



## 第四章 分组交换

袁 泉

yuanquan@foxmail.com

2023年4月3日



# 提要

---

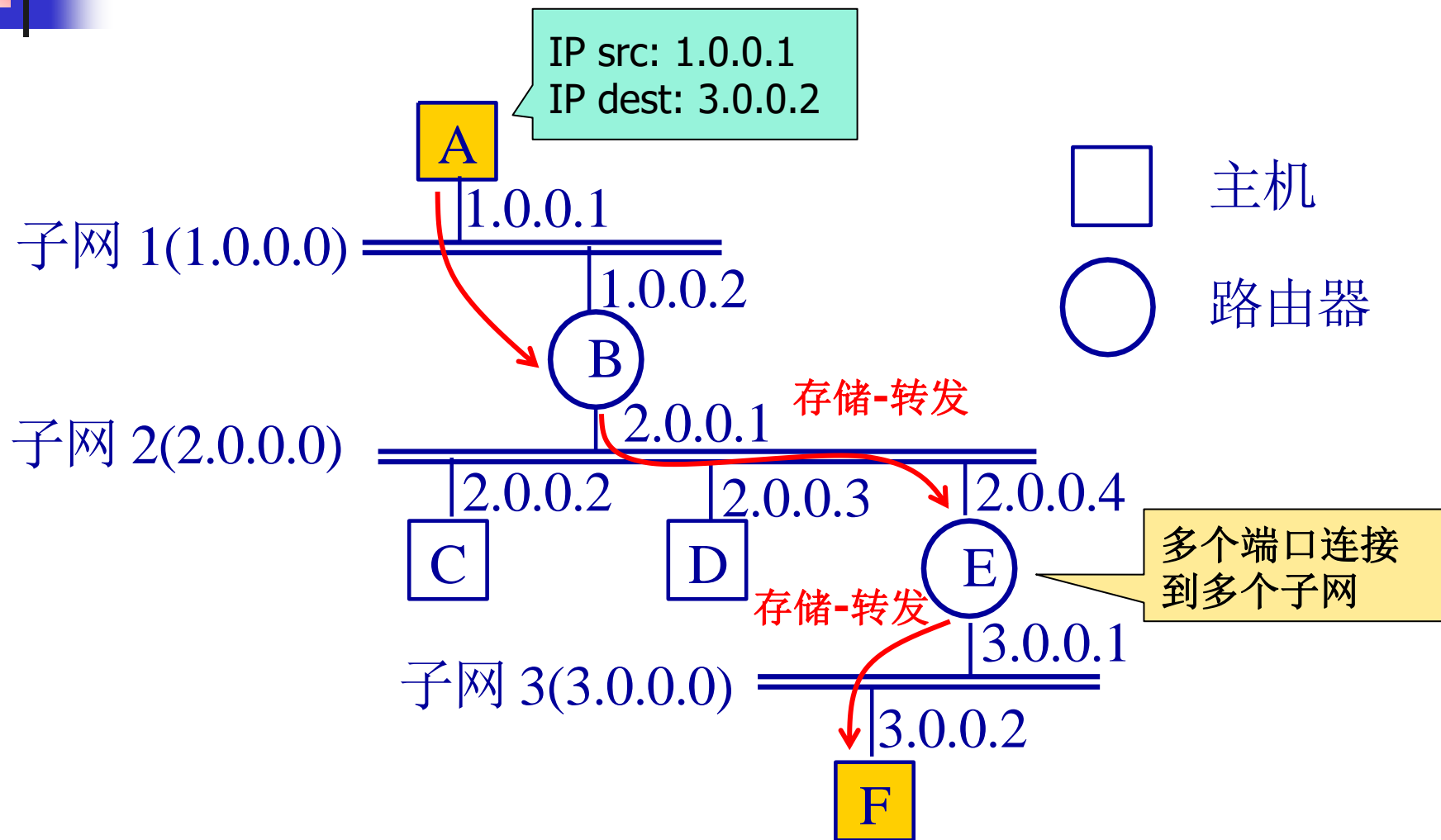
- 1. 路由器技术的发展
- 2. ATM交换（重点）
- 3. 多协议标记交换MPLS（重点）



# 1. 路由器技术的发展

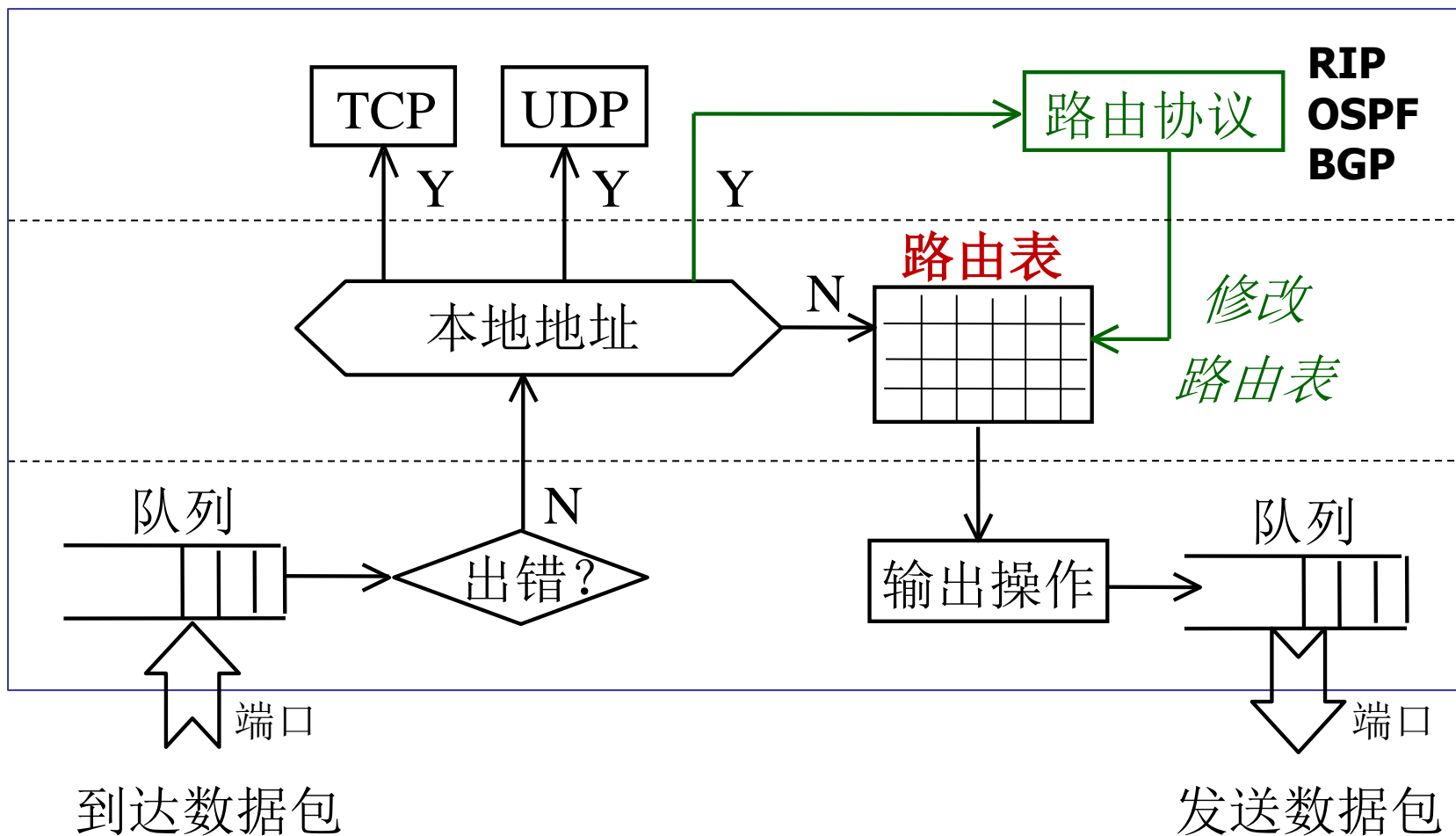
路由器结构、M40交换机结构（实例）

# 路由器组网



# 路由器工作原理

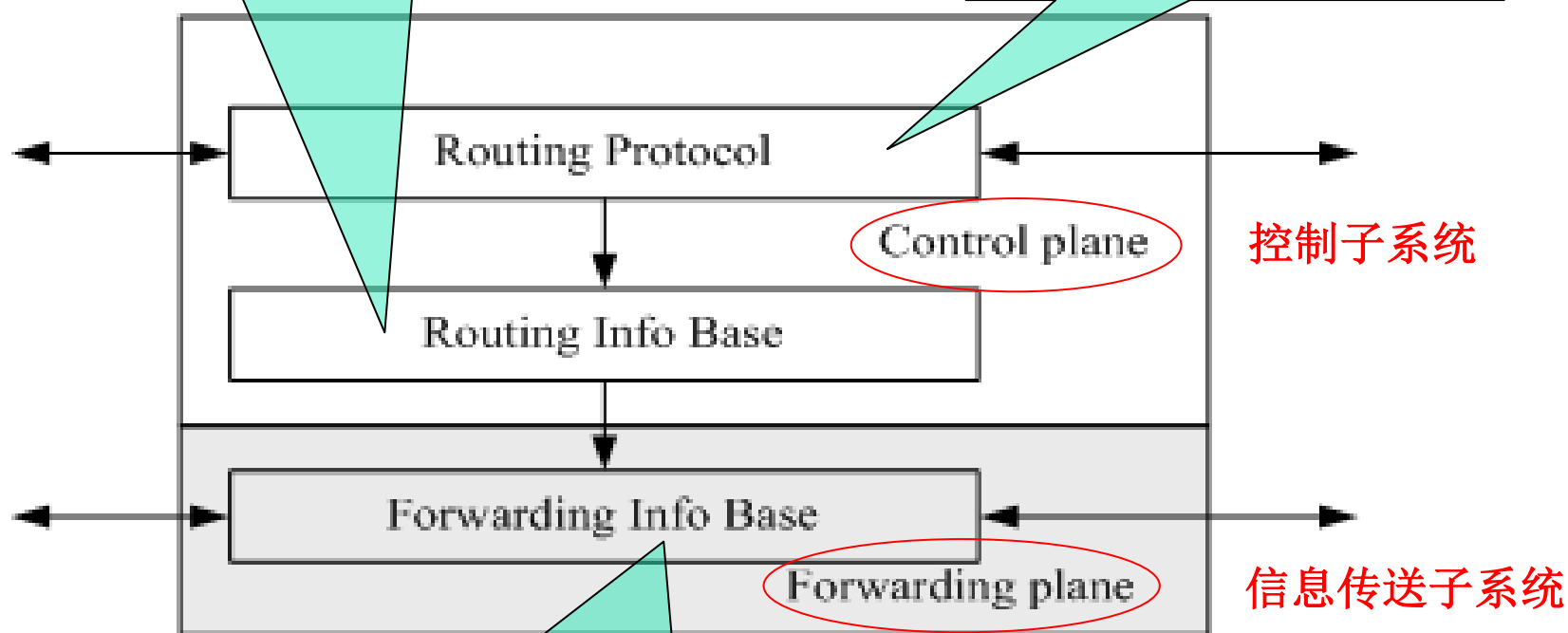
## IP 节点



# 路由器的控制面与转发面

路由信息库**RIB**: 是全局拓扑的计算结果, 数据量大, 可能包含去往同一目的地址的多条路由

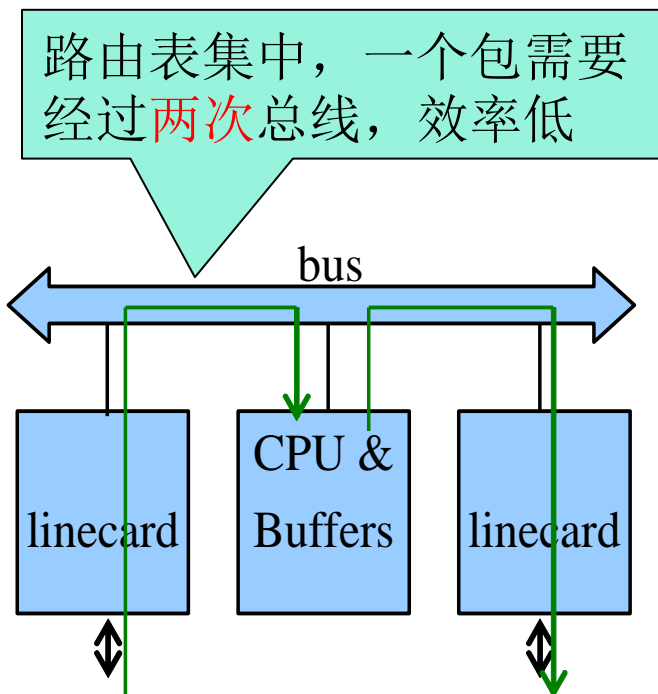
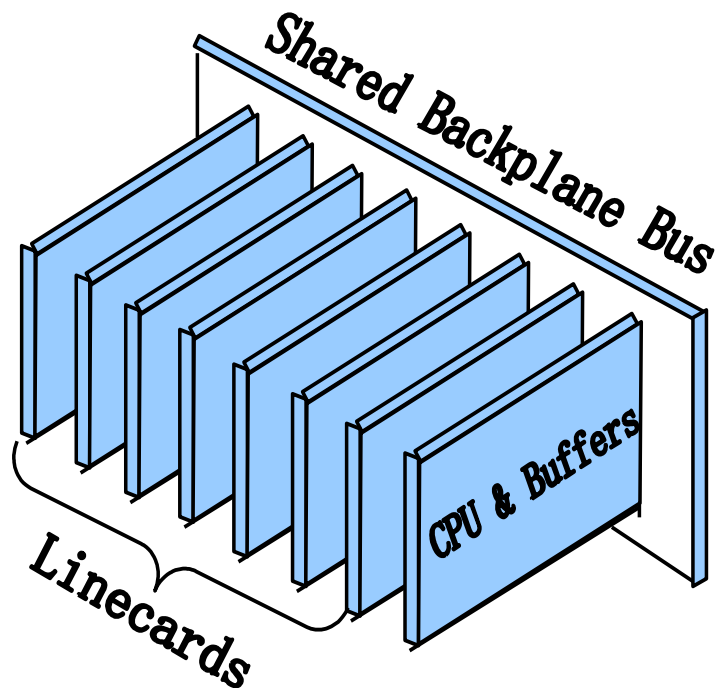
路由协议: 与网络中其他路由器进行学习, 生成网络拓扑, 计算得到路由表的动态信息



转发信息库**FIB**: 位于接口板, 是路由表的优选结果, 具有明确的下一跳信息

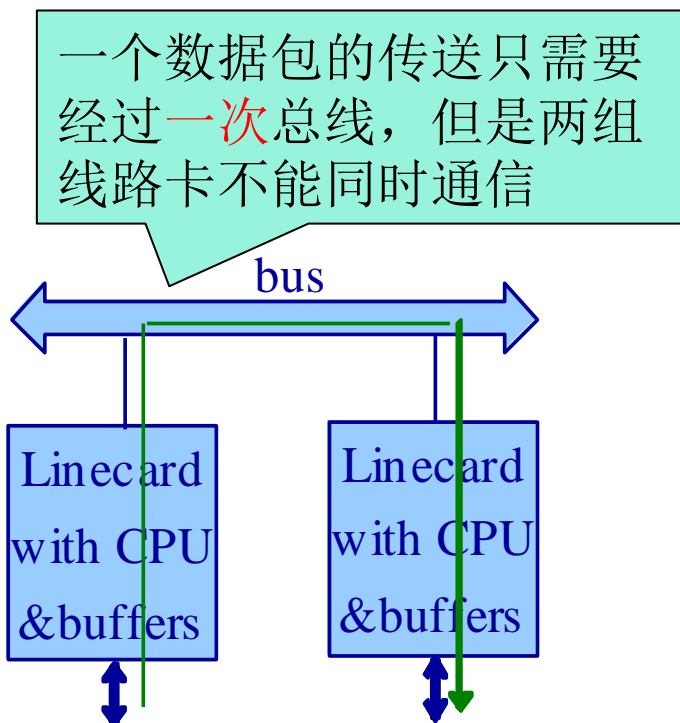
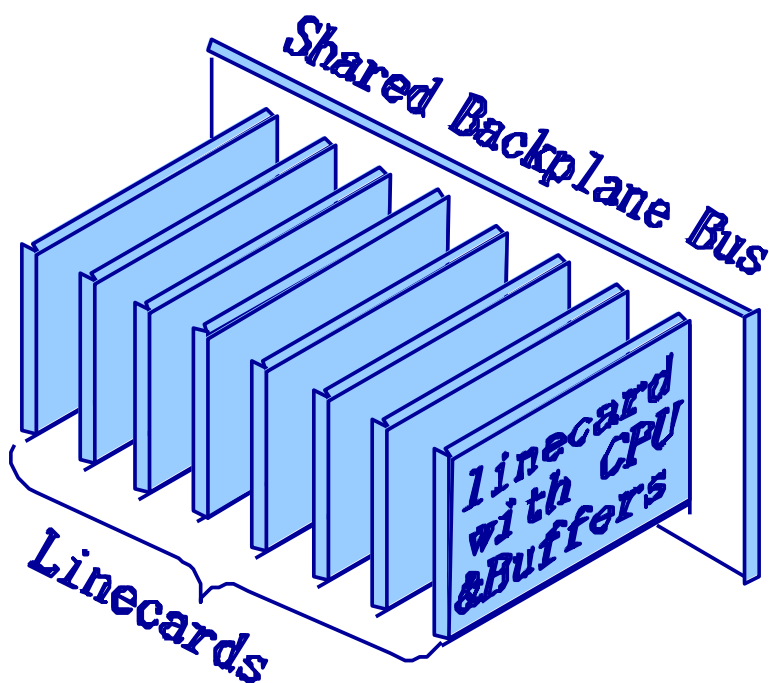
# 路由器结构的演变（1）

- 线路卡共享**总线背板**
- **集中式的共享CPU和缓存**，完成数据包的转发判决（软件）和缓存
- 集中处理，吞吐率受限



## 路由器结构的演变（2）

- 线路卡共享总线背板
- 分散的CPU和缓存，线路卡转发判决（软件）和缓存
- 并行处理，提高了系统的吞吐量

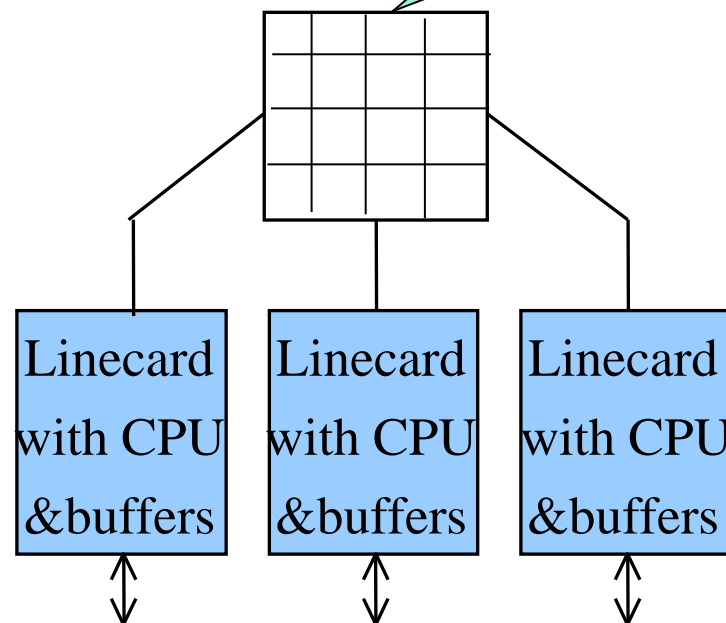
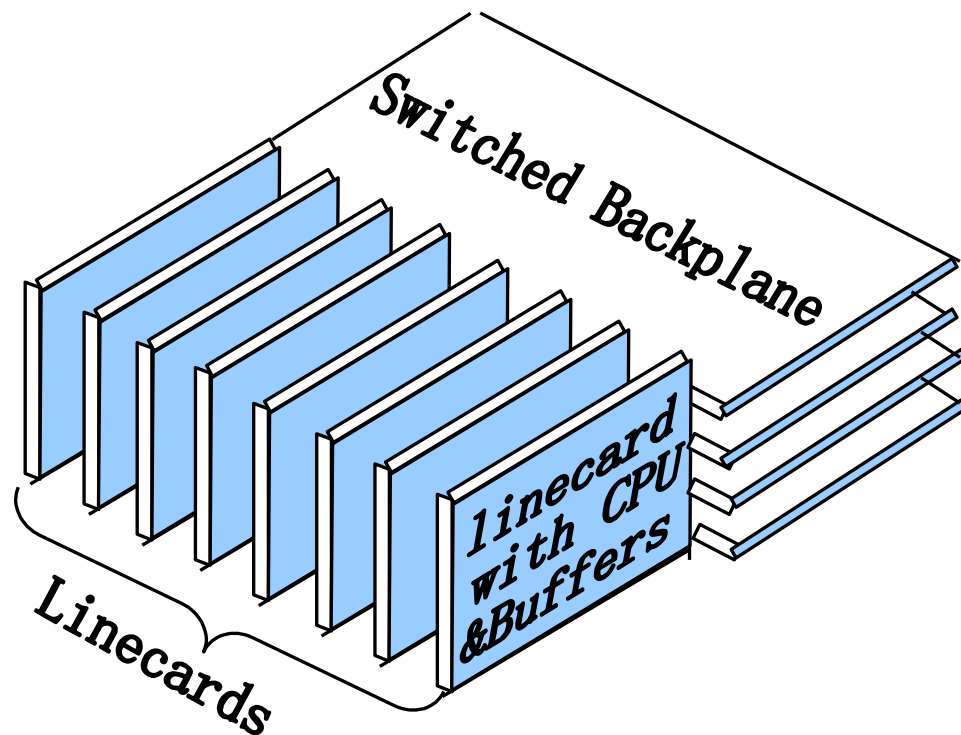




# 路由器结构的演变（3）

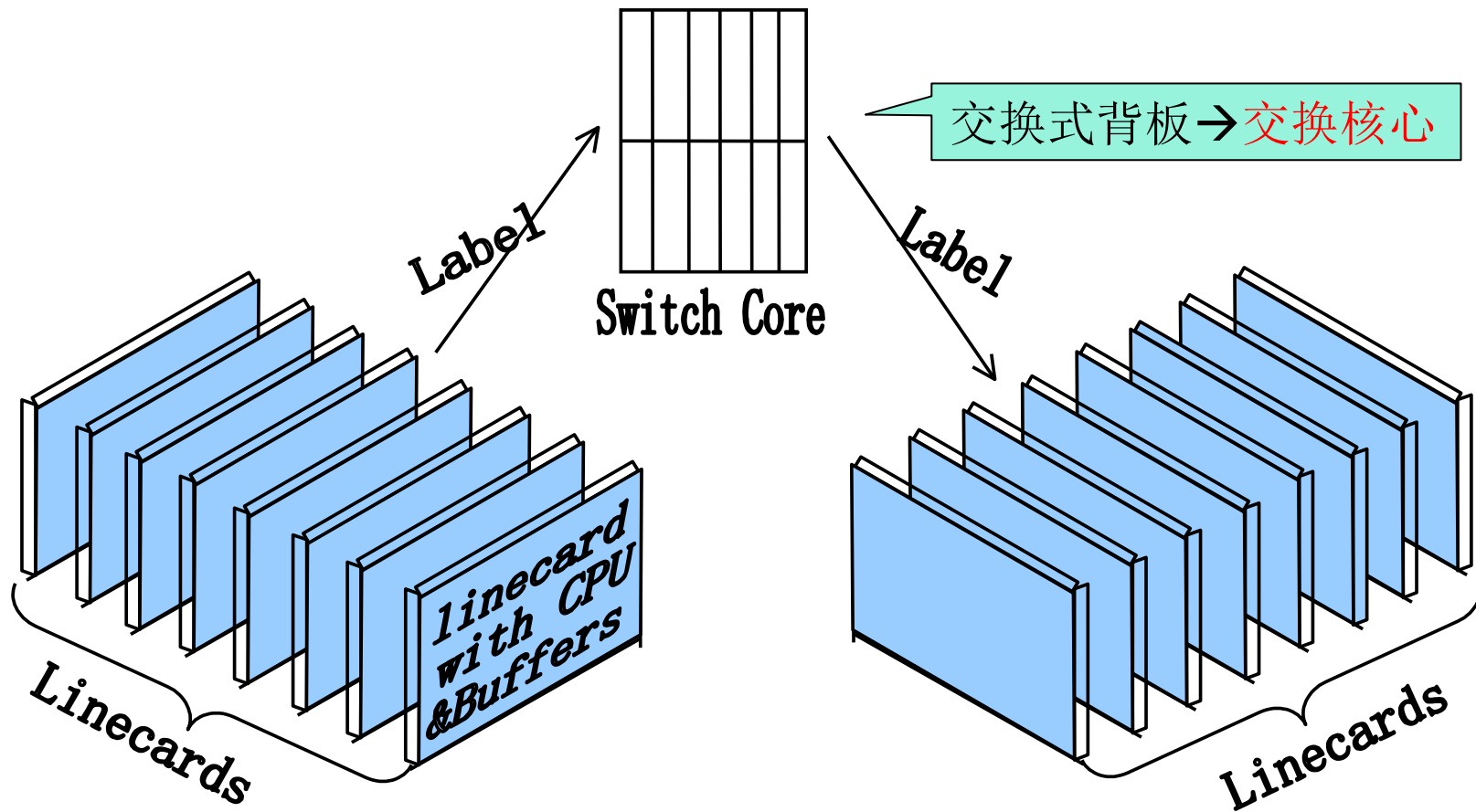
- 交换式背板
- 分散的CPU和缓存，ASIC+RISC的CPU系统
- 使用TCAM（硬件）完成路由表匹配，达到线速

交换式路由器，  
多组线路卡可以  
同时通信



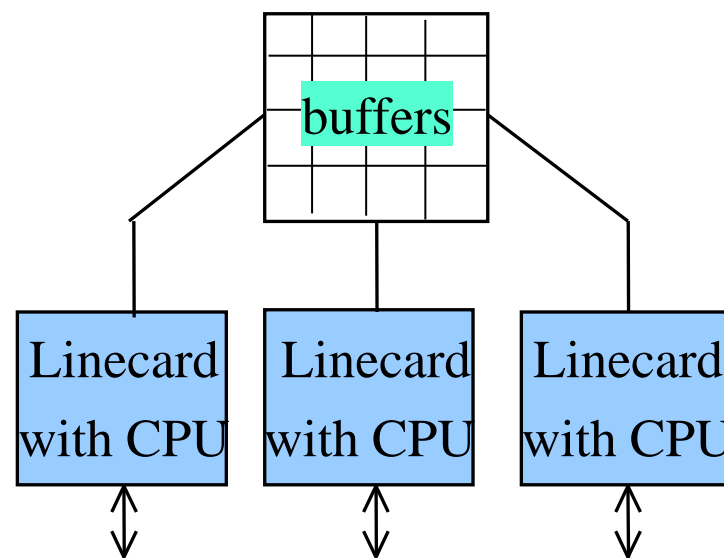
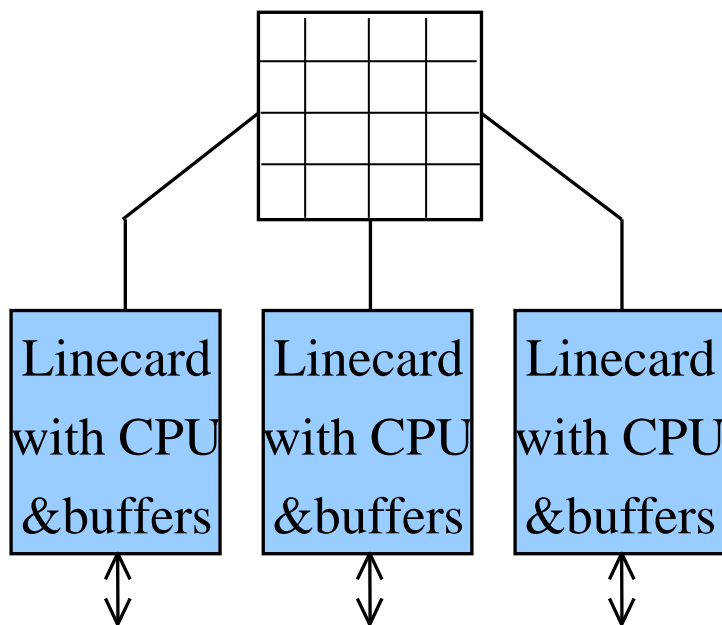
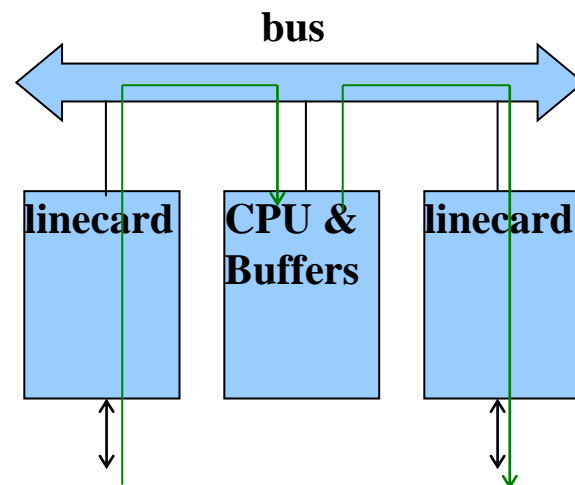
# 路由器结构的演变（4）

- 骨干路由器结构
- 交换核心与线路卡簇分离的结构，标签交换

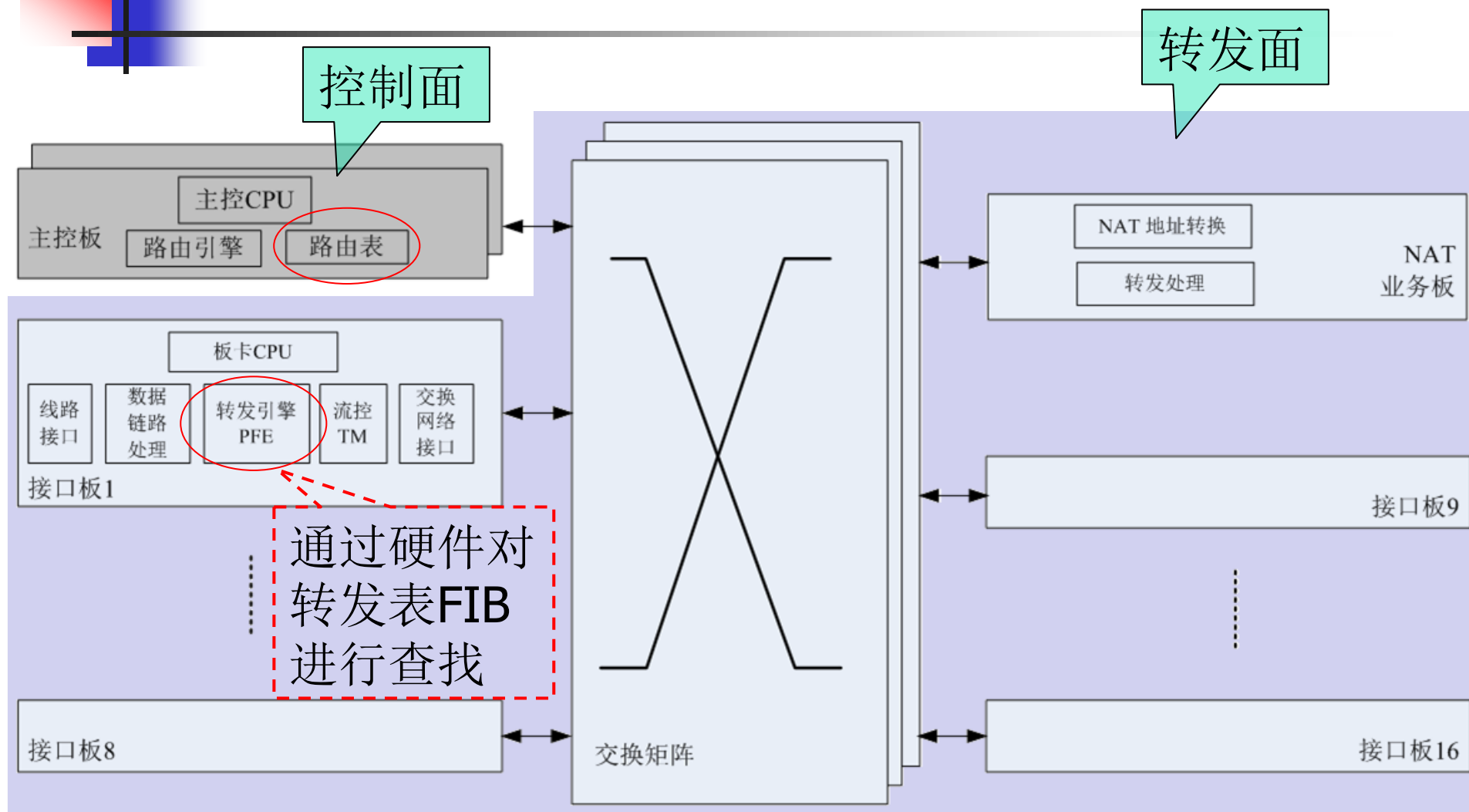


# 路由器的排队缓存

- 解决出线冲突的方式——排队缓存
  - 集中缓存
  - 入线/出线缓存
  - 交换网络缓存



# 路由器的硬件结构





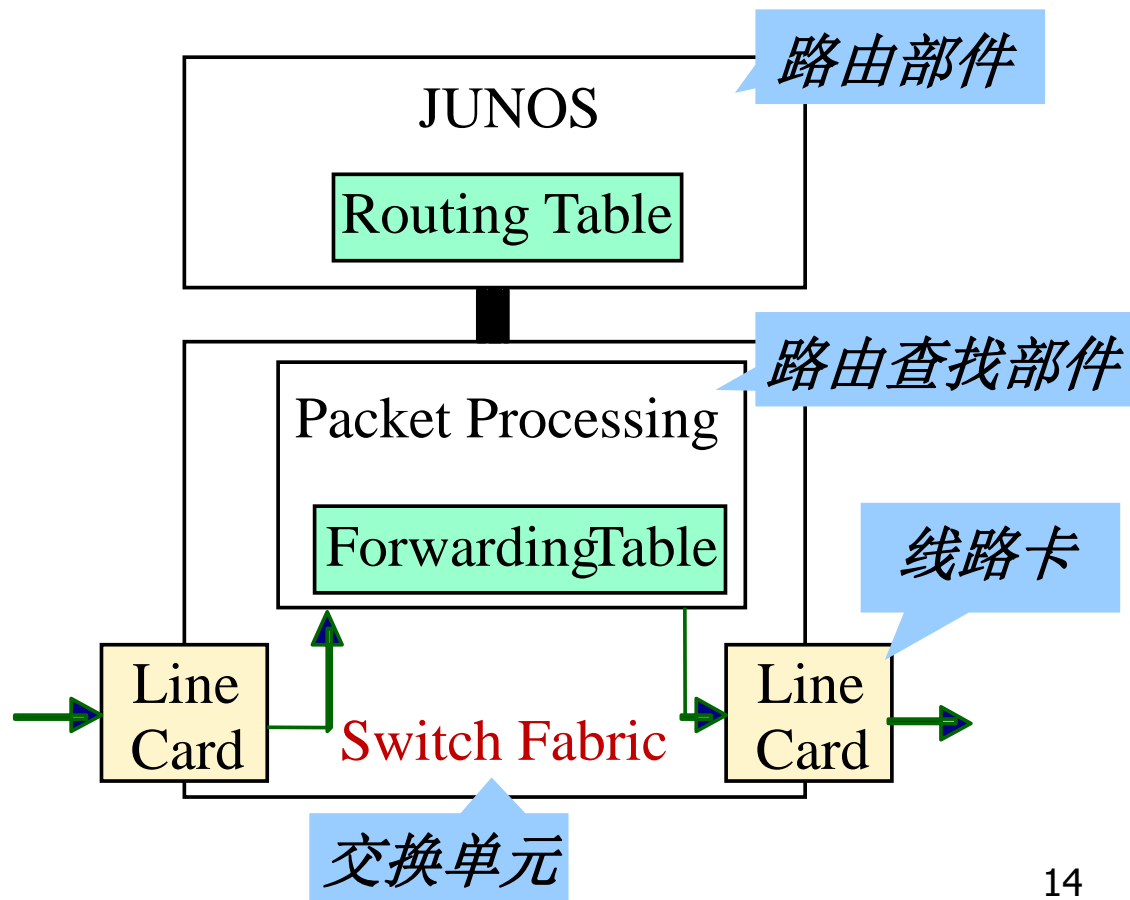
# 1. 路由器技术的发展

路由器结构、M40交换机结构（实例）

# M40交换机举例

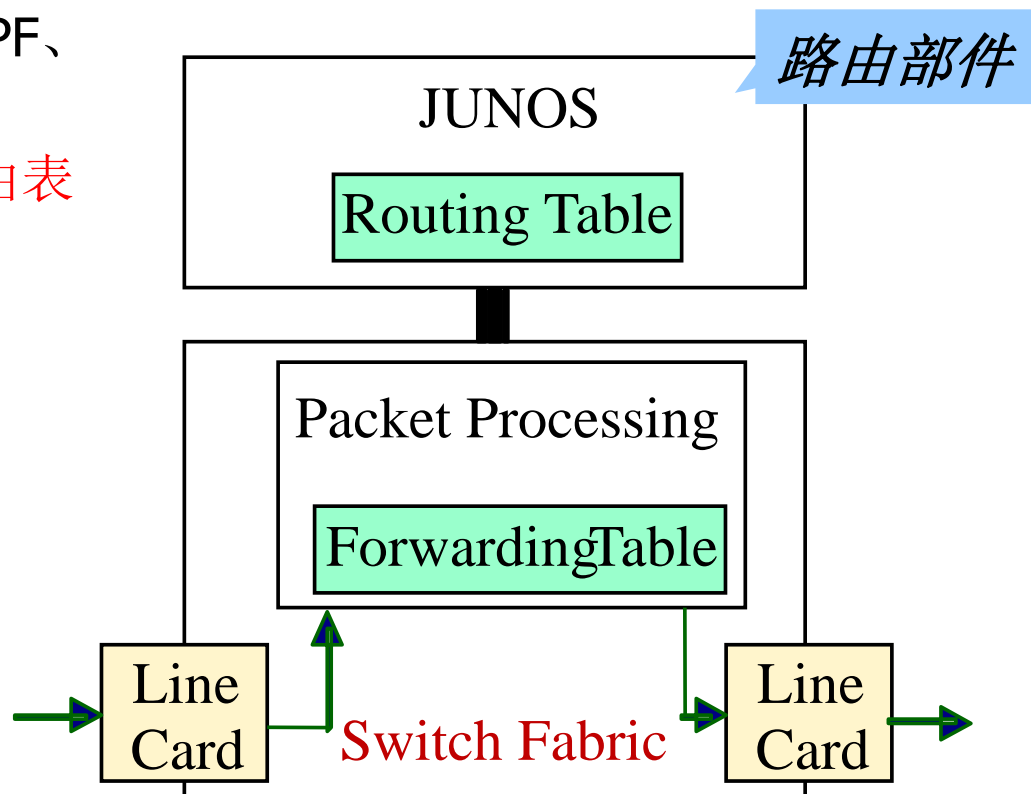
- Juniper Network公司推出的IP交换机，可用于Internet的骨干路由器、以太网交换机、ATM交换机等

- ✓ 路由部件
- ✓ 路由查找部件
- ✓ 交换单元
- ✓ 线路卡



# M40交换机结构

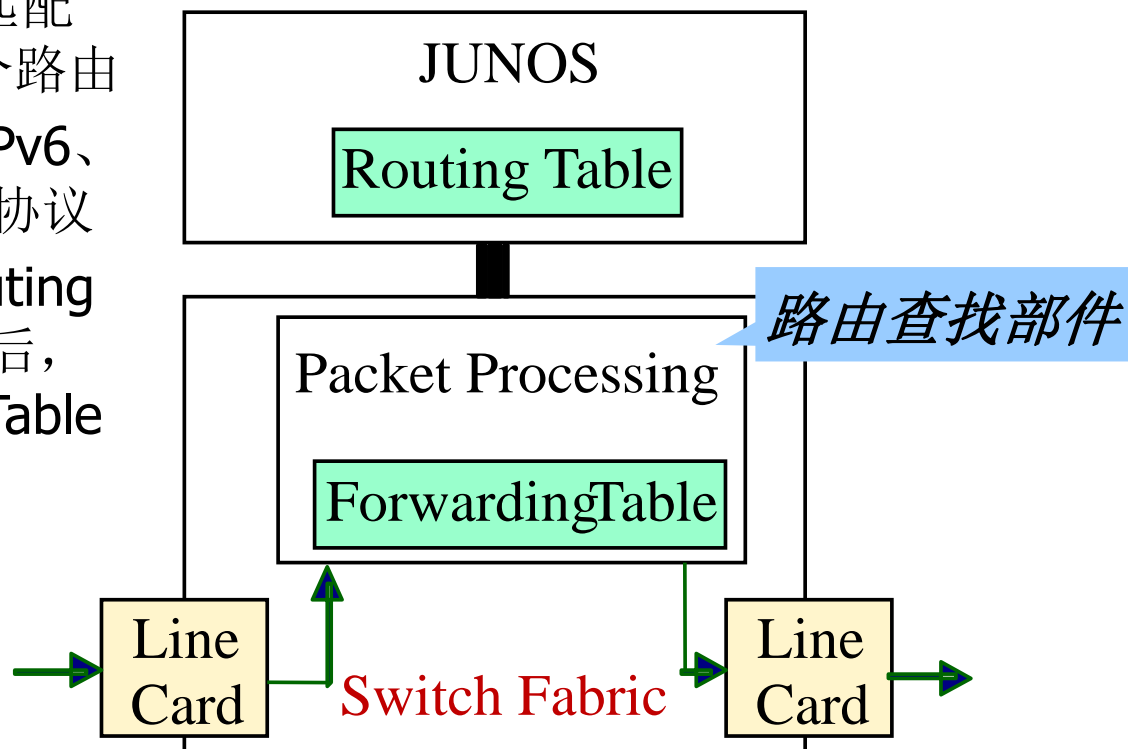
- 路由部件（JUNOS）
  - Internet软件包，包括丰富的路由协议组件（OSPF、BGP4、IS-IS等）
  - 根据路由协议更新路由表



# M40交换机结构

- 路由查找部件（Packet Process）：处理机级的ASIC，与JUNOS软件相结合，使M40系统达到线速交换的水平

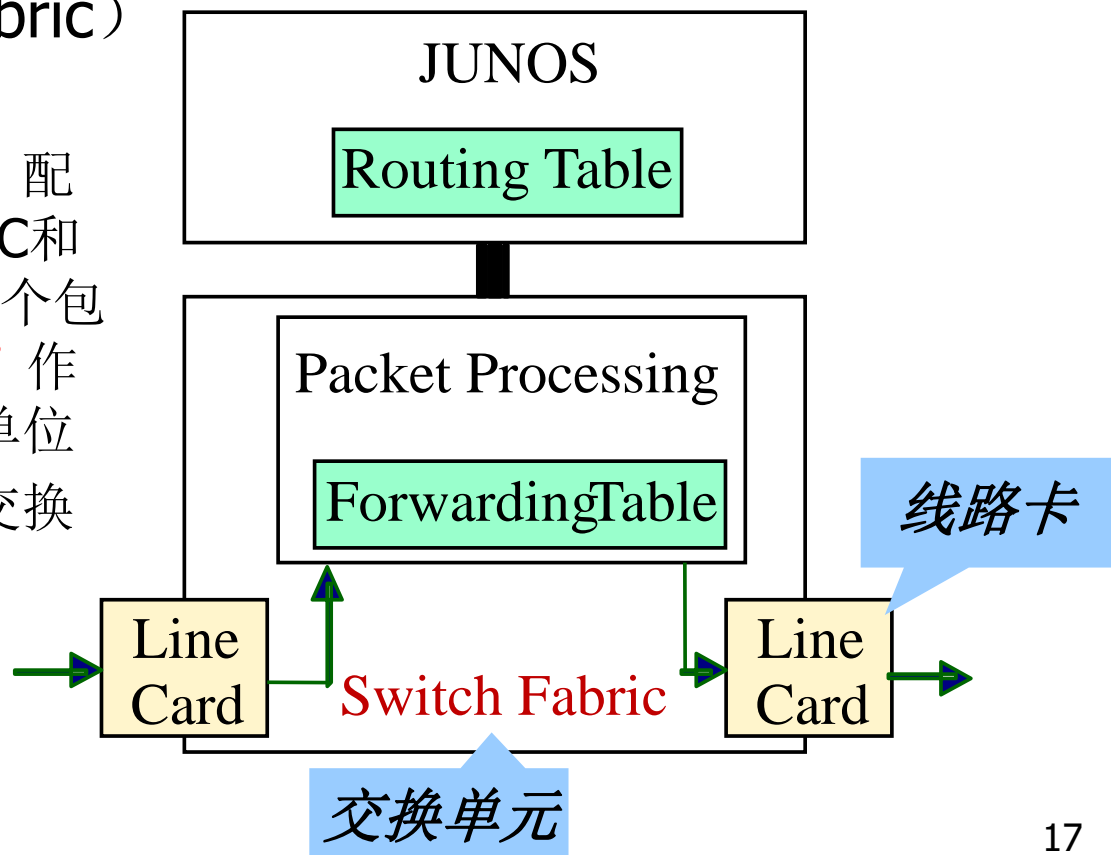
- 线速路由查找：最长匹配  
查找速度为每秒40M个路由
- 可编程：支持IPv4、IPv6、MPLS和帧中继等多种协议
- 转发表自动更新：Routing Table中的路由表更新后，自动刷新Forwarding Table的路由数据



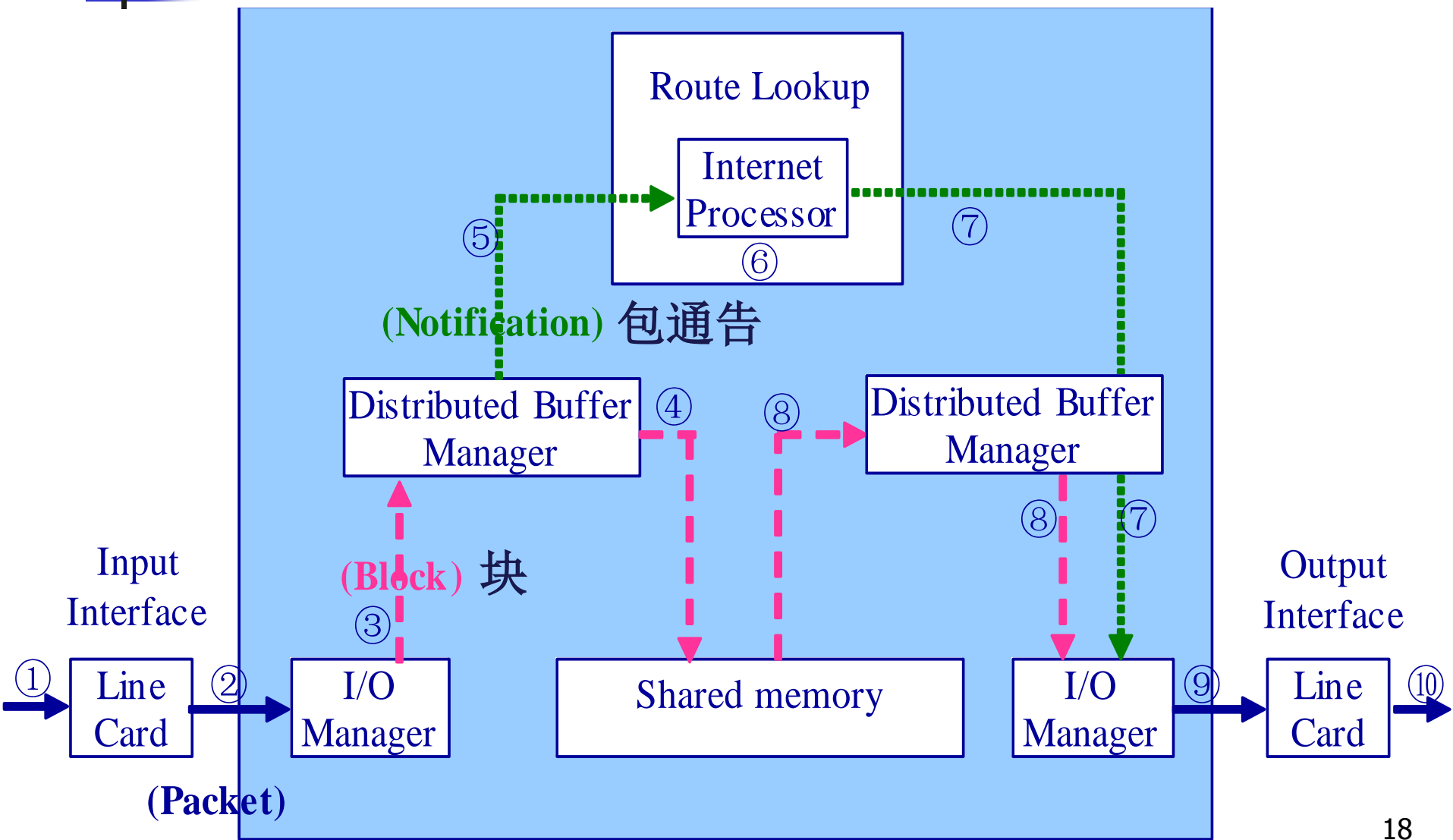


# M40交换机结构

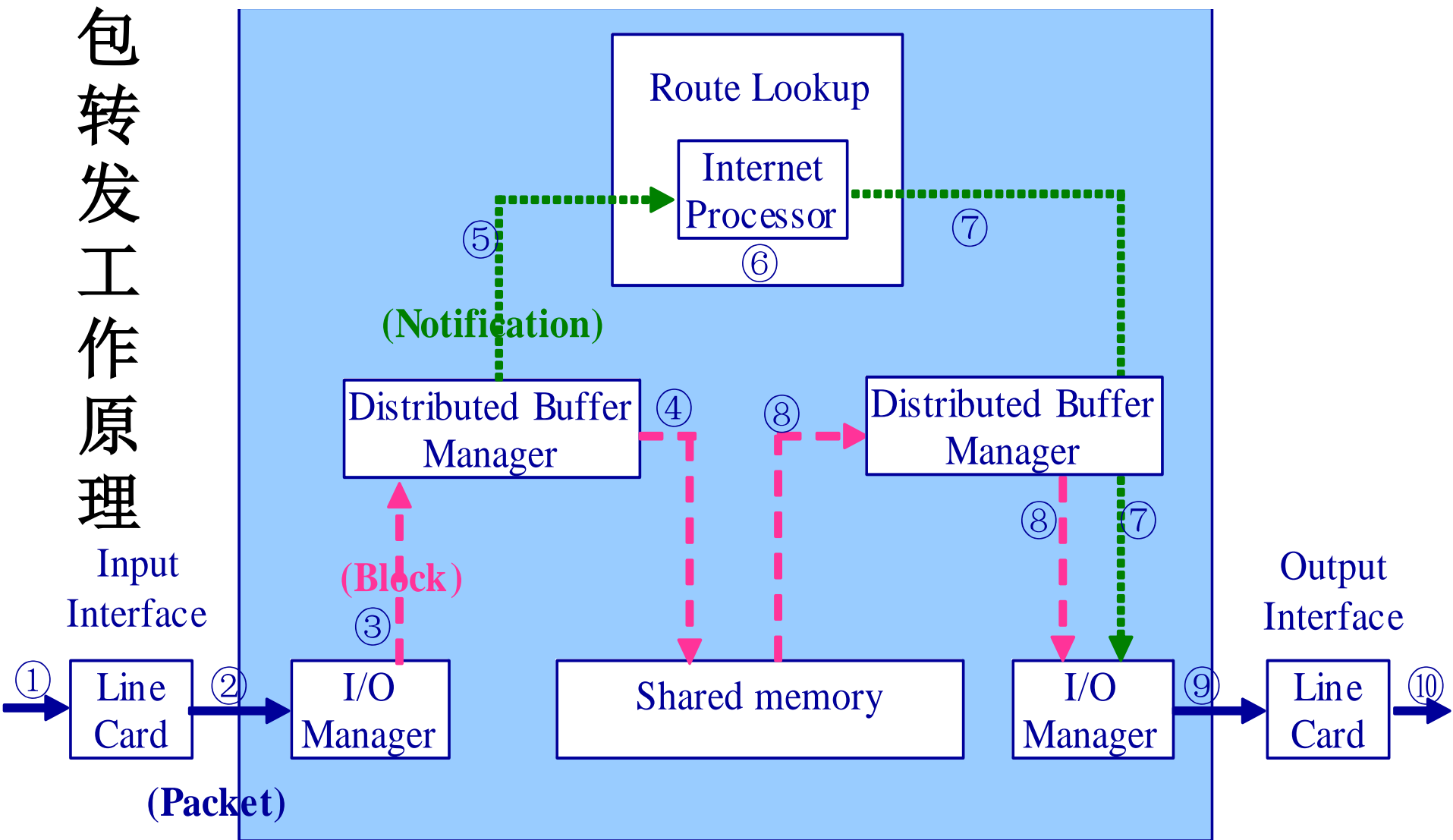
- 线路卡（Line Card）
  - 支持SONET/SDH、ATM和DS3等物理接口
- 交换单元（Switch Fabric）
  - 40Gbps的交换单元
  - 以共享存储器为核心，配以适当的缓冲管理ASIC和I/O管理ASIC，将每一个包分解成64字节的“块”作为存储、交换的基本单位
  - 通过“包通告”进行交换控制



# M40交换机结构——包转发工作原理



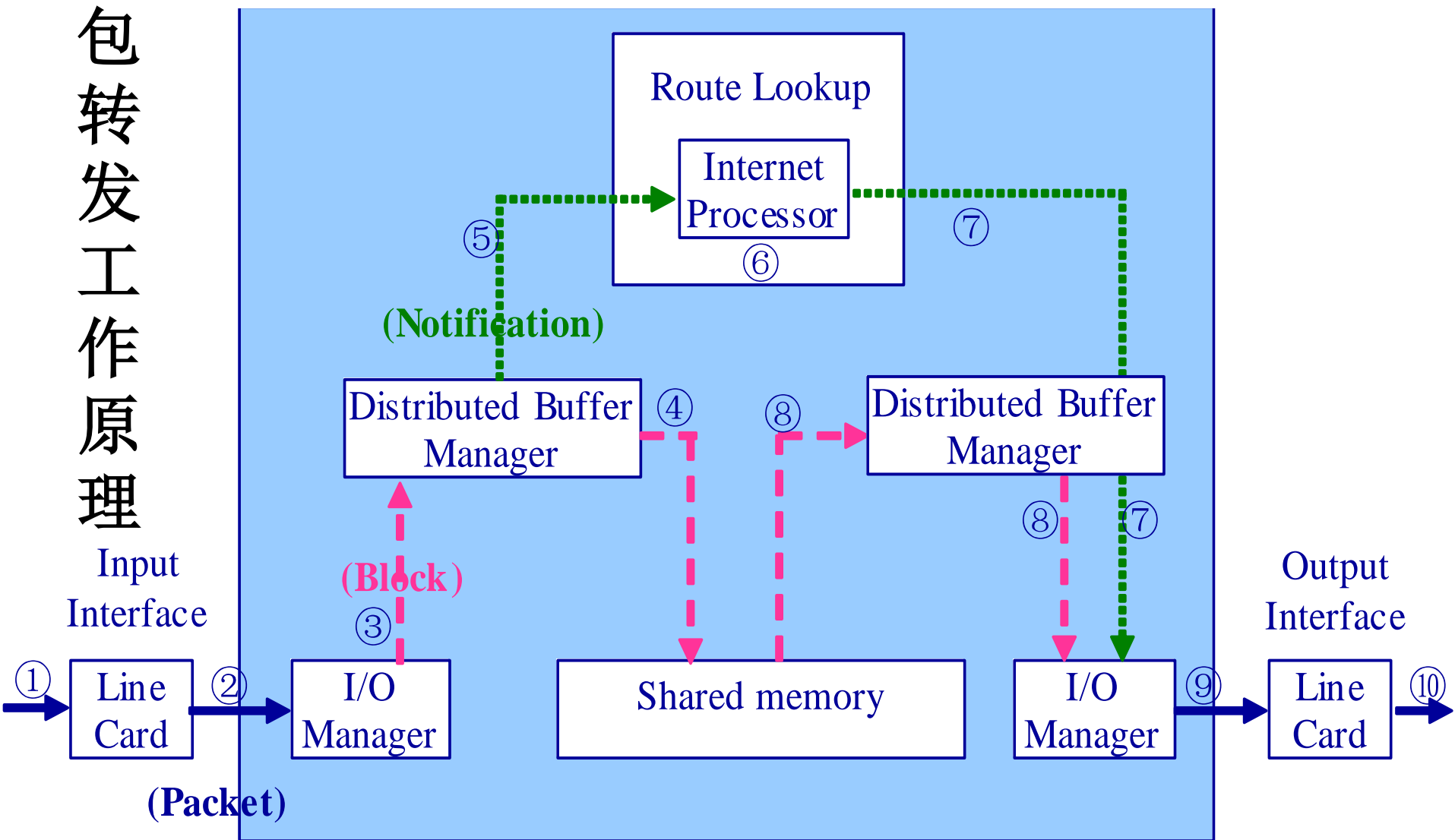
# 包转发工作原理



1. 信息到达路由器的入线

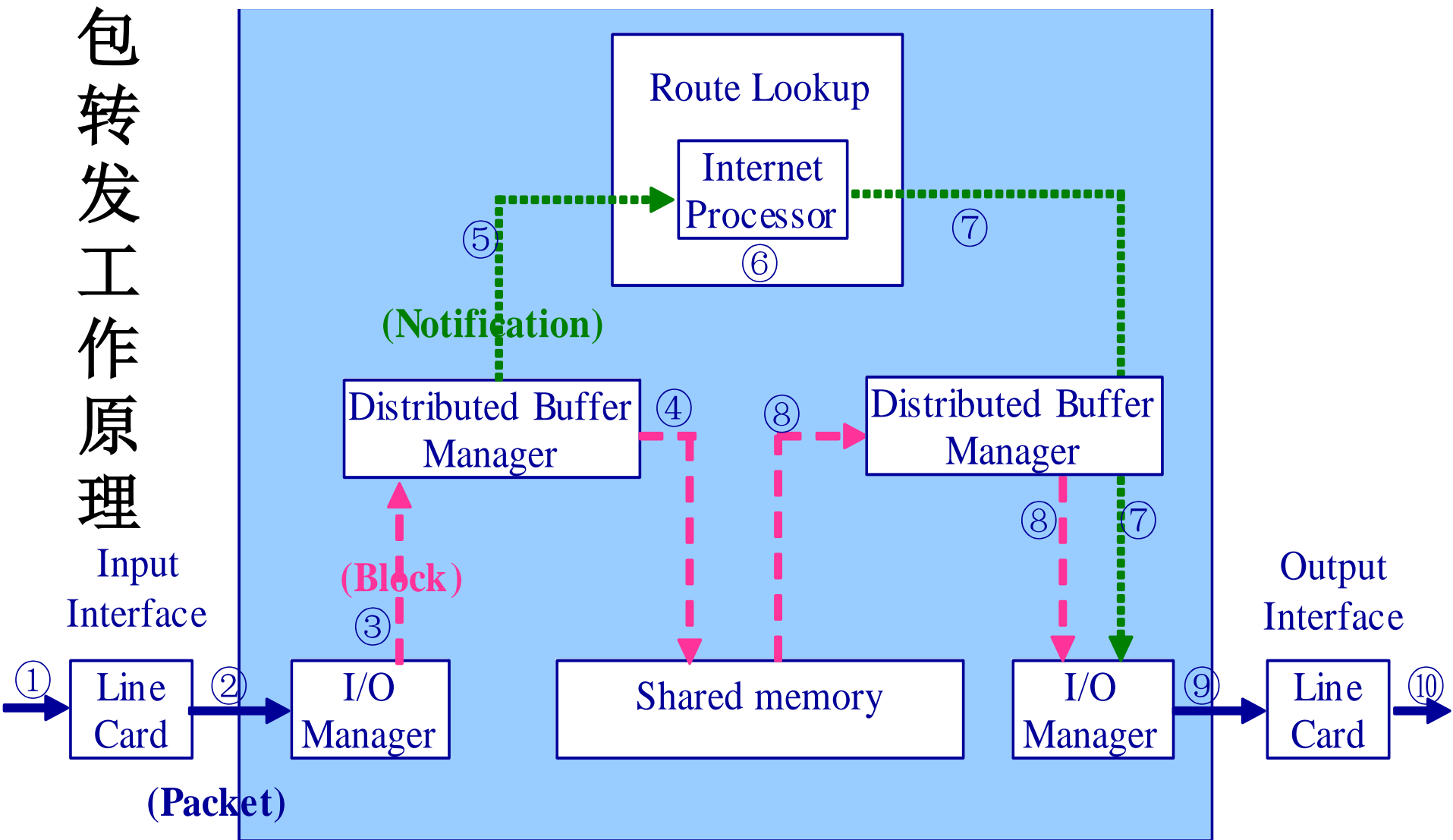
2. 线路卡按不同线路的帧格式提出净荷，并将校验正确的帧送入I/O管理ASIC

# 包转发工作原理



**3. I/O管理ASIC**按不同的协议格式（**IPv4**或**MPLS**）提出**3层**的包，根据包的交换要求设置“**寻路关键字**”，并将包分段成**64字节的块**，一起送分布缓冲管理器

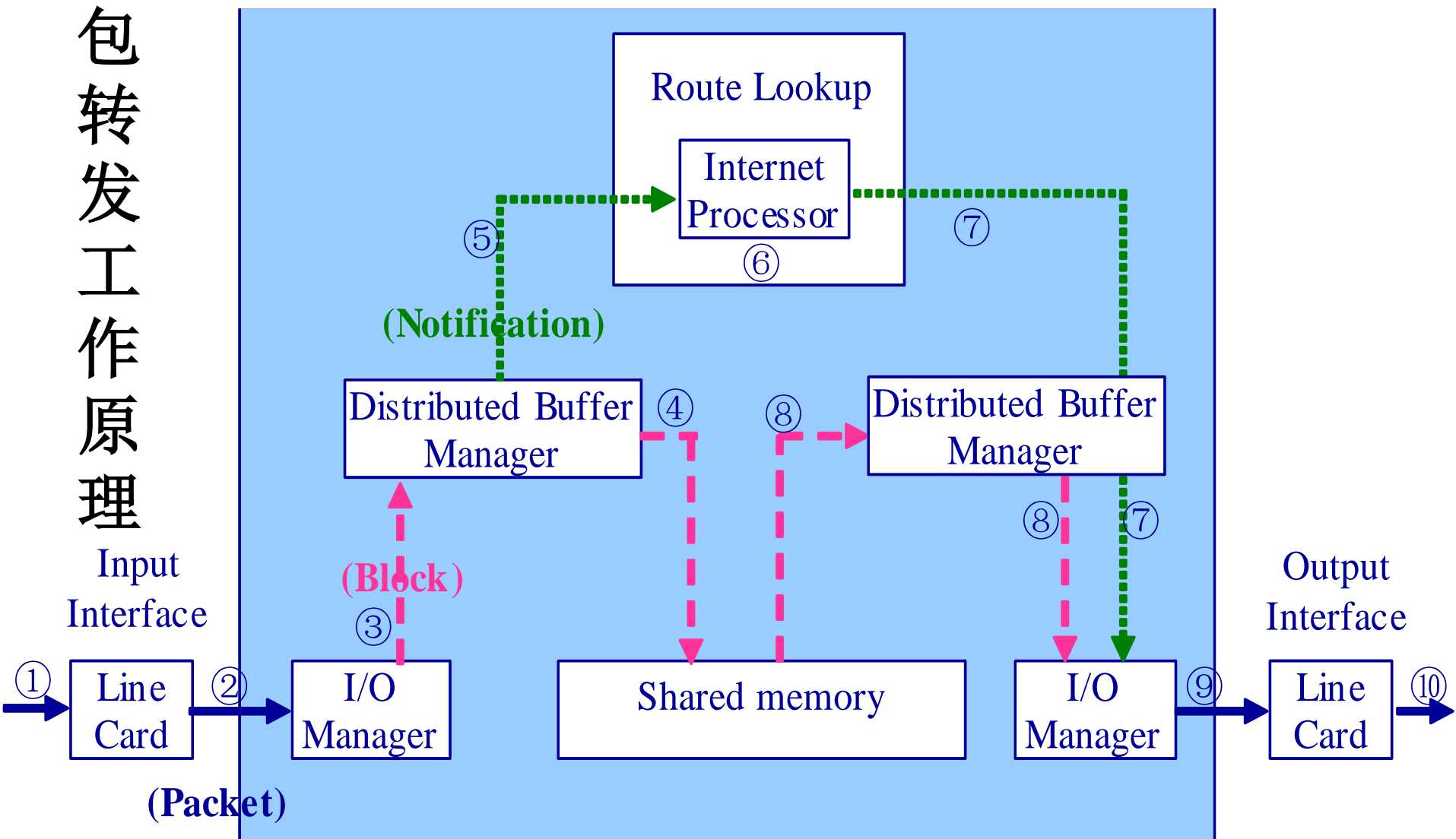
# 包转发工作原理



4. 缓冲管理器将“块”轮流放入共享存储器

5. 缓冲管理器根据块中的“寻路关键字”构造“包通告”，送寻路部件

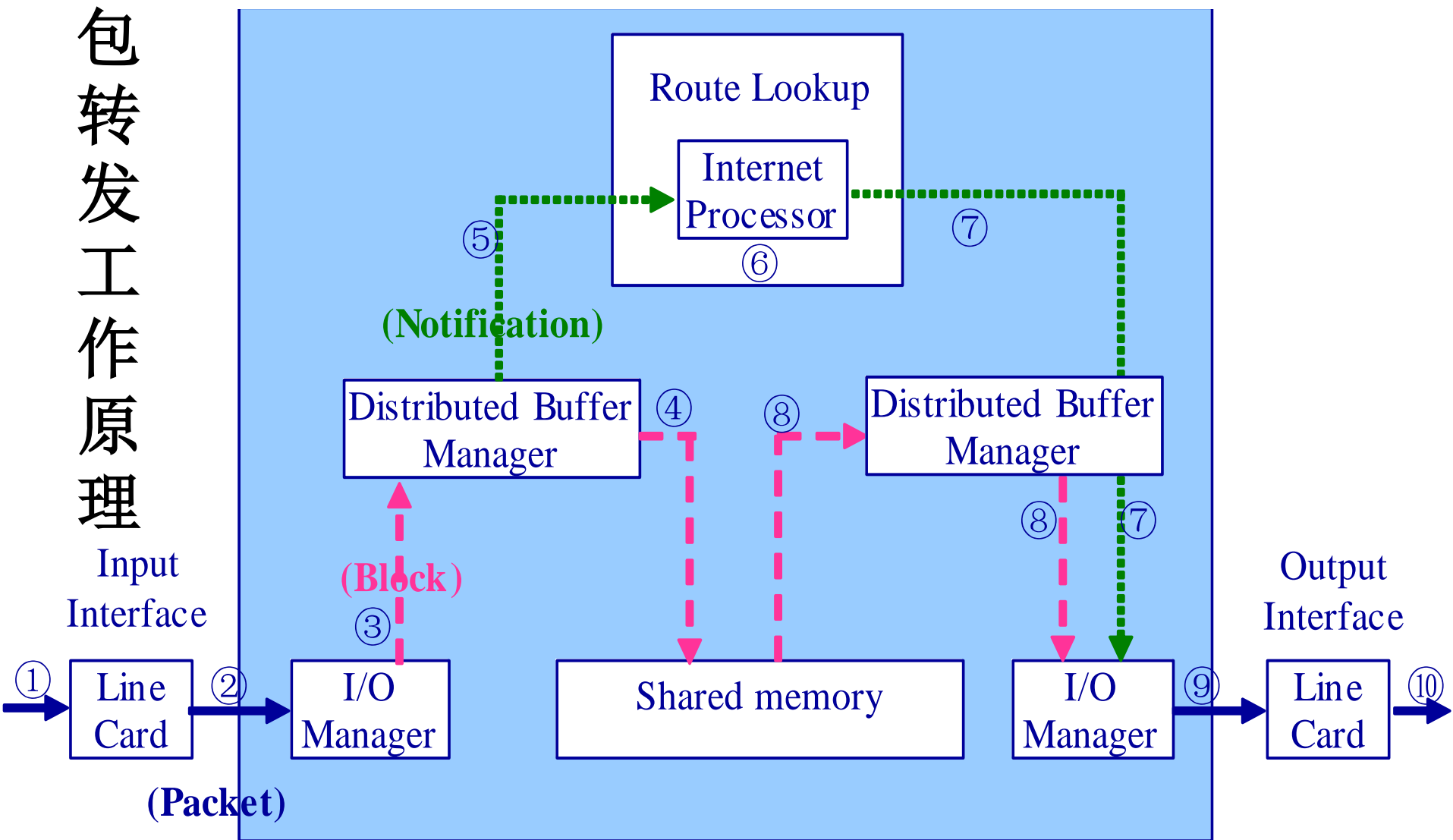
# 包转发工作原理



6. 寻路部件查找路由

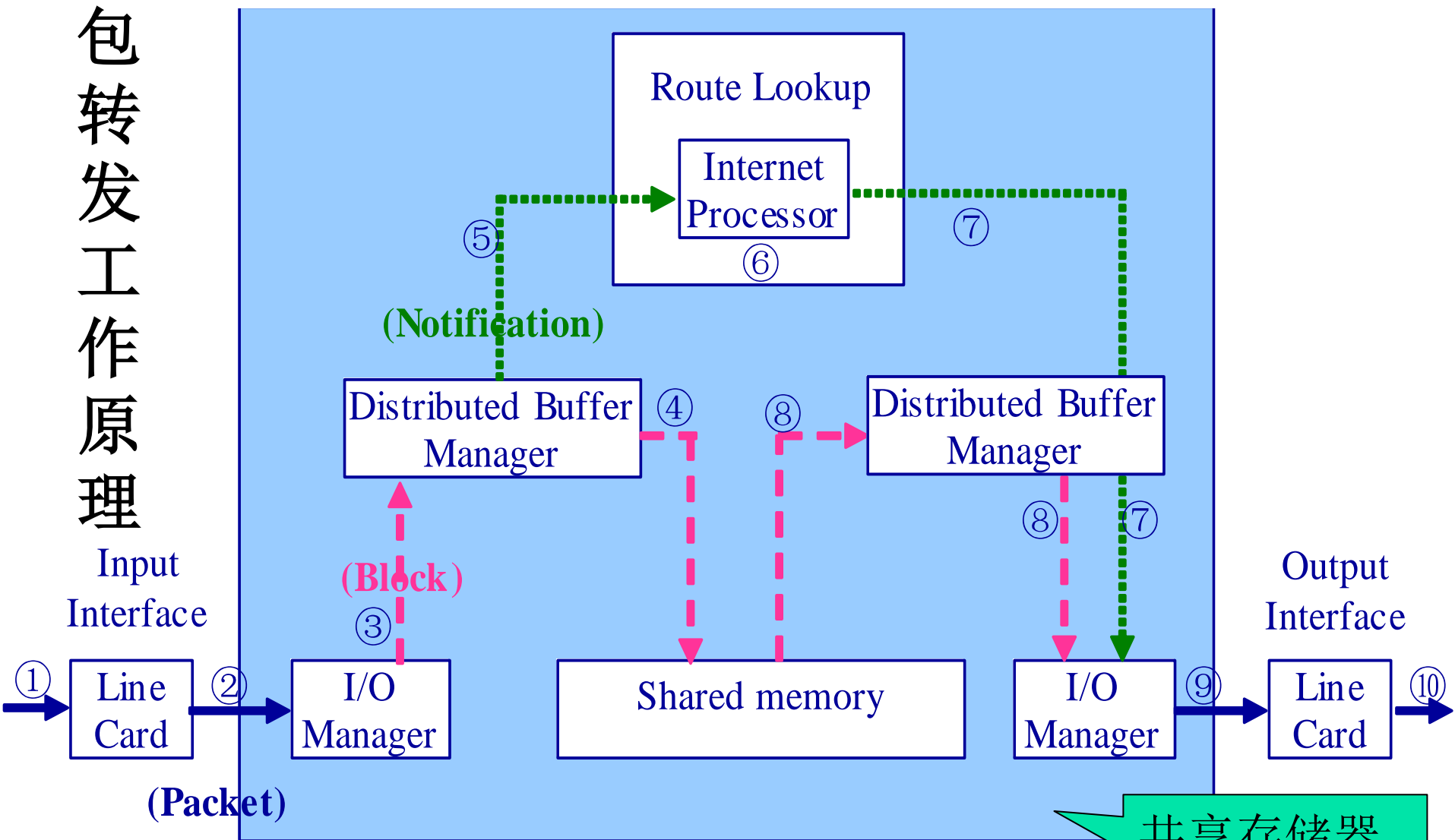
7. 寻路部件将包含了转发决定的“包通告”送缓冲管理器，缓冲管理器再将此包通告转发给输出端口的I/O管理器，输出端口的I/O管理器将所有的包通告排队，逐一处理

# 包转发工作原理



**8. I/O管理器处理到某一个包通告时，通过缓冲管理器产生一个读“块”的请求，将数据块读出**

# 包转发工作原理



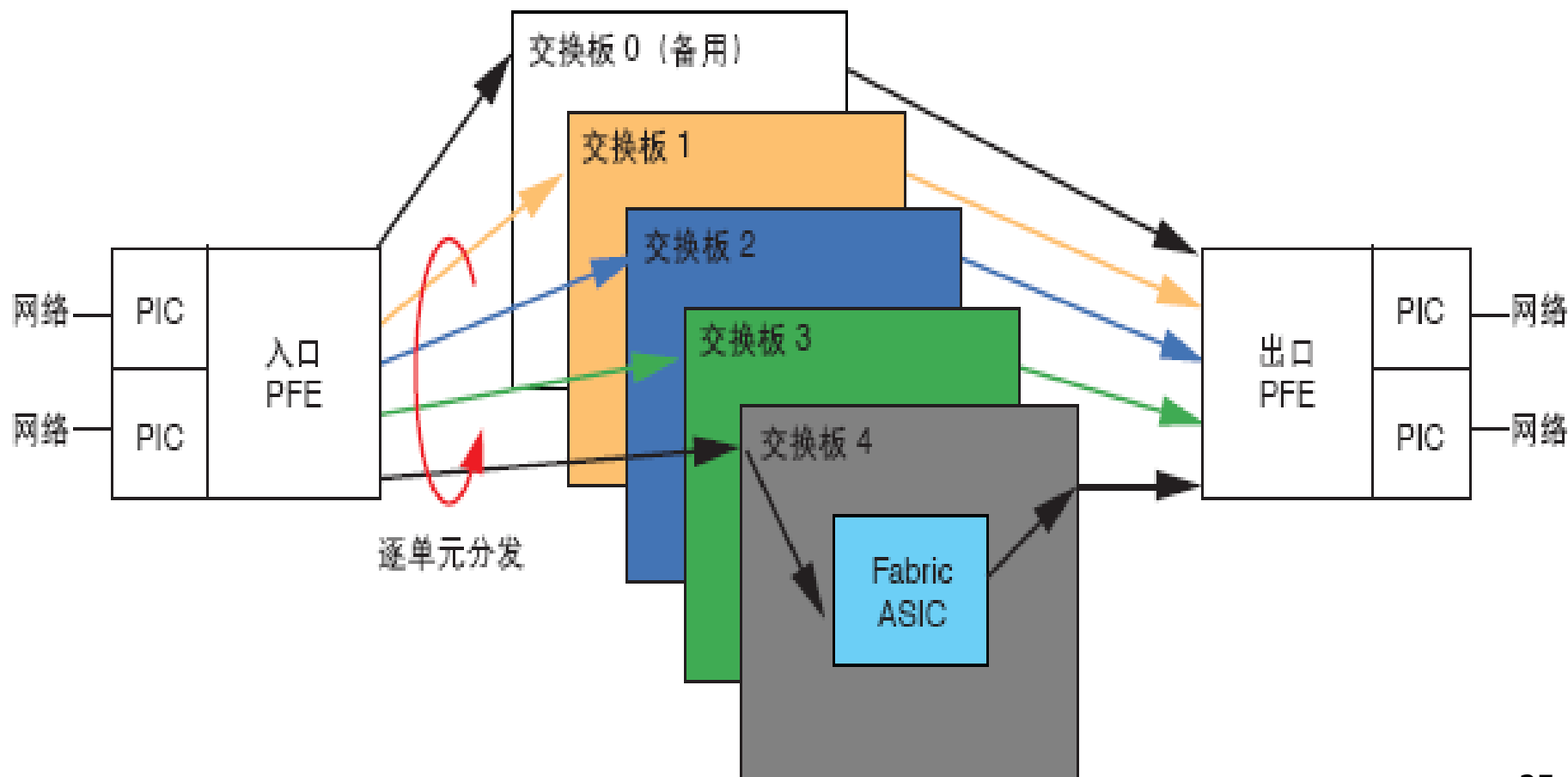
9. I/O管理器将块重新组装成包，送线路卡

10. 线路卡按线路要求将数据包作为净荷置入线路帧格式中，发出



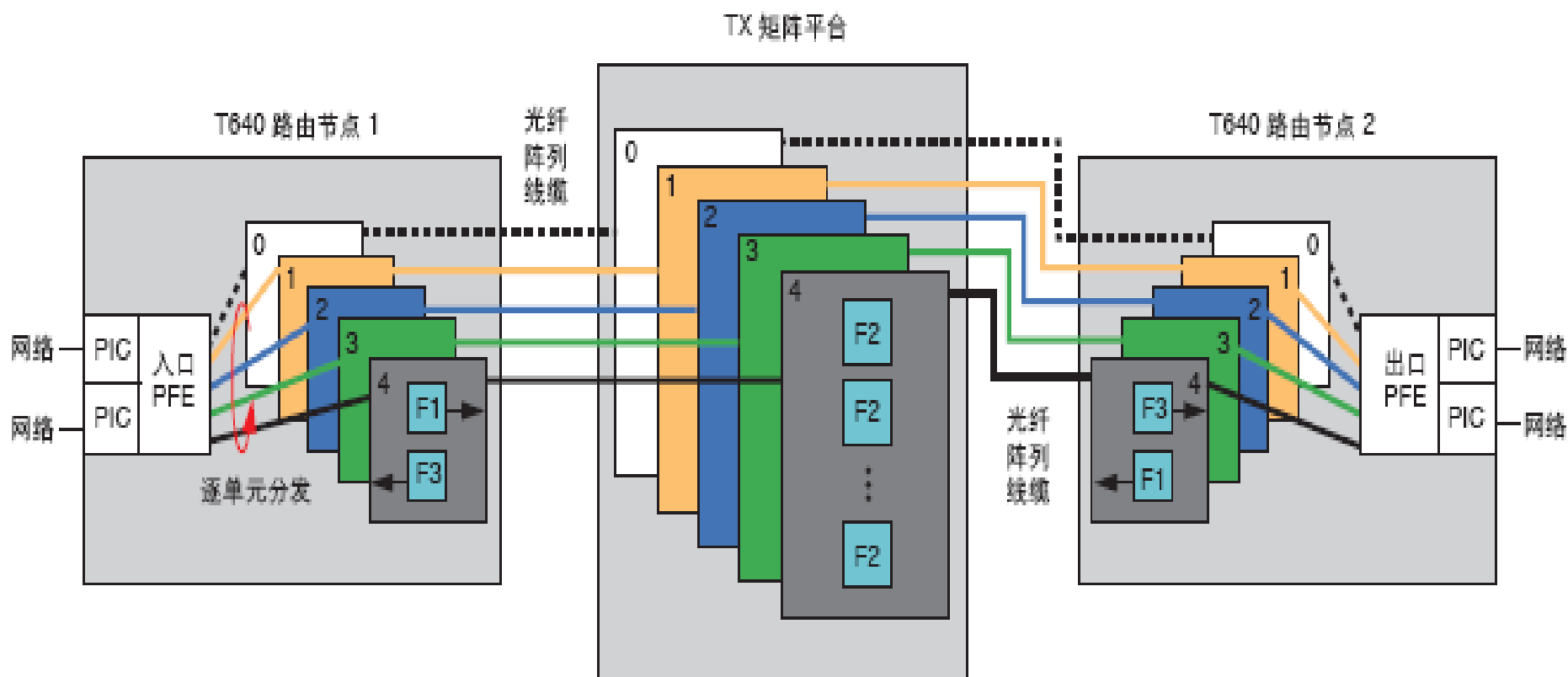
# 交换机的大规模扩展

- 交换单元：单平面→多平面



# 交换机的大规模扩展

- 交换单元：单级→多级（CLOS网络）



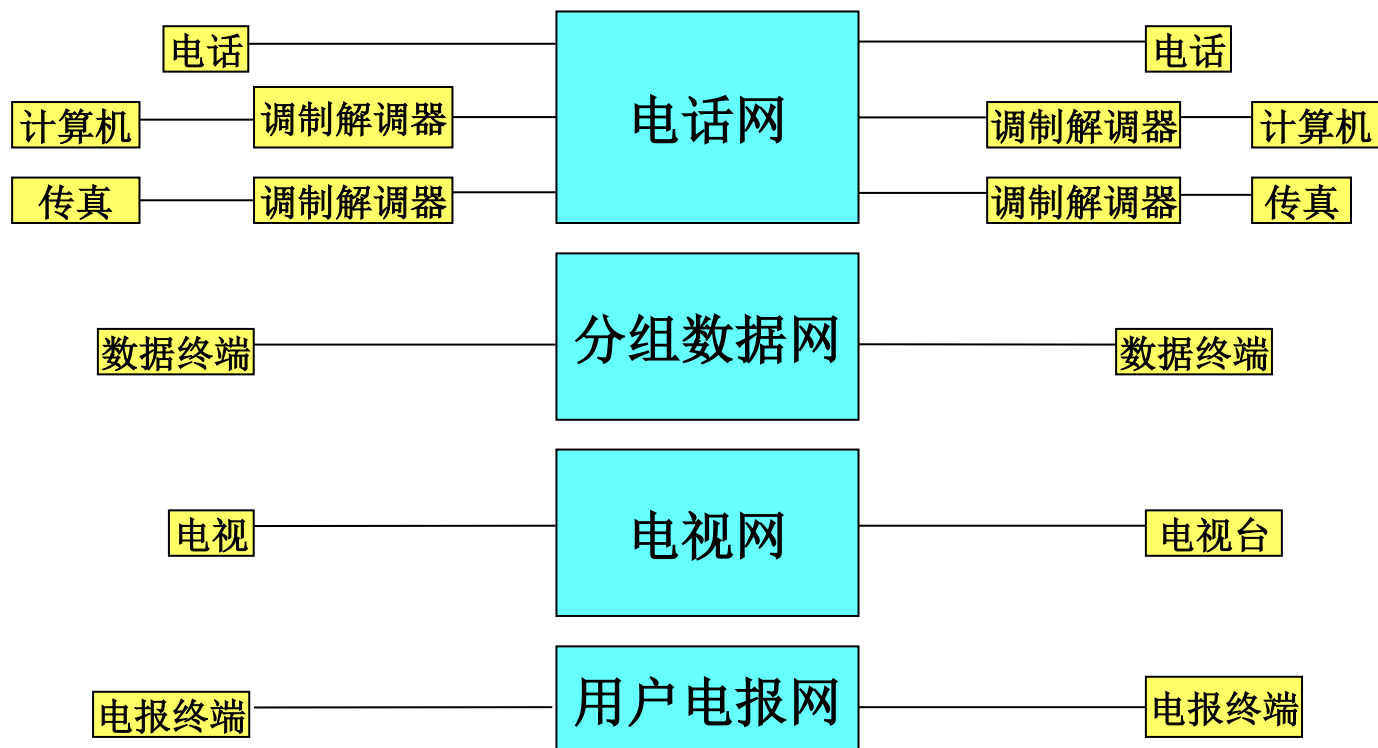


---

## 2.ATM交换

BISDN及其业务特征、ATM基本原理

# 综合业务数字网ISDN

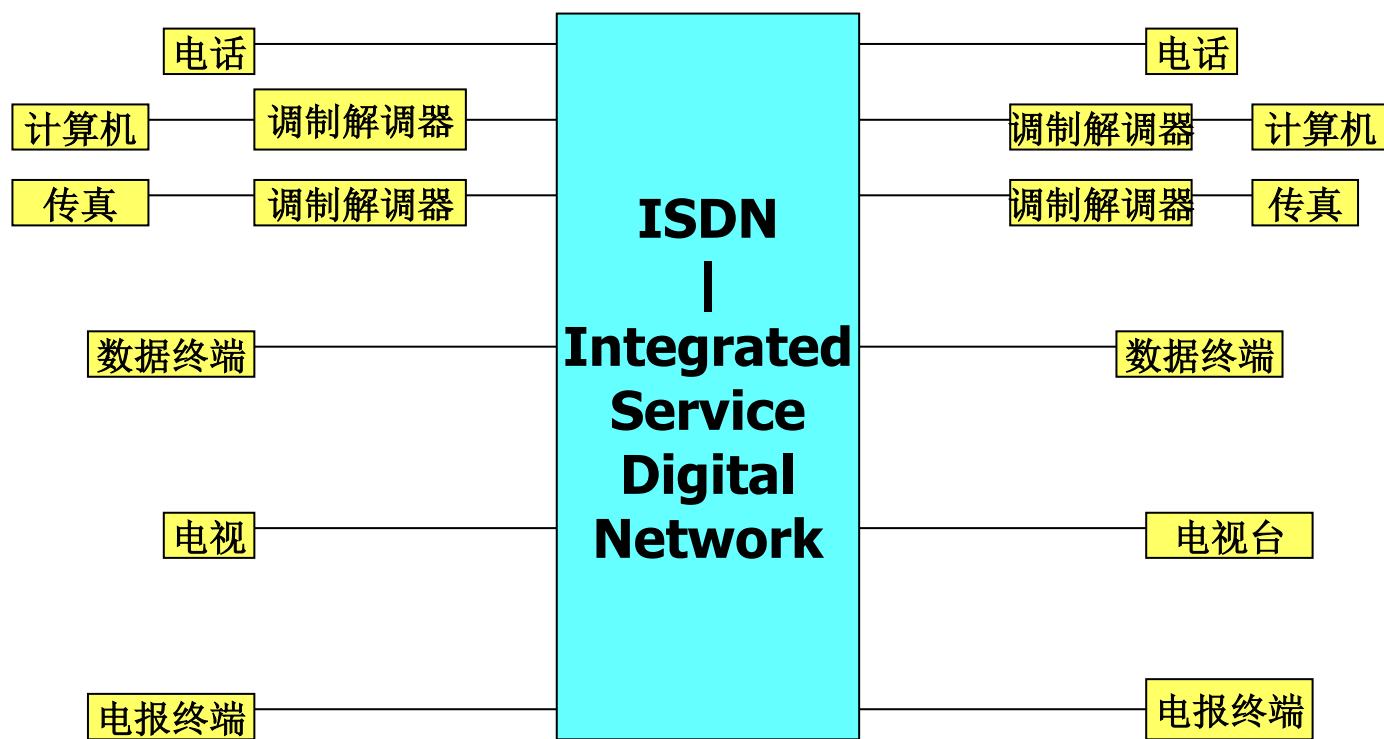


传统的通信网

传统网络按照业务建设，  
不同业务使用不同的网  
络和传输交换技术

# 综合业务数字网ISDN

窄带ISDN (N-ISDN): 电路交换  
宽带ISDN (B-ISDN): ATM交换



ISDN通信网

端到端全数字连接； 提供多种业务； 统一的多用途接口

# B-ISDN支持的电信业务

N-ISDN是64kbps的速率绑定，而B-ISDN更加灵活

- 恒比特率业务、变比特率业务 — 电话网、分组网
- 连接型业务、非连接型业务 — 电路交换或虚电路、数据报
- 交互式业务、非交互式业务 — 电话、电子邮件
- 单址业务、多址业务、广播业务 — 打电话、腾讯会议、视频直播
- 交互式业务中的对称业务、不对称业务 — 电话、点播
- 实时业务、非实时业务 — 电话、计算机通信
- 按终端接收信息方式分：由网络向终端送消息、由终端去网络取消息 — 广播（Push）、电子邮件（Pull）
- 宽带业务、窄带业务 — 视频直播（Mbps以上）、温度传感器
- 多媒体业务 — 传送的信息中含有多于一种的信息形式，比如视频、语音、文字，并且多种信息之间需要同步



# B-ISDN业务分类（1）

## ITU-T的分类方法（按不同的上层应用）

业务	A 类业务	B 类业务	C 类业务	D 类业务
特点一	恒比特率	变	比	特率
特点二	连 接 型			非连接型
特点三	源点与目的点要求同步		源点与目的点不要求同步	

- A类业务：例如E1线64kbps的话音业务（线路仿真），未经压缩的视频信息
- B类业务：例如采用压缩技术的视听业务
- C类业务：例如帧中继、TCP/IP业务
- D类业务：例如高速数据交换业务SMDS



## B-ISDN业务分类（2）

### ATM Forum的分类方法（按对资源的需求）

- 恒定比特率**CBR**：例如恒定速率的话音、视频和电路仿真
- 实时可变比特率**rt-VBR**：例如视频会议、可变压缩编码的音视频多媒体业务
- 非实时可变比特率**nrt-VBR**：例如文件传输、电子邮件
- 未指定比特率**UBR**：尽力而为业务，例如文件，邮件，USENET新闻
- 可用比特率**ABR**：非实时业务，例如网页浏览





## B-ISDN业务分类（3）

---

**B-ISDN**的用户通过指定业务质量（**QoS**）来进一步规定各个具体的业务要求

- QoS参数包括
  - 最高信息传输率
  - 平均信息传输率
  - 最低信息传输率
  - 信息传输时延
  - 信息传输时延偏差（时延抖动）
  - 包丢失率
  - .....



# 分组交换技术变革

## 业务驱动技术更新！

### ■ 新的交换技术——ATM

- 统一的交换、复用和传输模式
- 适合任意业务特征（速率、突发性、实时性、质量）
- 20世纪80~90年代，大发展
- 技术复杂度高、技术成本大

需要终端升级

### ■ IP交换技术演进

- ATM技术 + IP技术 → MPLS技术

无需终端升级



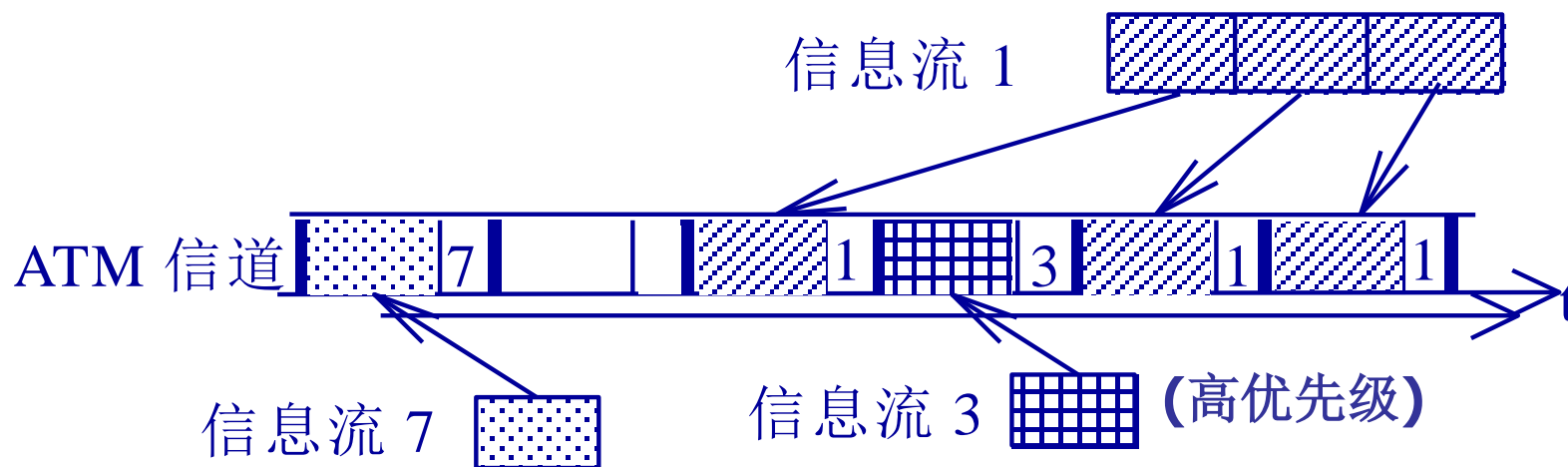
---

## 2.ATM交换

BISDN及其业务特征、**ATM**基本原理

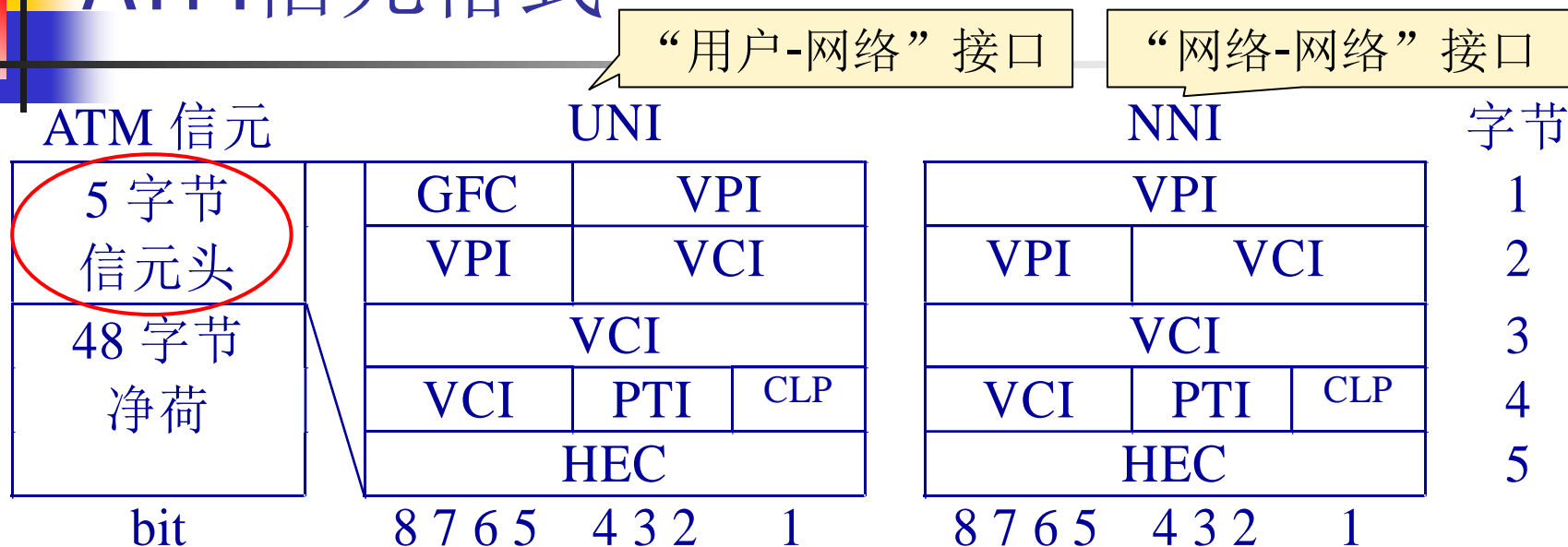
# ATM——异步传输模式

- 信息划分成固定长度的**ATM信元**，采用面向连接方式，信元头中含有路由信息，以确定逻辑信道



- **异步时分复用**，提高了信道利用率（v.s.电路交换）
- **信元长度一定**，快速识别信头，处理时延少（v.s.分组交换）
- **信元长度适中**，适合任何速率的信息流（v.s.分组交换）
- 信元头中含有路由信息（**虚连接**），同宗同路，不存在随机延迟，不重发，实时性强（v.s.分组交换-数据报）

# ATM信元格式



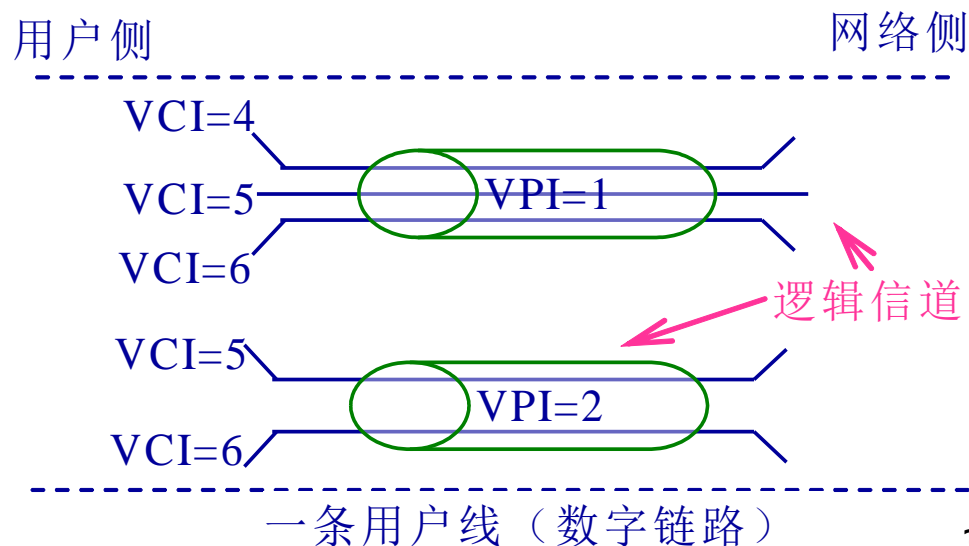
- GFC（4bits）：一般流量控制域，仅UNI有此域
- VPI/VCI（8或12 / 16bits）：虚通道 / 虚信道标识
- PTI（3bits）：负载类型指示      指示路由信息，区分信元类型
- CLP（1bit）：信元丢失优先级（0：高；1：低）
- HEC（8bits）：信元头差错控制。 $g(x) = x^8 + x^2 + x + 1$ 可纠错1比特、检错多比特，不反馈重发

# 虚通道VP / 虚信道VC

实质是两级标记体系

- ATM网络中，信元复用、交换、传输都在VP/VC（虚连接）上进行
  - 虚通道（VP, Virtual Path）
  - 虚信道（VC, Virtual Channel）
  - 例如：一条B-ISDN用户线上，同时进行了五个通信，可以使用不同的VPI/VCI 来表示不同的逻辑信道

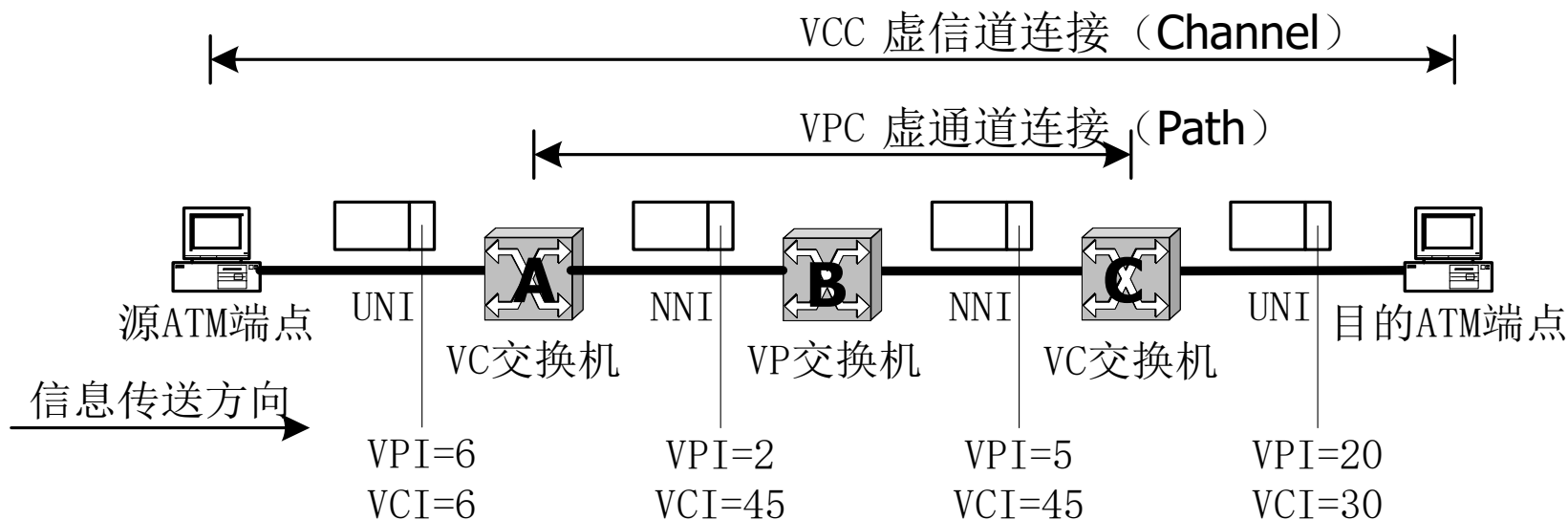
业务	VPI	VCI
沈阳 电话 1	1	4
沈阳 电话 2	1	5
沈阳 数据	1	6
上海 电话	2	5
上海 图象	2	6



# 虚通道VP / 虚信道VC

- **ATM连接的建立过程就是在这两个端点间的各段传输通道上，找寻空闲VP链路和VC链路，分配VPI与VCI**
- 源到目的点需要多段路由时，如何用VPI/VCI表征路径？
  - 一个VPI/VCI数值？
  - 还是一组关联数值？
- 交换机管理上下游VPI/VCI关联关系，并进行标识转换

无需全局资源分配，  
仅需分布式资源分配





# 虚连接的建立方式

---

何时？如何？填写信头翻译表

- 交换虚连接（SVC）

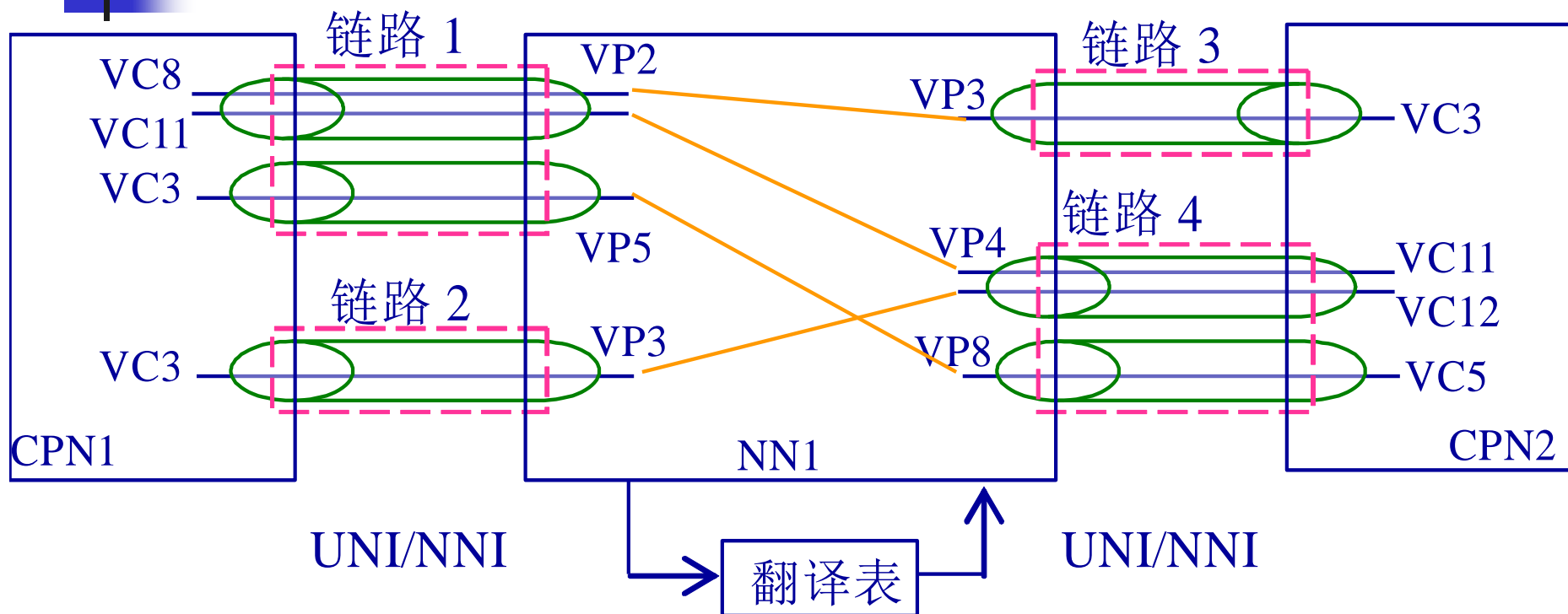
- 由信令控制建立的连接，用户在传送信息前要建立连接，信息传送完毕则拆除虚连接

- 永久虚连接（PVC）

- 由管理面控制建立的永久和半永久连接，用户在传送信息前不需要建立过程

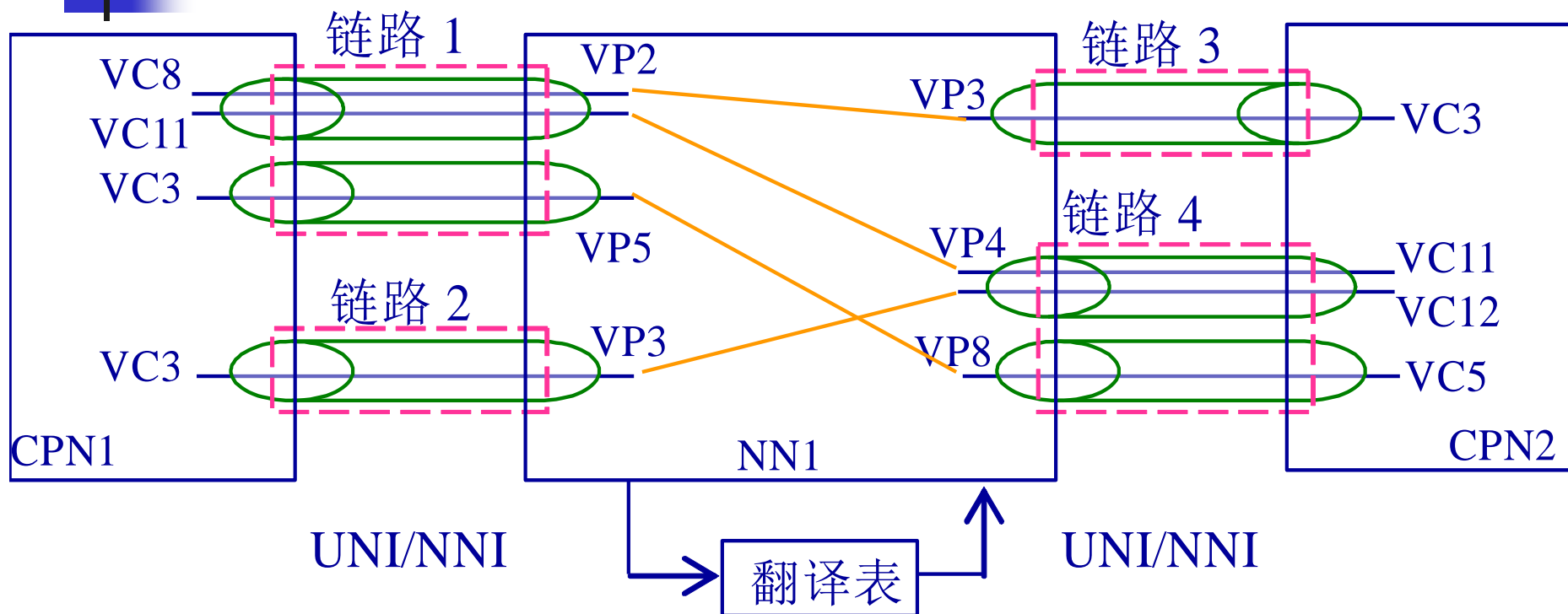


# ATM网络连接举例



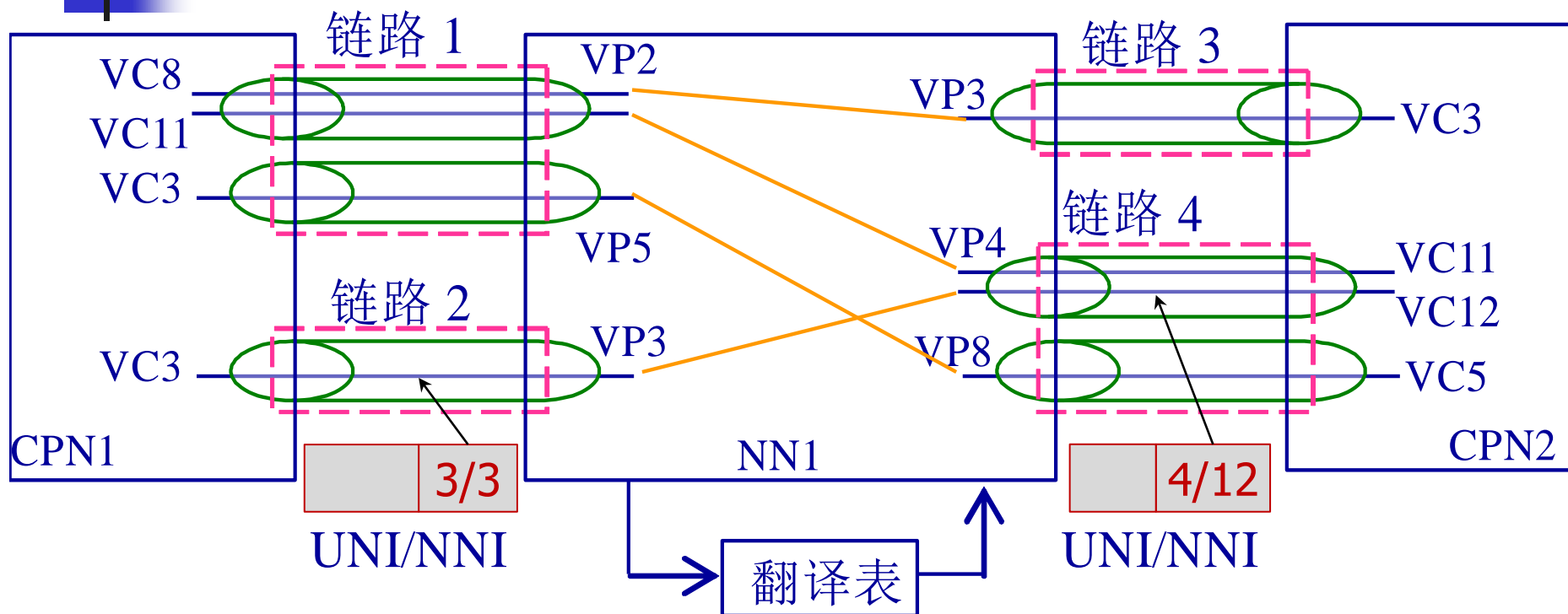
- **通信建立阶段:** 信令信元, 交换机**分配**空闲的VPI/VCI
- **通信过程中:** 用户按分配的VPI/VCI**传递**信息信元
- **通信释放阶段:** 信令信元, 交换机**收回**该VPI/VCI

# ATM网络连接举例



入端口	VPI/VCI	出端口	VPI/VCI
1	2/8	3	3/3
1	2/11	4	4/11
1	5/3	4	8/5
2	3/3	4	4/12

# ATM网络连接举例



入端口	VPI/VCI	出端口	VPI/VCI
1	2/8	3	3/3
1	2/11	4	4/11
1	5/3	4	8/5
2	3/3	4	4/12

# ATM交换方式的技术特点

## ■ IP网络技术

- 分组交换（数据报方式）
- 无连接工作方式
- 动态分配带宽（统计时分复用）
- 无QoS保证（尽力而为）

**优点：**技术简单、可扩展性好、灵活性高

**存在问题：**传输效率低、无法保证服务质量

## ■ ATM网络技术

- ATM交换方式
- 面向连接工作方式（逻辑连接）
- 动态分配带宽（异步时分复用）
- 有QoS保证

**优点：**可满足多业务需求、传输效率高，保证服务质量、有流量控制

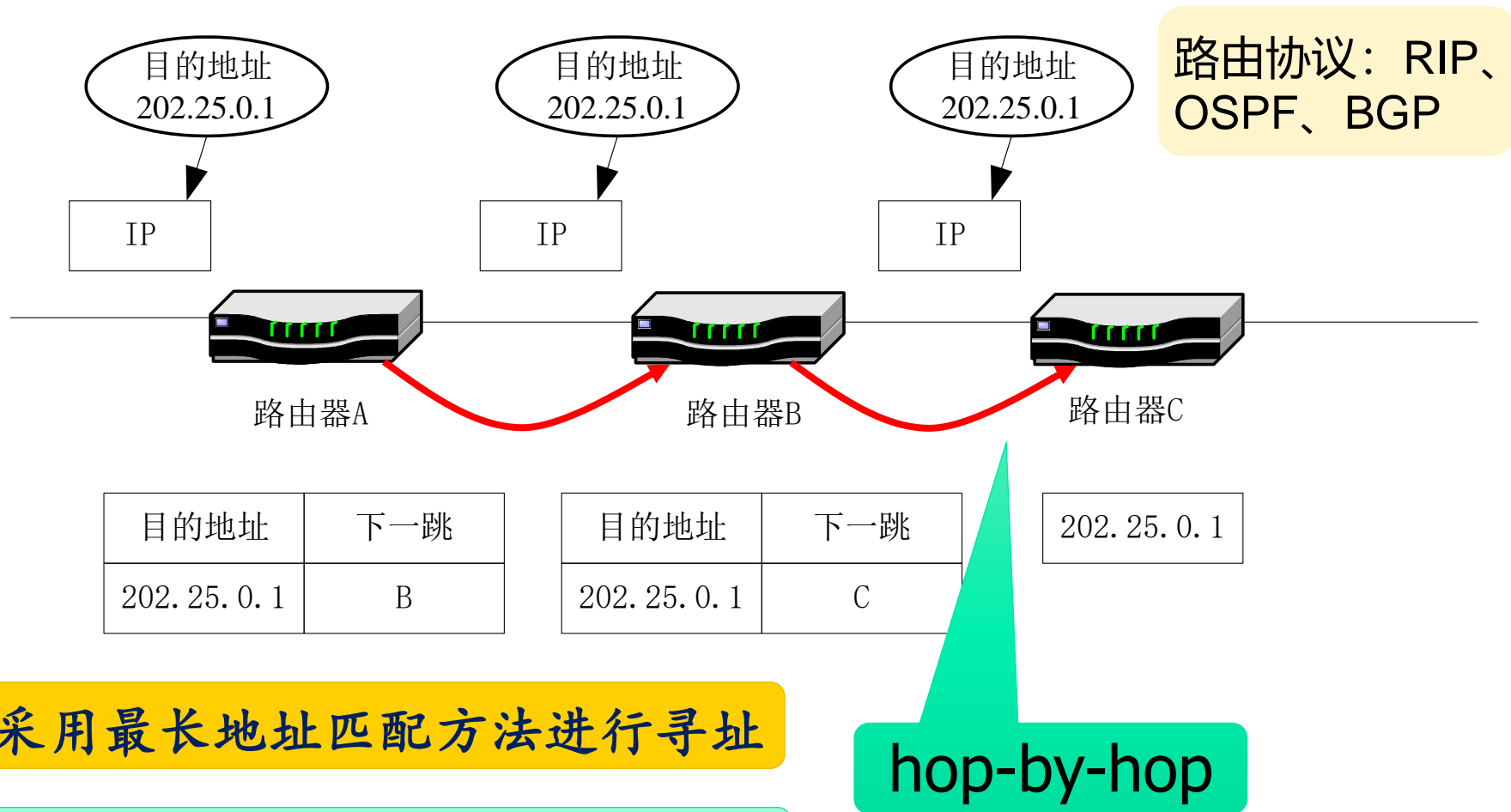
**存在问题：**技术复杂、可扩展性不好



# 3.多协议标记交换MPLS

MPLS的概念、MPLS的交换原理、MPLS的标记分配过程、MPLS路由器的结构、MPLS的特点和应用

# 无连接的分组交换——传统IP (3层)

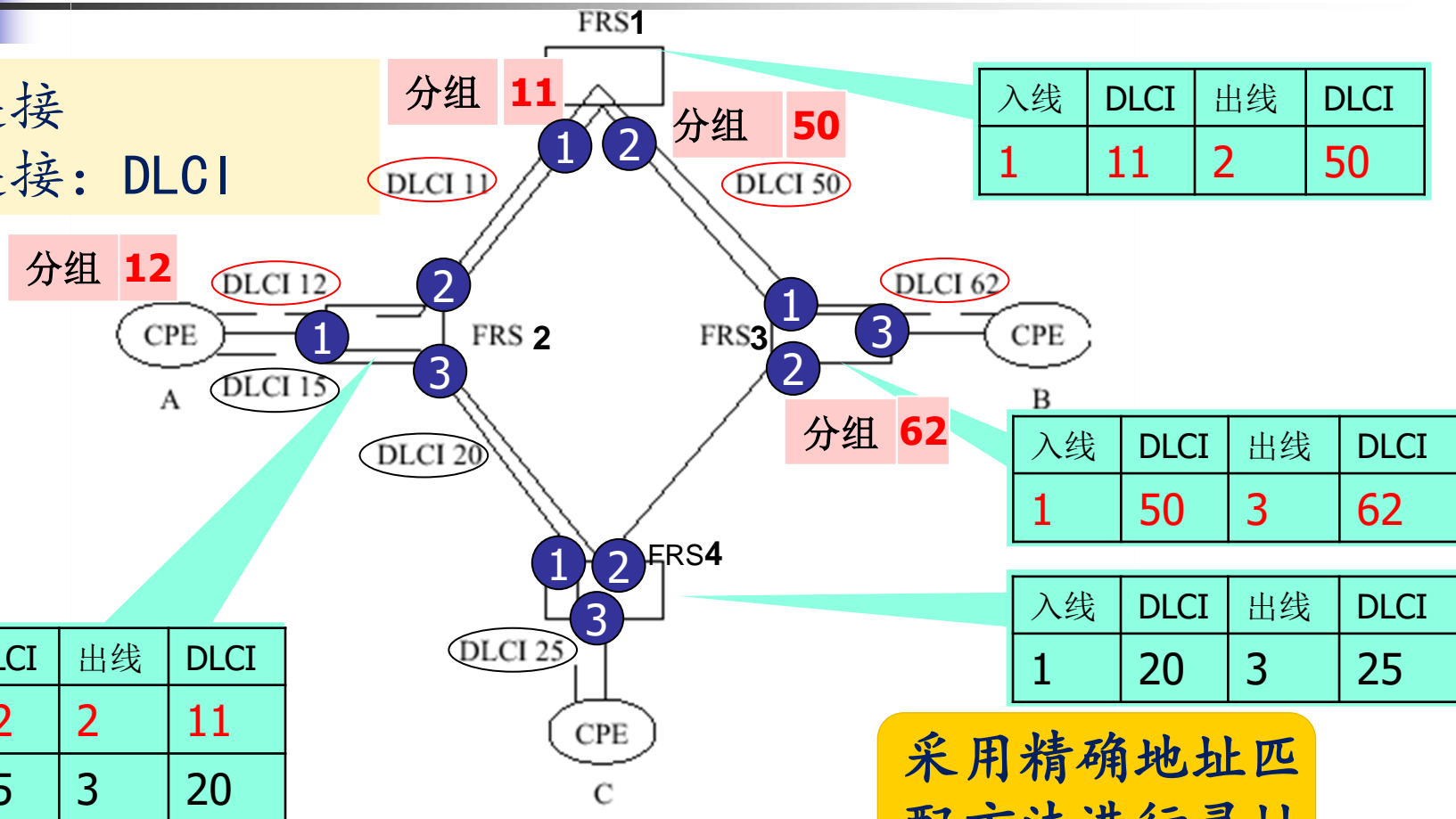


采用最长地址匹配方法进行寻址

路由选择和数据转发同时进行

# 面向连接的分组交换——帧中继 (2层)

面向连接  
逻辑连接: DLCI



注: FRS—帧中继交换机 CPE—用户前端设备

DLCI—数据链路连接标识符

从A到B的帧中继逻辑链路—DLCI的12, 11, 50, 62

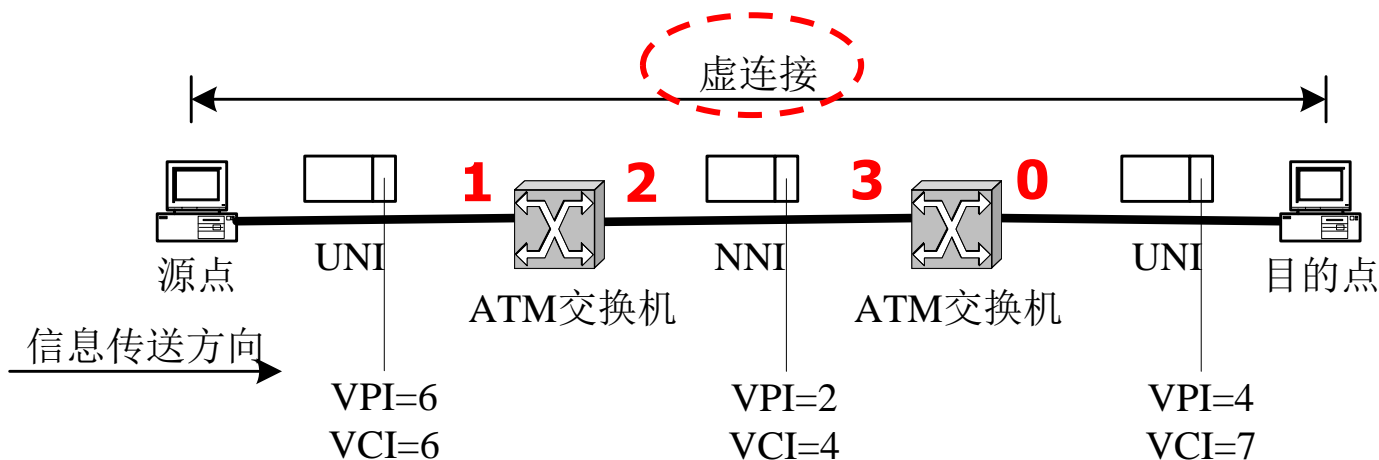
从A到C的帧中继逻辑链路—DLCI的15, 20, 25

采用精确地址匹  
配方法进行寻址

路由选择和数据  
转发分开进行

# ATM交换

面向连接  
逻辑连接: VPI/VCI



入端口	入信头	出端口	出信头
1	VPI=6 VCI=6	2	VPI=2 VCI=4

入端口	入信头	出端口	出信头
3	VPI=2 VCI=4	0	VPI=4 VCI=7

采用精确地址匹配方法进行寻址

路由选择和数据转发分开进行



# 传统IP、帧中继、ATM交换技术比较

如何在已有**IP**路由技术的基础上，结合面向连接的优势？

## ■ 传统**IP**的路由技术

- **最长匹配**算法对包头信息和路由表项进行匹配，*路由判决过程复杂*
- **无连接**，路由表更新与网络状态相关，与交换需求无关，表项少
- 工作在3层，**慢**，不利于实时业务和QoS保障

## ■ 帧中继**FR**的交换技术

- **精确匹配**算法对帧头中已知位置、固定长度的域和转发表项进行匹配，*转发判决过程相对简单*
- **面向连接**，按照交换需求进行**DLCI**变换表的更新，表项多
- 工作在2层，**快**

## ■ **ATM**的交换技术

- **精确匹配**算法对信头中已知位置、固定长度的域和转发表项进行匹配，*转发判决过程相对简单*
- **面向连接**，按照交换需求进行信头翻译表的更新，表项多
- 工作在**ATM**层，**快**，有利于实时业务和QoS保障



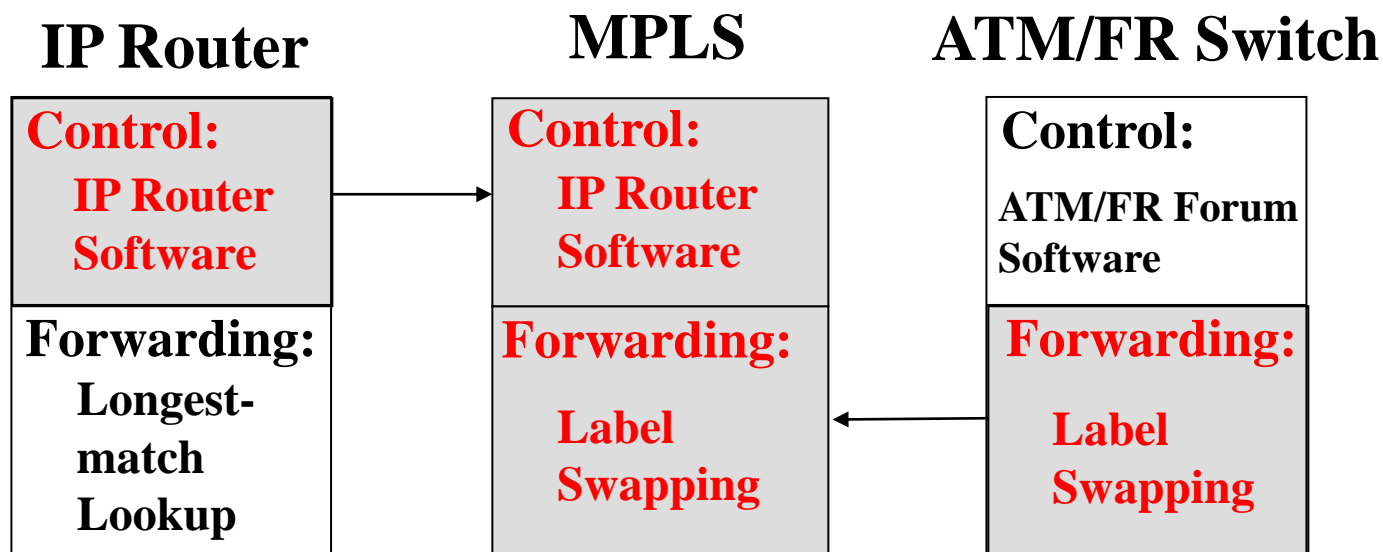
# MPLS的概念

---

- Multi-Protocol Label Switching
- MPLS是一个可以在多种第二层媒质上进行标记交换的网络技术；它结合了第二层的交换和第三层路由的特点，将第二层的基础设施和第三层的路由有机地结合起来
- MPLS是一种有效的封装机制，通过在Packets（可以是IP packets、AAL5、frames）上使用标记Labels进行数据传递
- 同时可以支持多协议，也就是说它不仅支持多种上层网络协议，包括IPv4、IPv6等，而且可以运行于不同底层（ATM、FR、PPP）的网络之上，使得多种网络的互连互通成为可能

# MPLS的基本模型

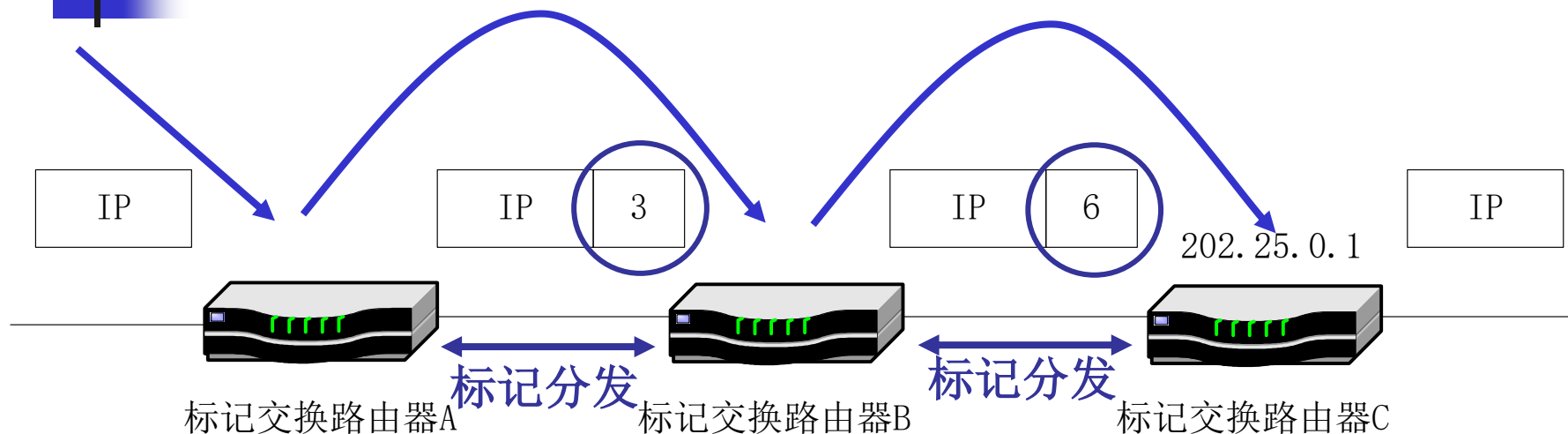
- MPLS是一种结合分组路由和电路交换的混合模型



- 使用**固定长度**的**标记**表示转发信息，使用**精确匹配**算法进行转发判决，故称**标记交换**

# MPLS的技术思路

逻辑连接：label（标记）



目的地址	出标记
202.25.0.1	3

目的地址	入标记	出标记
202.25.0.1	3	6

目的地址	入标记
202.25.0.1	6

## LSP (Label Switching Path)

采用精确地址匹配方法进行寻址

路由选择和数据转发分开进行

- 1、传统路由协议选路
- 2、无连接变面向连接
- 3、增加标记分发协议

# MPLS技术特点（1）

与**ATM**、**FR**类似的特点

- 以路由判决为基础
  - 先使用相关协议为信息流建立虚连接
  - 分组按分配的标记为基础进行转发
- 以分组头的定长字段标识虚连接
  - MPLS——Labels; ATM——VPI/VCI; FR——DLCI
- 标记是本地（逐段）有效的
  - 通过交换结点进行标记的置换

## MPLS技术特点（2）

与ATM、FR不同的特点

- 标记可以任意级
  - 而VPI/VCI或DLCI只有一级
  - MPLS标记可以包含在VPI/VCI、DLCI、MPLS填充头（Shim Header）中
- MPLS的协议数据单元（PDU）允许变长
  - ATM信元长度固定
- MPLS可以使用多种2层网络技术
  - Ethernet、PPP、FR、ATM、光交换.....
- 允许直接使用已有的路由技术，不局限于ATM

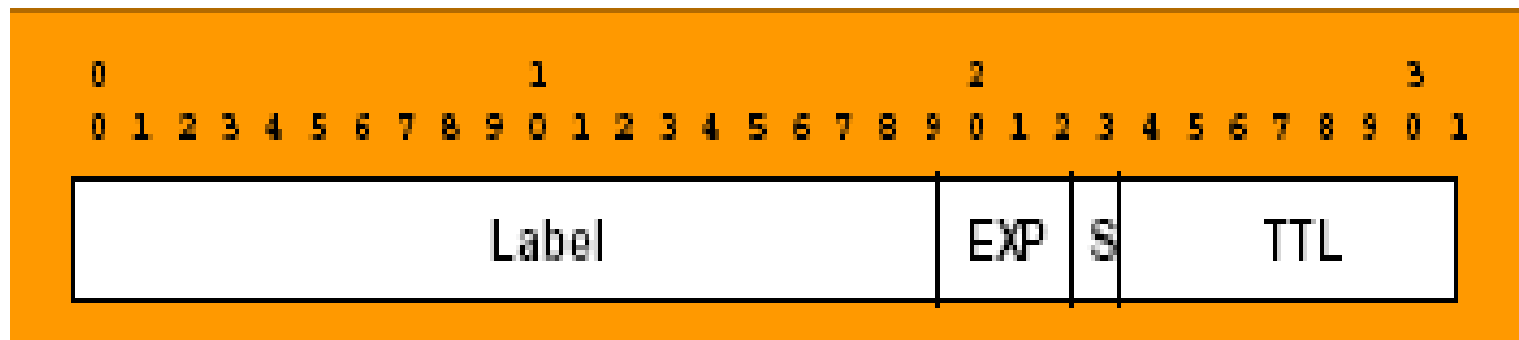


# 3.多协议标记交换MPLS

MPLS的概念、MPLS的交换原理、MPLS的标记分配过程、MPLS路由器的结构、MPLS的特点和应用

# MPLS的标记格式

## 填充标记栈（Shim label stack）



Label = 20 bits

COS/EXP = Class of Service, 3 bits

服务质量

S = Bottom of Stack, 1 bit

用于多级标记

TTL = Time to Live, 8 bits

- ✓ 可以承载在多种2层网络上：Ethernet, 802.3, PPP
- ✓ 包含转发时所需的全部信息
- ✓ 每级标记（包括Label、EXP、S、TTL）长度32 bits



# MPLS的标记格式——标记封装

- 可以使用多种2层网络技术

PPP Header

(Packet over SONET/SDH)

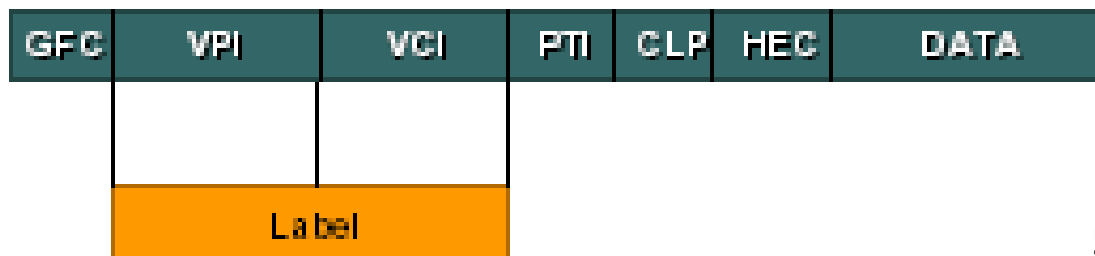


One or More Labels Appended to the Packet

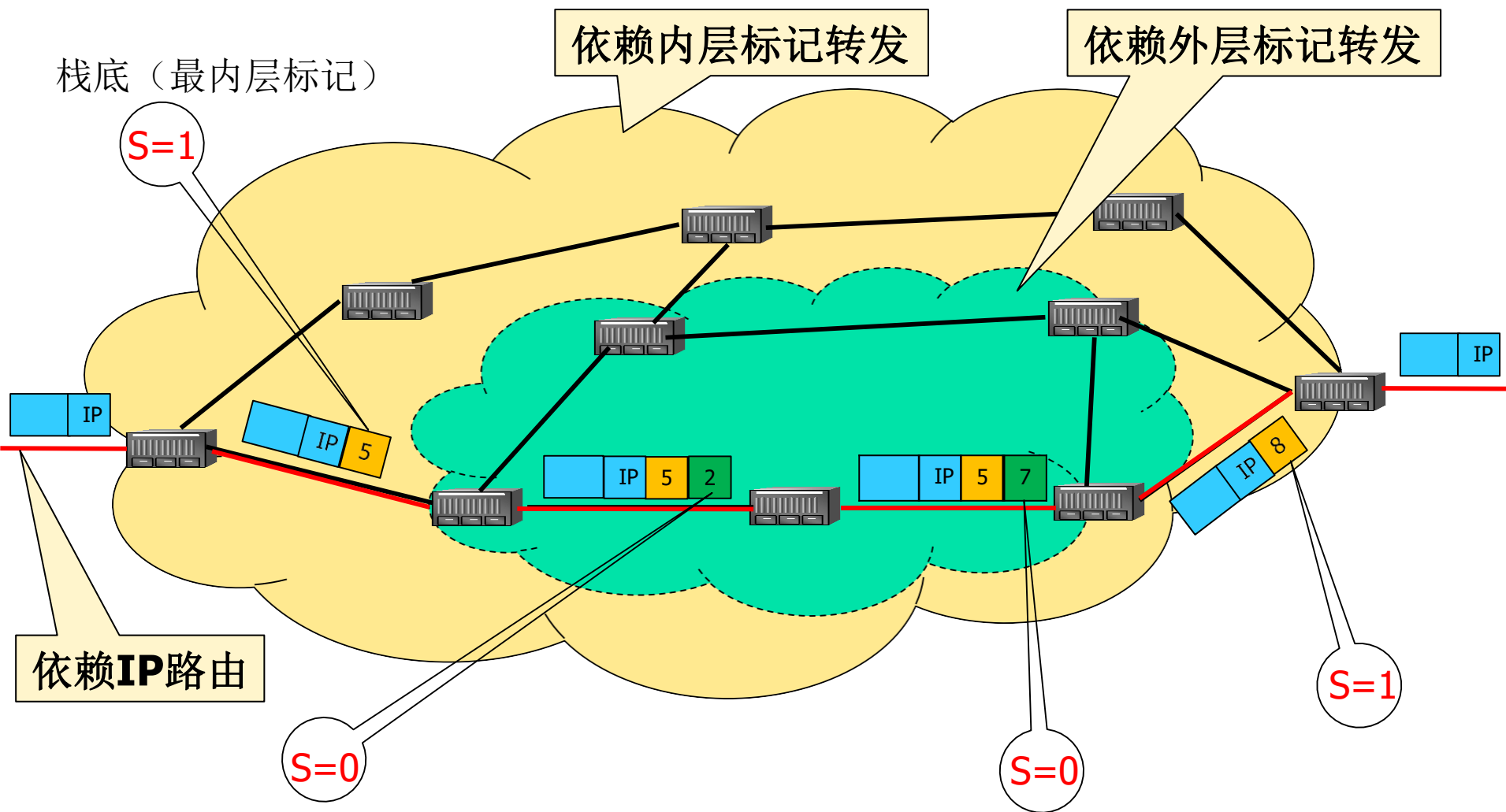
LAN MAC Label Header



ATM MPLS Cell Header

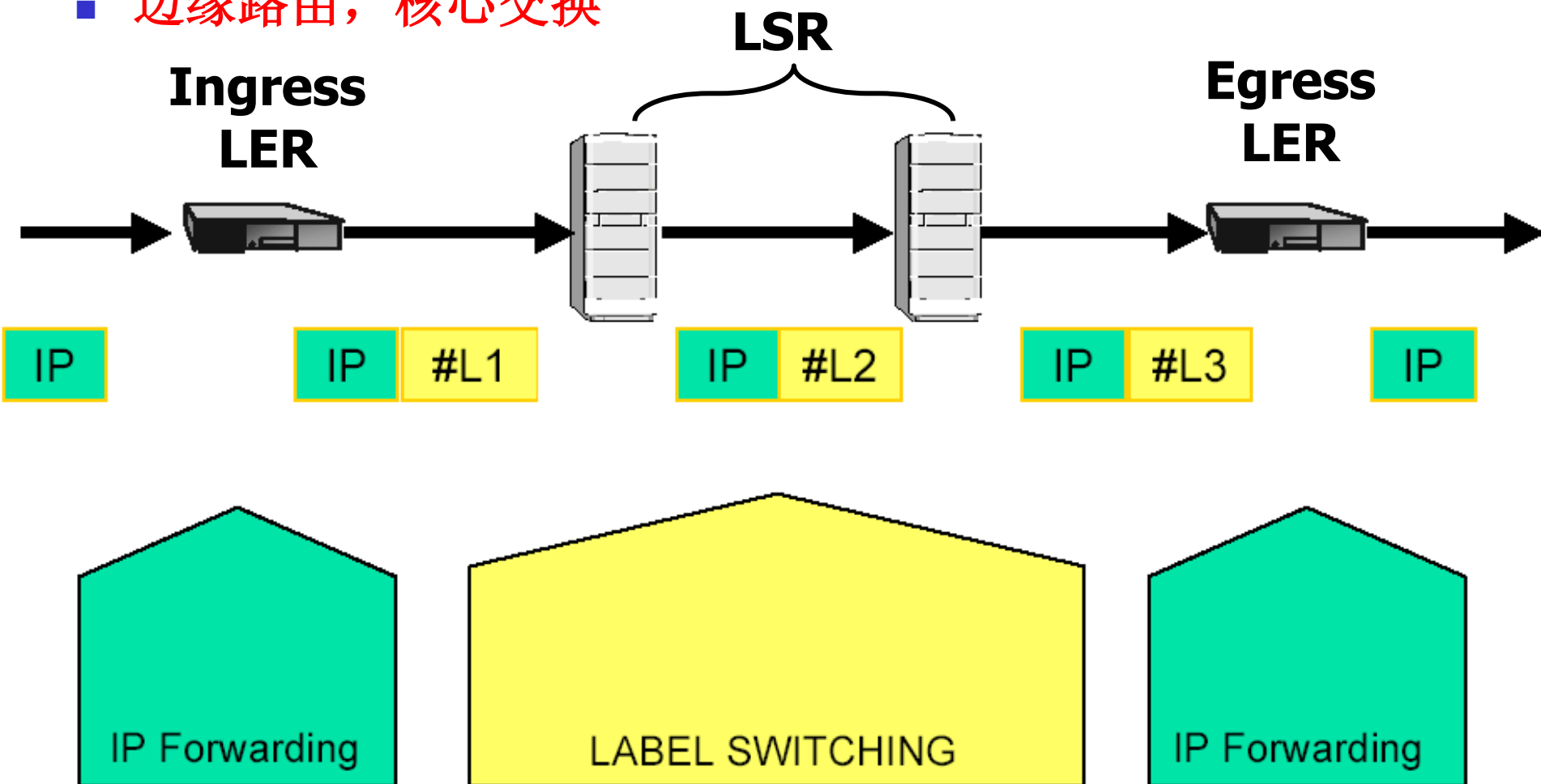


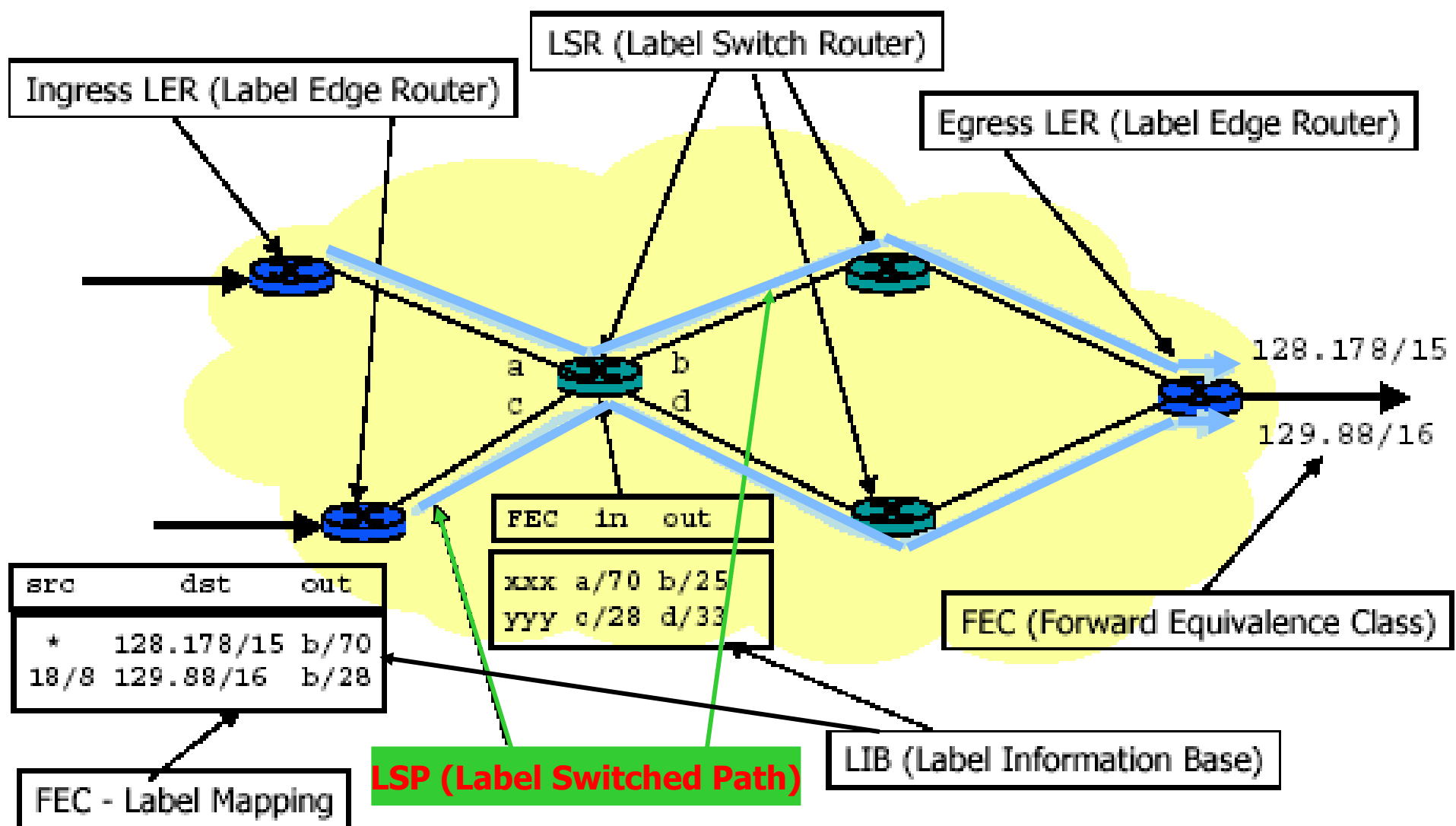
# MPLS的标记格式——多级标记



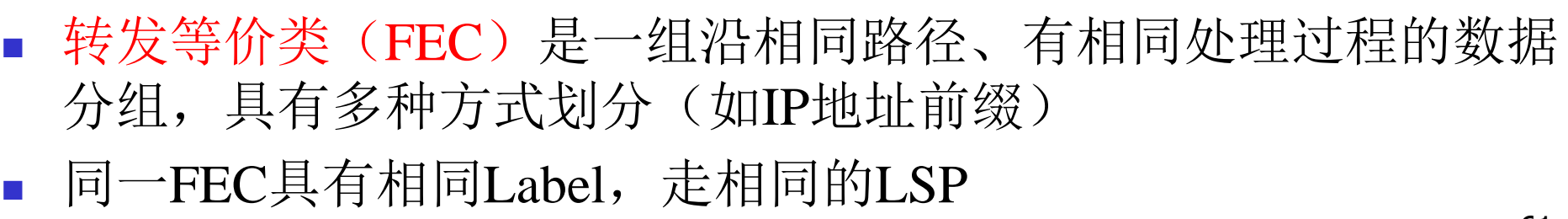
# MPLS网络的基本思想

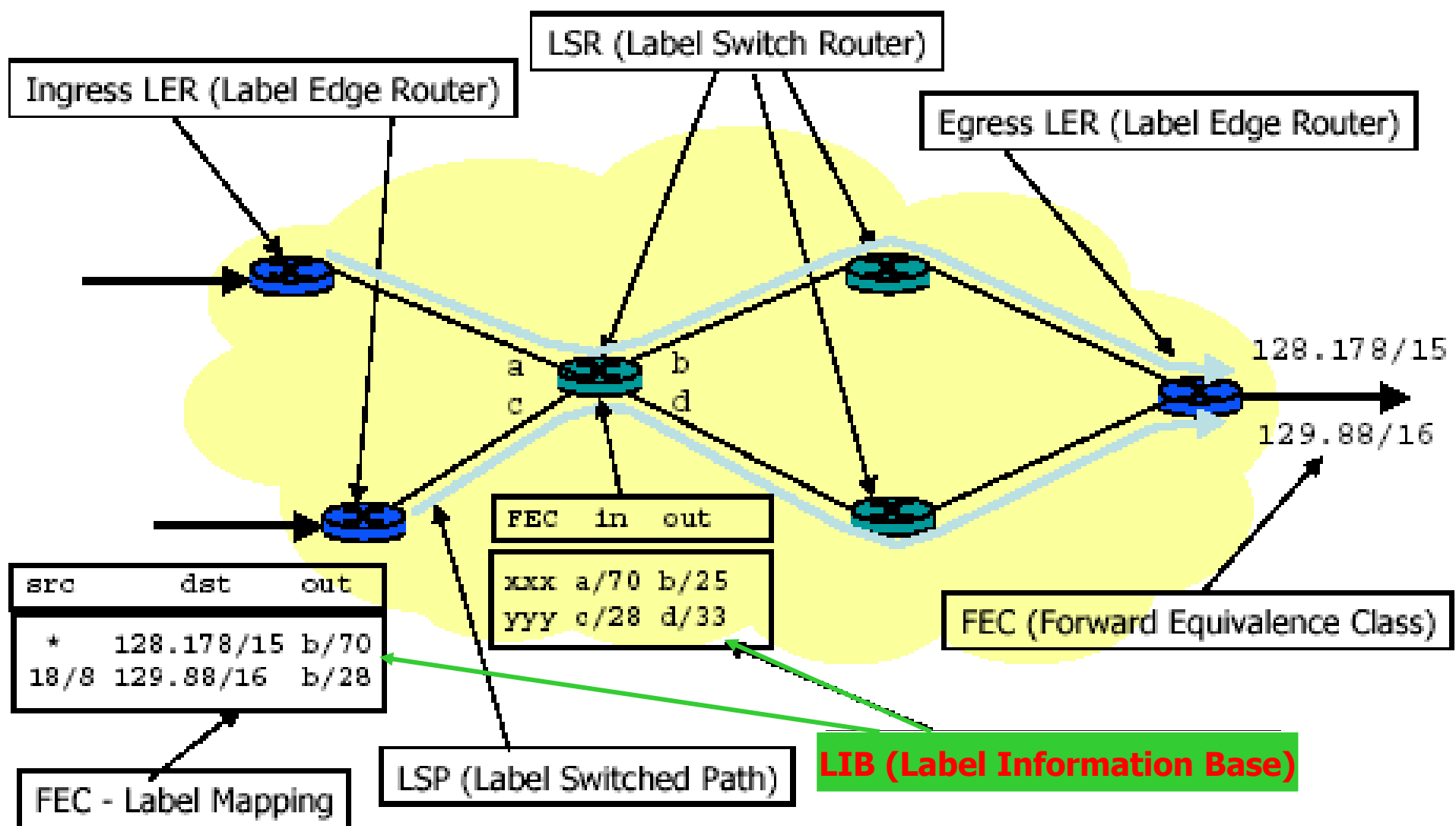
- 边缘路由，核心交换



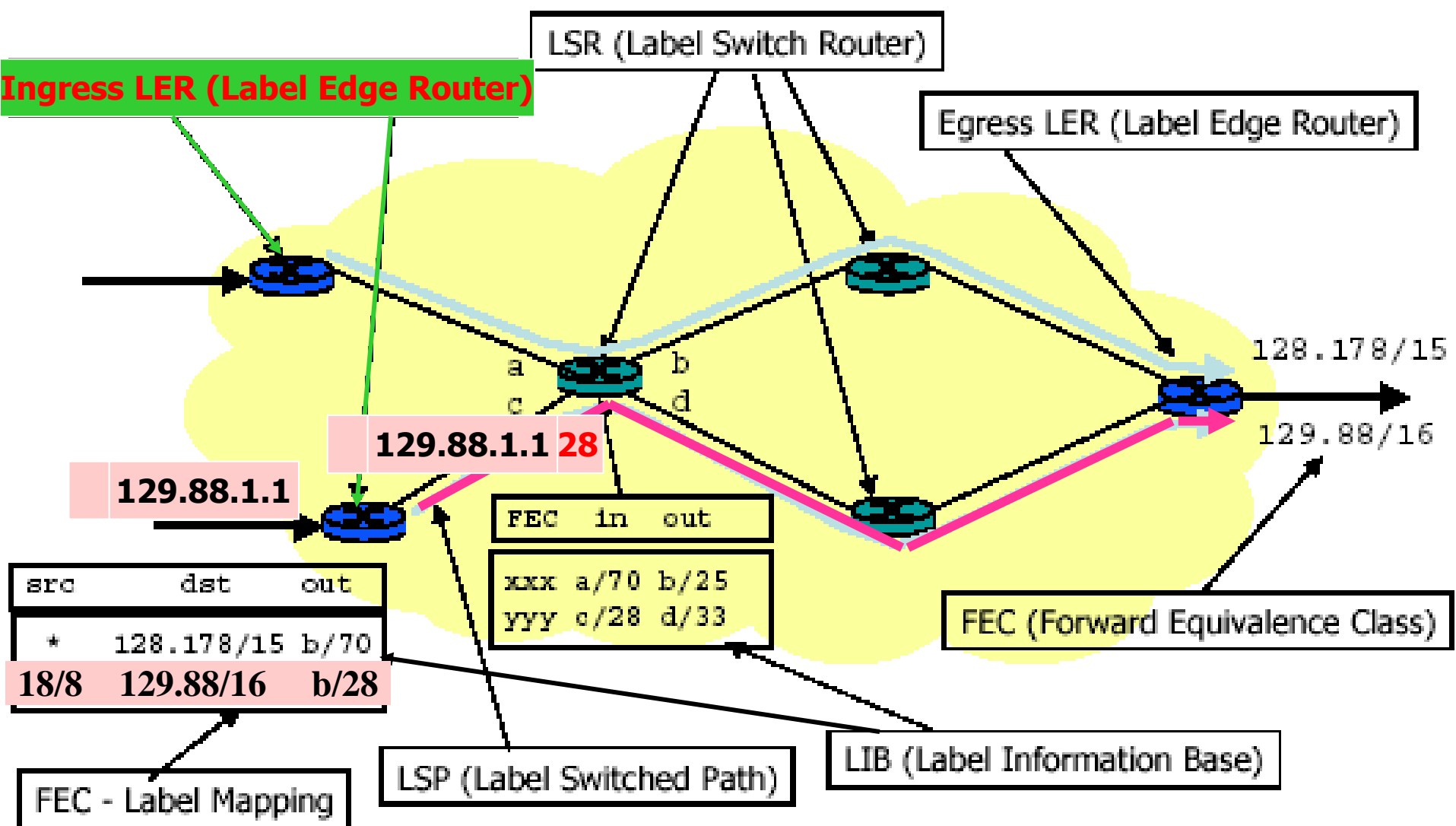


- **标记交换路径（LSP）** 是在某逻辑层次上（相应于标记栈）由多个标记交换路由器（LSR）组成的交换式分组传输通路
- LSP来自虚电路的思想，类似于ATM中的虚连接

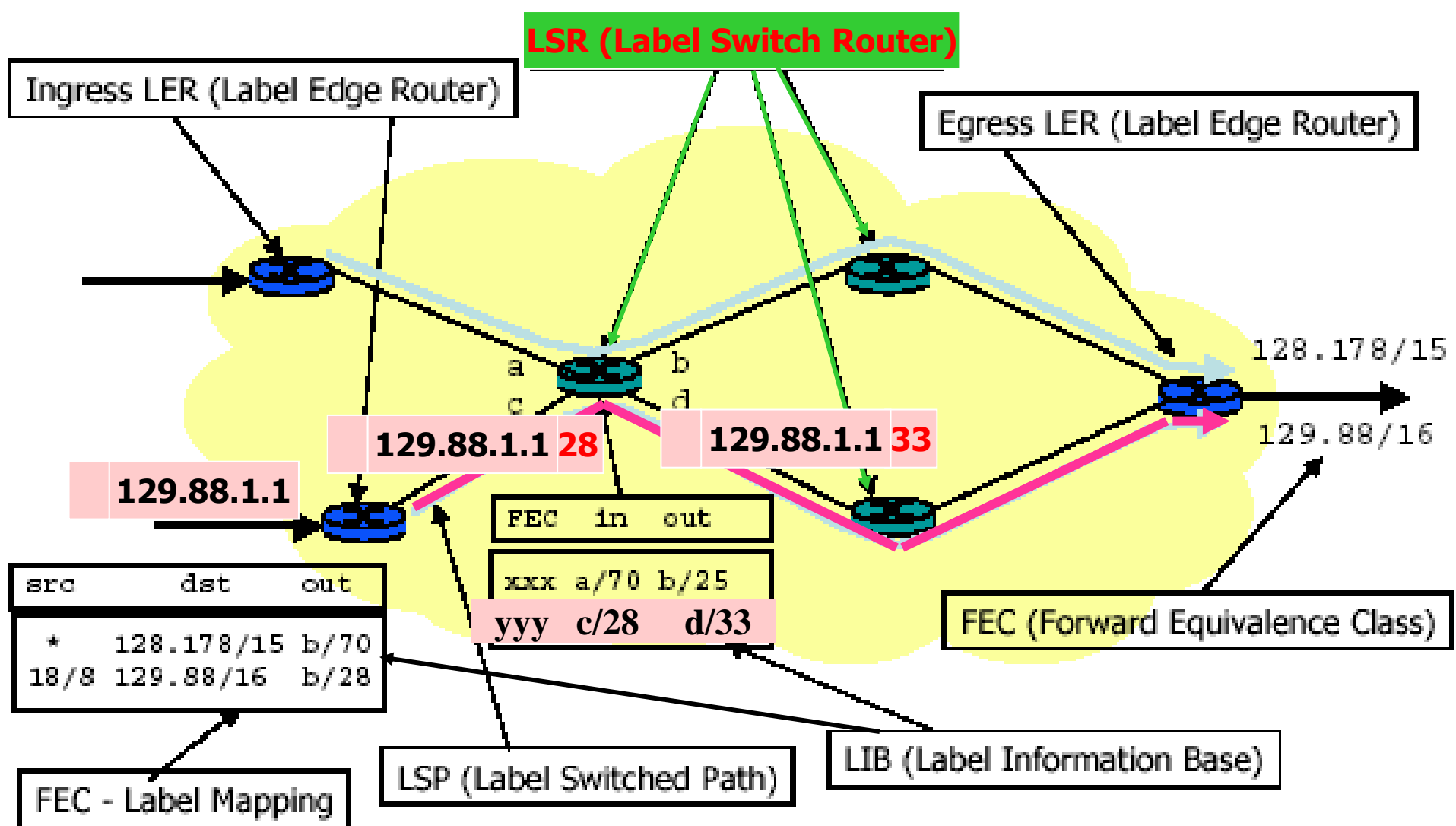




■ 标记信息库（LIB）保存转发一个打标分组所需要的信息

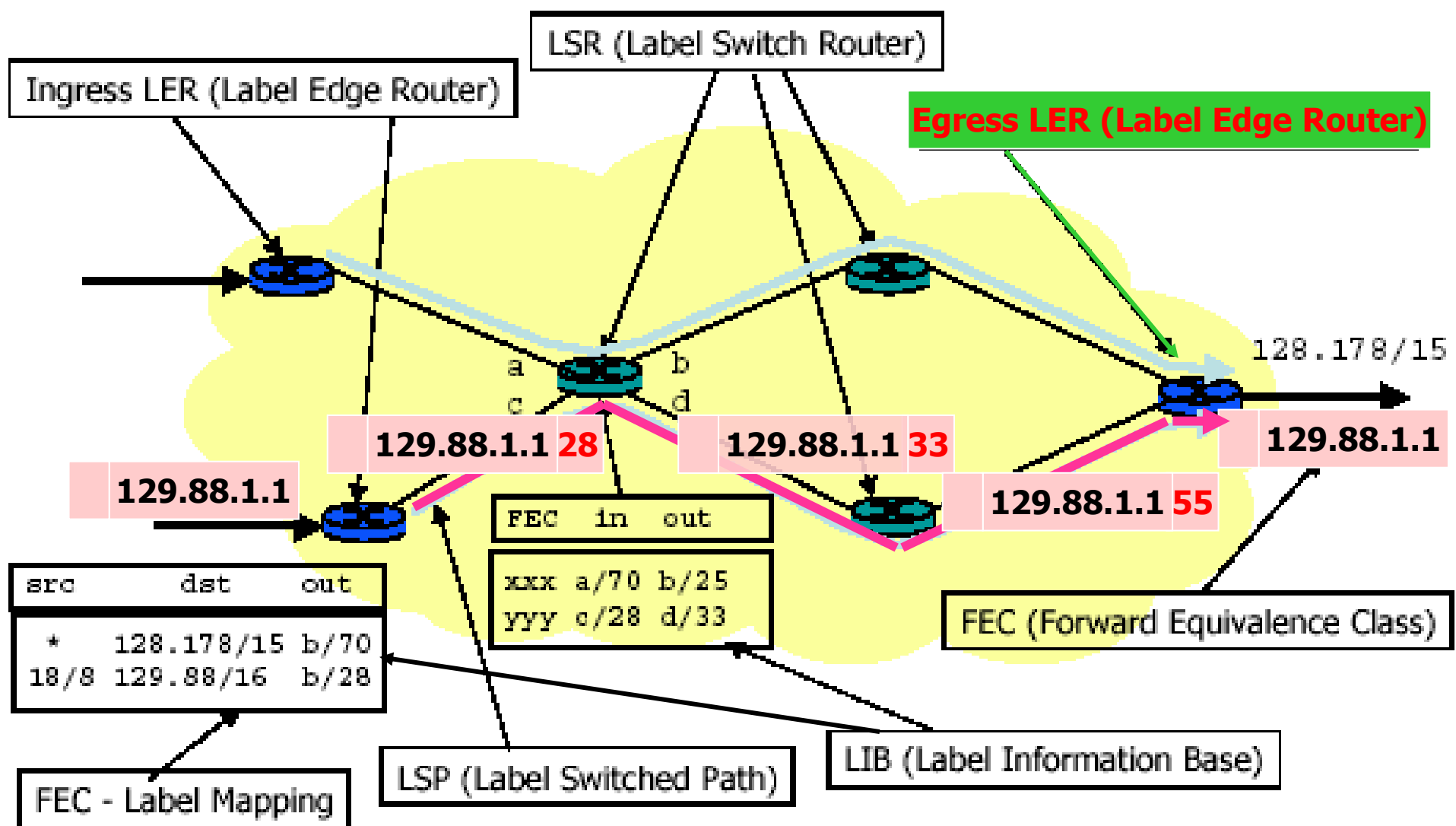


- **入口标记边缘路由器（Ingress LER）**对入口IP分组分类，确定FEC；为其生成Label，映射到LSP下一跳的标记上
- 转发分组时，LER根据FEC得到下一跳的Label，将Label插入IP包头，从下一跳端口发送



- 标记交换路由器（LSR）需要维护LIB
- LSR完成标记置换——收到打标分组后，提取入局Label，查LIB，取出出局Label，将新Label代替IP包头中的旧Label，从下一跳端口发送





- 出口标记边缘路由器（Egress LER）去掉封装的Label，按IP路由方式继续传送

# MPLS基本交换原理

**LSP**是针对**FEC**建立的，不是针对呼叫建立的，与**ATM**的**SVC**（交换虚连接）概念不同

## ■ 建立连接

- 通过LDP（普通标记分配协议）等协议，在LSR和LER、LSR和LSR之间完成**标记信息的分发**，形成与FEC对应的**LSP路径**

## ■ 数据传输

- **入口LER**：接收分组，完成第三层功能，**判定分组所属的FEC**，并给分组**加上标记**形成MPLS标记分组
- **LSR**：依据分组上的标记以及标记转发表通过交换单元对其进行**转发**，不再进行任何第三层处理
- **出口LER**：将分组中的**标记去掉**后转发至目的地

## ■ 拆除连接

- **取消标记**，释放LSP



# 3.多协议标记交换MPLS

MPLS的概念、MPLS的交换原理、MPLS的标记分配过程、MPLS路由器的结构、MPLS的特点和应用



# MPLS路径管理与标记分配

---

## ■ 控制面

- 处理MPLS的**路由**和**标记分配**等协议，负责LSP的建立、拆除、维护、重建等
- 本质是控制FEC与LSP的对应关系

## ■ 转发面

- 规定如何利用标记进行数据传输
- 标记的格式和封装



# 标记分配协议

---

## 用于分配**Label**，建立**LSP**

- LDP——普通标记分配协议 ★
- CR-LDP——限制路由的标记分配协议
- RSVP Extension——扩展的资源预留协议

# LDP的标记分配过程（1）

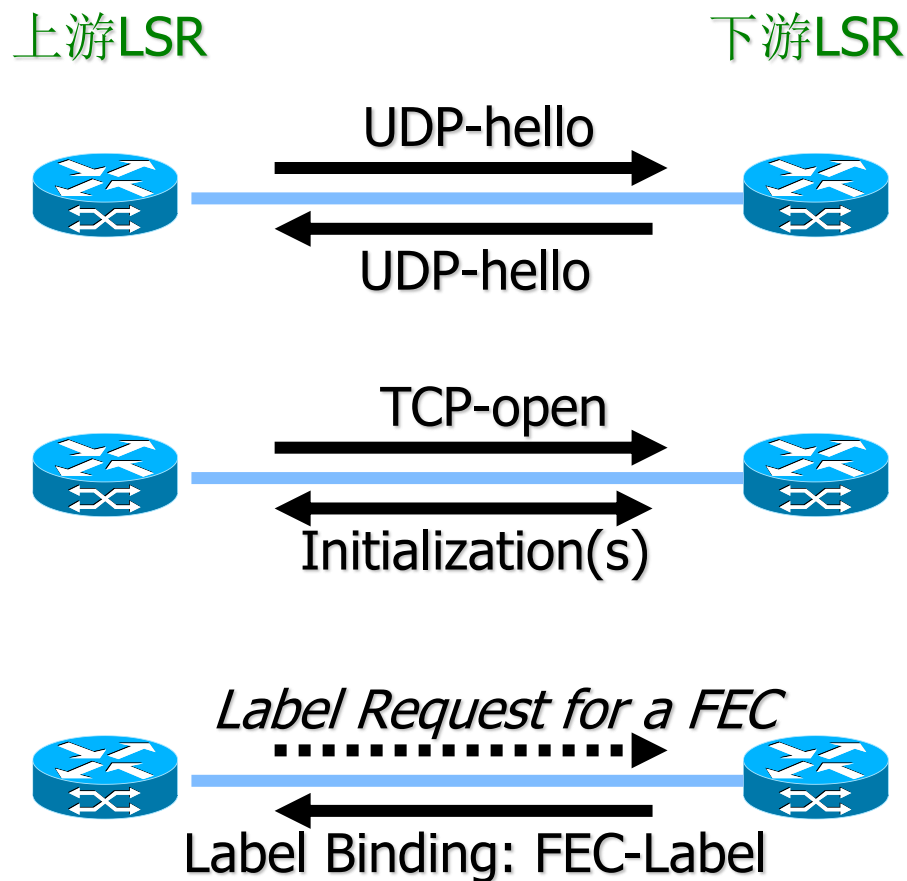
- **发现相邻的LDP对等体**  
使用**UDP**广播，发现相邻**LSR**

- **建立LDP会话**

相邻**LSR**间建立**TCP**连接，并建立**LDP**会话

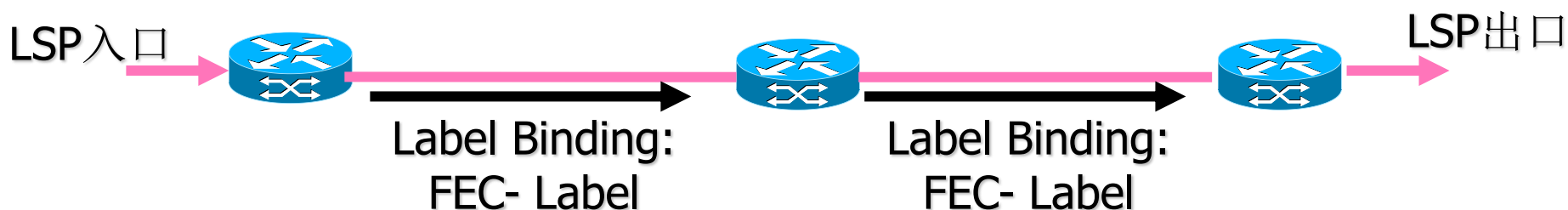
- **建立LSP**

上游标记分配、下游主动标记分配、下游按需标记分配

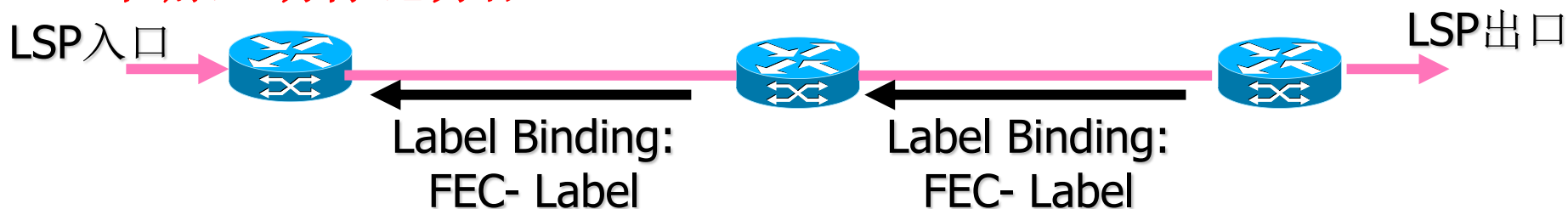


## LDP的标记分配过程（2）

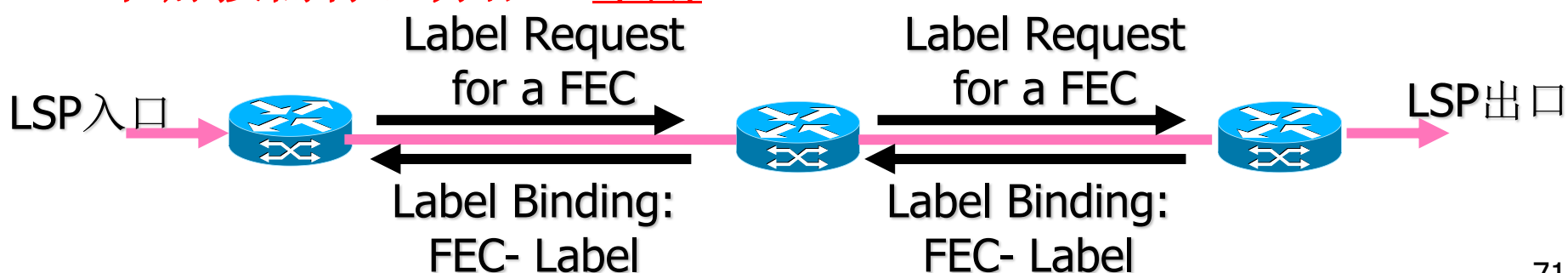
### ■ 上游标记分配（一般不使用）



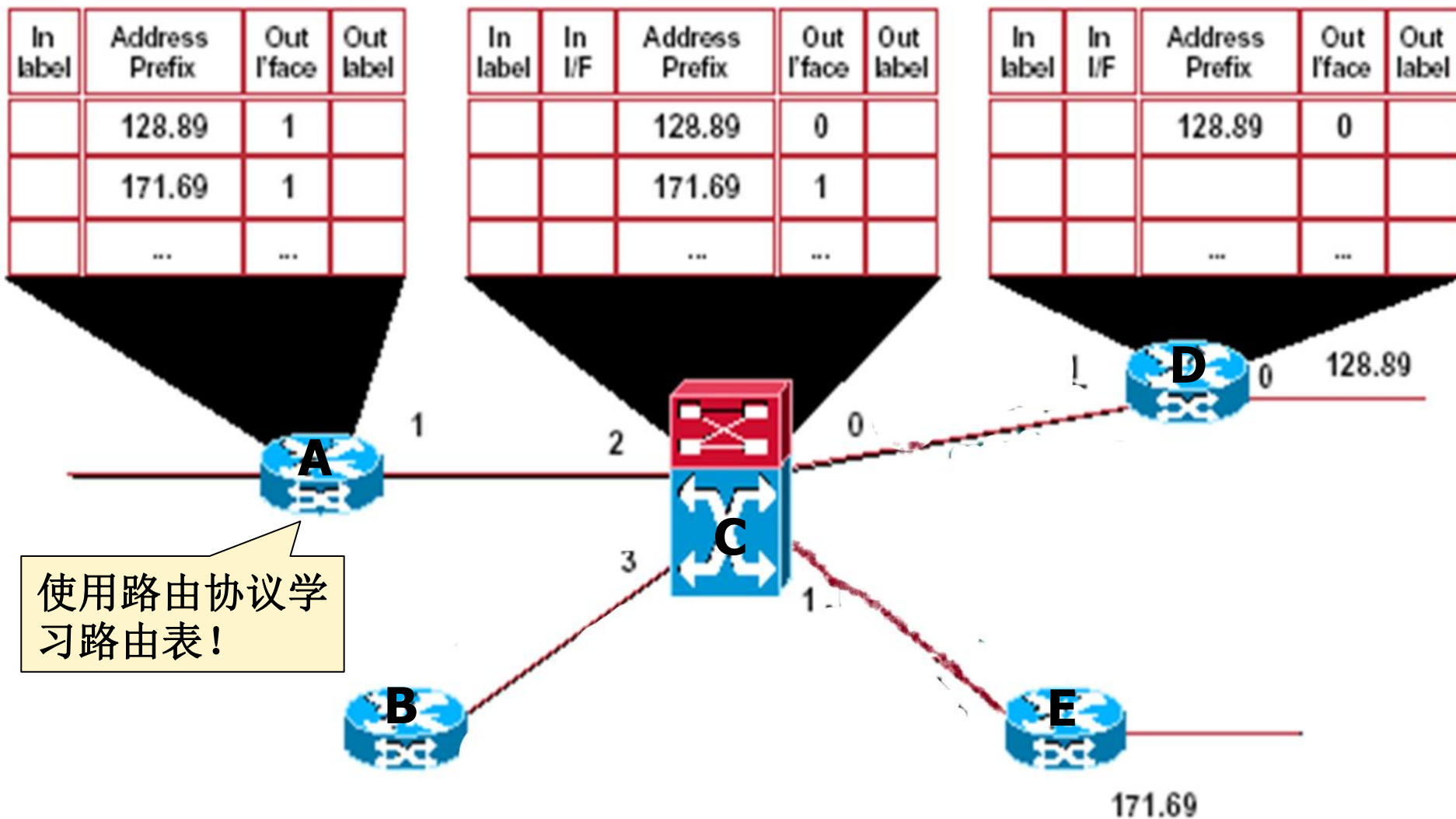
### ■ 下游主动标记分配



### ■ 下游按需标记分配（常用）

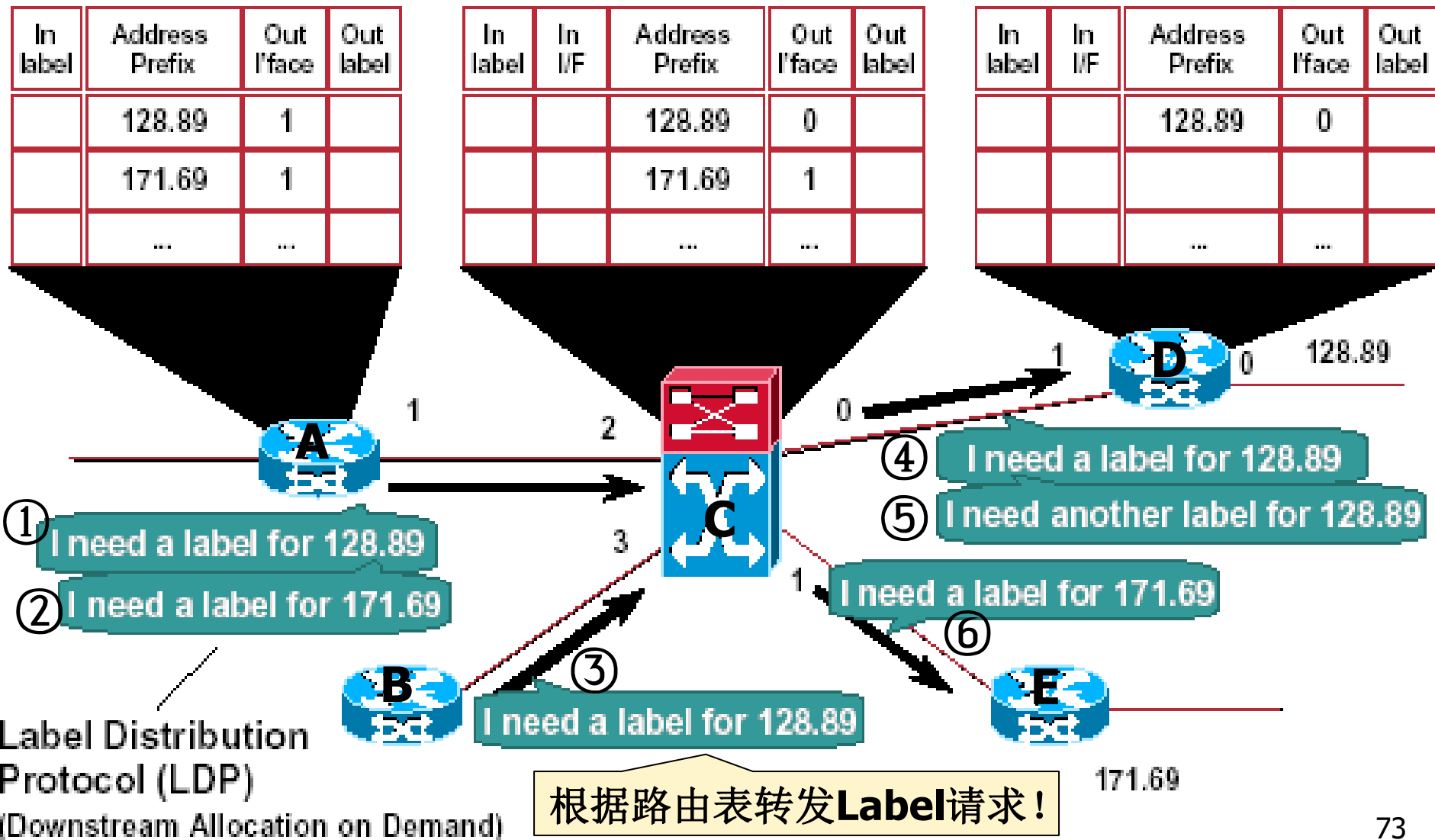


# 标记分配与数据传输举例：建立路由

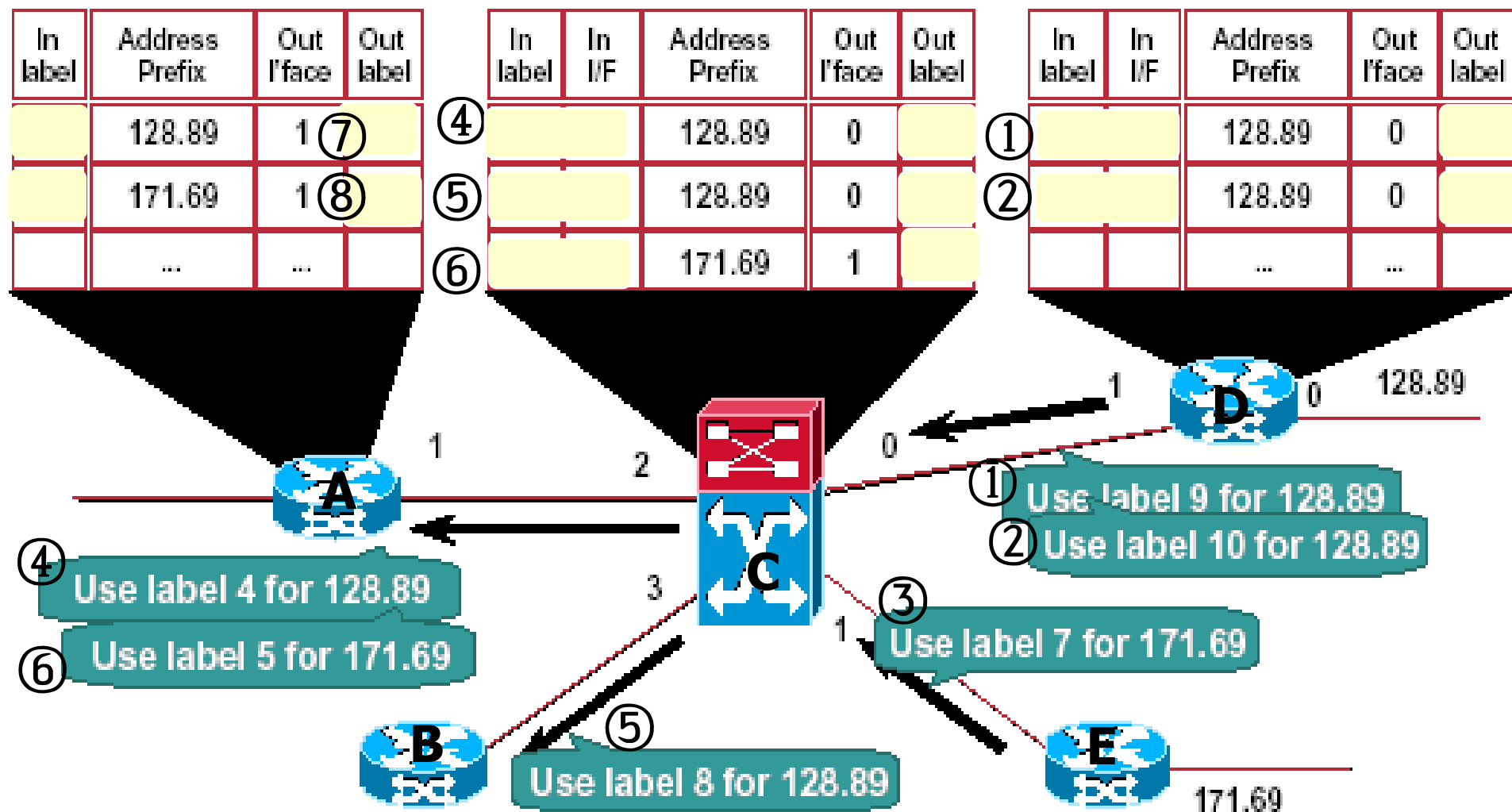




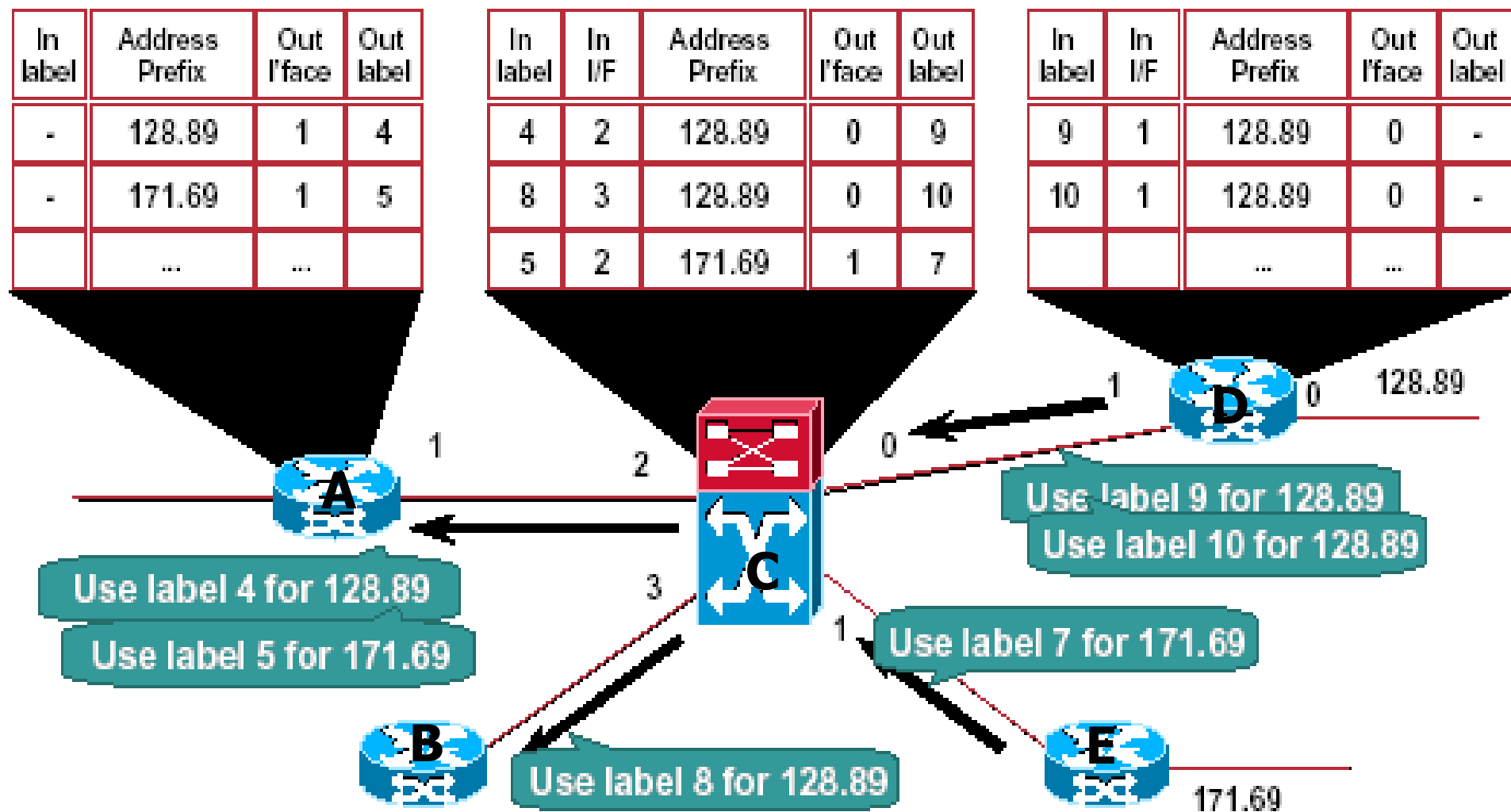
# 标记分配与数据传输举例：标记请求



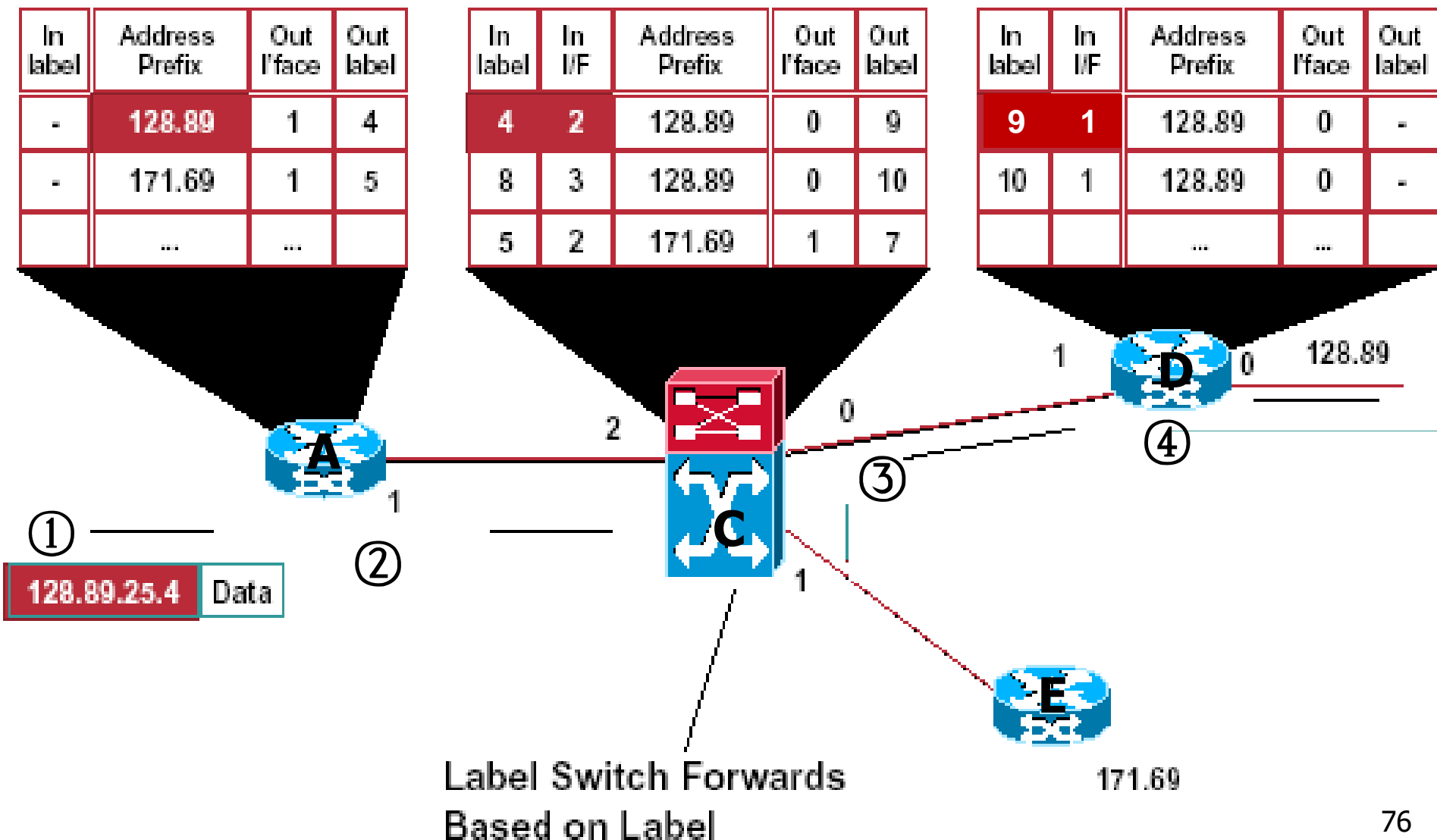
# 标记分配与数据传输举例：标记分配



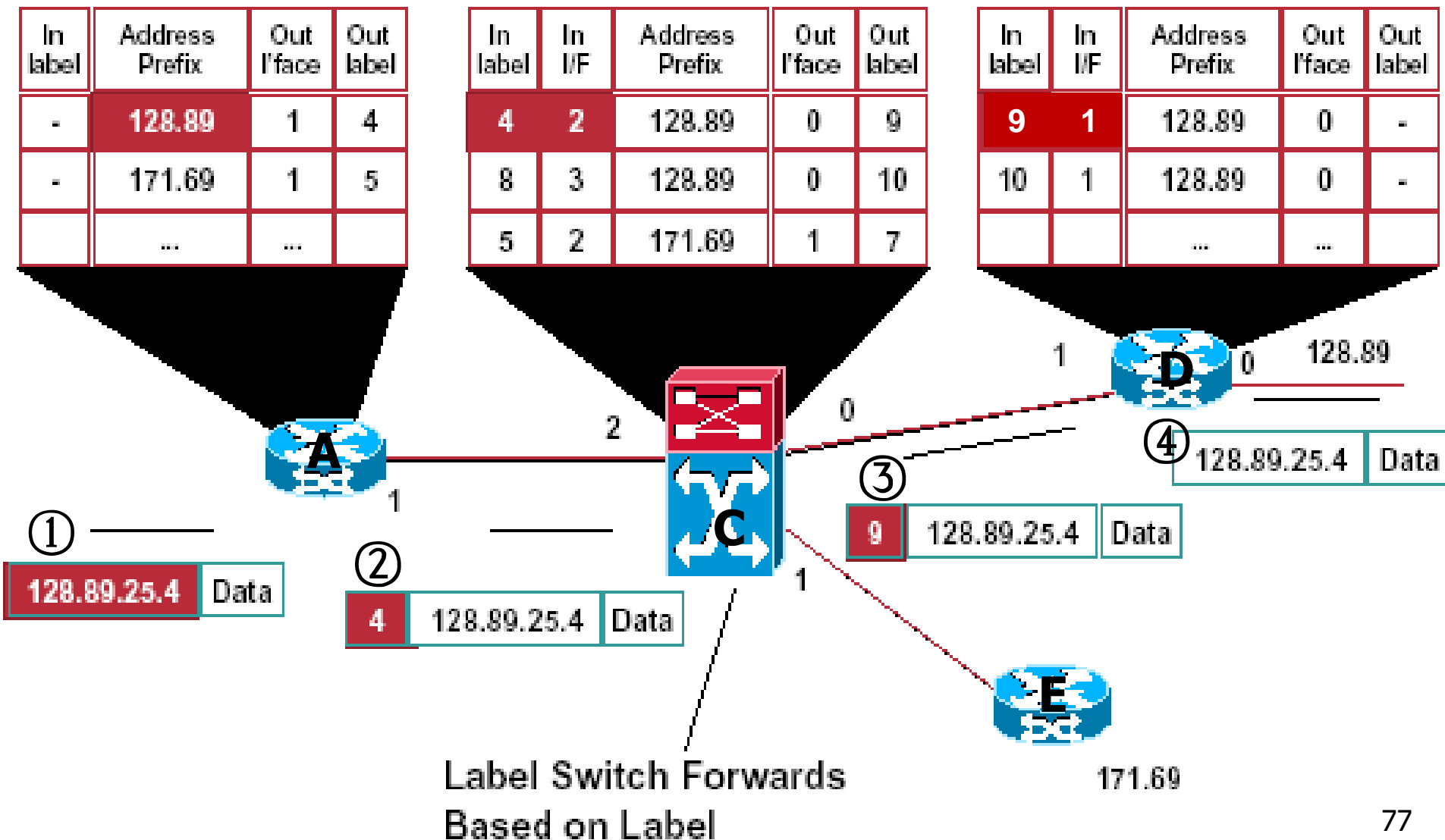
# 标记分配与数据传输举例：标记分配



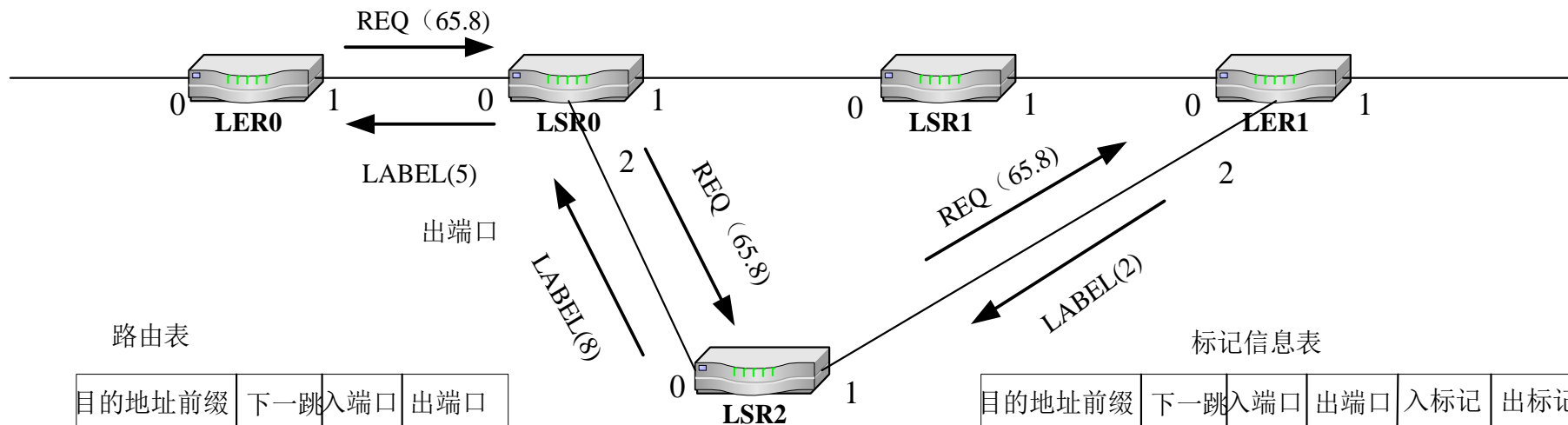
# 标记分配与数据传输举例：分组转发



# 标记分配与数据传输举例：分组转发



# 标记分配与数据传输举例（自学）



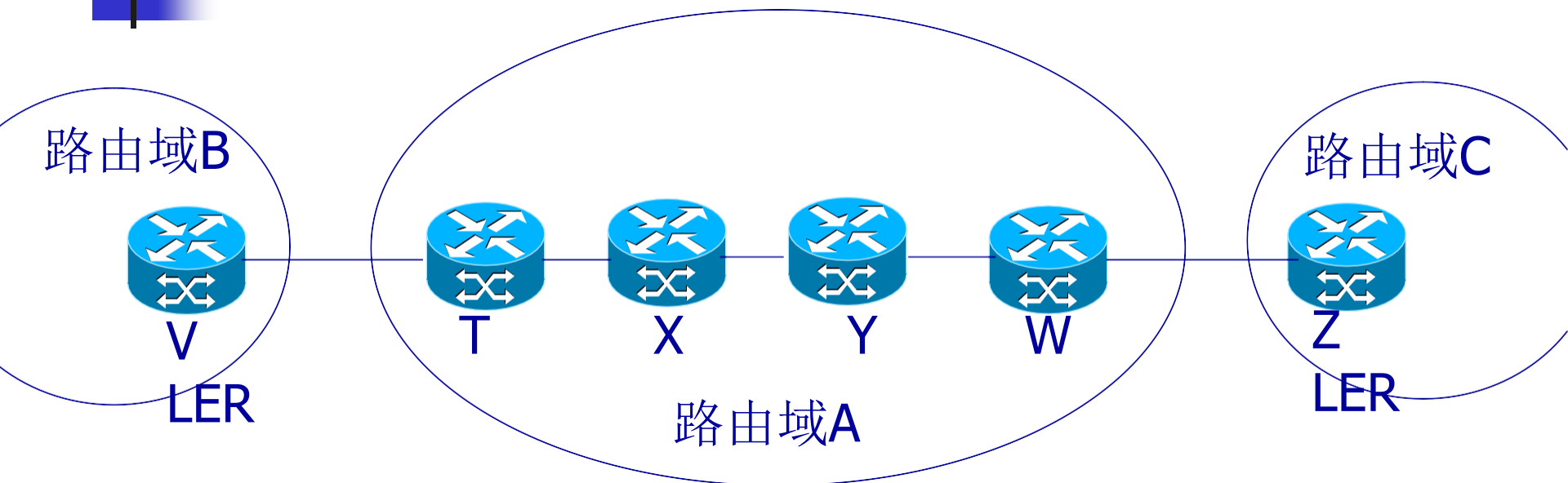
路由表

	目的地址前缀	下一跳	入端口	出端口
LER0	65.8	LSR0	0	1
LSR0	65.8	LSR2	0	2
LSR2	65.8	LER1	0	1
LER1	65.8	----	2	1

标记信息表

	目的地址前缀	下一跳	入端口	出端口	入标记	出标记
LER0	65.8	LSR0	0	1	---	5
LSR0	65.8	LSR2	0	2	5	8
LSR2	65.8	LER1	0	1	8	2
LER1	65.8	----	2	1	2	---

# 多级标记举例（自学）

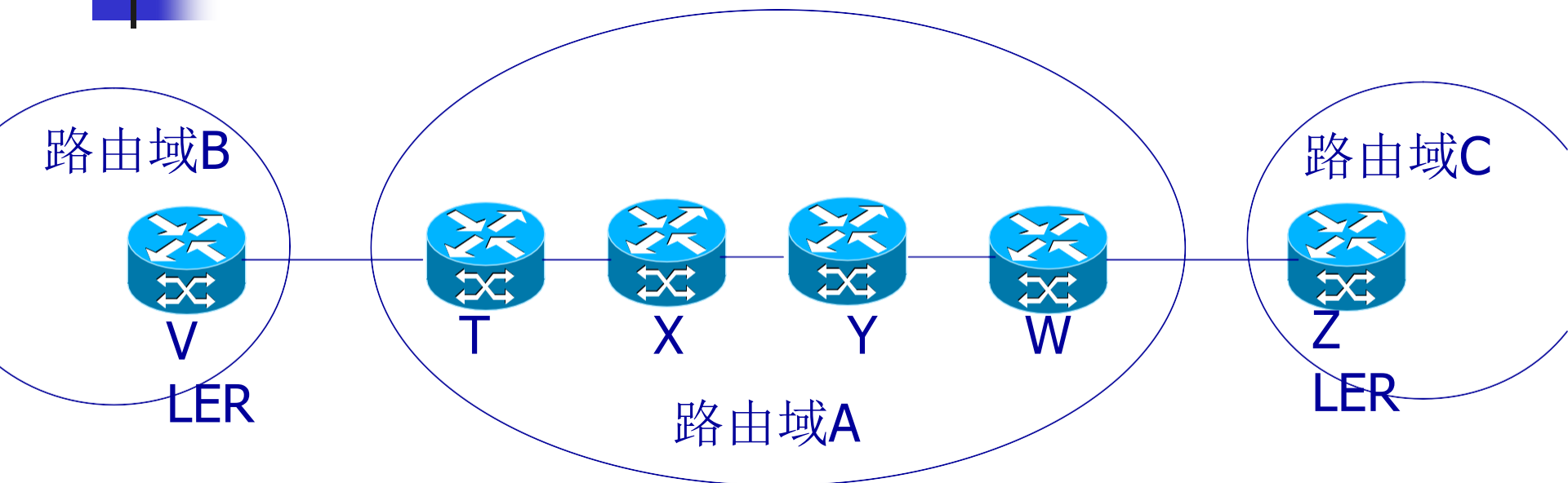


## 域间标记分配:

1. 由域间路由协议BGP建立域间路由表
2. 由LDP建立域间的LSP, 并分配一级标记
3. FEC=Z方向的LIB表项

LER/LSR	输入标记	输出标记	下一跳
V		5	T
T	5	2	W
W	2	6	Z
Z	6		

# 多级标记举例（自学）



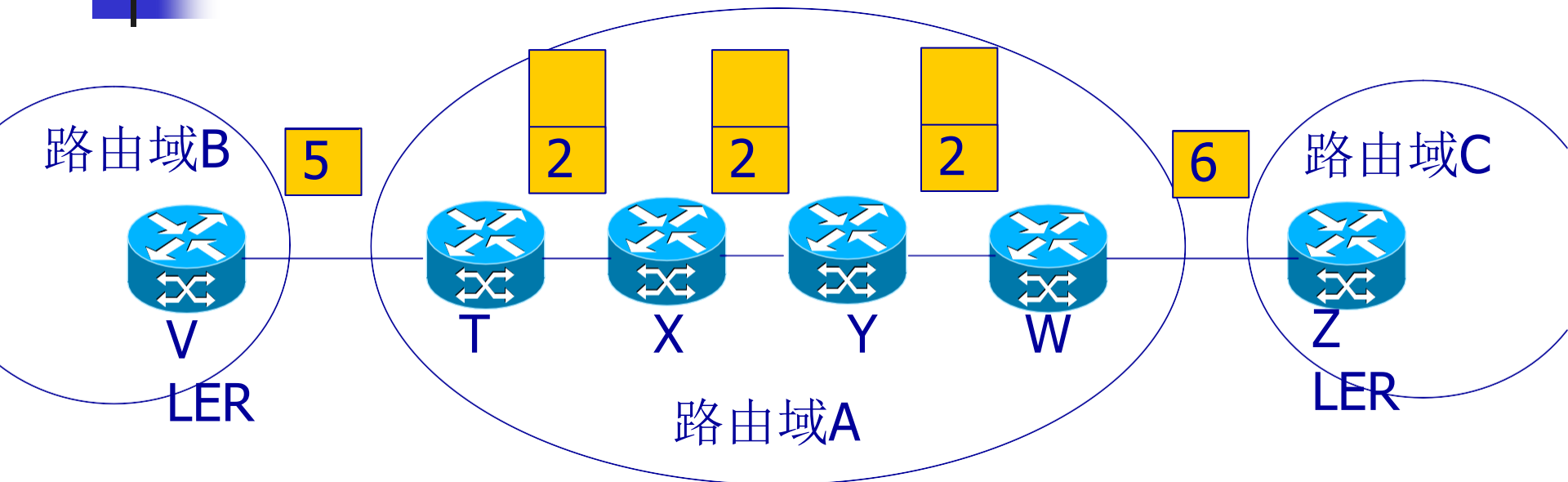
## 域A内标记分配:

1. 由路由协议建立域内路由表
2. 可由LDP建立域内的LSP，并分配二级标记
3. FEC=W的LIB表项

LSR	输入标记	输出标记	下一跳
T		10	X
X	10	12	Y
Y	12	17	W
W	17		



# 多级标记举例（自学）

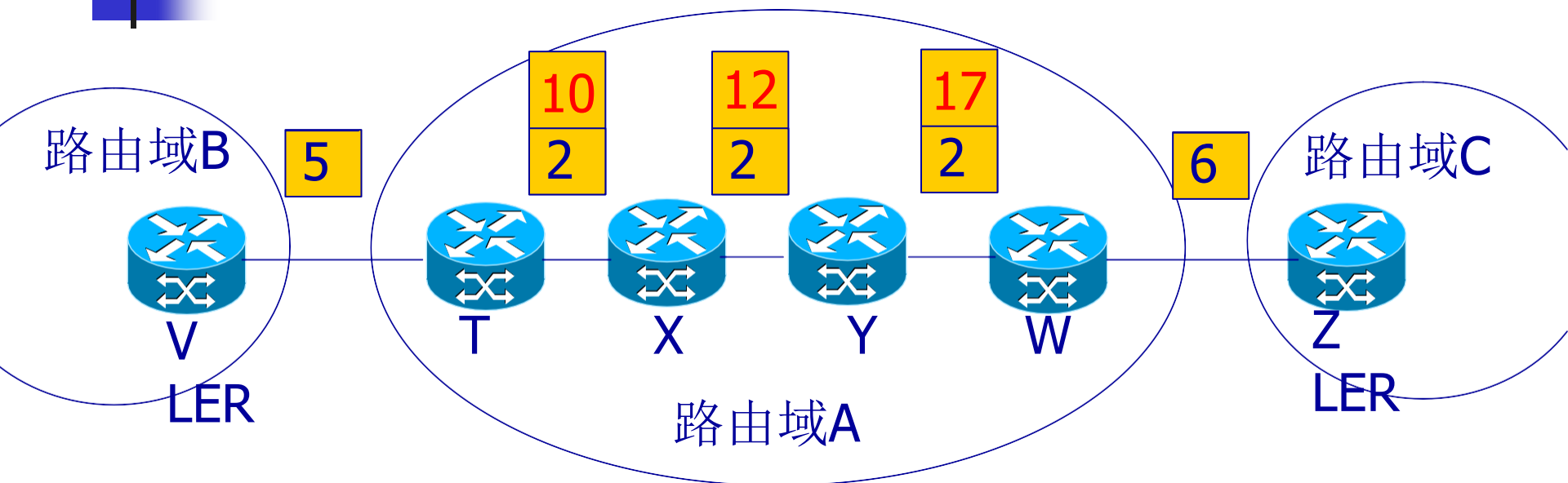


## 域间数据传输:

1. 域间传输工作在一级标记
2. 域间路由的FEC=Z方向的LIB表项

LER/LSR	输入标记	输出标记	下一跳
V		5	T
T	5	2	W
W	2	6	Z
Z	6		

# 多级标记举例（自学）



域A内标记分配：

1. 域A内传输工作在二级标记
2. FEC=W的LIB表项

LSR	输入标记	输出标记	下一跳
T		10	X
X	10	12	Y
Y	12	17	W
W	17		



# 3.多协议标记交换MPLS

MPLS的概念、MPLS的交换原理、MPLS的标记分配过程、  
MPLS路由器的结构、MPLS的特点和应用



# MPLS路由器的分类

## ■ 标记交换路由器LSR

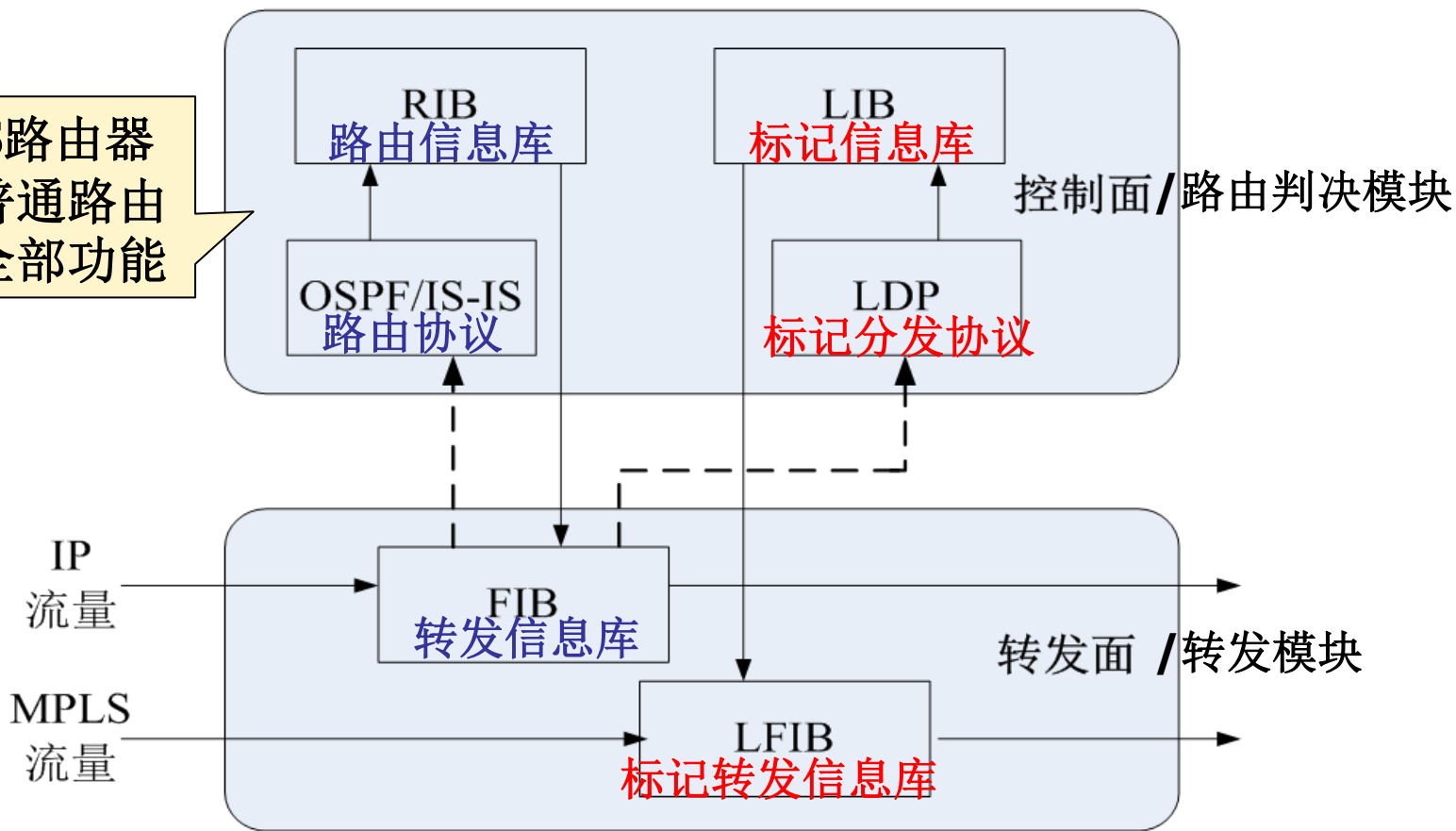
- 运行传统IP选路协议，完成路由控制功能，更新和维护路由表
- 运行MPLS控制协议，以与邻接设备协调FEC/标记的绑定信息
- 建立和维护标记信息库LIB，支持标记交换
- 可以利用传统交换机扩充IP选路，或将传统路由器升级支持MPLS

## ■ 标记边缘路由器LER

- 连接MPLS域和非MPLS域以及不同MPLS域
- 与内部MPLS LSR交换FEC/标记绑定信息
- 确定业务类型，进行FEC划分
- 给分组加标记或删除标记
- 传统IP选路功能
- 实施QoS管理，接入流量工程控制

# MPLS路由器的组成

**MPLS路由器**  
包含普通路由  
器的全部功能





# MPLS路由器的组成

---

## ■ 路由判决模块

- 通过与其他LSR/LER交互创建LFIB表目
- 在LSP被删除或改变时，删除或更新相应LFIB表目

## ■ 转发模块

### ■ 标记转发信息库LFIB

- 由路由判决模块创建，供转发打标分组使用
- 包括多张表：

NHLFE——下一跳标记转发表目

ILM——输入标记映射

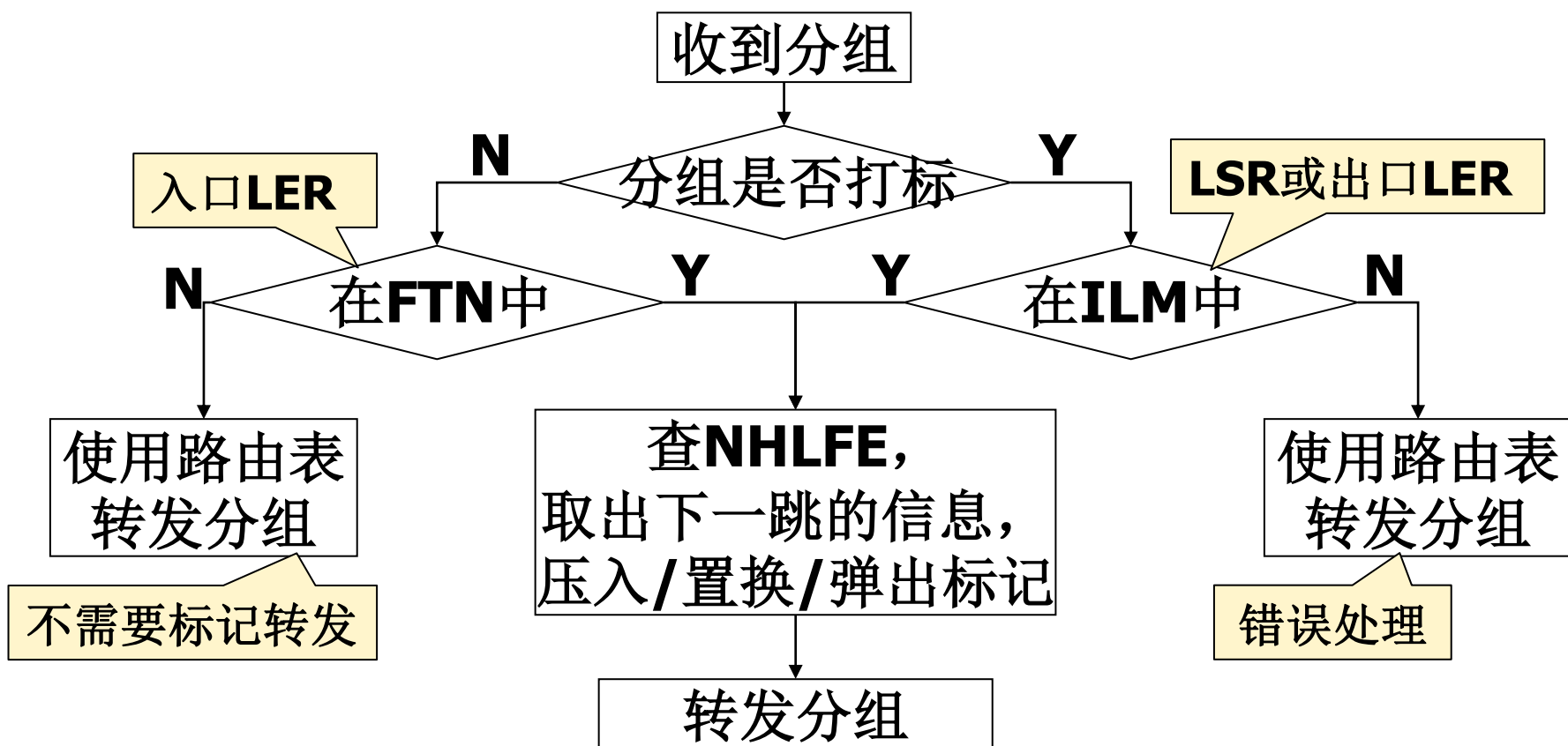
FTN——FEC到NHLFE的映射

# 转发模块的转发功能框图

NHLFE: 下一跳/出端口/出标记 & 标记操作(Swap, Push, Pop)

FTN: FEC标识 (如地址前缀) → NHLFE

ILM: 入端口/入标记 → NHLFE





# 3.多协议标记交换MPLS

MPLS的概念、MPLS的交换原理、标记分配过程、  
标记交换路由器、**MPLS的特点和应用**





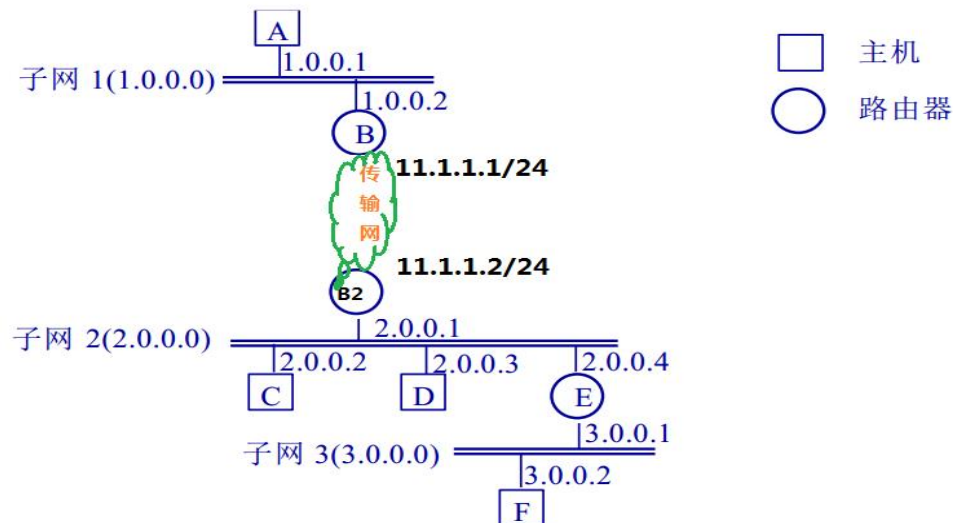
# MPLS的特点

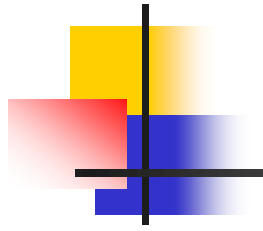
---

- 标记置换
  - 将2层的交换速度带到3层
- 控制平面与转发平面分离
  - 便于采用新的路由协议和交换技术
- 通过标记堆栈实现多层次的转发
  - 提高可扩展性

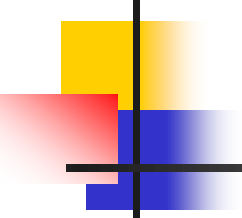
# MPLS的应用

- 虚拟专用网（Virtual Private Networks, VPNs）
  - 根据目的IP前缀映射FEC、建立LSP，连通异地的两个子网
- 强制路由
  - 业务流映射到现有物理拓扑，实现流量工程
- 服务等级
  - 网络边界按QoS进行流分类，并映射到MPLS标记





# 作业



## ■ 作业

- 说明**ATM**融合了电路交换和分组交换的哪些优势？为何**ATM**可以支撑**B-ISDN**中各种类型的业务？分析**ATM**技术没有得到广泛应用的原因？
  - 说明**MPLS**融合了**IP**路由和**ATM**交换的哪些优势？说明**MPLS**交换机是否需要路由协议和路由表？说明**LDP**的功能和过程？
  - 画图说明**MPLS**的标记分发过程。
  - 画图说明**ATM**的网络连接机制。
- ## ■ 利用第四章MOOC复习，并完成测验



## Q & A

---

袁 泉

yuanquan@foxmail.com

2023年4月3日