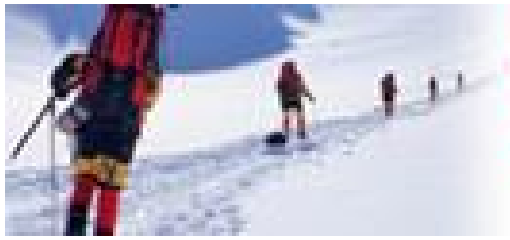


Data Communications and Networking Fourth Edition

Forouzan

第8章

交换

图8.1 交换网络（由一系列互连的交换机节点构成）

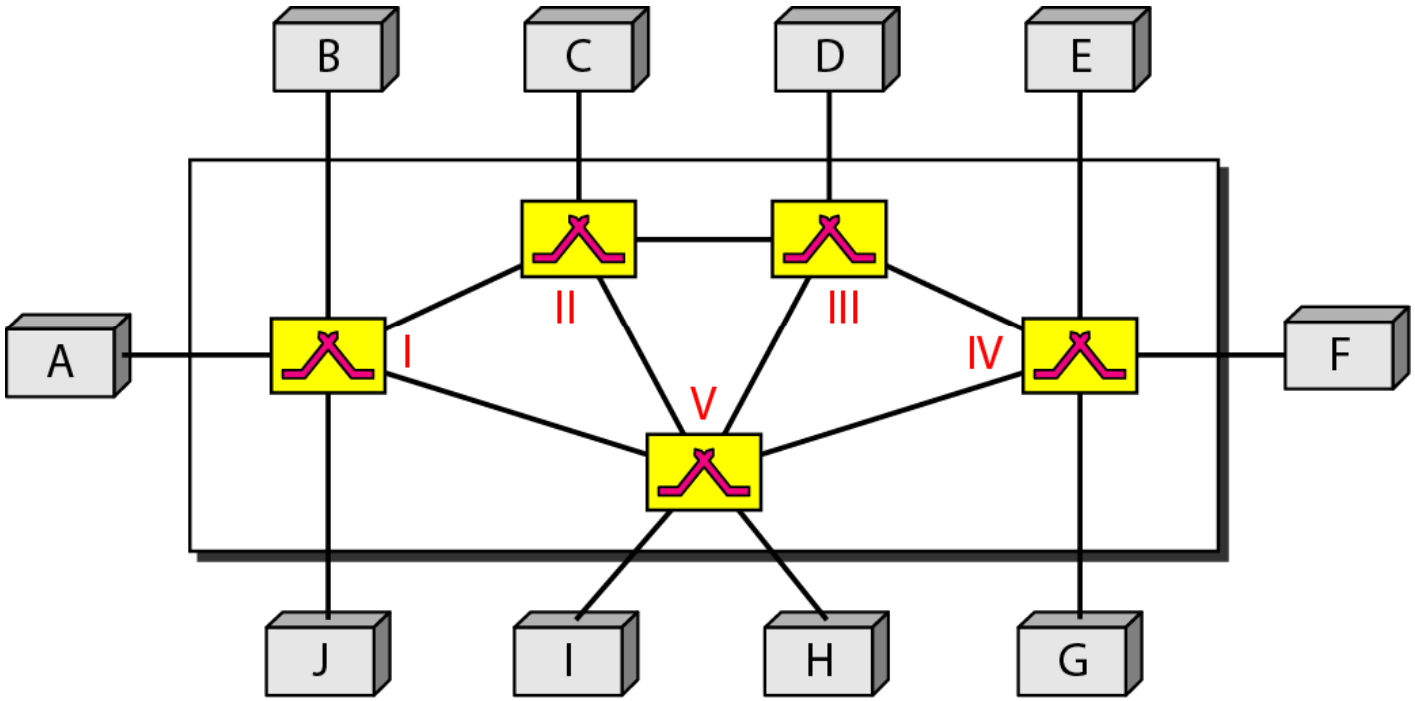


图8.2 交换网络分类法

p分组交换网的趋向是结合数据报网和虚电路网：网络根据数据报寻址的思想对第一个分组进行路由选择，然后为同一个源端和目的端的所有其余的分组建立一个虚电路网；

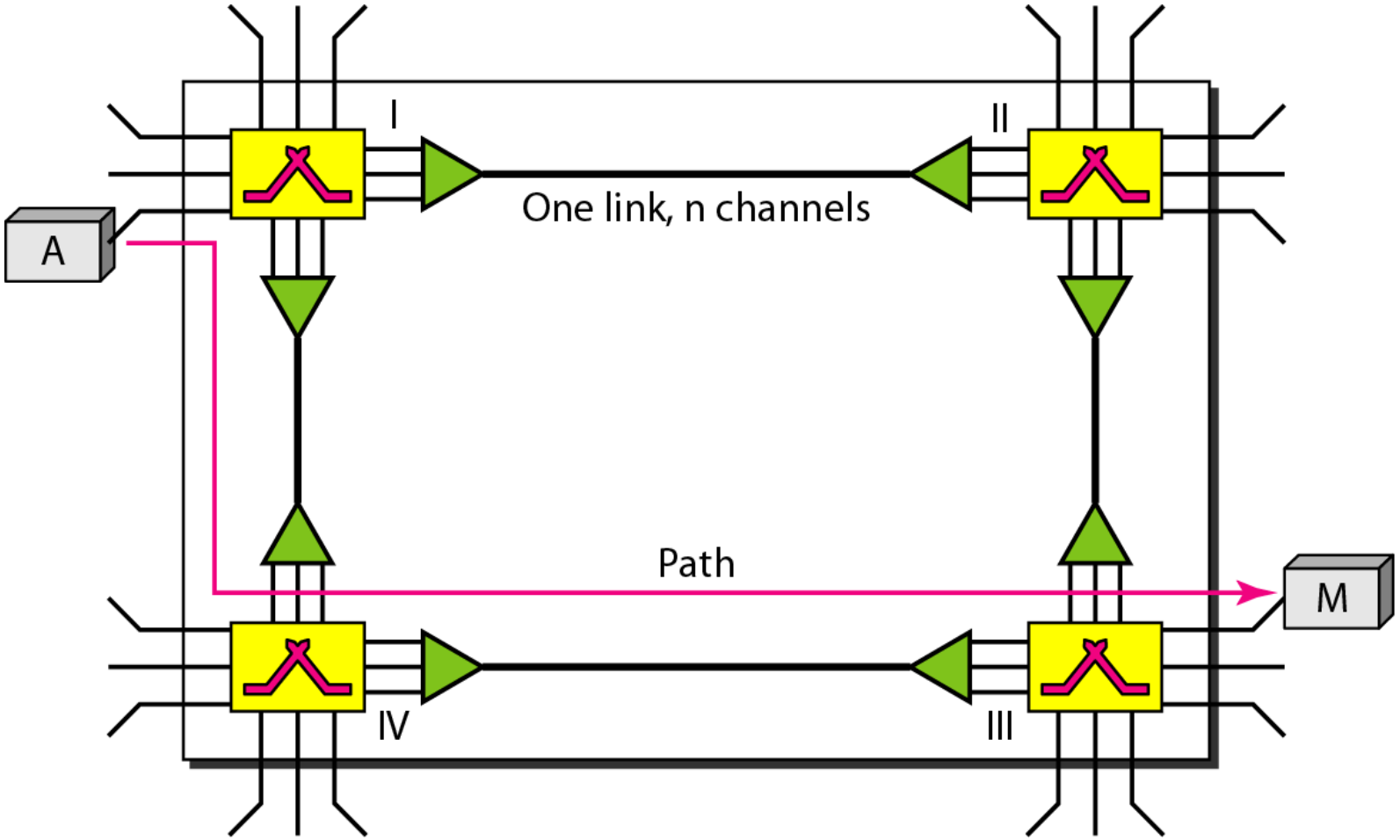
p报文交换：每个交换机存储整个报文，并转发到下一个交换机，属于传输层及以上层次的概念，不讨论。

8-1 电路交换网络

- 电路交换网络是由物理链路连接的一组交换机组成的；
- 两个站点间的连接由一条或多条链路组成的专用路径来实现，然而每次连接仅使用每条链路上的一条专用通道；
- 通常每条链路用FDM或TDM划分成n个通道。

电路交换网络由物理链路连接的一组交换机组成，每条链路被分成了n个通道。

图8.3 一个普通的电路交换网（n=3）



电路交换三个阶段

- 连接建立：在每条链路上预定一个电路（通道），并将这些电路或通道联合起来指定一条专用路径；
- 数据传输：当建立了这些连接的电路或通道的专用路径后，数据传输才可以进行；
- 拆除：所有数据传送完以后，拆除这些电路并释放资源。

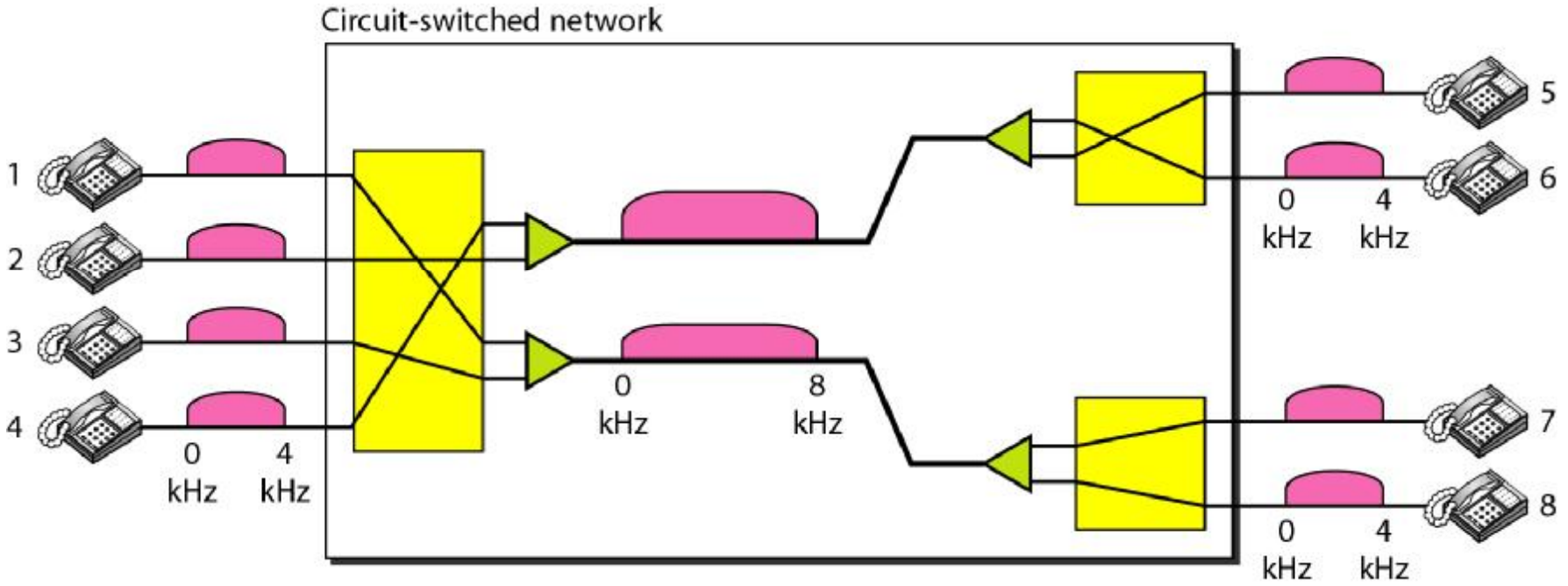
- 需要注意：
  - 电路交换是在物理层；
  - 通信开始前，站点必须对通信时间所用的资源给以预留，如通道、交换机的缓冲器、交换机处理时间和交换机输入/输出端口，在整个数据传输期间必须保留专用直到拆除阶段；
  - 两个站点间数据传输不打包，源站点发送连续的数据流；
  - 数据传输期间没有寻址，交换机基于它们占有的频带或时隙发送数据

在电路交换中，建立阶段必须预留资源，以作为整个数据传输间的专用资源直到拆除阶段。

例8.1

作为一个简单的例子，让我们考察在一个小范围内连接八台电话机的电路交换网络，其通信通过4kHz的语音通道。假定每条链路用FDM连接最大语音通道是两个，每条链路带宽为8kHz，图8.4表示了电话机1连接到电话机7，电话机2连接到电话机5，电话机3连接到电话机8和电话机4连接到电话机6的情况。当然，当新连接发生时，情况会有变化。交换机控制这些链接。

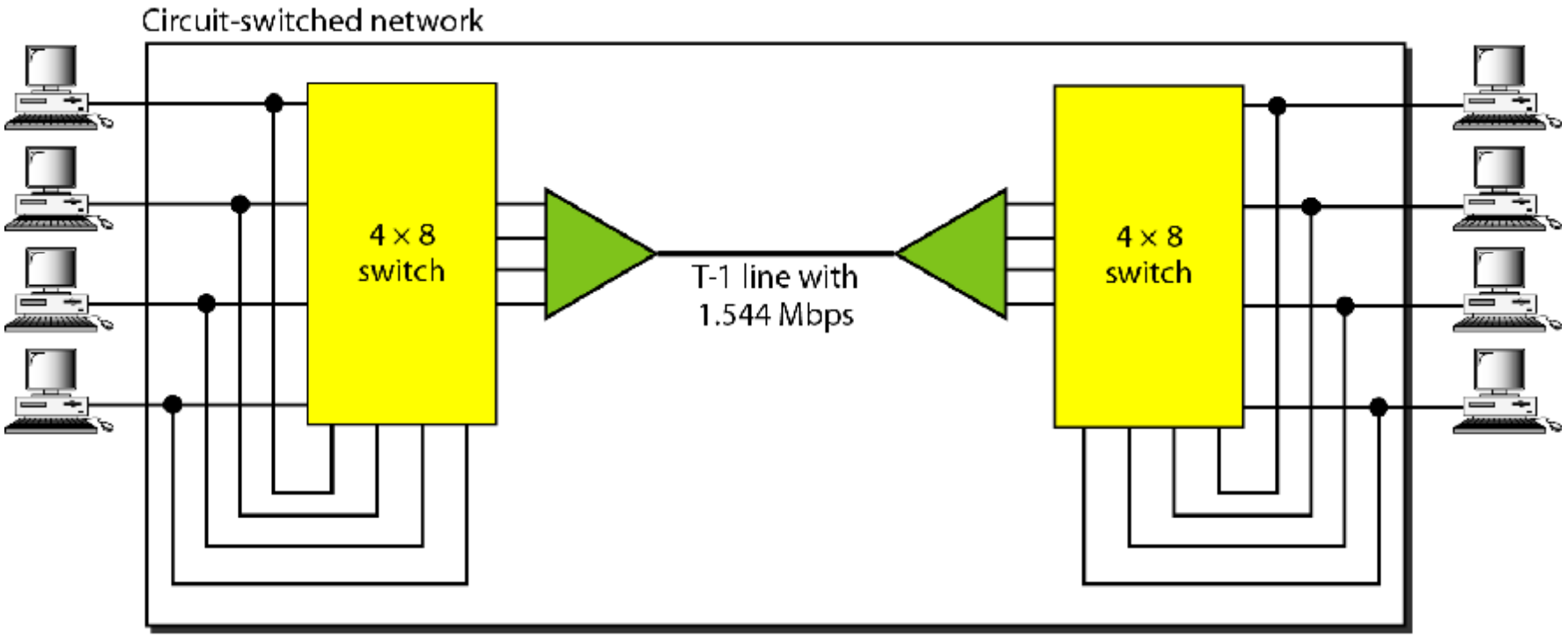
图8.4 例8.1所用的电路交换网



例8.2

作为另一个例子，考虑某个私人公司两个远程办公室计算机的连接，办公室从通信服务提供商租用T-1专用线连接这些计算机。在这个网络中，有两台4*8（4输入8输出）交换机。每台交换机中4个输出端与输入端重叠以允许同一办公室的计算机之间通信，另外4个输出端允许两个办公室间通信。图8.5表示了这个情况。

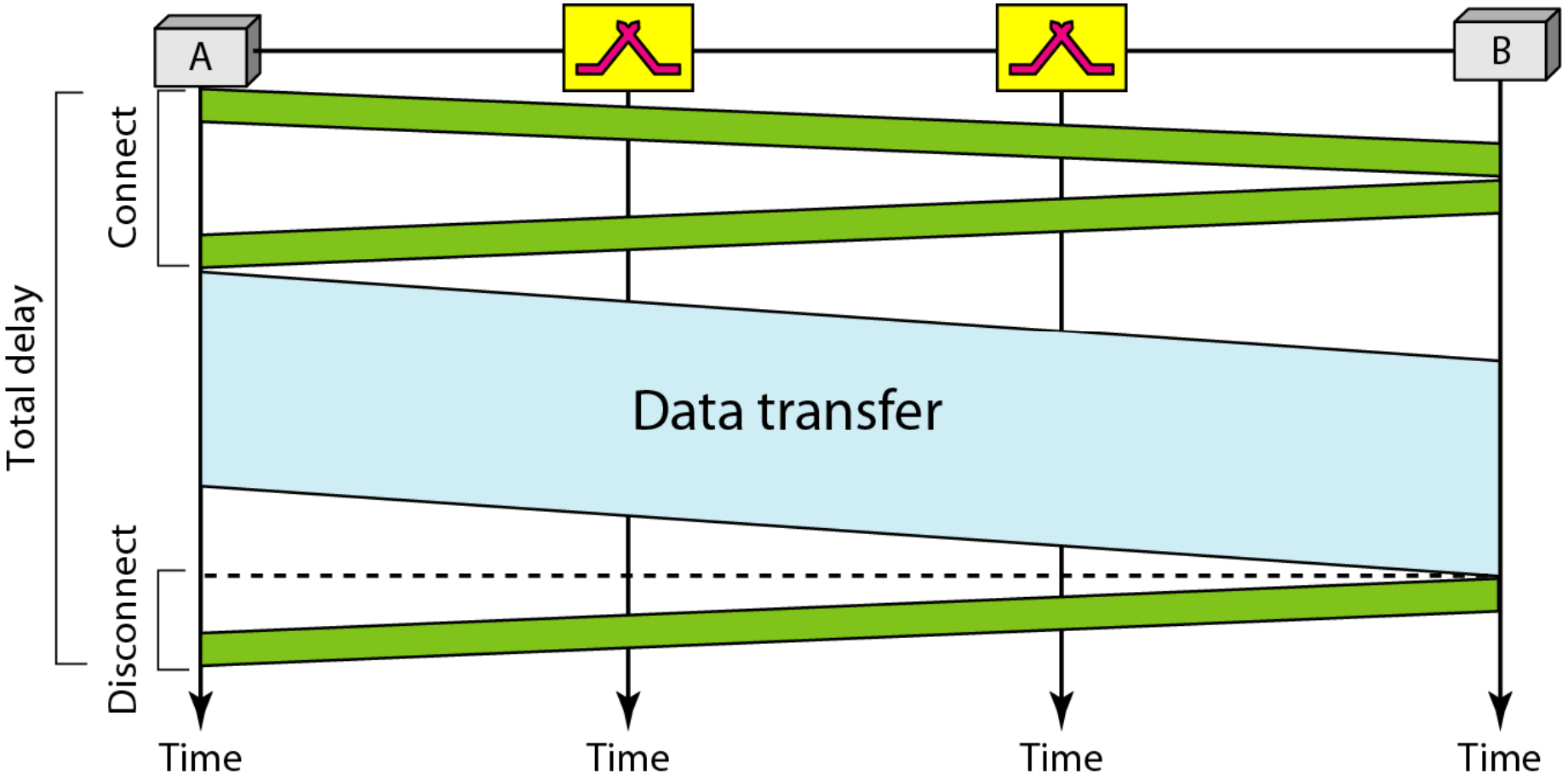
图8.5 例8.2所用的电路交换网



电路交换网的效率

p因为资源在整个连接期间都被占用，这些资源不能被其他连接所用，所以电路交换网的效率较低，不如其他两类网络的效率

图 8.6 电路交换网中的延迟（很小，交换机延迟可忽略不计）



传统电话网物理层的交换采用电路交换的方法。

8-2 数据报（Datagram）网络

- 在数据通信中需要从一个端系统发送报文到另一个端系统；
- 如果经过分组交换网传送报文，则报文必须划分为一些固定长度的分组或可变长的分组，分组长度由网络和控制协议决定；
- 在分组交换网中，不存在资源预留，资源按需分配；
- 在数据报网络中，每个分组独立处理，与其他分组无关，即使某个分组是多分组传输的一个部分，网络处理它好像它是单独存在的一样，这种方法的分组称为数据报；
- 数据报交换通常在网络层进行。

图8.7 有4个交换机（路由器）的数据报网

p数据报网有时也称为无连接网络；

p术语无连接的意思是交换机（分组交换机，实为路由器）不保存有关连接状态的信息，不需要建立连接阶段，也不需要拆除阶段；

p每个分组不管源端和目的端由交换机（路由器）同样处理。

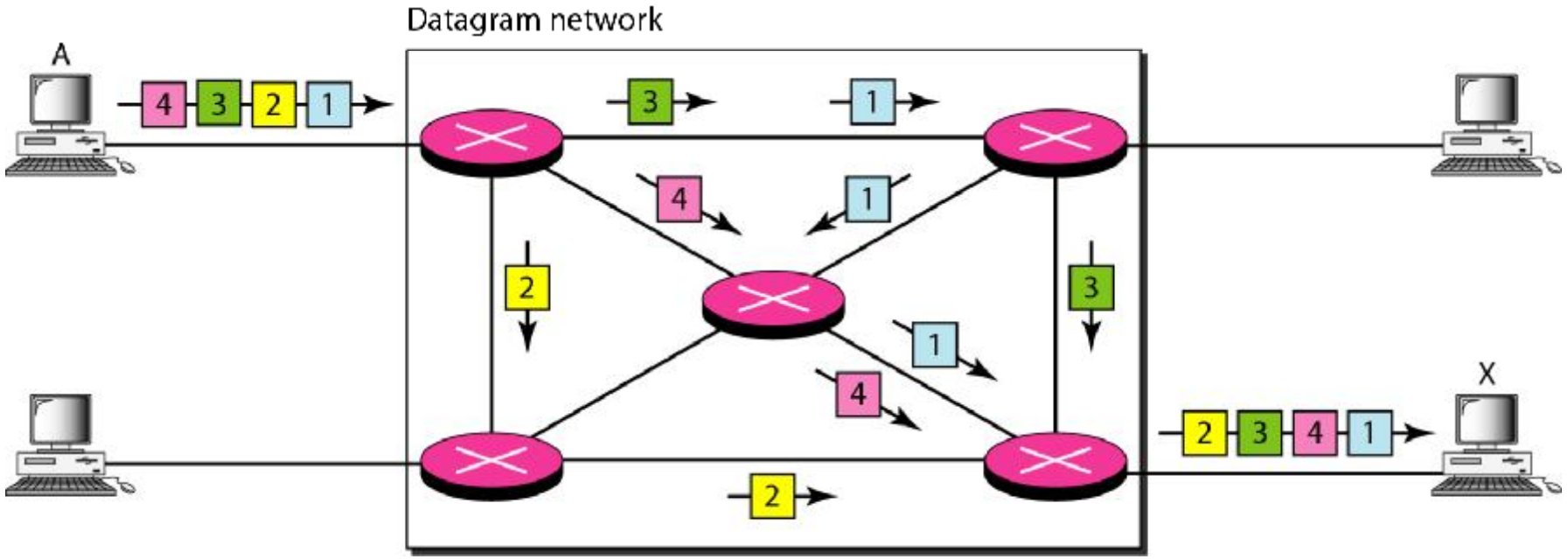
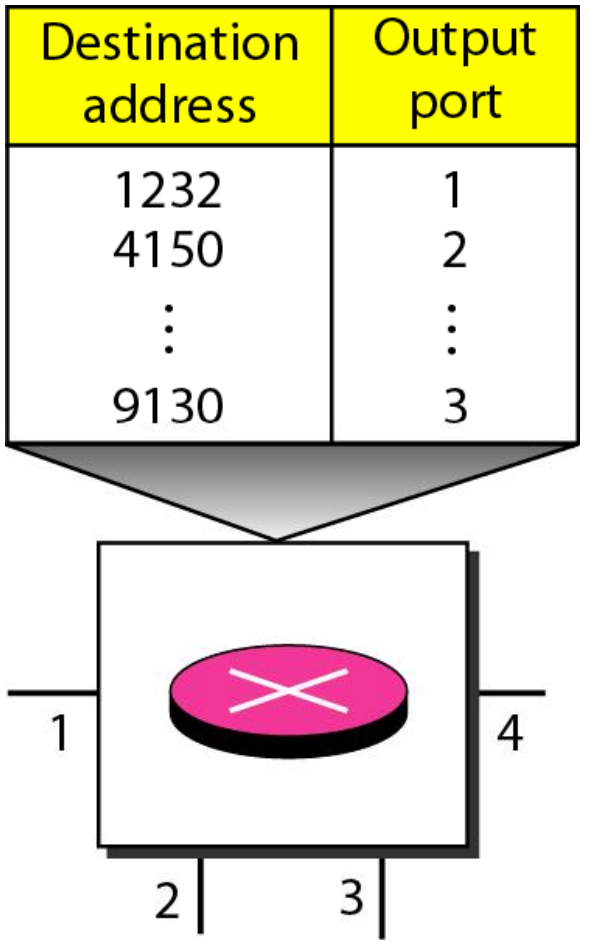


图8.8 数据报网中的路由表

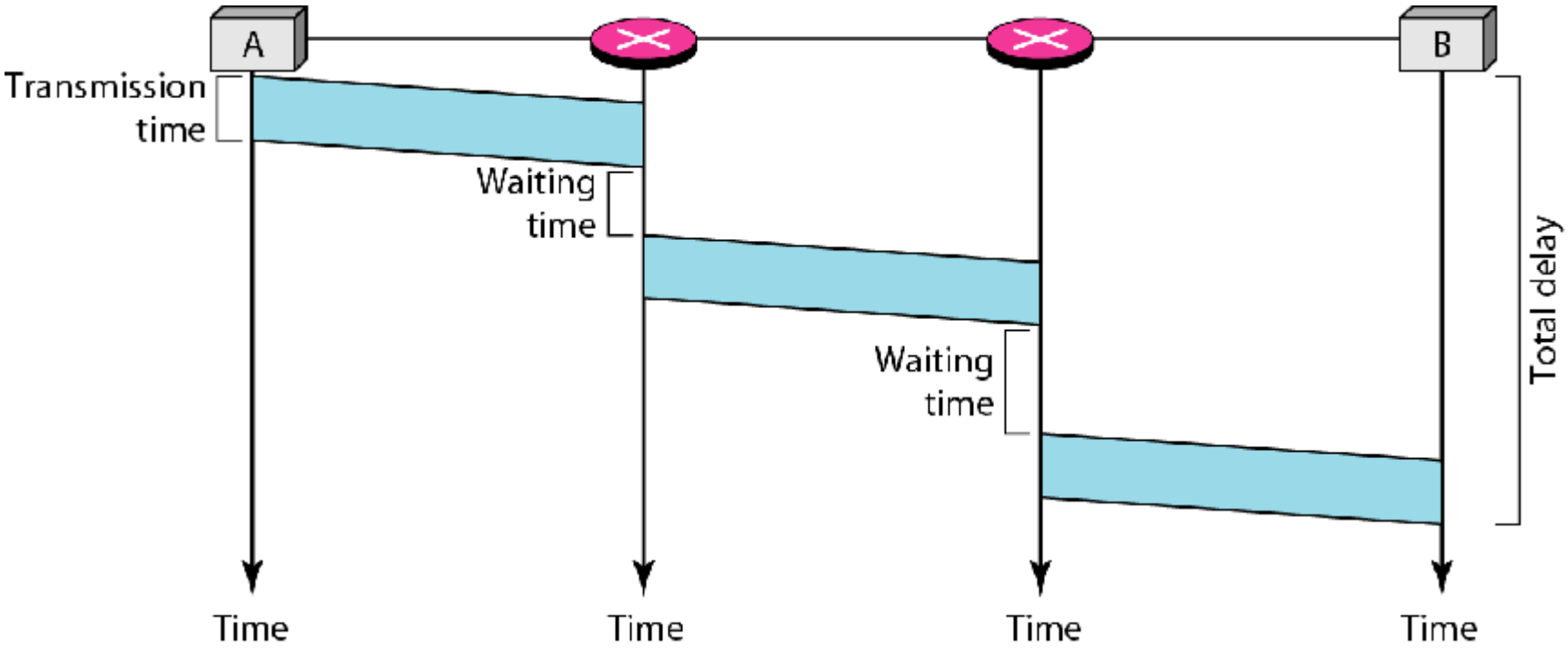
- 每个交换机（即路由器）都有一个基于目的地址的路由表；
- 路由表是动态的，周期性地修改，表中记录目的地址和相应的转发端口；
- 每个分组有一个头部，它包含分组的目的地址；
- 当交换机接收到分组时，检查目的地址，查阅路由表找到对应的输出端口，通过它将转发出去；
- 目的地址在分组传送期间保持不变。



数据报网的效率

- 数据报网的效率比电路交换网高；
- 仅当有传输的分组时，才分配资源，如果源端发送一个分组，在另一个分组可发送前，存在很少时间延迟。

图 8.9 数据报网中的延迟（比虚电路长，交换机-路由器处有等待）



因特网在网络层用数据报方法对分组进行交换。

8-3 虚电路网络

p 虚电路网络是结合电路交换网络和数据报网络的产物，它具有两者的某些特征：

Ø1.在数据传输阶段，如同电路交换网络一样有建立阶段与拆除阶段（与电路交换区别？）；

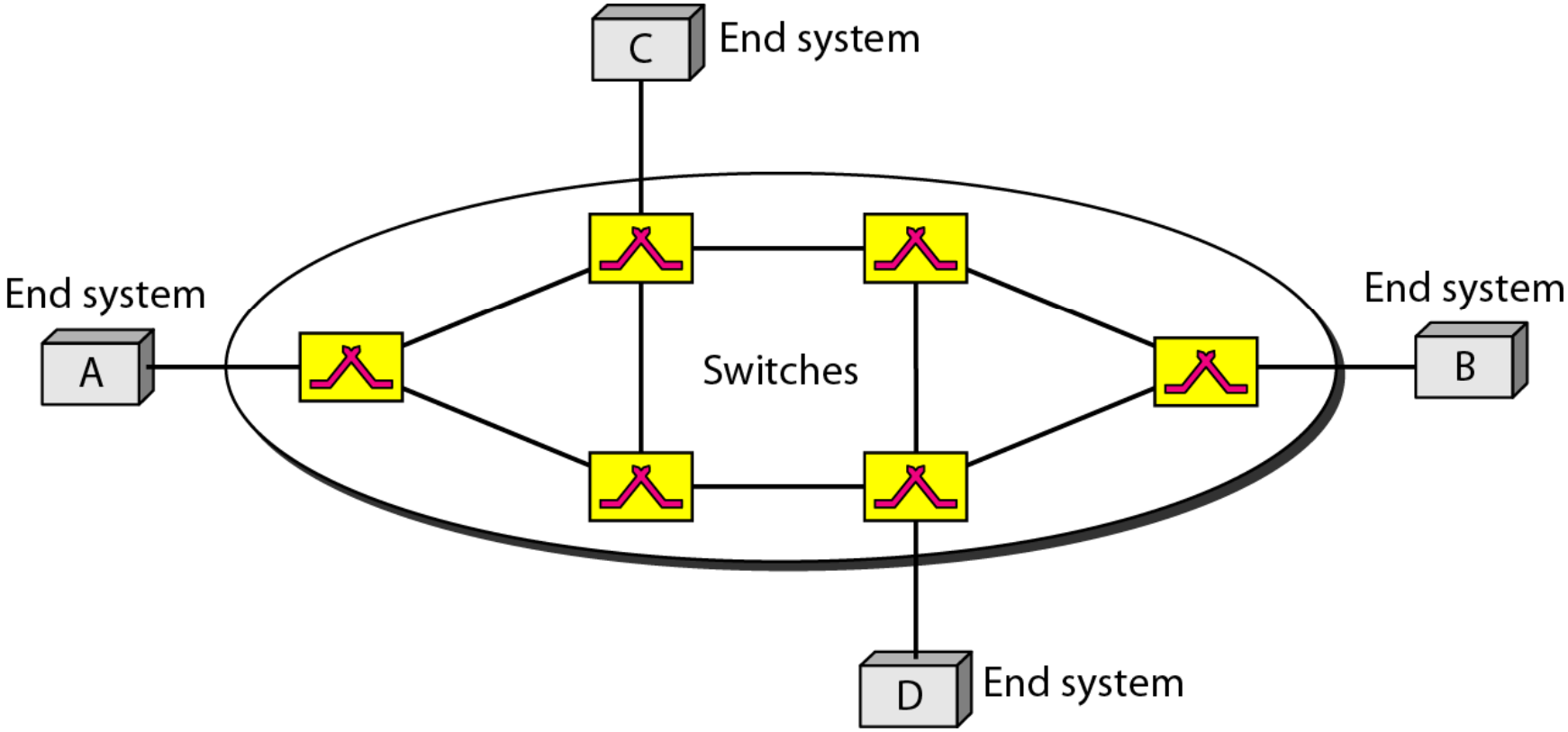
Ø2.同数据报网络一样，按需分配资源；

Ø3.同数据报网络一样，数据被划为分组，每一分组的头部含有地址，它具有本地的权限（定义下一个交换机和传送分组的通道应该是什么）而不是端到端的权限；

Ø4.同电路交换网络一样，所有分组沿着连接期间建立的路径传送；

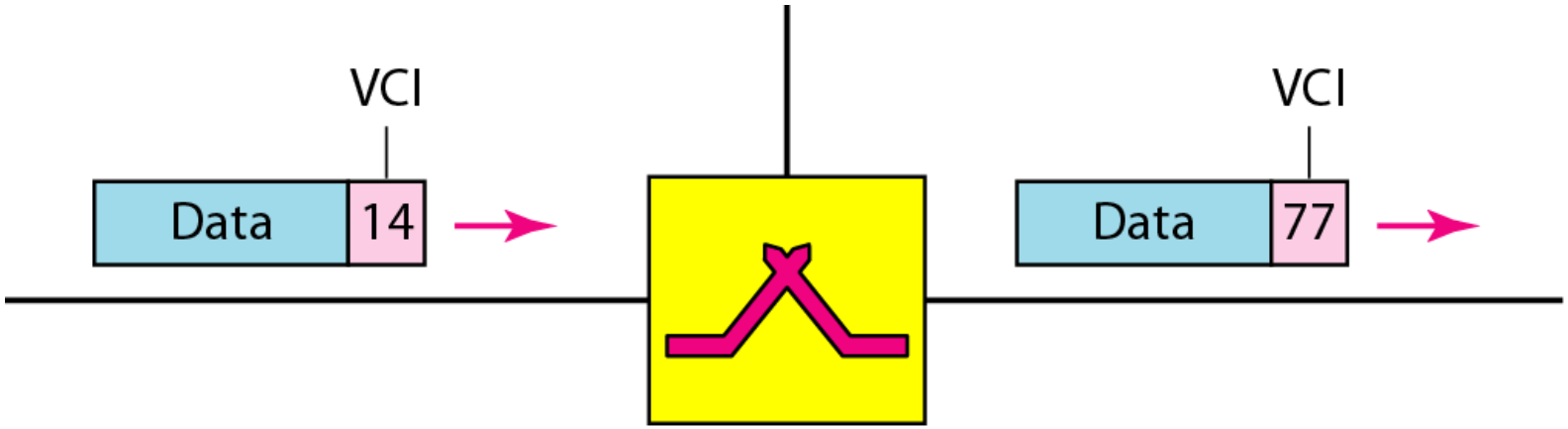
Ø5.虚电路网络通常在数据链路层实现，而电路交换网络是在物理层实现，数据报网络在网络层实现。

图8.10 虚电路网络



虚电路网络编址

- 两类编址：全局的和本地的（虚电路标识符）
  - Ø全局编址：一个广域网范围内或者国际范围内的唯一地址，但虚电路网络中的全局地址仅用于建立虚电路标识符；
  - Ø虚电路标识符VCI：一个仅在交换机范围内的小数字，由两个交换机之间的帧来使用；当一帧到达一个交换机时，它有一个VCI，当它离开时，有另一个VCI；每个交换机都可以使用自己唯一的VCI 集，因此 VCI 不必是一个大的数字。



三个阶段

- 建立连接阶段：源端和目的端使用各自的全局地址来帮助交换机为连接建立表项；
- 拆除连接阶段：源端和目的端通知交换机删除相应的表项；
- 数据传输：发生在这两个阶段之间。

图8.12 虚电路网络中交换机和表（查表并输出）

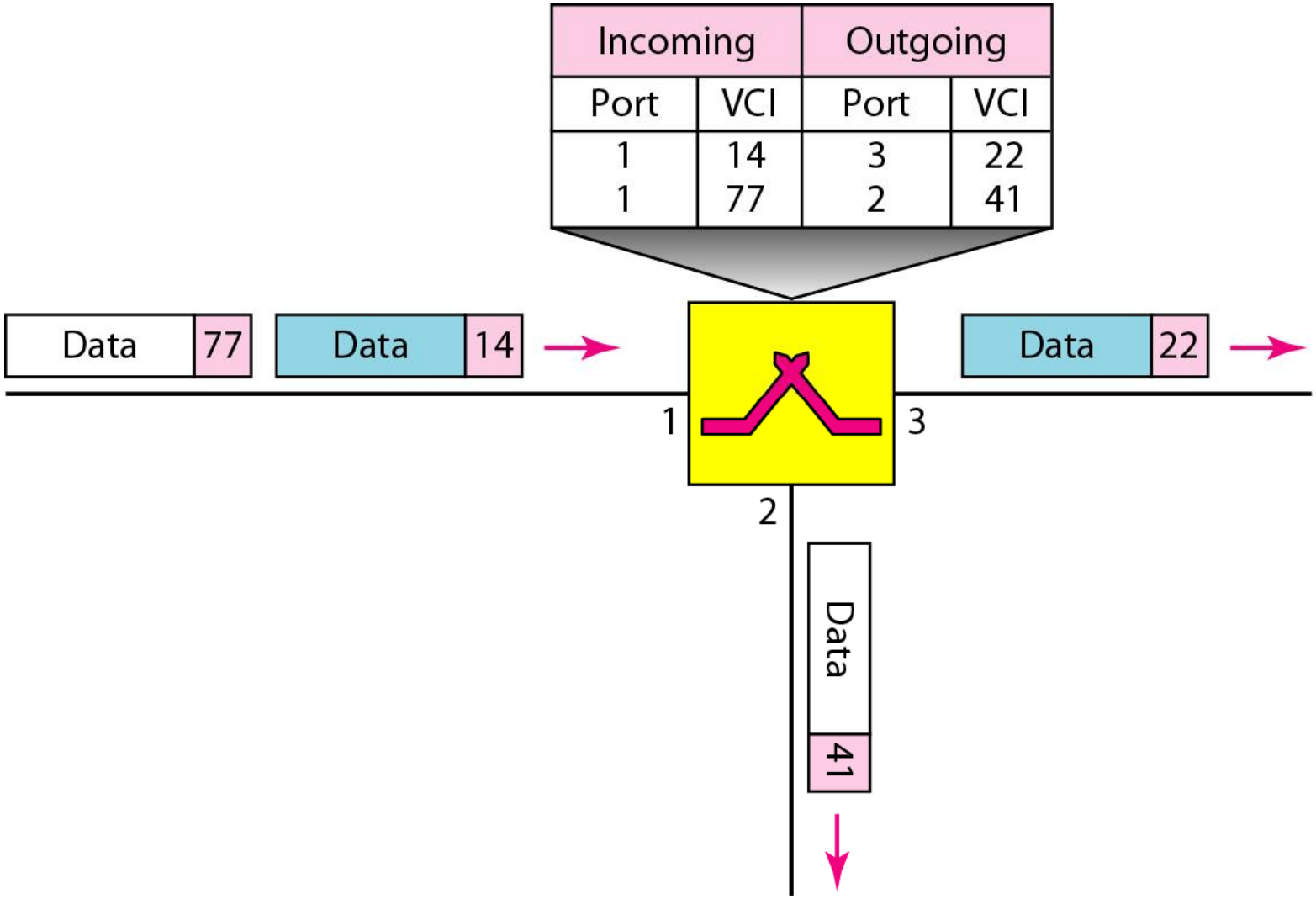
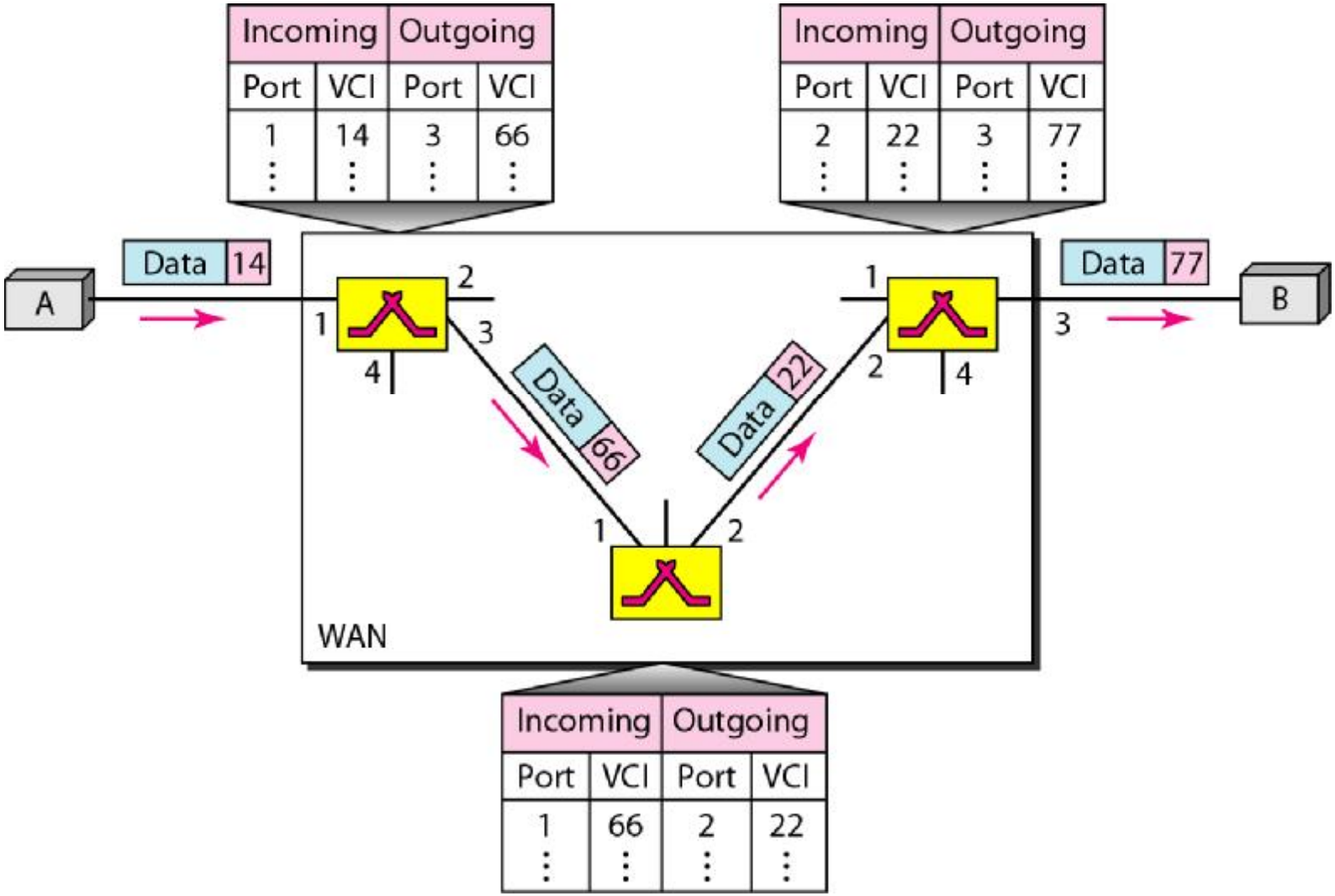


图8.13 源端到目的端的数据传输（每个交换机都更改VCI并路由该帧）



建立连接阶段

- 在建立阶段，一个交换机为虚电路生成一个入口；
- 假定源A需要生成到B的虚电路，需要两个步骤：建立请求和确认。

图8.14 虚电路交换网中的连接请求

- 一个连接请求的帧从源端发送到目的端；
- 交换机为这个虚电路在表中建立一个表项，但它只能填四列中的三列，它仍然不知道输出VCI，这将在确认步骤中找到

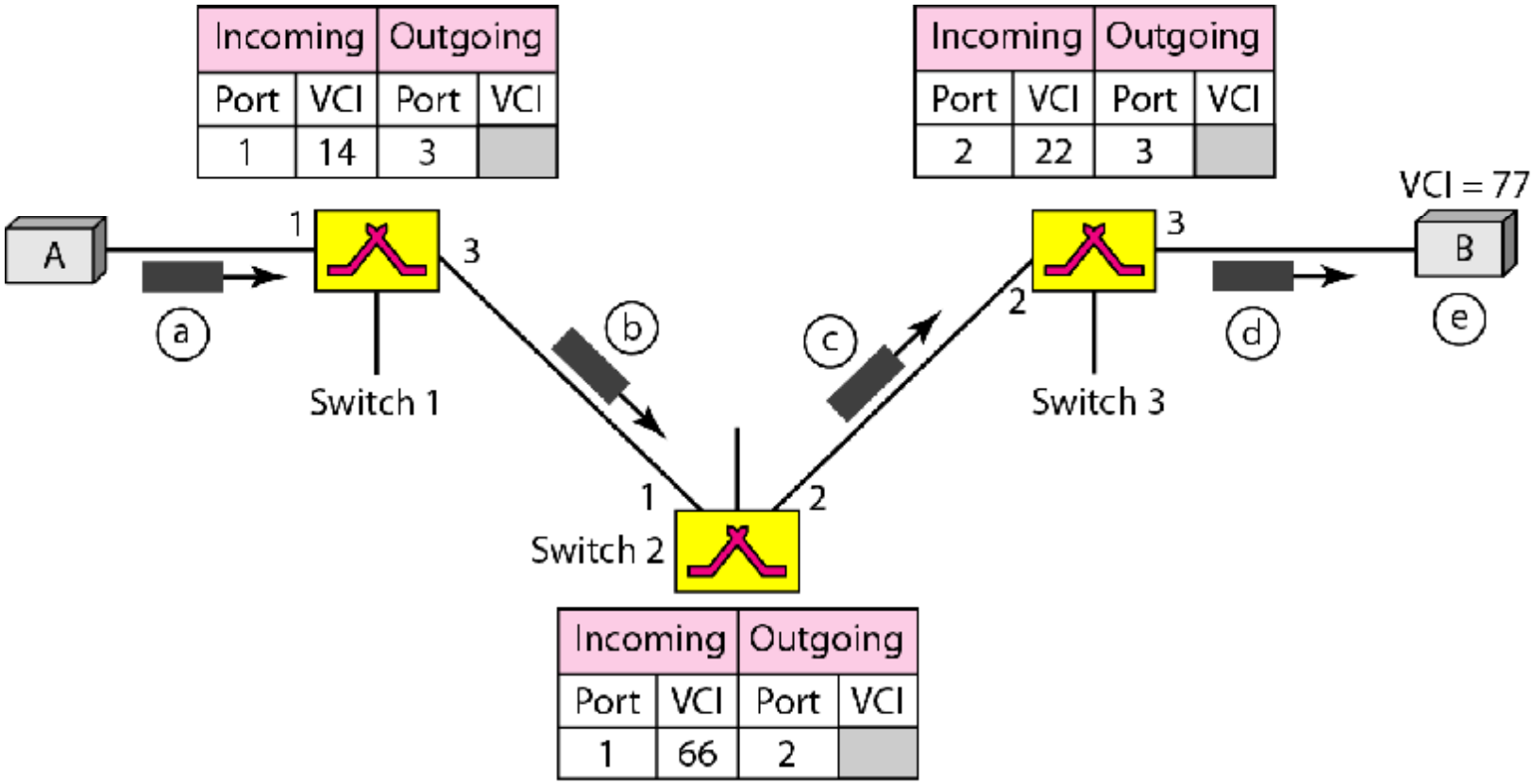
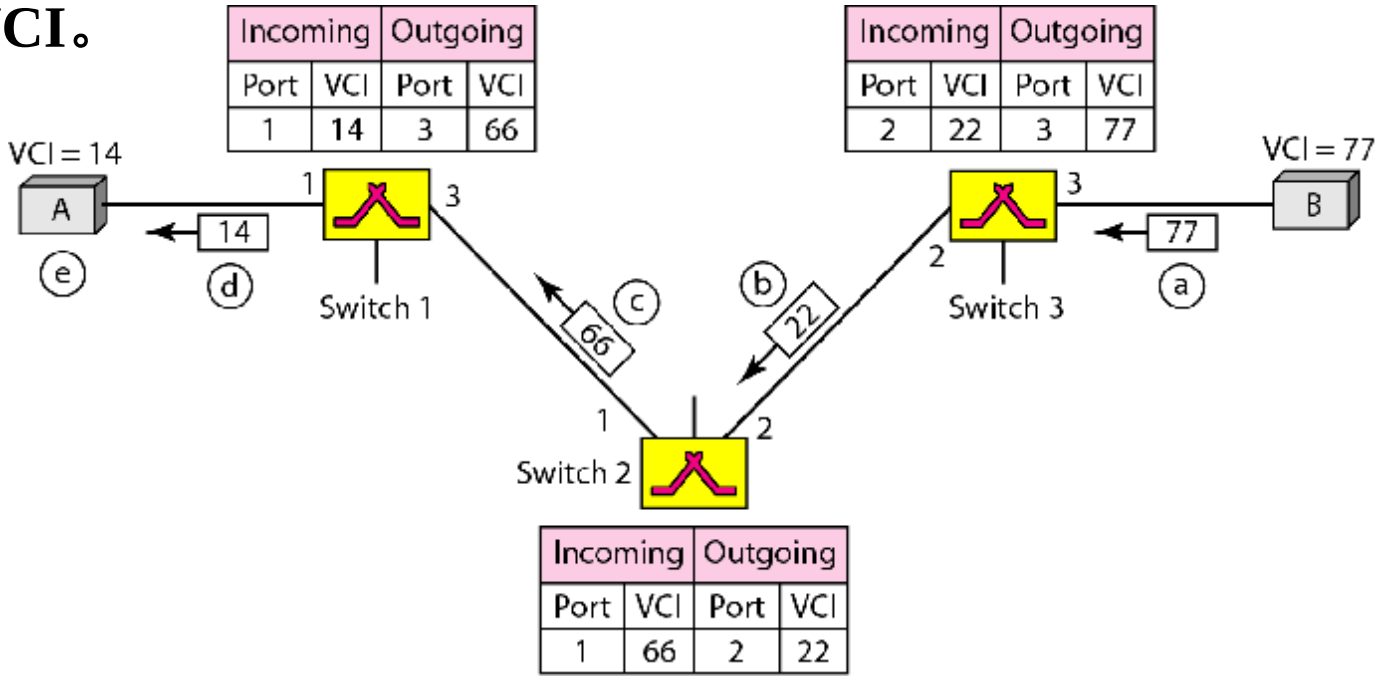


图8.15 虚电路交换网中的建立确认

p 目的端给交换机3发送一个确认帧，携带有全局源端地址和目的端地址，因此交换机知道该完成交换表中的哪个表项；同时还携带有目的端选择的作为从A来的帧的输入VCI号，更新交换机3中对应表项的输出VCI；并反方向逐跳更新（将上一交换机的输入VCI填入自己的输出VCI）；

p 源端使用交换机1分配的输入VCI，作为准备发送给目的端B的数据帧的输出VCI。



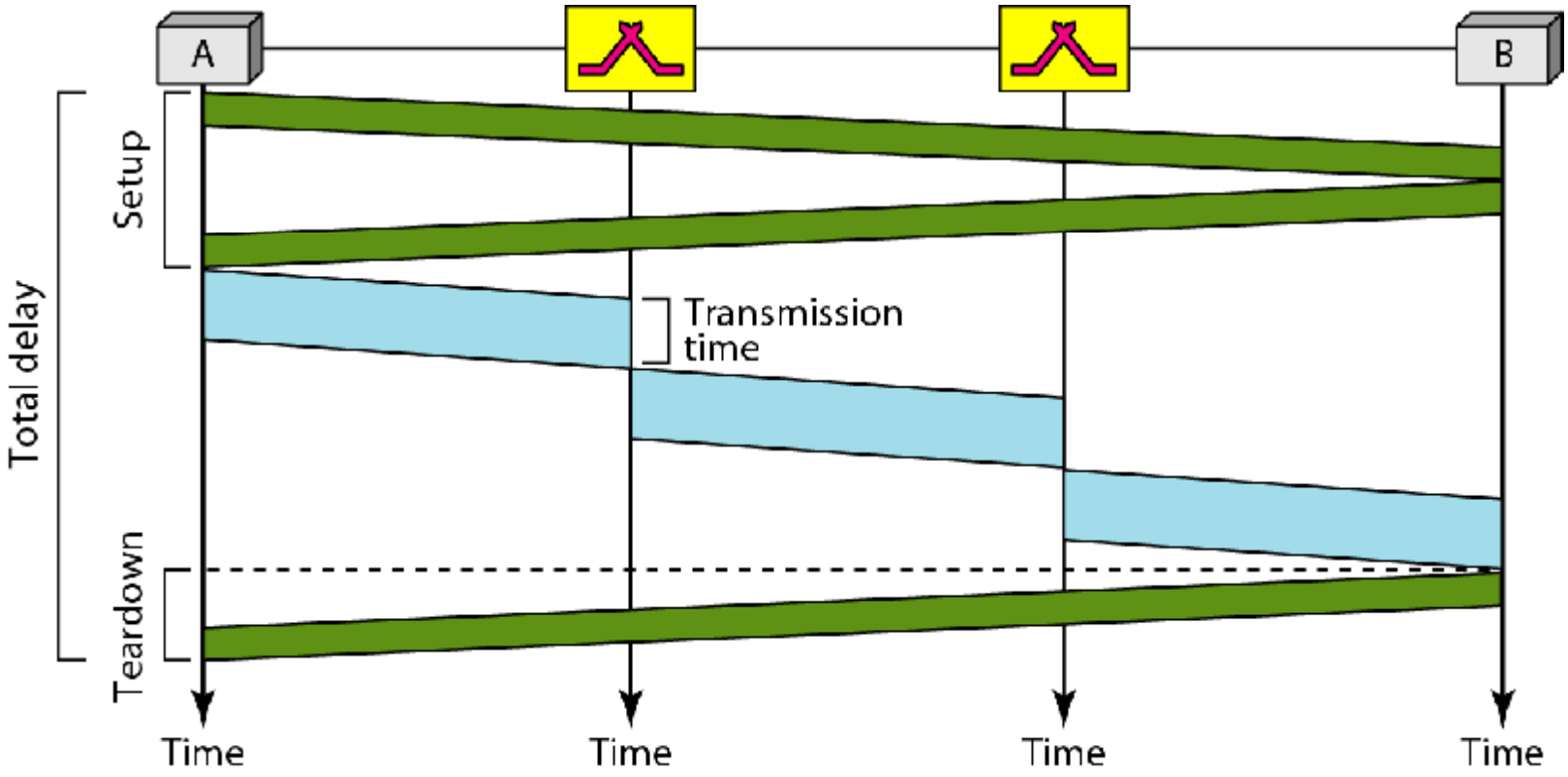
拆除连接阶段

- 当源端向目的端发送完所有的帧后，再发送一个称为拆除请求的特殊帧，目的端用一个拆除确认帧来响应；
- 所有的交换机从各自的表中删除相应的表项。

在虚电路交换中，属于相同源端和目的端的所有分组都按同一路径传送；但资源按需分配，分组到达目的端可能有不同延迟。

图8.16 虚电路网络延迟

p 总延迟=3×传输时间+3×传播时间+建立阶段延迟+拆除阶段延迟（未计入交换机处理时间）



在交换广域网中，数据链路层通常采用虚电路技术实现（如帧中继和ATM）。

8-4 交换机结构

- 在电路交换网和分组交换网中，使用交换机；
- 电路交换机采用两个技术：空分交换机和时分交换机；
- 分组交换机由四个部分组成：输入端口（input port）、输出端口（output port）、路由处理器（routing processor）和交换结构（switching fabric）。

图8.17 3输入4输出的纵横制空分交换机

p每个交叉点使用微电子开关（晶体管）；

p需要节点（交叉点）数量大，效率不高，很多交叉点处于闲置状态

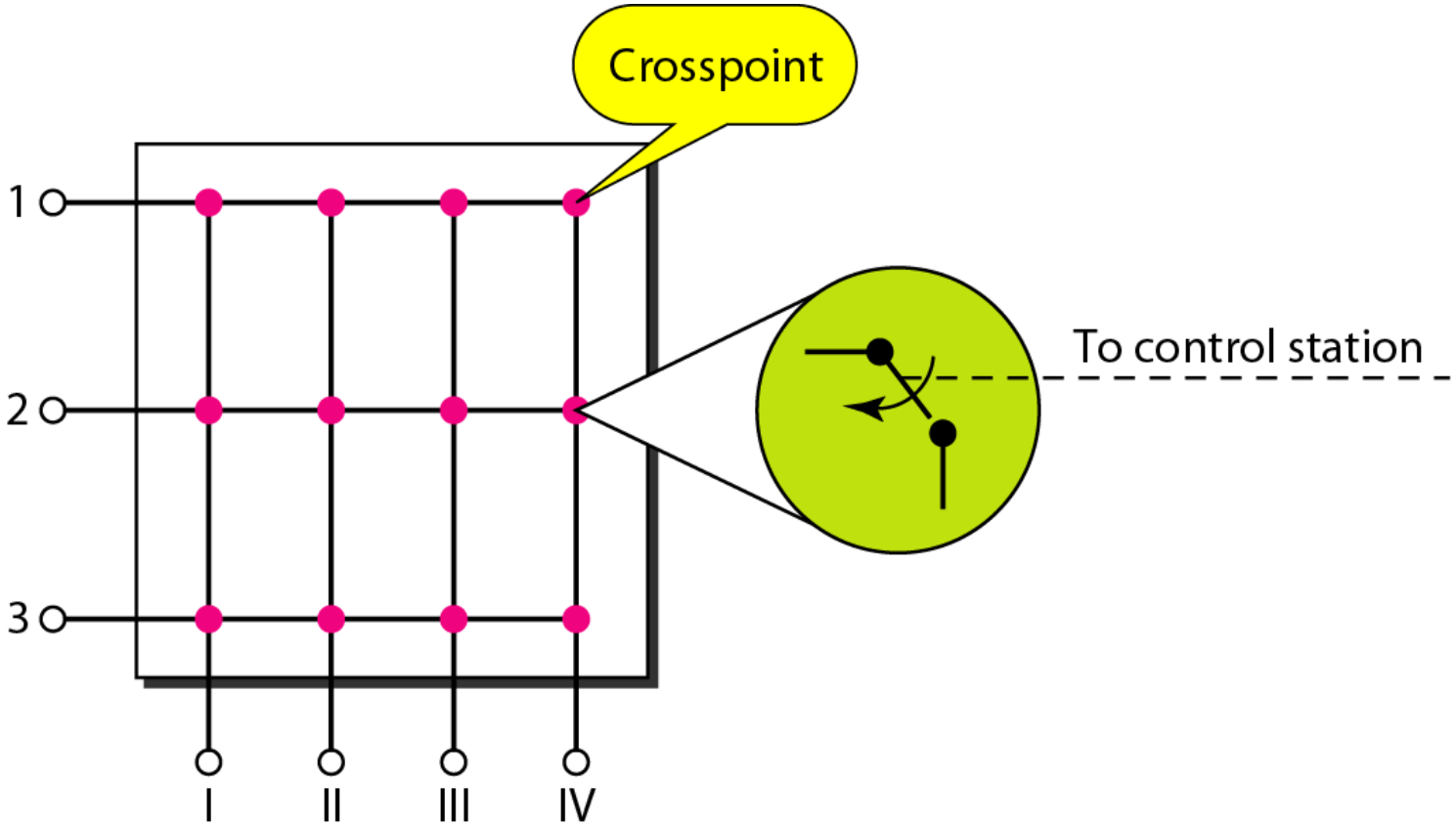
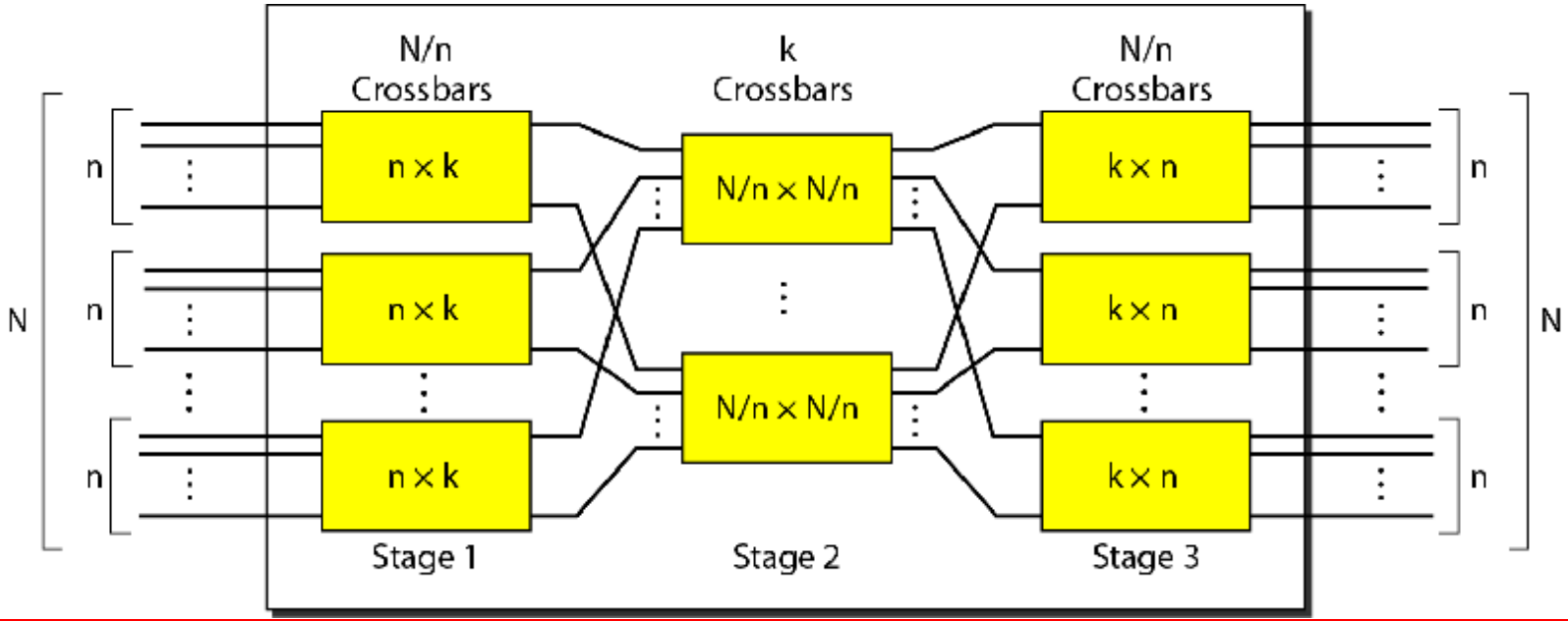


图8.18 多级空分交换机

- 将多台纵横制交换机按多级（通常是3级）结构组合在一起；
- 设计三级交换机，按照下列步骤：
  - Ø1. 将N条输入线划分为组，每组为n条输入线；对每组用一个n×k纵模交换机，其中k是中间级纵横交换机的个数；第一级有N/n个纵横交换机，每个具有n×k个交叉点；
  - Ø2. 在中间级，使用k个（N/n）×（N/n）纵横交换机；
  - Ø3. 在第三级，使用N/n个k×n纵横交换机。



在一个三级交换机中，总的交叉点个数是

$2k \times N + k \times (N/n)^2$

比单级交换机的交叉点个数（N^2）小了许多

例8.3

设计一个 200 × 200 交换机（N = 200），其中k=4，n=20。

解：

在第一级有N/n=10个20×4纵横交换机，第二级有4个10×10纵横交换机，在第三级有10个4×20纵横交换机，总的交叉点个数是$2kN+k\times(N/n)^2=2000$，它是单级纵横交换机交叉点个数（200×200=40,000）的百分之五。

多级交换机有阻塞问题，会出现输入无法连接到输出的情形。

按照 Clos 准则确定交叉点的最小个数：

$n = (N/2)^{1/2}$

$k >= 2n - 1$

总的交叉点个数 $\geq 4N[(2N)^{1/2} - 1]$

例8.4

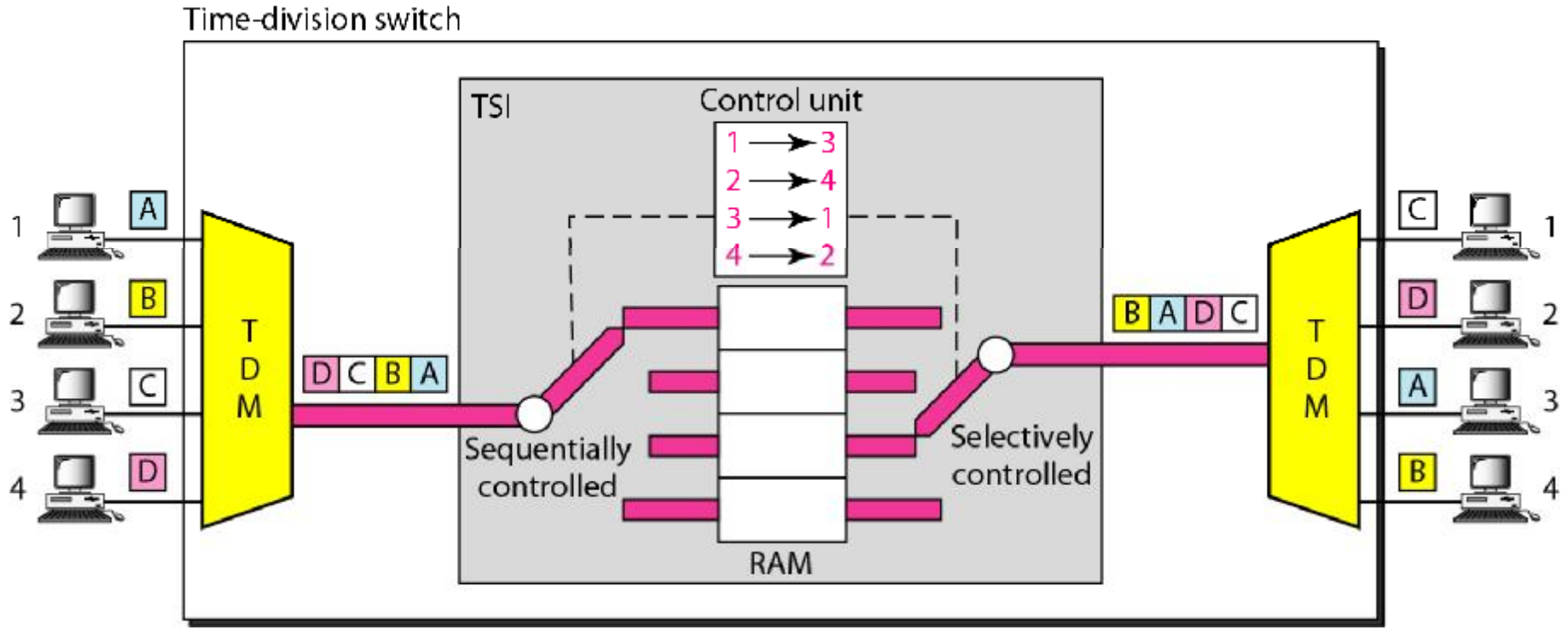
用Clos准则和最小交叉点个数重新设计前面三级200×200交换机。

解：

设$n=(200/2)^{1/2}$，即n=10；计算取k=2n−1=19。

在第一级有200/10=20个10×19交叉点的纵横交换机，第二级有19个10×10交叉点的纵横交换机，第三级有20个19×10交叉点的纵横交换机，总的交叉点个数是20(10×19)+19(10×10)+20(19×10)=9500。

图8.19 时分交换机（TDM技术）之时隙互换（TSI）



时分交换与空分交换机结合

- 空分交换的优势在于它是瞬态的，缺点在于空分交换的有效性，即拥塞忍受程度是由交叉点数量决定的；
- 时分交换的优点在于它不需要交叉点，缺点是在使用TSI时，对每个连接的处理会产生延迟，每个时隙必须存储在RAM中，然后被检索和传递；
- 第三种可选方法是将空分和时分技术组合起来，以充分利用两者的优点；将两种方法组合产生的交换，可以在物理上（交叉点的个数）和时间上（延迟时间）进行优化。

图8.20 时间-空间-时间交换机

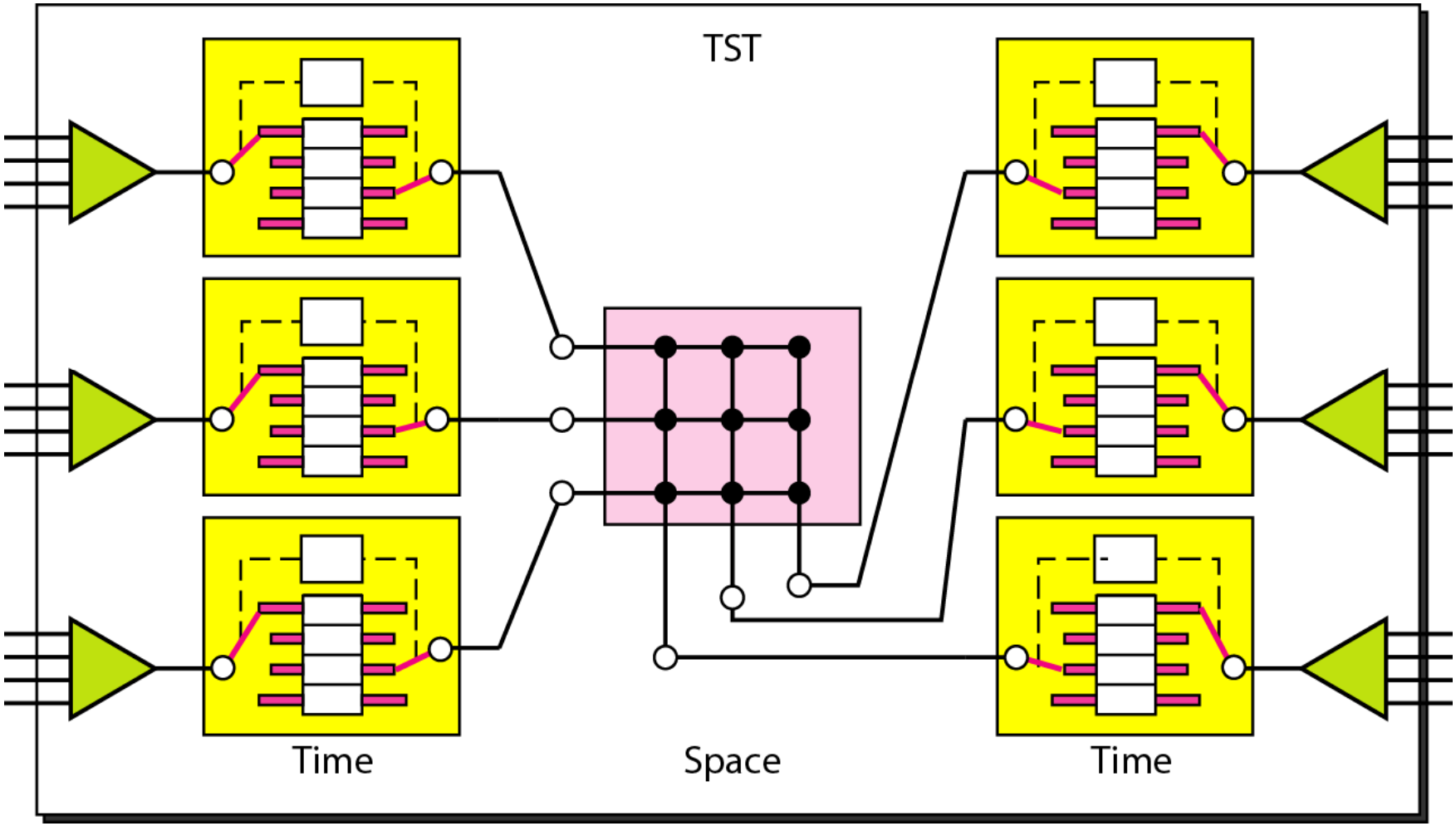


图8.21 分组交换机组成部分

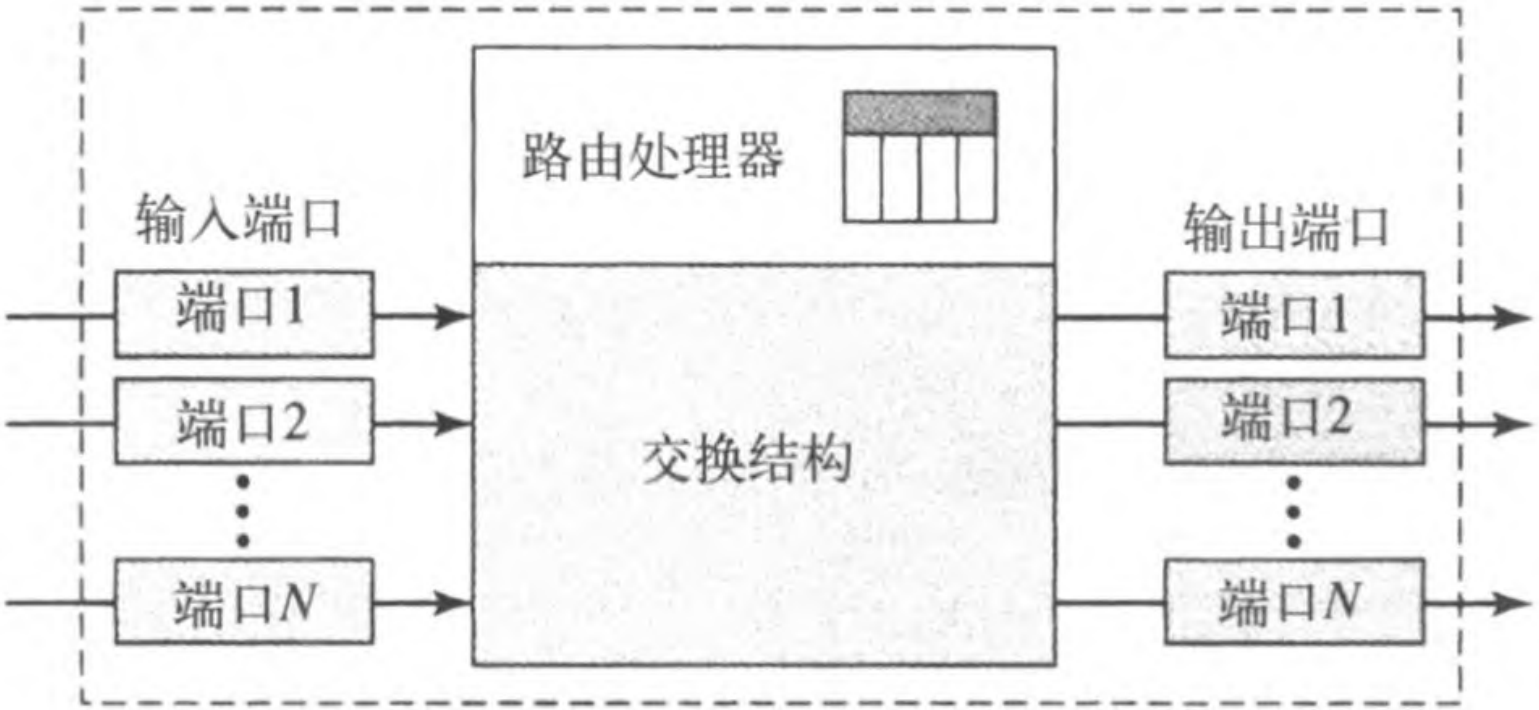


图8.22 输入端口

p输入端口执行分组交换机的物理层和数据链路层的功能；

p将接收信号转换成位，将帧分解成分组，进行差错检测与纠错，准备由网络层路由分组；

p除物理层处理器和数据链路层处理器之外，在分组转向交换结构前，输入端口有缓冲器（队列）保存分组。

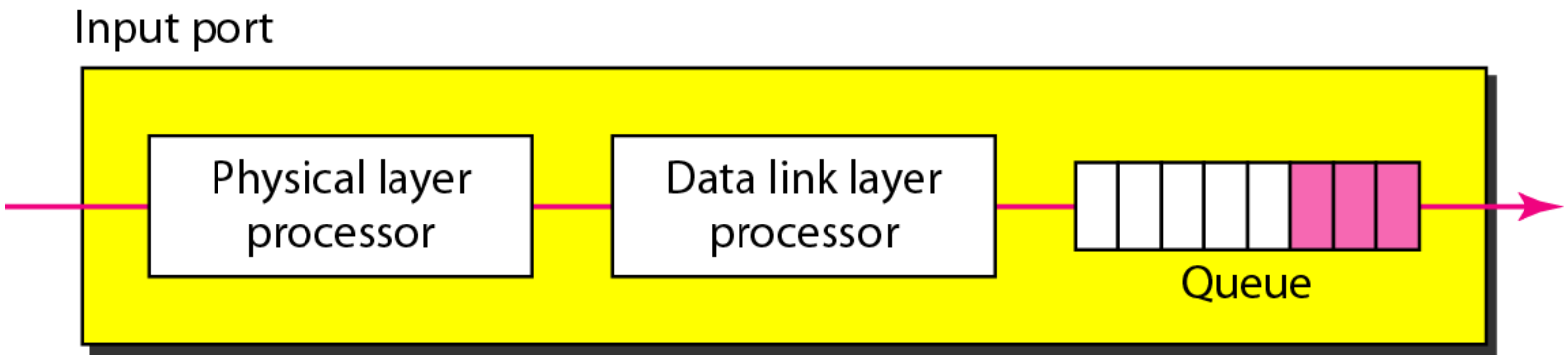
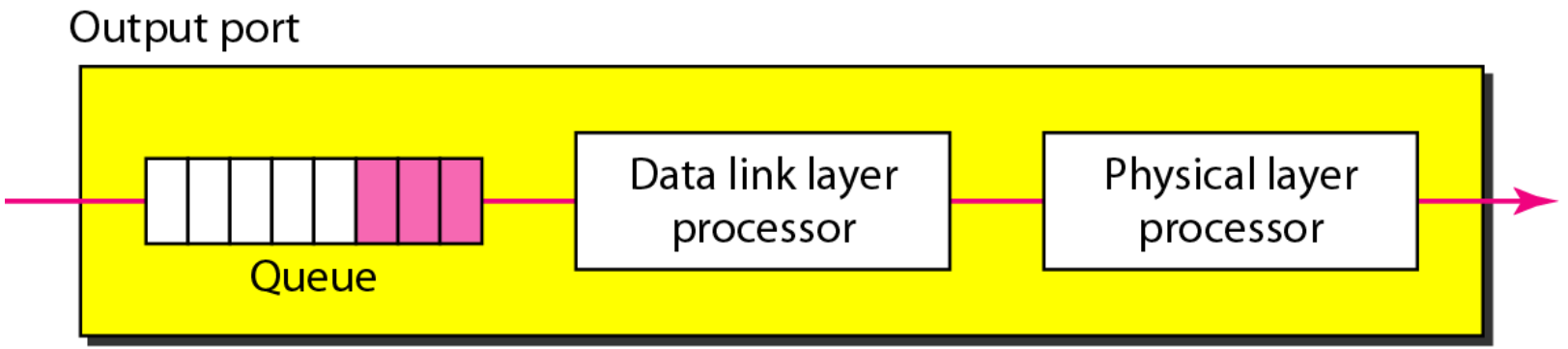


图8.23 输出端口

- 输出端口执行的功能与输入端口相同，但顺序相反；
- 首先对输出分组进行排队，然后将分组组装成帧；
- 最后，利用物理层功能将帧转换成信号在线路上发送。



路由处理器

- 路由处理器执行网络层的功能；
- 利用目的地址查找路由表，寻找下一跳的地址和输出端口号，通过它发送分组；
- 最新的分组交换机中，为了加速与方便该过程，将路由处理器的功能移到输入端口。

交换结构

- 交换机中最艰难的任务是从输入队列将分组传送到输出队列；
- 该动作的速度影响输入/输出队列的长度和分组总传输延迟；
- 分组交换机是专门的机制，有各种各样的交换结构，比如前面介绍的纵横交换机结构等。

图8.24 Banyan交换机（了解）

- 每一级有微交换并基于表示为二进制串的输出端口发送分组；
- 对于n个输入和n个输出，将有$\log_2 n$级，每级有n/2个微交换；
- 第一级基于二进制串最高位发送分组，第二级基于次最高位发送分组，依此类推。

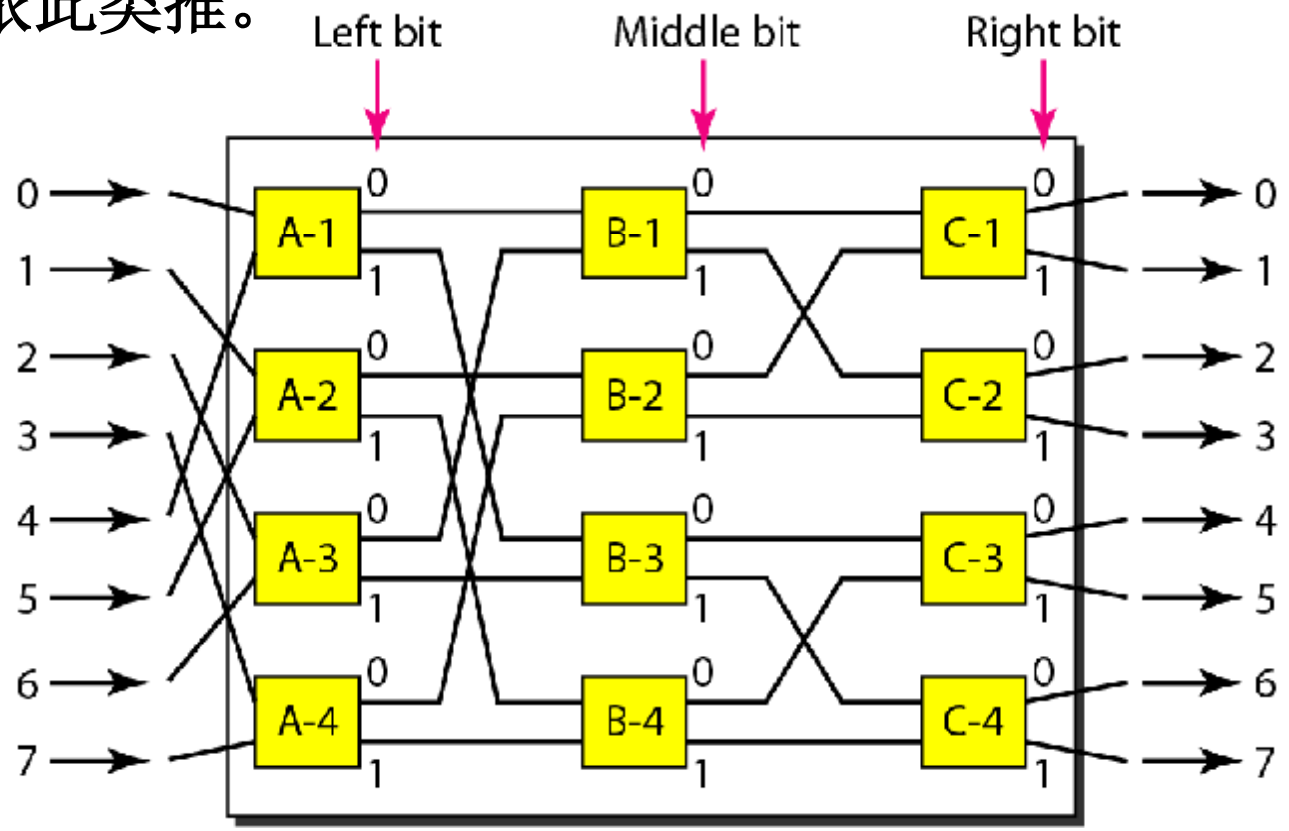
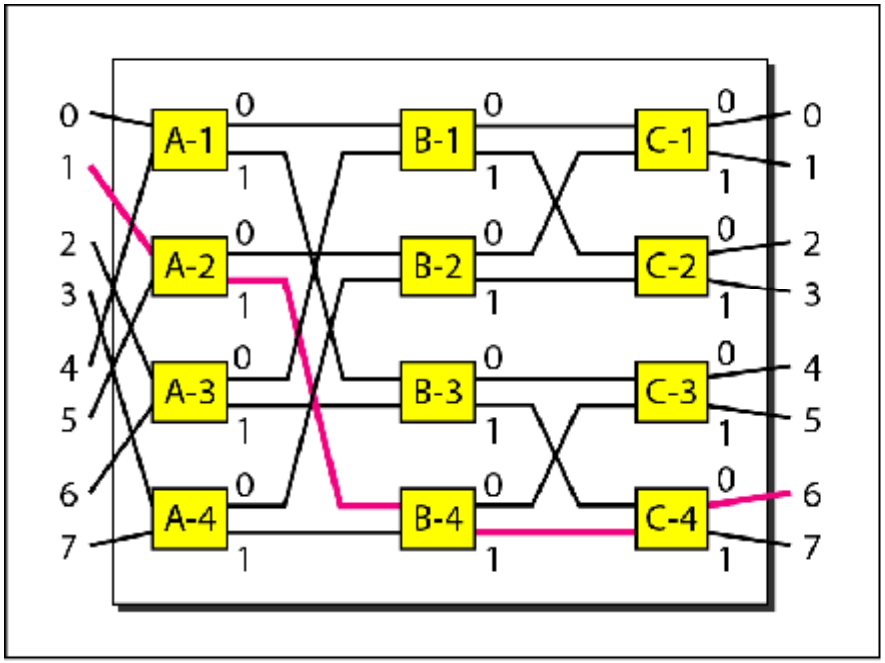
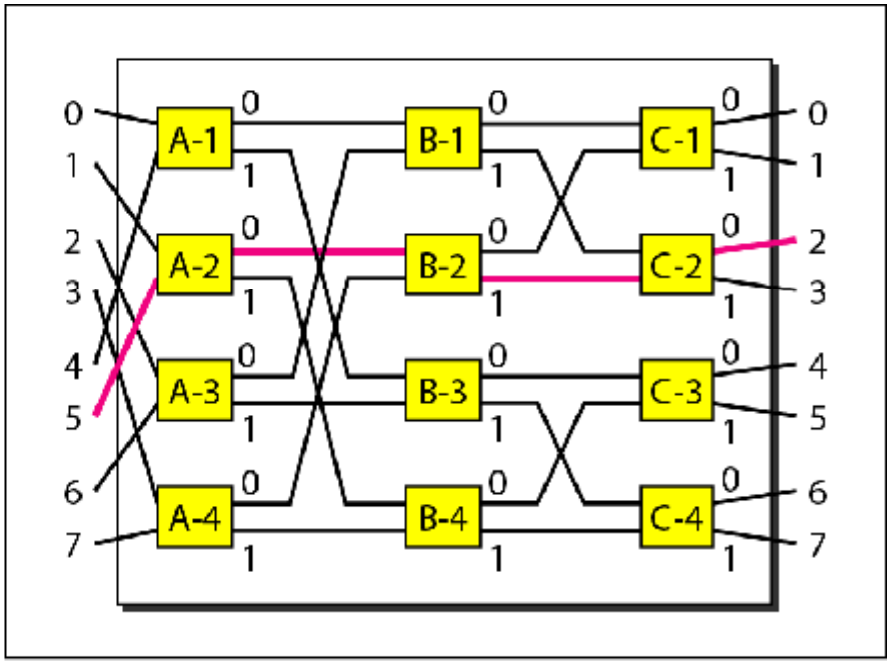


图8.25 Banyan交换机路由实例（了解）



a. Input 1 sending a cell to output 6 (110)



b. Input 5 sending a cell to output 2 (010)

图8.26 Batcher-banyan交换机-通过排序解决冲突（了解）