

现代交换技术



第1章 绪论

1.1 交换与通信网

1.2 交换原理

1.3 交换技术分类

1.4 交换技术演进

思考题

1.1 交换与通信网

1.1.1 交换机的引入

通信的目的是实现信息的传递。在通信系统中，信息是以电信号或光信号的形式传输的。一个通信系统至少应由终端和传输媒介组成，如图1.1所示。终端将含有信息的信息，如话音、图像、计算机数据等转换成可被传输媒介接受的信号形式，同时将来自传输媒介的信号还原成原始消息；传输媒介则把信号从一个地点传送至另一个地点。这样一种仅涉及两个终端的单向或交互通信方式称为点对点通信。



第1章 绪论

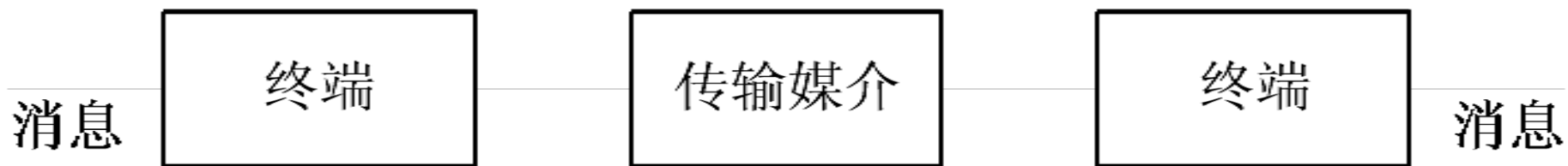


图1.1 点对点通信



当存在多个终端，且希望它们中的任何两个都可以进行点对点通信时，最直接的方法是把所有终端两两相连，如图1.2所示。这样的一种连接方式称为全互连式。全互连式连接存在下列一些缺点：

- (1) 当存在 N 个终端时，需用 $N(N-1)/2$ 条线对，线对数量以终端数的平方增加。
- (2) 当这些终端分别位于相距很远的两地时，两地间需要大量的长线路。
- (3) 每个终端都有 $N-1$ 对线与其它终端相接，因而每个终端需要 $N-1$ 个线路接口。



(4) 增加第 $N+1$ 个终端时，必须增设 N 对线路。当 N 较大时，无法实用化。

(5) 由于每个用户处的出线过多，因此维护工作量较大。

如果在用户分布密集的中心安装一个设备——交换机 (switch，也叫交换节点)，每个用户的终端设备经各自的专用线路(叫用户线)连接到交换机上，如图1.3所示，就可以克服全互连式连接存在的问题。



第1章 绪论

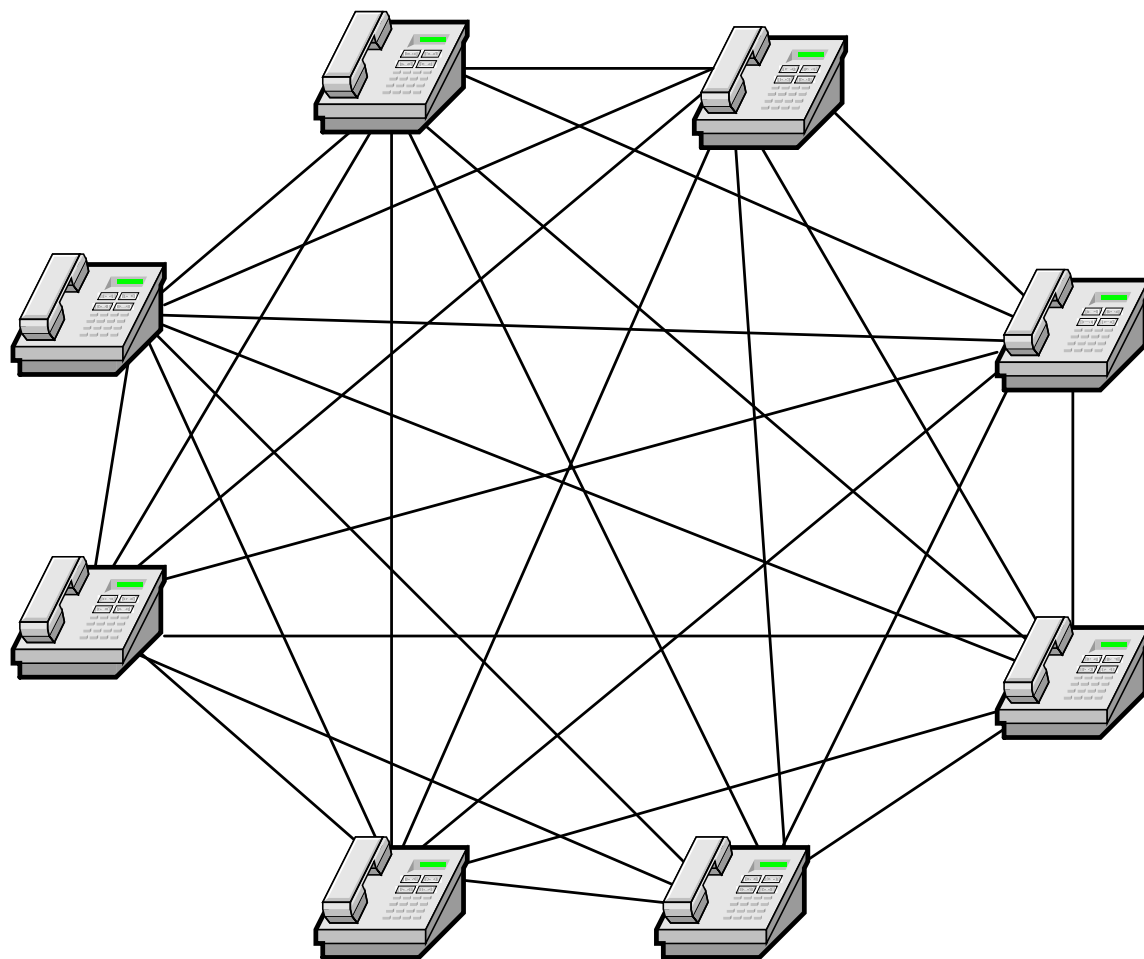


图1.2 多用户全互连式连接

第1章 绪论

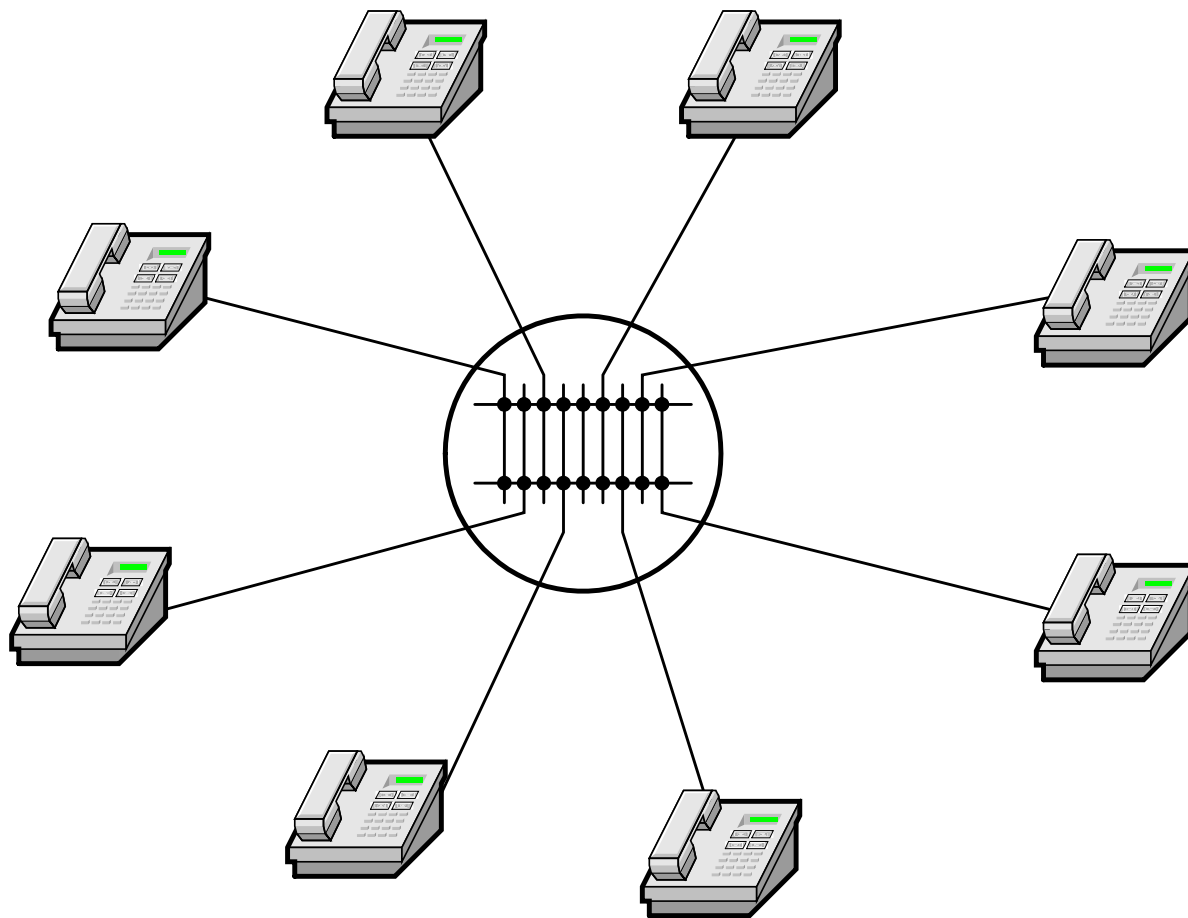


图1.3 用户通过交换机连接

图1.3中，当任意两个用户之间要交换信息时，交换机将这两个用户的通信线路连通。用户通信完毕，两个用户间的连线就断开。有了交换设备， N 个用户只需要 N 对线就可以满足要求，线路的投资费用大大降低，用户线的维护也变得简单容易。尽管这样增加了交换设备的费用，但它的利用率很高，相比之下，总的投资费用将下降。



1.1.2 通信网

最简单的通信网(communication network) 仅由一台交换机组成，如图1.4所示。每一台通信终端通过一条专门的用户环线(或简称用户线)与交换机中的相应接口连接。交换机能在任意选定的两条用户线之间建立和释放一条通信链路。



第1章 绪论

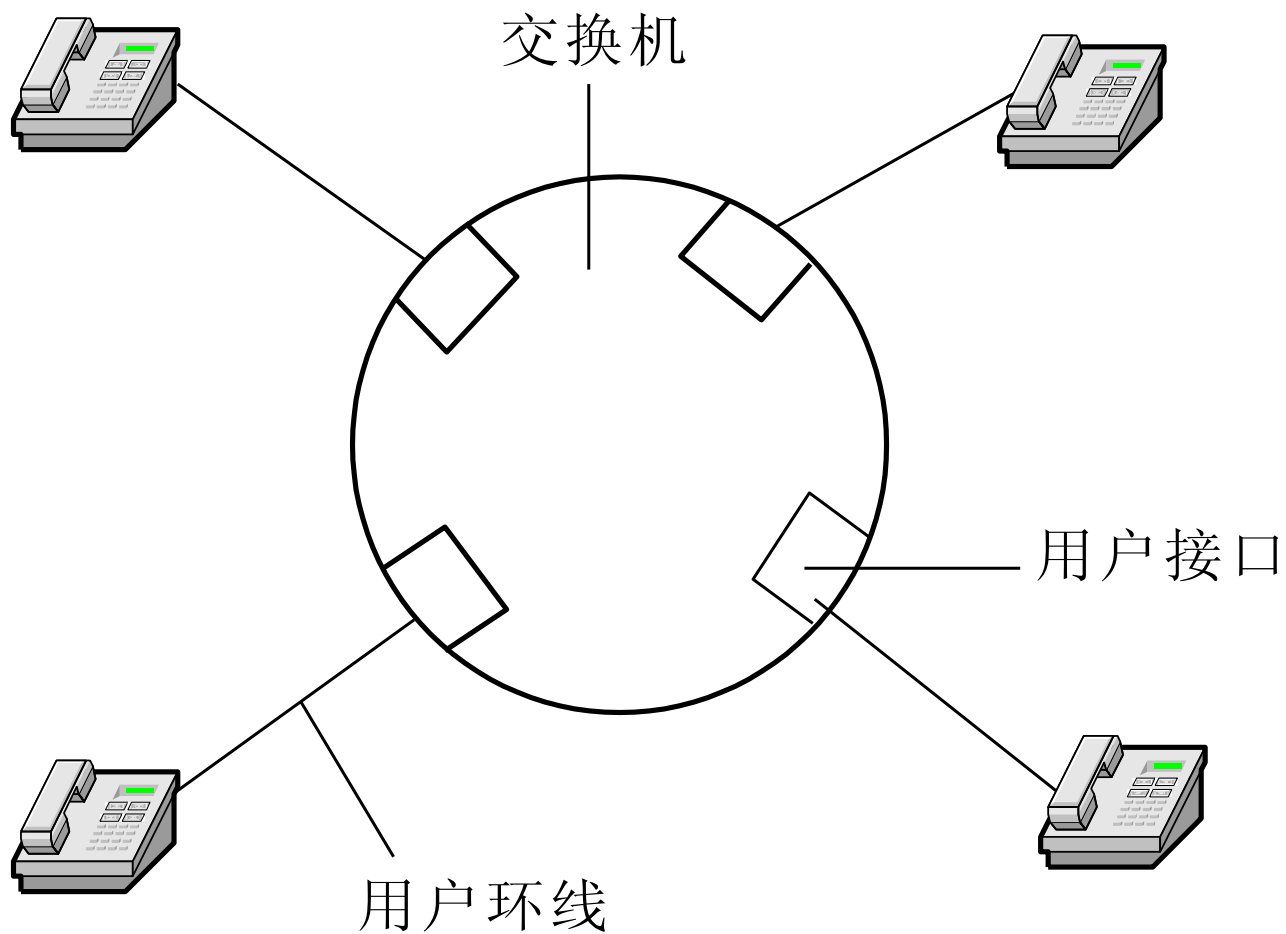


图1.4 由一台交换机组成的通信网

第1章 绪 论

当用户数量很多且分布的区域较广时，一台交换机不能覆盖所有用户，这时就需要设置多台交换机组成如图1.5所示的通信网。网中直接连接电话机或终端的交换机称为本地交换机或市话交换机，相应的交换局称为端局或市话局；仅与各交换机连接的交换机称为汇接交换机。当通信距离很远，通信网覆盖多个省市乃至全国范围时，汇接交换机常称为长途交换机。交换机之间的线路称为中继线。显然，长途交换设备仅涉及交换机之间的通信，而市内交换设备既涉及到交换设备之间的通信又涉及到交换设备与终端的通信。



第1章 绪论

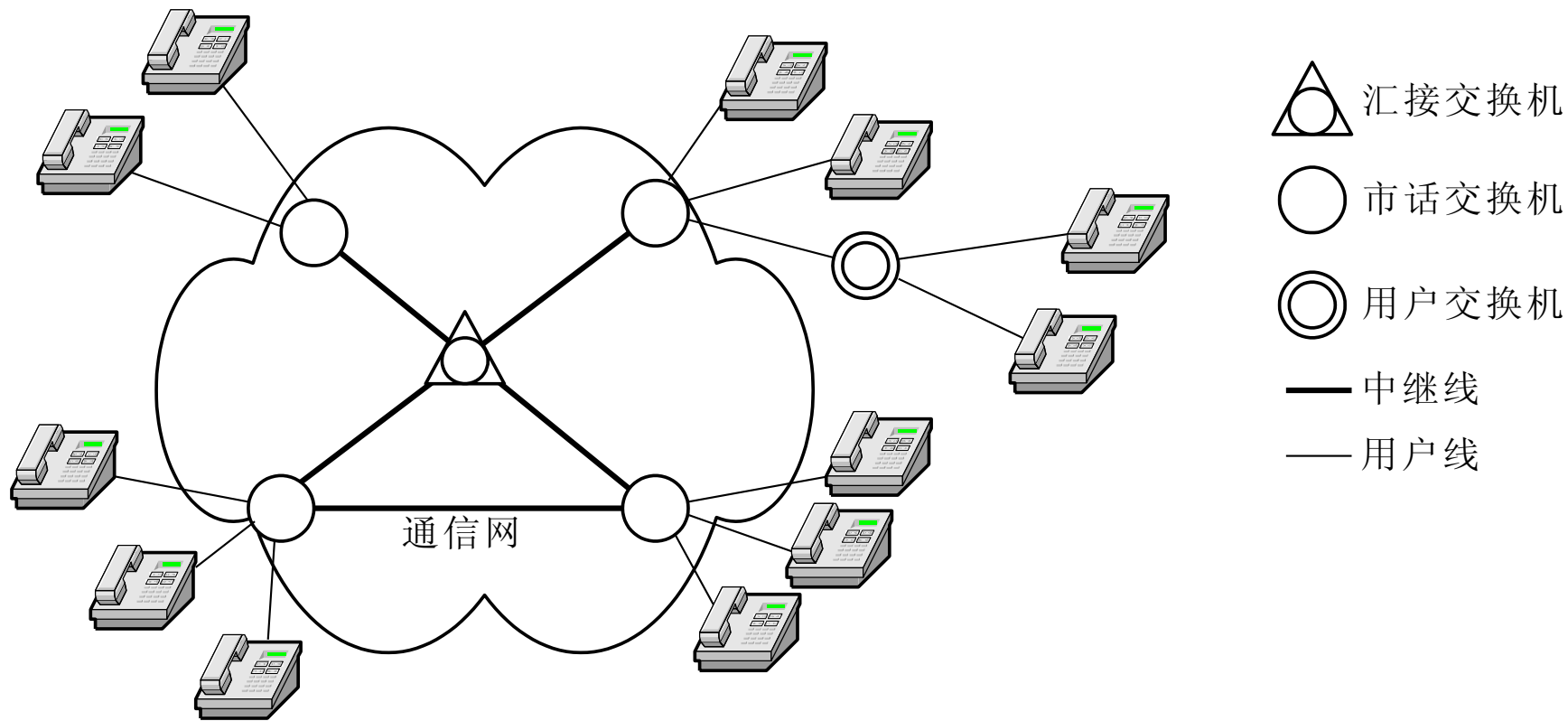


图1.5 多台交换机组成的通信网

图1.5中的用户交换机PBX(Private Branch Exchange)常用于一个集团的内部。PBX与市话交换机之间的中继线数目通常远比PBX所连接的用户线数目少，因此当集团中的电话主要用于内部通信时，采用PBX要比将所有话机都连到市话交换机上更经济。当PBX具有自动交换能力时，又称为PABX(Private Automatic Branch Exchange)。公共电话网只负责接续到PBX，进一步从PBX到电话机的接续常需要由话务员转接，或采用特殊的直接接入设备(DID)。

由此可见，交换机在通信网中起着非常重要的作用，它就像公路中的立交桥，可以使路上的车辆(信息)安全、快捷地通往任何一个道口(交换机输出端口)。



1.1.3 面向连接网络和无连接网络

信息在通信网中由发端至终端逐节点传递时，网络有两种工作方式：面向连接CO(Connection Oriented)和无连接CL(Connectionless)。某种程度上，这两种工作方式可以比作铁路和公路。铁路是面向连接的，例如从北京到广州，只要铁路信号往沿路各站一送，道岔一合(类似交换的概念)，火车就可以从北京直达广州，一路畅通，保证运输质量。而公路则不然，卡车从北京到广州一路要经过许多岔路口，在每个岔路口都要进行选路，遇见道路拥塞时还要考虑如何绕道走，要是拥塞情况较多时就会影响运输，或者延误时间，或者货物受到影响，质量得不到保证。这就是无连接的情况。



1. 面向连接网络

图1.6给出了面向连接网络的传送原理。

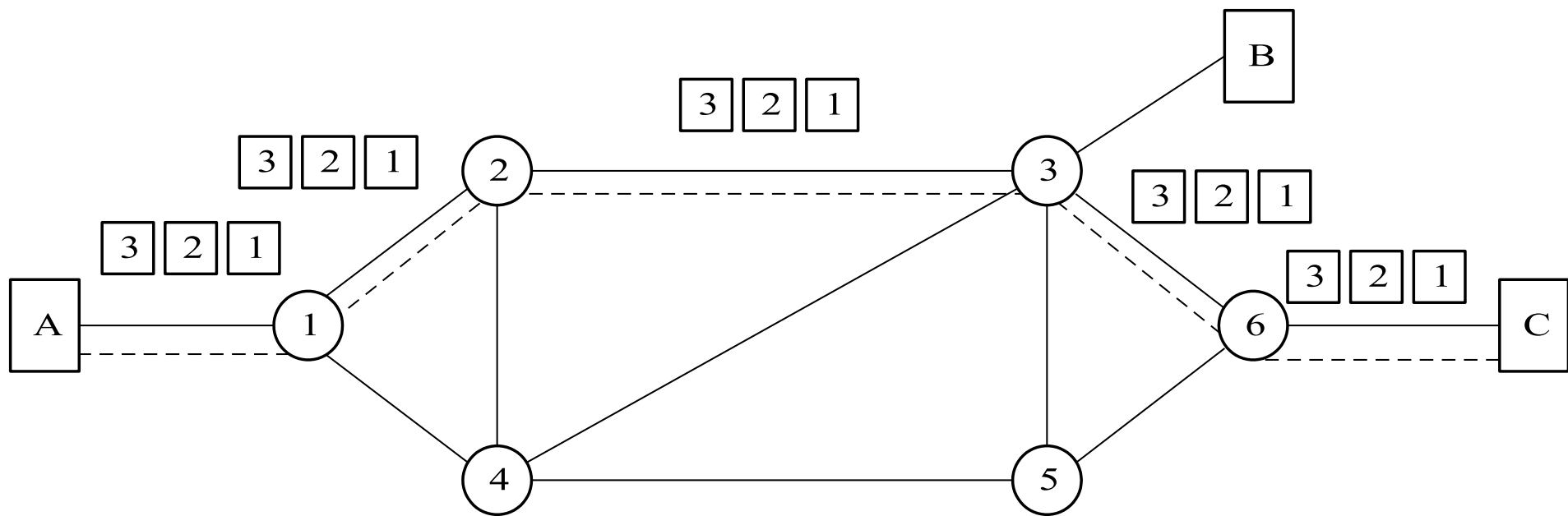


图1.6 面向连接网络的传送原理

第1章 绪 论

假定A站有三个数据块要送到C站，它首先发送一个“呼叫请求”消息到节点1，要求到C站的连接。节点1通过路由表确定将该信息发送到节点2，节点2又决定将该信息发送到节点3，节点3又决定将该消息发送到节点6，节点6最终将“呼叫请求”消息投送到C站。如果C站准备接受这些数据块的话，它就发出一个“呼叫接受”消息到节点6，这个消息通过节点3、2和节点1送回到A站。现在，A站和C站之间可以经由这条建立的连接(图中虚线所示)来交换数据块了。此后的每个数据块都经过这个连接来传送，不再需要选择路由。因此，来自A站的每个数据块，穿过节点1、2、3、6，而来自C站的每个数据块穿过节点6、3、2、1。数据传送结束后，由任意一端用一个“清除请求”消息来终止这一连接。

第1章 绪 论

面向连接网络建立的连接有两种：实连接和虚连接。用户通信时，如果建立的连接由一条接一条的专用电路资源连接而成，无论是否有用户信息传递，这条专用连接始终存在，且每一段占用恒定的电路资源，那么这个连接就叫实连接；如果电路的分配是随机的，用户有信息传送时才占用电路资源(带宽根据需要分配)，无信息传送就不占用电路资源，对用户的识别改用标志，即一条连接使用相同标志统计占用的电路资源，那么这样一段又一段串接起来的标志连接叫虚连接。显然，实连接的电路资源利用率低，而虚连接的电路资源利用率高。



2. 无连接网络

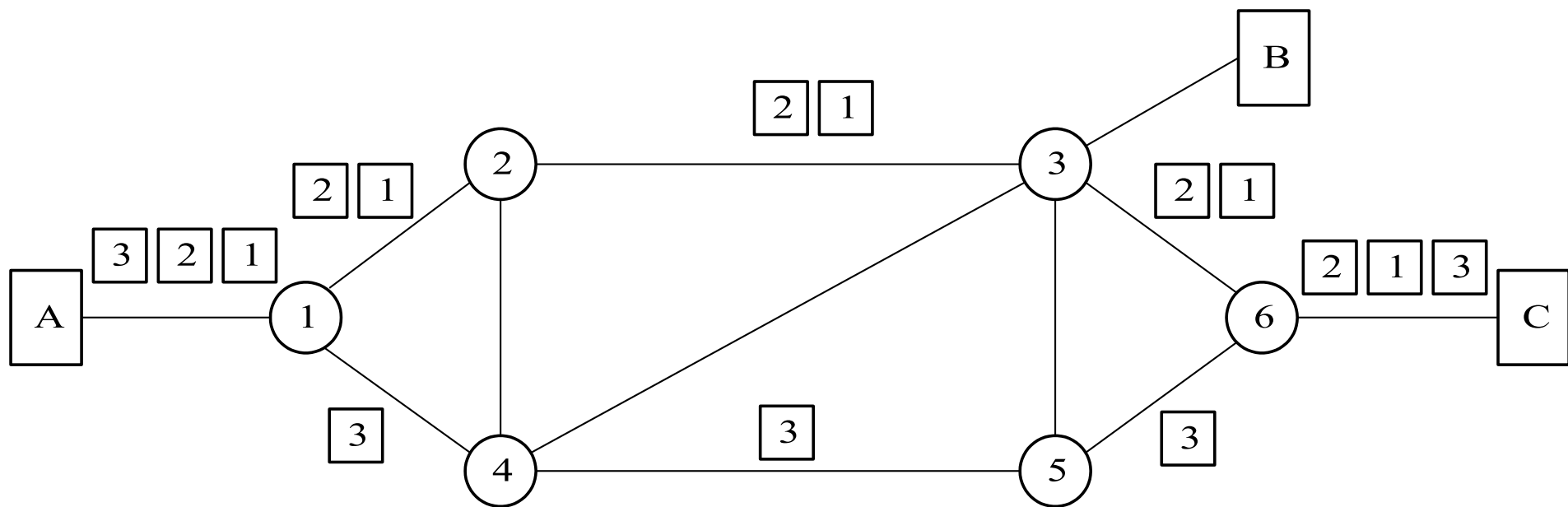


图1.7 无连接网络的信息传送过程

第1章 绪 论

假定A站有三个数据块要送到C站，它将数据块1、2、3一连串地发给节点1。节点1需对每个数据块做出路由选择的决定。在数据块1到来后，节点1得知节点2的队列短于节点4，于是它将数据块1排入到节点2的队列。数据块2也是如此。但是对于数据块3，节点1发现现在到节点4的队列最短，因此将数据块3排在去节点4的队列中。在以后通往C站路由的各节点上，都作类似的处理。这样，每个路由虽都有同样的目的地址，但并不遵循同一路由。另外，数据块3先于数据块2到达节点6是完全有可能的，因此，这些数据块有可能以一种不同于它们发送时的顺序投送到C站，这就需要C站来重新排列它们，以恢复它们原来的顺序。



面向连接网络和无连接网络的主要区别如下：

(1) 面向连接网络用户的通信总要经过建立连接、信息传送、释放连接三个阶段；而无连接网络不为用户的通信过程建立和拆除连接。

(2) 面向连接网络中的每一个节点为每一个呼叫选路，节点中需要有维持连接的状态表；而无连接网络中的每一个节点为每一个传送的信息选路，节点中不需要维持连接的状态表。

(3) 用户信息较长时，采用面向连接的通信方式的效率高；反之，使用无连接的方式要好一些。



1.1.4 网络分层模型

1. 开放系统互连参考模型

为了使各种计算机在世界范围内互连成网，国际标准化组织ISO(International Standards Organization)在1978年提出了一套非常重要的标准框架，即开放系统互连参考模型OSI/RM(Open System Interconnection Reference Model)，简称OSI。这里，“开放”的意思是：只要遵循OSI标准，一个系统就可以和位于世界上任何地方的、也遵循同一标准的其它任何通信系统进行通信。



第1章 绪 论

现在，OSI模型已经成为通信界，尤其是网络界共同遵守的标准。许多主要的协议(如TCP/IP)和网络(如X.25、FR、ATM、Internet等)均有相应的参考模型标准，这大大提高了导入新技术的方便性及对各种通信网(电话网、X.25网、局域网及Internet等)的适应性。为了能够在以后各章讨论问题清晰，本书将有关OSI内容放在第1章中介绍。

OSI的参考模型具有七个层次，因此也将它称为分层模型，见图1.8。



第1章 绪论

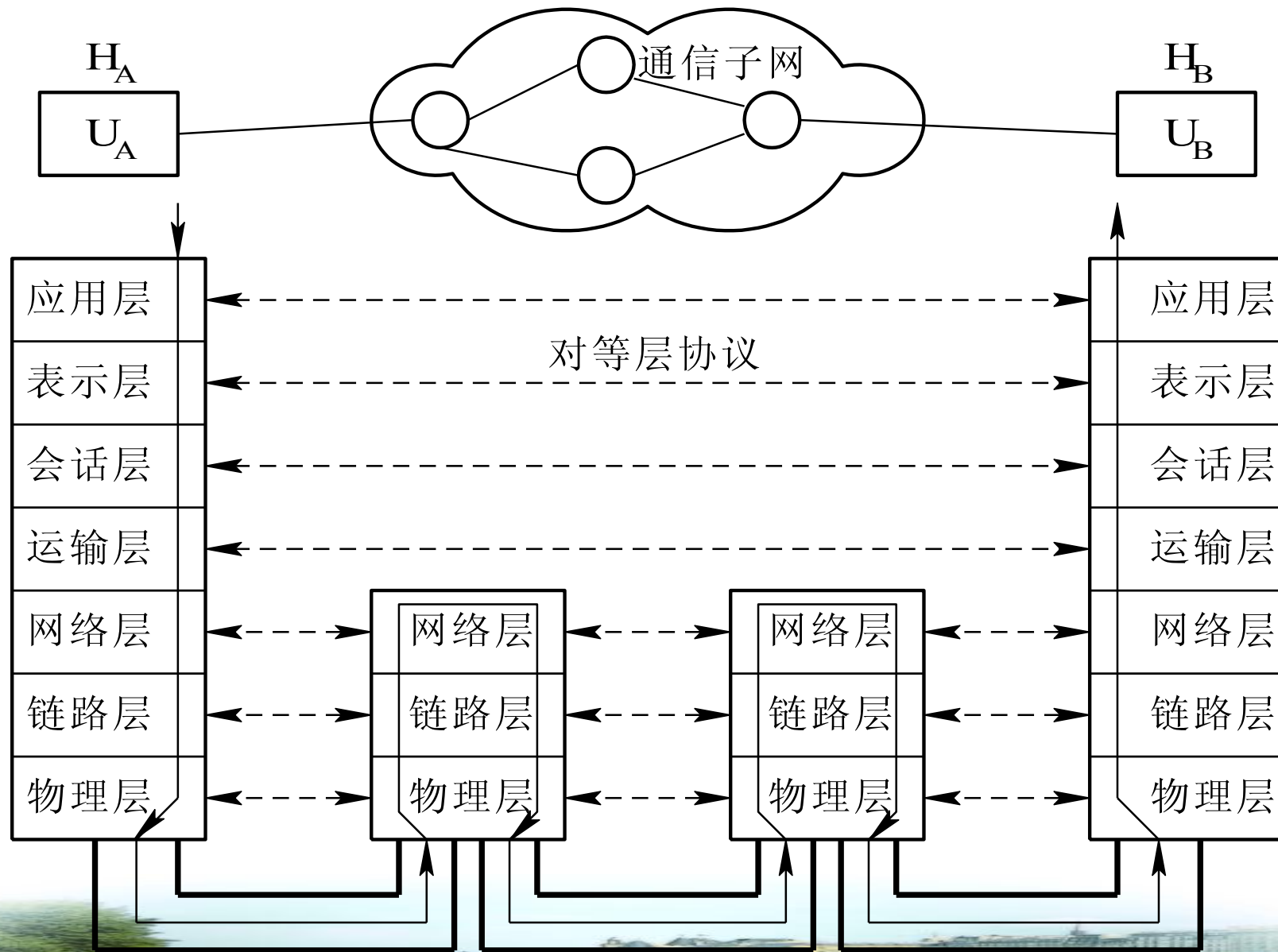


图1.8 OSI的分层模型

各层的主要功能如下：

1) 物理层

物理层与通信媒介直接相连，其功能是提供用于建立、保持和断开物理接口的条件，以保证比特流的透明传输。物理层协议主要规定了计算机或终端与通信设备之间的接口标准，它包含接口的物理、电气、功能与规程四个方面的特性。

物理层传送的基本单位是比特，又称位。



2) 数据链路层

数据链路层是OSI的第二层，简称链路层。它主要负责数据链路的建立、维持和拆除，并在两个相邻节点的线路上，将网络层送下来的信息(分组)组成帧传送，每一帧包括一定数量的数据和一些必要的控制信息。为了保证数据帧的可靠传输，数据链路层应具有差错控制功能。在传送数据时，若接收节点检测到所接收数据中有差错，就要求发端重发，直至该帧被正确接收。同时，数据链路层还应具备简单的流量控制功能，以防止接收缓存器容量不够而产生溢出。这样，链路层就把一条有可能出错的实际物理链路转变成让网络层向下看起来好像是一条不出差错的链路，实现了在不可靠的物理链路上进行可靠的数据传输的功能。



第1章 绪 论

数据链路层传输的基本单位是帧。常用的数据链路层协议是ISO推荐使用的高级数据链路控制**HDLC(High-level Data Link Control)**规程。它是面向比特的传输控制规程。



3) 网络层

网络层又叫通信子网层，主要用于控制子网的运行。网络层将从高层传送下来的数据打包，再进行必要的路由选择、差错控制、流量控制以及顺序检测等处理，使发端用户的运输层所传下来的数据能够准确无误地按照地址传送到目的用户的运输层。

网络层的主要任务是路由选择、数据包的分段和重组以及拥塞控制等。



第1章 绪论

值得指出的是：根据网络类型的不同，网络层可以不存在。例如对于由广播信道所构成的通信子网，由于不存在路由选择问题，故一般不需要网络层。对于一个通信子网来说，第三层即网络层是它的最高层。

网络层所传送的信息的基本单位叫做分组或者包。



4) 运输层

运输层位于开放系统互连模型的第四层，它是衔接通信子网(由物理层、数据链路层及网络层构成)和资源子网(包含会话层、表示层及应用层)的桥梁，起到了承上启下的作用。运输层对高层用户起到了屏蔽作用，使高层用户的同等实体在交互过程中不会受到下层数据通信技术细节的影响。

运输层的任务就是要根据子网的特性最佳地利用网络资源，并根据会话实体的要求，以最低费用和最高可靠性在两个端用户(即发端用户和收端用户)的会话层之间建立一条运输连接，以透明方式传送报文，或者说，运输层为会话层提供了一个可靠的端到端的服务。运输层只能存在于端系统用户中，又称端—端层。

第1章 绪 论

运输层的主要功能是建立、拆除和管理端系统的会话连接。这种连接是会话实体之间的一种逻辑信道。OSI规定运输层提供0~4共五类协议，以适应不同的网络特性，满足会话层提出的服务质量要求。0类是最简单类，适用于可靠型的网络，其协议不存在排序、流控和错误检测等方面的处理，只是让信息直接穿过；4类的服务质量最高。为了保证服务质量，运输层对数据进行分段/合段或者分割/拼接等处理，组成运输层报文，并选择合适的服务等级，以适应高低层通信之间的差异；类似地，为了适应底层提供的不同服务质量，有时要进行复用/解复用，合路/分路等处理，同时，也要进行端到端的流量控制。

运输层传送的信息的基本单位是分段报文。

5) 会话层

会话层又称会晤层，其任务就是提供一种有效的方法，以组织和协商两个表示层进程之间的会话，并管理它们之间的数据交换。会话是指两个用户(表示层进程)之间的连接。会话可允许一个用户进入远程分时系统，或在两个用户计算机之间传送一个文件。会话层的主要功能是依据在应用进程之间约定的原则，按照正确的顺序发 / 收数据，进行各种形态的对话，其中包括对对方是否有权参加会话的身份核实，确定由哪一方支付通信费用，并且在选择功能方面取得一致，如是选全双工还是选半双工通信等等。另外，在会话建立后，需要对进程间的对话进行管理和控制，如权标的发放(只有持有权标的一方才可以执行某种关键的操作)和同步的管理(当会话由于某种原因中止时，在数据中插入检验点，会话恢复后仅重传最后一个检验点后的数据)。

第1章 绪 论

在有些计算机网络中，会话层与运输层是合二为一的，其总的功能都是为用户建立一条逻辑信道。

会话层传送的信息的基本单位也叫报文，但它与运输层的报文有本质的不同。



6) 表示层

表示层主要解决用户信息的语法表示问题，它向上对应用层提供服务。表示层对信息格式和编码起转换作用，例如将ASCII码转换成EBCDIC码等，同时将欲交换的数据从用户的抽象语法转换成适合OSI系统内部使用的传送语法。表示层还提供信息压缩的功能，如采用哈夫曼编码对文本进行压缩。此外，对传送的信息进行加密与解密也是表示层的任务之一。

表示层传送的信息也是以报文为单位的。



7) 应用层

应用层是OSI体系结构的最高层，它直接面向用户，以满足用户不同的需求，是惟一向应用程序直接提供服务的层。其功能包括：提供网络完整透明性，用户资源的配置，应用管理和系统管理，分布式信息服务及分布式数据库管理等。

应用层传送的是用户数据报文。

上述层次中1~3层的功能属于通信子网的功能，这些功能的实现均体现在交换机内。按照分层模型设计交换机，可以将设备的复杂功能简单化、层次化，使每一个层次在信息交换中都担当一个独立的角色，具有特定的功能。




2. 分层结构中使用的术语

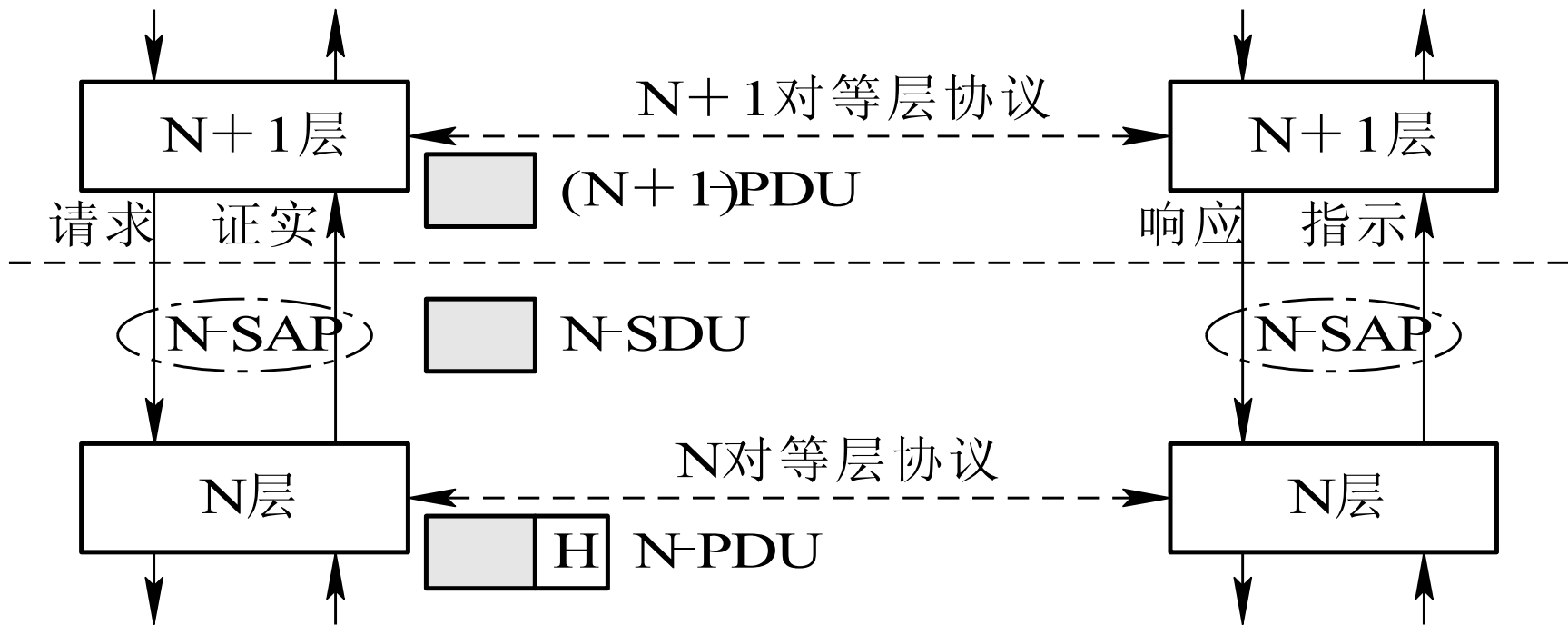
在分层模型结构中，相邻层间低层为高层提供服务。服务通过定义的相邻层间服务接入点SAP(Service Access Point)，用一组确定的服务原语实现。OSI定义了请求、指示、响应、证实四种类型的原语。“请求”原语请求下层服务者提供服务，促成某项工作，如建立连接。服务提供者收到这一请求后，通知接收方对等服务提供者(对等层)，收方服务提供者用“指示”原语通知上层用户，有人想要与它建立连接。如果收方同意建立连接，可以向自己的服务提供者回发一个“响应”原语，收方将此信息传到发方，发方服务提供者再以“证实”原语通知当初曾发出“连接请求”原语的用户，连接任务完成。

在一次服务中，如果发方提出请求，收方给以确认(使用四类原语)，这类服务称为有证实的服务，它可以保证信息的可靠传送；如果对服务结果不确认(只使用请求和指示原语)，则称为非证实的服务，这类服务不能保证信息的可靠传送。

第N+1层递交给第N层的数据单元叫第N层业务数据单元N-SDU(N-Service Data Unit)，第N层加上一些必要的控制信息H(Header)后，就构成第N层的协议数据单元N-PDU(N-Protocol Data Unit)，见图1.9。其中，SDU是要通过网络传到远端对等层的业务信息，H字段帮助对等层实体执行相应的对等层协议，对等层间通信使用对等层协议。



第1章 绪论



PDU: 协议数据单元; SDU: 业务数据单元; SAP: 业务接

图1.9 OSI服务的概念

1.1.5 信息在网络中的传送方式


信息在网络中的传送方式称为**传送模式**，包括信息的**复用**、**传输**和**交换**方式。复用方式和传输方式对交换方式有很大影响，因此本节介绍同步传送模式STM(Synchronous Transfer Mode)和异步传送模式ATM(Asynchronous Transfer Mode)。



1. 同步传送模式

STM采用同步时分复用STDM(Synchronous Time Division Multiplexing)、传输和同步时分交换STDS(Synchronous Time Division Switch)技术。所谓时分复用，就是采用时间分割的方法，把一条高速数字信道分成若干条低速数字信道，构成同时传输多个低速信号的信道。

同步时分复用是指将时间划分为基本时间单位，一帧时长是固定的(常见的为 $125\ \mu\text{s}$)。每帧分成若干个时隙，并按顺序编号，所有帧中编号相同的时隙成为一个子信道，该信道是恒定速率的，具有周期出现的特点。一个子信道传递一路信息。这种信道也称为位置化信道，因为根据它在时间轴上的位置，就可以知道是第几路信道。



第1章 绪 论

对同步时分复用信号的交换实际上是对信息所在位置的交换，即时隙的内容在时间轴上的移动，称为同步时分交换。

STM的优点是一旦建立连接，该连接的服务质量便不会受网络中其它用户的影响。但是为了保证连接所需带宽，必须按信息最大速率分配信道资源。这一点对恒定比特率业务没有影响，但对可变比特率业务会有影响，它会降低信道利用率。



2. 异步传送模式

ATM采用异步时分复用ATDM(Asynchronous Time Division Multiplexing)、传输和异步时分交换ATDS(Asynchronous Time Division Switch)技术。

把需要传送的信息分成很多小段，称为分组。每个分组前附加标志码，说明分组要去哪个输出端。来自同一用户的信息划分成的分组的标志码相同。各个分组在复接时可以使用任何时隙(子信道)。这样，把一个信道划分成若干子信道，用标志码标识的信道称为标志化信道。这时，一个信道中的信息与它在时间轴上的位置(即时隙)没有必然联系。将这样的子信道合成为一个信道的技术，称为**异步时分复用(也叫统计时分复用)**。

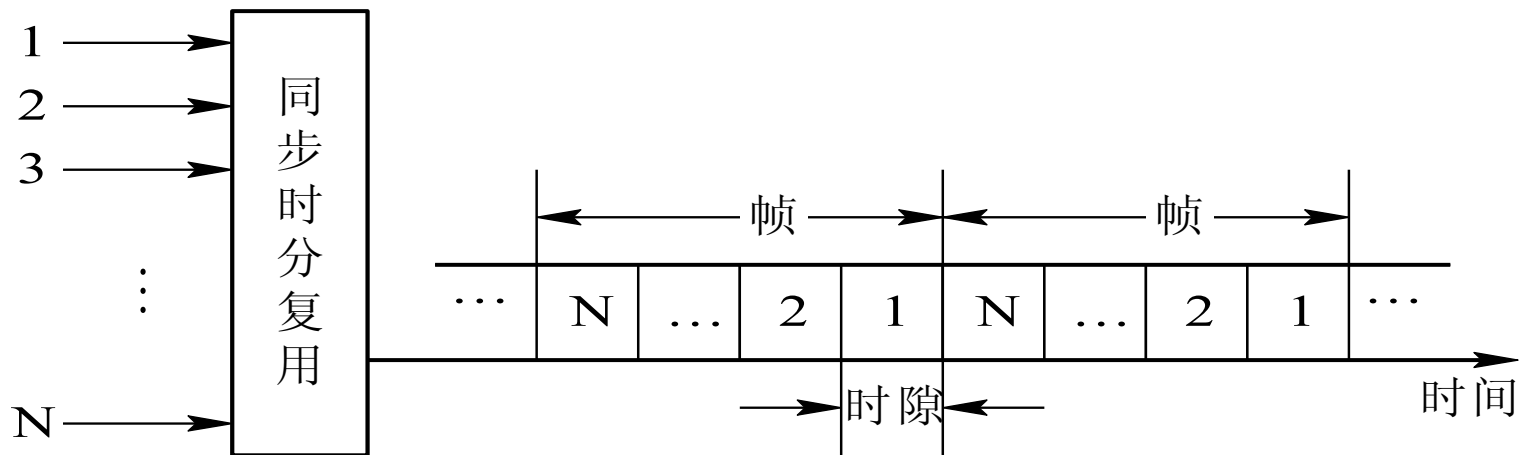
对异步时分复用信号的交换实际上就是按照每个分组信息前的路由标记，将其分发到出线，这种交换方式叫异步时分交换(也叫存储转发交换)。

异步时分复用的优点是能够统计地、动态地占用信道资源。在连接建立并给连接分配带宽时，ATM与输入业务流速率无关，可以不按最大信息速率分配带宽。在相等的信道资源前提下，ATM比STM接纳的连接数更多。

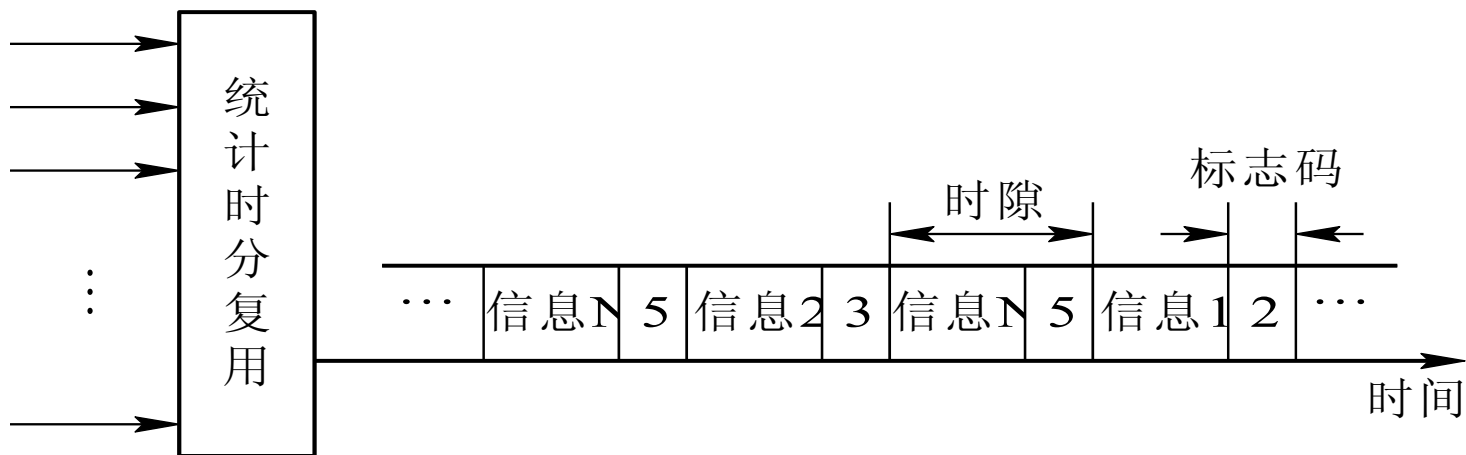
图1.10对两种时分复用信号进行了简单的比较。



第1章 绪论



(a)



(b)

图1.10 两种复用方式比较

(a) 同步时分复用；(b) 异步时分复用



1.2 交换原理

1.2.1 交换节点的功能结构

通信网由终端、交换机和传输系统组成。终端只是信息产生的源点或接收信息的目的点。传输系统负责传送信息。网络中的复杂控制只能由交换机来完成，因此，交换机的性能决定了网络的性能。



无论何种交换机，在通信网中均完成如下功能：

- (1) **接入功能**：完成用户业务的集中和接入，通常由各类用户接口和中继接口完成。
- (2) **交换功能**：指信息从通信设备的一个端口进入，从另一个端口输出。这一功能通常由交换模块或交换网络完成。
- (3) **信令功能**：负责呼叫控制及连接的建立、监视、释放等。



(4) **其它控制功能**：包括路由信息的更新和维护、计费、话务统计、维护管理等。

虽然具体交换技术的实现受到业务网络实现方式的限制，但实现交换的基本成分均包含路由表、转发表(可选)、交换模块(分为空分型、共享存储器型和总线型等)和相关控制信令(路由信息交换信令、转发表的建立控制信令、局间端到端的连接建立信令等)，见图1.11。



第1章 绪论

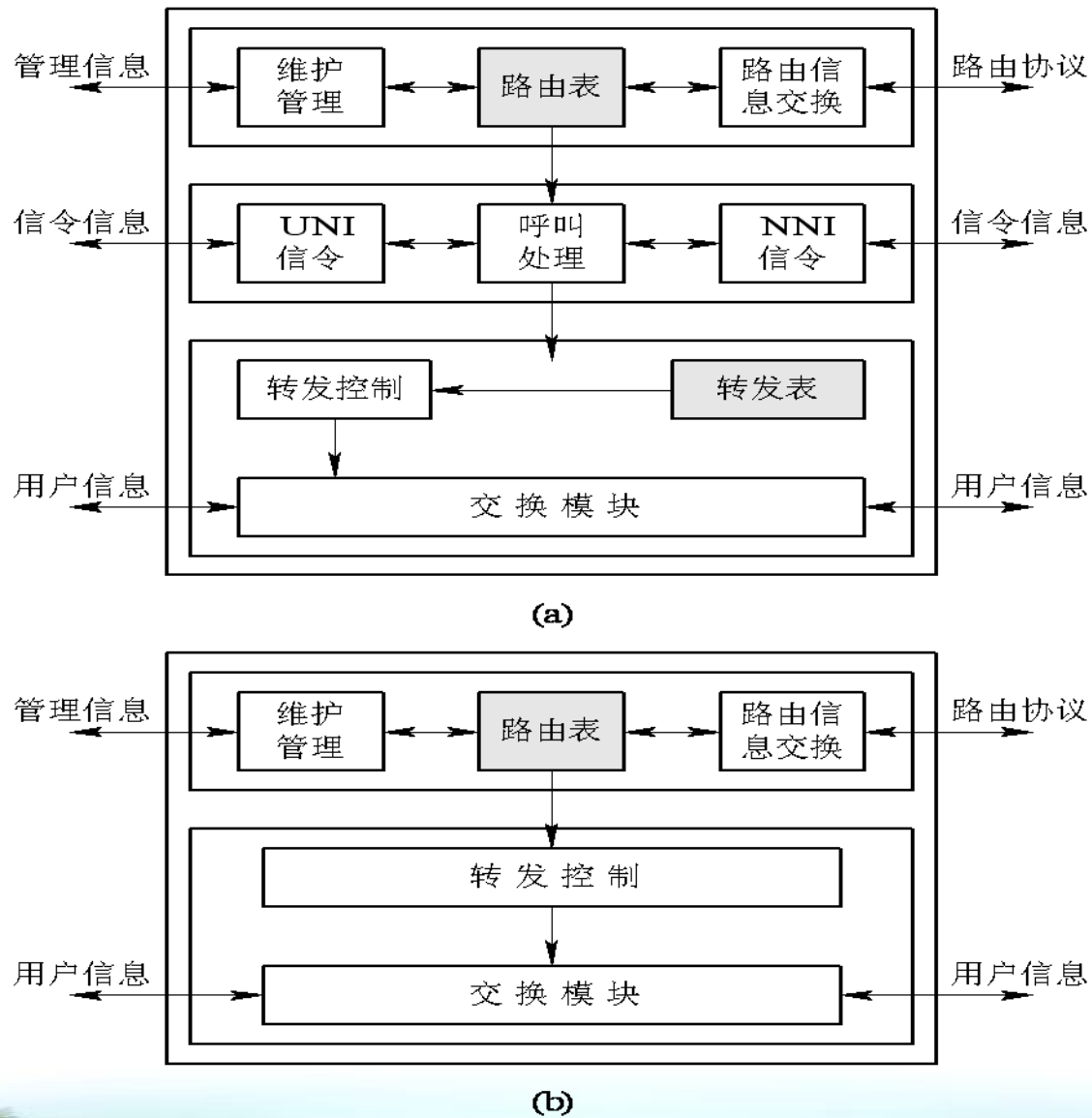



图 1.11 交换节点的功能结构
(a) 面向连接; (b) 无连接

1. 路由表

终端、交换机和传输线之间的连接形式多种多样。如果用线表示传输线，用点表示终端或交换机，那么用点和线的组合就可以描述网络的拓扑结构。线型、星型、网型、环型、树型是几种基本的网络拓扑结构，复杂的网络结构是这几种基本结构的组合。

交换机要正确完成指定的交换功能，基本的前提是网络中的每一个交换节点都必须拥有当前网络的拓扑结构信息。为便于叙述，我们将交换节点中存储的到网络中每一个目的地的路由信息的数据结构称为“路由表”，交换节点依靠它进行寻址选路。



第1章 绪 论

路由表可以静态设置，如电话网中的路由表和ITU ATM网中的路由表是以局数据的形式人工输入的，输入前已根据网络拓扑结构考虑了冗余路由。这种情况下，交换节点之间可以不使用路由协议。路由表也可以动态创建，如无连接的Internet就是根据路由协议来交换网络拓扑信息，创建转发的路由表的。



2. 转发表

在无连接网络中，由于每一个分组都携带目的地网络地址，交换节点只需要根据路由表就可以完成从入端口到出端口的交换。

在面向连接网络中，连接建立阶段传递的控制数据中包含目的地址，沿途交换节点以目的地址为关键字，查找路由表，就可以确定到指定目的地相应入端口的信息应该交换到哪一个出端口，交换节点同时将该信息保存到一张数据表中，以维持网络内的连接状态，这张表就是转发表。在用户数据传输阶段，用户数据无需携带目的地地址，交换节点将根据已经建立好的转发表实现快速的数据交换。



实际上，转发表记录的是一个交换节点当前维持的连接在该交换节点实现交换时要走的内部通道信息。根据交换实现技术的不同，转发表的内容和物理形式也不相同。

在广域网中，对于CL型的网络，由于每个节点无需创建并维持连接状态，其网络节点只需一张路由表就可以完成转发任务；而CO型的网络则需要两张表：路由表和转发表。其中，路由表建立的是交换机之间的连接，而转发表控制交换机内部数据的高速转发。转发表通过管理系统或信令协议来创建。通过管理系统创建的转发表，一般提供永久或半永久连接；而通过信令协议创建的转发表，支持动态交换型连接。



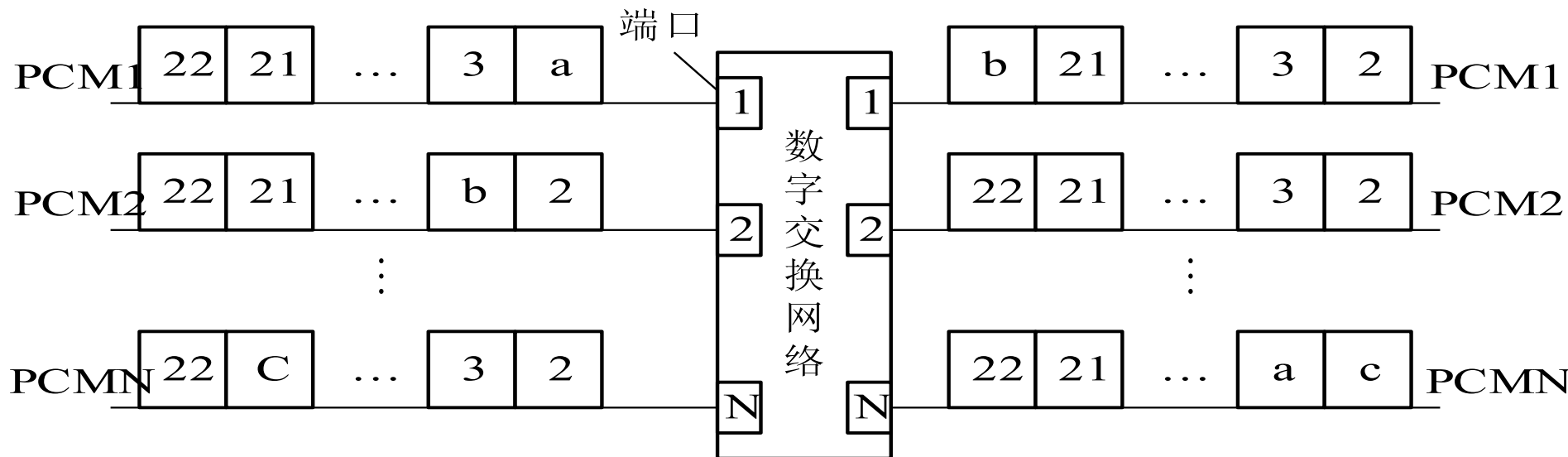
3. 交换模块

交换功能是交换系统最重要的基本功能之一。完成这一基本功能的部件是交换模块，也叫交换网络(**switching network**)。

如果不考虑交换网络的内部结构，那么交换网络对外的特性是一组入线和一组出线。**N**条入线和**N**条出线组成的交换网络用 **$N \times N$** 表示。对于数字交换网络，每一条入线和出线均是时分复用线。交换网络的作用是将任意入线的信息交换到指定出线去。交换网络的工作原理见图1.12。



第1章 绪论



转发表

输入端口号	时隙/标记	输出端口号	时隙/标记
1	2	N	3
2	3	1	22
⋮	⋮	⋮	⋮
N	21	N	2

图1.12 交换网络的工作原理

1.2.2 基本交换单元

交换网络由基本交换单元构成。基本交换单元有如下几种：空分阵列、共享总线型交换单元和共享存储器型交换单元。

1. 空分阵列

1) 一般结构

空分阵列由一组入线、一组出线以及连接入线和出线的开关(交叉点)组成，因此也叫开关阵列，见图1.13。

在交换单元内部，要建立任意入线和任意出线之间的连接，只需通过控制开关的闭合就可实现，因此控制简单，容易实现。



第1章 绪论

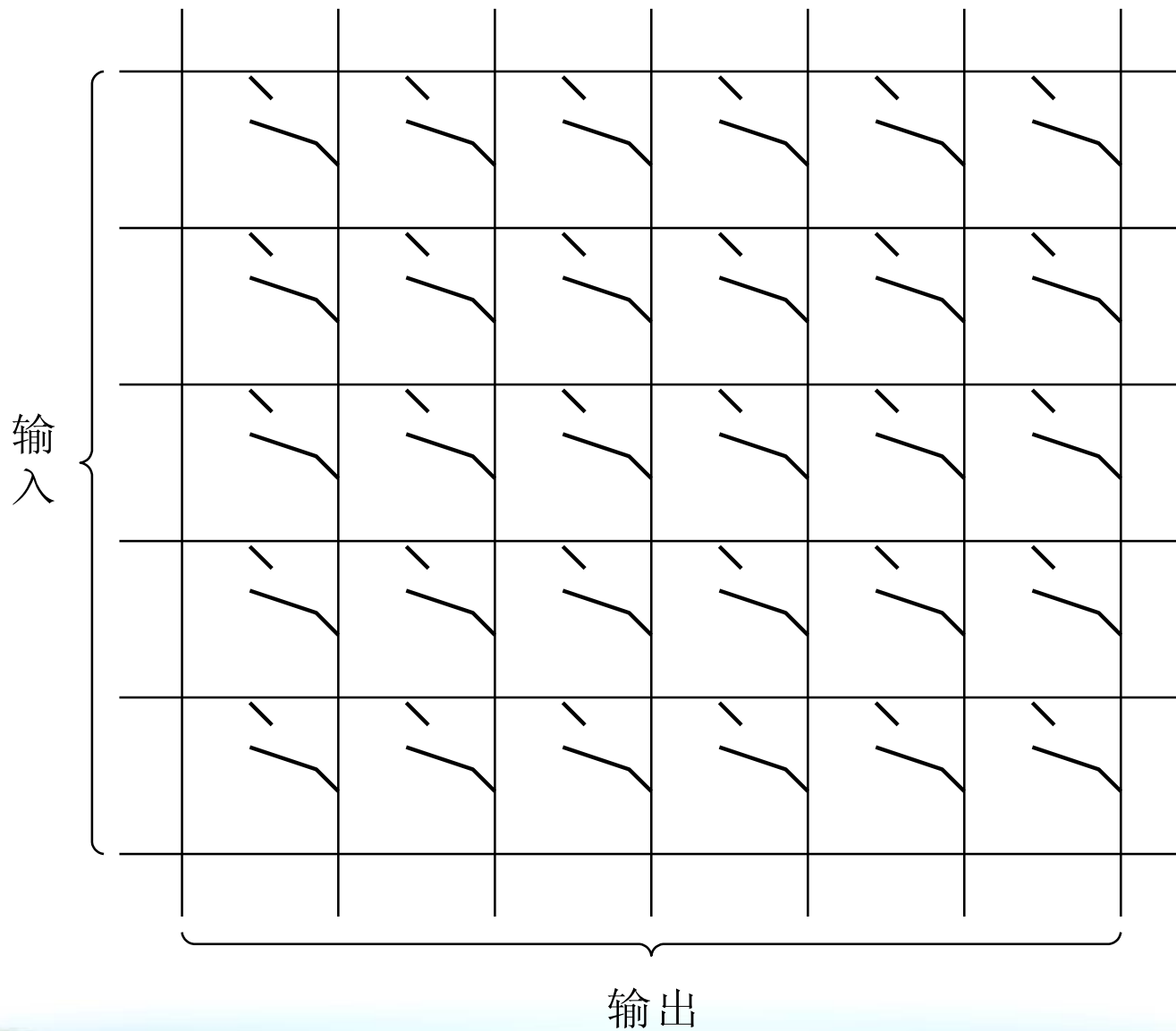


图1.13 空分阵列

2) 主要特点

(1) 开关阵列的交叉点数是交换单元的入线数和出线数的乘积。当入线数和出线数增加时，交叉点数目会迅速增加，因此开关阵列适合构成较小的交换单元。

(2) 当某条入线和与其连接的所有出线间的一行开关部分或全部处于接通状态时，开关阵列很容易实现多播和广播功能。同样，若某条出线对应的一列开关部分或全部接通，若干条入线同时接至一条出线，则必然产生出线冲突，所以一系列开关只能有一个处于接通状态。



2. 共享总线型交换单元

1) 一般结构

共享总线型交换单元包括入线控制部件、出线控制部件和总线三部分。交换单元的每条入(出)线经各自的入(出)线控制部件与总线相连。总线按时隙轮流分配给各个入线控制部件和出线控制部件使用，分配到总线的输入部件将输入信号送到总线上，见图1.14。



第1章 绪论

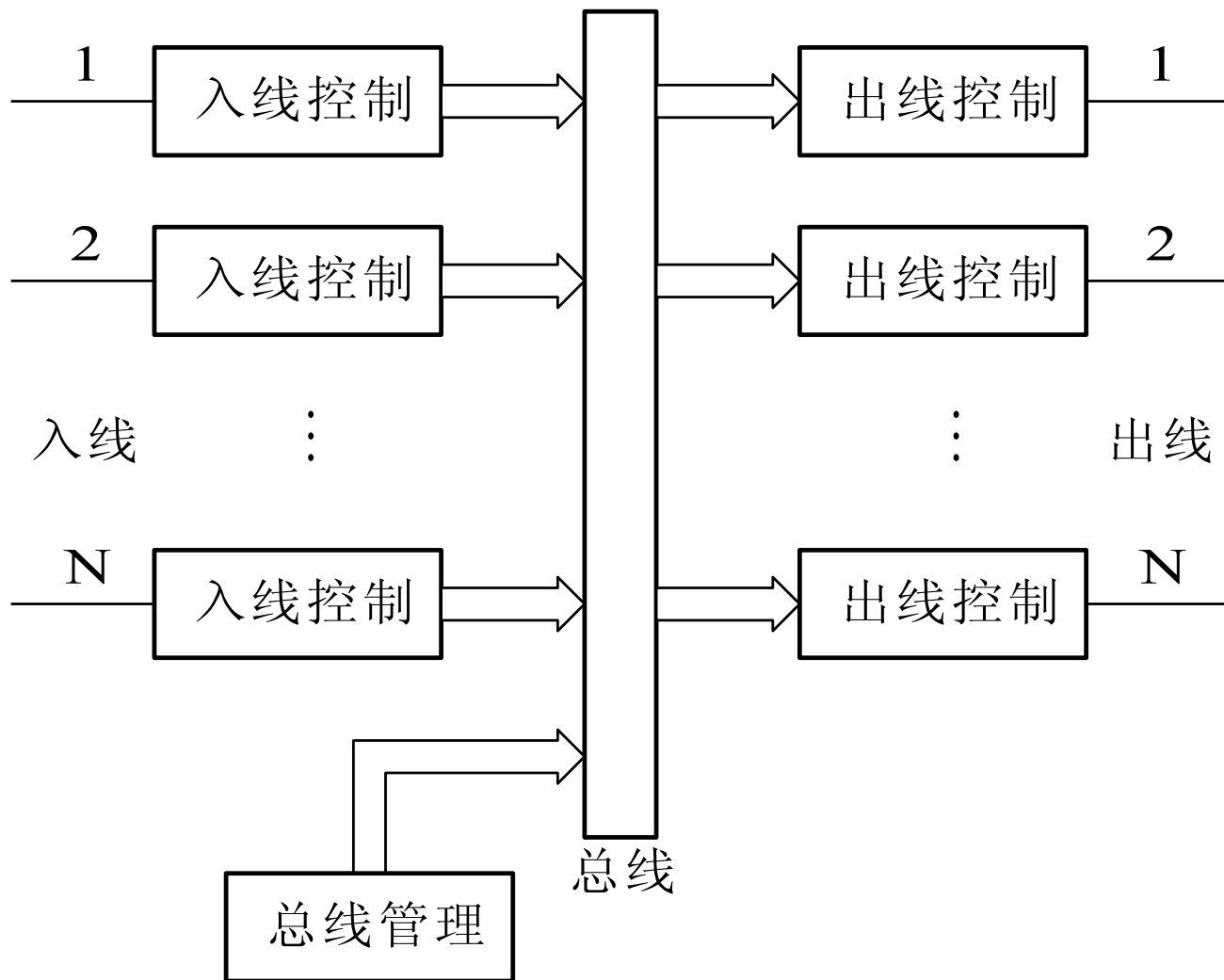


图1.14 共享总线型交换单元的一般结构

2) 主要特点

入线控制部件的功能是接收入线信号，将信号的格式进行相应变换，然后放在缓冲存储器中，并在分配给该部件的时隙上把收到的信息送到总线上。出线控制部件的功能是检测总线上的信号，并把属于自己的信息读入一个缓冲存储器中，再将信号格式做相反变换，形成出线信号送出。

总线包括多条数据线和控制线。数据线用于在入线控制部件和出线控制部件间传送信号。控制线用于控制各入线控制部件以获得时隙和发送信息，并控制出线控制部件读取属于自己的信息。



第1章 绪 论

总线时隙分配要按一定的规则。最简单也最常用的规则是：不管各入线控制部件是否有信息，只是按顺序把时隙分给各入线。比较复杂但效率较高的规则是：只在入线有信息时才分配给入线时隙。因此共享总线型交换单元既可以用于同步交换也可以用于存储转发交换，这取决于时隙分配原则。



3. 共享存储器型交换单元

1) 一般结构

共享存储器型交换单元的一般结构如图1.15所示。它的核心部件是存储器，它被分成 N 个区域， N 个输入数字信号分别存入 N 个不同区域，再分别读出以实现交换。

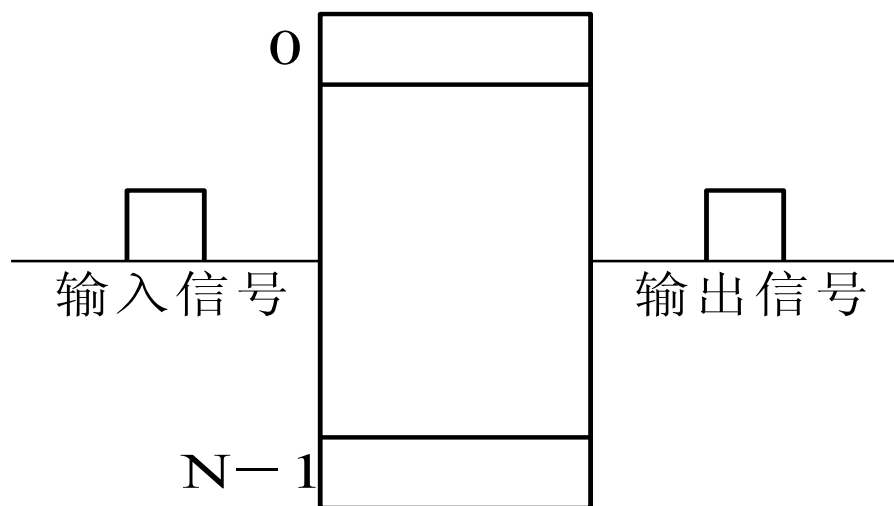


图1.15 共享存储器型交换单元的一般结构

2) 工作方式

(1) 入线缓冲。若存储器中的 N 个区域是和各路输入信号一一对应的，即第1路输入信号送到第1个存储区域(编号为0)，第2路输入信号送到第2个存储区域(编号为1)等等，则称交换单元是入线缓冲的。

(2) 出线缓冲。若存储器中的 N 个区域是和各路输出信号一一对应的，即第1个存储区域(编号为0)的数据作为第1路输出信号，第2个存储区域(编号为1)的数据作为第2路输出信号等等，则称交换单元是出线缓冲的。

共享存储器型交换单元既可用于同步交换也可用于存储转发交换，但它们的具体实现有所不同。

1.2.3 交换机的物理结构

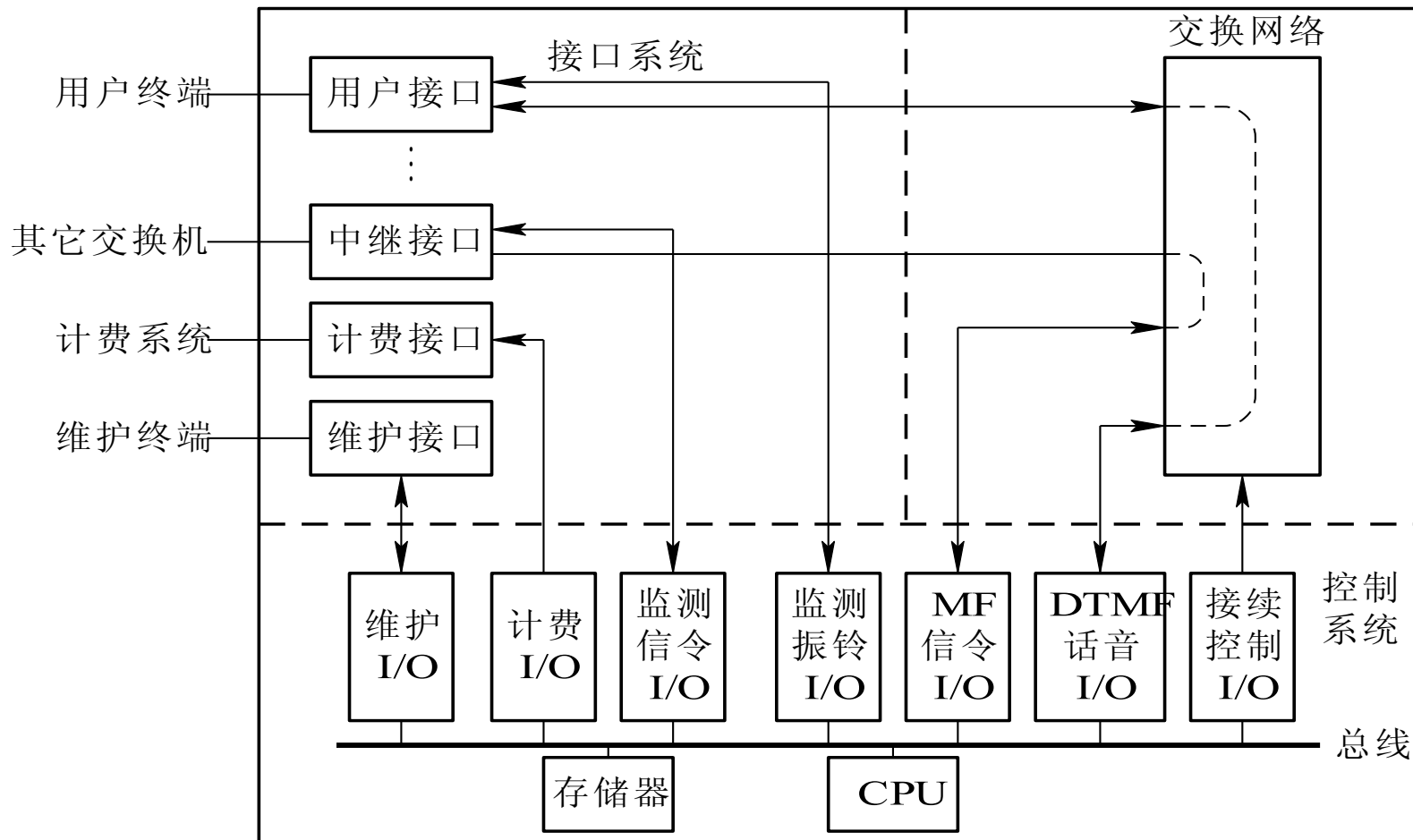


图1.16 交换机的组成框图

第1章 绪 论

用户通过用户线连接到交换系统的用户接口，交换局间通过中继线连接中继接口。根据传输线上的信号不同，用户接口和中继接口又有模拟和数字之分。通过用户或中继接口可以将来自不同终端(如电话机、计算机等)或其它交换机的各种传输信号转换成统一的交换机内部工作信号，并按信号的性质分别将信令传送给控制系统，将消息传送给交换网络。

除话音业务接口外，交换机还有维护接口，用来连接维护中心，对交换机进行集中的操作、管理和维护(OAM)。



操作是指在具体安装一台交换机时，对交换机所做的配置和状态控制。操作员应能通过“操作”功能了解交换机安装的各类接口和参数，各接口线所对应的地址和电话号码以及整个交换机安装了多少个终端和中继线接口等。

管理是对通信网中的业务量的控制以及路由表的维护，同时也负责日常话务量统计，通话时间记录及计费等工作。

维护包括对交换机故障的检测、故障的定位和修复。



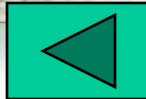
第1章 绪 论



通过计费接口，可以将交换机采集到的原始通话数据，如通话开始和结束时间，发、收双方电话号码等信息送到存储器或计费中心，计费中心按通话距离、通话时长、优惠时段和费率等计算通话费用并形成交费话单。

交换网络实现各入/出线上信号的传递和交换。交换机内部的网络通道(如TS16)可以传送交换机内部的管理信息或处理机之间的通信信息。

在控制系统控制下，交换机收发信令，完成交换接续、日常维护、话务统计、测量、计费和设备的管理以及系统输入、输出等所有的控制功能。



1.3 交换技术分类

1.3.1 业务特点

1. 信息相关程度不同

数字信号由二进制“0”和“1”的组合编码表示。对于语音码组，传输中如果一个比特发生错误，不会影响它的语义，如果出现多个错误，根据前后语义的相关性，也可以推断出其含义。但如果一个数据码组在传输中发生一个比特错误，则在接收端可能会被理解成为完全不同的含义。特别对于银行、军事、医学等关键事务处理，发生的毫厘之差都会造成巨大的损失。一般而言，数据通信的比特差错率必须控制在 10^{-8} 以下，而话音通信比特差错率可到 10^{-3} 。

2. 时延要求不同

有些业务要求比特流以很小的时延和时延抖动(抖动是指信息的不同部分到达目的地时具有不同的时延)到达对端, 这类业务叫实时业务。其典型的例子是64 kb/s的语音和可视电话业务。对于电话业务, 端到端时延不能大于25 ms(ITU-TG.164), 否则需要加上回波抵消器。即使在有回波抵消器的情况下, 时延也不能大于±500 ms, 否则交互式的会话将变得十分困难。与语音业务相比, 大多数数据业务对时延并不敏感。



3. 信息突发率不同

突发率是业务峰值比特率与平均比特率的比值。突发率越大，表明业务速率变化越大。不同的业务在平均比特率和突发率方面都有不同的特征，见表1.1。

表1.1 几种业务的平均比特率和突发率

业 务	平均比特率	突 发 率
话音	32 kb/s	2
交互式数据	1~100 kb/s	10
批量数据	1~10 kb/s	1~10
标准质量图像	1.5~15 Mb/s	2~3
高清晰度电视	15~150 Mb/s	1~2
高质量可视电话	0.2~2 Mb/s	5

语音的突发性主要来自突发的讲话和寂静，典型情况下这二者各占**50%**的时间，平均比特率大约为**32 kb/s**，一般不会出现长时间信道中没有信息传输的情况。而如果计算机通信双方处于不同的工作状态时，数据传输速率是大不相同的。如批量数据传送的突发性很高，因为在读出磁盘的一些连续扇区后，必须移动磁头才能读下一组连续扇区。

综上所述，语音、数据等不同的通信业务具有不同的特点，因而在网络发展过程中形成了不同的交换方式。已出现的多种交换方式见图1.17。



第1章 绪论

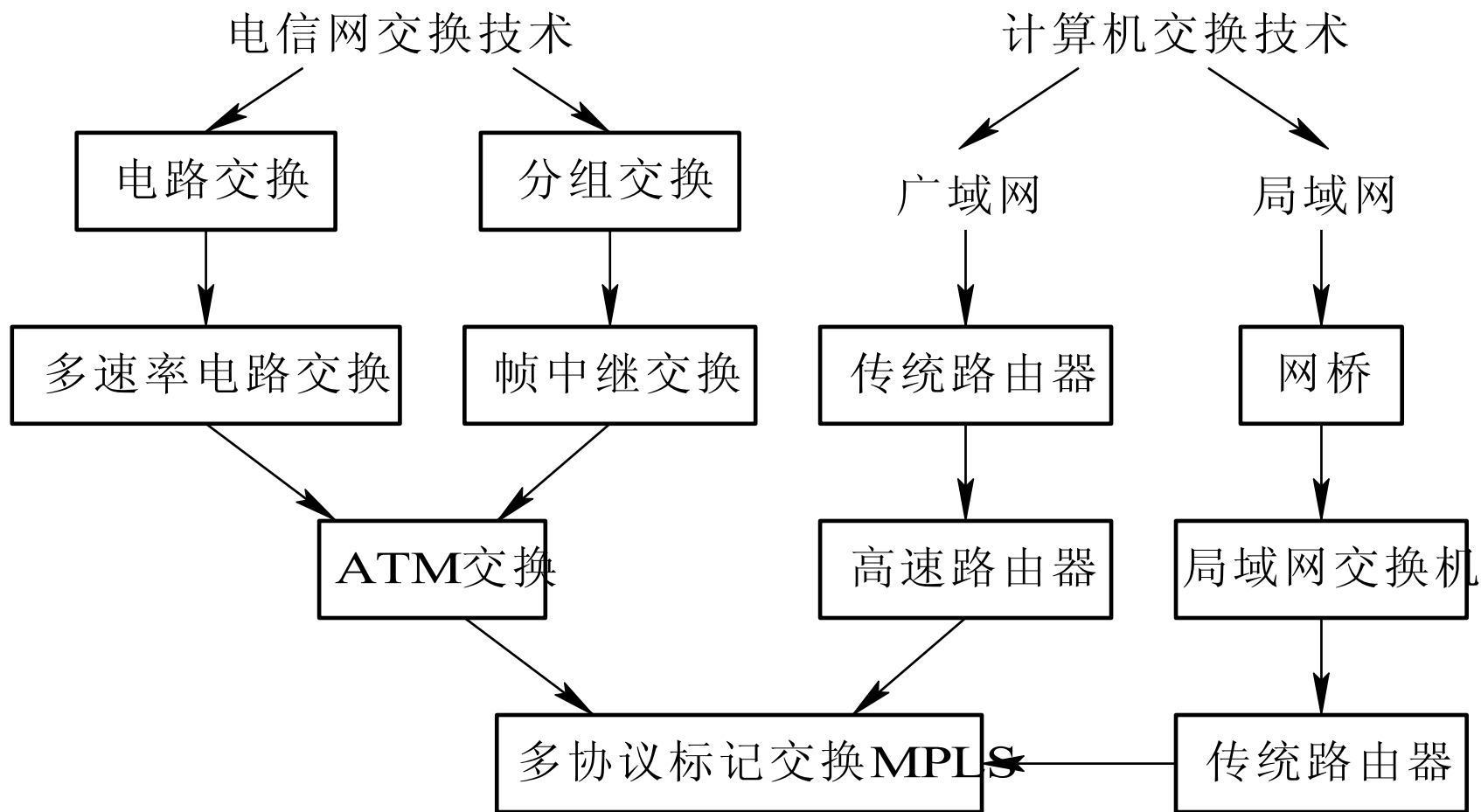


图1.17 交换技术分类

1.3.2 电路交换

电路交换是最早出现的一种交换方式，也是电话通信使用的交换方式。电话通信要求为用户提供双向连接以便进行对话式通信，它对时延和时延抖动敏感，而对差错不敏感。因此当用户需要通信时，交换机就在收、发终端之间建立一条临时的电路连接，该连接在通信期间始终保持接通，直至通信结束才被释放。通信中交换机不需要对信息进行差错检验和纠正，但要求交换机处理时延要小。交换机所要做的就是将入线和指定出线的开关闭合或断开。交换机在通信期间提供一条专用电路而不做差错检验和纠正，这种工作方式称为电路交换CS(Circuit Switching)。电路交换是一种实时的交换。



1. 电路交换的过程

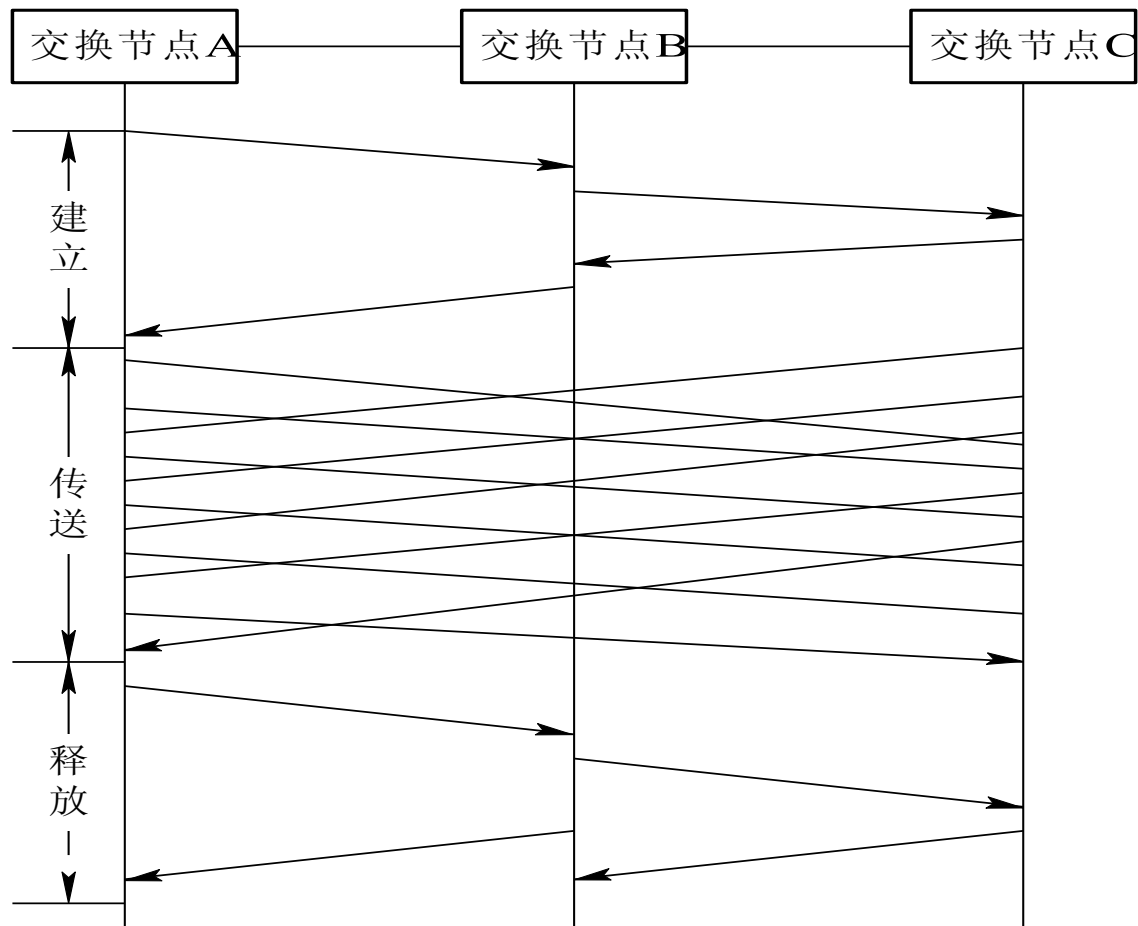


图1.18 电路交换的过程

2. 电路交换的特点

电路交换采用同步时分复用和同步时分交换技术，它具有的特点是：

(1) 整个通信连接期间始终有一条电路被占用，即使在寂静期也是如此。信息传输时延小。

(2) 电路是“透明”的，即发送端用户送出的信息通过节点连接，毫无限制地被传送到接收端。所谓“透明”是指交换节点未对用户信息进行任何修正或解释。

(3) 对于一个固定的连接，其信息传输时延是固定的。

(4) 固定分配带宽资源，信息传送的速率恒定。



但是采用**电路交换**方式**传送数据**也有以下**缺点**：

- (1) 所分配的带宽是固定的，造成网络资源的利用率降低，不适合突发业务传送。
- (2) 通信的传输通路是专用的，即使在没有信息传送时别人也不能利用，所以采用电路交换进行数据通信的效率较低。
- (3) 通信双方在信息传输速率、编码格式、同步方式、通信规程等方面要完全兼容，这使不同速率和不同通信协议之间的用户无法接通。
- (4) 存在着呼损。由于通信线路的固定分配与占用方式会影响其它用户的再呼入，因此造成线路利用率低。

电路交换适合于电话交换、文件传送、高速传真业务使用，但它不适合突发业务和对差错敏感的数据业务使用。

3. 多速率电路交换

电路交换方式建立的连接只有一种传送速率，常见的为64 kb/s。为了满足不同业务的带宽需要，出现了多速率电路交换MRC(S(Multi-Rate Circuit Switching))。

多速率电路交换仍然采用固定分配带宽资源的方法。与电路交换不同的是，这种交换资源的分配不是一个等级，而是多个等级。因此，实现多速率交换的一个关键问题是确定基本速率(基本带宽资源)。基本速率定得低，不能满足高带宽业务的需要；基本速率定得高，对低带宽业务会造成浪费。另外多速率的类型也不能太多，否则控制复杂，难以实现。

多速率电路交换技术是窄带综合业务网N-ISDN(Narrowband Integrated Services Digital Network)使用的交换技术。

1.3.3 分组交换

1. 报文交换

报文交换(message switching)是根据电报的特点提出来的。电报的交换传输基本上只要求单向连接，一般也允许有一定的延迟，但如果传输中有差错，必须改正以确保信息正确。因此报文的传送不需要提供通信双方的实时连接，但每个交换节点要有纠错、检错功能。



1) 报文交换原理

报文交换的基本工作原理如图1.19所示。交换机把来自用户的报文先暂时存在交换节点内排队等候，待交换节点出口上线路空闲时，就转发至下一节点，这种方式叫存储—转发(store and forward)交换，报文在下一节点再存储—转发，直至到达目的节点。在该方式中，信息是以报文为单位传输的。为了保证报文的正确传送，网络节点必须具有信息处理、存储和路由选择功能。



第1章 绪论

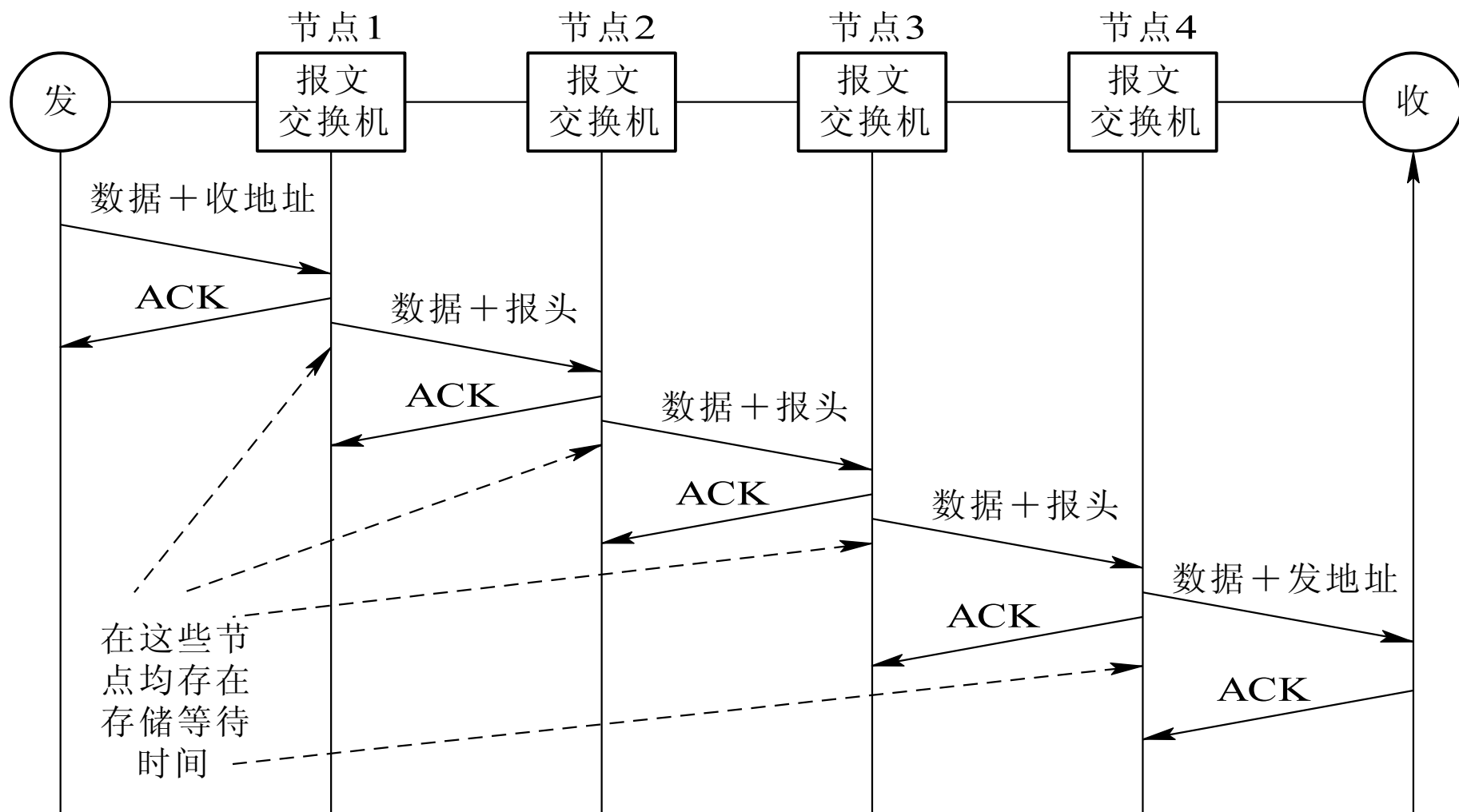


图1.19 报文交换原理示意图

2) 报文交换特点

报文交换的优点是：

- (1) 报文交换不需要事先建立连接，并且可采用多路复用，因此不独占信道，从而可大大提高线路的利用率。
- (2) 用户不需要叫通对方就可发送报文，无呼损。
- (3) 容易实现不同类型终端之间的通信，输入/输出电路速率及电码格式可以不同。



报文交换的主要缺点是：

(1) 当长报文通过交换机存储并等待发送时，会在交换机中产生较大时延，不利于实时通信。

(2) 要求交换机有高速处理能力及大的存储容量，增加了设备费用。

报文交换适用于公共电报及电子信箱业务。



2. 分组交换

报文交换传输时延大，不能满足实时性的要求，为此人们进行了一些探索，提出了分组交换的概念。

1) 分组交换原理

分组交换PS(Packet Switching)把一份要发送的数据报文分成若干个较短的、按一定格式组成的分组(packet)，然后采用统计时分复用将这些分组传送到一个交换节点。交换节点仍然采用存储—转发技术。分组具有统一格式并且长度比报文短得多，便于在交换机中存储及处理。分组在交换机的主存储器中停留很短时间，一旦确定了新的路由，就很快被转发到下一个节点机。分组通过一个交换机(节点)的平均时延比报文要小得多。

分组交换技术是在早期的低速、高出错率的物理传输线基础上发展起来的，为了确保数据可靠传送，交换节点要运行复杂的协议，以完成**差错控制**和**流量控制**等主要功能。由于链路传输质量太低，逐段链路的差错控制是必要的。

支持分组交换的协议有多种，根据协议的不同，分组交换网络可以是面向连接的，也可以是无连接的。面向连接的分组网络提供**虚电路**VC(Virtual Circuit)服务，无连接的分组网络提供**数据报**DG(Datagram)服务。



2) 分组交换的特点

分组交换存在如下**优点**：

(1) 由于采用“存储—转发”，可以实现不同速率、不同代码及同步方式、不同通信规程的用户终端间的通信。

(2) 采用统计时分复用技术，多个用户共享一个信道，通信线路利用率高。

(3) 由于引入逐段差错控制和流量控制机制，使传输误码率大为降低，网络可靠性提高。



分组交换也存在以下**缺点**：

(1) 技术实现复杂。分组交换机要提供存储—转发、路由选择、流量控制、速率及规程转换状态报告等，要求交换机具有较好的处理能力，所以软件较为复杂。

(2) 网络附加的传输控制信息较多。由于需要把报文划分成若干个分组，每个分组头又要加地址及控制信息，因此降低了网络的有效性。

(3) 信息从一端传送到另一端，穿越网络越长，分组时延越大。

这种传统的分组交换主要应用于数据通信，很难应用于实时多媒体业务。



1.3.4 帧中继

帧中继FR(Frame Relay)是以分组交换技术为基础的高速分组交换技术，它对目前分组交换中广泛使用的X.25通信协议进行了简化和改进，在网络内**取消了差错控制和流量控制**，将逐段的差错控制和流量控制处理移到网外端系统中实现，从而缩短了交换节点的处理时间。这是因为光纤通信具有低误码率的特性，所以不需要在链路上进行差错控制，而采用端对端的检错、重发控制方式。这种简化了的协议可以方便地利用VLSI技术来实现。



这种高速分组交换技术具有很多优点：可灵活设置信号的传输速率，充分利用网络资源提高传输效率；可对分组呼叫进行带宽的动态分配，因此可获得低延时、高吞吐率的网络特性；速率可在**64 kb/s~45 Mb/s**范围内。

帧中继适用于处理突发性信息和可变长度帧的信息，特别适用于计算机网络互连。



1.3.5 ATM交换

ATM是ITU-T(国际电联电信部)确定的用作宽带综合业务数字网B-ISDN(Broadband Integrated Services Digital Network)的复用、传输和交换模式。信元是ATM特有的分组单元, 话音、数据、视频等各种不同类型的数字信息均可被分割成一定长度的信元。它的长度为53字节, 分成两部分: 5字节的信元头含有用于表征信元去向的逻辑地址、优先级等控制信息; 48个字节的信元体用来装载不同用户的业务信息。任何业务信息在发送前都必须经过分割, 封装成统一格式的信元, 在接收端完成相反操作以恢复业务数据原来的形式。通信过程中业务信息信元的再现, 取决于业务信息要求的比特率或信息瞬间的比特率。



ATM具有以下技术特点：

(1) ATM是一种**统计时分复用**技术。它将**一条物理信道**划分为**多个具有不同传输特性的逻辑信道**提供给用户，实现网络资源的按需分配。

(2) ATM利用硬件实现固定长度分组的快速交换，具有时延小、实时性好的特点，能够满足多媒体数据传输的要求。

(3) ATM是支持多种业务的传递平台，并提供服务质量QoS(Quality of Service)保证。ATM通过定义不同ATM适配层AAL(ATM Adaptation Layer)来满足不同业务传送性能的要求。



(4) ATM是面向连接的传输技术，在传输用户数据之前必须建立端到端的虚连接。所有信息，包括用户数据、信令和网管数据都通过虚连接传输。

(5) 信元头比分组头更简单，处理时延更小。


ATM支持语音、数据、图像等各种低速和高速业务，是一种不同于其它交换方式、与业务无关的全新交换方式。



1.3.6 计算机网络使用的交换技术

计算机网络以共享资源和交换信息为目的。从服务范围看，计算机网络分为局域网LAN(Local Area Network)、城域网MAN(Metropolitan Area Network)和广域网WAN(Wide Area Network)。本书主要介绍LAN和WAN中使用的交换技术。

早期的LAN网络为共享传输介质的以太网或令牌网，网络中使用总线型交换网络、半双工方式进行通信。当用户数增多时，每个用户的带宽变窄，而且极易导致网络冲突，引起网络阻塞。解决这一问题的传统方法是在网络中加入2端口网桥，即采用网络分段技术。在一个较大的网络中，为保证响应速度，往往要分割出数十个甚至数百个网段，这使整个网络的成本增加，网络的结构和管理更复杂。



局域网交换技术是在多端口网桥的基础上于20世纪90年代初发展起来的，它是一种改进了的局域网桥。与传统的网桥相比，它能提供更多的端口(4~88)，端口之间通过空分交换网络直连或采用存储—转发交换技术。局域网交换机的引入，简化了大型LAN的拓扑结构，减少了冲突和带宽窄的问题。传统LAN与交换式LAN的对比见图1.20。



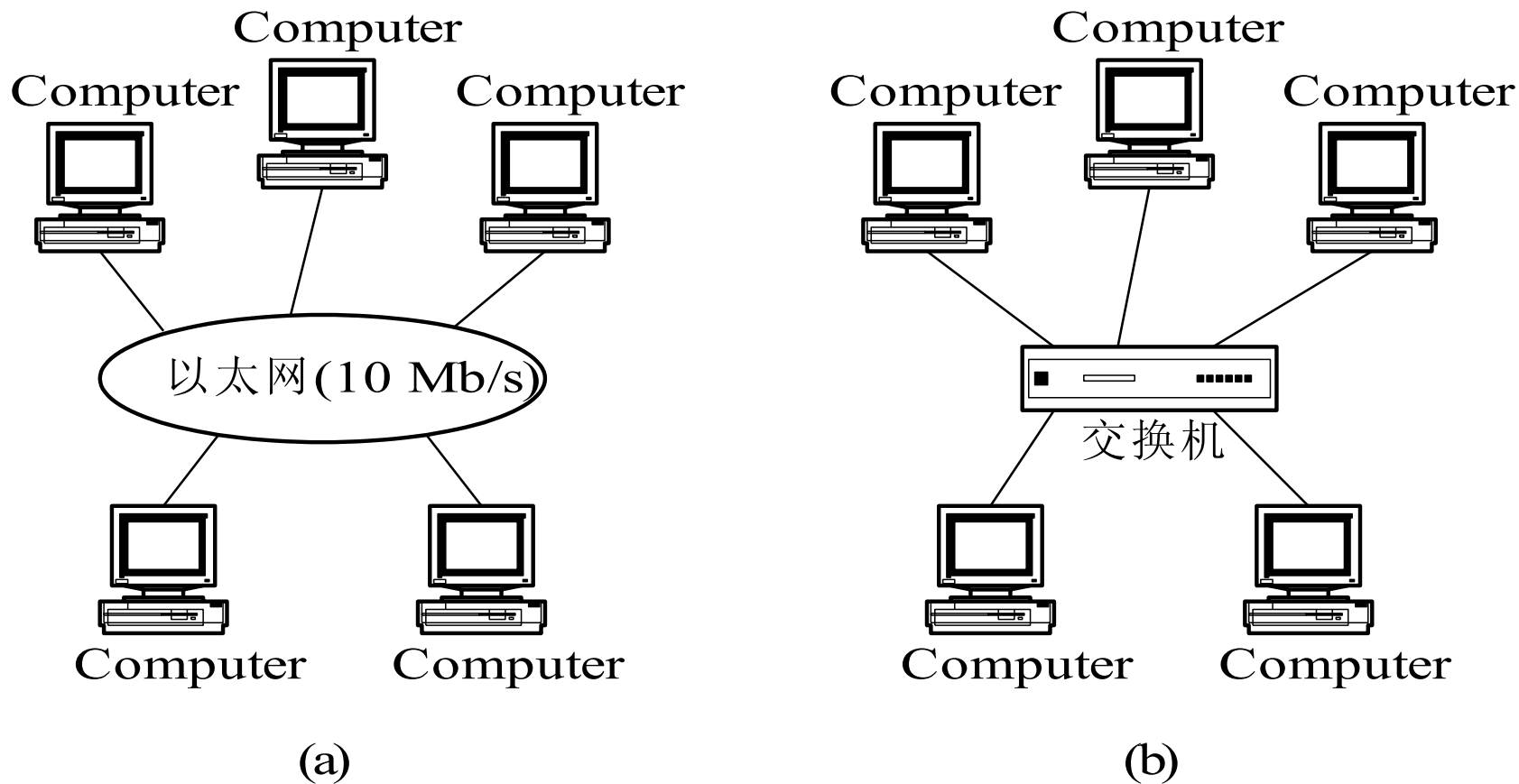


图1.20 传统LAN和交换式LAN

(a) 传统LAN; (b) 交换式LAN

局域网交换机仍然采用广播式分组通信方式，这会导致**广播风暴**，因此又引入了路由器。路由器将不同的LAN互连，可以隔离广播风暴。路由器具有路由选择功能，可以为跨越不同LAN的流量选择最适宜的路径，可以绕过失效的网段进行连接，还可以进行不同类型网络协议的转换，实现异种网络互连。

路由器将很多个分布在各地的计算机局域网互连起来构成广域网，可以实现更大范围的资源共享，见图1.21。如今最大的广域网是因特网(Internet)，它使用TCP/IP协议。



第1章 绪论

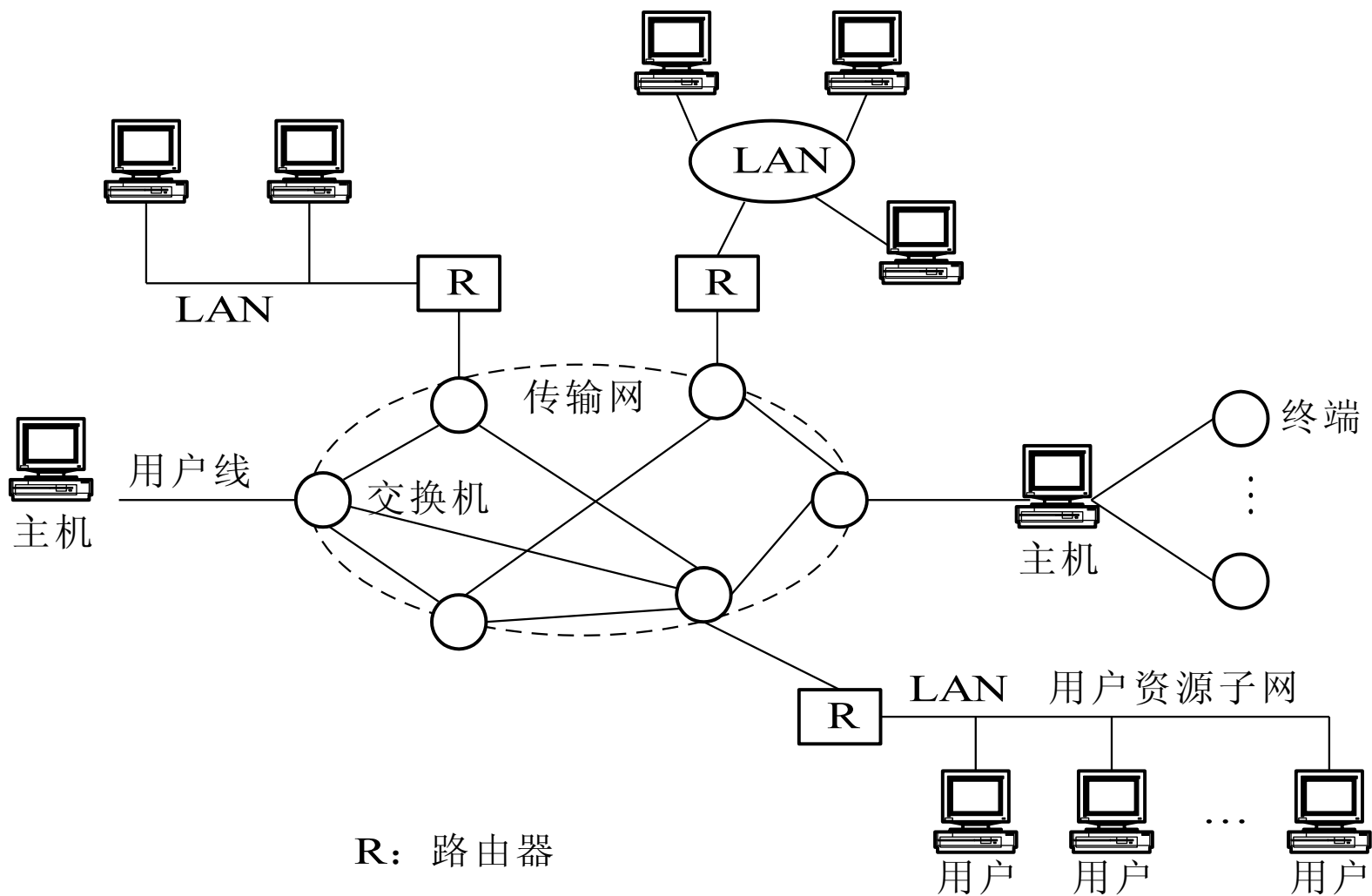


图1.21 广域网的组成

第1章 绪 论

路由器的连接是借助公共传输网络(如电信网)实现的。公共传输网络基本可以分成三类：一类是电路交换网络，主要是公共交换电话网PSTN(Public Switch Telephone Network)和综合业务数字网ISDN(Integrated Service Digital Network)；一类是分组交换网络，主要是X.25分组交换网和帧中继等；还有一类是数字数据网DDN(Digital Data Network)和光纤传送网。

路由器使用无连接的分组交换技术。它的工作是检查进入的数据包，将其目标地址与路由表中的项目相比较，如果是直接相连子网的站点，则路由器将其转发到目的地；否则，查询相应的路由表，选择合适的路由通过物理网络将其送到邻接的路由器。



传统的路由器对每个要转发的分组进行大量的处理，因此要求传统的路由器具有丰富的功能，要能够同时支持多种协议，具有上百个可配置的参数，能够实现复杂的分组过滤机制，增强对网络的控制。这些丰富的功能通常是通过软件获得的。遗憾的是，随着网络中通信量的增加，软件处理的速度越来越慢，拥挤成为突出问题。


为了解决传统路由器的瓶颈问题，人们引入了高速路由器。高速路由器采用多层交换技术，通过两种独立的方法解决瓶颈问题：



(1) 基于硬件的转发，加速转发处理过程。提高路由器速度的方法是改变其结构，将路由计算、控制等非实时任务用软件来实现，分组转发等实时工作用硬件实现，这样转发数据分组的速率达到了每秒数千万个。

(2) 基于流或标签的转发，根据通信的目标地址优化路由，使用较短的固定长度的标签对数据流进行转发，避免对分组的重复性选路。

这两种方法的优点在于它们互相补充，可以配合使用来改善整个网络的性能，增强网络的可扩展性。已经出现的多层交换技术有：第2层交换、第3层交换、第4层交换、ATM上的多协议互连MPOA(Muti-Protocol over ATM)、标签交换TAG(Tag Switch)、多协议标记交换MPLS(Multi Protocol Label Switching)等。



1.3.7 交换技术比较

1. 电路交换、分组交换和ATM交换的比较

交换系统的功能可以用两种说法来描述。一种说法是，交换系统的功能是在入端和出端之间建立连接。按这种说法，可以把交换系统想像成一堆开关，当需要把一个入端和一个出端连接起来的时候就搬动开关。另一种说法是，交换系统的功能是把入端的信息分发到出端上。按这种说法，可以把交换系统想像成一个大的信息转运站，它接收入端上的信息，然后分门别类地分发到各个出端上。



以电路连接为目的的交换方式是电路交换方式。因此电路交换的动作就是在通信时建立电路，通信完毕断开电路。至于通信过程中双方是否在相互传送信息，传送了什么信息，都与交换系统无关。

在计算机通信中，人机交互(从键盘输入，显示器输出)时间长，空闲时间可高达90%以上，如果仍然采用电路交换是不能容忍的。人们认为在数据交换领域，应使用分组交换方式。




分组交换方式不是以电路连接为目的，而是以信息分发为目的的。因此信息传送给交换机时要先经过一番加工处理：分段、封装、检错和纠错、流量控制、反馈重发等，然后根据分组头中的地址域和控制域，把一个个分组分发到各个出端上。

可以这样说，电路交换是一种“粗放”的和“宏观”的交换方式，它只管电路而不管在电路上传送的信息。相比之下，分组交换比较“精微”和“细致”，它对传送的信息进行管理。



ATM交换是一种改进的快速分组交换技术。它对信息的管理不像分组交换那样“精微”和“细致”。因为连接ATM交换机的是光纤传输线，其传输错误微乎其微，因此ATM网络中取消了逐段的差错控制和流量控制，ATM交换节点的控制自然也简化了。为了满足实时业务的要求，ATM也使用了一些电路交换中的方法。所以，ATM交换不仅仅是简化控制，而是结合了电路交换和分组交换的优点，产生的一种新的交换技术。

综上所述，我们可以得出结论：电路交换只闭合网络开关，不处理信息，时延小，最适合实时业务，典型应用是语音；分组交换处理每一个信息，差错小，最适合数据业务；ATM交换用于B-ISDN，适合现有和未来的所有业务。



2. OSI与节点交换技术

OSI分层模型将一个物理实体完成的功能分成多个逻辑功能层，每一层具有不同的功能，多层功能的组合可完成整体功能。利用这种技术，可以将交换节点复杂而庞大的设计问题简化为一些“单层”设计问题。OSI与各种交换技术之间的关系概述如下。

电路交换完成的功能相当于OSI模型的第1层，即在物理层交换，无需使用协议。

使用X.25协议的传统分组交换完成OSI模型的低3层功能，即包括物理层、数据链路层、网络(分组)层的功能。数据链路层采用完全的差错控制(包括对传送信息的帧定位、差错检验、差错恢复)，交换在第3层实现。由于其节点处理复杂，转发信息速率最低。



第1章 绪 论

帧交换完成 OSI模型的低2层，即物理层和数据链路层功能，并对数据链路层进行简化，只完成数据链路层的核心功能(对传送信息的帧定位和差错检验)，交换在第2层实现。其节点复杂度比X.25低，转发速率高于X.25网。

ATM协议完成相当于OSI模型的低2层功能，网络中的交换节点不再支持对用户信息的任何差错控制，交换在第2层实现。其节点复杂度最低，允许转发速率最高。

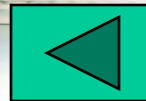
局域网交换也使用OSI模型的低2层，但它的数据链路层比较复杂，交换在第2层实现。

传统路由器使用OSI模型的低3层协议，交换在第3层实现。



表1.2 交换技术特点的比较

特 性 \ 技 术	电路交换	分组交换 (面向连接)	帧 中 继 (交 换)	ATM 交换	分组交换 (无连接)
复用方式	同步复用	统计复用	统计复用	统计复用	统计复用
带宽分配	固定带宽	动态带宽	动态带宽	动态带宽	动态带宽
时延	最小	较大	小	小	不定
连接方式	面向连接	面向连接	面向连接	面向连接	无连接
差错控制	无	有	有	有限	有
信息单元长度	固定	可变	可变	固定	可变
最佳应用	话音	批量数据	LAN 互连	多媒体	短数据



1.4 交换技术演进

1.4.1 电路交换技术的演进

1876年在Bell A.G发明电话以后的很短时间里，人们就意识到应该把电话线集中到一个中心节点上，这些中心点可以把电话线连接起来，这就诞生了最早的电话交换技术——人工磁石电话交换机。这种交换机的交换网络就是一个接线台，非常简单，接线由人工控制。由于人工接续的固有缺点，如接续速度慢，接线员需日夜服务等，迫使人们寻求自动接续方式。



第1章 绪 论

在1889年，Strowger A. B. 发明了第一个由两步动作完成的上升旋转式自动交换机，以后又逐步演变为广泛应用的步进制自动交换机。这种交换机的交换网络由步进接线器组成，主叫用户的拨号脉冲直接控制交换网络中步进选择器的动作，从而完成电话的接续，属于直接控制(direct control，或叫分散控制)方式。步进选择器动作范围大，带来的直接后果是接续速度慢，噪音大。直接控制的方式导致组网和扩容非常不灵活。



第1章 绪 论

第一个纵横交换机于1932年投入使用。纵横交换机的交换网络由纵横接线器组成，与步进接线器相比，器件动作范围减小了很多，接续速度明显提高。它采用一种称为“记发器”的特殊电路实现收号控制和呼叫接续，是一种间接控制(indirect control，也叫**集中控制**)方式。这种控制方式下的组网和容量扩充灵活。

第二次世界大战后，当整个长距离网络实现自动化时，自动电话占据了统治地位。晶体管的发明刺激了交换系统的电子化，导致了20世纪50年代后期第一个电子交换机的出现。



第1章 绪 论

随着计算机技术的出现，从20世纪60年代开始有了软件控制的交换系统。如1965年，美国开通了世界上第一个用计算机存储程序控制的程控交换机。由于采用了计算机软件控制，用户的服务性能得到了很大发展，如增加了呼叫等待、呼叫转移以及三方通话功能等。

模拟信号转换为数字信号的原理随着脉冲编码调制PCM(Pulse Code Modulation)的推出而被人们广泛接受。20世纪70年代，电话语音被编码后传送，出现了数字程控交换机。由于计算机比较昂贵，因此采用了集中控制方式。



数字程控交换在发展初期，有些系统由于成本和技术上的原因，曾采用过部分数字化，即选组级数字化，而用户级仍为模拟型的形式，编/译码器也曾采用集中的共用方式，而非单路编/译码器形式。随着集成电路技术的发展，很快就采用了单路编/译码器和全数字化的用户级。

微处理机技术的迅速发展和普及，使数字程控交换普遍采用多机分散控制方式，灵活性高，处理能力增强，系统扩充方便而经济。



软件方面，除去部分软件要注重实时效率和/或为了与硬件关系密切而用汇编语言编写以外，普遍采用高级语言，包括C语言、CHILL语言和其它电信交换的专用语言。对软件的主要要求不再是节省空间开销，而是可靠性、可维护性、可移植性和可再用性，使用了结构化分析与设计、模块化设计等软件设计技术，并建立和不断完善了用于程控交换软件开发、测试、生产、维护的支持系统。

数字程控交换机的信令系统也从随路信令走向共路信令。



综上所述，到了20世纪80年代中期，交换网络已实现了从模拟到数字，控制系统从单级控制到分级控制，信令系统从随路信令到7号共路信令的转变。

经过一百多年的发展，电路交换技术已非常完善和成熟，是目前网络中使用的一种主要交换技术。传统电话交换网中的交换局，GSM数字移动通信系统的移动交换局，窄带综合业务数字网(N-ISDN)中的交换局，智能网IN(Intelligent Network)中的业务交换点SSP(Service Switching Point)均使用的是电路交换技术。



1.4.2 分组交换技术的发展

20世纪60年代初期，欧洲RAND公司的成员Paul Baran和他的助手们为北大西洋公约组织制定了一个基于话音打包传输与交换的空军通信网络体制，目的在于提高话音通信网的安全性和可靠性。这个网络的工作原理设想是：把送话人的话音信号分割成数字化的一些“小片”，各个小片被封装成“包”，并在网内的不同通路上独立地传输到目的端，最后从包中卸下“小片”装配成原来的话音信号送给受话人。这样，在除目的地之外的任何其它终点，只能窃听到支言片语，不可能是一个完整的语句。另外，由于每个话音小片可以有多条通路到达目的站，因而网络具有抗破坏和抗故障能力。



第1章 绪 论

第一次论述这种分组交换通信网络体制的论文发表于1964年(P. Baran et al., **On Distributed Communications, Series of 11 reports, Rand Corp. Santa Monica, Ca., Aug. 1964**)。可惜由于当时的技术尤其是数字技术水平所限，并且对语音信号实现复杂处理的器件以及大型网络的分组交换、路由选择和流量控制等功能所要求的计算机还十分缺乏和昂贵，因而这种网络体制未能实现。




第1章 绪 论

第一个利用这个研究成果的是美国国防部的高级研究计划局ARPA(Advanced Research Project Agency)。当时ARPA在全国范围内的许多大学和实验室安装了许多计算机，进行大量的基础和应用科学研究工作。由于时区、计算中心负荷、专用软件、硬件等的差别，他们觉得需要一种能交换数据和共享资源的有效办法。当时世界上还没有任何能实现资源共享的网络，因此ARPA决定致力于开发一个网络，把分组交换技术应用于网络的数据通信。这就是1969年开始组建、1971年投入运营的ARPANET——世界上第一个采用分组交换技术的计算机通信网。



第一代的分组交换机由一台主机和一台接口信息处理机 **IMP(Interface Message Processor)**组成，见图1.22。主机将发送的报文分成多个分组，加上分组头，为每一个分组独立选路，然后将某个输入队列中的分组转移到某个输出队列中并发往目的地。接收端作相反处理。**IMP**执行较低级别的规程，例如链路差错控制，以减轻主计算机的负荷。系统中的软件也是**ARPANET**专用的。受计算机速度的限制，第一代分组交换机每秒只能处理几百个分组。

到1969年12月已经有由4个节点组成的实验性网络被启动。当更多的**IMP**被安装时，网络增长的非常快，并且很快覆盖了全美国。



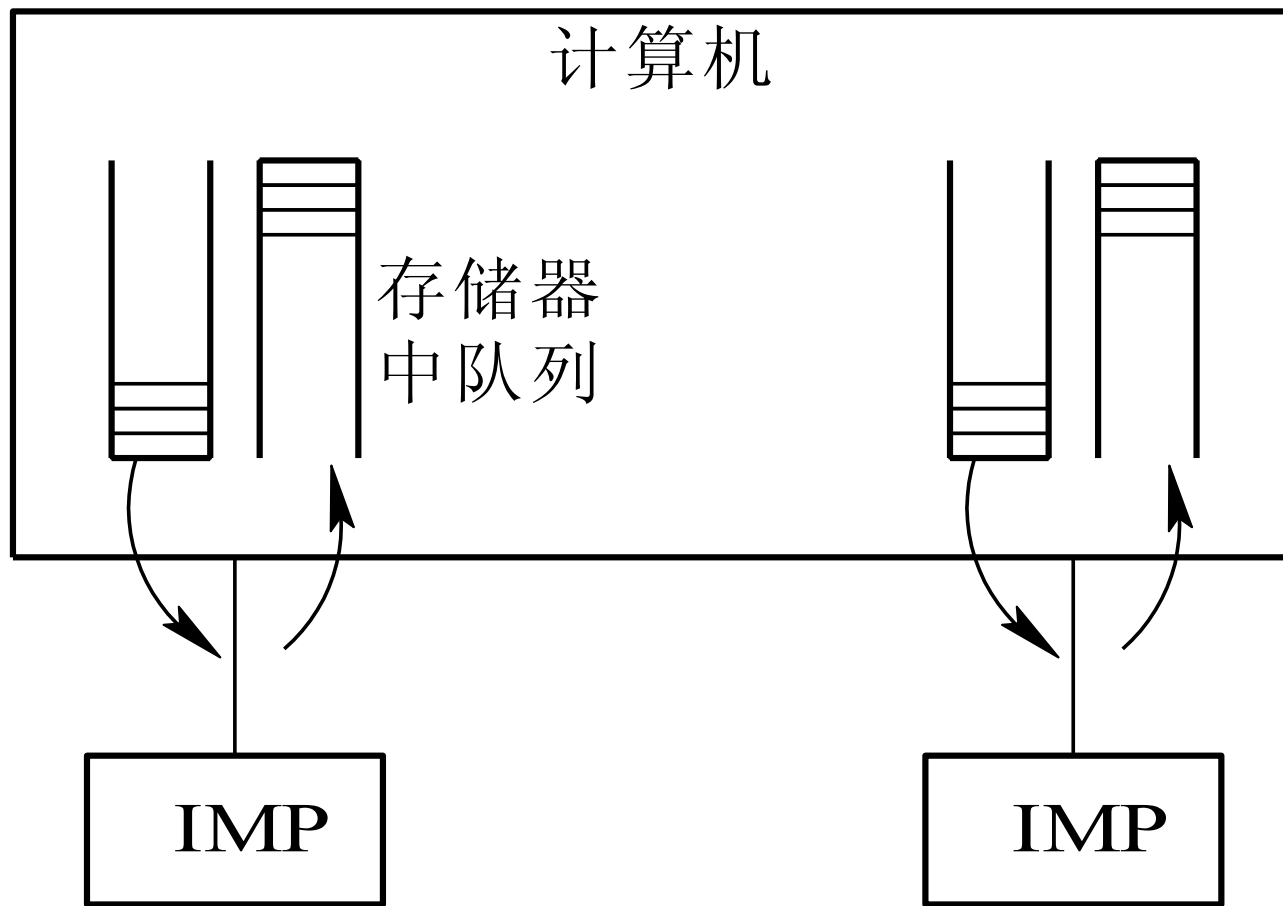


图1.22 第一代分组交换系统

后来，IMP软件被修改，允许终端直接连接到特殊的IMP即终端接口处理机(TIP)上，每台IMP可以有多个主机(为了节省开支)，主机可以与多台IMP对话(保护主机不受IMP故障影响)，主机还可以与IMP远距离连接(适用于主机远离网络的情况)。这就是第二代分组交换机的雏形，见图1.23。这一时期不同研究机构使用各自的协议控制分组交换机的工作。



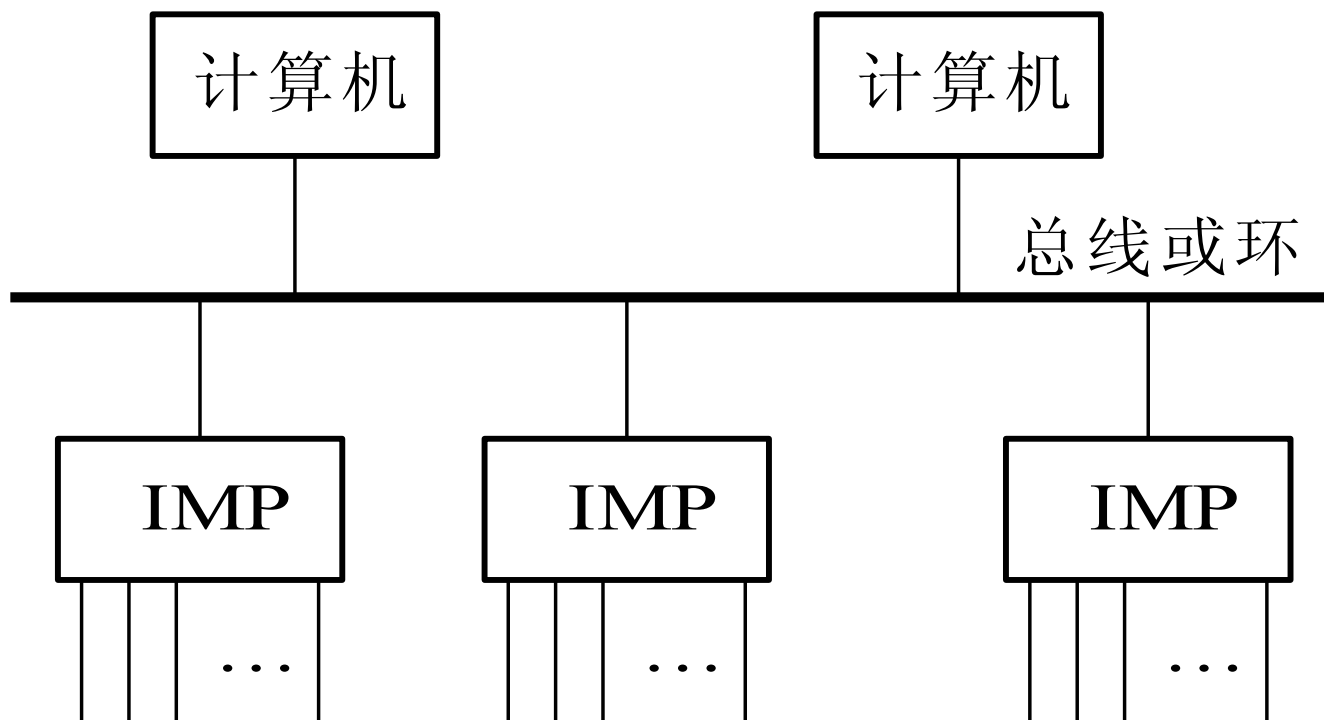



图1.23 第二代分组交换系统

第二代分组交换系统的特征是采用共享媒体将IMP互连，计算机主要用于虚电路的建立，通信协议各自独立。

1974~1975年间，已有多个独立的公用分组网在建设之中。在英国的NPL、美国的TELENET、加拿大的DATAPAC、法国的PTT以及其它一些国家的努力下，分组交换技术逐步完善，形成了多层次结构的网络体系。1976年3月，ITU-T制定了著名的X.25建议，实现了用户—网络接口的标准化，使得不同数据终端可以通过任何一个分组数据网传送信息。在这以后，又陆续制定了其它有关的建议，如X.28，X.75，X.29等，这些协议对不同终端接入分组交换网、分组交换网之间的互连、分组交换网与电话交换网的互连起到了重要的作用。



第1章 绪 论

第三代分组交换系统使用标准化的协议，用交换网络取代了共享媒体网络，解决了分组交换机的瓶颈问题，增强了并行处理功能，大大提高了网络的吞吐量。第三代分组交换机的结构示意图见图1.24。



第1章 绪论

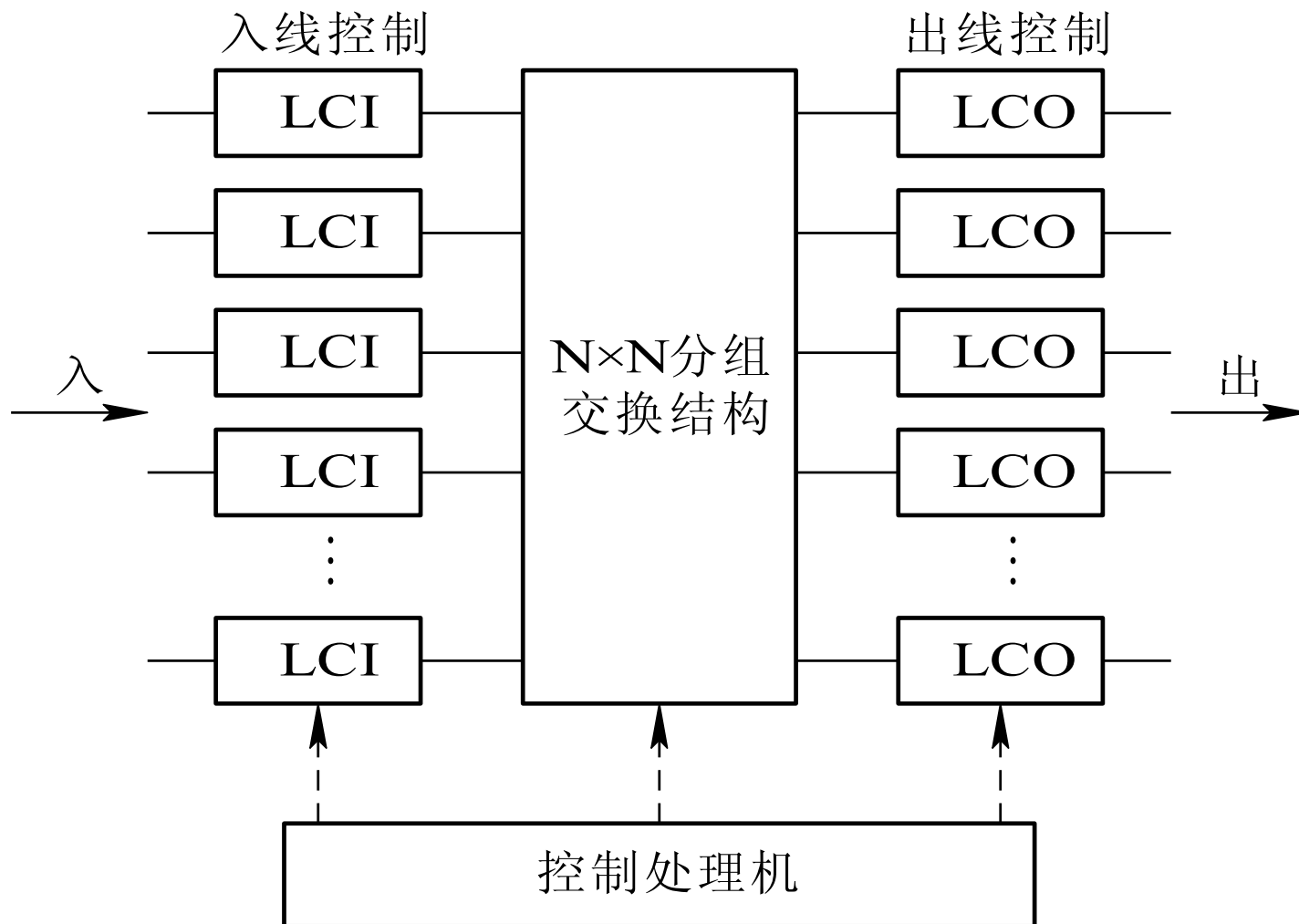


图1.24 第三代分组交换系统

1.4.3 宽带交换技术的发展

未来网络的发展不会是个多个网络，而是用一个统一的宽带网络提供多种业务。这个网络中的关键设备——交换机，也必须能实现多种速率、多种服务要求及多种业务的交换。

使宽带网络成为可能的技术有三种：**ATM**、**宽带IP技术**和**光交换技术**。



1. ATM与IP

ATM是电信界为实现B-ISDN而提出的面向连接的技术。它集中了电路交换和分组交换的优点，具有可信的QoS来保证语音、数据、图像和多媒体信息的传输。它还具有无级带宽分配、安全和自愈能力强等特点。

另一方面以IP协议为基础的Internet的迅猛发展，使IP成为当前计算机网络应用环境中的“既成事实”标准和开放式系统平台。其优点在于：①易于实现异种网络互连；②对延迟、带宽、QoS等要求不高，适于非实时的信息通信；③具有统一的寻址体系，易于管理。



ATM和IP都是发展前景良好的技术，但它们在发展过程中都遇到了问题。

从技术角度看，**ATM**技术是最佳的，而且**ATM**过于完善了，其协议体系的复杂性造成了**ATM**系统研制、配置、管理、故障定位的难度；**ATM**没有机会将现有设施推倒重来，构建一个纯**ATM**网。相反，**ATM**必须支持主流的**IP**协议才能够生存。

传统的**IP**网络只能提供尽力而为(**best effort**)的服务，没有任何有效的业务质量保证机制。**IP**技术在发展过程中也遇到了路由器瓶颈等问题。




如果把这两种技术结合起来，既可以利用ATM网络资源为IP用户提供高速直达数据链路，发展ATM上的IP用户业务，又可以解决Internet发展中的瓶颈问题，推动Internet业务的进一步发展。

在支持IP协议时，ATM处于第二层，IP协议处于第三层，这是业界普遍认可的一种网络模型。当网络中的交换机接收到一个IP分组时，它首先根据IP分组中的IP地址通过某种机制进行路由地址处理，按路由转发。随后，按已计算的路由在ATM网上建立虚电路(VC)。以后的IP分组在此VC上以直通方式传输，从而有效地解决了传统路由器的瓶颈问题，并提高了IP分组转发速度。



随着吉比特高速路由器的出现及IP QoS、MPLS等概念的提出，ATM的优势也发生了变化。新的网络模型被人们提出，IP作为二层处理的呼声日益高涨，甚至有人说随着MPLS产品的出现及IP QoS问题的解决，对ATM的需求将会日益减少。ATM技术与IP技术在未来骨干网中的地位之争达到空前激烈的程度，很多电信运营厂商仍在观望，而更多的厂商则是双管齐下。

尽管在未来谁是主流的问题上有很多分歧，但多数厂商和研究人员均认为ATM技术与IP技术在未来很长一段时间内将共存，并最终融合在一起。目前最看好的是支持两者结合的多协议标记交换(MPLS)技术，它的大部分标准已制定。



2. 光交换技术

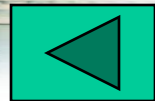
光纤传输技术在不断地进步，波分复用系统在一根光纤中已经能够传输几百吉比特每秒到太比特每秒的数字信息。传输系统容量的快速增长带来的是对交换系统发展的压力和动力。通信网中交换系统的规模越来越大，运行速率也越来越高，未来的大型交换系统将需要处理总量达几百、上千太比特每秒的信息。但是目前的电子交换和信息处理网络的发展已接近了电子速率的极限，其中所固有的RC参数、钟偏、漂移、串话、响应速度慢等缺点限制了交换速率的提高。为了解决电子瓶颈限制问题，研究人员开始在交换系统中引入光子技术，实现光交换。



第1章 绪 论



光交换的优点在于，光信号在通过光交换单元时，不需经过光电、电光转换，因此它不受检测器、调制器等光电器件响应速度的限制，对比特速率和调制方式透明，可以大大提高交换单元的吞吐量。光交换将是未来宽带网络使用的另一种宽带交换技术。



思考题

- 1.1 全互连式网络有何特点？为什么通信网不直接采用这种方式？
- 1.2 在通信网中引入交换机的目的是什么？
- 1.3 无连接网络和面向连接的网络各有何特点？
- 1.4 OSI参考模型分为几层？各层的功能是什么？
- 1.5 网络分层模型的意义是什么？分层设计对交换机有什么益处？
- 1.6 已经出现的交换方式有哪些？各有何特点？
- 1.7 交换方式的选择应考虑哪些因素？
- 1.8 比较电路交换、分组交换、ATM交换的异同。
- 1.9 交换机应具有哪些基本功能？实现交换的基本成分是什么？
- 1.10 交换网络有哪些基本的交换单元？它们是如何工作的？

