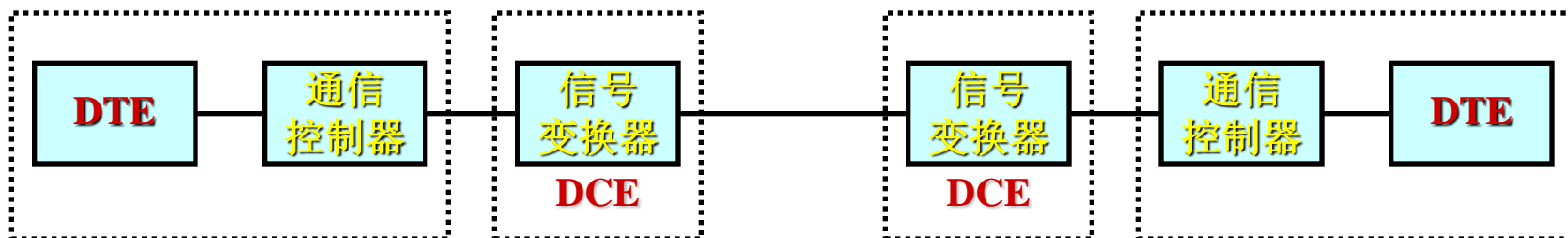


3.11 物理层接口协议

(a) 典型结构



(b) 传输介质通用接口



- DTE (Data Terminal Equipment) 是**数据终端设备**，是具有一定的数据处理能力和发送、接收数据能力的设备。
- DCE (Data Circuit-terminating Equipment) 是**数据电路端接设备**，它在 DTE 和传输线路之间提供信号变换和编码的功能，并且负责建立、保持和释放数据链路的连接。

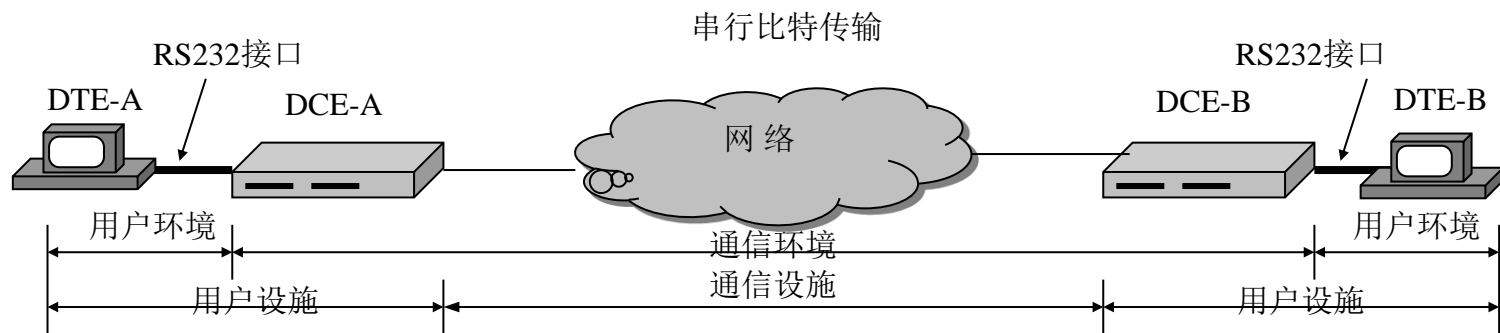
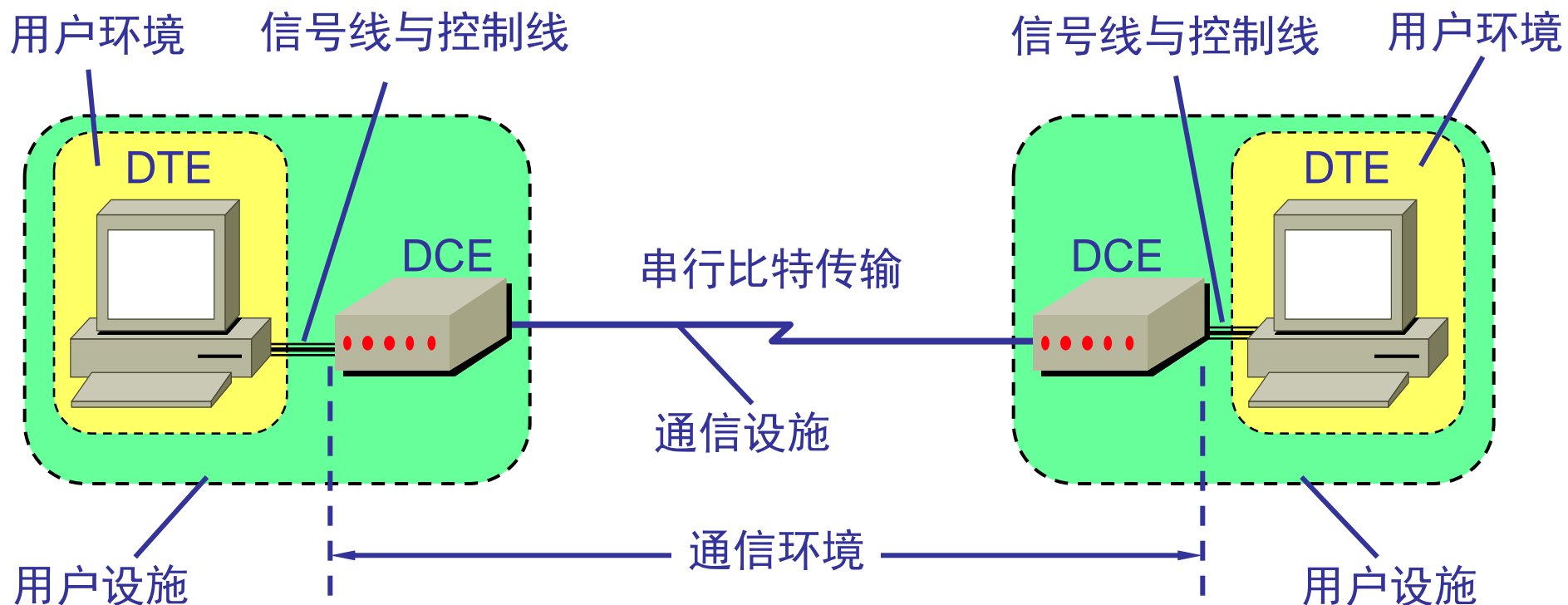


图 两个DTE通过DCE进行通信

DTE 通过 DCE 与通信传输线路相连



物理层接口标准

1. EIA/TIA-232 (RS-232)

世界上最常用的物理层接口标准。速率最高达64Kbps常用的接口有9针和25针两种。

2. EIA/TIA-449 (RS-449)

是EIA/TIA-232的扩展标准，速率可达2Mbps，支持的电缆长度也较长。常用的接口有9针和37针两种。

3. X. 21

由ITU-T开发，是一种电路交换网络 and 用户设备间通信的协议。常用的接口为15针，接口的速率为4Mbps。

4. V. 35

由ITU-T开发，用于定义网络访问设备和分组网的接口。速率可达4Mbps，最常见为30针。

物理层接口标准

5. G. 703/G. 704

ITU-T有关电话公司设备和DTE间连接的电气和机械规范。速率可达4Mbps，接口为双头的BNC和普通的针型接口。

6. HSSI

由CISCO和T3 PLUS网络公司共同开发，并由EIA/TIA TR30.2标准化，是一种高速的串口标准。支持在广域链路上的高速串行通信，速率可达54Mbps。

物理层的定义和功能（1）

■ 物理层的定义

ISO/OSI 关于物理层的定义：

物理层提供机械的、电气的、功能的和规程的特性，目的是启动、维护和关闭数据链路实体之间进行比特传输的物理连接。这种连接可能通过中继系统，在中继系统内的传输也是在物理层的。

■ 物理层的功能

在两个网络设备之间提供透明的比特流传输。

■ 研究内容

物理连接的启动和关闭，正常数据的传输，以及维护管理。

物理层的定义和功能（2）

■ 几点说明

- 连接方式（点到点，点到多点）
- 通信方式（单工，半双工，全双工）
- 位传输方式（串行，并行）

■ 物理层的四个重要特性

- 机械特性 (mechanical characteristics)
- 电气特性 (electrical characteristics)
- 功能特性 (functional characteristics)
- 规程特性 (procedural characteristics)

物理层的特性 (1)

■ 机械特性

主要定义物理连接的边界点，即接插装置。规定物理连接时所采用的规格、引脚的数量和排列情况。

常用的标准接口：

- ISO 2110 25芯连接器 EIA RS-232-C, EIA RS-366-A
- ISO 2593 34芯连接器 V.35宽带MODEM
- ISO 4902 37芯和9芯连接器 EIA RS-449
- ISO 4903 15芯连接器 X.20, X.21, X.22

■ 电气特性

规定传输二进制位时，线路上信号的电压高低、阻抗匹配、传输速率和距离限制。

早期的标准是在边界点定义电气特性，例如EIA RS-232-C、V.28；最近的标准则说明了发送器和接受器的电气特性，而且给出了有关对连接电缆的控制。

物理层的特性 (2)

CCITT 标准化的电气特性标准:

- CCITT V.10/X.26: 非平衡型电气特性, EIA RS-423-A
- CCITT V.11/X.27 : 平衡型电气特性, EIA RS-422-A
- CCITT V.28: 非平衡型电气特性, EIA RS-232-C
- CCITT X.21/EIA RS-449

■ 功能特性

主要定义各条物理线路的功能。

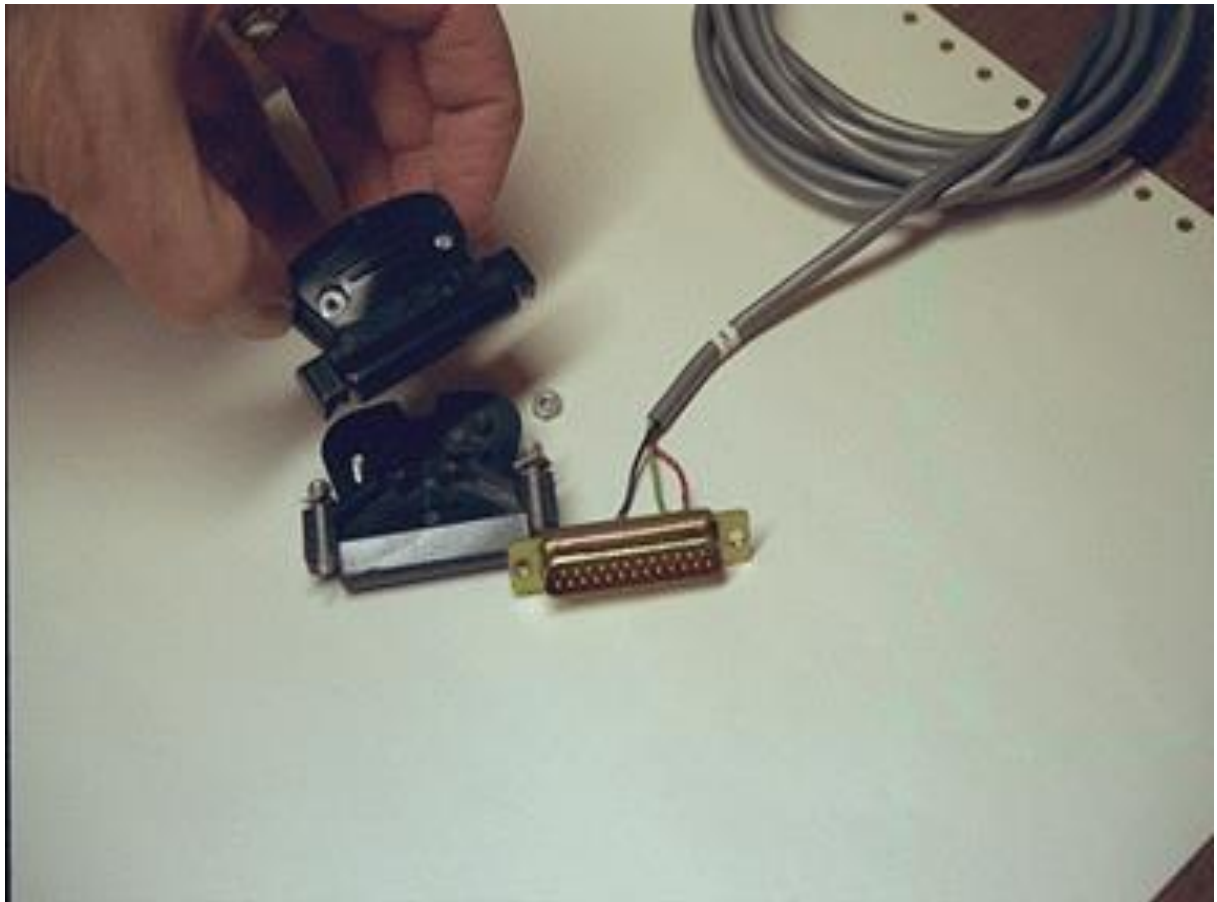
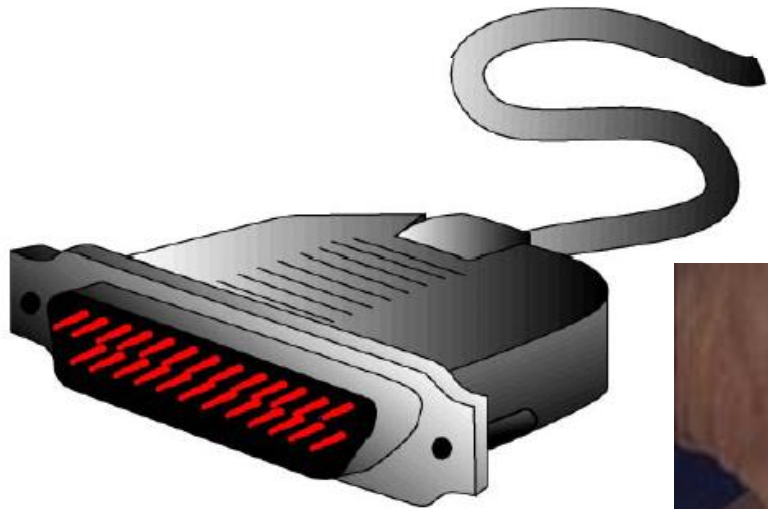
线路的功能分为四大类:

- 数据
- 控制
- 定时
- 地

■ 规程特性

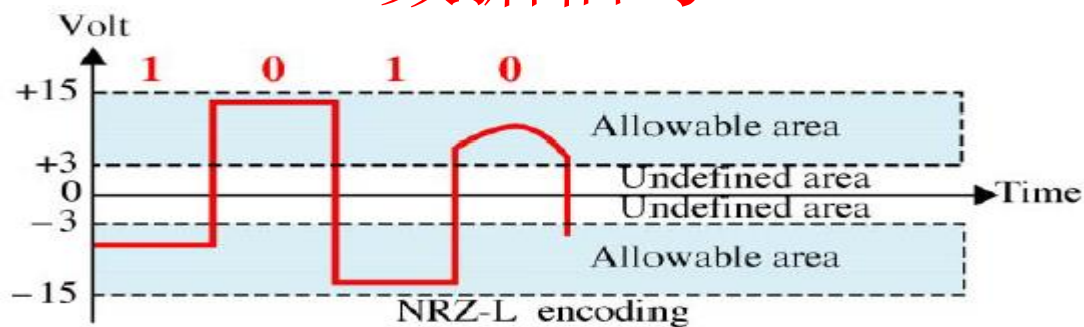
主要定义各条物理线路的工作规程和时序关系。

RS-232--机械特性

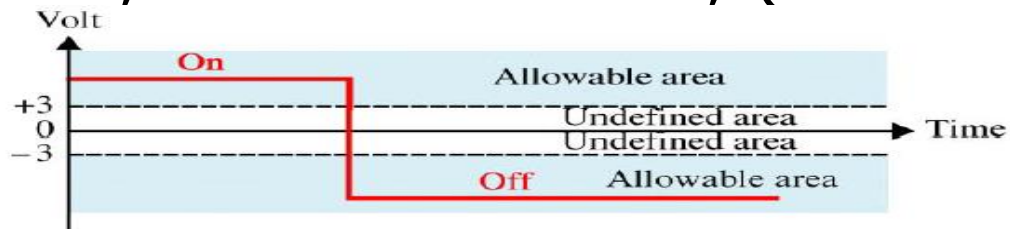


RS-232--电气特性

数据信号



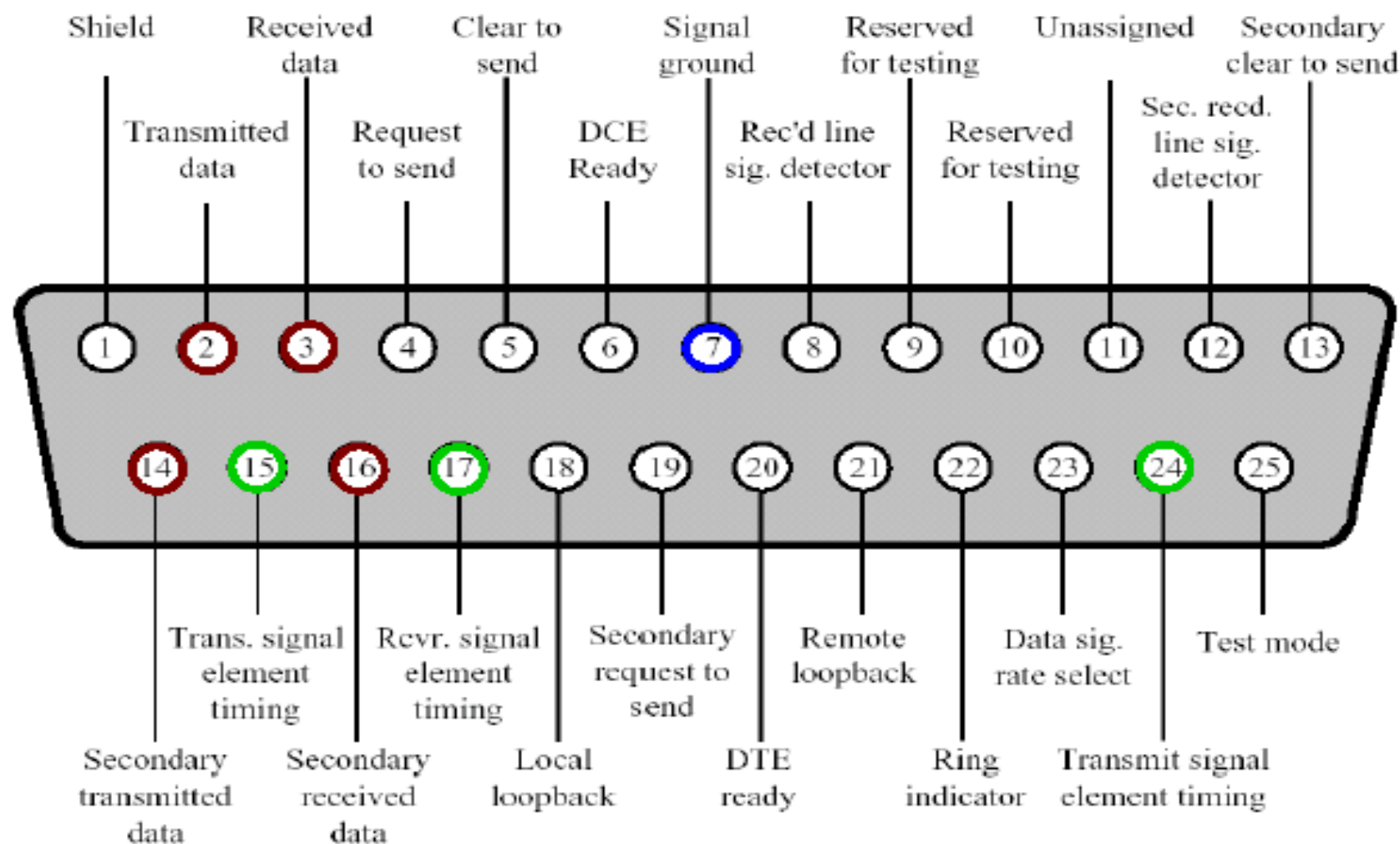
- 数字信号
- 控制信号和数据
- 负逻辑 “1”: $-3\text{V} \sim -15\text{V}$; “0”: $+3\text{V} \sim +15\text{V}$; (NRZ-L)



- 信号速率 $< 56\text{kbps}$
- 连线距离 $< 15\text{m}$
- 控制信号, $-3\text{V} \sim -15\text{V}$; “off”: $+3\text{V} \sim +15\text{V}$; “on”

控制信号

RS-232--功能特性



EIA-232/V.24 的信号定义

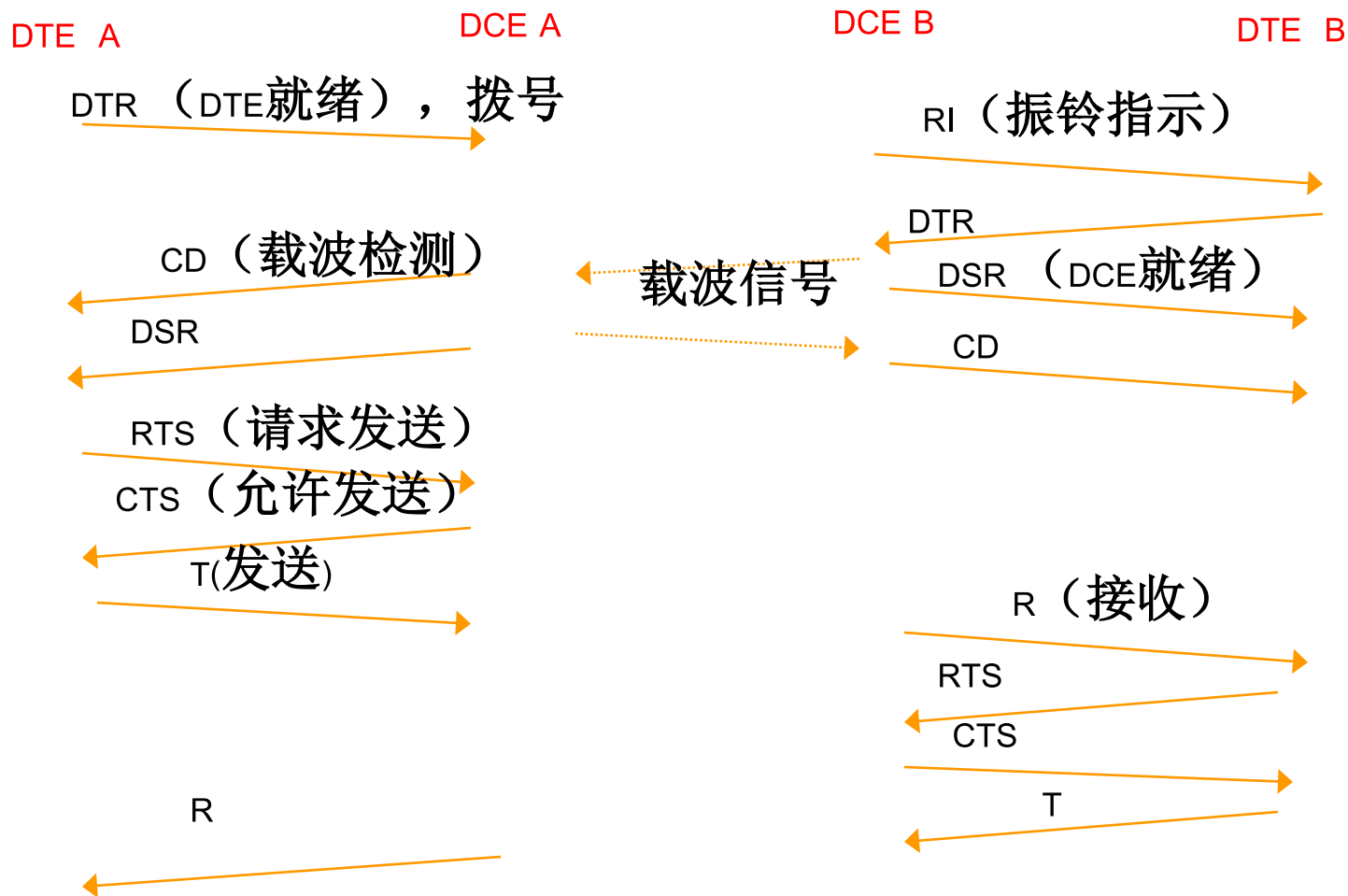


RS-232--功能特性

9芯		25芯
1	DCD	8
2	RD	3
3	TD	2
4	DTR	20
5	SG	7
6	DSR	6
7	RTS	4
8	CTS	5
9	RI	22

RS-232—规程特性

通信接口的规程特性描述：规程特性定义了信号线进行二进制比特流传输线的一组**操作过程**，包括各信号线的**工作规则**和**时序**。如RS232



建立物理连接

- 若一方DTE要发起连接，向所连接的DCE发出DTR(20)信号，并通过电话网向对方DTE发出呼叫，请求与对方建立物理连接；
- 发方的DCE在拨号之后，执行Modem内部协议。双方DCE通过线路状态检测和载波检测，确定线路可以正常工作之后，发方的DCE向本端DTE发出DSR(6)信号；
- 对方DTE若同意建立物理连接，向所连接的DCE发送DTR(20)信号。并在收到该DCE的之后DSR(6)信号之后进入数据传输准备阶段。



传输比特流

- 若DTE要发送数据，向所连接的DCE发出RTS(4)信号，即将RTS(4)置为ON；
- 发方的DCE在接收RTS(4)信号之后做好发送准备，然后向发方的DTE发出CTS(5)信号；
- 发方的DTE通过TD(2)发送比特流；发方的DCE将数据调制后发给对方的DCE；对方的DCE将信号解调后通过RD(3)传送数据给对方的DTE；
- 若对方的DTE要发送数据，应采用同样的交互过程。

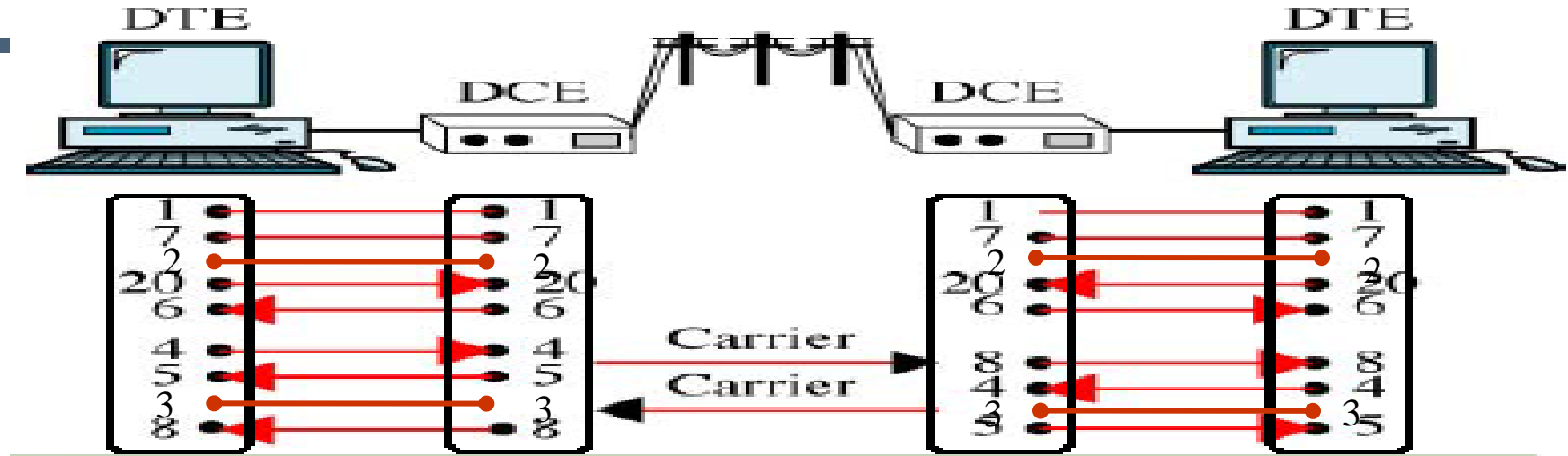


释放物理连接

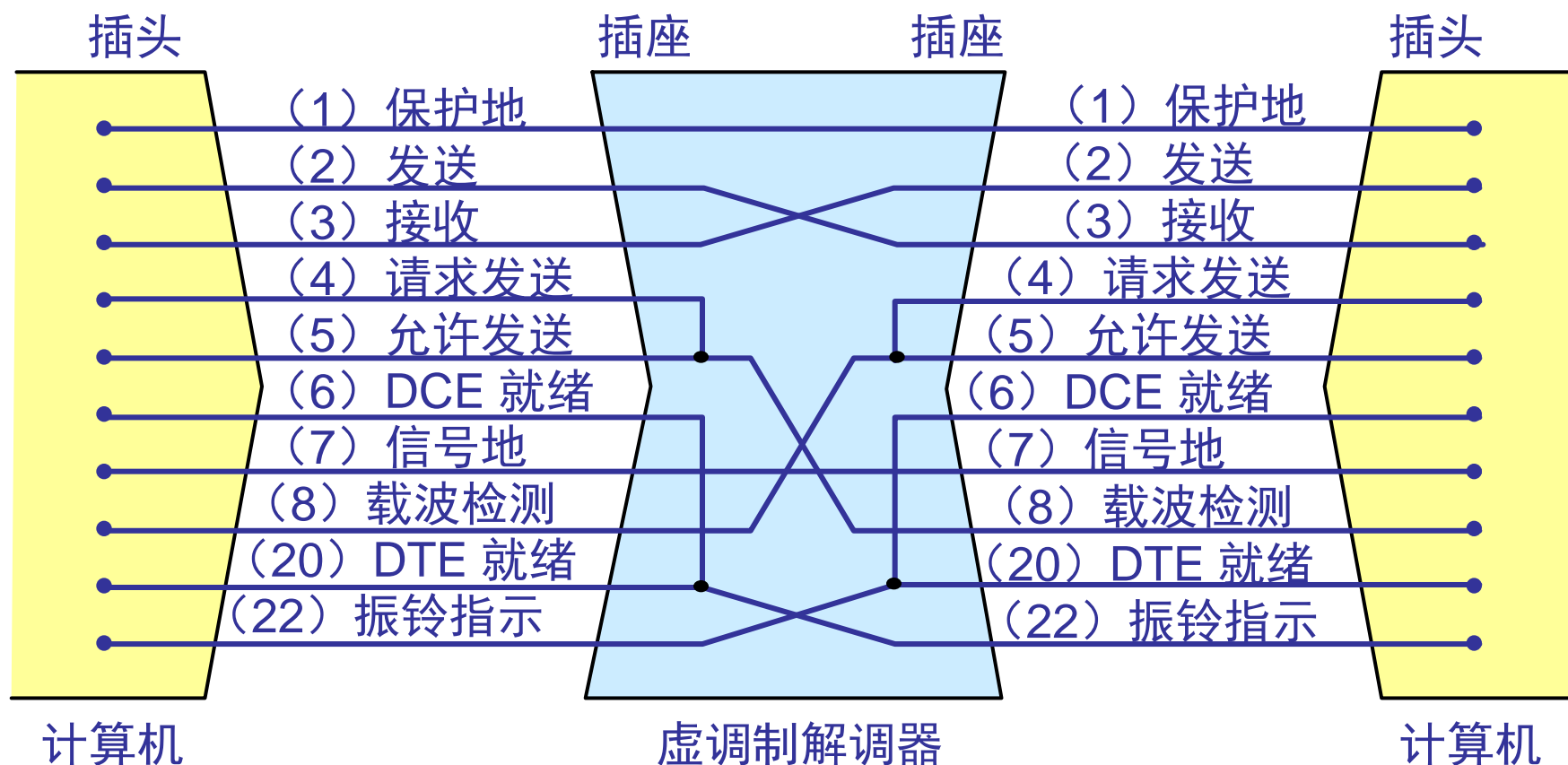
- 当发方的DTE一次通信结束时，通过释放DTR(20)信号来通知所连接的DCE。双方DCE执行Modem内部协议，结束一次物理连接。



RS-232--连接方式



利用虚调制解调器 与两台计算机相连



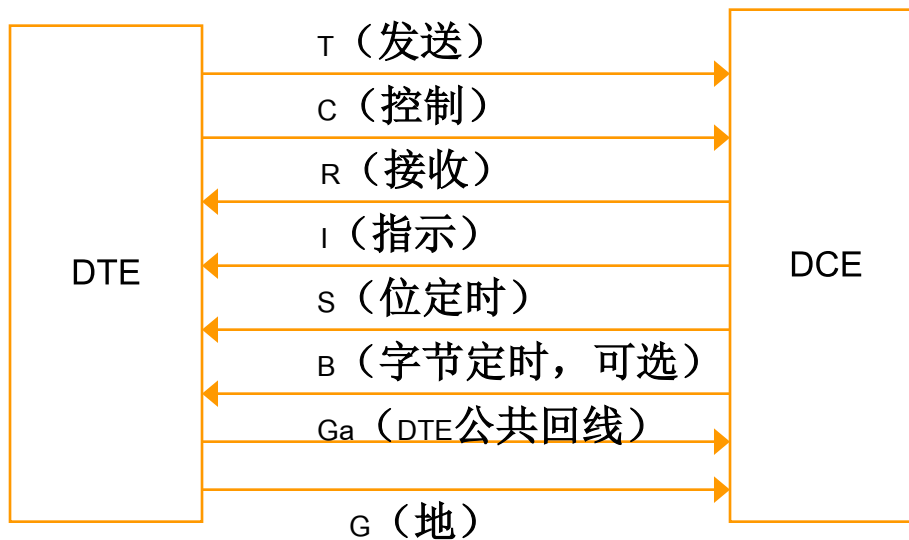
RS-449接口标准

- **RS-232**接口标准有两个较大的弱点，即：
 - 数据的传输速率最高为**20kb/s**；
 - 连接电缆的最大长度不超过 **15 m**。
- **EIA**于**1977**年制定了一个新的标准**RS-449**,以便逐渐取代旧的**RS-232**。**RS-449**由**3**个标准组成：
 - **(1) RS-449**
 - 规定接口的机械特性、功能特性和过程特性。**RS-449**采用**37**根引脚的插头座。在**CCITT**的建议书中，**RS-449**相当于**V.35**。
 - **(2) RS-423-A**
 - 规定在采用非平衡传输时（即所有的电路共用一个公共地）的电气特性。当连接电缆长度为**10m**时，数据的传输速率可达**300kb/s**。
 - **(3) RS-422-A**
 - 规定在采用平衡传输时（即所有的电路没有公共地）的电气特性。它可将传输速率提高到**2Mb/s**，而连接电缆长度可超过**60 m**。当连接电缆长度更短时（如**10m**），则传输速率还可以更高些（可达到**10Mb/s**）。

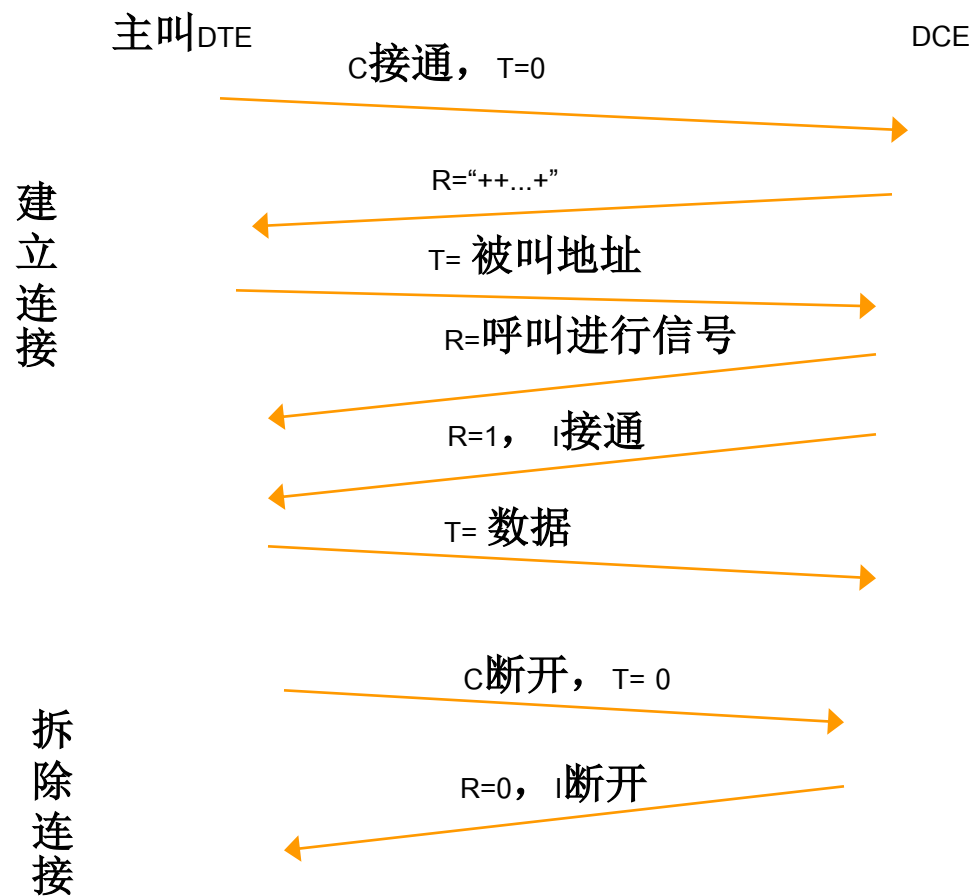
X.21建议书

数字信道接口标准，规定DTE在建立和释放呼叫时与DCE交换的信息，此时DCE表示DTE和网络接口的设备

- 机械特性：15根引脚
- 功能特性：8条信号线



X.21规程特性

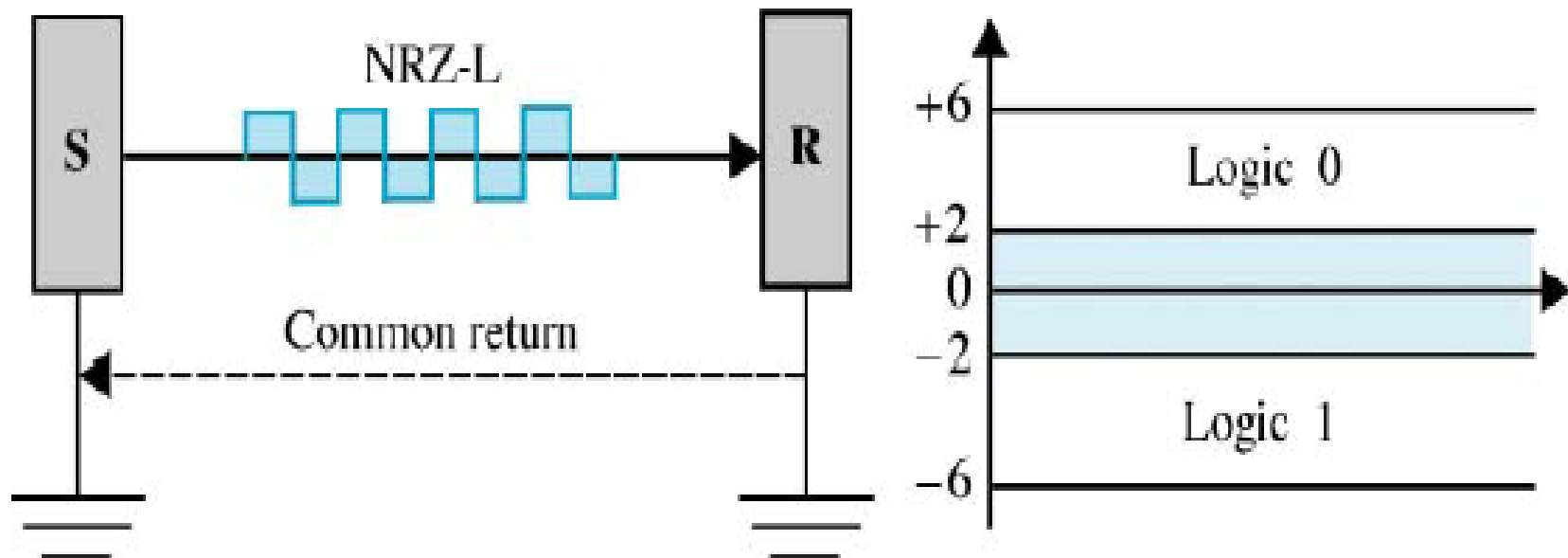


★ X.21bis 建议,

用于EIA-232-D/V.24设备 的过渡, 使用模拟信道, DCE为同步MODEM

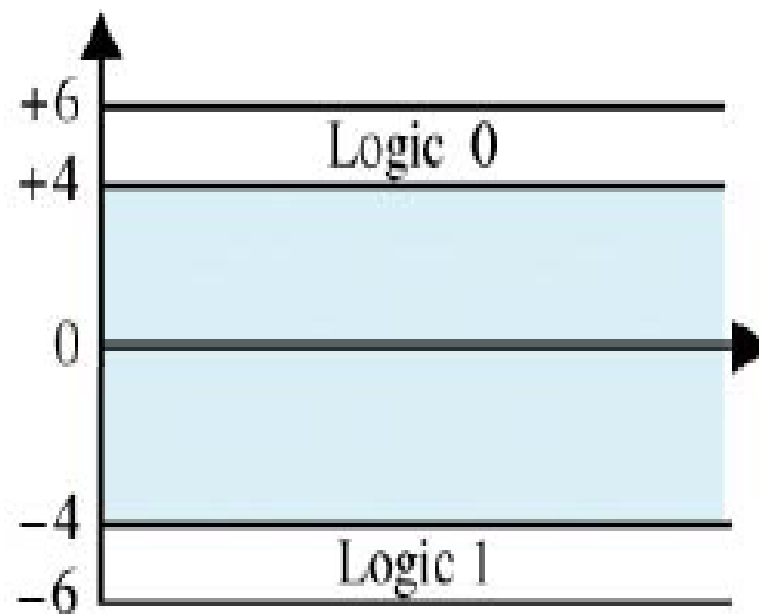
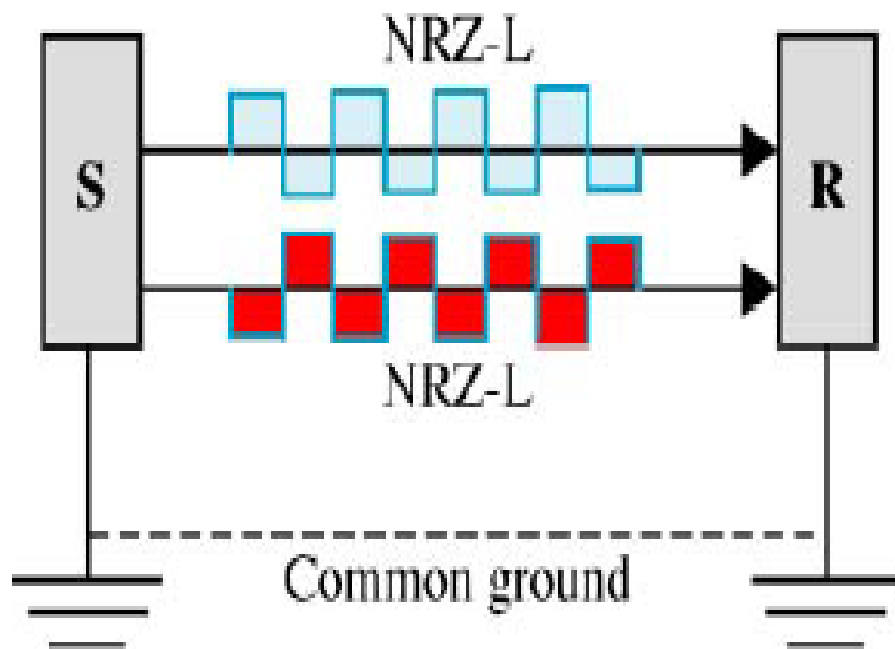
RS-423: Unbalanced Mode

Distance: 40 ft \longrightarrow 4000 ft
Data rate: 100 Kbps \longleftarrow 1 Kbps

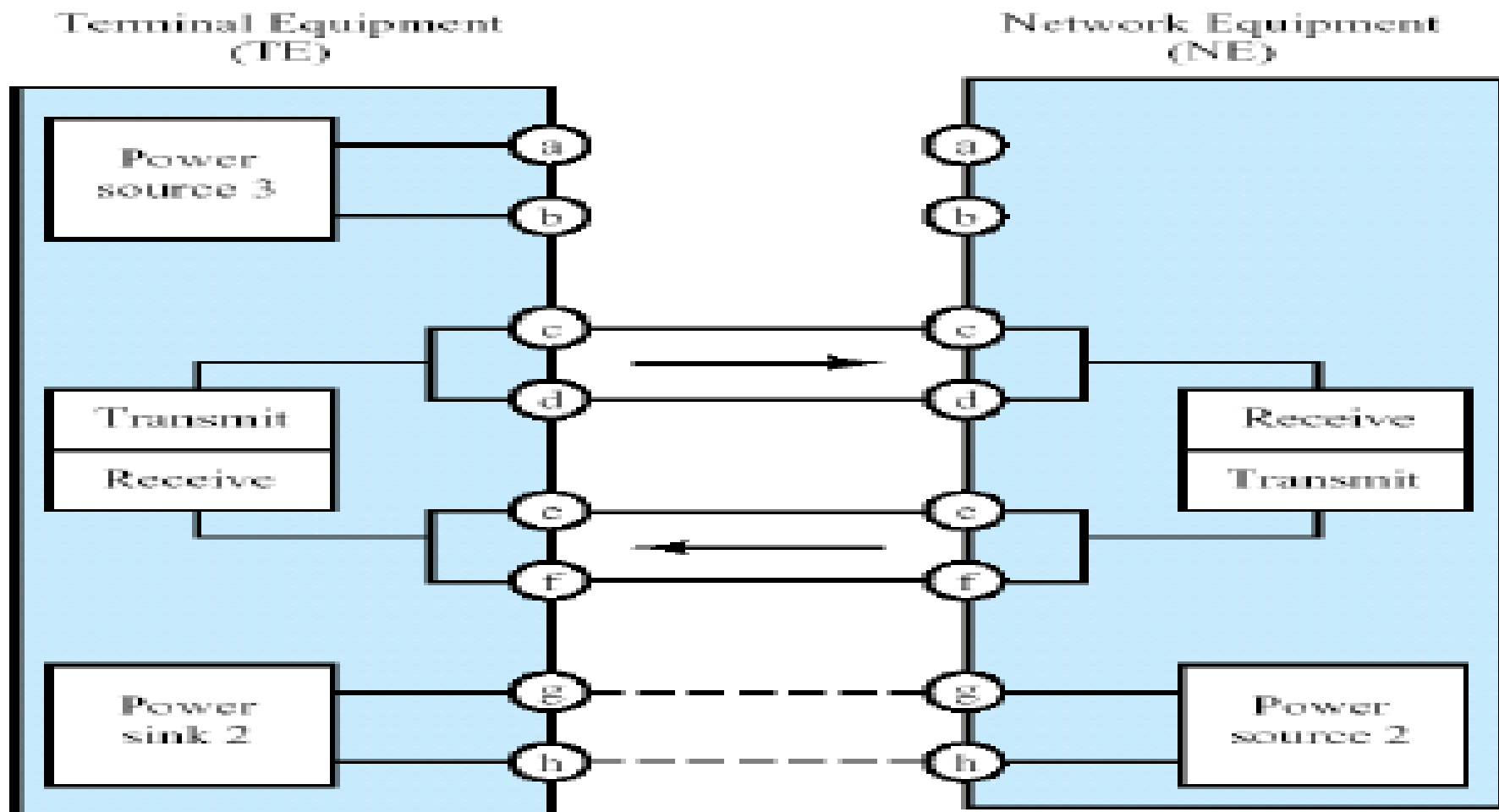


RS-422: Balanced Mode

Distance: 40 ft \longrightarrow 4000 ft
 Data rate: 10 Mbps \longleftarrow 1 Kbps



ISDN Physical Interface Diagram



ISDN Physical Interface

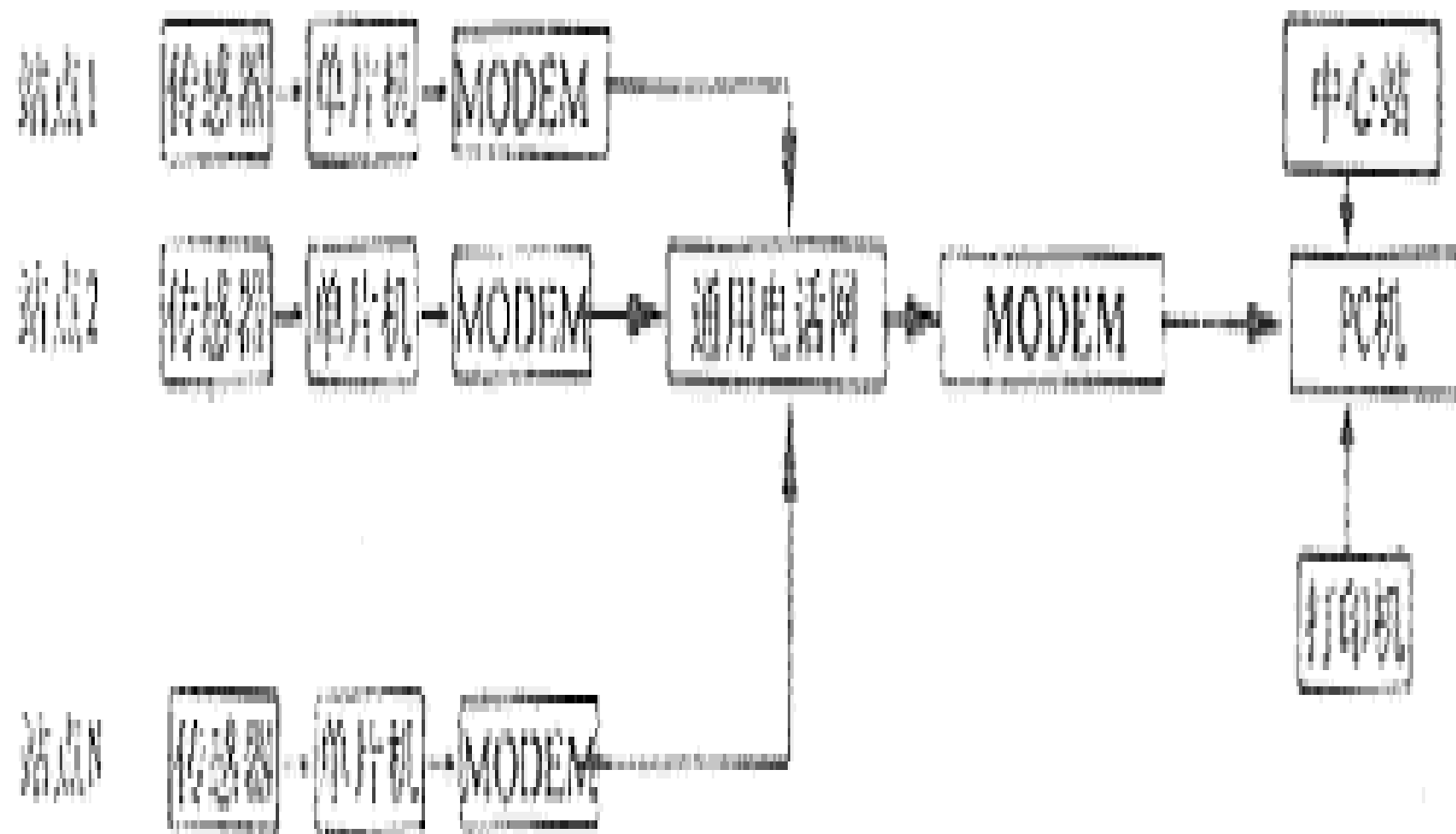
- ✓ Connection between terminal equipment (c.f. DTE) and network terminating equipment (c.f. DCE)
- ✓ ISO 8877
- ✓ Cables terminate in matching connectors with 8 contacts
- ✓ Transmit/receive carry both data and **control**

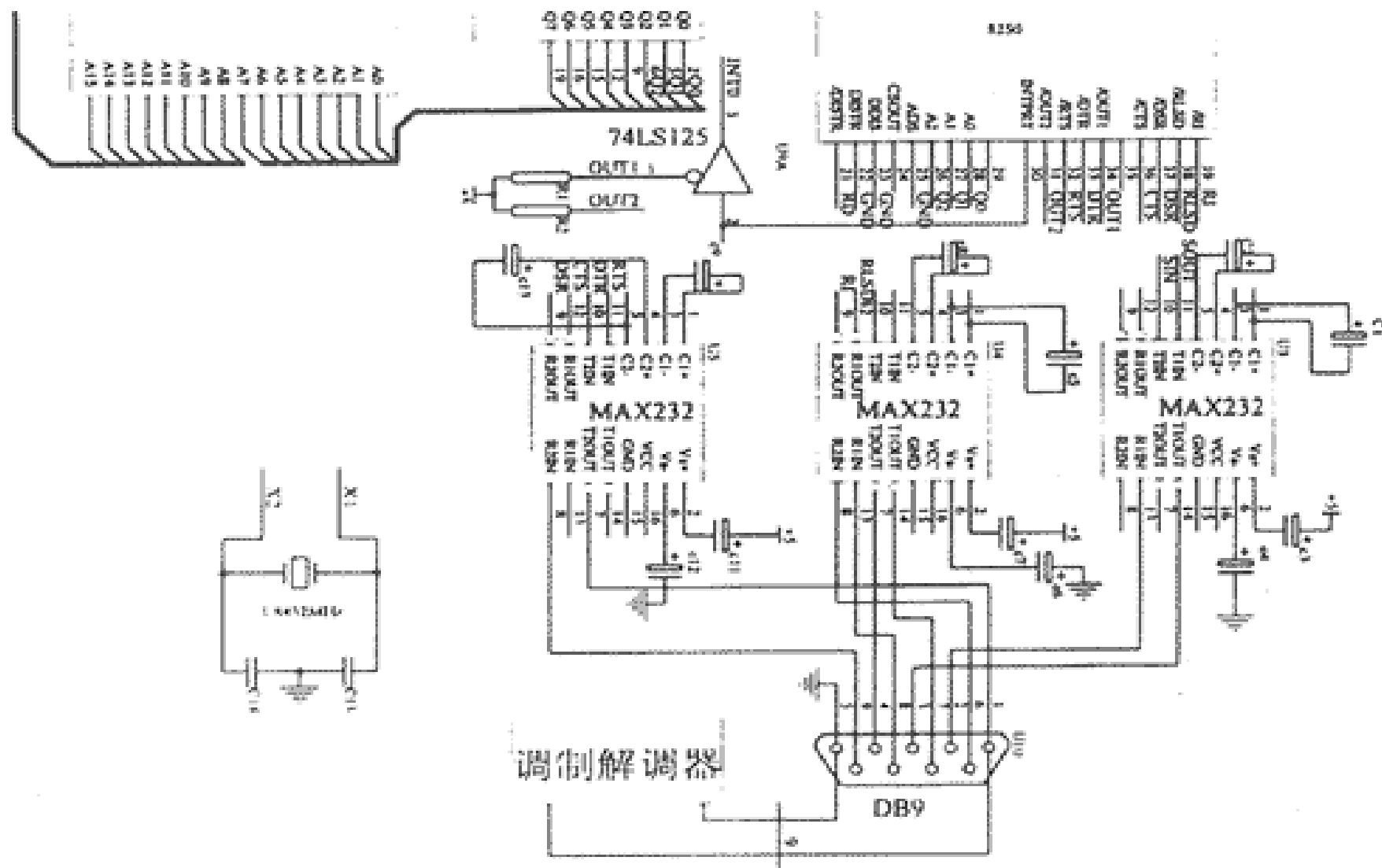
ISDN Electrical Specification

Balanced transmission

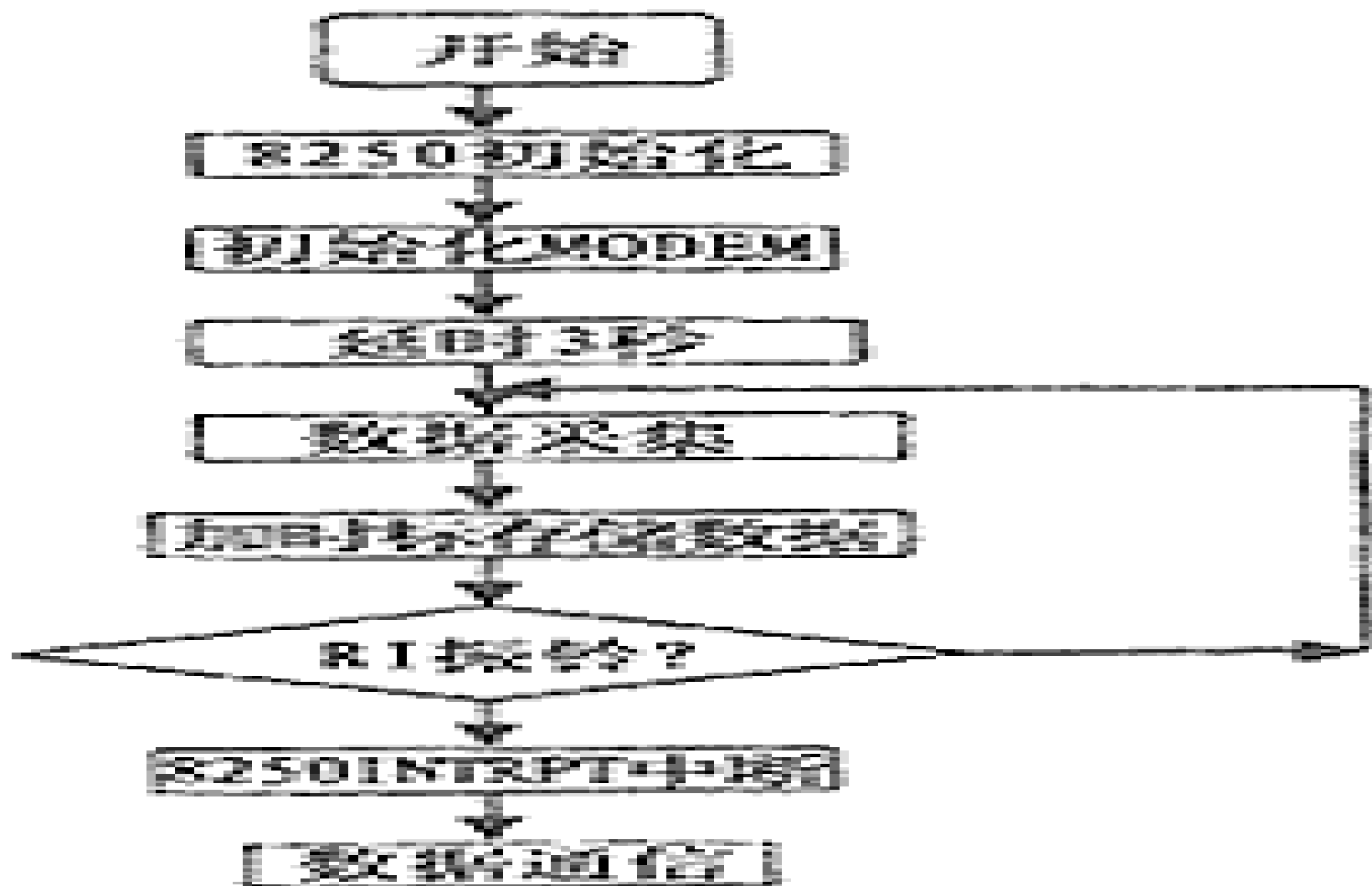
- Carried on two lines, e.g. twisted pair
- Signals as currents down one conductor and up the other
- Differential signaling
- Value depends on direction of voltage
- Tolerates more noise and generates less
- (Unbalanced, e.g. RS-232 uses single signal line and ground)
- Data encoding depends on data rate
- Basic rate 192kbps uses pseudoternary
- Primary rate uses alternative mark inversion (AMI) and B8ZS or **HDB3**

应用实例1：电话远程采集灌区水位/流量





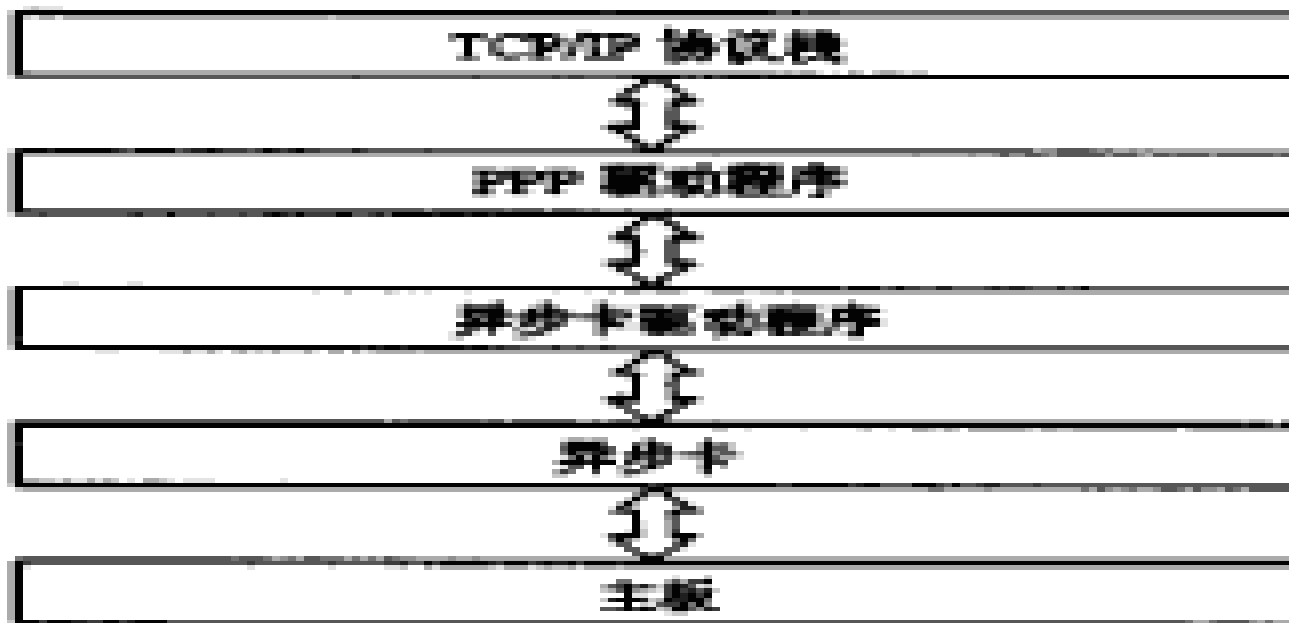
应用实例1：系统软件设计



应用实例2：因特网拨号上网



图 1 路由器提供拨号连接

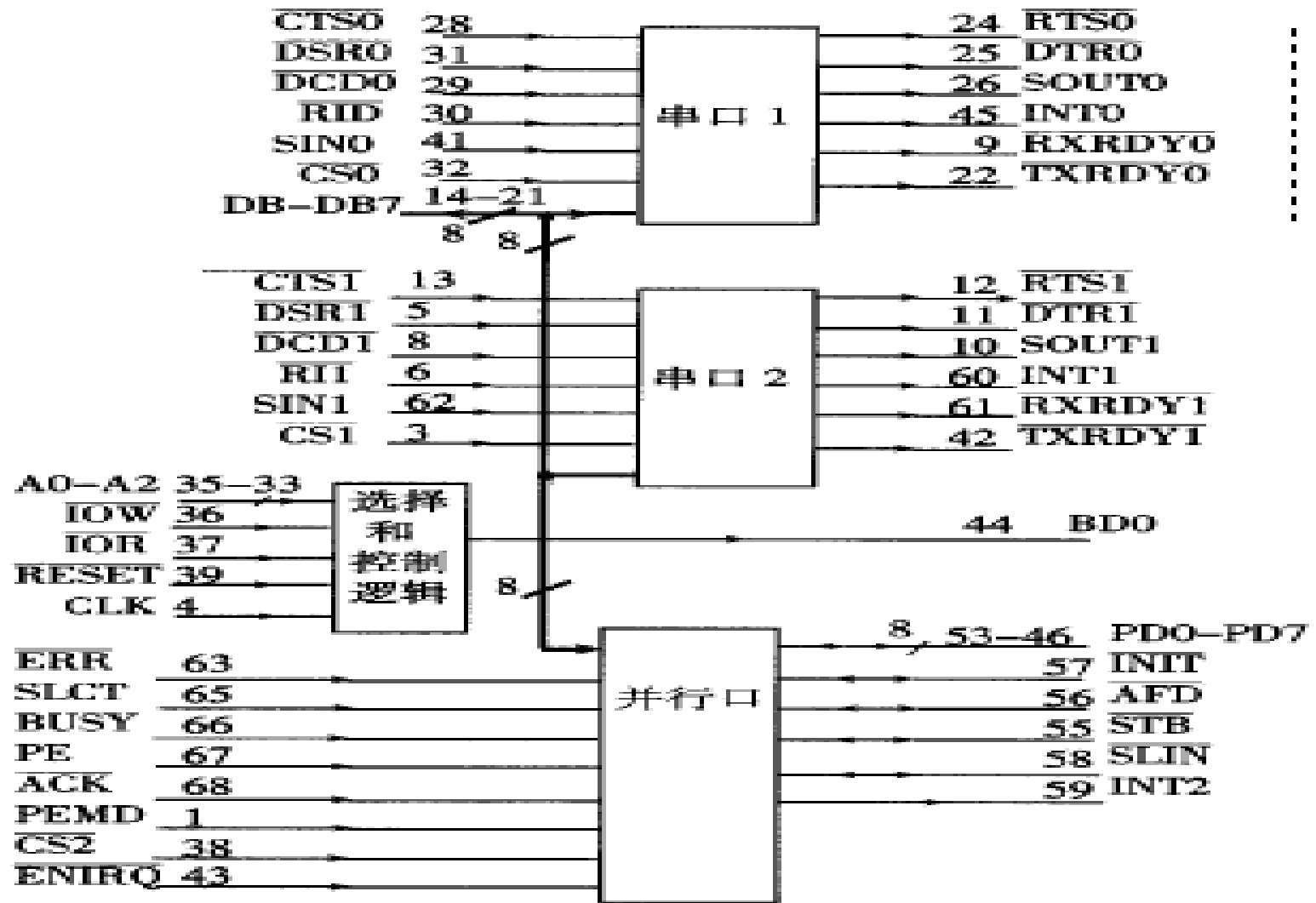


UART

UART一般有下列六种类型：

- ✓ 最早的UART为8250，它一般在IBM PC/XT上，异步，速度慢（ $\leq 9600\text{bps}$ ），跟不上AT机的中档速度，并且这种芯片只有一个字节的内部缓冲。
- ✓ 16450 UART是与8250完全兼容的新一代UART，它的速度比8250快（ $\leq 115200\text{bps}$ ），这种芯片也只有一个字节的内部缓冲。
- ✓ 16550 $\leq 115200\text{bps}$ ，发送和接收各有16字节的FIFO
- ✓ 16650 $\leq 115200\text{bps}$ ，发送和接收各有32字节的FIFO
- ✓ 16750 $\leq 115200\text{bps}$ ，发送和接收各有64字节的FIFO
- ✓ 16850 $\leq 115200\text{bps}$ ，发送和接收各有128字节的FIFO

16552的功能框图



16552串行口寄存器地址分配

DLAB	A2 A1 A0	地址 (COM1)	读/写	符号	选中的寄存器
L	L L L	3F8	读	RBR	接收缓冲寄存器
L	L L L	3F8	写	THR	发送保持寄存器
H	L L L	3F8	写	DLL	波特率寄存器 (L)
H	L L L	3F8	写	DLM	波特率寄存器 (H)
L	L L H	3F9	写	IER	中断允许寄存器
L	L H L	3FA	读	IIR	中断状态寄存器
L	L H L	3FA	写	FCR	FIFO控制寄存器
L	L H H	3FB	写	LCR	线路控制寄存器
L	H L L	3FC	写	MCR	MODEM控制寄存器
L	H L H	3FD	读	LSR	线路状态寄存器
L	H H L	3FE	读	MSR	MODEM状态寄存器
L	H H H	3FF (8250 不用)	读	FSR	FIFO状态寄存器

寄存器说明

- 1)接收缓冲寄存器存放接收到，并且已经转换过的并行数据，线路状态寄存器的D0指明该寄存器是否已经接收到一个完整的字符。
- 2)发送保持寄存器存放将要发送的数据，线路状态寄存器的D5=1，指明发送缓冲寄存器空，可以发送下一个字符。

中断使能寄存器

有四种类型的事件可以引发串行口中断请求，设置中断允许寄存器可以允许或禁止某些中断源提出中断请求。在中断允许的情况下，如果有多个中断源申请中断，中断识别寄存器能够区分这些中断源类型。

设置中断允许寄存器之前必须先将线路控制寄存器的D7清为“0”。中断允许寄存器仅使用其中的低4位。

D0=1，允许接收就绪中断；D0=0，禁止接收就绪中断。

D1=1，允许发送缓冲区空中断；D1=0，禁止发送缓冲区空中断。

D2=1，允许接收出错或接收到间断信号时中断；D2=0，禁止接收出错或接收到间断信号时中断。

D3=1，允许MODEM状态中断；D3=0，禁止MODEM状态中断。

中断状态寄存器

中断状态寄存器的高4位不用。D0=0表示有中断产生，D0=1表示无中断产生。有中断产生时到底是那些中断，由D0和D1、D2、D3等位的组合来决定。

表 2 IIR 的功能

D3D2D1D0	优先级	中断类型	复位
0001	无	无	无
0110	1	接收状态有错	读 LSR
0100	2	接收数据就绪	读 RBR
1100	2	字符空指示	读 RBR
0010	3	发送完毕	写 THR
0000	4	MODEM 状态变化	读 MSR

FIFO控制寄存器

FIFO控制寄存器是一个只写寄存器，它允许和清楚FIFO，设置接收FIFO触发标准和选择DMA信号的类型。该寄存器的定义如下：

D0：允许发送器和接收器的FIFO，该位为0时，在两者FIFO中的所有数据都被清除，对该寄存器的其它位编程时，必须设D0为“1”。

D1=1清除在接收器FIFO中的所有字节和重新设置计数器。

D2=1清除在发送器FIFO中的所有字节和重新设置计数器。

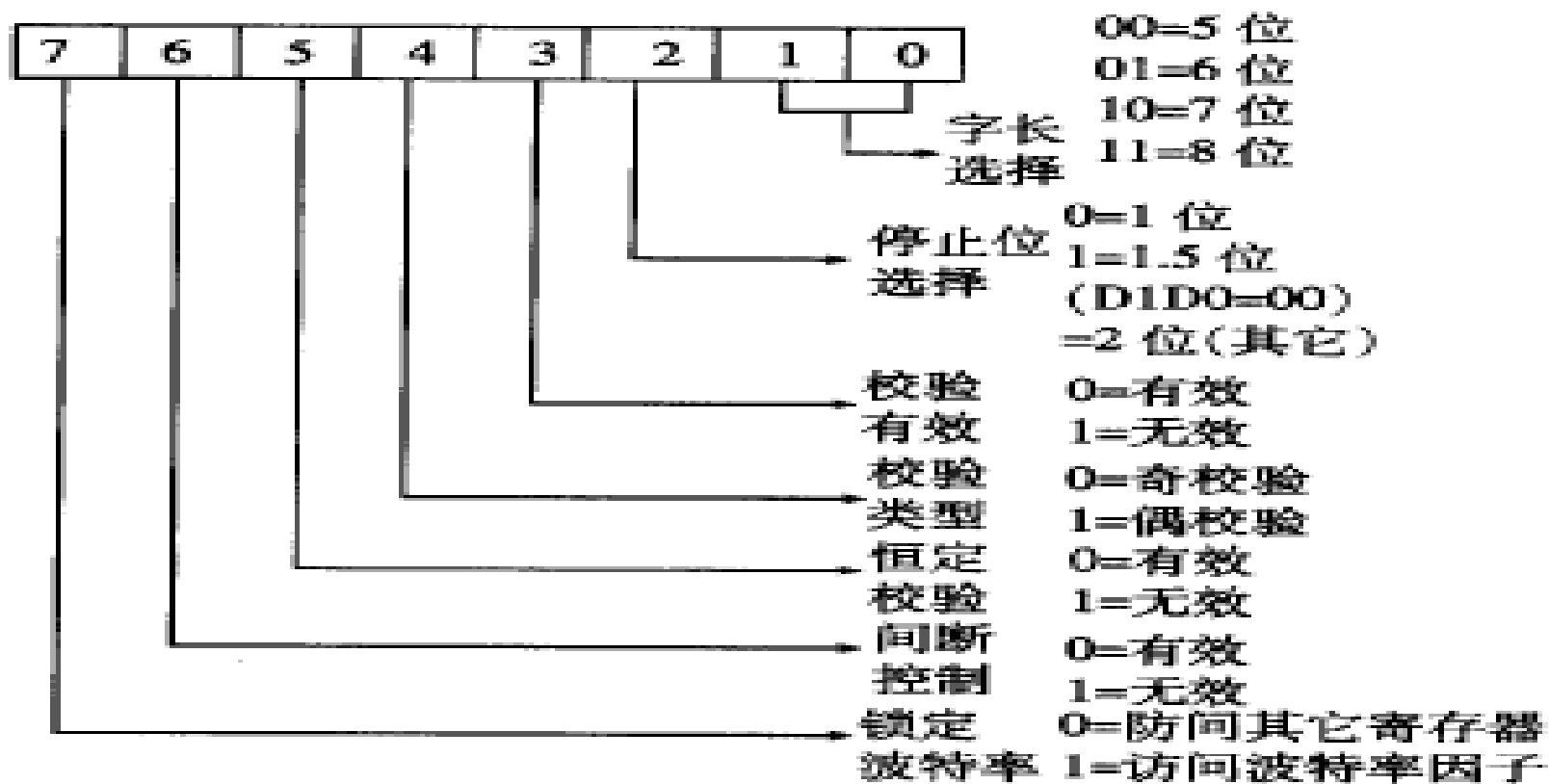
D3=1当D0=1时，将RXDRY和TXDRY从模式0改为模式1。

D4、D5保留为将来使用。

D6、D7设置接收器FIFO中断的触发标准。

线路控制寄存器

线路控制寄存器存放传送的二进制位串数据格式，其各位定义如下：



MODEM控制寄存器

MODEM控制寄存器主要用来从16552的输出引脚输出控制信号：

D0=1 DTR引脚输出低电平

D1=1 RTS引脚输出低电平

D2=1 OUT1引脚输出低电平

D3=1 OUT2引脚输出低电平

D4=1 自测循环回送状态

D5=1 正常工作状态

线路状态寄存器

线路状态寄存器记录了串行数据发送和接收的状态信息

LSR的各位	1	0
D0接收完成标志	接收完毕	读后复位
D1接收重叠标志	发生重叠	读后复位
D2奇偶校验错标志	奇偶校验错	读后复位
D3格式错标志	接收数据格式错	接收无错
D4间断标志	连续收到0	未间断
D5发送缓冲器空标志	已空	未空
D6发送移位寄存器空标志	已空	未空
D7接收器FIFO错标志	FIFO有错	FIFO无错

MODEM状态寄存器

MODEM状态寄存器记录着16552的当前状态和变化状态。变化状态是指CPU读取MODEM状态过后，输入引脚的电平发生了变化。

D0=1 CTS电平发生变化

D1=1 DSR电平发生变化

D2=1 RI电平发生变化

D3=1 CD电平发生变化

D4=1 CTS为低电平

D5=1 DSR为低电平

D6=1 RI为低电平

D7=1 CD为低电平

波特率因子寄存器

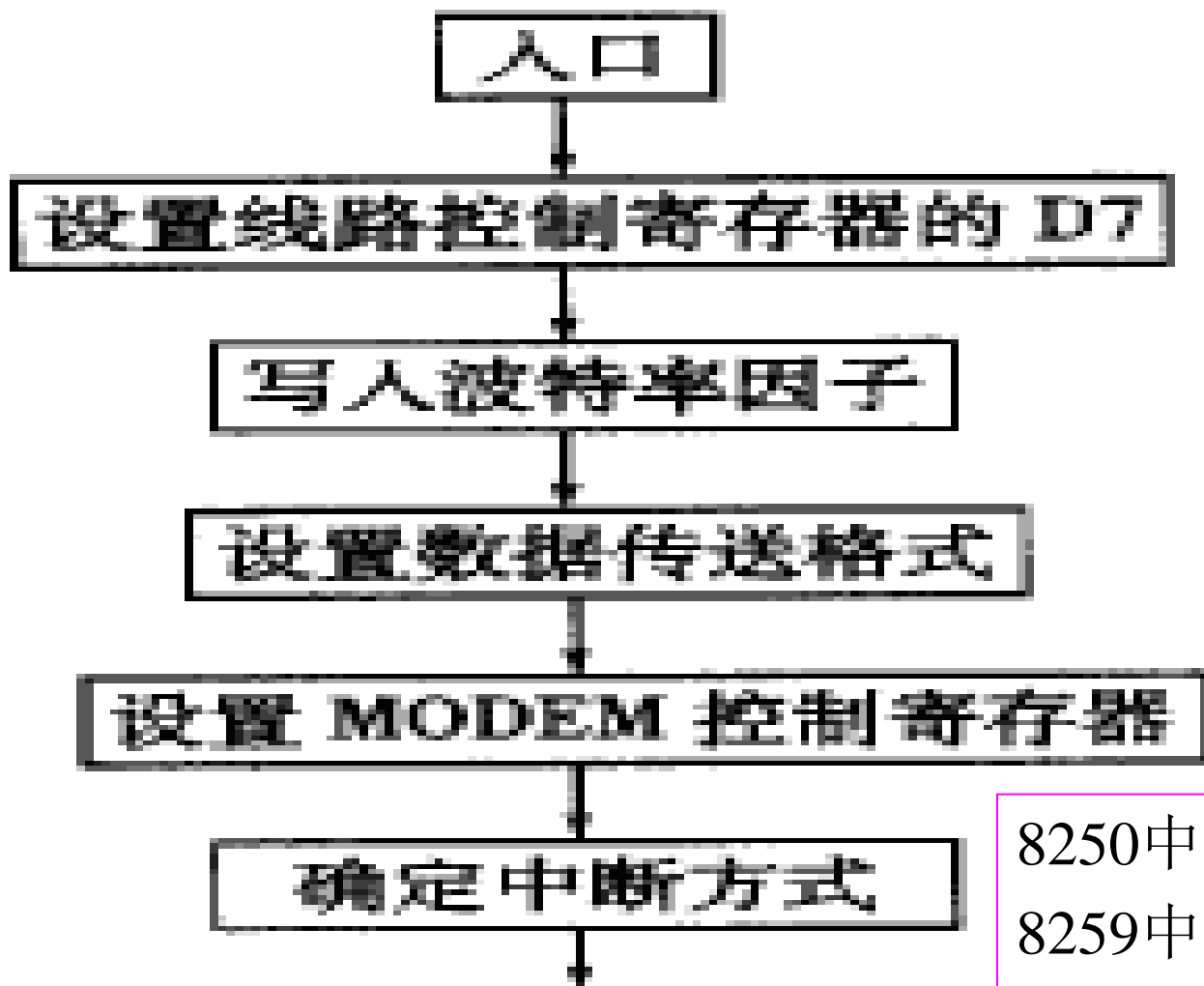
两个波特率因子寄存器构成一个16位的波特率因子寄存器，用来决定串行口的工作速率。

波特率因子的计算公式：

波特率因子=基准时钟频率 / (16*波特率)

写入波特率因子前必须先将线路控制器的D7为1，然后写入波特率因子，写入后再线路控制器的D7设置为0。

串行口初始化流程



8250中断设置
8259中断设置
开中断

3.12 MODEM控制---AT命令集

AT命令集是调制解调器通信接口的工业标准，AT命令是调制解调器可以识别并执行的命令。

使用AT命令设置调制解调器时，用户使用的通信软件必须提供一个到调制解调器的直接连接状态，使你能够从命令行输入所需的AT命令，如在WINDOWS95下的“**超级终端**”中建立一个直接到串口的连接便可使用AT命令，也可使用**ONLAN/PC**软件的终端方式。

AT命令的基本格式为：**AT+命令字符及相关设置参数**，例如：**ATDT0, 2043506**

这个命令表示使用音频拨号方式拨外线电话2043506。AT是前导符，D是命令字符，表示拨号，T这个参数表示用音频拨号。先拨“0”，紧随其后的逗号表示延迟处理下一个字符，称为拨号修正符。（可以通过设置S8寄存器的值定义延迟的时间，默认为2秒。范围为0-65秒）。

AT命令部分

Dn 摘机拨号

MODEM摘机并自动将命令中（n部分）的号码串拨出，并试图与远方联通，号码可由如下部份组成：

0~9, *, #, A~D: 对应普通号机相应按键；

J: 以最高速度实行MNP磋商联接；

L: （应直接于ATD之后）重拨上次拨号；

P: 使用脉冲拨号方式；

T: 使用音频拨号方式；

R: 命令无作用

S=n: 将存贮在第n条的号码拨出；

! : 短暂挂机（时间由S29确定）；

W: 等待二次拨号音；

@: 等待线路5秒安静期；

, : 暂停（时间由S8确定）；

; : （加于号码串之尾）回到命令状态；

AT命令部分

A 摘机应答

MODEM摘机应答呼叫，并试图与对方联通。

En 命令回显

E0: 不回显

E1: 回显

结果码: $n=0$ 或 1 , OK; 其它值, ERROR。

对应S寄存器: S14 (b1)

Hn 挂机

H0: MODEM挂机;

H1: MODEM摘机并等待命令 (准备拨号);

结果码: $n=0$ 或 1 , OK; 其它值, ERROR。

AT命令部分

Ln 扬声器音量

L0: 低音量;

L1: 较低（缺省）音量;

L2: 中音量;

L3: 高音量;

结果码: $n=0$ 至3, OK; 其它值, ERROR。

对应S寄存器: S22 (b3, b2)

P 脉冲拨号方式设置

在拨号时若无特别指明（如ATDT等），按脉冲方式拨号。

对应寄存器: S14 (b5)

Sn S寄存器读写

n : 使 n 号S寄存器为当值S寄存器;

$n?$: 读出 n 号S寄存器;

$n=V$: 将 V 值写入 n 号S寄存器。

AT命令部分

T 设置音频拨号方式

在拨号时若无特别指明（如ATDP...），按音频方式拨号。

对应S寄存器：S14（b5）。

Zn 复位命令

Z0：复位，而后应用0号预置；

Z1：复位，而后应用1号预置；

结果码：n=0, 1, OK；其它值，ERROR。

AT命令部分

Xn 扩展的结果报告内容

	联络内容	拨号音	忙音
X0	部分	不监测	不监测
X1	全部	不监测	不监测
X2	全部	监测	不监测
X3	全部	不监测	监测
X4	全部	监测	监测

* 缺省为X4

结果码： n=0至4， OK； 其它值， ERROR。

对应S寄存器： S21 (b7, 5, 4)

AT&命令部分

&F 取出厂方预置参数

将部分基本的S寄存器值按生产时参数预置。

&Kn DCE与DTE间流控方式

&K0: 无流控方式;

&K3: RTS/CTS流控方式 (缺省);

&K4: XON/XOFF流控方式;

&K5: 透明XON/XOFF流控方式;

&K6: XON/XOFF 与RTS/CTS同时控制方式;

结果码: $n=0, 3$ 至 6 , OK; 其它值, ERROR。

对应S寄存器: S39 (b2, 1, 0)

AT&命令部分

&Qn 数据通信方式选择

&Q0: 使用直接异步方式;

&Q1: 使用同步联通方式 (命令方式为异步);

&Q5: 使用差错控制方式 (缺省);

&Q6: 使用普通异步方式 (具有速率缓冲功能);

结果码: n=0至6, OK; 其它值, ERROR。

&Rn RTS/CTS功能控制

当使用RTS/CTS流控方式时:

&R0: 同步方式中, CTS跟随RTS (时延由S26给定); 异步方式中, CTS按V.25bis;

&R1: 同步方式中, CTS始终为ON; 异步方式中, CTS只在硬件流控控制下掉下;

结果码: n=0, 1, OK; 其它值, ERROR。

AT&命令部分

&V 查看配置

查看正在使用的配置、另两套存储的配置以及存储的号码条目内容。

&Wn 存入配置

&W0: 将当前配置存入第一套配置存储单元中;

&W1: 将当前配置存入第二套配置存储单元中;

结果码: $n=0, 1$, OK; 其它值, ERROR。

AT&命令部分

&Xn 指定同步时钟源

指定同步方式中发送数据时钟源：

&X0：使用MODEM内部自产生的时钟源，并由串口的TDCLK送出；

&X1：使用由串口上XTCLK来的外时钟，并将其送至串口的TDCLK上；

&X2：使用MODEM自接收信号中恢复出的远地时钟源，并将其由串口的TDCLK送出；

结果码：n=0至2，OK；其它值，ERROR。

对应S寄存器：S27（b5，b4）

AT&命令部分

&Yn 指定复位后的启用配置

&Y0: (硬) 复位后启用第一套配置 (缺省) ;

&Y1: (硬) 复位后启用第二套配置;

&Zn=X 存储 (拨号用) 号码

MODEM可存贮4条电话号码 (n为0至3), 其中每条号码长度可达45字符 (X为0~45长的号码串)。

结果码: n=0至5, OK; 其它值, ERROR。

AT\命令部分

\Gn MODEM至MODEM流控(XON/XOFF)

在非差错控制中，开/关MODEM间的流控，
在差错控制中，XON/XOFF无作用。

\G0：关闭流控（缺省）；

\G1：打开流控；

结果码：n=0，1，OK；其它值，ERROR。

对应S寄存器：S41（b3）

AT\命令部分

\Nn 操作方式

\N0: 选用普通速率缓冲方式（关闭差错校正方式，含有&Q6命令）

\N1: 相当于&M0或&Q0;

\N2: 选用LAPM差错校正方式，若不成功再试MNP差错校正方式，若仍无法联通MODEM挂机（含&Q5命令）；

\N3: 同\N2，但无法联通时改用普通速率缓冲方式；

\N4: 选用LAPM差错校正方式，若不成功MODEM挂机（含&Q5命令）；

\N5: 选用MNP差错校正方式，若不成功MODEM挂机（含&Q5命令）；

结果码：n=0至5，OK； 其它值，ERROR。

AT+命令

+MS: 调制速率选择，格式为：

+MS= <mod> [[<automode>],[<min-rate>],[<max-rate>]]回车

参数定义：

1. <mod>是十进制参数，用于指定自动模式下的优先调制速率或非自动模式的调制速率。mod=10表示采用V.32bis调制协议，允许速率（bps）有14400,12000,9600,7200,4800;mod=11表示采用V.34+调制协议，允许速率有33600,31200,28800,26400,24000,19200,14400等。

2. <automode>参数禁止或允许自动协议磋商。0禁止自动磋商，1采用V.8或V.32Annex A自动磋商。

3. <min-rate>指定MODEM联接时采用的最低速率，10进制值，以bps为单位。

4. <max-rate>指定MODEM联接时采用的最高速率。

若需查看当前的速率配置，可用AT+MS? 回车命令。

结果码表

MODEM返回的结果通常是字串形式，但也可是数字码，其对应关系如下表：

数值	提示字	解 释
0	OK	命令已执行
1	CONNECT	联接建立
2	RING	检测到振铃信号
3	NO CARRIER	未检测到或丢失载波信号
4	ERROR	无效命令，校验和，命令行错误，或命令行超过255个字符
5	CONNECT 1200	联接在1200波特
6	NO DIALTONE	未检测到拨号音调（由X2、X4或拨号修正W开启）
7	BUSY	检测到忙音（由X3、X4指令开启）
8	NO ANSWER	当拨一个不提供拨号音调的系统时，未探测到无声信号（由拨号修正@开启）
10	CONNECT 2400	联接于2400波特(X0指令关闭)
11	CONNECT 4800	联接于4800波特(X0指令关闭)
12	CONNECT 9600	联接于9600波特(X0指令关闭)
14	CONNECT 12000	联接于12000bps(X0指令关闭)
15	CONNECT 14400	联接于14400bps(X0指令关闭)
16	CONNECT 19200	联接于19200bps(X0指令关闭)
47	CARRIER 2400	在2400bps检测到载波
48	CARRIER 4800	在4800bps检测到载波
50	CARRIER 9600	在9600bps检测到载波
51	CARRIER 12000	在12000bps检测到载波
52	CARRIER 14400	在14400bps检测到载波
66	COMPRESSION:	使用MNP5压缩
67	MNP5 CLASS5 COMPRESSION:	使用V.24压缩
70	V.42bis CLASS5 COMPRESSION: NONE	无压缩
76	PROTOCOL: NONE	异步方式
77	PROTOCOL: LAMP	V.42 LAMP
80	PROTOCOL: ALT	MNP

3.13 基于排队论的网络性能参数分析

最常用的性能参数和指标有:

(1) 延迟(delay);

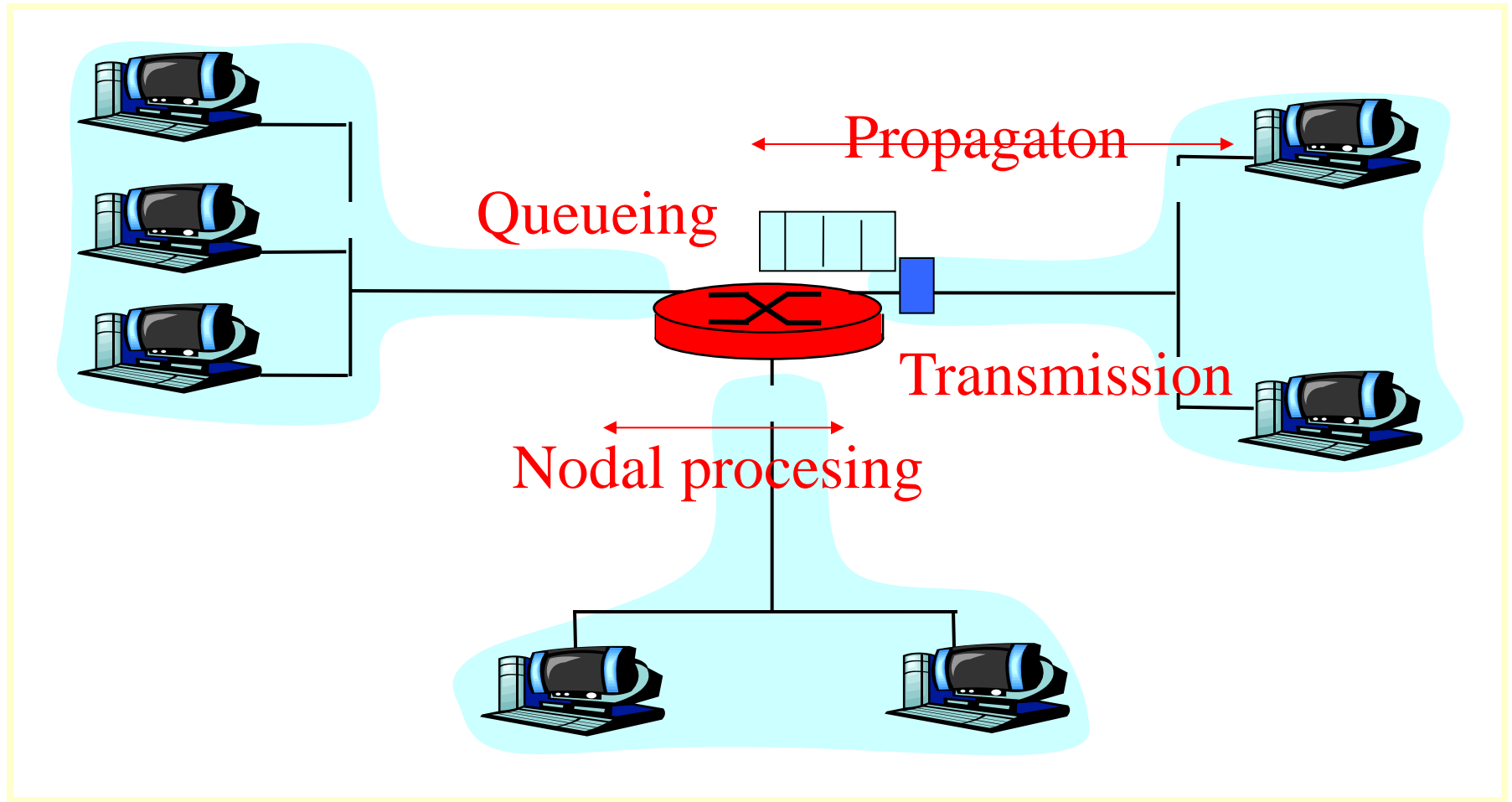
(2) 吞吐率(throughput);

(3) 丢失率(loss Rate);

(4) 抖动(jitter);

(5) 同步(synchronous)。

时延



时延

T_{total} , the total nodal delay, including processing, queueing, transmission and propagation delays.

$$T_{total} = t_{proc} + t_{queue} + t_{trans} + t_{prop}$$

where t_{proc} : processing delays (与机器的处理能力相关)

t_{queue} : queueing delays

t_{trans} : transmission delays (报文长度/传输速率)

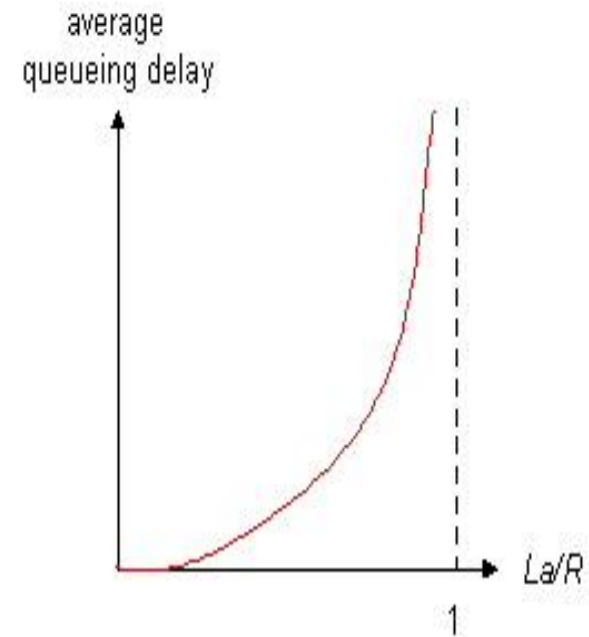
t_{prop} : propagation delays (距离 / 信号传播速率)

Queuing delay

- ❑ R =link bandwidth (bps)
- ❑ L =packet length (bits)
- ❑ a =average packet arrival rate

traffic intensity = $\frac{La}{R}$

- ❖ $\frac{La}{R} \sim 0$: average queuing delay is small
- ❖ $\frac{La}{R} \rightarrow 1$: delays become large
- ❖ $\frac{La}{R} > 1$: more “work” (*demand*) arriving than can be serviced (*capacity*), average delay infinite (*service degrades unboundedly*)!



Queuing Theory

Assumptions:

- ❖ independent arrivals
- ❖ exponential distributions
- ❖ customers do not leave or change queues.
- ❖ Large queues do not discourage customers.

Queuing Theory

Basic measurable values of a queueing system

- Arrival rate (λ)
- Service time (s)
- Number in the system (Q) (排队+服务)
- Number waiting (W) . Always less than Q.
- Time in the system (T_q)
- Time waiting (T_w) . $T_q = T_w + T_s$

Queuing Model Classification

Arrival Process / Service Time / Servers / Max Occupancy

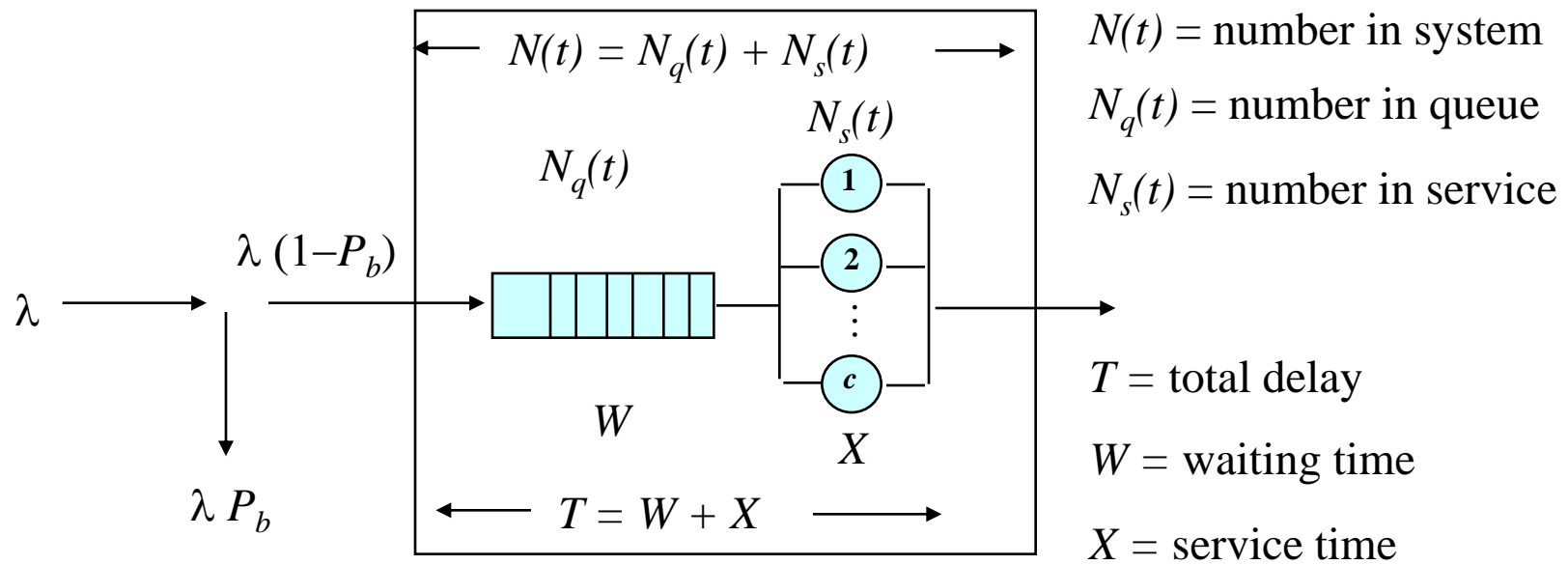
Interarrival times τ	Service times X	1 server	K customers
M = exponential	M = exponential	c servers	unspecified if
D = deterministic	D = deterministic	infinite	unlimited
G = general	G = general		
Arrival Rate:	Service Rate:		
$\lambda = 1 / E[\tau]$	$\mu = 1 / E[X]$		

Multiplexer Models: $M/M/1/K$, $M/M/1$, $M/G/1$, $M/D/1$

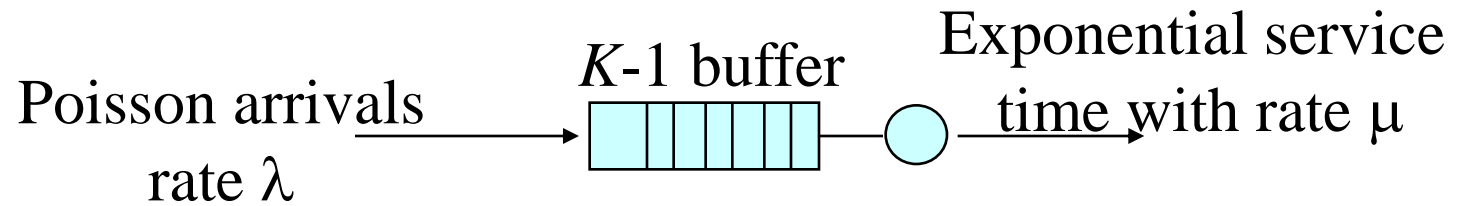
Trunking (管道) Models: $M/M/c/c$, $M/G/c/c$

User Activity: $M/M/\infty$, $M/G/\infty$

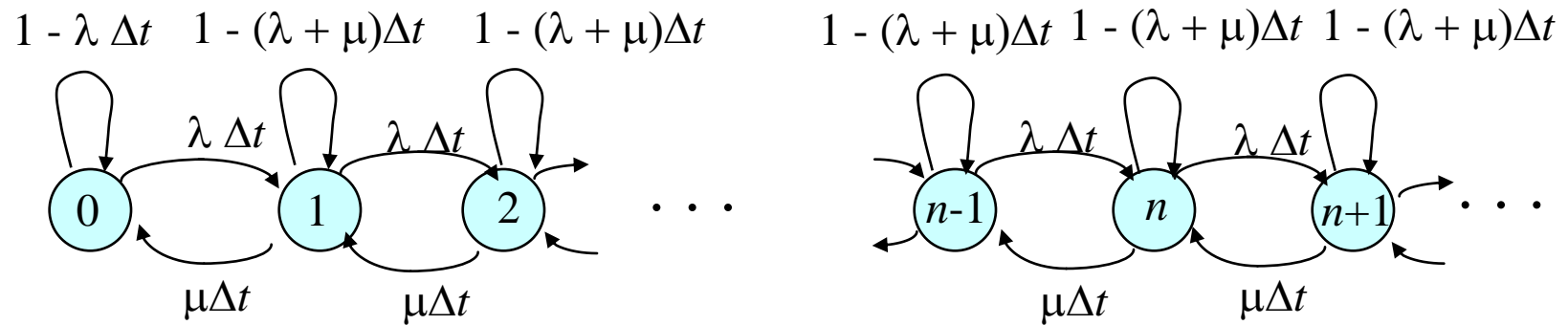
Queuing System Variables



M/M/1K Queue



A Markov State transition diagram



Poisson distributed

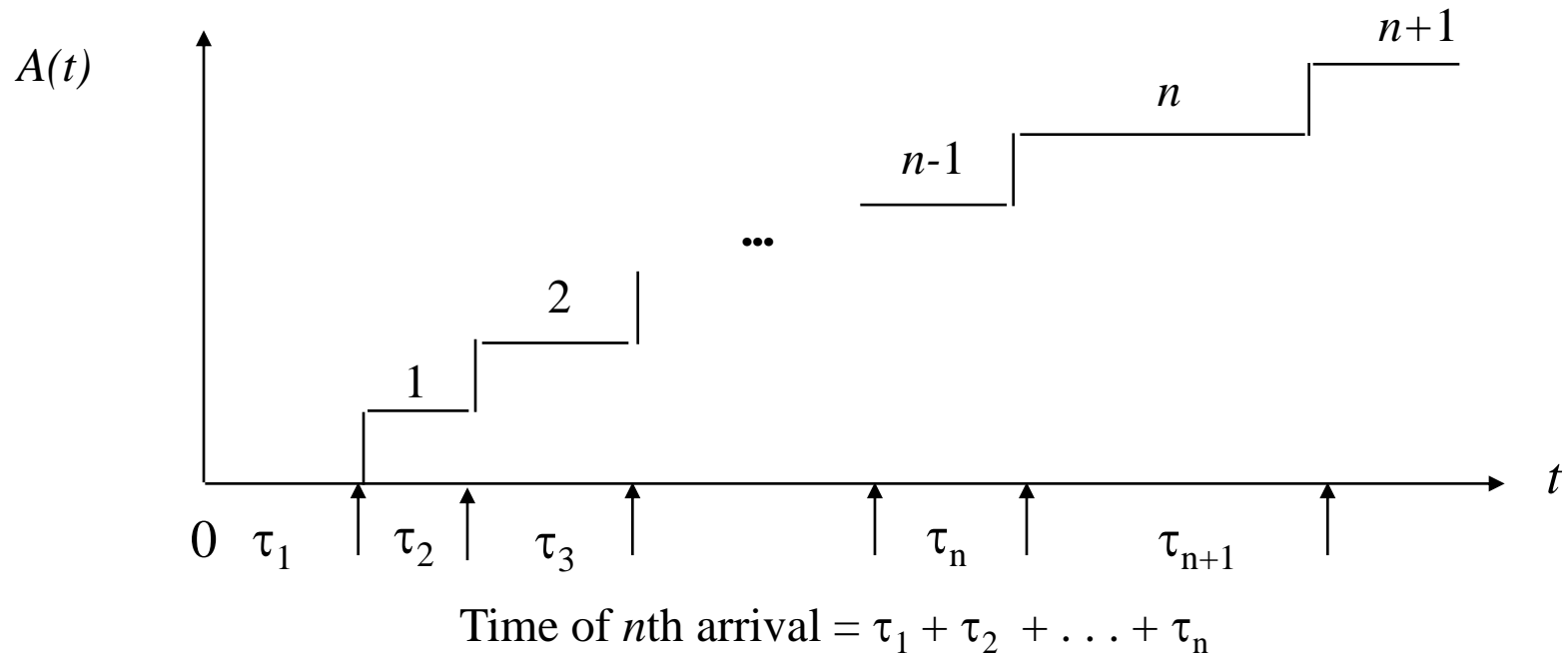
Poisson arrival rate.

If customers are arriving at the exponentially distributed rate λ , then the probability that there will be k customers after time t is:

$$P_k(t) = \frac{(\lambda t)^k}{k!} e^{-\lambda t}$$

Utilization = $\rho = \lambda s$ = fraction of time the server is busy.

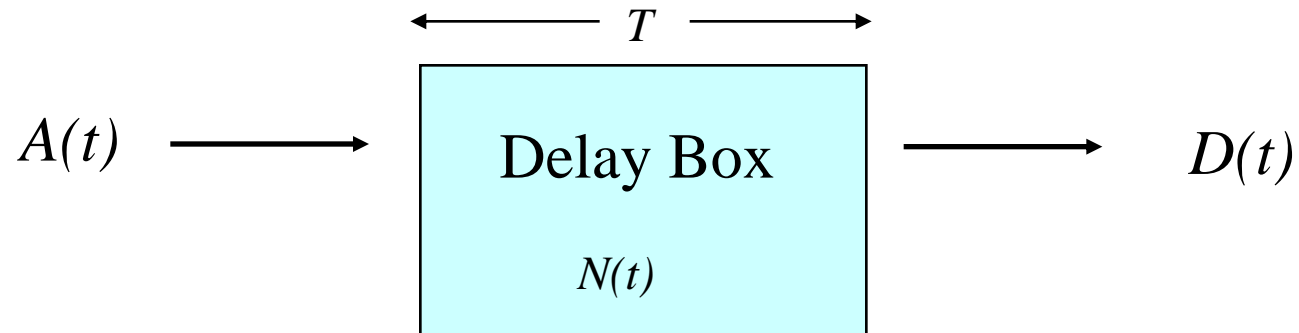
报文到达率和到达间隔



$$\text{Arrival Rate} = \frac{n \text{ arrivals}}{\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n \text{ seconds}} = \frac{1}{(\tau_1 + \tau_2 + \dots + \tau_n)/n} \rightarrow \frac{1}{E[\tau]}$$

$$\text{Arrival Rate} = 1 / \text{mean interarrival time}$$

Little's Theorem



Little's formula

Little's formula states the queue size equals the arrival rate times the average time in the system.

$$Q = \lambda T_q \quad \text{or} \quad W = \lambda T_w$$

M/M/1

$$T_q = \frac{s}{1-\rho} \quad Q = \frac{\rho}{1-\rho}$$

$$T_w = \frac{s\rho}{1-\rho} \quad W = \frac{\rho^2}{1-\rho}$$

The simplest server is an M/M/1 queue. Both the service time and the arrival rate are variable and exponentially distributed.

M/D/1

$$Tq = \frac{s(2-\rho)}{2(1-\rho)} \quad Q = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)} + \rho = \frac{\rho}{1-\rho} - \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}$$

$$Tw = \frac{\rho s}{2(1-\rho)} \quad W = \frac{\rho^2}{2(1-\rho)}$$

For some systems the service time is always the same. These systems can be modeled as a M/D/1 queue. In the equations below, note that the wait time (and hence the time in the system) is smaller because there is less variability in the system.

M/M/N

When there are N servers, we assume that each server is identical. All customers wait in a single queue and use the first available server. The utilization is $\rho = \lambda s / N$. For the calculations, an intermediate value, K is useful.

The probability that all servers are busy is

$$K = \frac{\sum_{i=0}^{N-1} \frac{(\lambda s)^i}{i!}}{\sum_{i=0}^N \frac{(\lambda s)^i}{i!}}$$

$$C = \frac{1-K}{1-\frac{\lambda s K}{N}}$$

$$Tq = \frac{Cs}{N(1-\rho)} + s$$

$$Q = C \frac{\rho}{1-\rho} + \lambda s$$

$$Tw = \frac{Cs}{N(1-\rho)}$$

$$W = C \frac{\rho}{1-\rho}$$

Queuing Theory

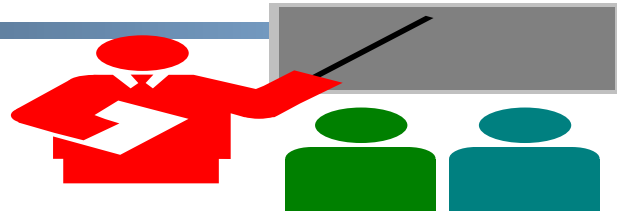
When working on a problem involving queueing theory, it is advisable to following these steps:

- Determine what quantities you need to know. Do you need to know the time in the system or just the waiting time?
- Identify the server. Where are items being queued?
- Identify the queued items. Are the items being queued: processes, bytes, requests, messages or some other object. Once the item is defined, convert all times and rates into these units. For example, if network packets are being queued, then convert the transmission rate into packets/sec.

Queuing Theory

- Identify the queueing model. How many queues and how many servers are involved. Is the service time constant or random?
- Determine the service time. Calculate the service time in seconds/item.
- Determine the arrival rate. Calculate the arrival rate from all sources in items/sec.
- Calculate ρ , the server utilization.
- Calculate the desired values. Make sure you use the correct equation for the appropriate queueing model.

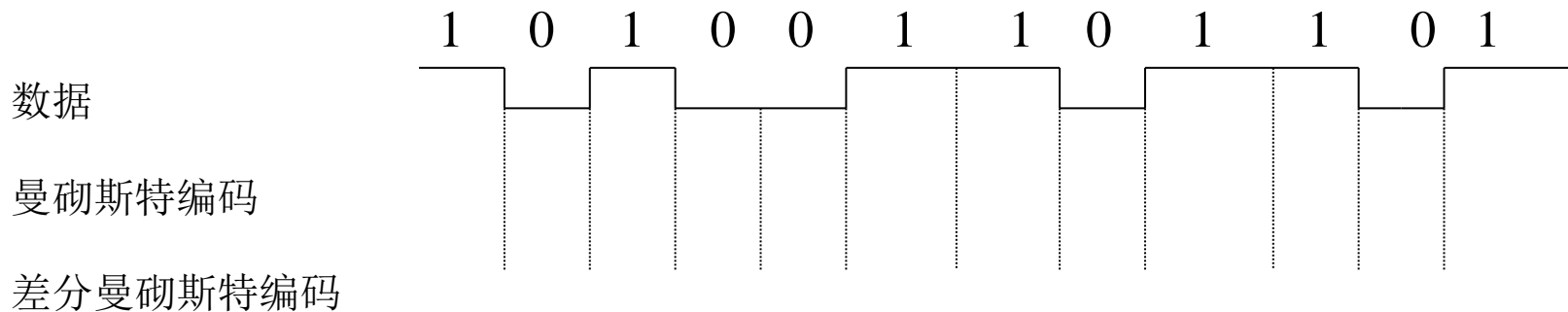
Summary



- 通信系统模型
- 传输速率（尼奎斯特理论、香农理论）
- 信号类型
- 通信方式
- 多路复用
- 交换方式
- 传输介质
- 综合布线系统
- 物理层协议简介
- 异步通信基础
- 排队论概述

Quiz 1

1.请画出下列数据的曼彻斯特编码和差分曼彻斯特编码（假定信号开始前的状态为高电平）。



2. 请论述TCP/IP模型与OSI/RM模型的对应关系。

3. 需在两台计算机间经两个中间节点传送100兆字节的文件，假定：

（1）计算机与中间节点间的通信线路以及中间节点间通信线路的通信速率皆为8Kbps，节点之间的传播时延为1us

（2）外界电磁干扰对数据传输的影响可以忽略不计

（3）中间节点的处理时延可忽略不计

试计算采用甲、乙两种方案传送此文件所需时间。其中：

方案甲：将整个文件逐级存储转发。

方案乙：将文件分为1000字节长的帧在进行逐级存储转发，假定帧头和帧尾的开销各为10字节。

Thanks !

