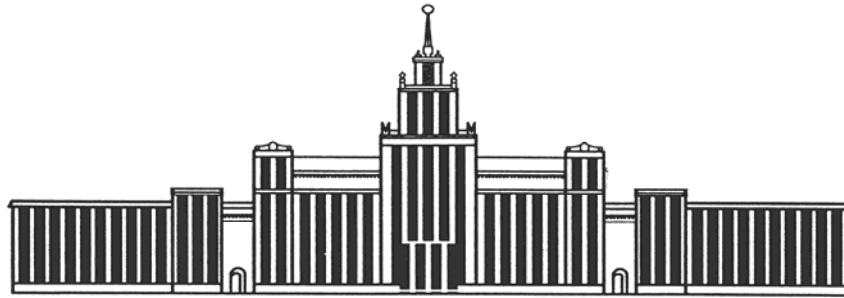


Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Филиал ЮУрГУ в г. Миассе
кафедра «Автоматика»



004.7(07)
С511

Н.И.Смоленцев

Информационные сети и телекоммуникации

Конспект лекций

Челябинск

2011

Министерство образования и науки Российской Федерации
Южно-Уральский государственный университет
Филиал ЮУрГУ в г. Миассе
Кафедра «Автоматика»

004.7(07)
С511

Н.И. Смоленцев

ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ И ТЕЛЕКОММУНИКАЦИИ

Конспект лекций

Челябинск
Издательский центр ЮУрГУ

2011

УДК 004.7(075.8)
С511

Одобрено
учебно-методической комиссией электротехнического факультета филиала
ЮУрГУ в г. Миассе

Рецензенты:
Елисеев В.П., Белов Е.Ф.

Смоленцев, Н.И.

С511 Информационные сети и телекоммуникации: конспект лекций /
Н.И. Смоленцев. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2011. – 93 с.

Курс лекций предназначен для студентов специальности 220201.65 «Управление и информация в автоматических системах» всех форм обучения при изучении курса «Информационные сети и телекоммуникации». Рассмотрены основные разделы теории сигналов и информации, необходимые для изучения информационных процессов и систем.

Введение

Бурное развитие науки и промышленности в 20 веке, обусловленное социально-экономическим соревнованием двух систем: капиталистической во главе с США и социалистической в главе с СССР, породило неудержимый рост объемов поступающей информации. Возникла целая индустрия по переработке, передаче и распределению информации. Рост информационных объемов и достижения в области микроэлектроники привели к созданию сверхскоростных процессоров являющихся сегодня основным средством переработки и управления информацией. Информационные ресурсы стали играть в современном обществе большую роль чем материальные, что накладывает свои законы, правила и закономерности. Эти закономерности и правила становятся необходимым элементом материального производства.

С позиций рынка информация стала товаром и это обстоятельство требует развития теории и практики, компьютеризации общества. Тенденции информатизации и компьютеризации связаны с появлением новых специальностей, возникающих на стыке информационного и материального производства. Если на заре информационного взрыва, в 60–70е годы прошлого столетия в области информационных технологий доминировали инженеры и программисты, то сейчас пользователи ЭВМ в самых различных областях человеческой деятельности являются доминирующей группой в самых различных областях.

Целью настоящего пособия является изложение основных вопросов теории передачи и обработки информации, построения информационных систем. В основу пособия положены лекции, читаемые автором студентам технических специальностей, чья профессия так или иначе связана с переработкой информации.

Лекция 1. Телекоммуникация. Понятие информации. Системы передачи информации. Измерение количества информации

Телекоммуникация это связь на расстоянии (лат.). Коммуникация, процесс обмена информацией является необходимым условием существования живых организмов, экологических систем и человеческого общества. Общественное развитие сопровождается непрерывным развитием телекоммуникационных технологий. Особенно интенсивно телекоммуникационные технологии развиваются в последнее десятилетие. Телекоммуникационная система – совокупность технических объектов, организационных мер и субъектов, реализующие процессы соединения, передачи, доступа к информации.

Для обмена информацией телекоммуникационные системы используют естественную и искусственную среду. Телекоммуникационные системы вместе со средой для передачи данных образуют телекоммуникационные сети. Примеры телекоммуникационных сетей:

- почтовая связь;
- телефонная связь общего пользования (ТФОП);
- мобильные телефонные сети;
- телеграфная связь;
- интернет – глобальная сеть взаимодействия компьютерных сетей;
- сеть проводного радиовещания;
- сеть кабельного радиовещания;
- сеть телевизионного и радиовещания;
- ведомственные сети органов государственной службы, системы управления воздушными, морскими, космическими судами;
- энергетические системы;
- глобальные сети спасения и безопасности (Инмарсат, ГМССБ, Глонасс).

Перечисленные выше телекоммуникационные системы, как правило, тесно взаимодействуют друг с другом и используют общие ресурсы для реализации связи. Для организации такого взаимодействия в каждом государстве и в мире, в целом, действуют специальные органы, которые регулируют порядок использования общих ресурсов, определяют общие правила взаимодействия (протоколы) телекоммуникационных систем и разрабатывают перспективные телекоммуникационные технологии. Для реализации связи на расстоянии телекоммуникационные системы используют:

- системы коммутации;
- системы передачи данных;
- системы доступа и управления каналами передачи;
- системы преобразования информации.

Изучению принципов функционирования этих систем на физическом и канальном уровнях будет посвящен настоящий курс лекций. Важнейшим аспектом курса является понятие информации. Цель создания телекоммуникационных систем – это передача информации. Известно несколько определений информации, например, информация – это отображение разнообразия, которое существует во Вселенной, или информация – это сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования. Для целей передачи, преобразования и приема информации будем использовать второе определение. Для передачи информации используют сигнал, который является физической величиной и с его параметрами так или иначе связана информация. Таким образом, сигнал – это изменяющаяся определенным образом физическая величина. Схема передачи информации с помощью сигнала приведена на рис. 1. В телекоммуникационных системах и сетях используются электрические, оптические, электромагнитные и другие виды сигналов.

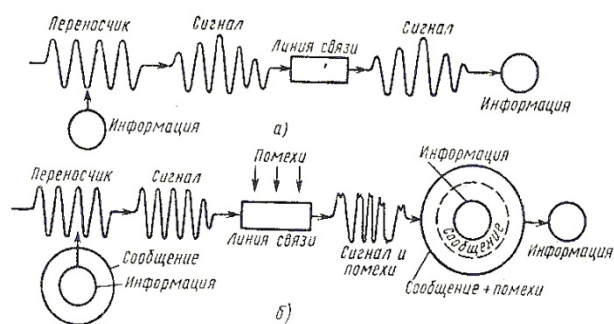


Рис. 1. Схема передачи информации: а) без помех; б) с помехами

Сообщение это сведения об окружающем нас мире, например, письмо, телеграмма, SMS. Информация является частью сообщения, представляющая новизну, т.е. то, что ранее не было известно. Датчики, реагируя на изменение параметров процесса, извлекают нужную информацию. Информация, воздействуя на параметры переносчика сигнала, образует полезный сигнал, который передается на линию связи. На приемной стороне избавляются от переносчика, помех и выделяют (детектируют) полезную информацию. В реальных условиях на сигнал в линии связи воздействуют различные вредные факторы, помехи, поэтому, для помехоустойчивости сигнала информацию передают с избытком.

1.1. Элементы теории информации

Областей применения теории информации очень много – это кибернетика, математика, бионика, экономика, телемеханика, социология, связь, криминалистика и многие другие области. Можно сказать, что вся предыдущая истории человечества это движение к информационному обществу, в котором роль информации очень высока. Информация – это сведения, являющиеся объектом хранения, передачи и преобразования. Следовательно, важнейшим вопросом теории информации является установление меры и качества информации для оценки потерь при ее хранении и передаче, определение достоверности информации.

1.2. Измерение информации по Роберту Хартли

Роберт Хартли американский инженер и математик, работавший в области кибернетики, предложил свой метод измерения информации. Пусть дискретное сообщение, передаваемое по каналу связи состоит из « n » элементов, каждый из элементов может находиться в одном из « m » состояний. Сообщение из n элементов называется словом, элемент сообщения называется символом, все возможные состояния m – алфавитом. Определим количество сообщений, которое можно составить из n элементов, принимающих m состояний. Начнем от простого к сложному. Имеем элемент сообщения,

который может принимать 2 состояния. Число различных состояний, которое обозначим C , из двух элементов равно $C=2^1$. Пусть число элементов будет два, тогда число возможных комбинации состояний двух элементов с двумя состояниями, количество комбинаций состояний двух элементов будет равно $C = 2^2 = 4$. В случае трех элементов с двумя состояниями число комбинаций равно $C = 2^3 = 8$. Таким образом, результаты можно обобщить на случай n элементов с m состояниями каждого элемента $C = m^n$. На первый взгляд кажется, что за количество информации можно принять число состояний системы C , но эта величина не обладает свойством аддитивности. В 1927 году Робертом Хартли предложена логарифмическая мера количества информации

$$I = \log_a N = \log_a m^n = n \log_a m . \quad (1)$$

Такая мера количества информации удовлетворяет требованиям аддитивности. Если принять основание логарифма равным 2, что является наиболее удобным в цифровой технике, поскольку используются технические элементы, имеющие, как правило, два состояния. Таким образом, один элемент передаваемого общения с двумя равновероятными состояниями будет иметь одну единицу информации, равную

$$I = \log_2 2 = 1 \text{ (бит)}. \quad (2)$$

Один бит это элементарное количество информации, которое несет один элемент, принимающий два различных состояния.

Лекция 2. Понятие энтропии. Свойства энтропии. Энтропия непрерывных сообщений

В 1906 году француз Эдвард Бранли ввел понятие телемеханика, которое состоит из двух слов: теле – «далеко», механика – «вижу», т.е. телемеханика наука об управлении машинами издалека. Другими словами, телемеханика – это отрасль науки и техники, охватывающая теорию и технические средства контроля и управления объектами на расстоянии с использованием каналов связи для передачи информации. Возникновение телемеханики связано с развитием автоматики и радиотехники, потребностью передавать информацию на расстоянии с целью управления или сигнализации. Телемеханика объединяет следующие понятия:

- телесигнализация;
- телеуправление;
- телеизмерение;
- телерегулирование.

Рассмотрим пример системы телемеханики на основе структурной схемы управления производственным процессом, приведенной на рис. 2.

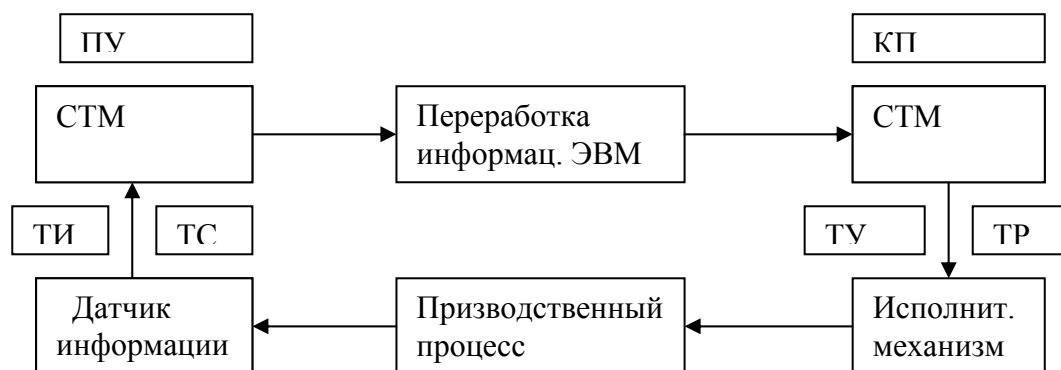


Рис. 2. Структурная схема управления производственным процессом:

СТМ – система телеметрии; ТИ, ТС – сигналы телеизмерения и телесигнализации; ТУ, ТР – сигналы телеуправления и телерегулирования

От датчиков к диспетчеру СТМ, находящемуся на пункте управления (ПУ) передаются с контролируемого пункта (КП) сигналы телеизмерения и телесигнализации, т.е. приходит известительная информация. От диспетчера на исполнительный механизм СТМ передают команды телеуправления и телерегулирования, т.е. командная информация.

2.1. Измерение количества информации по Клоду Шеннону

Ранее предположено, что количество информации, передаваемое в сообщении, состоит из n символов, каждый символ может принимать m значений. Тогда количество информации I равно

$$I = n \log_a m, \quad (3)$$

при этом, Роберт Хартли предполагал, что все состояния равновероятны. Клод Шеннон снял это ограничение и ввел вероятность состояния m . Чем меньше вероятность состояния, тем большее количество информации оно несет. Например, сообщение о том, что в Якутии зимой температура меньше нуля градусов несет мало информации. Но если температура больше нуля, то это несет очень большое количество информации. Таким образом, количественной мерой информации служит величина, обратная вероятности передаваемого сообщения. Пусть X сообщение, $P(X)$ вероятность этого сообщения. Тогда количество информации в сообщении будет равно

$$I = \log_a \frac{1}{P(\tilde{O})} = -\log_a P(\tilde{O}). \quad (4)$$

Пусть имеется сигнал состоящий из равновероятной последовательности нулей и единиц $C = 011010001100$. Количество символов $n = 12$. Определим количество информации в этом сообщении. Число символов со значением 0,

которое обозначим p_i , $i=1,2,3\dots k$ равно 7, число символов со значением 1 равно 5. Вероятность появления символа «0» равна $7/12$, а символов «1» равна $5/12$. Вероятность появления сигнала в последовательности C равна произведению вероятностей всех символов

$$P_{\tilde{n}} = \prod_{i=1}^{12} P_i, \quad (5)$$

где индекс « i » пробегает значения от 1 до 12. При большом числе элементов можно принять, что вероятность появления i -го уровня равна относительной частоте появления этого уровня $P_i = n_i/n$. Тогда вероятность возникновения сигнала в такой последовательности будет равна произведению вероятностей

$$P_c = \frac{7}{12} * \frac{5}{12} * \frac{5}{12} * \frac{7}{12} * \dots * \frac{7}{12} * \frac{7}{12} = \left(\frac{7}{12}\right)^7 * \left(\frac{5}{12}\right)^5 = \prod_{l=1}^{l=12} P_l n^l.$$

В общем случае вероятность появления любого сигнала можно записать в виде произведения вероятностей

$$P_c = P_1 * P_2 * P_3 * \dots * P_n = \prod_{l=1}^{l=m} P_l^{N^l} = \prod_{l=1}^{l=m} P_l^{n p_l}. \quad (6)$$

Подставив (6) в (4), получим среднее количество информации, приходящееся на сигнал C

$$I = -\log P_c = -\log \prod_{i=1}^m P_i^{n p_i} = -n \sum_{i=1}^m p_i \log_a P_i. \quad (7)$$

Формула (7) получена в 1948 году и получила название формулы Шеннона. Нетрудно заметить, что формула Хартли (1) является частным случаем формулы Шеннона при одинаковой вероятности всех состояний

$$I = -n * m \left(\frac{1}{m} \log \frac{1}{m}\right) = n \log m. \quad (8)$$

Пусть сообщение состоит из $n=7$ символов, каждый символ имеет два состояния, $m=2$. Определим количество информации, приходящее на один символ, если вероятность появления символа «0»= $3/4$, вероятность появления символа «1» равна $1/4$.

Подставляя в формулу (8) вероятности символов «0» и «1» и суммируя, получим количество информации в битах

$$I = -n \sum_{i=1}^m P_i \log P_i = -7 \left(\frac{3}{4} \log_2 \frac{3}{4} + \frac{1}{4} \log_2 \frac{1}{4} \right) = 5,67.$$

Для равновероятных символов; $P(0)=\frac{1}{2}, P(1)=\frac{1}{2}$ количество информации равно $P = 7$ бит.

Определим, какое количество информации в битах содержится в сообщении, передаваемом в июне и содержащем информацию, что завтра будет дождь.

Считая, что вероятности выпадения дождя в июне и его отсутствии равны $\frac{1}{2}$ и подставляя эти значения в формулу (8), получим $I = \log_2 2 = 1$.

Определим количество информации в сообщении, содержащем информацию, что 1 июня будет снег. Вероятность выпадения снега летом по

статистическим данным происходит в среднем один раз за 100 лет. Примем, что $\frac{1}{100}$ вероятность выпадения снега, тогда вероятность, что снега летом не будет равна $\frac{99}{100}$. Подставив численные значения вероятностей в формулу (8), получим количество информации в этом сообщении

$$P = - \sum_{i=1}^{i=2} P_i \log_2 P_i = -\frac{1}{100} \log_2 \frac{1}{100} - \frac{99}{100} \log_2 \frac{99}{100} = 0,008 \text{ бит.}$$

Приведенный пример показывает, что количество информации 0,008 является средним на одно сообщение. Если будет передано сообщение о выпадении снега, то оно будет содержать очень большое количество информации 0,008. Но это событие бывает один раз в 100 лет, 99 лет будет передаваться сообщение, содержащее очень мало информации.

2.2. Энтропия (обращение)

В теории информации энтропия выражает меру неопределенности сообщения или сигнала. Энтропия – это мера недостатка информации о состоянии источника информации. С наступлением информации энтропия системы снижается. Энтропия одного сообщения численно совпадает с количеством информации и обозначается H

$$H = \langle I \rangle = -n \sum_{i=1}^{i=2} P_i \log_2 P_i \quad (9)$$

Как следует из формулы (9), $H = nH = n \langle I \rangle$ энтропия равна среднему количеству информации, приходящейся на один символ. Изменение энтропии системы после получения информации равно количеству информации, что иллюстрируется рис. 3.

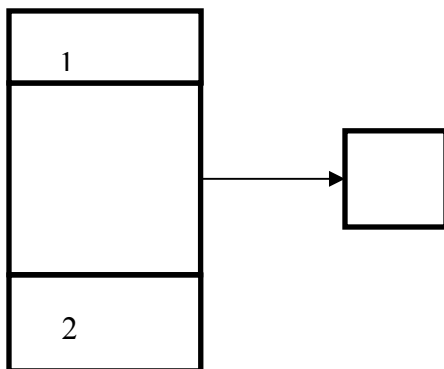


Рис. 3. Изменение энтропии системы:

I – количество информации, H_1 – энтропия системы до передачи информации, H_2 – энтропия системы после передачи информации.

Чем больше энтропия системы, тем больше ее информативность. Информативность источника сообщения это энтропия, приходящаяся на один символ сообщения

$$H = \frac{I}{n} = - \sum_{i=1}^m P_i \log P_i. \quad (10)$$

Энтропия обладает следующими свойствами:

- энтропия вещественна и неотрицательна;
- энтропия детерминированных сообщений (заранее известных) равна нулю, если заранее известно, какое будет событие, его вероятность равна единице и неопределенности в системе не существует;
- энтропия максимальна, если все события равновероятны.

На рис. 4 и рис. 5 изображены, соответственно, n равновероятных и n разновременных событий. В случае равновероятных событий неопределенность состояния системы очень велика, так как может произойти любое из событий с одинаковой вероятностью.

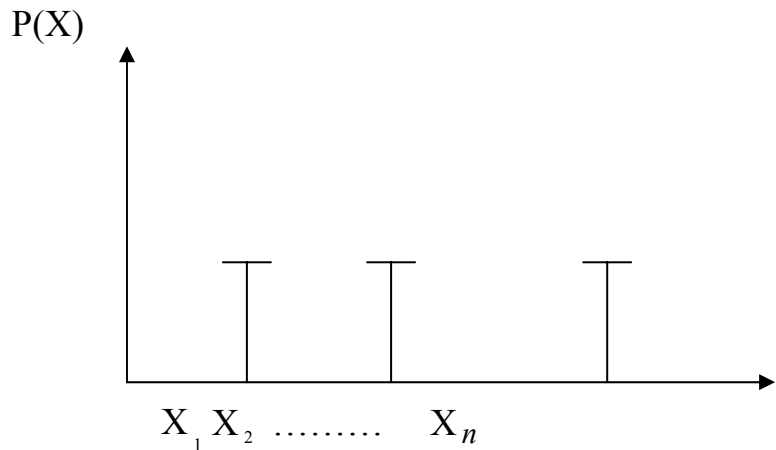


Рис. 4. Равновероятные события

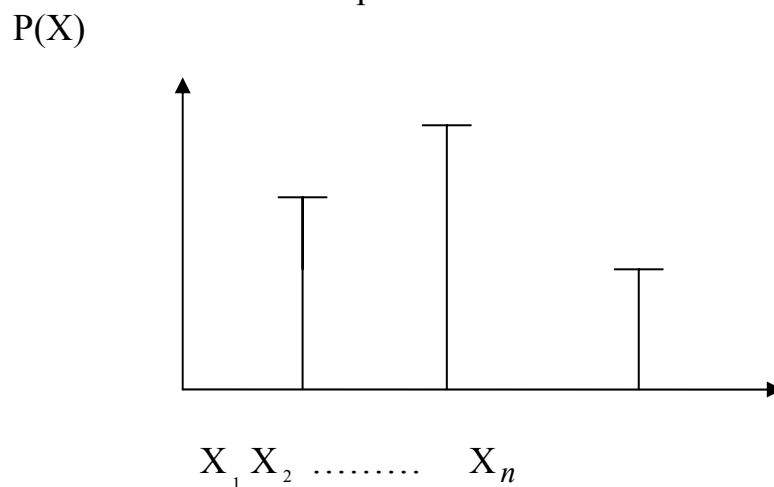


Рис. 5. Неравновероятные события $X_1 X_2 \dots X_n$

Если события $X_1 X_2 \dots X_n$ разновременны, то вероятность события $P(X)$ очень велика, поэтому неопределенность системы небольшая.

2.3. Энтропия бинарных сообщений

Бинарные сообщения состоят из элементов с двумя состояниями. Пусть X_1 это первое состояние с вероятностью P_1 , а X_2 второе состояние с вероятностью P_2 . Очевидно, что $P_2 = 1 - P_1$. Для таких сообщений энтропия равна

$$H = -\sum_{i=1}^m P_i \log P_i = -[P_1 \log P_1 + (1-P_1) \log(1-P_1)]. \quad (12)$$

На рис. 6 приведен график зависимости энтропии от вероятности, с использованием соотношения (12). Заметим, что при $P_1 = 0$, $H = 0$ и при $P_1 = 1$, $H = 0$. Определим значение вероятностей P_1 и P_2 при которых энтропия максимальна. Для этого продифференцируем выражение (12) и, приравняв к нулю, определим значение вероятности $P_1 = P_2 = \frac{1}{2}$. $H_{i \text{ max}} = -\frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \log_2 \frac{1}{2} = 1$.

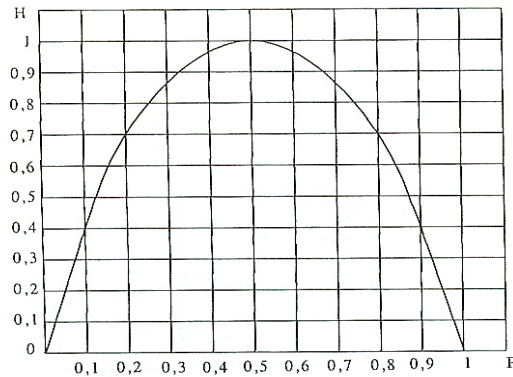


Рис. 6. График зависимости энтропии (H) от вероятности (P)

Один бит – это энтропия двух равновероятных событий. Основным недостатком изложенных методов расчета количества информации является то, что не учитывается ее смысловое содержание. Максимум энтропии имеет место при $P=1/2$, когда ситуация является неопределенной в максимальной степени. При $P=1$ или $P=0$, что соответствует передаче одного сообщения X_1 или X_2 неопределенность системы отсутствуют. В этих случаях энтропия $H(X)$ равна нулю. Среднее количество информации, содержащееся в последовательности их n сообщений, равно

$$I(n) = n \cdot H(n). \quad (13)$$

Отсюда следует, что количество передаваемой информации можно увеличить не только за счет числа сообщений, но и путем повышения энтропии источника, то есть информационной емкости его сообщения. Обобщая результаты, можно сформулировать основные свойства энтропии источника независимых сообщений :

- энтропия величина всегда положительная, так как $0 \leq P(a_i) \leq 1$;
- при равновероятных сообщениях, когда

$$P(a_1) = P(a_2) = \dots = P(a_m) = P(a) = \frac{1}{m};$$

- энтропия максимальна и равна

$$H_{\text{max}}(a) = H_0(a) = \sum_{i=1}^m \frac{1}{m} \log m = \log m; \quad (14)$$

- энтропия равняется нулю лишь в том случае, когда все вероятности $P(a_i)$ равны нулю, за исключением одной, величина которой равна единице;
- энтропия нескольких независимых источников равна сумме энтропий этих источников

$$H(a, b, \dots, r) = H(a) + H(b) + \dots + H(r).$$

В реальных условиях картина усложняется из-за наличия статистических связей между сообщениями. Примером может служить обычный текст, где появление той или иной буквы зависит от предыдущей. После сочетания двух согласных букв вероятность появления гласной гораздо больше, чем еще одной согласной. Такие статистические связи приводят к уменьшению информации, приходящейся на один символ.

Лекция 3. Основные параметры сообщений. Обобщенные характеристики сигналов и каналов связи. Скорость передачи информации и пропускная способность канала связи

Передача информации по каналу связи без помех

Принято считать, что емкость канала передачи данных это предельная скорость передачи информации по каналу:

$$C = \frac{\log \rho}{T}, \quad (15)$$

где ρ – число сообщений, передаваемых за время T . Если сообщение передается со скоростью S им/сек, а $S = \frac{1}{\tau}$, где τ длительность импульса, то за время T можно передать $n = ST$ импульсов. Для бинарного канала связи (0 или 1) максимальное число сообщений за время T равно $\rho = 2^n = 2^{ST}$. Тогда формула (15) переписывается в следующем виде

$$C = \frac{\log 2^{ST}}{T} = \frac{ST \log 2}{T} = S. \quad (16)$$

Из формулы (16) следует, что емкость C бинарного канала связи равна скорости передачи информации S . Для небинарного сообщения за время передачи одного импульса τ может быть передано одно из m состояний элемента, где m число символов в алфавите. Тогда число сообщений $\rho = m^{ST}$. Подставив это значение в формулу (15) получим,

$$\tilde{N} = \frac{\log m^{ST}}{T} = S \log m. \quad (17)$$

Определим пропускную способность или емкость канала передачи данных C_c как отношение количества информации C приходящееся на один символ

$$C_c = \frac{\log 2^{ST}}{n} = 1. \quad (18)$$

В бинарном канале связи один символ передает один бит информации. Для небинарного канала передачи данных $C_{\tilde{N}} = \log m$ бит/символ. По аналогии с электротехникой, где при согласовании внутреннего сопротивления генератора с внешней нагрузкой добиваются максимальной передачи мощности, так и в практике передачи информации согласовывают пропускную способность (емкость) канала передачи данных и скорость передачи источника информации. Если ко входу канала передачи данных подключен источник информации с энтропией на символ, равной емкости канала $H = C_{\tilde{N}}$, то источник и канал передачи согласованы информационно. В этом случае обеспечивается максимальная эффективность информационной системы. Если $H \neq \tilde{N}$, то источник информационно не согласован с каналами связи. Согласование источника информации с каналом передачи данных осуществляется с помощью статистического кодирования.

Рассмотрим вопрос о согласовании источника информации и канала передачи данных на примере. Даны две последовательности сообщений 1100101111010001110000 и 0010000000110000000. Для первой последовательности символы «0» и «1» равновероятны, $P_1(0) = 1/2$, $P_2(1) = 1/2$, следовательно, $H = C_c$ и источник информации согласован с каналом передачи данных. Для второй последовательности символы не равновероятны $P_1(1) = 0,1$, $P_2(0) = 0,9$. Необходимо определить согласование источника информации с каналом передачи данных. Определим энтропию для второй последовательности.

$$H_2 = -0,1 \log 0,1 - 0,9 \log 0,9 = 0,5.$$

Поскольку передача сообщения идет двоичным кодом, значит канал бинарный и пропускная емкость такого канала $C_{\tilde{N}}$ равна 1 бит/символ и это больше энтропии, равной для данного источника равной 0,5 бит/символ. Следовательно, канал передачи данных и источник информации не согласованы. Путем статистического кодирования можно увеличить энтропию второго сообщения и таким образом добиться равенства $H = C_{\tilde{N}}$.

Лекция 4. Основы теории сигнала

Для передачи информации необходим физический процесс, который является носителем информации. Физический процесс, параметры которого содержат информацию, называется сигналом. В качестве носителя информации используются следующие физические процессы:

- электрический ток;
- электромагнитные колебания;
- оптическое излучение.

Носителем информации в сигнале с постоянной амплитудой, приведенном на рис. 7, являются величина амплитуды и полярность.

$$U(t) = \text{const}$$

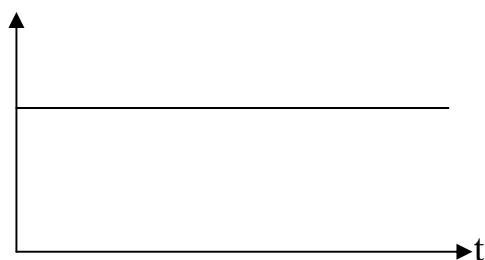


Рис. 7. Постоянное напряжение

Носителями информации в сигнале с переменным напряжением $U(t) = U_0 \sin(\omega t + \varphi)$, приведенном на рис. 8, являются период сигнала T , фаза φ , амплитуда U .

$$U(t)$$

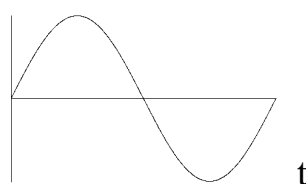


Рис. 8. Переменное напряжение

При передаче информации последовательностью прямоугольных импульсов используют амплитуду импульса, частоту импульса, фазу, длительность импульса и комбинацию последовательности импульсов, приведенной на рис. 9.

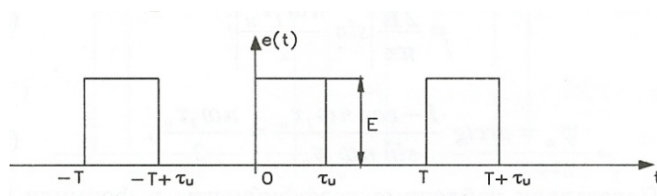


Рис. 9. Последовательность прямоугольных импульсов

Носители информационных сигналов делятся на периодические и непериодические. Периодический сигнал $S(t) = S(t+nT)$, где $n=0,1,2 \dots m$, T – период колебаний. Непериодические сигналы ограничены во времени. Это могут быть единичный импульс или пачка импульсов, например видеоимпульсы. Видеоимпульс это импульс постоянного тока или напряжения имеющий форму прямоугольника, треугольника, колоколообразную или экспоненциальную. Формы видеоимпульсов, а также их параметры приведены на рис. 10, там же приведен радиоимпульс.

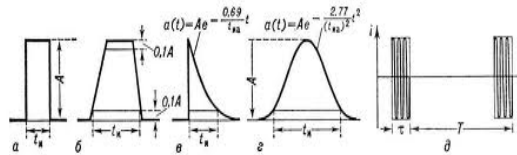


Рис. 10. Формы видеоимпульсов. а) прямоугольный, б) трапециевидный, в) экспоненциальный, г) колоколообразный, д) прямоугольный радиоимпульс

Видеоимпульсы, радиоимпульсы широко применяются в современной радиоэлектронике для передачи и преобразования информации. Данные сигналы характеризуются амплитудой сигнала S , длительностью импульса $t_{\text{дл}}$, периодом T . Отношение периода T к длительности импульса $t_{\text{дл}}$ называется скважностью импульса и обозначается Q .

Лекция 5. Спектральный (гармонический анализ) анализ сигналов

Основной характеристикой сигнала является спектральная функция. Спектральное представление сигналов дает возможность определить прохождение сигналов через электрическую цепь, которая имеет ограниченную полосу пропускания. На рис. 11 приведены постоянный (а), гармонический (б) сигналы и прямоугольный (в) сигналы.

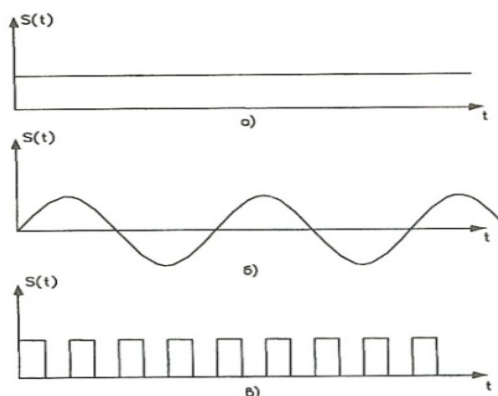


Рис. 11. Примеры периодических носителей информации: а) постоянное напряжение; б) гармонический сигнал; в) последовательность прямоугольных импульсов

Всякий периодический сигнал можно представить в виде функции времени и частоты. Гармонический сигнал выражается следующей формулой $S(t) = A_n \cos(\omega t + \varphi)$, где, $\omega = 2\pi f$ – круговая частота, f – частота колебаний в Гц. Задачей спектрального анализа является определение двух функций:

$S(\omega)$ – спектральной функции или амплитудно частотной (АЧХ) и $\psi(\omega)$ – фазочастотной функции (ФЧХ). В основе спектрального анализа лежит разложение периодических функций в ряд Фурье.

5.1. Разложение периодических функций в ряд Фурье

Пусть периодическая функция удовлетворяет следующему условию:

$$S(t) = S(t + nT), \text{ где } n = 0, 1, 2, \dots, \infty, \quad T = \frac{2\pi}{\omega}.$$

Запишем ряд Фурье в комплексной форме

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} C_n e^{-jn\omega_1 t}, \quad (19)$$

где ω_1 — угловая частота основной гармоники, C_n — коэффициенты Фурье.

Коэффициенты Фурье C_n являются комплексными величинами и определяются по следующим формулам

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt. \quad (20)$$

Используя формулу Эйлера, $e^{-jn\omega_1 t} = \cos n\omega_1 t - j \sin n\omega_1 t$ и подставив в (20) получим:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \cos n\omega_1 t dt - j \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt,$$

где $C_n = C_{nc} - jC_{ns}$, соответственно, C_{nc} — действительная часть, C_{ns} — мнимая часть. С учетом этого коэффициенты Фурье можно записать в виде:

$$C_n = |C_n| e^{-j\Psi_n}, \text{ где } |C_n| = \sqrt{C_{nc}^2 + C_{ns}^2} \text{ модуль коэффициента Фурье,}$$

$$\Psi_n = \arctg \frac{C_{ns}}{C_{nc}} \text{ — аргумент коэффициента Фурье.}$$

Общее выражение для ряда Фурье можно записать в следующем виде

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{n=\infty} C_n e^{j(n\omega_1 t - \Psi_n)}. \quad (21)$$

5.2. Запись ряда Фурье в тригонометрической форме

Более удобное представление ряда Фурье в тригонометрической форме

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{n=\infty} (a_n \cos n\omega_1 t + b_n \sin n\omega_1 t),$$

где a_n и b_n — коэффициенты ряда Фурье и определяются следующими выражениями:

$$a_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \cos n\omega_1 t dt, \quad b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt \quad (22)$$

Если функция $S(t) = S(-t)$, то есть удовлетворяет условию четности, то из выражений (22) следует $b_n = 0$ для четных функций и в разложении (22) присутствуют члены с a_n . Наоборот, если функция $S(t) = -S(-t)$ нечетная, то $a_n = 0$ и в разложении в ряд Тейлора функции $S(t)$ останутся члены с b_n . В выражении (22) каждый член разложения в ряд представляет собой гармонику с частотой $n\omega_1$, где $n = 0, 1, 2, \dots, \infty$. Совокупность гармоник образует спектр сигнала. Спектр периодического сигнала называется линейчатым, прерывистым. Для примера, разложим в ряд Фурье прямоугольный импульс, называемый «меандр», изображенный на рис. 12. Амплитуда импульса равна E , период импульса равен T , скважность импульса $Q = \frac{T}{\tau_s} = 2$, где τ_s – длительность импульса. Прямоугольный импульс $S(t)$ является нечетной функцией и в соответствии с (22) в разложении в ряд Тейлора останутся только члены, содержащие b_n :

$$S(t) = \frac{a_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} b_n \sin n\omega_1 t.$$

Используя формулу (22), находим коэффициенты разложения импульса «меандр».

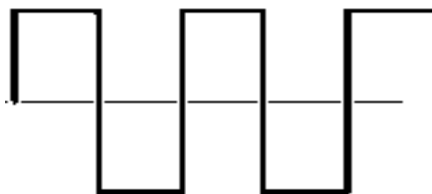


Рис. 12. Прямоугольный импульс «меандр»

$$b_n = \frac{2}{T} \int_{-T/2}^{T/2} S(t) \sin n\omega_1 t dt.$$

Учитывая, что $S(t) = -E \frac{T}{2} < t < 0$, $S(t) = E 0 < t < \frac{T}{2}$, запишем выражение для определения коэффициентов b_n в следующем виде:

$$b_n = \frac{2}{T} \left[\int_{-T/2}^0 (-E) \sin n\omega_1 t dt + \int_0^{T/2} E \sin n\omega_1 t dt \right]. \quad (23)$$

Используя формулу для круговой частоты $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$, преобразуем выражение

(23) к следующему виду $\frac{4E}{Tn\omega_1} (1 - \cos \frac{n\omega_1 T}{2})$. Окончательно получим

выражение для коэффициента $b_n = \frac{2E}{\pi n}(1 - \cos n\pi)$. $b_n = 0$ при $n = 0, 2, 4, \dots$ и

$$b_n = \frac{4E}{\pi n} \quad \text{при } n=1, 3, 5, \dots + \infty$$

Начальная фаза для всех гармоник $\frac{\pi}{2}$, $\Psi_n = \arctg \frac{b_n}{a_n} = \arctg \infty$, $\Psi = \frac{\pi}{2}$, $\dot{A}_0 = \frac{\dot{a}_0}{2} = 0$,

так как $\frac{\dot{a}_0}{2} = \int_{-T/2}^{T/2} S(t) dt = 0$.

Ряд Фурье для прямоугольного импульса «меандр», таким образом, имеет вид:

$$S(t) = \frac{4E}{\pi} \left(\sin \varpi_1 t + \frac{1}{3} \sin 3\varpi_1 t + \frac{1}{5} \sin 5\varpi_1 t + \dots \right). \quad (24)$$

Как следует из рисунка 13, спектр прямоугольного сигнала «меандр» содержит нечетные гармоники, амплитуда которых обратно пропорциональна номеру гармоники.

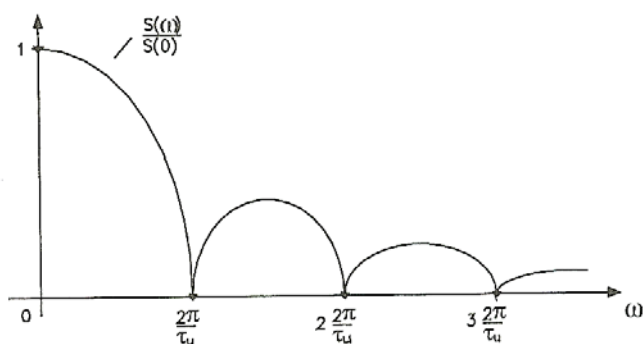


Рис. 13. Спектр прямоугольного сигнала «меандр»

Если поставить фильтры на частотах $2\omega_1, 4\omega_1, 6\omega_1$ где ω_1 — круговая частота основной гармоники, то на выходе фильтра можно наблюдать форму сигналов, приведенную на рисунке 14.

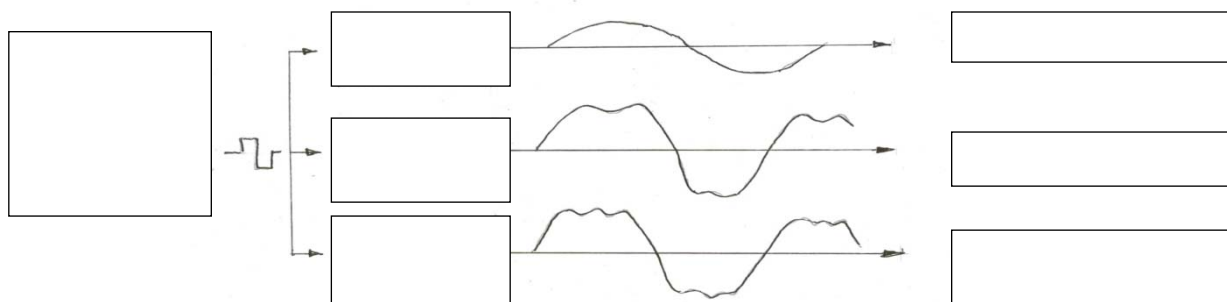


Рис. 14. Форма сигналов на выходе частотных фильтров

Из представленных выше рисунков следует, что чем больше гармоник используется, тем точнее воспроизведение формы сигнала, чем больше полоса частот канала связи, тем меньше искажается передаваемое сообщение. Проанализируем спектры сигналов на примере прямоугольного сигнала «меандр» со скважностью $Q = 2, 3, 4, \infty$, которые приведены на рис. 15–20.

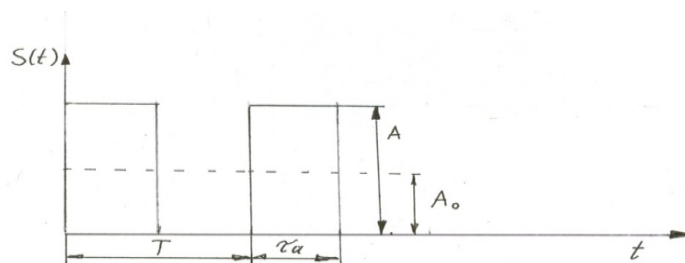


Рис. 15. Прямоугольный импульс «меандр»: $T = 2\tau_a$ период сигнала, $A_0 = \frac{A}{2}$ – амплитуда сигнала, $Q = \frac{T}{\tau_a}$ – скважность импульса

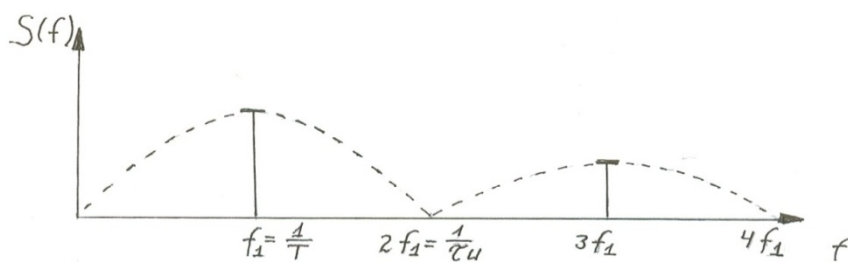


Рис. 16. Спектр прямоугольного сигнала. Скважность $Q=2$

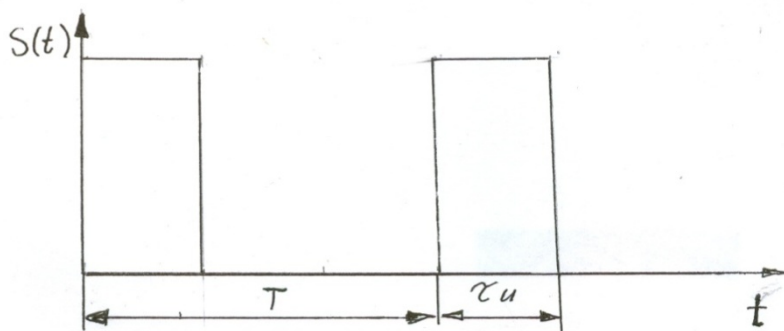


Рис. 17. Прямоугольный импульс со скважностью $Q=3$

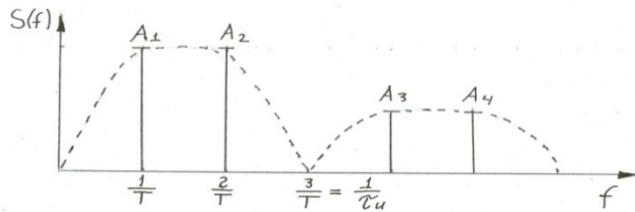


Рис. 18. Спектр прямоугольного сигнала со скважностью $Q=3$

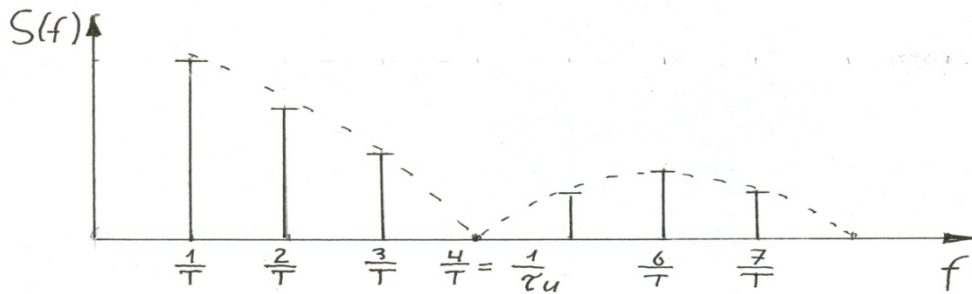


Рис. 19. Спектр прямоугольного сигнала со скважностью $Q=4$

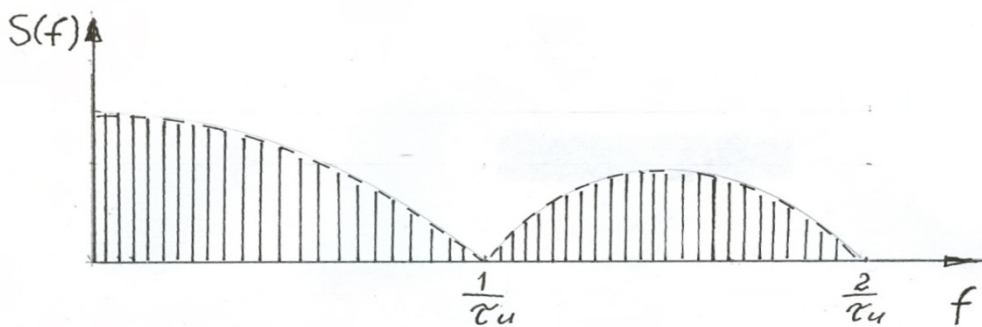


Рис. 20. Спектр прямоугольного сигнала с $Q \rightarrow \infty$, $\tau_u \rightarrow 0$

Из анализа рисунков 15–20 следует, что при неизменной форме импульсов закон изменения огибающей спектральных линий не зависит от частоты следования импульсов. С увеличением скважности импульсов число гармоник в спектре сигнала возрастает. В пределе, при $Q \rightarrow \infty$, получим одиночный импульс, спектр которого будет не дискретный, а сплошной.

Лекция 6. Спектральный анализ непериодических сигналов

Спектральное представление непериодических функций осуществляется с помощью интегралов Фурье. Эта формула выводится следующим образом. Пусть дан сигнал $S(t)$ произвольной формы. Выделим произвольный отрезок времени T , включающий период времени $[t_1, t_2]$. На этом временном участке

сигнал можно представить в виде ряда Фурье. Считаем, что T – период функции, тогда функцию можно представить этом участке в виде разложения ряда Фурье:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} C_n e^{-jn\omega_1 t} \quad 0 < t < T. \quad (25)$$

Формула для коэффициентов Фурье имеет вид:

$$C_n = \frac{1}{T} \int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt. \quad (26)$$

Подставляя формулу (26) в формулу (25), получим следующее выражение для разложения функции $S(t)$:

$$S(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \left(\int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-jn\omega_1 t} dt \right) e^{-jn\omega_1 t} \left(\frac{\omega_1}{2\pi} \right), \text{ где } T = \frac{\omega_1}{2\pi}. \quad (27)$$

При $T \rightarrow \infty$ получим бесконечно малые амплитуды гармонических колебаний. Число составляющих тоже будет бесконечно, так как частота основной гармоники будет стремиться к нулю ($\omega = \frac{2\pi}{T}$). Спектр частот будет сплошным, поскольку основная частота стремиться к нулю. Поэтому в выражении (27) можно заменить $n\omega_1$ на $d\omega$, а операцию суммирования заменить на интегрирование. Таким образом, выражение (27) преобразуется к следующему двойному интегралу:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} e^{j\omega t} \left[\int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-j\omega t} dt \right] d\omega. \quad (28)$$

Внутренний интеграл, являющийся функцией круговой частоты ω , называется спектральной плотностью или спектральной характеристикой сигнала и обозначается $S(\omega)$. Преобразование типа $S(\omega) = \int_{t_1}^{t_2} S(t) e^{-j\omega t} dt$ называется прямым преобразование Фурье, таким образом, интеграл Фурье имеет следующий вид

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j\omega t} d\omega. \quad (29)$$

Преобразование типа (29) носит название обратного преобразования Фурье. Прямое преобразование Фурье $S(\omega)$ характеризует распределение энергии сигнала по частоте. По аналогии с рядом Фурье спектральную плотность сигнала можно записать в комплексной форме

$$S(\omega) = A(\omega) - jB(\omega) = S(\omega) e^{-j\varphi(\omega)} \quad (30)$$

где $A(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cos \omega t dt$ действительная часть, (31)

$$B(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) \sin \omega t dt - \text{мнимая часть спектральной плотности,} \quad (32)$$

$|S(\omega)| = \sqrt{A^2(\omega) + B^2(\omega)}$ – амплитудно-частотная характеристика (АЧХ),
 $\Psi(\omega) = \arctg \frac{A(\omega)}{B(\omega)}$ – фазо-частотная характеристика (ФЧХ). Подставляя (30) в (29) получим тригонометрическую форму записи интеграла Фурье:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) e^{j(\omega t - \Psi)} d\omega = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \cos(\omega t - \Psi) d\omega + j \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} S(\omega) \times \sin(\omega t - \Psi) d\omega \quad (33)$$

Второй член выражения (33) равен нулю, так как под интегралом нечетная функция. Тогда тригонометрическая форма интеграла Фурье запишется в следующем виде:

$$S(t) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} S(\omega) \cos(\omega t - \Psi) d\omega \quad (34)$$

Определим спектр прямоугольного импульса (рис. 21), амплитуда импульса которого, равна 1В.



Рис. 21. Единичный прямоугольный импульс.

Найдем спектральную плотность сигнала единичного прямоугольного импульса:

$$S(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) e^{-j\omega t} dt = \int_0^{t_1} e^{-j\omega t} dt = \frac{1}{j\omega} (1 - e^{-j\omega t_1}) = \left[\frac{2}{\omega} \sin \frac{\omega t_1}{2} \right] e^{-\frac{j\omega t_1}{2}} \quad (35)$$

В выражении (35) член $[2/\omega \sin \omega t_1/2]$ определяет амплитуду гармоники спектра сигнала, а член $e^{-\frac{j\omega t_1}{2}}$ частоту гармоники. Модуль функции $S(\omega)$, равный $|S(\omega)| = \frac{2}{\omega} \sin \frac{\omega t_1}{2}$ определяет амплитудно-частотную характеристику функции $S(\omega)$. Найдем значения частот, при которых АЧХ спектральной плотности обращается в нуль. Это $\frac{\omega t_1}{2} = k\pi$, где $k = 1, 2, 3, \dots$, или $\omega = \frac{2\pi k}{t_1}$. Значение спектральной плотности при $\omega = 0$ равно

$$S(0) = \int_0^{t_1} S(t) dt = 1 * t_1, \quad (36)$$

что равно площади импульса.

Амплитудная характеристика прямоугольного импульса имеет вид, приведенный на рис. 22.

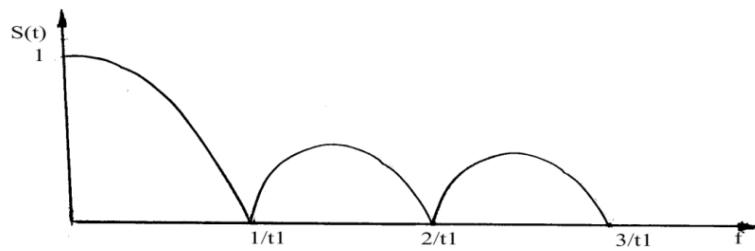


Рис. 22. Амплитудно-частотная характеристика прямоугольного импульса

При изменении импульса, то-есть при $t_1 \rightarrow \infty$ расстояние между нулями амплитудного спектра будет сокращаться и амплитудный спектр будет группироваться около нулевой частоты. Физически это означает, что при $t \rightarrow \infty$ энергия сигнала также стремится к бесконечности, сосредотачиваясь около нулевой частоты.

При уменьшении длительности сигнала, при $t_1 \rightarrow 0$, расстояние между нулями АЧХ сигнала увеличивается и значение спектра на нулевой частоте будет равно нулю. Определим спектр прямоугольного радиоимпульса (рис.23)

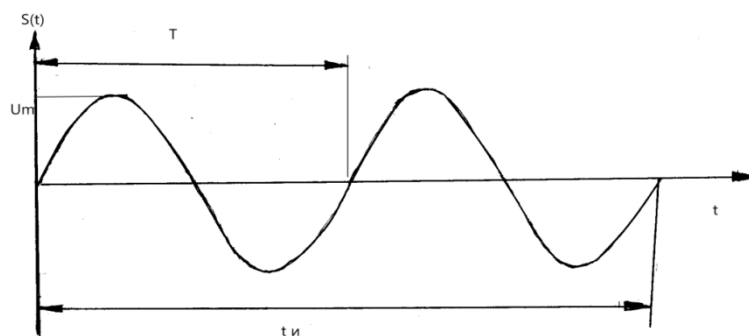


Рис. 23. Прямоугольный радиоимпульс: T – период импульса, t_n – длительность импульса

Математическое выражения для радиоимпульса запишется в следующем виде:

$$s(t) = \begin{cases} \sin \omega_1 t & 0 < t < t_n \\ 0 & 0 < t_n < \infty \end{cases} \quad (37)$$

Спектр прямоугольного сигнала можно определить с помощью формулы Фурье. Можно определить спектр логически, отождествляя временную и спектральную функции для данного сигнала, как показано на рисунке 24.

Спектр гармонического сигнала содержит одну гармонику на частоте f_1 , спектр видеоимпульса содержит составляющие на частотах кратных длительности видеоимпульса, спектр радиоимпульса содержит составляющие на частотах несущей частоты и кратных длительности импульса.

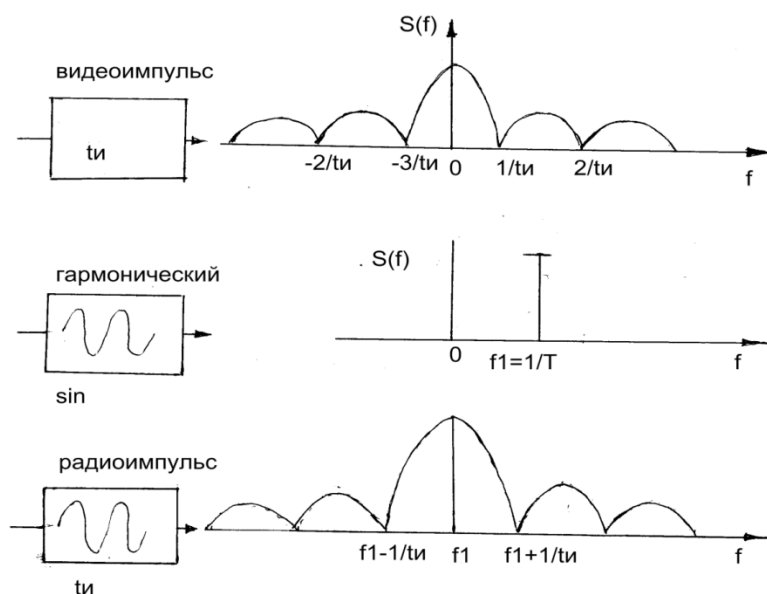


Рис. 24. Спектры радиоимпульса, видеоимпульса и гармонического сигнала

Энергия периодического сигнала

Функция $S(t)$ с периодом T величина бесконечная, поэтому представляет интерес средняя мощность $P_{\text{ср}}$ периодического сигнала и распределение этой мощности по спектру сигнала.

$$P_{\text{ср}} = \frac{1}{T} \int_0^T S(t)^2 dt = \frac{A_0^2}{2} + \frac{1}{2} \sum_{n=1}^{\infty} A_n^2, \quad (38)$$

где A_0, A_n – коэффициенты ряда Фурье. Из формулы (38) следует, что $P_{\text{ср}}$ есть сумма мощностей отдельных гармоник.

Лекция 7. Назначение, функции, состав, структура, характеристики и классификация информационных сетей

7.1. Характеристики и классификация информационных сетей

Современные телекоммуникационные технологии основаны на использовании информационных сетей. Коммуникационная сеть – система,

состоящая из объектов, осуществляющих функции генерации, преобразования, хранения и потребления продукта, состоящая из пунктов (узлов) сети и линий передач (связей, коммуникаций, соединений), осуществляющих передачу продукта между пунктами. Отличительная особенность коммуникационной сети – большие расстояния между пунктами по сравнению с геометрическими размерами участков пространства, занимаемых пунктами. При функциональном проектировании сетей решаются задачи синтеза топологии, распределения информации по узлам сети, а при конструкторском проектировании выполняются размещение пунктов в пространстве и проведение (трассировка) соединений.

Информационная сеть – коммуникационная сеть, в которой продуктом генерирования, переработки, хранения и использования является информация. Вычислительная сеть – также информационная сеть, в состав которой входит вычислительное оборудование. Компонентами вычислительной сети могут быть ЭВМ и периферийные устройства, являющиеся источниками и приемниками данных, передаваемых по сети. Эти компоненты составляют оконечное оборудование данных (ООД или DTE – Data Terminal Equipment). В качестве ООД могут выступать ЭВМ, принтеры, плоттеры и другое вычислительное, измерительное и исполнительное оборудование автоматических и автоматизированных систем. Собственно пересылка данных происходит с помощью сред и средств, объединяемых под названием среда передачи данных.

Подготовка данных, передаваемых или получаемых ООД от среды передачи данных, осуществляется функциональным блоком, называемым аппаратурой окончания канала данных (АКД или DCE – Data Circuit-Terminating Equipment). АКД может быть конструктивно отдельным или встроенным в ООД блоком. ООД и АКД вместе представляют собой станцию данных, которую часто называют узлом сети. Примером АКД может служить модем.

Информационные сети классифицируются по ряду признаков. В зависимости от расстояний между связываемыми узлами различают сети:

– территориальные, охватывающие значительное географическое пространство. Среди территориальных сетей можно выделить сети региональные и глобальные, имеющие соответственно региональные или глобальные масштабы, региональные сети иногда называют сетями MAN (Metropolitan Area Network), а общее англоязычное название для территориальных сетей – WAN (Wide Area Network):

– локальные (ЛВС), охватывающие ограниченную территорию (обычно в пределах удаленности станций не более чем на несколько десятков или сотен метров друг от друга, реже на 1...2 км, локальные сети обозначают LAN (Local Area Network);

– корпоративные (масштаба предприятия), это совокупность связанных между собой ЛВС, охватывающих территорию, на которой размещено одно предприятие или учреждение в одном или нескольких близко расположенных зданиях. Локальные и корпоративные вычислительные сети это основной вид

вычислительных сетей, используемых в системах автоматизированного проектирования (САПР).

Особо выделяют единственную в своем роде глобальную сеть Internet (реализованная в ней информационная служба World Wide Web(WWW) переводится на русский язык как всемирная паутина), это сеть сетей со своей технологией. В Internet существует понятие интрасетей (Intranet) – корпоративных сетей в рамках Internet.

Различают интегрированные сети, неинтегрированные сети и подсети. Интегрированная вычислительная сеть (интерсеть) представляет собой взаимосвязанную совокупность многих вычислительных сетей, которые в интерсети называются подсетями. В автоматизированных системах крупных предприятий подсети включают вычислительные средства отдельных проектных подразделений. Интерсети нужны для объединения таких подсетей, а также для объединения технических средств автоматизированных систем проектирования и производства в единую систему комплексной автоматизации (CIM – Computer Integrated Manufacturing). Обычно интерсети приспособлены для различных видов связи; телефонии, электронной почты, передачи видеоинформации, цифровых данных и т.п. В этом случае они называются сетями интегрального обслуживания.

Развитие интерсетей заключается в разработке средств сопряжения разнородных подсетей и стандартов для построения подсетей, изначально приспособленных к сопряжению. Подсети в интерсетях объединяются в соответствии с выбранной топологией с помощью блоков взаимодействия.

7.2. Примеры известных информационных сетей

Сеть AERONET – информационная сеть международного сообщества связи для авиации. Это некоммерческая сеть включает более 250 авиационных предприятий. Доступ в сеть осуществляется с десятков тысяч терминалов в различных странах мира. Сеть представляет сервис, связанный с резервированием и продажей авиационных билетов.

Сеть ARPANET – это информационная сеть Агентства перспективных исследовательских проектов (DARPA) Министерства обороны США. Первые 4 узла коммуникации сети начали функционировать в 1969 году. Создание сети ARPANET было ответом США на советскую программу освоения космоса.

Протоколы, стандарты, разработанные в рамках данного проекта затем составили организационно – технологическое ядро сети INTERNET. Здесь впервые сообщения начали передаваться в пакетах, причем части пакета транслируются по разным информационным трассам. На приемной станции осуществляется сборка пакета и восстановление первичной информации.

Сеть DATAPAC – общественная коммуникационная сеть в Канаде, создана в 1977 году.

Сеть EDSNET – территориальная сеть созданная корпорацией GeneralMotors. Сеть начала работать в 1984 году и объединяет абонентов в десятках стран мира.

Сеть ETHERNET – локальная сеть корпорации Херох. Сеть создана совместными усилиями разработчиков DEC, Intel, Херох, прошла в своем развитии несколько этапов развития и была утверждена в качестве международного стандарта IEEE.

Сеть EURONET – европейская сеть, созданная комиссией Европейского Союза и охватывающая все страны Союза. Введена в эксплуатацию в 1979 году и представляет очень широкий спектр сервиса.

Сеть INTERNET – глобальная международная ассоциация информационных сетей, созданная сообществом INTERNET. Основная задача сообщества распространение технологий INTERNET и способствование объединению информационных сетей в глобальную инфраструктуру. Общество INTERNET не эксплуатирует суперсеть с тем же названием, но оказывает помощь в ее создании, развитии и использовании.

Оно проводит обучение по изучению сети INTERNET, ее эксплуатации, создает технические группы для стимулирования разработок в этой области. Общество имеет в своем составе рабочую группу INTERNET (IETE).

В INTERNETE используются 32- разрядные адреса и архитектура сети ARPANET, используются ее протоколы TCP/IP, которые образовали костяк так называемой эталонной модели взаимодействия открытых систем (ЭМВОС) или OSI. Ассоциация INTERNET объединяет более 16 тысяч сетей в 100 странах мира и соединена со многими другими сетями. Хребтом INTERNET является группа базовых сетей. К ним, в США, относят сеть MBONE, сеть ANSnet, а в Европе сеть NORDUnet, сеть EUROPAnet, и EUNET. В INTERNET выделяются три главные сетевые службы:

- электронная почта (протоколы SMTR);
- протоколы передачи файлов в соответствии с протоколом FTR;
- удаленный доступ Telnet, позволяющий в режиме ON-LAINE работать с прикладными программами;
- служба глобального соединения (WWW).

Вход в систему INTERNET осуществляется двумя способами:

- нормальный с использованием протоколов TCP/IP, реализуемый при подключении к сети через локальную сеть;
- через телефонную сеть (протоколы SMTR).

Лекция 8. Архитектуры информационных сетей

8.1. Многоуровневая архитектура информационных сетей

Первые информационные сети были телефонные. Но с изобретением компьютера в телефонах стали использовать элементы ЭВМ (память, компьютерный интеллект), а в вычислительной технике поняли важность построения сетей, давно применявшихся для телефонной связи. Конечная цель

всех этих нововведений – доставка информации любому корреспонденту по требуемому адресу и в надлежащее время.

В течение длительного периода процесс развития связи ЭВМ шел по пути создания и применения систем передачи данных по телефонным сетям общего пользования. Лишь когда обмен цифровой информацией достиг внушительных размеров, экономически целесообразным оказалось сооружение специализированных сетей передачи данных с коммутацией каналов и коммутацией пакетов.

В настоящее время по всему миру развернуты тысячи таких сетей, предоставляющие своим пользователям возможности связываться друг с другом. Размеры таких сетей простираются от небольших систем, соединяющих терминалы передачи данных в пределах отдельного здания или комплекса (например, промышленное предприятие), до больших географически распределенных сетей, охватывающих целые страны и даже весь земной шар. В некоторых сетях применяется техника коммутации пакетов. В таких сетях от источника к получателю передаются блоки данных, называемые пакетами. Источниками и получателями могут быть терминалы пользователей, компьютеры, принтеры или любые другие устройства передачи и/или обработки данных. При таком способе передачи одни и те же средства передачи информации разделяются между пакетами многих пользователей.

В сетях другого типа применяется техника коммутации каналов (цепей). Это широко распространённые и привычные телефонные сети. В таких сетях устанавливается отдельный путь передачи, который удерживается столько времени, сколько требуется для передачи.

В настоящее время развертываются интегральные сети, объединяющие в себе как технику коммутации пакетов, так и технику коммутации каналов. В общем случае для функционирования сетей ЭВМ необходимо решить две проблемы:

- передать данные по назначению в правильном виде и своевременно;
- поступившие по назначению данные получателю должны быть распознаваемы и иметь надлежащую форму для их правильного использования.

Первая проблема связана с задачами маршрутизации и обеспечивается сетевыми протоколами (протоколами низкого уровня). Вторая проблема вызвана использованием в сетях разных типов ЭВМ, с разными кодами и синтаксисом языка. Эта часть проблемы решается путем введения протоколов высокого уровня. Таким образом, полная архитектура, ориентированная на конечного пользователя, включает в себя оба протокола.

На рис. 25 приведена схема связи между пользователями А и В. К промежуточному узлу связи могут быть подключены конечные пользователи, и задачей его протоколов является предоставление конечным пользователям соответствующих услуг. В свою очередь, это две группы протоколов: протоколы, предоставляющие сетевые услуги, и протоколы высокого уровня обычно подразделяются дальше на отдельные уровни. Каждый уровень используется для предоставления определенной услуги в смысле только что

перечисленных задач, правильная и своевременная доставка данных в распознаваемой форме.

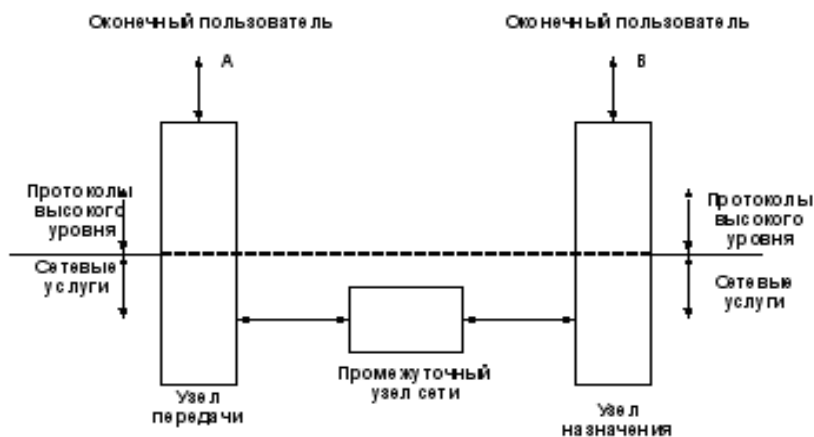


Рис. 25. Схема связи между пользователями А и В

Разработанная эталонная модель взаимодействия открытых систем (OSI) (ЭМВОС) поддерживает концепцию, при которой каждый уровень предоставляет услуги вышестоящему уровню и базируется на основе нижележащего уровня, используя его услуги. Каждый уровень выполняет определенную функцию по передаче данных. Хотя они должны работать в строгой очередности, но каждый из уровней допускает несколько вариантов.

8.2. Эталонная модель (OSI) ЭМВОС

Эталонная модель состоит из 7 уровней и имеет вид, представленный на рис. 26. Большинство производителей стараются придерживаться модели ЭМВОС, но до сих пор пока нет изделий полностью ей удовлетворяющих. Большинство производителей применяют 3 или 4 уровня протоколов. Взаимосвязь уровней друг с другом осуществляются хорошо определенными интерфейсами.

Выбор 7 уровней был продиктован обычными соображениями инженерного компромисса, требующего одновременно создать семейство надёжных протоколов и приемлемой стоимости. При этом требовалось, во-первых, иметь достаточно количество уровней, чтобы каждый из них был не слишком сложный с точки зрения разработки подробных протоколов с правильными и выполнимыми спецификациями, и во-вторых, желательно иметь не много уровней, чтобы их интеграция и описание не стали слишком сложными. Эталонная модель как раз и представляет многоуровневую архитектуру, которая описывается стандартными протоколами и процедурами.

Три нижних уровня модели предоставляют сетевые услуги. Протоколы, реализующие эти уровни, должны быть предусмотрены в каждом узле сети. Четыре верхних уровня предоставляют услуги самим конечным пользователям и таким образом, связаны с ними, а не с сетью.



Рис. 26. Эталонная модель взаимодействия ЭМВОС

8.3. Физический уровень

В этой части модели определяются физические, механические и электрические характеристики линий связи, составляющих ЛВС (кабелей, разъемов, оптоволоконных линий и т.п.). Можно считать, что этот уровень отвечает за аппаратное обеспечение. Хотя функции других уровней могут быть реализованы в соответствующих микросхемах, все же они относятся к программному обеспечению (ПО). Функции физического уровня заключаются в гарантии того, что символы, поступающие в физическую среду передачи на одном конце канала, достигнут другого конца. При использовании этой нижестоящей услуги по транспортировке символов задача протокола канала состоит в обеспечении надежной (безошибочной) передаче блоков данных по каналу. Такие блоки часто называют циклами, или кадрами. Процедура обычно требует синхронизации по первому символу в кадре, распознавания конца кадра, обнаружения ошибочных символов, если таковые возникнут, и исправления таких символов каким-либо способом (обычно это делается путем запроса на повторную передачу кадра, в котором обнаружены один или несколько ошибочных символов).

8.4. Уровень канала

Уровень канала передачи данных и находящийся под ним физический уровень обеспечивают канал безошибочной передачи между двумя узлами в сети. На этом уровне определяются правила использования физического уровня узлами сети. Электрическое представление данных в ЛВС (биты данных, методы кодирования данных и маркеры) распознаются на этом и только на этом уровне. Здесь обнаруживаются (распознаются) и исправляются ошибки путем

требований повторной передачи данных. Ввиду своей сложности, канальный уровень подразделяется на 2 подуровня MAC и LLC.

Подуровень MAC (Media Access Control) связан с доступом к сети (передача маркера или обнаружение коллизий или столкновений) и ее управлением. Подуровень LLC находится выше уровня MAC и связан с передачей и приемом использованных сообщений.

8.5. Сетевой уровень

Функция сетевого уровня состоит в том, чтобы установить маршрут для передачи данных по сети или при необходимости через несколько сетей от узла передачи до узла назначения. Этот уровень предусматривает также управление потоком или перегрузками с целью предотвращения переполнения сетевых ресурсов (накопителей в узлах и каналов передачи), которое может привести к прекращению работы. При выполнении этих функций на сетевом уровне используется услуга нижестоящего уровня – канала передачи данных, обеспечивающего безошибочное поступление по сетевому маршруту блока данных, введенного в канал на противоположном конце. В сети с коммутацией пакетов блоками данных, передаваемых по сетевому маршруту от одного конца к другому, как говорилось выше, являются пакеты. Блоки или кадры данных, передаваемые по каналу связи через сеть, состоят из пакетов плюс управляющей информации в виде заголовков и окончаний, добавляемых к пакету непосредственно перед его отправлением из узла.

Эта управляющая информация дает возможность принимающему узлу на другом конце канала выполнить требуемую синхронизацию и обнаружение ошибок. В каждом принимающем узле управляющая информация отделяется от остальной части пакета, а затем вновь добавляется, когда этот узел в свою очередь передает пакет по каналу следующему соседнему узлу. Описанный принцип добавления управляющей информации к данным в архитектуре ВОС расширен и в нем включена возможность добавления управляющей информации на каждом уровне архитектуры (рис. 27). В случае уровня канала может быть добавлено также окончание, но принцип последовательного добавления к пакету данных управляющей информации сохраняется. На каждом уровне блок данных принимается от вышестоящего уровня, к данным добавляется управляющая информация, и блок данных передается нижестоящему уровню. На приемном конце соответствующего уровня архитектуры используется только заголовок (управляющая информация). При этом подходе данный уровень не “просматривает” блок данных, который он получает от вышестоящего уровня, следовательно, уровни самостоятельны и изолированы друг от друга.

Указанная особенность приводит к ценному свойству концепции многоуровневой архитектуры – уровни могут удаляться и заменяться новыми. Реализация (программные продукты, воплощающие многоуровневую архитектуру), может быть легко изменена. В результате получается прозрачность для вышестоящего уровня при условии, что сигналы сопряжения, проходящие

между уровнями, поддерживаются неизменными (оконечные пользователи могут ощущать изменение характеристик вследствие того, что характеристики передачи, задержки блокировок могут зависеть от конкретной реализации архитектуры).

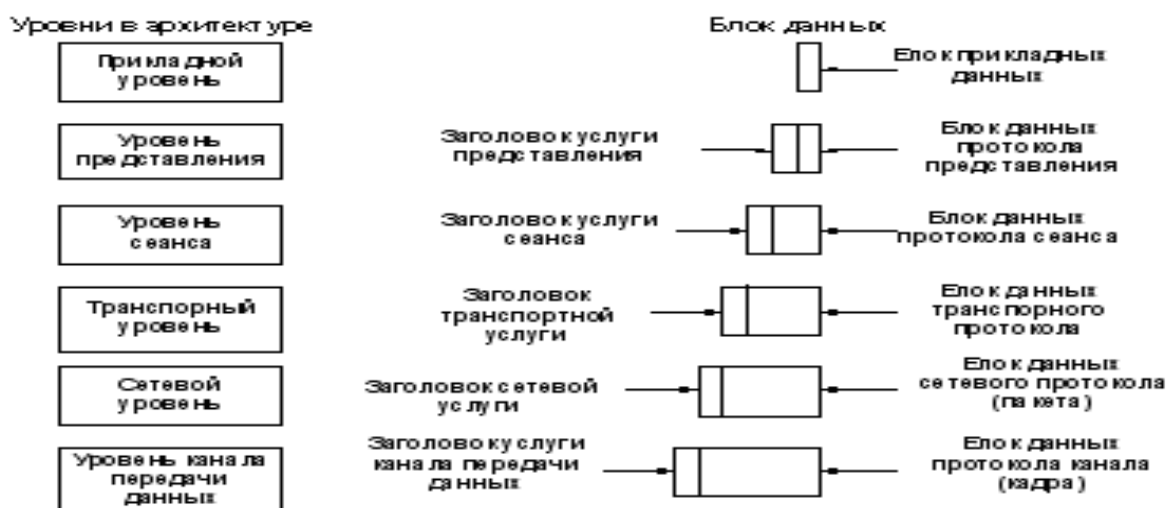


Рис. 27. Формирование управляющей информации

Таким образом, пакетная передача через сеть от одного оконечного пользователя к другому в общем случае состоит в передаче фактической (полезной) информации, плюс управляющей информации, добавляемой на различных уровнях и подлежащей удалению, когда пакет поступает по назначению и начинает восстанавливаться на своем пути через эти уровни.

Оконечному пользователю сеть представляется как “прозрачный трубопровод”, основная задача которого, – передать по маршруту блоки данных от источника к получателю, доставив их своевременно в желаемый конец. Тогда задача верхних уровней – фактическая доставка данных в правильном виде и распознаваемой форме. Эти верхние уровни не знают о существовании сети. Они обеспечивают только требующуюся от них услугу.

8.6. Транспортный уровень

Нижний из верхних уровней ВОС, транспортный уровень, обеспечивает надежный, последовательный обмен данными между двумя оконечными пользователями. Для этой цели на транспортном уровне используется услуга сетевого уровня. Он управляет также потоком, чтобы гарантировать правильный прием блоков данных. Вследствие различия оконечных устройств, данные в системе могут передаваться с разными скоростями, поэтому, если не действует управление потоками, более медленные системы могут быть переполнены быстродействующими. Когда в процессе обработки находится больше одного пакета, транспортный уровень контролирует очередность

прохождения компонент сообщения. Если приходит дубликат принятого ранее сообщения, то данный уровень опознает это и игнорирует сообщение.

8.7. Уровень сеанса

Функции этого уровня состоят в координации связи между двумя прикладными программами, работающих на разных рабочих станциях. Он также предоставляет услуги вышестоящему уровню представления. Это происходит в виде хорошо структурированного диалога. В число этих функций входит создание сеанса, управление передачей и приемом пакетов сообщений в течение сеанса и завершение сеанса. Этот уровень при необходимости также управляет переговорами, чтобы гарантировать правильный обмен данными. Диалог между пользователем сеансовой услуги (т.е. сторонами уровня представления и вышестоящим уровнем) может состоять из нормального или ускоренного обмена данными. Он может быть дуплексным, т.е. одновременной двусторонней передачей, когда каждая сторона имеет возможность независимо вести передачу, или полудуплексной, т.е. содновременной передачей только в одну сторону. В последнем случае для передачи управления с одной стороны к другой применяются специальные метки.

Уровень сеанса предоставляет услугу синхронизации для преодоления любых обнаруженных ошибок. При этой услуге метки синхронизации должны вставляться в поток данных пользователями услуги сеанса. Если будет обнаружена ошибка, то сеансовое соединение должно быть возвращено в определенное состояние, пользователи должны вернуться в установленную точку диалогового потока, сбросить часть переданных данных и затем восстановит передачу, начиная с этой точки. Уровень сеанса предусматривает также при желании функцию управления активностью. При осуществлении этой функции диалог может быть разбит на отрезки активности, каждый из которых может быть прерван и продолжен в любой момент, начиная со следующего отрезка активности.

8.8. Уровень представления

Наконец, уровень представления управляет и преобразует синтаксис блоков данных, которыми обмениваются оконечные пользователи. Такая ситуация может возникать в неоднотипных ПК (IBM PC, Macintosh, DEC, Next, Vurgh), которым необходимо обмениваться данными. Назначение – преобразование синтаксических блоков данных.

8.9. Прикладной уровень

Протоколы прикладного уровня придают соответствующую семантику или смысл обмениваемой информации. Этот уровень является пограничным между ПП и процессами модели ЭМОС. Сообщение, предназначенное для передачи через компьютерную сеть, попадает в модель ЭМОС в данной точке,

проходит через уровень 1 (физический), пересылается на другой РС и проходит от уровня 1 в обратном порядке до достижения ПП на другом РК через ее прикладной уровень. Таким образом, прикладной уровень обеспечивает взаимопонимание двух прикладных программ на разных компьютерах.

Информационно-коммуникационные технологии представляют собой взаимосогласованную совокупность принципов, методов, способов и средств сбора, накопления, хранения, поиска, обработки, обмена, передачи, отображения и выдачи информации. А также инструментальных систем, их информационного и программного обеспечения, организационно-административных положений, регламентирующую и поддерживающую деятельность людей при создании, реализации, распространении, сопровождении и развитии технологий индустрии информации.

Средства информационно-коммуникационных технологий базируются на вычислительных, информационных и коммуникационных ресурсах. К вычислительным ресурсам относятся: персональные компьютеры, рабочие станции, серверы, суперсерверы, суперкомпьютеры, мэйнфреймы, кластеры, параллельные вычислительные системы, вычислительные сети, распределенные вычислительные системы. Среди коммуникационных ресурсов различаются коммуникационные ресурсы групп пользователей, коммуникационные ресурсы локальных сетей, коммуникационные ресурсы корпоративных сетей, коммуникационные ресурсы региональных сетей, коммуникационные ресурсы глобальных сетей. Типовые функциональные спецификации коммуникационных ресурсов реализуются коммутаторами, маршрутизаторами, мостами/маршрутизаторами, мостами и шлюзами. Информационные ресурсы создаются на основе баз данных, систем управления базами данных, баз знаний, систем управления базами данных, информационно-поисковых систем, мультимедийных информационных систем, географических информационных систем, электронных библиотек, систем виртуальной реальности, Web-серверов, форумов, порталов.

Построение информационных супертрасс предусматривается с целью создания базовой инфраструктуры для глобально-интегрированных, мультимедиа, простых и относительно дешевых сетей связи. Информационные супертрассы являются неотъемлемой частью информационного сообщества. Основные предпосылки для создания и развития технологического ядра информационных супертрасс связаны с эволюцией информационных технологий. Эволюция представляется в терминах трех важнейших составляющих:

- высокая скорость, обусловленная возрастающими возможностями каналов связи, которая достигается за счет применения новых режимов переноса информации и оптических кабелей;
- интеллектуальность сетей связи, создаваемых посредством интеграции высокоразвитых вычислительных и коммуникационных ресурсов;
- большая вездесущность и мобильность конечных пользовательских систем, которые достигаются за счет миниатюризации и применения технологий беспроводной связи. Исключительные особенности особого статуса

информационно коммуникационных технологий требуют эволюционного развития образовательных технологий.

Лекция 9. Разновидности каналов. Оптоволоконные, радиоканалы, спутниковые каналы

Среда передачи данных это совокупность линий передачи данных и блоков взаимодействия (сетевого оборудования, не входящего в станции данных), предназначенных для передачи данных между станциями данных. Среды передачи данных могут быть общего пользования или выделенными для конкретного пользователя.

Линия передачи данных это средства, которые используются в информационных сетях для распространения сигналов в нужном направлении. Примерами линий передачи данных являются коаксиальный кабель, витая пара проводов, световод. Характеристиками линий передачи данных являются зависимости затухания сигнала от частоты и расстояния. Затухание принято оценивать в децибелах, $1 \text{ дБ} = 10 \lg(P1/P2)$, где $P1$ и $P2$ – мощности сигнала на входе и выходе линии соответственно.

При заданной длине линии можно говорить о полосе пропускания (полосе частот) линии. Полоса пропускания связана со скоростью передачи информации. Различают бодовую (модуляционную) и информационную скорости. Бодовая скорость измеряется в бодах, т.е. числом изменений дискретного сигнала в единицу времени, а информационная – числом битов информации, переданных в единицу времени. Именно бодовая скорость определяется полосой пропускания линии. Если на бодовом интервале (между соседними изменениями сигнала) передается N бит, то число градаций модулируемого параметра несущей частоты равно $2N$. Например, при числе градаций 16 и скорости 1200 бод одному боду соответствует 4 бит/с и информационная скорость составит 4800бит/с.

Максимально возможная информационная скорость V связана с полосой пропускания F канала связи формулой Хартли-Шеннона (предполагается, что одно изменение величины сигнала приходится на $\log_2 k$ бит, где k – число возможных дискретных значений сигнала) $V = 2F \log_2 k$ бит/с, так как $V = \log_2 k/t$, где t – длительность переходных процессов, приблизительно равная $3TB$, а $TB = 1/(2pF)$, здесь $k = 1+A$, A – отношение сигнал/помеха.

Канал (канал связи) это средства односторонней передачи данных. Примером канала может быть полоса частот, выделенная одному передатчику при радиосвязи. В некоторой линии можно образовать несколько каналов связи, по каждому из которых передается своя информация. При этом говорят, что линия разделяется между несколькими каналами. Существуют два метода разделения линии передачи данных: временное мультиплексирование (иначе разделение по времени или TDM), при котором каждому каналу выделяется

некоторый квант времени, и частотное разделение (FDM – Frequency Division Method), при котором каналу выделяется некоторая полоса частот.

Канал передачи данных – средство двустороннего обмена данными, включающие АКД и линию передачи данных. По природе физической среды передачи данных (ПД) различают каналы передачи данных на оптических линиях связи, проводных (медных) линиях связи и беспроводные. В свою очередь, медные каналы могут быть представлены коаксиальными кабелями и витыми парами, а беспроводные; радио – и инфракрасными каналами.

В зависимости от способа представления информации электрическими сигналами различают аналоговые и цифровые каналы передачи данных. В аналоговых каналах для согласования параметров среды и сигналов применяют амплитудную, частотную, фазовую и квадратурно-амплитудную модуляции. В цифровых каналах для передачи данных используют самосинхронизирующиеся коды, а для передачи аналоговых сигналов – кодово-импульсную модуляцию.

Первые сети ПД были аналоговыми, поскольку использовали распространенные телефонные технологии. Но в дальнейшем устойчиво растет доля цифровых коммуникаций (это каналы типа E1/T1, ISDN, сети Frame Relay, выделенные цифровые линии и др.).

В зависимости от направления передачи различают каналы симплексные (односторонняя передача), дуплексные (возможность одновременной передачи в обоих направлениях) и полудуплексные (возможность попеременной передачи в двух направлениях).

В зависимости от числа каналов связи в аппаратуре ПД различают одно- и многоканальные средства ПД. В локальных вычислительных сетях и в цифровых каналах передачи данных обычно используют временное мультиплексирование, в аналоговых каналах – частотное разделение.

Если канал ПД монопольно используется одной организацией, то такой канал называют выделенным, в противном случае канал является разделяемым или виртуальным (общего пользования). К передаче информации имеют прямое отношение телефонные сети, вычислительные сети передачи данных, спутниковые системы связи, системы сотовой радиосвязи.

9.1. Проводные линии связи

В вычислительных сетях проводные линии связи представлены коаксиальными кабелями и витыми парами проводов. Используются коаксиальные кабели: «толстый» диаметром 12,5 мм и «тонкий» диаметром 6,25 мм. «Толстый» кабель имеет меньшее затухание, лучшую помехозащищенность, что обеспечивает возможность работы на больших расстояниях, но он плохо гнется, что затрудняет прокладку соединений в помещениях и дорожке «тонкого».

Существуют экранированные (STP – Shielded Twist Pair) и неэкранированные (UTP – Unshielded Twist Pair) витые пары проводов.

Экранированные пары сравнительно дороги. Неэкранированные витые пары имеют несколько категорий (типов). Обычный телефонный кабель – пара категории 1. Пара категории 2 может использоваться в сетях с пропускной способностью до 4 Мбит/с. Для сетей Ethernet (точнее, для ее варианта с названием 10Base-T) разработана пара категории 3, а для сетей Token Ring пара категории 4. Наиболее совершенной является витая пара категории 5, которая применима при частотах до 100 МГц. В паре категории 5 проводник представлен медными жилами диаметром 0,51 мм, навитыми по определенной технологии и заключенными в термостойкую изолирующую оболочку. В высокоскоростных ЛВС на УТР длины соединений обычно не превышают 100 м. Затухание на 100 МГц и при длине 100 м составляет около 24 дБ, при 10 МГц и 100 м около 7 дБ. Витые пары иногда называют сбалансированной линией в том смысле, что в двух проводах линии передаются одни и те же уровни сигнала (по отношению к земле), но разной полярности. При приеме воспринимается разность сигналов, называемая парафазным сигналом. Синфазные помехи при этом самокомпенсируются.

9.2. Оптические линии связи

Оптические линии связи реализуются в виде волоконно-оптических линий связи (ВОЛС). Конструкция ВОЛС это кварцевый сердечник диаметром 10 мкм, покрытый отражающей оболочкой с внешним диаметром 125–200 мкм. Типичные характеристики ВОЛС: работа на волнах 0,85–1,55 мкм, затухание 0,7 дБ/км, полоса частот – до 2 ГГц. Ориентировочная цена 4–5 долларов за 1 м. Предельные расстояния D для передачи данных по ВОЛС (без ретрансляции) зависят от длины волны излучения L . Для $L=850$ нм имеем $D=5$ км, а для $L=1300$ нм $D=50$ км, но аппаратурная реализация дороже.

ВОЛС являются основой высокоскоростной передачи данных, особенно на большие расстояния. Так, в настоящее время практически реализован проект кругосветного канала передачи данных на ВОЛС длиной в 27,3 тыс. км, кабель проходит по дну трех океанов, Средиземного и Красного морей, информационная скорость 5,3 Гбит/с. Именно на ВОЛС достигнуты рекордные скорости передачи информации.

В экспериментальной аппаратуре с использованием метода мультиплексирования с разделением каналов по длинам волн (WDM – Wavelengths Division Multiplexing) достигнута скорость 1100 Гбит/с на расстоянии 150 км. В одной из действующих систем на основе WDM передача идет со скоростью 40 Гбит/с на расстояния до 320 км. В методе WDM выделяется несколько несущих частот (каналов). Так, в последней упомянутой системе имеются 16 таких каналов вблизи частоты 4–105 ГГц, отстоящих друг от друга на 103 ГГц, в каждом канале достигается скорость 2,5 Гбит/с.

9.3. Беспроводные каналы связи

В беспроводных каналах передача информации осуществляется на основе распространения радиоволн. В табл.1 приведены сведения о диапазонах электромагнитных колебаний, используемых в беспроводных и оптических каналах связи.

Таблица 1

Диапазоны радиоволн

Диапазон	Длины волн, м	Частоты, ГГц	Применение
Дециметровый	1–0,1	0,3–3	Сотовые радиотелефоны, ТВ, спутниковая связь, РК в ЛВС*
Сантиметровый	0,1–0,01	3–30	Радиорелейные линии, РК в ЛВС, спутниковая связь
Миллиметровый	0,01–0,001	30–300	РК в ЛВС
Инфракрасный	0,001–7,5·10 ⁻⁷	3·10 ⁺² –4·10 ⁺⁵	ВОЛС, WDM**

* РК в ЛВС – радиоканалы в локальных сетях и системах связи;

** WDM – мультиплексирование с разделением каналов по длинам волн.

Для организации канала ПД в диапазонах дециметровых волн (902–928 МГц и 2,4–2,5 ГГц) требуется регистрация в Госсвязьнадзоре. Работа в диапазоне 5,725–5,85 ГГц пока лицензирования не требует. Чем выше несущая частота, тем больше емкость (число каналов) системы связи, но тем меньше предельные расстояния, на которых возможна прямая передача между двумя пунктами без ретрансляторов.

Первая из причин и порождает тенденцию к освоению новых более высокочастотных диапазонов. Радиоканалы входят необходимой составной частью в спутниковые и радиорелейные системы связи, применяемые в территориальных сетях, в сотовые системы мобильной связи, они используются в качестве альтернативы кабельным системам в локальных сетях и при объединении сетей отдельных офисов и предприятий в корпоративные сети. Во многих случаях применение радиоканалов оказывается более дешевым решением по сравнению с другими вариантами.

В территориальных сетях на региональном уровне часто используются радиорелейные линии связи (коммутация каналов, диапазон частот 15–23 ГГц, связь в пределах прямой видимости, что ограничивает дальность между соседними станциями до 50 км при условии размещения антенн на строениях типа башен). Последовательность станций, являющихся ретрансляторами, позволяет передавать информацию на значительные расстояния.

Радиосвязь используется в корпоративных и локальных сетях, если затруднена прокладка других каналов связи. Радиоканал либо выполняет роль

моста между подсетями (двухточечное соединение), либо является общей средой передачи данных в ЛВС по излагаемому далее методу МДКН/ОК, либо служит соединением между центральным и терминальными узлами в сети с централизованным управлением.

В первом случае (связь двух сетей) имеем двухточечное соединение с направленными антеннами, дальность в пределах прямой видимости (обычно до 15–20 км с расположением антенн на крышах зданий). Мост имеет два адаптера: один для формирования сигналов для радиоканала, другой для кабельной подсети. В случае использования радиоканала в качестве общей среды передачи данных в ЛВС сеть называют Radio Ethernet (стандарт IEEE802.11), она обычно используется внутри зданий. В состав аппаратуры входят приемопередатчики и антенны. Связь осуществляется на частотах от одного до нескольких гигагерц. Расстояния между узлами несколько десятков метров.

В соответствии со стандартом IEEE 802.11 возможны два способа передачи двоичной информации в ЛВС, оба они имеют целью обеспечить защиту информации от нежелательного доступа. Первый способ называется методом прямой последовательности (DSSS – Direct Sequence Spread Spectrum). В нем вводится избыточность, каждый бит данных представляется последовательностью из 11 элементов «чипов». Эта последовательность создается по алгоритму, известному участникам связи, и потому может быть дешифрована при приеме. Избыточность повышает помехоустойчивость, что позволяет снизить требования к мощности передатчика, а для сохранения высокой скорости нужно расширять полосу пропускания. Так, в аппаратуре фирмы Aironet в диапазоне 2,4 ГГц имеются 4 канала шириной в 22 МГц.

Второй способ – метод частотных скачков (FHSS – Frequency Hopping Spread Spectrum). В этом методе полоса пропускания делится на 79 поддиапазонов. Передатчик через каждые 20 мс переключается на новый поддиапазон, причем алгоритм изменения частот известен только участникам связи и может изменяться, что и затрудняет несанкционированный доступ к данным.

В варианте использования радиоканалов для связи центрального и периферийного узлов центральный пункт имеет ненаправленную антенну, а терминальные пункты при этом используют направленные антенны. Дальность связи составляет также десятки метров, а вне помещений – сотни метров. Пример многоточечной системы: ненаправленная антенна по горизонтали, угол 30 градусов по вертикали 5,8 ГГц – к терминалам, 2,4 ГГц – к центральному узлу, до 62 терминалов, дальность - 80 м без прямой видимости. В системе Room About связь на частоте 920 МГц гарантируется на расстоянии в 120 метров, предусмотрена защита от перехвата информации.

В условиях высоких уровней электромагнитных помех иногда используют инфракрасные каналы связи. В последнее время их стали применять не только в цехах, но и в офисах, где лучи можно направлять над перегородками помещения.

Поставкой оборудования для организации корпоративных и локальных беспроводных сетей занимается ряд фирм, в том числе известные фирмы Lucent Technologies, Aironet, Multipoint Network. В оборудование беспроводных каналов ПД входят: сетевые адаптеры и радиомодемы, поставляемые вместе с комнатными антеннами и драйверами. Они различаются способами обработки сигналов, характеризуются частотой передачи, пропускной способностью, дальностью связи. Сетевой адаптер вставляется в свободный разъем шины компьютера. Например, адаптер Wave LAN (Lucent Technologies) подключается к шине ISA, работает на частоте 915 МГц, пропускная способность 2Мбит/с. Радиомодем подключается к цифровому ООД через стандартный интерфейс. Например, радиомодемы серии RAN (Multipoint Networks) могут работать в дуплексном или полудуплексном режимах; со стороны порта данных – интерфейс RS-232C, RS-449 или V.35, скорости до 128 кбит/с; со стороны радиопорта – частоты 400–512 или 820–960 МГц, ширина радиоканала 25–200 кГц.

Радиомосты используются для объединения между собой кабельных сегментов и отдельных ЛВС в пределах прямой видимости и для организации магистральных каналов в опорных сетях, выполняют ретрансляцию и фильтрацию пакетов.

9.4. Спутниковые каналы передачи данных

Спутники в системах связи могут находиться на геостационарных (высота 36 тысяч км) или низких орбитах. При геостационарных орбитах заметны задержки на прохождение сигналов (туда и обратно около 520 мс). Возможно покрытие поверхности всего земного шара с помощью четырех спутников. В низкоорбитальных системах обслуживание конкретного пользователя происходит попеременно разными спутниками. Чем ниже орбита, тем меньше площадь покрытия и, следовательно, нужно или больше наземных станций, или требуется межспутниковая связь, что естественно утяжеляет спутник. Число спутников также значительно больше (обычно несколько десятков)

Структура спутниковых каналов передачи данных может быть проиллюстрирована на примере широко известной системы VSAT (Very Small Aperture Terminal). Наземная часть системы представлена совокупностью комплексов, в состав каждого из них входят центральная станция (ЦС) и абонентские пункты (АП). Связь ЦС со спутником происходит по радиоканалу (пропускная способность 2 Мбит/с) через направленную антенну диаметром 1–3 м и приемно-передающую аппаратуру. АП подключаются к ЦС по схеме «звезда» с помощью многоканальной аппаратуры (обычно это аппаратура T1 или E1, хотя возможна и связь через телефонные линии) или по радиоканалу через спутник. Те АП, которые соединяются по радиоканалу (это подвижные или труднодоступные объекты), имеют свои антенны, и для каждого АП выделяется своя частота. ЦС передает свои сообщения широкоэвещательно на одной фиксированной частоте, а принимает на частотах АП. Арендная плата за соединение "точка-точка" через VSAT со скоростью 64 кбит/с составляет около

3900 долларов в месяц, что для больших расстояний дешевле, чем аренда выделенной наземной линии. Примерами российских систем спутниковой связи с геостационарными орбитами могут служить системы Инмарсат и Runnet. Так, в Runnet применяются геостационарные спутники «Радуга». Один из них, с точкой стояния 85 градусов в.д., охватывает почти всю территорию России. В качестве приемопередающей аппаратуры (ППА) используются станции «Кедр-М» или «Калинка», работающие в сантиметровом диапазоне волн (6,18–6,22 ГГц и 3,855–3,895 ГГц соответственно). Диаметр антенн 4,8 м.

В планируемой фирмой LMI системе глобальной спутниковой связи предусматривается 4 геостационарных спутника. В России для этой системы будет установлено 26–30 наземных станций (оператор Ростелеком). Примеры сетей с низкоорбитальными спутниками – система глобальной спутниковой телефонной связи «Глобалстар». Она имеет 48 низкоорбитальных (высота 1400 км) спутников охватывают весь земной шар. Каждая станция (наземная) имеет одновременно связь с тремя спутниками. У спутника шесть сфокусированных лучей по 2800 дуплексных каналов каждый. Обеспечиваются телефонная связь для труднодоступных районов, навигационные услуги, определение местонахождения подвижных объектов. Терминал обойдется в 750 долл., минута разговора в 30–50 центов. Начало коммерческой эксплуатации было намечено на 1999 г. Другая глобальная спутниковая сеть Iridium, имеющая и российский сегмент, включает 66 низкоорбитальных спутников, диапазон частот 1610–1626,5 МГц. В российской системе Глоснасс – 24 спутника. В 2000 г. 30% международного трафика проходило по спутниковым каналам, 70% , по наземным линиям.

Лекция 10. Методы передачи данных

10.1. Методы передачи данных на физическом уровне

Физический уровень является самым нижнем уровнем в модели ЭМВОС и обеспечивает взаимодействие ООД со средой передачи данных, связывающей системы друг с другом. В модемах производятся преобразования двоичных данных в аналоговые сигналы, параметры которых согласованы с параметрами физической среды. На приемной стороне осуществляется обратное преобразование аналоговых сигналов в двоичные, которое может отличаться от исходного из-за воздействия помех.

Также в качестве каналов связи могут использоваться цифровые каналы, вместо модемов используются линейные контроллеры, которые обеспечивают сопряжения оконечного оборудования обработки данных (ООД) с физическим каналом. На физическом уровне не решается задача исправления искаженных бит, поэтому его считают ненадежной системой передачи. Основная задача физического уровня – обеспечить соединения для передачи физических сервисных блоков данных, при этом СБД физического уровня является один бит. Биты передаются дуплексным или полудуплексным способом и

передаются получателю в том же порядке, в котором они поступили от источника.

Физический уровень формирует передаваемый сигнал, кодирует, декодирует и синхронизирует биты данных, а также контролирует состояния среды передачи. Физическое соединение представляется пользователем, расположенным на канальном уровне. В соответствии с архитектурой открытых систем физический уровень должен предоставлять канальному:

- физические услуги (соединение) между двумя или более числом объектов канального уровня;
- разъединять при необходимости установленные соединения;
- обеспечить требуемые параметры качества обслуживания.

Качество обслуживания физическим уровнем определяется:

- частотой появления ошибок;
- скоростью передачи двоичных данных в секунду;
- задержкой передачи.

При обмене данными по выделенным каналам связи, необходимость в установлении соединения на физическом уровне отсутствует. Назначением физического уровня является обеспечение механических, электрических, функциональных и процедурных средств, с целью передачи последовательностей бит между объектами канального уровня. Механические характеристики физического уровня определяют организацию сопряжения оконечного оборудования данных саппаратурой коммутации данных, т. е. с реальной физической средой передачи. Непосредственное соединение устанавливается при помощи соединителей различных типов, которые обеспечивают гальваническую связь ООД с физической средой передачи. В качестве механических характеристик определяются:

- конструктивное исполнение соединения;
- тип крепления;
- способы крепления;
- схемы расположения контактов;
- соответствие цепей обмена контактами разъема.

Механические характеристики представлены в стандарте ISO 2110, 2593, 4902, 4903. Обмен в существующих сетях осуществляется электрическим сигналом и модули сопряжения должны производиться сигналы к приемлемому виду.

Электрические характеристики физического уровня определяются стандартами МККТТ V.28; V.10/X.26; V.11/X.27, где V – аналоговые каналы связи, X – цифровые. В процессе установления соединения обмена сети с узлом коммутации или другими абонентами происходит обмен служебной информации, связанный с управлением и синхронизацией. После установления соединения обеспечивается обмен данными, причем в случае использования полудуплексного режима соответствующие сигналы должны иметь направление информации, по окончании обмена данными может потребоваться выполнение разъединения соединения. Выполнение этих функций обеспечивается построением стыка между ООД и АКД. Функциональные

характеристики физического уровня определяют тип, число и назначения соединительных линий (цепей) стыка ООД/АКД. При разработке этого стыка применяют два основных подхода:

1. Для выполнения каждой функцией управления стыком предназначена отдельная цепь, в этом случае стык содержит цепи заземления, передачи приема данных; цепи управления для передачи команд от ООД к АКД; цепи оповещения для передачи сигналов от АКД к ООД; цепи автоматического установления соединения, обеспечивающих передачу сигнала вызова к другим абонентам и цепи синхронизации. (Пример: рекомендация V.24 МККТТ, она определяет цепи стыка между ООД и АКД для работы по аналоговым каналам связи.) В соответствии этой рекомендации ООД и АКД (модем) соединяются с помощью 34 цепей общего назначения и 12 цепей автоматического вызова. Цепи общего назначения делятся на 4 категории:

- заземление;
- данные;
- управление;
- синхронизация.

С помощью этих цепей ООД управляет модемом, он сообщает ООД о своем состоянии и производится двусторонний обмен данными. Цепи автоматического вызова используются для установления физического соединения при работе по коммутируемым каналам связи: RS-232, RS-422, RS-423, RS-449, RS-485.

2. Основан на создании (разработке) стыков с наименьшим числом цепей. В этом случае ООД непосредственно участвует в установлении и разъединении физического соединения, т.е. ООД ведет обмен управляющей информацией с другими ООД, для чего оно (ООД) должно формировать и передавать служебные знаки по цепи передачи и распознавать знаки, принимаемые по цепи приема. В этом случае при работе «start - stop» режиме цепи управления, оповещения автоматические.

При работе в синхронном режиме необходимы цепи приема, передачи, управления и оповещения. X.21 определяет цепи стыка между ООД и АКД при работе по цифровым каналам (имеет 8 цепей). Процедурные характеристики физического уровня определяют последовательность изменений состояния цепей I между ООД и АКД, т.е. определяют логику взаимодействия объектов на физическом уровне, т.е. какие сигналы посылаются и какие ожидаются.

10.2. Основные рекомендации МККТТ: V.24, X.21, X.21 бис, X.20

Данный уровень определяет интерфейсы системы с каналом связи, а именно, механические, электрические, функциональные и процедурные параметры соединения. Физический уровень также описывает процедуры передачи сигналов в канал и получения их из канала. Он предназначен для переноса потока двоичных сигналов (последовательности бит) в виде, пригодном для передачи по конкретной используемой физической среде. В качестве такой физической среды передачи могут выступать канал тональной

частоты, соединительная проводная линия, радиоканал или что-то другое. Физический уровень выполняет три основные функции: установление и разъединение соединений; преобразование сигналов и реализация интерфейса.

10.3. Установление и разъединение соединения

При использовании коммутируемых каналов на физическом уровне необходимо осуществить предварительное соединение взаимодействующих систем и их последующее разъединение. При использовании выделенных (арендуемых) каналов такая процедура упрощается, так как каналы постоянно закреплены за соответствующими направлениями связи. В последнем случае обмен данными между системами, не имеющими прямых связей, организуется с помощью коммутации потоков, сообщений или пакетов данных через промежуточные взаимодействующие системы (узлы). Однако функции такой коммутации выполняются уже на более высоких уровнях и к физическому уровню отношения не имеют. Кроме физического подключения взаимодействующие модемы могут также «договариваться» об устраивающем их режиме работы, т.е. способе модуляции, скорости передачи, режимах исправления ошибок и сжатия данных и т.д. После установления соединения управление передается более высокому каналному уровню.

10.4. Преобразование сигналов

Для согласования последовательности передаваемых бит с параметрами используемого аналогового или цифрового канала требуется выполнить их преобразование в аналоговый либо дискретный сигнал соответственно. К этой же группе функций относятся процедуры, реализующие стык с физическим (аналоговым или цифровым) каналом связи. Такой стык часто называется стыком, зависящим от среды, и он может соответствовать одному из гостированных канальных стыков С1, например: С1-ТФ (ГОСТ 23504-79, 25007-81, 26557-85) – для каналов ТфОП, С1-ТЧ (ГОСТ 23475-79, 23504-79, 23578-79, 25007-81, 26557-85) – для выделенных каналов тональной частоты, СЫТ (ГОСТ 22937-78) – для телеграфных каналов связи, С1-ШП (ГОСТ 24174-80, 25007-81, 26557-85) – для первичных широкополосных каналов, С1-ФЛ (ГОСТ 24174-80, 26532-85) – для физических линий связи, С1-АК – для акустического сопряжения с каналом связи и ряд других. Функция преобразования сигналов является главной функцией модемов. По этой причине первые модемы, не обладавшие интеллектуальными возможностями и не выполнявшие аппаратное сжатие и коррекцию ошибок, часто называли устройствами преобразования сигналов.

10.5. Реализация интерфейса

Реализация интерфейса между DTE и DCE является третьей важнейшей функцией физического уровня. Такого рода интерфейсы регламентируются

соответствующими рекомендациям и стандартами, к которым, в частности, относятся V.24, RS-232, RS-449, RS-422A, RS-423A, V.35 и другие. Такие интерфейсы определяются отечественными ГОСТ как преобразовательные стыки С2 или стыки, независимые от среды. Стандарты и рекомендации по интерфейсам DTE/DCE определяют общие характеристики (скорость и последовательность передачи), функциональные и процедурные характеристики (номенклатура, категория цепей интерфейса, правила их взаимодействия); электрические (величины напряжений, токов и сопротивлений) и механические характеристики (габариты, распределение контактов по цепям).

На физическом уровне происходит диагностика определенного класса неисправностей, например таких, как обрыв провода, пропадание питания, потеря механического контакта и т.п. Типовой профиль протоколов при использовании модема, поддерживающего только функции физического уровня, приведен на рис. 28. При этом считается, что компьютер (DTE) соединяется с модемом (DCE) посредством интерфейса RS-232, а модем использует протокол модуляции V.21. Помехозащищенность канала связи, состоящего из двух модемов и среды передачи между ними, является ограниченной и, как правило, не удовлетворяет требованиям, предъявляемым к достоверности передаваемых данных. По этой причине физический уровень рассматривается как ненадежная система. Задача исправления искаженных в канале передачи битов решается на более высоких уровнях, в частности, на канальном уровне

Протокол Ethernet позволяет передавать данные со скоростью 10 Мбит/с и использовать следующие типы кабелей: толстый коаксиальный кабель (стандарт 10Base-5), тонкий коаксиал (стандарт 10Base-2), неэкранированную витую пару (стандарт 10Base-T), оптоволоконный кабель (стандарт 10Base-F).

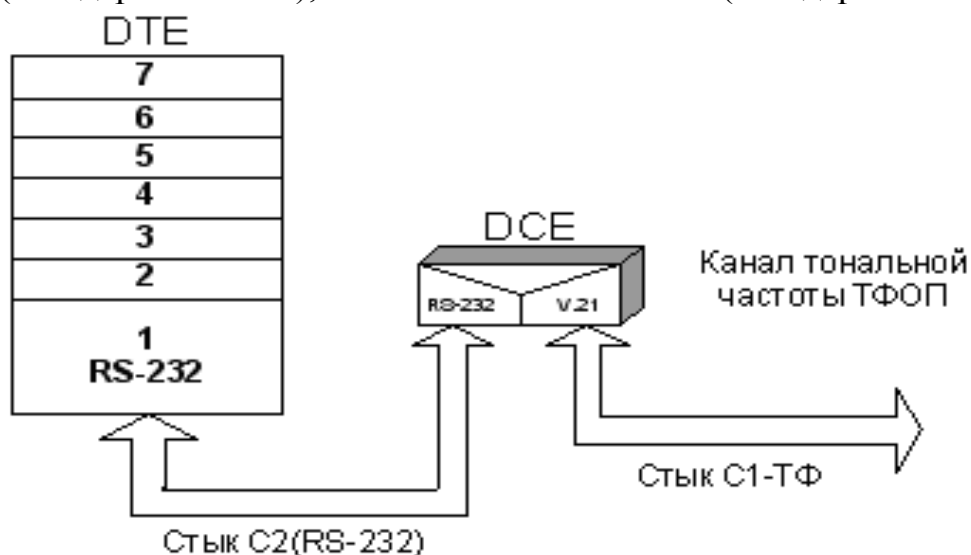


Рис. 28. Типовой профиль протоколов при использовании модема

10.6. Методы передачи данных на канальном уровне. Протокол Ethernet

Данные в протоколах канального уровня передаются в виде группы бит, организованных в кадр данных. Исторически существует 4 различных формата кадров Ethernet:

- кадр Ethernet DIX (Ethernet II) – один из первых форматов, стандарт фирм Digital, Intel и Xerox;
- кадр 802.3/LLC – международный стандарт;
- кадр Raw 802.3 (Novell 802.3) – стандарт фирмы Novell;
- кадр Ethernet SNAP – второй доработанный вариант международного стандарта. Обычно сетевые карты автоматически распознают и поддерживают все четыре формата кадров. Для простоты изложения ограничимся рассмотрением самого простого по формату кадра Ethernet II, который имеет следующие поля:
- преамбула (для синхронизации) и признак начала кадра;
- адрес назначения пакета;
- адрес источника пакета;
- тип пакета (указывает какому протоколу более высокого уровня принадлежит пакет);
- данные (передаваемая информация);
- CRC – контрольная сумма. Однако, помимо структуры кадра данных, в протоколе необходимо оговорить и порядок передачи этого кадра по сети.

Основным принципом работы Ethernet является использование общей среды передачи данных разделяемой, по времени, когда кадры данных передаются всеми компьютерами по общему кабелю. Особенно наглядно это проявляется при топологии «общая шина», хотя принцип сохраняется и при любой другой топологии. Впервые такой метод доступа к разделяемой общей среде был опробован во второй половине 60-х годов, в радиосети Aloha Гавайского университета, где общей средой передачи данных являлся радиоэфир. В 1975 году этот принцип был реализован и для коаксиального кабеля, в первой экспериментальной сети Ethernet Network фирмы Xerox.

В настоящее время сети Ethernet используют метод доступа CSMA/CD (Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection) – коллективный доступ с проверкой несущей и обнаружением коллизий. Порядок передачи данных и коррекция ошибок происходит следующим образом: каждый кадр данных, переданный в сеть, получают все компьютеры, но только один из них распознает свой адрес и обрабатывает кадр. В каждый отдельный момент времени только один компьютер может передавать данные в сеть. Компьютер, который хочет передать кадр данных, прослушивает сеть и, если там отсутствует несущая частота (сигнал с частотой 5–10 МГц), то он решает, что сеть свободна и начинает передавать кадр данных. Однако может случиться, что другой компьютер, не обнаружив несущей, тоже начнет передачу данных одновременно с первым. В таком случае, возникает столкновение (коллизия). Если один из передающих компьютеров обнаружил коллизию (передаваемый и наблюдаемый в кабеле сигналы отличаются), то он прекращает передачу кадра и усиливает ситуацию коллизии, посылкой в сеть специальных помех – последовательности из 32 бит, для того, чтобы и второй компьютер надежно обнаружил коллизию. После этого компьютеры ждут (каждый – случайное время) и повторяют передачу. Поскольку время случайное (у каждого свое), то вероятность повторного столкновения невелика.

Если столкновение произойдет снова (возможно с другим и компьютерами), то следующий раз диапазон, в котором выбирается случайное время задержки, увеличится в 2 раза (после 10-й попытки увеличение не происходит, а после 16 попытки кадр отбрасывается). В любом случае, время задержки, при возникновении коллизии невелико (максимум 52,4 миллисекунды) и незаметно для пользователя, однако при большой загрузке сети (начиная с 40–50%), слишком большая доля времени тратится на устранение коллизий и полезная пропускная способность падает. Более рациональным способом получения доступа к общей разделяемой среде является протокол Token Ring.

10.7. Протокол Fast Ethernet

Протокол Fast Ethernet был разработан совместными усилиями фирм Syn Optics, 3Com (Fast Ethernet Alliance) и является развитием протокола Ethernet. Протокол Fast Ethernet позволяет передавать данные со скоростью 100 Мбит/с и использовать следующие типы кабелей: неэкранированную витую пару 5-й категории (стандарт 100Base-TX), неэкранированную витую пару 3-й категории (стандарт 100Base-T4), оптоволоконный кабель (стандарт 100Base-FX). Коаксиальный кабель в Fast Ethernet не поддерживается. Поддержка витой пары 3-й категории, несмотря на технические сложности, была реализована из-за того, что на Западе, большинство уже проложенных телефонных кабелей, являются витой парой 3 категории. Метод доступа к разделяемой среде (CSMA/CD) в протоколе Fast Ethernet остался прежним. Отличия от Ethernet заключаются в следующем:

- другой формат кадров;
- другие временные параметры межкадрового и битового интервала (все параметры алгоритма доступа, измеренные в битовых интервалах сохранены прежними);
- признаком свободного состояния среды является передача по ней символа Idle (не занято), а не отсутствие сигнала, как в протоколе Ethernet. Для совместимости со старыми сетевыми картами Ethernet, в протокол Fast Ethernet введена функция "автопереговоров" (autonegotiation). При включении питания сетевой карты или по команде модуля управления сетевой карты начинается процесс «переговоров»: сетевая карта посылает специальные служебные импульсы (FLP – fastlink pulse burst), в которых предлагается самый приоритетный (с наибольшей скоростью передачи данных) протокол. Если второй компьютер поддерживает функцию «автопереговоров», то он ответит своими служебными импульсами, в которых согласится на предложенный протокол, или предложит другой (из поддерживаемых). Если же на втором компьютере стоит старая сетевая карта Ethernet, не поддерживающая «автопереговоров», то ответа на запрос первого компьютера не последует, и он автоматически переключится на использование протокола Ethernet.

10.8. Протокол 100VG-AnyLan

Протокол 100VG-AnyLan был разработан совместными усилиями фирм Hewlett-Packard, AT&T и IBM. Протоколы Fast Ethernet и 100VG-Any Lan являются развитием технологии Ethernet и позволяют работать на скорости 100Мбит/с. Однако, если Fast Ethernet ориентировался на минимальные изменения в протоколе Ethernet и совместимости со старыми сетевыми картами, то в протоколе 100VG-AnyLan, пользуясь сменой протоколов, была сделана попытка полностью отказаться от старых, и перейти к новым, более эффективным технологическим решениям.

Основным отличием 100VG-AnyLan является другой метод доступа к разделяемой среде, Demand Priority (приоритетный доступ по требованию), который обеспечивает более эффективное распределение пропускной способности сети, чем метод CSMA/CD. При доступе Demand Priority концентратору (hubу) передаются функции арбитра, решающего проблему доступа к разделяемой среде. Сеть 100VG AnyLAN состоит из центрального (корневого) концентратора, и соединенных с ним конечных узлов и других концентраторов (рис. 29).

Допускаются три уровня каскадирования. Концентратор циклически выполняет опрос портов, к которым подключены компьютеры. Если к порту подключен другой концентратор, то опрос приостанавливается до завершения опроса концентратором нижнего уровня.

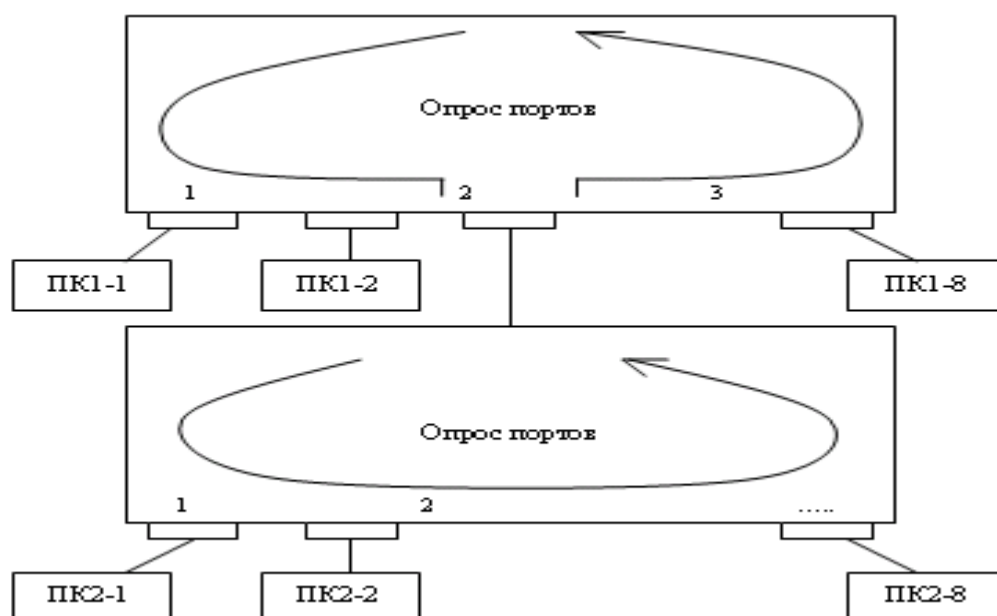


Рис. 29. Протокол 100VG-Any Lan

Компьютер, желающий передать пакет, посылает специальный низкочастотный сигнал концентратору, запрашивая передачу кадра и указывая его приоритет: низкий (для обычных данных) или высокий (для данных, которые чувствительны к задержкам, например, видеоизображение).

Компьютер с низким уровнем приоритета, долго не имевший доступа к сети, получает высокий приоритет. Если сеть свободна, то концентратор разрешает передачу пакета.

Анализируется адрес назначения в пакете и передается на тот порт, к которому подключен соответствующий компьютер (адрес сетевой карты компьютера, подключенного к тому или иному порту, определяется автоматически, в момент физического подключения компьютера к концентратору). Если сеть занята, концентратор ставит полученный запрос в очередь. В очередь ставятся именно не сами кадры данных, а лишь запросы на их передачу. Запросы удовлетворяются в соответствии с порядком их поступления и с учетом приоритетов. У концентратора 100VG Any Lan отсутствует внутренний буфер для хранения кадров, поэтому в каждый момент времени концентратор может принимать и передавать только один кадр данных – тот, до запроса на передачу которого дошла очередь (с учетом приоритетов). В концентраторах 100VG Any Lan поддерживаются кадры Ethernet и Token Ring (именно это обстоятельство дало добавку Any LAN в названии технологии). Каждый концентратор и сетевой адаптер 100VG Any LAN должен быть настроен либо на работу с кадрами Ethernet, либо с кадрами Token Ring, причем одновременно циркуляция обоих типов кадров не допускается. Другой особенностью является то, что кадры передаются не всем компьютерам сети, а только компьютеру назначения, что улучшает безопасность сети, так как кадры труднее перехватить при помощи анализаторов протоколов (снифферов). Несмотря на много хороших технических решений, технология 100VG Any LAN не нашла большого количества сторонников и значительно уступает по популярности технологии Fast Ethernet.

10.9. Протокол Gigabit Ethernet

Протокол Gigabit Ethernet обеспечивает скорость передачи 1000 Мбит/с на всех основных типах кабельных систем: неэкранированная витая пара 5-й категории, многомодовое и одномодовое оптоволокно (стандарты 1000Base-SX и 1000Base-LX), твин-аксиальный кабель (коаксиальный кабель с двумя проводниками, каждый из которых помещен в экранирующую оплетку). Протокол Gigabit Ethernet сохраняет максимально возможную преемственность с протоколами Ethernet и Fast Ethernet:

- сохраняются все форматы кадров Ethernet;
- сохраняется метод доступа к разделяемой среде CSMA/CD.

Поддерживается также полнодуплексный режим работы, когда данные передаются и принимаются одновременно (для отделения принимаемого сигнала от передаваемого сигнала, приемник вычитает из результирующего сигнала известный ему собственный сигнал);

- минимальный размер кадра увеличен (без учета преамбулы) с 64 до 512 байт. Для сокращения накладных расходов при использовании слишком длинных кадров для передачи небольших пакетов данных разработчики разрешили конечным узлам передавать несколько кадров подряд, без передачи среды

другим станциям в режиме Burst Mode (монопольный пакетный режим). Если станции нужно передать несколько небольших пакетов данных, то она может не дополнять каждый кадр до размера в 512 байт (минимальный размер кадра), а передавать их подряд. Станция может передать подряд несколько кадров с общей длиной не более 65 536 бит или 8192 байт. Предел 8192 байт называется Burst Length. Если станция начала передавать кадр и предел Burst Length был достигнут в середине кадра, то кадр разрешается передать до конца.

10.10. Протокол Token Ring (High Speed Token Ring)

Использование протокола Token Ring позволяет карте работать на скоростях 4 и 16 Мбит/с, а протокола High Speed Token Ring – на скоростях 100 и 155 Мбит/с. Компания IBM является основным разработчиком протокола Token Ring, производя около 60 % сетевых адаптеров этой технологии.

Сеть Token Ring представляет собой кольцо, рис. 29а. Каждый компьютер соединен кабелем только с предыдущим и последующим компьютером в кольце. Физически это реализуется при помощи специальных концентраторов рис. 29в, которые обеспечивают целостность кольца даже при выключении или отказе одного из компьютеров, за счет обхода порта выключенного компьютера. Принцип доступа к разделяемой среде – доступ с передачей маркера (token). Компьютер может начать передавать данные в сеть, только если получит от предыдущего компьютера в кольце «маркер» – специальный короткий пакет, свидетельствующий о том, что сеть свободна. Если компьютеру нечего передавать в сеть, то он передает маркер следующему компьютеру в кольце. Если компьютеру есть что передавать, то он уничтожает маркер и передает свой пакет в сеть. Пакет по битам ретранслируется по кольцу от компьютера к компьютеру, адресат получает пакет, устанавливает в пакете биты, подтверждающие, что пакет достиг адресата и передает пакет дальше по кольцу. Наконец, пакет возвращается к отправителю, который уничтожает его и передает в сеть новый маркер. Компьютер может и не передавать в сеть новый маркер, а продолжить передавать кадры данных до тех пор, пока не истечет время удержания маркера (token holdingtime). После истечения времени удержания маркера компьютер обязан прекратить передачу собственных данных (текущий кадр разрешается завершить) и передать маркер далее по кольцу. Обычно время удержания маркера по умолчанию равно 10 мс.

В процессе работы сети, из-за сбоев, возможна потеря маркера. За наличие в сети маркера, причем единственной его копии, отвечает один из компьютеров – активный монитор. Если активный монитор не получает маркер в течение длительного времени (например, 2,6 с), то он порождает новый маркер. Активный монитор выбирается во время инициализации кольца, как станция с максимальным значением MAC-адреса сетевой карты. Если активный монитор выходит из строя, то процедура инициализации кольца повторяется и выбирается новый активный монитор. Чтобы сеть могла обнаружить отказ активного монитора, последний в работоспособном состоянии каждые 3 секунды генерирует специальный кадр своего присутствия. Если этот кадр не

появляется в сети более 7 секунд, то остальные станции сети начинают процедуру выборов нового активного монитора.

Описанный выше алгоритм доступа используется в сетях 4 Мбит/с. В сетях со скоростью 16 Мбит/с алгоритмы доступа более сложные: используется алгоритм доступа к кольцу, называемый алгоритмом раннего освобождения маркера (Early Token Release). Компьютер передает маркер доступа следующей станции сразу же после окончания передачи последнего бита кадра, не дожидаясь возвращения по кольцу этого кадра с битом подтверждения приема. В этом случае пропускная способность кольца используется более эффективно, так как по кольцу одновременно продвигаются кадры нескольких компьютеров. Тем не менее, свои кадры в каждый момент времени может генерировать только один компьютер — тот, который в данный момент владеет маркером доступа. Остальные компьютеры в это время только повторяют чужие кадры, так что принцип деления кольца во времени сохраняется, ускоряется только процедура передачи владения кольцом.

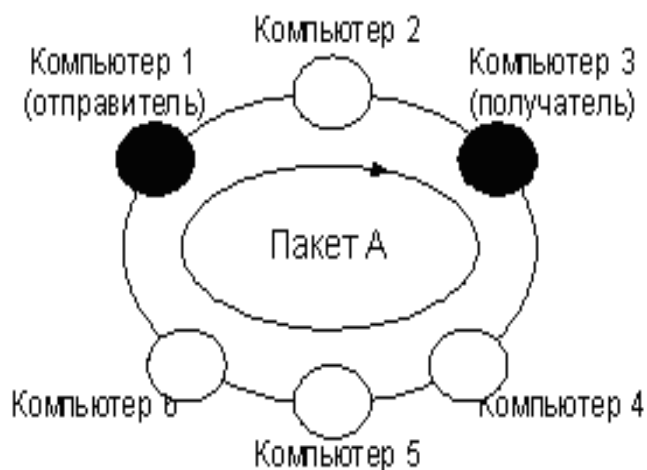


Рис. 29а. Схема сети Token Ring

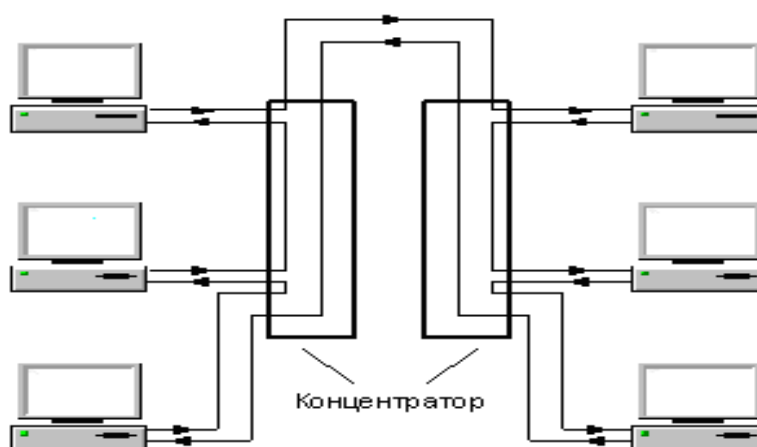


Рис. 29б. Реализация сети Token Ring на маршрутизаторах

Передаваемым кадрам, протокол верхнего уровня (например, прикладного) может также назначить различные приоритеты: от 0 (низший) до 7 (высший). Маркер также всегда имеет некоторый уровень текущего приоритета и уровень резервного приоритета. При инициализации кольца основной и резервный приоритеты устанавливаются в ноль. Компьютер имеет право захватить переданный ему маркер только в том случае, если приоритет кадра, который он хочет передать, выше (или равен) текущему приоритету маркера. В противном случае компьютер обязан передать маркер следующему по кольцу компьютеру. Однако, даже если компьютер не захватил маркер, он может записать в поле резервного приоритета значение приоритета своего кадра (при условии, что предыдущие компьютеры не записали в это поле более высокий приоритет). При следующем обороте маркера резервный приоритет станет текущим и компьютер получит возможность захватить маркер.

Хотя механизм приоритетов в технологии Token Ring имеется, но он начинает работать только в том случае, когда приложение или прикладной протокол решают его использовать. Иначе все станции будут иметь равные права доступа к кольцу, что в основном и происходит на практике, так как большая часть приложений этим механизмом не пользуется. Развитием протокола Token Ring стал протокол High-Speed Token Ring, который поддерживает скорости в 100 и 155 Мбит/с, сохраняя основные особенности технологии Token Ring 16 Мбит/с.

10.11. Протокол FDDI

Протокол FDDI (Fiber Distributed Data Interface) используется в оптоволоконных сетях и работает на скорости 100 Мбит/с. Исторически, когда скорости других протоколов ограничивались 10–16 Мбит/с, FDDI использовался на магистральных оптоволоконных сетях передачи данных. Технология FDDI во многом основывается на технологии Token Ring, развивая и совершенствуя ее основные идеи. Сеть FDDI строится на основе двух оптоволоконных колец, которые образуют основной и резервный пути передачи данных между узлами сети. Наличие двух колец необходимо для повышения отказоустойчивости сети FDDI, и компьютеры, которые хотят воспользоваться этой повышенной надежностью могут (хотя это и не требуется) быть подключены к обоим кольцам (рис. 30).

В нормальном режиме работы сети данные проходят через все узлы и все участки кабеля только первичного (Primary) кольца. Этот режим назван режимом Thru — «сквозным» или «транзитным». Вторичное кольцо (Secondary) в этом режиме не используется. В случае какого-либо отказа, когда часть первичного кольца не может передавать данные (например, обрыв кабеля или отказ компьютера), первичное кольцо объединяется со вторичным (см. рис.), вновь образуя единое кольцо. Этот режим работы сети называется Wrap, то есть «свертывание» или «сворачивание» колец. Операция свертывания производится средствами концентраторов и/или сетевых карт FDDI. Для упрощения этой

процедуры, данные по первичному кольцу всегда передаются в одном направлении, а по вторичному — в обратном. Поэтому при образовании общего кольца из двух колец, направление передачи данных по кольцам остается верным. Сеть FDDI может полностью восстанавливать свою работоспособность в случае единичных отказов ее элементов. При множественных отказах сеть распадается на несколько не связанных сетей.

Метод доступа к разделяемой среде в сети FDDI аналогичен методу доступа в сети Token Ring. Отличия заключаются в том, что время удержания маркера в сети FDDI не является постоянной величиной, как в сети Token Ring, а зависит от загрузки кольца – при небольшой загрузке оно увеличивается, а при больших перегрузках может уменьшаться до нуля. В сети FDDI нет выделенного активного монитора, все компьютеры и концентраторы равноправны, и при обнаружении отклонений от нормы любой из них может начать процесс повторной инициализации сети, а затем и ее реконфигурации. В остальном пересылка кадров между станциями кольца полностью соответствует технологии Token Ring со скоростью 16 Мбит/с (применяется алгоритм раннего освобождения маркера). На физическом уровне технология «сворачивания» колец реализуется специальными концентраторами. В стандарте FDDI допускаются два вида подсоединения компьютера к сети.



Рис. 30. Схема двойного кольца (FDDI)

Одновременное подключение к первичному и вторичному кольцам называется двойным подключением (Dual Attachment, DA). Компьютеры, подключенные таким образом, называются DAS (Dual Attachment Station), а концентраторы – DAC (Dual Attachment Concentrator). Подключение только к первичному кольцу называется одиночным подключением — Single Attachment, SA. Компьютеры, подключенные таким образом, называются SAS (Single Attachment Station), а концентраторы – SAC (Single Attachment Concentrator). Чтобы устройства легче было правильно присоединять к сети, их разъемы маркируются. Разъемы типа А и В должны быть у устройств с двойным подключением, разъем М (Master) имеется у концентратора для одиночного подключения станции, у которой ответный разъем должен иметь тип S (Slave). В случае однократного обрыва кабеля между устройствами с двойным подключением сеть FDDI сможет продолжить нормальную работу за

счет автоматической реконфигурации внутренних путей передачи кадров между портами концентратора. При обрыве кабеля, идущего к компьютеру с одиночным подключением, он становится отрезанным от сети, а кольцо продолжает работать. Эта ситуация изображена на рис. 31.

10.12. Протоколы SLIP и PPP

Основное отличие протоколов SLIP и PPP от рассмотренных выше протоколов – это то, что они поддерживают связь «точка-точка», когда сетевой кабель используется для передачи информации только между двумя компьютерами (или другим сетевым оборудованием), соединенным этим кабелем. Такое соединение характерно при подключении к Internet по телефонной линии, при соединении локальных сетей между собой по выделенным или коммутируемым линиям, а также в сетях X.25, Frame Relay и ATM. Существует большое количество протоколов канального уровня для соединения «точка-точка», однако здесь мы ограничимся рассмотрением только SLIP и PPP.

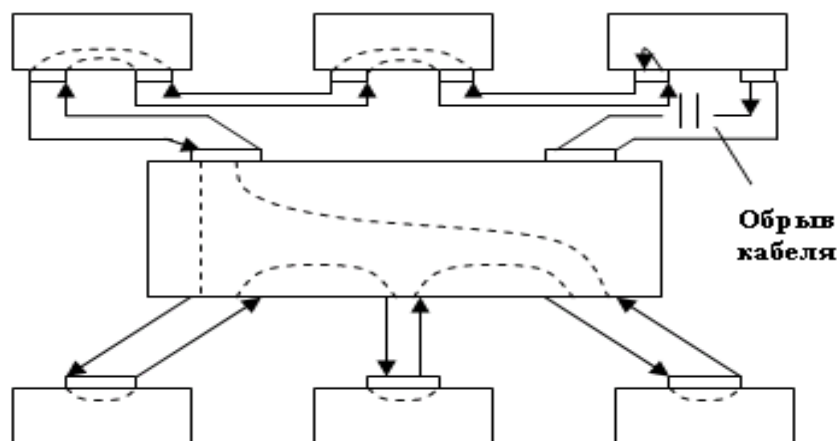


Рис. 31. Ситуация обрыва кабеля

SLIP (Serial Line IP) – протокол канального уровня, который позволяет использовать последовательную линию передачи данных (телефонную линию) для связи с другими компьютерами по протоколу IP (протокол сетевого уровня). SLIP появился достаточно давно, для связи между Unix – компьютерами по телефонным линиям и, в настоящее время, является устаревшим, так как не позволяет использовать протоколы сетевого уровня, отличные от IP. Не позволяет согласовывать IP – адреса сторон и имеет слабую схему аутентификации (подтверждения личности) пользователя, заключающуюся в пересылке по сети имени и пароля пользователя. Таким образом, имя и пароль (даже зашифрованный) могут быть перехвачены и повторно использованы злоумышленником, или он может просто дождаться, пока пользователь пройдет аутентификацию, а затем отключить его и самому подключится от имени пользователя. Поэтому, большинство провайдеров Internet для подключения к своим машинам используют протокол PPP.

Протокол канального уровня PPP (Point to Point Protocol – протокол точка-точка) позволяет использовать не только протокол IP, но также и другие протоколы сетевого уровня (IPX, Apple Talk и др.). Достигается это за счет того, что в каждом кадре сообщения хранится не только 16 битная контрольная сумма, но и поле, задающее тип сетевого протокола. Протокол PPP также поддерживает сжатие заголовков IP-пакетов по методу Ван Джакобсона (VJ-сжатие), а также позволяет согласовать максимальный размер передаваемых дейтаграмм, IP-адреса сторон и др.

Аутентификация в протоколе PPP является двусторонней, т.е. каждая из сторон может потребовать аутентификации другой. Процедура аутентификации проходит по одной из двух схем:

- PAP (Password Authentication Protocol) – в начале соединения на сервер посылается имя пользователя и (возможно зашифрованный) пароль;
- CHAP (Challenge Handshake Authentication Protocol) – в начале соединения сервер посылает клиенту случайный запрос (challenge). Клиент шифрует свой пароль, используя однонаправленную хэш-функцию (функция у которой по значению Y невозможно определить X) и запрос, в качестве ключа шифрования. Зашифрованный отклик (response) передается серверу, который, имея в своей базе данных пароль клиента, выполняет те же операции и, если полученный откликом клиента отклик совпадает с вычисленным сервером, то аутентификация считается успешной. Таким образом, пароль по линиям связи не передается. Даже если отклик клиента и будет перехвачен, то в следующий раз использовать его не удастся, так как запрос сервера будет другим. Определить же пароль на основании отклика – невозможно, так как хэш-функция шифрует данные только «в одну сторону». Для предотвращения вмешательства в соединение уже после прохождения клиентом аутентификации, в схеме CHAP сервер регулярно посылает испытательные запросы через равные промежутки времени. При отсутствии отклика или неверном отклике соединение прерывается.

Лекция 11. Рекомендации и стандарты в области кодирования и сжатия информации

11.1. Кодирование и сжатие информации

Кодирование – представление сообщения последовательностью элементарных символов. Рассмотрим кодирование дискретных сообщений. Символы в сообщениях могут относиться к алфавиту, включающему n букв (буква – символ сообщения). Однако число элементов кода k существенно ограничено сверху энергетическими соображениями, т.е. часто $n > k$. Так, если отношение сигнал/помеха для надежного различения уровня сигнала должно быть не менее g , то наименьшая амплитуда для представления одного из k символов должна быть qg , где g – амплитуда помехи, а наибольшая амплитуда

соответственно qgk . Мощность передатчика пропорциональна квадрату амплитуды сигнала (тока или напряжения), т.е. должна превышать величину, пропорциональную $(qgk)^2$. В связи с этим распространено двоичное кодирование с $k=2$. При двоичном кодировании сообщений с n типами букв, каждая из n букв кодируется определенной комбинацией 1 и 0 (например, код ASCII).

Кодирование аналоговых сообщений после их предварительной дискретизации должно выполняться в соответствии с теоремой Котельникова. Если в спектре функции $f(t)$ нет частот выше F_{Σ} , то эта функция может быть полностью восстановлена по совокупности своих значений, определенных в моменты времени tk , отстоящие друг от друга на величину $1/(2F_{\Sigma})$. Для передачи аналогового сигнала производится его дискретизация с частотой отсчетов $2F_{\Sigma}$ и выполняется кодово-импульсная модуляция последовательности отсчетов.

Количество информации в сообщении (элементе сообщения) определяется по формуле $I = -\log_2 P$, где P – вероятность появления сообщения (элемента сообщения). Из этой формулы следует, что единица измерения количества информации есть количество информации, содержащееся в одном бите двоичного кода при условии равной вероятности появления в нем 1 и 0. В то же время один разряд десятичного кода содержит $P = -\log_2 P = 3,32$ единиц информации (при том же условии равновероятности появления десятичных символов, т.е. при $P=0,1$). Энтропия источника информации с независимыми и равновероятными сообщениями есть среднее арифметическое количество информации сообщений $H = -\sum_{k=1}^N P_k \cdot \log_2 P_k$, где P_k – вероятность появления k -го сообщения. Другими словами, энтропия есть мера неопределенности ожидаемой информации.

11.2. Коэффициент избыточности сообщения

Коэффициент избыточности сообщения A определяется по формуле $r = (I_{\max} - I)/I_{\max}$, где I – количество информации в сообщении A , I_{\max} – максимально возможное количество информации в сообщении той же длины, что и A . Пример избыточности дают сообщения на естественных языках, так, у русского языка r находится в пределах 0,3...0,5. Наличие избыточности позволяет ставить вопрос о сжатии информации без ее потери в передаваемых сообщениях.

11.3. Основные используемые коды

Широко используются двоичные коды:

- EBCDIC (Extended Binary Coded Decimal Interchange Code) – символы кодируются восемью битами, популярен благодаря его использованию в IBM;
- ASCII (American Standards Committee for Information Interchange) – семибитовый двоичный код. Оба этих кода включают битовые комбинации для

печатаемых символов и некоторых распространенных командных слов типа NUL, CR, ACK, NAK и др.

Для кодировки русского текста нужно вводить дополнительные битовые комбинации. Семибитовая кодировка здесь уже недостаточна. В восьмибитовой кодировке нужно под русские символы отводить двоичные комбинации, не занятые в общепринятом коде, чтобы сохранять неизменной кодировку латинских букв и других символов. Так возникли кодировка КОИ-8, затем при появлении персональных ЭВМ – альтернативная кодировка и при переходе к Windows – кодировка 1251. Множество используемых кодировок существенно усложняет проблему согласования почтовых программ в глобальных сетях.

11.4. Асинхронное и синхронное кодирование

Для правильного распознавания позиций символов в передаваемом сообщении получатель должен знать границы передаваемых элементов сообщения. Для этого необходима синхронизация передатчика и приемника. Использование специального дополнительного провода для сигналов синхронизации (в этом случае имеем битовую синхронизацию) слишком дорого, поэтому используют другие способы синхронизации. В асинхронном режиме применяют коды, в которых явно выделены границы каждого символа (байта) специальными стартовым и стоповым символами. Подобные побайтно выделенные коды называют байт-ориентированными, а способ передачи – байтовой синхронизацией. Однако это увеличивает число битов, не относящихся собственно к сообщению.

В синхронном режиме синхронизм поддерживается во время передачи всего информационного блока без обрамления каждого байта. Такие коды называют бит-ориентированными. Для входа в синхронизм нужно обозначать границы лишь всего передаваемого блока информации с помощью специальных начальной и конечной комбинаций байтов (обычно это двухбайтовые комбинации). В этом случае синхронизация называется блочной (фреймовой).

Для обрамления текстового блока (текст состоит только из печатаемых символов) можно использовать символы, отличающиеся от печатаемых. Для обрамления двоичных блоков применяют специальный символ (обозначим его DLE), который благодаря стаффингу становится уникальным. Уникальность заключается в том, что если DLE встречается внутри блока, то сразу вслед за ним вставляется еще один DLE. Приемник будет игнорировать каждый второй идущий подряд символ DLE. Если же DLE встречается без добавления, то это граница блока.

11.5. Коэффициент сжатия

Наличие в сообщениях избыточности позволяет ставить вопрос о сжатии данных, т.е. о передаче того же количества информации с помощью последовательностей символов меньшей длины. Для этого используются

специальные алгоритмы сжатия, уменьшающие избыточность. Эффект сжатия оценивают коэффициентом сжатия $K = n/q$, где n – число минимально необходимых символов для передачи сообщения (практически это число символов на выходе эталонного алгоритма сжатия); q – число символов в сообщении, сжатом данным алгоритмом. Так, при двоичном кодировании n равно энтропии источника информации. Наряду с методами сжатия, не уменьшающими количество информации в сообщении, применяются методы сжатия, основанные на потере малосущественной информации.

11.6. Алгоритмы сжатия

Сжатие данных осуществляется либо на прикладном уровне с помощью программ сжатия, таких, как ARJ, либо спомощью устройств защиты от ошибок (УЗО) непосредственно в составе модемов по протоколам типа V.42bis. Очевидный способ сжатия числовой информации, представленной в коде ASCII, заключается в использовании сокращенного кода с четырьмя битами на символ вместо восьми, так как передается набор, включающий только 10 цифр, символы «точка», «запятая» и «пробел». Среди простых алгоритмов сжатия наиболее известны алгоритмы RLE (Run Length Encoding). В них вместо передачи цепочки из одинаковых символов передается символ и значение длины цепочки. Метод эффективен при передаче растровых изображений, но малополезен при передаче текста. К методам сжатия относят также методы разностного кодирования, поскольку разности амплитуд отсчетов представляются меньшим числом разрядов, чем сами амплитуды. Разностное кодирование реализовано в методах дельта-модуляции и ее разновидностях.

Предсказывающие (предиктивные) методы основаны на экстраполяции значений амплитуд отсчетов, и если выполнено условие $A_r - A_p > d$, то отсчет должен быть передан, иначе он является избыточным; здесь A_r и A_p – амплитуды реального и предсказанного отсчетов, d – допуск (допустимая погрешность представления амплитуд). Иллюстрация предсказывающего метода с линейной экстраполяцией представлена рис. 32. Здесь точками показаны предсказываемые значения сигнала. Если точка выходит за пределы «коридора» (допуска d), показанного пунктирными линиями, то происходит передача отсчета. На рисунке передаваемые отсчеты отмечены темными кружками в моменты времени t_1, t_2, t_4, t_7 . Если передачи отсчета нет, то на приемном конце принимается экстраполированное значение.

Методы MPEG (Moving Pictures Experts Group) используют предсказывающее кодирование изображений (для сжатия данных о движущихся объектах вместе со звуком). Так, если передавать только изменившиеся во времени пиксели изображения, то достигается сжатие в несколько десятков раз. Этот алгоритм сжатия используется также в стандарте H.261 ITU. Методы MPEG становятся мировыми стандартами для цифрового телевидения.

Для сжатия данных об изображениях можно использовать также методы типа JPEG (Joint Photographic Expert Group), основанные на потере малосущественной информации (не различимые для глаза оттенки кодируются одинаково, коды могут стать короче). В этих методах передаваемая последовательность пикселей делится на блоки, в каждом блоке производится преобразование Фурье, устраняются высокие частоты, передаются коэффициенты разложения для оставшихся частот, по ним в приемнике изображение восстанавливается. Другой принцип воплощен во фрактальном кодировании, при котором изображение, представленное совокупностью линий, описывается уравнениями этих линий. Более универсален широко известный метод Хаффмена, относящийся к статистическим методам сжатия.

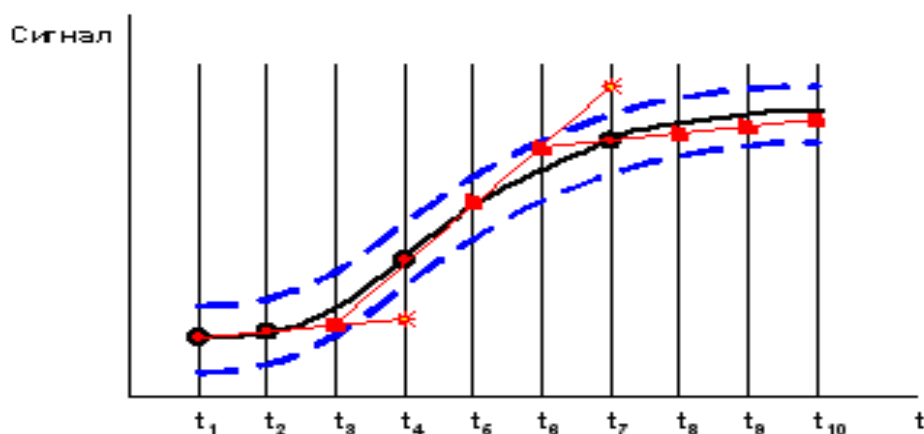


Рис. 32. Метод линейной экстраполяции

Идея метода – часто повторяющиеся символы нужно кодировать более короткими цепочками битов, чем цепочки редких символов. Строится двоичное дерево, листья соответствуют кодируемым символам, код символа представляется последовательностью значений ребер (эти значения в двоичном дереве суть 1 и 0), ведущих от корня к листу. Листья символов с высокой вероятностью появления находятся ближе к корню, чем листья маловероятных символов. Распознавание кода, сжатого по методу Хаффмена, выполняется по алгоритму, аналогичному алгоритмам восходящего грамматического разбора.

Пусть набор из восьми символов (A, B, C, D, E, F, G, H) имеет следующие правила кодирования: A ::= 10; B ::= 01; C ::= 111; D ::= 110; E ::= 0001; F ::= 0000; G ::= 0011; H ::= 0010. Тогда при распознавании входного потока 101100000110 в стек распознавателя заносится 1, но 1 не совпадает с правой частью ни одного из правил. Поэтому в стек добавляется следующий символ 0. Полученная комбинация 10 распознается и заменяется на A. В стек поступает следующий символ 1, затем 1, затем 0. Сочетание 110 совпадает с правой частью правила для D. Теперь в стеке AD, заносятся следующие символы 0000 и т.д.

Недостаток метода заключается в необходимости знать вероятности символов. Если заранее они не известны, то требуются два прохода: на одном в

передатчике подсчитываются вероятности, на другом эти вероятности и сжатый поток символов передаются к приемнику. Однако двухпроходность не всегда возможна.

Этот недостаток устраняется в однопроходных алгоритмах адаптивного сжатия, в которых схема кодирования есть схема приспособления к текущим особенностям передаваемого потока символов. Поскольку схема кодирования известна как кодеру, так и декодеру, сжатое сообщение будет восстановлено на приемном конце. Обобщением этого способа является алгоритм, основанный на словаре сжатия данных. В нем происходит выделение и запоминание в словаре повторяющихся цепочек символов, которые кодируются цепочками меньшей длины.

Интересен алгоритм «стопка книг», в котором код символа равен его порядковому номеру в списке. Появление символа в кодируемом потоке вызывает его перемещение в начало списка. Очевидно, что часто встречающиеся символы будут тяготеть к малым номерам, а они кодируются более короткими цепочками 1 и 0. Кроме упомянутых алгоритмов сжатия существует ряд других алгоритмов, например LZ-алгоритмы (алгоритмы Лемпеля – Зива). В частности, один из них (LZW), применен в протоколе V.42bis.

Лекция 12. Каналообразующая аппаратура, режимы переноса информации, коммутация каналов, многоскоростная коммутация каналов

Высокая стоимость линий связи обуславливает разработку систем и методов, позволяющих одновременно передавать по одной линии связи большое число независимых сообщений, т.е. использовать линию многократно. Такие системы связи называют многоканальными. Связь, осуществляемую с помощью этих систем, принято называть многоканальной. Практически все современные системы связи, за редким исключением, являются многоканальными.

В современных сетях связи используются аналоговые и цифровые системы передачи (СП) с тенденцией постепенного перехода к применению только цифровых систем. Для обеспечения характеристик каналов и трактов, гарантирующих высокое качество передачи информации, принципы проектирования цифровых и аналоговых систем передачи должны быть совместимы. Рассмотрим основные методы и способы, используемые при построении систем передачи.

12.1. Основы теории многоканальной передачи сообщений

Используемые методы разделения каналов (РК) можно разделить на линейные и нелинейные (комбинационные). В большинстве случаев разделения

каналов каждому источнику сообщения выделяется специальный сигнал, называемый каналным. Промодулированные сообщениями каналные сигналы объединяются, в результате чего образуется групповой сигнал. Если операция объединения линейна, то получившийся сигнал называют линейным групповым сигналом.

Для унификации многоканальных систем связи за основной или стандартный канал принимают канал тональной частоты (канал ТЧ), обеспечивающий передачу сообщений с эффективно передаваемой полосой частот 300–3400 Гц, соответствующей основному спектру телефонного сигнала. Многоканальные системы образуются путем объединения каналов ТЧ в группы, обычно кратные 12 каналам. В свою очередь, часто используют «вторичное уплотнение» каналов ТЧ телеграфными каналами и каналами передачи данных. На рис. 33 приведена структурная схема наиболее распространенных систем многоканальной связи.

Реализация сообщений каждого источника $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$ с помощью индивидуальных передатчиков (модуляторов) M_1, M_2, \dots, M_N преобразуются в соответствующие каналные сигналы $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$. Совокупность каналных сигналов на выходе суммирующего устройства S образует групповой сигнал $s(t)$. Наконец, в групповом передатчике M сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_L(t)$, который и поступает в линию связи ЛС. Допустим, что линия пропускает сигнал практически без искажений и не вносит шумов. Тогда на приемном конце линии связи линейный сигнал $s_L(t)$ с помощью

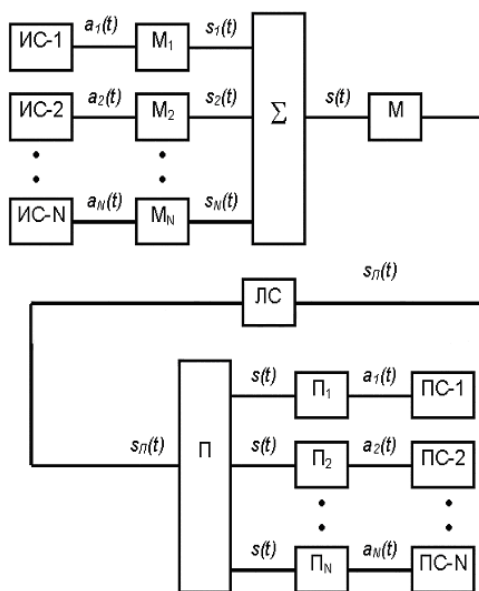


Рис. 33. Структурная схема многоканальной связи

группового приемника Π может быть вновь преобразован в групповой сигнал $s(t)$. Канальными или индивидуальными приемниками $\Pi_1, \Pi_2, \dots, \Pi_N$ из группового сигнала $s(t)$ выделяются соответствующие каналные сигналы $s_1(t), s_2(t), \dots, s_N(t)$ и затем преобразуются в предназначенные получателям сообщения $a_1(t), a_2(t), \dots, a_N(t)$. Канальные передатчики вместе с суммирующим

устройством образуют аппаратуру объединения. Групповой передатчик M , линия связи ЛС и групповой приемник Π составляют групповой канал связи (тракт передачи), который вместе с аппаратурой объединения и индивидуальными приемниками составляет систему многоканальной связи.

Индивидуальные приемники системы многоканальной связи ПК наряду с выполнением обычной операции преобразования сигналов $s_K(t)$ в соответствующие сообщения $a_K(t)$ должны обеспечить выделение сигналов $s_K(t)$ из группового сигнала $s(t)$. Иначе говоря, в составе технических устройств на передающей стороне многоканальной системы должна быть предусмотрена аппаратура объединения, а на приемной стороне – аппаратура разделения.

В общем случае групповой сигнал может формироваться не только простейшим суммированием канальных сигналов, но также и определенной логической обработкой, в результате которой каждый элемент группового сигнала несет информацию о сообщениях источников. Это так называемые системы с комбинационным разделением. Чтобы разделяющие устройства были в состоянии различать сигналы отдельных каналов, должны существовать определенные признаки, присущие только данному сигналу. Такими признаками могут быть параметры переносчика, например амплитуда, частота или фаза в случае непрерывной модуляции гармонического переносчика. При дискретных видах модуляции различающим признаком может служить и форма сигналов. Соответственно различаются и способы разделения сигналов: частотный, временной, фазовый и др.

12.2. Частотное разделение сигналов

Функциональная схема простейшей системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте представлена на рис. 34. За рубежом для обозначения принципа частотного разделения каналов (ЧРК) используется термин Frequency Division Multiply Access (FDMA). Сначала в соответствии с передаваемыми сообщениями, первичные (индивидуальные) сигналы, имеющие энергетические спектры $G_1(\omega)$, $G_2(\omega)$, ..., $G_N(\omega)$ модулируют поднесущие частоты ω_K каждого канала. Эту операцию выполняют модуляторы M_1, M_2, \dots, M_N канальных передатчиков. Полученные на выходе частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ спектры $g_K(\omega)$ канальных сигналов занимают соответственно полосы частот $D\omega_1, D\omega_2, \dots, D\omega_N$, которые в общем случае могут отличаться по ширине от спектров сообщений W_1, W_2, \dots, W_N . При широкополосных видах модуляции, например, ЧМ ширина спектра $D\omega = K 2(b + 1) W_K$, т.е. в общем случае $D\omega = W K$. Для упрощения будем считать, что и спользуется АМ-ОБП (как это принято в аналоговых СП с ЧРК), т.е. $D\omega_K = W$ и $D\omega = NW$.

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи (рис.35). Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты ω_K так, что полосы $D\omega_1, \dots, D\omega_K$ попарно не перекрываются. При этом условии сигналы $s_K(t) (k=1, \dots, N)$ взаимно ортогональны. Затем спектры

$g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_N(\omega)$ суммируются (S) и их совокупность $g(\omega)$ поступает на групповой модулятор (M). Здесь спектр $g(\omega)$ с помощью колебания несущей частоты ω_0 переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_L(t)$. При этом может использоваться любой вид модуляции.

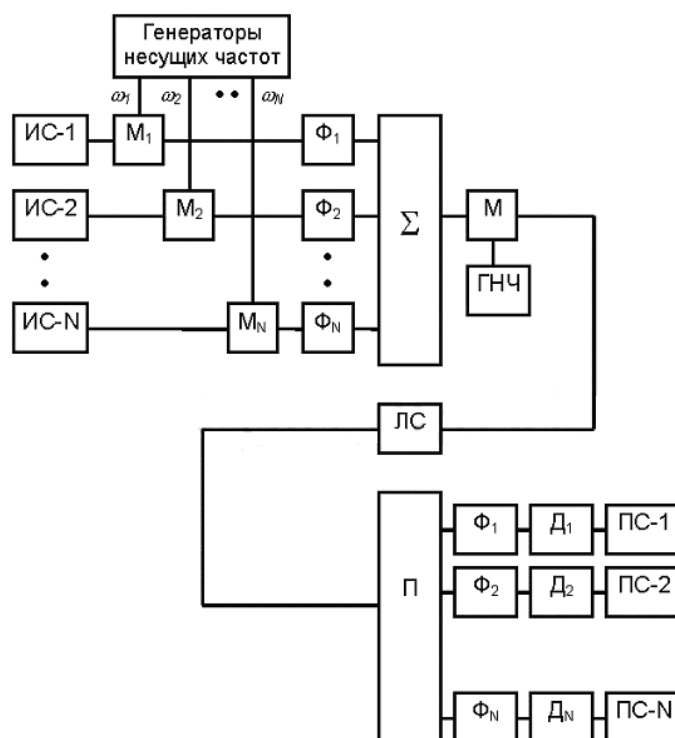


Рис. 34. Системы многоканальной связи с разделением каналов по частоте

Проследим основные этапы образования сигналов, а также изменение этих сигналов в процессе передачи (рис.35). Будем полагать, что спектры индивидуальных сигналов конечны. Тогда можно подобрать поднесущие частоты ω_k так, что полосы $D\omega_1, \dots, D\omega_k$ попарно не перекрываются. При этом условии сигналы $s_k(t) (k=1, \dots, N)$ взаимно ортогональны. Затем спектры $g_1(\omega), g_2(\omega), \dots, g_N(\omega)$ суммируются (S) и их совокупность $g(\omega)$ поступает на групповой модулятор (M). Здесь спектр $g(\omega)$ с помощью колебания несущей частоты ω_0 переносится в область частот, отведенную для передачи данной группы каналов, т.е. групповой сигнал $s(t)$ преобразуется в линейный сигнал $s_L(t)$. При этом может использоваться любой вид модуляции. На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник Π), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала $g(\omega)$. Затем спектр группового сигнала с помощью частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ вновь разделяется на отдельные полосы $D\omega_k$, соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы Δ преобразуют спектры сигналов $g_k(\omega)$ в спектры сообщений $G_k(\omega)$, предназначенные получателям. Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает

ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

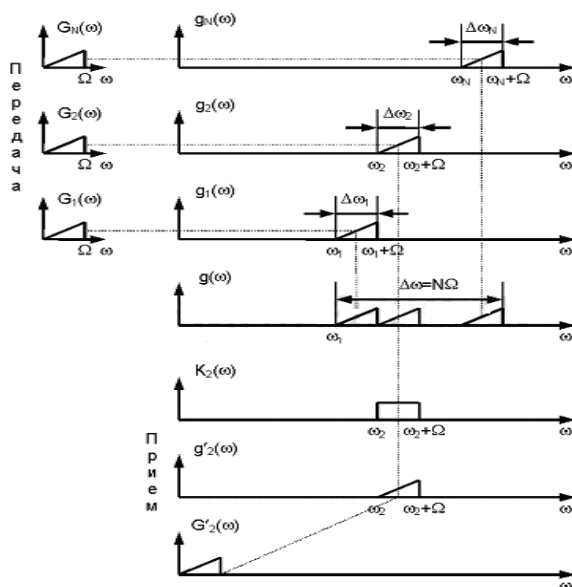


Рис. 35. Основные этапы образования сигнала

На приемном конце линейный сигнал поступает на групповой демодулятор (приемник П), который преобразует спектр линейного сигнала в спектр группового сигнала $g(\omega)$. Затем спектр группового сигнала с помощью частотных фильтров $\Phi_1, \Phi_2, \dots, \Phi_N$ вновь разделяется на отдельные полосы DwK , соответствующие отдельным каналам. Наконец, каналные демодуляторы Д преобразуют спектры сигналов $gK(\omega)$ в спектры сообщений $G, K(\omega)$, предназначенные получателям. Из приведенных пояснений легко понять смысл частотного способа разделения каналов. Поскольку всякая реальная линия связи обладает ограниченной полосой пропускания, то при многоканальной передаче каждому отдельному каналу отводится определенная часть общей полосы пропускания.

На приемной стороне одновременно действуют сигналы всех каналов, различающиеся положением их частотных спектров на шкале частот. Чтобы без взаимных помех разделить такие сигналы, приемные устройства должны содержать частотные фильтры. Каждый из фильтров ФК должен пропустить без ослабления лишь те частоты $wIDwK$, которые принадлежат сигналу данного канала; частоты сигналов всех других каналов $wI DwK$ фильтр должен подавить.

На практике это невыполнимо. Результатом являются взаимные помехи между каналами. Они возникают как за счет неполного сосредоточения энергии сигнала k -го канала в пределах заданной полосы частот DwK , так и за счет неидеальности реальных полосовых фильтров. В реальных условиях приходится учитывать также взаимные помехи нелинейного происхождения, например за счет нелинейности характеристик группового канала. Для снижения переходных помех до допустимого уровня приходится вводить защитные частотные интервалы $DwЗАЩ$ (рис. 36).

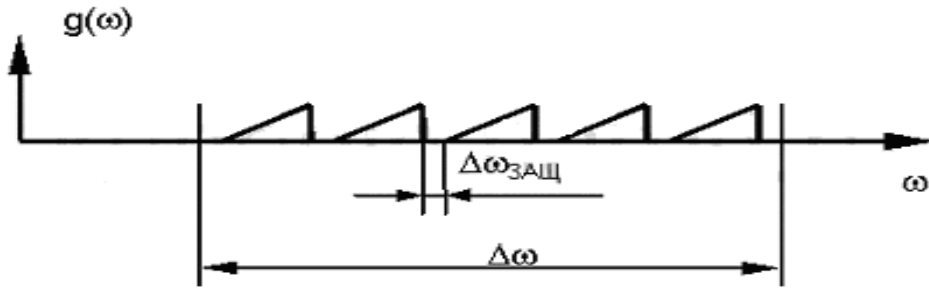


Рис. 36. Защитные полосы

Так, например, в современных системах многоканальной телефонной связи каждому телефонному каналу выделяется полоса частот 4 кГц, хотя частотный спектр передаваемых звуковых сигналов ограничивается полосой от 300 до 3400 Гц, т.е. ширина спектра составляет 3,1 кГц. Между полосами частот соседних каналов предусмотрены интервалы шириной по 0,9 кГц, предназначенные для снижения уровня взаимных помех при фильтрации сигналов. Это означает, что в многоканальных системах связи с частотным разделением сигналов эффективно используется лишь около 80% полосы пропускания линии связи. Кроме того, необходимо обеспечить высокую степень линейности всего тракта группового сигнала.

12.3. Временное разделение каналов.

Принцип временного разделения каналов (ВРК) состоит в том, что групповой тракт предоставляется поочередно для передачи сигналов каждого канала многоканальной системы (рис.37).

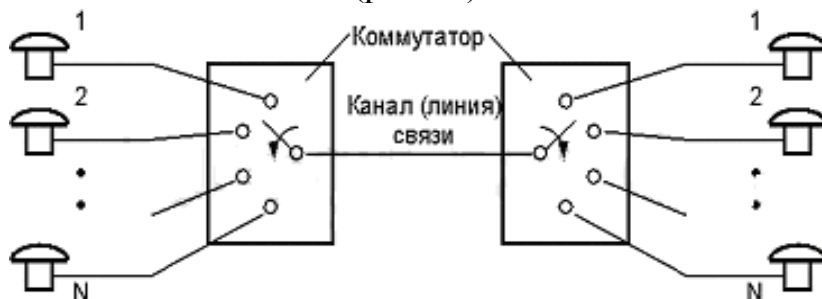


Рис.37. Принцип временного разделения канала

В зарубежных источниках для обозначения принципа временного разделения каналов используется термин Time Division Multiply Access (TDMA). При передаче используется дискретизация во времени (импульсная модуляция). Сначала передается импульс 1-го канала, затем следующего канала и т.д. до последнего канала за номером N, после чего опять передается импульс 1-го канала и процесс повторяется периодически. На приеме устанавливается аналогичный коммутатор, который поочередно подключает групповой тракт к соответствующим приемникам. В определенный короткий промежуток времени к групповой линии связи оказывается подключена только одна пара приемник/передатчик. Это означает, что для нормальной работы многоканальной системы с ВРК необходима синхронная и синфазная работа

коммутаторов на приемной и передающей сторонах. Для этого один из каналов занимают под передачу специальных импульсов синхронизации.

На рис. 38 приведены временные диаграммы, поясняющие принцип ВРК. На рис.38 а-в приведены графики трех непрерывных аналоговых сигналов $u_1(t)$, $u_2(t)$ и $u_3(t)$ и соответствующие им АИМ-сигналы. Импульсы разных АИМ-сигналов сдвинуты относительно друг друга по времени. При объединении индивидуальных каналов в канале (линии) связи образуется групповой сигнал с частотой следования импульсов в N раз большей частоты следования индивидуальных импульсов.

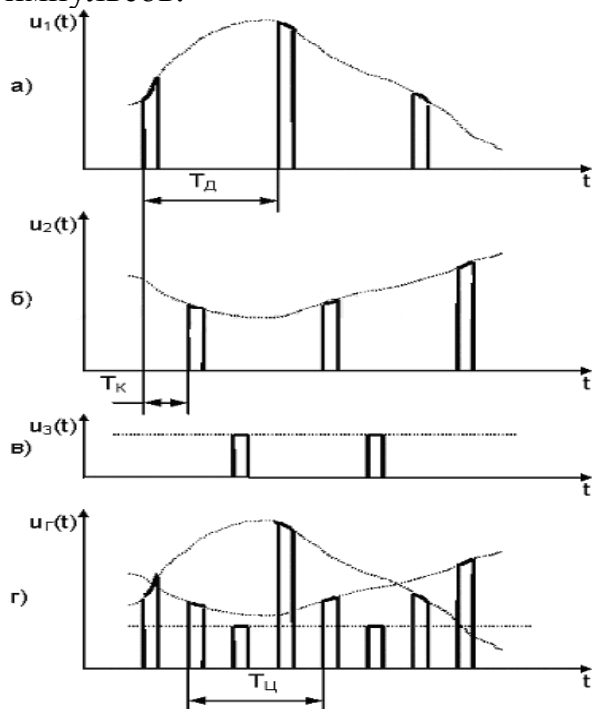


Рис. 38. Временные диаграммы

Интервал времени между ближайшими импульсами группового сигнала T_K называется канальным интервалом или тайм-слотом (Time Slot). Промежуток времени между соседними импульсами одного индивидуального сигнала называется циклом передачи $T_{Ц}$. От соотношения $T_{Ц}$ и T_K зависит число импульсов, которое можно разместить в цикле, т.е. число временных каналов.

При временном разделении так же как и при ЧРК существуют взаимные помехи, в основном обусловленные двумя причинами. Первая состоит в том, что линейные искажения, возникающие за счет ограниченности полосы частот и неидеальности амплитудно- частотной и фазочастотной характеристик всякой физически осуществимой системы связи, нарушают импульсный характер сигналов. При временном разделении сигналов это приведет к тому, что импульсы одного канала будут накладываться на импульсы других каналов. Иначе говоря, между каналами возникают взаимные переходные помехи или межсимвольная интерференция.

Кроме того, взаимные помехи могут возникать за счет несовершенства синхронизации тактовых импульсов на передающей и приемной сторонах. В силу данных причин временное разделение каналов на основе АИМ не

получило практического применения. Временное разделение широко используют в цифровых системах передачи плезиохронной и синхронной иерархий, которые будут подробно рассмотрены ниже.

В общем случае для снижения уровня взаимных помех приходится вводить «защитные» временные интервалы, что соответствует некоторому расширению спектра сигналов. Так, в СП полоса эффективно передаваемых частот $F=3100$ Гц, в соответствии с теоремой Котельникова имеет минимальное значение частоты дискретизации $f_0=1/T_D=2F=6200$ Гц. Однако в реальных системах частоту дискретизации выбирают с некоторым запасом: $f_0=8$ кГц. При временном разделении каналов сигнал каждого канала занимает одинаковую полосу частот, определяемую в идеальных условиях согласно теореме Котельникова из соотношения (без учета канала синхронизации) $Dt_K = T_0/N = 1/(2NF) = 1/(2FOБЦ)$, где $FOБЦ = FN$, что совпадает с общей полосой частот системы при частотном разделении. Хотя теоретически временное и частотное разделения позволяют получить одинаковую эффективность использования частотного спектра, тем не менее, пока системы временного разделения уступают системам частотного разделения по этому показателю.

Вместе с тем, системы с временным разделением имеют неоспоримое преимущество, связанное с тем, что благодаря разновременности передачи сигналов разных каналов отсутствуют переходные помехи нелинейного происхождения. Кроме того, аппаратура временного разделения значительно проще, чем при частотном разделении, где для каждого индивидуального канала требуются соответствующие полосовые фильтры, которые достаточно трудно реализовать средствами микроэлектроники.

Лекция 13. Режимы переноса информации

Коммутация каналов

Исторически сложилось так, что современные транспортные подсистемы (сети, связь) характеризуются очень узкой специализацией. Для каждого вида связи существует, по меньшей мере, одна сеть, которая транспортирует информацию этой службы. Важным следствием такой узкой специализации является наличие большого количества выделенных сетей, каждая из которых требует собственного этапа разработки, производства и технического обслуживания. При этом свободные ресурсы одной сети не могут использоваться другой сетью. Все это позволяет сделать вывод, что существующие в настоящее время транспортные подсистемы страдают целым рядом недостатков, важнейшими из которых являются:

- зависимость от вида информации, которую они транспортируют;
- отсутствие гибкости, так как современные транспортные подсистемы практически не адаптируются к изменениям в уровне требований со стороны систем управления к объемам передаваемой информации, к скорости передачи, времени доставки и верности;

– низкая эффективность использования ресурсов.

Многие из этих недостатков сохраняются и при переходе к узкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (УЦСИО). Таким образом, с системных позиций было бы желательно иметь единую транспортную подсистему (рис. 39), способную единым способом транспортировать все виды информации, распределяя свои сетевые ресурсы на динамической основе оптимальным образом. Такая единая транспортная подсистема, способная транспортировать единым способом все виды информации, позволяет обеспечить:

- гибкость и адаптацию подсистемы к изменению уровня требований пользователей к объему, скорости и качеству доставки информации;
- повышение эффективности использования имеющихся транспортных ресурсов;
- снижение общих затрат на проектирование, строительство и обслуживание телекоммуникационной подсистемы.

В настоящее время, благодаря успехам в создании волоконно-оптических систем передачи, в производстве сверхбольших интегральных схем, а также возникновению и развитию новых сетевых идей, появилась возможность на базе технологии АТМ (асинхронный способ передачи) создать единую телекоммуникационную систему – широкополосную цифровую сеть интегрального обслуживания. Достижения в области волоконно-оптических систем имеют ежегодное увеличение произведения «расстояние–полоса» в два раза наряду со стабильным уменьшением стоимости, что являются важными факторами, определяющими возможности их широкого использования в современных информационно-телекоммуникационных системах.

В традиционных сетях связи, построенных на базе существующих кабельных и даже коаксиальных линий связи, узким местом, с точки зрения пропускной способности, являлся тракт связи. Высокая скорость передачи (155 Мбит/с; 622 Мбит/с; 2,5 Гбит/с и более) и очень низкая вероятность ошибок в волоконно-оптических системах передачи выдвигают на первый план создание высокопроизводительных систем коммутации. Применение в качестве среды передачи волоконно-оптических линий связи с очень малым уровнем ошибок позволило пересмотреть сетевые концепции проверки ошибок. В результате вынести функции контроля и исправления ошибок в информации пользователя за пределы транспортной сети и возложить эти функции на конечное оборудование. Все это и привело к разработке нового режима переноса информации.

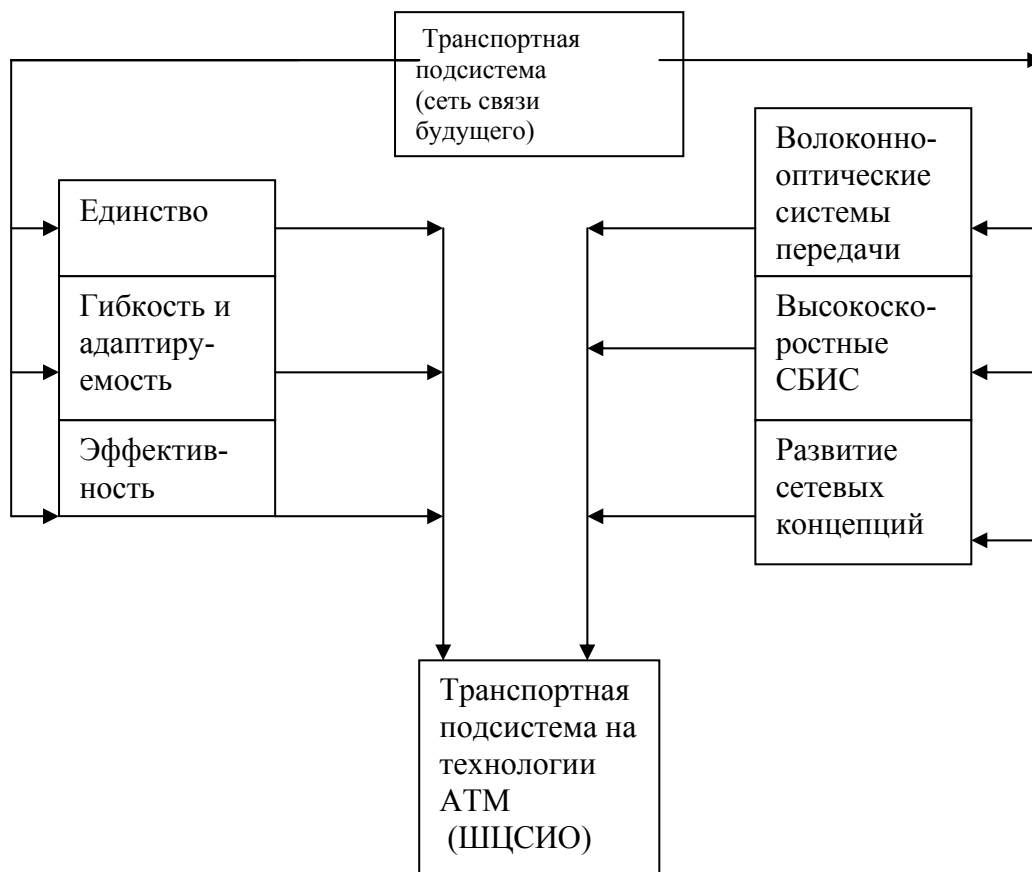


Рис. 39. Транспортная система будущего

Тот факт, что стоимость передачи данных по цифровым трактам связи снижается более быстро, чем стоимость процессоров и памяти, создает экономические предпосылки для реализации на практике в вычислительных сетях принципа упреждающего роста пропускной способности. Получается, что хранение на каждом ПК большого объема информации становится дороже, чем ее получение из баз данных, предоставление и организация интерактивных услуг дистанционного обучения и перехода к архитектуре «клиент–сервер».

Термин "режим переноса" введен СС МСЭ (Сетевой стандарт международного союза электросвязи) для описания способа, используемого в телекоммуникационных сетях для транспортирования информации и охватывающего аспекты передачи, мультиплексирования и коммутации. Основные способы транспортирования информации от источника до получателя, применяемые в сетях связи представлены на рис. 40. В левой части рисунка режимы переноса отличаются простотой, лучше приспособлены для обеспечения источников с постоянной скоростью передачи. При движении вправо возрастает гибкость режимов переноса к источникам с изменяющейся скоростью передачи и большой неравномерностью трафика. Однако реализация таких режимов переноса характеризуется возрастающей сложностью обработки в узлах коммутации, что снижает реализуемую скорость доставки в сети. Проведем анализ основных режимов переноса информации,

которые рассматривались в качестве альтернативных вариантов для широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (ШЦСИО).



Рис. 40. Схема сравнения различных методов переноса информации

Проведем анализ основных режимов переноса информации, которые рассматривались в качестве альтернативных вариантов для широкополосной цифровой сети интегрального обслуживания (ШЦСИО).

Коммутация каналов, как один из способов переноса информации, длительное время использовалась и используется в аналоговых сетях телефонной связи, а в настоящее время применяется в УЦСИО. В классическом смысле при оперативной коммутации каналов (в отличие от кроссовой коммутации каналов, которая находит еще достаточно широкое применение в ведомственных сетях связи) канал предоставляется пользователю только на время сеанса связи с момента установления соединения до момента завершения работы и разъединения. Режим коммутации каналов в УЦСИО базируется на принципе временного разделения каналов (TDM – Time Division Multiplexing) для транспортирования информации от одного узла к другому. Этот способ также известен как синхронный режим переноса (STM – Synchronous Transfer Mode). Информация передается с определенной частотой (8 бит каждые 125 мкс для скорости 64 кбит/с или 1000 бит каждые 125 мкс для скорости 8Мбит/с). Базисная единица такой частоты повторений называется временным интервалом. Несколько соединений мультиплексируются в одном тракте (звене передачи) путем объединения временных интервалов (слотов) в кадры (фреймы), которые также повторяются с определенной частотой. Соединение «канал» всегда использует один и тот же временной интервал во время всего сеанса.

Коммутация каналов при временном разделении осуществляется коммутатором путем пространственной коммутации, временной коммутации или их комбинации. Коммутация каналов представляет собой очень негибкую

процедуру, так как продолжительность временного интервала однозначно определяет скорость передачи в канале связи. Так, например, при ИКМ (импульсно–кодовая модуляция) временной интервал длительностью 3,9 мкс состоит из восьми двоичных символов. В цикле длительностью 125 мкс содержится 32 канальных интервала. При скорости в канале 64 кбит/с скорость цифровой системы передачи составляет 2048 кбит/с. Так как для передачи информации может быть использован только канальный интервал в цикле временного объединения, продолжительность которого равна периоду дискретизации сигнала (8 кГц), то это не соответствует требованиям различных служб. На самом деле требования различных служб к скорости передачи могут быть очень разными – от очень низких до очень высоких. Поэтому было бы целесообразно выбирать в качестве основной самую высокую скорость, например, 140 Мбит/с, так как такая скорость способна обеспечить потребности любой службы. Но в этом случае служба, которой необходима скорость 1 кбит/с, задействовала бы весь канал со скоростью 140 Мбит/с на всю длительность соединения, что, естественно, приводит к очень низкой эффективности использования сетевых ресурсов.

Таким образом, можно сделать вывод, что обычная коммутация каналов непригодна для использования в ШЦСИО. Чтобы устранить присущий обычной коммутации каналов недостаток – отсутствие гибкости, был разработан вариант с более широким диапазоном скоростей, получивший название многоскоростной коммутации каналов (MRCS Multirate Circuit Switching).

Системы передачи с многоскоростной коммутацией каналов используют тот же метод временного разделения (TDM – Time Division Multiplexing), что и системы с обычной коммутацией каналов. Однако в одном соединении может использоваться n ($n > 1$) основных цифровых каналов. Таким образом, каждое соединение может быть кратным скорости основного канала. Это решение принято к использованию в УЦСИО для видеотелефонии. Видеокодеки, разработанные для УЦСИО могут работать на скорости $n = 64$ кбит/с при $n < 30$.

Системы коммутации, обеспечивающие многоскоростную коммутацию каналов, становятся более сложными по сравнению с системами с обычной коммутацией каналов, так как все каналы отдельных звеньев, образующих соединение, должны быть синхронными. На самом деле, если каждый канал коммутируется индивидуально, то каналы могут быть выбраны не коррелированными по синхронизации и информация из одного канала может поступать в терминальное устройство с меньшими временными задержками, чем информация из другого канала, что абсолютно не допустимо, так как конечное устройство рассматривает эти каналы как единое целое.

Другой сложной проблемой для систем с многоскоростной коммутацией каналов является выбор базовой (основной) скорости. Так, для некоторых служб (например, для телеметрии) требуется очень низкая скорость передачи (около 1 кбит/с). Для других служб, например для ТВВЧ может потребоваться скорость около 140 Мбит/с. Если в качестве основной скорости выбрать

минимальную скорость (1 кбит/с), то для формирования канала для ТВВЧ потребуется 140 тысяч цифровых каналов со скоростью 1 кбит/с. Управление и обеспечение синфазности для всех этих каналов в интересах установления одного соединения становится практически неразрешимой задачей. Если для уменьшения сложности в качестве основного цифрового канала выбирается канал со значительно большей скоростью, то ширина полосы пропускания, которая остается неиспользованной, получается очень большой. Так, при выборе в качестве основного цифрового канала со скоростью 2 Мбит/с (в этом случае для формирования соединения в интересах ТВВЧ требуется только 70 основных цифровых каналов), попытка передачи речи (64 кбит/с) и тем более данных телеметрии приводит к очень низкой эффективности использования пропускной способности. Данная техническая проблема может решаться и другим путем, когда в коммутаторе каналов используются несколько основных скоростей. При таком решении основное время кадра делится на несколько временных интервалов различной длины.

Системы коммутации, разработанные для многоскоростной коммутации каналов, содержат набор отдельных коммутаторов, каждый из которых производит коммутацию каналов с определенной скоростью. На рис.41 представлен возможный вариант структуры такого коммутатора. Информация, поступающая из линии абонентского доступа (156,672 Мбит/с), демультиплексируется и поступает на различные коммутаторы (Н4, Н1, УЦСИО). И наоборот, информация, поступающая из коммутаторов, мультиплексируется и поступает в линию абонентского доступа. Каждый коммутатор (Н4, Н1, УЦСИО) может быть разработан и изготовлен отдельно. Система контроля, управления и технического обслуживания может быть общей.

Однако и при данной архитектуре сетевые ресурсы продолжают использоваться неэффективно. Так, в случае, когда все каналы Н1 заняты, то никакие дополнительные соединения Н1 не могут быть организованы даже в том случае, если коммутатор Н4 свободен. Эффективность использования сетевых ресурсов при многоскоростной коммутации каналов может даже снизиться за счет появления новых служб и прогресса в области видеокодирования.

Будем полагать, что во время выбора скоростей для многоскоростного коммутатора каналов основными службами являлись: ТВ (скорость 140 Мбит/с), высокоскоростная передача данных (2Мбит/с) и УЦСИО (64 кбит/с). Предположим, что через несколько лет благодаря прогрессу в области сжатия информации каналу ТВ потребуется скорость 25 Мбит/с, а требования к скорости при высокоскоростной передаче данных возрастут до 10 Мбит/с. Кроме того, возникнет новая служба со скоростью передачи 1 Мбит/с. Все это приведет к тому, что эффективность использования сетевых ресурсов значительно снизится.

Также необходимо отметить тот факт, что ТВ и высокоскоростная передача данных не могут осуществляться одновременно при многоскоростной коммутации каналов даже в каналах со скоростью 140Мбит/с, несмотря на то,

что суммарная скорость этих двух служб составляет всего 35 Мбит/с. Кроме того, при многоскоростной коммутации очень низка эффективность использования каналов при обслуживании источников с изменяющейся скоростью передачи и «взрывным» режимом работы. Выбранная скорость канала должна быть равной или превышать пиковую скорость передачи источника во время всего сеанса связи (сессии), хотя средняя скорость передачи может быть очень низкой.

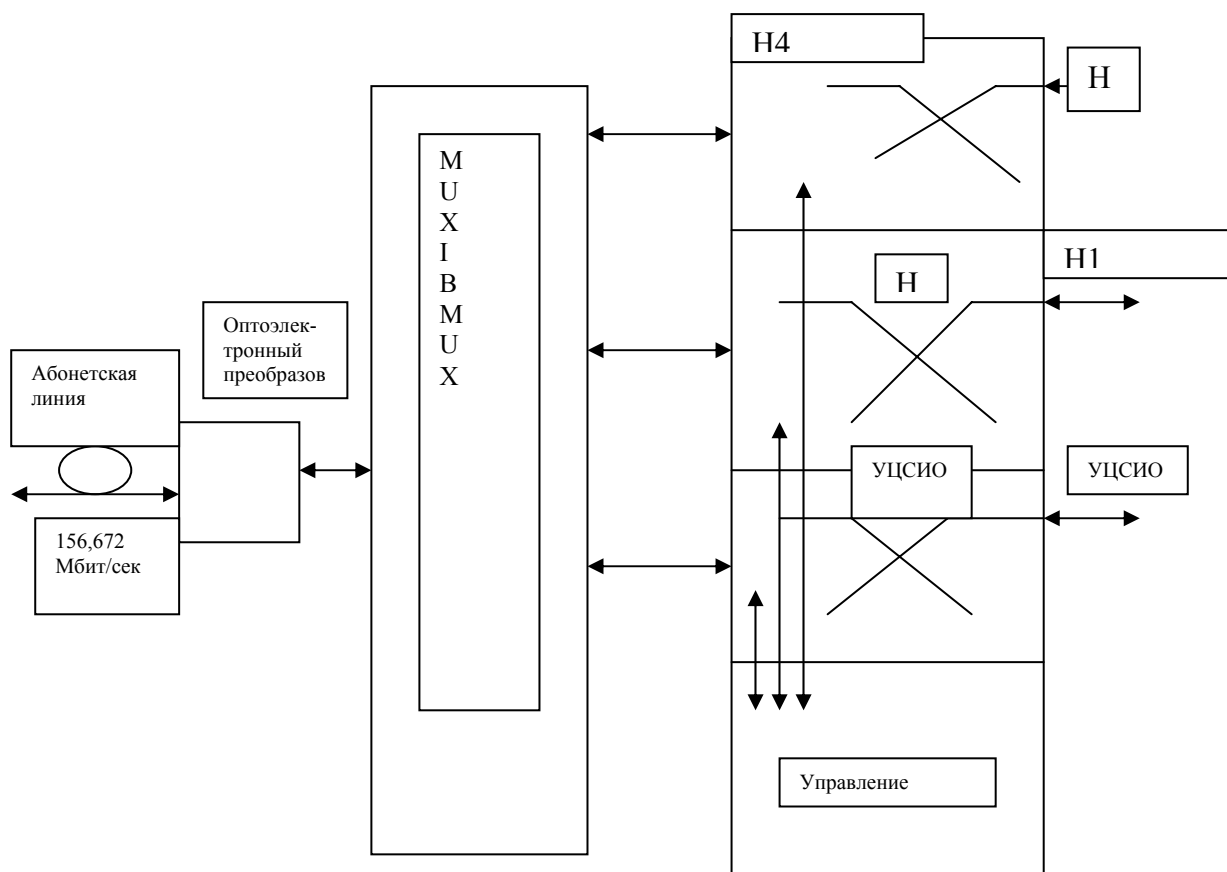


Рис. 41. Схема возможного коммутатора

Отсутствие гибкости и низкая эффективность при обслуживании источников с высокими значениями коэффициентов неравномерности трафика стали причиной того, что концепция многоскоростной коммутации не была рекомендована СС МСЭ для ШЦСИО. С целью повышения эффективности использования сетевых ресурсов для служб с изменяющейся скоростью передачи и высокой неравномерностью трафика была предложена концепция быстрой коммутации каналов (PCS – Fast Circuit Switching). Ресурсы в сети с быстрой коммутацией каналов используются только тогда, когда передается информация.

Рассматривалась возможность повышения эффективности использования цифровых трактов связи за счет статистического уплотнения. При этом предполагалось, что при обслуживании телефонной нагрузки на пучок цифровых

каналов 64 кбит/с поступает поток заявок не на установление соединения на всю длительность сеанса связи, а только на длительность передачи фрагмента речи. Показано, что при идеальной работе системы сигнализации при одной и той же вероятности отказа в обслуживании эффективность использования цифрового тракта может быть повышена в 1,8– раза. Совершенно очевидно, что объединение идей быстрой коммутации и многоскоростной коммутации каналов приводит к концепции многоскоростной быстрой коммутации каналов (MRFCS – Multirate Fast Circuit Switching). На этом принципе может быть сконструировано устройство, обеспечивающее возможность выделения каналов с различными скоростями передачи информации. Это позволило бы увеличить гибкость сети и повысить эффективность использования сетевых ресурсов. Основным недостатком такого режима переноса информации является сложность реализации системы управления, которая должна позволять устанавливать и разъединять сквозные соединения абонент–абонент за очень короткий интервал времени. В лабораториях США были разработаны коммутаторы, основанные на технологии многоскоростной быстрой коммутации каналов (БКК). Однако из-за высоких требований к системе сигнализации ни БКК, ни многоскоростная БКК не были выбраны для транспортирования информации в будущей широкополосной сети.

Лекция 14. Быстрая коммутация каналов. Асинхронный режим переноса. Быстрая коммутация пакетов

Асинхронный режим переноса, быстрая коммутация пакетов

Первый проект рекомендаций X.25 был издан МККТТ в 1974 году. Он пересматривался в 1976, 1978, 1980 и 1984 гг., а в 1985 году был издан в виде рекомендаций, известных как «Красная книга». Стандарт X.25 определяет процедуры обмена данными для устройств передачи данных между пользователем и узлом коммутации пакетов. Таким образом, протокол X.25 является, практически, только спецификацией сопряжения. Он управляет взаимодействием между оконечным оборудованием данных (DTE – Data Terminal Equipment) и оборудованием передачи данных (DCE – Data Circuit terminating Equipment). Концепция X.25 иллюстрируется на рис. 42.

Протокол X.25 организован по трехуровневой архитектуре, соответствующей трем нижним уровням модели ЭМВОС. Три уровня X.25 показаны на рис. 43. Взаимосвязь между этими тремя уровнями и уровнями модели ЭМВОС показаны на рис. 44. Нижний физический уровень обеспечивает необходимое физическое соединение между DTE и OSE. Оно осуществляется в соответствии с Рек. СС МСЭ X.21. Протоколом уровня канала является версия высокоуровневого управления каналом (HDLC – High Level Data Link Control), называемая сбалансированной процедурой доступа к каналу (LAPB – Link Access Procedures Balanced).

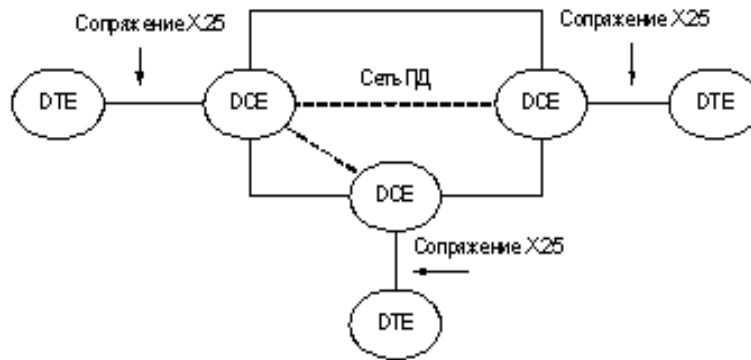


Рис. 42. Концепция протокола X.25

Протоколом уровня канала является версия высокоуровневого управления каналом (HDLC – High Level Data Link Control), называемая сбалансированной процедурой доступа к каналу (LAPB – Link Access Procedures Balanced). Вследствие низкого качества каналов связи для обеспечения приемлемой семантической прозрачности сквозного соединения в сети потребовалось использование сложных протоколов, осуществляющих разграничение кадров и защиту от ошибок.

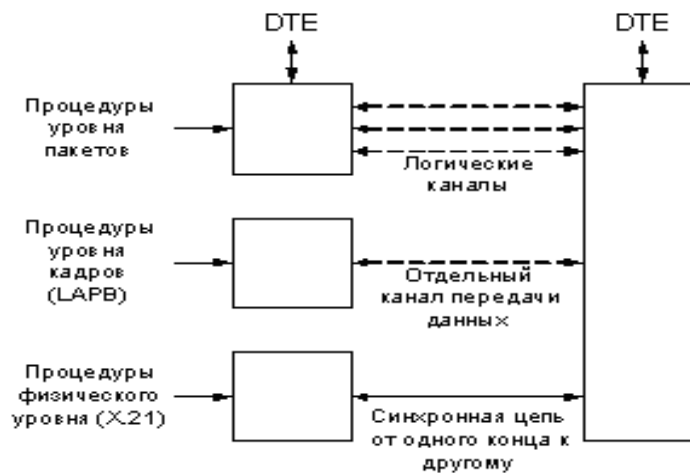


Рис. 43. Три уровня X.25



Рис. 44. Взаимосвязь между этими тремя уровнями и уровнями модели ВОС

Блоку уровня канала передачи данных протокола LAPB присвоено специальное название – кадр Frame. Типовой формат кадра показан на рис. 45.

Флаг	Поле адресов	Поле управляющих символов	Информационное поле	Поле проверочных символов	Флаг
------	--------------	---------------------------	---------------------	---------------------------	------

Рис. 45. Кадр (Frame). Типовой формат

Начало и конец кадра обозначается специальной восьми разрядной синхронизирующей комбинацией символов 01111110, именуемой флагом. За флагом следует поле адреса и поле управляющих символов. В информационном поле располагаются данные, полученные от сетевого уровня (пакет). Затем в кадре размещается поле проверочных символов, служащих для обнаружения ошибок. Кадры, предназначенные для управления процессами переноса информации, информационного поля не имеют.

Стандарт X.25 ориентирован на предоставление пользователям для обмена данными виртуальных каналов. Виртуальный канал, также называемый в терминах X.25 логическим каналом, является каналом, относительно которого пользователь считает, что он реально существует, хотя в

действительности физическая цепь распределена для многих пользователей, а виртуальный канал, по существу, является виртуальной реальностью. В одном физическом канале при пакетной коммутации осуществляется мультиплексирование потоков пакетов многих пользователей. Пропускная способность канала считается достаточной при условии, что ни один из пользователей не замечает ухудшения качества обслуживания при работе по этому каналу других.

В X.25 для идентификации подключения оконечного оборудования данных в сеть используются номера логических каналов. Одному физическому каналу может быть назначено до 4095 логических каналов. Различают два вида соединений: виртуальный канал и постоянный виртуальный канал.

Постоянный виртуальный канал аналогичен соединению, образуемому при кроссовой коммутации каналов. Он не требует посылки вызова, так как логический канал постоянно находится в состоянии передачи данных.

Аналогом виртуального канала является соединение, устанавливаемое по заказу на время сессии при ручной или автоматической коммутации каналов. Другой функцией протокола на сетевом уровне является управление потоком с помощью окна и с целью защиты от перегрузок. Пакеты X.25 имеют переменную длину, что требует достаточно сложного алгоритма управления буферным устройством коммутатора. Однако при скорости в канале, не превышающей 64 кбит/с, переменная длина пакетов не является ограничением для разработки эффективных программных средств управления накопителями.

Относительно низкая скорость обработки в узлах коммутации на уровне звена из-за ее сложности является причиной продолжительной задержки. Однако так как сети X.25 не были предназначены для обеспечения служб, осуществляемых в реальном масштабе времени, то относительно большое время задержки не явилось ограничением на создание таких сетей.

Протокол X.25 является одним из самых сложных, так как узлы коммутации на уровне звена обязаны выполнять большое количество функций. Разграничение кадров, вставка битов, обеспечение кодовой прозрачности, циклическое избыточное кодирование для обнаружения ошибок, повторная передача для исправления ошибок с помощью протокола ARQ, управление потоком с помощью окна и мультиплексирование потоков пакетов различных виртуальных каналов в едином физическом канале. Все это значительно затрудняет применение метода коммутации пакетов для служб, осуществляемых в реальном масштабе времени, вследствие продолжительной задержки, возникающей из-за повторных передач, и для служб, требующих высоких скоростей передачи данных равных десяткам или сотням Мбит в секунду из-за сложности в обработке. Коммутация пакетов является эффективным методом транспортирования данных для служб с относительно низкой скоростью передачи.

Применение для передачи данных цифровых трактов связи с меньшим уровнем ошибок, а также необходимость обеспечения высокоскоростной передачи данных позволили сократить количество функций, решаемых узлом коммутации на уровне звена, и рассмотреть возможность практического

использования в УЦСИО протокола FrameRelay. При протоколе Frame Relay повторная передача кадров с целью устранения ошибок осуществляется только по сквозному каналу, т.е. между оконечными устройствами пользователей (функция управления ошибками вынесена на границу сети). Для того чтобы не загружать каналы передачей кадров, в которых есть ошибки, на уровне звена производится только обнаружение ошибок и стирание кадров, в которых обнаружены ошибки.

В настоящее время протокол Frame Relay используется во многих пакетных сетях для обеспечения высокоскоростной передачи данных. По своей сложности Frame Relay располагается на оси режимов переноса информации (см. рис. 40) слева от коммутации пакетов, рядом с быстрой коммутацией пакетов (БКП). Быстрая коммутация пакетов (БКП) является концепцией, основной идеей которой является пакетная коммутация с минимумом функций, выполняемых узлами коммутации на уровне звена с целью повышения уровня временной прозрачности сети. Укоренилось наименование такого режима переноса информации – АТМ (Asynchronous Transfer Mode), рекомендованное ССМСЭ. В России кроме аббревиатуры АТМ в научной и технической литературе используются термины асинхронный режим доставки и асинхронный режим переноса.

Иногда встречаются и другие термины: АТД (Asynchronous Transfer Division – асинхронный режим временного уплотнения); FPS (Fast Packet Switching – быстрая коммутация пакетов). Поскольку АТМ является названием режима переноса, рекомендованным ССМСЭ, то в научной и технической литературе этот термин встречается наиболее часто. При выборе фиксированной или переменной длины пакета для АТМ учитывались следующие основные факторы:

- эффективное использование пропускной способности цифровых трактов связи;
- достижение высокой производительности коммутационного оборудования, т.е. достижение компромисса между скоростью коммутации и сложностью реализации коммутационных устройств;
- задержка пакета.

В общем случае эффективность использования пропускной способности цифровых трактов связи при применении пакетов переменной длины несколько выше, чем при пакетах постоянной длины. Однако этот выигрыш не является определяющим. В то же время, вариант с пакетами постоянной длины более предпочтителен по сравнению с вариантом пакетов переменной длины как по скорости работы коммутационного оборудования, так и по объему буферного пространства. Эксперты ССМСЭ пришли к заключению об использовании пакетов фиксированной длины. Было также принято решение использовать другое наименование, отличное от термина «пакет», чтобы подчеркнуть принятую фиксированную длину. Было одобрено название «ячейка» (cell). При принятии решения об использовании пакетов (ячеек) постоянной длины необходимо было выбрать их размер. На выбор длины ячейки оказали влияние следующие основные факторы:

- эффективность использования пропускной способности цифровых трактов;
- задержка при заполнении пакета информацией пользователя (задержка при пакетизации), задержка в очереди, задержка на депакетизацию и колебание этих задержек (джиттер);
- сложность реализации.

Европейские ученые выступали за размер ячейки в 32 октета (восемь битов) с целью устранения эхо подавителей при передаче речи, а ученые США и Японии предлагали ячейку размером в 64 октета для достижения большей эффективности использования цифровых трактов. Был достигнут компромисс и длина ячейки была принята равной 53 октетам.

Сущность режима АТМ (рис. 46) состоит в транспортировании всех видов информации пакетами фиксированной длины (ячейками), когда потоки ячеек от различных пользователей асинхронно мультиплексируются в едином цифровом тракте с длиной пакета фиксированной длины, включающий заголовок (5 октет) и информационное поле (48 октет). Применение коротких пакетов (53 октета), минимизация функций, выполняемых при коммутации и использование элементной базы на технологиях КМОП (комплементарная логика на транзисторах металл-оксид-полупроводник) и БИКМОП (Биполярные КМОП), позволили уже сегодня достичь производительности коммутаторов АТМ 10 Гбит/с и более. Основными положительными сторонами метода АТМ являются возможности транспортирования по сети информации любой службы независимо от скорости передачи, требований к семантической и временной прозрачности сети и пачечности трафика ячеек. Эти причины и определили решение СС МСЭ, что именно АТМ является режимом транспортирования информации для ШЦСИО.

Сети АТМ свободны от недостатков сетей с другими режимами переноса (зависимость от службы, отсутствие гибкости, низкая эффективность использования сетевых ресурсов, отсутствие адаптации к источникам с изменяющейся скоростью передачи). Именно технология АТМ обеспечивает:

- гибкость сети;
- эффективность использования сетевых ресурсов;
- возможность создания единой универсальной сети для всех ныне существующих служб и служб будущего. Режим АТМ может быть поддержан любой цифровой системой передачи, так как определяет протоколы на уровнях выше физического. Гибкость сети обеспечивается за счет того, что любой источник может генерировать информацию с той скоростью, которая ему необходима. Это дает возможность постоянного совершенствования алгоритмов кодирования и сжатия информации с целью уменьшения требуемой полосы пропускания, появления новых служб с еще неизвестными характеристиками.

Все имеющиеся ресурсы сети могут использоваться всеми службами, что дает возможность их оптимального распределения на статистической основе и, следовательно, обеспечивает высокую эффективность использования сетевых ресурсов

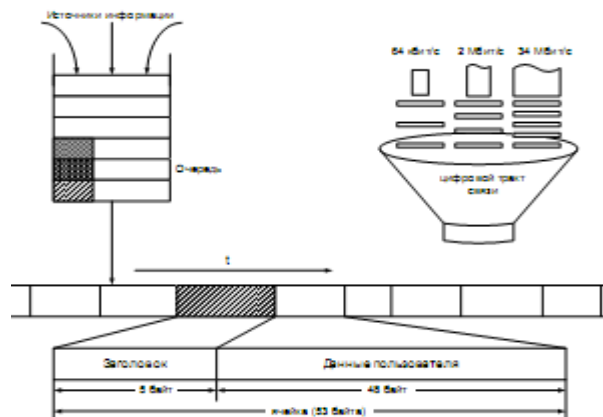


Рис. 46. Схема режима переноса информации АТМ

кодирования и сжатия информации с целью уменьшения требуемой полосы пропускания, появления новых служб с еще неизвестными характеристиками. Все имеющиеся ресурсы сети могут использоваться всеми службами, что дает возможность их оптимального распределения на статистической основе и, следовательно, обеспечивает высокую эффективность использования сетевых ресурсов. Так как все виды информации транспортируются одним методом, то это дает возможность проектирования, создания, ввода в эксплуатацию, контроля, управления и технического обслуживания только одной сети, что сокращает общие затраты на ее создание и делает ее наиболее экономичной сетью электросвязи в мире.

Асинхронный метод переноса характерен следующими основными особенностями:

- отсутствием защиты от ошибок и управления потоком данных на уровне звена;
- ориентацией на соединение;
- ограниченным количеством функций, которые несет заголовок пакета АТМ;
- относительно небольшой длиной информационной части ячейки.

Высокое качество систем передачи цифровых трактов связи и очень малые значения вероятности ошибки на бит позволяют отказаться от обнаружения и исправления ошибок в пакете на звеньевом уровне. Отсутствует на уровне звена и управление потоком данных с целью исключения перегрузок. Однако фазе передачи информации в сетях АТМ предшествует фаза установления виртуального соединения, во время которой осуществляется проверка достаточности объема сетевых ресурсов, как для качественного обслуживания уже установленных виртуальных соединений, так и для создаваемого. Если сетевых ресурсов недостаточно, то окончательному устройству выдается отказ в установлении соединения.

После завершения фазы передачи информации виртуальное соединение разрушается, а сетевые ресурсы могут использоваться в интересах обеспечения другого виртуального соединения. Таким образом, за счет использования

режима переноса информации, осуществляется контроль за величиной потерь пакетов вследствие переполнения буферных устройств коммутаторов.

В целях обеспечения временной прозрачности сети АТМ для уменьшения времени задержки пакета в узлах коммутации функции заголовка пакета АТМ значительно ограничены. Основной функцией заголовка является идентификация виртуального соединения с помощью идентификатора и обеспечение гарантии правильной маршрутизации. Заголовок также дает возможность мультиплексирования различных виртуальных соединений в одном цифровом тракте. Ошибка в заголовке может привести к неправильной маршрутизации. Это обуславливает эффект размножения ошибок: один искаженный бит в заголовке может привести и к утрате пакета, и к его доставке не по адресу. С целью уменьшения эффекта размножения ошибок из-за неправильной маршрутизации предполагается в заголовке пакета АТМ обеспечить обнаружение ошибок и их исправление. Из-за ограниченных функций, выполняемых заголовком пакета АТМ, его обработка считается достаточно простой процедурой и может осуществляться на очень высоких скоростях, что обеспечивает малую задержку пакетов АТМ в очередях буферных устройств коммутаторов АТМ. С целью уменьшения размеров внутренних буферов в узлах коммутации и ограничения времени задержек длина информационного поля ячейки выбрана относительно небольшой. Малые размеры информационного поля позволяют получить небольшие значения времени задержки на пакетизацию, что по совокупности с относительно небольшими размерами буферных устройств узлов коммутации, обеспечивающих незначительные задержки и колебания задержки, характеризуют временную прозрачность сетей АТМ для служб, функционирующих в реальном масштабе времени.

В виду выше сказанное, следует отметить, что идея создания ШЦСИО на технологии АТМ возникла как принципиально новая парадигма построения сетей связи: вместо стандартных и многочисленных сетей телефонной, телеграфной, факсимильной связи и сетей передачи данных, каждая из которых рассчитана только на обеспечение одного вида связи тем или иным способом переноса информации. Предполагается построить единую цифровую сеть на базе широкого использования волоконно-оптических линий связи и единого метода транспортирования по сети всех видов информации с помощью технологии асинхронного режима переноса пакетов фиксированной длины.

Благодаря технологии АТМ все коммутационное оборудование становится однородным, решающим для всех видов информации одну задачу – задачу быстрой коммутации фиксированных пакетов, получивших название ячеек, и асинхронного временного разделения ресурсов, при котором множество виртуальных соединений с различными скоростями асинхронно мультиплексируются в едином физическом канале связи – цифровом тракте. Сеть АТМ, способная транспортировать единым методом все виды информации, позволяет обеспечить:

– высокую гибкость и адаптацию сети к изменению уровня требований пользователей к объему, скорости, качеству доставки информации и к появлению

требований на предоставление новых услуг, требующих наличия у сети интеллекта;

– повышение эффективности использования сетевых ресурсов за счет статистического мультиплексирования множества источников спачечным трафиком;

– снижение общих затрат на проектирование, строительство и эксплуатацию такой сети.

Однако следует сказать, что ничего не дается даром. Основной проблемой, которая возникает в сетях АТМ, является проблема удовлетворения требований различных служб к временной и семантической прозрачности сети и их адаптация к единому методу переноса.

Лекция 15. Узлы сети пакетной коммутации. Организация доступа к сетям пакетной коммутации в монопольном и пакетном режимах

Глобальная сеть Internet – самая крупная и единственная в своем роде сеть в мире. Среди глобальных сетей она занимает уникальное положение. Правильнее ее рассматривать как объединение многих сетей, сохраняющих самостоятельное значение. Действительно, Internet не имеет ни четко выраженного владельца, ни национальной принадлежности. Любая сеть может иметь связь с Internet и, следовательно, рассматриваться как ее часть, если в ней используются принятые для Internet протоколы TCP/IP или имеются конверторы в протоколы TCP/IP. Практически все сети национального и регионального масштабов имеют выход в Internet. Типичная территориальная (национальная) сеть имеет иерархическую структуру.

Верхний уровень – федеральные узлы, связанные между собой магистральными каналами связи. Магистральные каналы физически организуются на ВОЛС или на спутниковых каналах связи. Средний уровень – региональные узлы, образующие региональные сети. Они связаны с федеральными узлами и, возможно, между собой выделенными высоко – или среднескоростными каналами, такими, как каналы T1, E1, B-ISDN или радиорелейные линии. Нижний уровень – местные узлы (серверы доступа), связанные с региональными узлами преимущественно коммутируемыми или выделенными телефонными каналами связи, хотя заметна тенденция к переходу к высоко – и среднескоростным каналам. Именно к местным узлам подключаются локальные сети малых и средних предприятий, а также компьютеры отдельных пользователей. Корпоративные сети крупных предприятий соединяются с региональными узлами выделенными высоко – или среднескоростными каналами. Таким образом, архитектура сетей Internet имеет иерархическую структуру. Внутри каждой автономной системы (AS) используется некоторый единый внутренний протокол маршрутизации. Между AS маршрутизация подчиняется внешним протоколам.

15.1. Основные сервисы телекоммуникационных технологий

Основными услугами, предоставляемыми телекоммуникационными технологиями являются:

- электронная почта;
- передача файлов;
- телеконференции;
- справочные службы (доски объявлений);
- видеоконференции;
- доступ к информационным ресурсам (информационным базам) сетевых серверов;
- мобильная сотовая связь;
- компьютерная телефония.

Специфика телекоммуникаций проявляется прежде всего в прикладных протоколах. Среди них наиболее известны протоколы, связанные с Internet, и протоколы ISO-IP (ISO 8473), относящиеся к семиуровневой модели ЭМВОС открытых систем. К прикладным протоколам Internet относятся следующие:

- Telnet, протокол эмуляции терминала, или, другими словами, протокол реализации дистанционного управления. Используется для подключения клиента к серверу при их размещении на разных компьютерах, пользователь через свой терминал имеет доступ к компьютеру – серверу;
- FTP, протокол файлового обмена (реализуется режим удаленного узла), клиент может запрашивать и получать файлы с сервера, адрес которого указан в запросе;
- HTTP (Hypertext Transmission Protocol), протокол для связи WWW – серверов и WWW – клиентов;
- NFS, сетевая файловая система, обеспечивающая доступ к файлам всех UNIX – машин локальной сети. Файловые системы узлов выглядят для пользователя как единая файловая система;
- SMTP, IMAP, POP3, протоколы электронной почты.

Указанные протоколы реализуются с помощью соответствующего программного обеспечения. Для Telnet, FTP, SMTP на серверной стороне выделены фиксированные номера протокольных портов. В семиуровневой модели ISO (ЭМВОС) используются аналогичные протоколы. Так, протокол VT соответствует протоколу Telnet, FTAM – FTP, MOTIS – SMTP, CMIP – SNMP, протокол RDA (Remote Database Access) предназначен для доступа к удаленным базам данных.

15.2. Электронная почта

Электронная почта (E-mail), средство обмена сообщениями по электронным коммуникациям (в режиме off-line). Можно пересылать текстовые сообщения и архивированные файлы. В последних могут содержаться данные (например, тексты программ, графические данные) в различных форматах. В случае архивирования изображений возникает

проблема выбора форматов кодирования. Функции клиента – составление, отправление, архивирование сообщений.

Разработан ряд альтернативных протоколов электронной почты для прикладного уровня. Наиболее популярны среди них протоколы S MTP в стеке протоколов TCP/IP и X.400 в модели ISO. Расширение числа возможных кодировок и форматов данных по сравнению с SMTP сделано в MIME (Multipurpose Internet Mail Extensions). На их базе разработано программное обеспечение E-mail, способное работать в обоих протоколах. Оно включает программы почтовых серверов и клиентов. Применение MIME упрощает пересылку графических и звуковых файлов, реализацию шифрования и электронной подписи.

На ЭВМ пользователя должна быть установлена программа – клиент, поддерживающая названные выше функции создания, передачи и приема сообщений. На почтовом сервере, выделяемом в корпоративной или локальной сети, организуется промежуточное хранение поступающих сообщений. Связь индивидуальных пользователей с почтовым сервером осуществляется по протоколам IMAP или POP3. Для индивидуального пользователя, общающегося с другими абонентами по телефонной сети общего пользования, такое промежуточное хранение возможно в собственном компьютере, но тогда требуется либо круглосуточное включение компьютера, либо предварительная договоренность о времени связи.

В территориальных сетях почтовые сообщения проходят через ряд промежуточных федеральных или региональных узлов. В таких узлах устанавливается программное обеспечение (так называемый агент передачи сообщений), выполняющее функции сортировки и маршрутизации сообщений. Примерами программных систем электронной почты, выполняющих все отмеченные функции E-mail, могут служить Lotuscc: mail, Microsoft Mail или Outlook Express. Они позволяют адресовать сообщения индивидуальному пользователю; на доску объявлений; на последовательный просмотр несколькими исполнителями с возможностями коррекции сообщения; поиск сообщений, пришедших в почтовый сервер, по контексту, по адресу, по времени отправки.

В сетях Netware на почтовом сервере можно использовать программное обеспечение MHS фирмы Novell, а клиентскими программами могут быть Mail или Vim. В настоящее время при разработке многих программных систем предусматривается интерфейс со средствами электронной почты, клиентские программы E-mail стараются включать в Web – браузеры сети Internet, а также в такие прикладные программные системы, как АСУ, САПР, системы документооборота.

Письма в E-mail состоят из заголовка и тела (текста). В заголовке указывается кому предназначено письмо, от кого оно поступило, кому посланы копии, дата отправки, указатель ключа, по которому пользователь может определить ключ для декодирования текста. В протоколе IMAP (Internet Message Access Protocol) сначала клиенту передается заголовок, а текст остается на сервере, затем пользователь при желании может получить и весь

текст. В протоколе POP3 при обращении к почтовому серверу на клиентский узел переписывается все сообщение.

15.3. Файловый обмен

Файловый обмен – доступ к файлам, распределенным по различным компьютерам. В сети Internet на прикладном уровне используется протокол FTP. Доступ возможен в режимах off-line и on-line. В режиме off-line посылается запрос к FTP – серверу, сервер формирует и посылает ответ на запрос. В режиме on-line осуществляется интерактивный просмотр каталогов FTP-сервера, выбор и передача нужных файлов. На ЭВМ пользователя нужен FTP-клиент. Доступ к базам данных, удаленных ЭВМ с эмуляцией удаленной машины, на ЭВМ пользователя выполняется с помощью протокола Telnet. Telnet имеет возможность работать в условиях разных аппаратных платформ клиента и сервера.

15.4. Телеконференции и доски объявлений

Телеконференции – доступ к информации, выделенной для группового использования в отдельных конференциях (newsgroups). Возможны глобальные и локальные телеконференции. Включение материалов в newsgroups, рассылка извещений о новых поступивших материалах, выполнение заказов – основные функции программного обеспечения телеконференций. Возможны режимы Email и on-line. Самая крупная система телеконференций – USENET. В USENET информация организована иерархически. Сообщения рассылаются или лавинообразно, или через списки рассылки. В режиме on-line можно прочитать список сообщений, а затем и выбранное сообщение. В режиме off-line из списка выбирается сообщение и на него посылается заказ.

Телеконференции могут быть с модератором или без него. Например, работа коллектива авторов над книгой по спискам рассылки. Существуют также средства аудиоконференций (голосовых телеконференций). Вызов, соединение, разговор происходят для пользователя как в обычном телефоне, но связь идет через Internet. Электронная «доска объявлений» BBS (Bulletin Board System) – технология, близкая по функциональному назначению к телеконференции, позволяет централизованно и оперативно направлять сообщения для многих пользователей. Программное обеспечение BBS сочетает в себе средства электронной почты, телеконференций и обмена файлами. Примеры программ, в которых имеются средства BBS, – Lotus Notes, World – group. В системах принудительной доставки информации (push-технология) подписчики без дополнительных запросов снабжаются часто обновляемой информацией.

В настоящее время интенсивно развиваются технологии настольной конференц – связи в реальном масштабе времени. Возможны несколько уровней настольной конференц – связи. В зависимости от вида разделяемой пользователями информации различают уровни: простая E-mail – сессия,

совместная работа над документом без голосовой связи (shared whiteboard – разделяемая «доска»), то же с голосовой связью (разновидность аудиоконференций), видео – конференция. По мере повышения уровня возрастают требования к пропускной способности используемых каналов передачи данных. Для простых видов конференц – связи, а также и для аудиоконференций (конечно, при применении современных эффективных способов сжатия информации) можно использовать даже обычные телефонные линии, начиная с 8–10 кбит/с. Но лучше использовать в качестве «последней мили» цифровую ISDN или xDSL линию.

В зависимости от числа участников и способа интерактивной связи между ними различают двухточечную (unicast), широковещательную (broadcast) и многоточечную (multicast) конференции. Если в широковещательной конференции информация от центрального узла доставляется всем участникам, то в многоточечной конференции она рассылается избирательно, т.е. одновременно может идти обмен разной информацией внутри нескольких подгрупп одной группы пользователей. Наиболее очевидные области применения настольной конференцсвязи – это дистанционное обучение, медицинские консультации, различные бизнес-приложения.

Программное обеспечение телеконференций включает серверную и клиентскую части. В клиентской программе должны быть, как минимум, средства Email, многооконный текстовый редактор (так, принимаемый и отправляемый партнеру тексты помещаются в разные окна, отдельное окно может быть выделено для видео в случае видеоконференций), средства файлового обмена. Наиболее известными клиентскими программами являются ProShare (Intel) и Net Meeting (Microsoft).

В системе дистанционного обучения Class Point клиентская часть включает отдельные программы для инструктора и студента. Серверная часть (MCU – Multipoint Control Unit) служит для распределения потока данных между пользователями с согласованием форматов окон с видеoinформацией, способов сжатия данных, скоростей потоков, идущих от разных сетей (пользователей). Примеры серверов: Whute Pine's Meeting Point для видеоконференций, Data Beam's Learning Server для систем дистанционного обучения.

15.5. Доступ к распределенным базам данных

В системах «клиент–сервер» запрос должен формироваться в ЭВМ пользователя, а организация поиска данных, их обработка и формирование ответа на запрос относятся к ЭВМ–серверу. При этом нужная информация может быть распределена по различным серверам. В сети Internet имеются специальные серверы баз данных, называемые WAIS (Wide Area Information Server), в которых могут содержаться совокупности баз данных под управлением различных СУБД. Типичный сценарий работы с WAIS-сервером: – выбор нужной базы данных;

- формирование запроса, состоящего из ключевых слов;
- посылка запроса к WAIS-серверу;
- получение от сервера заголовков документов, соответствующих заданным ключевым словам;
- выбор нужного заголовка и его посылка к серверу;
- получение текста документа.

К сожалению, WAIS в настоящее время не развивается, поэтому используется мало, хотя индексирование и поиск по индексам в больших массивах неструктурированной информации, что было одной из основных функций WAIS, – задача актуальная. Возможно, что причина снижения интереса к WAIS кроется в реализации Web-технологии во многих прикладных системах, в том числе в ряде СУБД. Так, в Oracle имеется свой Web – Server, который принимает http-запросы и переправляет их одному из обработчиков (в Oracle их называют картриджами). Среди обработчиков – интерпретатор языка Java. Возможны обработчики, создаваемые пользователями.

15.6. Информационная система WWW (World Wide Web – всемирная паутина)

Это гипертекстовая информационная система сети Internet. Другое ее краткое название – Web. Это более современная система по сравнению с Gopher и предоставляет пользователям большие возможности. Во-первых, это гипертекст – структурированный текст с введением в него перекрестных ссылок, отражающих смысловые связи частей текста. Слова –ссылки выделяются цветом или подчеркиванием. Выбор ссылки вызывает на экран связанный со словом–ссылкой текст или рисунок. Можно искать нужный материал по ключевым словам.

Во-вторых, облегчено по сравнению с Gopher представление и получение графических изображений. Информация, доступная по Web – технологии, хранится в Web – серверах. Сервер имеет программу Listener, постоянно отслеживающую приход на определенный порт (обычно это порт 80) запросов от клиентов. Сервер удовлетворяет запросы, посылая клиенту содержимое запрошенных Web – страниц или результат выполнения запрошенных процедур. Клиентские программы WWW называют браузерами (browsers). Имеются текстовые (например, Lynx) и графические (наиболее известны Netscape Navigator и MS Explorer) браузеры. Sun предлагает браузер Hot Java. В браузерах имеются команды листания, перехода к предыдущему или последующему документу, печати, перехода по гипертекстовой ссылке и т.п. Из браузеров доступны различные сервисы – FTP, Gopher, USENET, E-mail. Для подготовки материалов для их включения в базу WWW разработаны специальный язык HTML (Hypertext Markup Language) и реализующие его программные редакторы, например Internet Assistant в составе редактора Word или Site Edit, подготовка документов предусмотрена и в составе большинства браузеров.

Для связи Web – серверов и клиентов разработан протокол HTTP, работающий на базе TCP/IP. Web–сервер получает запрос от браузера, находит соответствующий запросу файл и передает его для просмотра в браузер. Популярными серверами являются ApacheDigital для ОС Unix, Netscape Enterprise Server и MicrosoftInternet Information Server (IIS), которые могут работать как в Unix, так и в Windows NT, и Netware Web – Server, предназначенный для работы в ОС Netware. Все три сервера поддерживают язык CGI, имеют встроенный HTML–редактор. Кроме того, в первых двух из них поддерживается стандарт шифрования SSL (Secure Sockets Layer) для защиты передаваемых по сети данных от несанкционированного доступа. Опыт показывает, что для крупных серверов предпочтительнее платформа Unix, тогда как для серверов с малым числом транзакций лучше подходит ОС Windows NT.

Заключение

Технологии Интранет и Интернет продолжают развиваться. Разрабатываются новые протоколы, пересматриваются старые. NSF значительно усложнила систему, введя свою магистральную сеть, несколько региональных сетей и сотни университетских сетей. Другие группы также продолжают присоединяться к Интернету. Самое значительное изменение произошло не из-за присоединения дополнительных сетей, а из-за дополнительного трафика. Физики, химики, и астрономы работают и обмениваются объемами данных гораздо большими, чем исследователи в компьютерных науках, составляющие большую часть пользователей трафика раннего Интернета. Эти новые ученые привели к значительному увеличению загрузки Интернета, когда они начали использовать его, и загрузка постоянно увеличивалась по мере того, как они все активнее использовали его.

Чтобы приспособиться к росту трафика, пропускная способность магистральной сети NSFNET была увеличена вдвое, приведя к тому, что текущая пропускная способность приблизительно в 28 раз больше, чем первоначальная. Планируется еще одно увеличение, чтобы довести этот коэффициент до 30.

На настоящий момент трудно предсказать, когда исчезнет необходимость дополнительного повышения пропускной способности. Рост потребностей в сетевом обмене не был неожиданным. Компьютерная индустрия получила сильное развитие от постоянных требований на увеличение вычислительной мощности и большего объема памяти для данных в течение долгих лет. Пользователи только начали понимать, как использовать сети. В будущем мы можем ожидать постоянное увеличение потребностей во взаимодействии. Поэтому потребуются технологии взаимодействия с большей пропускной способностью, чтобы приспособиться к этому росту.

Расширение Интернета заключается в сложности, возникшей из-за того, что несколько автономных групп являются частями объединенного Интернета.

Исходные проекты для многих подсистем предполагали централизованное управление. Потребовалось много усилий, чтобы доработать эти проекты для работы при децентрализованном управлении. Итак, для дальнейшего развития информационных сетей потребуются более высокоскоростные коммуникационные технологии.

Библиографический список

1. Строганов, М.П. Информационные сети и телекоммуникации: учебное пособие /М.П. Строганов. – М.: Изд-во Высшая школа, 2008.
2. Душин, В.К. Теоретические основы информационных процессов и систем: учебник / В.К. Душин.– 3-е изд.– М.: Издательско-торговая корпорация Дашков и К, 2009.
3. Телекоммуникационные системы и сети: учебное пособие. В 3-х т./ Г.П. Катунин, Г.В. Мамчев, В.Н. Попантопуло, В.П. Шувалов;/ под ред. В.П. Шувалова.– М.: Изд-во Горячая линия-телеком, 2005.
4. Телекоммуникационные системы, компьютерные сети и Интернет: учебное пособие/ А.Б. Суворов. – Ростов-на Дону: Изд-во Феникс, 2007.
5. Емельянова, Н.А. Основы построения автоматизированных информационных систем: учебное пособие / Н.А. Емельянова. – М.: Изд-во Инфра-М, 2007.
6. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации: учебник/ А.П. Пятибратов, Л.П. Гудыно, А.А. Кириченко / Под ред.А.П. Пятибратова. – М.: Изд-во «Финансы и статистика», 2005.
7. Сети ЭВМ и телекоммуникаций. Ч.2: Локальные и глобальные компьютерные сети. Сеть Internet. Разработано А.П. Пятибратовым.– М.: 2004.
8. Построение мультисервисных сетей Ethernet: учебное пособие/ А.Ю. Филимонов.– СПб.: БХВ-Петербург, 2007.
9. Основы построения телекоммуникационных систем и сетей: учебник для вузов / В.В. Крухмалев.– М.: 2004.
10. Отечественные телекоммуникационные системы: учебное пособие/ Ю.А. Шарипов. – М.: Изд-во Логос, 2005.
11. Кечиев, Л.В. ЭМС и информационная безопасность в системах телекоммуникаций/Л.В. Кечиев – М.: Технологии, 2005.
12. Олифер, В.А. Основы сетей передачи данных.– М.: Изд-во Интуит, 2003.
13. Норенков, И.П. Телекоммуникационные технологии и сети.– М.: Изд-во МГУ, 2000.

Оглавление

Введение.....	3
Лекция 1. Телекоммуникация. Понятие информации. Системы передачи информации. Измерение количества информации.....	3
1.1. Элементы теории информации.....	5
1.2. Измерение информации по Роберту Хартли.....	5
Лекция 2. Понятие энтропии. Свойства энтропии. Энтропия непрерывных сообщений.....	6
2.1. Измерение количества информации по Клоду Шенону.....	7
2.2. Энтропия (обращение).....	9
2.3. Энтропия бинарного сообщения.....	10
Лекция 3. Основные параметры сообщений. Обобщенные характеристики сигналов и каналов связи. Скорость передачи информации и пропускная способность канала связи.....	12
Лекция 4. Основы теории сигнала.....	13
Лекция 5. Спектральный (гармонический анализ) анализ сигналов.....	15
5.1. Разложение периодических функций в ряд Фурье.....	16
5.2. Запись ряда Фурье в тригонометрической форме.....	16
Лекция 6. Спектральный анализ непериодических сигналов.....	20
Лекция 7. Назначение, функции, состав, структура, характеристики, классификация информационных сетей.....	24
7.1. Характеристики и классификация информационных сетей.....	24
7.2. Примеры известных сетей.....	26
Лекция 8. Архитектуры информационных сетей.....	27
8.1. Многоуровневая архитектура информационных сетей.....	27
8.2. Эталонная модель (OSI) ЭМВОС.....	29
8.3. Физический уровень.....	30
8.4. Уровень канала.....	30
8.5. Сетевой уровень.....	31
8.6. Транспортный уровень.....	32
8.7. Уровень сеанса.....	33
8.8. Уровень представления.....	33
8.9. Прикладной уровень.....	33
Лекция 9. Разновидности каналов.....	35
9.1. Проводные линии связи.....	36
9.2. Оптические линии связи.....	37
9.3. Беспроводные каналы связи.....	38
9.4. Спутниковые каналы передачи данных.....	40
Лекция 10. Методы передачи данных.....	41
10.1. Методы передачи данных на физическом уровне.....	41
10.2. Основные рекомендации: МККТ V.24, X.21, X21бис, X.20.....	43
10.3. Установление и разъединение соединения.....	44

10.4. Преобразование сигналов.....	44
10.5. Реализация интерфейса.....	44
10.6. Методы передачи данных на канальном уровне. Протокол Ethernet.....	45
10.7. Протокол Fast Ethernet.....	47
10.8. Протокол 100VG-AnyLan.....	48
10.9. Протокол Gigabit Ethernet.....	49
10.10. Протокол Token Ring.....	50
10.11. Протокол FDDI.....	52
10.12. Протокол SLIP и PPP.....	54
Лекция 11. Рекомендации и стандарты в области кодирования и сжатия информации.....	55
11.1. Кодирование и сжатие информации.....	55
11.2. Коэффициент избыточности сообщения.....	56
11.3. Основные используемые коды.....	56
11.4. Асинхронное и синхронное кодирование.....	57
11.5. Коэффициент сжатия.....	57
11.6. Алгоритм сжатия.....	58
Лекция 12. Каналообразующая аппаратура, режимы переноса информации, коммутация каналов, многоскоростная коммутация каналов.....	60
12.1. Основы теории многоканальной передачи сообщений.....	60
12.2. Частотное разделение каналов.....	62
12.3. Временное разделение каналов.....	65
Лекция 13. Режимы переноса информации.....	67
13.1. Коммутация каналов.....	67
Лекция 14. Быстрая коммутация каналов, асинхронный режим переноса, быстрая коммутация пакетов, трансляция кадров, коммутация пакетов.....	74
Лекция 15. Узлы сети пакетной коммутации, организация доступа к сетям пакетной коммутации в монопольном и пакетном режимах обслуживания.....	82
15.1. Основные сервисы телекоммуникационных технологий.....	83
15.2. Электронная почта.....	83
15.3. Файловый обмен.....	85
15.4. Телеконференция и доска объявлений.....	85
15.5. Доступ к распределенным базам данных.....	86
15.6. Информационная система WWW.....	87
Заключение.....	88
Библиографический список.....	89