

**ФГБОУ ВПО КУБАНСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ФГГАРНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

кафедра компьютерных технологий и систем

Методические указания
к лабораторным работам по дисциплине
«Инфокоммуникационные системы и сети»
для студентов специальности:
«Информационные системы и технологии»

Краснодар, 2013

Составители: **Ткаченко Василий Владимирович**, к.э.н., доцент
Бардак Алексей Николаевич, ассистент

ОГЛАВЛЕНИЕ

Глава 1. Проектирование информационной сети	4
Лабораторная работа №1. IP-адреса	4
Лабораторная работа №2. Основы сетевых технологий	12
Лабораторная работа №3. Создание одноранговой сети	17
Лабораторная работа №4. Оценка конфигурации Ethernet.....	25
Лабораторная работа №5. Выбор конфигурации Fast Ethernet	39
Глава 2. Моделирование компьютерных сетей.....	51
Лабораторная работа №6. Манчестерский код в сетях Ethernet ..	51
Лабораторная работа №7. CDMA множественный доступ с кодовым разделением каналов	53

Глава 1. Проектирование информационной сети

Лабораторная работа №1. IP-адреса

Вопросы:

- 1) IP-адреса
- 2) Расширения масок подсети

IP-адреса

Сети, о которых далее будет идти речь, создаются по технологии Ethernet. Одна из особенностей этой технологии состоит в том, что каждый узел сети, в том числе и компьютер, должен иметь свой IP-адрес, который представляет собой 32-битное число для четвертой версии IP-протокола и 128-битное для шестой версии. Ввиду того, что IPv6 еще не получил распространения у обычных пользователей ПК, мы будем рассматривать работу только с IPv4.

Стандарты IEEE 802.3u Fast Ethernet и IEEE 802.3z Gigabit Ethernet в настоящее время наиболее распространены в локальных сетях. Выполненные в соответствии с этими стандартами сети могут работать на скоростях 100 Мбит/с и 1000 Мбит/с соответственно. Для домашней сети вполне может быть достаточно и более низких скоростей передачи данных. Если ваш сетевой адаптер не новый и соответствует стандарту IEEE 802.3i, то скорость передачи данных будет 10 Мбит/с.

Но в любом случае правила, по которым будет работать сеть, будут одни и те же. Сетевое оборудование будет использовать метод управления доступом — множественный доступ с контролем несущей и обнаружением коллизий (CSMA/CD, Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection). Это значит, что все узлы сети, общаясь между собой, смогут "видеть" друг друга одновременно, а ошибки при передаче данных будут автоматически обнаруживаться и исправляться.

Все программы и устройства, работающие в сети, будут подчиняться семейству протоколов TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol — Протокол управления передачей/протокол Интернет). Этим протоколам (правилам общения компьютеров сети между собой) подчиняются в наше время все сети, имеющие выход в Интернет.

Вся передаваемая по сети информация делится на пакеты данных, каждый из них учитывается, контролируется его доставка получателю. В случае ошибки при передаче пакета, он передается повторно. Даже в самой сложной сети, допускающей передачу информации по наиболее короткому или наименее загруженному в настоящий момент пути, пакеты на приемном конце сортируются согласно последовательности их передачи, тогда как реальная последовательность приема может существенно отличаться от исходной. Тем не менее, искажений информации не происходит.

Остается выяснить, каким образом компьютеры будут находить друг друга в сети? Для этого существует система IP-адресов.

Протокол IP пакеты информации нумерует и высылает по заранее определенному цифровому адресу в виде кадра информации — пакета, в который вложен пакет, созданный на основе TCP-протокола. На приемном конце процедура выполняется в обратном порядке. Пакеты принимаются, сортируются и собираются в исходном сочетании. Цифровой, а вернее IP-адрес, представляет собой четырехбайтовую последовательность чисел, записываемых обычно в десятичном виде, например, так: 192.168.55.3. Сети условно делятся на три основных класса. Каждому классу соответствует свой диапазон адресов (табл. 1.1).

Таблица 1.1. Диапазоны адресов для классов сетей

Класс сети	Маска подсети	Диапазон	Зарезервированные адреса
A	255.0.0.0	01.0.0.0— 126.0.0.0	10.0.0.0 по 10.255.255.255 127.0.0.0 по 127.255.255.255
B	255.255.0.0	128.0.0.0— 191.255.0.0	169.254.X.X C 172.16.0.0 по 172.31.0.0
C	255.255.255.0	192.0.0.0— 222.0.0.0	C 192.168.0.0 по 192.168.255.0

Маска подсети указывает на биты, предназначенные для указания адреса сети, в остальных полях адреса должен располагаться адрес компьютера. Каждому классу сети соответствует свой диапазон применяемых и не применяемых в Интернете (зарезервированных) адресов.

Структура адреса становится более понятной при представлении в двоичном коде. Например, маска 255.255.255.0 в двоичном коде выглядит так: 11111111.11111111.11111111.0. Все поля адреса сети заняты единицами. Адрес 198.168.55.1 в двоичном коде выглядит так: 11000110.10101000.110111.1. По таблице можно определить, что это адрес сети класса "C", а адрес компьютера (узла) выражен младшей единицей. Чем ниже класс сети, тем больше адресов сети может существовать и тем меньше компьютеров может находиться в такой сети. Каждый компьютер в сети имеет свой уникальный адрес, назначенный администратором сети или полученный автоматически. Именно с такими адресами и работает протокол IP. В отдельных случаях компьютер или другое сетевое устройство может иметь не один адрес. Важно, чтобы соблюдалось правило уникальности адреса в сети. Появление двух устройств с одинаковым адресом вызовет ошибку в работе сети, и одно из устройств или сразу оба не смогут в ней работать. Современные операционные системы обнаруживают такие ситуации и сообщают пользователю о возникшей проблеме. При создании сети и подключении к Интернету на первых порах вызывает затруднение

определение диапазона адресов по известной маске. Для того чтобы уверенно читать сетевые адреса и назначать их в своей сети, есть смысл подробнее рассмотреть расширения масок подсети.

Расширения масок подсети

В отдельных случаях бывает удобно использовать значение маски подсети с расширением. Это позволяет логически выделить сети одного класса и коротко записывать сетевые адреса. Максимальное значение адреса сети в двоичном виде представлено непрерывным рядом единиц. Само расширение — это число двоичных единиц в значении маски подсети. Один из диапазонов, применяемый для локальных сетей с выходом в Интернет: с 192.168.0.0 по 192.168.255.0.

ПРИМЕЧАНИЕ

Значения "0" и "255" в адресах узлов сети не применяются, поскольку соответствуют многоадресной рассылке пакетов. Если послать сообщение, адресованное узлу с адресом 192.168.0.255 (маска подсети 255.255.255.0), то сообщение получат все компьютеры сети.

Запись—192.168.0/24 показывает сеть с адресами 192.168.0.x с 254 возможными адресами узлов, запись—192.168.0/25 говорит о подсети с 127 узлами, как и запись 192.168.128/25. При этом запись адреса сегмента сети — 192.168.0/16 говорит о сети, которая может содержать 64516 узлов. Для общего применения такие значения адресов не рекомендованы, но в закрытых сетях их можно использовать, как и адреса 10.0.0/24. Расширение (табл. 1.3), таким образом, позволяет более точно указать назначение адреса, независимо от принятых договоренностей о применении диапазонов адресов.

Таблица 1.2. Расширение масок подсети от 24 до 32

Маска подсети 255.255.255.0 /24 (11111111.11111111.11111111.00000000)			
1 подсеть			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.255		
Маска подсети 255.255.255.128/25 (11111111.11111111.11111111.10000000)			
2 подсети			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.127	x.x.x.128	x.x.x.255
Маска подсети 255.255.255.192/26 (11111111.11111111.11111111.11000000)			
4 подсети			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.63	x.x.x.128	x.x.x.191
x.x.x.64	x.x.x.127	x.x.x.192	x.x.x.255
Маска подсети 255.255.255.224/27 (11111111.11111111.11111111.11100000)			
8 подсетей			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.31	x.x.x.128	x.x.x.159
x.x.x.32	x.x.x.63	x.x.x.160	x.x.x.191
x.x.x.64	x.x.x.95	x.x.x.192	x.x.x.223
x.x.x.96	x.x.x.127	x.x.x.224	x.x.x.255
Маска подсети 255.255.255.240/28 (11111111.11111111.11111111.11110000)			
16 подсетей			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.15	x.x.x.128	x.x.x.143
x.x.x.16	x.x.x.31	x.x.x.144	x.x.x.159
x.x.x.32	x.x.x.47	x.x.x.160	x.x.x.175
x.x.x.48	x.x.x.63	x.x.x.176	x.x.x.191
x.x.x.64	x.x.x.79	x.x.x.192	x.x.x.207
x.x.x.80	x.x.x.95	x.x.x.208	x.x.x.223
x.x.x.96	x.x.x.111	x.x.x.224	x.x.x.239

x.x.x.112	x.x.x.127	x.x.x.240	x.x.x.255
Маска подсети 255.255.255.248/29 (11111111.11111111.11111111.11111000)			
32 подсети			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.7	x.x.x.128	x.x.x.135
x.x.x.8	x.x.x.15	x.x.x.136	x.x.x.143
x.x.x.16	x.x.x.23	x.x.x.144	x.x.x.151
x.x.x.24	x.x.x.31	x.x.x.152	x.x.x.159
x.x.x.32	x.x.x.39	x.x.x.160	x.x.x.167
x.x.x.40	x.x.x.47	x.x.x.168	x.x.x.175
x.x.x.48	x.x.x.55	x.x.x.176	x.x.x.183
x.x.x.56	x.x.x.63	x.x.x.184	x.x.x.191
x.x.x.64	x.x.x.71	x.x.x.192	x.x.x.199
x.x.x.72	x.x.x.79	x.x.x.200	x.x.x.207
x.x.x.80	x.x.x.87	x.x.x.208	x.x.x.215
x.x.x.88	x.x.x.95	x.x.x.216	x.x.x.223
x.x.x.96	x.x.x.ЮЗ	x.x.x.224	x.x.x.231
x.x.x.104	x.x.x.111	x.x.x.232	x.x.x.239
x.x.x.112	x.x.x.119	x.x.x.240	x.x.x.247
x.x.x.120	x.x.x.127	x.x.x.248	x.x.x.255
Маска подсети 255.255.255.252/30 (11111111.11111111.11111111.11111100)			
64 подсети			
Наименьший IP	Наибольший IP	Наименьший IP	Наибольший IP
x.x.x.0	x.x.x.3	x.x.x.128	x.x.x.131
x.x.x.4	x.x.x.7	x.x.x.132	x.x.x.135
x.x.x.8	x.x.x.11	x.x.x.136	x.x.x.139
x.x.x.12	x.x.x.15	x.x.x.140	x.x.x.143
x.x.x.16	x.x.x.19	x.x.x.144	x.x.x.147

В табл. 1.2 показана связь между расширением маски подсети, двоичной записью маски и побайтовой записью для 32-разрядных адресов. Для каждого расширения указаны количество и класс сетей, которые могут быть созданы с применением данной маски.

Расш.	Маска подсети в двоичном представлении	Побайтовое представление	Число узлов	Класс
/0	00000000.00000000.00000000.00000000	0.0.0.0	256	A
/1	10000000.00000000.00000000.00000000	128.0.0.0	128	A
/2	11000000.00000000.00000000.00000000	192.0.0.0	64	A
/3	11100000.00000000.00000000.00000000	224.0.0.0	32	A
/4	11110000.00000000.00000000.00000000	240.0.0.0	16	A
/5	11111000.00000000.00000000.00000000	248.0.0.0	8	A
/6	11111100.00000000.00000000.00000000	252.0.0.0	4	A
/7	11111110.00000000.00000000.00000000	254.0.0.0	2	A
/8	11111111.00000000.00000000.00000000	255.0.0.0	1	A
/9	11111111.10000000.00000000.00000000	255.128.0.0	128	B
/10	11111111.11000000.00000000.00000000	255.192.0.0	64	B
/11	11111111.11100000.00000000.00000000	255.224.0.0	32	B
/12	11111111.11110000.00000000.00000000	255.240.0.0	16	B
/13	11111111.11111000.00000000.00000000	255.248.0.0	8	B
/14	11111111.11111100.00000000.00000000	255.252.0.0	4	B
/15	11111111.11111110.00000000.00000000	255.254.0.0	2	B
/16	11111111.11111111.00000000.00000000	255.255.0.0	1	B
/17	11111111.11111111.10000000.00000000	255.255.128.0	128	C
/18	11111111.11111111.11000000.00000000	255.255.192.0	64	C
/19	11111111.11111111.11100000.00000000	255.255.224.0	32	C

	0000			
/20	11111111.11111111.11110000.0000 0000	255.255.240.0	16	C
/21	11111111.11111111.11111000.0000 0000	255.255.248.0	8	C
/22	11111111.11111111.11111100.0000 0000	255.255.252.0	4	C
/23	11111111.11111111.11111110.0000 0000	255.255.254.0	2	C
/24	11111111.11111111.11111111.0000 0000	255.255.255.0	1	C
/25	11111111.11111111.11111111.1000 0000	255.255.255.128	1	C
/26	11111111.11111111.11111111.1100 0000	255.255.255.192	1	C
/27	11111111.11111111.11111111.1110 0000	255.255.255.224	1	C
/28	11111111.11111111.11111111.1111 0000	255.255.255.240	1	C
/29	11111111.11111111.11111111.1111 1000	255.255.255.248	1	C
/30	11111111.11111111.11111111.1111 1100	255.255.255.252	1	C
/31	11111111.11111111.11111111.1111 1110	255.255.255.254	1	C
/32	11111111.11111111.11111111.1111 1111	255.255.255.255	0	—

Далее приведен пример преобразования двоичного значения 11000000 в десятичный вид (192):

Для того чтобы во время работы с реальными компьютерами легче было разобраться с присвоением IP-адресов, еще раз обратимся к таблице (см. табл. 1.1). В столбце **Зарезервированные адреса** указаны диапазоны IP-адресов, с которыми при создании локальной сети нам придется встречаться наиболее часто. Эти адреса не используются для узлов в Интернете. Некоторые адреса не используются и в локальных сетях. Локальный компьютер, имеющий возможность подключения к сети или уже подключен-

ный, имеет, кроме сетевого, свой внутренний IP-адрес из диапазона с 127.0.0.0 по 127.255.255.255. Обычно это адрес 127.0.0.1. Вы всегда можете проверить возможность работы вашего компьютера в сети, выполнив из командной строки команду `ping 127.0.0.1`. Если в ответ на эту команду появляется информация об отправленных и полученных пакетах, то можно быть уверенным, что компьютер сможет работать в сети при условии правильно выполненных настроек.

Диапазон с 169.254.0.0 по 192.168.255.255 используется операционными системами Windows для автонастройки сетевых адаптеров. Если вы не предполагали использовать такие адреса, но обнаружили, что сетевой адаптер вашего компьютера имеет адрес из этого диапазона, следует искать проблему. Какого характера эта проблема, сразу сказать трудно, но, скорее всего, вы допустили ошибку в настройках сети или нарушено физическое подключение к сети.

Адреса с 192.168.0.0 по 192.168.255.0, с 172.16.0.0 по 172.31.0.0 и с 10.0.0.0 по 10.255.255.255 могут использоваться в локальных сетях. Именно для них они зарезервированы.

Лабораторная работа №2. Основы сетевых технологий

Цель работы

1. Изучить основные сетевые команды Windows.
2. Изучить основы работы с ftp-клиентом.

1. Сетевые команды Windows можно разделить на 2 группы: диагностические и команды подключения. К первой группе относятся:

hostname – выводит имя компьютера;

ipconfig – выводит значения конфигурации протокола tcp/ip;

netstat – выводит статистику и актуальную информацию по протоколу tcp/ip;

ping – проверяет подключение удаленного компьютера;

tracert – выводит маршрут и прохождение пакетов на удаленный компьютер;

route – отображает/добавляет/удаляет маршруты в таблице маршрутизации.

К командам подключения относятся команды для связи по одному из протоколов:

telnet – эмулятор терминала для связи с удаленным компьютером;

tftp – передача файлов с использованием протокола tftp;

ftp – подключение по протоколу ftp.

Примеры.

1.1 ipconfig

```
192.168.2.1 - Ethernet адаптер:
DNS-суффикс этого подключения . . :
IP-адрес . . . . . : 192.168.2.1
Маска подсети . . . . . : 255.255.255.0
Основной шлюз . . . . . :
```

В данном случае для интерфейса Ethernet адаптер указан ip-адрес 192.168.2.1 и маска 255.255.255.0. Команда ipconfig /all позволяет получить все данные, включая физический (MAC-адрес) адаптера.

1.2 netstat -an

```
Активные подключения
Имя Локальный адрес Внешний адрес Состояние
TCP 0.0.0.0:21 0.0.0.0:0 LISTENING
TCP 0.0.0.0:80 0.0.0.0:0 LISTENING
TCP 62.183.10.180:1978 80.247.32.254:80 ESTABLISHED
TCP 62.183.10.180:1981 80.247.32.254:80 SYN_SENT
```

Порты 21 и 80 локального компьютера ожидают подключения (все интерфейсы). Установлено соединения локального компьютера с адреса 62.183.10.180, порт 1978 с компьютером 80.247.32.254, порт 80. С этого адреса также послан запрос на подключение (порт 1981 на порт 80).

1.3 ping kubagro.ru

```
Обмен пакетами с kubagro.ru [62.183.36.62] по 32 байт:
Ответ от 62.183.36.62: число байт=32 время=175мс TTL=123
Ответ от 62.183.36.62: число байт=32 время=161мс TTL=123
Ответ от 62.183.36.62: число байт=32 время=162мс TTL=123
Ответ от 62.183.36.62: число байт=32 время=155мс TTL=123
Статистика Ping для 62.183.36.62:
Пакетов: отправлено = 4, получено = 4, потеряно = 0 (0% потерь),
Приблизительное время приема-передачи в мс:
Минимальное = 155мсек, Максимальное = 175 мсек, Среднее = 163 мсек
```

На ip-адрес 62.183.36.62 послано 4 пакета. Определяется в каждой из попыток время прохождения пакета размером 32 байт (по умолчанию). Время жизни TTL зависит от ОС удаленного компьютера. Фактически TTL определяет число маршрутизаторов, через которые может пройти пакет.

1.4 tracert www.kubagro.ru

```
Трассировка маршрута к kubagro.ru [62.183.36.62]
с максимальным числом прыжков 30:
 1 140 ms 132 ms 128 ms 62.183.1.34
 2 133 ms 128 ms 130 ms 62.183.1.33
 3 133 ms 130 ms 130 ms 62.183.0.166
 4 129 ms 130 ms 130 ms 195.161.251.134
 5 159 ms 155 ms 156 ms 195.161.45.113
 6 170 ms 187 ms 182 ms kubagro.ru [62.183.36.62]
Трассировка завершена.
```

Команда показывает маршрут прохождения пакета до указанного узла. При этом указывается время отклика от каждого узла.

1.5 route – команда предназначена для операций с таблицей маршрутизации локального компьютера. Можно добавлять, удалять, модифицировать, просматривать маршруты.

2. Для начала работы с ftp-клиентом введите в командной строке команду `ftp` и нажмите Enter. Далее используйте команду `open имя_хоста` (или `ip-адрес`). Можно также использовать вариант `ftp имя_хоста` (или `ip-адрес`). В этом случае команда `open` не нужна.

Если удаленный компьютер обеспечивает сервис `ftp`, будет установлено соединение. Если `ftp`-сервер допускает анонимные подключения, на запрос имени можно ввести **anonymous**, в качестве пароля любую строку. Если анонимный вход запрещен, требуется ввести логин и пароль пользователя. После подключения можно выполнять команды `ftp`-сервера.

user – позволяет повторно ввести входное имя и пароль;

close – закрывает текущее соединение;

bye или **quit** – закрывает все соединения и прекращает выполнение программы `ftp`.

help (?) / remotehelp – помощь по командам `ftp`, поддерживаемых локальным/удаленным компьютером.

pwd – определить текущий каталог на удаленном компьютере.

ls/dir – просмотреть краткий/полный список файлов и подкаталогов.

cd/lcd – перейти в другой каталог на удаленном/локальном компьютере.

get (recv) удаленный_файл [локальный_файл] – получить файл с удаленного компьютера. В качестве обязательного параметра требуется указать имя этого файла на удаленной машине. Допускает второй параметр - новое имя файла на локальном компьютере.

mget – список удаленных_файлов – получить несколько файлов по списку или в соответствии с маской, например получить файл default.html и все файлы с расширением asp: `mget default.html *.asp`

put (send) локальный_файл [удаленный_файл] – переслать файл с локальной машины на удаленную. По аналогии с командой `get` указывается имя файла на локальном компьютере в качестве параметра. Вторым параметром может быть указано новое имя файла на удаленной машине (по умолчанию сохраняется имя локального файла).

mput – переслать несколько файлов по списку или маске.

delete имя_файла – удалить файл на удаленной машине.

Задания.

1. Описать назначение ключей команд первой группы.
2. Определить имя, ip- и MAC-адреса локального компьютера.
3. Выполнить команды `ping web.kubagro.ru`, `ping -n 10 192.168.100.8`. Прокомментировать результат их работы. Определить ip-адрес web.kubagro.ru.
4. Описать результат работы команды `ipconfig /all` на локальном компьютере.
5. Прокомментировать результат работы команды `netstat -an`.
6. Подробно прокомментировать каждую строку результата работы команды `route print`.
7. Определить адрес компьютера, выполняющего функции маршрутизатора для сети, включающей локальный компьютер.
8. Построить схему сети, включающей локальный компьютер, маршрутизатор и web.kubagro.ru. Записать команды настройки маршрутов для локального компьютера и web.kubagro.ru (материал найти в Интернете).
9. Установить соединение с ftp-сервером web.kubagro.ru (использовать свои логин и пароль).

10. Скопировать в свой домашний каталог файлы %SYSTEMDIR%\setuplog.txt, файлы с расширением *.jpg из каталога %SYSTEMDIR%, убедиться в правильности копирования.
11. Переименовать файл setuplog.txt в файл 1.txt.
12. Скопировать файл 1.txt в корневой каталог c: с именем 2.txt.
13. Удалить все файлы в домашнем каталоге.
14. Убедиться в правильности удаления.

Содержание отчета.

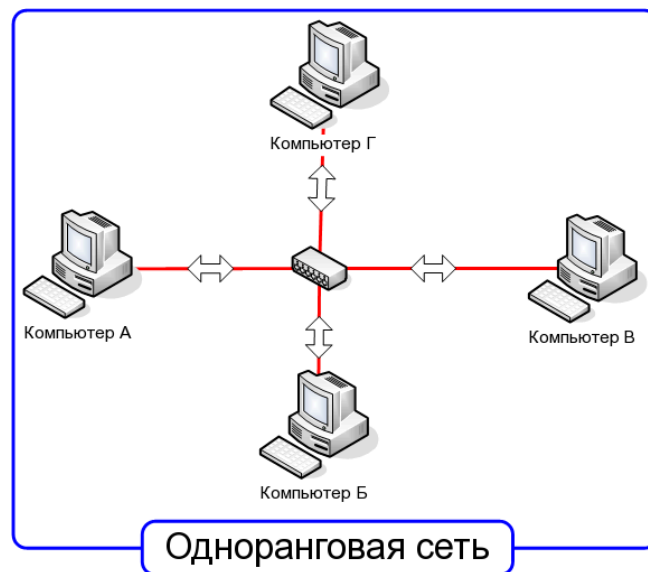
Представить полное описание действий по заданиям 1–14 в формате DOC. Для всех пунктов привести результаты работы команд и их описания.

Лабораторная работа №3. Создание одноранговой сети

Цель работы:

Представленная лабораторная работа описывает все необходимые ступени создания одноранговой сети при использовании топологии сети с шиной типа «звезда». Эта лабораторная работа дает возможность на практике узнать, как создаются и работают одноранговые сети. Учащиеся будут следовать пошаговой инструкции создания сети. В конце этой лабораторной работы учащиеся проверят работу своей сети, создавая папки файлов для совместного пользования и обмена файлами между рабочими компонентами сети.

Пошаговое создание сети



1. Для всех компьютеров присоедините сетевые адаптеры рабочих станций, входящих в рабочую группу, к хабу рабочей группы, используя кабель пятой категории с RJ-45 коннекторами.

2. Запустите те компьютеры, которые будут объединены в индивидуальные рабочие группы.

Для того, чтобы начать создание одноранговой сети для рабочей группы, запустите «Мастер настройки сети», выполните следующие действия на одном компьютере каждой сети:

3. Щелкните **Пуск**, затем щелкните **Панель управления**.
4. Щелкните **Сетевые подключения**, а затем на правой панели щелкните **Установить домашнюю сеть или сеть малого офиса**.
5. На странице **Мастер настройки сети** щелкните **Далее**.

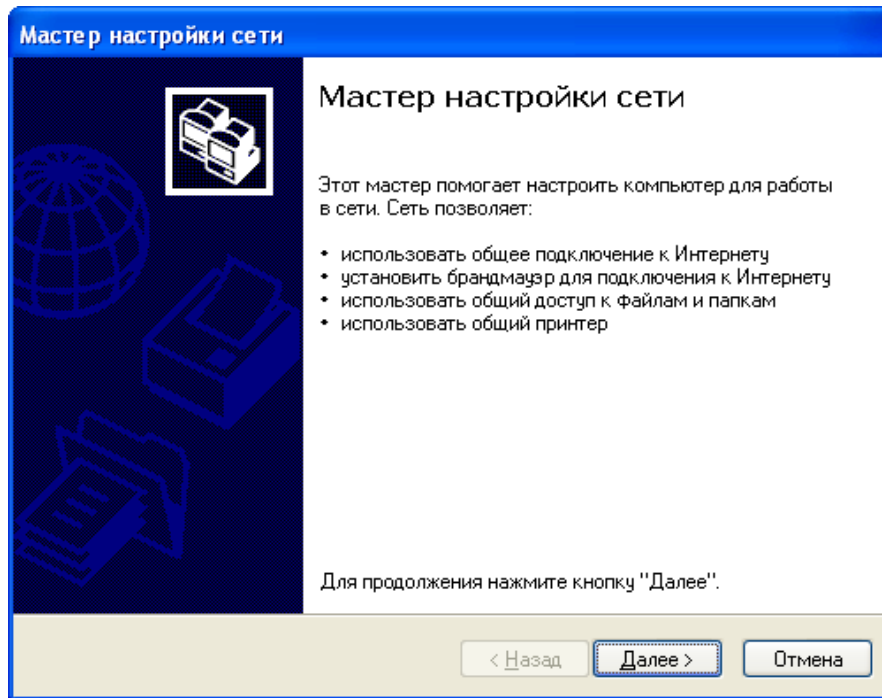


Схема 1.2

6. На следующей странице просмотрите требования и, убедившись, что все соответствует, щелкните **Далее**.

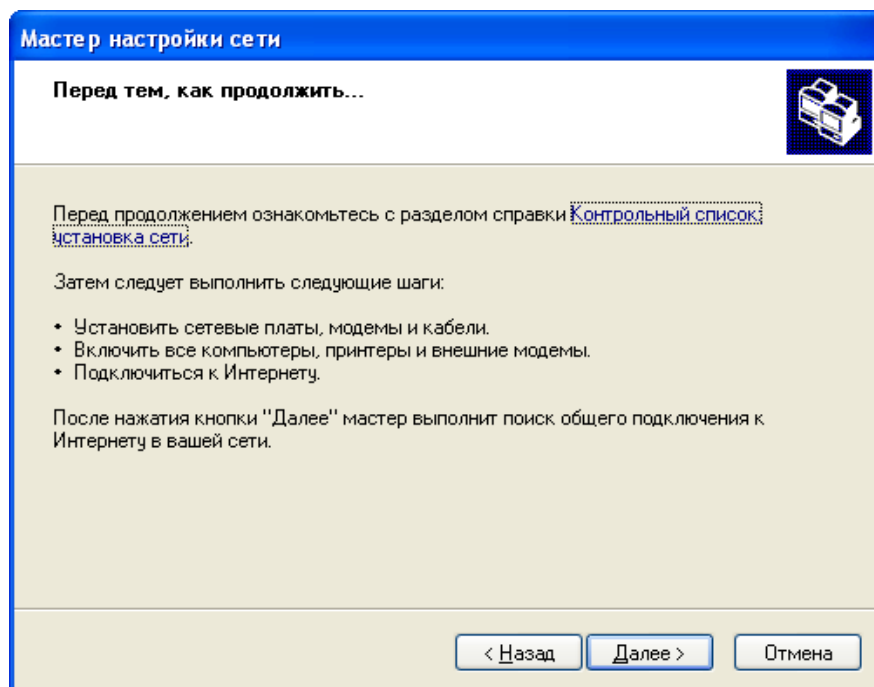


Схема 1.3

7. На странице **Выберите метод подключения** щелкните **Другое** и затем щелкните **Далее**.

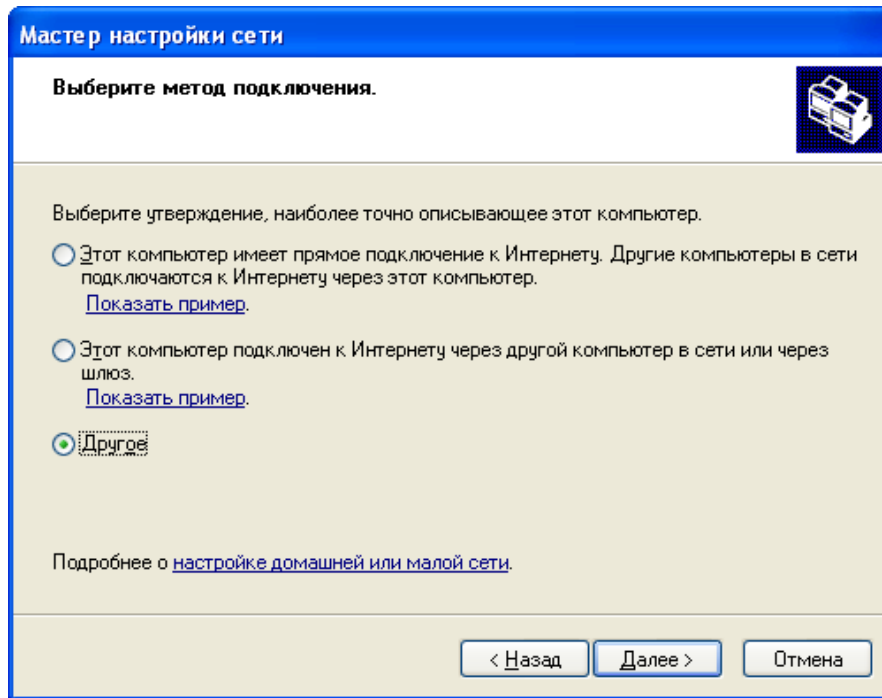


Схема 1.4

8. На странице **Другие способы подключения к Интернету** щелкните **Этот компьютер принадлежит к сети, не имеющей подключения к Интернету**, затем щелкните **Далее**.

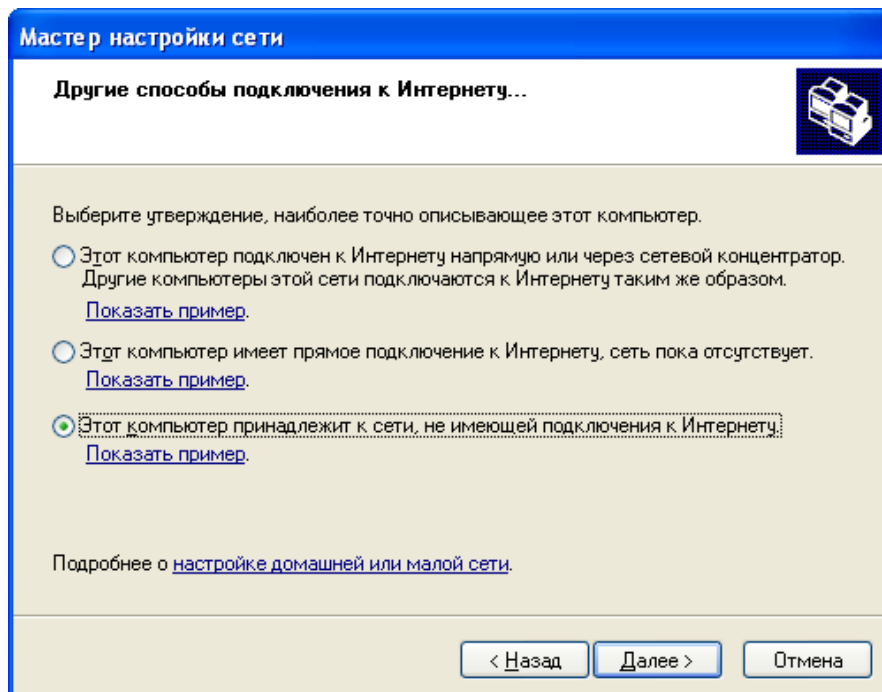


Схема 1.5

9. В текстовое поле **Описание** введите workstation.

10. В текстовое поле **Имя компьютера** введите уникальное имя (например: STUDENTA), называя тем самым свою рабочую станцию в сети, а затем щелкните **Далее**.

Замечание: Когда вы даете имя своему компьютеру, убедитесь, что это имя уникально в данной рабочей группе. Именуйте компьютеры последовательно, например, StudentB, StudentC, StudentD и так далее.

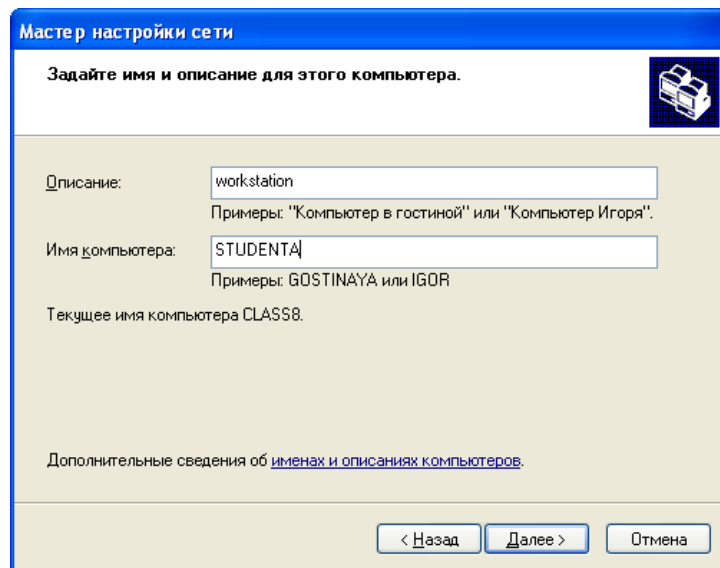


Схема 1.6

11. На странице **Задайте имя для вашей сети** смените стандартное имя **Рабочей группы** на **MYNETWORK**.

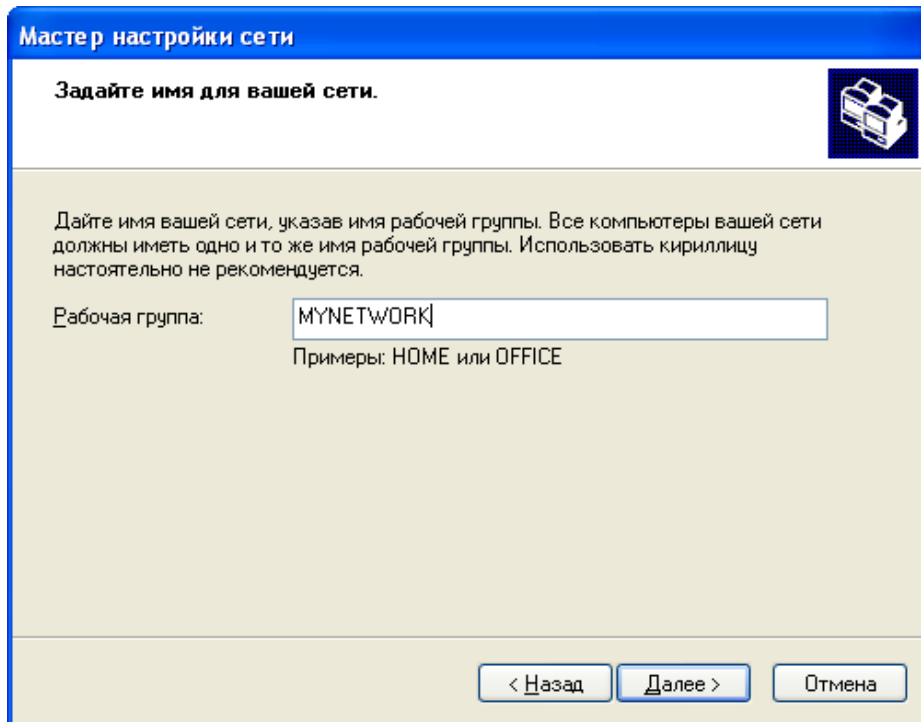


Схема 1.7

12. На странице **Все готово для применения сетевых параметров** проверьте установки и затем щелкните **Далее** для того, чтобы начать процесс создания сетевого соединения.

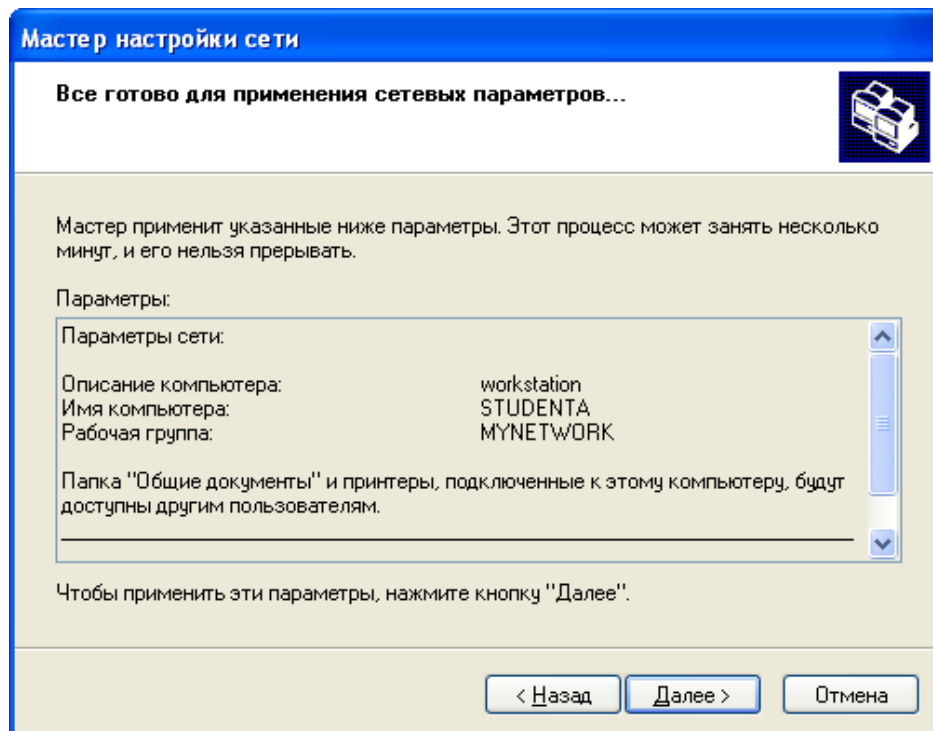


Схема 1.8

13. На следующей странице щелкните **Просто завершить работу мастера**, а затем щелкните **Далее**.

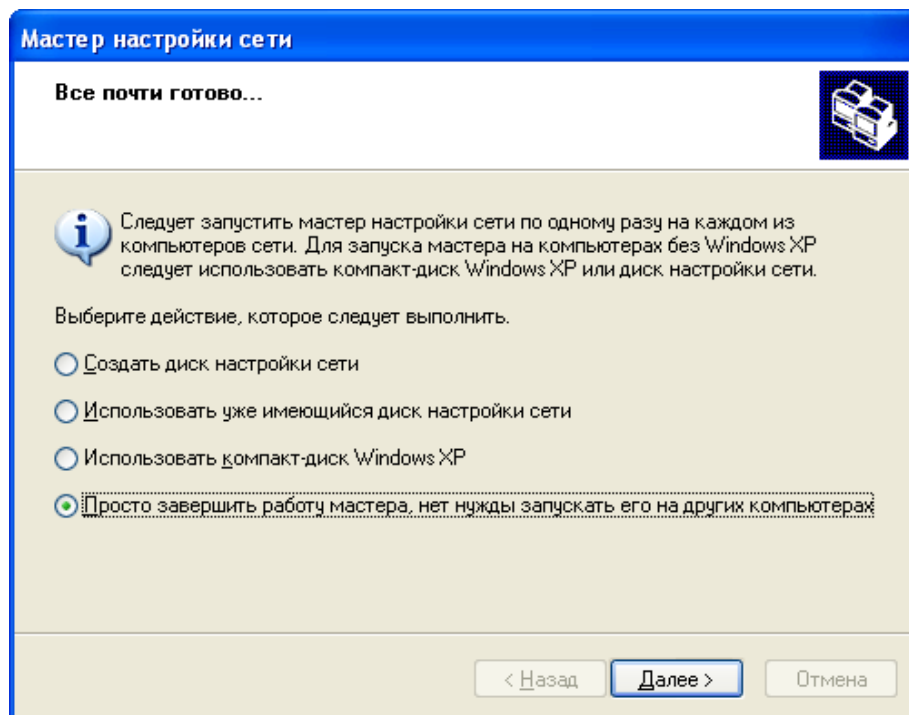


Схема 1.9

14. На странице **Завершение работы мастера настройки сети** щелкните **Готово**.

15. Если вам будет предложено перезагрузить ваш компьютер, то щелкните **Да**.

16. Начните работу на своем компьютере.

17. Пусть учащиеся запустят «**Мастер настройки сети**» (шаги с 3 по 13) на остальных компьютерах в каждой сети, чтобы подключить их к рабочей группе **MYNETWORK**

Для проверки работы одноранговой сети учащиеся должны создать папку для совместного использования на каждом компьютере. Выполните следующие действия на каждом компьютере. (Если за компьютером работает более одного учащегося, каждый из них должен выполнить нижеприведенные указания.)

18. Щелкните **Пуск**, отметьте **Все программы**, щелкните **Стандартные**, и затем щелкните **Проводник**.

19. На левой панели щелкните **Мои документы**.

20. В открывшемся окне щелкните **Файл**, затем отметьте **Создать**, и щелкните **Папка**.

21. Введите Имя папки, которое состоит из вашего имени и слова **Папка** (например: Папка Миши), и нажмите **Enter**.

22. В окне **Мои документы** щелкните правой кнопкой мыши по только что созданной папке и выберите пункт меню **Общий доступ и безопасность**.

23. Во вкладке **Доступ** щелкните **Открыть общий доступ к этой папке** и нажмите **ОК**.

24. В правой половине открывшегося окна дважды щелкните по только что созданной папке.

25. В открывшемся окне щелкните **Файл**, отметьте **Создать** и щелкните **Текстовый документ**.

26. Введите имя документа (используйте ваше имя для названия файла) и нажмите **Enter**.

27. Дождитесь, пока остальные учащиеся создадут файлы в директории для совместного использования.

Для доступа учащихся к совместно используемым файлам, созданным на других компьютерах, необходимо следовать указаниям:

28. Щелкните **Пуск**, отметьте **Все программы**, щелкните **Стандартные**, а затем щелкните на **Проводник**.

29. На левой панели щелкните **Сетевое окружение**, а затем щелкните **Отобразить компьютеры рабочей группы**.

Замечание: теперь вы можете увидеть список компьютеров рабочей группы сети **MYNETWORK**.

30. На правой панели дважды щелкните по какому-либо компьютеру (не своему) для того, чтобы найти файлы, созданные другими учащимися для совместного пользования.

31. На правой панели дважды щелкните по одной из созданных папок для получения доступа к файлам, созданным другими учащимися.

32. На правой панели дважды щелкните по имени файла, чтобы открыть его. Итак, вы получили удаленный доступ к файлам на другом компьютере.

Лабораторная работа №4. Оценка конфигурации Ethernet

Цель: научиться оценивать компьютерную сеть при проектировании.

При выборе конфигурации сети Ethernet, состоящей из сегментов различных типов, возникает много вопросов, связанных прежде всего с максимально допустимым размером (диаметром) сети и максимально возможным числом различных элементов. Сеть будет работоспособной только в том случае, если задержка распространения сигнала в ней не превысит предельной величины. Это определяется выбранным методом управления обменом CSMA/CD, основанном на обнаружении и разрешении коллизий.

Прежде всего, следует отметить, что для получения сложных конфигураций Ethernet из отдельных сегментов применяются промежуточные устройства двух основных типов:

- 1) Репитерные концентраторы (хабы) представляют собой набор репитеров и никак логически не разделяют сегменты, подключенные к ним;
- 2) Коммутаторы передают информацию между сегментами, но не передают конфликты с сегмента на сегмент.

При использовании более сложных коммутаторов конфликты в отдельных сегментах решаются на месте, в самих сегментах, но не распространяются по сети, как в случае применения более простых репитерных концентраторов. Это имеет принципиальное значение для выбора топологии сети Ethernet, так как используемый в ней метод доступа CSMA/CD предполагает наличие конфликтов и их разрешение, причем общая длина сети как раз и определяется размером зоны конфликта, области коллизии (collision domain). Таким образом, применение репитерного концентратора не разделяет зону конфликта, в то время как каждый коммутирующий концентратор делит зону конфликта на части. В случае применения коммутатора оценивать работоспособность надо для каждого сегмента сети отдельно, а при использовании репитерных концентраторов – для сети в целом.

На практике репитерные концентраторы применяются гораздо чаще, так как они и проще и дешевле. Поэтому в дальнейшем речь пойдет именно о них.

При выборе и оценке конфигурации Ethernet используются две основные модели.

Правила модели 1

Первая модель формулирует набор правил, которые необходимо соблюдать проектировщику сети при соединении отдельных компьютеров и сегментов:

1. Репитер или концентратор, подключенный к сегменту, снижает на единицу максимально допустимое число абонентов, подключаемых к сегменту.
2. Полный путь между двумя любыми абонентами должен включать в себя не более пяти сегментов, четырех концентраторов (репитеров) и двух трансиверов (MAU).
3. Если путь между абонентами состоит из пяти сегментов и четырех концентраторов (репитеров), то количество сегментов, к которым подключены абоненты, не должно превышать трех, а остальные сегменты должны просто связывать между собой концентраторы (репитеры). Так называемое «правило 5-4-3».

Если путь между абонентами состоит из четырех сегментов и трех концентраторов (репитеров), то должны выполняться следующие условия:

- максимальная длина оптоволоконного кабеля сегмента 10BASE-FL, соединяющего между собой концентраторы (репитеры), не должна превышать 1000 метров;
- максимальная длина оптоволоконного кабеля сегмента 10BASE-FL, соединяющего концентраторы (репитеры) с компьютерами, не должна превышать 400 метров;
- ко всем сегментам могут подключаться компьютеры.

При выполнении перечисленных правил можно быть уверенным, что сеть будет работоспособной. Никаких дополнительных расчетов в данном случае не требуется. Считается, что соблюдение данных правил гарантирует допустимую величину задержки сигнала в сети.

На рис.1 показан пример максимальной конфигурации, удовлетворяющей этим правилам. Здесь максимально возможный путь (диаметр сети) проходит между двумя нижними по рисунку абонентами: он включает

в себя пять сегментов (10BASE2, 10BASE5, 10BASE-FL, 10BASE-FL и 10BASE-T) четыре концентратора (репитера) и два трансивера MAU.

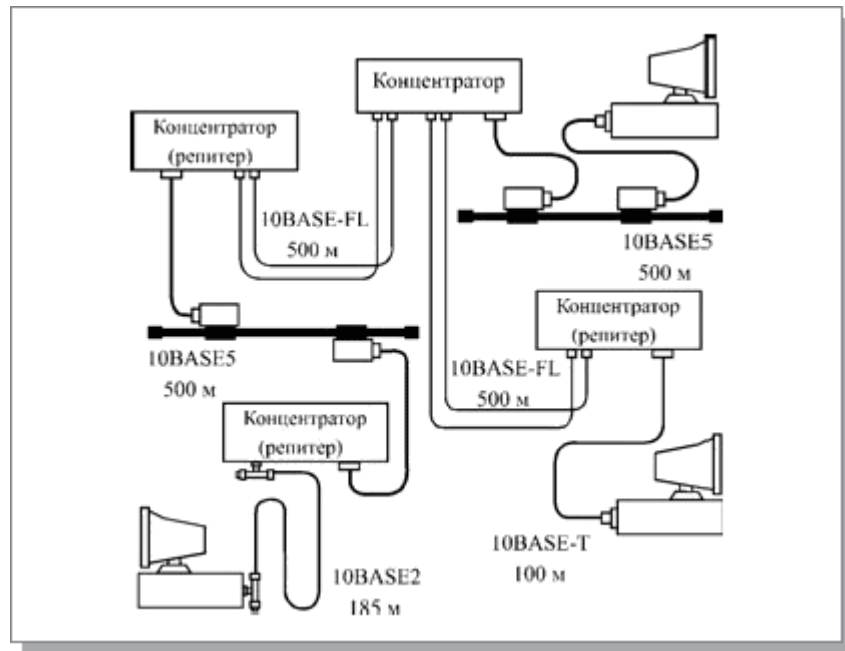


Рис. 1 Пример максимальной конфигурации в соответствии с первой моделью

Расчет по модели 2

Вторая модель, применяемая для оценки конфигурации Ethernet, основана на точном расчете временных характеристик выбранной конфигурации сети. Эта модель иногда позволяет выйти за пределы жестких ограничений модели 1. Применение модели 2 необходимо в том случае, когда размер проектируемой сети близок к максимально допустимому.

В модели 2 используются две системы расчетов:

- 1) первая система предполагает вычисление двойного (кругового) времени прохождения сигнала по сети и сравнение его с максимально допустимой величиной;

2) вторая система проверяет допустимость величины получаемого межпакетного временного интервала, межпакетной щели (IPG – InterPacket Gap) в сети.

При этом вычисления в обеих системах расчетов ведутся для наихудшего случая, для пути максимальной длины, то есть для такого пути передаваемого по сети пакета, который требует для своего прохождения максимального времени.

При первой системе расчетов выделяются три типа сегментов:

- ✓ начальный сегмент, соответствует началу пути максимальной длины;
- ✓ конечный сегмент расположен в конце пути максимальной длины;
- ✓ промежуточный сегмент входит в путь максимальной длины, но не является ни начальным, ни конечным.

Промежуточных сегментов в выбранном пути может быть несколько, а начальный и конечный сегменты при разных расчетах могут меняться местами друг с другом. Выделение этих трех типов сегментов позволяет автоматически учитывать задержки сигнала на всех концентраторах, входящих в путь максимальной длины, а также в приемопередающих узлах адаптеров.

Для расчетов используются величины задержек, представленные в таблице 1.

Таблица 1. Величины задержек для расчета двойного времени прохождения сигнала (задержки даны в битовых интервалах)

Тип сегмента Ethernet	Макс. длина, м	Начальный сегмент		Промежуточный сегмент		Конечный сегмент		Задержка на метр длины
		t_0	t_m	t_0	t_m	t_0	t_m	
10BASE5	500	11,8	55,0	46,5	89,8	169,5	212,8	0,087
10BASE2	185	11,8	30,8	46,5	65,5	169,5	188,5	0,103
10BASE-T	100	15,3	26,6	42,0	53,3	165,0	176,3	0,113
10BASE-FL	2000	12,3	212,3	33,5	233,5	156,5	356,5	0,100
FOIRL	1000	7,8	107,8	29,0	129,0	152,0	252,0	0,100
AUI	50	0	5,1	0	5,1	0	5,1	0,103

Методика расчета сводится к следующему:

В сети выделяется путь максимальной длины. Все дальнейшие расчеты ведутся для него. Если этот путь не очевиден, то рассчитываются все возможные пути, затем на основании этого выбирается путь максимальной длины.

Если длина сегмента, входящего в выбранный путь, не максимальна, то рассчитывается двойное (круговое) время прохождения в каждом сегменте выделенного пути по формуле: $t_s = L \cdot t_l + t_0$, где L – это длина сегмента в метрах (при этом надо учитывать, тип сегмента: начальный, промежуточный или конечный).

Если длина сегмента равна максимально допустимой, то из таблицы для него берется величина максимальной задержки t_m .

Суммарная величина задержек всех сегментов выделенного пути не должна превышать предельной величины 512 битовых интервалов (51,2 мкс).

Затем необходимо проделать те же действия для обратного направления выбранного пути (то есть в данном случае конечный сегмент считается начальным и наоборот). Из-за разных задержек передающих и принимающих узлов концентраторов величины задержек в разных направлениях могут отличаться (но незначительно).

Если задержки в обоих случаях не превышают величины 512 битовых интервалов, то сеть считается работоспособной.

В частности, для конфигурации, показанной на рис. 1, путь наибольшей длины – это путь между двумя нижними по рисунку компьютерами. В данном случае это довольно очевидно. Этот путь включает в себя пять сегментов (слева направо): 10BASE2, 10BASE5, 10BASE-FL (два сегмента) и 10BASE-T.

К примеру, можно произвести расчет, считая начальным сегментом 10BASE2, а конечным 10BASE-T:

Начальный сегмент 10BASE2 имеет максимально допустимую длину (185 метров), для него следует взять из таблицы величину задержки 30,8.

Промежуточный сегмент 10BASE5 также имеет максимально допустимую длину (500 метров), поэтому для него нужно взять из таблицы величину задержки 89,8.

Оба промежуточных сегмента 10BASE-FL имеют длину 500 метров, следовательно, задержка каждого из них будет вычисляться по формуле:

$$500 * 0,100 + 33,5 = 83,5.$$

Конечный сегмент 10BASE-T имеет максимально допустимую длину (100 метров), поэтому величина задержки для него в таблице равняется 176,3.

В путь наибольшей длины входят также шесть AUI-кабелей: два из них (в сегменте 10BASE5) показаны на рисунке, а четыре (в двух сегментах 10BASE-FL) не показаны, но в реальности вполне могут присутствовать. Можно считать, что суммарная длина всех этих кабелей равна 200 метрам, то есть четырем максимальным длинам. Тогда задержка на всех AUI-кабелях будет равна:

$$4 * 5,1 = 20,4$$

В результате суммарная задержка для всех пяти сегментов составит:

$$30,8 + 89,8 + 83,5 + 83,5 + 176,3 + 20,4 = 484,3$$

что меньше, чем предельно допустимая величина 512, то есть сеть работоспособна.

Теперь можно рассчитать суммарную задержку для того же пути, но в обратном направлении. При этом начальным сегментом будет 10BASE-T, а конечным – 10BASE2. В результате в конечной сумме изменятся только два слагаемых (промежуточные сегменты остаются промежуточными). Для начального сегмента 10BASE-T максимальной длины задержка составит 26,6 битовых интервалов, а для конечного сегмента 10BASE2 максимальной длины задержка составит 188,5 битовых интервалов. Суммарная задержка будет равняться:

$$26,6 + 83,5 + 83,5 + 89,8 + 188,5 + 20,4 = 492,3$$

что опять же меньше 512. Работоспособность сети подтверждена.

Однако для того, чтобы сделать окончательный вывод о работоспособности сети, расчета двойного времени прохождения, в соответствии со стандартом, еще не достаточно.

Второй расчет, применяемый в модели 2, проверяет соответствие стандарту величины межпакетного интервала (IPG). Эта величина изначально не должна быть меньше, чем 96 битовых интервалов (9,6 мкс), то есть только через 9,6 мкс после освобождения сети абоненты могут начать свою передачу. Однако при прохождении пакетов (кадров) через репитеры и концентраторы межпакетный интервал может сокращаться, вследствие чего два пакета могут в конце концов восприниматься абонентами как один. Допустимое сокращение IPG определено стандартом в 49 битовых интервалов (4,9 мкс).

Для вычислений здесь так же, как и в предыдущем случае, используются понятия начального и промежуточного сегментов. Конечный сегмент не вносит вклада в сокращение межпакетного интервала, так как пакет доходит по нему до принимающего компьютера без прохождения ретрансляторов и концентраторов.

Вычисления здесь очень простые. Для них используется данные таблицы 2.

Таблица 2. Величины сокращения межпакетного интервала (IPG) для разных сегментов Ethernet

Сегмент	Начальный	Промежуточный
10BASE2	16	11
10BASE5	16	11
10BASE-T	16	11
10BASE-FL	11	8

Для получения полной величины сокращения IPG надо просуммировать величины из таблицы для сегментов, входящих в путь максимальной длины, и сравнить сумму с предельной величиной 49 битовых интервалов. Если сумма меньше 49, можно сделать вывод о работоспособности сети. Для гарантии расчет производится в обоих направлениях выбранного пути.

Для примера стоит обратиться все к той же конфигурации, показанной на рис. 1. Максимальный путь здесь – между двумя нижними по рисунку компьютерами. Можно взять в качестве начального сегмента 10BASE2. Для него сокращение межпакетного интервала равно 16. Далее следуют промежуточные сегменты: 10BASE5 (величина сокращения равна 11) и два сегмента 10BASE-FL (каждый из них внесет свой вклад по 8 битовых интервалов). В результате суммарное сокращение межпакетного интервала составит:

$$16 + 11 + 8 + 8 = 43,$$

что меньше предельной величины 49. Следовательно, данная конфигурация и по этому показателю будет работоспособна.

Вычисления для обратного направления по этому же пути дадут тот же результат, так как начальный сегмент 10BASE-T даст ту же величину, что и начальный сегмент 10BASE2 (16 битовых интервалов). А все промежуточные сегменты останутся промежуточными.

Теперь можно попробовать с помощью второй модели расчетов оценить максимальный размер сети Ethernet. Теоретически возможный размер сети составляет 6,5 километров. Но это в предположении, что вся сеть выполнена на одном сегменте. Однако на практике это неосуществимо. Ведь предельная длина сегмента не превышает 2 километров (для 10BASE-FL). Присутствие репитеров или концентраторов в сети максимального размера обязательно, а они внесут свой вклад в задержку прохождения сигнала по сети.

Простейшая конфигурация сети из двух сегментов 10BASE-FL, соединенных концентратором (рис. 2).

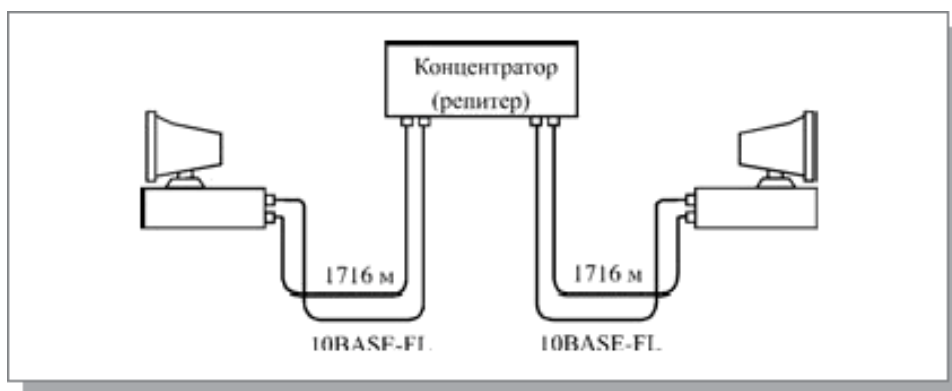


Рис. 2. Сеть Ethernet максимально возможной длины

Из таблицы 1 видно, что при выборе максимальной длины обоих сегментов по 2000 метров (один из них будет начальным, а другой – конечным) суммарная двойная задержка распространения составит:

$$212,3 + 356,5 = 568,8,$$

что значительно больше допустимой величины 512. Таким образом, реальная длина сети будет даже меньше, чем 4 километра. Элементарный расчет показывает, что при двух одинаковых сегментах 10BASE-FL длина каждого из них не должна превышать 1716 метров. Двойная задержка распространения при этом будет вычисляться так (табл. 1):

$$12,3 + 1716 * 0,1 + 156,5 + 1716 * 0,1 = 512.$$

И общая длина сети при этом составит 3432 метра, что значительно меньше теоретически возможной длины в 6500 метров.

Следует отметить, что сегменты в конфигурации на рис. 2 могут быть и разной длины, но их общая длина не должна превышать 3432 метров. При этом стоит еще учитывать, что в расчет не включены задержки трансиверных кабелей. Если используются внешние трансиверы, то необходимо еще уменьшить длину оптоволоконных кабелей.

Теперь можно попробовать оценить максимально возможный размер сети при использовании только электрического кабеля, например, наиболее популярной сейчас витой пары.

Допустим, имеется конфигурация из пяти сегментов 10BASE-T предельно допустимой длины (100 метров), соединенных между собой четырьмя концентраторами. Задержка начального сегмента составит (из табл. 1) 26,6 битовых интервалов. Задержка конечного сегмента будет равна 176,3 битовых интервалов. Задержка трех промежуточных сегментов будет 53,3 битовых интервала на каждый сегмент.

Итого суммарная задержка равняется:

$$26,6 + 176,3 + 3 * 53,3 = 362,8,$$

что меньше предельной величины 512.

Можно добавить еще два 100-метровых промежуточных сегмента, которые дадут еще 106,6, увеличив количество сегментов до 7, а число концентраторов до 6. И еще останется запас в 42,6 битовых интервалов. Получается, что всего сегментов может быть даже 8 при семи концентраторах, а общая длина всех кабелей может достигать 705,3 метра. Это значительно превышает ограничения модели 1.

Можно подсчитать величину сокращения межпакетного интервала при такой конфигурации.

Один начальный сегмент даст 16 битовых интервалов (см. табл. 2). Шесть промежуточных сегментов дадут 77 битовых интервалов. В сумме получится 93 битовых интервала, что значительно превышает разрешенные 49 битовых интервалов. Поэтому в данном случае предельная длина сети будет ограничена всего лишь пятью сегментами, которые сократят межпакетный интервал на величину $16 + 11 * 3 = 49$ битовых интервалов.

В результате сеть максимального размера на витой паре будет состоять из пяти сегментов по 100 метров (рис. 3), что совпадает с требованиями модели 1. Полная длина сети в этом случае равна 500 метрам. Предельная длина сети на одном сегменте 10BASE5 составляет те же самые 500 метров, но там не требуется применения концентраторов.

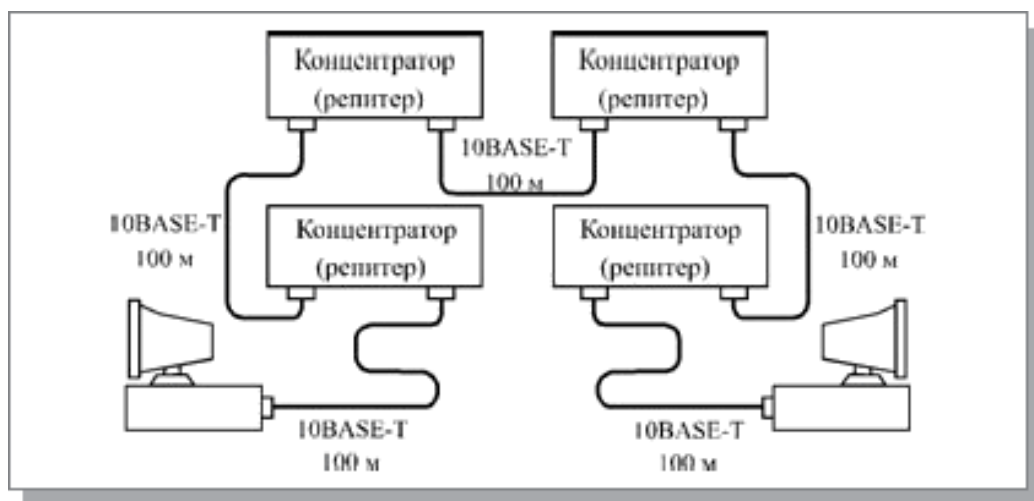


Рис. 14.3. Сеть Ethernet максимального размера на витой паре

Интересно, что пути максимальной длины для расчета круговой задержки и для расчета IPG могут быть различными. Вполне возможна ситуация, когда максимальную задержку прохождения дает один путь в сети, а максимальное сокращение IPG дает другой путь. Например, если один путь состоит из пяти коротких сегментов (электрических и оптоволоконных) и четырех концентраторов, а другой путь имеет всего два оптоволоконных сегмента, но зато с суммарной длиной, близкой к максимально возможной, то первый даст максимальное сокращение IPG, а второй – максимальную задержку прохождения сигнала.

Значит, в идеале необходимо рассчитывать как круговую задержку, так и сокращение IPG для каждого из возможных путей в данной топологии сети. А условие работоспособности сети будет состоять в том, что задержки всех путей должны быть меньше 512 битовых интервалов, а величины сокращения IPG для всех путей должны быть меньше 49 битовых интервалов. Правда, неоднозначность пути максимальной длины надо учитывать только в том случае, когда в сети присутствует больше четырех концентраторов, так как четыре концентратора (пять сегментов) в принципе не могут уменьшить IPG больше, чем на 49 битовых интервалов при выборе любых возможных сегментов (см. табл. 2).

Таким образом, для оценки работоспособности той или иной конфигурации можно использовать обе модели (модель 1 и модель 2), хотя для сложных топологий и предельно длинных сегментов предпочтительнее вторая (числовая) модель, позволяющая количественно оценить временные характеристики сети. В случае же более простых топологий вполне достаточно проверить выполнение элементарных правил первой модели, что не требует никаких расчетов.

Если расчеты показывают, что сеть неработоспособна, то для преодоления этих ограничений предлагаются следующие методы:

Уменьшение длины кабелей с целью снижения задержки прохождения сигнала по сети (если возможно).

Уменьшение количества концентраторов для снижения задержек и сокращения IPG (если возможно).

Выбор кабеля с наименьшей задержкой. Кабели различных марок имеют разные задержки, то есть разные скорости распространения сигнала (см. табл. 3). Различия могут достигать 10%. Все данные в табл. 1 приведены для усредненного случая.

Разбиение сети на две части или более с помощью коммутатора – более радикальный метод. Коммутатор снижает требования к сети во столько раз, на сколько сегментов (зон конфликта) он разбивает сеть. Для каждой новой части сети требуется произвести расчет работоспособности еще раз. Сегмент, который присоединяет коммутатор, также входит в зону конфликта, и его надо учитывать при расчетах.

Переход на другую локальную сеть (самый радикальный метод). Наиболее часто в таких случаях применяют сеть FDDI, которая позволяет строить максимальные по размеру сети. Правда, оборудование ее очень дорого, и для связи с сетью Ethernet нужны мосты.

Задания для самостоятельного выполнения:

- 1) Рассчитайте временные характеристики локальной сети компьютерных классов школы (см. лабораторную работу №3).
- 2) Рассчитайте максимально возможный размер сети при использовании кабеля витой пары.
- 3) Дополните отчет по лабораторной работе №3 результатами расчетов.

Домашнее задание:

Рассчитайте временные характеристики локальной сети, спроектированной для вашего дома, квартала, общежития.

Лабораторная работа №5. Выбор конфигурации Fast Ethernet

Точно так же, как и в случае Ethernet, для определения работоспособности сети Fast Ethernet стандарт IEEE 802.3 предлагает две модели, называемые Transmission System Model 1 и Transmission System Model 2. При этом первая модель основана на нескольких несложных правилах, а вторая использует систему точных расчетов. Первая модель исходит из того, что все компоненты сети (в частности, кабели) имеют наихудшие из возможных временные характеристики, поэтому она всегда дает результат со значительным запасом. Во второй модели можно использовать реальные временные характеристики кабелей, поэтому ее применение позволяет иногда преодолеть жесткие ограничения модели 1.

Правила модели 1

В соответствии с первой моделью, при выборе конфигурации в любом случае надо руководствоваться следующими принципами:

- Сегменты, выполненные на электрических кабелях (витых парах) не должны быть длиннее 100 м. Это относится к кабелям всех возможных категорий - 3, 4 и 5, к сегментам 100BASE-T4 и 100BASE-TX.
- Сегменты, выполненные на оптоволоконных кабелях, не должны быть длиннее 412 м.
- Если используются адаптеры с внешними (выносными) трансиверами, то трансиверные кабели (МП) не должны быть длиннее 50 см.

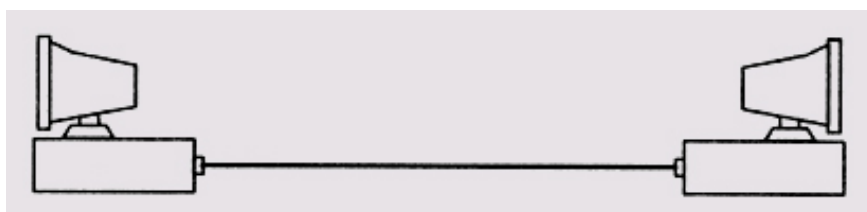


Рис. 1 Двухточечное соединение без концентратора

Модель 1 выделяет три возможных конфигурации сети Fast Ethernet:

1. Соединение двух абонентов (узлов) сети напрямую, без репитера или концентратора (рис. 1). Абонентами при этом могут выступать не только компьютеры, но и сетевой принтер, порт коммутатора, моста или маршрутизатора. Это соединение называется соединением DTE—DTE или двухточечным.

2. Соединение двух абонентов сети с помощью одного репитерного концентратора класса I или класса II (рис. 2).

3. Соединение двух абонентов сети с помощью двух репитерных концентраторов класса II (рис. 3). При этом предполагается, что для связи концентраторов всегда используется электрический кабель длиной не более 5 м. Концентраторы класса II имеют меньшую задержку, поэтому их может быть два. Использование трех концентраторов не допускается в соответствии с моделью 1 ни в коем случае.

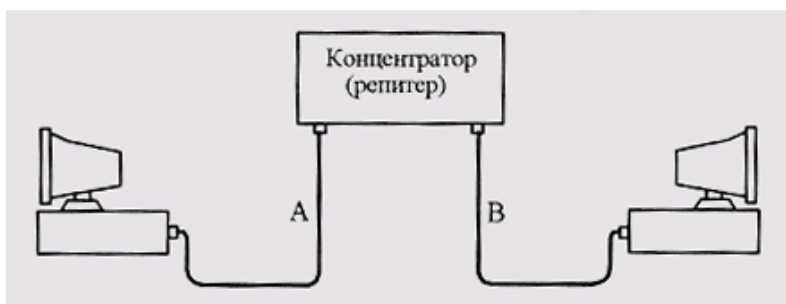


Рис. 2 Соединение с одним концентратором

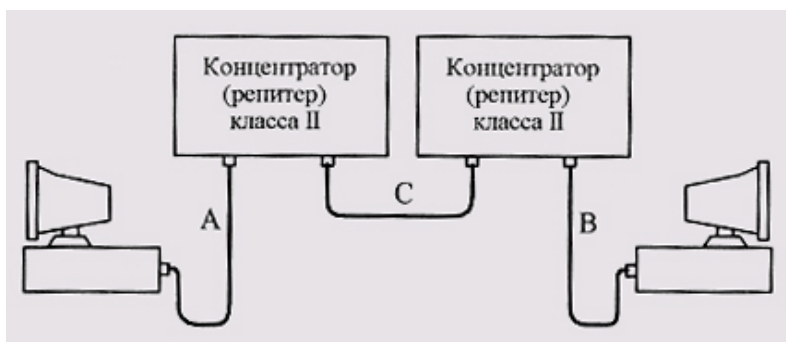


Рис. 3 Соединение с двумя концентраторами

В случае первой конфигурации правила модели 1 предельно простые: электрический кабель не должен быть длиннее 100 м, полудуплексный оптоволоконный не должен быть длиннее 412м, полнодуплексный оптоволоконный - 2000 м (при этом задержка сигнала в кабеле уже не имеет значения, так как метод CSMA/CD не работает).

В случае применения конфигурации с одним концентратором надо ограничивать длину кабелей сети в соответствии с таблицей 1.

В случае выбора конфигурации с двумя концентраторами надо ограничивать длину кабелей A и B в соответствии с таблицей 2 (по умолчанию предполагается, что кабель C имеет длину 5 м).

Таблица 1. Максимальная длина кабелей в конфигурации с одним концентратором

Вид кабеля А	Вид кабеля В	Класс концен- тратора	Макс, дли- на кабеля А	Макс, дли- на кабеля В	Макс, размер сети, м
ТХ, Т4	ТХ, Т4	I или II	100	100	200
ТХ	FX	I	100	160,8	260,8
Т4	FX	I	100	131	231
FX	FX	I	136	136	272
ТХ	FX	II	100	208,8	308,8
Т4	FX	II	100	204	304
FX	FX	II	160	160	320

Таблица 2. Максимальная длина кабелей в конфигурации с двумя концен-
траторами

Вид кабеля А	Вид кабеля В	Макс, длина кабеля А, м	Макс, длина кабеля В, м	Макс, размер се- ти
ТХ,Т4	ТХ,Т4	100	100	205
ТХ	FX	100	116,2	221,2
Т4	FX	100	136,3	241,3
FX	FX	114	114	233

В обеих конфигурациях с концентраторами при использовании од-
новременно электрического и оптоволоконного кабелей можно за счет
уменьшения длины электрического кабеля увеличить длину оптоволокон-
ного кабеля. Причем уменьшению длины электрического кабеля на 1 м со-
ответствует увеличение длины оптоволоконного кабеля на 1,19 м. Напри-
мер, уменьшив кабель ТХ на 10 м, можно увеличить кабель FX на 11,9 м, и

его предельная длина составит при двух концентраторах 128,1 м. Немного увеличится и предельный размер сети (в нашем примере на 1,9 м).

В случае использования двух оптоволоконных кабелей можно уменьшать один из кабелей за счет увеличения другого. При уменьшении одного кабеля на 10 м можно увеличить другой тоже на 10 м. Если же используется два электрических кабеля, то увеличивать один из них за счет уменьшения другого нельзя, так как их длина в принципе не может превышать 100 м из-за затухания сигнала в кабеле.

Отметим, что концентратор класса II в принципе не может одновременно поддерживать сегменты с разными методами кодирования TX/FX и T4. Поэтому варианты, соответствующие вторым снизу строкам обеих таблиц 1 и 2 никогда не реализуются на практике, но стандарт почему-то дает цифры и для них.

Во всех перечисленных случаях под размером сети понимается размер зоны конфликта (области коллизии, collision domain). При этом надо учитывать, что включение в сеть одного коммутатора позволяет увеличить полный размер сети вдвое.

Пример сети максимальной конфигурации в соответствии с первой моделью для витой пары показан на рис. 4.

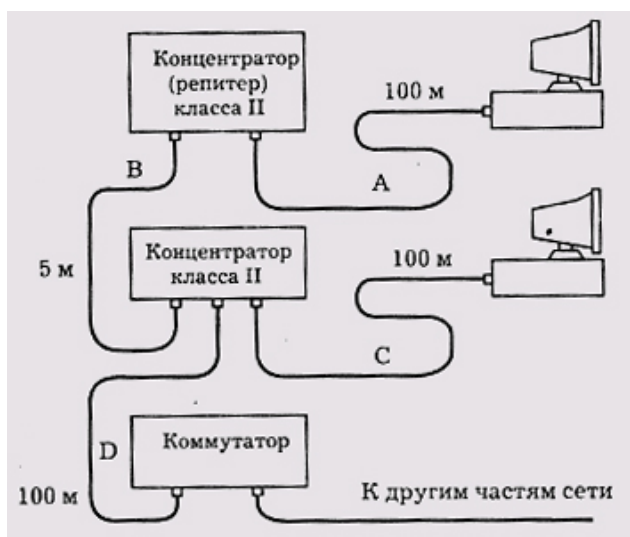


Рис. 4 Пример максимальной конфигурации сети Fast Ethernet

Здесь максимальный размер зоны конфликта складывается из сегментов А, В и С, то есть составляет:

$$100 + 5 + 100 = 205 \text{ метров,}$$

что удовлетворяет условию работоспособности сети (табл. 2, верхняя строчка). Отметим, что сегмент D также входит в зону конфликта, так как коммутатор тоже является полноправным передатчиком пакетов сети. Поэтому длина сегмента D также не может превышать в нашем случае 100 м, чтобы суммарная длина сегментов А, В и D не превысила все тех же 205 м. Сегменты, отделенные от рассматриваемой зоны конфликта коммутатором, никак не влияют на ее работоспособность.

Расчет по модели 2

Вторая модель для сети Fast Ethernet, как и в случае Ethernet, основана на вычислении суммарного двойного времени прохождения сигнала по сети. В отличие от второй модели, используемой для оценки конфигурации Ethernet, здесь не проводится расчетов величины сокращения межкадрового интервала (межпакетной щели, IPG). Это связано с тем, что даже максимальное количество репитеров и концентраторов, допустимых в Fast Ethernet, в принципе не может вызвать недопустимого сокращения межкадрового интервала.

Таблица 3. Двойные задержки компонентов сети Fast Ethernet (величины задержек даны в битовых интервалах)

Тип сегмента	Задержка на метр	Макс, задержка
Два абонента TX/FX	—	100
Два абонента T4	-	138
Один абонент T4 и один TX/FX	—	127
Сегмент на кабеле категории 3	1,14	114 (100м)
Сегмент на кабеле категории 4	1,14	114 (100м)
Сегмент на кабеле категории 5	1,112	111,2 (100м)
Экранированная витая пара	1,112	111, 2 (100м)
Оптоволоконный кабель	1,0	412 (412м)
Репитер (концентратор) класса I	-	140
Репитер (концентратор) класса II с портами TX/FX	—	92
Репитер (концентратор) класса II с портами T4	—	67

Для расчетов в соответствии со второй моделью сначала надо выделить в сети путь с максимальным двойным временем прохождения и максимальным числом репитеров (концентраторов) между компьютерами, то есть путь максимальной длины. Если таких путей несколько, то расчет должен производиться для каждого из них.

Расчет в данном случае ведется на основании таблицы 3.

Для вычисления полного двойного (кругового) времени прохождения для сегмента сети необходимо умножить длину сегмента на величину задержки на метр, взятую из второго столбца таблицы. Если сегмент имеет максимально возможную длину, то можно сразу взять величину максимальной задержки для данного сегмента из третьего столбца таблицы. Затем задержки сегментов, входящих в путь максимальной длины, надо про-

суммировать и прибавить к этой сумме величину задержки для приемопередающих узлов двух абонентов (это три верхние строчки таблицы) и величины задержек для всех репитеров (концентраторов), входящих в данный путь (это три нижние строки таблицы). Суммарная задержка должна быть меньше, чем 512 битовых интервалов. При этом надо помнить, что стандарт IEEE 802.3u рекомендует оставлять запас в пределах 1-4 битовых интервалов для учета кабелей внутри соединительных шкафов и погрешностей измерения, то есть лучше сравнивать суммарную задержку с величиной 508 битовых интервалов, а не 512 битовых интервалов.

Все задержки, приведенные в таблице, даны для наихудшего случая. Если известны временные характеристики конкретных кабелей, концентраторов и адаптеров, то практически всегда лучше использовать именно их. В ряде случаев это может дать заметную прибавку к допустимому размеру сети.

Рассмотрим пример расчета по второй модели для сети, показанной на рис. 4. Здесь существуют два максимальных пути: между компьютерами (сегменты А, В и С) и между верхним (по рисунку) компьютером и коммутатором (сегменты А, В и D). Оба эти пути включают в себя два 100-метровых сегмента и один 5-метровый. Предположим, что все сегменты представляют собой 100BASE-TX и выполнены на кабеле категории 5. Произведем расчет работоспособности сети.

1. Для двух 100-метровых сегментов (максимальной длины) из таблицы берем величину задержки 111,2 битовых интервалов.

2. Для 5-метрового сегмента высчитываем задержку, умножая 1,112 (задержка на метр) на длину кабеля (5 метров): $1,112 \cdot 5 = 5,56$ битовых интервалов.

3. Берем из таблицы задержку для двух абонентов TX - 100 битовых интервалов.

4. Берем из таблицы величины задержек для двух репитеров класса II - по 92 битовых интервала.

5. Суммируем все перечисленные задержки и получаем: $111,2 + 111,2 + 5,56 + 100 + 92 + 92 = 511,96$, что меньше 512, следовательно, данная сеть будет работоспособна, хотя и на пределе, что, вообще говоря, не рекомендуется.

Для гарантии лучше несколько уменьшить длину кабелей или взять кабели, имеющие меньшую задержку. Например, при использовании кабеля AT&T 1061 ($NVP = 0,7$, $t_3 = 0,477$) мы получим следующие величины задержек для 100-метровых сегментов: $(0,477 \cdot 2) \cdot 100 = 95,4$ битовых интервалов (умножение на два необходимо, чтобы получить двойное время прохождения), а для 5-метрового сегмента - 4,77 битовых интервалов. Суммарная задержка при этом составит:

$$95,4 + 95,4 + 4,77 + 100 + 92 + 92 = 483,57,$$

то есть гораздо меньше 512 и даже 508, что означает полностью работоспособную сеть.

Пользуясь моделью 2, можно обойти некоторые ограничения модели 1, так как модель 1 рассчитывается для наихудшего случая. Например, в сети может присутствовать больше двух концентраторов класса II или больше одного концентратора класса I, а кабель, соединяющий концентраторы, может быть длиннее 5 м.

Для примера на рис. 5 показана сеть, содержащая три концентратора класса II, соединенных между собой отрезками кабеля длиной по 10 м. Компьютеры присоединены к концентраторам сегментами 100BASE-TX длиной по 50 м. Произведем расчет двойного времени прохождения для этого случая.

1. Каждый из трех концентраторов класса II с портами TX даст задержку 92 битовых интервала. Суммарная задержка концентраторов будет равна 276 битовым интервалам.
2. Для двух соединительных кабелей между концентраторами задержка равна $2 \cdot 1,112 \cdot 10 = 2,24$ битовых интервала.
3. Для двух сегментов TX по 50 метров задержка составит $2 \cdot 1,112 \cdot 50 = 111,2$ битовых интервала.

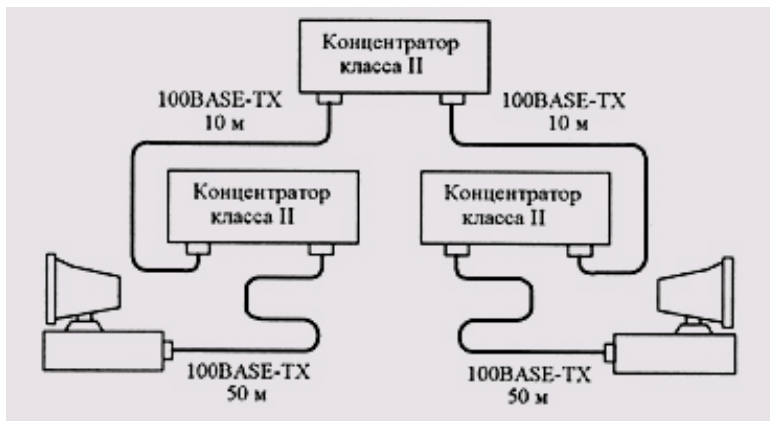


Рис. 5 Пример работоспособной конфигурации сети, нарушающей правила модели 1

4. Для двух абонентов TX задержка будет равна 100 битовым интервалам.
5. Итого суммарная задержка будет составлять:

$276 + 2,24 + 111,2 + 100 = 509,44$ битовых интервала. Данная сеть работоспособна, но при этом надо учитывать, что каждый дополнительный концентратор класса II уменьшает общую допустимую длину кабеля на величину $92/1,112 = 82,7$ м. Сеть с четырьмя концентраторами уже не будет иметь смысла, так как на задержку в кабеле уже не остается почти никакого запаса (четыре концентратора дадут суммарную задержку в $92 \cdot 4 = 368$ битовых интервалов).

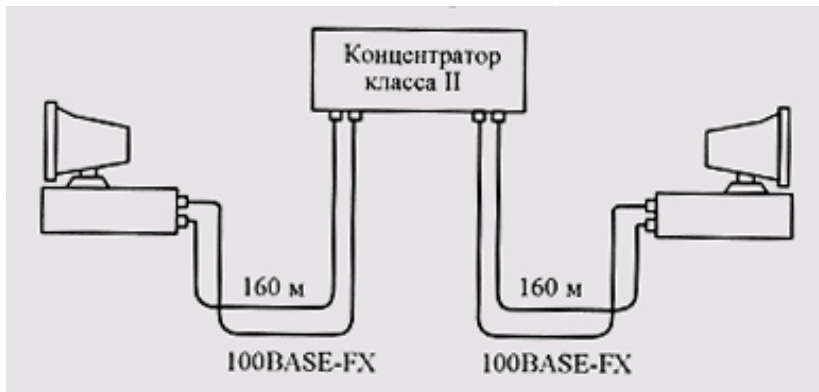


Рис. 6 Сеть Fast Ethernet максимальной длины

А теперь посмотрим, какова может быть максимальная величина сети Fast Ethernet. Для этого надо взять сеть с одним концентратором класса II и два сегмента 100BASE-FX. Элементарный расчет показывает, что при одинаковых сегментах длина каждого из них может достигать 160 метров (рис. 6), а общая длина сети составит 320 метров. Расчет двойного времени прохождения для этого случая будет выглядеть так:

$$92 + 100 + 2 \cdot 1,0 \cdot 160 = 512.$$

Получается, что сеть работоспособна, хотя и на пределе. Естественно, в данном случае важна только суммарная длина обоих кабелей. При уменьшении длины какого-нибудь из сегментов можно без потери работоспособности увеличить на точно такую же величину длину другого сегмента.

Если в приведенной на рис. 6 конфигурации используется концентратор класса I, а не концентратор класса II, то допустимая суммарная длина сегментов сокращается с 320 м до 272 м (расчет для этого случая очевиден). А с учетом рекомендуемого стандартом запаса лучше еще уменьшить суммарную длину кабеля на 1-4 м, что даст снижение круговой задержки на 1-4 битовых интервала.

В заключение отметим, что модель 2 целесообразно применять в основном при наличии в сети оптоволоконных сегментов. На электрическом

кабеле даже при большом желании довольно трудно создать сеть слишком большого размера.

Задания для самостоятельного выполнения:

- 4) Рассчитайте временные характеристики локальной сети компьютерных классов школы для стандарта Fast Ethernet (см. лабораторную работу №3).
- 5) Рассчитайте максимально возможный размер сети при использовании кабеля витой пары.
- 6) Дополните отчет по лабораторной работе №3,4 результатами расчетов.

Домашнее задание:

Рассчитайте временные характеристики локальной сети, спроектированной для вашего дома, квартала, общежития.

Глава 2. Моделирование компьютерных сетей

Лабораторная работа №6. Манчестерский код в сетях Ethernet

Цель работы

1. Изучить основы кодирования «Манчестерский код».
2. Моделирование систем с использованием Манчестерского кода.

Ни в одной из версий Ethernet не применяется прямое двоичное кодирование бита 0 напряжением 0В и бита 1 – напряжением 5В, так как такой способ приводит к неоднозначности. Если одна станция посылает битовую строку 00010000, то другая может интерпретировать ее как 10000000 или 01000000, так как они не смогут отличить отсутствие сигнала (0В) от бита 0 (0В). Можно, конечно, кодировать единицу положительным напряжением +1 В, а ноль - отрицательным напряжением -1В. Но при этом все равно возникает проблема, связанная с синхронизацией передатчика и приемника. Разные частоты работы их системных часов могут привести к рассинхронизации и неверной интерпретации данных. В результате приемник может потерять границу битового интервала. Особенно велика вероятность этого в случае длинной последовательности нулей или единиц.

Таким образом, принимающей машине нужен способ однозначного определения начала, конца и середины каждого бита без помощи внешнего таймера. Это реализуется с помощью двух методов: **манчестерского кодирования** и **разностного манчестерского кодирования**. В манчестерском коде каждый временной интервал передачи одного бита делится на два равных периода. Бит со значением 1 кодируется высоким уровнем напряжения в первой половине интервала и низким – во второй половине, а нулевой бит кодируется обратной последовательностью – сначала низкое

напряжение, затем высокое. Такая схема гарантирует смену напряжения в середине периода битов, что позволяет приемнику синхронизироваться с передатчиком. Недостатком манчестерского кодирования является то, что оно требует двойной пропускной способности линии по отношению к прямому двоичному кодированию, так как импульсы имеют половинную ширину. Например, для того чтобы отправлять данные со скоростью 10 Мбит/с, необходимо изменять сигнал 20 миллионов раз в секунду. Манчестерское кодирование показано на рис. 1, б.

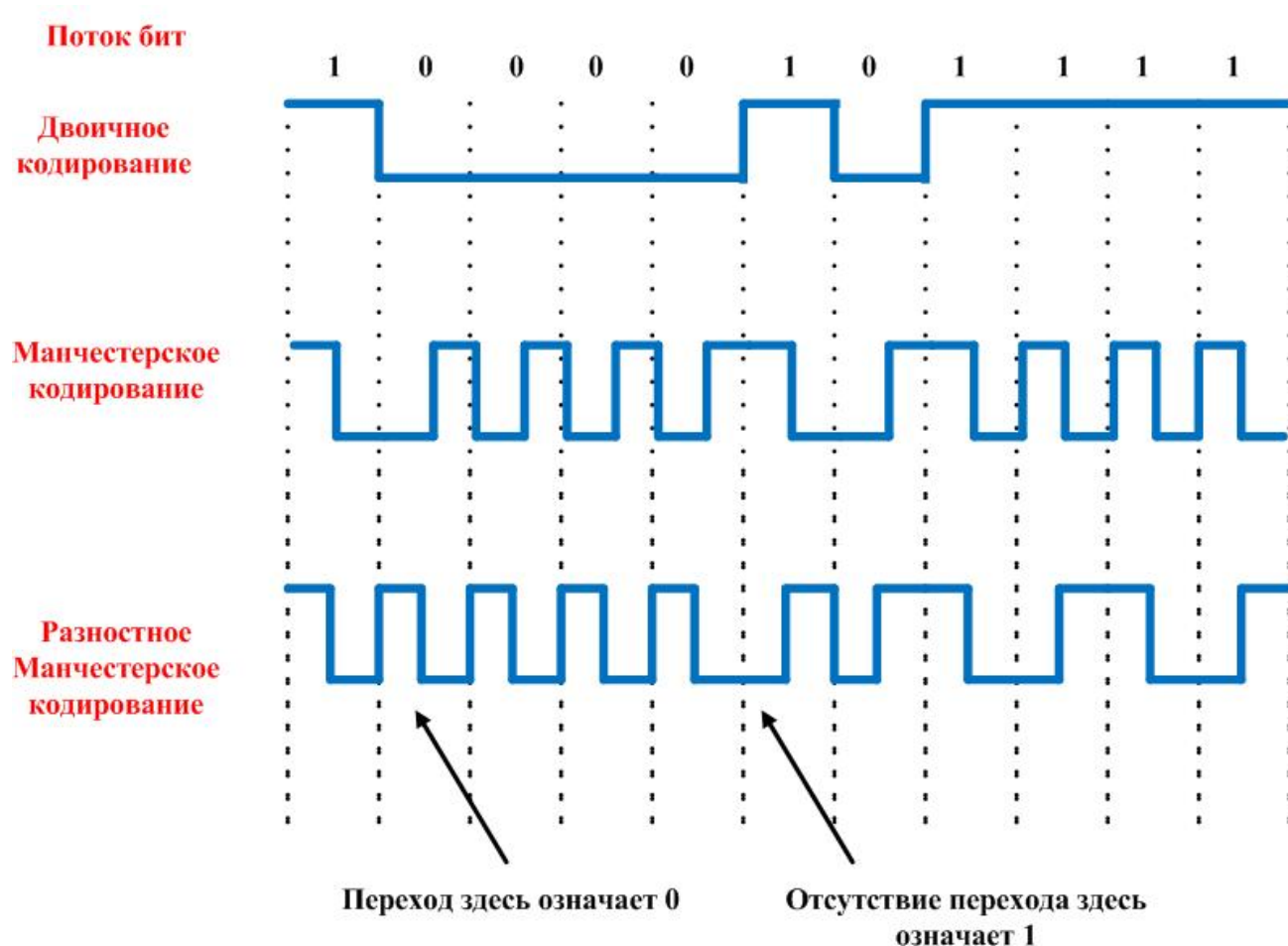


Рисунок 1 – Двоичное кодирование (а); Манчестерский код (б); Разностное манчестерское кодирование (в)

Разностное манчестерское кодирование, показанное на рис. 1, в, является вариантом основного манчестерского кодирования. В нем бит 0 кодируется изменением состояния в начале интервала, а бит 1 — сохранением предыдущего уровня. В обоих случаях в середине интервала обязательно присутствует переход. Разностная схема требует более сложного оборудования, зато обладает хорошей защищенностью от шума. Во всех сетях Ethernet используется манчестерское кодирование благодаря его простоте. Высокий сигнал кодируется напряжением в $+0,85$ В, а низкий сигнал — $-0,85$ В, в результате чего постоянная составляющая напряжения равна 0 В. Разностное манчестерское кодирование в Ethernet не используется, но используется в других ЛВС (например, стандарт 802.5, маркерное кольцо).

Задания для самостоятельного выполнения

1. Как будет выглядеть манчестерский код следующей двоичной последовательности: 0001110101? Напишите программу, позволяющую строить схему манчестерского кода по заданной двоичной последовательности.

2. Как будет выглядеть разностный манчестерский код двоичной последовательности: 0010111010? Предполагается, что вначале линия находится в низком состоянии сигнала.

Лабораторная работа №7. CDMA множественный доступ с кодовым разделением каналов

Теоретический обзор

D-AMPS и GSM — это довольно традиционные системы. Они используют частотное и временное уплотнение для разделения спектра на каналы и разделения каналов на интервалы. Однако есть еще одна система

из этой серии под названием **CDMA** (Code Division Multiple Access — множественный доступ с кодовым разделением каналов), которая работает совершенно по-другому. Так или иначе, благодаря упорству единственной компании, Qualcomm, CDMA теперь признается не только полноценной системой мобильной связи, но и лучшей из существующих систем третьего поколения. Она также используется в США при работе с оборудованием второго поколения, конкурируя с D-AMPS. Например, персональная служба связи Sprint использует CDMA, а AT&T Wireless — D-AMPS. CDMA описывается международным стандартом IS-95, и иногда на эту систему ссылаются именно таким образом. Также используется название торговой марки — **cdmaOne**.

CDMA полностью отличается от AMPS, D-AMPS и GSM. Вместо разделения доступного частотного диапазона на сотни узких каналов в CDMA каждая станция может при передаче все время пользоваться полным спектром частот. Одновременный множественный доступ обеспечивается за счет применения теории кодирования. CDMA также отдыхает от мысли о том, что одновременно пришедшие кадры должны портиться. Вместо этого предполагается, что сигналы добавляются линейно.

Прежде чем разбирать алгоритм работы, рассмотрим следующую аналогию. *Представьте себе зал ожидания в аэропорту. Множество пар оживленно беседуют. Временное уплотнение можно сравнить с ситуацией, когда все люди находятся в центре зала и говорят по очереди. Частотное уплотнение мы сравним с ситуацией, при которой люди находятся в разных углах и ведут свои разговоры, которые не слышны другим. Это происходит одновременно, но независимо. Для CDMA лучше всего подходит сравнение с ситуацией, когда все в центре зала, однако каждая пара говорящих использует свой язык общения. Франкоговорящие «промыывают косточки» всем остальным, воспринимая чужие разговоры как шум.*

Таким образом, ключевой идеей CDMA является выделение полезного сигнала при игнорировании всего остального.

В CDMA каждый битовый интервал разбивается на m коротких периодов, называемых **элементарными сигналами**, или чипами (chip). Обычно в битовом интервале помещаются 64 или 128 элементарных сигналов. В нашем примере мы будем допускать, что битовый интервал содержит только 8 элементарных сигналов на бит, и это надо воспринимать лишь как упрощение.

Каждой станции соответствует уникальный m -битный код, называющийся **элементарной последовательностью**. Чтобы передать 1 бит, станция посылает свою элементарную последовательность. Чтобы передать бит со значением 0, нужно отправить вместо элементарной последовательности ее дополнение (все единицы последовательности меняются на нули, а все нули — на единицы). Никакие другие комбинации передавать не разрешается. Таким образом, если $m = 8$ и станции присвоена 8-битная элементарная последовательность 00011011, то бит со значением «1» передается кодом 00011011 (что соответствует элементарной последовательности), а бит со значением «0» передается кодом 11100100 (дополнение элементарной последовательности).

Оправдать возросшее в m раз количество информации, которое необходимо передавать (чтобы скорость составила b бит/с, нужно отправлять mb элементарных сигналов в секунду), можно только за счет увеличения в m раз пропускной способности. Таким образом, CDMA является одной из форм связи с расширенным спектром (предполагается, что никаких изменений в методах модуляции и кодирования не производилось). Если имеется полоса шириной 1 МГц, на которой работают 100 станций, то при частотном уплотнении каждая из них получила бы свои 10 кГц и работала бы со скоростью 10 Кбит/с (предположим, используется 1 бит/Гц). При CDMA все станции используют всю ширину диапазона

(1 МГц), так что скорость передачи элементарных сигналов составляет 1 Мчип/с. При кодировании одного бита элементарными последовательностями, число которых менее 100, эффективная пропускная способность CDMA выше, чем FDM, причем проблема размещения каналов решена.

Из педагогических соображений удобнее использовать биполярную запись и двоичный 0 обозначать -1, а двоичную 1 обозначать +1. В скобках будем показывать элементарные последовательности. Так, единичный бит для станции А будет выглядеть как (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1). На рис. 1, а мы покажем элементарные последовательности четырех станций. На рис. 1, б изображены они же, но в биполярной нотации.

A: 00011011	A: (-1 -1 -1 +1 +1 -1 +1 +1)
B: 00101110	B: (-1 -1 +1 -1 +1 +1 +1 -1)
C: 01011100	C: (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)
D: 01000010	D: (-1 +1 -1 -1 -1 -1 +1 -1)

(б)

(а)

Шесть примеров:

- - 1 -	C	S1 = (-1 +1 -1 +1 +1 +1 -1 -1)
- 1 1 -	B+C	S2 = (-2 0 0 0 +2 +2 0 -2)
1 0 - -	A+B	S3 = (0 0 -2 +2 0 -2 0 +2)
1 0 1 -	A+B+C	S4 = (-1 +1 -3 +3 +1 -1 -1 +1)
1 1 1 1	A+B+C+D	S5 = (-4 0 -2 0 +2 0 +2 -2)
1 1 0 1	A+B+C+D	S6 = (-2 -2 0 -2 0 -2 +4 0)

(в)

Рисунок 1 – Двоичные элементарные последовательности для двух станций (а); биполярные элементарные двоичные последовательности (б); шесть приемов передачи (в); восстановление сигнала станции C(r).

Каждая станция имеет собственную уникальную элементарную последовательность. Обозначим символом S вектор длины m для станции S , а символом \underline{S} — дополнение S . Все элементарные последовательности попарно **ортогональны**. Мы имеем в виду, что нормированное скалярное произведение двух различных элементарных последовательностей S и T (пишется $S \bullet T$) равно 0. Известно, как генерировать такие последовательности с помощью метода, известного как **коды Уолша**. Используя математическую запись, можно выразить сказанное ранее таким образом:

$$S \bullet T = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^n S_i T_i = 0 \quad (1)$$

Попросту говоря, сколько одинаковых пар, столько и разных. Это свойство ортогональности мы строго докажем чуть позже. Обратите внимание: если $S \bullet T = 0$, то и $S \bullet \underline{T}$ также равно 0. Нормированное скалярное произведение любой элементарной последовательности на саму себя равно 1:

$$S \bullet S = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i S_i = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m S_i^2 = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m (\pm 1)^2 = 1 \quad (2)$$

Это действительно так, поскольку каждое из m слагаемых суммы равно 1, поэтому вся сумма равна m . Обратите также внимание на то, что $S \bullet \underline{S} = -1$

В течение каждого битового интервала станция может либо передавать 1, посылая свою элементарную последовательность, либо передавать 0, посылая дополнение к последовательности, либо может молчать и ничего не передавать. Предположим, что все станции синхронизировались во времени, то есть все последовательности начали передаваться в один и тот же момент.

Когда две или более станции пытаются осуществить одновременную передачу, их биполярные сигналы линейно складываются. Например, если при передаче одного элементарного сигнала три станции послали +1, а одна послала -1, то в результате получится +2. Можно рассматривать это как сложение напряжений: три станции имеют на выходе +1 В, а одна имеет на выходе -1 В. В результате сложения получаем +2 В.

На рис. 1, в изображено шесть примеров передачи, в которой одновременно принимают участие одна или несколько станций. В первом примере *C* передает единичный бит, поэтому мы просто получаем элементарную последовательность этой станции. Во втором примере и *B*, и *C* передают единичные биты, в результате чего мы получаем сумму их биполярных последовательностей, а именно:

$$(-1-1+1-1+1+1+1-1)+(-1+1-1+1+1+1-1-1)=(-2\ 0\ 0\ 0\ +2\ +2\ 0\ -2).$$

В третьем примере станция *A* посылает 1, а станция *B* посылает 0. Прочие молчат. В четвертом примере *A* и *C* посылают 1, тогда как *B* посылает 0. В пятом примере все четыре станции посылают 1. Наконец, в последнем случае *A*, *B* и *D* посылают единичный бит, а *C* посылает нулевой. Обратите внимание на то, что каждой из шести последовательностей (от S_1 до S_6), представленных на рис. 1, в, соответствует один битовый интервал.

Чтобы восстановить исходный битовый поток каждой из станций, приемник должен заранее знать элементарные последовательности всех передатчиков, с которыми он работает. Восстановление осуществляется путем вычисления нормированного скалярного произведения принятой последовательности (то есть линейной суммы сигналов всех станций) и элементарной последовательности той станции, чей исходный сигнал восстанавливается. Если принята элементарная последовательность S и приемник пытается понять, что передала станция с элементарной последова-

тельностью C , то производится вычисление нормированного скалярного произведения $S \cdot C$.

Чтобы понять, как это все работает, давайте представим себе эти две станции, A и C . Пусть обе передают единичный бит, в то время как станция B передает нулевой бит. Приемник получает сумму сигналов, которая равна $S = A + B + C$ и вычисляет произведение:

$$S \cdot C = (A + B + C) \cdot C = A \cdot C + B \cdot C + C \cdot C = 0 + 0 + 1 = 1.$$

Первые два слагаемые равны нулю, потому что все пары элементарных последовательностей тщательно подбирались такими, чтобы они были ортогональными, см. формулу (1). Теперь должно быть понятно, почему это условие должно быть наложено на элементарные последовательности.

Можно представить себе эту задачу и по-другому. Допустим, приемник получил вместо суммы сигналов отдельные сигналы. В этом случае приемник будет вычислять скалярные произведения каждого из них по отдельности, а результаты складывать. Благодаря свойству ортогональности, все скалярные произведения, кроме $C \cdot C$ равны 0. Сложение с последующим вычислением скалярного произведения равносильно суммированию скалярных произведений.

Обратимся снова к шести примерам, показанным на рис. 1, в. Конкретный результат декодирования этих последовательностей представлен на рис. 1, г. Допустим, приемник заинтересован в извлечении потока битов, посланного станцией C , из всех шести последовательностей S_1 - S_6 . Для этого он вычисляет каждый бит путем суммирования парных произведений принятой последовательности (S) и вектора C (см. рис. 1, б), затем деления результата на 8 (так как $m = 8$ в данном случае). Как видите, каждый раз находится верный бит.

В идеальной система CDMA без шума емкость (то есть допустимое количество станций) может быть сколь угодно большим, как и емкость идеального бесшумного канала Найквиста может увеличиваться за счет

повышения количества бит на отсчет. На практике, конечно же, физические ограничения очень сильно уменьшают емкость системы. Во-первых, мы предполагали, что все последовательности синхронизированы по времени. На самом же деле точную синхронизацию обеспечить невозможно. Единственное что можно сделать, — это организовать форсирование приемником отправки со стороны передатчика достаточно длинной элементарной последовательности, по которой приемник мог бы осуществить синхронизацию. Все остальные (несинхронизированные) посылки при этом рассматриваются как случайный шум. Если их не очень много, базовый алгоритм декодирования работает неплохо. С наложением элементарных последовательностей на шумовой фон связана довольно обширная теория. Как нетрудно догадаться, чем длиннее элементарная последовательность, тем выше вероятность ее корректного детектирования на фоне шума. Для повышения надежности битовая последовательность может использовать код с коррекцией ошибок. Элементарные последовательности никогда не используют коррекцию ошибок.

Еще одним очевидным допущением, которым мы пользовались в наших рассуждениях, является предположение о том, что мощности всех станций такие же, как воспринимаемые приемником. Система CDMA обычно используется в беспроводной связи, где всегда присутствует базовая стационарная станция и множество мобильных станций, расположенных на разных расстояниях от нее. Уровни мощности, воспринимаемые приемником, конечно, зависят от того, насколько далеко находятся передатчики. Хорошим эвристическим правилом является правило компенсации мощностей: чем слабее сигнал, принимаемый мобильным телефоном от базовой станции, тем мощнее должен быть его исходящий сигнал. Другими словами, мобильная станция, получающая слабый сигнал от базовой станции, будет посылать более мощный сигнал, чем станция, получающая мощный сигнал с БС. Мощности могут также контролироваться базовыми

станциями, выдающими команды мобильным станциям увеличить или уменьшить свою мощность.

Еще мы предполагали, что приемник знает, кто отправляет ему данные. В принципе, имея достаточно мощные вычислительные возможности, базовая станция может слушать одновременно всех отправителей и исполнять алгоритм декодирования параллельно для всех передатчиков. Но об этом проще говорить, чем реализовывать. В CDMA есть еще много сложных вещей, которые мы опустили в нашем кратком рассказе. Тем не менее, это хорошо продуманная схема, которая все шире применяется в беспроводной связи. Стандартной полосой CDMA является 1,25 МГц (против 30 кГц в D-AMPS и 200 кГц в GSM), и в этой полосе система может обслуживать гораздо больше пользователей, чем любая другая система. При этом каждому пользователю предоставляется пропускная способность, которая, по крайней мере, не хуже, чем в GSM, а зачастую даже лучше.

Практическое задание

- 1) Пусть A, B, и C одновременно передают нулевые биты, используя систему CDMA и элементарные последовательности, показанные на рис. 1,б. Как будет выглядеть результирующая элементарная последовательность? (Вычисления реализовать в виде программы на ЭВМ)

Приемник CDMA получает элементарную последовательность: $(-1 +1 -3 +1 -1 -3 +1 +1)$. Предполагается, что исходные последовательности такие, как показано на рис. 1,б. Какие станции посылали сигналы и какие именно сигналы? (Вычисления реализовать в виде программы на ЭВМ) ла. Напишите программу, позволяющую строить схему манчестерского кода по заданной двоичной последовательности.

