

Мамадиева К.Х.

**АРХИТЕКТУРА И ОРГАНИЗАЦИЯ
КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ**

учебное пособие

Шымкент, 2019

УДК 004.07
ББК 32.844

Утверждено к печати учебно – методическим советом Университета «Мирас» (протокол № 7 от 22.02.2019 г.).

Рецензенты:

к.ф-м.н., доцент Бегалиева Г.А. - Южно-Казахстанский Государственный Университет им.М.Ауезова, д.т.н., профессор Муратов А.С.– Университет «Мирас»;

Мамадиева К.Х. Архитектура и организация компьютерных систем. Учебное пособие - Шымкент: Университет «Мирас», 2019. – 144 с.

ISBN 978-9965-895-93-7

В учебно-методическом пособии, представлены теоретические сведения и практические задания для самостоятельной работы, способствующие приобретению знаний, умений и навыков студентами, связанных с разработкой современного программного обеспечения, в частности, с разработкой архитектурой и организацией компьютерных систем.

Данное пособие имеет своей целью:

- познакомить студентов с базовыми концепциями в области построения;
- понять архитектуру ЭВМ; принципы организации многопроцессорных и многомашинных вычислительных систем;
- направления развития компьютеров с традиционной, параллельной и нетрадиционной архитектурой;
- принципы построения сетей передачи данных; понятие протокола модели описания и реализации протоколов;
- тенденции развития сетевых комплексов и информационных технологий.

Учебно – методическое пособие предназначено для преподавателей и студентов высших учебных заведений, изучающих курс «Архитектура и организация компьютерных систем».

© Мамадиева К.Х., 2019.
© Университет «Мирас», 2019.

ПЛАНЫ

Введение.....	5
1 Введение в архитектуру компьютера.....	6
1.1 Этапы развития вычислительной техники.....	6
1.2 Понятие архитектуры компьютера. Логические основы обработки данных.....	8
1.3 Начальные этапы развития: механический этап, машины Чарльза Бэббиджа, электромеханический этап, начало электронного этапа.....	11
1.4 Архитектура фон Неймана и Гарварда. Понятие такта. Вентили и комбинационные схемы. Схема памяти на базовых вентилях. Интегральные схемы.....	14
2. Развитие архитектуры и параллелизм вычислений.....	20
2.1 Параллелизм в архитектуре начального периода: Параллельная обработка разрядов кода, совмещение во времени работы нескольких устройств, направления дальнейшего развития параллелизма.....	20
2.2 Оценка производительности вычислительных систем.....	22
2.3 Оценка производительности тактовой частотой.....	23
2.4 Пиковая и реальная производительность. Единицы MIPS. Единицы Flops....	24
2.5 Тесты LINPACK. Ливерморские циклы. SPEC и другие тесты.....	25
3 Многопрограммный режим работы компьютеров.....	29
3.1 Сегментная модель памяти защищенного режима: структура дескриптора сегмента, линейный адрес.....	29
3.2 Объем памяти. Организация виртуальной памяти.....	33
3.3 Повышение эффективности оперативной памяти. Статическая и динамическая память. Микросхемы памяти. Цикл памяти. Типы микросхем динамической памяти. Многоуровневая организация памяти. Кэш.....	35
3.4 Микросхемы памяти. Цикл памяти. Типы микросхем динамической памяти. Многоуровневая организация памяти. Кэш.....	36
4 Архитектура вычислительных систем.....	46
4.1 Классификация архитектур: по принципу действия, по поколениям.....	46
4.2 Функциональная классификация компьютеров. Классификация по архитектуре системы команд. Параллельные архитектуры.....	50
4.3 Неклассические архитектуры. Законы Амдала.....	53
4.4 Топология параллельных систем.Классификация параллельных систем класса МКМД.....	56
5 Обзор основных семейств микропроцессоров.....	64
5.1 Семейство Intel. Семейство SUNSPARC.....	64
5.2 Семейства PA-RISC, Alpha, PowerPC, MIPS. Семейства БЭСМ и Эльбрус.....	67
6 Введение в архитектуру компьютерных сетей.....	72
6.1 Применение компьютерных сетей. Элементы сетевого оборудования.....	72
6.2 Линии связи.....	75
6.3 Основы передачи данных. Проводниковые среды передачи информации.....	76
6.4 Магнитные носители. Витая пара. Коаксиальный кабель. Волоконная оптика..	77
7 Беспроводная связь.....	81
7.1 Электромагнитный спектр. Радиосвязь. Связь в микроволновом диапазоне. Передачи в инфракрасном диапазоне. Связь в видимом диапазоне.....	81
7.2 Спутниковая связь. Геостационарные спутники. Средневысотные спутники. Низкоорбитальные спутники. Спутники против оптоволоконна.....	86
7.3 Мобильные телефоны третьего поколения: цифровая речь и данные.....	92
7.4 Мобильные телефоны третьего поколения: цифровая речь и данные.....	93

8	Безопасность в сетях.....	96
8.1	Основы криптографии. Алгоритмы с открытым ключом. Цифровые подписи. Защита соединений. Конфиденциальность электронной переписки.....	96
8.2	Основы криптографии. Алгоритмы с открытым ключом. Цифровые подписи. Защита соединений. Конфиденциальность электронной переписки.....	98
	ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ.....	101
	Лабораторная работа №1 . Сборка и разборка персонального компьютера.....	102
	Лабораторная работа №2. Установка операционной системы.....	105
	Лабораторная работа №3. Организация локальной сети.....	117
	Лабораторное работа № 4. Организация беспроводной локальной сети.....	123
	Лабораторная работа № 5. Основные функции DNS.....	135
	Лабораторная работа №6. Организация безопасности сети.....	137
	СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ.....	144

Введение

Цель освоения дисциплины «Архитектура и организация компьютерных систем» - является формирование и закрепление общекультурных и профессиональных компетенций в области построения, организации и методах исследования вычислительных систем и сетей разного назначения.

Задачи изучения дисциплины:

- – освоение базовых принципов организации и функционирования компьютерных и телекоммуникационных систем различного назначения;
- приобретения знаний для построения, настройки и администрирования компьютерных систем и сетей.

В результате освоения дисциплины (учебного курса) студент формирует и демонстрирует следующие компетенции

- Уметь оценивать надежность и согласованность информации и действовать на нее.
- Уметь работать с информационной системой и данными.
- Способность ориентироваться на современные информационные потоки и адаптироваться к глобальным экономическим тенденциям и динамичным изменениям.
- Будьте гибкими и мобильными в разных ситуациях, в зависимости от вашей работы.
- знание управленческой информации, навыков и умений в области информации и мониторинга реализации программных модулей через систему, инструкции по установке по использованию программных модулей, интерпретация полученных результатов, стремиться к объективности, надлежащего контроля и оценки.
- Освоить методы проектирования и тестирования программного продукта.
- Способность работать со средствами массовой информации для обеспечения общественных и государственных организаций, аналитических услуг.

Результаты обучения:

По окончании изучения дисциплины студент должен:

А) Знание базовой базы знаний об основных, профильных и общих знаниях конкретного модуля, средствах и методах производства программных продуктов, основы технологий, обеспечиваемых обязательными образовательными стандартами по специальности;

В) Знание использования профессиональных моделей, методов и инструментов для анализа и разработки компьютерных систем в математической, лингвистической, информационной и программной разработке и управлении информацией.

С) Проблемы программирования программного обеспечения Наиболее эффективным и надежным решением является выбор наилучшего способа решения практических задач и анализ использования различных средств программирования.

Д) Способность эффективно работать в команде совместных исследований в области компьютеров и программного обеспечения.

Е) Возможность изучения принципов элементов дизайна математической, информационной и программной деятельности в профессиональной деятельности.

1 Введение в архитектуру компьютера.

1.1 Этапы развития вычислительной техники.

Краткий исторический очерк развития архитектуры компьютерных систем.

Вычислительная техника прошла в своем развитии 4 стадии:

- компьютеры 1 поколения строились на электронных лампах;
- компьютеры 2 поколения изготавливались с использованием транзисторов;
- компьютеры 3 поколения использовали интегральные микросхемы (интегральная схема - это специальный кристалл кремния или германия, на котором сформированы участки со свойствами полупроводниковых электронных элементов (транзисторов, диодов, конденсаторов и т.п.; использование интегральных схем позволило существенно снизить размеры компьютеров, их стоимость и энергопотребление, увеличить быстродействие и объем памяти);

- компьютеры 4 поколения - используют микропроцессор

Первое поколение (1955-1960 гг.) строилось на дискретных элементах и вакуумных лампах, имели большие габариты, вес, мощность, обладая при этом малой надежностью. Они использовались в основном для решения научно-технических задач атомной промышленности, реактивной авиации и ракетостроения.

Увеличению количества решаемых задач препятствовали низкая надежность и производительность, а также чрезвычайно трудоемкий процесс подготовки, ввода и отладки программы, написанной на языке машинных команд, т.е. в форме двоичных кодов.

Машины этого поколения имели быстродействие порядка 10-20 тысяч операций в секунду и ОП порядка 1К (1024 слова). В этот же период появились первые простые языки для автоматизированного программирования.

Второе поколение (1960-1965 гг.) использовали дискретные полупроводниковые приборы и миниатюрные дискретные детали, а в качестве технологической - печатный монтаж. По сравнению с предыдущим поколением резко уменьшились габариты и энергозатраты, возросла надежность. Возросли также быстродействие (приблизительно 500 тысяч оп/сек) и объем оперативной памяти (16-32К слов). Это сразу расширило круг пользователей, а, следовательно, и решаемых задач. Появились языки высокого уровня (Фортран, Алгол, Кобол) и соответствующие им трансляторы.

Совершенствование аппаратного обеспечения, построенного на полупроводниковой базе, привело к тому, что появилась возможность строить в ЭВМ помимо центрального (основного) процессора еще ряд вспомогательных процессоров. Эти процессоры управляли всей периферией, в частности устройствами ввода/вывода, избавляли от вспомогательной работы центральный процессор. Одновременно совершенствовались и ОС. Это позволило на ЭВМ второго поколения реализовать режим пакетной обработки программ, а также режим разделенного времени, необходимый для параллельного решения нескольких задач управления производством. На машинах второго поколения были впервые опробованы ОП на ферритовых кольцах (так называемые кубы памяти). Все это позволило поднять производство ЭВМ и привлечь к ней массу новых пользователей.

В ЭВМ *третьего поколения* (1965-1970 гг.) в качестве элементной базы использовались интегральные схемы малой интеграции с десятками активных элементов на кристалл, а также гибридные микросхемы из дискретных элементов. Это позволило сократить габариты и мощность, повысить быстродействие, снизить стоимость универсальных (больших) ЭВМ. Но самое главное - появилась возможность создания малогабаритных, надежных, дешевых машин - *мини-ЭВМ*.

Четвертое поколение (с 1970 г.). Успехи микроэлектроники позволили создать БИС и СБИС, содержащие десятки тысяч активных элементов. Это позволило разработать более дешевые ЭВМ с большой ОП. Стоимость одного байта памяти и одной машинной операции резко снизилась. Но затраты на программирование почти не сократились. Поэтому на первый план вышла задача экономии человеческих, а не машинных ресурсов.

Для этого разрабатывались новые ОС, позволяющие пользователю вести диалог с ЭВМ. Это облегчало работу пользователя и ускоряло разработку программ. Это потребовало, в свою очередь, организовать одновременный доступ к ЭВМ целого ряда пользователей, работающих с терминалов.

В 70-е же годы появились первые *микро-ЭВМ* - универсальные вычислительные системы, состоящие из процессора, памяти, схем сопряжения с устройствами ввода/вывода и тактового генератора, размещенные в одной БИС (*однокристалльная ЭВМ*) или в нескольких БИС, установленных на одной печатной плате (*одноплатные ЭВМ*).

Совершенствование технологии позволило изготовить СБИС, содержащие сотни тысяч активных элементов, и сделать их достаточно дешевыми. Это привело к созданию небольшого настольного прибора, в котором размещалась микро-ЭВМ, клавиатура, экран, магнитный накопитель (кассетный или дисковый), а также схема сопряжения с малогабаритным печатающим устройством, измерительной аппаратурой, другими ЭВМ и т.д. Этот прибор получил название *персональный компьютер*.

В 1976г. была зарегистрирована компания Apple Comp (Стив Джобс и Стефан Возняк), которая и начала выпуск первых в мире персональных компьютеров "Макинтош".

Благодаря ОС, обеспечивающей простоту общения с этой ЭВМ больших библиотечных прикладных программ, а также низкой стоимости, персональный компьютер начал стремительно внедряться в различные сферы человеческой деятельности во всем мире. Об областях и целях его использования можно прочесть в многочисленных литературных источниках. По данным на 1985 год общий объем мирового производства уже составил $200 \cdot 10^6$ микропроцессоров и $10 \cdot 10^6$ персональных компьютеров в год.

Пятое поколение Характерной особенностью пятого поколения ЭВМ является то, что основные концепции этого поколения были заранее сформулированы в явном виде. Задача разработки принципиально новых компьютеров впервые поставлена в 1979 году японскими специалистами, объединившими свои усилия под эгидой научно-исследовательского центра по обработке информации - JRPDEC. В 1981 г. JRPDEC опубликовал предварительный отчет, содержащий детальный план развертывания научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ с целью создания к 1991 г. прототипа ЭВМ нового поколения.

Первые локальные сети. В начале 70-х годов произошел технологический прорыв в области производства компьютерных компонентов - появились большие интегральные схемы. Их сравнительно невысокая стоимость и высокие функциональные возможности привели к созданию мини-компьютеров, которые стали реальными конкурентами мэйнфреймов. Закон Гроша перестал соответствовать действительности, так как десяток мини-компьютеров выполнял некоторые задачи (как правило, хорошо распараллеливаемые) быстрее одного мэйнфрейма, а стоимость такой мини-компьютерной системы была меньше.

Но шло время, потребности пользователей вычислительной техники росли, им стало недостаточно собственных компьютеров, им уже хотелось получить возможность обмена данными с другими близко расположенными компьютерами. В ответ на эту потребность предприятия и организации стали соединять свои мини-компьютеры вместе и разрабатывать программное обеспечение, необходимое для их взаимодействия. В результате появились первые локальные вычислительные сети. Они еще во многом отличались от современных локальных сетей, в первую очередь - своими устройствами сопряжения. На первых порах для соединения компьютеров друг с другом использовались самые разнообразные нестандартные устройства со своим способом представления данных на линиях связи, своими типами кабелей и т. п. Эти устройства могли соединять только те типы компьютеров, для которых были разработаны.

Создание стандартных технологий локальных сетей. В середине 80-х годов утвердились стандартные технологии объединения компьютеров в сеть - Ethernet, Arcnet, Token Ring. Мощным стимулом для их развития послужили персональные компьютеры. Эти массовые продукты явились идеальными элементами для построения сетей - с одной стороны, они были достаточно мощными для работы сетевого программного обеспечения, а с другой - явно нуждались в объединении своей вычислительной мощности для решения сложных задач, а также

разделения дорогих периферийных устройств и дисковых массивов. Поэтому персональные компьютеры стали преобладать в локальных сетях, причем не только в качестве клиентских компьютеров, но и в качестве центров хранения и обработки данных, то есть сетевых серверов, потеснив с этих привычных ролей мини-компьютеры и мэйнфреймы.

Стандартные сетевые технологии превратили процесс построения локальной сети из искусства в рутинную работу. Для создания сети достаточно было приобрести сетевые адаптеры соответствующего стандарта, например Ethernet, стандартный кабель, присоединить адаптеры к кабелю стандартными разъемами и установить на компьютер одну из популярных сетевых операционных систем, например, NetWare. После этого сеть начинала работать и присоединение каждого нового компьютера не вызывало никаких проблем - естественно, если на нем был установлен сетевой адаптер той же технологии.

Локальные сети в сравнении с глобальными сетями внесли много нового в способы организации работы пользователей. Доступ к разделяемым ресурсам стал гораздо удобнее - пользователь мог просто просматривать списки имеющихся ресурсов, а не запоминать их идентификаторы или имена. После соединения с удаленным ресурсом можно было работать с ним с помощью уже знакомых пользователю по работе с локальными ресурсами команд.

Последствием и одновременно движущей силой такого прогресса стало появление огромного числа непрофессиональных пользователей, которым совершенно не нужно было изучать специальные (и достаточно сложные) команды для сетевой работы. А возможность реализовать все эти удобства разработчики локальных сетей получили в результате появления качественных кабельных линий связи, на которых даже сетевые адаптеры первого поколения обеспечивали скорость передачи данных до 10 Мбит/с.

1.2 Понятие архитектуры компьютера. Логические основы обработки данных.

Понятие ЭВМ

Вычислительная машина (ВМ, компьютер) –это искусственная техническая система, предназначенная для обработки данных под управлением наборов команд.

Непосредственно с понятием ЭВМ связаны, а иногда заменяют его, ругие понятия.

Наиболее часто употребляемые из них:

Процессор–центральный аппаратный блок ЭВМ, непосредственно осуществляющий обработку данных. В настоящее время основным типом процессоров являются цифровые программно управляемые процессоры. Такие процессоры построены на базе цифровых электронных схем и используют для обработки данных методы булевой алгебры и двоичной арифметики.

Вычислительный комплекс (ВК) –несколько ЭВМ, имеющих общие (разделяемые) структурные блоки, например, общую память.

Вычислительная система(ВС) –аппаратно-программная система из нескольких ЭВМ, жестко взаимосвязанных аппаратно и логически, и, обычно, пространственно локализованных. ЭВМ в составе ВС являются неотъемлемыми частями для решения единой задачи.

Вычислительная сеть (ВСТ) –система из нескольких ЭВМ, функционирующих автономно, но связанных между собой каналами передачи данных, которые могут использоваться для обмена данными, для синхронизации работы ЭВМ и для организации совместного решения единой задачи (подобно ВС). ВСТ могут быть пространственно децентрализованными, но также могут быть локализованными, например, в рамках одной электронной платы (NetworkonaBoard) или даже в одной микросхеме (NetworkonaChip).

Понятие архитектуры и организации ЭВМ.

В компьютерной литературе связано (иногда как синонимы, иногда как взаимодополняющие термины) применяются понятия архитектура ЭВМ (computerarchitecture), организация ЭВМ (computerorganization). В ассоциации с этими понятиями используются также термины дизайн (проект) ЭВМ (computerdesign), аппаратное обеспечение (hardware), программное обеспечение различных уровней (software, firmware, middleware) и другие.

Единого признанного определения для понятий архитектура и организация ЭВМ не существует. Многие специалисты используют их как синонимы. Например, одним из сторонников такого подхода является Э. Таненбаум. В других источниках эти термины имеют различающуюся трактовку, что позволяет более детально определять аспекты, проблемы и задачи, решаемые в рамках создания ЭВМ.

Сторонниками такого подхода являются Д.Паттерсон и Д.Хеннеси, В.

Столлингс и многие другие. Кроме того, трактовка одного и того же понятия может различаться в зависимости от того, на каком этапе проектирования ЭВМ используется (разработка архитектуры, моделирование, реализация аппаратуры и программного обеспечения).

В данном курсе эти понятия рассматриваются как различные.

Архитектура и организация ЭВМ в «широком» и «узком» смыслах.

Можно рассматривать две трактовки понятий архитектура и организация ЭВМ (а также связанных с ними терминов): широкая и узкая.

Понятия в широком смысле используются, чтобы описать и регламентировать процесс проектирования ЭВМ, указывают те обязательные аспекты, этапы и задачи, которые должны быть выделены и проработаны при создании ЭВМ/ВС. Это очень важно, чтобы в процессе создания сложных вычислительных систем были выполнены все фазы, в правильном порядке и с правильными приоритетами и ничего не было упущено. В конечном счёте это определяет качество проектирования.

С другой стороны каждое из понятий в широком смысле затрагивает ВСЕ подсистемы и блоки ЭВМ (хотя и на различном уровне детализации), но не фиксируют перечень элементов ЭВМ/ВС и состав проектных документов, которые относятся к спецификациям архитектуры, организации ЭВМ соответственно. То есть они не позволяют сказать: «Описание архитектуры (организации) ЭВМ должно включать то-то, то-то и то-то».

Соответственно их сложно применять в качестве обобщающего регламента для формирования описания ЭВМ. Поэтому для «практических нужд» предложены определения в «узком» смысле.

Понятия в узком смысле нацелены на описание устройства ЭВМ и ее свойств.

Вся жизнь человека так или иначе связана с накоплением и обработкой информации, которую он получает из окружающего мира, используя пять органов чувств – зрение, слух, вкус, обоняние и осязание. Как научная категория «информация» составляет предмет изучения для самых различных дисциплин: информатики, кибернетики, философии, физики, биологии, теории связи и т. д. Несмотря на это, строгого научного определения, что же такое информация, до настоящего времени не существует, а вместо него обычно используют понятие об информации. Понятия отличаются от определений тем, что разные дисциплины в разных областях науки и техники вкладывают в него разный смысл, с тем чтобы оно в наибольшей степени соответствовало предмету и задачам конкретной дисциплины. Имеется множество определений понятия информации – от наиболее общего философского (информация есть отражение реального мира) до наиболее частного прикладного (информация есть сведения, являющиеся объектом переработки).

Первоначально смысл слова «информация» (от лат. *Informatio* – разъяснение, изложение) трактовался как нечто присущее только человеческому сознанию и общению: «знания, сведения, сообщения, известия, передаваемые людьми устным, письменным или другим способом».

Информация не является ни материей, ни энергией. В отличие от них, она может возникать и исчезать.

Особенность информации заключается в том, что проявляется она только при взаимодействии объектов, причем обмен информацией может совершаться не вообще между любыми объектами, а только между теми из них, которые представляют собой организованную структуру (систему). Элементами этой системы могут быть не только люди: обмен информацией может происходить в животном и растительном мире, между живой и неживой природой, людьми и устройствами.

Информация – наиболее важный ресурс современного производства: он снижает потребность в земле, труде, капитале, уменьшает расход сырья и энергии, вызывает к жизни новые производства, является товаром, причем продавец информации не теряет ее после продажи, может накапливаться.

Понятие «информация» обычно предполагает наличие двух объектов – «источника» информации и «приемника» (потребителя, адресата) информации.

Информация передается от источника к приемнику в материально-энергетической форме в виде сигналов (например, электрических, световых, звуковых и т. д.), распространяющихся в определенной среде.

Сигнал (от лат. *signum* – знак) – физический процесс (явление), несущий сообщение (информацию) о событии или состоянии объекта наблюдения.

Информация может поступать в аналоговом (непрерывном) виде или дискретно (в виде последовательности отдельных сигналов). Соответственно различают аналоговую и дискретную информацию.

Понятие информации можно рассматривать с двух позиций: в широком смысле слова – это окружающий нас мир, обмен сведениями между людьми, обмен сигналами между живой и неживой природой, людьми и устройствами; в узком смысле слова информация – это любые сведения, которые можно сохранить, преобразовать и передать.

Информация – специфический атрибут реального мира, представляющий собой его объективное отражение в виде совокупности сигналов и проявляющийся при взаимодействии с «приемником» информации, позволяющим выделять, регистрировать эти сигналы из окружающего мира и по тому или иному критерию их идентифицировать.

Из этого определения следует, что:

- информация объективна, так как это свойство материи – отражение;
- информация проявляется в виде сигналов и лишь при взаимодействии объектов;
- одна и та же информация различными получателями может быть интерпретирована по-разному в зависимости от «настройки» «приемника».

Человек воспринимает сигналы посредством органов чувств, которые «идентифицируются» мозгом. Приемники информации в технике воспринимают сигналы с помощью различной измерительной и регистрирующей аппаратуры. При этом приемник, обладающий большей чувствительностью при регистрации сигналов и более совершенными алгоритмами их обработки, позволяет получить большие объемы информации.

Информация имеет определенные функции. Основными из них являются:

- познавательная – получение новой информации. Функция реализуется в основном через такие этапы обращения информации, как:

– ее синтез (производство)

– представление

– хранение (передача во времени)

– восприятие (потребление)

- коммуникативная – функция общения людей, реализуемая через такие этапы обращения информации, как:

– передача (в пространстве)

– распределение

- управленческая – формирование целесообразного поведения управляемой системы, получающей информацию. Эта функция информации неразрывно связана с познавательной и коммуникативной и реализуется через все основные этапы обращения, включая обработку.

Без информации не может существовать жизнь в любой форме и не могут функционировать любые информационные системы, созданные человеком. Без нее биологические и технические системы представляют груды химических элементов. Общение, коммуникации, обмен информацией присущи всем живым существам, но в особой степени человеку. Будучи аккумулированной и обработанной с определенных позиций, информация дает новые сведения, приводит к новому знанию. Получение информации из окружающего мира, ее

анализ и генерирование составляют одну из основных функций человека, отличающую его от остального живого мира.

В общем случае роль информации может ограничиваться эмоциональным воздействием на человека, однако наиболее часто она используется для выработки управляющих воздействий в автоматических (чисто технических) и автоматизированных (человеко-машинных) системах. В подобных системах можно выделить отдельные этапы (фазы) обращения информации, каждый из которых характеризуется определенными действиями.

Последовательность действий, выполняемых с информацией, называют информационным процессом.

Основными информационными процессами являются:

- сбор (восприятие) информации;
- подготовка (преобразование) информации;
- передача информации;
- обработка (преобразование) информации;
- хранение информации;
- отображение (воспроизведение) информации.

Так как материальным носителем информации является сигнал, то реально это будут этапы обращения и преобразования сигналов.

1.3 Начальные этапы развития: механический этап, машины Чарльза Бэббиджа, электромеханический этап, начало электронного этапа.

Этапы развития вычислительной техники

Ручной этап:

Пальцевой счет в десятичной или двенадцатеричной системе счисления (четыре пальца руки, в каждой по три фаланги - всего двенадцать).

Узелковый счет у народов доколумбовой Америки.

Счет с помощью группировки и перекладывания предметов (предшествовал появлению счет).

Счет на счетах (Абак - первый развитый счетный прибор). Появились в 15 веке. Последняя попытка усовершенствовать счеты путем объединения их с таблицей умножения относится к 1921 году.

Открытие логарифмов и логарифмических таблиц Дж. Непером в начале 17 века и внедрение счетных палочек и счетной доски Дж. Непера.

Механический этап:

Создание вычислительных устройств и приборов, использующих механический принцип вычислений. 1623 г. - первая машина Шиккарда для выполнения арифметических операций над 6-разрядными числами. Она состояла из независимых устройств: суммирующего, множительного и записи чисел.

Построенная в 1642 г. Блез Паскалем, машина механически выполняющая арифметические операции над 10-разрядными числами.

Г.В. Лейбниц сконструировал первый арифмометр в 1673 г. Арифмометры получили широкое распространение, неоднократно модифицировались. К ним можно отнести: арифмометр Томаса (томас-машина), машину Болле, арифмометры Орднера и т.д. В связи с появлением арифмометром появилась профессия - счетчик, т.е. человек считающий на арифмометре. В 1969 г. выпуск арифмометров в СССР достиг максимума (300 тыс.шт.). Полностью их смогли вытеснить только в 70-х годах 20-го века калькуляторы, элементной базой которых стали интегральные схемы.

Попытка в первой половине 19 в. Чарльзом Бэббиджем построить универсальную вычислительную машину (аналитическую). Эта машина должна была использовать программы на п/картах. Бэббидж разработал основные идеи построения аналитической машины,

предназначенной для решения любого алгоритма, с использованием программного принципа управления. Это должна была быть чисто механическая машина, аналогичная ткацкому станку Жаккарда. Однако развитие техники того времени не позволило осуществить данный проект.

Электромеханический этап:

Первый счетно-аналитический комплекс был создан в США в 1887 г. с использованием идей Беббиджа и Джоккарда, Г. Холлеритом (табулятор Холлерита). Он использовался для переписи населения в России (1897 г.), США (1890 г.) и Канаде (1897 г.), для обработки отчетности на железных дорогах США, в крупных торговых фирмах.

В 1941 г. Конрад Цузе построил аналогичную машину, с программным управлением и запоминающим устройством.

В 1944 г. Айкен на предприятии фирмы IBM, с помощью работ Бэббиджа, построил аналитическую машину "МАРК-1" на электромеханическом реле. Скорость вычислений этой машины была в 100-крат быстрее арифмометра с электроприводом. Было создано несколько модификаций этой машины.

В СССР в 1957 г. была построена релейная вычислительная машина (РВМ-1). Это был последний, крупный проект релейной ВТ. В этот период создаются машинно-счетные станции, которые являлись предприятиями механизированного счета.

Электронный этап:

С 1943- 45 г. группа под руководством Мочли и Эккерта в США создает первую ЭВМ ENIAC на основе ЭЛЕКТРОННЫХ ЛАМП. Это была универсальная машина для решения разного рода задач. Эта ЭВМ превосходила производительностью машину МАРК-1 в 1000 раз и была больше неё в 2 раза (вес- 30 т.). ENIAC содержала 18000 электронных ламп, 150 реле, 70000 резисторов, 10000 конденсаторов, потребляя мощность в 140 кВт. Но у нее не было памяти и для задания программы надо было соединить определенным образом провода.

Этап	Период развития
Ручной	не установлен
Механический	с середины XVII в
Электромеханический	с 90-х годов XIX в
Электронный	с 40-х годов XX в

В 1945 г. Джон фон Нейман разработал общие принципы построения цифровой вычислительной машины, которые до сих пор используются в современных ПК.

Согласно этим принципам Джона фон Неймана, компьютер должен иметь:

- арифметическо - логическое устройство, выполняющее арифметические и логические операции;
- устройство управления, которое организует процесс выполнения программ;
- запоминающее устройство, или память для хранения программ и данных;
- внешнее устройство для ввода-вывода информации

Машины Чарльза Бэббиджа

В ходе промышленной революции XVIII-XIX вв. появились и стали широко использоваться бумажные ленты с отверстиями — перфоленты и листы из плотного картона с отверстиями — перфокарты (рис. 5.2), которые являются разновидностями долговременных носителей информации.

С помощью определенных комбинаций отверстий на перфолентах и перфокартах задавался конкретный план работы различных устройств. Характерным примером такого рода устройств является ткацкий станок, изобретенный Жозефом Жаккаром во Франции в 1801-1808 гг. Наличие или отсутствие отверстия в перфокарте, управлявшей работой станка, заставляло

подниматься или опускаться нить при одном ходе челнока. Станок Жаккара был первым массовым промышленным устройством, автоматически работающим по заданному плану.



Рис. 2. Перфокарта и перфолента

После появления автоматических ткацких станков естественным образом должна была возникнуть мысль о том, что машине можно поручить не только изготовление тканей. По-видимому, можно попытаться поручить ей и арифметические вычисления, потребность в выполнении которых в связи с бурным ростом мореплавания была в то время очень велика. Такая мысль возникла у английского математика, профессора Кембриджского университета Чарльза Бэббиджа. В 1822 г. он опубликовал статью с описанием так называемой разностной машины, предназначенной для автоматического вычисления и печати таблиц математических функций, используемых в морской навигации. Позже эта машина была построена и довольно долго и успешно работала. Фактически разностная машина «умела» выполнять только один алгоритм табулирования (то есть построения таблицы значений) полиномов до 4-й степени методом конечных разностей с точностью до 15 десятичных знаков.

Затем Бэббидж начал работать над проектом машины, которую впоследствии стали называть аналитической. По замыслу Бэббиджа, эта машина должна была «уметь» самостоятельно решать произвольные задачи с привлечением всех арифметических операций.

Эта идея полностью исключала участие человека в вычислительном процессе, сводя его роль к подготовке необходимых числовых данных и, как и в случае с ткацким станком Жаккара, составлению плана выполнения вычислений, зафиксированного в некоторой специальной форме на перфокарте. Собственно процесс обработки информации должен был выполняться автоматически по заданной программе. Первый эскиз этой машины появился в 1834 г.

Машина Бэббиджа должна была содержать «склад», то есть память, из 1000 ячеек по 50 десятичных разрядов в каждой, вычислительное устройство — «мельницу», по терминологии Бэббиджа, а также устройство ввода обрабатываемых данных, которые планировалось хранить на перфокартах, и устройство вывода результатов на печать и на перфоратор. Программа обработки данных также должна была считываться с перфокарт.

Несмотря на несколько десятилетий работы и затраченные усилия, Бэббиджу не удалось реализовать свою идею, в основном из-за несовершенства технической базы того периода. Точность, с которой нужно было изготавливать детали этой машины, в то время была еще недостижима.

Опередивший свое время проект машины Бэббиджа содержал все основные компоненты вычислительных машин, появившихся почти через столетие после его работ. Основные идеи Бэббиджа не были забыты, они сыграли важную роль в дальнейшем развитии средств обработки информации.

Электромеханический этап

Следующий этап в развитии средств вычислений связан с использованием так называемых табуляторов (от лат. *tabula* — доска, таблица), которые представляют собой устройства для считывания и простейших видов обработки данных, нанесенных на перфокарты. Отличительной особенностью табулятора является неизменность алгоритма обработки данных, который определяется его конструкцией.

Первый табулятор был создан Германом Холлеритом в 1887 г. Основой этого устройства являлись простейшие электромеханические реле (см. 3.2.1), которые составляли элементную базу вычислительных устройств в течение последующих 50-60 лет.

Табуляторы широко использовались для выполнения расчетов статистического характера, например для проведения переписи населения в конце XIX в. в США, Канаде, России и в некоторых других странах. Для производства табуляторов

Г. Холлерит в 1897 г. организовал фирму *Tabulating Machine Company* (компания по производству табуляторов), которая впоследствии преобразовалась в фирму *IBM* (от *International Business Machines corporation* — корпорация «Международные коммерческие машины»). В настоящее время эта компания является одним из мировых лидеров в сфере компьютерного производства.

В 30-х гг. XX в. в разных странах начались разработки принципиально иных устройств — программно-управляемых релейных вычислительных машин. Одна из первых таких машин под названием *Z-3* была создана Конрадом Цузе в Германии в 1939-1941 гг. В ее конструкцию входило 2600 реле. Она могла «помнить» до шестидесяти четырех двадцатидвухбитовых чисел. В машине *Z-3* использовалась одноадресная система команд. Сложение выполнялось за 0,3 с, а умножение — за 5 с. Предусматривались клавишный ввод данных и вывод результатов на световое табло.

Однако возможности и этой, и созданной позднее более совершенной модели *Z-4* по составлению программ были довольно скромными. В частности, не было возможности осуществлять программный выбор одного из нескольких возможных вариантов действий

1.4 Архитектура фон Неймана и Гарварда. Понятие такта. Вентили и комбинационные схемы. Схема памяти на базовых вентилях.

Интегральные схемы.

Архитектура микропроцессора. Основные понятия

Под архитектурой МП понимают принцип его внутренней организации: общую структуру, логическую структуру отдельных устройств, совокупность команд и принципы взаимодействия аппаратной части и программы обработки информации.

Иначе: архитектура — математическая модель МП, образованная программно-доступными элементами МП. Архитектура МП отражает возможности прикладного использования МП и содержит описание программной модели МП. Под программной моделью микропроцессора принято понимать совокупность программно-доступных регистров, объединенных в систему укрупненными связями и дополнительными элементами, обеспечивающими функциональную законченность модели.

Полностью понятие архитектура МП включает:

- структурную схему МП,
- программную модель МП,
- описание организации памяти,
- описание организации процедур ввода/вывода.

Различают два базовых типа архитектуры МП — фон Неймановскую (принстонскую) и гарвардскую.

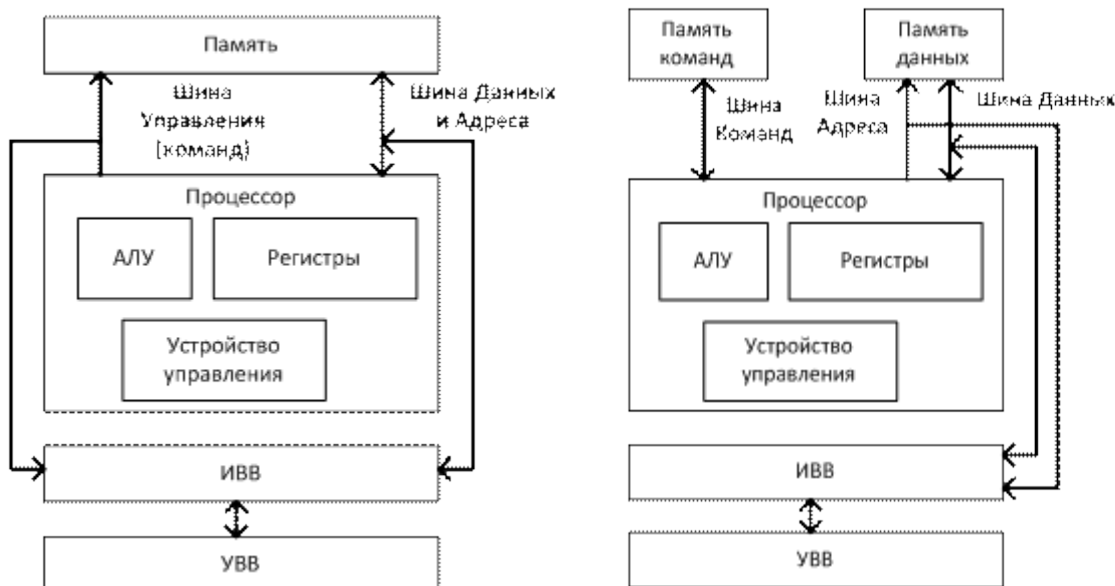


Рисунок 2.- Фоннеймановская архитектура Гарвардская архитектура

Фон Неймановская (принстонская) архитектура (предложена Джо фон Нейманом в 1945 г.) предполагает, что программа и данные находятся в общей памяти, доступ к которой производится по одной шине данных и команд. Основным достижением группы инженеров, работавших с Джоном фон Нейманом, было осознание того факта, что программа может храниться в памяти вместе с данными. Основным преимуществом такого подхода является его гибкость, так как для изменения программы достаточно просто загрузить новый код в соответствующую область памяти. По существу, фон-неймановская архитектура, показанная на рис., состоит из центрального процессора (ЦПУ), памяти и общей шины (магистральной), по которой в обоих направлениях пересылаются данные. ЦПУ также должен взаимодействовать и с окружающим миром. При этом данные к/от соответствующих интерфейсных портов передаются по одной общей шине данных.

Огромным преимуществом фон-неймановской архитектуры является ее простота, в связи с этим данная концепция легла в основу большинства компьютеров общего назначения. При этом использование общей шины означает, что в любой момент времени может выполняться только одна операция. Соответственно, пересылка данных между ЦПУ и памятью данных не может осуществляться одновременно с выборкой команды. **Эта особенность принято называть фон-неймановским узким местом.**

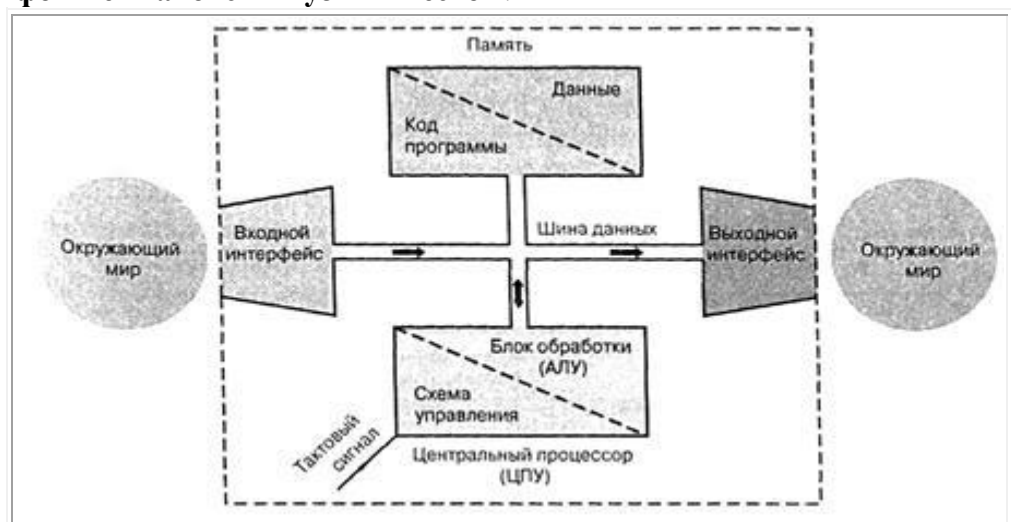


Рисунок 3. – Элементарная фон-неймановская машина (шина адреса не показана)

Гарвардская архитектура (реализована в 1944 г. в ЭВМ Гарвардского университета)

соответствует структуре с разделенными устройствами памяти команд и данных и отдельными шинами команд и данных.

В первое послевоенное десятилетие в Гарвардском университете было создано несколько компьютеров семейства "Марк", в которых память программ была полностью отделена от памяти данных (программа считывалась с бумажной перфоленты). Такая концепция была более эффективной, чем фон-неймановская (принстонская) архитектура, поскольку код программы мог считываться из памяти программ одновременно с обменом между ЦПУ и памятью данных или с операциями ввода/вывода. При этом такие машины были намного сложнее и дороже в изготовлении. А с учетом уровня технического развития 40 - 50-х годов, высоких экономических затрат, они не получили широкого распространения. При этом с развитием больших интегральных схем и технологии гарвардская архитектура снова оказалась в центре внимания.

Комбинационные схемы. Основные понятия

Комбинационной схемой (КС) называется схема из логических (переключательных) элементов, реализующая булеву функцию или совокупность булевых функций. В общем случае КС можно представить схемой, приведенной на рис. 1, где x_1, x_2, \dots, x_n -- входы КС, f_1, f_2, \dots, f_m -- ее выходы.

Под логическим (переключательным) элементом чаще всего понимают техническое устройство, реализующее одну элементарную булеву функцию.

Прикладная теория цифровых автоматов не рассматривает физические явления, лежащие в основе разработки и функционирования логических элементов. Обычно логический элемент понимается как «черный ящик» и учитывается только реализуемая элементом булева функция. Примеры логических элементов ИЛИ -- НЕ, И -- НЕ, реализующих соответствующие булевы функции двух переменных, представлены на рис. 2.

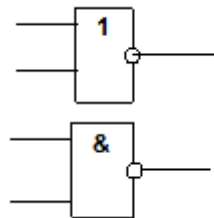


Рисунок 3. Комбинационная схема

Под глубиной (числом уровней) КС понимается максимальное число логических элементов, расположенных на пути следования сигнала от входов КС к ее выходу. Глубина КС оказывает существенное влияние на быстродействие КС, так как каждый логический элемент обладает внутренней задержкой распространения сигнала. Одно- и двухуровневые КС обладают максимальным быстродействием. Однако они не всегда могут быть использованы, поскольку число входов реальных логических элементов в интегральном исполнении ограничено.

Если КС реализует одну булеву функцию, то она называется одновыходовой КС (рис. 4). Если КС реализует совокупность булевых функций, то она называется многovýchодовой КС.

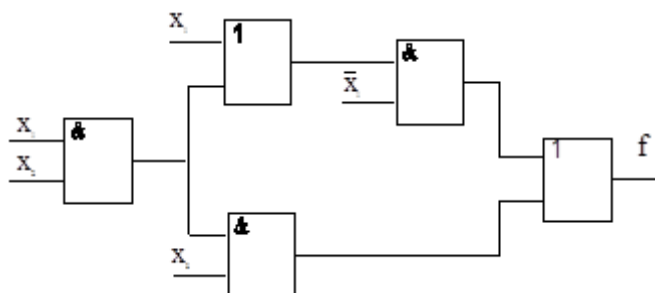


Рисунок 4.-многовыходовой КС

Комбинационным схемам соответствуют схемы без обратных связей (под обратной связью понимается соединение выхода некоторого логического элемента со своим входом, возможно, через цепочку других логических элементов (рис. 5)).

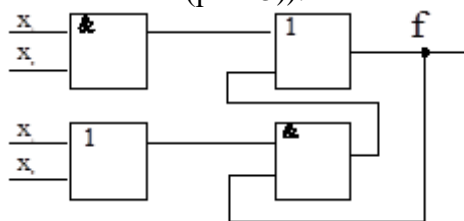


Рисунок 5.-соединение выхода со своим входом, через цепочку других логических элементов

Логические элементы, используемые для построения КС, характеризуются определенными техническими параметрами, среди которых наиболее важные коэффициент объединения по входу I ; коэффициент объединения по выходу U (коэффициент разветвления) и задержка сигнала τ в логическом элементе.

Система функций, реализуемая выбранной для синтеза схем совокупностью логических элементов, всегда должна быть функционально полной, т. е. допускать реализацию любой булевой функции на основе принципа суперпозиции. Если в качестве системы функций выбраны функции И, ИЛИ, НЕ, то считают, что реализован булев базис. Проектирование КС в булевом базисе наиболее просто, так как методы минимизации булевых функций в основном ориентированы на него. Поэтому, как правило, на первом этапе КС проектируется в булевом базисе с последующим переходом в заданный базис. Если выбраны функции И-НЕ или ИЛИ-НЕ, то считают, что реализуется универсальный или монофункциональный базис. Для удобства проектирования в различных системах элементов возможна реализация и смешанного базиса.

Конструктивно логические элементы объединяются в единые корпуса -- интегральные микросхемы (ИМС). В общем случае, под интегральной микросхемой понимается микроэлектронное изделие, имеющее высокую плотность упаковки элементов и соединений между ними; при этом все элементы выполнены нераздельно и электрически соединены между собой таким образом, что с точки зрения спецификации, испытаний, поставки и эксплуатации изделие рассматривается как единое.

Число логических элементов, объединяемых в один корпус ИМС, характеризует степень интеграции логических элементов. Степень интеграции влияет на надежность, габаритные размеры, энергопотребляемость проектируемых КС. Различают ИМС малой, средней, большой и сверхбольшой степени интеграции.

В настоящее время используются: до 100 000 вентилей -- БИС, более 100000 вентилей--СБИС.

Коэффициент объединения I по входу логического элемента ИМС задает максимальное число логических элементов, выходы которых могут быть объединены на входе данного элемента.

Коэффициент объединения U по выходу (коэффициент разветвления) логического элемента ИМС задает максимальное число входов логических элементов, которые могут быть соединены с выходом данного логического элемента без нарушения режима его работы.

Если некоторый логический элемент КС оказался перегруженным по выходу (после окончания проектирования КС), то необходимо произвести эквивалентное преобразование структуры КС с целью его разгрузки. Это преобразование сводится либо к введению в КС специальных усилителей-формирователей, либо к дублированию данного логического элемента.

Задержка τ логического элемента характеризует промежуток времени между моментами установления сигналов на входах и выходах логического элемента. Распространение сигнала по КС в зависимости от задержек логических элементов, через которые он проходит, характеризует быстродействие КС. Прохождение сигналов по различным путям в КС вызывает появление различных задержек, что может послужить причиной неустойчивого функционирования КС.

Современные средства вычислительной техники собираются из ИМС, типовых как по физическим принципам функционирования, так и по выполняемым логическим функциям. Основные требования к комплекту ИМС следующие:

- 1) ИМС комплекта должны обеспечивать возможность построения различных устройств и систем обработки цифровой информации;
- 2) число различных типов ИМС должно быть оптимальным, чтобы обеспечивалась простота эксплуатации сложных систем и взаимозаменяемость их частей;
- 3) в комплекте должны быть предусмотрены ИМС, которые не выполняют логических функций, а согласуют нагрузочные характеристики логических элементов и обеспечивают формирование электрических сигналов;
- 4) ИМС комплекта должны быть технологичными в изготовлении и удобными для проверки их электрических параметров;
- 5) комплект ИМС должен быть функционально полным;
- 6) комплект ИМС должен содержать специальные ИМС, предназначенные для построения управляющих цепей, запоминающих устройств, цепей связи запоминающих и логических устройств, согласования электромеханических устройств (реле, переключателей, механизмов перфорации и печати) и логических устройств, связи различных устройств с устройствами ввода-вывода информации, индикации информационных состояний и генерации высокостабильных тактовых сигналов.

В процессе реализации конкретных схем решаются задачи обеспечения необходимых характеристик надежности. В общем случае эти характеристики могут быть рассчитаны, исходя из надежностных характеристик элементов и конкретной схемы (это касается не только комбинационных схем). В тех случаях, когда расчетная надежность не удовлетворяет исходным требованиям, применяются специальные методы повышения надежности. Среди них наиболее интересными, с точки зрения теории цифровых автоматов, являются методы контроля работы схем с использованием помехоустойчивых кодов.

Таким образом, на этапе структурного синтеза решается задача построения комбинационной схемы, реализующей заданную совокупность булевых функций и удовлетворяющей заданным требованиям быстродействия и надежности.

Контрольные вопросы

1. Какие базовые знания нужны для изучения дисциплины?
2. Каковы современные тенденции развития средств вычислительной техники?
3. Чем отличается компьютер от других устройств, обеспечивающих обработку информации?
4. Чем отличается электронно-вычислительная машина от компьютера?
5. Что называется вычислительной системой?
6. Дайте определения понятий «аппаратные ресурсы» и «программные ресурсы».
7. Что представляет собой сообщение? Чем отличается сообщение от информации?
8. Что может быть использовано в качестве носителя сообщений?
9. Приведите примеры сигналов и их возможных параметров. Чем отличается непрерывный сигнал от дискретного?
10. Что представляет собой дискретное сообщение?
11. Поясните смысл терминов «знак», «символ», «алфавит».
12. Что понимается под термином «данные»?
13. Почему в компьютерах для представления данных и программ используется двоичная система счисления?
14. Что представляет собой машинный код?
15. Дайте определение понятия «архитектура компьютера».
16. Перечислите основные группы устройств компьютера и охарактеризуйте их назначение.
17. Что называется интерфейсом?

18. Что представляет собой бит? Перечислите его функции. Как он может быть реализован?
19. Что такое байт? Перечислите его функции. Чем байт отличается от ячейки?
20. Поколения ЭВМ.
21. Классификация ЭВМ
22. Обработка информации
23. Обоснуйте тезис о необходимости широкого использования параллелизма в компьютерных системах.
24. Чем отличается собственно параллелизм от конвейеризации?
25. Охарактеризуйте отличительные особенности механического этапа в развитии вычислительных систем.
26. Опишите возможности и характерные особенности машин Бэббиджа.
27. Охарактеризуйте отличительные особенности электромеханического этапа в развитии вычислительных систем.
28. Охарактеризуйте отличительные особенности начального периода электронного этапа в развитии вычислительных систем.
29. Изложите базовые принципы организации вычислительных систем, выдвинутые фон Нейманом.
30. Изобразите структурную схему машины фон Неймана.
31. Опишите принцип действия памяти на ртутных линиях задержки.
32. Опишите принцип действия памяти на ферритовых кольцах.
33. Чем отличается разрядно-последовательная обработка кодов от разрядно-параллельной?

2. Развитие архитектуры и параллелизм вычислений.

2.1 Параллелизм в архитектуре начального периода: Параллельная обработка разрядов кода, совмещение во времени работы нескольких устройств, направления дальнейшего развития параллелизма.

Целью развития вычислительных машин всегда было (да, наверно, и будет) улучшение эффективности обработки данных, выражающееся в повышении скорости обработки и увеличении объема обрабатываемых данных. Одновременно с этим разработчики добивались повышения надежности и уменьшения стоимости компьютеров, а также обеспечения удобства и упрощения работы пользователей.

В процессе развития вычислительных систем этот комплекс требований удовлетворялся за счет применения различных физических принципов хранения и обработки информации, а также усовершенствования технологий производства аппаратуры. Это приводило к желаемому повышению надежности и быстродействия отдельных устройств, росту емкости памяти, а также к уменьшению стоимости компьютеров. Кроме того, происходило уменьшение габаритов компьютеров, расширялись области использования компьютерных технологий обработки данных, упрощалось взаимодействие человека и компьютера. Одновременно с развитием аппаратных средств совершенствовались средства и методы разработки эффективного и надежного программного обеспечения.

Вместе с тем уже довольно давно стало ясно, что рано или поздно этот путь приведет к невозможности дальнейших улучшений в рамках используемого физического принципа работы компьютера. К настоящему времени возможности увеличения производительности отдельно взятого компьютера подходят к своим естественным границам, которые определяются конечностью скорости света и некоторыми другими физическими ограничениями.

Выход был найден в широком использовании параллелизма, который, по-видимому, является единственным способом дальнейшего роста производительности вычислительных систем, базирующихся на электронных устройствах.

В информатике параллелизмом называется одновременное выполнение различными устройствами или различными частями одного и того же устройства каких-либо действий по обработке информации.

В приведенном ранее общем понятии параллелизма главным является одновременная работа нескольких устройств. При этом не уточняется характер выполняемых действий по обработке информации. Это уточнение приводит к выделению собственно параллелизма, когда несколько устройств одновременно выполняют различные команды одной и той же или разных программ, и конвейеризации, когда несколько одновременно работающих устройств последовательно выполняют одну сложную операцию и при этом на разных этапах обработки одновременно находится несколько операций.

Отметим, что конвейером (от *convey* — транспортировать) в промышленности называется непрерывно или периодически движущееся транспортное устройство для сборки машин, обработки какого-либо материала и т. д. с последовательным выполнением отдельных этапов несколькими одновременно работающими исполнителями (людьми, автоматами). Конвейер широко используется для повышения эффективности производства, так как каждый исполнитель, специализируясь на выполнении отдельной простой операции, выполняет ее быстрее, чем это делает один исполнитель, последовательно выполняющий разные операции.

Одновременное выполнение несколькими специализированными устройствами различных этапов различных операций (команд, действий и т. д.), при котором этапы одной операции выполняются этими устройствами последовательно, называется конвейеризацией.

Для собственно параллельной работы требуется несколько универсальных устройств, которые одновременно выполняют несколько сложных действий, при этом каждое универсальное устройство выполняет все этапы одного действия. Для конвейерной обработки

нужно несколько более простых специализированных устройств, также работающих одновременно, при этом каждое из них выполняет один и тот же этап разных действий.

Чтобы лучше понять разницу между собственно параллелизмом и конвейеризацией, рассмотрим бытовую аналогию. Пусть имеется бригада строительных рабочих, которой поручено построить несколько домов. Понятно, что четыре таких же бригады, работая одновременно, должны построить эти же дома в четыре раза быстрее, чем одна бригада (разумеется, при наличии для работы всех необходимых условий).

Организовать одновременную (параллельную) работу нескольких бригад можно по-разному. Собственно параллельной является такая организация, когда каждая бригада выполняет все работы на строительстве одного и того же дома от начала до конца. Таким образом, четыре бригады одновременно построят четыре дома.

С другой стороны, можно выделить четыре специализированные группы, одна из которых готовит фундамент, другая одновременно кладет стены другого здания, третья в это же время делает крышу на третьем, а четвертая выполняет окончательную отделку на четвертом. Тогда на строительстве дома будут последовательно заняты все четыре бригады, которые по конвейеру выполняют свои операции. Преимущество конвейерной организации по сравнению с собственно параллельной в том, что узкая специализация повышает производительность каждой бригады. При этом каждый работник может иметь более низкую квалификацию, так как ему не приходится выполнять все разновидности работ. В реальных строительных организациях всегда применяется конвейерная система.

В архитектуре компьютеров широко применяются и собственно параллелизм, и конвейеризация. В последнем случае преимущества возникают из-за упрощения устройства каждого специализированного узла, которые, следовательно, могут работать быстрее, чем универсальные, а значит, более сложные и медленные устройства.

Далее во второй части учебника кратко прослеживаются основные этапы развития архитектуры вычислительных систем, акцент делается на повышении их производительности и организации параллельных вычислений. При этом производительность (мощность) компьютера в первом приближении оценивается с помощью скорости обработки данных, которая задается либо тактовой частотой процессора, либо количеством выполняемых им за одну секунду арифметических операций

Параллельная обработка разрядов кода

Оперативная память у машин EDSAC и EDVAC реализована на ртутных линиях задержки, которые представляют собой тонкие герметичные металлические трубки с парами ртути внутри (рис. 5.5). На концах трубки находятся кристаллы кварца.

По своим функциям они похожи на мембраны в телефонных аппаратах: один из кристаллов играет роль передающего, а другой — принимающего. К передающему кристаллу подсоединяется электрическое устройство, создающее колебания. Они, в свою очередь, возбуждают упругие колебания в парах ртути, которые с определенной временной задержкой доходят до другого конца трубки и заставляют колебаться приемный кристалл. Его колебания преобразуются в электрические импульсы и по цепочке обратной связи вновь подаются на передающий кристалл. Получается замкнутый контур, который в динамическом режиме сколько угодно долго сохраняет поступившие в трубку импульсы

Биты, которые нужно сохранить в памяти, подаются в виде электрических импульсов на передающий кристалл. Замкнутый контур памяти принимает их и сохраняет в описанном ранее динамическом режиме. При необходимости выполнить чтение информация снимается с линии обратной связи, как показано на рис. 5.5.

По сравнению с реализацией памяти в виде триггеров на электронных лампах, такая система отличается большей плотностью хранения данных. Например, трубка длиной 1 м может сохранять до тысячи бит. Если на этой же площади разместить ламповые триггеры, то в них можно сохранить только десятки бит. Кроме того, память на ртутных линиях задержки дешевле,

чем ламповая память. Поэтому на ламповых триггерах были реализованы только самые ответственные узлы этих машин, в том числе их арифметико-логические устройства.

Однако память на ртутных линиях допускает только последовательную выборку записанных в нее битов. Следовательно, сложение, а также другие операции могут выполняться только поразрядно. Например, для сложения 16-битовых чисел требуется не менее 16 тактов работы процессора. Такая архитектура считается разрядно-последовательной.

Направления дальнейшего развития параллелизма

По мере накопления опыта конструирования и эксплуатации вычислительных систем фон-неймановской архитектуры специалисты осознавали ее недостатки и искали пути преодоления присущих ей ограничений. Выдающийся ученый и конструктор вычислительной техники академик С.А. Лебедев в докладе на сессии Академии наук СССР в 1957 г. сформулировал принципиальные положения, во многом предвосхитившие дальнейшие направления развития архитектуры вычислительных систем. Вот некоторые идеи Лебедева по развитию параллелизма в ЭВМ, представленные в виде выдержек из его доклада.

- «Нужно отказаться от стандартной схемы выполнения команды, когда выборка очередной команды заканчивается только после отсылки результата в оперативную память. Выполнение арифметических операций в значительной мере может быть совмещено во времени с обращениями в оперативную память. Нужно выполнять текущую команду и параллельно выбирать следующую, осуществляя опережающий просмотр команд. Вызов операндов очередной команды можно совместить во времени с отсылкой на хранение результатов выполнения предыдущей команды».
- «Вычисления можно ускорить, если организовать выборку команд и данных по нескольким направлениям, трактам, каналам, линиям связи».
- «Для уменьшения влияния самого существенного фактора — времени обращения к оперативной памяти, следует включить в состав ЭВМ сверхбыструю (курсив мой. — А. Я.) память относительно небольшого объема, которая должна стать промежуточным звеном между процессором и оперативной памятью. Заполнение этой памяти из оперативной должно производиться одновременно с вычислениями».
- «Следует включить в состав ЭВМ несколько одновременно работающих арифметико-логических устройств, каждое из которых имеет собственную сверхбыструю память и собственное устройство управления, а также общую для всех оперативную память и устройство управления для всей машины в целом».
- «Нужно организовать параллельную работу нескольких процессоров в одной машине, а также нескольких машин, объединенных общим устройством управления и линиями связи для обмена данными».

Эти идеи в том или ином виде реализовывались в архитектуре разрабатываемых в разных странах мира компьютеров. В следующих разделах учебника обсуждаются подробности реализации предложений Лебедева в дальнейших разработках вычислительных систем

2.2 Оценка производительности вычислительных систем.

Ранее в качестве приближенной меры производительности (мощности) вычислительных систем мы использовали две важные характеристики: тактовую частоту центрального процессора и объем оперативной памяти.

Подобный подход не плохо работал в вычислительных машинах, в которых не было многоуровневого кэша, конвейеров, «хитрых» методов улучшения загрузки конвейера, суперскалярных процессоров и т. д. Но дальнейшее развитие архитектуры компьютера показало, что ситуация с измерением мощности компьютера далеко не так проста.

Проиллюстрируем это замечание наглядным примером, взятым из В.5.1 приведены данные машины EDSAC, считающейся первой машиной первого поколения (год выпуска 1949):

тактовая частота 0,5 МГц, производительность 100 арифметических операций в секунду. Центральные процессоры вычислительной системы Hewlett-Packard Superdome в 2002 г. работали на частоте 770 МГц, а ее производительность оценивалась в 192 млрд, арифметических операций в секунду. То есть тактовая частота выросла «всего» в 1540 раз, в то время как производительность увеличилась почти в 2 миллиарда раз. «Дополнительный» прирост обеспечен не улучшением физических характеристик процессора и других центральных устройств компьютера, а широчайшим внедрением параллелизма и сопутствующих архитектурных решений, развитием математических и алгоритмических методов, а также соответствующего программного обеспечения.

Тщательный анализ показывает, что производительность вычислительной системы зависит от множества факторов, в том числе:

- скоростных характеристик и разрядностей системы шин компьютера;
- скоростных характеристик и объема внешних запоминающих устройств, особенно магнитных дисков;
- устройств, обеспечивающих обмен данными между входящими в вычислительную систему процессорами;
- возможностей используемой операционной системы, ее «умения распорядиться» возможностями аппаратуры, а особенно того, как организована параллельная работа центральных процессоров;
- «умения» трансляторов подготовить машинный код программы к исполнению в параллельной среде — на нескольких функциональных блоках, конвейерах, процессорах и т.д.;
- возможностей организации параллельного исполнения программы, имеющих-ся в используемых языках программирования;
- мощности применяемых алгоритмических и математических методов, того, насколько удачным оказался выбранный способ распараллеливания задачи, то есть способ выделения участков, предназначенных для одновременного, параллельного исполнения на нескольких процессорах или компьютерах вычислительной системы;
- степени соответствия имеющихся аппаратных средств и выбранного способа распараллеливания;
- и наконец, совсем уже плохо контролируемого фактора — от возможностей распараллеливания, которые заложены в «природу» самой решаемой задачи.

В связи с наличием такого огромного количества факторов, влияющих на производительность вычислительной системы, и настоящей необходимостью каким-то образом все-таки ее оценивать, в настоящее время используется несколько способов указания мощности компьютеров. Если отбросить детали, таких способов всего три:

- оценка с помощью тактовой частоты;
- оценка с помощью указания количества операций, выполняемых в единицу времени;
- тестирование на специально отобранных программах

2.3 Оценка производительности тактовой частотой.

Тактовая частота используется как характеристика процессора в тех случаях, когда требуется только приблизительная оценка мощности, например для описания персональных компьютеров, применяющихся для решения офисных задач, для развлечений и в других целях.

Чем выше тактовая частота, тем быстрее выполняются команды, тем большее количество команд в единицу времени выполняет процессор, тем выше его производительность. Применение тактовой частоты для оценки мощности облегчается тем, что это довольно легко измеряемый и воспринимаемый параметр. В случае многопроцессорных

систем тактовая частота используется как дополнительная характеристика отдельного процессора, входящего в систему.

Использовать тактовую частоту для реального представления о производительности компьютера сложно, так как нужно дополнительно знать множество факторов, например среднее количество тактов, приходящихся на одну машинную команду, количество ступеней конвейера, количество функциональных блоков в суперскалярном процессоре, параметры всех уровней кэша и т. д. Одновременный учет всех этих факторов — довольно сложная задача. Особенно слабое представление дает тактовая частота о производительности многопроцессорных вычислительных систем.

2.4 Пиковая и реальная производительность. Единицы MIPS. Единицы Flops.

Пиковая и реальная производительность

Для многих способов оценки различают пиковую (от peak — высшая точка) и реальную производительность вычислительной системы. Пиковая производительность представляет собой полученную теоретическим путем верхнюю оценку мощности вычислительной системы, а реальная производительность определяется экспериментальным путем, во время выполнения реальных программ.

Пиковую производительность рассчитывают в предположении, что при выполнении программы все устройства компьютера работают на максимальном уровне своих возможностей. К пиковой производительности можно подойти довольно близко, но достичь ее в реальных условиях невозможно. Пиковая производительность для любой вычислительной системы рассчитывается однозначно, однако она слабо связана с конкретными показателями, которые могут быть достигнуты для конкретных задач: одних задачах это может быть 90 % процентов от пиковой, а на других — только 5-10 %.

Единицы MIPS

Для более точной характеристики мощности вычислительных систем используется подход, основанный на указании количества машинных команд, выполняемых системой в единицу времени. Отметим, что эту характеристику можно использовать и для оценки производительности многопроцессорных машин, если учитывать количество команд, выполняемых всей системой.

В этом подходе оценка производительности вычислительных систем производится в единицах MIPS (от Million Instructions Per Second — миллион машинных команд в секунду), в которых мощность компьютера равна отношению количества выполненных машинных команд (инструкций) ко времени их выполнения. Отличие этого способа оценки производительности в том, что в расчетах не различают формат данных, над которыми выполняет действие центральный процессор, то есть используется реальная смесь команд программы, состоящая из действий и над целочисленными, и над вещественными данными. Очевидное удобство этого способа — в его простоте и интуитивной понятности.

Основной недостаток использования единиц MIPS — в том, что результат зависит от системы команд процессора. Поэтому сложно сравнивать производительности компьютеров с разными системами машинных команд. Кроме того, известно, что различные команды выполняются процессором за разное время, а разные программы содержат «быстрые» и «медленные» команды в различных пропорциях. Следовательно, при выполнении на одном и том же компьютере разных программ можно получить разные оценки его производительности, что также препятствует широкому использованию этого показателя

Единицы Flops

Альтернативной единицей измерения производительности вычислительных систем являются флопы, или единицы Flops (от Floating point operation per second — операции с

плавающей точкой в секунду). В этом случае производительность системы равна отношению количества операций над вещественными данными (в формате с плавающей точкой) ко времени их выполнения.

В современных условиях более часто используются кратные единицы: мегафлопы ($1 \text{ Mflops} = 10^6 \text{ Flops}$), гигафлопы ($1 \text{ Gflops} = 10^9 \text{ Flops}$), терафлопы ($1 \text{ Tflops} = 10^{12} \text{ Flops}$).

Эта единица измерения отличается от предыдущей двумя особенностями. Во-первых, при измерении в единицах Flops учитываются только операции над вещественными данными, а во-вторых, в оценке участвуют не машинные команды процессора, а выполненные операции над вещественными числами. Разница в том, что одна операция над вещественными числами (например, умножение или извлечение квадратного корня) может быть задана различными последовательностями машинных команд. Количество операций над вещественными числами зависит только от решаемой задачи и не зависит от реализующей ^вычисления машинной программы. Поэтому измерение в единицах Flops более объективно отражает производительность компьютера.

К сожалению, вне операций над вещественными данными эта система оценки производительности неприменима, так как для программ, слабо, использующих или вообще не использующих вычисления с вещественными данными (например, для программ-компиляторов), показатель производительности в единицах Flops оказывается очень малым.

У этого способа, так же как и у предыдущего, имеется недостаток, проявляющийся в существенной зависимости производительности системы от выполняемой программы. Как и в предыдущем случае, это объясняется различным соотношением между «быстрыми» и «медленными» операциями, но теперь уже не в программе, а в решаемой задаче. Кроме того, для программ с короткими циклами, когда все команды цикла могут одновременно находиться в кэше, производительность машины оказывается выше, чем для программы с циклами, в которых приходится обращаться к оперативной памяти. А для программ, в которых можно организовать много параллельных ветвей, например для программ, работающих с матрицами, производительность многопроцессорной системы окажется существенно выше, чем ее же производительность во время выполнения программы, не допускающей распараллеливания.

2.5 Тесты LINPACK. Ливерморские циклы. SPEC и другие тесты.

Тесты UNPACK

Из-за отмеченных недостатков единиц MIPS и Flops для сравнения производительности компьютеров было предложено использовать в качестве критерия время выполнения специально подобранной эталонной программы или же связанные с этим временем показатели.

Программы, на которых осуществляется тестирование, иногда называют бенчмарками (от bench-mark — отметка уровня). К настоящему времени создано довольно много различных тестовых и эталонных программ.

Одной из наиболее известных систем оценки является тест LINPACK, представляющий собой пакет программ на языке Фортран, предназначенных для решения систем линейных алгебраических уравнений больших размерностей (до нескольких миллионов неизвестных) с плотной матрицей методом Гаусса с выбором главного элемента. Имеется несколько разновидностей этого теста, например LINPACK TPP (от Toward Peak Performance — направляющийся к пиковой производительности) и HPL (от High-Performance LINPACK — высокопроизводительный LINPACK).

Для проведения тестирования формируется некоторая система линейных уравнений максимально возможной для имеющегося объема размерности и измеряется время ее решения на тестируемой вычислительной системе. Количество операций с вещественной точкой K , которые должны быть выполнены для получения решения, равно $K = 2\gamma^3/3 + 2\gamma^2$, оно однозначно зависит от заданной размерности матрицы γ , поэтому дальнейшая оценка производительности в единицах Flops не вызывает затруднений.

В настоящее время тесты LINPACK используются для определения списка Top500 — пятисот самых мощных вычислительных систем мира. Этот список можно найти в Интернете по адресу <http://www.top500.org>. На рис. 14.1 приведен фрагмент списка по состоянию на июнь 2005 г. В нем указываются занятое место (Rank), страна и год разработки (Country/Year), название компьютера и производитель процессора (Computer/Processor Manufacturer), максимальная и пиковая производительность в гигафлопах.

Ливерморские циклы

В тестировании вычислительных систем по методике LINPACK происходит проверка скоростных характеристик системы только на одном (и при этом очень узком) классе задач. В реальности встречается несравненно больше разнообразных задач, в том числе и вычислительного характера.

Чтобы выявить возможности компьютера по решению задач других классов, стали применять тестирование на реальных программах, которые используют различные вычислительные методы. Одна из таких систем основана на измерении производительности с помощью так называемых ливерморских циклов, представляющих собой тщательно отобранные фрагменты программ на языке Фортран, которые эксплуатируются в Ливерморской национальной лаборатории (США).

По этой методике тестирование осуществляется на наборе из 24 операторов цикла, которые являются основными, наиболее существенными частями программ, реализующих часто встречающиеся численные методы решения вычислительных задач гидродинамики, ядерной физики и т. д. Заметим, что в связи с использованием основных частей (ядер) программ обсуждаемая система известна еще и как тест LFK (от Livermore Fortran Kernels — ливерморские фортрановские ядра).

Ливерморские циклы дают более точную картину по сравнению с тестом LINPACK, поскольку в тестировании используются не одна программа, реализующая единственный вычислительный метод, а целая группа программ, реализующих несколько методов. Вместе с тем тестирование все еще осуществляется на программах из одной и той же проблемной области, которые хотя и являются весьма важным классом приложений, но все-таки имеют схожую специфику.

SPEC и другие тесты

В настоящее время при оценке производительности в основном персональных компьютеров большой популярностью пользуется целое семейство тестов, созданных некоммерческой специализированной корпорацией SPEC (от Standard Performance Evaluation Corporation — корпорация стандартов оценки производительности).

В основу этих тестов положены реально используемые программы из самых разных областей применения информационных технологий.

Исходный вариант, относящийся к 1992 г., содержал две группы тестов. Группа с названием CINT92 состоит из шести программ на языке С, которые обеспечивают решение задач по теории цепей, разработку логических вентиляльных схем, упаковку текстовых файлов, включают интерпретатор для языка ЛИСП и т. д. Эта группа программ служит для оценки производительности систем с точки зрения операций над целочисленными данными. Вторая группа тестов с названием CFP92 включает 12 программ на языке С и две — на Фортране. Эти программы, обеспечивающие моделирование методом Монте-Карло, составление прогноза погоды и т. д., служат для оценки производительности систем с точки зрения операций над вещественными данными.

Результатом тестирования считаются отношения времен выполнения по каждой тестовой программе на испытываемой машине к временам их выполнения на эталонной машине. В качестве эталона выбрана вычислительная система VAX 11/780. Из результатов отдельных тестов формируются две интегральные оценки: SPECint92, равная среднему геометрическому оценок, полученных в индивидуальных тестах по группе CINT92, и SPECfp92, равная среднему геометрическому оценок, полученных в индивидуальных тестах по группе CFP92. Таким образом, в тестах SPEC оценки не измеряются в единицах MIPS или Flops, а являются

безразмерными относительными величинами, показывающими, во сколько раз быстрее работает испытываемая машина по отношению к эталонной.

Аналогичным образом построены и более поздние варианты данных тестов и интегральных оценок SPECint95 и SPECfp95, SPECint2000 и SPECfp2000 и т. д., а также другие специализированные тесты SPEC. Можно упомянуть, например, тест SPECint96, обеспечивающий оценку мощности вычислительных систем, состоящих из нескольких десятков процессоров, а также тест SPEC OMPL2001, который может применяться для тестирования систем, содержащих до 512 процессоров.

В систему SPEC входят тесты SPECjbb и SPECweb, служащие для тестирования различных разновидностей серверов, а также некоторые другие. Корпорация SPEC постоянно работает над созданием новых тестовых систем, улучшением и обновлением ранее выпущенных. Это, например, популярные тесты, использующие реальные, широко распространенные приложения SPEC for Maya 6, SPEC for 3ds max 6, SPEC for SolidWorks 2003, SPEC viewperf и т. д.

Кроме тестов SPEC в последние годы появилось еще несколько систем тестирования, созданных некоммерческими организациями. В основном эти системы ориентированы на приложения баз данных и другие невычислительные классы приложений. Можно упомянуть, скажем, системы тестирования TPC-A, TPC-B, TPC-C Совета по оценке производительности обработки транзакций TPC (от Transaction Processing Performance Council) и большой набор тестов SAP (от Standard Application) Benchmark.

В последнее время популярность приобрели комплексные методики тестирования производительности компьютеров, основанные на комплексах программ из различных областей применения. В частности, в тестовый комплекс включают программы архивации, моделирования физических процессов, растровой и трехмерной графики, автоматизации проектирования, кодирования мультимедийных данных, игровые и некоторые другие программы. В комплексы часто включают программы 7-zip, WinRAR, CPU RightMark, Adobe Photoshop, 3DMark, PC Mark, WebMark, VeriTest Business Winstone, VeriTest Multimedia, Content Creation Winstone, SiSoftware Sandra, Adobe Acrobat Distiller, ABBYY Fine Reader, DOOM. Следует отметить, что набор средств, используемых для комплексной оценки производительности вычислительных систем, постоянно изменяется и довольно сильно зависит от массовых предпочтений, установившихся в период тестирования.

Оценивая производительность компьютера по любой системе тестирования, необходимо иметь в виду, что на разных тестах вычислительные системы дают разные показатели производительности. На одних тестах одна архитектура может выигрывать у другой, а на других — проигрывать. Проблема общепризнанной, удобной, адекватной оценки мощности вычислительных систем до сих пор не имеет удовлетворительного решения

Контрольные вопросы:

1. Какую роль играют каналы в работе компьютеров?
2. Какие типы каналов вам известны?
3. Для чего нужны контроллеры?
4. Какие бывают контроллеры?
5. Чем отличаются контроллеры от адаптеров?
6. Опишите принцип работы контроллеров DMA.
7. В чем отличие контроллеров от каналов?
8. Чем отличаются контроллеры от адаптеров?
9. Для чего нужен буфер?
10. Что дает использование многопрограммного режима?
11. Охарактеризуйте особенности реального и защищенного режимов работы микропроцессоров Intel.
12. Что такое задача? Для чего понадобилось введение этого понятия?

13. Опишите особенности механизма сегментации в защищенном режиме.
14. Перечислите атрибуты сегментов памяти в защищенном режиме.
15. Что представляет собой дескриптор сегмента? Опишите его общую структуру.
16. Перечислите и охарактеризуйте факторы, от которых зависит производительность вычислительных систем.
17. Перечислите и охарактеризуйте базовые способы оценки производительности вычислительных систем.
18. Опишите способ оценки производительности с помощью тактовой частоты. Охарактеризуйте его достоинства и недостатки.
19. Как определяется пиковая производительность вычислительных систем? Чем она отличается от реальной?
20. Опишите способ оценки производительности в единицах MIPS. Охарактеризуйте его достоинства и недостатки.
21. Опишите способ оценки производительности в единицах Flops. Охарактеризуйте его достоинства и недостатки.
22. Дайте сравнительную характеристику способов оценки производительности вычислительных систем.
23. Какие системы тестирования производительности вам известны?
24. Опишите способ оценки производительности вычислительных систем с помощью тестов LINPAC. Охарактеризуйте его достоинства и недостатки.
25. Опишите способ оценки производительности вычислительных систем с помощью ливерморских циклов. Охарактеризуйте его достоинства и недостатки.
26. Опишите способ оценки производительности вычислительных систем с помощью тестовой системы SPEC. Охарактеризуйте его достоинства и недостатки.
27. Охарактеризуйте комплексную систему тестирования.

3 Многопрограммный режим работы компьютеров.

3.1 Сегментная модель памяти защищенного режима: структура дескриптора сегмента, линейный адрес.

Сегментная модель памяти защищенного режима

Длина любого сегмента оперативной памяти в процессоре i8086 и в реальном режиме старших моделей процессоров всегда равна 64 Кбайт. Таким образом, сегмент обладает всего двумя атрибутами, адресом и типом.

Различают три типа сегментов: сегмент кода, сегмент данных и сегмент стека. В зависимости от типа сегмента его адрес (адрес начального байта сегмента) записывается в соответствующий сегментный регистр. Программа может обращаться к любому полю в любом сегменте как для чтения, так и для записи.

Как отмечалось ранее, такой механизм сегментации, удобный для однопрограммного режима, в многопрограммном режиме не обеспечивает защиту программ от взаимного уничтожения. В связи с этим свойства сегментов памяти в защищенном режиме были изменены. Любые сегменты памяти в защищенном режиме имеют следующие атрибуты:

- адрес начала сегмента;
- длина сегмента;
- тип сегмента, определяющий способ его использования в программе;
- уровень привилегий, определяющий права данного сегмента относительно других сегментов.

Структура дескриптора сегмента

Значения или коды атрибутов сегмента оперативной памяти помещаются в специальное восьмибайтовое поле памяти, которое называется дескриптором (от describe — описывать) сегмента. Структура дескриптора сегмента памяти приведена на рис

R/W	Код типа	Назначение сегмента
0	000	Сегмент данных, запись запрещена
1	001	Сегмент данных, запись разрешена
0	010	Не определено
1	011	Сегмент стека, запись разрешена
0	100	Подчиненный сегмент кода, чтение запрет
1	101	Подчиненный сегмент кода, чтение разреш
0	110	Обычный сегмент кода, чтение запрещен
1	111	Обычный сегмент кода, чтение разрешено

Рисунок 6.- Структура дескриптора сегмента

Единственный атрибут сегмента, смысл которого не изменился по сравнению с реальным режимом, — адрес сегмента. Однако этот адрес теперь не заносится в сегментный регистр процессора, а помещается в дескриптор сегмента, находящийся в оперативной памяти. Адрес сегмента занимает участки A_1 и A_2 дескриптора.

Их суммарная длина равна 32 разрядам, что соответствует адресному пространству объемом 4 Гбайт.

В отличие от реального режима, сегменты защищенного режима могут иметь любую длину от одного байта до 4 Гбайт. Длина сегмента, так же как и его адрес, записывается в дескриптор. Включение информации о фактическом размере сегмента в дескриптор обеспечивает возможность аппаратно контролировать работу программы с памятью, предотвращать ее обращение к несуществующим адресам либо по адресам, находящимся вне сегмента. Значение длины сегмента занимает участки L_1 и L_2 дескриптора, суммарная длина которых равна 20 бит. Длина сегмента может измеряться в байтах или страницах, длина которых всегда равна 4 Кбайт.

Выбор единицы измерения длины сегмента зависит от значения бита гранулярности G (от лат. *granulum* — зернышко). При значении $G = 0$ длина сегмента измеряется в байтах, при этом 20-битовое поле длиной L ($L_1 + L_2$) обеспечивает возможность задания длины сегмента в пределах от 1 байта до 2^{20} байт = 1 Мбайт. При значении $G = 1$ длина сегмента измеряется в страницах. В этом случае она может изменяться в пределах от одной страницы (4 Кбайт) до 2^{20} страниц ($2^{20} \cdot 4$ Кбайт = 4 Гбайт).

В связи с необходимостью поддерживать совместимость с предшествующими 16-битовыми моделями в дескрипторе сегмента предусмотрен бит разрядности D (от *Dimension* — измерение), значение которого определяет используемую в сегменте разрядность операндов и адресов. Если значение $D = 0$, то используется 16-битовая, а при $D = 1$ — 32-битовая разрядность адресов и операндов.

В отличие от реального режима, в защищенном режиме возможны только два принципиально разных типа сегментов: сегмент кода и сегмент данных. Тип сегмента определяется значением бита назначения сегмента I (от *Intending* — предназначение). Если значение $I = 0$, то дескриптор описывает сегмент данных; если же $I = 1$, то это сегмент кода.

Сегмент стека считается самостоятельной разновидностью сегмента данных с особым способом изменения его длины. Стек растет в направлении уменьшения адресов оперативной памяти, в то время как у обычной разновидности сегмента данных рост происходит в направлении увеличения адресов памяти. В связи с этим разновидность сегмента данных уточняется с помощью бита направления расширения ED (от *Expand Down* — расширение вниз). Если значение $ED = 0$, то сегмент расширяется вниз, то есть в направлении увеличения адресов памяти (обычный сегмент данных). В противном случае, при $ED = 1$, сегмент растет в направлении убывания адресов памяти (стек). В дальнейшем изложении вместо оборота «сегмент данных с расширением в направлении убывания адресов» используется устоявшееся простое название «сегмент стека».

Любая выполняемая задача может создать и запустить на выполнение некоторую подчиненную задачу. В связи с этим различают обычные и подчиненные сегменты кода. Обычный сегмент кода содержит программу порождающей задачи, а подчиненный сегмент кода — программу порожденной, подчиненной задачи. Разновидность сегмента кода определяется значением подчиненного бита C (от *Conforming* — подчиненный). Если значение $C = 0$, то сегмент кода считается подчиненным, а при $C = 1$ сегмент считается обычным. На самом деле биты ED и C — это не два разных бита в дескрипторе, а один и тот же бит, который принято обозначать C/ED и трактовать его смысл и значение в зависимости от значения бита I .

Программа, занимающая сегмент кода, всегда может быть выполнена. Запись в сегмент кода запрещена, а возможность чтения программного кода из этого сегмента, например с целью его копирования, регулируется битом чтения/записи R/W (от *Readable/Writeable* — читаемый/записываемый).

Значение $R/W = 0$ запрещает чтение, а $R/W = 1$ — разрешает.

Чтение из сегмента данных разрешено всегда. Возможность записи в этот сегмент регулируется этим же битом R/W . Значение $R/W = 0$ запрещает запись, а значение $R/W = 1$ разрешает ее.

Таким образом, тройка битов I , C/ED и R/W определяет тип сегмента и допустимые операции с его содержимым. Все возможные комбинации этих битов и их смысл сведены в табл. 6.1. Отметим, что комбинация битов $I = 0$, $C/ED = 1$ и $R/W = 0$ определяет сегмент стека с запрещением в него записи. Организация такого стека, очевидно, смысла не имеет, поэтому код типа сегмента 010_2 считается не определенным.

Линейный адрес

В защищенном режиме в оперативной памяти выделяются глобальные сегменты памяти, к которым имеют доступ все выполняющиеся программы. Кроме того, каждой из выполняющихся программ выделяются индивидуальные локальные сегменты памяти, к которым имеет доступ только программа-владелец этих сегментов и никакие другие программы доступа не имеют.

Дескрипторы сегментов памяти в зависимости от их назначения группируются в различные дескрипторные таблицы. Дескрипторы глобальных сегментов находятся в

глобальной дескрипторной таблице GDT (от Global Descriptor Table), а дескрипторы локальных сегментов находятся в локальных дескрипторных таблицах LDT (от Local Descriptor Table) программы. Подчеркнем, что глобальная таблица GDT всего одна, а локальных таблиц много, точнее, столько, сколько одновременно выполняется задач. Элементы таблиц (дескрипторы) выделяются с помощью их номеров — индексов (рис. 6.2 и 6.3), которые входят в так называемые селекторы (от select — выделять).



Рис. 7. Регистры системных адресов

Для определения местоположения таблиц GDT и LDT, а также некоторых других системных объектов применяются два различных способа, в которых используется содержимое регистров системных адресов процессора с длиной 6 и 2 байта.

Регистры системных адресов длиной 6 байт содержат 32-битовый адрес и 16-битовую длину таблиц или объектов, имеющих значение для всей системы. Адрес таблицы глобальных дескрипторов находится в системном регистре с названием GDTR (от Global Descriptor Table Register). Обращение по адресу, указанному в этом регистре, сразу приведет к начальному элементу дескрипторной таблицы (рис. 6.2).

Регистры системных адресов длиной 2 байта содержат селектор дескриптора сегмента памяти, в котором находится указываемый объект. С помощью селектора вначале нужно выбрать из таблицы GDT дескриптор соответствующего сегмента памяти, а потом из дескриптора выбрать адрес сегмента, в котором находится нужная таблица. Селектор дескриптора сегмента памяти, который содержит локальную дескрипторную таблицу, находится в системном регистре LDTR (от Local Descriptor Table Register)

Чтобы в защищенном режиме определить адрес какого-либо сегмента памяти, во-первых, необходимо знать, является этот сегмент глобальным или локальным, а во-вторых, нужен селектор дескриптора, выделяющий его из соответствующей таблицы. Эта информация находится в одном из сегментных регистров процессора, которые в защищенном режиме содержат не начальные адреса сегментов, а селекторы дескрипторов. С их помощью из соответствующей таблицы GDT или LDT выбираются дескрипторы сегментов, содержащие не только начальный адрес, но и все остальные атрибуты сегмента.

Шестнадцатитрехбитовый селектор содержит 13-битовый индекс дескриптора (рис. 6.4) и находящийся во втором разряде бит признака дескрипторной таблицы TI (от Table indicator). Значение бита TI = 0 означает, что дескриптор нужно выбирать из глобальной таблицы, а TI = 1 означает, что нужный дескриптор находится в локальной таблице.

Фактическая длина глобальной дескрипторной таблицы задается в 16-битовом поле длины в регистре GDTR. Отметим, что длина таблицы задается в байтах, следовательно, максимальная ее длина равна 2^{16} байт. Поскольку элементы таблицы имеют длину 8 байт, она может содержать не более 2^{13} дескрипторов. В то же время 13-битовый индекс селектора как раз и обеспечивает возможность адресовать $2^{13} = 8198$ дескрипторов в одной таблице. Таким образом, любая программа, в принципе, может использовать 8198 глобальных и 8198 локальных сегментов оперативной памяти.

Для определения адреса поля памяти в защищенном режиме, так же как и в реальном, нужно знать адрес сегмента и внутрисегментное смещение. Способ определения внутрисегментного смещения — эффективного адреса не отличается от используемого в

реальном режиме. Для сегментов кода он выбирается из регистра `еip`, а для сегментов данных и стека формируется из содержимого индексных регистров `esi` и `edi`, базовых регистров `ebx`, `ebp` и смещения, заданного в команде `Dk`

Более сложным способом определяется адрес сегмента. Операционная система автоматически формирует в регистре `GDTR` адрес глобальной дескрипторной таблицы. Эта таблица должна быть доступна любым выполняющимся программам, поэтому адрес в `GDTR` не изменяется при переключениях процессора на выполнение другой задачи. А вот в регистр `LDTR` операционная система при каждом переключении процессора на новую задачу загружает индивидуальный для каждой задачи селектор дескриптора из `GDT`, в котором находится адрес ее локальной таблицы `LDT`. Этот селектор доступен только программе-хозяйке. Таким образом, ни одна из программ пользователей не может получить доступ к локальной дескрипторной таблице другой программы.

Из заданного в команде сегментного регистра извлекается 16-битовый селектор. Из него выбирается бит признака дескрипторной таблицы `TI` и 13-битовый индекс. Бит признака `TI` используется для определения таблицы, в которой находится дескриптор, а индекс служит для выборки из соответствующей дескрипторной таблицы (`GDT` при `TI = 0` и `LDT` при `TI = 1`) конкретного дескриптора сегмента памяти. Для определения адреса глобального сегмента нужно сделать следующее.

1. Прочитать из регистра `GDTR` адрес глобальной дескрипторной таблицы `GDT`.
2. Выбрать селектор из заданного в команде сегментного регистра.
3. Выбрать из селектора индекс дескриптора.
4. Определить адрес дескриптора сегмента, умножив индекс на 8 и сложив результат с адресом `GDT`.
5. Выбрать из найденного таким образом дескриптора искомый адрес глобального сегмента памяти.

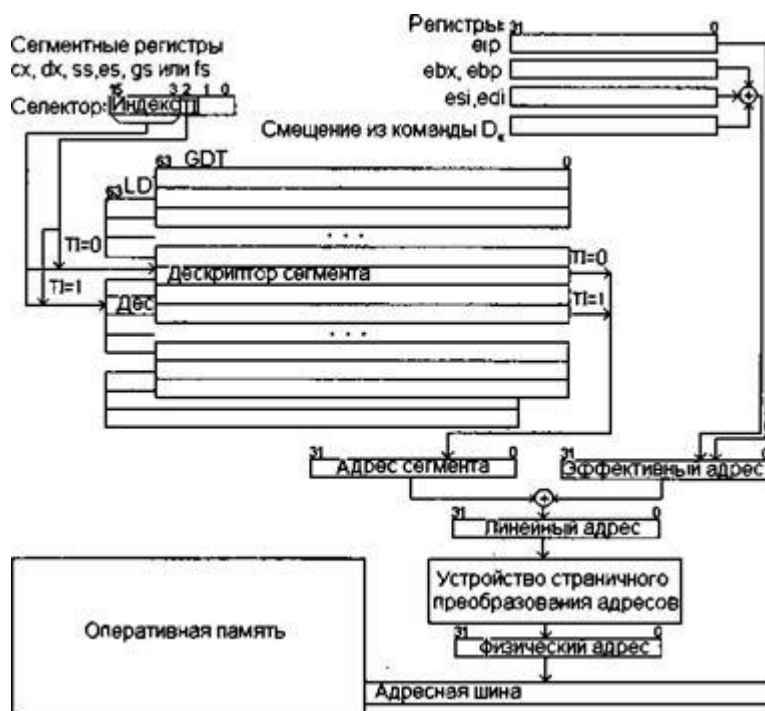


Рис. 8. Схема образования физического адреса в защищенном режиме

Для определения адреса локального сегмента вначале нужно описанным только что способом найти адрес сегмента, в котором находится таблица `LDT`, а затем уже в ней определить адрес локального сегмента.

1. Прочитать из регистра `GDTR` адрес глобальной дескрипторной таблицы `GDT`.

2. Прочитать из регистра LDTR селектор дескриптора сегмента памяти, который содержит таблицу LDT.
3. Выбрать из селектора индекс дескриптора в глобальной таблице.
4. Определить адрес дескриптора, умножив индекс на 8 и сложив результат с адресом GDT.
5. Выбрать из найденного дескриптора адрес сегмента памяти, в котором находится таблица LDT.
6. Выбрать селектор из заданного в команде сегментного регистра.
7. Выбрать из селектора индекс дескриптора искомого сегмента.
8. Определить адрес дескриптора, умножив его индекс на 8 и сложив результат с адресом таблицы LDT.
9. Выбрать из найденного дескриптора адрес искомого сегмента памяти.

Все эти выборки и преобразования осуществляются аппаратно с использованием специальных приемов, обеспечивающих высокую скорость получения адресов.

После определения 32-битового адреса сегмента он складывается с 32-битовым эффективным адресом. Полученный таким образом адрес называется линейным. Если механизмы виртуальной памяти отключены, то линейный адрес является одновременно физическим, или исполнительным, адресом, который выставляется на адресную шину и по которому происходит фактическое обращение в оперативную память (см. рис. 6.3). Определение физического адреса в режиме виртуальной памяти обсуждается в разделе 6.2.

В защищенном режиме перед обращением в память проверяется, не вышел ли определенный таким способом физический адрес за границы сегмента. Тем самым гарантируется защита одновременно выполняющихся программ от взаимного уничтожения. Кроме того, с помощью байта прав доступа определяются правомочность обращения программы к данному сегменту и возможность выполнения запрошенной операции. Если имеется какое-либо несоответствие, то обращение к сегменту блокируется и выдается соответствующее ситуации прерывание.

3.2 Объем памяти. Организация виртуальной памяти.

Организация виртуальной памяти

Для организации виртуальной памяти адресное пространство, то есть максимально возможный объем оперативной памяти, который для 32-битовой адресной шины состоит из 2^{32} байтов, подразделяется на $2^{20} = 1\,048\,576$ блоков памяти размером 4 Кбайт каждый.

Такие блоки принято называть логическими страницами (рис. 6.4).

Фактически имеющаяся в компьютере оперативная память также делится на участки длиной 4 Кбайт, которые принято называть страничными кадрами. Например, при фактическом объеме оперативной памяти 512 Мбайт она содержит 131 072 страничных кадра, что составляет $1/8$ адресного пространства. Именно эта ситуация изображена на рис. 6.4.

В режиме виртуальной памяти часть логических страниц адресного пространства физически размещается в страничных кадрах оперативной памяти, а все не поместившиеся логические страницы записываются в специальный файл на магнитный диск. При этом программист считает все программы и данные находящимися в адресном пространстве процессора, то есть на логических страницах виртуальной памяти. Для него отсутствует разница между логическими страницами, фактически присутствующими в оперативной памяти, и страницами, находящимися на магнитном диске.

В распоряжении программиста находятся сегменты памяти, которые могут иметь любую длину. В то же время логические страницы имеют фиксированную длину, поэтому одна страница может содержать несколько сегментов, один сегмент или какую-то его часть. Таким образом, сегмент может целиком входить в логическую страницу или занимать несколько страниц.

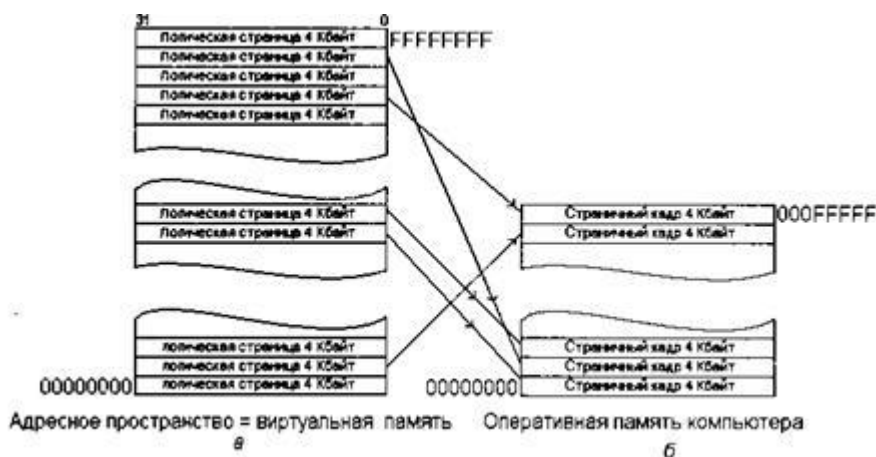


Рис. 9. Память: а — виртуальная; б — оперативная

При любом обращении к памяти с помощью бита P дескриптора сегмента определяется, находится ли связанная с сегментом логическая страница в оперативной памяти. Если страница находится в памяти, то происходит прямое обращение к ней. В противном случае нужная логическая страница автоматически загружается (подкачивается) операционной системой с жесткого диска в один из неиспользуемых или редко используемых страничных кадров оперативной памяти. Фиксированный размер всех страниц позволяет любую логическую страницу, фактически находящуюся на жестком диске, переписать в любой страничный кадр оперативной памяти.

Для проверки использования страницы выполняющимися программами применяется бит A дескриптора сегмента, и для записи новой страницы выбираются только те кадры, в которых находятся сегменты со значением $A = 0$, то есть неиспользуемые сегменты. Старая логическая страница из выбранного страничного кадра переписывается на жесткий диск.

Поскольку на замену логических страниц требуется определенное время, выбор страничного кадра (из тех, у которых $A = 0$) для такой замены осуществляется по специальным алгоритмам, которые минимизируют необходимость ее выполнения.

Описанный процесс замещения логических страниц в страничных кадрах оперативной памяти называется подкачкой, или свопингом (от *swap* — замена). Для осуществления свопинга операционная система автоматически формирует на жестком диске файл, название которого зависит от операционной системы. Например, в операционной системе Windows он называется *swap.sys* или *pagefile.sys*. Файл подкачки и физическая оперативная память вместе взятые образуют виртуальную память, поэтому файл подкачки называется также файлом виртуальной памяти.

Ранее описан способ получения заданного в команде программы линейного адреса. Еще раз подчеркнем, что линейный адрес — это адрес в виртуальной памяти. Однако обращение к оперативной памяти может происходить только по физическим адресам. Поскольку в процессе подкачки любая логическая страница может попасть в любой страничный кадр, логическим адресам могут соответствовать различные физические адреса. Преобразование логических адресов в соответствующие им физические осуществляется аппаратным устройством страничного преобразования адресов (см. рис. 6.3). На его вход поступает линейный адрес, а на выходе формируется физический адрес и при необходимости замещается логическая страница в одном из страничных кадров. Адрес, сформированный устройством страничного преобразования, выставляется на адресную шину, откуда он считывается микросхемами памяти. В принципе, механизм виртуальной памяти может быть отключен, тогда физический адрес совпадает с линейным.

3.3 Повышение эффективности оперативной памяти. Статическая и динамическая память. Микросхемы памяти. Цикл памяти. Типы микросхем динамической памяти. Многоуровневая организация памяти. Кэш.

Повышение эффективности оперативной памяти

Для количественной оценки эффективности оперативной памяти применяется система характеристик, содержащая следующие параметры:

- тип микросхем памяти;
- объем памяти;
- допустимая тактовая частота системной шины;
- быстродействие микросхем памяти;
- скорость обмена или производительность;
- плотность хранения данных;
- отношение цены к объему — удельная стоимость, или стоимость хранения одного бита данных;
- надежность или достоверность хранения данных.

Тип микросхемы памяти определяется ее физическим внутренним устройством. От типа микросхемы существенно зависят быстродействие и производительность памяти, которые, в свою очередь, оказывают существенное влияние на общее быстродействие компьютера.

Микросхемы памяти принимают и выдают коды данных на системную шину, которая работает на определенной тактовой частоте. Поскольку все действия микросхем памяти и шины во время такой передачи должны быть строго согласованы, считается, что определяющим фактором для микросхемы памяти является тактовая частота системной шины, которая, таким образом, становится одной из важных характеристик оперативной памяти.

Быстродействие памяти определяется временем, затрачиваемым на выполнение операций записи данных в память и считывания из нее. Чем меньше это время, тем быстрее и эффективнее память. Отметим, что у современных компьютеров параметры, связанные с быстродействием памяти, измеряются в долях секунды: миллисекундах ($1 \text{ мс} = 10^{-3} \text{ с}$), микросекундах ($1 \text{ мкс} = 10^{-6} \text{ с}$) и наносекундах ($1 \text{ нс} = 10^{-9} \text{ с}$).

Наносекунда — настолько малый отрезок времени, что свет в вакууме за одну наносекунду проходит всего 29,98 см.

Кроме быстродействия микросхемы памяти характеризуются производительностью, скоростью обмена или пропускной способностью, которая равна объему передаваемых в память или из памяти данных в единицу времени. Скорость обмена измеряется в количестве передаваемых байт в секунду (байт/с) или в кратных единицах — килобайтах в секунду (Кбайт/с), мегабайтах в секунду (Мбайт/с) и гигабайтах в секунду (Гбайт/с). Не следует путать быстродействие и производительность — это связанные, но различные характеристики памяти. Более детально это различие обсуждается в разделе 7.2.

Плотность хранения информации измеряется количеством байт, которое может быть сохранено в единице измерения, характерной для устройства памяти: например, для жестких дисков — на единице площади запоминающей поверхности.

Удельная стоимость определяется как стоимость, хранения одного байта (килобайта, мегабайта и т. д.). Обычно она измеряется в рублях (евро, долларах) на 1 Мбайт или 1 Гбайт памяти.

Достоверность хранения данных определяется вероятностью появления ошибки во время обмена или хранения данных в памяти.

В этом разделе рассматриваются характеристики некоторых типов микросхем оперативной памяти и основные приемы их улучшения

Статическая и динамическая память

Реализация памяти, основанная на обсуждавшихся в 3.3 триггерах, состоящих не менее чем из шести транзисторов, отличается тем, что после записи значения в триггер его состояние

может сохраняться сколь угодно долго без применения каких-либо специальных действий (кроме постоянного наличия электропитания).

Поэтому такую разновидность памяти назвали статической. Ее принято обозначать аббревиатурой SRAM (от Static Random Access Memory — статическая память с произвольным доступом).

Статическая память отличается высоким быстродействием, но в то же время она характеризуется довольно низкой плотностью хранения данных — в одном корпусе микросхемы можно разместить около миллиона байт. При современных требованиях к объемам оперативной памяти в компьютере статическая память считается дорогой и громоздкой. Кроме того, такая память отличается высоким энергопотреблением.

В настоящее время биты оперативной памяти реализуют с помощью конденсаторов. Считается, что конденсатор с высоким уровнем напряжения между обкладками содержит цифру 1, а с низким — цифру 0. Для обслуживания конденсатора к нему подсоединяется всего один транзистор (сравните с шестью транзисторами триггера). Такая реализация бита имеет значительно более высокую плотность хранения данных — в одном корпусе микросхемы можно поместить десятки миллионов байт. Это значит, что при равных объемах такая память будет занимать гораздо меньшую площадь, чем статическая разновидность. Кроме того, эта память отличается гораздо меньшей стоимостью и более низким потреблением электроэнергии.

Недостатком оперативной памяти на конденсаторах являются ее относительно низкие скоростные показатели. Есть еще один негативный фактор — реальные конденсаторы через несколько миллисекунд самопроизвольно теряют заряд. Чтобы находящиеся в оперативной памяти данные и программы при этом сохранялись, состояние конденсаторов необходимо периодически восстанавливать до исходного уровня. Для этого осуществляются периодическое считывание хранящихся в памяти данных и повторная их запись. Такой процесс называется регенерацией памяти. Регенерацию битов памяти можно совместить с чтением или записью данных. Можно также выполнять ее отдельно, но во время самостоятельной регенерации оперативная память недоступна для взаимодействия с процессом и другими устройствами компьютера, что может отрицательно сказаться на скорости работы компьютера. Тем не менее самостоятельные циклы регенерации необходимо с определенной периодичностью выполнять, поскольку без них при отсутствии операций чтения/записи занесенные в память коды окажутся утерянными.

Оперативную память, реализованную в виде периодически подзаряжаемых конденсаторов, называют динамической и обозначают DRAM (от Dynamic Random Access Memory — динамическая память с произвольным доступом)

3.4 Микросхемы памяти. Цикл памяти. Типы микросхем динамической памяти. Многоуровневая организация памяти. Кэш.

Микросхемы памяти

Конструктивно биты как статической, так и динамической памяти объединяют в микросхемы. Группу битов микросхемы, которые считываются или записываются одновременно, принято называть ячейкой микросхемы. Не следует путать ячейки микросхемы с ячейками (байтами) оперативной памяти, которые могут совпадать или не совпадать друг с другом. Количество битов в ячейке микросхемы, то есть ее разрядность, может равняться 2, 4, 8, 16 и т. д. Для обеспечения оптимальных геометрических размеров микросхемы ее ячейки образуют матричную структуру (рис. 7.1). Индексы строки и столбца (на рисунке не показаны), на пересечении которых находится ячейка, образуют ее адрес внутри микросхемы. Обычно применяют квадратные матрицы ячеек микросхемы, хотя существуют и прямоугольные

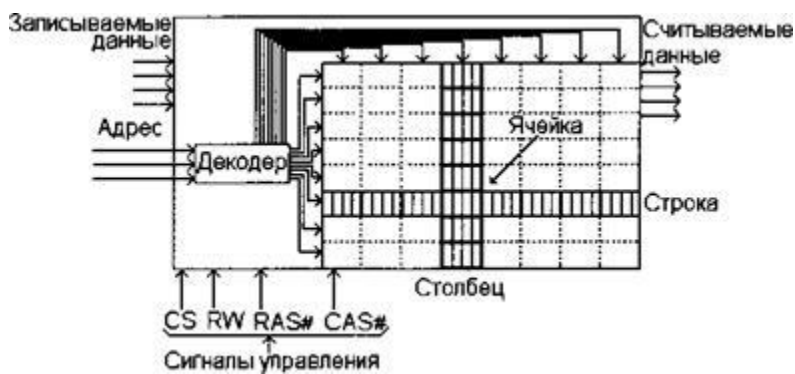


Рис. 10. Упрощенная структура микросхемы оперативной памяти

Важной характеристикой микросхемы является структура, определяющая общий объем микросхемы и разрядность ее ячеек. Структура задается в виде произведения объема на разрядность. При этом первый сомножитель, объем, задают в килобайтах или мегабайтах, а второй, разрядность ячейки, измеряется в битах. Единицы измерения килобайт и мегабайт принято сокращать до первой буквы. В примере на рис. 7.1 объем микросхемы равен 32 байтам, а ее ячейка содержит 4 бита кода; следовательно, эта микросхема имеет структуру 0,03125К x 4. Современные микросхемы памяти имеют разрядность ячеек 8,16 бит и более, а их объемы достигают десятков мегабайт.

Для повышения быстродействия и согласования с разрядностью шины данных отдельные микросхемы могут быть объединены в так называемые банки памяти. Например, две микросхемы с разрядностью ячейки 8 бит могут объединиться в банк для формирования 16-битового машинного слова. В последнее время в связи с ростом объемов и разрядностей с той же целью внутри одной микросхемы образуют несколько независимых банков.

В информатике банком называется совокупность совместно используемых однотипных элементов, средств или устройств.

Отличительной чертой микросхем или ячеек, принадлежащих одному и тому же банку памяти, является возможность участвовать в одной и той же операции чтения или записи для любой ячейки выбранного банка и одновременное отсутствие такой возможности для всех ячеек всех остальных банков.

Необходимо понимать, что объединение микросхем в банки или разбиение микросхемы на банки производится только на функциональном, логическом уровне. Конструктивно, физически микросхемы оперативной памяти располагаются на так называемых платах, которые представляют собой тонкие пластинки обычно прямоугольной формы стандартных унифицированных размеров (например, 60 X 15 мм). Материал, из которого изготавливается такая пластинка, является изолятором электрического тока. Микросхемы памяти и процессоров крепятся к платам с помощью упоминавшихся ранее сокетов и слотов, к которым подводятся размещаемые прямо на поверхности плат шины компьютера. На платах выполняется монтаж основной части всех электронных схем компьютера, к ним же прикрепляются некоторые внутренние устройства компьютера. Кроме того, на платах имеются различные разъемы для их крепления к корпусу компьютера и друг к другу, а также для соединения с линиями передачи данных, управляющих сигналов и электропитания. Каждая плата компьютера имеет специальное функциональное назначение: например, плата управления звуком — звуковая плата, плата управления изображением — видеоплата, плата управления сетевыми соединениями — сетевая плата и т. д. Среди плат компьютера выделяется одна главная плата, которую называют системной, или материнской платой. Именно к ней крепятся микросхемы процессора, по ней проходят шины, на которых располагаются сокет, слоты и порты.

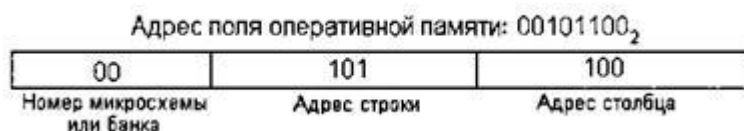
В современных компьютерах микросхемы памяти не крепятся на материнскую плату, а объединяются на отдельных платах, которые принято называть модулями памяти.

Платы модулей памяти с помощью краевых разъемов вставляются в слоты материнской платы, и из них в конечном счете набирается вся оперативная память компьютера. Например, память

объемом 512 Мбайт может состоять из четырех модулей по 128 Мбайт, из двух модулей по 256 Мбайт или из одного модуля объемом 512 Мбайт. В свою очередь, каждый модуль объемом 256 Мбайт может состоять из 16 микросхем по 16 Мбайт или из 8 микросхем по 32 Мбайт. Могут быть реализованы и другие варианты.

Различают две конструкции модулей памяти: SIMM (от Single In Line Memory Modules — однорядные модули памяти) и DIMM (от Dual In Line Memory Modules — двухрядные модули памяти). В соответствии с названием в модулях SIMM микросхемы размещены в один ряд, а в модулях DIMM — в два ряда. Фактический объем оперативной памяти набирается из нескольких модулей того или иного типа. Одновременное использование разнотипных модулей памяти в современных компьютерах не предусмотрено. Поэтому при наращивании, расширении оперативной памяти за счет установки дополнительных модулей приходится учитывать тип уже установленных. Следует отметить, что модули памяти типа SIMM считаются устаревшими, они постепенно выходят из употребления. Модули DIMM в настоящее время могут иметь объем 128, 256, 512 Мбайт и т. д. до 4 Гбайт. Количество контактов, или пин (от pin — штырь, вывод), у современных модулей памяти составляет 168, 184 и более.

Фактический диапазон адресов оперативной памяти распределяется между микросхемами модулей в соответствии с их объемами и количеством. Пусть, например, оперативная память состоит из четырех микросхем. Тогда старшие два бита адреса байта или поля памяти могут использоваться для выбора микросхемы или банка, к которому относится этот адрес (рис. 7.3). Например, адреса, начинающиеся с двух двоичных нулей, 00xxx...x₂ (xxx — остальные цифры адреса), закрепляются за микросхемой с номером 0, адреса, имеющие вид 01xxx...x₂, — за микросхемой с номером 1 и т. д. Последняя группа адресов, 1xxx...x₂, закрепляется за микросхемой 3.



Как указывалось ранее, количество контактов у корпусов современных микросхем перевалило за сотню. Вместе с тем геометрические размеры корпусов в немалой степени зависят от количества контактов. Так, например, собственная площадь вентиля современной микросхемы составляет 200-300 мм², в то время как площадь корпуса может превышать 1000 мм². Эта разница обусловлена необходимостью пространственно разделять соседние контакты, чтобы поступающие на них сигналы не искажали друг друга. Поэтому разработчики интегральных схем стремятся уменьшить количество контактов на их корпусах.

Для уменьшения количества адресных контактов у микросхем памяти применяется следующая схема адресации ячеек. Оставшиеся после выделения номера микросхемы биты адреса (xxx..., x из рассмотренных примеров) делятся на две группы. Биты старшей группы используются для выделения строки в матрице ячеек микросхемы, а биты младшей группы — для выделения столбца. Пусть, например, после выделения номера микросхемы в адресе остались цифры 101100₂. Тогда код 101₂ используется для выделения строки матрицы, а код 100₂ — для выделения ее столбца (см. рис. 7.3). Номера строки и столбца нужной ячейки матрицы передаются последовательно: сначала номер строки, а затем номер столбца, по одним и тем же адресным линиям микросхемы. Такой способ передачи адреса позволяет, трех адресных линиях с помощью декодера (см. 3.2.11) адресовать 8 строк и 8 столбцов, а всего 64 ячейки микросхемы.

Цикл памяти

Работа микросхем оперативной памяти во время чтения или записи кодов организована в виде циклически повторяемой последовательности действий.

Циклом памяти называется последовательность действий, которые выполняются в процессе чтения кода из микросхемы памяти или записи в нее нового кода.

Цикл памяти и циклы других устройств компьютера, таких как, например, шина, принято изображать в виде временных диаграмм. Поэтому вначале скажем не- несколько слов о традиционно принятом в литературе способе изображения таких диаграмм.

На временных диаграммах, одна из которых приведена на рис. 7.4, изображаются графики изменения во времени управляющих сигналов, значений на адресных линиях, на линиях шины данных и т. д. При этом нужно помнить, что каждый управляющий сигнал, адресный бит или бит данных в любой момент времени может принимать только одно из двух возможных значений, 0 или 1.



Стационарное (неизменное во времени) состояние управляющего сигнала (напри- мер, такими сигналами являются RAS# и CAS#) или бита изображают в виде прямой горизонтальной линии. Если состояние сигнала с течением време- ни изменяется, то он изображается в виде нескольких отрезков горизонтальных линий, причем вышележащий отрезок соответствует значению 1, а нижележащий — значению 0. Во многих ситуациях временем изменения уровня сигнала от нулевого до единичного (или наоборот) пренебрегают и считают, что такой переход происходит скачком, мгновенно.

Однако для рассматриваемых процессов с характерным временем всего в единицы наносекунд из-за конечности скорости света пренебрегать переходными процессами уже невозможно. В связи с этим переход от одного уровня сигнала к другому изображается в виде связывающей эти уровни наклонной линии. Вре- мя от начала изменения сигнала (от начала наклонной линии) до его завершения (до конца наклонной линии) считается переходным процессом, а время от начала изменения сигнала до достижения примерно его среднего уровня считается временем стабилизации сигнала. До окончания стабилизации сигнала его использование для управления или других действий еще невозможно, потому что неясно, то ли это случайное искажение уровня напряжения, то ли целенаправленное его изменение.

Если по линиям шины данных или адресной шины одновременно передается несколько битов данных или адреса, то на временной диаграмме это отображается в виде двух параллельно идущих прямых. Переходный процесс для группы битов изображается в виде двух пересекающихся наклонных линий. На рис. 7.4 таким образом представлены диаграммы Адрес и Данные.

Теперь, не углубляясь в детали, контроллер оперативной памяти получает от процессора запрос на выполнение чтения или записи, а также адрес байта или поля памяти, по которому нужно выполнить заданную операцию. При необходимости выполнить запись по шине данных поступает еще и записываемый код. Для определенности вначале рассмотрим цикл, связанный с чтением кода из ячейки микросхемы.

По полученному адресу байта или поля памяти контроллер определяет микросхему, в которой находится соответствующая этому адресу ячейка, и устанавливает для этой микросхемы (точнее, для банка) управляющие сигналы CS (от Chip Select — выбор чипа, микросхемы) и RW (от Read/Write — чтение/запись).

Часто используемые в литературе обороты «устанавливает сигнал» или «выставляет сигнал» являются сокращением для выражения «формирует значение 1 на линии, по которой передается сигнал». Некоторые управляющие сигналы считаются установленными, если они получили значение 0. В этом случае применяется также оборот «активный низкий уровень сигнала». На временных диаграммах это отличие отражается добавлением знака «#» в название сигнала.

Микросхема (банк), получившая сигнал CS, становится активной, то есть способной к приему адреса и выполнению заданной сигналом RW операции чтения или записи. Затем на входы микросхемы подается адрес строки матрицы. Этот момент считается началом цикла памяти, на рис. 7.4 он обозначен t_0 . После того как код на адресных линиях микросхемы стабилизируется, контроллер подает на микросхему сигнал RAS# (от Row Address Strobe — строб адреса строки). Обратите внимание на наличие символа «#» в названии сигнала, который означает, что активным является его нулевое, а не единичное значение.

Момент времени t_v после которого сигнал RAS# считается стабилизировавшимся, рассматривается как момент появления в микросхеме запроса на чтение или запись. Получив нулевое значение сигнала RAS#, декодер микросхемы считает уже находящийся к этому времени на адресных линиях код адресом нужной строки микросхемы и делает всю строку активной, выставляя 1 на ее вход. Если выполняется операция чтения ($RW = 0$), то значения всех ячеек строки дублируются в специальный регистр микросхемы (на рисунке не показан), который играет роль своеобразного буферного устройства.

Затем, через достаточное для стабилизации считываемых из строки данных время контроллер выставляет на адресные линии адрес столбца микросхемы. Этот период на диаграмме Адрес изображен скрещивающимися наклонными линиями между участками Строка и Столбец, которые отображают постепенное исчезновение на адресных линиях одного кода и постепенное же появление другого.

После стабилизации нового кода на адресных линиях контроллер выдает на микросхему сигнал CAS# (от Column Address Strobe — строб адреса столбца). Получив его, декодер трактует код на адресных линиях как адрес столбца и выделяет соответствующую ячейку в буферном регистре.

Момент стабилизации сигнала CAS# (обозначенный на временной диаграмме t_c) завершает в цикле памяти фазу адреса и начинает фазу данных. В этот момент код из выделенной ячейки появляется на связанных с шиной данных выходных линиях микросхемы. После стабилизации этого кода в некоторый момент времени t_d начинается его передача по шине. Выждав время, необходимое для приема шиной кода из ячейки, контроллер переводит сигналы CAS# и RAS# в исходное состояние (момент t_v), завершая этим фазу данных.

Однако в момент t_v микросхема еще не готова начать следующий цикл чтения или записи другого кода. Необходимо некоторое время на приведение микросхемы в состояние готовности к дальнейшей работе. Этот период в цикле памяти микросхемы считается фазой восстановления. Во время этой фазы восстанавливаются исходные уровни всех управляющих сигналов и, кроме того, происходит регенерация не только считанного из ячейки кода, но и кодов всех ячеек ее строки.

Момент t_x окончания фазы восстановления считается моментом завершения текущего цикла памяти. В этот момент может быть начат следующий цикл чтения или записи.

Цикл записи в основном выполняется так же, как и цикл чтения, только после завершения фазы адреса данные с входных линий микросхемы передаются в выделенную ячейку микросхемы. Заметим, что фаза восстановления после цикла записи включает в себя также этап регенерации всех ячеек строки. Напомним, что для ячеек, не затронутых регенерацией, которая выполняется во время циклов чтения или записи, с определенным периодом выполняются специальные циклы регенерации.

Отрезок времени, который уходит на подготовку к чтению или записи кода, является очень важной характеристикой любых запоминающих устройств, в том числе и оперативной памяти. На диаграмме, изображенной на рис. 7.4, это интервал между точками t_T и t_d .

Время доступа памяти представляет собой задержку начала получения данных из памяти относительно появления запроса на них.

Отсчет времени доступа у микросхем памяти начинается от момента t_T стабилизации сигнала RAS#. Время доступа складывается из:

- 1) времени приема адреса строки;
- 2) времени замены на адресных линиях адреса, строки на адрес столбца;
- 3) времени приема сигнала CAS#;
- 4) времени стабилизации выходных сигналов на шине данных во время чтения или времени стабилизации кода, переданного с входных линий данных.

Типичное время доступа для микросхем динамической памяти составляет 40-100 нс, а у лучших образцов достигает 5-10 нс. Время доступа у микросхем статической памяти исчисляется единицами наносекунд.

Длительность цикла памяти определяется как минимальный период следующих друг за другом обращений к памяти для выполнения чтения или записи.

Длительность цикла памяти микросхем включает в себя длительности всех его фаз. Как выяснится в дальнейшем, некоторые циклы памяти могут не содержать фазы адреса. Поэтому длительность цикла памяти может быть меньше времени доступа.

Упомянувшееся ранее быстродействие оперативной памяти определяется как временем доступа, так и длительностью цикла памяти, поскольку эти параметры описывают разные аспекты функционирования микросхемы. Чем меньше время доступа и длительность цикла памяти, тем микросхема быстрее и эффективнее, тем выше общее быстродействие компьютера.

Пропускная способность памяти зависит от длины машинного слова и от длительности цикла. Например, при длительности цикла 40 нс за одну секунду совершается 25 000 000 циклов памяти. Пусть разрядность шины данных равна 16 битам, то есть за один цикл передается 2 байта. Следовательно, за одну секунду передается 50 000 000 байтов. Таким образом, скорость обмена равна 50 000 000 байт/с, или примерно 48 Мбайт/с. Необходимо учитывать, что в современных типах микросхем данные выставляются на шину два или более раз за один цикл. Поэтому при расчете производительности микросхем нужно учитывать еще и этот фактор.

Обсуждаемый параметр — быстродействие микросхем оперативной памяти — характеризует максимальную (или пиковую) скорость обмена, которая достижима только на короткий период последовательной передачи из одного банка. При смене банка, с которым выполняется обмен, неизбежны существенные задержки и временные потери, следовательно, средняя производительность микросхем окажется ниже, чем рассчитанная на основании длительности цикла.

Во многих случаях использование для описания цикла памяти приведенной временной диаграммы сложно и избыточно. Для упрощенного описания циклов памяти используются условные схемы, в которых длительность цикла задается в количестве тактов синхронизации центрального процессора. При этом в схеме обычно показывают длительности четырех следующих друг за другом циклов памяти.

В примере в течение одного цикла памяти тактовый генератор выдает 5 синхроимпульсов. Следовательно, в стандартном режиме работы микросхемы такой цикл памяти изображается как условная схема вида 5-5-5-5, что соответствует четырем последовательным операциям обмена, выполненным за 5 тактовых импульсов каждая.

Типы микросхем динамической памяти

У рассмотренных стандартных микросхем DRAM цикл памяти включает в себя все три фазы: адреса, данных и восстановления. Поэтому они отличаются большими значениями времени доступа и длительности цикла памяти.

Для повышения эффективности работы микросхем, уменьшения времени доступа и длительности цикла памяти были предложены различные варианты. Далее рассматриваются методы, сыгравшие значительную роль в улучшении характеристик оперативной памяти.

Многоуровневая организация памяти

В главе 4 учебника были рассмотрены структура и функции двух основных уровней памяти — регистров процессора и оперативной памяти. Упомянулся еще и третий уровень, на котором находятся внешние запоминающие устройства, играющие роль информационных складов.

Эти уровни выполняют в организации вычислений самостоятельные функциональные роли, и присутствие в составе компьютера по крайней мере первых двух уровней памяти является обязательным. Запоминающие устройства компьютера различных уровней существенно отличаются друг от друга своими базовыми характеристиками, такими как объем, скорость обмена и стоимость.

Этот набор характеристик внутренне противоречив. В самом деле, как правило, увеличение объема памяти сопряжено с увеличением стоимости и уменьшением скорости выборки, так как выбирать нужно из большего количества единиц памяти. Борьба за снижение стоимости приводит к ухудшению остальных характеристик.

Кроме противоречий между базовыми характеристиками одного и того же уровня, имеются противоречия между различными уровнями памяти, важнейшим из которых является существенная разница в их быстродействии, и по мере совершенствования аппаратных средств компьютера эта разница только нарастает.

Чтобы разрешить эти противоречия и повысить общую эффективность системы, память компьютера реализована в виде многоуровневой структуры, которая включает некоторое количество дополнительных уровней, сглаживающих разницу между соседними основными уровнями.

Кратко охарактеризуем свойства используемых в настоящее время уровней памяти компьютера.

- Регистровая память процессора. Используется для промежуточного хранения данных в процессе их обработки. Энергозависимый вид памяти. Обладает наиболее высоким быстродействием, поскольку работает на тактовых частотах процессора. Время доступа составляет десятые доли наносекунд. Объем регистров — десятки и сотни машинных слов.
- Кэш-память. Дополнительный уровень памяти, играющий роль буфера между оперативной памятью и процессором. Служит для сглаживания разницы в скоростях их работы. Энергозависимый вид памяти. За исключением регистрового, это самый быстрый тип памяти, реализуемый на статических микросхемах памяти. Время доступа составляет единицы наносекунд. Объем кэша может достигать нескольких мегабайт. Отличается относительно высокой стоимостью и высоким энергопотреблением.
- Оперативная память. Используется для хранения выполняющихся программ и необходимых им данных. Энергозависимый вид памяти. Время доступа составляет десятки наносекунд, а объем — несколько гигабайт. Более дешевая, чем кэш-память, так как реализуется с помощью динамических микросхем. Высокая надежность хранения данных и программ, расчетная вероятность ошибки — одна в десять лет.
- Внешняя память — магнитные и оптические диски. Служит информационным складом. Самый медленный уровень памяти, время доступа порядка 30 000 000 нс. Самая дешевая и самая емкая — объем современных дисков доходит до десятков терабайт.

Анализируя приведенный список, можно заметить, что уровни памяти компьютера как бы образуют пирамиду, в основании которой находится внешняя память, а на вершине — регистровая память. Уровень, лежащий в основании, — самый медленный, но зато обладает огромным объемом. По мере продвижения к вершине пирамиды характерный объем уменьшается, а скорость обмена увеличивается, достигая максимального значения у регистрового уровня.

Кроме перечисленных выше уровней памяти в компьютере используются еще несколько разновидностей запоминающих устройств, которые играют, в общем-то, вспомогательную, но довольно важную роль. Это буферная, постоянная и полупостоянная память.

Буферная память используется в адаптерах, контроллерах, портах и т. д. для временного хранения данных в процессе ввода/вывода с целью организации асинхронной работы внешних устройств или сглаживания разницы в скоростях работы устройств, между которыми осуществляется обмен. Это энергозависимый вид памяти. Различные устройства имеют разную по скорости и объему буферную память. Самым высоким быстродействием, сравнимым с быстродействием кэш-памяти, и объемом до десятков мегабайт обладает буферная память контроллеров дисплеев.

Постоянная память (ПЗУ — постоянное запоминающее устройство, или ROM, от Read Only Memory — память только для чтения) используется для энергонезависимого хранения важной системной информации. В постоянной памяти всегда находится часть операционной системы, которая называется BIOS (от Base Input/Output System — базовая система ввода/вывода). BIOS — это набор программ проверки и обслуживания аппаратуры компьютера, который обеспечивает также выполнение простейших операций ввода с клавиатуры, вывода на дисплей и т. д. Постоянная память допускает только считывание. Типовое значение объема ПЗУ до 256 Кбайт при невысокой скорости обмена и времени доступа более 100 нс. Для повышения производительности содержимое постоянной памяти копируется в оперативную, и в работе используется только копия BIOS, которую часто называют теновой памятью. В последние годы постоянная память вытесняется другими видами энергонезависимой памяти, такими как флэш-память (от flash — вспышка, мгновение).

Основными разновидностями постоянной памяти являются:

- PROM (от Programmable ROM — однократно программируемые ПЗУ). Эта разновидность памяти отличается тем, что для записи программ в микросхемы памяти используется специальное устройство. Модули памяти вынимаются из корпуса компьютера и вставляются в это устройство, в котором в модули заносится новое содержимое. Затем модули памяти вставляются назад в компьютер. Этот вид памяти считается устаревшим;
- EPROM (от Erasable Programmable ROM — перепрограммируемые ПЗУ). Микросхемы отличаются тем, что можно неоднократно стирать их содержимое и заносить новое. Удаление кодов из микросхем памяти осуществляется с помощью ультрафиолетового облучения в течение нескольких минут через специальные окошки, которые после облучения вновь заклеиваются. Перепрограммирование микросхем можно выполнять прямо на компьютере с помощью специально подключаемого устройства. Также устаревший вид памяти;
- EEPROM (от Electrically Erasable Programmable ROM — электрически стираемые перепрограммируемые ПЗУ). Стирание осуществляется прямо в компьютере с помощью высокого (порядка 30 В) напряжения;
- EEPROM (от Flash EPROM), или просто флэш-память. Объединяет достоинства ROM и RAM, то есть допускает не только чтение, но и запись в обычном режиме работы компьютера, так же как и микросхемы DRAM, но при выключении электропитания содержимое памяти не уничтожается. В отличие от DRAM потребляет энергию не в течение всего времени работы, а только в периоды чтения/записи.

Полупостоянная память обеспечивает хранение относительно небольшого объема важных параметров конфигурации компьютера (характеристики процессора, системного диска и т. д.) и операционной системы даже при отключенном электропитании. Для поддержания внутреннего состояния такой памяти при отключенном электропитании используется батарейка или аккумулятор. Реализуется полупостоянная память с помощью CMOS-вентилей (от Complimentary Metal Oxide Semiconductor — комплементарный металл-оксид-полупроводник, соответствующее русское сокращение — КМОП). К полупостоянной памяти относится также CMOS RTC (от CMOS Real Time Clock — память часов реального времени) и ESCD (от Extended Static Configuration Data — расширенные статические данные конфигурации). Память CMOS RTC используется для хранения системных часов и календаря, а память ESCD — для хранения параметров устройств с автоматическим конфигурированием, которые обычно называют РnP-устройствами (от Plug and Play — вставь и работай).

Отметим, что под конфигурированием устройства понимается осуществляемый во время его подключения к компьютеру подбор параметров и режимов работы, номера прерывания и т. д., которые обеспечивают нормальное взаимодействие с остальными устройствами компьютера и с операционной системой. Такое конфигурирование, как правило, осуществляется один раз, а затем выбранные параметры должны сохраняться даже при отключенном электропитании. Объем полупостоянной памяти составляет несколько сотен байт, а время доступа к ней превышает 100 нс.

Кэш

В любом случае взаимодействия с оперативной памятью процессор не может по-лучить или передать данные со скоростью, превышающей возможности памяти. На современном уровне развития вычислительных систем скорость работы процессора в десятки и даже сотни раз выше скорости работы микросхем памяти.

Поэтому во время обмена с оперативной памятью процессор теряет много тактов на ожидание данных из памяти.

В 1960-е гг. в составе компьютеров появилась так называемая сверхоперативная память, существенно повысившая общую производительность вычислительных систем. В персональных компьютерах аналогичную функциональную роль стал играть появившийся в 1985 г. высокоскоростной буферный уровень памяти, который назвали кэш-памятью (от cache ~ запас, тайник, наличные в кармане). Точнее всего способ использования этого уровня памяти характеризует сленговый перевод слова cache — карманные деньги, то есть находящиеся под рукой и которые быстро, в любой момент можно достать и использовать для любых нужд.



Рис. 12. Упрощенная схема взаимодействия процессора, кэша и оперативной памяти

Объем кэша значительно меньше, чем объем оперативной памяти, а скорость больше, чем у микросхем динамической памяти, и примерно такая же, как у процессора. В общем случае кэш помещается между оперативной памятью и процессором.

Экспериментально установлено, что после обработки некоторых данных процессор с большой вероятностью обращается к тем же самым данным или к находящимся в непосредственной близости от них. Это наблюдение, которое называется принципом пространственной локализации, уже обсуждалось при изучении пакетного режима функционирования микросхем памяти. Аналогом принципа пространственной локализации является также экспериментально полученный принцип временной локализации, который утверждает, что программе в ближайшее время, вероятнее всего, потребуются данные, которые недавно или только что были использованы.

С учетом принципов локализации данные, затребованные процессором, а также некоторая группа находящихся рядом кодов не только передаются в процессор, но и автоматически заносятся в кэш.

Когда процессору нужны какие-либо данные, он вначале «заглядывает» в кэш «в надежде» обнаружить их там. Если нужные данные действительно находятся в кэше, то они с высокой скоростью передаются в процессор. Эта ситуация носит название попадания в кэш. Если данные в кэше отсутствуют, то говорят, что имеет место промах кэша, и процессор вынужден обращаться в оперативную память.

Если при попытке записи новых данных в кэш он оказывается до конца заполненным, необходимое для записи место освобождается за счет удаления из кэша некоторой группы уже находящихся в нем данных. Удаляться могут данные, к которым было меньше всего обращений,

или, в соответствии с принципом временной локализации, данные, которые дольше всего не использовались процессором. Применение описанного подхода приводит к тому, что по мере выполнения программы в кэше скапливаются наиболее часто используемые данные. Такое накопление принято называть кэшированием.

Очевидно, что при попадании в кэш происходит существенное ускорение работы системы. Количественно оценить общее ускорение от использования кэша можно следующим образом. Пусть время доступа к микросхемам оперативной памяти равно t_0 , время доступа к микросхемам кэша — $t_{ю}h$ — доля попаданий в кэш от общего количества обращений к памяти. Тогда доля промахов в общем количестве обращений составляет $1 - A$, а среднее время доступа при наличии кэша $t = t_0(1 - K) + t_{ю}h$. Например, для $t_0 = 10$ нс, $t_{ю} = 1$ нс и $h = 0,75$ получим $t = 3,25$ нс — более чем в три раза лучше, чем при отсутствии кэша.

Может показаться, что промахи кэша замедляют работу, так как процессор, безрезультатно «заглянув в кэш», делает лишнюю операцию. Однако эту проблему можно обойти, организовав параллельное обращение в оперативную память и в кэш. Если данные в кэше обнаружатся, то выборка из памяти прекращается досрочно. Если же данные в кэше отсутствуют, то выборка из памяти завершается стандартным образом. В любом случае дополнительные временные затраты очень малы.

Контрольные вопросы:

1. Что дает использование многопрограммного режима?
2. Охарактеризуйте особенности реального и защищенного режимов работы микропроцессоров Intel.
3. Что такое задача? Для чего понадобилось введение этого понятия?
4. Опишите особенности механизма сегментации в защищенном режиме.
5. Перечислите атрибуты сегментов памяти в защищенном режиме.
6. Что представляет собой дескриптор сегмента? Опишите его общую структуру.
7. Какие типы сегментов памяти предусматриваются в защищенном режиме?
8. Опишите механизм уровня привилегий защищенного режима. Для чего понадобилось включение механизма привилегий?
9. Как формируется линейный адрес в защищенном режиме?
10. Что представляет собой виртуальная память? Почему возникла необходимость в ее реализации?
11. Опишите механизм реализации виртуальной памяти.
12. Как формируется физический адрес в защищенном режиме?
13. Для чего потребовалась реализация многоуровневой подсистемы памяти компьютера?
14. Охарактеризуйте основные уровни памяти компьютера.
15. Охарактеризуйте вспомогательные уровни памяти компьютера

4 Архитектура вычислительных систем.

4.1 Классификация архитектур: по принципу действия, по поколениям.

Классификация архитектур

К настоящему времени в мире разработаны тысячи различных моделей компьютеров, относящихся к самым разным архитектурам. Эти модели отличаются друг от друга устройством, способами кодирования информации, системами команд, объемом запоминающих устройств, скоростью обработки данных и т. д. Чтобы ориентироваться в этом многообразии вычислительных систем, применяются различные классификационные схемы, основанные на разных признаках.

Перед обсуждением классификации архитектур следует отметить, что многие из существующих классификационных схем, во-первых, довольно условны и не являются общепринятыми, а во-вторых, с течением времени претерпевают определенные изменения, связанные с бурным развитием информационных технологий и невозможностью точно предсказать направления будущего развития компьютерной техники. Поэтому мы рассмотрим только наиболее распространенные в настоящее время классификационные схемы:

- по принципу действия;
- по поколениям;
- по областям применения;
- по архитектуре набора команд;
- а по разрядности машинного слова;
- по типу управления;
- по степени и способу организации параллелизма.

Используя любую схему классификации, необходимо учитывать, что имеются компьютеры и группы компьютеров, промежуточных по своему положению, то есть по одним признакам попадающих в одну классификационную категорию, а по другим — в другую.

Классификация по принципу действия

Классифицирующим признаком этой схемы являются тип обрабатываемых сигналов и соответствующий этому типу принцип работы вычислительной системы. Как было выяснено в главе 1, существуют дискретные и непрерывные сигналы и сообщения.

В связи с этим вычислительные машины делятся на два основных класса:

- дискретные, или цифровые, вычислительные машины (ЦВМ), которые применяются для обработки дискретных сигналов и сообщений;
- аналоговые вычислительные машины (АВМ), используемые для обработки непрерывных сигналов и сообщений.

Все обсуждавшиеся ранее вычислительные системы относятся к группе цифровых машин. Основной отличительной особенностью их принципа действия является интерпретация любых действий над дискретными сигналами как арифметических (сложение, умножение и т. д.) или логических (конъюнкция, дизъюнкция и т. д.) операций над двоичными кодами. С помощью математических и алгоритмических методов и приемов необходимая обработка данных сводится к некоторой последовательности таких операций. Результатом обработки является двоичный код, который затем отображается в текстовом, числовом или графическом виде. Достоинствами цифрового подхода являются универсальный характер, возможность получения результата практически с любой необходимой точностью, наглядность, удобство работы. Отметим, что именно цифровые машины обычно имеются в виду при использовании термина «компьютер».

В аналоговых вычислительных системах используется не расчет по некоторому алгоритму, а моделирование, то есть построение реальной физической модели, адекватной решаемой задаче. Явления, протекающие в модели, оказываются подобны изучаемым явлениям, если модель и решаемая задача описываются одними и теми же системами математических уравнений.

В аналоговых машинах решаемая задача обычно моделируется электрическими схемами, и решение получается после подачи на входы схемы напряжений, соответствующих исходным данным задачи. Решение получается не путем последовательного выполнения арифметических или других действий, которое может занимать секунды, часы и дни, а сразу же после стабилизации уровней напряжений во всех участках цепи. При этом используются не два дискретных уровня напряжения, интерпретируемых как цифры 0 и 1, а целый интервал значений напряжений, каждая точка которого интерпретируется как вещественное значение. Изменение с течением времени напряжения в некоторой точке цепи соответствует изменению значения некоторой вещественной переменной моделируемой задачи. Решением считается совокупность значений параметров (ток, напряжение) моделирующей электрической схемы во всех ее точках.

Поскольку решение получается одновременно во всех точках цепи, можно сказать, что в аналоговой машине имеет место максимально возможная для решаемой задачи степень параллелизма, которая определяется не аппаратными возможностями машины, а самой структурой решаемой задачи.

Большинство аналоговых вычислительных машин имеют фиксированную (неизменяемую) или коммутируемую архитектуру, подобную архитектуре машины «Марк 1».

Основу машины составляют соединяемые между собой электрическими кабелями функциональные блоки, которые выполняют над непрерывными сигналами такие операции, как дифференцирование, интегрирование и т. д. При любом изменении программы приходится выполнять перекоммутацию соединений между функциональными блоками, на что требуется довольно много времени.

С точки зрения решения задачи, можно считать, что каждый функциональный блок получает на входе функцию и выдает на выходе ее производную, ее первообразную или какую-либо другую функцию-результат. При этом нет необходимости использовать для вычисления, например, определенного интеграла некоторую приближенную формулу, скажем, формулу Симпсона. Функции-результаты регистрируются, как правило, на осциллографах.

В связи с высоким параллелизмом производительность аналоговых машин на специальных классах задач может многократно превосходить производительность самых современных цифровых машин. Но при этом точность результатов невысока, всего 1-6%, что соответствует обычному уровню точности в физических экспериментах и инженерных задачах.

Цифровые вычислительные машины могут использоваться для решения задач любых классов, в то время как аналоговые машины, вообще говоря, относятся к узкоспециализированным системам, которые могут успешно применяться только при решении задач нескольких специальных классов. Наиболее выгодно использование аналоговых машин для решения задач, описываемых системами дифференциальных, интегральных и интегрально-дифференциальных уравнений, например задачи Коши. Широко применяются аналоговые машины в системах автоматического регулирования, а также в бортовых вычислительных и управляющих системах на судах, самолетах, ракетах.

В некоторых аналоговых машинах для моделирования используются не уровни напряжений в электрической цепи, а электрические процессы в сплошной объемной проводящей среде, например такой как электролит. Это позволяет моделировать решение сложных задач гидродинамики, теплопроводности и т. д., описываемых уравнениями с частными производными, такими как уравнение Лапласа.

В 1940—1960-е гг. аналоговые вычислительные машины были почти так же широко распространены, как и цифровые. Затем на фоне огромных достижений цифровой техники аналоговые машины отошли на задний план. В настоящее время наблюдается возрождение интереса к этим системам. Поскольку и аналоговые, и цифровые машины обладают как определенными достоинствами, так и недостатками, большой интерес вызывают так называемые гибридные вычислительные машины (ГВМ), которые сочетают в себе достоинства аналоговых и цифровых машин.

Классификация по поколениям

Классификация вычислительных систем по поколениям соответствует историческому процессу развития вычислительной техники. Основными классифицирующими признаками являются элементная база и соответствующие ей технические параметры вычислительных систем: быстродействие процессора, объем оперативной и внешней памяти, надежность, стоимость и т. д. В качестве дополнительных факторов во внимание принимаются характер программного обеспечения, преимущественная сфера использования и некоторые другие. По совокупности этих признаков к настоящему времени принято выделять пять поколений вычислительной техники.

Довольно подробно прослеживается процесс развития средств вычислений вплоть до первого поколения компьютеров. К первому поколению относятся машины, созданные в период, начинающийся с компьютера EDSAC и заканчивающийся примерно в конце 1950-х гг. Их элементной базой были электронные лампы накаливания. Оперативная память машин создавалась на ферритовых сердечниках. Ее объем составлял несколько тысяч чисел, а среднее быстродействие процессора было на уровне 5-30 тыс. арифметических операций в секунду. Программировать приходилось в машинных кодах, немного позднее на автокоде или Ассемблере. Создавались машины первого поколения в единичных экземплярах и использовались в основном для выполнения математических вычислений в военных, технических и научных целях.

Эти машины стоили очень дорого, занимали огромные площади, были не совсем надежны в работе, имели маленькую скорость обработки информации и могли хранить очень мало данных. Работать с этими машинами могли только специалисты высочайшей квалификации. Чтобы обслуживать машину, ремонтировать ее при сбоях и т. д., требовался целый коллектив специалистов. Несмотря на все перечисленные недостатки, их применение для обработки информации оказалось весьма успешным.

В качестве типичных примеров машин первого поколения можно указать американские компьютеры UNIVAC, IBM-701, IBM-704, а также советские машины БЭСМ и М-20.

Ко второму поколению относят машины, элементной базой которых является транзистор, изобретенный в 1951 г. Уильямом Шокли. Машины второго поколения создавались в период с конца 50-х и до середины 60-х гг. XX в. У этих машин значительно уменьшились стоимость и габариты, выросли надежность, скорость работы и объем хранимой информации. Типичный объем оперативной памяти составлял 64-128 Кбайт, а скорость обработки данных возросла до 1 млн. операций в секунду.

В архитектуре машин второго поколения было введено совмещение во времени работы центрального процессора и каналов ввода/вывода, а также появился связанный с совмещением многопрограммный режим. Были созданы машины с распараллеливанием выборки команд и данных из оперативной памяти.

С появлением специальных алгоритмических языков, таких как Фортран и Алгол-60, а также библиотек стандартных программ существенно упростилось применение машин для решения практических задач в различных областях. Машины стали использовать для стандартных инженерных расчетов, в экономической деятельности, для оптимизации работы отдельных предприятий и даже отраслей и во многих других областях.

Типичными машинами второго поколения в нашей стране были БЭСМ-4, М-220, Минск-22, БЭСМ-6. Причем машина БЭСМ-6 в этот период считалась одним из лучших в Европе компьютеров.

Машины третьего поколения выполнены на интегральных схемах. Отметим, что первая интегральная схема была создана в 1959 г. Д. Килби. Переход от транзисторов к интегральным схемам вызвал соответствующие изменения в стоимости, размерах и надежности машин. Емкость оперативной памяти увеличилась до мегабайта, а скорость — до десятков миллионов операций в секунду.

Важнейшим отличием третьего поколения компьютеров стал выпуск машин семействами.

Семейством называется группа моделей компьютеров, которые используют одни и те же способы кодирования данных, имеют одинаковые системы команд центрального процессора и одинаковую логическую структуру. Отличаются модели друг от друга по скорости, объемам памяти, стоимости и т. д. В связи с этим разные модели могут использоваться для удовлетворения различных потребностей пользователей.

Поскольку машины, входящие в семейство, используют одни и те же способы кодирования данных, одну и ту же систему команд, можно осуществлять широкий обмен программами и данными между разными пользователями без внесения в программы существенных изменений.

В ходе развития семейства в архитектуру новых моделей могут вноситься усовершенствования, в систему команд могут включаться новые команды и группы команд. Но при этом практически всегда сохраняется так называемая обратная совместимость, означающая, что все созданные программы, работавшие на предшествующих моделях, без каких-либо изменений должны выполняться на любой новой модели.

Всего было выпущено одиннадцать различных по своим техническим характеристикам, но одинаковых по архитектуре моделей этого семейства. Популярность машин семейства IBM/360 оказалась настолько велика, что во всем мире их стали копировать или выпускать похожие по функциональным возможностям и совпадающие по способам кодирования обработки информации. Причем программы, подготовленные для выполнения на машинах IBM, с успехом выполнялись на их аналогах, так же как и программы, написанные для выполнения на аналогах, могли быть выполнены на машинах IBM. Такие модели машин принято называть программно-совместимыми. В нашей стране такой программно-совместимой с семейством IBM/360 была серия машин ЕС ЭВМ, в которую входило около двух десятков различных по мощности моделей.

Еще одним важнейшим нововведением этого периода было появление операционных систем и систем управления базами данных, без которых немислимо представить сегодняшние информационные технологии.

Начиная с третьего поколения, вычислительные машины становятся повсеместно доступными и широко используются для решения самых различных задач. Характерным для этого времени является коллективное использование машин, так как они все еще довольно дороги, занимают большие площади и требуют сложного и дорогостоящего обслуживания. Правда, доступ к возможностям машины уже организуется и с индивидуально используемых устройств — терминалов (от terminal — конечный пункт), которые представляют собой оконечные устройства, состоящие из клавиатуры и дисплея и обычно не имеющие собственного процессора и памяти. Терминалы находятся на некотором удалении от основного оборудования машины, иногда даже на рабочих местах пользователей в других помещениях, и используются как устройства удаленного ввода и вывода для полноценного компьютера.

Основными носителями обрабатываемых данных все еще являются перфокарты и перфоленты, хотя уже значительный объем информации сосредоточивается на магнитных носителях — дисках и лентах.

В первой половине 1970-х гг. происходит переход от обычных интегральных схем к схемам с большей плотностью монтажа — большим интегральным схемам. На фоне этого перехода произошло разделение до этой поры, в общем-то, единого потока развития средств вычислительной техники на две ветви.

Одна ветвь продолжала тенденцию наращивания мощности и надежности, а также коллективного использования вычислительных мощностей. Считается, что машины этого направления образуют четвертое поколение компьютеров. Среди них следует упомянуть семейство машин IBM/370, а также модель IBM 196, скорость которой достигла 15 млн. операций в секунду. Отечественными представителями машин четвертого поколения являются машины семейства «Эльбрус». Отличительная черта четвертого поколения — наличие в одной машине нескольких (обычно 2-6, иногда до нескольких сотен и даже тысяч) центральных процессоров, которые могут дублировать друг друга или независимым образом выполнять

вычисления. Такая структура позволяет резко повысить надежность машин и скорость вычислений.

Вторая ветвь развития средств вычислительной техники оказалась направленной на миниатюризацию и персонализацию средств обработки данных. Своим рождением это направление обязано появлению в 1971 г. первого микропроцессора

Intel 4004. Для микропроцессоров введена отдельная классификация, по которой Intel 4004 относится к первому поколению микропроцессоров. Основные этапы развития микропроцессорной техники рассматриваются в главе 16.

Другая важная особенность этого периода связана с появлением мощных средств, обеспечивающих работу компьютерных сетей. Это позволило впоследствии создавать и развивать на их основе глобальные и локальные компьютерные сети.

Последним на сегодняшний день считается пятое поколение компьютеров. О проекте создания машин этого поколения, рассчитанном на десять лет, объявили в начале 1980-х гг. японские разработчики. За ними в эту стратегическую гонку втянулись ученые многих стран мира, в том числе США, СССР и ряда стран Западной Европы. Было заявлено, что к началу 90-х гг. будет создано принципиально иное по стилю обработки информации и взаимодействия с пользователем поколение машин. Если в традиционных информационных технологиях человек тщательно и подробно формулирует машине последовательность действий по обработке информации, то в проекте пятого поколения машина должна по поставленной перед ней цели самостоятельно составить план действий и выполнить его. Планировалось ввести общение с машиной на уровне естественного языка. Однако решить полностью весь комплекс задач проекта не удалось и до сих пор. Хотя имеются впечатляющие достижения по каждому из направлений проекта, возникли определенные технические трудности. Кроме того, усилия значительной части разработчиков были переключены на микропроцессорную технику и развитие сетевых технологий.

4.2 Функциональная классификация компьютеров. Классификация по архитектуре системы команд. Параллельные архитектуры.

Функциональная классификация компьютеров

Классифицирующим признаком функциональной схемы является область применения вычислительных средств. Это наиболее размытая схема, потому что обычно существует несколько примерно равноценных вариантов выбора модели компьютера для решения поставленной задачи.

Вместе с тем имеются области преимущественного использования моделей тех или иных классов. Они-то и составляют некую устойчивую основу для функциональной классификации. В настоящее время принято выделять следующие группы: суперкомпьютеры, универсальные компьютеры, мини-компьютеры, персональные компьютеры и встраиваемые процессоры.

Суперкомпьютер, или суперЭВМ, представляет собой сверхмощную одиночную обычно многопроцессорную вычислительную систему, которая способна решать задачи предельных классов, то есть такие задачи, в которых приходится с максимально возможными скоростями обрабатывать огромные массивы данных. К ним относятся, например, задачи метеопрогноза в планетарных масштабах, управления системами противоракетной и космической обороны, расчета и проектирования современных самолетов и космических кораблей, задачи из области ядерной физики и космогонических исследований, задачи обеспечения работы глобальных сетей общемирового значения и т. д. Для их решения и достижения необходимого для этого уровня производительности суперкомпьютеры содержат десятки тысяч процессоров. Стоимость суперкомпьютеров может достигать до 500 млн. долларов и более.

По состоянию на лето 2005 г. мощнейшим суперкомпьютером в мире была состоящая из 65 536 процессоров американская вычислительная система Blue Gene/L, пиковая производительность которой в это время равнялась 136,8 Тфлоп (136,8 трлн, операций с

плавающей точкой в секунду). Отметим, что проектная скорость этого суперкомпьютера 360 Тфлоп. Состоящая из 924 процессоров отечественная машина МВС-1500/ВМ с пиковой производительностью 8,1 Тфлоп в списке мощнейших машин мира в это же время занимала неплохое 56-е место. Заметим, что в это время во всем мире имелось лишь девять суперкомпьютеров, максимальное быстродействие которых превышало 10 Тфлоп. В настоящее время уже проектируются системы, скорость работы которых будет измеряться пета-флопами — квадриллионами флопов.

Группа универсальных компьютеров, или мэйнфреймов (от mainframe — главный каркас, центральное строение), характеризуется возможностью решать подавляющее большинство задач обработки информации и практически неограниченными возможностями ее хранения. Универсальные машины представляют собой большие, обычно однопроцессорные или с относительно небольшим количеством центральных процессоров, вычислительные системы. Они используются как центральное звено в системах управления производственным циклом, в вычислительных центрах крупных предприятий, высших учебных заведений, исследовательских центров, а также как массовые хранилища информации. В последнее время универсальные компьютеры часто применяются в качестве ведущего элемента глобальных и локальных сетей, который предоставляет свои вычислительные ресурсы всем подключенным к сети компьютерам. К группе универсальных компьютеров относят машины типа ЕС ЭВМ и другие аналогичные им. Эта группа машин постепенно вытесняется мощными персональными компьютерами.

Мини-компьютеры, или мини-ЭВМ, использовались для работы в условиях реального производства для управления поточными линиями, как центральное звено в системах управления оборудованием цеха или отдела в больших организациях, а также для обеспечения работы средних по размерам организаций.

Мини-компьютеры представляли собой более дешевый вариант универсальных машин. Как правило, мини-компьютеры выполнялись в виде нескольких напольных стоек, содержащих все устройства. В настоящее время эта группа машин считается устаревшей, они практически полностью вытеснены более мощными и дешевыми персональными компьютерами.

Персональные компьютеры (устаревшие названия — микрокомпьютеры, микроЭВМ) — это группа машин настольного исполнения, которые эксплуатируются, как правило, одним человеком или небольшим коллективом специалистов для решения своих профессиональных задач. Иногда персональный компьютер используется как ведущий элемент системы управления группой механизмов.

По своим вычислительным возможностям современные персональные компьютеры оставили далеко позади себя машины второго и третьего поколений, не говоря уже о машинах первого поколения. Для большей наглядности вы можете сравнить тридцатитонный «динозавр» ENIAC с его размерами и скоростью в 5 тыс. операций в секунду и стандартный современный персональный компьютер, уместяющийся на рабочем столе специалиста и выполняющий миллиарды операций в секунду.

Встроенные процессоры представляют собой программируемые интегральные схемы, включаемые в конструкцию какого-либо отдельного устройства или механизма (автомобиль, металлорежущий станок, крылатая ракета) с целью автоматизации управления или оптимизации его работы. Если такая микросхема соединяется с какими-либо запоминающими устройствами и/или устройствами обмена данными, то такую конструкцию называют встроенным компьютером. Оказывается, что выгоднее встраивать в различные устройства и механизмы по-разному запрограммированные, но однотипные процессоры или компьютеры, чем для каждого из них заново разрабатывать уникальные устройства управления.

- Существует еще одна классификация, основанная на сетевой модели «клиент-сервер». Компьютеры, которые предоставляют свои ресурсы другим компьютерам, принято называть серверами (от serve — обслуживать, быть полезным), а машины, которые эти ресурсы используют, — клиентами. С этой точки зрения в группу серверов попадают подключенные к сети суперкомпьютеры, универсальные компьютеры и мощные персональные машины,

которые в этом случае называются рабочими станциями. В группу клиентов входят персональные компьютеры, играющие роль так называемого интеллектуального терминала — более мощного, чем обычный терминал, устройства, которое не только обеспечивает обмен данными или управление работой компьютера в сети, но и может взять на себя значительную часть функций по хранению и обработке информации. Кроме того, к группе клиентов относятся так называемые бездисковые рабочие станции — персональные машины без внешней памяти, а также терминальные установки — оконечные устройства, состоящие из клавиатуры и дисплея и обычно не имеющие собственного процессора и памяти.

- К настоящему времени все более четко просматриваются глобальные изменения функциональной классификации компьютеров, в результате которых в этой схеме, возможно, останутся только два класса: серверы и клиенты. Внутри этих двух классов, скорее всего, появятся дополнительные градации, например: домашний сервер, сервер локальной сети, интернет-сервер и т. д.

Классификация по архитектуре системы команд



Рис. 15.1. Классификация компьютеров по архитектуре системы команд

Эта схема является, пожалуй, самой важной с точки зрения архитектуры компьютера, так как классифицирующими признаками являются структура и особенности системы команд процессора.

На рис. представлено современное состояние дерева архитектур по особенностям системы команд.

Архитектура по фон-нейману является исходной точкой развития архитектуры всех современных цифровых машин. Поэтому можно считать, что предложенная им и обсуждавшаяся в 5.2 аккумуляторная архитектура образует корень дерева классификации архитектур.

Параллельные архитектуры

Существует класс практически важных задач, для решения которых возможностей однопроцессорных компьютеров не хватает. Это задачи метеопрогноза, проектирования авиационной и космической техники, обработки изображений, управления оборонительными системами и т. д. Во многих случаях кроме высокой производительности от вычислительной системы требуется постоянная готовность к выполнению ее функций и высокая надежность, обеспечивающая работоспособность даже в случае отказа некоторой части оборудования. Готовность к работе для однопроцессорных систем ограничена необходимостью проведения периодических профилактических работ, а возможный отказ единственного центрального процессора в любой момент может полностью парализовать работу всей системы. Таким образом, можно утверждать, что, несмотря на достигнутое благодаря современным архитектурным и технологическим подходам существенное увеличение тактовых частот и производительности, однопроцессорные системы перечисленным выше требованиям не удовлетворяют.

Высокая производительность, высокая степень готовности к работе и отказоустойчивость могут быть обеспечены только с помощью многократного дублирования основных узлов системы, в том числе с помощью включения в состав компьютера более одного процессора. Необходимо обеспечить реально параллельное, то есть одновременное выполнение двух или более частей

одной и той же программы двумя или более процессорами на одном или нескольких связанных компьютерах.

Параллельным называется такое выполнение программы, когда две или более части одной и той же программы выполняются одновременно двумя или более центральными процессорами одного и того же или разных компьютеров. В первом случае архитектура вычислительной системы считается многопроцессорной (мульти-процессорной), а во втором — многомашинной (мультикомпьютерной). Вычислительные системы, содержащие более одного центрального процессора, называются параллельными.

Не следует путать параллельную работу с многопрограммным (мультипрограммным) режимом вычислительных систем, когда все имеющиеся ресурсы разделяются между двумя или более программами, находящимися на стадии выполнения. Многопрограммный режим может быть организован и на однопроцессорной системе.

4.3 Неклассические архитектуры. Законы Амдала.

Неклассические архитектуры

В группу вычислительных систем с неклассической архитектурой можно отнести специализированные системы, системы, управляемые потоком данных, и системы, работающие на физических принципах, отличающихся от используемых в электронных компьютерах.

К специализированным системам относятся прежде всего машины баз данных, машины языков высокого уровня и всевозможные управляющие системы, которые обеспечивают работу самых разных объектов, начиная от мобильного телефона, стиральной машины и заканчивая космическими аппаратами и оборонными комплексами. Базы данных и их приложения в современном мире являются одной из важнейших сфер применения информационных технологий. Системы управления базами данных, собственно базы данных и их приложения обычно реализуются на универсальных компьютерах с традиционной архитектурой, а также на мощных вычислительных комплексах параллельного действия. Вместе с тем такая реализация баз данных приводит к большим накладным расходам, неудовлетворительной скорости и недостаточно высокой надежности работы с ними. Специалисты нашли выход в создании специализированных вычислительных систем, архитектура которых приспособлена к специфическим задачам и действиям, характерным для баз данных и их приложений. Как правило, в этих системах используются различные реализации ассоциативной памяти и ассоциативных процессоров. Характерным примером машин баз данных считается машина DBC (от database computer), построенная в университете штата Огайо (США).

В архитектурах машин языков высокого уровня организация кодов данных и машинных команд привязывается к структурам данных и операциям над ними, характерным для того или иного языка программирования, например языка Кобол, PL/1, Паскаль, Ада и т. д. В классических архитектурах единственной структурой данных, которая для обеспечения максимально высокой скорости работы привязана к возможностям аппаратных средств, является последовательность битов, занимающих некоторое поле памяти. Наделение этой последовательности свойствами, превращающими ее в структуры данных, используемые в программах и необходимые для решения реальных задач, возлагается на программное обеспечение, на трансляторы, инструментальные среды и т. д. Это значительно усложняет трансляторы и исполнительные системы. В архитектурах машин языков высокого уровня необходимые для языка структуры данных и операции над ними реализуются на аппаратном уровне, что влечет за собой их усложнение. Такой подход позволяет либо существенно упростить процесс трансляции на машинный уровень, либо вообще отказаться от него. Разработчиками было создано довольно много таких машин. Можно упомянуть, например, системы на процессорах фирмы Western Digital, ориентированные на язык Паскаль, машину iAPX 432 фирмы Intel, в некоторой степени реализующую возможности языка Ада, и т. д.

Подробное обсуждение архитектур, связанных с машинами баз данных и языками высокого уровня, можно найти.

К группе неклассических архитектур, в которых последовательность действий определяется потоком обрабатываемых данных, относятся потоковые и систолические компьютеры, а также нейрокompьютеры.

Характерная особенность потоковых компьютеров, или компьютеров, управляемых данными DFC (от Data Flow Computers), — принципиальное отсутствие регистра счетчика команд, который определяет порядок выполнения действий, то есть поток команд. В таких машинах последовательность выполнения операций определяется структурой обрабатываемых данных, отображенной на граф потока данных. Поточковая обработка данных осуществляется в соответствии с принципом: всякое действие выполняется в тот момент, когда для него готовы данные. Ясно, что вычислительные системы, точно выполняющие указанный принцип, обеспечивают максимально возможное для данного алгоритма распараллеливание.

Таблица 18.1. Распределение действий для вычисления значения P

1-е действие	2-е действие	3-е действие	4-е действие
$r1 := a + b$	$r1 := r1 \times d$	$r1 := r1 + r2$	$P := r1 + r3$
$r2 := a + d$	$r2 := r2 \times b$		
$r3 := d \times b$	$r3 := r3 \times c$		

Чтобы более полно представить способ работы потоковых компьютеров, рассмотрим пример вычисления значения выражения $P = (a + b)d + (a + d)b + dbc$. Анализ входящих в это выражение слагаемых показывает, что вычисления значений выражений в скобках $(a + b)$, $(a + d)$ и произведения db могут производиться одновременно. Поручив выполнение этих действий трем процессорным элементам, можно за время выполнения одного действия получить значения трех промежуточных величин. На втором шаге, также используя три процессорных элемента, можно одновременно получить значения всех трех слагаемых. Дальнейшие действия по вычислению значения P могут быть выполнены только последовательно. В строках табл. 18.1 представлены действия, которые могут быть выполнены параллельно, а на рис. 18.1 — граф потока данных для данного примера.

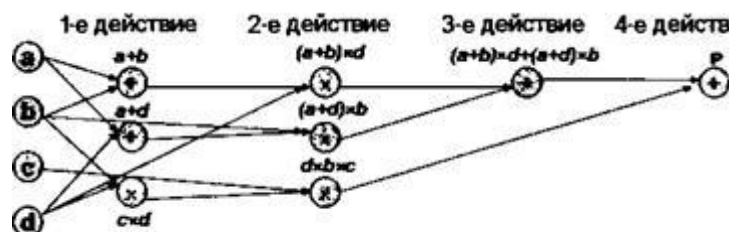


Рис. 18.1. Граф потока данных

Таким образом, имея в своем распоряжении три процессорных элемента и организовав выполнение действий в порядке, изображенном на графе, можно сократить количество этапов вычисления с 8 до 4, то есть уменьшить время вычислений примерно вдвое. В принципе, можно предложить другой граф и другую последовательность действий, которые дают тот же самый результат, но увеличить количество параллельно выполняемых действий и уменьшить общее количество этапов для данного примера не удастся.

В общем случае для произвольного алгоритма универсальная потоковая машина должна содержать неограниченно большое количество процессорных элементов. Чтобы иметь возможность реализовать любой потоковый граф, эти элементы должны находиться в узлах системы линий связи с полностью связной топологией. Очевидно, что реализация универсальной потоковой машины наталкивается на непреодолимые сложности. Очевидно также, что в реальных потоковых машинах из-за ограниченного количества процессорных элементов максимально высокий уровень параллелизма не достигается. В связи с этим реальные потоковые

машины используются не как универсальные, а как специализированные, в которых граф потока данных либо заранее известен и фиксирован, либо изменяется не очень значительно. В этом случае на алгоритмах из некоторого фиксированного класса возможно достижение максимально высокого параллелизма и, следовательно, максимального выигрыша по сравнению с однопроцессорными компьютерами и даже по сравнению с классическими универсальными многопроцессорными системами.

Разновидностью потоковых машин являются системы, которые называют систолическими массивами (или машинами). Это специализированные системы, которые удобно использовать для реализации алгоритмов, построенных на итерационных численных методах решения математических задач. Рассмотрим, например, типичную итерационную схему вида

$$x_i^{(k+1)} = a_i + f_i(x_1^{(k)}, \dots, x_n^{(k)}), \quad i = 1, 2, \dots, n; \quad k = 1, 2, \dots$$

где $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$ — искомый вектор, $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ — вектор начальных приближений, $f = \{f_1, f_2, \dots, f_n\}$ — вектор-функция, задающая связь между вычисляемыми на текущем (k -м) шаге значениями компонент вектора x и их значениями на предыдущем шаге.

Законы Амдала

Пусть пиковая производительность однопроцессорной системы равна T_0 тогда пиковая производительность системы, состоящей из p таких процессоров, увеличится в p раз, $T = pT_0$. Ускорением параллельной системы R назовем отношение ее производительности к производительности соответствующей однопроцессорной системы.

Тогда пиковое ускорение $R = T/T_0 = p$. Значит, пиковое ускорение p -процессорной системы равно p . Реальная производительность параллельной системы зависит не только от количества процессоров в системе и их производительности. Существенным фактором, влияющим на реальное ускорение системы, оказываются свойства выполняемой программы. Американский специалист в области вычислительных систем Р. Амдал, исследовавший вопросы производительности параллельных систем, доказал несколько утверждений, которые принято называть законами Амдала. Приведем первые два закона без доказательств. Желающие могут найти эти доказательства в [И].

Первый закон Амдала. Производительность вычислительной системы, состоящей из нескольких связанных между собой устройств, определяется самым непроизводительным устройством.

Этот закон является частным случаем общего физического положения, в соответствии с которым надежность любой системы определяется самым ненадежным ее элементом. Практическое значение этого утверждения состоит в том, что для повышения производительности вычислительной системы не имеет смысла существенно увеличивать производительность только центрального процессора и при этом оставлять на прежнем уровне возможности его шин, памяти и дисковой подсистемы. Общая эффективность всегда окажется связанной с самым неэффективным компонентом.

Почти в любой программе можно выделить участки, которые допускают распараллеливание. Это означает, что на таком участке существуют ветви, которые могут быть переданы для одновременного выполнения нескольким центральным процессорам. Кроме того, в программах существуют участки, допускающие только последовательное выполнение операций.

Пусть, например, нужно найти сумму $s = \{s_1, s_2, \dots, s_n\}$ двух заданных векторов $a = \{a_1, a_2, \dots, a_n\}$ и $b = \{b_1, b_2, \dots, b_n\}$, где $s_i = a_i + b_i$, $1 \leq i \leq n$. Если в нашем распоряжении имеется p процессоров, то, передав каждому из них пару соответствующих компонент a_i и b_i и организовав их одновременную работу, можно получить искомый результат — все компоненты вектора s за время выполнения одного сложения. Видно, что участок программы, связанный с получением компонент вектора s , допускает распараллеливание.

Однако в этой же программе имеются участки (например, связанные с вводом исходных данных, с подготовкой к циклу, с выводом результатов), — которые сложно или же вообще невозможно распараллелить. Наличие таких участков в программах является фактором, ограничивающим реальное повышение производительности многопроцессорных систем. Количественно это ограничение описывается вторым законом Амдала.

Второй закон Амдала. Пусть вычислительная система состоит из p процессоров. Предположим, что k из N операций алгоритма могут выполняться только последовательно. Пусть $\beta = k/N$ — доля последовательных операций в алгоритме, $0 < \beta < 1$.

1. Тогда максимально возможное ускорение системы

Очевидно, что предел выражения для ускорения R при неограниченном увеличении количества процессоров, то есть при p , стремящемся к бесконечности, равен $1/\beta$. Пусть, например, доля операций, которые могут быть выполнены только последовательно, равна $\beta = 0,1$, тогда реальное ускорение R не может быть больше 10 при любом количестве процессоров. Практический вывод из этих соображений состоит в том, что для общего повышения эффективности нужно не только наращивать количество процессоров в системе, но и улучшать свойства программы, в частности, уменьшать долю операций, выполняемых только последовательно.

4.4 Топология параллельных систем.

Классификация параллельных систем класса МКМД.

Топология параллельных систем

Из-за наличия в составе параллельной вычислительной системы более одного центрального процессора его уникальность в составе системы теряется. Процессор становится одним из многих аналогичных узлов. Поэтому в параллельных вычислительных системах термин «центральный процессор» заменяется термином процессорный элемент (ПЭ), процессорный модуль (ПМ) или процессорный узел (ПУ).

Процессорным элементом считается любой процессор в составе параллельной вычислительной системы.

Вычислительные системы с параллельной архитектурой характеризуются:

- типом и мощностью процессорных элементов;
- масштабируемостью, то есть возможным количеством процессорных элементов;
- объемом и типом модулей памяти;
- возможными связями и способом взаимодействия между процессорными элементами, а также между процессорными элементами и модулями памяти.

В современных параллельных вычислительных системах используются высокопроизводительные, в основном 64-битовые, процессоры PA-RISC (PA 8700, PA 8800), Alpha (Alpha 21264, Alpha 21364, Alpha 21464), Power PC (Power 3, Power 970, Power 4), MIPS (R14000, R16000), Sun (UltraSPARC III, UltraSPARC IV), AMD (Opteron, Athlon 64), Intel (Xeon EM64T, Itanium 2) и некоторые другие.

Различные системы допускают различную масштабируемость. Характерным является возможность включения в систему от 128 до 512 процессорных элементов. Вместе с тем существуют системы, содержащие десятки и сотни тысяч процессоров.

Оперативная память в современных параллельных системах реализуется на высокопроизводительных микросхемах типа DDR SDRAM. Ее общий объем обычно составляет десятки терабайт. Каждый процессор может иметь собственный внутренний кэш. Кроме того, в систему обычно включаются общие или индивидуальные внешние кэши нескольких уровней.

Основными элементами структуры вычислительной системы, влияющими на ее производительность, являются способ соединения процессорных элементов и модулей памяти, а также организация связи между ними. Эти факторы оказываются даже более весомыми, чем индивидуальная мощность процессорных элементов, из которых построена система.

Способ соединения процессорных элементов и модулей памяти в параллельной вычислительной системе называется топологией системы.

Существуют статические и динамические топологии. В статических топологиях соединение элементов системы фиксировано и не изменяется с течением времени. В динамических схемах все компоненты системы подключаются к переключательному устройству — коммутатору, которое может соединять любые компоненты друг с другом. В целом статические топологии отличаются, с одной стороны, более высоким быстродействием, так как все связи между процессорными элементами известны и уже установлены, а с другой — невысокими возможностями масштабирования системы, так как включение нового элемента обычно требует физической перестройки системы связей и перенастройки программного обеспечения. Динамические топологии, наоборот, отличаются высокими возможностями масштабируемости и меньшим быстродействием.

Существует много различных способов построения коммутаторов, используемых для организации связей внутри параллельных систем. В матричном коммутаторе каждый процессорный элемент имеет линии связи, которые связывают его с каждым из модулей памяти (МП). В узлах пересечения линий связи находятся простые переключающие устройства, обеспечивающие соединение или разрыв связи. В общем случае такой коммутатор может содержать n^2 входов, к которым могут подключаться процессорные элементы, модули памяти или другие коммутаторы в любых нужных комбинациях. Достоинствами такого устройства коммутатора являются его высокое быстродействие, возможность одновременной связи любых

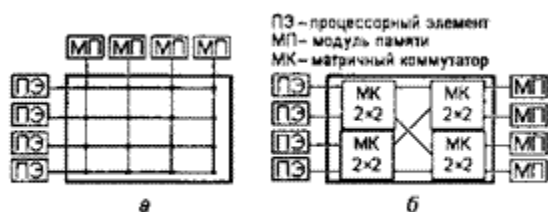


Рис. 17.1. Упрощенные схемы коммутаторов: а — матричного, б — каскадного

процессорных элементов между собой и с любыми модулями памяти, высокая надежность. Но матричные коммутаторы имеют существенный недостаток — количество необходимого оборудования растет как n^2 при увеличении количества входов n .

Для удешевления коммутаторов используются различные каскадные схемы. На рис. 17.1 у б показана схема коммутатора, построенного на базе простых матричных коммутаторов (МК 2 x 2), имеющих 2x2 входа. Каждый из простых коммутаторов связан с входом другого простого коммутатора, а также с двумя процессорными элементами или модулями памяти. Так обеспечивается связь между любыми двумя подключенными к коммутатору устройствами, аналогичная связи в матричных коммутаторах.

При этом общее количество переключательных элементов в такой схеме возрастает только как $(n \log_2 n)/2$, что для больших n гораздо меньше, чем n^2 . Однако наличие промежуточных коммутаторов вызывает замедление работы устройства в целом.

Топология вычислительной системы может быть изображена в виде графа, узлами которого являются процессорные элементы, модули памяти или коммутаторы. Ребра такого графа отображают существующие между элементами системы связи.

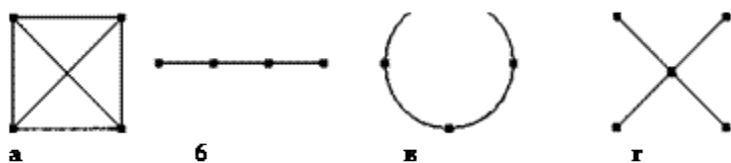


Рис. 17.2. Базовые топологии параллельных вычислительных систем

Топология, в которой каждый узел имеет связь с любым другим (рис. 17.2, а), называется полностью связной. Такая топология отличается наиболее высокой производительностью, но имеет ограниченные возможности масштабирования и высокую стоимость. Если система содержит n узлов, то каждый узел должен иметь $n - 1$ связей, а общее количество связей в полностью связной топологии равно $n(n - 1)/2$. В большинстве случаев разработчики не имеют материальных ресурсов для построения таких систем.

Если в топологии отсутствует связь между какими-либо двумя узлами системы, то такая топология считается неполностью связной. Существует множество вариантов неполностью связных топологий. На рис. 17.2, б-г изображены базовые неполностью связные топологии параллельных вычислительных систем, из которых в конечном счете формируются любые используемые на практике топологии.

На рис. 17.2, б изображена топология с общей шиной, которая является аналогом архитектуры с общей шиной однопроцессорных компьютеров. Топология отличается простотой и дешевизной. Вместе с тем ей присуща низкая надежность, так как отказ любого узла приводит к выходу из строя всей системы. Кроме того, в топологии с общей шиной включение каждого нового узла приводит к уменьшению общей пропускной способности шины, что свидетельствует о плохой масштабируемости такой топологии.

На рис. 17.2, в представлена топология типа кольцо, являющаяся развитием топологии с общей шиной. Фактически кольцо представляет собой общую шину с соединенными концами, поэтому оно обладает теми же достоинствами и недостатками, что и общая шина. К преимуществам относится более высокая скорость обмена, так как передача данных может осуществляться в двух направлениях и можно выбрать более короткий путь, чем в случае использования общей шины.

Еще одна базовая топология — типа звезда — изображена на рис. 17.2, г. В системе выделяется один центральный узел, который имеет отдельную связь со всеми остальными узлами. Любой другой узел имеет связь только с центральным. Такая топология отличается в целом более высокой надежностью по сравнению с общей шиной или кольцом, но в ней предъявляются более высокие требования к производительности и надежности центрального узла, который становится критическим для системы.

Выбор топологических связей в конкретных системах обуславливается различными требованиями: стоимостью, технологичностью, надежностью, производительностью и т. д. В связи с этим к коммутаторам и построенным на их базе топологиям предъявляются противоречивые требования высокой пропускной способности, хорошей масштабируемости, приемлемой стоимости и т. д.

Существует огромное количество вариантов топологий, реализованных в вычислительных системах. Например, на рис. 17.3, а изображена топология типа двумерной решетки, использованная в системе Intel Paragon. Ее естественным развитием является топология двумерного тора (рис. 17.3, б), реализованная в вычислительных системах компании Dolphin Interconnection Solution. Переход от двумерной решетки к двумерному тору осуществляется аналогично переходу от общей шины к кольцу — замыканием каждой линии связи решетки в кольцо.

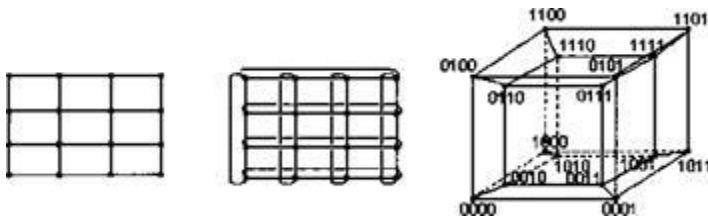


Рис. 17.3. Некоторые развитые топологии параллельных систем

На рис. 17.3, в приведен пример еще одной интересной топологии — двоичного четырехмерного гиперкуба. Двухмерный гиперкуб представляет собой обычный квадрат (содержащий четыре узла), а трехмерный — это обычный куб из восьми узлов. В общем случае в этой топологии строится состоящий из 2^n узлов «-мер- ный гиперкуб, в котором каждый узел соединен с ближайшим узлом по каждому из n измерений. В двоичной системе номер любого из участвующих в связи узлов отличается от номера любого другого только в одном бите, что обеспечи- вает полную симметричность системы и простоту реализации множества задач вычислительной математики. Известны системы с этой топологией, содержащие до 65 536 узлов.

Классификация параллельных систем класса МКМД

Классификация Флинна была предложена в 1966 г. К настоящему времени она хорошо описывает особенности вычислительных систем только на нескольких верхних уровнях, изображенных на рис. 17.7. Более детальная классификация, в частности, классификация систем типа МКМД, уже не соответствует совре- менным особенностям класса.



Рис. 17.13. Современная классификация систем класса МКМД

На рис. 17.13 приведена уточненная структура вычислительных систем класса МКМД. По данной классификации вычислительные системы этого типа делятся на многопроцессорные системы, совместно использующие оперативную память, и многомашинные системы, осуществляющие обмен с помощью передачи сооб- щений. Каждый из классов имеет определенные достоинства и недостатки. Пре- имуществами многопроцессорных систем с общей памятью являются:

- совместимость с хорошо отлаженными механизмами доступа к оперативной памяти, используемыми в однопроцессорных системах;
- простота программирования приложений, простота разработки трансляторов и операционных систем;
- малое время доступа, более высокая производительность линий связи;
- возможность использования аппаратно управляемого кэширования.

К преимуществам систем с передачей сообщений относятся:

- более простое аппаратное устройство, не требующее согласованности кэш-памяти различных процессорных элементов;
- возможность построения хорошо масштабируемых систем.

В класс систем с общей памятью входят две основных группы, UMA и NUMA. Вычислительные системы класса UMA (от Uniform Memory Access — унифи- цированный, однородный доступ к памяти) обеспечивают всем процессорным элементам системы однородный доступ к общему адресному пространству оперативной памяти. Любой из процессорных элементов может записать в любое поле памяти какой угодно код, после чего

любой другой процессорный элемент может использовать этот код любым образом. Каждый процессорный элемент имеет одно и то же время доступа к любому полю оперативной памяти. Поскольку все процессорные элементы находятся в одних и тех условиях и имеют одинаковые права доступа к памяти, такие системы называют также симметричными мульти- процессорными системами и обозначают SMP (от Symmetric Multi-Processing).

Связи между процессорными элементами и модулями оперативной памяти организуются по высокоскоростным общим шинам и/или с помощью матричных коммутаторов. Количество процессорных элементов в системе класса SMP обычно не превышает 32-64. В такой системе каждый процессорный элемент выполняет свою программу практически не зависящим от остальных процессоров образом. Все процессорные элементы обычно работают под управлением единственной общей для всех процессоров операционной системы.

Каждый процессорный элемент системы может иметь собственный кэш. Эта возможность вызывает проблему когерентности кэшей различных процессорных элементов, которая в целом аналогична проблеме когерентности кэша и оперативной памяти. Чтобы обеспечить согласованность данных в кэшах разных процессоров, доступ процессорных элементов к оперативной памяти реализуется на базе различных протоколов, обычно использующих принцип взаимноисключающего доступа.

Системы типа SMP просты в эксплуатации, не слишком дороги, но при этом отличаются относительно невысокой масштабируемостью. Характерным примером системы этого типа является компьютер Sun Enterprise 10000, состоящий из 64 процессорных элементов Ultra SPARC III.

Системы NUMA (от Non Uniform Memory Access) — с неоднородным доступом к памяти — состоят из нескольких однородных базовых модулей, которые включают несколько процессорных элементов со своими локальными блоками оперативной памяти, а также блока общей для всех процессоров оперативной памяти. При этом вся оперативная память физически распределена между процессорными элементами, но логически является общей, с единым адресным пространством. По причине физического разделения доступ процессорного элемента к собственной локальной памяти оказывается в несколько раз быстрее, чем доступ к общему блоку памяти и к блокам локальной памяти других процессорных элементов. Время доступа к локальной и общей памяти в системах NUMA может различаться в 5-10 раз. Эти системы имеют очень хорошие возможности масштабирования, количество процессорных элементов в них может доходить до нескольких тысяч.

В архитектуре NUMA также существуют проблемы, связанные с доступом процессорных элементов к данным, модифицированным другим процессорным элементом и помещенным в его кэш-память. В связи с этим в класс NUMA входят системы без кэширования NC-NUMA (от No Caching NUMA) и системы с согласованной кэш-памятью CC-NUMA (от Coherent Cache NUMA), в которых проблемы когерентности решаются довольно эффективно. Характерным примером вычислительной системы класса NC-NUMA является машина Carnegie-Mellon Cm*. Системами CC-NUMA являются: суперкомпьютеры Hewlett-Packard Superdome, SGI Origin 3000, Sun HPC 15000 и Sequent NUMA-Q 2000.

Вообще говоря, к группе многопроцессорных систем относятся еще и системы класса СОМА (от Cache Only Memory Access), в которых локальная память каждого процессорного элемента используется только как кэш-память. При этом общая для всех процессорных элементов оперативная память в системе отсутствует. Отличительной особенностью этой архитектуры является отсутствие постоянной привязки строк кэша к адресам локальных блоков оперативной памяти.

Строки помещаются в локальную память (кэш) любого из процессорных элементов по мере необходимости. Это избавляет от проблем согласования, но появляются сложности с удалением элементов, а также с определением наличия строк кэша в оперативной памяти. Эти системы пока не очень распространены, и еще не накоплен достаточный опыт их эксплуатации.

В классе многомашинных систем выделяют две группы: массивно-параллельные системы MPP (от Massively Parallel Processor) и кластерные системы COW (от Cluster Of Workstation).

Системы класса MPP называют также системами с массовым параллелизмом, а кластерные системы иногда обозначают как NOW (от Network Of Workstation).

Не следует путать матричные или массивно-параллельные процессоры, относящиеся к классу ОКМД, с массивно-параллельными системами MPP, относящимися к классу МКМД. В первом случае речь идет об одном компьютере, который содержит много процессоров. Во втором — о взаимосвязанных компьютерах, которые могут одновременно решать одну и ту же задачу. Во избежание путаницы в первом случае рекомендуется использовать термин «матричные процессоры».

Массивно-параллельные системы MPP состоят из однородных вычислительных узлов, включающих один или несколько процессорных элементов, локальную память для каждого элемента, модули ввода/вывода и коммуникационный узел или сетевой адаптер, которые связаны специализированными высокоскоростными линиями связи. Непосредственный доступ к модулю памяти имеет только его процессорный элемент. Можно заметить, что оперативная память физически разделена между процессорными элементами, так же как и в машине ILLIAC IV класса ОКМД.

В системах типа MPP полноценная операционная система, как правило, работает только на одной управляющей машине, а на каждом из процессорных элементов функционирует ее урезанный вариант. Хотя имеются и варианты, когда на каждом процессоре работает полноценная операционная система типа Unix.

Фактически это системы с распределенными между несколькими компьютерами аппаратными и программными ресурсами. Причем эти компьютеры находятся на относительно небольшом удалении друг от друга и связаны между собой высокоскоростной сетью линий связи, по которым происходит обмен сообщениями.

Системы класса MPP отличаются высокой, практически стопроцентной отказоустойчивостью и очень хорошо масштабируются. Например, вычислительная система ASCI White (от Accelerated Strategic Computing Initiative — ускоренная стратегическая вычислительная инициатива) размером в два баскетбольных поля содержит 8192 процессора. Известны системы, содержащие до 65 536 процессоров.

Системы COW, или кластерные архитектуры, представляют собой объединение нескольких стандартных персональных компьютеров и/или серверов посредством стандартных сетевых средств связи. Машины, входящие в кластерную систему, могут использоваться для совместного и одновременного выполнения одной и той же программы.

Вычислительным кластером называется совокупность компьютеров, объединенных в рамках локальной или глобальной сети для решения одной задачи. В качестве вычислительных узлов используются однопроцессорные персональные компьютеры, 2- или 4-процессорные системы.

Кластерные архитектуры фактически представляют собой более дешевый вариант массивно-параллельных систем, вариант, построенный из стандартных персональных машин и стандартных средств сопряжения в локальную или глобальную сеть.

Каждый узел кластера работает под управлением своей собственной операционной системы (Linux, Windows 2000, Solaris). Кластер отличают развитая коммуникационная среда и наличие удаленного доступа к нему через Интернет.

Один из первых кластерных проектов был реализован в 1994 г. Он был создан из 16 процессоров Intel 80486 с тактовой частотой 100 МГц. В каждом узле кластера размещались модуль оперативной памяти объемом 16 Мбайт и три сетевых адаптера Ethernet.

Некоторые специалисты выделяют в группе многомашинных систем еще и класс распределенных вычислительных систем, подразумевая наличие в составе системы большого количества пространственно рассредоточенных аппаратных и программных ресурсов, функционирующих автономно, но согласованно под управлением единой операционной системы верхнего уровня и/или собственных, локальных операционных систем. Машины, входящие в распределенные системы, не имеют ни общих блоков оперативной памяти, ни общих периферийных устройств. Распределенные системы отличаются от кластеров тем, что

компьютеры, входящие в такую систему, могут принадлежать разным собственникам и находиться на значительном удалении друг от друга. Такие системы используются для распределенного хранения и обработки информации.

Хранение и не синхронизированная во времени обработка связанной информации, осуществляемые на пространственно разделенных вычислительных машинах, называются распределенными.

Необходимо различать параллельную обработку в централизованных и сетевых системах и распределенную обработку в сетевых и распределенных системах. Под параллельной обычно понимают обработку, синхронизированную во времени, в то время как обработка, осуществляемая асинхронно, считается распределенной.

Частным случаем распределенных вычислительных систем считаются вычислительные сети, метакомпьютеры или Grid-системы (от grid — решетка). Они отличаются от кластеров большей независимостью и сложностью образующих систему компонентов. В вычислительных сетях обычно отсутствуют операционные системы верхнего уровня. Обычно Grid-системами считаются серверы и системы хранения данных, объединенные в единую группу вычислительных ресурсов. Отличительной чертой Grid-системы является согласованная работа входящих в систему компьютеров над одной и той же задачей.

Метакомпьютер обладает огромными вычислительными распределенными неоднородными ресурсами, принадлежащими разным организациям. Мощность метакомпьютера значительно превосходит мощность любого современного суперкомпьютера. Например, с помощью метакомпьютера решена задача вычисления максимального для сегодняшних возможностей числа Мерсенна вида $2^p - 1$, где p — простое число. В решавший эту задачу метакомпьютер вошли свыше двадцати тысяч связанных по Интернету персональных компьютеров по всему миру. Вычислительная сеть работала над этой задачей два с половиной года, в результате в ноябре 2001 г. было найдено значение числа $2^{13466917} - 1$.

Контрольные вопросы:

1. Какой способ действий контроллера кэша можно предложить, если запрошенное процессором поле попадает на границу строк, то есть одна часть поля находится в одной строке, а другая часть — в другой?
2. Дайте сравнительную характеристику адресуемой и ассоциативной памяти.
3. Опишите структуру многоуровневого кэша и дайте характеристику его уровням.
4. В чем заключается проблема когерентности кэша? Сформулируйте причины появления некогерентности кэша.
5. Опишите используемые способы поддержания когерентности кэша.
6. Какие микросхемы используются для реализации кэша?
7. Дайте определения технических характеристик микросхем памяти.
8. Опишите принцип действия микросхем статической памяти.
9. Опишите принцип действия микросхем динамической памяти.
10. Что представляет собой регенерация памяти? Как и когда она производится?
11. Дайте сравнительную характеристику микросхем статической и динамической памяти.
12. Опишите устройство микросхемы памяти.
13. Поясните смысл терминов «ячейка микросхемы», «структура микросхемы», «банк памяти», «модуль памяти».
14. Охарактеризуйте существующие конструкции модулей памяти.
15. Как физический адрес байта преобразуется в адрес ячейки микросхемы?
16. Что представляет собой цикл памяти? Как изображаются циклы памяти?
17. Опишите условные приемы изображения временных диаграмм циклов памяти.
18. Изобразите временную диаграмму цикла чтения и опишите последовательность действий, выполняемых во время цикла.

19. Охарактеризуйте фазы адреса, данных и восстановления.
20. Поясните смысл характеристик «быстродействие памяти», «время доступа к памяти», «длительность цикла памяти».
21. Опишите метод расслоения памяти. Что дает его использование?
22. Охарактеризуйте ограничения, присущие однопроцессорным вычислительным системам.
23. Поясните смысл терминов «параллельная программа», «многопроцессорная система», «многомашинная система».
24. Что называется ускорением параллельной вычислительной системы?
25. Сформулируйте законы Амдала. Какой практический вывод из них следует?
26. Перечислите базовые характеристики параллельных вычислительных систем.
1. Охарактеризуйте ограничения, присущие однопроцессорным вычислительным системам.
2. Поясните смысл терминов «параллельная программа», «многопроцессорная система», «многомашинная система».
3. Что называется ускорением параллельной вычислительной системы?
4. Сформулируйте законы Амдала. Какой практический вывод из них следует?
5. Перечислите базовые характеристики параллельных вычислительных систем.
6. Что понимается под топологией системы? Какую роль играет топология? Какие существуют топологии?
7. Какую роль играют коммутаторы в архитектуре параллельных систем?
8. Сравните возможности основных типов коммутаторов.
9. Охарактеризуйте базовые топологии параллельных систем.
10. Поясните смысл терминов «поток команд», «множественный поток команд», «поток данных», «множественный поток данных», «косвенная слабая связь», «прямая слабая связь», «сильная связь».
11. И. Перечислите классификационные признаки классификации параллельных систем по Флинну.
12. Изобразите дерево классификации параллельных систем по Флинну.
13. Охарактеризуйте класс ОКОД.
14. Охарактеризуйте класс ОКМД. Какие типы вычислительных систем входят в этот класс? Приведите примеры.
15. Охарактеризуйте отличительные особенности векторных, векторно-конвейерных и матричных систем.
16. Опишите особенности ассоциативных систем и укажите основные области их применения.
17. Охарактеризуйте класс МКОД. Какие системы относятся к этому классу?
18. Охарактеризуйте класс МКМД. Изобразите дерево классификации класса.
19. Охарактеризуйте преимущества систем с общей памятью и систем с передачей сообщений.
20. Дайте сравнительную характеристику классов UMA и NUMA.
21. Чем отличаются друг от друга классы CC-NUMA и NC-NUMA.
22. Дайте сравнительную характеристику классов MPP и COW.
23. Поясните смысл терминов «вычислительный кластер», «распределенная система», «вычислительная сеть», «метакомпьютер», «Grid-система», «компьютерная сеть».

5 Обзор основных семейств микропроцессоров.

5.1 Семейство Intel. Семейство SUNSPARC.

Как отмечалось ранее, компьютеры, построенные на базе процессоров Intel, весьма популярны в мире. Для них создается огромное количество всевозможных программ. Поэтому многие фирмы-производители вычислительной техники разрабатывают и выпускают свои модели компьютеров, программно совместимые с моделями процессоров Intel.

Производством совместимых моделей процессоров заняты такие фирмы как AMD (от Advanced Micro Devices — улучшенные микроустройства), Cyrix, IBM, Texas Instruments и некоторые другие. Обычно эти фирмы выпускают совместимые модели немного позже, чем это делает Intel, но они включают в разработки только отработанные, показавшие свою эффективность архитектурные решения. За счет улучшенных технических подходов им удается увеличить производительность либо уменьшить стоимость аналогичной модели по сравнению с оригинальной моделью из семейства Intel. Конкуренты Intel предлагают альтернативные варианты, для которых требуется минимальное количество новых команд или не требуется переработка компиляторов, что дает им некоторые преимущества.

В качестве примера программно совместимых моделей рассмотрим процессоры, выпущенные фирмой AMD. Первой получившей признание моделью фирмы AMD были процессоры AMD Krypton 5, или, в краткой форме, AMD K5. Эти процессоры построены по архитектуре x86-to-RISC86 и полностью совместимы с процессором Pentium, чьим соперником они считались. Процессор AMD K5 работал на частотах от 90 до 133 МГц и содержал 16 Кбайт кэш-памяти для команд и 8 Кбайт для кодов данных.

Первые экземпляры следующей модели, AMD K6, производились по 0,35-микронной технологии, работали на частоте 166 МГц и имели отдельный кэш из двух блоков объемом по 32 Кбайт каждый. Это суперскалярные процессоры, полностью совместимые с командами системы x86 на уровне двоичных кодов. В систему команд процессора была включена поддержка набора целочисленных машинных команд группы MMX, что делало процессор AMD K6 сопоставимым с процессором Pentium II фирмы Intel. Вместе с тем производительность процессора на операциях с плавающей точкой была невысока.

Затем были выпущены процессоры AMD K6-2 и AMD K6-3, изготавливавшиеся по 0,25-микронной технологии и работавшие на частотах от 266 до 450 МГц. Эти процессоры уже составляли серьезную конкуренцию модели Pentium II. Например, AMD K6-2 с тактовой частотой 333 МГц имел пиковую производительность 1,33 Гфлоп, в то время как Pentium II с частотой 400 МГц показывал только 0,4 Гфлоп. Преимущество объясняется, в частности, тем, что для этих процессоров был разработан фирменный набор машинных команд с названием 3DNow!, который оказался более эффективным заменителем команд группы SSE процессора Pentium II.

Так, например, группа команд 3DNow! включает 21 машинную команду, в то время как группа SSE — 71 команду.

Следующей известной моделью фирмы AMD стали процессоры седьмого поколения Athlon K7. Они производились по 0,25-микронной технологии, имели тактовые частоты от 500 до 700 МГц, внутренний кэш объемом 128 Кбайт и показатели 31,7 SPECint95 и 24,0 SPECfp95 на частоте 700 МГц. Последние модели AMD K7 производились уже по 0,18-микронной технологии и работали на частоте 1,4 ГГц. Отличительной особенностью этой модели стала 43-битовая адресная шина. Это позволило адресовать до 8 Тбайт оперативной памяти, что существенно выше, чем 64 Гбайт у процессора Pentium III. Процессор Athlon K7 относится к суперскалярным суперконвейерным. Он имеет 9 функциональных исполнительных устройств. В соответствии с этим Athlon K7 может выполнять до 9 команд за такт, что тоже больше, чем у Pentium III. В архитектуре Athlon K7, как и в архитектуре Pentium, предусмотрено внеочередное выполнение команд. Система команд процессора Athlon K7 поддерживала группу команд MMX

процессора Pentium III. Кроме того, в группу команд 3DNow! были включены 24 новые команды. Получившуюся расширенную группу стали называть Enhanced 3DNow!.

К этому же поколению относится и выпущенный немного позднее 32-битовый процессор AMD Athlon XP. Он изготавливается по 0,13-микронной технологии, имеет тактовую частоту до 1,8 ГГц, внутренний кэш объемом 384 Кбайт и возможность работы с шиной 400 МГц.

К восьмому поколению процессоров фирмы AMD относится уже 64-разрядный процессор AMD Athlon 64 с тактовой частотой 2,2 ГГц. Он имеет специальный набор команд типа x86-64, обеспечивающий работу как с 32-, так и с 64-битовыми приложениями. Важным архитектурным отличием процессоров AMD Athlon 64 является обращение к оперативной памяти напрямую, с использованием интегрированного с процессором контроллера памяти, а не через системную шину, как это делает процессор Athlon XP.

В 2005 г. фирма AMD выпустила состоящий из 233 млн. транзисторов двухъядерный процессор Athlon 64 X2. Последний компонент наименования отражает тот факт, что процессор имеет два ядра, выполненные по архитектуре AMD 64. Каждое ядро имеет собственную кэш-память второго уровня объемом 1 Мбайт и работает на частоте до 2,4 ГГц.

Сравнивая между собой модели фирмы Intel и AMD, а также других производителей программно совместимых процессоров, нельзя не заметить, что все фирмы используют схожие, а во многих случаях просто одинаковые архитектурные решения.

Семейство SUN SPARC

В 1981 г. Э. Бехтольсхайм для работы в сети Стэнфордского университета под управлением операционной системы Unix создал рабочую станцию, которая была им названа SUN (от Stanford University Network — сеть Стэнфордского университета).

А в 1982 г. он стал одним из основателей компании Sun Microsystems, ныне одной из ведущих фирм, работающих в сфере информационных технологий.

В 1987 г. компания Sun разработала 32-битовый микропроцессор SPARC (от Scalable Processor Architecture — масштабируемая или наращиваемая архитектура процессора), который был одним из первых процессоров, построенных по RISC-архитектуре. Его система команд содержала всего 55 команд трех различных форматов. К 1995 г. в компании Sun на принципах RISC-архитектуры была разработана 64-битовая система команд SPARC v.9. На ее базе была создана рабочая станция Sun Ultra SPARC I, предназначенная для работы с мультимедийной информацией, а также в качестве веб-сервера и в многопроцессорных системах. Затем было разработано несколько моделей семейства, в которых наращивалась производительность системы. Относительно недавно был выпущен двухъядерный процессор Sun UltraSPARC IV, в котором используется технология Chip Multithreading, незначительно отличающаяся от технологии Hyper Threading процессоров Pentium. Компьютеры семейства SPARC производятся фирмами Sun, Fujitsu Siemens Computers (FSC), Texas Instruments и некоторыми другими.

В качестве примера рассмотрим характеристики 64-разрядного суперскалярного процессора Sun UltraSPARC III. Он выполнен по 0,18-микронной технологии, состоит из 29 млн. транзисторов, имеет тактовую частоту до 900 МГц, внешний кэш объемом до 8 Мбайт, оперативную память объемом до 2 Тбайт и показатели 467 SPECint2000 и 483 SPECfp2000 на частоте 900 МГц.

Процессор UltraSPARC III содержит четыре целочисленных и два вещественных функциональных устройства, конвейер длиной 14 ступеней, четыре внутренних четырехходовых кэша: кэш данных объемом 64 Кбайт, кэш команд объемом 32 Кбайт, а также кэш предварительной выборки и кэш записи объемом 2 Кбайт каждый.

Работающая на частоте 200 МГц шина внешнего кэша имеет разрядность 288 бит, из которых 256 бит информационных, а остальные 32 бита — контрольные, относящиеся к системе ECC. Соответственно, производительность этой шины равна 6,4 Гбайт (32 байта · 200 МГц).

Шина данных имеет разрядность 144 бита, из которых 128 информационных и 14 контрольных системы ECC. Частота шины равна 150 МГц, а ее пропускная способность

составляет 2,4 Гбайт/с. Адресная шина с разрядностью 43 бита также имеет тактовую частоту 150 МГц.

Архитектура процессора позволяет запускать на исполнение до 6 команд одно- временно, из них четыре целочисленных и две команды с плавающей точкой. Фактически исполнение целочисленных команд занимает всего один такт. Тем не менее используется задержка схода таких команд с конвейера на четыре так- та. Такая задержка необходима для сохранения последовательности результатов в связи с тем, что у процессора UltraSPARC III отсутствует внеочередное ис- полнение — команды программы запускаются на конвейер и сходят с него в том порядке, в котором они заданы в программе. После выборки команды попадают в очередь, содержащую 20 элементов, откуда они группами, содержащими до шести команд, направляются в соответствующие исполнительные устройства. Все команды в группе получают собственный идентификационный код, в соот- ветствии с которым на выходе из конвейера фиксируются результаты их выпол- нения. Описанный пакетный режим для команд довольно эффективно загружает функциональные устройства процессора даже при отсутствии переопределения порядка команд.

Важнейшим архитектурным отличием семейства SUN SPARC является явная нацеленность на обеспечение максимально возможной масштабируемости, которая позволяет объединить до нескольких сотен процессоров в единую вычислитель- ную систему. В связи с этим критической точкой архитектуры стало соединение большого количества процессоров с системной шиной. Очевидно, что размещение на одной шине даже нескольких десятков слотов представляет сложно реализуе- мую задачу. В связи с этим было принято решение выделить каждому процессору индивидуальную шину, которые подсоединяются к центральному коммутатору, обеспечивающему необходимый обмен данными.

Коммутатором называется устройство, обеспечивающее путем необходимых внут- ренних переключений связь между любыми двумя устройствами, входящими в груп- пу устройств, подключенных к коммутатору.

Понятно, что в этом случае «узким» местом архитектуры становится сам комму- татор. Однако разработчикам удалось создать коммутационные устройства, про- изводительность которых обеспечивала все потребности архитектуры. Базовым элементом архитектуры SUN SPARC стал высокоскоростной коммутатор UPA (от Ultra Port Architecture). В связи с этим говорят, что компьютеры семейства SUN SPARC построены по архитектуре UPA.

Архитектура UPA — это высокопроизводительная многопортовая (многоходовая) масштабируемая архитектура, построенная на принципе одновременной пакетной коммутации нескольких портов и предназначенная для создания вычислительных систем с произвольным количеством процессоров.

Еще одной принципиальной особенностью архитектуры SUN SPARC является независимая коммутация адресов и данных. Такая особенность позволяет строить системы с произвольной разрядностью шин адресов и данных для каждого ка- нала связи с процессором. При этом передача адреса производится параллельно с прохождением предыдущего пакета данных.

Кратко обсудим особенности системы RISC-команд процессоров SPARC. Один процессор системы содержит:

- тридцать два 64-битовых регистра целых чисел, которые обозначаются %r0, %r1, ..., %r31;
- тридцать два 80-битовых регистра с плавающей точкой %f0, %f1, ..., %f31;
- двадцать регистров специального назначения, например: регистр %PC со- держит адрес текущей команды, %NPC — адрес следующей команды и т. д.

Отметим, что некоторые из целочисленных регистров также имеют жестко фиксированное назначение: например, регистр %r0 всегда содержит константу 0, а ре- гистр %r14 — указатель на вершину стека.

В системе команд семейства SPARC предусмотрено три формата команд, трех- адресные обрабатывающие команды, использование только простых способов адресации (регистравая, непосредственная и прямая), а также автоматическое использование стека для хранения

параметров процедур. Все команды имеют длину 32 бита, каждая команда выполняет только одно действие. Большинство команд имеет два входных регистра и один выходной. Вместо одного из регистров может указываться непосредственный операнд.

Для иллюстрации особенностей системы команд SPARC рассмотрим некоторые примеры. По команде `ldsb a, %r1` байт оперативной памяти с адресом `a`, содержащий знаковый код, копируется (загружается) в регистр `%r1` процессора, а по команде `ldub a, %r1` производится то же самое действие, но считается, что байт памяти содержит беззнаковый код. Команда `ldsh a, %r1` предписывает переслать в регистр `%r1` уже два байта из поля с адресом `a`. По команде `ldsw` выполняется загрузка слова, а по команде `ldd` — загрузка двойного слова. Команда `sth %r1, a` обеспечивает запись двух байтов из регистра `%r1` в поле памяти с адресом `a`.

Анализируя эти команды, можно заметить, что, в отличие от рассмотренной ранее системы команд процессоров x86, в системе команд процессора SPARC явно задает длину операнда и формат обрабатываемого кода. Результат выполнения команды всегда помещается в последний операнд команды.

Еще одна особенность системы команд SPARC состоит в том, что стандартная обрабатываемая команда, например `add %r1, %r2, %r3`, задающая сложение содержимого регистров `%r1` и `%r2` и запись результата в регистр `%r3`, не формирует значения флажков. Чтобы сформировать эти значения, нужно использовать явное указание в мнемокоде: команда `addcc %r1, %r2, %r3` выполняет то же самое сложение, но при этом еще и устанавливаются характеризующие результат флажки.

Приведем еще ряд примеров, показывающих, как в системе команд SPARC задаются более сложные адреса операндов:

```
add %r9, 4, %r9! %r9:=%r9+4
```

```
ldb [%r8+78], %r9! Загрузить в %r9 значение из адреса [%r8+78] stb %r10, [%r6-5]! Записать по адресу [%r6-6] значение из %r10
```

Приведенные ранее примеры записаны по правилам, принятым в языке Ассемблер процессора SPARC. Легко заметить, что отличия от правил записи программ на Ассемблере процессора Intel есть, но они незначительны.

5.2 Семейства PA-RISC, Alpha, PowerPC, MIPS. Семейства БЭСМ и Эльбрус.

Семейства PA-RISC, Alpha, Power PC, MIPS

Начиная с 1986 г. фирма Hewlett-Packard Microprocessors выпускает процессоры семейства PA-RISC (от Precision Architecture RISC). Основное отличие моделей этого семейства — высокая надежность и точность вычислений, которая достигается благодаря повсеместному использованию систем контроля и кодирования, обеспечивающих регистрацию и исправление ошибок (ECC).

В настоящее время выпускаются входящие в это семейство процессоры серии PA 8x00. Например, выполненный по 0,18-микронной технологии 64-битовый суперскалярный процессор PA-8700 состоит из 186 млн. транзисторов, имеет площадь 304 мм² и работает на частоте 800 МГц. В этом семействе, так же как и в семействе Intel, имеется двухъядерный процессор PA 8800. Он выполнен по 0,13-микронной технологии и состоит из 300 млн. транзисторов. Каждое ядро работает на частоте 1 ГГц и имеет собственную внутреннюю кэш память объемом 1,5 Мбайт. В систему входит общий для процессорных ядер кэш второго уровня объемом 32 Мбайт. Совместное использование ядрами внешнего кэша позволяет существенно повысить производительность и минимизировать задержки, связанные с обращением к оперативной памяти.

Перед разработчиками подразделения Digital Alpha Microprocessors фирмы DEC (от Digital Equipment Corporation), так же как и перед разработчиками фирмы Sun, стояла задача создания процессоров максимальной масштабируемости и производительности, чтобы обеспечить возможность производства на их основе высокопроизводительных многопроцессорных систем. К

началу 90-х гг. XX в. был разработан удовлетворявший этим условиям 64-битовый RISC-процессор Alpha, который стал родоначальником семейства. Наиболее мощными моделями семейства являются выполненные по 0,18-микронной технологии процессор Alpha 21364 (или EV7) с тактовой частотой 1 ГГц и процессор Alpha 21464 (или EV8) с тактовой частотой до 2 ГГц. Впоследствии фирма DEC перешла к компании Compaq, а затем стала составной частью фирмы Hewlett-Packard, которая недавно объявила о намерении в недалеком будущем прекратить производство моделей PA-RISC и Alpha и перейти к производству унифицированной модели семейства Itanium, относящейся к EPIC-архитектуре.

Компаниями IBM, Motorola и Apple Computer в середине 1990-х гг. был разработан процессор RISC-архитектуры PowerPC. Основными направлениями эволюции в семействе PowerPC стали устранение команд, которые препятствуют повышению тактовой частоты, и обеспечение длительного времени жизни архитектуры путем ее расширения до 64-битовой. Кроме того, с одной стороны, осуществлялось упрощение архитектуры с целью ее приспособления для реализации дешевых однопроцессорных систем, а с другой — добавление свойств, необходимых для поддержки многопроцессорных систем. На более поздних этапах выполнялись работы по подключению технологий мультимедиа и распознавания речи. Наиболее мощными моделями этого семейства на сегодня являются выполненный по 0,13-микронной технологии процессор PowerPC 970 (IBM Power 4) с тактовой частотой 1,8 ГГц и PowerPC 970FX, который выполнен уже на основе 90-нанометровой технологии и работает на тактовой частоте 2 ГГц.

Основным направлением разработок фирмы SGI (от Silicon Graphics International) является создание сверхмощных многопроцессорных вычислительных систем. Для таких систем фирма, в частности, разработала собственный суперскалярный RISC-процессор MIPS (от Million Instructions Per Second). Наиболее производительной моделью семейства на сегодняшний день является MIPS R14000.

Таблица 16.2. Результаты тестирования некоторых моделей процессоров
Модель процессора Частота, ГГц SPECint2000 SPECfp2000

Модель процессора	Частота, ГГц	SPECint2000	SPECfp2000
HP Alpha 21364	1,15	877/795	1482/1124
HP PA-8700	0,875	678/642	647/600
Intel Itanium 2	1,0	810	1431
Intel Pentium EE	3,066	1130/1085	1103/1092
AMD Athlon XP 2800	2,25	933/898	843/782
IBM Power 4	1,45	935/909	1295/1221

В табл. 16.2 представлены официальные результаты выполненного в 2004 г. тестирования группы наиболее высокопроизводительных современных микропроцессоров на тестах SPECint2000. В числителе представлена пиковая производительность, а в знаменателе — реально показанная в тестировании. Для процессора Itanium 2 приведены только результаты тестирования. Анализ результатов тестирования показывает, что представленные в ней процессоры оказываются довольно близкими по своим показателям. Если же учесть, что тактовая частота процессора Intel Itanium 2, выбранного для тестирования, равна всего 1 ГГц, можно, по-видимому, по результатам проведенного тестирования отдать предпочтение этому процессору.

Семейства БЭСМ и Эльбрус

До сих пор обсуждались в основном вычислительные системы зарубежных разработчиков, а достижения отечественных ученых и конструкторов оставались в тени. Вместе с тем идеи и разработки советских и российских специалистов играют немаловажную роль в общемировом развитии информационных технологий.

Как уже упоминалась, первая советская электронная вычислительная машина МЭСМ, разработанная под руководством академика С. А. Лебедева, была выпущена в 1951 г. — всего на пять лет позже первой в мире электронной машины

ENIAC и на два года позже первой машины с хранимой программой EDSAC. Разработка этой машины началась в 1947 г. — практически сразу же после Великой Отечественной войны. Следует учесть, что с 1941 г. страна воевала и с 1945 г. восстанавливала разрушенное во время войны, а разработка вычислительных машин требует немалой концентрации финансовых средств, технологических решений и высококвалифицированных кадров. Поэтому выпуск работающей машины уже в 1951 г. можно считать серьезным достижением отечественной науки и техники.

Машина МЭСМ работала со скоростью порядка 100 операций в секунду. А уже в 1953 г. тем же коллективом разработчиков была создана родоначальница знаменитого отечественного семейства машина БЭСМ, быстродействие которой составляло 10 000 операций в секунду — самый лучший в Европе и очень неплохой в мировом масштабе показатель.

В 1954 г. советский математик А. А. Марков предложил теорию нормальных алгоритмов, которая позже была названа в его честь. Эта теория наряду с работами Тьюринга и Поста заложила основы теоретического программирования, построения трансляторов и операционных систем.

В 1957 г. на ежегодной сессии Академии наук СССР академик С. А. Лебедев сделал доклад, в котором он изложил основные идеи развития архитектуры вычислительных систем на длительную перспективу (см. 5.3.3).

В 1966 г. коллективом специалистов во главе с академиком С. А. Лебедевым и его заместителями В. А. Мельниковым и Л. Н. Королевым была закончена разработка машины БЭСМ 6, которая занимает особое место в развитии отечественной вычислительной техники. Это была полупроводниковая машина с тактовой частотой 10 МГц и быстродействием до 1 млн. операций с плавающей точкой в секунду. По своим показателям она входила в группу лучших в мире вычислительных систем. Хотя машину БЭСМ 6 обычно относят ко второму поколению, по архитектурным решениям она сопоставима с передовыми компьютерами третьего поколения.

После выпуска БЭСМ 6 было начато проектирование значительно превосходившей ее по своим характеристикам машины БЭСМ 10. Кроме того, к 1967 г. другой коллектив под руководством М. А. Карцева уже разработал проект полностью параллельной машины М-9 с фантастической по тем временам скоростью 1 млрд. операций в секунду. Но этим проектам не суждено было воплотиться в жизнь, так как руководством страны было принято глубоко ошибочное решение сконцентрировать все финансовые средства и кадровые резервы на копировании популярного в то время семейства американских машин IBM/360. Это решение отбросило отечественную электронную промышленность на десятилетия назад.

Несмотря на возникшие трудности, коллектив специалистов Института точного машиностроения и вычислительной техники под руководством В. С. Бурцева и Б. А. Бабаяна продолжил развитие отечественных разработок, и к 1977 г. была создана многопроцессорная вычислительная система «Эльбрус 1» с производительностью до 10 Мфлоп (10 млн. операций в секунду). В 1984 г. была выпущена система «Эльбрус 2» с производительностью 100 Мфлоп, а в 1991 г. была передана в эксплуатацию вычислительная система «Эльбрус 3.1» с производительностью 400 Мфлоп. В 1987 г. за разработку и внедрение микропроцессорной системы «Эльбрус 2» один из руководителей проекта, Борис Арташесович Бабаян, был удостоен Ленинской премии.

Следует подчеркнуть, что в микропроцессорах западных производителей суперскалярный подход, аналогичный использованному в системе «Эльбрус 1», впервые был реализован только в 1991 г. А равноценный «Эльбрусу 1» суперскалярный процессор Pentium Pro фирмы Intel был создан еще позже — в 1995 г. Вот как об этом писал в журнале *Microprocessor Report* в феврале 1999 г. Кит Диффендорф, разработчик суперскалярного процессора Motorola 88110: «В 1978 году, почти на 15 лет раньше, чем появились первые западные суперскалярные процессоры, в „Эльбрус I^м использовался суперскалярный процессор с выдачей двух команд за один такт, изменением порядка исполнения команд, переименованием регистров и исполнением по предположению»^[10]. По словам К. Диффендорфа, компьютеры «Эльбрус», в которых реализованы основные принципы современных архитектур,

такие как симметричная многопроцессорная, еуперскалярная и EPIC-архитектуры, были запущены в производство задолго до того, как побочные идеи начали только обсуждаться на Западе. Наряду с идеями академика

С. А. Лебедева, которые широко использовались в разработках вычислительных систем во всем мире, сказанное свидетельствует о приоритете отечественных ученых и специалистов в разработке важнейших на современном этапе архитектурных решений, обеспечивающих существенное повышение производительности вычислительных систем.

Руководитель разработок моделей семейства «Эльбрус» Б. А. Бабаян с 1956 по 1996 г. работал в Институте точной механики и вычислительной техники Академии наук СССР (с 1992 г. — Российской академии наук). С 1993 г. он являлся научным руководителем московского центра SPARC. В связи с этим следует отметить, что значительную часть разработки процессора Sun UltraSPARC и операционной системы Sun Solaris выполнила группа отечественных специалистов под руководством Б. А. Бабаяна, которая с 1992 г. тесно сотрудничала с корпорацией Sun Microsystems. Достаточно обратить внимание на начало периода сотрудничества Sun с группой Б. А. Бабаяна и начало периода популярности машин семейства.

В этот же период Б. А. Бабаян являлся одним из руководителей российской компании «Эльбрус Интернэшнл», которая в 1999 г. опубликовала технические характеристики своей последней разработки — EPIC микропроцессора Эльбрус E2K (Эльбрус 2000). Оказалось, что этот процессор работает примерно в пять раз быстрее, чем современный ему 64-битовый процессор Merced фирмы Intel. Процессор E2K изготавливался по 0,18-микронной технологии, занимал площадь 126 мм², работал на частоте 1,2 ГГц и имел показатели 135 SPECint95 и 350 SPECfp95. В то же время процессор Merced площадью 300 мм² работал на частоте 800 МГц и имел показатели 45 SPECint95 и 70 SPECfp95.

Архитектурные новшества процессора E2K были столь же впечатляющие. Он реализовал лучшую схемотехнику, чем та, которая использовалась в наиболее мощном к 2000 г. процессоре Alpha 21264. Для процессора Эльбрус E2E был готов полный набор системного программного обеспечения, включавший в себя распараллеливающий транслятор. Этот компилятор достигал показателя 10 операций за такт, что почти в три раза выше, чем у лучшего зарубежного аналога этого периода. Следует отметить, что использованные в разработке семейства «Эльбрус» оригинальные технические решения защищены 70 патентами США.

Серийное производство микропроцессора E2K должно было начаться в 2001 г., но из-за отсутствия финансирования его массовое производство так и не было осуществлено. С августа 2004 г. Б. А. Бабаян работает в должности директора по архитектуре в подразделении программных решений корпорации Intel. Он является руководителем глобального проекта в области архитектуры вычислительных систем, технологии двоичной компиляции и технологии безопасных вычислений, направленных на борьбу с вирусами. Одновременно Б. А. Бабаян остается директором Института микропроцессорной техники РАН. По сообщению журнала «Компьютер пресс» от 1.01.2005, в ноябре 2004 г. он стал первым европейским ученым, удостоенным за заслуги в достижениях корпорации звания Intel Fellow (почетный член научного общества корпорации Intel), которое присвоено только 42 специалистам в мире.

В настоящее время в фирме Intel работает и другой бывший разработчик системы «Эльбрус» В. М. Пентковский. В 1970-1980-е гг. в Институте точного машиностроения и вычислительной техники В. М. Пентковский принимал участие в разработке суперкомпьютеров «Эльбрус 1» и «Эльбрус 2». А в 1986 г. он возглавил проект разработки 32-разрядного процессора Эль-90, в котором сочетались концепция RISC и архитектурные решения процессора «Эльбрус 2». К 1990 г. проект находился на стадии завершения, и появились первые образцы нового процессора. Но в 1992 г. финансирование разработок прекратилось, и В. М. Пентковский перешел на работу в фирму Intel, где стал ведущим разработчиком процессоров. По-видимому, следует напомнить, что именно в 1993 г. Intel представила свой принципиально новый 32-разрядный процессор Pentium, а к 1995 г. — более совершенный процессор Pentium Pro, который уже вплотную приблизился по своим возможностям к отечественному процессору «Эльбрус» образца 1990 г. Официально В. М. Пентковский в этот период являлся главным архитектором

процессора Pentium III. Сравнивая архитектурные особенности и технические характеристики проекта Эль-90 и реализации процессора Pentium III, легко заметить огромное количество, скорее всего, не случайных совпадений.

Можно утверждать, что вместе с Б. А. Бабаяном и другими разработчиками системы «Эльбрус» в фирмы Sun и Intel пришли огромный опыт и самые совершенные отечественные технологии, разработанные в Институте точного машиностроения и вычислительной техники, но так и не реализованные в России. Анализируя развитие отечественной вычислительной техники, нельзя не заметить высокие достижения и огромный потенциал отечественных специалистов и ту негативную роль, которую сыграли ошибочные управленческие и политические решения.

Контрольные вопросы

1. Дайте общую характеристику семейству процессоров Intel.
2. Опишите начальный этап развития процессоров семейства Intel.
3. Охарактеризуйте 16-битовые модели семейства Intel. Какие новые архитектурные решения появились в моделях семейства?
4. Охарактеризуйте третье поколение семейства Intel. Какие новые архитектурные решения появились в этом поколении?
5. Охарактеризуйте четвертое поколение семейства Intel. Какие новые архитектурные решения появились в этом поколении?
6. Охарактеризуйте отличительные особенности микропроцессора Pentium.
7. Опишите особенности технологии SIMD. В каком поколении микропроцессоров Intel она впервые нашла применение?
8. Что понимается под архитектурой двойной независимой шины? Когда и в какой модели микропроцессоров Intel она была использована?
9. Что нового появилось в архитектуре шестого поколения микропроцессоров Intel?
10. Охарактеризуйте архитектуру микропроцессора Pentium 4.
11. Охарактеризуйте особенности технологий Hyper Threading и EMT64.
12. Опишите особенности двухъядерных моделей Intel.
13. Опишите недостатки архитектуры IA32.
14. Охарактеризуйте основные отличия архитектуры IA64.
15. Поясните смысл понятий «пучок» и «связка».
16. Как реализуется и что дает предикатное выполнение команд в архитектуре IA64?
17. Охарактеризуйте модели семейства IFP.
18. Охарактеризуйте семейство AMD и сравните его с семейством Intel.
19. Расскажите о семействе SUN SPARC. Опишите особенности модели SUN Ultra SPARC III.
20. В чем принципиальные различия семейств SUN SPARC и Intel?
21. Дайте характеристику семейств PA-RISC, Alpha, Power PC и MIPS.
22. Охарактеризуйте семейства БЭСМ и «Эльбрус».
23. Поясните смысл терминов «сетевой адаптер», «модем», «точка доступа».
24. Сравните между собой возможности витой пары, тонкого и толстого коаксиальных кабелей и оптоволоконного кабеля.
25. Поясните смысл терминов «коннектор», «Т-разветвитель», «терминатор».
26. Какие средства используются для увеличения дальности соединений в компьютерных сетях?
27. Какую роль играют сетевые службы? Назовите и охарактеризуйте известные вам сетевые службы.

6 Введение в архитектуру компьютерных сетей.

6.1 Применение компьютерных сетей. Элементы сетевого оборудования.

Применение компьютерных сетей

Прежде чем приступить к изучению технических подробностей, стоит посвятить некоторое время обсуждению вопросов, почему люди интересуются компьютерными сетями и для чего эти сети могут быть использованы.

В конце концов, если бы никто не был заинтересован в развитии этих технологий, то не было бы построено такого огромного количества самых разных сетей. Мы начнем с обсуждения таких традиционных вещей, как корпоративные сети и вообще сети в организациях, использование сетей частными лицами, затем перейдем к новым технологиям, связанным с мобильной связью и домашними сетями.

Элементы сетевого оборудования

Аппаратные средства, которые обеспечивают физические аспекты обмена информацией в компьютерных сетях, включают в себя аппаратуру передачи данных — сетевые адаптеры, радиопередающие и радиоприемные средства, — а также различные элементы передающих сред: кабели, соединители, повторители, терминалы и т.д.

Компьютер, подключаемый к локальной сети предприятия, должен быть укомплектован сетевой платой, которая вставляется в один из слотов системной платы, или автономно функционирующим сетевым адаптером. Собственно подключение к сети осуществляется с помощью электрического кабеля, один конец которого вставляется в находящийся на сетевой



Рис. 21.1. Упрощенная схема подключения компьютеров к локальной сети

плате (адаптере) разъем, а второй подсоединяется к сетевой магистрали (рис. 21.1).

При использовании телефонных линий применяется другая схема подключения. Последовательный код поступает с выхода асинхронного преобразователя на модем, который должен быть подключен, например, к городской телефонной сети.

Модем преобразует поступивший из компьютера цифровой код в аналоговый сигнал, который обычным порядком передается по телефонной сети к другому компьютеру. На втором конце линии сигнал преобразуется в обратном порядке (рис. 21.2).



Рис. 21.2. Схема передачи кода по телефонной сети с использованием модема

В беспроводных сетях используются передатчики и приемники инфракрасного и лазерного излучения, а также радиопередача на одной или нескольких несущих радиочастотах. Различают несколько вариантов сетей, основанных на инфракрасном излучении. В частности, это сети с передачей в пределах прямой видимости источника и приемника, сети с передачей на рассеянном от стен и потолков помещений излучении, а также сети с отражением сигнала от

специально установленных устройств. Инфракрасные сети обеспечивают передачу на расстояниях до 30 м со скоростью до 10 Мбит/с. Беспроводные сети, основанные на лазерном излучении, всегда используют передачу в пределах прямой видимости. При передаче по радиоканалу прямая видимость не является обязательным условием. Но скорость передачи значительно меньше, чем при использовании лазерных технологий. В радиоканалах диапазоны коротких, средних и длинных волн обеспечивают дальнюю связь при относительно невысокой скорости передачи данных. Более скоростными являются каналы ультракоротких и сверхкоротких волн.

Беспроводные сети обычно оснащаются устройствами, которые обеспечивают связь входящих в нее компьютеров с проводными сетями, в частности, для получения доступа в Интернет. Такие устройства, представляющие собой сетевой адаптер с передающим и принимающим радиоволны элементами, принято называть точками доступа беспроводной сети.

Основными элементами кабельных систем сети являются собственно кабели и различные средства их соединения. Используемые в сетях типы кабелей описаны в наборе стандартов с названием ЮBase. Кратко обсудим технические характеристики наиболее часто применяемых типов кабелей.

Электрический кабель, называемый витой парой, описывается стандартом 10Base-T. Витая пара представляет собой два изолированных медных провода, скрученных для защиты от взаимовлияния и от влияния внешних помех. Несколько таких витых пар могут быть помещены в единую защитную оболочку.

Различают неэкранированные, или UTP (от unshielded twisted pair), и экранированные, или STP (от shielded twisted pair), витые пары. Кабель экранированной витой пары, в отличие от кабеля неэкранированной пары, имеет дополнительную медную оплетку, что обеспечивает повышенную защиту от помех. Достоинствами этого типа соединений являются низкая стоимость, простота прокладки, легкая перестраиваемость структуры сети. Витая пара в зависимости от ее типа обеспечивает возможность подсоединения в локальных сетях на расстояниях до 100 м и передачу данных со скоростью от 4 до 100 Мбит/с.

Стандарт 10Base-2 описывает тонкий коаксиальный кабель с диаметром центрального проводника около 0,64 см (0,25 дюйма). К преимуществам этой разновидности кабелей относятся почти такие же удобство и простота прокладки, как у витой пары, при этом обеспечивается максимальная дальность соединения до 185 м и подключение до 30 узлов в сети. Тонкий коаксиальный кабель наряду с витой парой используют для подключения сетевого адаптера компьютера к сетевой магистрали (рис. 21.5).

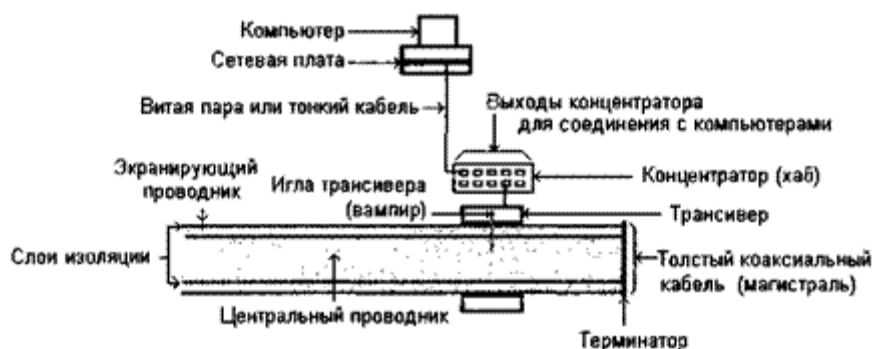


Рис. 21.5. Схема подключения тонкого коаксиального кабеля

Стандарт 10Base-5 описывает толстый коаксиальный кабель с диаметром центрального проводника около 1,27 см (0,5 дюйма). Он обеспечивает дальность передачи до 500 м и возможность подключения до 100 компьютеров. В то же время толстый кабель неудобен в прокладке, его сложно гнуть и подсоединять к другим элементам сети. Центральный проводящий элемент кабеля заключен в два слоя изоляции и один экранирующий слой проводника, благодаря которому помехи не оказывают сильного влияния на передаваемый код.

При этом большая толщина проводника обеспечивает низкое сопротивление и возможность передачи сообщений на дальние расстояния.

Для подключения к толстому кабелю используется так называемый трансивер (от *transceiver* — *transmitter/receiver* — передатчик/приемник), представляющие собой надеваемую на магистраль коробку, внутри которой имеется специальная игла, иногда называемая «вампиром». Она протыкает изолирующие слои кабеля и обеспечивает тем самым подключение к центральному проводнику.

Такой способ подключения к кабелю не нарушает его электрических свойств, которые очень важны для эффективного функционирования всей сети в целом. Далее к трансиверу подключается концентратор, или хаб (от *hub* — ступица), играющий роль разветвителя. Концентратор имеет от 4 до 16 выходов для подключения компьютеров и один вход, через который концентратор подключается к трансиверу. Компьютеры подключаются к концентратору с помощью витой пары или тонкого кабеля, один конец которого соединяется с сетевой платой компьютера, а второй крепится к концентратору.

Волоконно-оптический кабель, описываемый стандартом 10Base-F, состоит из заключенных в несколько защитных слоев световодов, которые представляют собой прекрасно проводящие лучи света стеклянные волокна диаметром от 5 до 100 мкм. Проводящее волокно световода заключено в слой стекла с другими отражающими свойствами, которые не позволяют попавшим внутрь световода лучам света выйти за его пределы (рис. 21.4, б). Несколько гибких и легко повреждаемых световодов заключают внутри прочной трубки, которая образует для них нечто вроде защитного каркаса. Такую конструкцию называют волоконным узлом. Например, волоконный узел, изображенный на рис. 21.4, а, состоит из четырех световодов. Несколько волоконных узлов вместе с прочным центральным элементом кабеля заключаются в один или несколько защитных слоев, которые обеспечивают механическую, термическую и другие виды его защиты.

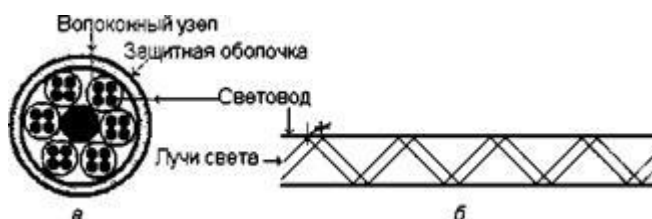


Рис. 21.4. Упрощенная схема оптоволоконного кабеля: а — поперечный разрез; б — прохождение лучей по волокну

Волоконно-оптические кабели обладают полосой пропускания от 500 МГц до 100 ГГц, обеспечивают дальность передачи до нескольких десятков километров при скорости до 10 Гбит/с. Это довольно дорогой вид линий связи, к тому же, требующий высокой квалификации при проведении монтажных работ, отличающихся более высокой сложностью по сравнению с прокладкой электрических кабелей. Оптоволоконные линии связи чаще всего используются в региональных и глобальных сетях.

Предполагается, что в перспективе существующие сейчас телефонные линии должны быть повсеместно заменены линиями ISDN (от *Integrated Services Digital Network* — цифровая сеть с интегрированными службами), основанными на цифровой форме представления данных. Линии ISDN обеспечивают дальность передачи до 5 км со скоростью до 2 Мбит/с при значительно более высоком качестве, чем у телефонных линий. При переходе к цифровым линиям связи необходимость в модемах отпадает, так как форма сигнала в цифровой телефонной сети и в компьютере одинаковая — цифровая.

Цельный участок кабеля, обеспечивающий связь между компьютерами в локальной сети без использования вспомогательных устройств, принято называть кабельным сегментом. Для объединения различных сегментов кабельных систем используются различные коннекторы (от *connector* — соединитель), Т-разветвители и терминаторы (от *terminator* — ограничитель).

Различные виды коннекторов используются для сращивания, соединения двух сегментов кабеля, а также для подключения сегмента кабеля к Т-разветвителю, который имеет один разъем для его подсоединения к сетевому адаптеру и два гнезда для подключения сегментов кабелей от соседних узлов сети. Сегмент кабеля на конце должен иметь коннектор, который припаивается или механически обжимается к кабелю. Затем коннектор подсоединяется к гнезду Т-разветвителя.



Рис. 21.5. Элементы кабельных соединений для подключения к сетевой плате

Терминатор представляет собой заземленную заглушку, устанавливаемую на свободном конце кабеля для отражения электрических импульсов внутрь проводника. При отсутствии терминатора поле на свободном конце кабеля рассеивается в окружающее пространство и связь между подключенными к кабелю компьютерами становится невозможной. Поэтому терминаторы должны быть поставлены на все свободные концы сетевых кабелей.

В организации функционирования сетей программное обеспечение играет не менее важную роль, чем аппаратное. В общем случае принадлежащие различным элементам сети модули программного обеспечения обеспечивают выполнение всех действий, необходимых для организации передачи данных. Программные модули, реализующие указанные функции, входят в состав сетевых операционных систем, таких как Novell Netware, Sun Solaris, Unix, Windows NT и т. д., или организованы в самостоятельные программные системы.

Важнейшей составной частью сетевого программного обеспечения являются сетевые службы, которые предоставляют пользователям возможность выполнять нужные им действия: отправлять и получать электронные письма, посылать запросы в базу данных, находящуюся на компьютере в другой стране, копировать файлы с удаленного компьютера, не заботясь при этом о множестве технических деталей этих процессов. Сетевые службы предоставляют пользователям все эти и другие возможности, обеспечивая при этом удобный и простой стиль работы. Сетевые службы реализуются в виде отдельных программных систем или в виде утилит, подключаемых к операционным системам. Кроме обслуживания потребностей пользователей, на сетевые службы возлагается масса других задач. В частности, это задачи организации распределенных вычислений, администрирования, обеспечения надежности и непротиворечивости хранения данных в распределенных базах и хранилищах данных.

6.2 Линии связи.

Совокупность устройств, обеспечивающих передачу сообщений в сети, называется линией связи, или приемно-передающей системой. Любая линия связи включает в себя источник и приемник данных, кодирующие/декодирующие устройства, различные преобразователи и канал связи.

Совокупность устройств, которые используются для передачи сообщений между источником и приемником информации, называется линией связи. Протяженная в пространстве среда, через которую осуществляется передача сообщения, называется каналом связи, или просто каналом. Канал является важнейшей составной частью линии связи.

Не следует путать понятия линия связи и канал связи. Линия связи — более общее понятие, так как она включает в себя, кроме канала, ряд устройств, обеспечивающих передачу информации. Вместе с тем в устной и письменной речи эти термины используются как синонимы. Данная ситуация вполне аналогична почти равноправному использованию терминов

«информация», «сообщение» и «данные». В учебнике термины «линия связи» и «канал связи» различаются только в тех случаях, когда это имеет принципиальное значение.

Различают внутренние (проходящие внутри компьютера) и внешние (проходящие вне компьютера) линии связи. Внешние линии связи отличаются от внутренних значительно большей пространственной протяженностью. Известно, что внутренние линии компьютера реализуются в виде различных шин. В принципе, к внутренним линиям можно отнести и кабельные соединения периферийных устройств компьютера с системным блоком, так как они имеют очень маленькую пространственную протяженность.

В качестве внешних линий связи используются:

- отдельно прокладываемые кабельные линии, которые состоят из одного или нескольких проводников, заключенных в один или несколько слоев изоляции, обеспечивающей электромагнитную, механическую, климатическую и другие виды защиты;
- существующие стандартные телефонные линии связи;
- волоконно-оптические линии связи;
- а беспроводные радиоканалы наземной и спутниковой связи.

Различные виды линий обеспечивают различную дальность связи и имеют разную стоимость. Универсального, подходящего во всех случаях вида линий связи на сегодняшний день не существует.

6.3 Основы передачи данных. Проводниковые среды передачи информации.

Информация может передаваться по проводам за счет изменения какой-либо физической величины, например напряжения или силы тока. Представив значение напряжения или силы тока в виде однозначной функции времени / (t), мы сможем смоделировать поведение сигнала и подвергнуть его математическому анализу. Этому анализу и посвящены следующие разделы.

Для того чтобы компьютеры могли связаться между собой в сеть, они должны быть соединены между собой с помощью некоторой физической передающей среды. Основными типами передающих сред, используемых в компьютерных сетях, являются:

- аналоговые телефонные каналы общего пользования;
- цифровые каналы;
- узкополосные и широкополосные кабельные каналы;
- радиоканалы и спутниковые каналы связи;
- оптоволоконные каналы связи.

Аналоговые каналы связи первыми начали применяться для передачи данных в компьютерных сетях и позволили использовать уже существовавшие тогда развитые телефонные сети общего пользования. Передача данных по аналоговым каналам может выполняться двумя способами. При первом способе телефонные каналы (одна или две пары проводов) через телефонные станции физически соединяют два устройства, реализующие коммуникационные функции с подключенными к ним компьютерами. Такие соединения называют выделенными линиями или непосредственными соединениями. Второй способ – это установление соединения с помощью набора телефонного номера (с использованием коммутируемых линий).

Качество передачи данных по выделенным каналам, как правило, выше и соединение постоянное. Кроме того, для каждого выделенного канала необходимо свое коммуникационное устройство (хотя есть и многоканальные коммуникационные устройства), а при коммутируемой связи можно использовать для связи с другими узлами одно коммуникационное устройство.

Параллельно с использованием аналоговых телефонных сетей для межкомпьютерного взаимодействия начали развиваться и методы передачи данных в дискретной (цифровой) форме по ненагруженным телефонным каналам (к которым не подведено электрическое напряжение, используемое в телефонной сети) – цифровым каналам.

Следует отметить, что наряду с дискретными данными по цифровому каналу можно передавать и аналоговые информация (голосовую, видео, факсимильную и т. д.), преобразованную в цифровую форму.

Наиболее высокие скорости на небольших расстояниях могут быть получены при использовании особым образом скрученной пары проводов (для того, чтобы избежать взаимодействия между соседними проводами), так называемой витой паре (ТР – Twisted Pair).

Кабельные каналы, или коаксиальные пары, представляют собой два цилиндрических проводника на одной оси, разделенных диэлектрическим покрытием. Один тип коаксиального кабеля (с сопротивлением 50 Ом), используется главным образом для передачи узкополосных цифровых сигналов, другой тип кабеля (с сопротивлением 75 Ом) – для передачи широкополосных аналоговых и цифровых сигналов.

Узкополосные и широкополосные кабели, непосредственно связывающие между собой коммуникационные оборудования, позволяют обмениваться данными на высоких скоростях (до нескольких мегабит/с) в аналоговой или цифровой форме. Следует отметить, что на небольших расстояниях (особенно в локальных сетях) кабельные каналы все больше вытесняются каналами на витых парах, а на больших расстояниях – оптоволоконными каналами связи.

Использование в компьютерных сетях в качестве передающей среды радиоволн различной частоты является экономически эффективным либо для связи на больших и сверхбольших расстояниях (с использованием спутников), либо для связи с труднодоступными, подвижными или временно используемыми объектами.

Обмен данными по радиоканалам может вестись как с помощью аналоговых, так и цифровых методов передачи. Цифровые методы получают в последнее время преимущественное развитие, т. к. позволяют объединить наземные участки цифровых сетей и спутниковых каналов или радиоканалов в единой сети. Новым импульсом в развитии радиосетей стало появление сотовой телефонной связи, позволяющей осуществлять голосовую связь и обмен данными с помощью радиотелефонов или специальных устройств обмена данными.

Помимо обмена данными в радиодиапазоне последнее время для связи на небольшие расстояния (обычно в пределах комнаты) используется и инфракрасное излучение.

В оптоволоконных каналах связи используется известное из физики явления полного внутреннего отражения света, что позволяет передавать потоки света внутри оптоволоконного кабеля на большие расстояния практически без потерь. В качестве источников света в оптоволоконном кабеле используются светоиспускающие диоды (LED – lightemitting diode) или лазерные диоды, а в качестве приемников – фотоэлементы.

Оптоволоконные каналы связи, несмотря на их более высокую стоимость по сравнению с другими видами связи, получают все большее распространение, причем не только для связи на небольшие расстояния, но и на внутригородских и междугородных участках.

Технические средства коммуникаций составляют кабели, коннекторы и терминаторы, сетевые адаптеры, повторители, разветвители, мосты, маршрутизаторы, шлюзы, а также модемы, позволяющие использовать различные протоколы и топологии в единой неоднородной системе.

6.4 Магнитные носители. Витая пара. Коаксиальный кабель. Волоконная оптика.

Магнитные носители

Один из самых простых способов перенести данные с одного компьютера на другой — записать их на магнитную ленту или другой съемный носитель (например, перезаписываемый БУБ), физически перенести эти ленты и диски к пункту назначения и там прочитать их.

Поскольку такой метод значительно проще применения, скажем, геостационарного спутника связи, он часто оказывается гораздо более эффективным в экономическом отношении, особенно для приложений, в которых высокая пропускная способность или цена за бит являются ключевыми факторами.

Разобраться в данном вопросе нам помогут несложные вычисления. Стандартная кассета с лентой Ultrium вмещает 200 Гбайт. В коробку размером 60x60x60 помещается около 1000 таких кассет, что дает общую емкость 1600 Тбит (1,6 Пбит). Коробка с кассетами может быть доставлена в пределах США в течение 24 часов службой Federal Express или другой компанией. Эффективная полоса пропускания при такой передаче составляет 1600 Тбит/86 400 с, или 19 Гбит/с. Если же пункт назначения находится всего в часе езды, то пропускная способность составит свыше 400 Гбит/с. Ни одна компьютерная сеть пока не в состоянии даже приблизиться к таким показателям.

Если представить себе банк данных на много гигабайт, который должен ежедневно архивировать данные на запасном компьютере (чтобы иметь возможность продолжать работу даже в случае сильного наводнения или землетрясения), то похоже, что никакая технология передачи данных пока и не начала приближаться к производительности магнитных лент.

Если мы теперь взглянем на этот вопрос с экономической точки зрения, то получим сходную картину. Оптовая цена кассеты составляет около \$40. Коробка с лентами обойдется в \$4000, при этом одну и ту же ленту можно использовать десятки раз. Прибавим \$1000 на перевозку (а на самом деле, гораздо меньше) и получим около \$5000 за передачу 200 Тбайт или 3 цента за гигабайт. Ни одна сеть на земле не может соперничать с этим. Мораль этой истории такова:

Не думай свысока о скорости передачи данных автомобилем, полным кассет, с грохотом передвигающимся по дороге.

Витая пара

Хотя скорость передачи данных с помощью магнитных лент отличная, однако величина задержки при такой передаче очень велика. Время передачи измеряется минутами или часами, а не миллисекундами. Для многих приложений требуется мгновенная реакция удаленной системы (в подключенном режиме).

Одним из первых и до сих пор часто применяемых средств передачи является витая пара. Этот носитель состоит из двух изолированных медных проводов, обычный диаметр которых составляет 1 мм. Провода свиваются один вокруг другого в виде спирали, чем-то напоминая молекулу ДНК. Это позволяет уменьшить электромагнитное взаимодействие нескольких расположенных рядом витых пар. (Два параллельных провода образуют простейшую антенну, витая пара — нет.)

Самым распространенным применением витой пары является телефонная линия. Почти все телефоны соединяются с телефонными компаниями при помощи этого носителя. Витая пара может передавать сигнал без ослабления мощности на расстояние, составляющее несколько километров. На более дальних расстояниях требуются повторители. Большое количество витых пар, тянущихся на большое расстояние в одном направлении, объединяются в кабель, на который надевается защитное покрытие. Если бы пары проводов, находящиеся внутри таких кабелей, не были свиты, то сигналы, проходящие по ним, накладывались бы друг на друга. Телефонные кабели диаметром несколько сантиметров можно видеть протянутыми на столбах.

Витые пары могут использоваться для передачи как аналоговых, так и цифровых данных. Полоса пропускания зависит от диаметра и длины провода, но в большинстве случаев на расстоянии до нескольких километров может быть достигнута скорость несколько мегабит в секунду. Благодаря довольно высокой пропускной способности и небольшой цене витые пары широко распространены и, скорее всего, будут популярны и в будущем.

Витые пары применяются в нескольких вариантах, два из которых особенно важны в области компьютерных сетей. Витые пары категории 3 состоят из двух изолированных проводов, свитых друг с другом. Четыре такие пары обычно помещаются вместе в пластиковую оболочку. До 1988 года большинство офисных зданий были оснащены кабелями третьей категории, тянущимися из кабельного центра на каждом этаже в отдельные офисы. Подобная схема позволяла соединять до четырех обычных телефонов или по два многоканальных телефона в каждом офисе с оборудованием телефонной компании, установленном в кабельном центре.

Начиная с 1988 года в офисах стали использоваться более новые витые пары категории 5. Они похожи на витые пары третьей категории, но имеют большее число витков на сантиметр длины проводов. Это позволяет еще сильнее уменьшить наводки между различными каналами и обеспечить улучшенное качество передачи сигнала на большие расстояния. Витые пары категории 5 более приемлемы для высокоскоростной компьютерной связи. Вскоре, вероятно, появятся кабели категорий 6 и 7, способные передавать сигнал с полосой пропускания соответственно 250 и 600 МГц (сравните с полосами в 16 и 100 МГц для категорий 3 и 5).

Коаксиальный кабель

Другим распространенным средством передачи данных является коаксиальный кабель. Он лучше экранирован, чем витая пара, поэтому может обеспечить передачу данных на более дальние расстояния с более высокими скоростями.

Широко применяются два типа кабелей. Один из них, 50-омный, обычно используется для передачи исключительно цифровых данных. Другой тип кабеля, 75-омный, часто применяется для передачи аналоговой информации, а также в кабельном телевидении. В основе такого разделения лежат скорее исторические, нежели технические факторы (например, первые дипольные антенны имели импеданс 300 Ом, и проще всего было использовать уже существующие преобразователи с отношением импеданса 4:1).

Коаксиальный кабель состоит из покрытого изоляцией твердого медного провода, расположенного в центре кабеля. Поверх изоляции натянут цилиндрический проводник, обычно выполненный в виде мелкой медной сетки. Он покрыт наружным защитным слоем изоляции (пластиковой оболочкой). Вид кабеля в разрезе показан на рис. 2.3.

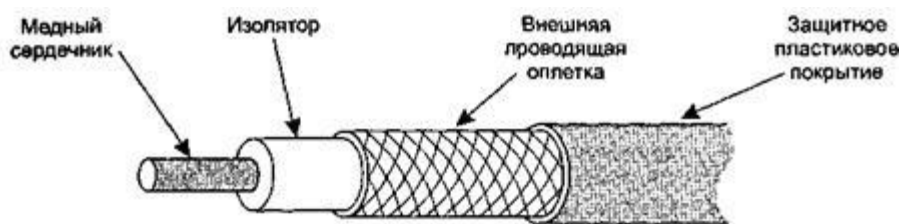


Рис. 2.3. Коаксиальный кабель

Конструкция и специальный тип экранирования коаксиального кабеля обеспечивают высокую пропускную способность и отличную помехозащищенность. Максимальная пропускная способность зависит от качества, длины и соотношения сигнал/шум линии. Современные кабели имеют полосу пропускания около 1 ГГц. Коаксиальные кабели широко применялись в телефонных системах, но теперь на линиях большой протяженности их все чаще заменяют оптоволоконными кабелями. Однако коаксиальные кабели все еще широко используются для кабельного телевидения, а также в некоторых региональных сетях.

Волоконная оптика

Быстрое развитие компьютерных технологий вызывает чувство гордости у многих представителей этой индустрии. Первый персональный компьютер фирмы IBM, созданный в 1981 году, работал с тактовой частотой 4,77 МГц.

Спустя 20 лет этот показатель вырос до 2 ГГц. Прирост множителя составил 20 за декаду. Не так уж плохо.

За тот же период скорость передачи данных выросла с 56 Кбит/с (ARPANET) до 1 Гбит/с (современная оптическая связь), это означает рост в 125 раз за каждые 10 лет. При этом вероятность ошибки при передаче уменьшилась с 10^{-5} на бит почти до нуля.

В настоящее время процессоры начинают приближаться к своим физическим пределам. Скорость света преодолеть невозможно, непросто решить и проблему отвода тепловой энергии. Существующая ныне оптоволоконная технология, напротив, может развивать скорость передачи данных вплоть до 50 000 Гбит/с (50 Тбит/с), и при этом много специалистов занято поиском более совершенных материалов. Сегодняшний практический предел в 10 Гбит/с обусловлен нашей неспособностью быстрее преобразовывать электрические сигналы в оптические и

обратно, хотя в лабораторных условиях уже достигнута скорость 100 Гбит/с на одинарном волокне.

В гонке компьютеров и средств связи победили последние. Мысль о практически бесконечной полосе пропускания (при ненулевой стоимости, разумеется) еще не усвоена до конца поколением ученых-компьютерщиков, приученных мыслить в категориях низких ограничений Найквиста и Шеннона, накладываемых на медный провод. Новая точка зрения должна заключаться в том, что все компьютеры безнадежно медленны, и сетям следует любой ценой избегать вычислений независимо от того, какая часть полосы пропускания при этом будет потеряна. В данном разделе мы рассмотрим технологию передачи данных по оптическому волокну.

Оптоволоконная система передачи данных состоит из трех основных компонентов: источника света, носителя, по которому распространяется световой сигнал, и приемника сигнала, или детектора. Световой импульс принимают за единицу, а отсутствие импульса — за ноль. Свет распространяется в сверхтонком стеклянном волокне. При попадании на него света детектор генерирует электрический импульс. Присоединив к одному концу оптического волокна источник света, а к другому — детектор, мы получим однонаправленную систему передачи данных. Система принимает электрические сигналы и преобразует их в световые импульсы, передающиеся по волокну.

На другой стороне происходит обратное преобразование в электрические сигналы.

Такая передающая система была бы бесполезна, если бы свет по дороге рассеивался и терял свою мощность. Однако в данном случае используется один интересный физический закон. Когда луч света переходит из одной среды в другую, например, из стекла (расплавленного и застывшего кварца) в воздух, луч отклоняется (эффект рефракции или преломления) на границе «стекло—воздух», как показано на рис. 2.4, а. Здесь мы видим, что луч света падает под углом α , выходя под углом β . Соотношение углов падения и отражения зависит от свойств смежных сред (в частности, от их коэффициентов преломления). Если угол падения превосходит некоторую критическую величину, луч света целиком отражается обратно в стекло, а в воздух ничего не проходит. Таким образом, луч света, падающий на границу сред под углом, превышающим критический, оказывается запертым внутри волокна, как показано на рис. 2.4, б, и может быть передан на большое расстояние почти без потерь.

На рис. 2.4, б показан только один пойманный луч света, однако поскольку любой луч света с углом падения, превышающим критический, будет отражаться от стенок волокна, то и множество лучей будет одновременно отражаться под различными углами. Про каждый луч говорят, что он обладает некоторой модой, а оптическое волокно, обладающее свойством передавать сразу несколько лучей, называется многомодовым. Однако если уменьшить диаметр волокна до нескольких длин волн света, то волокно начинает действовать подобно волноводу, и свет может двигаться только по прямой линии, без отражений от стенок волокна. Такое волокно называется одномодовым. Оно стоит дороже, но может использоваться при передаче данных на большие расстояния. Сегодняшние одномодовые волоконные линии могут работать со скоростью 50 Гбит/с на расстоянии до 100 км. В лабораториях были достигнуты и более высокие скорости, правда, на меньших дистанциях.

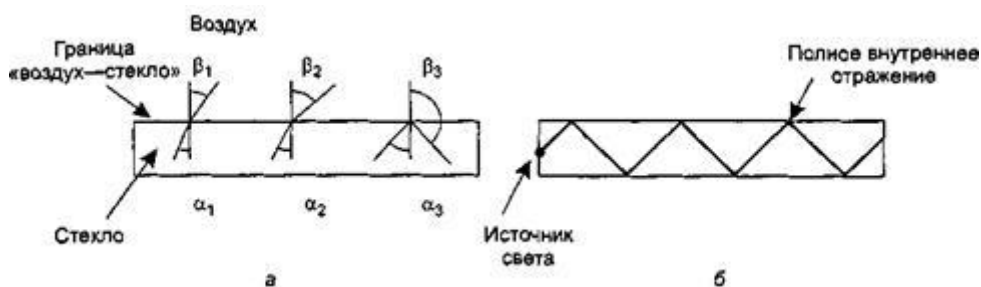


Рис. 2.4. Три примера преломления луча света, падающего под разными углами, на границе кварцевого волокна и воздуха (а); луч света, пойманный полным внутренним отражением (б)

Контрольные вопросы

1. Дайте определение компьютерной сети и укажите основные характерные особенности, отличающие сеть от других классов вычислительных систем.
2. Сформулируйте основные преимущества, которые получает пользователь, работающий в компьютерной сети.
3. Сформулируйте основные проблемы, возникающие при организации компьютерных сетей.
4. Чем отличается линия связи от канала связи?
5. Перечислите основные разновидности каналов связи.
6. Охарактеризуйте существующие режимы передачи по линиям связи.
7. Перечислите присущие параллельному способу передачи данных недостатки, препятствующие его применению в качестве внешних линий связи.
8. Охарактеризуйте используемые на практике способы представления цифровых кодов в линиях связи.
9. Опишите способ манчестерского кодирования. В чем его достоинства и недостатки?
10. Как осуществляется передача цифровых кодов по телефонным линиям связи?
11. Какие способы модуляции вам известны?
12. Что представляют собой комбинированные способы модуляции? В чем их достоинства и недостатки?
13. Что представляет собой кадр? Изобразите схему стартового кадра.

7 Беспроводная связь.

7.1 Электромагнитный спектр. Радиосвязь. Связь в микроволновом диапазоне. Передачи в инфракрасном диапазоне. Связь в видимом диапазоне.

В наше время появляется все большее количество информационных «наркоманов» — людей с потребностью постоянно находиться в подключенном режиме (on-line). Таким пользователям никакие кабельные соединения, будь то витая пара, коаксиальный кабель или оптическое волокно, не подходят.

Им требуются получать данные непосредственно на переносные компьютеры, ноутбуки, электронные записные книжки, карманные компьютеры, палмтопы и компьютеры, встроенные в наручные часы. Короче говоря, они предпочитают пользоваться устройствами, не привязанными к наземным инфраструктурам. Для таких пользователей беспроводная связь является необходимостью. В данном разделе мы познакомимся с основами беспроводной связи, поскольку у нее есть ряд других важных применений, кроме предоставления доступа в Интернет желающим побродить по нему, лежа на пляже.

Существует мнение, что в будущем останется только два типа связи — оптоволоконная и беспроводная. Все стационарные (то есть не переносные) компьютеры, телефоны, факсы и т. д. будут соединяться оптоволоконными кабелями, а все переносные — с помощью беспроводной связи.

При некоторых обстоятельствах беспроводная связь может иметь свои преимущества и для стационарных устройств. Например, если прокладка оптоволоконного кабеля осложнена природными условиями (горы, джунгли, болота и т. д.), то беспроводная связь может оказаться предпочтительнее. Следует отметить, что современная беспроводная связь зародилась на Гавайских островах, где людей разделяли большие пространства Тихого океана и обычная телефонная система оказалась неприменима.

Электромагнитный спектр

Движение электронов порождает электромагнитные волны, которые могут распространяться в пространстве (даже в вакууме). Это явление было предсказано британским физиком Джеймсом Клерком Максвеллом (James Clerk Maxwell) в 1865 году.

Первый эксперимент, при котором их можно было наблюдать, поставил немецкий физик Генрих Герц (Heinrich Hertz) в 1887 году. Число колебаний электромагнитных колебаний в секунду называется частотой, f , и измеряется в герцах (в честь Генриха Герца). Расстояние между двумя последовательными максимумами (или минимумами) называется длиной волны. Эта величина традиционно обозначается греческой буквой λ (лямбда).

Если в электрическую цепь включить антенну подходящего размера, то электромагнитные волны можно с успехом принимать приемником на некотором расстоянии. На этом принципе основаны все беспроводные системы связи.

В вакууме все электромагнитные волны распространяются с одной и той же скоростью, независимо от их частоты. Эта скорость называется скоростью света, c . Ее значение приблизительно равно $3 \cdot 10^8$ м/с, или около одного фута (30 см) за наносекунду. (Можно было бы переопределить, воспользовавшись таким совпадением, фут, постановив, что он равен расстоянию, которое проходит электромагнитная волна в вакууме за 1 нс. Это было бы логичнее, чем измерять длины размером сапога какого-то давно умершего короля.) В меди или стекле скорость света составляет примерно $2/3$ от этой величины, кроме того, слегка зависит от частоты. Скорость света современная наука считает верхним пределом скоростей. Быстрее не может двигаться никакой объект или сигнал.

Величины f , λ и c (в вакууме) связаны фундаментальным соотношением $\lambda f = c$. (2.2)

Поскольку c является константой, то, зная f , мы можем определить λ , и наоборот. Существует мнемоническое правило, которое гласит, что $\lambda \ll 300$, если λ измеряется в метрах, а f — в мегагерцах. Например, волны с частотой 100 МГц имеют длину волны около 3 м, 1000 МГц соответствует 0,3 м, а длине волны 0,1 м соответствует частота 3000 МГц.

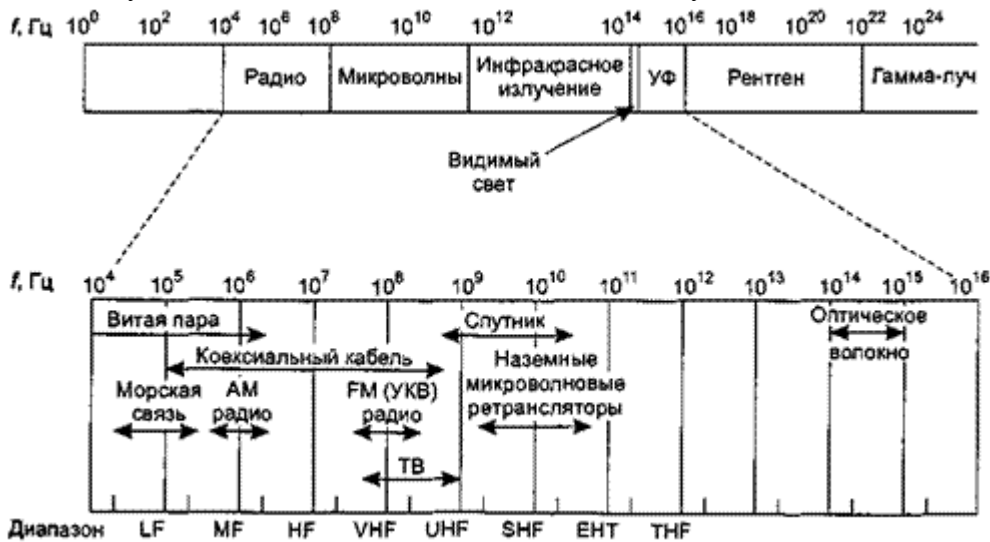


Рис. 2.9. Электромагнитный спектр и его применение в связи

На рис. 2.9 изображен электромагнитный спектр. Радио, микроволновый, инфракрасный диапазоны, а также видимый свет могут быть использованы для передачи информации с помощью амплитудной, частотной или фазовой модуляции волн. Ультрафиолетовое, рентгеновское и гамма-излучения были бы даже лучше благодаря их высоким частотам, однако их сложно генерировать и модулировать, они плохо проходят сквозь здания и, кроме того, они опасны для всего живого. Диапазоны, перечисленные в нижней части рис. 2.9, представляют собой официальные названия ИТУ, основанные на длинах волн. Так, например, низкочастотный диапазон (LF, Low Frequency) охватывает длины волн от 1 км до 10 км (что приблизительно

соответствует диапазону частот от 30 кГц до 300 кГц). Сокращения LF, MF и HF обозначают Low Frequency (низкая частота), Medium Frequency (средняя частота) и High Frequency (высокая частота) соответственно. Очевидно, при назначении диапазонам названий никто не предполагал, что будут использоваться частоты выше 10 МГц, поэтому более высокие диапазоны получили названия VHF (very high frequency — очень высокая частота), UHF (ultrahigh frequency — ультравысокая частота, УВЧ), SHF (superhigh frequency — сверхвысокая частота, СВЧ), EHF (Extremely High Frequency — чрезвычайно высокая частота) и THF (Tremendously High Frequency — ужасно высокая частота).

Выше последнего диапазона имена пока не придуманы, но если следовать традиции, появятся диапазоны Невероятно (Incredibly), Поразительно (Astonishingly) и Чудовищно (Prodigiously) высоких частот (ITF, ATF и PTF).

Свойства радиоволн зависят от частоты. При работе на низких частотах радиоволны хорошо проходят сквозь препятствия, однако мощность сигнала в воздухе резко падает по мере удаления от передатчика. Соотношение мощности и удаленности от источника выражается примерно так: $1/r^2$. На высоких частотах радиоволны вообще имеют тенденцию распространяться исключительно по прямой линии и отражаться от препятствий. Кроме того, они поглощаются, например, дождем. Радиосигналы любых частот подвержены помехам со стороны двигателей с искрящими щетками и другого электрического оборудования.

Благодаря способности радиоволн распространяться на большие расстояния взаимные помехи, вызываемые одновременно работающими пользователями, представляют собой серьезную проблему. Поэтому все государства ведут очень строгий учет владельцев радиопередатчиков, за одним исключением (обсуждаемым далее).

В диапазонах У1Л⁷ радиоволны БР и МБ распространяются вдоль поверхности земли, как показано на рис. 2.10, а. Эти волны можно поймать радиоприемником на расстоянии около 1000 км, если используются низкие частоты, и на несколько меньших расстояниях, если частоты повыше. Радиовещание с амплитудной модуляцией (АМ) использует диапазон средних волн (МР), по этой причине, например, передачи Бостонской средневолновой радиостанции не слышны в Нью-Йорке. Радиоволны этих диапазонов легко проникают сквозь здания, вследствие чего переносные радиоприемники работают и в помещениях. Основным препятствием для использования этих диапазонов для передачи данных является их относительно низкая пропускная способность (см. уравнение (2-3)).

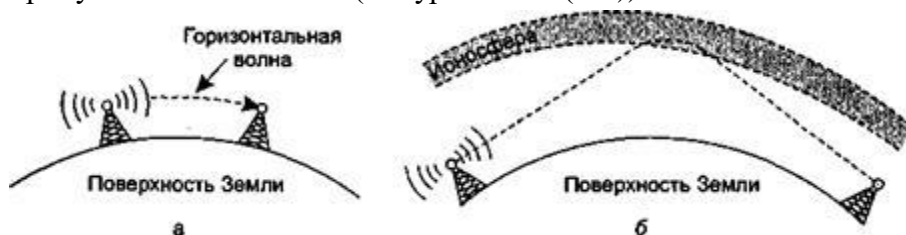


Рис. 2.10. Волны диапазонов УБР, 1_Р и МР огибают неровности поверхности Земли (а); волны диапазона НР отражаются от ионосферы (б)

Радиоволны диапазонов НБ и УНБ поглощаются землей. Однако те из них, которые доходят до ионосферы, представляющей собой слой заряженных частиц, расположенный на высоте от 100 до 500 км, отражаются ею и посылаются обратно к поверхности Земли, как показано на рис. 2.10, б. При определенных атмосферных условиях сигнал может отразиться несколько раз. Радиохобби используют такие диапазоны частот для дальней связи. Военные также осуществляют связь в диапазонах НБ и УНБ.

Связь в микроволновом диапазоне

На частотах выше 100 МГц радиоволны распространяются почти по прямой, поэтому могут быть сфокусированы в узкие пучки. Концентрация энергии в виде узкого пучка при помощи параболической антенны (вроде всем известной спутниковой телевизионной тарелки)

приводит к улучшению соотношения сигнал/ шум, однако для подобной связи передающая и принимающая антенны должны быть довольно точно направлены друг на друга.

Кроме того, подобная направленность позволяет использовать несколько передатчиков, установленных в ряд, сигналы от которых принимаются также установленными в ряд приемными антеннами без взаимных помех. До изобретения оптоволоконной связи подобные микроволновые антенны в течение десятков лет составляли основу междугородной телефонной связи. На самом деле компания MCI, один из основных конкурентов AT&T, построила целую систему микроволновой связи с передачей сигнала от одной башни к другой. Расстояние между антеннами составляло десятки километров. Эта технология нашла отражение даже в названии компании: аббревиатура оператора междугородней связи MCI изначально расшифровывалась как Microwave Communications, Inc. С тех пор, впрочем, MCI уже успела перейти на оптоволоконные сети и объединилась с компанией WorldCom.

Микроволны распространяются строго по прямой, поэтому при слишком большом удалении антенн друг от друга на пути следования сигнала может оказаться земная поверхность (например, так случится, если поставить передатчик в Сан- Франциско, а приемник — в Амстердаме). Чем выше ретрансляционные башни, тем больше может быть расстояние между ними. Максимальное расстояние между повторителями можно очень грубо оценить как корень квадратный из их высоты. Так, при высоте ретрансляторов 100 м расстояние между ними может быть около 80 км.

В отличие от радиоволн с более низкими частотами, микроволны плохо проходят сквозь здания. Кроме того, даже при точной фокусировке луча на приемной антенне при прохождении сквозь пространство луч довольно значительно расширяется в диаметре. Часть волн может отражаться атмосферными слоями, благодаря чему на своем пути к приемной антенне отраженные волны пройдут большее расстояние, чем прямые. Это означает, что первые будут отличаться от последних по фазе, что может привести к подавлению сигнала. Такой эффект называется многолучевым затуханием и довольно часто представляет собой серьезную проблему. Наличие этого эффекта зависит от погоды и от частоты. Некоторые операторы связи держат около 10 % своих каналов свободными и временно переключаются на них в случае возникновения многолучевого затухания на какой-либо частоте.

Потребности во все большем диапазоне частот заставляют постоянно совершенствовать технологию, благодаря чему для связи используются все более высокие частоты. Диапазоны частот до 10 ГГц теперь применяются довольно широко, однако при частотах выше 4 ГГц появляется новая проблема: поглощение водой.

Длина волн при такой частоте составляет всего несколько сантиметров, и такие волны сильно поглощаются дождем. Такой эффект может быть весьма полезен для тех, кто хочет соорудить огромную наружную микроволновую печь, чтобы жарить пролетающих мимо птичек, однако он представляет собой серьезную проблему в области радиосвязи. Пока что единственным решением является отключение линий связи, пересекаемых полосой дождя, и переключение на обходные пути.

Свойства радиоволн зависят от частоты. При работе на низких частотах радиоволны хорошо проходят сквозь препятствия, однако мощность сигнала в воздухе резко падает по мере удаления от передатчика. Соотношение мощности и удаленности от источника выражается примерно так: $1/r^2$. На высоких частотах радиоволны вообще имеют тенденцию распространяться исключительно по прямой линии и отражаться от препятствий. Кроме того, они поглощаются, например, дождем. Радиосигналы любых частот подвержены помехам со стороны двигателей с искрящими щетками и другого электрического оборудования.

Благодаря способности радиоволн распространяться на большие расстояния взаимные помехи, вызываемые одновременно работающими пользователями, представляют собой серьезную проблему. Поэтому все государства ведут очень строгий учет владельцев радиопередатчиков, за одним исключением (обсуждаемым далее).

В диапазонах УВБ радиоволны ВБ и МБ распространяются вдоль поверхности земли, как показано на рис. 2.10, а. Эти волны можно поймать радиоприемником на расстоянии около 1000

км, если используются низкие частоты, и на несколько меньших расстояниях, если частоты повыше. Радиовещание с амплитудной модуляцией (АМ) использует диапазон средних волн (МВ), по этой причине, например, передачи Бостонской средневолновой радиостанции не слышны в Нью-Йорке. Радиоволны этих диапазонов легко проникают сквозь здания, вследствие чего переносные радиоприемники работают и в помещениях. Основным препятствием для использования этих диапазонов для передачи данных является их относительно низкая пропускная способность (см. уравнение (2-3)).

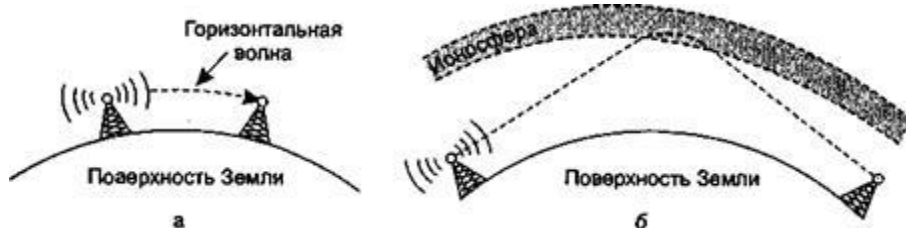


Рис. 2.10. Волны диапазонов УЦ¹, 1_Р и МР огибают неровности поверхности Земли (а); волны диапазона НР отражаются от ионосферы (б)

Радиоволны диапазонов НБ и УН Б поглощаются землей. Однако те из них, которые доходят до ионосферы, представляющей собой слой заряженных частиц, расположенный на высоте от 100 до 500 км, отражаются ею и посылаются обратно к поверхности Земли, как показано на рис. 2.10, б. При определенных атмосферных условиях сигнал может отразиться несколько раз. Радиохобби используют такие диапазоны частот для дальней связи. Военные также осуществляют связь в диапазонах НБ и УН Б.

Инфракрасные и миллиметровые волны

Инфракрасное и миллиметровое излучения без использования кабеля широко применяется для связи на небольших расстояниях. Дистанционные пульты управления для телевизоров, видеоманитов и стереоаппаратуры используют инфракрасное излучение.

Они относительно направленные, дешевые и легко устанавливаемые, но имеют один важный недостаток: инфракрасное излучение не проходит сквозь твердые объекты (попробуйте встать между телевизором и пультом). Мы начали с рассмотрения длинных радиоволн и постепенно продвигаемся к видимому свету, и уже инфракрасные волны мало напоминают радиоволны и ведут себя, как свет.

С другой стороны, тот факт, что инфракрасные волны не проходят сквозь стены, является также и положительным. Ведь это означает, что инфракрасная система в одной части здания не будет интерферировать с подобной системой в соседней комнате — вы, к счастью, не сможете управлять со своего пульта телевизором соседа. Кроме того, это повышает защищенность инфракрасной системы от прослушивания по сравнению с радиосистемой. По этой причине для использования инфракрасной системы связи не требуется государственная лицензия, в отличие от радиосвязи (кроме диапазонов ISM). Связь в инфракрасном диапазоне применяется в настольных вычислительных системах (например, для связи ноутбуков с принтерами), но все же не играет значимой роли в телекоммуникации.

Связь в видимом диапазоне

Ненаправленные оптические сигналы использовались в течение нескольких веков. Герой американской войны за независимость Пол Реввер (Paul Revere) в 1775 году в Бостоне использовал двоичные оптические сигналы, информируя с колокольни Старой Северной церкви (Old North Church) население о наступлении англичан.

Более современным приложением является соединение локальных сетей в двух зданиях при помощи лазеров, установленных на крышах. Связь с помощью когерентных волн лазера является сугубо однонаправленной, поэтому для двусторонней связи необходимо на каждой крыше установить по лазеру и по фотодетектору. Такая технология позволяет организовать связь с очень высокой пропускной способностью при очень низкой цене. Кроме того, такая система

довольно просто монтируется и, в отличие от микроволновой связи, не требует лицензии FCC (Федеральной комиссии связи США).

Узкий луч является сильной стороной лазера, однако он создает и некоторые проблемы. Чтобы попасть миллиметровым лучом в мишень диаметром 1 мм на расстоянии 500 м, требуется снайперское искусство высочайшей пробы. Обычно на лазеры устанавливаются линзы для небольшой расфокусировки луча.

Недостатком лазерного луча является также неспособность проходить сквозь дождь или густой туман, хотя в солнечные ясные дни он работает прекрасно. Тем не менее, автор однажды присутствовал на конференции в современной европейской гостинице, где организаторы заботливо предоставили комнату, полную терминалов, чтобы участники конференции могли читать свою электронную почту во время скучных презентаций. Поскольку местная телефонная станция не желала устанавливать большое количество телефонных линий всего на три дня, организаторы установили лазер на крыше и нацелили его на здание университетского компьютерного центра, который находится на расстоянии нескольких километров. В ночь перед конференцией они проверили связь — она работала прекрасно. В 9 часов следующего утра, в ясный солнечный день связь была полностью потеряна и отсутствовала весь день. Вечером организаторы опять тщательно проверили связь и снова убедились в ее прекрасной работе. На следующий день связи опять не было.

Когда конференция закончилась, организаторы обсудили эту проблему. Как выяснилось, в дневное время солнце нагревало крышу, горячий воздух от нее поднимался и отклонял лазерный луч, начинавший танцевать вокруг детектора (рис. 2.12). Этот эффект можно наблюдать невооруженным глазом в жаркий день на шоссе или над горячим радиатором автомобиля. Борясь с этим эффектом, астрономы располагают свои телескопы высоко в горах, подальше от атмосферы.

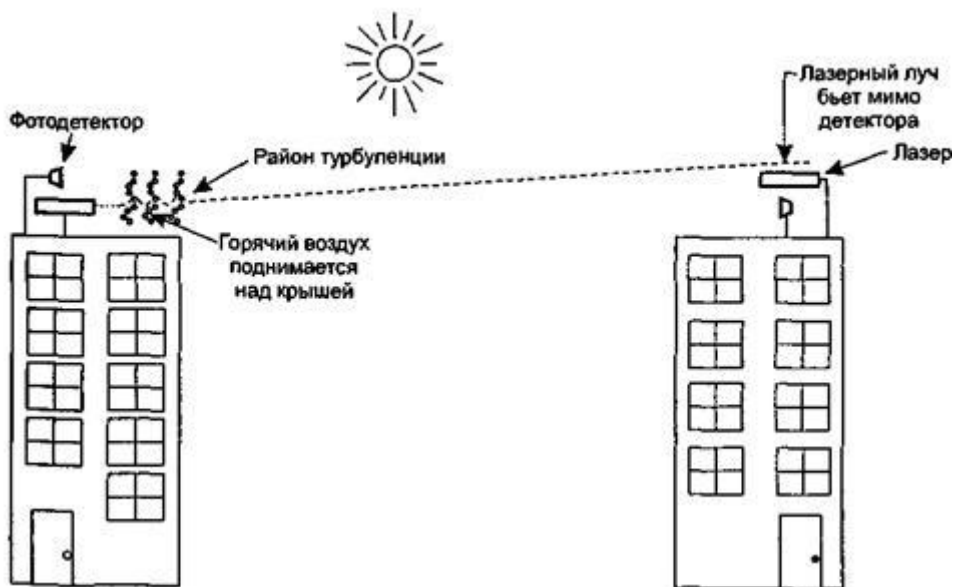


Рис. 2.12. Конвекционные потоки мешают работать лазерной системе. На рисунке изображена двунаправленная система с двумя лазерами

5.3 Спутниковая связь. Геостационарные спутники. Средневысотные спутники. Низкоорбитальные спутники. Спутники против оптоволоконна.

Спутники связи

В 1950-х и начале 60-х годов люди пытались организовать связь при помощи сигналов, отраженных от металлических метеозондов. К сожалению, мощность таких сигналов была слишком мала, и их практическое значение оказалось ничтожным.

Затем ВМФ США обнаружил, что в небе постоянно висит некое подобие метеозонда — это была Луна. Была построена система для связи береговых служб с кораблями, в которой использовалось отражение сигналов от естественного спутника Земли.

Дальнейший прогресс в создании коммуникаций с помощью небесных тел на этом приостановился до запуска первого спутника связи. Ключевым отличием искусственной «луны» являлось то, что на спутнике было установлено оборудование, позволяющее усилить входящий сигнал перед отправкой его обратно на Землю. Это превратило космическую связь из забавного курьеза в мощную технологию.

Спутникам связи присущи определенные свойства, делающие их чрезвычайно привлекательными для самых разных областей применения. Проще всего представить себе спутник связи в виде своего рода огромного микроволнового повторителя, висящего в небе. Он включает в себя несколько транспондеров, каждый из которых настроен на определенную часть частотного спектра. Транспондеры усиливают сигналы и преобразуют их на новую частоту, чтобы при отправке на Землю отраженный сигнал не накладывался на прямой.

Нисходящий луч может быть как широким, покрывающим огромные пространства на Земле, так и узким, который можно принять в области, ограниченной лишь несколькими сотнями километров. Последний метод называется трубой.

В соответствии с законом Кеплера, период обращения спутника равен радиусу орбиты в степени $3/2$.

Таким образом, чем выше орбита, тем дольше период. Вблизи поверхности Земли период обращения вокруг нее составляет примерно 90 минут. Следовательно, спутники, расположенные на малой высоте, слишком быстро исчезают из вида приемно-передающих устройств, расположенных на Земле, поэтому необходимо организовывать непрерывные зоны покрытия. На высоте 35 800 км период составляет 24 часа. А на высоте 384 000 км спутник будет обходить Землю целый месяц, в чем может убедиться любой желающий, наблюдая за Луной.

Конечно, период обращения спутника очень важно иметь в виду, но это не единственный критерий, по которому определяют, где его разместить. Необходимо принимать во внимание так называемые пояса Ван Аллена (Van Allen belts) — области скопления частиц с большим зарядом, находящихся в зоне действия магнитного поля Земли. Любой спутник, попав в такой пояс, довольно быстро будет уничтожен этими частицами. В результате учета этих факторов были выделены три зоны, в которых можно безопасно размещать искусственные спутники. Они изображены на рис. 2.13. Из этого же рисунка можно узнать о некоторых из их свойств. Мы вкратце рассмотрим спутники, размещаемые в каждой из этих трех зон.



Рис. 2.13. Спутники связи и их свойства: высота орбиты, задержка, число спутников, необходимое для покрытия всей поверхности земного шара

Геостационарные спутники

В 1945 году писатель-фантаст Артур С. Кларк (Arthur S. Clarke) подсчитал, что спутник, расположенный на высоте 35 800 км на круговой экваториальной орбите, будет оставаться неподвижным относительно Земли.

А значит, следить за ним будет гораздо проще (Clarke, 1945). Он развил свою мысль и описал целую коммуникационную систему, использующую такие (пилотируемые) геостационарные спутники. Он описал орбиты, солнечные батареи, радиочастоты и даже процедуры связи. К сожалению, в конце концов он пришел к неутешительному выводу о том, что такие спутники вряд ли будут иметь практическое значение, потому что на их борту невозможно разместить энергоемкие, хрупкие ламповые усилители. В связи с этим Кларк не стал больше развивать свою идею, хотя и написал несколько фантастических рассказов о подобных искусственных спутниках.

Положение вещей изменило изобретение транзистора, и вот в июле 1962 года производится запуск первого в мире спутника связи Telstar.

С тех пор спутники связи стали многомиллиардным бизнесом и единственным прибыльным делом, связанным с космическими технологиями. Про спутники, вращающиеся на большой высоте, говорят, что они расположены на геостационарной орбите (GEO, Geostationary Earth Orbit).

Современные технологии таковы, что расположение спутников чаще, чем через каждые 2° в 360-градусной экваториальной плоскости, является нерациональным. В противном случае возможна интерференция сигналов. Итак, если на каждые два градуса приходится 1 спутник, то всего их в экваториальной плоскости можно разместить $360/2 = 180$. Сто восемьдесят спутников могут одновременно находиться в небе и вращаться в одной и той же плоскости на одной и той же высоте. Тем не менее у каждого транспондера есть возможность работы на разных частотах и с разной поляризацией, что позволяет увеличить максимальную пропускную способность всей системы.

Со временем возникла необходимость предотвращения беспорядочного использования околоземных орбит. Навести порядок в небе было поручено организации ИТУ. Процесс выделения орбит очень сильно связан с политикой, причем многие страны в борьбе за свой «кусочек» неба напоминают далеких предков человека из каменного века. Это объясняется очень высокими потенциальными доходами, которые государство может извлечь, сдавая в аренду кусочки космоса. В то же время некоторые страны заявляют, что их государственные границы в высоту простираются до самой Луны и что использование орбит, проходящих над их территорией, иностранными государствами является нелегальным. Жаркие споры на эту тему подогревает еще и тот факт, что коммерческая связь — это далеко не единственное применение спутников связи, а значит, и их орбит. Ими пользуются операторы спутникового телевидения, правительственные структуры и военные.

Современные спутники могут быть довольно большими, весят до 4000 кг и потребляют до нескольких киловатт электроэнергии, вырабатываемой солнечными батареями. Эффекты гравитации, вызванные Солнцем, Луной и другими планетами, постепенно вызывают смещение с орбит и изменение ориентации. Приходится компенсировать это с помощью бортовых двигателей. Действия по сохранению параметров орбит спутников называются позиционированием. И все же приходит момент, когда топливо у бортовых двигателей заканчивается (такое случается примерно один раз в десять лет). Тогда спутник начинает беспомощно дрейфовать, постепенно сходя с орбиты. Понятно, что он перестает быть дееспособным и его нужно отключать. Обычно спутники связи заканчивают свою жизнь, постепенно входя в плотные слои атмосферы и сгорая там либо падая на землю.

Участки орбит — это не единственный предмет, за который борются страны и отдельные компании. Разумеется, распределению между всеми желающими подлежат и рабочие диапазоны частот, поскольку нисходящие сигналы спутников могут вызывать помехи в работе микроволновых устройств. Поэтому ИТУ были выделены частотные диапазоны, предназначенные исключительно для спутников связи. Самые важные из них показаны на табл. 2.3.

Таблица 2.3. Основные частотные диапазоны спутников связи

Диапазон	Нисходящие сигналы	Восходящие сигналы	Ширина полосы	Проблемы
L	1,5 ГГц	1,6 ГГц	15 МГц	Узкая полоса; переполнен
S	1,9 ГГц	2,2 ГГц	70 МГц	Узкая полоса; переполнен
C	4,0 ГГц	6,0 ГГц	500 МГц	Наземная интерференция
Ku	11 ГГц	14 ГГц	500 МГц	Дождь
Ka	20 ГГц	30 ГГц	3500 МГц	Дождь, стоимость оборудования

Диапазон С был первой полосой частот, предназначенной для трафика коммерческих спутников. Он разбивается на два поддиапазона. Один из них предназначен для сигналов с Земли (восходящих), другой — для сигналов со спутника (нисходящих). Таким образом, для двусторонней передачи требуется сразу два канала. Они уже переполнены пользователями, поскольку на тех же частотах работают наземные микроволновые устройства связи. В 2000 году, в соответствии с международным соглашением, было добавлено два дополнительных диапазона: S и L. Тем не менее, они тоже весьма узки и уже заполнены.

Следующий высокочастотный диапазон коммерческой связи называется Ки (K under, то есть «под K»). Полоса пока еще не переполнена, и работающие на этих частотах спутники могут располагаться на угловом расстоянии Γ друг от друга. У диапазона Ки имеется еще одна проблема: волны этих частот глушатся дождем. Вода очень плохо пропускает микроволновый сигнал. К счастью, очень сильные ливни обычно бывают весьма узко локализованы, поэтому проблему удастся решить с помощью нескольких наземных установок, расположенных довольно далеко друг от друга. Цена, которую приходится платить за «проблему дождя», весьма высока: это дополнительные антенны, кабели и электронные устройства для быстрого переключения станций. Наконец, самым высокочастотным диапазоном является Ка (K above, то есть «над K»), Основной проблемой является пока еще очень высокая стоимость оборудования для работы на этих частотах.

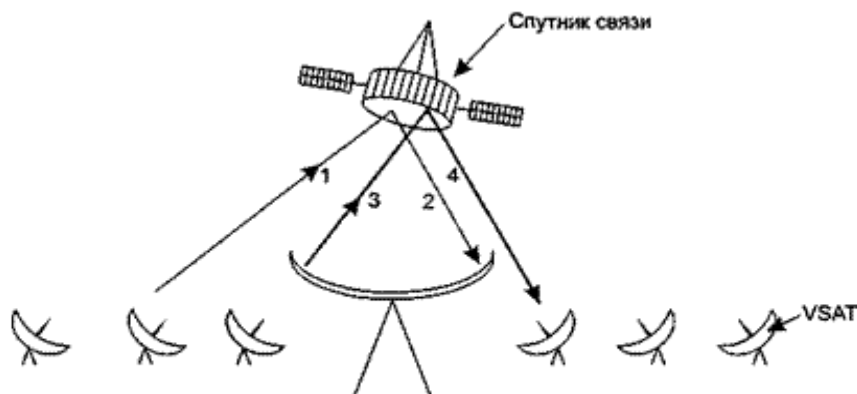
Помимо коммерческих диапазонов, существует также множество военных и правительственных.

На современном спутнике имеется порядка 40 транспондеров, полоса каждого из которых составляет 80 МГц. Обычно каждый транспондер работает по принципу узкой трубы, однако недавно появились спутники, оснащенные бортовыми процессорами для обработки сигналов. В первых спутниках разделение транспондеров по каналам было статическим: весь доступный рабочий диапазон просто разделялся на несколько фиксированных полос. Теперь же сигнал транспондера разделяется на временные слоты, то есть каждому пользователю выделяется на передачу определенный промежуток времени. Далее в этой главе мы изучим оба принципа (частотное и временное мультиплексирование) более подробно.

Первые геостационарные спутники связи имели один луч, который охватывал примерно 1/3 земной поверхности и назывался точечным лучом. Однако по мере удешевления, уменьшения размеров и энергоемкости микроволновых элементов стали появляться более сложные стратегии. Стало возможно оборудовать каждый спутник несколькими антеннами и несколькими транспондерами. Каждый нисходящий луч сфокусировали на небольшой территории; таким образом смогли осуществить одновременную передачу нескольких сигналов. Обычно эти так называемые пятна имеют форму овала и могут иметь относительно малые размеры — порядка нескольких сотен километров. Американский спутник связи охватывает широким лучом 48 штатов, а также имеет два узких луча для Аляски и Гавайских островов.

Новым витком развития спутников связи стало создание недорогих миниатюрных апертурных терминалов — VSAT (Very Small Aperture Terminal) (Abramson, 2000). У этих небольших станций имеется антенна диаметром всего 1 м (сравните с 10-метровой антенной

GEO), их выходная мощность составляет примерно 1 Вт. Скорость работы в направлении Земля - спутник обычно составляет 19,2 Кбит/с, зато связь спутник - Земля можно поддерживать на скорости 512 Кбит/с и выше. Спутниковое широковещательное телевидение использует эту технологию для односторонней передачи сигнала.



Концентратор

Рис. 2.14. Хаб распределяет трафик между несколькими УЗАТ

Многим микростанциям УБАТ не хватает мощности для того, чтобы связываться друг с другом (через спутник, разумеется). Для решения этой проблемы устанавливаются специальные наземные концентраторы с большой мощной антенной. Концентратор (хаб) распределяет трафик между несколькими УБАТ, как показано на рис. 2.14. В таком режиме либо приемник, либо передатчик обязательно имеет большую антенну и мощный усилитель. Недостатком такой системы является наличие задержек, достоинством — низкая цена за полноценную систему для конечного пользователя.

Системы УБАТ имеют большие перспективы использования в сельской местности. Об этом как-то не очень часто вспоминают, но половина населения земного шара живет минимум в часе ходьбы от ближайшего телефона. Протянуть телефонные линии ко всем селам и деревням не по карману большинству стран так называемого третьего мира. Однако средств на установку тарелки УБАТ, питающейся от солнечной батареи, может хватить не только у администрации региона, но и у частных лиц. Таким образом, УБАТ — это технология, которая может позволить организовать связь в любой точке планеты.

Спутники связи обладают рядом свойств, которые радикально отличают их от любых наземных систем связи между абонентами. Во-первых, несмотря на предельно высокую скорость распространения сигнала (собственно, она практически равна скорости света — 300 000 км/с), расстояния между наземными приемнопередающими устройствами и спутниками таковы, что в технологии ВЕО задержки оказываются весьма значительными. В зависимости от взаимного расположения пользователя, наземной станции и спутника время передачи может составлять 250-300 мс. Обычно оно составляет 270 мс (соответственно, в два раза больше — 540 мс — в системах УБАТ, работающих через хаб).

Для сравнения, сигнал в наземных микроволновых системах связи распространяется со скоростью примерно 3 мкс/км, а коаксиальный кабель и оптоволокно имеют задержку порядка 5 мкс/км. Разница задержек здесь объясняется тем, что в твердых телах сигнал распространяется медленнее, чем в воздухе.

Еще одним важным свойством спутников является то, что они являются исключительно широковещательным средством передачи данных. На отправку сообщения сотням абонентов, находящихся в зоне следа спутника, не затрачивается никаких дополнительных ресурсов по сравнению с отправкой сообщения одному из них. Для некоторых применений это свойство очень полезно. Например, можно представить себе кэширование на спутнике популярных веб-страниц, что резко повысит скорость их загрузки на сотни компьютеров, находящихся довольно далеко друг от друга. Конечно, широковещание симулируется обычными двухточечными сетями,

однако спутниковое вещание в этом случае обходится значительно дешевле. С другой стороны, с точки зрения защиты информации и конфиденциальности данных, спутники — это прямо-таки беда: кто угодно может прослушивать абсолютно все. Здесь на защиту тех, кому важен ограниченный доступ к информации, встает криптография.

Спутники связи обладают еще одним замечательным свойством — независимостью стоимости передачи от расстояния между узлами. Звонок другу, живущему за океаном, стоит столько же, сколько звонок подруге, живущей в соседнем доме. Космические телекоммуникационные технологии, кроме того, обеспечивают очень высокую степень защиты от ошибок и могут быть развернуты на местности практически мгновенно, что очень важно для военных.

Средневысотные спутники

На гораздо более низких высотах, нежели геостационарные спутники, между двумя поясами Ван Аллена, располагаются средневысотные спутники (MEO, Medium-Earth Orbit Satellites). Если смотреть на них с Земли, то будет заметно их медленное дрейфование по небосводу.

Средневысотные спутники делают полный оборот вокруг нашей планеты примерно за 6 часов. Соответственно, наземным приемопередатчикам необходимо следить за их перемещением.

Поскольку эти спутники находятся гораздо ниже, чем геостационарные, то и «засвечиваемое» ими пятно на поверхности Земли имеет более скромные размеры. Зато для связи с ними требуются менее мощные передатчики. Спутники MEO не используются в телекоммуникациях^[1], поэтому в дальнейшем мы не будем их рассматривать. Примерами средневысотных спутников являются 24 спутника системы GPS (Global Positioning System, глобальная система определения местонахождения), вращающихся вокруг Земли на высоте около 18 000 км.

Низкоорбитальные спутники

Снизим высоту еще больше и перейдем к рассмотрению низкоорбитальных спутников (LEO, Low-Earth Orbit Satellites). Для того чтобы создать целостную систему, охватывающую весь земной шар, нужно большое количество таких спутников.

Причиной тому является, прежде всего, высокая скорость их движения по орбите. С другой стороны, благодаря относительно небольшому расстоянию между наземными передатчиками и спутниками не требуется особо мощных наземных передатчиков, а задержки составляют всего лишь несколько миллисекунд. В этом разделе мы рассмотрим три примера спутников LEO, два из которых относятся к голосовой связи, а один — к службам Интернета.

Спутники против оптоволоконка

Такое сравнение не только уместно, но и поучительно. Всего лишь 20 лет назад люди смогли осознать, что будущее телекоммуникационных систем — за спутниками связи. В конце концов, телефонная система не особо менялась последние 100 лет; похоже, что не изменится и еще через 100 лет.

Такая стабильность вызвана в том числе и мощной регулятивной средой, которая обязывала телефонные компании предоставлять качественный сервис за разумные деньги и взамен предлагала гарантированную прибыль за счет инвестиций. Для тех, кому требовалось передавать не только речь, но и данные, сделали модемы на 1200 бит/с. Собственно, это все, что долгое время предоставляла телефонная система.

В 1984 году в США и чуть позднее в Европе стала возникать конкурентная борьба в области связи, которая все поставила с ног на голову. Телефонные компании занялись прокладкой оптического волокна для междугородной телефонии и стали предоставлять услуги высокоскоростного доступа в Интернет, например, по ADSL (Asymmetric Digital Subscriber Line, асимметричная цифровая абонентская линия). Наконец-то стали снижаться искусственно завышенные тарифы на дальнюю связь, за счет которых долгое время удерживались низкие тарифы на местные переговоры.

Довольно неожиданно оптоволоконные кабели стали победителями среди средств связи. Тем не менее, у спутников имеются свои области применения, в которых оптоволокно, увы, бессильно. Рассмотрим некоторые из этих областей.

Во-первых, несмотря на то что у отдельно взятого оптического волокна пропускная способность выше, чем у всех спутников вместе взятых, большинству пользователей это мало что дает. Пока что оптоволоконные кабели используются в основном в телефонных сетях для обеспечения большого количества одновременных звонков, а частному сектору такие технологии малодоступны. При применении спутниковой системы достаточно установить антенну на крыше дома, и пользователь получит очень неплохую пропускную способность линии, никак не связанной с телефонной сетью. Эту идею использует, например, ТеФсФвш.

Второй областью применения спутниковой связи является мобильная телефония. Очень многие люди испытывают потребность в том, чтобы быть постоянно на связи — во время путешествий, за рулем автомобиля, во время авиаперелетов и морских круизов. Оптоволокно в этих ситуациях протянуть невозможно, а вот спутниковая связь будет работать без проблем. Тем не менее, возможно, оптимальным вариантом является все-таки сочетание сотовой и оптоволоконной связи (за исключением случаев морских вояжей и авиаперелетов).

Третья область касается вопросов, в которых принципиально широко вещание. Сообщения, отправленные через спутник, могут получить одновременно тысячи абонентов на Земле. Например, постоянно меняющуюся информацию о ситуации на мировых биржах проще и дешевле распространять среди огромного количества пользователей с помощью спутника, а не наземной эмуляции широко вещания.

В-четвертых, нельзя забывать о местах, куда либо очень тяжело протянуть кабель, либо этого не позволяют сделать скудные средства местных бюджетов. В таких регионах обычно плохо развита наземная инфраструктура. Поэтому, например, Индонезия имеет спутник для внутреннего телефонного трафика. Приобрести его оказалось дешевле, чем проложить донный кабель между 13 667 островами.

В-пятых, спутниковая связь может быть использована там, где очень тяжело или необоснованно дорого обходится приобретение права на прокладку кабеля.

Шестой областью применения спутников является система, для которой критична скорость развертывания техники. Это, конечно, военная система.

В целом, основным средством телекоммуникаций на Земле, вероятно, будет комбинация оптоволоконной и сотовой радиосвязи, но для некоторых специальных применений будет использоваться спутниковая система. Однако есть одно «но», которое может приостановить развитие всего этого: экономика. Хотя оптоволоконные кабели обладают очень высокой пропускной способностью, беспроводные системы, как наземные, так и спутниковые, будут вести очень жесткую политику ценовой конкуренции. Если будет продолжаться удешевление спутниковых систем (скажем, шаттлы скоро будут способны выводить на орбиту одновременно десятки спутников связи), а низкоорбитальные спутники постепенно будут все больше использоваться в телекоммуникациях, то не исключено, что оптоволоконные сети уйдут с ведущих ролей на большинстве рынков.

5.4 Мобильные телефоны третьего поколения: цифровая речь и данные.

Мобильные телефоны первого поколения: аналоговая передача речи

Однако хватит о политике и бизнесе. Поговорим о технологиях. Начнем наше рассмотрение с самых первых из них. Мобильные радиотелефоны эпизодически применялись в морском судоходстве и военной связи в первые десятилетия XX века.

В 1946 году в Сент-Луи была установлена первая система автомобильных телефонов. Она имела один большой передатчик, расположенный на крыше высокого здания, и единственный канал приема и передачи данных. Чтобы начать разговор, нужно было нажать на кнопку, которая включала передатчик и отключала приемник. Такие системы, известные как тангентные,

существовали в некоторых городах еще в конце 50-х. СВ-радио, системы, используемые в такси и полицейских машинах, часто используют эту же технологию.

В 1960-х годах появилась усовершенствованная система мобильной телефонной связи, IMTS (Improved Mobile Telephone System). Она также использовала мощный (200-ваттный) передатчик, установленный на вершине горы, но уже имела два частотных канала: один для отправки, другой — для приема данных. Поэтому микрофонная кнопка уже была не нужна. Благодаря разделению входящих и исходящих каналов пользователи мобильных телефонов не могли слышать чужие разговоры (в отличие от тангентных систем, используемых в такси).

IMTS поддерживала 23 канала в диапазоне от 150 до 450 МГц. Из-за небольшого числа каналов пользователям часто подолгу приходилось ждать освобождения линии. К тому же из-за сильной мощности передатчика смежные системы должны были располагаться на расстоянии нескольких сотен километров друг от друга во избежание интерференции сигналов. В общем, из-за низкой емкости эта система была признана непрактичной.

Второе поколение мобильных телефонов: цифровая передача голоса

Первое поколение сотовых телефонных систем было аналоговым. Второе поколение является цифровым. Как не было никаких четких стандартов в первом поколении мобильных телефонов, так не появились они и ко второму поколению.

Сейчас используются четыре системы второго поколения: D-AMPS, GSM, CDMA и PDC. Далее мы обсудим первые три из них. PDC нашла применение только в Японии и является, на самом деле, модификацией D-AMPS, направленной на сохранение совместимости с японским аналоговым оборудованием первого поколения. Название PCS (Personal Communications Services — персональная служба связи) иногда используется в литературе по маркетингу и означает систему второго поколения (цифровую, разумеется). Изначально так назывался телефон, работающий в диапазоне 1900 МГц, впрочем, сейчас различия почти стерлись.

5.5 Мобильные телефоны третьего поколения: цифровая речь и данные.

Мобильные телефоны третьего поколения: цифровая речь и данные

Каким будет будущее мобильной телефонии? Давайте попробуем разобраться. Развитием этой отрасли движет большое количество факторов. Во-первых, объем передаваемых данных уже превышает объем передаваемой речи в стационарных сетях, и первый показатель растет экспоненциально, тогда как последний растет довольно вяло.

Многие эксперты предрекают такое же будущее и мобильным сетям: трафик данных превысит голосовой трафик. Во-вторых, компьютерная индустрия и индустрии телефонии и развлечений уже стали полностью цифровыми и быстро объединяются. Многие восхищаются компактностью и малым весом портативного устройства, которое выступает в качестве телефона, проигрывателя компакт-дисков, DVD-проигрывателя, терминала для электронной почты, обладает веб-интерфейсом, возможностями текстового редактора, включает в себя электронные игры и многое другое. С его помощью можно без всяких проводов в любой точке мира получить высокоскоростной доступ в Интернет. Все это называется третьим поколением мобильной телефонии. Дополнительную информацию см. (Huber и др., 2000; Sarikaya, 2000).

Еще в 1992 году международный союз телекоммуникаций, ITU, сделал попытку конкретизировать и реализовать эти мечты и выпустил проект под названием ИТТ-2000, где ИМТ означало «международная мобильная связь» (International Mobile Telecommunications). Что касается числа 2000, то оно нужно было для трех вещей: во-первых, оно указывало на год, в котором задумывалось ввести в строй этот проект; во-вторых, именно на такой частоте (в мегагерцах) должна была работать система; в-третьих, предполагалось установить такую ширину полосы (в килогерцах).

Ни один из трех пунктов осуществлен не был. В 2000 году система реализована не была. ITU рекомендовал правительствам всех стран зарезервировать частоту 2000 МГц (2 ГГц) для международного роуминга. Рекомендации последовал только Китай. Наконец, в какой-то момент

осознали, что невозможно выделить каждому пользователю пропускную способность в 2 Мбит/с, особенно учитывая особую мобильность многих из них (просто нереально с достаточно высокой скоростью осуществлять передачу с одной базовой станции на другую). Более реалистично выглядит выделение 2 Мбит/с стационарным абонентам, которые сидят дома (в этом случае такая система будет серьезным конкурентом ADSL), 384 Кбит/с для людей, которые не спеша прогуливаются по парку, и 144 Кбит/с — для связи с абонентами, движущимися в автомобилях. Тем не менее, вокруг 3G, как называют третье поколение мобильной связи, кипит бурная деятельность. Третье поколение еще не оправдало в полной мере тех надежд, которые с ним связывали, однако вскоре несомненно оправдает.

Вот основные сервисы, для предоставления которых задумывалась сеть IMT-2000:

1. Высококачественная передача речи.
2. Обмен сообщениями (замена e-mail, факса, SMS, чата и т. д.).
3. Мультимедиа (проигрывание музыки, видео, фильмов, телевидения и т. д.).
4. Доступ в Интернет (включая просмотр страниц с аудио- и видеоинформацией).

В качестве дополнительных услуг могут быть видеоконференции, телепрезентации, групповые электронные игры, мобильная коммерция (использование мобильного телефона для оплаты покупок). Более того, все эти сервисы должны быть доступны по всему миру (с автоматическим соединением через спутник в тех местах, где стационарная сеть отсутствует) на основе постоянного подключения и с гарантированным качеством обслуживания.

ITU задумывал IMT-2000 как единую технологию, чтобы производители могли выпустить универсальное устройство, которое можно было бы продавать по всему миру (как компьютеры и проигрыватели компакт-дисков и не в пример мобильным телефонам и телевизорам). Одна стандартная технология сильно упрощает жизнь операторам связи и привлекает клиентов. Война форматов (так получилось с Betamax и VHS в мире видеозаписи), которая вначале воспринималась как вид конкуренции, оказалась неблагоприятной для бизнеса.

Было выдвинуто несколько технических предложений, впоследствии некоторые отсеялись и остались две основные технологии. Первая из них называется широкополосным CDMA (W-CDMA, Wideband CDMA) и была предложена фирмой Ericsson. Система использует расширение спектра с применением кода прямой последовательности, такой метод мы уже описывали ранее. Полоса пропускания составляет 5 МГц и предназначена для межсетевого обмена с сетями стандарта GSM, хотя система не имеет обратной совместимости с GSM. Зато она обладает свойством, которое позволяет пользователю при выходе из соты W-CDMA и входе в ячейку GSM не прерывать звонок. Эта система была продвинута Европейским Союзом, который назвал ее UMTS (Universal Mobile Telecommunications System — универсальная система мобильной связи).

Вторым претендентом стала система CDMA2000, предложенная Qualcomm. В ней также используется принцип расширения спектра с применением кода прямой последовательности, да и вообще ее можно рассматривать как расширение IS-95 (между прочим, имеется обратная совместимость с этим стандартом). Полоса пропускания имеет ширину 5 МГц, однако CDMA2000 не предназначена для межсетевого взаимодействия с GSM, и передача соединения при переходе в ячейку GSM (или D-AMPS) не осуществляется.

Среди других технических отличий от W-CDMA стоит отметить иную скорость следования элементарных посылок, иные кадровый интервал, используемый спектр и способ синхронизации.

Если бы инженеров из Ericsson и Qualcomm посадили за стол переговоров и поставили бы задачу выработать единую систему, они, наверное, справились бы с этим. В конце концов, базовый принцип обеих систем — это CDMA на канале с полосой 5 МГц. Вроде бы никто не собирается драться на дуэли из-за скорости элементарных посылок. Беда в том, что настоящей проблемой, как всегда, является отнюдь не инженерное решение, а политика. Европе требовалась система, умеющая работать с GSM; Соединенным Штатам нужна была система, совместимая с одной из уже существующих там систем (IS-95). Каждая сторона поддерживала свою компанию (Ericsson находится в Швеции, Qualcomm — в Калифорнии). В конце концов, обе компании оказались вовлечены во множественные тяжбы, связанные с патентами на технологию CDMA.

В марте 1999 года судебные разбирательства закончились тем, что Ericsson согласилась приобрести инфраструктуру Qualcomm. Компании также согласились на единый стандарт 3G, однако с множеством несовместимых функций, которые, впрочем, в большой степени связаны с документацией, а не с техническими различиями. Несмотря на все разногласия, в скором времени появятся службы и устройства 3G.

О системах 3G написано много, причем отзывы в основном восторженные. Большинство пишет о третьем поколении мобильной связи в том духе, что это самое большое достижение со времен изобретения хлебозерки. Вот библиографические ссылки: (Collins and Smith, 2001; De Vriendt и др., 2002; Harte и др., 2002; Lu, 2002; Sarikaya, 2000). Тем не менее, есть авторы, которые полагают, что отрасль мобильной телефонии идет в неверном направлении (Garber, 2002; Goodman, 2000).

Пока бояре борются в попытках прийти к соглашению по системам 3G, некоторые операторы связи уже делают первые робкие шаги в направлении 3G, предлагая, что называется, 2,5G, хотя более точно было бы назвать это 2,1G. Одна такая система называется EDGE (Enhanced Data rates for GSM Evolution — повышенные скорости передачи для развития GSM) и представляет собой обычный GSM с увеличенным числом бит на бод. Проблема состоит в том, что чем больше битов используется, тем больше вероятность ошибок. Поэтому в EDGE применяются девять различных схем модуляции и коррекции ошибок. Отличаются они друг от друга процентом пропускной способности, выделяемым на исправление ошибок, возникающих вследствие повышенной скорости.

Еще одной системой «второго с половиной поколения» является GPRS (General Packet Radio Service — общие услуги пакетной радиосвязи) — пакетная сеть на базе D-AMPS или GSM. Она позволяет обмениваться IP-пакетами по голосовым каналам сотовой связи. При работе GPRS некоторые временные интервалы на некоторых частотах резервируются под пакетный трафик. Число и расположение этих интервалов могут динамически изменяться базовой станцией в зависимости от соотношения голосового и информационного трафика в ячейке.

Доступные временные интервалы делятся на несколько логических каналов, используемых для разных целей. Базовая станция определяет, в каких интервалах располагаются эти каналы. Один канал предназначен для передачи пакетов с базовой на мобильную станцию, причем каждый пакет имеет поле индикации места своего назначения. Чтобы послать IP-пакет, мобильная станция запрашивает один или несколько временных интервалов, посылая на БС соответствующий запрос. Если запрос приходит неповрежденным, обратно отсылается информация о частоте и интервале, в котором можно передавать IP-пакет. Как только на базовую станцию прибывает пакет, она по обычному кабельному соединению пересылает его в Интернет. Поскольку система GPRS работает лишь как надстройка над существующей голосовой системой, ее можно рассматривать в лучшем случае как временную затычку, которая не понадобится, когда будет введена в строй 3G.

Даже несмотря на то, что 3G до сих пор не реализован в полном объеме, многие исследователи рассматривают его появление как уже свершившийся факт и поэтому не очень интересуются проблемами его изучения. Эти люди уже работают над созданием систем четвертого поколения (Berezdivin и др., 2002; Guo and Chaskar, 2002; Huang and Zhuang, 2002; Kellerer и др., 2002; Misra и др., 2002). 4G будет характеризоваться высокой пропускной способностью, повсеместной применимостью, полной интеграцией с кабельными сетями, особенно IP, адаптивным управлением ресурсами и частотным спектром, программным радио и высоким качеством обслуживания в области мультимедиа.

С другой стороны, повсеместно устанавливается такое большое количество точек доступа к беспроводным ЛВС стандарта 802.11, что многие рассматривают 3G не как свершившийся факт, а как мертворожденное поколение систем. По мнению многих, людям не составит труда оставаться на связи, просто перемещаясь от одной такой точки доступа к другой. Сказать, что данная отрасль находится в стадии бурных изменений — значит не сказать ничего. Посмотрим, что будет лет через пять. Скорее всего, изменится очень многое.

Контрольные вопросы

1. Какие способы используются для обеспечения надежности передачи сообщений по компьютерным сетям?
2. Дайте определения основных технических характеристик линий связи.
3. Что такое полоса пропускания и чем вызвано ее появление?
4. Чем отличается пропускная способность от скорости передачи?
5. Назовите основные области применения беспроводных линий связи.
6. В чем достоинства и недостатки беспроводной передачи информации по сравнению с проводной?
7. Каким образом можно организовать ненаправленное распространение радиоволн и микроволн?
8. За счет чего радиоволны с частотами от 2 до 30 МГц могут распространяться на сотни километров?
9. Какой спектр волн используется для спутниковой связи?
10. Какие атмосферные явления мешают распространению микроволн?
11. Что из нижеперечисленного используется для ненаправленного распространения инфракрасных волн:
 - О лазерные диоды;
 - О система линз;
 - О отражение от потолка;
 - О тепловые антенны.
12. Какие препятствия вызывают дифракцию, а какие рассеивание электромагнитных волн?
13. В каких случаях применяются эллиптические орбиты телекоммуникационных спутников?
14. Какими недостатками обладает геостационарный спутник?
15. В чем, по вашему мнению, заключается причина неудачи проекта Iridium?
16. При соблюдении какого условия технология FHSS является высокоскоростной?
17. Какое свойство последовательности Баркера определяет возможность ее использования в технологии DSSS?

9 Безопасность в сетях

8.1 Основы криптографии. Алгоритмы с открытым ключом. Цифровые подписи. Защита соединений. Конфиденциальность электронной переписки.

Основы криптографии

Криптография играет весьма существенную роль в обеспечении безопасности. Многие люди знакомы с газетными криптограммами — небольшими головоломками, в которых каждая буква по определенной системе заменяется другой буквой.

К современной криптографии они имеют такое же отношение, как хот-доги к изысканной кулинарии. В этом разделе будет дан весьма краткий обзор криптографии компьютерной эпохи. Как уже упоминалось, криптография используется в операционных системах во многих местах. Например, некоторые файловые системы могут зашифровать все данные на диске, такие протоколы, как IPSec, позволяют зашифровать и/или подписать все сетевые пакеты, а большинство операционных систем шифруют пароли, чтобы не дать взломщикам возможности их восстановления. Более того, в разделе 9.6 будет рассмотрена роль шифрования в другом важном аспекте безопасности — аутентификации.

Нами будут рассмотрены основные элементы, используемые этими системами. Но серьезное рассмотрение вопросов криптографии не входит в задачи данной книги. Подробному рассмотрению данной темы посвящено множество замечательных книг по компьютерной безопасности. Заинтересовавшимся можно предложить, к примеру, книги Kaufman et al. (2002), Gollman (2011). Далее будет дано весьма краткое рассмотрение вопросов криптографии для тех читателей, которые с ними никогда не сталкивались.

Замысел криптографии заключается в том, чтобы закодировать открытый текст (plaintext) — сообщение или файл, превратив его в зашифрованный текст (ciphertext), чтобы о том, как его снова превратить в открытый текст, знали только те, кто имеет на это право. Для всех остальных зашифрованный текст будет лишь непонятным набором битов. Как бы странно это ни прозвучало для новичков, но алгоритмы (функции), используемые для шифрования и дешифрования, всегда должны быть открытыми.

Попытка хранить их в секрете практически никогда не срабатывает и создает у людей, пытающихся сохранить секреты, ложное чувство безопасности. В коммерции такая тактика называется безопасностью за счет неизвестности (security by obscurity) и используется только дилетантами. Как ни странно, но в эту категорию попадает множество транснациональных корпораций, сотрудникам которых следовало бы лучше изучить данный вопрос.

При реальном подходе к делу безопасность зависит от параметров алгоритмов, называемых ключами. Если P — это файл с обычным текстом, KE — ключ шифрования, C — зашифрованный текст и E — алгоритм шифрования (то есть функция), то $C = E(P, KE)$. Это и есть определение шифрования. Из него следует, что зашифрованный текст получается за счет использования известного алгоритма шифрования E с параметрами, в качестве которых выступает открытый текст P и секретный ключ шифрования, KE . Идея, предполагающая использование открытого алгоритма и содержание секретности исключительно в ключах, называется принципом Керкгоффса (Kerckhoffs' Principle). Он был сформулирован голландским криптографом XIX века Огюстом Керкгоффсом. Сегодня этой идеи придерживаются все серьезные криптографы.

Аналогично прежней формуле, $P = D(C, KD)$, где D — это алгоритм дешифрования, а KD — ключ дешифрования. Согласно этой формуле, чтобы получить обычный текст P из зашифрованного текста C при наличии ключа дешифрования KD , нужно запустить алгоритм D , используя C и KD в качестве параметров. Взаимоотношения между различными компонентами показаны на рис. 9.13.



Рис. 9.13. Взаимоотношения между открытым и зашифрованным текстом

Другие алгоритмы с открытым ключом

Хотя алгоритм RSA получил широкое распространение, он ни в коей мере не является единственным известным алгоритмом с открытым ключом. Первым алгоритмом с открытым ключом стал «алгоритм ранца» (Merkle и Neilman, 1978).

Его идея состоит в том, что имеется большое количество объектов различного веса. Владелец этих объектов кодирует сообщение, выбирая подмножество объектов и помещая их в ранец. Общий вес объектов в рюкзаке известен всем, как и список всех возможных объектов. Список объектов, находящихся в рюкзаке, хранится в секрете. При определенных дополнительных

ограничениях, задача определения возможного списка объектов по известному общему весу считалась неразрешимой для вычисления, то есть считалось, что решение можно найти только полным перебором различных сочетаний предметов списка. Поэтому она была положена в основу алгоритма с открытым ключом.

Изобретатель алгоритма Ральф Меркле (Ralph Merkle) был настолько уверен в надежности своего алгоритма, что предложил 100 долларов любому, кто сумеет его взломать. Ади Шамир (Adi Shamir), «S» в группе RSA, мгновенно взломал его и получил награду. Это не смутило Меркле. Он усилил алгоритм и предложил за его взлом уже 1000 долларов. Рон Ривест (Ron Rivest), «R» в RSA, тут же взломал улучшенную версию алгоритма и получил награду. Меркле не рискнул предложить 10 000 долларов за следующую версию, поэтому «A», Леонарду Эйдлману (Leonard Adleman), не повезло. Несмотря на то, что алгоритм ранца был в очередной раз исправлен, он не считается надежным и редко используется.

Другие схемы с открытым ключом основаны на сложности вычисления дискретных логарифмов. Алгоритмы, использующие этот принцип, были разработаны Эль-Гамалем (El Gamal, 1985) и Шнорром (Schnorr, 1991).

Существуют и некоторые другие методы, например, основанные на эллиптических кривых (Menezes и Vanstone, 1993). Однако две основные категории составляют алгоритмы, основанные на сложности нахождения делителей больших чисел и вычислений дискретных логарифмов. Эти задачи считаются особенно сложными, так как математики уже много лет пытаются их решить без особых успехов.

8.2 Основы криптографии. Алгоритмы с открытым ключом. Цифровые подписи. Защита соединений. Конфиденциальность электронной переписки.

Цифровые подписи

Потребность в цифровой подписи документа возникает довольно часто. Представим, например, банковского клиента, дающего банку по электронной почте поручение купить для него акции. Через час после отправки и выполнения поручения акции рухнули.

Теперь клиент отрицает тот факт, что он когда-либо отправлял поручение по электронной почте. Разумеется, банк может предъявить электронное поручение, но клиент может заявить, что банк его подделал с целью получения комиссионных. Как судья узнает, кто из них говорит правду?

Цифровые подписи позволяют подписывать электронные сообщения и другие цифровые документы таким образом, чтобы позже отправитель не смог от них отказаться. Один из распространенных способов заключается в первоначальном пропуске документа через односторонний криптографический алгоритм хэширования, который очень трудно инвертировать. Хэш-функция обычно выдает результат фиксированной длины, не зависящий от размера исходного документа. Самой популярной хэш-функцией является SHA-1 (Secure Hash Algorithm), производящая 20-байтный результат (NIST, 1995). Новейшие версии SHA-1 — SHA-256 и SHA-512 — производят 32- и 64-байтный результат соответственно, но пока они не получили такого же широкого распространения.

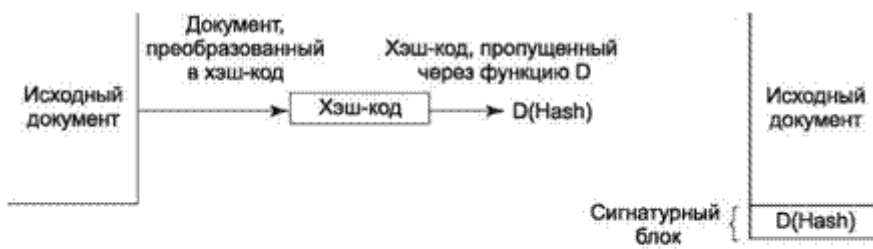


Рис. 9.14. а — вычисление сигнатурного блока, б — то, что получает получатель

Следующий шаг предполагает использование описанного ранее шифрования с открытым ключом. Владелец документа применяет свой закрытый ключ к хэшу, чтобы получить $D(\text{hash})$. Это значение, получившее название сигнатурного блока (signature block), прикрепляется к документу и отправляется получателю (рис. 9.14). Иногда применение функции D к хэшу называют дешифровкой хэша, но на самом деле это не дешифровка, поскольку хэш не был зашифрован. Это просто математическое преобразование хэша.

При получении документа и хэша получатель сначала вычисляет хэш документа, используя заранее согласованный алгоритм SHA-1 или оговоренную криптографическую хэш-функцию. Затем получатель применяет к сигнатурному блоку открытый ключ отправителя, чтобы получить $E(B(\text{ка8K}))$. В результате этого он путем взаимоуничтожения «зашифровывает» расшифрованный хэш и получает его в прежнем виде. Если вычисленный хэш не соответствует хэшу из сигнатурного блока, значит, документ, сигнатурный блок или и то и другое были подделаны (или случайно изменены). Ценность такой схемы заключается в том, что довольно медленное шифрование с открытым ключом применяется в ней только в отношении хэша, представляющего собой сравнительно небольшую часть данных.

Следует учесть, что данный метод работает только в том случае, если для всех x

$$E(D(x)) = x.$$

Наличие этого свойства у всех функций шифрования заранее не гарантируется, поскольку все, что от них изначально требовалось, — это соблюдение условия

$$D(E(x)) = x,$$

где E — функция шифрования, а B — функция дешифрования. Чтобы получить еще и свойство подписи, порядок их применения не должен играть никакой роли, то есть

D и E должны быть коммутативными функциями. К счастью, у алгоритма RSA такое свойство есть.

Чтобы воспользоваться этой схемой электронной подписи, получатель должен знать открытый ключ отправителя. Некоторые пользователи выкладывают применяемые ими открытые ключи на своей веб-странице. Другие этого не делают, опасаясь, что злоумышленники взломают веб-страницу и незаметно изменят их ключ. Им для распространения открытых ключей нужен какой-нибудь другой механизм. Одним из распространенных методов для отправителей сообщений является прикрепление к сообщению сертификата (certificate), в котором содержатся имя пользователя и открытый ключ и который имеет цифровую подпись вызывающей доверие третьей стороны. Как только пользователь получает открытый ключ этой третьей стороны, он может принимать сертификаты от всех отправителей, пользующихся услугами этой третьей доверенной стороны, чтобы генерировать их сертификаты.

Доверенная третья сторона, подписывающая сертификаты, называется центром сертификации (Certification Authority (CA)). Однако для того чтобы пользователь проверил сертификат, подписанный СА, ему нужен открытый ключ этого центра. Откуда он должен

принять и как пользователь может убедиться в его подлинности? Для того чтобы это сделать в общепринятом порядке, нужна полная схема управления открытыми ключами, которая называется инфраструктурой открытых ключей (Public Key Infrastructure (PKI)). Для веб-браузеров эта проблема решается особым образом: все браузеры поставляются с предустановленными открытыми ключами от примерно 40 центров сертификации.

Ранее было рассмотрено применение шифрования с открытым ключом для цифровых подписей, но следует отметить, что существуют также схемы, в которых шифрование с открытым ключом не применяется.

Конфиденциальность электронной переписки

При пересылке между двумя удаленными пользователями сообщение обычно преодолевает по пути десяток других машин. Любая из них может читать и записывать проходящую через нее почту. Конфиденциальности не существует, что бы ни думали об этом многие пользователи.

Тем не менее, многие пользователи желали бы иметь возможность посылать электронную почту так, чтобы ее мог прочитать только тот, для кого она предназначена, и никто другой: ни шеф, ни хакеры, ни даже правительство. Эта потребность стимулировала применение некоторыми группами и отдельными разработчиками криптографических принципов к электронной почте. В следующих разделах мы познакомимся с широко распространенной системой защиты электронной почты PGP, а также дадим общее представление о двух других: PEM и S/MIME. Дополнительную информацию см. в (Kaufman и др., 2002; Schneier, 1995).

Контрольные вопросы

1. Назовите основное свойство расширяющих последовательностей, используемых в технологии CDMA.
2. Можно ли в качестве расширяющих последовательностей узлов сети, поддерживающих множественный доступ с кодовым разделением на основе технологии DSSS, использовать значения $1\ 0\ 0 \dots 0, 0\ 1\ 0\ 0 \dots 0, 0\ 0\ 1\ 0 \dots 0, 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \dots 0$ и т. д.?
3. Предложите 11-битную расширяющую последовательность, отличную от последовательности Баркера, которая, как и последовательность Баркера, позволяет надежно определять начало передачи очередного бита исходной информации.
4. Назовите основное свойство расширяющих последовательностей, используемых в технологии CDMA.
5. Можно ли в качестве расширяющих последовательностей узлов сети, поддерживающих множественный доступ с кодовым разделением на основе технологии DSSS, использовать значения $1\ 0\ 0 \dots 0, 0\ 1\ 0\ 0 \dots 0, 0\ 0\ 1\ 0 \dots 0, 0\ 0\ 0\ 1\ 0 \dots 0$ и т. д.?
6. Предложите 11-битную расширяющую последовательность, отличную от последовательности Баркера, которая, как и последовательность Баркера, позволяет надежно определять начало передачи очередного бита исходной информации.
- 7.

ПРАКТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

Лабораторная работа №1

Тема: Сборка и разборка персонального компьютера.

Цель работы: На этом занятии студентам предлагается освоить процедуры разборки компьютера с помощью предназначенных для этого инструментов, а также производят установку боковых панелей корпуса и внешних кабелей компьютера.

Перечень учебно-лабораторного оборудования:

Необходимое оборудование

- Компьютер с установленными блоком питания, системной платой, накопителями и платами расширения, а также подключенными внутренними кабелями
- Кабель монитора (DVI или VGA)
- Клавиатура
- Мышь
- Кабель USB для концентратора USB
- Кабель USB для принтера USB
- Сетевой кабель
- Антенна беспроводного подключения
- Силовой кабель питания
- Набор инструментов
- Руководство к системной плате

Краткие теоретические сведения

Одна из основных рабочих задач технического специалиста заключается в разборке и сборке компьютеров. Для работы с компьютерными компонентами технический специалист должен обладать логическим мышлением и действовать методично. Навыки сборки компьютеров, как и в любой другой профессии, существенно улучшаются с опытом.

После изучения материала данной работе вы освоите следующие темы:

- Открытие корпуса.
- Установка блока питания.
- Подключение компонентов к материнской плате и установка материнской платы.
- Установка внутренних дисков.
- Установка дисководов во внешние отсеки.
- Установка адаптерных плат.
- Подключение всех внутренних кабелей.
- Установка боковых панелей и подключение к компьютеру внешних кабелей.
- Первоначальная загрузка компьютера.

Порядок выполнения работы

1) разборка компьютера

Шаг 1

Выключите компьютер и отсоедините силовой кабель питания.

Шаг 2

В задней части компьютера найдите винты фиксации боковых панелей корпуса.

С помощью отвертки соответствующего типа и размера выкрутите винты фиксации боковых панелей. Не выкручивайте винты крепления блока питания к корпусу! Поместите все винты в одно место, в отдельную чашечку или отсек органайзера.

Приклейте ярлык из куска изоляционной ленты на чашку или отсек органайзера и надпишите: «Винты боковой панели». Снимите боковую панель.

Какой тип отвертки был использован для снятия панели?

Сколько винтов удерживает боковую панель?

Шаг 3

Наденьте антистатический браслет. Один конец заземляющего проводника должен быть подключен к клемме на браслете. Другой конец проводника подключите к неокрашенной металлической части корпуса.

Если в наличии имеется антистатический коврик, расположите его прямо перед собой на рабочем столе. Корпус компьютера поставьте на него сверху. Подключите проводник антистатического коврика к неокрашенной металлической детали корпуса компьютера.

Шаг 4

Найдите жесткий диск. Осторожно отключите кабель питания и интерфейсный кабель от разъемов в задней части диска.

Какой тип интерфейсного кабеля жесткого диска используется в этом компьютере?

Шаг 5

Найдите все винты крепления жесткого диска. С помощью отвертки соответствующего типа и размера выкрутите винты крепления жесткого диска. Сложите все винты в одно место и надпишите его.

Какие типы винтов используются для крепления жесткого диска в корпусе?

Сколько винтов используется для крепления жесткого диска в корпусе?

Используется ли для установки жесткого диска дополнительный монтажный кронштейн? Если это так, какой тип винтов используется для крепления жесткого диска к кронштейну?

Шаг 6

Осторожно извлеките жесткий диск из корпуса. Просмотрите справочную таблицу установки переключателей на крышке жесткого диска. Если переключатель установлена, с помощью справочной таблицы определите, в какой позиции использовался жесткий диск — «Master», «Slave» или «CableSelect» («CS»). Поместите жесткий диск в антистатический пакет.

Шаг 7

Найдите накопитель на гибких дисках. Осторожно отключите кабель питания и интерфейсный кабель.

Шаг 8

Найдите все винты крепления накопителя на гибких дисках и выкрутите их. Сложите все винты в одно место и надпишите его.

Поместите накопитель на гибких дисках в антистатический пакет.

Сколько винтов используется для крепления накопителя на гибких дисках в корпусе?

Шаг 9

Найдите накопитель на оптических дисках (привод CD-ROM, DVD и так далее). Осторожно отключите кабель питания и интерфейсный кабель от накопителя на оптических дисках. Отключите звуковой кабель от накопителя на оптических дисках.

Какой тип интерфейсного кабеля накопителя на оптических дисках используется в этом компьютере?

Есть ли переключатели на накопителе на оптических дисках? В какой позиции стоят эти переключатели?

Шаг 10

Найдите все винты крепления накопителя на оптических дисках и выкрутите их. Сложите все винты в одно место и пометьте его. Поместите накопитель на оптических дисках в антистатический пакет.

Сколько винтов используется для крепления накопителя на оптических дисках в корпусе?

Шаг 11

Найдите блок питания. Найдите разъем(ы) питания на системной плате.

Осторожно отсоедините кабель(и) питания от системной платы.

Сколько контактов имеет каждый из разъемов питания на системной плате?

Проследите, питается ли вентилятор охлаждения процессора или вентилятор на корпусе от блока питания? Если да, отсоедините соответствующие разъемы.

Обеспечивается ли дополнительным питанием плата видеоадаптера? Если да, отсоедините соответствующие разъемы.

Шаг 12

Найдите все винты крепления блока питания и выкрутите их. Сложите все винты в одно место и пометьте его.

Сколько винтов используется для крепления блока питания в корпусе?

Осторожно извлеките блок питания из корпуса. Отложите блок питания в сторону вместе с остальными комплектующими.

Шаг 13

Найдите платы расширения, такие, как плата видеоадаптера, сетевая плата или плата модема. Найдите и выкрутите винты, удерживающие платы расширения в корпусе. Сложите все крепежные винты в одно место и пометьте его.

Осторожно извлеките плату расширения из разъема. При этом удерживайте плату за монтажный кронштейн или за ее края. Поместите плату в антистатический пакет. Повторите процесс извлечения с оставшимися платами.

Перечислите платы расширения и типы разъемов в списке ниже.

Плата расширения Тип разъема

Шаг 14

Найдите модули памяти на системной плате.

Какие модули памяти установлены на этой системной плате?

Сколько модулей памяти установлено на этой системной плате?

Извлеките модули памяти из системной платы. Для извлечения модуля высвободите его из фиксаторов, удерживающих модуль в гнезде. Удерживая модуль за края, извлеките его из гнезда. Поместите модуль в антистатический пакет.

Шаг 15

Извлеките все интерфейсные кабели из разъемов на системной плате. При этом необходимо запомнить расположение соответствующих разъемов, к которым были подключены кабели.

Какие типы кабелей были извлечены?

2) сборка компьютера

Шаг 1

Установите боковые панели.

Зафиксируйте панели соответствующими винтами.

Шаг 2

Подключите кабель монитора к выходу видеоадаптера.

Зафиксируйте кабель, затянув винты на разъеме.

Шаг 3

Подключите кабель клавиатуры к клавиатурному порту PS/2.

Шаг 4

Подключите кабель мыши к порту PS/2 для мыши.

Шаг 5

Подключите кабель концентратора USB к любому из портов USB.

Шаг 6

Подключите интерфейсный кабель принтера USB к любому из портов концентратора USB.

Шаг 7

Подключите кабель Ethernet к порту Ethernet.

Шаг 8

Подключите антенну беспроводной сети к соответствующему разъему на плате.

Шаг 9

Подключите силовой кабель питания к разъему на блоке питания.

Индивидуальные задания к лабораторной работе:

Задания 1. Установка блока питания.

В ходе этой лабораторной работы студент производит установку блока питания в корпус компьютера.

Необходимое оборудование

- Блок питания, конструктивно совместимый с предоставленным корпусом;
- Корпус компьютера;
- Набор инструментов;
- Крепежные винты.

Задания 2. Установка сетевой платы.

В ходе этой лабораторной работы студенты устанавливают сетевую плату, проверяют ее работоспособность и вручную настраивают IP-адрес.

Необходимое оборудование

- Компьютер с установленной операционной системой Window XP Professional;
- Сетевая плата PCI;
- Драйвер сетевой платы PCI на компакт - диске или гибком магнитном диске;
- Набор инструментов.

Контрольные вопросы

1. Виды системной платы?
2. Что такой кейс?
3. Для чего используется блок питания?

Лабораторная работа №2

Тема: Установка операционной системы.

Цель работы: В ходе этой лабораторной работы студенты устанавливают операционную систему Windows XP Professional.

Перечень учебно-лабораторного оборудования:

- компьютер с пустым жестким диском;
- установочный компакт - диск Windows XP Professional.

Краткие теоретические сведения

В качестве технического специалиста вам, вероятно, придется выполнять новую установку операционной системы. Ее следует выполнять в следующих ситуациях:

- при передаче компьютера от одного сотрудника к другому;
- при повреждении операционной системы;
- при установке на компьютере нового жесткого диска.

По завершении данного раздела вы освоите следующие темы:

- Знакомство с процедурами установки жесткого диска;
- Подготовка жесткого диска;
- Установка операционной системы с настройками по умолчанию;
- Создание учетных записей пользователей;
- Выполнение установки;
- Описание вариантов выборочной установки;
- Знакомство с загрузочными файлами и файлами реестра;
- Описание работы с файлами операционной системы;
- Описание структуры каталогов.

Порядок выполнения работы

Шаг 1

Вставьте установочный компакт - диск Windows XP Professional в привод компакт - дисков.

При запуске системы возникнет сообщение «Press any key to boot from CD...» (« Нажмите любую клавишу , чтобы загрузиться с компакт - диска »).

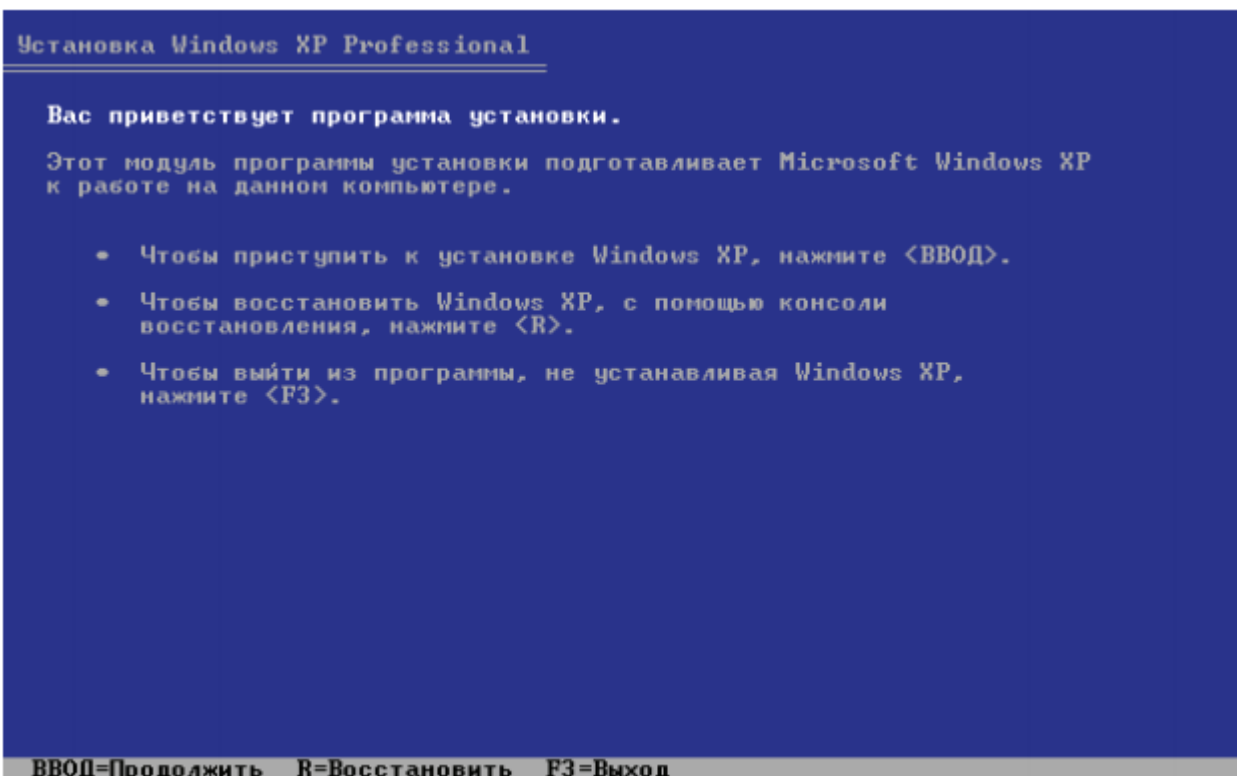
Если сообщение появилось , нажмите любую клавишу , чтобы загрузить систему с компакт - диска. Система начинает проверять конфигурацию аппаратного обеспечения. Если сообщение не появилось, жесткий диск пуст и система начинает сразу проверять конфигурацию аппаратного обеспечения.



Шаг 2

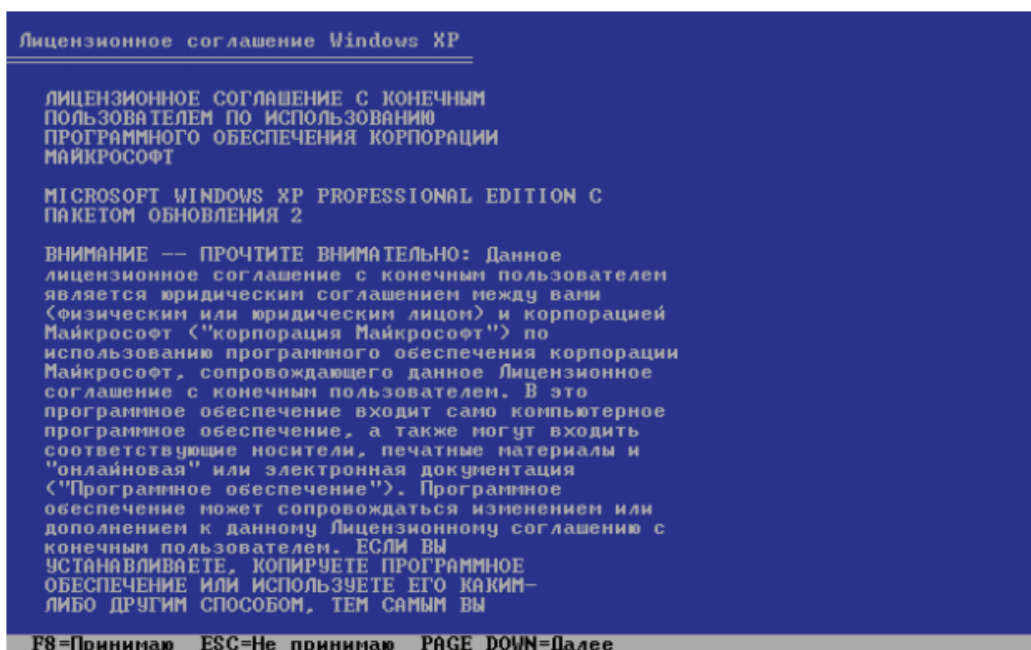
Появляется экран установки Windows XP Professional. На этой стадии установкиманипулятор мышь не работает, и пользователь должен использовать клавиатуру.

На странице приветствия нажмите Enter для продолжения.



Шаг 3

Появляется страница «Windows XP Licensing Agreement» (« Лицензионное соглашение Windows XP»). Используйте клавишу PageDown, чтобы прокрутить текст соглашения до конца. Нажмите F8, чтобы согласиться с условиями.

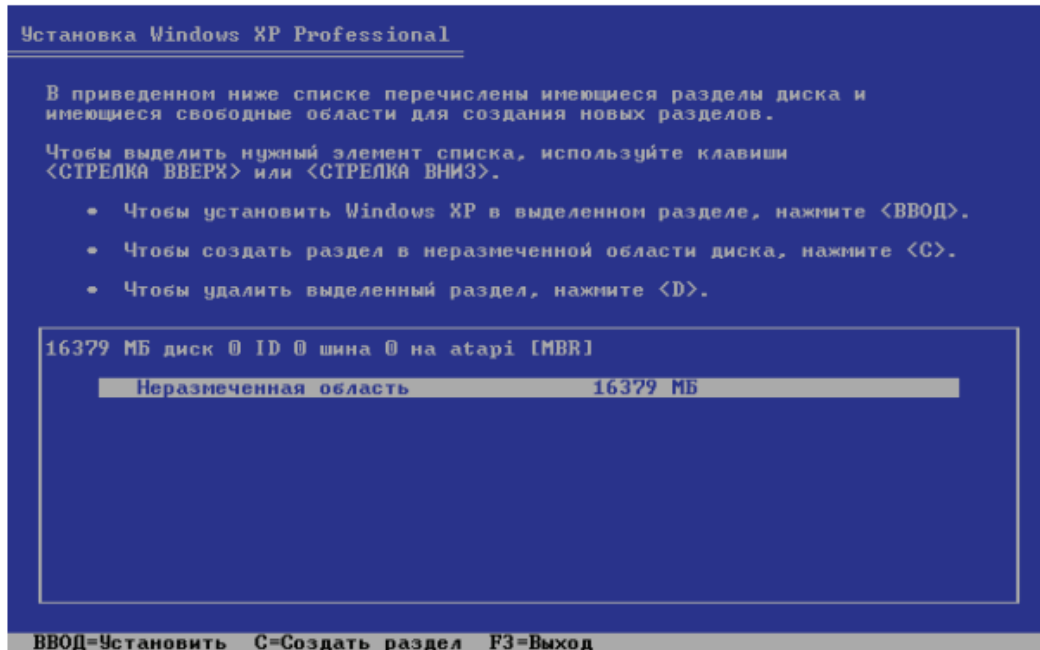


Шаг 4

Выберите раздел жесткого диска, на который необходимо установить систему Windows XP.

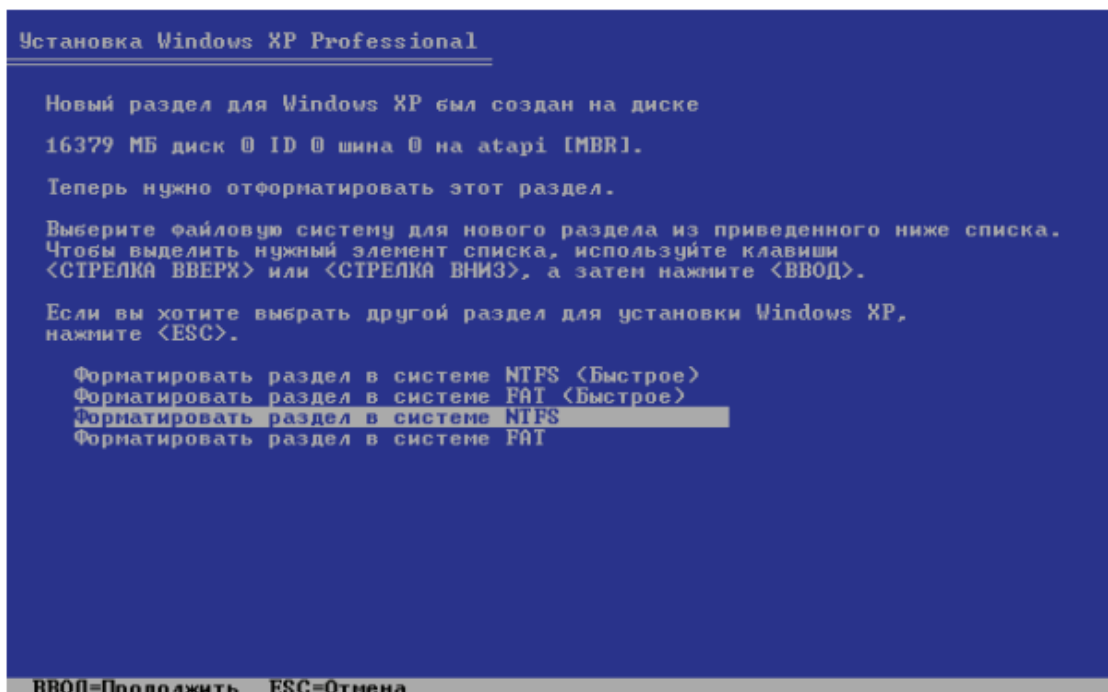
Нажмите Enter, чтобы выбрать «Unpartitioned space» (« Неразмеченное

пространство»).

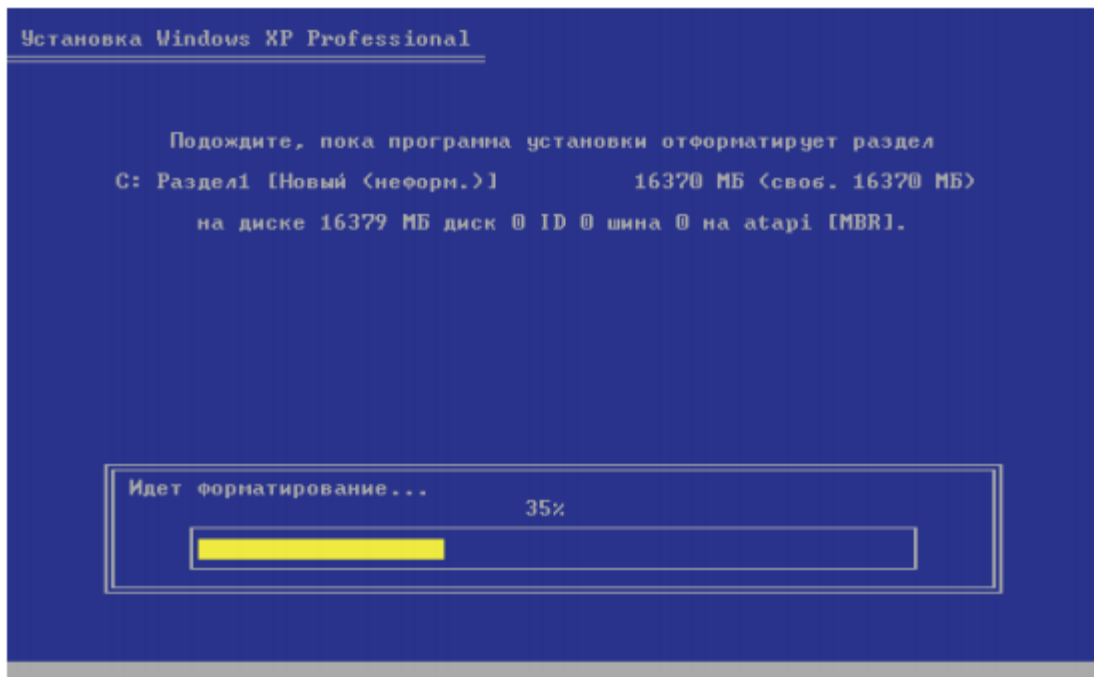


Шаг 5

Нажатием клавиши Enter выберите «Format the partition using the NTFS file system» («Отформатировать раздел, используя файловую систему NTFS»).



Программа установки системы Windows XP Professional стирает все данные с жесткого диска, форматирует жесткий диск и копирует файлы установки с компакт -диска на жесткий диск. Процесс копирования занимает от 20 до 30 минут.

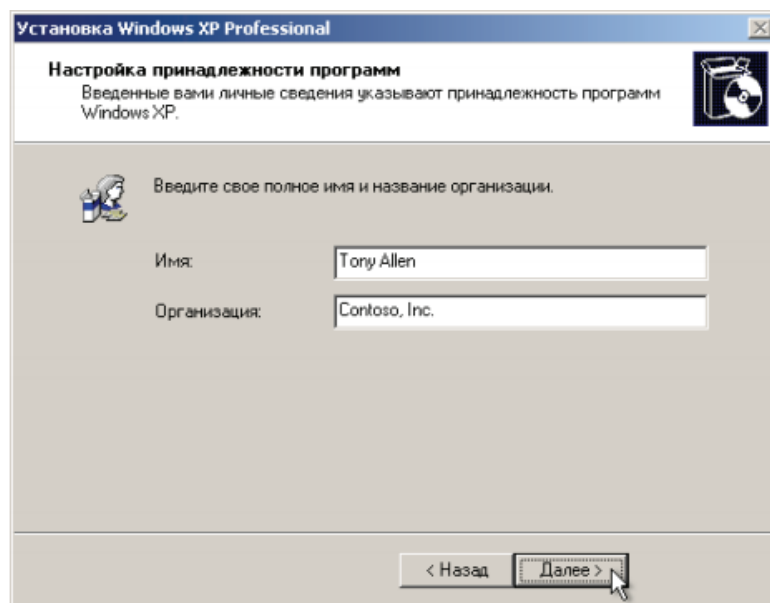


Шаг 6

После форматирования Windows XP перезапускает компьютер и продолжает процесс установки. С этого момента возможно использование мыши для работы с данными на экране. Появляется окно «RegionalandLanguageOptions» («Настройки языка и страны»).

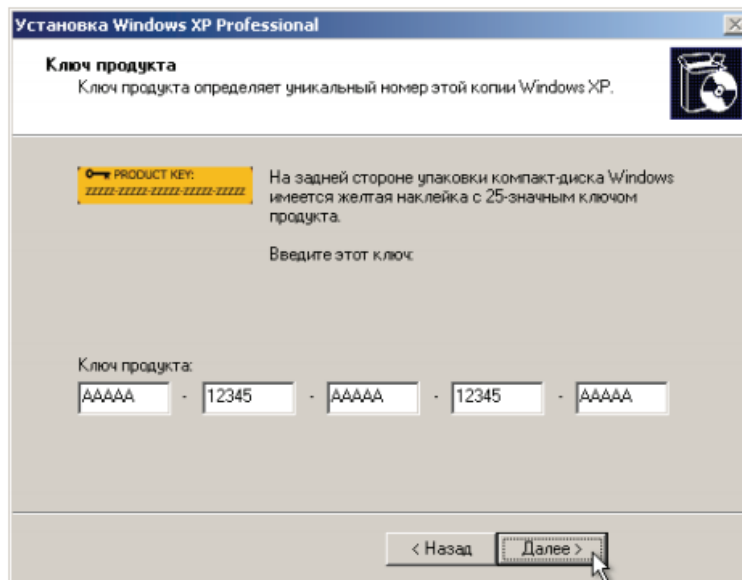
Нажмите Next (Далее), чтобы принять предлагаемые по умолчанию настройки. Параметры языка могут быть настроены позднее, после установки.

Появляется страница личных сведений. Введите имя и название организации, которые вам предоставит преподаватель. Нажмите Next (Далее).



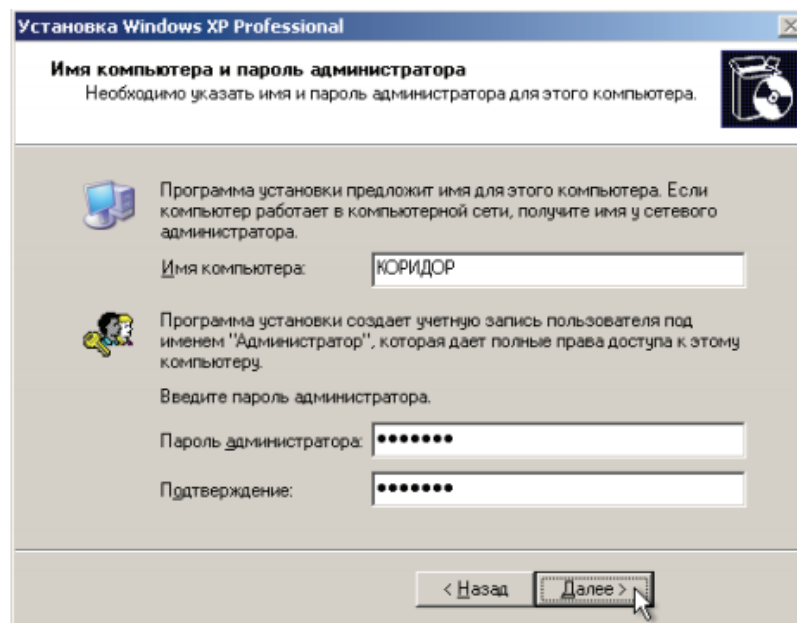
Шаг 7

Появляется окно «YourProductKey» («Ключ продукта»). На этой странице введите ключ продукта, который нанесен на поверхность упаковки компакт - диска. Нажмите Next (Далее).



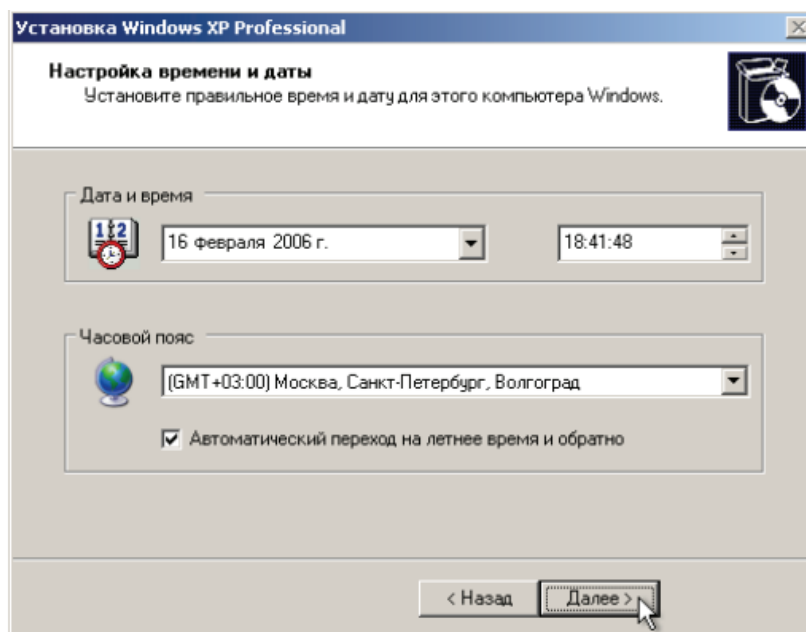
В окне «ComputerNameandAdministratorPassword» («Имя компьютера и пароль администратора») введите имя компьютера, которое предоставлено инструктором.

Введите пароль администратора, предоставленный инструктором; затем введите его повторно, чтобы подтвердить правильность набора. Нажмите Next(Далее).



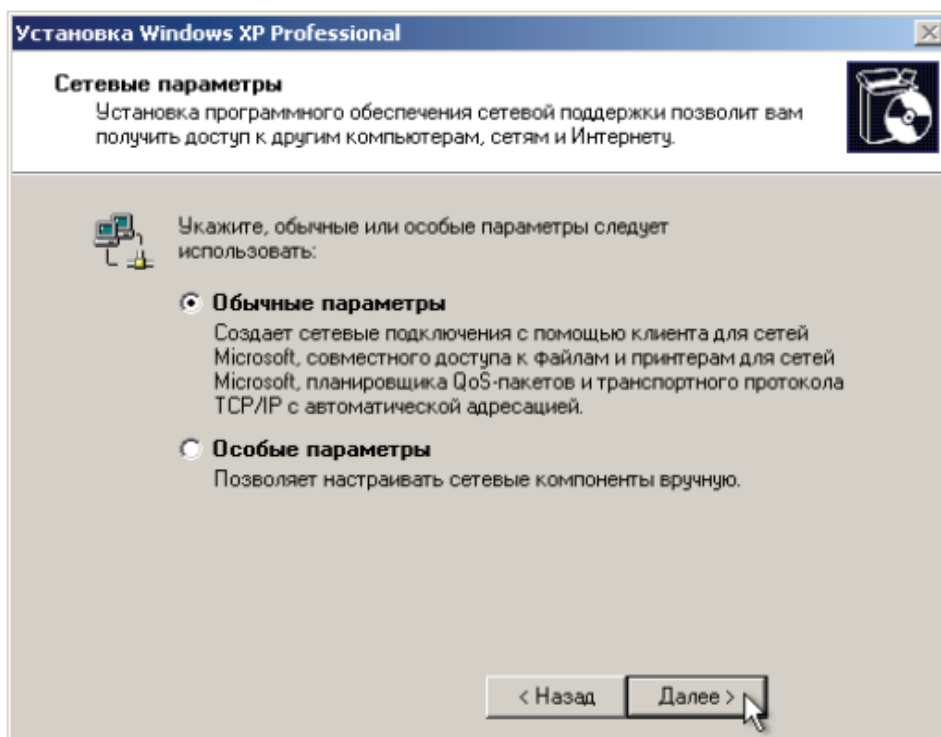
Шаг 8

В окне «DateandTimeSettings» («Настройка времени и даты») настройте время на часах компьютера, а также укажите дату и часовой пояс. Нажмите Next(Далее).



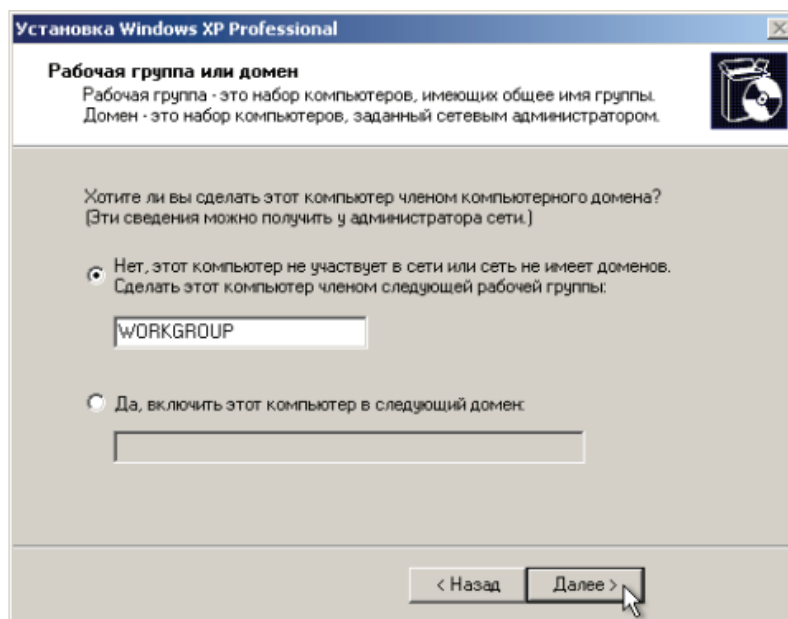
Шаг 9

В окне «NetworkingSettings» («Настройки сети») нажмите Next (Далее), согласившись с предлагаемыми стандартными настройками. Параметры сети могут быть изменены позднее.



Шаг 10

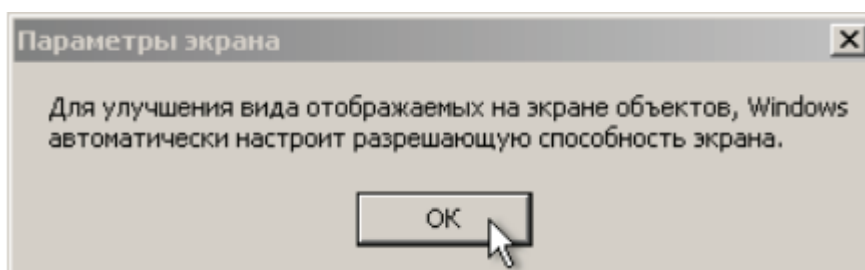
В окне «WorkgrouporComputerDomain» («Рабочая группа или домен») согласитесь с предлагаемыми настройками по умолчанию и нажмите Next (Далее).



Шаг 11

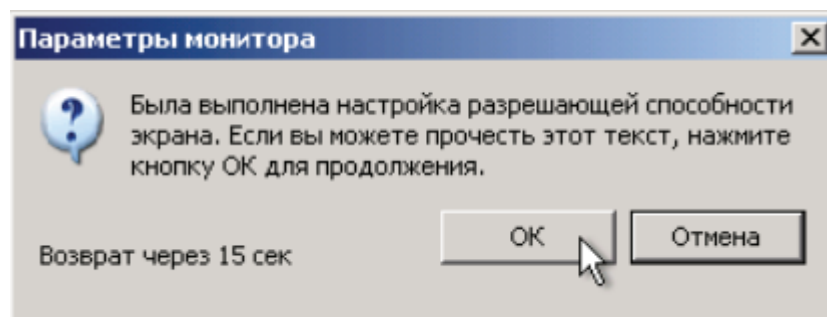
Программе установки Windows XP Professional требуется около 25 минут, чтобы произвести все необходимые изменения в конфигурации системы.

После завершения работы программы установки компьютер автоматически перезагружается. При возникновении диалогового окна «DisplaySettings» («Параметры экрана») нажмите ОК.



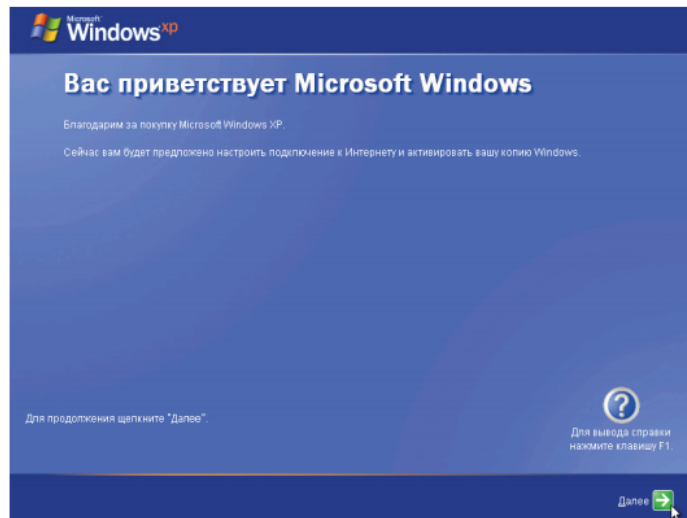
Шаг 12

При возникновении диалогового окна «MonitorSettings» («Параметры монитора») нажмите **ОК**.



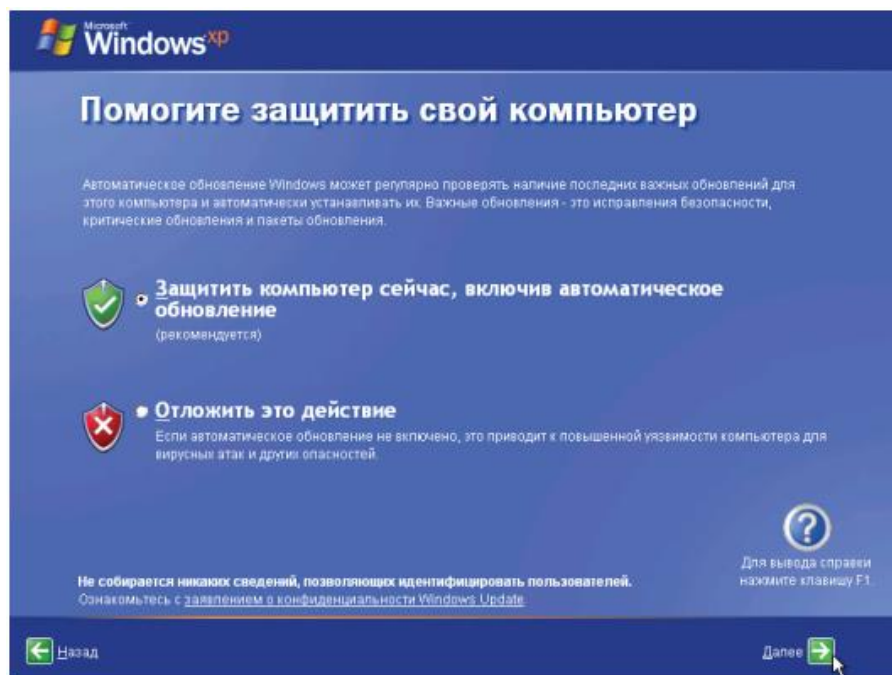
Шаг 13

Начинается заключительная фаза установки системы Windows XP Professional. На странице «WelcometoMicrosoftWindows» (Добро пожаловать в «MicrosoftWindows») нажмите Next (Далее).



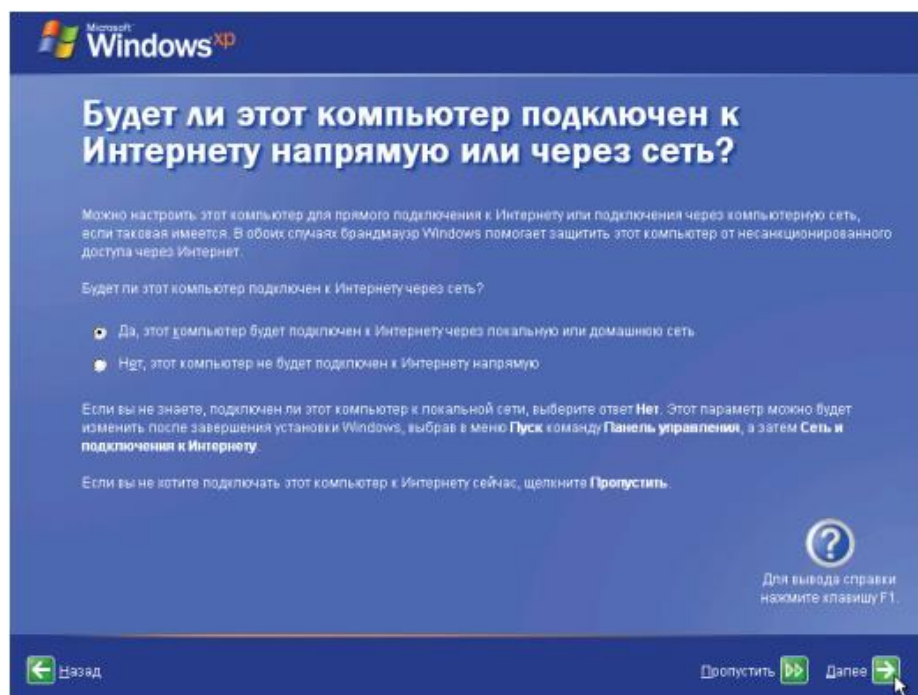
Шаг 14

В окне «Helpprotectyour PC» («Защита компьютера») выберите «Helpprotectmy PC byturningonAutomaticUpdatesnow» («Включить автоматические обновления»). Нажмите Next (Далее).



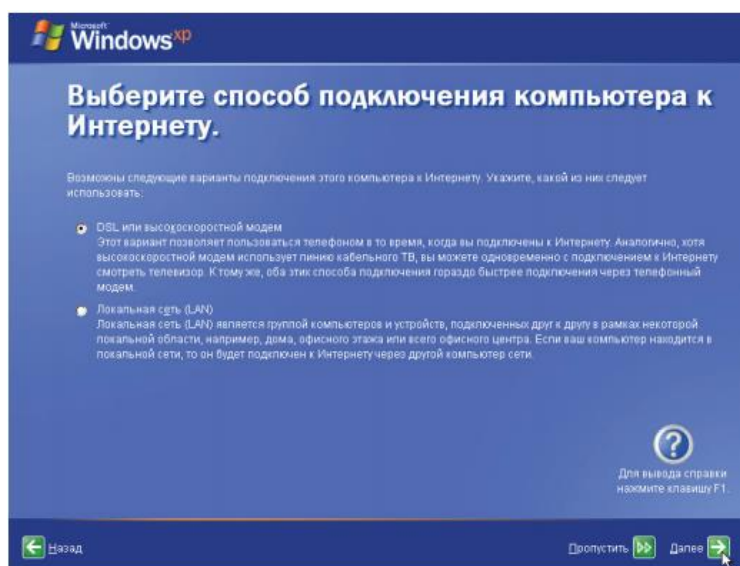
Шаг 15

Windows XP проверяет подключение к Интернету. Если компьютер уже подключен к Интернету, выберите вариант подключения. Если нет точных сведений о том, как именно подключен компьютер к Интернету, выберите значение по умолчанию и нажмите Next (Далее).



Шаг 16

Если вы используете доступ к Интернету через модем, и если программа установки Windows XP Professional не может подключиться к Интернету, подключитесь к нему после завершения процесса установки. Нажмите Skip (Пропустить), чтобы продолжить.



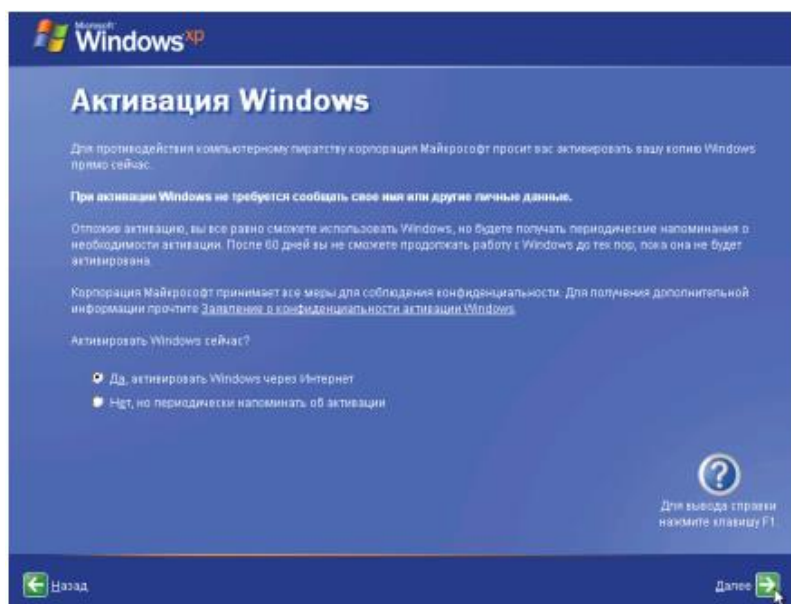
Шаг 17

Программа установки Windows XP Professional выводит окно «Ready to activate Windows?» («Готовы к запуску Windows?»).

Если компьютер уже подключен к Интернету, нажмите Yes (Да), затем Next (Далее).

Если компьютер еще не подключен к Интернету, нажмите No (Нет), затем Next (Далее).

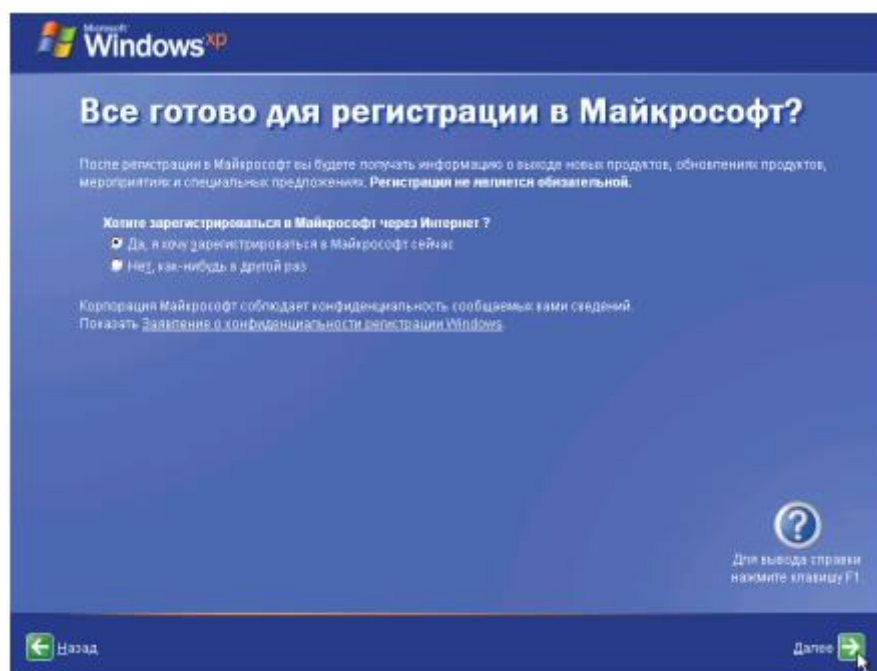
После завершения программы установки программа установки Windows XP напоминает пользователю о необходимости активизации и регистрации копии Windows XP.



Шаг 18

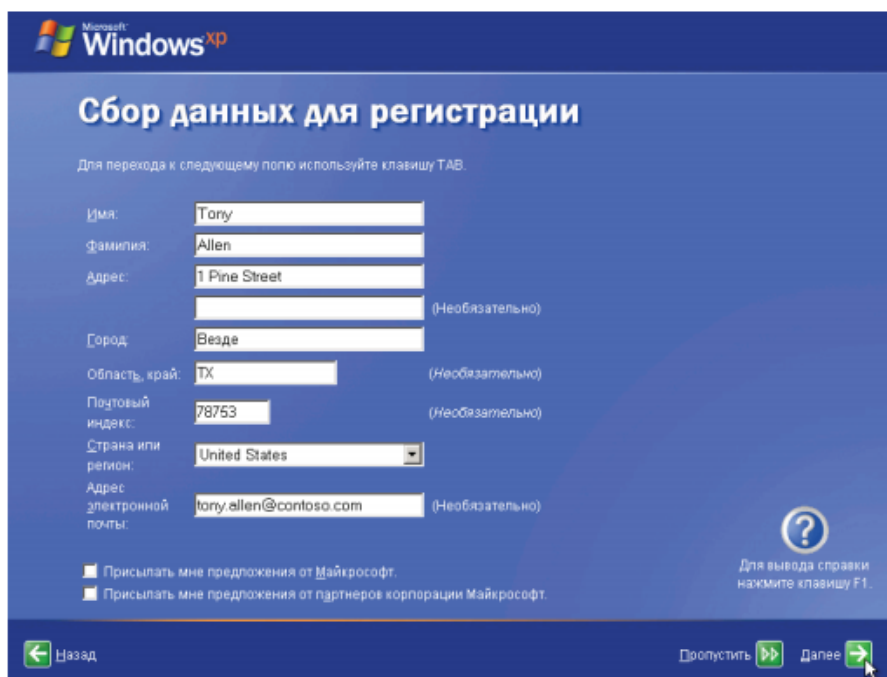
Если компьютер подключен к Интернету, выберите «Yes, I'd like to register with Microsoft now» («Да, я хочу зарегистрировать сейчас»).

Если подключения к Интернету нет, выберите «No, not at this time» («Нет, не сейчас»).
Нажмите Next (Далее).



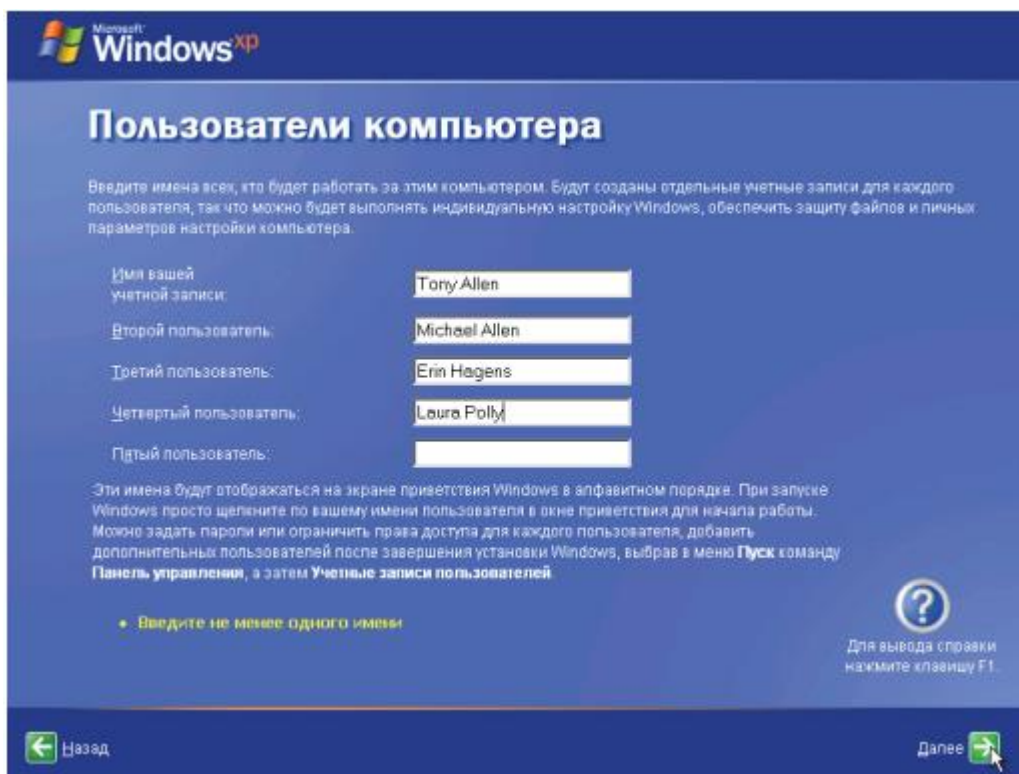
Шаг 19

В окне «CollectingRegistrationInformationScreen» («Сбор регистрационных данных») внесите предоставленные преподавателем данные и нажмите Next (Далее).



Шаг 20

В окне «Who will use this computer?» (« Кто использует этот компьютер?») введите данные, предоставленные преподавателем. Нажмите Next (Далее).



Шаг 21

В окне благодарности нажмите Finish (Завершить).

Индивидуальные задания к лабораторной работе:

Задания 1. Резервное копирование и восстановление реестра Windows.

В ходе этой лабораторной работы студент создает архивный файл реестра системы. Кроме того, он выполняет восстановление реестра из этого архива. Данные реестра иначе называются данными состояния системы.

Необходимое оборудование:

- компьютер с установленной системой Windows XP.

Задания 2. Точки восстановления.

В ходе этой лабораторной работы студенты создают точку восстановления и возвращают состояние системы к этой точке.

Необходимое оборудование

Необходимо следующее оборудование и материалы:

- компьютер с установленной системой Windows XP;
- установочный компакт - диск Windows XP.

Контрольные вопросы

1. Сертификации и вакансии по сетевым операционным системам (NOS) ?
2. Обновление аппаратного обеспечения компьютера?
3. Файловой система NTFS и FAT32?

Лабораторная работа №3

Тема: Организация локальной сети

Тема: Организация беспроводной локальной сети.

Цель работы: В ходе этой работы студенты установят и настроят плату беспроводного сетевого соединения.

Перечень учебно-лабораторного оборудования:

- Компьютер с установленной операционной системой Window XP;
- Свободный разъем PCI на материнской плате;
- Беспроводная точка доступа или беспроводной маршрутизатор;
- Плата адаптера беспроводного сетевого соединения.

Краткие теоретические сведения

Для подключения к беспроводной сети компьютер должен быть оснащен беспроводным сетевым интерфейсом. Беспроводной сетевой интерфейс используется для связи с другими беспроводными устройствами, такими как компьютер, принтер или точки беспроводного доступа.

Перед приобретением беспроводного адаптера необходимо убедиться в том, что он совместим с другим беспроводным оборудованием, которое уже установлено в сети. Кроме того, убедитесь в том, что форм-фактор беспроводного адаптера позволяет установить его в настольном или портативном компьютере. Беспроводной адаптер USB можно использовать с любым настольным или портативным компьютером, имеющим свободный USB-порт.

Для установки беспроводного сетевого адаптера в настольном компьютере необходимо открыть крышку его корпуса. Установите беспроводной сетевой адаптер в свободный слот PCI или PCI Express. На задней стороне некоторых сетевых адаптеров установлена антенна.

Некоторые антенны прикрепляются кабелем так, что их можно переносить или отводить от объектов, которые могут мешать установлению качественной связи.

После установки беспроводного адаптера необходимо выполнить дополнительные шаги настройки. К ним относится настройка драйверов устройств и ввод сетевых адресов. После этого компьютер должен обнаружить беспроводную локальную сеть и подключиться к ней.

Для подключения к беспроводной сети беспроводных сетевых адаптеров можно использовать мастер. В данном случае требуется вставить компакт-диск, поставляемый с адаптером, и следовать инструкциям по подключению.

Порядок выполнения работы

Шаг 1

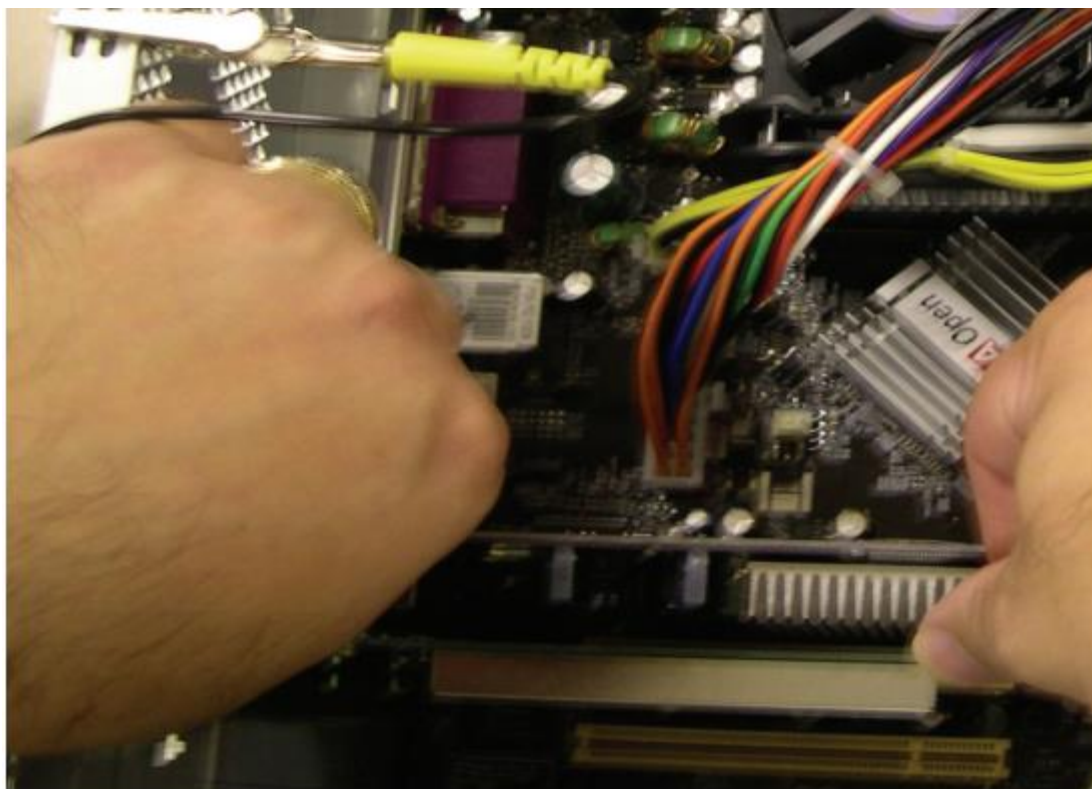
Выключите компьютер. Если блок питания оснащен выключателем, переключите его в положение «0» или «OFF» («Выкл»). Выньте вилку кабеля питания компьютера из розетки. Снимите боковую панель корпуса.

Выберите на системной плате подходящий разъем для установки новой платы беспроводного сетевого соединения.

Возможно, потребуется снять с корпуса металлическую заглушку посадочного места.



Совместите плату беспроводного сетевого соединения с разъемом. Мягко надавите на плату.



Закрепите монтажную скобу платы беспроводного соединения на корпусе с помощью винта.

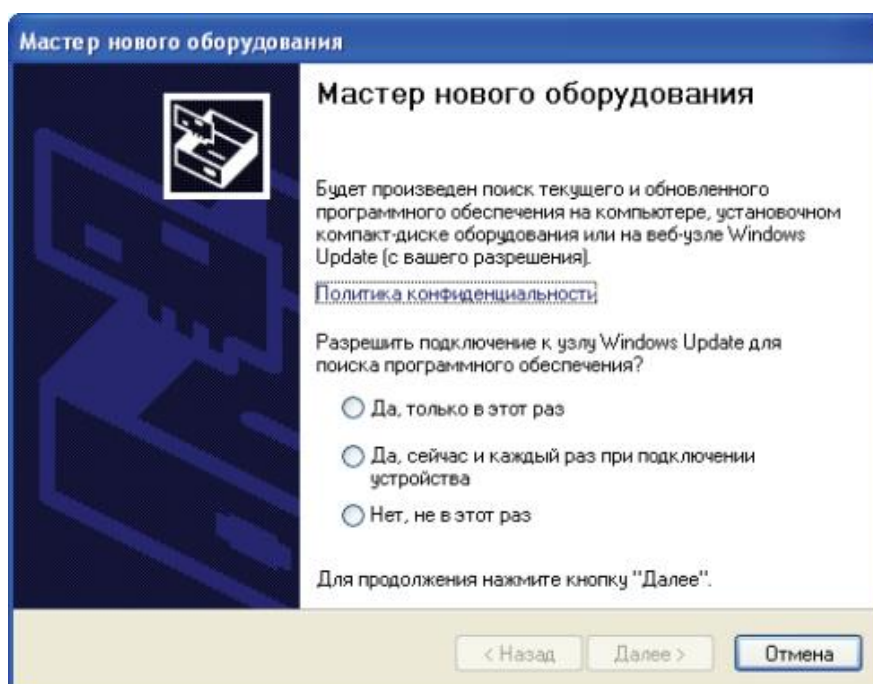


Подключите антенну беспроводной сети к соответствующему разъему сзади компьютера.
Отсоедините антистатический браслет. Поставьте на место боковые панели корпуса.
Подключите кабель питания компьютера к сети переменного тока.
Если блок питания оснащен выключателем, переключите его в положение «1» или «ON» («Вкл »).

Шаг 2

Загрузите свой компьютер и войдите в систему как администратор.

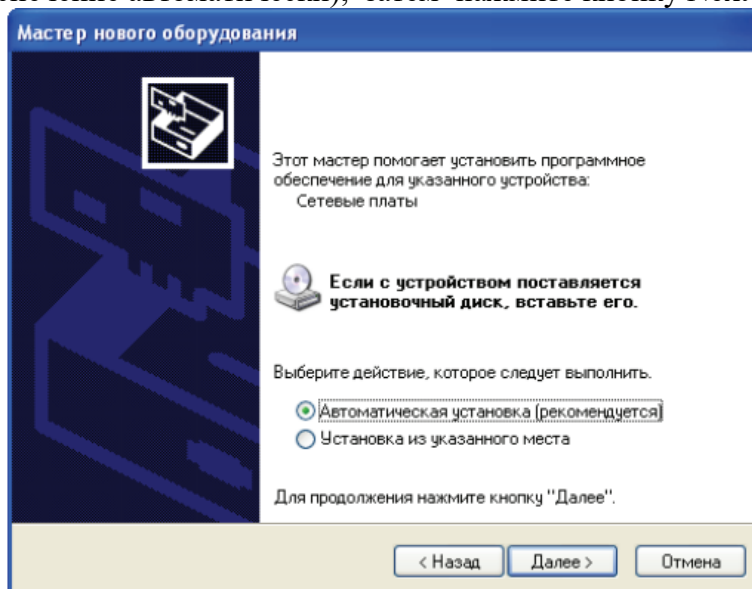
Плата беспроводного сетевого соединения будет определена системой Windows. Появится окно мастера обнаружения новых устройств.



Выберите пункт Yes, thistimeonly (Да, только в этот раз) и нажмите Next (Далее).

Вставьте компакт - диск, предоставленный производителем.

Выберите Install the software automatically (Recommended) (Установить программное обеспечение автоматически), затем нажмите кнопку Next (Далее).

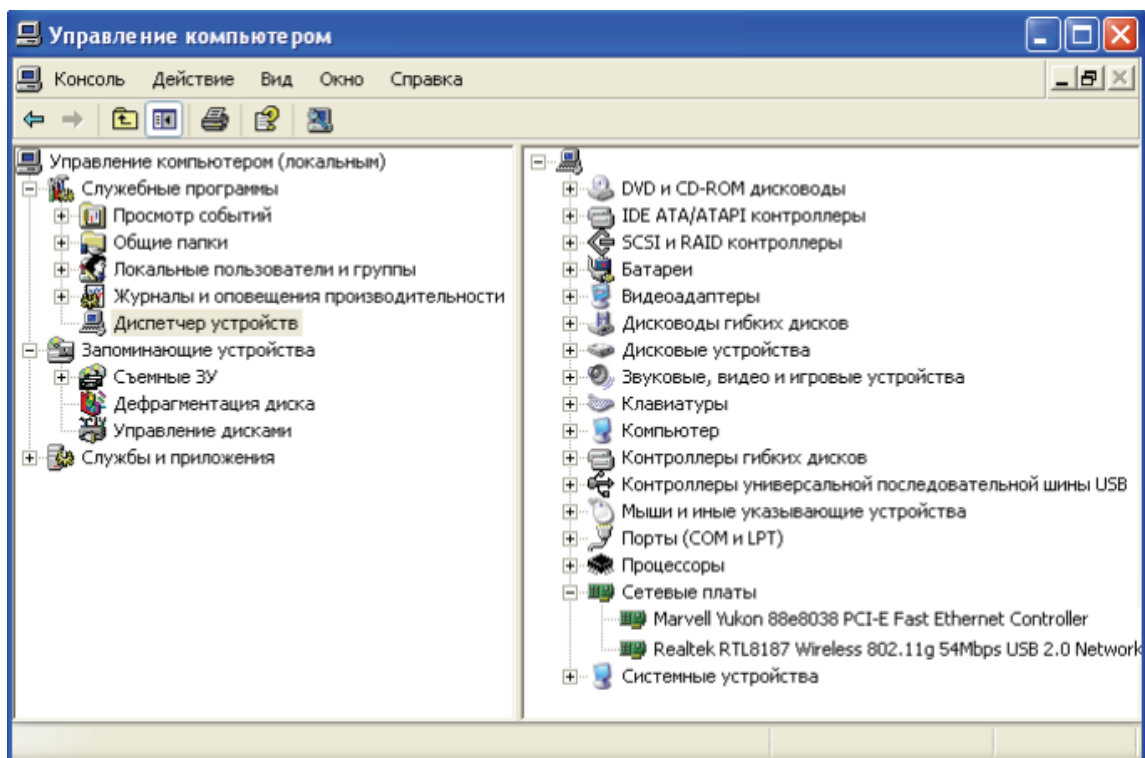


Шаг 3

Щелкните правой кнопкой значок MyComputer(Мой компьютер), выберите пункт Manage (Управление).

В списке выберите пункт DeviceManager (Диспетчер устройств), и разверните ветку «NetworkAdapters» (« Сетевые платы »).

Какие сетевые платы установлены на компьютер?



Закройте окно «ComputerManagement» («Управление компьютером»).

Шаг 4

Выберите Start(Пуск).

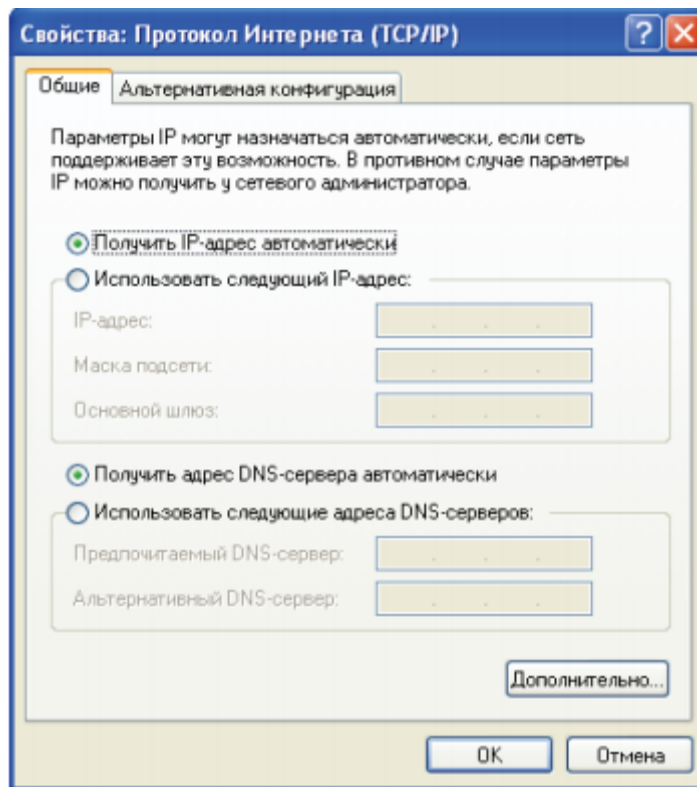
Щелкните правой кнопкой значок MyNetworkPlaces (Сетевое окружение), выберите Properties (Свойства).

Дважды щелкните значок платы беспроводного соединения, а затем нажмите кнопку Properties (Свойства).

Выберите InternetProtocol(TCP/IP) (Протокол Интернета), затем нажмите кнопку Properties (Свойства).

Выберите Obtain an IP address automatically (Получить IP- адрес автоматически).

Выберите Obtain DNS server address automatically (Получить адрес DNS-сервера автоматически).



Шаг 5

Выберите Start>Run(Пуск > Выполнить).

Введите строку cmd, затем нажмите клавишу Enter.

Введите команду ipconfig /all и нажмите клавишу Enter.

Какой IP- адрес у данного компьютера?

Какая маска подсети у данного компьютера?

Какой шлюз используется данным компьютером по умолчанию?

Какие DNS- серверы используются данным компьютером?

Какой MAC- адрес у данного компьютера?

Задействован ли протокол DHCP?

Какой IP- адрес у сервера DHCP?

Индивидуальные задания к лабораторной работе:

Задания 1. Настройка беспроводного маршрутизатора.

В ходе данной работы студенты настраивают и проверяют параметры беспроводного соединения для Linksys WRT300N.

Необходимое оборудование

- Компьютер с установленной операционной системой Window XP Professional;
- Установленная плата беспроводного сетевого подключения;
- Установленная плата сетевого подключения Ethernet;
- Беспроводной маршрутизатор Linksys WRT300N;
- Кабель подключения к Ethernet.

Задания 2. Устранение неполадок сети.

В ходе этой работы слушатели находят и устраняют неполадки, которые возникают при подключении компьютера к сети.

Сценарий:

Компьютер не соединяется с сетью Интернет, с папками общего доступа и с сетевыми.

Необходимое оборудование

- Компьютер с установленной операционной системой Window XP Professional;
- Беспроводной маршрутизатор Linksys 300N;
- Кабель подключения к Ethernet.

принтерами.

Контрольные вопросы

1. Виды сетевых устройств?
2. Типы подключения поставщика услуг Интернета?
3. Протоколы?

Лабораторная работа № 4

Тема: Организация беспроводной локальной сети.

Цель занятия: Изучить организацию и принципы беспроводной связи. Ознакомиться с тем, как осуществляются веб-запросы

Перечень учебно-лабораторного оборудования:

компьютер с ОС Windows XP, подключенный через кабель к многофункциональному устройству;

устройство Linksys WRT300N;

компьютер с ОС Windows XP и со свободным USB портом;

беспроводная сетевая интерфейсная плата и соответствующий драйвер;

права администратора для установки драйвера;

прямой кабель Ethernet;

ПО Packet Tracer для Windows.

№№ занятий - пререквизитов:

30

Краткие теоретические сведения

Материалы лекции

Порядок выполнения работы

Задание № 1. Настройка точки беспроводного доступа

Шаг 1. Проверка соединения между компьютером и многофункциональным устройством

а. Компьютер, используемый для настройки точки доступа, должен быть подключен к одному из портов коммутатора многофункционального устройства.

б. На компьютере щелкните кнопку «**Пуск**» и выберите «**Выполнить**». Введите команду **cmd** и нажмите кнопку «**ОК**» или клавишу **ВВОД**.

в. Используя командную строку, отправьте эхо-запрос на многофункциональное устройство, используя IP-адрес по умолчанию (192.168.1.1) или IP-адрес, настроенный для порта многофункционального устройства. Ничего не предпринимайте, пока эхо-запрос не будет успешным.

г. Запишите команду, использованную для отправки эхо-запроса на многофункциональное устройство.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если эхо-запрос выполнить не удалось, попробуйте следующие способы устранения неполадок.

- Убедитесь, что IP-адрес компьютера находится в сети 192.168.1.0. Для успешного выполнения эхо-запроса компьютер должен находиться в той же сети, что и многофункциональное устройство. Служба DHCP многофункционального устройства включена по умолчанию. Если компьютер настроен как клиент DHCP, он должен иметь правильный IP-адрес и маску подсети.

Если компьютер использует статический IP-адрес, он должен находиться в сети 192.168.1.0, а его маска подсети должна быть 255.255.255.0.

- Убедитесь, что используется гарантированно работоспособный прямой кабель.

Протестируйте его, чтобы убедиться в этом.

- Проверьте, что индикатор связи порта, к которому подключен компьютер, горит.

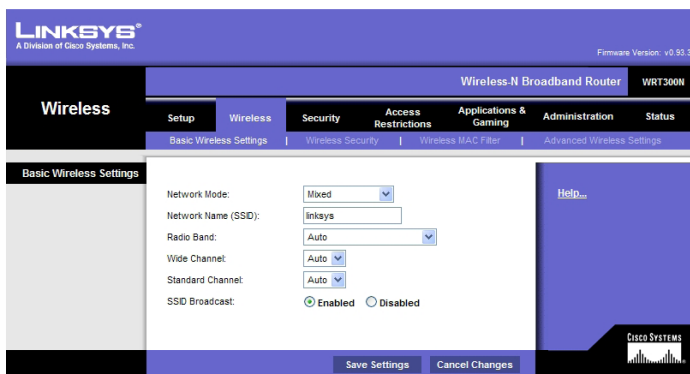
- Проверьте, подается ли на многофункциональное устройство электропитание.

Если эти шаги не помогли решить проблему, обратитесь к преподавателю.

Шаг 2. Вход в систему многофункционального устройства и настройка беспроводной сети

а. Откройте веб-обозреватель. В строке адреса наберите `http://ip_address`, где *ip_address* – IP-адрес беспроводного маршрутизатора (по умолчанию 192.168.1.1). В запросе оставьте поле ввода имени пользователя пустым, но введите пароль, назначенный маршрутизатору. Пароль по умолчанию: **admin**. Щелкните кнопку «**ОК**».

б. В главном меню щелкните параметр «**Wireless**» (беспроводная сеть).



в. В окне «**Basic Wireless Settings**» (основные настройки беспроводной сети) в списке «**Network Mode**» (сетевой режим) по умолчанию выбрано значение «**Mixed**» (смешанный), поскольку точка доступа поддерживает беспроводные устройства 802.11b, g, и n. Можно использовать любой из этих стандартов для подключения к точке доступа. Если беспроводная часть multifunctional устройства **НЕ** используется, в качестве сетевого режима можно установить «**Disabled**» (отключено). Оставьте выбранным значение по умолчанию «**Mixed**» (смешанный).

г. Удалите SSID по умолчанию (linksys) из поля ввода «**Network Name (SSID)**» (сетевое Имя (SSID)). Введите новый SSID, используя свою фамилию или имя, указанное преподавателем.

SSID задаются с учетом регистра.

д. Запишите точное имя SSID, которое будет использоваться.

е. Щелкните по раскрывающемуся меню «**Radio Band**» (радиодиапазон) и запишите два предлагаемых параметра.

ж. Для беспроводной сети, в которой можно использовать клиентские устройства 802.11b, g или n, значение по умолчанию – «**Auto**» (автоматически). Значение «Auto» (автоматически) позволяет выбрать параметр «**Wide Channel**» (широкий канал) и обеспечивает наилучшие параметры работы. Параметр «**Standard Channel**» (стандартный канал) используется, если устройства беспроводных клиентов имеют типы 802.11b или/и g. Параметр «**Wide Channel**» (широкий канал) используется, если используются только клиентские устройства 802.11n.

Оставьте выбор значения по умолчанию «**Auto**» (авто).

з. Для параметра «**SSID Broadcast**» (широковещательная рассылка SSID) по умолчанию выбрано значение «**Enabled**» (включить), это позволяет точке доступа регулярно посылать SSID, используя беспроводную антенну. Все беспроводные устройства поблизости могут обнаружить этот сигнал. Таким способом клиенты обнаруживают находящуюся поблизости беспроводную сеть.

и. Щелкните кнопку «**Save Settings**» (сохранить настройки). После успешного сохранения настроек щелкните «**Continue**» (продолжить).

к. Теперь точка доступа настроена для беспроводной сети с присвоенным ей именем (SSID). Необходимо записать эту информацию до начала следующей лабораторной работы или до подключения любых беспроводных сетевых интерфейсных плат к беспроводной сети.

Шаг 3. Вопросы для обсуждения

а. Сколько беспроводных устройств по вашему мнению можно настроить в одном помещении?

Что может ограничить это число?

б. Какую потенциальную угрозу безопасности при широковещательной рассылке вашего SSID с точки доступа вы можете назвать?

Задание № 2. Настройка беспроводного клиента

а. Вставьте компакт-диск, на котором находится драйвер беспроводной сетевой интерфейсной платы, в дисковод CD/DVD и установите драйвер в соответствии с рекомендациями производителя. Для большинства USB-устройств необходимо установить драйвер до физического подключения самого устройства. Обратите внимание, что можно

выполнить часть процесса установки сейчас, а закончить после установки беспроводной сетевой интерфейсной платы.

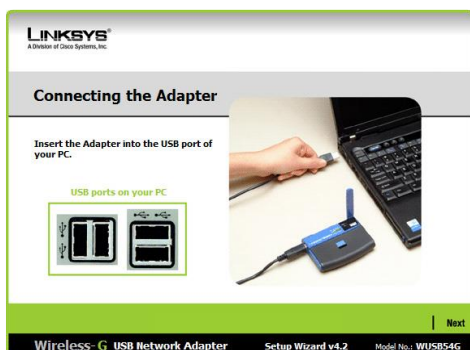


б. Кто производитель беспроводной сетевой интерфейсной платы?

в. Опишите процесс установки драйвера беспроводной сетевой интерфейсной платы.

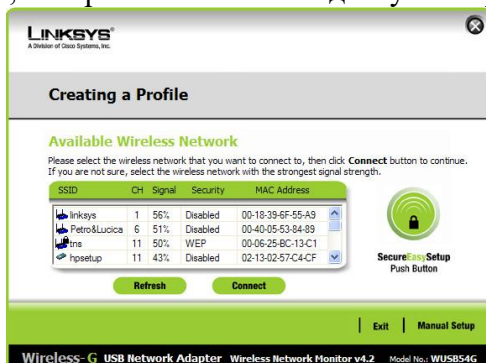
Шаг 2. Установка беспроводной сетевой интерфейсной платы

а. При запросе подсоедините USB-кабель беспроводной сетевой интерфейсной платы к свободному USB-порту. Для продолжения нажмите кнопку «Next» (далее).



Шаг 3. Выполнение подключения к беспроводной сети

а. Большинство адаптеров беспроводных сетевых интерфейсных плат имеют клиентское программное обеспечение для управления сетевой интерфейсной платой. Это программное обеспечение отображает все обнаруженные беспроводные сети. Выберите SSID беспроводной сети, настроенной на точке доступа в предыдущей лабораторной работе.



б. Какой SSID вы используете?

в. Если беспроводная сетевая интерфейсная плата не подключилась к беспроводной сети, выполните соответствующие действия по поиску и устранению неполадок.

г. Укажите силу сигнала для беспроводной сетевой интерфейсной платы. _____

д. Обнаружила ли беспроводная сетевая интерфейсная плата другие беспроводные сети? _____ Почему?

е. Покажите свое активное сетевое подключение другому учащемуся или лаборанту.

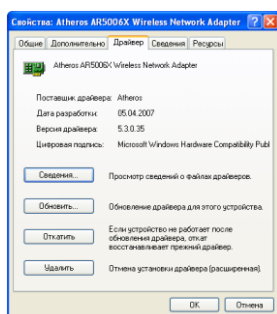
ж. Как по-другому называется беспроводной узел?

з. Что лучше: использовать клиентское программное обеспечение от производителя беспроводной сетевой интерфейсной платы или разрешить управлять беспроводной сетевой интерфейсной платой Windows XP? _____

Шаг 4. Определение версии драйвера сетевой платы

а. Производители оборудования постоянно обновляют драйверы. Драйвер, поставляемый в комплекте с сетевой интерфейсной платой или другим оборудованием, часто является не самым последним.

б. Чтобы узнать версию установленного вами драйвера сетевой интерфейсной платы, щелкните «Пуск», выберите «Панель управления» и далее «Сетевые подключения». Щелкните правой кнопкой мыши по беспроводному соединению и выберите пункт «Свойства». Щелкните кнопку «Настройка» для сетевой интерфейсной платы, а затем вкладку «Драйвер». Как называется установленный драйвер и какая его версия установлена?



Шаг 5. Определение текущей версии драйвера сетевой интерфейсной платы

а. Выполните поиск драйверов, поддерживающих вашу беспроводную сетевую интерфейсную плату, на веб-узле производителя. Предлагает ли производитель более новые версии драйвера?

б. Какая из перечисленных версий самая новая?

в. Если есть более новый драйвер, что с ним следует сделать?

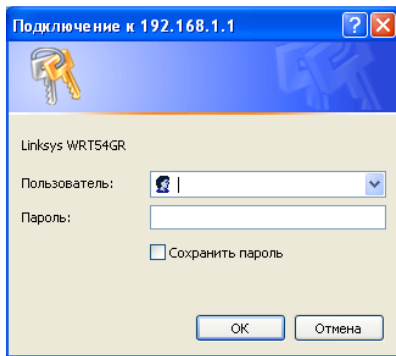
Шаг 6. Проверка подключения.

а. После установки сетевой интерфейсной платы необходимо проверить возможность соединения с Linksys WRT300N.

б. Откройте веб-обозреватель (например, WindowsInternetExplorer или MozillaFirefox).

в. В строке адреса введите <http://192.168.1.1>. Это адрес по умолчанию точки доступа.

г. В диалоговом окне «Подключение к 192.168.1.1» ничего не вводите в поле ввода имени пользователя, а в поле ввода пароля введите **admin**. Не устанавливайте флажок «Сохранить пароль». Нажмите кнопку «ОК».



д. Если вы увидите экран настройки Linksys, то вы успешно соединились с точкой доступа. Если соединение не установлено, следует устранить неполадки в соединении, убедившись что устройства включены и IP-адреса всех устройств верны. Какой IP-адрес должен быть настроен для беспроводной сетевой интерфейсной платы?

Шаг 7. Вопросы для обсуждения

а. Будет ли, по вашему мнению, отличаться процесс установки беспроводной сети в продуктовом или книжном магазине от только что выполненного? _____

Почему?

б. Будет ли, по вашему мнению, использованная модель точки доступа достаточна для продуктового магазина в вашем районе? Поясните свой ответ

№ 3. Настройка безопасности беспроводной сети.

Шаг 1. Разработка плана обеспечения безопасности для домашней сети

а. Укажите как минимум шесть лучших методов, которые следует использовать, чтобы защитить многофункциональное устройство и беспроводную сеть.

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)

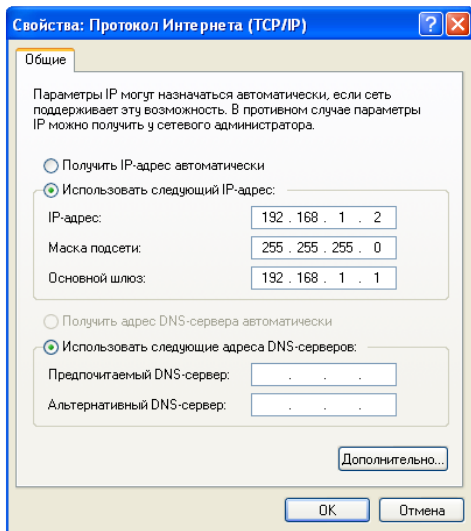
б. Укажите, какие существуют угрозы безопасности для каждого из элементов.

- 1)
- 2)
- 3)
- 4)
- 5)
- 6)

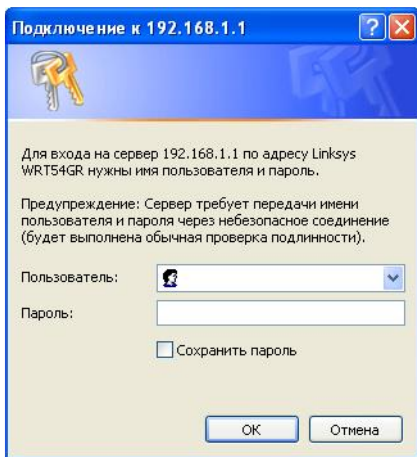
Шаг 2. Подключение компьютера к многофункциональному устройству и вход на веб-утилиту

а. Подключите ваш компьютер (сетевую интерфейсную плату Ethernet) к многофункциональному устройству (порт 1 на Linksys WRT300N), используя прямой кабель.

б. IP-адрес Linksys WRT300N по умолчанию: 192.168.1.1, маска подсети по умолчанию: 255.255.255.0. Для возможности обмена данными компьютер и устройство Linksys должны находиться в одной сети. Измените IP-адрес компьютера на 192.168.1.2 и убедитесь, что в качестве маски подсети указано 255.255.255.0. Введите в качестве основного шлюза внутренний адрес устройства Linksys (192.168.1.1). Для этого щелкните «Пуск» > «Панель управления» > «Сетевые подключения». Щелкните правой кнопкой мыши по беспроводному подключению и выберите пункт «Свойства». Выберите протокол Интернета (TCP/IP) и введите адреса, как указано ниже.



- в. Откройте веб-обозреватель (например, Internet Explorer, Netscape или Firefox), введите в поле адреса IP-адрес по умолчанию устройства Linksys (192.168.1.1) и нажмите клавишу **ВВОД**.
- г. Отображается экран с запросом имени пользователя и пароля.

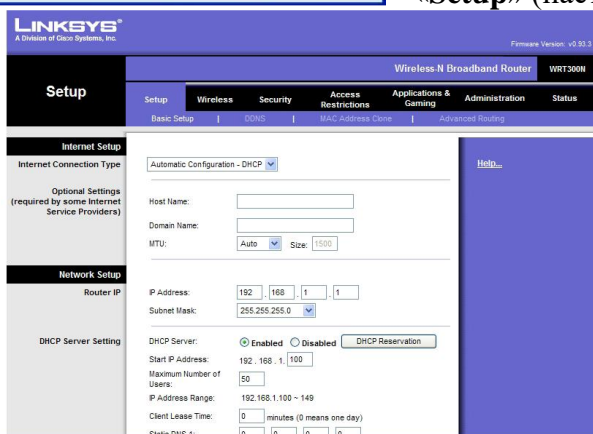


д. Оставьте поле имени пользователя пустым, а в поле пароля введите **admin**. Это пароль по умолчанию для устройства Linksys. Щелкните кнопку «**OK**». Пароли задаются с учетом регистра.

е. После выполнения всех необходимых изменений в устройстве Linksys нажмите «**Save Settings**» (сохранить настройки) на каждом экране, чтобы сохранить изменения, или «**Cancel Changes**» (отменить изменения) для сохранения значений по умолчанию.

Шаг 3. Изменение пароля устройства Linksys

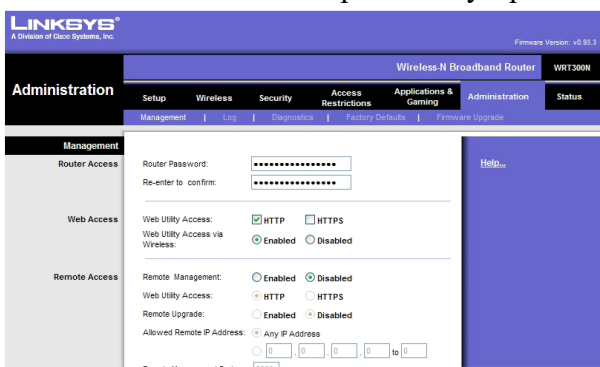
а. Изображенный здесь начальный экран – это экран «**Setup**» (настройки) > «**Basic Setup**» (основные настройки).



б. Щелкните вкладку «**Administration**» (администрирование). Вкладка «**Management**» (управление) выбрана по умолчанию.

в. Введите новый пароль для устройства Linksys, а затем подтвердите его. Новый пароль

должен состоять не более чем из 32 символов и не должен содержать пробелов. Пароль необходим для доступа к веб-утилите устройства Linksys и к мастеру установки.



г. Возможность доступа к веб-утилите через беспроводную сеть включена по умолчанию. Эту функцию можно отключить для повышения уровня безопасности.

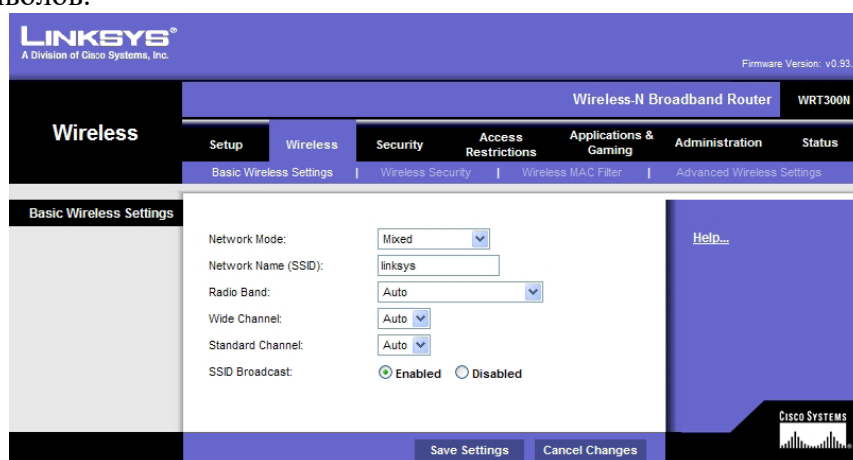
д. Щелкните кнопку «**SaveSettings**» (сохранить настройки), чтобы сохранить информацию.

ПРИМЕЧАНИЕ. Если вы забудете свой пароль, можно восстановить заводские настройки устройства Linksys по умолчанию, нажав кнопку RESET и удерживая ее в течение 5 секунд.

Пароль по умолчанию: **admin**.

Шаг 4. Настройка параметров безопасности беспроводной сети

а. Щелкните вкладку «**Wireless**» (беспроводная). Вкладка «**BasicWirelessSettings**» (основные настройки беспроводной сети) выбрана по умолчанию. «**NetworkName**» (сетевое имя) – это SSID, общее для всех устройств сети. Оно должен быть одинаковым для всех устройств в беспроводной сети. Оно задается с учетом регистра, и его длина не может превышать 32 СИМВОЛОВ.



б. Измените значение SSID с **linksys** на уникальное имя. Запишите выбранное имя.

в. Оставьте в качестве значения параметра «RadioBand (Радиодиапазон)» – «**Auto**» (автоматически). Это позволяет сети использовать все устройства: 802.11n, g и b.

г. Для параметра «SSID Broadcast» (широковещательная рассылка SSID) выберите переключатель «**Disabled**» (отключить), чтобы отключить широковещательную рассылку SSID.

Беспроводные клиенты выполняют поиск сети в зоне своего доступа и обнаруживают широковещательную рассылку SSID устройства Linksys. Для большей безопасности отключите широковещательную рассылку SSID.

д. Сохраните изменения перед переходом на следующий экран.

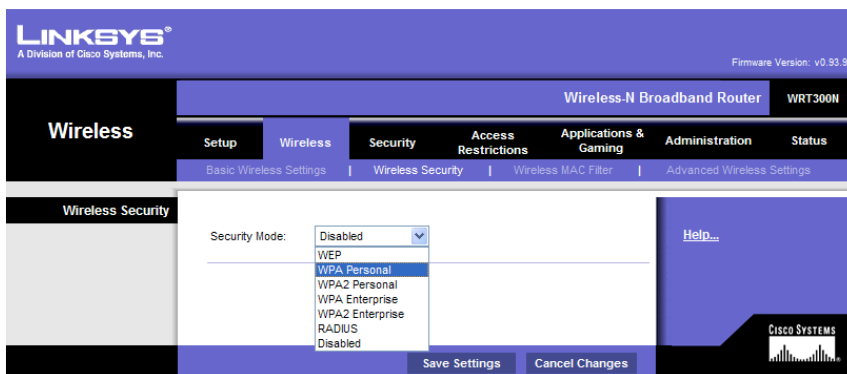
Шаг 5. Настройка шифрования и аутентификации

а. Выберите вкладку «**WirelessSecurity**» (безопасность беспроводной сети) на экране «**Wireless**» (беспроводная сеть).

б. Этот маршрутизатор поддерживает четыре типа настроек режима безопасности:

- WEP (обеспечение конфиденциальности, сопоставимой с проводными сетями);
- WPA (защищенный доступ к Wi-Fi), использующий предварительно согласованный ключ (PSK);
- WPA Enterprise, использующий службу удаленной аутентификации пользователей с коммутируемым доступом (RADIUS);
- RADIUS.

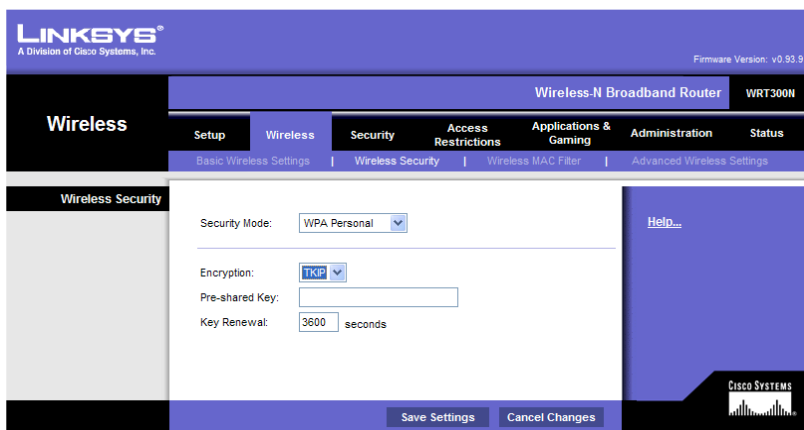
в. Выберите SecurityMode (режим безопасности) WPA Personal.



г. На следующем экране выберите алгоритм шифрования (строка Encryption).

Чтобы защитить сеть, используйте самый высокий уровень шифрования из предложенных для выбранного режима безопасности. Далее перечислены режимы безопасности и уровни шифрования от наименее защищенного (WEP) к наиболее защищенному (WPA2 с AES)

- WEP;
- WPA
- о TKIP (Temporal Key Integrity Protocol);



о AES (Advanced Encryption System - расширенный стандарт шифрования);

- WPA2
- о TKIP;
- о AES.

AES поддерживается только новыми устройствами, содержащими сопроцессор. Чтобы обеспечить совместимость со всеми устройствами, выберите

протокол TKIP.

д. Для аутентификации введите предварительно согласованный ключ длиной от 8 до 63 символов. Этот ключ является общим для устройства Linksys и всех подключенных устройств.

е. Выберите период обновления ключа от 600 до 7 200 секунд. Период обновления – время, через которое устройство Linksys изменяет ключ шифрования.

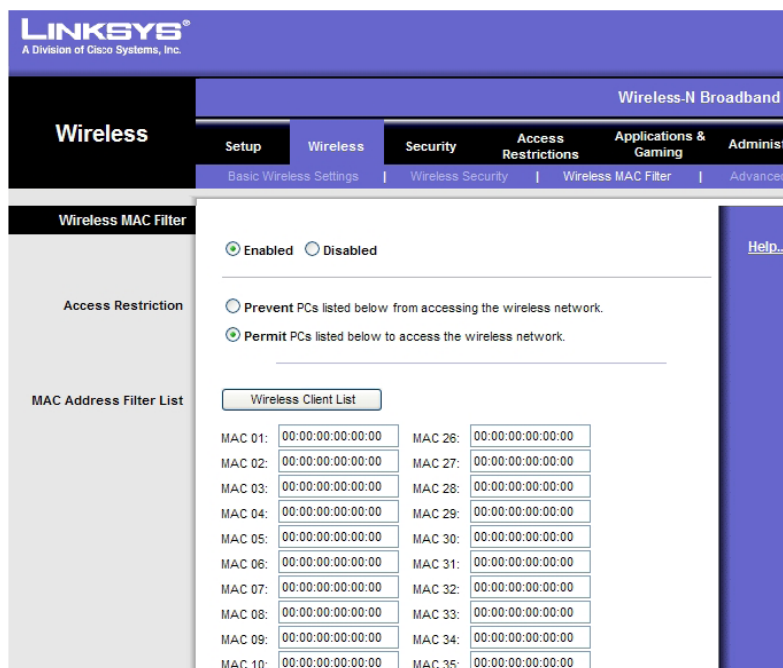
ж. Сохраните настройки до выхода из этого экрана.

Шаг 6. Настройка фильтрации по MAC-адресам

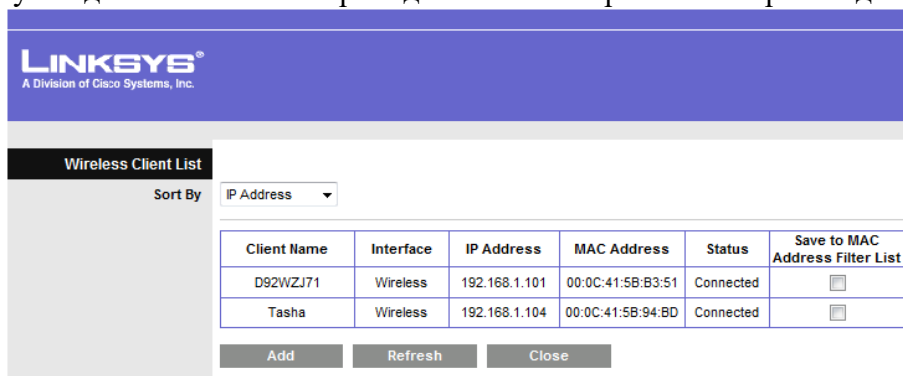
а. Выберите вкладку «**Wireless MAC Filter**» (фильтр беспроводных MAC-адресов) на экране «**Wireless**» (беспроводная).

б. Фильтрация по MAC-адресам позволяет только беспроводным клиентам с указанными MAC-адресами подключаться к сети. Установите переключатель «**Permit PCs listed below to access the wireless network**» (разрешить указанным ниже ПК получать доступ к беспроводной сети).

Щелкните кнопку «**Wireless Client List**» (список беспроводных клиентов), чтобы отобразить список всех беспроводных клиентских компьютеров в сети.



в. На следующем экране можно указать, какие MAC-адреса могут иметь доступ к беспроводной сети. Установите флажок «**Save to MAC Address Filter List**» (сохранить в списке фильтра по MAC-адресам) для всех клиентских устройств, которые следует добавить, а затем щелкните кнопку «**Add**» (добавить). Все беспроводные клиенты, не указанные в списке, не смогут подключиться к беспроводной сети. Сохраните настройки до выхода из этого экрана.



Шаг 7. Вопросы для обсуждения

а. Какая функция, настроенная на Linksys WRT300N, по вашему мнению, наиболее важна для обеспечения безопасности и почему?

б. Напишите, что еще можно сделать, чтобы еще сильнее повысить безопасность сети.

Задание № 4.

Просмотрите трафик клиента или сервера, отправленного с ПК на веб-сервер при запросе к веб-службам.

Шаг 1. Проверка соединения с веб-сервером

- а. Нажмите кнопку «ExternalClient» (внешний клиент) и перейдите к **CommandPrompt** (командная строка) из вкладки **Desktop** (рабочий стол). С помощью команды **ping** проверьте достижимость URL-адреса **ciscolearn.web.com**.
- б. *Обратите внимание, что IP-адрес включен в выходные данные команды **ping**. Такой адрес предоставляется DNS-сервером. При пересылке любого трафика через сеть используются сведения об IP-адресе.
- в. Закройте окно CommandPrompt (командная строка), однако окно рабочего стола "ExternalClient" (внешний клиент) оставьте открытым.

Шаг 2. Подключение к веб-серверу

- а. Откройте **Веб-обозреватель** с рабочего стола.
- б. В строке URL-адреса введите **ciscolearn.web.com**.

*Убедитесь в возможности чтения отображаемой веб-страницы. Оставьте данную страницу открытой.

Шаг 3. Просмотр HTML-кода

- а. Щелкните ссылку сервера **ciscolearn.web.com**.
- б. Перейдите на вкладку **Config** (настройка) > **HTTP**. Сравните текст с HTML-кодами, записанный на сервере, со страницей, отображаемой в веб-обозревателе внешнего клиента. Может потребоваться повторно развернуть окно внешнего клиента, если оно свернулось при открытии окна сервера.
- г. Закройте окно внешнего клиента и веб-сервера.

Шаг 4. Обзор трафика между клиентом и веб-сервером.

Войдите в режим моделирования, для чего нажмите

- а. вкладку **Simulation** (моделирование) в правом нижнем углу. Вкладка **Simulation** (моделирование) расположена за вкладкой **Realtime** (в реальном времени) и обозначается символом секундомера. Дважды щелкните панель «Simulation» (панель моделирование), чтобы заблокировать ее из РТ-окна. Это позволяет перемещать панель «Simulation» (панель моделирование) для просмотра всей топологии сети.
- б.

Просмотрите трафик путем создания сложного PDU в режиме моделирования.

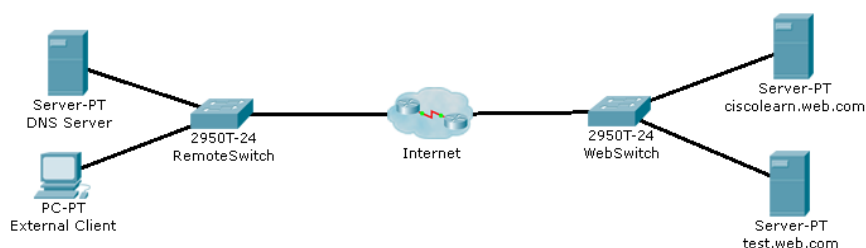
1. В **SimulationPanel** (панели моделирования) выберите команду **EditFilters** (изменить фильтры) и поставьте флажки в полях TCP и HTTP.
2. Добавьте **Complex PDU** (сложный PDU), щелкнув значок открытого конверта, расположенный над значком режима моделирования.
- в. 3. Щелкните **ExternalClient** (внешний клиент) и сделайте его источником. Откроется окно **Complex PDU** (сложный PDU).
4. Щелкните имя сервера **ciscolearn.web.com** и сделайте его адресатом. Обратите внимание, что IP-адрес веб-сервера появился в поле адресата окна сложного PDU.

Укажите параметры **Complex PDU** (сложный PDU), изменив следующие настройки в окне **Complex PDU** (сложный PDU):

1. Раздел **PDU Settings** (параметры PDU) > **SelectApplication** (выбор приложения) должно быть установлено **HTTP**.
2. В разделе **SourcePort** (порт источника) введите: **1000**.
- г. 3. В разделе **SimulationSettings** (настройки моделирования) выберите **PeriodicInterval** (периодический интервал) и введите **120** секунд.
4. Создайте PDU, щелкнув поле **Create PDU** (создать PDU) в окне **CreateComplex PDU** (создание сложного PDU).

Просмотрите поток трафика, щелкнув кнопку **AutoCapture / Play** (автозахват / воспроизведение) на панели «Simulation» (панель моделирования). Ускорьте анимацию с помощью ползунка управления воспроизведением.

- д. *При появлении окна **BufferFull** (буфер заполнен) закройте его, щелкнув значок **x**.
- е. Прокрутите список событий. Обратите внимание на количество пакетов, переданных от источника к адресату. HTTP — это протокол TCP, требующий установки соединения и подтверждения получения пакетов, что значительно повышает объем трафика.



Индивидуальные задания

Задание № 1. Настройка точки беспроводного доступа

Задача

- Настроить точку беспроводного доступа, являющуюся компонентом многофункционального устройства, чтобы разрешить доступ беспроводным клиентам.

Исходные данные / подготовка

Устройство Linksys WRT300N совмещает в себе встроенный коммутатор на 4 порта, маршрутизатор и точку беспроводного доступа. В этой лабораторной работе необходимо настроить один из компонентов этого многофункционального устройства, а именно точку беспроводного доступа, чтобы разрешить доступ беспроводным клиентам. Будут настроены основные беспроводные возможности многофункционального устройства, но это не будет безопасная беспроводная сеть. Настройка безопасной беспроводной сети будет выполнена в следующей лабораторной работе.

Задание № 2. Настройка беспроводного клиента

Задачи

- Установите и настройте на клиентском компьютере драйвер для беспроводной сетевой интерфейсной платы, подключаемой к USB.
- Определите версию установленного драйвера и проверьте обновления в Интернете.

Исходные данные / подготовка

В этой лабораторной работе необходимо установить на компьютере драйвер для беспроводной сетевой интерфейсной платы, подключаемой к USB. Драйвер – это вид программного обеспечения, который управляет беспроводной сетевой интерфейсной платой. Драйвер можно найти на CD-диске, поставляемом вместе с сетевой интерфейсной платой, или он может быть загружен из Интернета.

Многие производители требуют установить драйвер до подключения адаптера. Процедура, описанная в этой лабораторной работе, предназначена для беспроводной сетевой интерфейсной платы Linksys

USB 802.11g, но она будет аналогична и для других плат. Всегда выполняйте процедуру, рекомендованную производителем беспроводной сетевой интерфейсной платы.

№ 3. Настройка безопасности беспроводной сети.

Задачи

- Разработать план обеспечения безопасности для домашней сети.
- Настроить точку беспроводного доступа, являющуюся компонентом многофункционального устройства, используя лучшие методы обеспечения безопасности.

Исходные данные / подготовка

Хорошо продуманная реализация системы безопасности крайне важна для безопасной работы беспроводной сети. В этой лабораторной работе демонстрируются действия, которые необходимо предпринять, чтобы гарантировать безопасность сети, используя следующий сценарий.

Вы только что приобрели беспроводной маршрутизатор Linksys WRT300N и хотите настроить небольшую сеть у себя дома. Вы выбрали этот маршрутизатор, поскольку согласно спецификации IEEE 802.11n он в 12 раз превосходит 802.11g по скорости и в 4 раза по дальности. Поскольку в стандарте 802.11n используется частота 2,4 ГГц, он обратно совместим как с 802.11b, так и с 802.11g и использует технологию MIMO (много входов, много выходов).

Механизмы безопасности следует включить *перед* подключением беспроводного устройства к Интернету или проводной сети. Также следует изменить значения по умолчанию, поскольку они широко известны и могут быть получены из Интернета.

Задание 4.

Просмотрите трафик клиента или сервера, отправленного с ПК на веб-сервер при запросе к веб-службам.

Требования к оформлению отчета

Защита отчета по лабораторной работе: выполнить задание, ответить на вопросы, предоставить выполненную работу на компьютере, основные этапы работы и результаты их выполнения представить в виде реферата.

Форма контроля: Защита отчета по лабораторной работе, защита проекта по индивидуальному заданию.

Лабораторная работа № 5

Тема: Основные функции DNS

Цель занятия: Научиться проводить отслеживание разрешения DNS-имен

Перечень учебно-лабораторного оборудования:

- Компьютер под управление Windows с подключением к Интернету;
- доступ к команде Run.

№№ занятий - пререквизитов:

24

Форма проведения лабораторного занятия: исследование

Краткие теоретические сведения

Материалы лекции

Порядок выполнения работы

Задачи

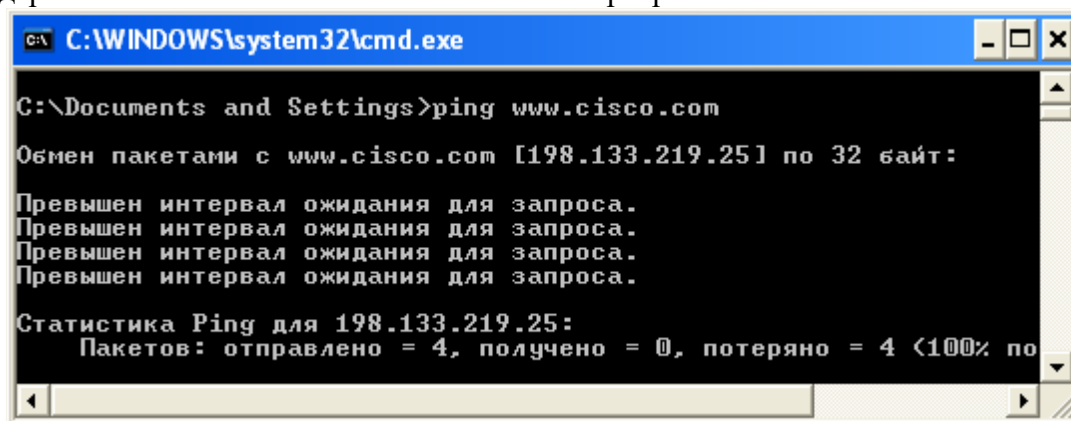
- Отследить преобразование URL-адреса в IP-адрес.
- Отследить поиск в DNS с помощью команды nslookup.

Шаг 1. Отслеживание преобразований DNS

а. Нажмите кнопку «Пуск», выберите команду «Выполнить», введите команду **cmd**, а затем нажмите кнопку «ОК». Откроется окно командной строки.

б. В командной строке введите **ping www.cisco.com**. Компьютеру необходимо преобразовать **www.cisco.com** в IP-адрес, чтобы знать, куда отправлять ICMP-пакеты. Команда **ping** отправляет пакеты этого типа.

в. В первой строке выходных данных показано имя **www.cisco.com**, преобразованное в IP-адрес системой DNS. Результаты работы системы DNS должны быть видны, даже если в учебном учреждении есть межсетевой экран, блокирующий обмен пакетами, или если компания Cisco не поддерживает обмен пакетами со своими веб-серверами.



```
C:\WINDOWS\system32\cmd.exe
C:\Documents and Settings>ping www.cisco.com
Обмен пакетами с www.cisco.com [198.133.219.25] по 32 байт:
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Превышен интервал ожидания для запроса.
Статистика Ping для 198.133.219.25:
  Пакетов: отправлено = 4, получено = 0, потеряно = 4 (100% по
```

г. Какой IP-адрес показан на экране? _____

д. Совпадает ли он с адресом, показанным на представленном выше рисунке? _____

е. Обсудите с другими учащимися один или два других случая (кроме команды **ping**) использования системы DNS.

Шаг 2. Проверка работы системы DNS с помощью команды **nslookup**

а. В командной строке введите команду **nslookup**.

б. Какой DNS-сервер используется по умолчанию? _____

в. Обратите внимание на изменение командной строки. Это командная строка **NSLOOKUP**. В данной командной строке можно вводить команды, относящиеся к системе DNS.

г. В командной строке введите **?**, чтобы просмотреть список всех команд, доступных в режиме

NSLOOKUP.

д. Запишите три команды, которые можно использовать в режиме **NSLOOKUP**. _____

е. В командной строке **NSLOOKUP** введите **www.cisco.com**.

ж. Каков преобразованный IP-адрес?

з. Совпадает ли он с адресом из выходных данных команды **ping**?

и. В командной строке введите IP-адрес только что обнаруженного веб-сервера Cisco.

С помощью команды **NSLOOKUP** можно узнать доменное имя IP-адреса, если URL-адрес не известен.

Используя описанные выше процедуры, найдите IP-адрес, соответствующий имени www.google.com.

Шаг 3. Определение почтовых серверов с помощью команды **nslookup**

а. В командной строке введите **settype=mx**, чтобы с помощью команды **NSLOOKUP** определить почтовые серверы.

б. В командной строке введите **www.cisco.com**.

в. Какие у данного сервера основное имя, ответственный почтовый адрес и время жизни (TTL) по умолчанию?

г. В командной строке ведите команду **exit**, чтобы вернуться к обычной командной строке.

д. В этой командной строке введите **ipconfig /all**.

е. Запишите IP-адреса всех используемых в локальной сети DNS-серверов.

ж. Введите команду **exit**, чтобы закрыть окно командной строки.

Шаг 4. Вопросы для обсуждения

а. Если бы в данной школе не было DNS-сервера, как бы это сказалось на использовании Интернета?

б. В некоторых компаниях не выделяется отдельный сервер для службы DNS. Вместо этого DNS-сервер также выполняет и другие функции. Как вы думаете, какие функции также может выполнять DNS-сервер? В этом случае полезна команда **ipconfig /all**.

Индивидуальные задания

Задачи

- Отследить преобразование URL-адреса в IP-адрес.
- Отследить поиск в DNS с помощью команды nslookup.

Исходные данные / подготовка

Система доменных имен (DomainNameSystem - DNS) используется при вводе унифицированного указателя ресурса (URL-адрес), например, <http://www.cisco.com>, в поле адреса веб-обозревателя.

В первой части URL-адреса указывается используемый протокол. Из них наиболее распространены HTTP (Hypertext Transfer Protocol), HTTPS (Hypertext Transfer Protocol over Secure Socket Layer) и FTP (File Transfer Protocol).

Система DNS использует вторую часть URL-адреса, так в приведенном примере это www.cisco.com.

Система DNS преобразует доменное имя (подобное www.cisco.com) в IP-адрес, чтобы позволить исходному узлу достичь узла назначения. На данной лабораторной работе работайте в парах.

Требования к оформлению отчета

Защита отчета по лабораторной работе: выполнить задание, ответить на контрольные вопросы, предоставить выполненную работу на компьютере, основные этапы работы и результаты их выполнения представить в виде реферата.

Форма контроля: Защита отчета по лабораторной работе, защита проекта по заданию.

Контрольные вопросы

1. Внутренние диски виртуального рабочего стола?
2. Подключение питания?
3. Виды внутренних устройств?

Лабораторная работа №6

Тема: Организация безопасности сети.

Цель работы: В ходе этой лабораторной работы студенты производят установку многофункционального устройства. Для этого необходимо найти, загрузить и обновить драйвер и программное обеспечение для данного многофункционального устройства.

Перечень учебно-лабораторного оборудования:

- Компьютер с установленной операционной системой Window XP Professional;
- Подключение к Интернету;
- Многофункциональное устройство.

Краткие теоретические сведения

В многофункциональных устройствах функциональные возможности нескольких устройств объединены в одном физическом аппаратном модуле. Такие устройства могут содержать устройства для считывания медиа-карт и жесткие диски для хранения данных. Многофункциональные устройства, как правило, включают в себя следующие элементы:

- сканер,
- принтер,
- копир,
- факс.

Многофункциональные устройства, как правило, используются в домашних условиях или в помещениях ограниченных размеров. Зачастую такие устройства подключают к компьютеру, но автономно они могут выполнять копирование и факсимильную передачу документов.

Порядок выполнения работы

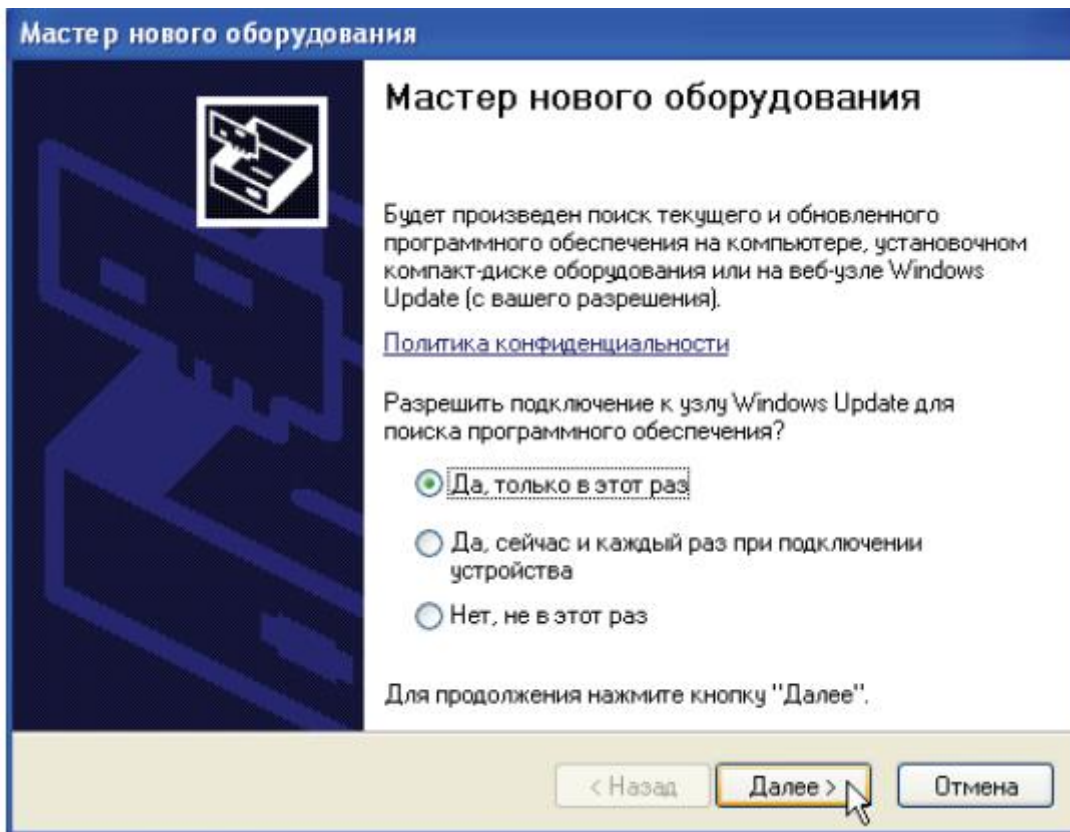
Шаг 1

При установке многофункционального устройства к параллельному порту выключите компьютер и соедините многофункциональное устройство и компьютер с помощью кабеля параллельного интерфейса . Вставьте кабель питания многофункционального устройства в розетку переменного тока и разблокируйте многофункциональное устройство, если это необходимо. Перезагрузите компьютер.

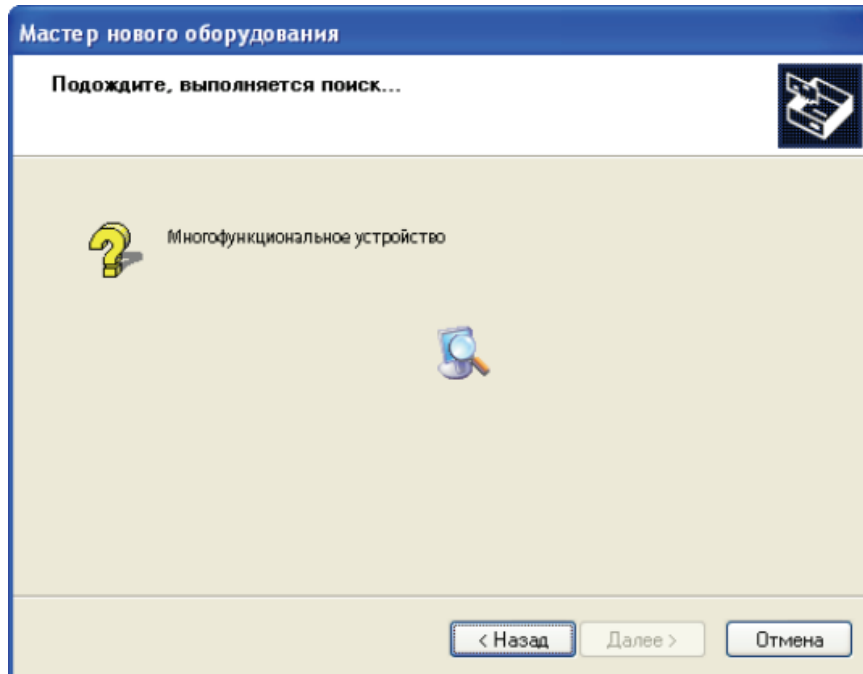
Если устанавливается многофункциональное устройство USB, подключите многофункциональное устройство к компьютеру с помощью кабеля USB. При необходимости вставьте кабель питания многофункционального устройства в розетку переменного тока. Разблокируйте многофункциональное устройство, если оно заблокировано.

Шаг 2

Происходит процесс определения новых устройств системой Windows. Появляется окно мастера обнаружения новых устройств. Выберите пункт Yes, thistimeonly (Да, только в этот раз) и нажмите **Next(Далее)**.



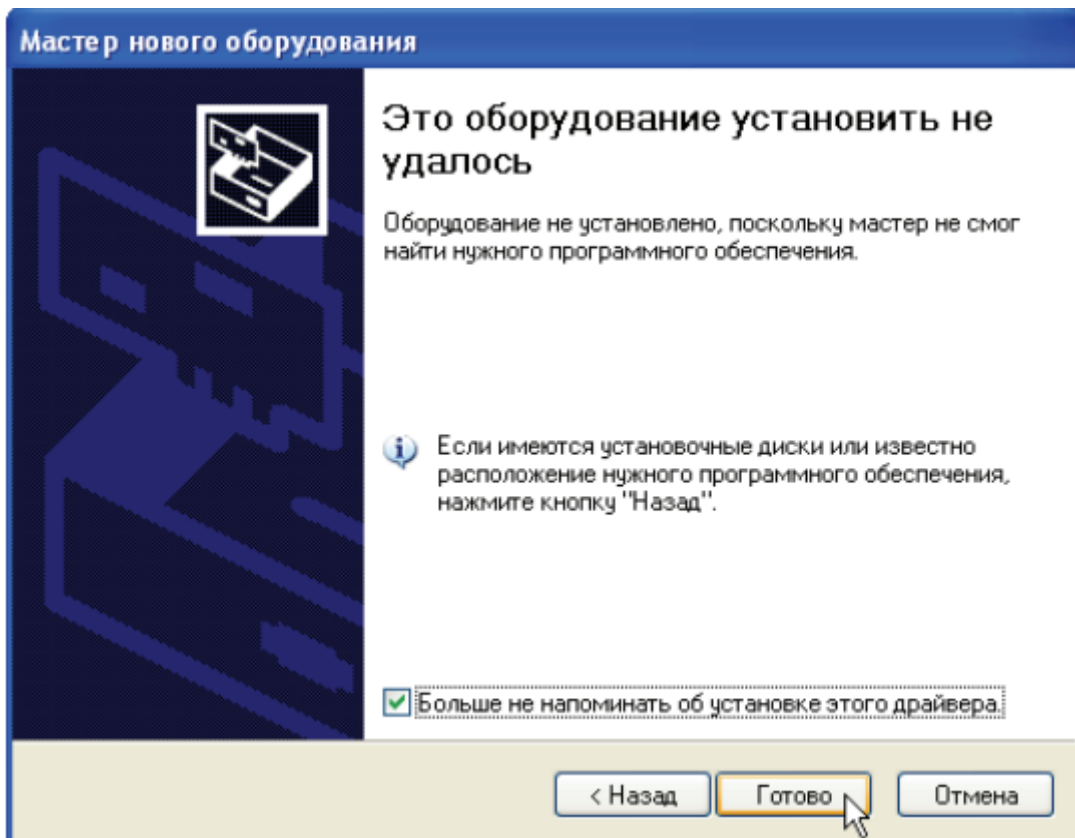
Появляется окно «Please wait while the wizard searches...» (« Подождите окончания поиска»).



При этом может возникнуть окно «Невозможно

установить данное устройство».

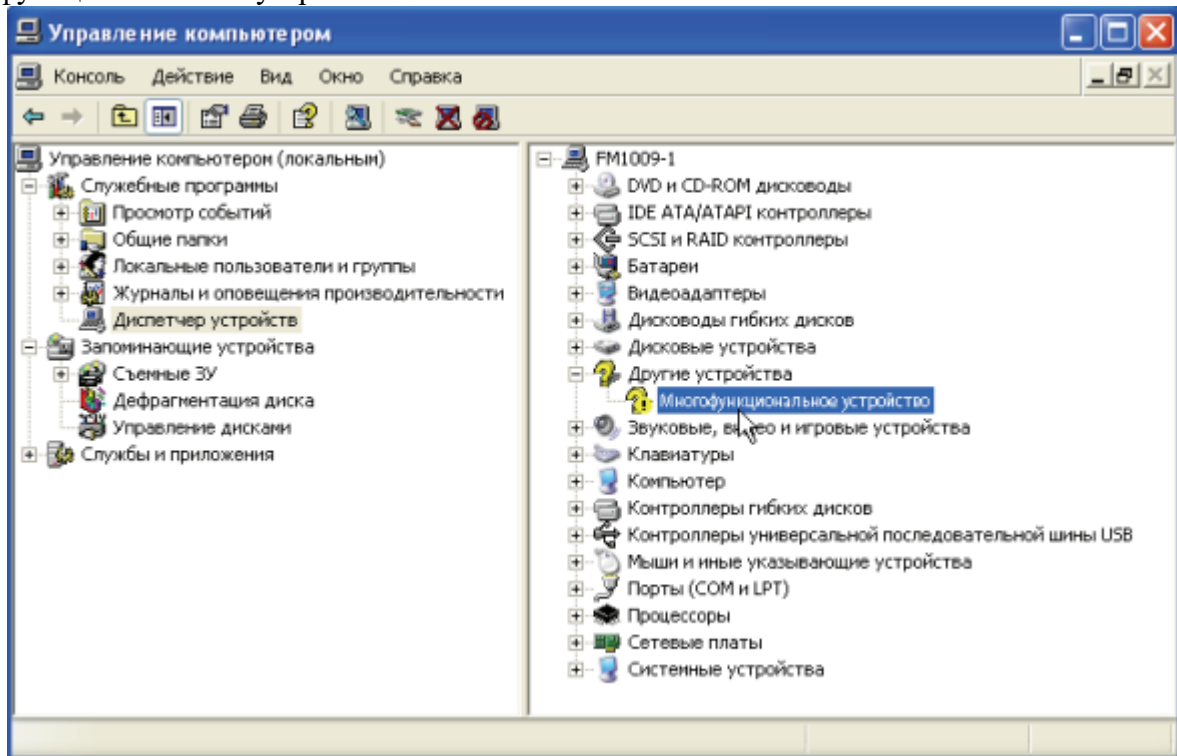
Если это происходит, нажмите Finish (Готово).



Шаг 3

Если компьютер не может обнаружить многофункциональное устройство, нажмите правой кнопкой MyComputer (Мой компьютер), затем Manage>DeviceManager (Управление > Диспетчер устройств).

В разделе «OtherDevices» («Другие устройства») дважды щелкните значок многофункционального устройства.



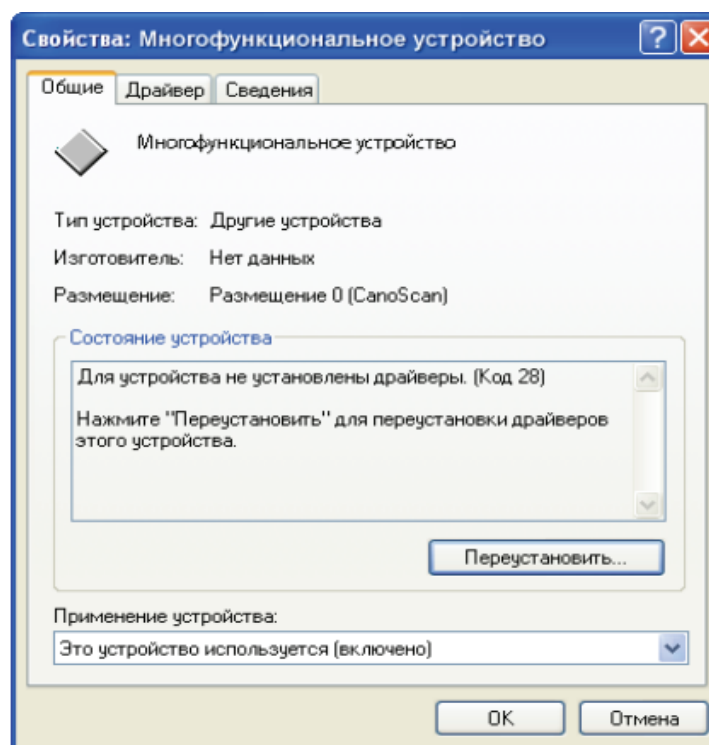
Шаг 4

Появляется окно свойств многофункционального устройства.

В области «DeviceStatus» («Состояние устройства») содержится сообщение о том, что драйверы для этого устройства не установлены, код ошибки 28.

Не нажимайте «ReinstallDriver» («Переустановить драйвер»).

Нажмите Cancel (Отменить).



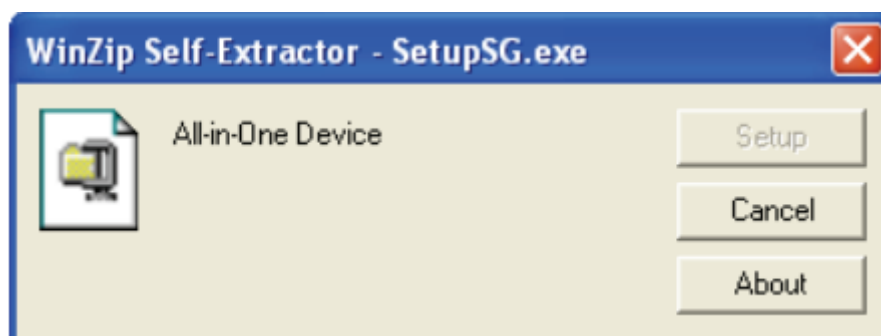
Шаг 5

Найдите информацию о производителе и номер модели многофункционального устройства.

Перейдите на веб-сайт производителя и найдите страницу файлов, доступных к загрузке в разделе технической поддержки. Загрузите последний драйвер и программное обеспечение для модели многофункционального устройства, которое предстоит установить. Программное обеспечение и драйвер должны быть совместимы с текущей операционной системой.

Загрузите драйвер во временную папку на рабочем столе.

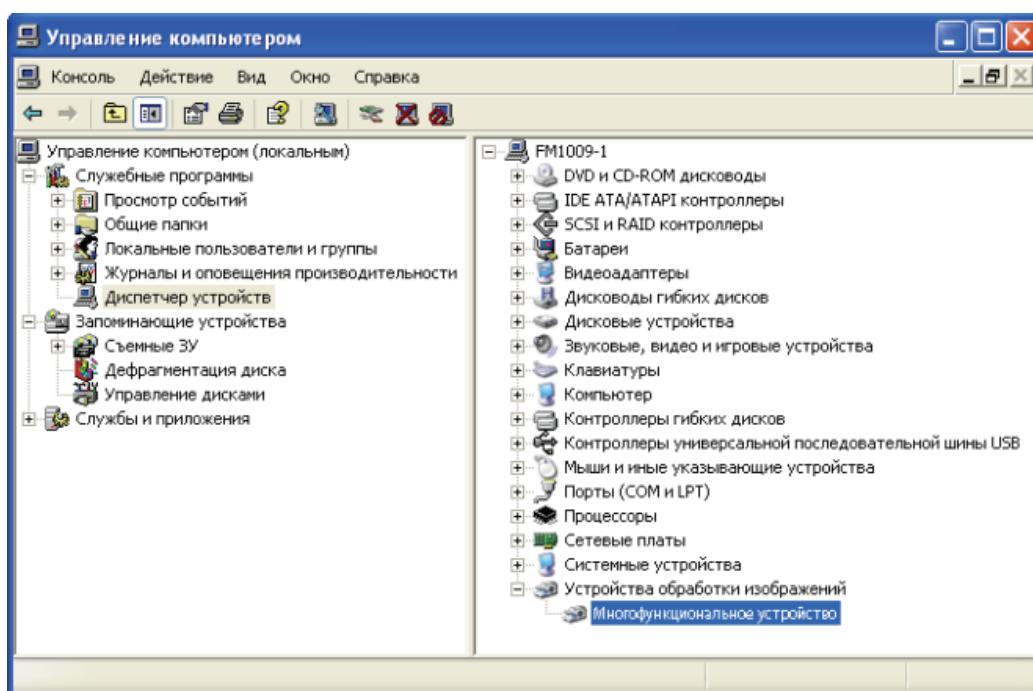
Дважды щелкните загруженный файл.



Шаг 6

Отключите кабель многофункционального устройства и подключите снова. Система Windows XP найдет новое устройство и установит новые драйверы. Для проверки щелкните правой кнопкой значок **MyComputer (Мой компьютер)** и выберите **Manage>DeviceManager**

(Управление > Диспетчер устройств). Многофункциональное устройство появится в списке в разделе «Imagingdevices» («Устройства обработки изображений»).



Индивидуальные задания к лабораторной работе:

Задания 1. Установка устройства, совмещающего в себе принтер и сканер.

В ходе данной работы студенты выполняют поиск устройства Epson Stylus CX7800 в списке Windows XP Hardware Compatibility List (HCL) (Список совместимости оборудования Windows XP), устанавливают устройство, совмещающее в себе принтер и сканер, обновляют драйвер и связанное с устройством программное обеспечение, а также производят проверку принтера и сканера.

Необходимое оборудование

- Компьютер с установленной системой Windows XP Professional;
- Свободный USB- порт на компьютере;
- Многофункциональное устройство Epson® Stylus CX7800;
- Установочный компакт - диск устройства;
- Подключение к Интернету.

Задания 2. Устранение неполадок в работе принтера.

В ходе данной работы студенты находят и устраняют неполадки в работе принтера, который не распечатывает документы пользователя.

Сценарий

Принтер не печатает.

Необходимое оборудование

- Как минимум два компьютера с установленной системой Windows XP Professional;
- Многофункциональный принтер, подключенный и установленный на одном из компьютеров;
- Сетевой доступ к многофункциональному принтеру с других компьютеров;
- Сетевое соединение между компьютерами с помощью концентратора, коммутатора или беспроводного маршрутизатора.

Контрольные вопросы

1. **Что такое многофункциональных устройств?**
2. Как найти ошибки принтера?
3. Как найти ошибки сканера?

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Таненбаум Э., Остин Т. Архитектура компьютера (6-е изд) М.:Вильямс, 2013г.-(гл1-5)
2. Таненбаум Э., Уэзеролл Д. Компьютерные сети (5-е изд) – Спб.: Питер, 2016, 960с.
3. Stallings Wiliam. Operatingsystems. Internals and Design principles. Pearson. 2013г.(гл 1,2)
4. С.Пахомов. Революция в мире GPU. - // электронная версия на сайте Compress.ru
5. Олифер В.Г., Олифер Н.А. Основы сетей передачи данных ИНГУИТ., 2010
6. Бройдо В.Л. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Учебник для ВУЗов.- Питер: 2007. – 134с.
7. Пятибратов А.П. Вычислительные системы, сети и телекоммуникации. Учебник. – М: Финансы и статистика. 2009. – 296 с.
8. Вычислительные машины, системы и сети. Под редакцией П.А.Пятибратова. – М: Финансы и статистика, 2000г.
9. Мансурова М.Е. Компьютерное окружение: Учебное пособие. – Алматы: Издательство ТОО “Print S”, 2004. 146с.
10. Сергеев Н.П. Вашкевич Н.П. Основы вычислительной техники. – М.: ВШ, 1988г.
11. М.Гук. Аппаратные средства IBMPC. – Санкт-Петербург: Питер, 2000
12. М.Гук, В.Юров. Pentium 4 Athlon и Duron. – Санкт-Петербург: Питер, 2001г.
13. Томпсон Р.Б., Томпсон Б.Ф. Железо ПК: Энциклопедия. – Спб.: Питер, 2003г.
14. <http://nashol.com/2013120674745/arhitektura-vichislitelnih-sistem-i-komputernih-setei-stepanov-a-n-2007.html>
15. <http://window.edu.ru/resource/007/77007>
16. <http://www.alleng.ru/d/comp/comp225.htm>
17. <http://www.academia-moscow.ru/off-line/books/fragment/101113136/101113136f.pdf>
18. <https://www.freelancejob.ru/upload/413/5425534071400.pdf>