

Ю. А. ГОЛОВИН, А. А. СУКОНЩИКОВ,  
С. А. ЯКОВЛЕВ

# ИНФОРМАЦИОННЫЕ СЕТИ

**УЧЕБНИК**

*Допущено  
Учебно-методическим объединением  
по университетскому политехническому образованию  
в качестве учебника для студентов высших учебных заведений,  
обучающихся по направлению подготовки «Информационные системы»*

2-е издание, стереотипное



Москва  
Издательский центр «Академия»  
2013

УДК 681.51(075.8)  
ББК 32.81я73  
Г611

Рецензенты:

зав. кафедрой информационно-сетевых технологий  
Санкт-Петербургского государственного университета аэрокосмического  
приборостроения, д-р техн. наук, проф. *Л. А. Осипов*;  
зав. кафедрой информационных управляющих систем  
Санкт-Петербургского государственного университета телекоммуникаций  
им. проф. М. А. Бонч-Бруевича, д-р техн. наук, проф. *М. О. Колбанев*

**Головин Ю. А.**

Г611 Информационные сети : учебник для студ. учреждений  
высш. проф. образования / Головин Ю. А., Суконщиков А. А.,  
Яковлев С. А. — 2-е изд., стер. — М. : Издательский центр «Ака-  
демия», 2013. — 384 с.

ISBN 978-5-7695-9776-3

В учебнике рассмотрены основные технологии построения информаци-  
онных сетей — неотъемлемой части информационной системы любого пред-  
приятия — на базе концепции архитектуры открытых систем. Для физическо-  
го и канального уровней изложены принципы функционирования современ-  
ных скоростных технологий построения локальных информационных сетей:  
Fast Ethernet, 100VG-AnyLAN, FDDI, Gigabit Ethernet и т.д. Рассматриваются  
сетевой и транспортный уровни, отвечающие за маршрутизацию информа-  
ции в информационной сети и надежную ее доставку, а также некоторые при-  
ложения Internet: протоколы Telnet, FRP, NFS, SMTP, SNMP и т.д.

Для студентов учреждений высшего профессионального образования.

УДК 681.51(075.8)  
ББК 32.81я73

*Оригинал-макет данного издания является собственностью Издательского  
центра «Академия», и его воспроизведение любым способом без согласия  
правообладателя запрещается*

© Коллектив авторов, 2011  
© Образовательно-издательский центр «Академия», 2011  
© Оформление. Издательский центр «Академия», 2011

ISBN 978-5-7695-9776-3

# ВВЕДЕНИЕ

На современном этапе развития науки и техники необходимым условием формирования информационной инфраструктуры общества является создание информационных сетей (ИС), которые образуются за счет конвергенции информационных и телекоммуникационных технологий на основе достижений в области микроэлектроники и радиотехники. В результате развития ИС должна быть создана технологическая база для построения глобального информационного пространства и должны измениться не только способ производства продуктов и услуг, но и формы организации досуга, воспитания и образования. А также повсеместное использование ИС окажет решающее воздействие на социальную структуру общества, экономику, политику, развитие общественных институтов.

До последнего времени не существовало ни информационных, ни телекоммуникационных объектов, соизмеримых по сложности с современными ИС, которые по своей сути являются инфокоммуникационными сетями, обладающими следующими характеристиками:

- мультимедийностью, т.е. синхронностью обработки и передачи многокомпонентной по форме информации в виде речи, данных, видео и аудио в реальном времени и с использованием сложных комбинаций соединений;
- открытостью, т.е. возможностью управления информационными ресурсами, услугами, вызовами и соединениями со стороны пользователя и/или поставщиков услуг и контента, а также независимостью предоставления разнообразных услуг от технологий обработки и способа переноса информации;
- интеллектуальностью, т.е. способностью к адаптации или приспособлению к требованиям пользователей с точки зрения количества, номенклатуры и качества предлагаемых услуг;
- широкополосностью, т.е. способностью гибкого и динамического изменения скорости обработки и передачи информации в широком диапазоне с учетом информационных потребностей пользователей;
- инвариантностью доступа, т.е. независимостью процедур предоставления информационных и телекоммуникационных услуг от технологии сети доступа;

- многооператорностью, т.е. участием нескольких операторов информационных и телекоммуникационных систем и сетей в процессе предоставления услуг.

По сравнению с существующими крупными коммутационными центрами ИС имеют свои особенности: состоят из многочисленных разнотипных компонентов; поддерживают существенно большее число протоколов и интерфейсов; обладают более высокой пропускной способностью; предоставляют услуги путем объединения возможностей огромного числа информационных и телекоммуникационных предприятий; реализуются на базе различных информационных и телекоммуникационных технологий; построены на оборудовании множества производителей.

Разработчики современных ИС не отвергают опыт, накопленный в процессе эволюции сетей коммутации каналов. Они также используют программную логику для создания услуг, возможности цифровых интерфейсов при доставке услуг пользователям и концепцию построения отдельной интеллектуальной платформы для управления услугами. В то же время услуги, предоставляемые ИС, имеют принципиальные отличия от традиционных информационных и телекоммуникационных услуг, поскольку предполагают в комплексе автоматизированную обработку, хранение или предоставление по запросу информации с использованием информационных систем как на входящем, так и на исходящем концах соединения; являются приложениями, программное обеспечение которых распределено между пользователями и центрами управления; предоставляются с гарантированным качеством обработки и передачи мультимедийной информации; характеризуются несимметричностью исходящего и входящего информационных потоков пользователя; поддерживаются большим спектром протоколов сигнализации и сложной системой адресации; обеспечиваются путем взаимодействия пользователей, сетевых операторов, поставщиков услуг, разнообразных информационных посредников; а также создаются в целом или фрагментарно не только участниками процесса предоставления услуг, но и самими пользователями.

Инфокоммуникационные услуги охватывают все стороны жизни человека и могут быть разделены на такие группы, как телемониторинг, теленавигация, телесигнализация, телеуправление, телеметрия, телемедицина, телеобучение, телебизнес, телеработа, телеофис, телеразвлечения и др.

Важнейшей составляющей ИС наряду с транспортной сетью и платформой информационного обслуживания, которые реализуют функции переноса информации и функции создания и предоставления инфокоммуникационных услуг соответственно, является сеть доступа, обеспечивающая подключение пользователей к сетевым и информационным ресурсам.

Сеть доступа представляет собой системно-сетевую структуру, состоящую из абонентских линий, систем передачи и узлов доступа. С административно-организационной точки зрения она может являться как частью сети регионального оператора, так и техническим средством отдельного оператора сети доступа. Сети доступа характеризуются значительным разнообразием способов построения, которые зависят от требуемой скорости передачи и технологии доступа.

Расширение круга услуг, предоставляемых пользователям ИС, требует изменения концепции построения сетей и алгоритмов управления процессами доступа, поскольку необходимо не просто обеспечить подключение пользователей к ИС, а организовать при помощи сетевых ресурсов доступ к информационным услугам.

Значительная часть сетей доступа в ИС будет использовать новейшие технологии сотовых сетей связи, которые обладают всеми достоинствами мобильных сетей, эксплуатируемых в настоящее время, отличаясь от них способностью к передаче с заданным качеством значительно больших объемов информации. Если в сетях коммутации каналов системы управления распределяют ресурс эфира между пользователями, каждому из которых нужно подключение на одной и той же скорости передачи информации, то в сетях доступа ИС этот ресурс надо делить не между пользователями, а между услугами, требующими разную скорость подключения. Кроме того, для каждой из предоставляемых услуг устанавливается собственная норма на качество обслуживания. При обеспечении этого качества необходимо в отдельности учитывать трафик каждой из услуг и то влияние, которое оказывают друг на друга услуги, использующие один и тот же эфир.

Стандарты описывают правила или протоколы взаимодействия между компьютерами. Соответствие промышленным стандартам становится обязательным условием успешной организации передачи данных.

В первых информационных сетях применялись уникальные решения производителей, обеспечивающие передачу информации между центральным компьютером и терминалом конечного пользователя. С появлением персональных компьютеров (ПК) и с увеличением тенденций децентрализации информационных ресурсов возникла необходимость стандартизации коммуникационных методов. На протяжении последних трех десятилетий международные организации разработали стандарты для коммуникации сетей, что позволило обеспечить взаимодействие между аппаратными и программными компонентами различных производителей. В основу многих стандартов, определенных этими организациями, легли решения отдельных производителей или консорциумов производителей.

Процесс создания стандарта во всех организациях одинаков. Описание стандарта передается на рассмотрение группе квалифицированных специалистов, которые встречаются для обсуждения достоинств и недостатков стандарта и высказывают предложения по его улучшению. Предлагаемый стандарт может пройти через множество предварительных этапов на пути к своему одобрению, и в конечном итоге члены группы голосуют за его одобрение. Оригинальная спецификация может быть подвергнута многим изменениям, прежде чем рабочая группа придет к консенсусу по всем деталям.

В настоящее время существует несколько организаций, разрабатывающих стандарты по радиоэлектронике и электротехнике:

Институт инженеров, электриков и электроников (IEEE);

Международный телекоммуникационный союз (ITU — прежде ССИТ);

Совет по архитектуре сети Интернет (IAB);

Международная организация по стандартам (ISO).

В *Институте инженеров, электриков и электроников* существуют проектные группы, именуемые «рабочие группы 802». Они разрабатывают рекомендации к стандартам канального и физического уровней для локальных сетей. Большинство «стандартов 802» создаются отдельными производителями или рабочими группами в процессе решения сетевых проблем.

*Международный телекоммуникационный союз* определяет рекомендации к стандартам телекоммуникационной промышленности. Ранее этот союз назывался ССИТ.

*Совет по архитектуре сети Internet* разрабатывает стандарты глобальной сети Internet. Эта сеть возникла в результате реализации проекта Американского департамента обороны. Она обеспечивала связь компьютеров различных типов, находящихся в государственных организациях и университетах. Затем Internet разросся в общемировую информационную сеть, объединяющую миллионы компьютеров и предоставляющую информационные услуги множеству коммерческих организаций и индивидуальных пользователей.

В начале 1970-х гг. комитет, входящий в состав *Международной организации по стандартам*, приступил к разработке универсального набора стандартов по обмену информацией между компьютерами. Результатом этой работы явилась модель OST, которая определяет задачи сетевых коммуникаций и распределяет решение этих задач между семью взаимоувязанными уровнями. Процедуры и правила решения этих задач определены как протоколы. Протоколы детализируют стандартные форматы, используемые для передачи информации протоколам или процессам на высшем и

низшем уровнях таким образом, что соответствующие протоколы на другом узле сети обеспечивают прием информации в заданном формате. Реализация протоколов поставщиками оборудования и программного обеспечения делает возможным такое взаимодействие. Набор протоколов OSI определяет те задачи, которые решаются на каждом из уровней. Протоколы двух нижних уровней (физического и канального) основываются на стандартах, определенных другими организациями (они просто получили от ISO новое наименование). Например, стандарт IEEE 802.3 получил наименование ISO 8803. Протоколы 3—7-го уровней были разработаны ISO. Подобная иерархия протоколов образует архитектуру ИС.

# ХАРАКТЕРИСТИКИ ИНФОРМАЦИОННЫХ СЕТЕЙ

Информационная сеть — это совокупность ЭВМ, объединенных средствами передачи данных. Средства передачи данных в ИС в общем случае состоят из следующих элементов: ЭВМ, каналов связи (спутниковых телефонных, волоконно-оптических и др.), коммутирующей аппаратуры и др. В зависимости от удаленности ЭВМ, входящих в ИС, сети условно подразделяют на локальные и глобальные. Локальная вычислительная сеть (ЛВС — *англ.* local area network, LAN) — это группа связанных друг с другом ЭВМ, расположенных на ограниченной территории, например в здании. Расстояния между ЭВМ в локальной сети могут достигать нескольких километров. Локальные сети развертываются обычно в рамках некоторой организации, поэтому их называют также корпоративными сетями. Если сеть выходит за пределы здания, то такая ИС называется глобальной (wide area network, WAN). Глобальная сеть может включать в себя другие глобальные сети, локальные сети и отдельные ЭВМ. Глобальные сети практически имеют те же возможности, что и локальные, но они расширяют область их действия.

Вся ИС представляется как множество значимых для пользователей компьютеров (хостов), подключенных к единой сети Internet, внутренняя структура которой неважна. Единая сеть, в свою очередь, состоит из небольших, так называемых физических, сетей и соединяющих их маршрутизаторов. Физические сети могут не являться носителями протокола IP. Это могут быть локальные сети, работающие под управлением некоторых аппаратно-зависимых протоколов, или коммуникационные системы произвольной физической природы. Все функции IP исполняют хосты и маршрутизаторы. Локальные сети или глобальные магистрали, либо их произвольные композиции могут рассматриваться как единая ИС.

Сети предназначены для выполнения многих задач, в том числе организации совместного использования файлов с целью повышения целостности информации или периферийных устройств, например принтеров, для уменьшения общих расходов на оборудование офиса, а также в целях обеспечения централизованно-

го хранения данных для облегчения их защиты, архивирования и т. д.

Основное предназначение ИС — это выполнение определенного набора услуг: доступ к файловым архивам, доступ к страницам веб-сайтов, обмен с использованием электронной почты, интерактивный обмен с помощью IP-телефонии, потоковое видео и т. д.

Качество выполнения основной задачи, как правило, определяется такими характеристиками ИС, как производительность, надежность, безопасность, отказоустойчивость, расширяемость, масштабируемость и др. Рассмотрим эти характеристики подробнее.

**Производительность ИС.** Производительность ИС зависит от времени реакции, скорости передачи данных, а также задержки передачи и ее вариаций.

*Время реакции* определяют как интервал времени между возникновением запроса пользователя к какой-либо сетевой службе и получением ответа на этот запрос (рис. 1.1). Обычно это время складывается из нескольких составляющих (рис. 1.2):  $t_1$  — время подготовки запроса на пользовательском компьютере,  $t_2$  — время передачи запроса между клиентом и сервером,  $t_3$  — время обработки запроса на сервере,  $t_4$  — время доставки ответа с сервера на клиентский компьютер,  $t_5$  — время обработки ответа на этом компьютере.

С точки зрения работы ИС здесь важнейшими составляющими являются  $t_2$  и  $t_4$ , т. е. задержки на передачу по информационной сети.

*Скорость передачи данных* — это объем данных, передаваемый в единицу времени. Используется также понятие пропускной способности ИС — это скорость передачи пакетов между узлами ИС через различные коммуникационные устройства. Скорость передачи измеряется в битах или в пакетах в секунду. Различают три скорости:

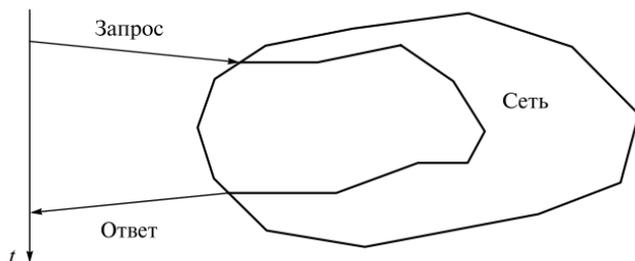


Рис. 1.1. Время реакции при работе в ИС

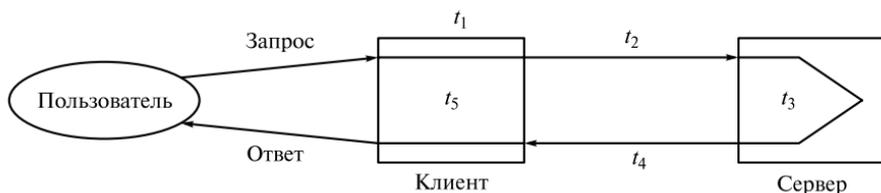


Рис. 1.2. Обмен «Пользователь — клиент — сервер»

1) средняя скорость — берется достаточно длительный промежуток времени (час, сутки) и общий объем переданных данных делится на это время;

2) мгновенная скорость — для усреднения выбирается очень маленький промежуток времени, например 10 мс или 1 с;

3) максимальная скорость — это максимальная мгновенная скорость, зафиксированная за время наблюдения.

При проектировании ИС чаще всего пользуются понятиями средней и максимальной скорости. Иногда оперируют и общей пропускной способностью, рассматриваемой как максимальное количество информации, передаваемой между всеми узлами ИС в единицу времени.

**Задержка передачи** — это время между моментом поступления данных на вход какого-то сетевого устройства или части ИС и моментом появления этих данных на выходе, т. е.  $t_3 = t_{\text{вых}} - t_{\text{вх}}$ . Отличием этого параметра от времени реакции является то, что в  $t_3$  никогда не включается время на обработку в конечных узлах ИС. Обычно рассматривают максимальную задержку и вариацию задержки.

**Надежность ИС.** Для обычных технических средств надежность ИС обычно оценивается такими показателями, как *среднее время наработки на отказ*, *вероятность отказа* и *интенсивность отказов*. Однако эти характеристики пригодны для оценки только простых устройств, которые могут находиться в двух состояниях: работоспособном состоянии и состоянии отказа.

Сложные системы, состоящие из многих элементов, могут иметь и промежуточные состояния. Поэтому для оценки надежности таких систем, как ИС, применяют следующий набор характеристик.

**Готовность** (или коэффициент готовности). Это доля времени, в течение которого система может быть использована. Для увеличения коэффициента готовности в состав системы включаются резервные элементы.

**Сохранность данных** (и их защита от искажений), а также *согласованность данных* (их непротиворечивость). Это требуется, например, когда несколько копий данных хранятся на разных файловых серверах.

*Вероятность доставки пакета узлу назначения без искажений*, а также вероятность потери пакета в ИС (например, из-за переполнения буфера маршрутизатора, отсутствия работоспособного пути в информационной сети, поражения пакета ошибками). Этот параметр может представляться в виде вероятности искажения отдельного бита передаваемых данных или отношения числа потерянных пакетов к общему числу передаваемых пакетов.

**Безопасность ИС.** Способность ИС защитить данные от несанкционированного доступа характеризует безопасность ИС. В этом случае подразумевают защиту компьютеров, защиту от взлома паролей и т. д.

**Отказоустойчивость ИС.** В ИС под отказоустойчивостью понимают способность системы скрывать от пользователя факт отказа отдельных элементов. Например, если копии данных хранятся на нескольких файловых серверах, пользователь может и не заметить факт отказа одного из них. В этом случае говорят о деградации системы, так как при отказе одного сервера увеличивается время доступа к базе данных из-за уменьшения степени распараллеливания запросов.

**Расширяемость ИС.** Возможность легко добавлять в ИС новые элементы (пользователей, компьютеры, приложения, службы), наращивать длину сегментов и заменять аппаратуру более мощной обуславливает расширяемость ИС.

**Масштабируемость ИС.** Данная характеристика означает, что в ИС возможно наращивание количества узлов и протяженности связей в очень широких пределах при условии, что производительность ИС не ухудшается.

Часто термины «расширяемость» и «масштабируемость» используются как синонимы, однако это не всегда верно. Если взять, к примеру, сеть Ethernet, то можно говорить о ее хорошей расширяемости, т. е. число компьютеров на сегменте можно увеличить до 100. Но при этом резко снижается производительность ИС, что и указывает на плохую масштабируемость.

**Прозрачность ИС.** Прозрачность ИС достигается в том случае, когда пользователю сеть представляется не как множество компьютеров, связанных сложной системой каналов, а как единая вычислительная машина с системой разделения времени. Прозрачность может достигаться на двух уровнях: пользователя и программиста. На уровне пользователя — для работы в ИС используются те же команды и привычные процедуры, что и для работы с локальными ресурсами; на уровне программиста — приложению для доступа к удаленным ресурсам требуются те же вызовы, что и для локальных ресурсов.

Информационная сеть должна «скрывать» различия операционных систем и компьютеров. Можно одинаково обращаться к

ресурсам на компьютере с операционными системами (ОС) Macintosh, Windows или Unix. От пользователя не требуется знание места расположения ресурса. Ресурсы должны свободно перемещаться с одного компьютера ИС на другой без изменения их имен.

**Поддержка разных видов трафика.** Одна из важнейших характеристик ИС — поддержка разных видов трафика, к которым помимо традиционного трафика передачи данных в ИС относятся и мультимедийный трафик, т. е. передаваемые в цифровой форме речь и изображения. Особенностью мультимедийного трафика являются жесткие требования, предъявляемые к синхронизации передаваемых данных. При запаздывании сообщений будут наблюдаться искажения. В настоящее время доля мультимедийного трафика неуклонно возрастает, что требует внесения изменений как в протоколы, так и в оборудование.

В ИС в общем случае могут сосуществовать два вида трафика: традиционный компьютерный (пульсирующий) и мультимедийный (синхронный), и необходимость их одновременной передачи является сложной задачей. Ближе всего к ее решению подошли информационные сети типа АТМ (*англ.* Asynchronous Transfer Mode — асинхронный режим передачи).

**Управляемость ИС.** Управляемость информационных сетей позволяет централизованно контролировать состояние основных элементов ИС, выявлять и устранять неисправности, выполнять анализ производительности и планировать развитие ИС. В этой области еще много нерешенных проблем. В основном существующие системы не управляют ИС, а лишь осуществляют контроль за ее работой.

**Совместимость**, или интегрируемость, означает, что ИС способна включать в себя разнообразное программное и аппаратное обеспечение, т. е. ИС могут быть неоднородными (гетерогенными). В них могут сосуществовать различные ОС, стеки протоколов, аппаратные средства и приложения от разных производителей. Основной путь обеспечения совместимости — это использование открытых стандартов и спецификаций.

Хотя важны все перечисленные характеристики, для ИС качество обслуживания чаще всего оценивают только двумя из них — производительностью и надежностью.