полоса пропускания линии передачи и, одновременно, полоса частот, занимаемая сигналами (если не используется частотное разделение каналов), S/N — отношение сигнал/шум по мощности. График этой зависимости приведен на рис. 2 (формуле Шеннона соответствует кривая под названием «теоретический предел»).

Под шумом понимается любой нежелательный сигнал, в том числе внешние помехи или сигнал, вернувшийся к передающему устройству - может быть, и модему - в результате отражения от противоположного конца линии. Сами по себе

сосредоточенные помехи не столь существенно ограничивают пропускную способность аналогового канала, как непредсказуемый в каждый момент времени белый гауссовский шум. «Умные» высокоскоростные модемы умеют, как будет отмечено в дальнейшем, определять уровень и задержку «своих» отраженных сигналов и компенсировать их влияние.

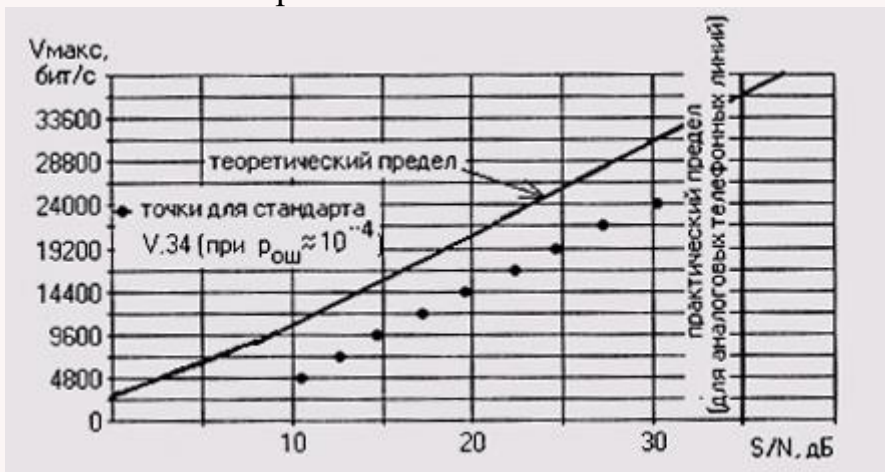


Рис. 2. Зависимость максимальной скорости передачи для аналоговой линии от отношения сигнал-шум по мощности S/N

Формула Шеннона для многопозиционного дискретного канала, построенного на базе предыдущего непрерывного канала, в отсутствие ошибок при приеме, имеет следующий вид:

$$V_{\text{макс}} = 2 \cdot \Delta f \cdot \log_2 n \quad (2)$$

Здесь n - общее число вариантов дискретного (цифрового) сигнала (алфавит). Если за время одной посылки (длительность элементарного аналогового сигнала типа отрезка синусоиды) передается информация о k двоичных разрядах, то $n = 2^k$. Практически расширение алфавита для дискретных сигналов приводит к появлению все менее различимых элементарных посылок, так что величина n ограничивается сверху все тем же отношением сигнал/шум S/N в аналоговом канале.

При учете ошибок при приеме формула Шеннона для многопозиционного дискретного канала, построенного на базе непрерывного канала, имеет следующий вид:

Здесь $p_{ош}$ - отношение числа бит, принятых с ошибками, к общему числу переданных бит за время наблюдения, теоретически стремящееся к бесконечности, а практически достаточное для набора статистики.

Согласно стандарта МККТТ (ССИТТ, новое название той же организации -ITU-T), для телефонных сообщений должно выполняться условие $p_{ош} < 3 \cdot 10^{-5}$, а для цифровых данных $p_{ош} < 10^{-6}$ (в отдельных случаях для критичных данных этот порог уменьшают до 10^{-9}). При выполнении требований стандартов влиянием ошибок при приеме на максимально-допустимую скорость передачи можно полностью пренебречь и от соотношения (3) перейти к более простому соотношению (2). В частном случае бинарного канала ($k = 1, n = 2$) при $P_{ош} = 1/2$ из соотношения (3) следует, что $V \rightarrow 0$, а при $p \rightarrow 0$ и при $p \rightarrow 1$ $V \rightarrow 2 \cdot \Delta f$. Физический смысл

$$V_{\text{макс}} = 2 \cdot \Delta f \cdot [\log_2 n + p_{\text{ош}} \cdot \log_2(p_{\text{ош}} / (n - 1)) + (1 - p_{\text{ош}}) \cdot \log_2(1 - p_{\text{ош}})]$$

такой зависимости состоит в том, что при рош— 1/2 принятый сигнал не содержит полезной информации (каждый из принятых битов может оказаться ошибочным). При рош (гипотетический случай, имеющий чисто теоретический интерес) каждый бит с большой вероятностью инвертируется, и доля полезной информации снова возрастает.

Формулы Шеннона показывают, что наиболее эффективный способ увеличения максимальной скорости передачи $U_{\text{макс}}$ состоит в увеличении полосы пропускания линии передачи Δf ($V_{\text{макс}} \sim \Delta f$). Логарифмическая зависимость $V_{\text{макс}}$ от отношения сигнал/шум S/N делает этот путь повышения $U_{\text{макс}}$ гораздо менее перспективным и более трудоемким. Однако на практике редко возможен свободный выбор линии передачи, который с точки зрения реализации максимальной скорости передачи однозначно сводится к использованию оптоволоконной линии связи (ВОЛС). Суровая действительность часто состоит в том, что имеется телефонная линия, по которой и нужно организовать передачу с использованием модемов.

Как уже говорилось, телефонная линия (точнее, тракт передачи, функционирующий на этой линии, с учетом фильтров) имеет фиксированную полосу пропускания $\Delta f = 3400 - 300 = 3100$ Гц, поэтому приходится бороться именно за повышение отношения сигнал/шум. Да и то хороший результат сам по себе не гарантирован, так как речь идет о реализации возможностей, близких к теоретическому пределу. Практический предел отношения сигнал/шум в аналоговой телефонной линии составляет примерно 35 дБ (более 3000 раз по мощности или более 56 раз по амплитуде), что соответствует максимальной скорости $V_{\text{макс}} \approx 34822$ бит/сек (стандартное значение, реализуемое на практике, 33600 бит/сек). Популярные в настоящее время 56К—модемы реализуют заявленную скорость только в одну сторону — от провайдера (из сети) до пользователя и только при условии работы провайдера непосредственно на цифровой, несколько более широкополосной, линии передачи (чудес не бывает!).

1. Каким будет теоретический предел скорости передачи данных в битах в секунду по линии связи с шириной полосы пропускания 20 кГц, если мощность передатчика составляет 0,01 мВт, а мощность шума в линии связи равна 0,0001 мВт?
2. Определите пропускную способность дуплексной линии связи для каждого из направлений, если известно, что ее полоса пропускания равна 600 кГц, а в методе кодирования используется 10 состояний сигнала.
3. Рассчитайте задержку распространения сигнала и задержку передачи данных для случая передачи пакета в 128 байт (считайте скорость распространения сигнала равной скорости света в вакууме 300 000 км/с): О по кабелю витой пары длиной в 100 м при скорости передачи 100 Мбит/с; О по коаксиальному кабелю длиной в 2 км при скорости передачи в 10 Мбит/с; О по спутниковому каналу протяженностью в 72 000 км при скорости передачи 128 Кбит/с.

4. Подсчитайте скорость линии связи, если известно, что тактовая частота передатчика равно 125 МГц, а сигнал имеет 5 состояний. Приемник и передатчик сетевого адаптера подключены к соседним парам кабеля UTP. Какова мощность наведенной помехи на входе приемника, если передатчик имеет мощность 30 дБм, а показатель NEXT кабеля равен -20 дБ? Пусть известно, что модем передает данные в дуплексном режиме со скоростью 33,6 Кбит/с. Сколько состояний имеет его сигнал, если полоса пропускания линии связи равна 3,43 кГц?
5. Мощность на входе л.с. 0,01мВт, на выходе 0,001 мВт, определить **затухание**.
6. Приемник и передатчик сетевого адаптера подключены к соседним парам кабеля UTP. Какова мощность наведенной помехи на входе приемника, если передатчик имеет мощность 30 дБм, а показатель NEXTкабеля равен -20 дБ?
7. Пусть известно, что модем передает данные в дуплексном режиме со скоростью 33,6 Кбит/с. Сколько состояний имеет его сигнал, если полоса пропускания линии связи равна 3,43 кГц?