



# 通信原理

## 第14章 通信网



# 第14章 通信网

## • 14.1 概述

- 通信网是在多点之间传递信息的通信系统。
- 通信网的基本组成部分
  - ◆ 终端设备：包括电话机、传真机、电台、计算机等发送和接收信号的设备。
  - ◆ 通信链路：定义在一定的频域和空域，它占用给定的频带和物理空间。链路可以被时分复用或频分复用。
  - ◆ 交换设备：按照信令将通信链路传来的信号转接到另一条链路的设备。
  - ◆ 有些通信网中还包含转发设备。

# 第14章 通信网

## ■ 通信网的分类

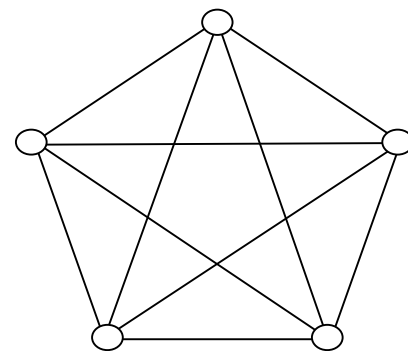
### ◆ 按照功能区分

- 电报网、电话网、电传(Telex)网以及电视网等等。
- 综合业务数字网(ISDN)
  - 窄带综合业务数字网(N-ISDN)
  - 宽带综合业务数字网(B-ISDN)
- 移动通信网：蜂窝网

### ◆ 按照拓扑结构区分

- 网形：

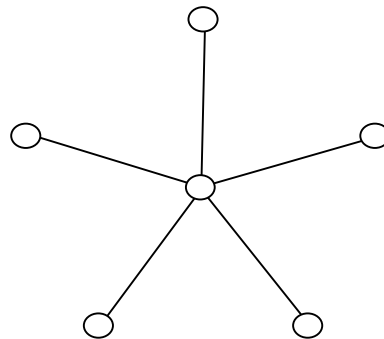
网形网的任意两个节点之间都有一条链路直接相连。所以若网中共有 $N$ 个节点，则需要 $N(N-1)/2$ 条链路连接。当 $N$ 增大时，所需链路数目将急剧增加，故经济性较差。但是，若各节点有转发功能，则可靠性大为增加。



# 第14章 通信网

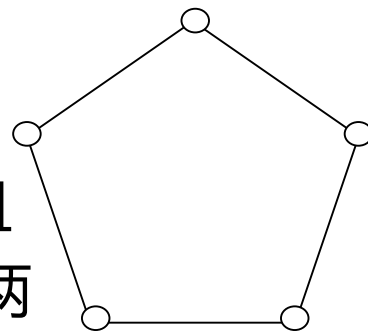
## □ 星形网：

在星形网中，若共有 $N$ 个节点，则共需 $(N-1)$ 条链路；除中心节点外，其他节点之间的通信都需要经过中心节点转接。故在中心节点处需要有交换设备为其他各个节点转接信号。和网形网相比，星形网需要的链路数目减少了，但是需要增加交换设备。



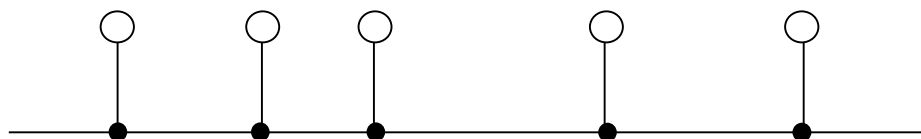
## □ 环形网

环形网所需的链路数目 $N$ 等于节点数目，并且每个节点都需要有转发功能。在这里，任意两个节点之间都有一条迂回链路，所以可靠性比星形网高。但是，在某些节点之间可能需要多次转发，这个因素又会使传输时延增大和可靠性下降。



# 第14章 通信网

## □ 总线形网

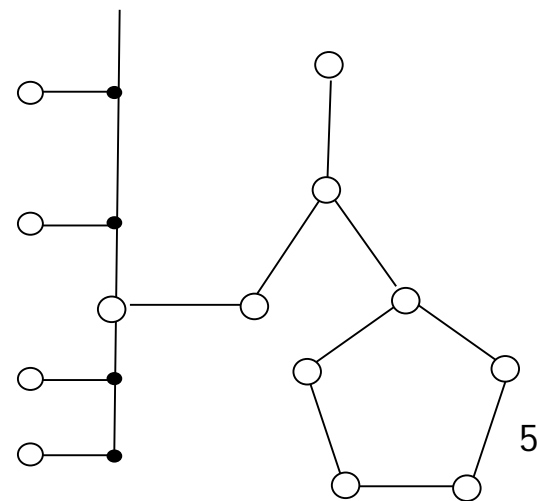


在总线形网中，利用一条“总线”连接所有节点。由于所有节点共用这条总线，即总线同时只能为两个节点服务，所以它主要用于分时工作的计算机局域网中。

由于总线形网和环形网的上述特点，当网中节点数目较大时，可能使信号传输的时延较长。这两种网主要适合用于节点数目较少的计算机网中。

## □ 复合形网

复合形网是上述几种基本型网的组合。根据对网络的性能要求，常将几种基本型网结合使用，以求达到技术和经济指标优化的目的。





# 第14章 通信网

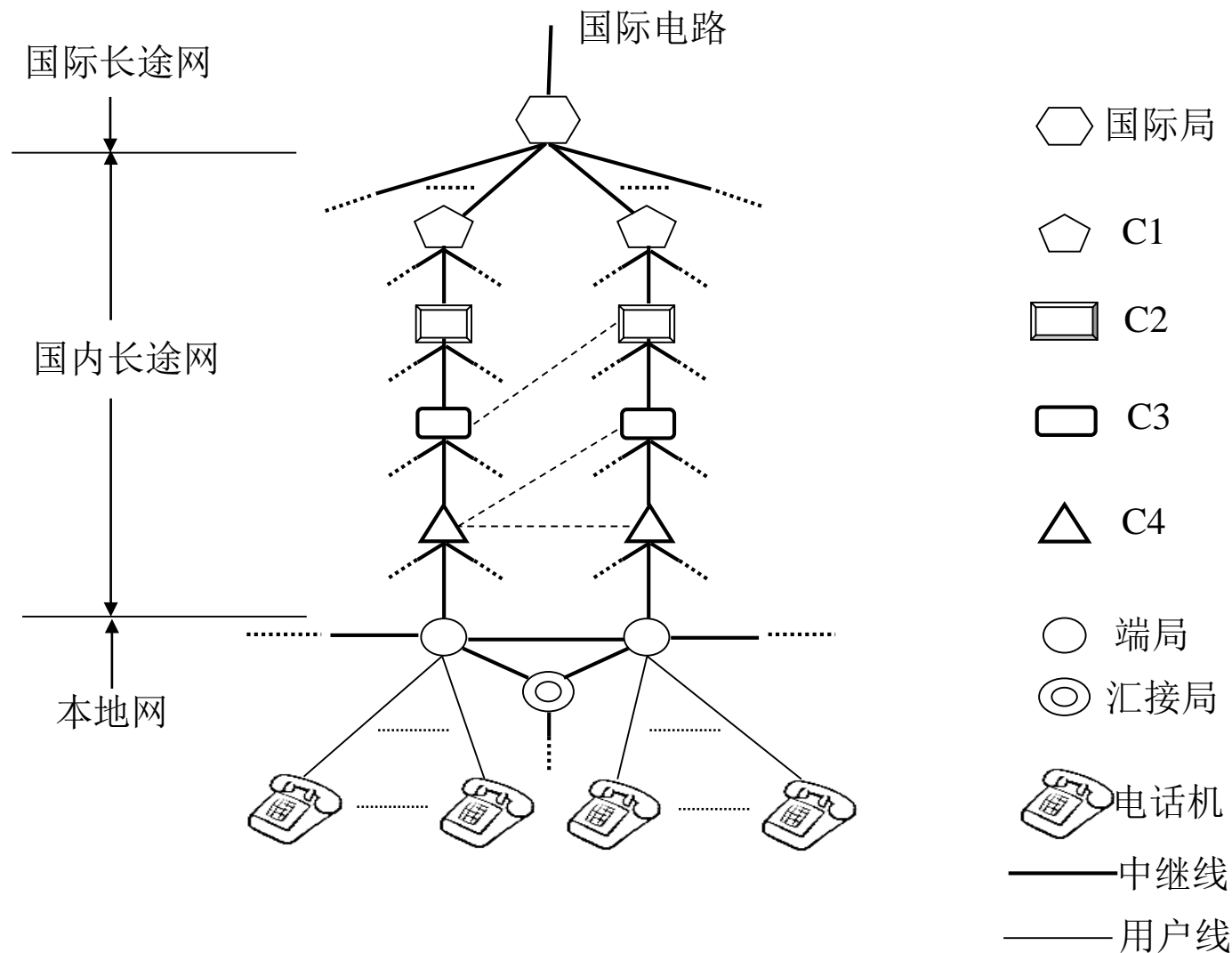
## • 14.2 电话网

### ■ 14.2.1 电话网的结构

- ◆ 组成：由终端设备（电话机）、传输线路和交换设备组成。
- ◆ 分类：
  - 专用交换电话网
  - 公共交换电话网(PSTN)
  - 下面以公共网为例，介绍其结构和功能。

# 第14章 通信网

## PSTN的拓扑结构示意图





# 第14章 通信网

## ◆ 本地电话网：

- 是指在一个统一号码长度的编号区内，由电话机、用户线、用户端局（简称端局）、汇接局、局间中继线和长话-市话中继线组成的电话网。
- 各用户的电话机经过用户线接到端局。在一个端局内的线路一般构成星形网。在端局中的用户交换机用于按照呼叫用户的信令连接被呼叫用户。
- 汇接局则汇聚各端局的连接，并与其他汇接局连接。各端局和汇接局之间用局间中继线连接。
- 长话-市话中继线则用于将本地电话网和国内长途电话网相连接。中继线一般是大容量电缆，用于传输时分复用PCM信号。



# 第14章 通信网

## ◆ 国内长途电话网：

- 是指全国各市（县）间用户进行长途通话的电话网，网中各市（县）都设一个或多个长途电话局。各长途局间由长途电话线路连接起来。
- 国内长途电话网的结构在我国采用分级汇接制，它包含4个等级的交换中心，即大区交换中心（C1），省交换中心(C2)，地区交换中心(C3)和县市交换中心（C4）。
- 分级汇接制在图中显示为树状结构。但是不排除个别的跨区连接，如图中虚线所示。



# 第14章 通信网

## ◆ 国际长途电话网：

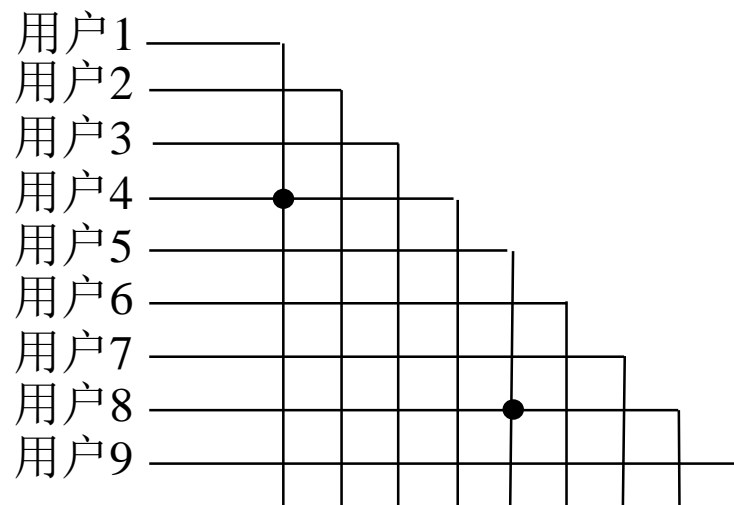
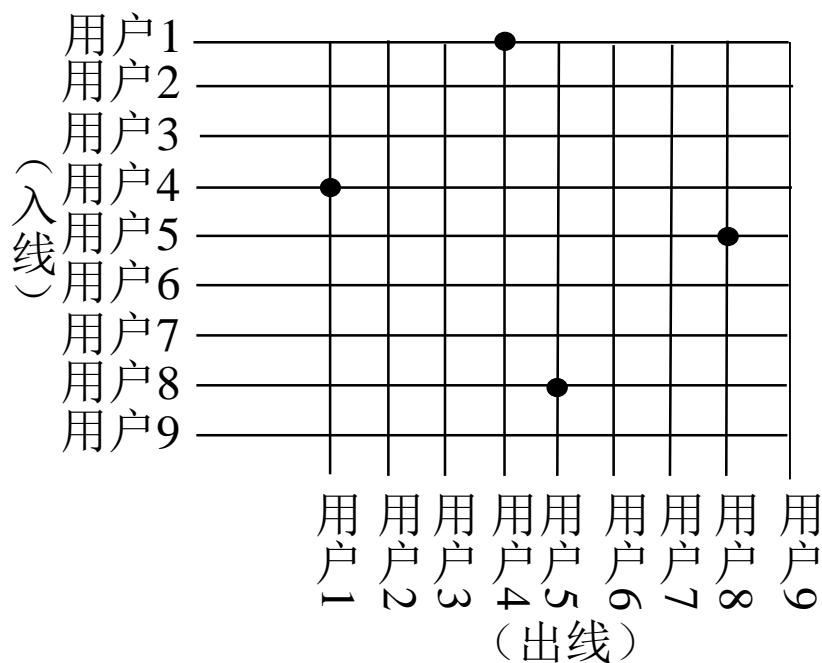
- 是指将世界各国的电话网相互连接起来进行国际通话的电话网。
- 为此，每个国家都需设有一个或几个国际电话局。国际长途通话实际上需要经过通话双方国内电话网和国际电话局，以及国际电路等几部分进行的。

# 第14章 通信网

## 14.2.2 电话网中的交换

### ◆ 电路转接方法：用于早期的电话网

- 双向交换矩阵  
不适宜用于数字电路
- 单向交换矩阵



和双向交换矩阵相比，这种单向交换矩阵中的开关数目要加倍。

# 第14章 通信网

## ◆ 时分数字交换技术

- 由于数字通信技术的发展，在交换设备中目前一般采用时分数字交换技术。这时，被交换的信号是数字信号。
- 若由用户线路输入的是模拟信号，则首先应将其数字化，再进行交换。交换后，再经过数/模变换，变成模拟信号送回用户。
- 在数字交换设备中，均采用时分复用PCM体制。这样，只需将分配给各用户的时隙位置搬移，即可达到交换的目的。时隙的搬移，虽然在原理上可以用时延的方法实现，但是在实际中时隙交换器通常是用随机存储器(RAM)完成的。

- ◆ 上述两种方法中，前者用开关矩阵实现交换的方法常称为**空分交换**，后者则称为**时分交换**。空分交换时刻保持连接通信两端用户的线路处于持续接通状态。时分交换则不然。

# 第14章 通信网

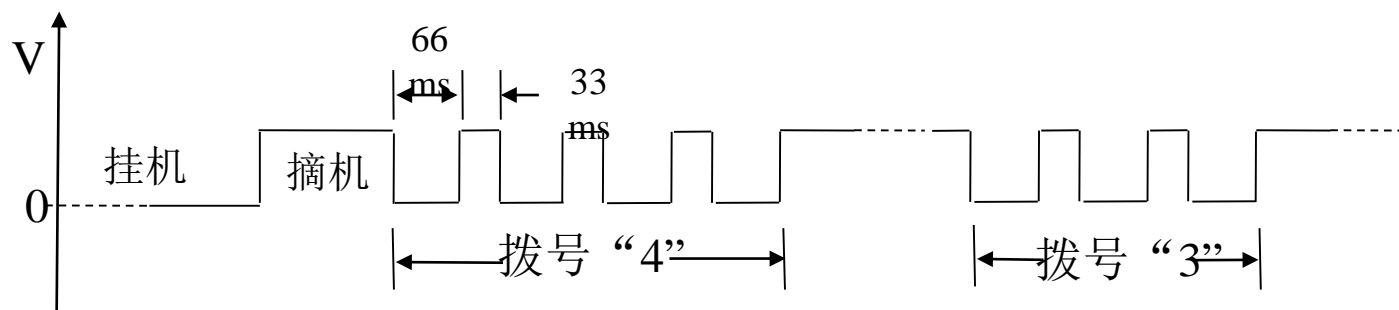
## ■ 14.2.3 电话网中的信令

- ◆ 信令的用途：在电话网中，交换设备是根据用户发来的信令控制接通哪一条或几条电路的。
- ◆ 信令的分类：
  - 用户信令和局间信令：
    - 用户信令：从用户发到端局的信令，它规定了要求呼叫的终端目的地。
    - 局间信令：在各局和各中心之间传输的信令，它根据用户信令的要求按照网络的构成决定着信号通过的链路。
  - 模拟信令和数字信令：公共电话网中
    - 模拟信令：由电话机到端局之间的用户线一般都是模拟线路，所以用户信令都是模拟信令。
    - 数字信令：局间中继线都是数字线路，故局间信令是数字信令。

# 第14章 通信网

## ◆ 用户信令:

- 拨号脉冲：由机械（拨号盘）或电路产生直流脉冲，用脉冲的数目表示电话号码，其工作原理见下图。



- 当挂机时，用户直流线路处于断开状态，电压为0。当用户摘机后，直流线路接通，电压为正。
- 若拨号“4”，则线路上发出4个脉冲。每个脉冲占100 ms时间，其中0电压约占66 ms，正电压约占33 ms。脉冲数目等于拨号数字，但拨号“0”时发出10个脉冲。故发送每个数字平均需用0.55 s时间。
- 当电话号码较长时，拨号费时太长。另外，它易受脉冲干扰，发生错误。

# 第14章 通信网

## □ 双音多频(DTMF)信令:

- DTMF信令是从8个不同频率的单音中选取两个表示1位数字，见下表。它共有16组频率组合可用。

	1209 Hz	1336 Hz	1477 Hz	1633 Hz
697 Hz	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	备用
770 Hz	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	备用
852 Hz	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	备用
941 Hz	<b>*</b>	<b>0</b>	<b>#</b>	备用

- 由于用DTMF发送每位数字仅需约0.08 s的时间（包括数字间隔时间），速度较快。



# 第14章 通信网

## ◆ 局间信令：

### □ 随路信令(CAS)：

- 是指信令和用户信息（语音）在同一信道中传输的信令。
- R2信令是一种基于E-1时分复用系统的随路信令。在E-1系统中时隙TS16被预留用来传递这种信令。

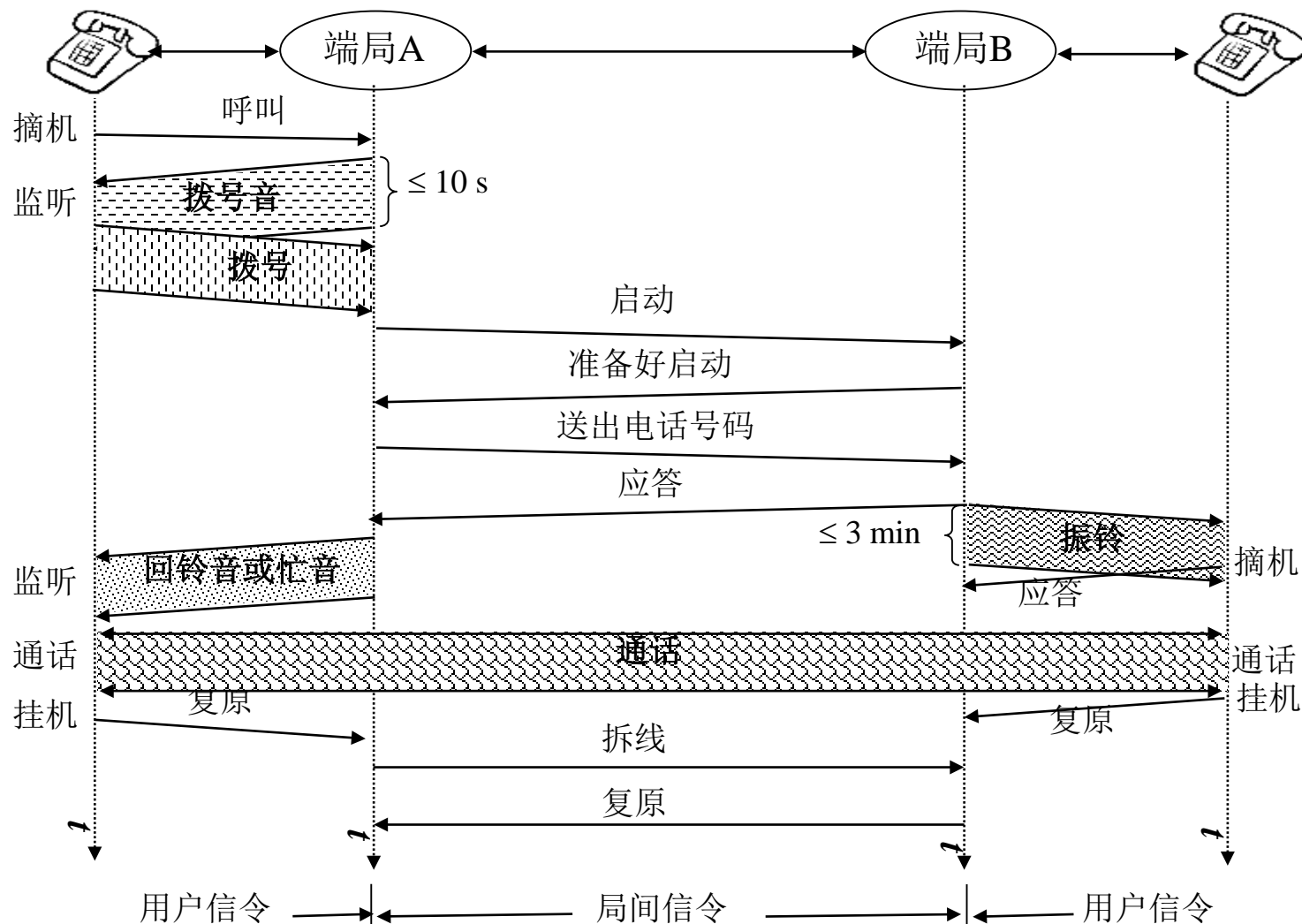
### □ 共路信令(CCS)：

- 将呼叫控制信息和其他业务信息通过一个独立的信令网络传输。
- SS7信令为一种共路信令。它比R2信令更高效，更可靠。SS7信令的标准化程度要比R2信令好。



# 第14章 通信网

## ◆ 呼叫和通话过程举例



# 第14章 通信网

## 14.2.4 电话网的性能指标

### ◆ 话务量：

- 电话网中负担的业务量多少由话务量衡量，它分为
  - 流入话务量 $A$ ：其定义是单位时间（1 h）内平均呼叫次数 $\lambda$ 和每次呼叫平均持续（占用线路）时间 $h$ 之积，即

$$A = \lambda \cdot h \quad (Erl)$$

式中， $h$ 的单位是h/次， $\lambda$ 的单位是次/h，故 $A$ 是无量纲的。而 $A$ 的单位则称为爱尔兰。

流入话务量表示每小时中平均线路占用时间。

- 成功话务量：成功话务量 $A_0$ 的定义是单位时间（1h）内呼叫成功次数 $\lambda_0$ 和每次呼叫平均持续（占用线路）时间 $h$ 之积，即

$$A_0 = \lambda_0 \cdot h \quad (Erl)$$

# 第14章 通信网

## ◆ 呼损率

- 由于一般的通信网并不能保证所有呼叫都能够成功地被转接到对方用户，所以必然会有少量的呼叫失败，即发生“呼损”。

- 呼损率则是指损失的话务量( $A - A_0$ )与流入话务量 $A$ 之比，即

$$B = \frac{A - A_0}{A} = \frac{\lambda - \lambda_0}{\lambda}$$

- 成功话务量和呼损率之间的关系为

$$A_0 = A(1 - B)$$

由上式可见，呼损率越小，成功话务量越大。

- ◆ 一个电话网的流入话务量决定于客观需求，在设计电话网时应该将流入话务量作为给定条件之一。呼损率和电话网的设计能力有关，例如交换机和中继线等设备的容量都直接和呼损率有关。设备容量越大，呼损率越小，但是投资和运行费用也大。



# 第14章 通信网

## • 14.3 数据通信网

### ■ 14.3.1 概述

#### ◆ 数据通信网的分类

##### □ 按照覆盖范围区分：

- 局域网：局域网的覆盖范围较小，一般在一幢建筑物或一个庭院的范围。
- 城域网：城域网的覆盖范围为一个城市，一般约在50 km范围以内。
- 广域网：广域网的覆盖范围则可达几千千米。
- 个（人区）域网：近年来新出现的，它的覆盖范围一般在一间室内；由于采用无线传输方式，所以又称为无线个域网(WPAN)。



# 第14章 通信网

- 按照传输方式区分：

- 无线数据通信网：在无线数据通信网中目前发展最快的是无线局域网。
- 有线数据通信网

- 按照用途区分：

- 专用数据网
- 公共数据网：

公共数据网在概念上包括增值网和信息交换网。增值网是在数据通信的基本业务上附加了新的通信功能或业务，使其原有价值增高。例如，增加电子函件、语音信箱、可视图文、电子数据交换(EDI)、在线数据库检索、因特网、虚拟专用网、“800”号受方付费业务、“200”号电话呼叫卡业务等。



# 第14章 通信网

## • 14.3.2 数据通信网的组成

### ■ 电路交换和信息交换

#### ◆ 电路交换：

- 它的特点是在用户之间建立一条连接通路，以直接传递信号。
- 电路交换时，在两个用户通话的持续时间内，需要有一条通信电路始终保持在为他们连接的状态，不论他们是否正在讲话。平均而言，在通话时间内，一个用户收听和讲话的时间各占一半，再考虑到找人等待时间和讲话时的间隙，实际发送语音的时间只占不到40%。所以多一半时间是空闲的。这是很大的资源浪费。

# 第14章 通信网

## ◆ 信息交换：

- 一个通路可以被多个用户发送的信息分时利用。所以通路的时间利用率可以大为增加。
- 由于交换设备需要将收到的数据格式变成适合传输的格式，在数据到达接收端前再将其格式变成适合接收端的格式，所以收发两端设备所用的数据格式可以不同。
- 由于信息交换是按照“存储-转发”方式工作的，交换设备将收到的数据先存储起来，等到有通路可以利用时才转发，所以有一定的时间延迟。
- 信息交换又分为
  - 报文交换：将整个报文一次转发，由于其长度可能很长，所以，其存储时间也可能很长，从而造成时延可能很大。
  - 分组交换：首先将消息在交换设备中分成长度相等的短的分组（或称“包”），例如1000 b为一个分组，然后再传输。故延迟时间很小，目前应用广泛。

# 第14章 通信网

## ■ 面向连接和无连接

- ◆ 面向连接的数据通信网：通信双方的终端之间必须有线路连接，才能通信。此连接可以通过呼叫建立的；也可以是永久性或半永久性的专线连接。
- ◆ 无连接的数据通信网：通信双方终端之间不需要有线路连接。这时是采用信息交换方式，将数据分组发出。由于一个消息被分成若干分组后，每个分组在网络中的传输路由可能不同，所以各组不一定按原顺序到达接收端。因此，在发送端交换设备中除了要在消息上加上发送目的地的地址外，还需要将每组消息按照先后次序编号，在接收端交换设备中需要按照编号排列各组的次序，再将完整的接收消息送给终端用户。所以分组交换的实现过程比较复杂的。

若所有分组都经过同一路由传输并用同一方式处理，则可以设想在收发终端之间好像存在一个虚拟信道，称为虚信道，又称为逻辑信道，并将这种通过虚信道的连接称为虚连接。





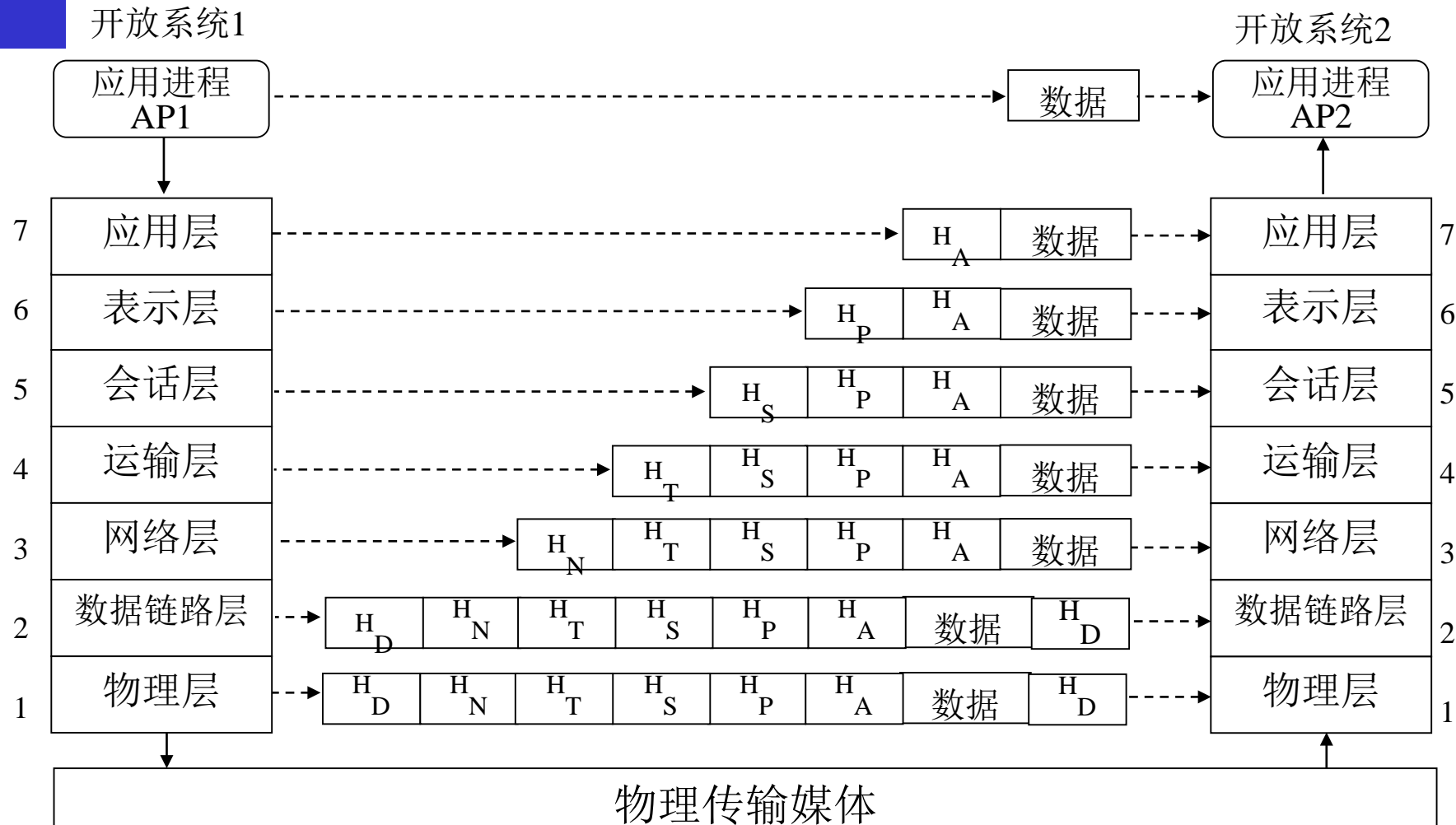
# 第14章 通信网

## ■ 通信协议

- ◆ 数据通信需要将数据分组、编号、加上纠错编码和目的地址等。终端和交换设备完成这些步骤时必须遵守一些规定。这些规定称为**通信协议**。
- ◆ 通信协议，也称**通信规程**。这两个名词是通用的。
- ◆ 为了制定一个通用的通信协议，需要将复杂的通信过程分成一些层次，每个层次承担一定的任务，并为每个层次制定相应的协议。我们将这些层次和相应的协议的总和称为数据通信网的**体系结构**。
- ◆ 1983年国际标准化组织(ISO)就为数据通信网的体系结构制定出了一个通用的标准，它称为开放系统互连(OSI)参考模型。它虽然在理论上比较完善，但是却不太实用。下面先介绍这个模型，然后也对于因特网的体系结构作介绍。

# 第14章 通信网

## 14.3.3 开放系统互连(OSI)参考模型





# 第14章 通信网

- ◆ **第7层 - 应用层**：应用层是OSI中的最高层，它确定进程之间通信的性质以满足用户的需要。其功能决定于用户的需求和网络服务目的。应用层还要提供应用进程所需要的信息交换、远程操作、系统管理和应用管理。应用层直接和用户的应用程序通信。
- ◆ **第6层 - 表示层**：表示层将上一层提供的数据作必要的编码或语法变换，以通信通用的格式送给网络，使不同类型的设备能够互相通信。其功能包括数据文件的格式化、编码（ASCII码、EBCDIC码，等等）、加密和解密、对话过程、数据压缩、同步、中断和终结。表示层还完成编码和字符集转换和决定报文显示方式。



# 第14章 通信网

- ◆ **第5层 - 会话层**：会话层在两个实体之间建立起进行一次“对话”的逻辑连接关系，负责网络登录和注销、身份鉴别和运作方式（单工、双工或半双工）等，并对“对话”进行管理和控制，但是不包括呼叫建立、设置和断开连接等功能。
- ◆ **第4层 - 运输层**：运输层传送数据的单位是报文。它负责在网络内的两个实体之间建立一条端到端的信道，并为通信两端提供可靠和透明的传输。它还进行端到端间的差错控制、顺序控制和流量控制等。运输层是通信的最高层。更高的3层已经和网络技术无关，而是涉及到网络的应用方面。因此，运输层是网络层和会话层之间的接口，它将上下两层隔开，使上一层看不见下层中数据传输的细节。



# 第14章 通信网

- ◆ **第3层 - 网络层**：网络层的任务是选择适当的路由和交换节点，使数据透明地传输到目的地。网络层中的传输数据单位是**分组**，或称包。因此，该层要负责将上一层送来的数据分组和对方发来的分组进行拆卸，并解决分组的丢失、重复传送和顺序颠倒等问题。
- ◆ **第2层 - 数据链路层**：数据链路层负责在两个相邻节点间的链路上，以帧为单位无差错地传输数据。它需要将上一层送来的数据加上所需的控制信息组成帧，然后按顺序发送给物理层，并处理对方送回来的“确认”帧。它还需要负责链路的连通、维持和释放，并且识别帧的边界和在检测到接收数据中有差错时通知对方重发这一帧，直至正确接收为止。在此层中加入的控制信息包括帧同步信息、地址信息、差错控制和流量控制信息等。**高级数据链路控制(HDLC)**规程是此层的主要通信协议之一。



# 第14章 通信网

- ◆ **第1层 - 物理层**：物理层的任务是为上一层送来的数据提供一个透明传输比特流的物理连接。所以物理层传输数据的单位是比特，而不管这些比特代表什么意义。物理层还负责物理媒体的连通（或激活）、维持和释放（或去激活）等。所以物理层要解决的问题包括：确定传输电压和电路阻抗值、传输速率、传输方向、连接器的物理参数（插孔数目、形状和尺寸等）。物理层的协议主要有EIA-232和RS-449接口标准。EIA-232标准适用于通过标准电话线路传输数据时的物理层接口，而RS-449标准则适用于宽带线路。

# 第14章 通信网

- ◆ 为了实现各层的功能，各层需要在上一层送来的数据分组前加上控制信息，称为报头( $H_A$ 、 $H_P$ 、 $H_S...$ )，如上图所示。但是，第2层（数据链路层）的报头( $H_D$ )分成两部分，分别加在数据的前后；第1层（物理层）则由于功能是传送比特流，所以不需加上控制信息。但是，从应用进程来看，开放系统2的应用进程AP2接收到的只是AP1发出的数据本身，没有报头，如图中虚线表示的那样，直接从AP1将数据发送到AP2。在两个应用层之间的通信，则只有数据和报头 $H_A$ ，其他的报头都被下面各层剥离掉了。类似地，下面各层也如此。
- ◆ 从功能上看，最高3层主要是有关网络控制、管理和应用方面等的功能，基本上和信息传输没有直接关系；下面4层才直接是信息传输方面的功能。



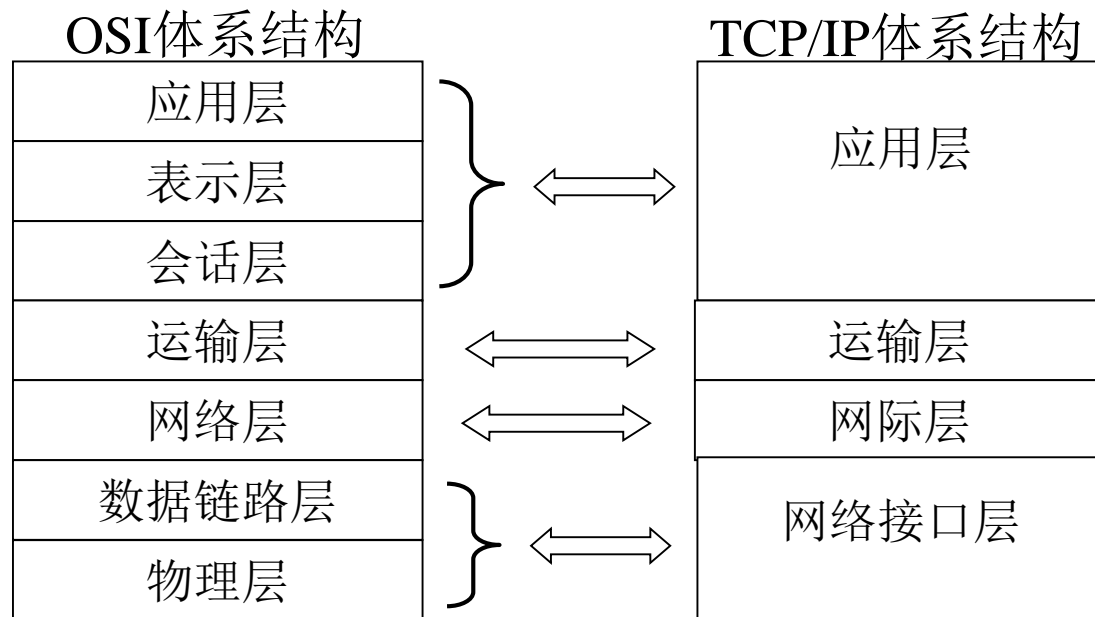
# 第14章 通信网

## ◆ TCP/IP体系结构

- 上面介绍的OSI体系结构虽然在理论上比较完整，但是由于它的全部标准制定拖延时间较长，实现起来过分复杂，和缺乏投入市场的驱动力量等原因，至今未能得到广泛应用。而在它的全部标准制定出来之前，因特网已经在全球得到了极大发展。因特网的体系结构是从实践中产生的，它称为TCP/IP。TCP/IP体系结构只分4层。它和OSI体系结构的比较示于下图中。



# 第14章 通信网



- TCP/IP体系结构中的应用层相当于OSI体系结构中的最高3层，它直接为用户的应用进程提供服务。这层的协议有多种，例如支持**万维网**(WWW)的HTTP协议，支持电子函件的SMTP协议和支持文件传送的FTP协议等。
- TCP/IP中的运输层和OSI中的运输层对应，它负责两个应用进程之间的通信。运输层有两种协议，即面向连接的TCP协议和无连接的UDP协议。



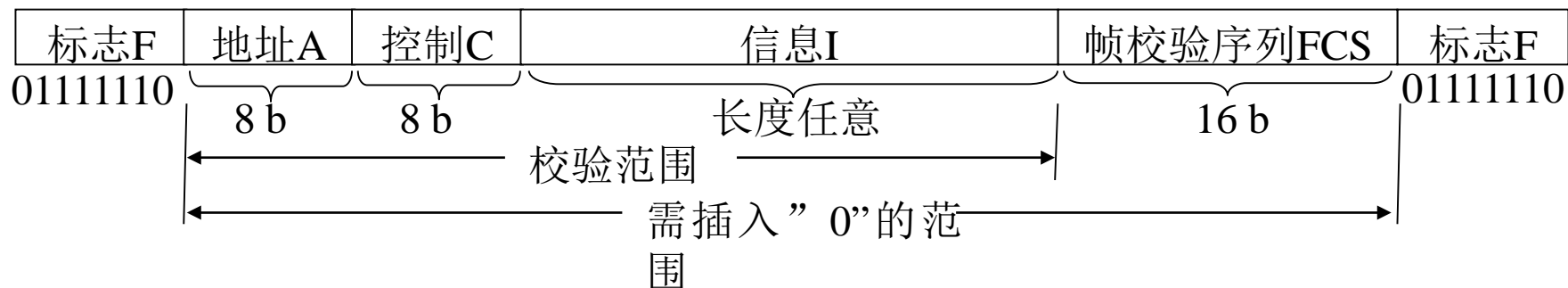
# 第14章 通信网

- TCP/IP中的网际层相当于OSI中的网络层，它用IP协议支持无连接的分组传送服务。由于因特网是一个很大的互联网，它将大量的各种不同类型的计算机网互连起来，故将其网络层称为网际层。
- TCP/IP中的网络接口层对应OSI中的最低两层。但是，严格讲此层并不是一层，仅仅是一个接口而已。
- ◆ 无论是OSI还是TCP/IP体系结构，其中各层分别都有自己的协议，而且每层的协议不止有一种。特别是高层协议与网络的性质和用途关系很大，协议的种类也很多。下面仅就数据链路层的一种主要协议(HDLC)为例作详细介绍。

# 第14章 通信网

## 14.3.4 高级数据链路控制规程(HDLC)

- ◆ 在HDLC中将一个分组称为一帧。HDLC规定的帧结构示于下图中。



- ◆ 由图可见，HDLC的一帧分为6个字段，下面分别给出其功能：

# 第14章 通信网

## □ 标志字段F:

- 标志字段F表明一帧的边界，它由“01111110”组成，共8比特。
- 为了使一帧的头尾两个标志F之间不会出现6个连“1”，避免和标志F混淆，HDLC规程规定发送端分组时若在两个F之间发现有5个连“1”，则立即插入一个“0”。
- 接收端则在发现5个连“1”后，即将其后继的“0”删除。当有两帧连续传输时，前一帧的结束标志字段F就可以兼作后一帧的起始标志字段。

# 第14章 通信网

## □ 地址字段A:

- 地址字段表示此帧发送的目的地址，它规定共有8 b (1字节)。
- 全“1”地址是广播地址，全“0”地址是无效地址。故有效地址共有254个。
- 对于一般情况，此地址数目是足够的。在有效地址仍嫌不够的情况下，容许将地址字段的长度扩展。
- 扩展的方法是事先规定用第1比特表示“扩展”，其余7比特为地址位。当地址字段中某个字节的第1比特为“0”时，表示下一字节的后7比特仍为地址位；当第1比特为“1”时，表示此字节已是地址字段的最后一个字节了。

# 第14章 通信网

## □ 控制字段C:

- 控制字段用于信令、应答和管理等。它的长度也规定为8 b，其具体功能示于下图中。

比特	1	2	3	4	5	6	7	8
信息帧I	0	N(S)			P/F	N(R)		
监督帧S	1	0	S		P/F	N(R)		
无编号帧U	1	1	M		P/F	N(R)		

- 由图可见，它规定了本帧的性质并给出控制信息。按照其第1比特或第1和2比特的取值不同，它将HDLC帧分为3类：信息帧I、监督帧S和无编号帧U。
- 当C的第1比特是“0”时，表示本帧是信息帧I，携带有用用户信息。当第1比特是“1”时，本帧的功能由第2比特决定。此时，若第2比特为“0”，则本帧是监督帧S；若第2比特为“1”，则本帧是无编号帧U。

# 第14章 通信网

- 控制字段第5比特为查询/终止(P/F)比特。在主站发出的命令帧中若将其置为“1”，则表示要求对方立即发送应答。在对方的应答帧中若将其置为“1”，则表示数据已经发送完毕。控制字段的其他比特的功能将在后面另行介绍。
- 在信息帧I中，控制字段的第2至4位表示当前发送的信息帧的序号 $N(S)$ ，第6至8位表示期望收到的帧在对方发送序列中的序号 $N(R)$ 。 $N(S)$ 和 $N(R)$ 都是按模8运算的数字，即只能取值0至7。 $N(R)$ 还含有确认信息，表示序号为 $[N(R) - 1(\text{mod } 8)]$ 的帧和更前的帧都已经正确接收到了。这里模8运算的意思就是使序号的取值达到7后又回到0，这样继续循环计数。

# 第14章 通信网

- 在监督帧S中，控制字段的第3和4位的功能示于下表中，它给出接收状态。

S	名称	功能
00	RR – 准备好接收	表示准备好接收下一帧 $N(R)$ ，并确认已收妥序号为 $N(R) - 1$ 和其前的各帧。
10	RNR – 未准备好接收	表示未准备好接收下一帧，并确认已收妥序号为 $N(R) - 1$ 和其前的各帧。
01	REJ – 拒绝	表示从 $N(R)$ 起的所有帧的接收有差错，但确认已收妥序号为 $N(R) - 1$ 和其前的各帧。
11	SREJ – 选择性拒绝	只序号为 $N(R)$ 的帧接收有差错。

- 无编号帧本身不带编号，即不带 $N(R)$ 。它用控制字段的第3、4、6、7、8比特表示对网络控制的各种信令。这5比特的排列可以得出32种控制信令。



# 第14章 通信网

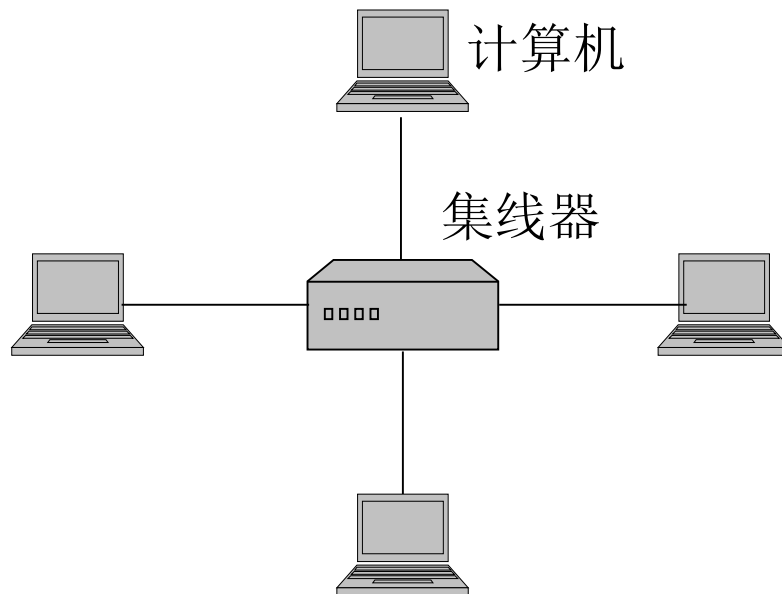
- 信息字段I：信息字段I的长度可以任意规定，但是其中定义的每个字符的比特数必须是固定的。
- 帧校验序列FCS：它用于监督本帧中的误码，但是标志F不在监督范围内。FCS规定采用循环冗余校验(CRC)法。所用的循环码生成多项式规定为 $x^{16} + x^{12} + x^5 + 1$ 。
-

# 第14章 通信网

## 14.3.5 局域网 - 以太网

### ◆ 以太网的结构

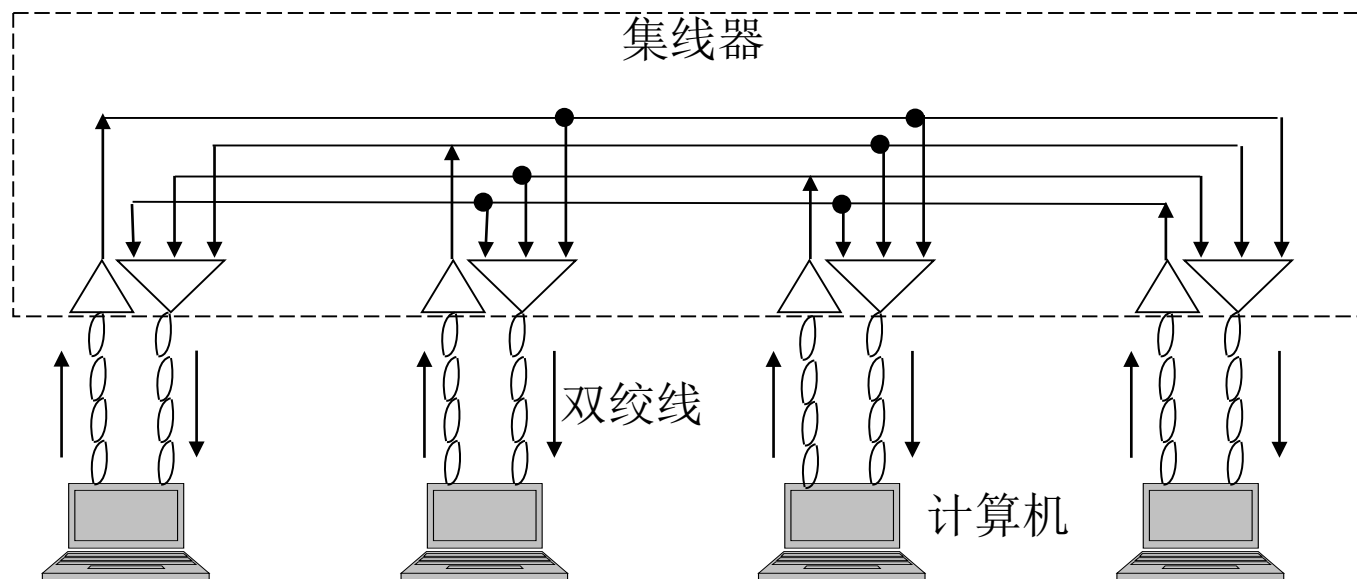
- 目前广泛应用的以太网多采用带集线器的星形网结构，见下图。



- 图中画出4个计算机通过线路和集线器相连。集线器有多个端口，每个端口接一个计算机。集线器的功能是将每个计算机发出的信号通过线路转送给其他各计算机。<sup>42</sup>

# 第14章 通信网

- 集线器和计算机间的线路是两对双绞线（见下图），分别用于发送和接收信号，其长度不超过100 m。



- 由以太网的线路连接关系可见，一个计算机发出的信号可以送到其他各个计算机。但是，一般情况都是只希望将信号发送给一个指定的计算机。因此，在发送信号中需要带有地址信息，只有此地址的计算机才能接收到此信号。



# 第14章 通信网

- 此外，这种网络中同时只允许有一个发送信号在线路中存在。若同时有多个发送信号，势必造成互相干扰。为了解决上述这些问题，需要制定一个通信协议，为各计算机遵守。在以太网中采用的协议称为**载波监听多点接入/碰撞检测 (CSMA/CD)**协议。下面就将介绍这个协议。

# 第14章 通信网

## ◆ CSMA/CD协议的数据格式

- 假定：一个计算机在发送信号之前处于监听网络的状态。只有当监听到线路上没有“载波”时，才能向线路上发送信号。这里的“载波”一词是指线路中其他计算机发出的任何电信号，不必须是正弦载波。
- 在以太网中数据是分组传输的，其数据格式如下图所示。

前同步码 8 B	目的地址 6 B	源地址 6 B	类型 2 B	数据 46 ~1500 B	帧校验 4 B
-------------	-------------	------------	-----------	------------------	------------

报 头

- 上图中显示每组数据共分6个字段，其中5个字段共26个字节是用于网络开销，只有一个字段是用户数据。下面给出这种数据格式的详细规定：
  - 每个分组的最大长度为1526字节，最小长度为72字节。每个字节含8比特。



# 第14章 通信网

- 每个分组分为6个字段：前同步码8字节，报头14字节，数据46至1500字节，校验位4字节。
- 分组间最小间隔为9.6  $\mu\text{s}$ 。
- 前同步码包含8字节的“1/0”交替码，但是最后以两个比特“11”结束，即前同步码为(101010...101011)。具体说，前同步码的前7个字节是“1/0”交替码，它用于建立比特同步，因为在一个计算机开始接收分组数据时比特同步尚未建立；最后1个字节是“10101011”，它表示在这个字节后面就是报头的开始。
- 报头包括：48比特目的地址码，48比特源地址码，16比特类型码。
- 接收站需检查报头中的目的地址，看该组是否应当接收。其中第1个比特指示地址类型（0表示单地址，1表示群地址）；地址码若为全“1”表示是向所有站广播。

# 第14章 通信网

- 源地址码是发送站的地址码。
- 类型码决定数据域中的数据如何解释。例如，用于表示数据的编码方法、密码、消息优先级等。
- 数据字段中字节数目必须为整数。当用户数据长度不足46字节时，需要用整数字节的字段填充。
- 帧校验字段中校验码的生成多项式如下：

$$X^{32} + X^{26} + X^{23} + X^{22} + X^{16} + X^{12} + X^{11} + X^{10} + X^8 + X^7 + X^5 + X^4 + X^2 + X + 1$$

- 帧校验序列的校验范围不包括前同步码。
- 最后指出，上述数据格式中的报头、数据和帧校验序列属于OSI参考模型中数据链路层的协议，而前同步码则属于物理层的协议。

# 第14章 通信网

## ◆ CSMA/CD协议的工作

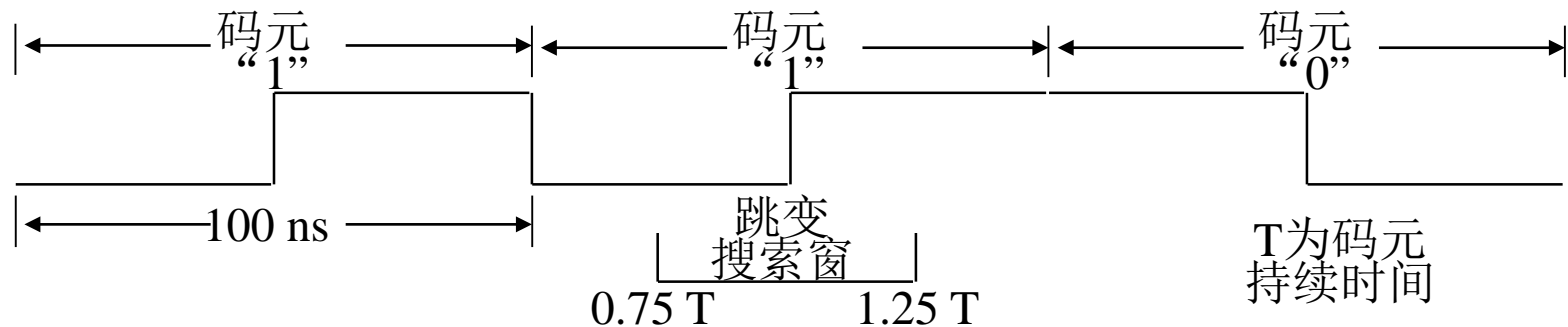
当一个计算机要发送数据时，它的可能状态如下：

- **延缓**：当线路中存在载波时，或在最小分组间隔时间( $9.6\ \mu\text{s}$ )内，不能发送。
- **发送**：若不在延缓期，用户可以发送直到分组结束或直到检测有碰撞。
- **中断**：若检测到碰撞，用户必须终止传输，并发送一个短的人为干扰信号，以确保所有碰撞方注意到此碰撞。
- **重新发送**：用户必须等待一个随机延迟时间，再试图重新发送。这样做的目的是使碰撞各方的延迟时间不同，以避免再次同时发送而引起碰撞。
- **退避**：延迟重新发送称为退避。第 $n$ 次重发之前的延迟时间等于一个随机数乘以基本延迟时间。此随机数在 $0 \sim (2n - 1)$ 间均匀分布( $0 < n \leq 10$ )。对于 $n > 10$ ，此区间仍为 $0 \sim 1023$ 。重发的基本延迟时间是 $51.2\ \mu\text{s}$ ，它对于 $10\text{Mb/s}$ 速率的以太网相当于 $512\ \text{b}$  ( $64\ \text{B}$ ) 的持续时间。



# 第14章 通信网

- ◆ 例：下图为以太网采用双相码以10 Mb/s速率传输的数据格式。



- 这时，每个码元中都包含一次跳变。码元 “1”中的跳变是从低电平到高电平；而码元 “0”的跳变是从高电平到低电平。所以，存在跳变就是向所有监听者表明网上有载波存在。若从最后一次跳变开始在0.75 ~ 1.25个码元时间内看不到跳变，就表明载波没有了，即表示一组的终结。

# 第14章 通信网

## ◆ 高速以太网

- 上面介绍的以太网一般称为10BASE-T，其中的“10”表示工作在10Mb/s速率，“BASE”表示传输的是基带信号，“T”表示双绞线。这种以太网至今仍在使用。不过，从1994年开始出现了100 Mb/s速率的以太网，称为100BASE-T。它仍使用CSMA/CD协议，但是集线器等硬件的工作速度提高了，并使用不同规格的双绞线或光纤。
- 现在将速率达到和超过100Mb/s以太网称为高速以太网。除了100BASE-T以太网外，到1996年又出现了能工作在1Gb/s速率的吉比特以太网。在2002年IEEE又完成了10吉比特以太网标准的制定。



# 第14章 通信网

## 14.3.6 ALOHA网

### ◆ 什么是ALOHA网?

- 它通过卫星的一个公共信道，采用随机接入协议，把几个地方的计算机连接起来。ALOHA系统采用分组传输方式，分组的长度是一定的。早期ALOHA系统的工作协议很简单，工作效率不高。因此，ALOHA系统的工作协议不断改进，出现了时隙ALOHA系统和预约ALOHA系统，并将早期的ALOHA系统称为纯ALOHA系统。

# 第14章 通信网

## ◆ 纯ALOHA系统:

### □ 工作模式:

- **发送模式**: 用户需要发送数据时可以随时发送。发送的分组具有纠错能力。
- **收听模式**: 在发送后, 该用户收听来自接收端的“确认(ACK)”消息。当有几个用户同时发送信号时, 由于信号间的重叠会造成接收数据中出现误码。我们称这种现象为碰撞。这时发送端将收到接收端送回的“否认(NAK)”消息。
- **重发模式**: 当发送端收到“NAK”后, 将重发原来的数据分组。当然, 若碰撞对方也立即重发, 将再次发生碰撞。所以, 要经过一段随机延迟时间后再重发。
- **超时模式**: 若发送后在规定时间内既没有收到ACK, 也没有收到NAK, 则重发此数据分组。

# 第14章 通信网

## □ 系统性能分析

### ➤ 归一化通过量和归一化总业务量

设每个数据分组的长度为 $b$ 比特，由用户送入系统的总业务到达率为每秒 $\lambda_t$ 个分组，其中成功接收率为每秒 $\lambda$ 个分组，拒收（发生碰撞）率为每秒 $\lambda_r$ 个分组，则有

$$\lambda_t = \lambda + \lambda_r \quad (\text{分组/秒})$$

于是可以将系统的平均成功传输量（或称通过量、吞吐量）定义为

$$p' = b\lambda \quad (b/s)$$

将系统的总业务量定义为

$$P' = b\lambda_t \quad (b/s)$$

若系统容量（最大传输速率）为 $R$  (b/s)，则定义归一化通过量为

$$p = b\lambda / R$$

定义归一化总业务量为  $P = b\lambda_t / R$



# 第14章 通信网

由于平均通过量 $p'$ 不可能大于系统的容量 $R$ ，所以归一化通过量 $p$ 不可能大于1。总业务量 $P'$ 决定于用户的需求，它可能很大，所以归一化总业务量 $P$ 可以大于1。

一般说来，可以写成 $0 \leq P \leq \infty$ 。

这样，一个分组的（最小）传输时间应该等于

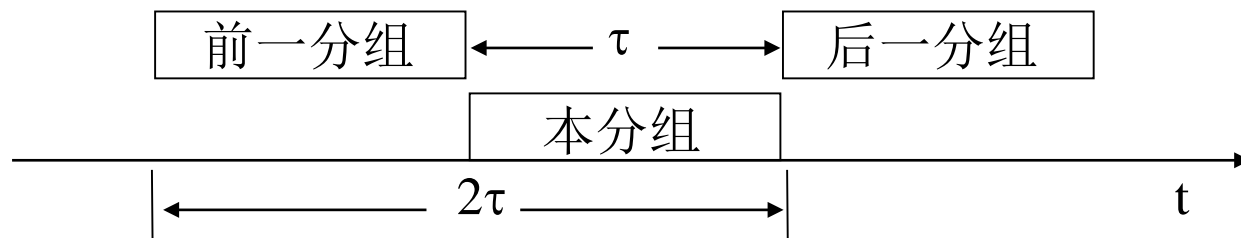
$$\tau = b / R \quad (\text{s/pkt})$$

将上式代入式中，得到前两式中，得到

$$p = \lambda \tau \quad \text{及} \quad P = \lambda_t \tau$$

# 第14章 通信网

## 避免碰撞的最小间隔时间



由上图可以看出，为了避免碰撞，一个分组至少需要 $2\tau$ 的空闲时间。因为若在本分组发送前 $\tau$ 秒内有另一个用户在发送，则会和前一分组的后部碰撞；若在本分组开始发送的 $\tau$ 秒内有另一分组发送，则会和后一分组的前部碰撞。换句话说，成功发送一个分组的条件是在相邻两个 $\tau$ 的时间间隔内没有其他的消息到达。

# 第14章 通信网

- 归一化通过量 $p$ 和归一化总业务量 $P$ 之间的关系  
若有大量不相关的用户向一个通信系统发送消息，则此通信系统中消息到达的统计特性通常用泊松分布表示。这就是说，在 $\tau$ 秒时间间隔内有 $K$ 个新消息到达的概率可以表示为泊松分布：

$$P(K) = \frac{(\lambda\tau)^K e^{-\lambda\tau}}{K!} \quad K \geq 0$$

式中， $\lambda$ 为消息的平均到达率

将上式中的 $\lambda$ 用总业务到达率 $\lambda_t$ 代替， $K$ 用0代替，就表示在一个 $\tau$ 的时间间隔内没有消息到达的概率：

$$P(0) = \frac{(\lambda_t\tau)^0 e^{-\lambda_t\tau}}{0!} = e^{-\lambda_t\tau}$$





# 第14章 通信网

因此，在ALOHA系统中一个消息成功传输的概率 $P_s$ 应该是相邻两个 $\tau$ 内都没有消息到达。故有：

$$P_s = P(0) \cdot P(0) = e^{-2\tau\lambda_t}$$

由于总业务到达率 $\lambda_t$ 等于平均成功接收率 $\lambda$ 和平均拒收率 $\lambda_r$ 之和。所以根据概率的定义可知， $\lambda$ 和 $\lambda_t$ 之比就是成功传输的概率，即

$$P_s = \lambda / \lambda_t$$

由上两式可以求出

$$\lambda = \lambda_t e^{-2\tau\lambda_t}$$

将上式代入  $p = \lambda \tau$

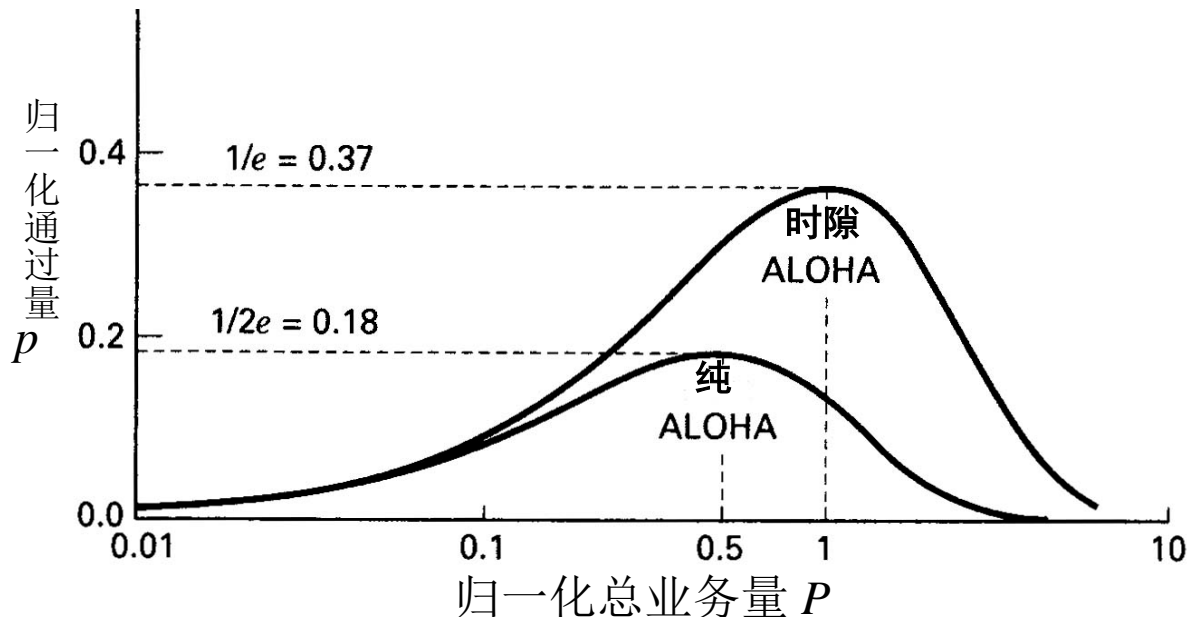
并且考虑到  $P = \lambda_t \tau$

得到归一化通过量  $p = P e^{-2P}$

上式就是要求的归一化通过量 $p$ 和归一化总业务量 $P$ 的关系<sub>57</sub>

# 第14章 通信网

➤ 性能曲线:



在上图中标记为“纯ALOHA”的曲线就是按上式画出的。由图可见，随着 $P$ 增大， $p$ 也逐渐增大，直至某一点后由于碰撞大量增加而开始下降。 $p$ 的最大值等于 $1/2e = 0.18$ ，它发生在 $P$ 等于0.5时。即“纯ALOHA系统”的信道容量利用率只有18%。

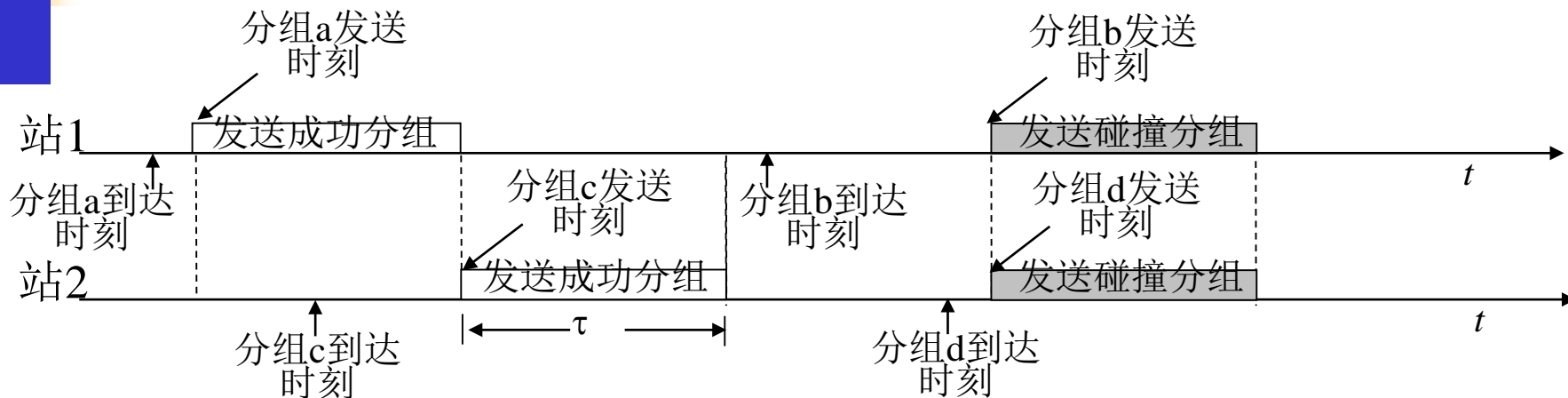
# 第14章 通信网

## ◆ 时隙ALOHA系统 (S-ALOHA系统)

- 改进之处：卫星向所有站发送一同步脉冲序列，将时间划分为等于分组长度的时隙 $\tau$ 。在这种系统中，分组的长度 $\tau$ 仍然是固定的，但是规定分组开始发送的时间必须在时隙 $\tau$ 的起点。这样的一种简单规定就能使碰撞率减少一半，因为只有在同一时隙中发送的消息才可能发生碰撞。

# 第14章 通信网

## □ 工作原理



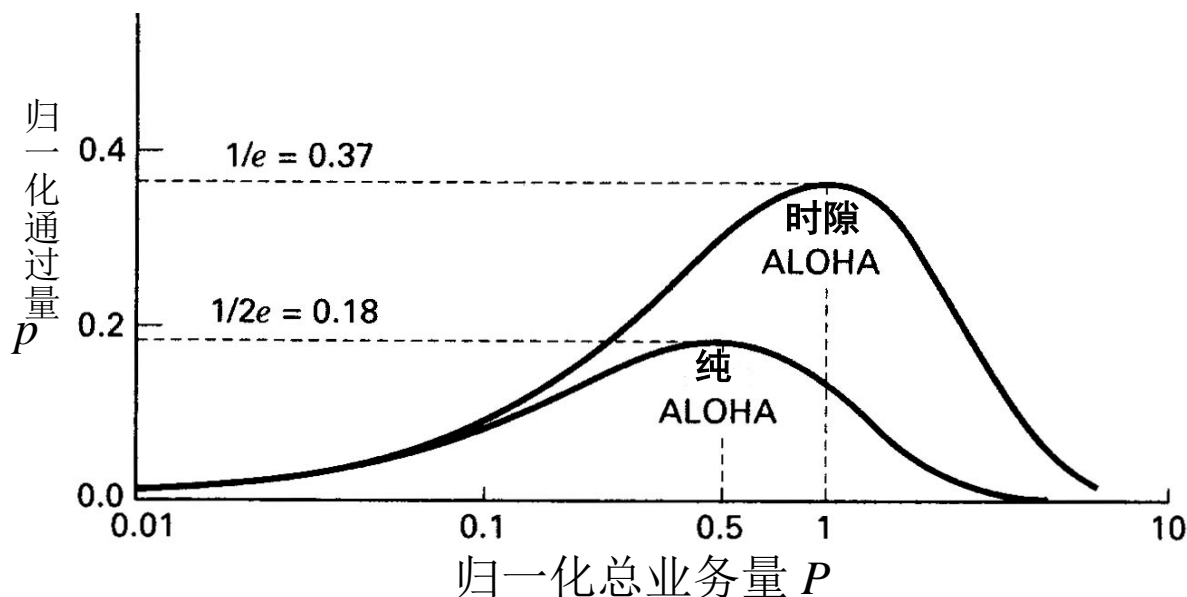
图中仅显示出两个站。站1的分组a和站2的分组c的到达时刻不在同一时隙中，所以它们都能成功地发送。站1的分组b和站2的分组d的到达时刻在同一时隙内，所以会发生碰撞。这样就将对分组到达时间间隔的要求从纯ALOHA系统的 $2\tau$ 减小为 $\tau$ ，使碰撞率减少一半。

这时的归一化通过量 $p$ 和归一化总业务量 $P$ 的关系式变为

$$p = Pe^{-P}$$

# 第14章 通信网

- 按上式画出的曲线示于下图中。此曲线的最大值等于 $1/e = 0.37$ ，它是纯ALOHA系统的两倍。



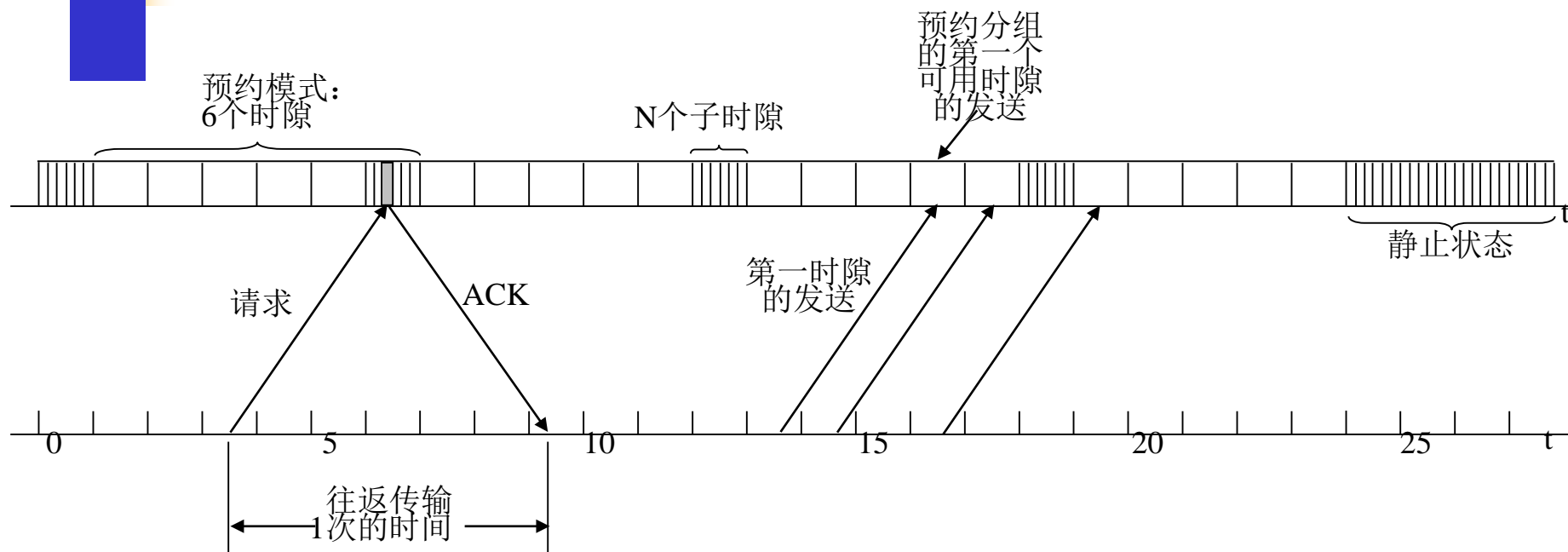
- 在重发模式下，S-ALOHA系统的重发必须延迟时隙的整数倍时间。这一点稍有别于纯ALOHA系统。这个整数倍时隙的延迟时间决定于各站的随机数产生器。当然，两个随机数产生器产生的随机数可能相同，但是这种情况发生的概率极小；一旦发生，会发生再次碰撞。若出现这种情况，则使用另一个随机数再次重发。

# 第14章 通信网

- ◆ 预约ALOHA系统 (R-ALOHA系统)
  - 基本模式：未预约模式和预约模式
  - 未预约模式（静止状态）下：
    - 将时间分为若干小的子时隙。
    - 用户使用这些子时隙来预约消息时隙。
    - 在发出预约请求后，用户等待收听确认和时隙分配的信息。
  - 预约模式下：
    - 一旦有了了一个预约，时间将被分成帧，每帧又分成 $M+1$ 个时隙。
    - 前 $M$ 个时隙用于消息传输。
    - 最后一个时隙再分成 $N$ 个子时隙，用于请求和分配预约。
    - 用户只能在 $M$ 个时隙中分配给他的时隙内发送消息分组。

# 第14章 通信网

例：有不同的实现方案。在下图中画出一个例子：



- 在静止状态时（图中最右端），没有预约，故时间被分成短的子时隙，用于进行预约。
- 一旦有了预约，系统将时间分成帧。每帧有6个时隙 ( $M=5$ )，其中最后一个时隙又分为6个子时隙 ( $N=6$ )。
- 在第3时隙有一个站发出请求，要求预约3个消息时隙。



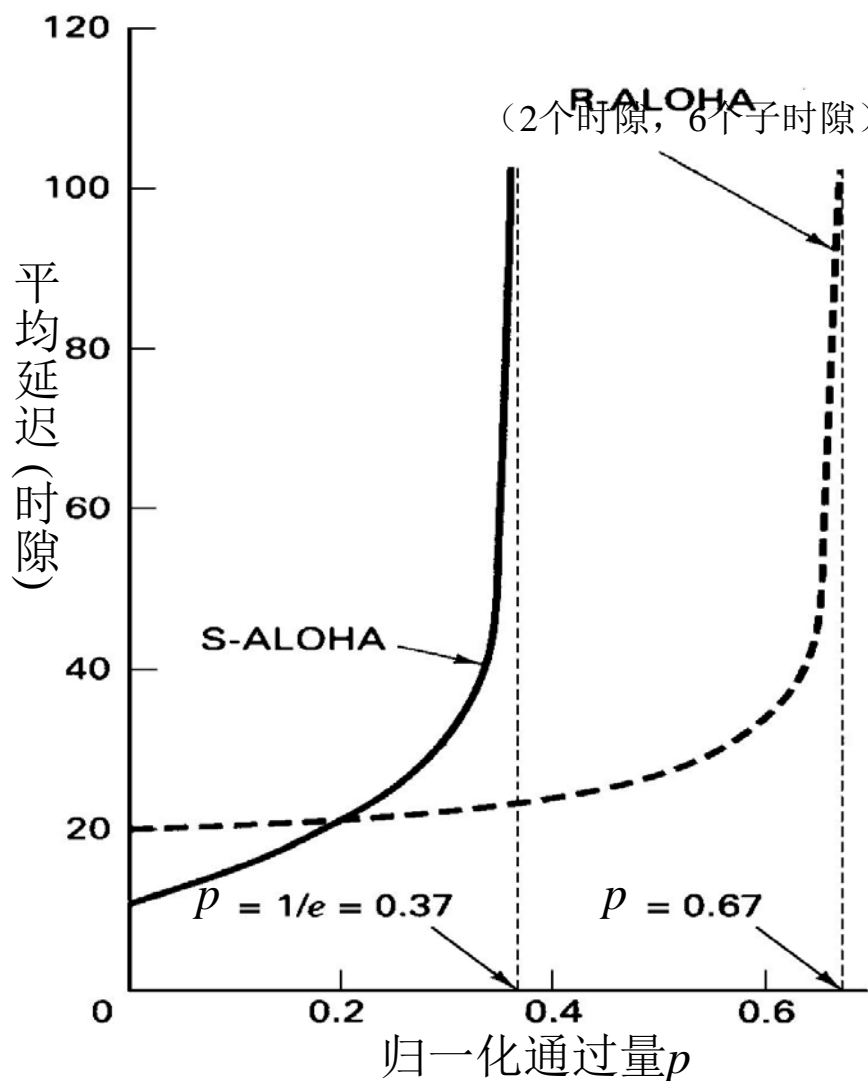
# 第14章 通信网

- 在第9个时隙该站收到确认和分配给它的发送第1个分组的位置。
- 该站在发送第1个分组之后，继续在下一个时隙发送第2个分组。但是，该站知道再后一个时隙是用于预约的，它被分成6个子时隙。所以，在这个预约时隙之后才发送第3个分组。
- 因为这种体制是分散控制的，所有各站都能收到卫星发送的下行信号中包含的预约时隙格式和分配，故只需指定分配的第1个分组的位置就够了。
- 在传输完预约分组后，若再没有发送请求，则系统返回静止状态的子时隙格式，并通过下行信道向各站发送同步脉冲。



# 第14章 通信网

## ◆ S-ALOHA系统和R-ALOHA系统的性能比较



# 第14章 通信网

## 14.4 综合业务数字网(ISDN)

### 14.4.1 窄带综合业务数字网(N-ISDN)

#### ◆ N-ISDN的信道类型

- **B信道**：传输速率64 kb/s。可以用于传输数字语音或数据等用户数字信息。
- **D信道**：传输速率为16或64 kb/s，用于传输电路交换的信令，还可以传输遥控信息和分组数据等。
- **H信道**：它有3种不同的传输速率，即
  - **H0信道** - 传输速率为384 kb/s,
  - **H1信道**：又分两种速率
    - H11信道** - 传输速率为1536 kb/s, （主要用于北美、日本和韩国等）
    - H12信道** - 传输速率为1920 kb/s, （主要用于欧洲和中国大陆）

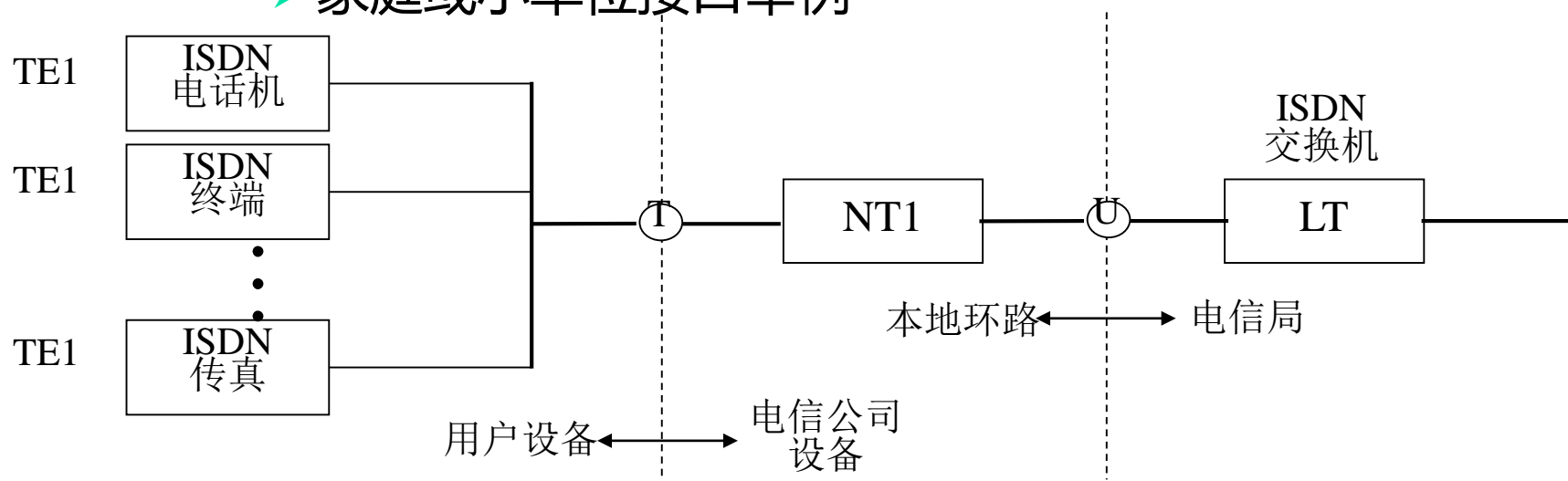
H信道用于传输用户信息。

# 第14章 通信网

## ◆ N-ISDN的接口

### □ 基本结构图

#### ➤ 家庭或小单位接口举例



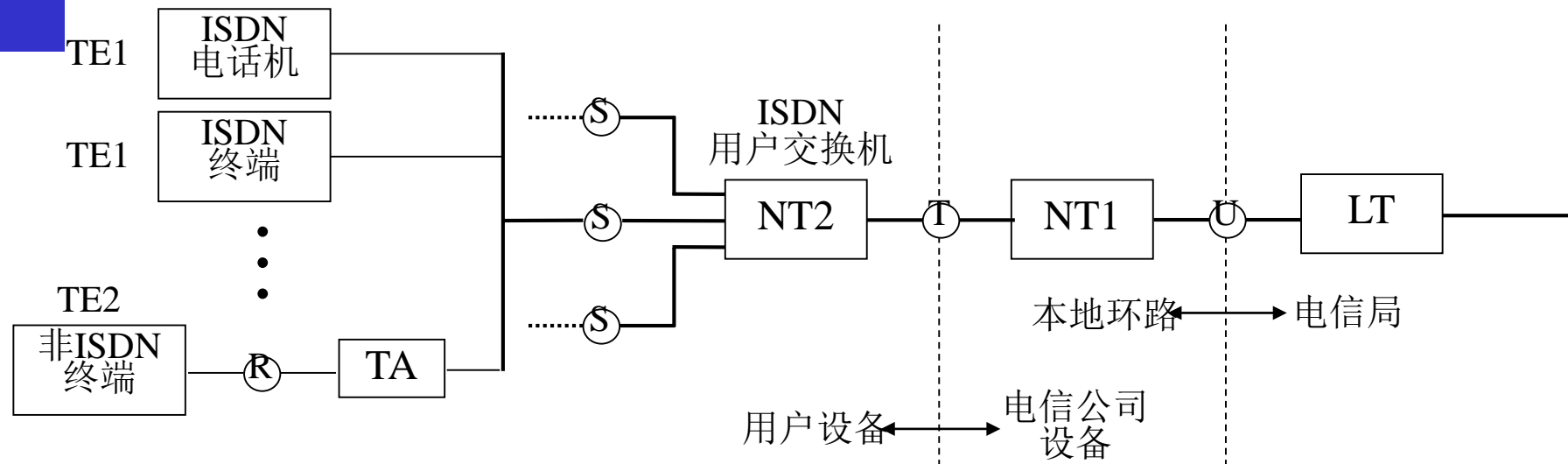
用户的各种ISDN终端设备(第1类终端设备TE1) 多至8个, 可以同时接到第1种网络终端(NT1)的连接器上。

网络终端NT1和终端设备的接口位于图中参考点T, 而NT1和ISDN的接口参考点是U。

NT1具有OSI第1层的功能。

# 第14章 通信网

## 大单位的终端接口举例



用户的各种ISDN终端设备接到第2种网络终端NT2的连接桥上。此接口位于图中参考点S。

NT2是有智能的，并且可能有集中和交换功能，即相当于具有OSI第3层的功能。它可以有多个连接参考点S。



# 第14章 通信网

图中还示出非ISDN终端设备(第2类终端设备TE2), 它可以通过终端适配器TA接到参考点S。非ISDN终端和TA的接口参考点是R。

适配器TA能将用户数据变换成ISDN的数据格式, 并在需要时加入附加的信令。它还可以将输入的模拟语音和传真信号数字化, 变成ISDN格式, 再送入网络。

# 第14章 通信网

## □ 网络-用户物理接口的标准结构

### ➤ 基本速率接口BRI:

由两个B信道和一个D信道( $2B+D$ )组成。在这种接口中, D信道的速率是16 kb/s; 两个B信道可以独立地使用, 即可以分别连接不同终端; 其中一个B信道用于数字电话, 另一个B信道可以用于传输数据、可视图文或PCM电话等。

在BRI接口上, 除了传输( $2B+D$ )信号外, 还有传输同步信息等其他开销, 所以总传输速率是192 kb/s。

### ➤ 基群速率接口PRI:

它由若干B信道和一个D信道组成, D信道的比特率为64 kb/s。这种接口适合用于需要更大传输容量的用户。

在欧洲和中国大陆, PRI使用30个64 kb/s的B信道和1个64 kb/s的D信道, 合成的比特率是2048 kb/s



# 第14章 通信网

在北美、日本和韩国，PRI使用23个64 kb/s的D信道和一个64 kb/s的D信道( $23B+D$ )，合成的比特率是1,544 kb/s。

- 除了上述两种B信道接口外，还有H信道接口，例如，由 $(5H_0 + D)$ 组成2048 kb/s的基群接口，由 $4H_0$ 或 $(3H_0 + D)$ 组成1544 kb/s的基群接口，以及由B信道和H信道组成的混合接口等。

# 第14章 通信网

## ■ 14.4.2 宽带综合业务数字网(B-ISDN)

信道速率高于2 Mb/s的ISDN，称为宽带综合业务数字网。ITU-T建议在B-ISDN中采用异步传递方式(ATM)作为B-ISDN中的信息传递方式。

### ◆ B-ISDN的协议参考模型

- 物理层和OSI参考模型中的第1层功能基本相同。ATM属于面向连接的网络类型。
- ATM层负责连接和复用。
- ATM适配层(AAL)在ATM层之上，其功能是提供各种业务、进行信元的装配和拆卸、解决传输抖动、进行流量控制和差错控制等。
- 更高层是用户层，其功能还有待研究。

4	更高层
3	ATM适配层
2	ATM层
1	物理层





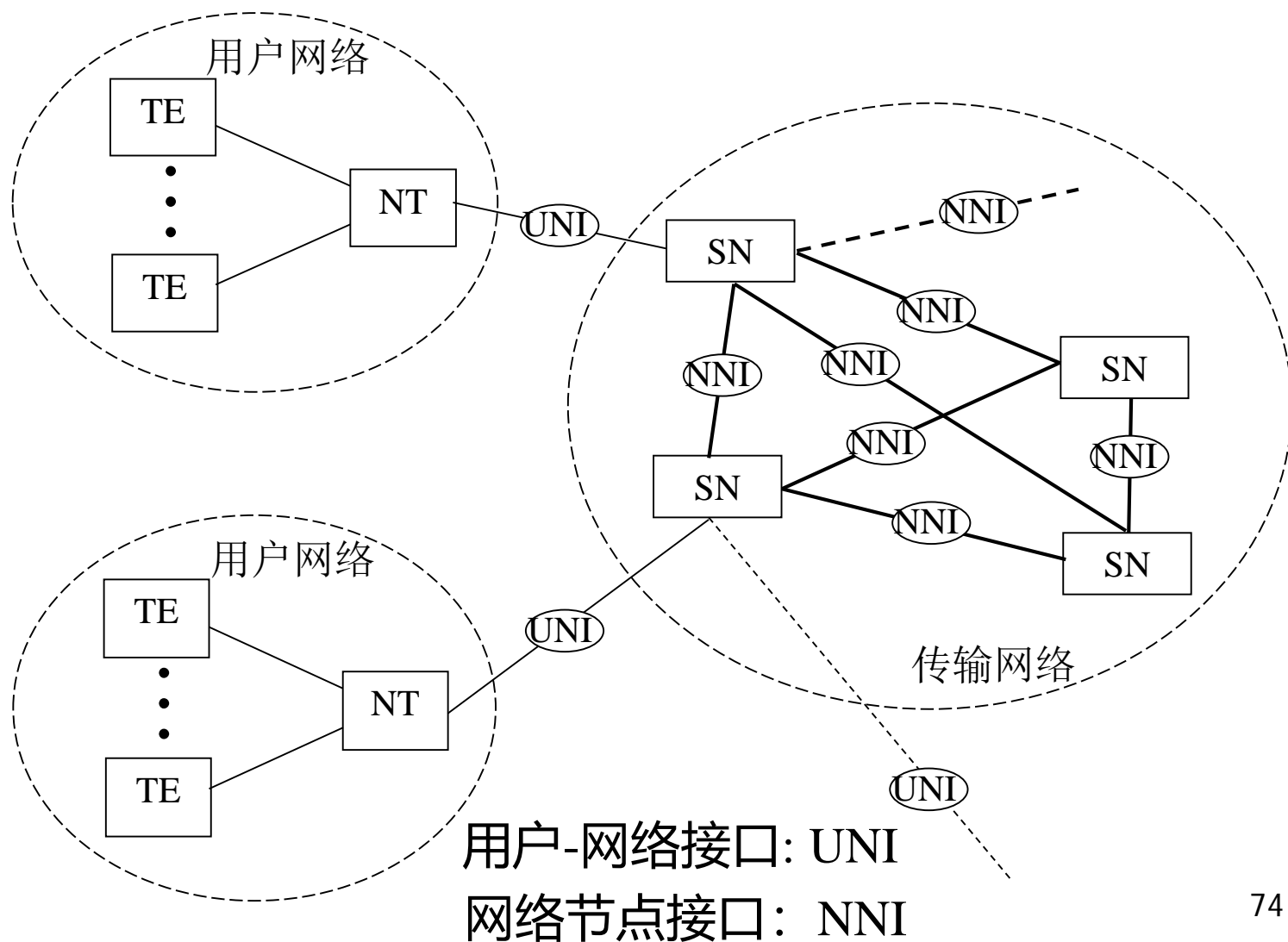
# 第14章 通信网

## ◆ ATM网络的结构

- ATM网络的组成：包括ATM用户网络和ATM传输网络。
  - ATM用户网络：由用户终端设备TE、网络终端NT 和传输链路组成。
  - ATM传输网络：由ATM交换节点SN和传输链路组成。
- ATM网络示意图：

# 第14章 通信网

## □ ATM网络示意图:

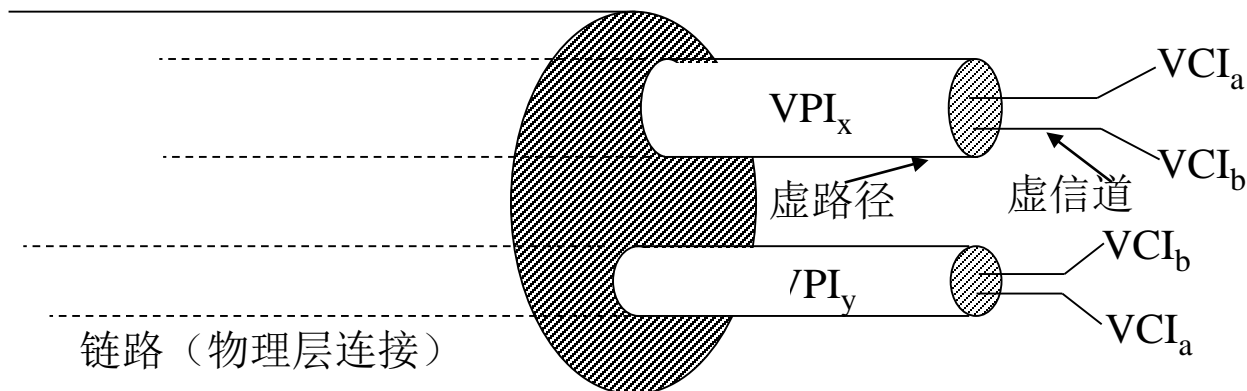


# 第14章 通信网

## ◆ ATM层

### □ ATM层的连接功能：

- ATM连接由一些ATM层链路串联组成，为接入点之间提供端-端传递能力。
- 在给定接口处和给定方向上，同一物理层连接在ATM层被若干虚路径VP 所复用；这些虚路径用虚路径标识符VPI 来区别。
- 在一段虚路径连接VPC 中又有若干虚信道VC ； 这些虚信道用虚信道标识符VCI 来区别。



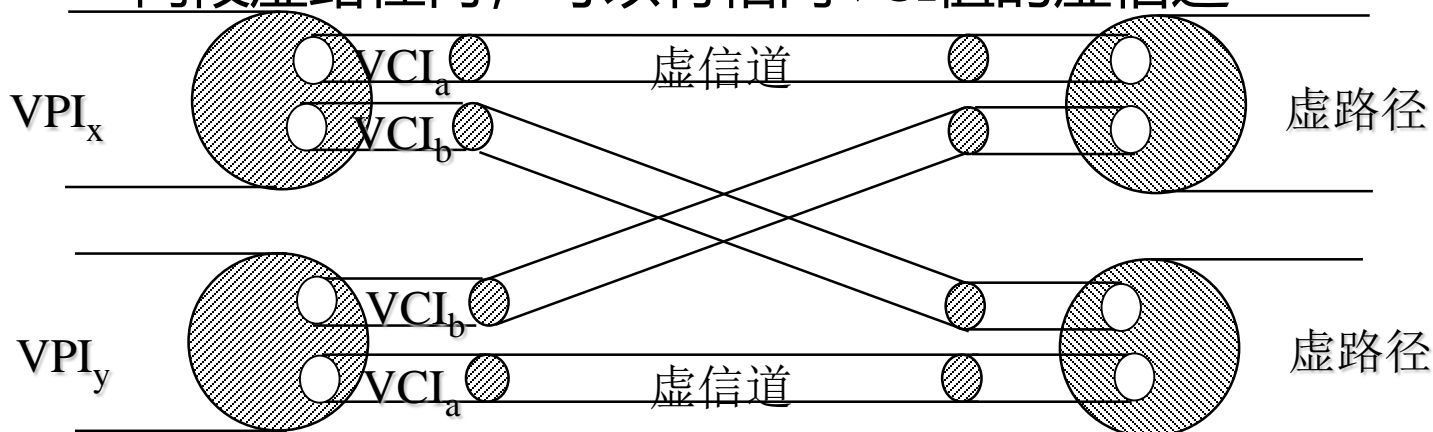
# 第14章 通信网

## ➤ VPI和VCI的关系

在一个给定的接口上，分别属于两段不同VP的两段VC可以具有相同的VCI值。所以，一段VC在一个接口上需要由VPI和VCI两个值才能被完全识别。

若一段虚信道连接VCC是在交换线路上，则VCI的一个特定值没有端-端意义，因为当VP终结（例如，经过交换机或交叉连接）时，VPI可能改变。

VCI仅在VC链路终结处才能改变。所以，VCI值只在一段虚路径连接VPC内保持不变。下图示出，不同VPI值的两段虚路径内，可以有相同VCI值的虚信道

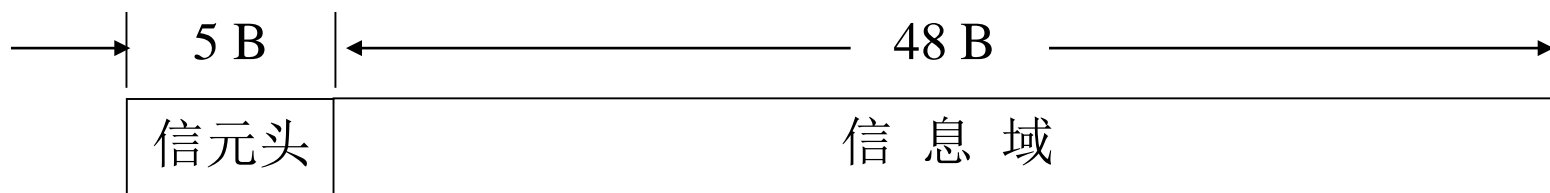


# 第14章 通信网

- ATM层的连接功能中还包含交换和交叉连接。交换设备和一般数字交换机的基本原理相同。交叉连接设备在ATM网中完成VP交换，不需要进行信令处理，从而能实现极高速率的交换。

## ■ ATM层的复用功能：

- ATM使用异步时分复用技术和面向分组的传递方式。
- 复用的信息流由给定长度的分组构成，这种分组称为信元。这些信元可以来自不同的用户。
- 信元由一个信息域和一个信元头组成。信元头的长度规定为5 B，信息域的长度规定为48 B：





# 第14章 通信网

➤ 信元头的功能：  
识别属于同一虚信道(VC)的信元。

➤ 信元头中包含的信息：

虚信道标识符(VCI)

虚路径标识符(VPI)

一般流量控制(GFC)

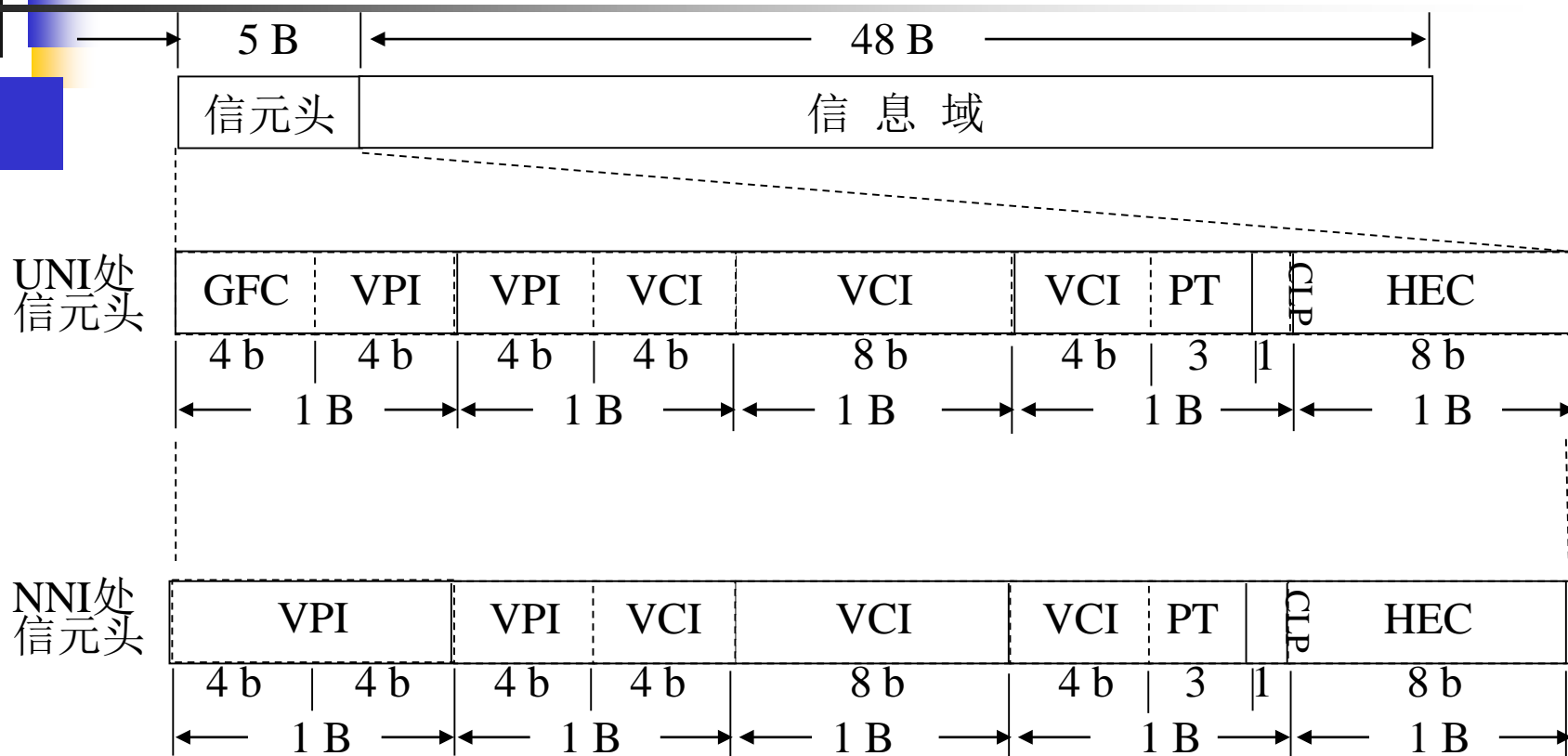
信元丢失优先等级(CLP)

有用负荷类型(PT)

信元头差错控制(HEC)

在不同的接口UNI和NNI上，信元头的格式略有不同，如下图所示：

# 第14章 通信网



- 由于在NNI处不需要规定一般流量控制GFC，所以可以用于标识符VPI和VCI的比特数达28 b，比UNI处多4 b。



# 第14章 通信网

---

- 每个用户的传递容量根据用户的要求和系统能提供的容量用协商的办法分配。由于ATM是一种面向连接的技术，当需要时将连接标识符分配给连接的每一链路，当不再需要时即释放。通常，信令 and 用户信息是分开在不同的ATM连接上传输的。





# 第14章 通信网

## ◆ ATM适配层 (AAL)

### □ AAL的功能:

- 它在B-ISDN参考模型中位于ATM层和更高层之间，将更高层的协议数据单元PDU映射到ATM信元中的信息域，或反之，从而将更高层和ATM层的特性隔开。具体讲，无论更高层送来的数据是语音、图像，还是报文，在AAL中都将其划分成一些48 B的分组，装入信元的信息域中。
- AAL支持多种应用业务，包括固定和可变比特率，面向连接和无连接，以及有定时关系和无定时关系等类型的业务。此外，AAL的功能决定于更高层的要求，主要有处理传输差错、处理信元丢失和信元错位，以及流量控制和定时控制等。



# 第14章 通信网

## • 14.5 移动通信网

### ■ 14.5.1 概述

#### ◆ 移动通信分类

- 按照移动通信类型区分：移动电话、移动数据（包括电报）、移动多媒体通信、无线寻呼(paging)等。
- 按照移动通信工作方式区分：单工、半双工、双工通信等。
- 按照组网方式区分：专线（对讲）、广播网、集群网、自组织（无中心）网、蜂窝网(Cellular Network)等。

在本节中我们将以目前广泛应用的蜂窝电话网为例，作重点介绍。



# 第14章 通信网

---

## ◆ 蜂窝网的发展

- 第一代蜂窝网：模拟调制、电话通信
- 第二代蜂窝网：数字调制、电话通信为主  
(第2.5代蜂窝网：增加数据通信功能)
- 第三代蜂窝网：数字调制、多媒体通信

# 第14章 通信网

## 14.5.2 蜂窝网的小区划分和频率规划

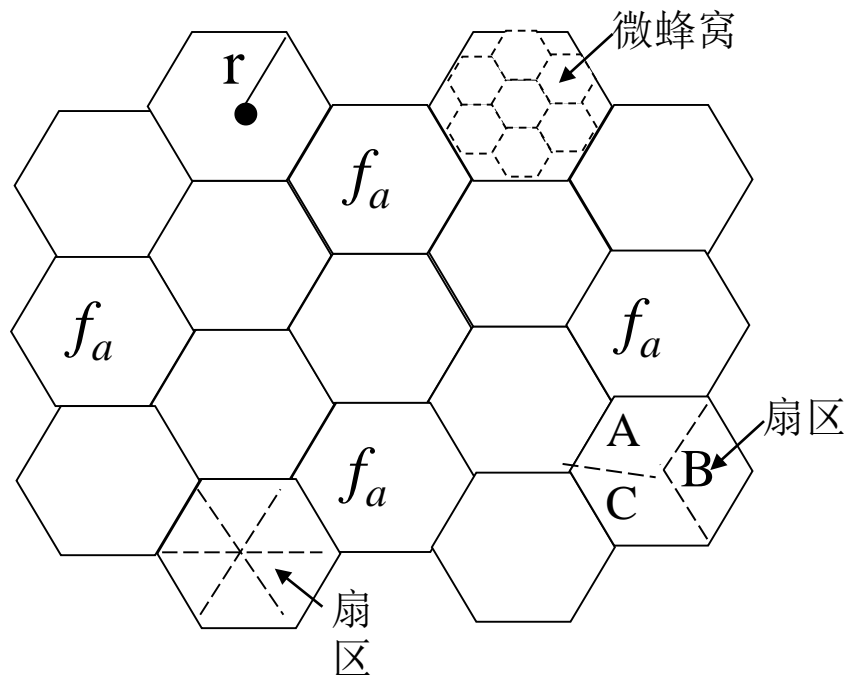
- ◆ 划分小区的目的：

- 解决无线频率资源不足，在不同地区重复使用相同频率。

- ◆ 划分小区的方法：

- 将地面按正6边形划分成蜂窝状，将每个正6边形称为一个小区，小区的半径  $r$  一般在10至30km左右。
  - 在一个小区内使用的频率经过一定距离后在另一小区可以重复使用，如下图所示：

# 第14章 通信网



- 图中频率 $f_a$ 不得在相邻小区重复使用。采用正6边形的原因是，在能够无缝隙地覆盖地面的正多边形中它是最接近圆形的一个，从而使小区间信号的互相干扰最小。



# 第14章 通信网

- 为了在用户非常密集的地区进一步增大用户容量，以解决频率资源仍然满足不了需求的问题，还可以采用如下两种办法。
  - 小区分裂方法：将小区再次划分成微蜂窝，如上图中右上方虚线所示。在微蜂窝中，基站的天线高度和发射功率等可以降低，从而使微蜂窝基站的服务半径减小，在原来小区范围内可以再次重复使用频率，增大了用户容量。
  - 扇区方法：即在小区基站上采用几个定向天线分别覆盖不同方向，形成几个扇区。在上图中右下角示出一个小区被分为3个扇区A、B和C；同一频段在这3个扇区中可以重复使用，这相当于此小区内可用频率数量增至3倍。扇区的数目可以设计得更多，在图的下方还示出了分为6个扇区的小区。

# 第14章 通信网

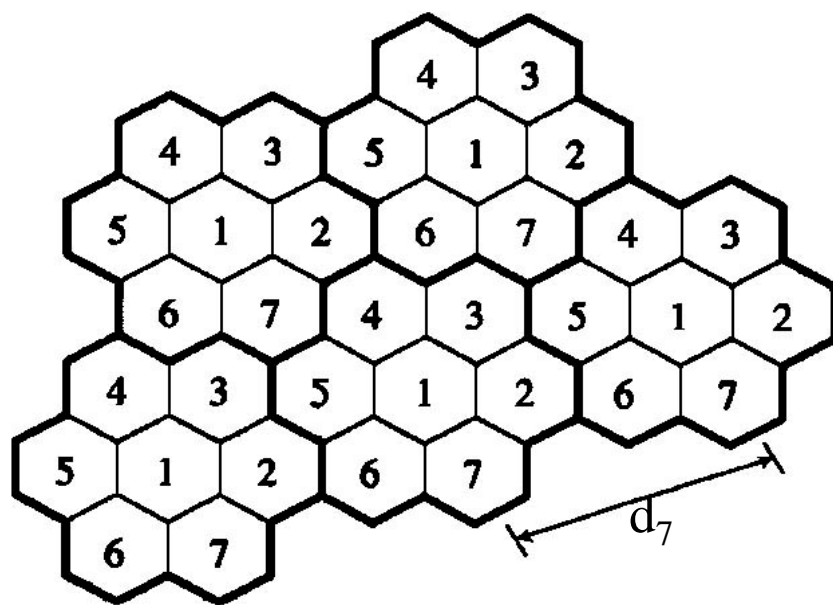
## ◆ 蜂窝网中频率划分的方案

- 方案A: 4组频率重复使用

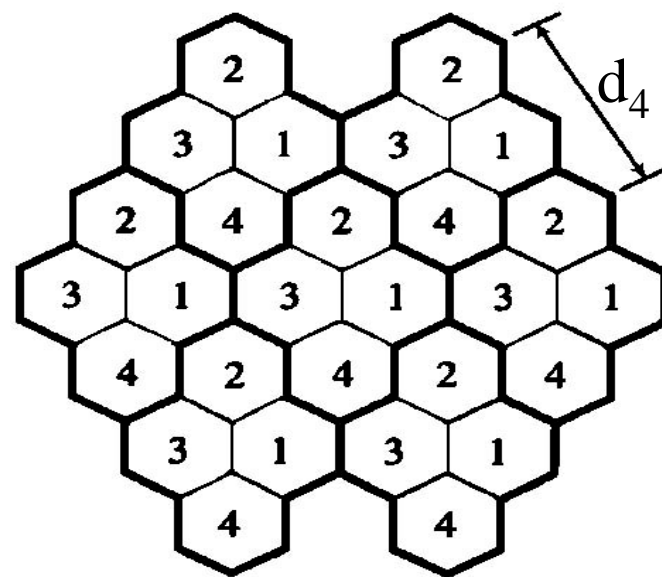
$$d_4 = 2\sqrt{3}r = 3.46r$$

- 方案B: 7组频率重复使用

$$d_7 = 4.5r$$



N = 7



N = 4

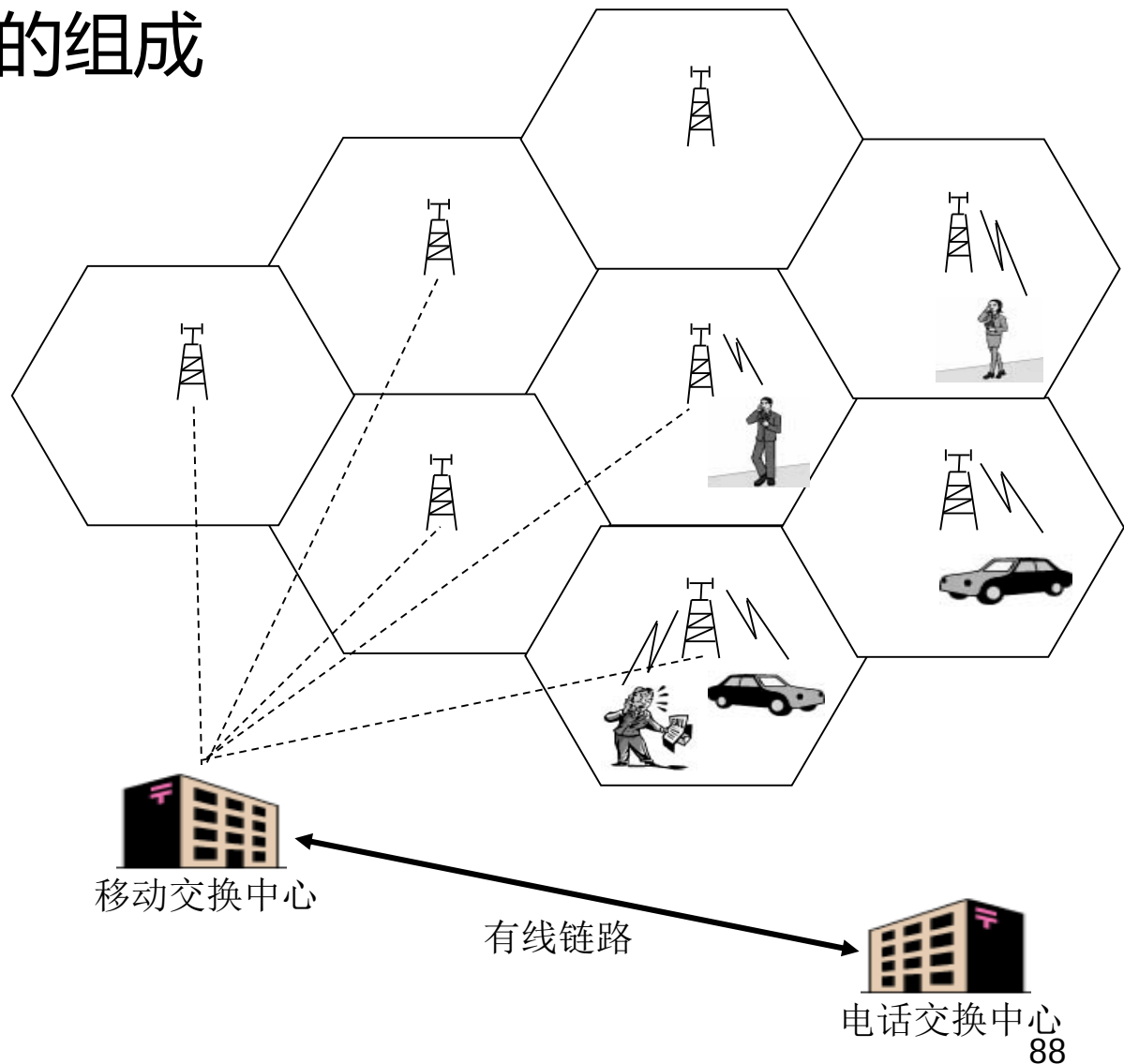
$$d_4 < d_7$$

方案A中每个小区可用频率的数量比方案B多。

# 第14章 通信网

## 14.5.3 蜂窝网的组成

- ◆ 基站
- ◆ 移动台
- ◆ 切换
  - 硬切换
  - 软切换
- ◆ 漫游







# 第14章 通信网

## ■ 14.5.4 第二代蜂窝网的体制

重点介绍GSM体制。

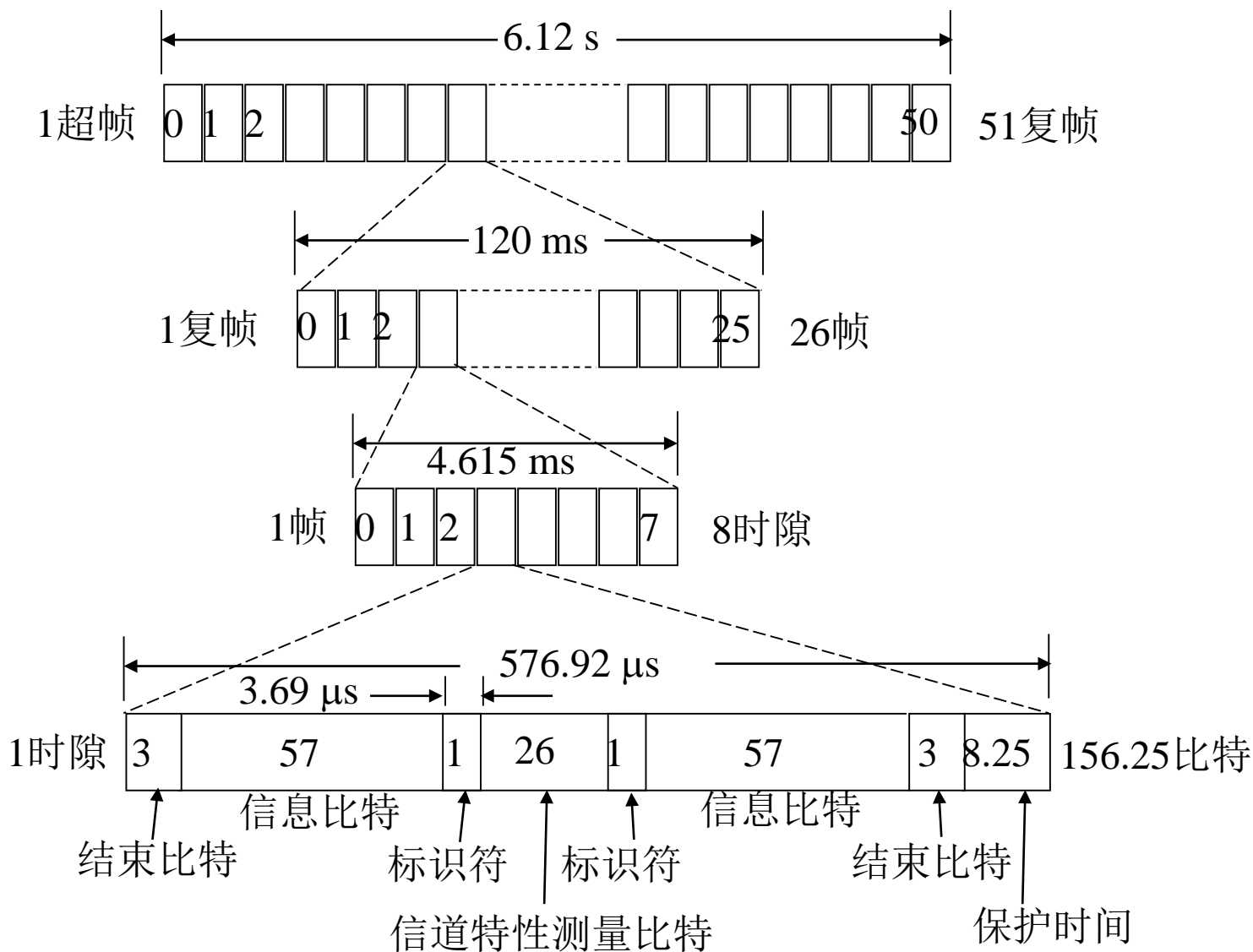
- ◆ GSM的工作频段：每个信道占用200MHz带宽
  - 900MHz频段：共有174个双向信道
    - 上行信道：880 MHz ~ 915 MHz频段
    - 下行信道：925 MHz ~ 960 MHz频段
  - 1800MHz频段：共有374个双向信道
    - 上行信道：1710 MHz ~ 1785MHz频段
    - 下行信道：1805 MHz ~ 1880 MHz频段

# 第14章 通信网

## ◆ GSM的体制

- TDMA/FDM多址接入
- 频分双工(FDD)
- GMSK调制( $BT = 0.3$ )
- 的比特率: 270.833 kb/s
- 每个频分信道可以容纳8个时分用户
- GSM的帧结构示于下图中:

# 第14章 通信网





# 第14章 通信网

- 超帧长度：6.12 s，其中包含51个复帧。
- 复帧长度：120 ms，其中包含26个帧。
- 每帧分为8个时隙。
- 时隙长度：4.615 ms。
- 8个时隙分配给8个用户使用。
- 在一个时隙中可以传输114 b的用户信息，其他为开销。
- 语音编码：规则脉冲激励长时预测(RPE-LTP)编码。此方案先将语音经过模/数变换后，分成20 ms长的帧，然后再进行压缩编码，压缩后每帧长260 b，相当于速率13 kb/s。
- 纠错编码：卷积码。卷积码的码率等于1/2，约束长度为5。编码后的码元再和未编码的其他码元进行交织，以增强抗衰落能力。
- 发射载频：用伪随机码控制跳频。跳频速率为217跳/秒。

# 第14章 通信网

## ◆ 第2.5代GSM的改进

- 通用分组无线业务(**GPRS**)：用户信息改按分组交换的原理传输。大大提高了系统传输效率。对用户改为按流量计费，而不是按时间计费。用户的移动台可以长时间地处于“在线”状态，不必担心因此而须大量付费。
- 高速电路交换数据(**HSCSD**)：它仍然采用电路交换技术，但是将多个时隙同时给一个用户使用，以提高传输速率。例如，假设原来每个时隙的信息传输速率（不含纠错码）为16 kb/s，则在将4个时隙分给一个用户使用，传输速率可以达到64 kb/s。
- 增高数据速率(**EDGE**)：采用8PSK代替GMSK调制。例如，若原来每个时隙的信息传输速率为16 kb/s，则现在每个时隙的数据率可以达到48 kb/s；若再将8个时隙合并给一个用户使用，则每个用户的传输速率可以达到384 kb/s。
- 增加多种数据接口，例如USB、红外IrDA、蓝牙等。



# 第14章 通信网

## 14.5.5 第三代蜂窝网

### ◆ 目标:

- **全球化**: 能无缝隙地覆盖全球, 并统一体制实现在全球的国际漫游。
- **个人化**: 系统具有大的用户容量、高的通信质量和极强的保密性。
- **综合化**: 能实现综合业务传输和多媒体通信。

### ◆ 对传输速率的要求:

- 室内环境: 不小于 2 Mb/s
- 低速运动: 不小于 384 kb/s
- 高速运动: 不小于 144 kb/s
- 卫星信道: 不小于 9.6 kb/s
- 实现按需分配的可变速率, 和实现上、下行速率不对称传输以适应连接到因特网时的传输特点。



# 第14章 通信网

---

- ◆ 主要方案：

- W-CDMA：欧洲提出的
- CDMA2000：美国提出的
- TD-SCDMA：我国提出的。

它们的共同特点是都采用了码分多址CDMA技术。



# 第14章 通信网

## 14.5.6 卫星移动通信网

- ◆ 卫星移动通信网的优点：

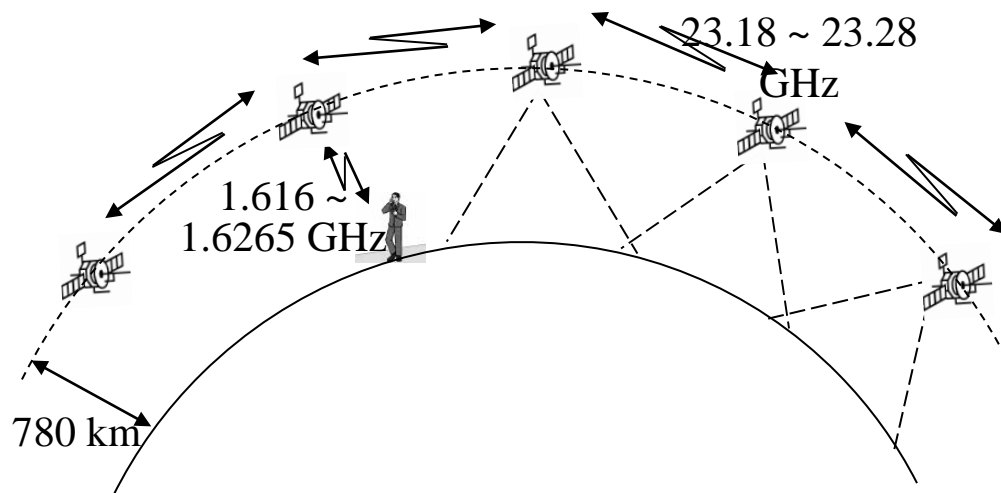
- 不需要地面基站
- 卫星移动通信网是将基站建在卫星上。

- ◆ 典型卫星移动通信系统：“铱”系统。

- 在“铱”系统中，共用66颗低轨道（轨道高度780 km）卫星分布在6个轨道平面上。每个卫星上设置一个基站，地面移动台直接和某个卫星上的基站建立无线链路，如下图所示。



# 第14章 通信网



- 用户至卫星基站链路的频段：1.616 GHz ~ 1.6265 GHz。
- 卫星基站间链路的频段：23.18 GHz ~ 23.38 GHz。
- 链路采用QPSK调制和FDMA/TDMA体制。
- 每个卫星覆盖地面一个小区，在小区之间有少许重叠，以保证无缝隙覆盖。

# 第14章 通信网

## 14.5 小结

通信系统分为点到点的专线和多点之间的通信网两大类。本章讨论后者的组成、功能和用途。

通信网的组成包括终端设备、交换设备和通信链路等。终端设备是发送和接受信号的设备。交换设备则是按照信令将通信链路传来的信号转接到另一条链路的设备。通信链路是定义在一定的频域和空域的，它占用给定的频带和物理空间，可以有有线链路或无线链路。

通信网按照其拓扑结构不同，可以分为网形、星形、环形、总线形，和由它们组合得到的复合形网。通信网按照其功能区分，有电视网、电话网、电传网、电视网、ISDN、移动通信网等。ISDN又可以分为N-ISDN和B-ISDN。

电话网由交换设备、传输电路和电话机（终端设备）组成。公共电话网按照覆盖范围区分，可以分为本地电话网、长途电话网和国际长途电话网。本地电话网是指在一个统一号码长度的编号区内，由电话机、用户线、用户端局、汇接局、局间中继线和长市中继线组成的电话网。国内长途电话网在我国采用分级汇接制，包含4个等级的交换中心。

电话网中的交换分为空分交换和时分交换两种。目前最广泛应用的是后者。尽管电话信号是模拟信号，但是在时分交换时都是将它变换成PCM信号进行交换的。

电话网中的信令可以分为用户信令和局间信令。电话机产生的用户信令有拨号脉冲和双音多频两种体制，目前多应用后者。局间信令也有两种，即随路信令和共路信令。



# 第14章 通信网

电话网的特有性能指标是话务量和呼损率。

数据通信网是专门为传输数据设计的。按照覆盖范围分，数据通信网可以分为LAN、MAN、WAN和PAN。按照用途分，数据通信网可以分为专用数据网和公共数据网。后者在概念上包括增值网和信息交换网。

数据通信网的交换可以分为电路交换和信息交换。后者又分为报文交换和分组交换。目前基本上都采用分组交换。分组交换在输入数据分组后，一般按照HDLC规程组成帧，再发送出去。

为了使许多计算机能够在一个数据通信网中工作，使计算机之间交换数据有标准可依，国际标准化组织（ISO）制定了OSI参考模型。该模型采用分层结构，将网络分为7层，虽然在理论上较完整，但是在实际中却未能推广应用。

局域网可以认为是数据通信网的基础。目前局域网基本上都是以太网，其结构均为广泛应用的带集线器的星形网结构；并采用CSMA/CD协议。早期设计的以太网工作在10Mb/s的速率，目前大量以太网工作在100Mb/s。速率达到和超过100Mb/s以太网称为高速以太网。

ALOHA是一种无线数据通信网。它又分为纯ALOHA、时隙ALOHA和预约ALOHA三种体制。

N-ISDN的用户线路速率在2Mb/s以下。N-ISDN有三种不同速率的标准信道（B信道、D信道和H信道）、两种终端设备（ISDN终端TE1和非ISDN终端TE2）和两种网络终端（适用于小用户的NT1和适用于大用户的NT2）。



# 第14章 通信网

B-ISDN的用户线路速率在2Mb/s以上。B-ISDN采用ATM，其参考模型共分4层。ATM层负责链路的连接，并将物理层的连接复用为若干虚路径（VP）和虚信道（VC），VP和VC由VPI和VCI来区分。ATM层还将信息码流按48B长度分组，称为信元，并加上信元头，再传送出去。ATM适配层支持多种应用业务，包括固定和可变比特率，面向连接和无连接，以及有定时关系和无定时关系等类型的业务。

蜂窝网是当前最主要的一种移动通信网，主要由基站、移动台、移动交换中心组成，并与固定电话网相连。第一代蜂窝网采用模拟调制体制，现已淘汰。第二代蜂窝网采用数字调制体制，以移动通信为主，目前正广泛应用中。我国采用的第二代蜂窝网体制主要是GSM。第三代蜂窝网正在发展中，它应能满足数据传输和多媒体通信的要求，以及全球漫游。

卫星移动通信网是真正能够实现无缝隙地覆盖全球的移动通信网。卫星移动通信网相当于基站建在太空中的蜂窝网，但是它的设备复杂，成本高，目前应用较少。