



工业和信息化部“十二五”规划教材

21 世纪高等学校计算机规划教材

21st Century University Planned Textbooks of Computer Science

计算机网络教程

(第4版)

A Textbook on Computer Networks (4th Edition)

谢钧 谢希仁 编著

■ 参考计算机专业考研大纲

■ 体现了作者多年的教学经验

■ 吸收了多种国外著名教材的优点

■ 提供实验建议、教学PPT、部分习题答案

第四章 网络层与网络互连

1

第 4 章 网络层与网络互连

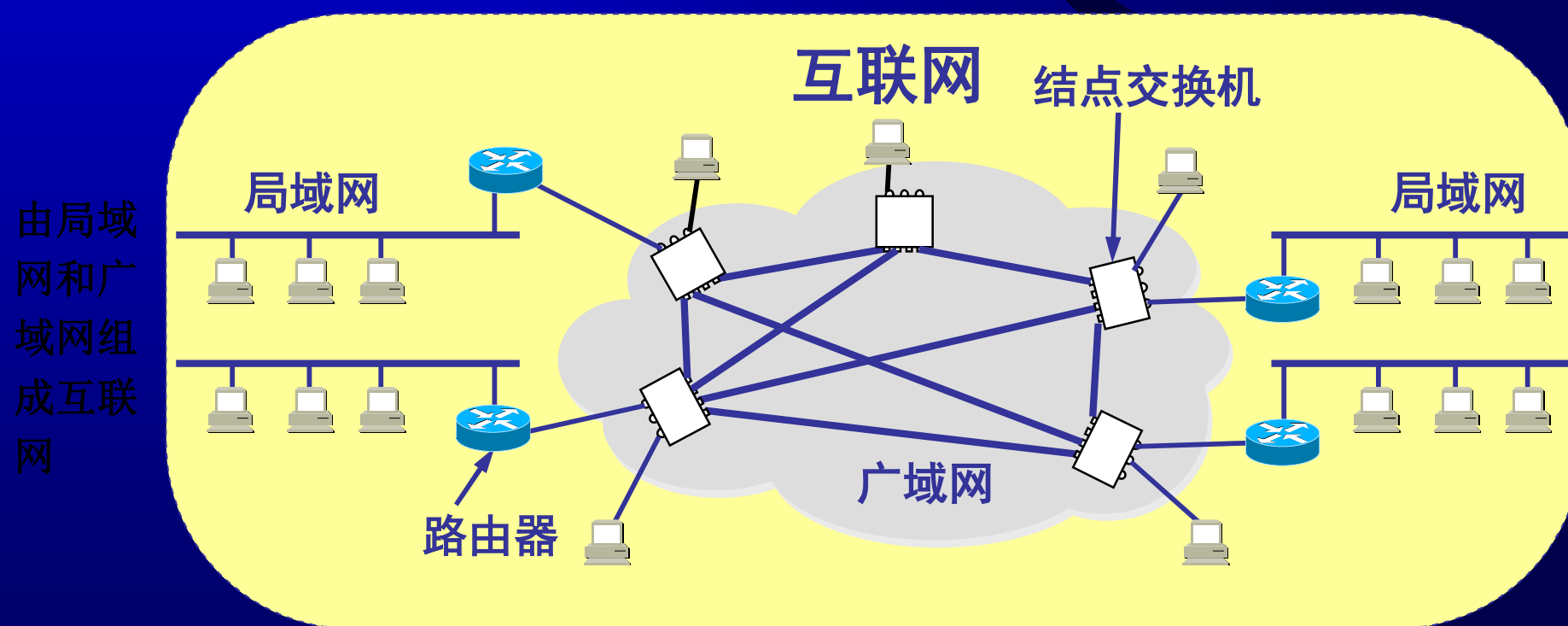
本章知识点分布

章	节	知识点	相关概念或原理
		网络层两种服务	
		异构网络互连、IP地址 IP数据报格式、IP数据报转发	
		ICMP报文种类	
		路由选择协议、内部网关协议	
		路由器构成、三层交换机	
		网络地址转换	
		IP v6首部格式、IP v6编址、 IP v4向IP v6过渡	
		第四章 网络层与网络互连	3

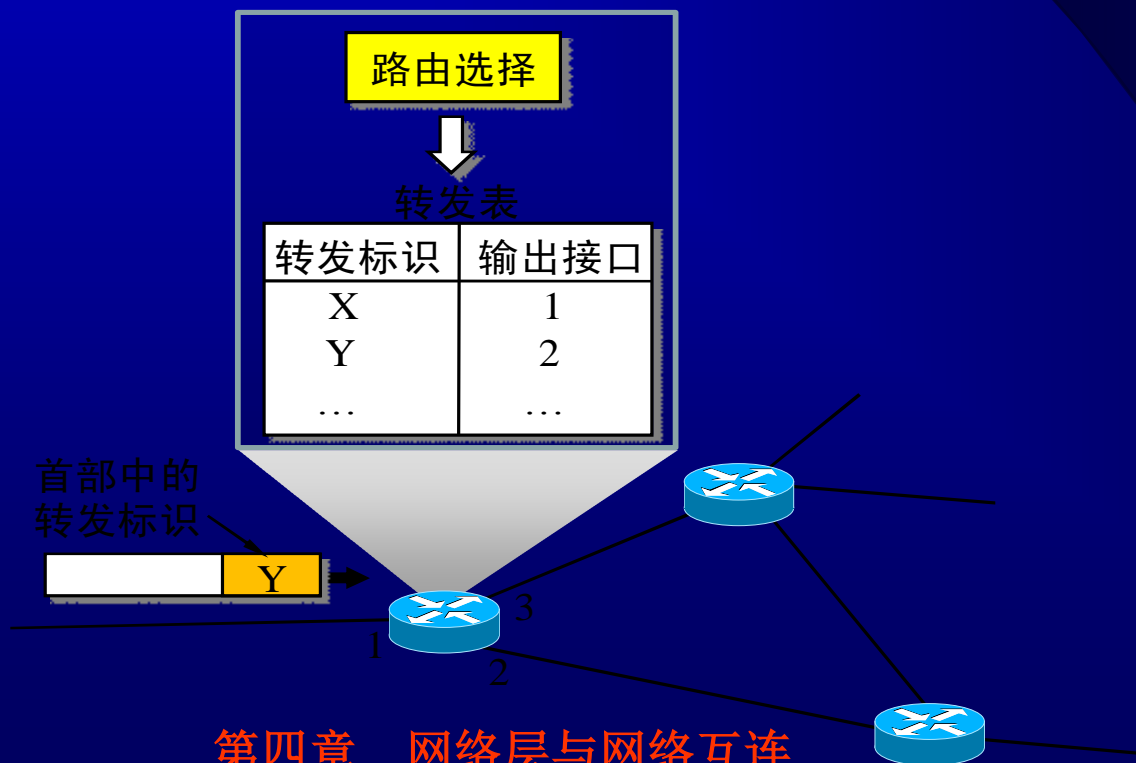
4.1 网络层概述

一、广域网的基本概念

广域网的基本概念



二、网络层功能



三、网络层提供的两种服务

┆ 虚电路 (Virtual Circuit) 服务

r

r

r

r

r

┆ 数据报 (Data gram)

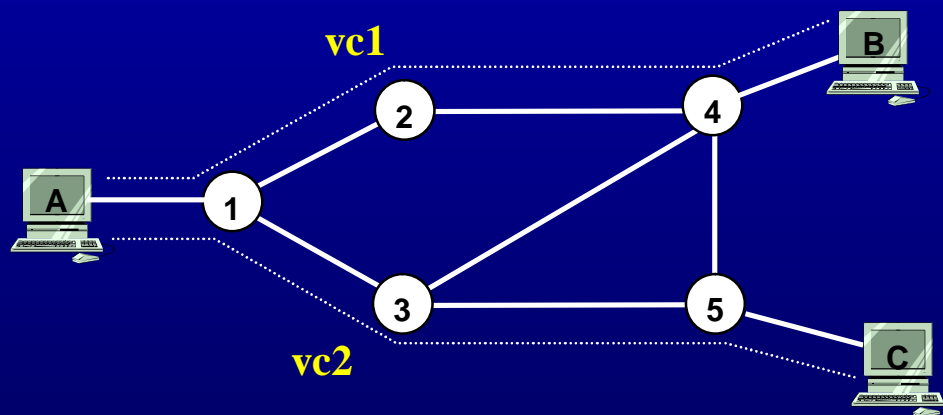
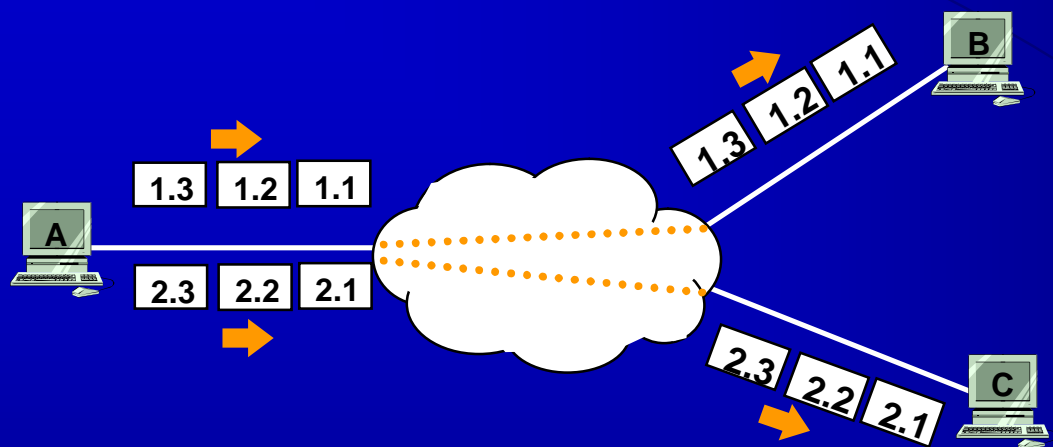
r

r

r

r

1、虚电路



假设主机A和主机B通信。

1、主机A先发一个**虚呼叫**，即发送一个特定格式的呼叫分组到主机B,要求进行通信，

2、同时寻找一条**合适的路由**。

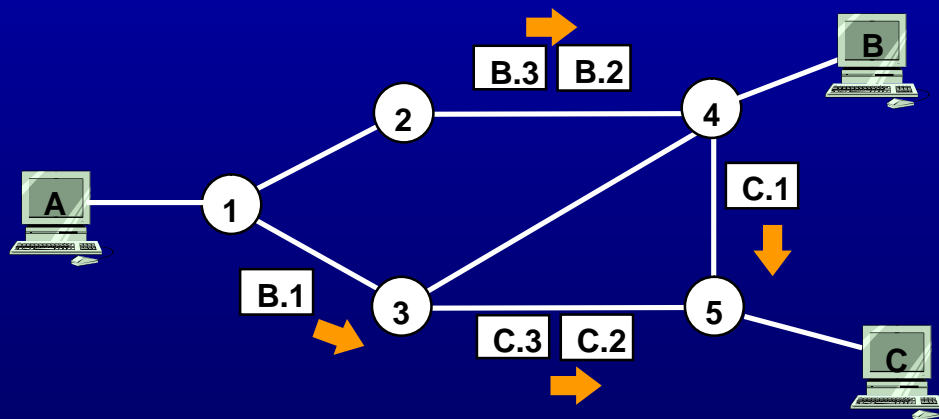
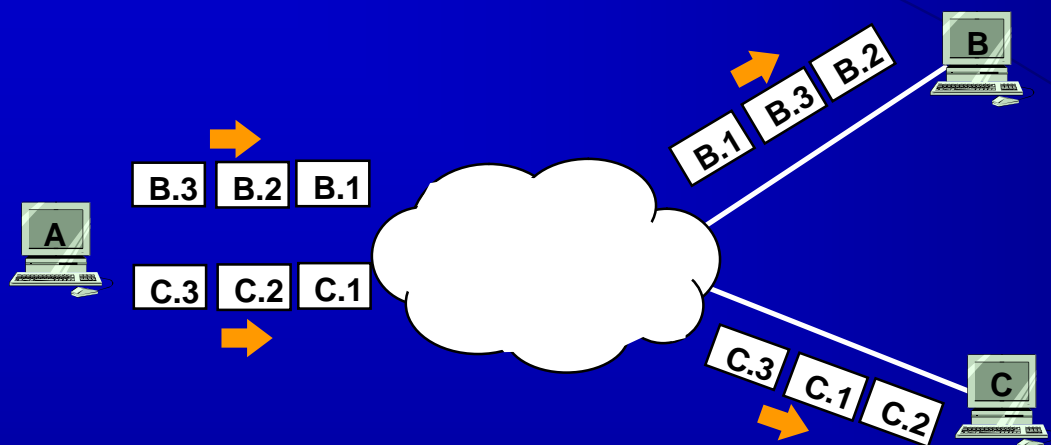
3、主机B同意通信就**发回响应**，然后双方就可以传送数据了。

4、设寻找到的路由是 A--1--2--4—B，虚电路号VC1,以后主机A向主机B传送的所有分组都必须沿着这条虚电路传送。在数据传送完毕后，还要将这条虚电路释放掉。

| vc1: A--1--2--4--B

| vc2: A--1--3--5--C

2、数据报



1、主机只要想发送数据就可**随时发送**。每个分组独立地选择路由。数据报不能保证按发送顺序交付给目的站。

2、当需要把数据按发送顺序交付给目的主机时，在目的站还必须把收到的**分组缓存**一下，等到能够按顺序交付给主机时再进行交付。

3、当网络发送拥塞时，网络中的某个结点可以将一些分组丢弃。数据报提供的服务是一种“**尽最大努力交付**”的服务。

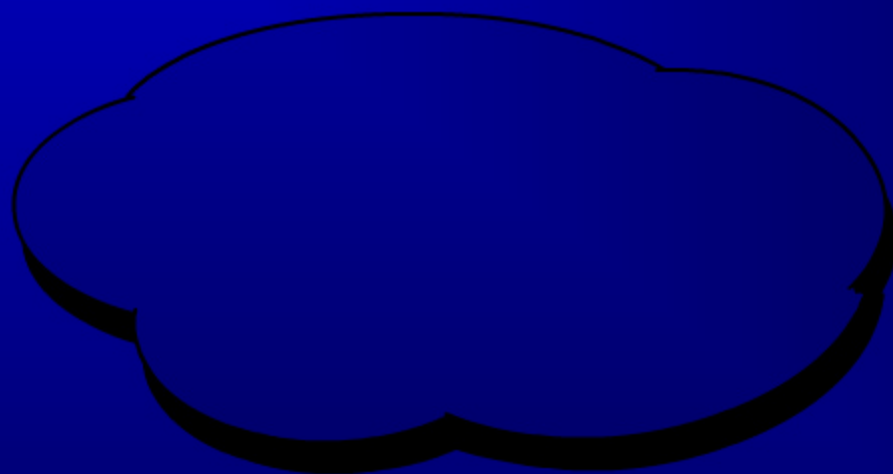
图中主机A向B发送的分组，可能经过的结点有：A-1-2-4-B或A-1-3-4-B,或A-1-3-5-4-B.

在一个网络中，还可以有多个主机同时发送数据报。

动画演示

数据报服务和虚电路服务

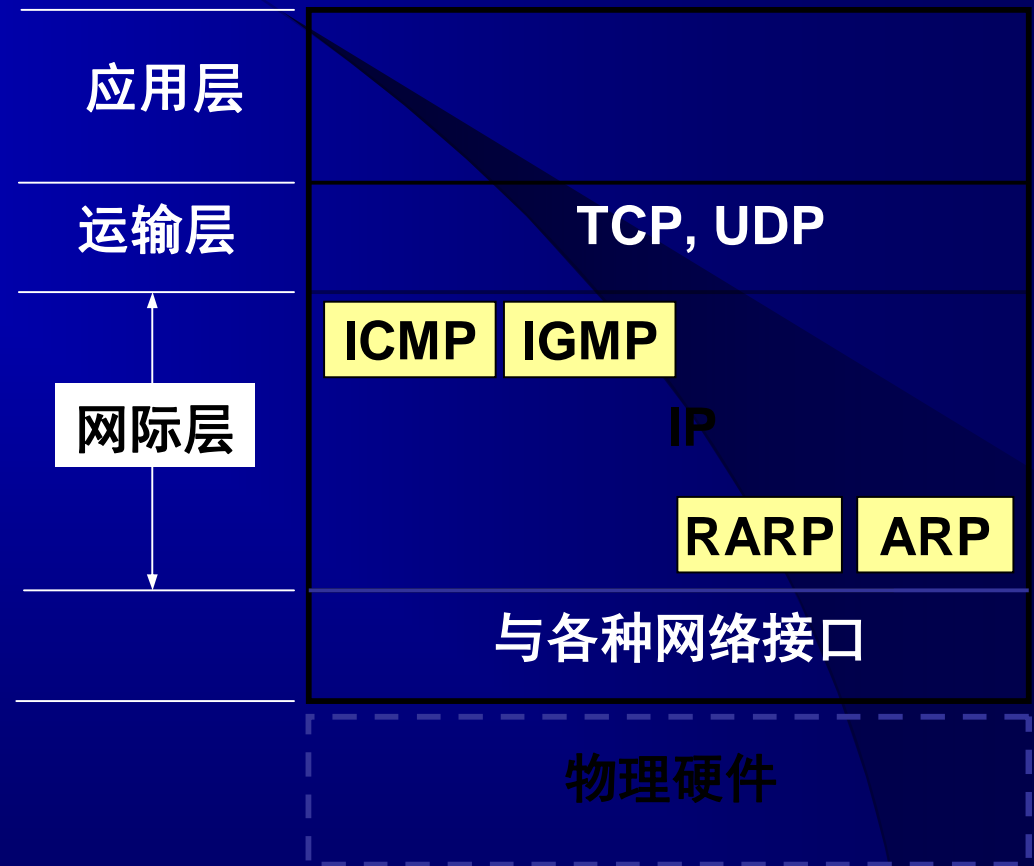
Silent



3、虚电路与数据报的比较

4.2 网际协议IP

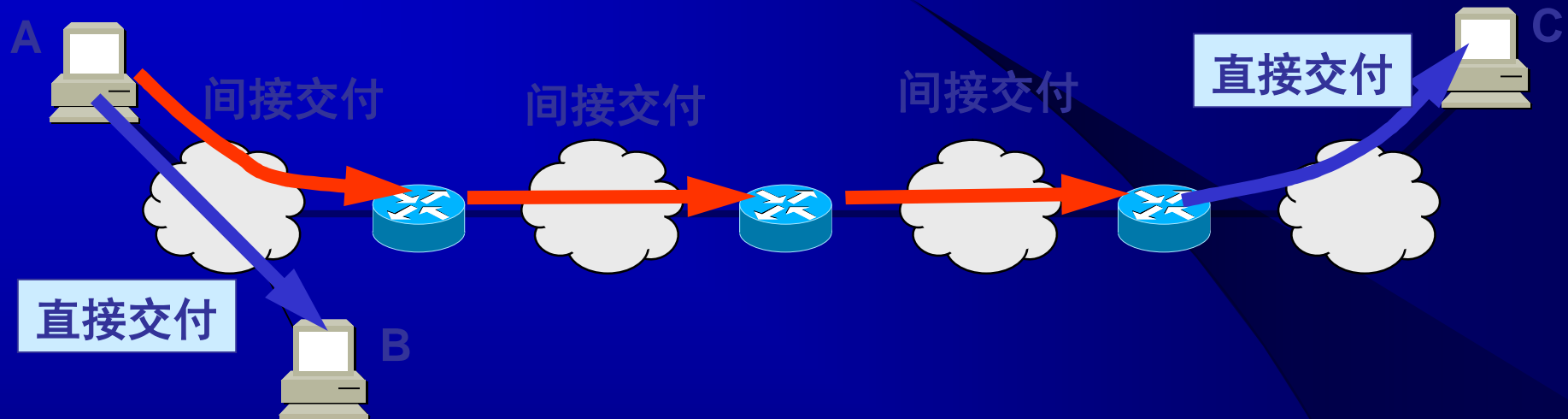
Internet的网络层协议及其配套协议



4.2.1 异构网络互连

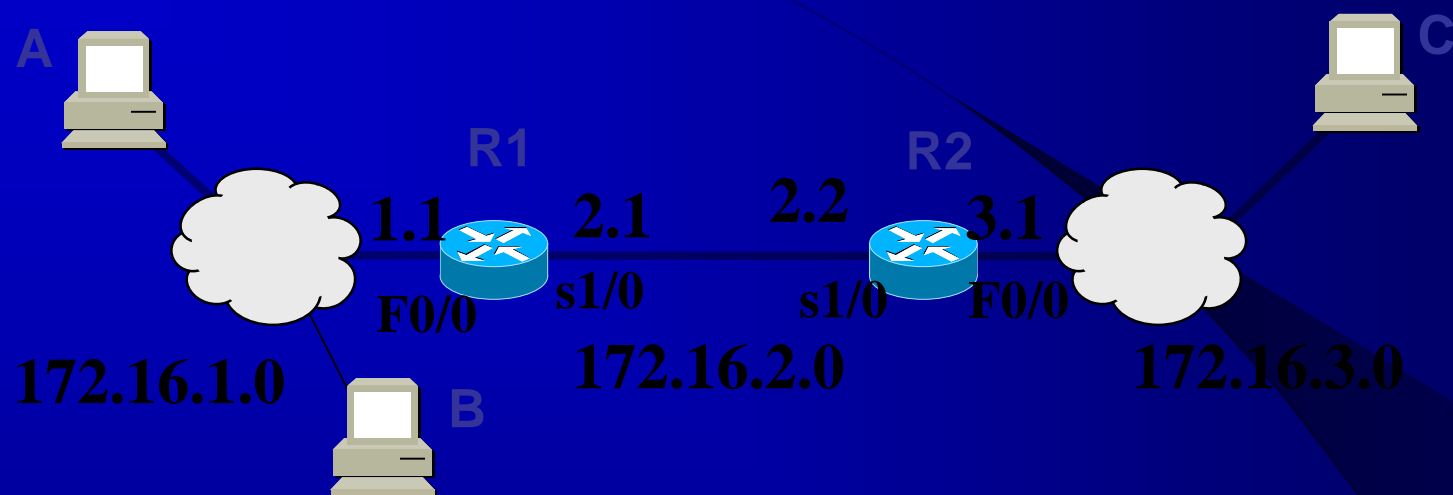
一、中间设备的分类

二、直接交付和间接交付 P127



直接交付不需要使用路由器
但间接交付就必须使用路由器

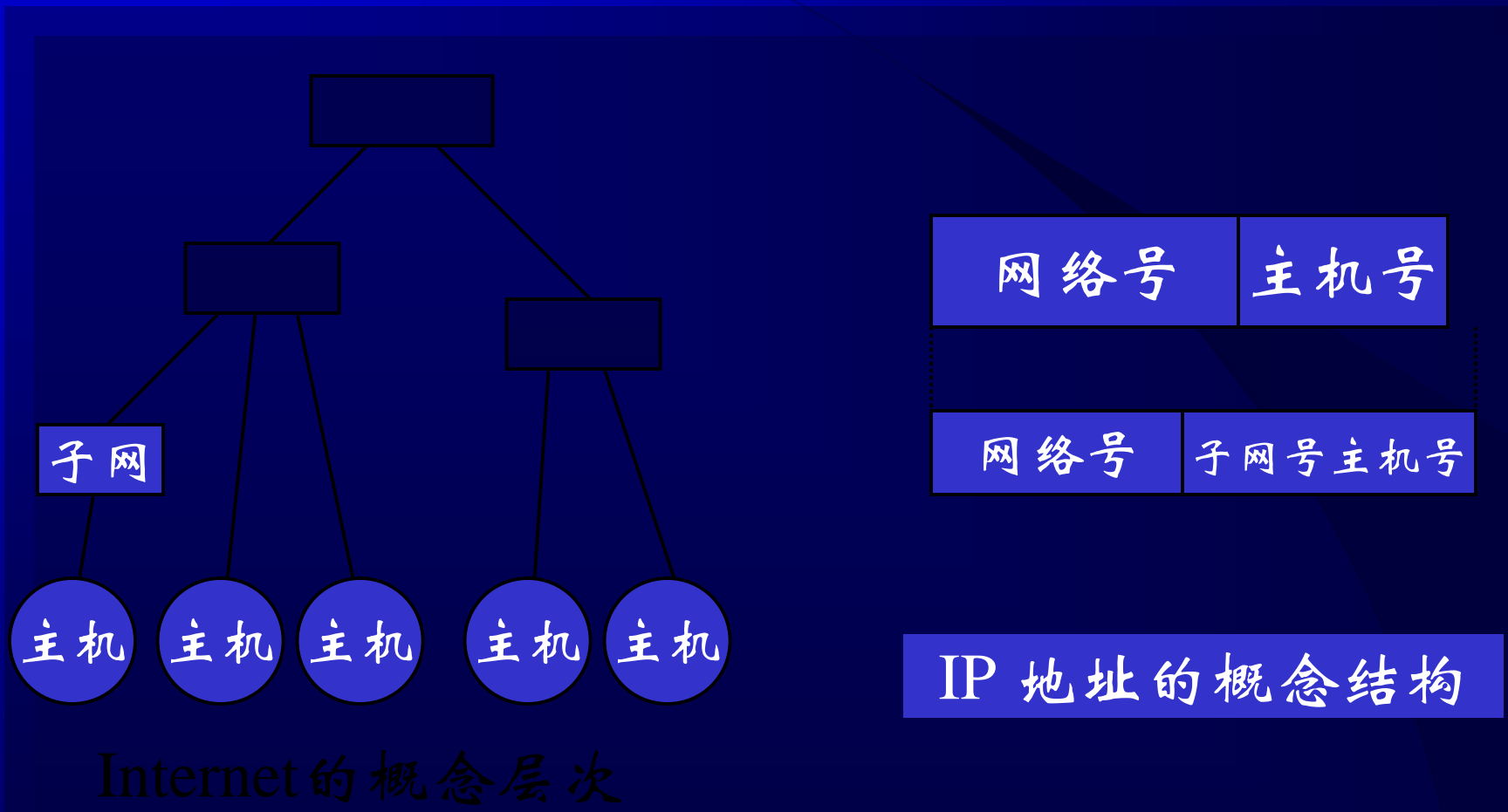
直接交付和间接交付



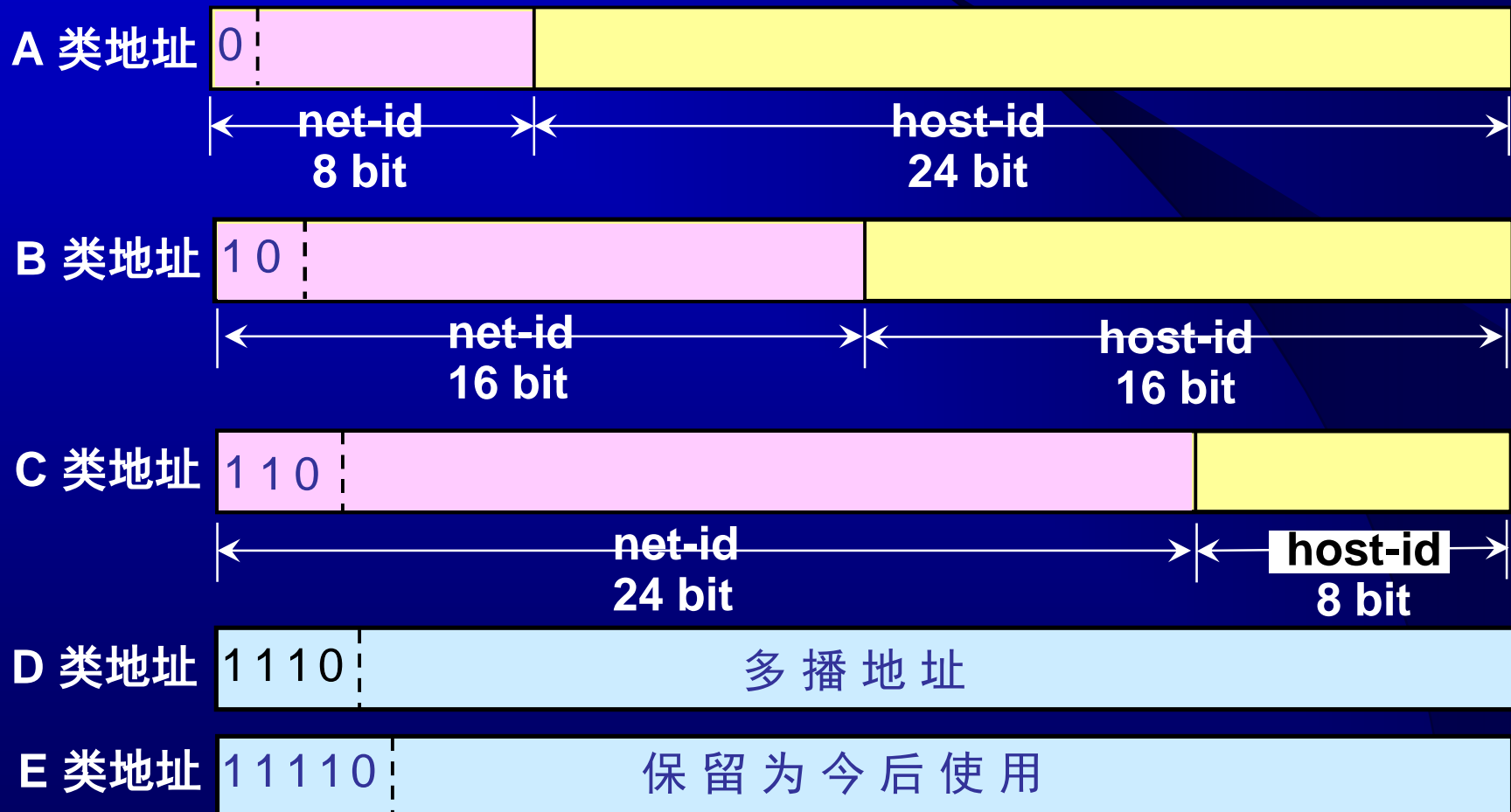
4.2.2 IP地址及编址方式

IP地址及其表示方法

1、IP 地址的结构



2、IP 地址的分类



3、IP地址的特点

-
-
-
-

4、IP 地址表示法

| IP 地址的表示法:

5、划分子网

- | 子网划分技术
- | 子网掩码在子网划分中的作用
 - |
 - |
 - |

(1)子网概念

TCP / IP体系规定：用一个32bit的子网掩码来表示子网号字段的长度。具体的做法是：

子网掩码由一连串的“1”和一连串的“0”组成。“1”对应于网络号和子网号字段，而“0”对应于主机号字段。子网掩码一般用点分十进制记法。



(2) 子网掩码表示

IP地址

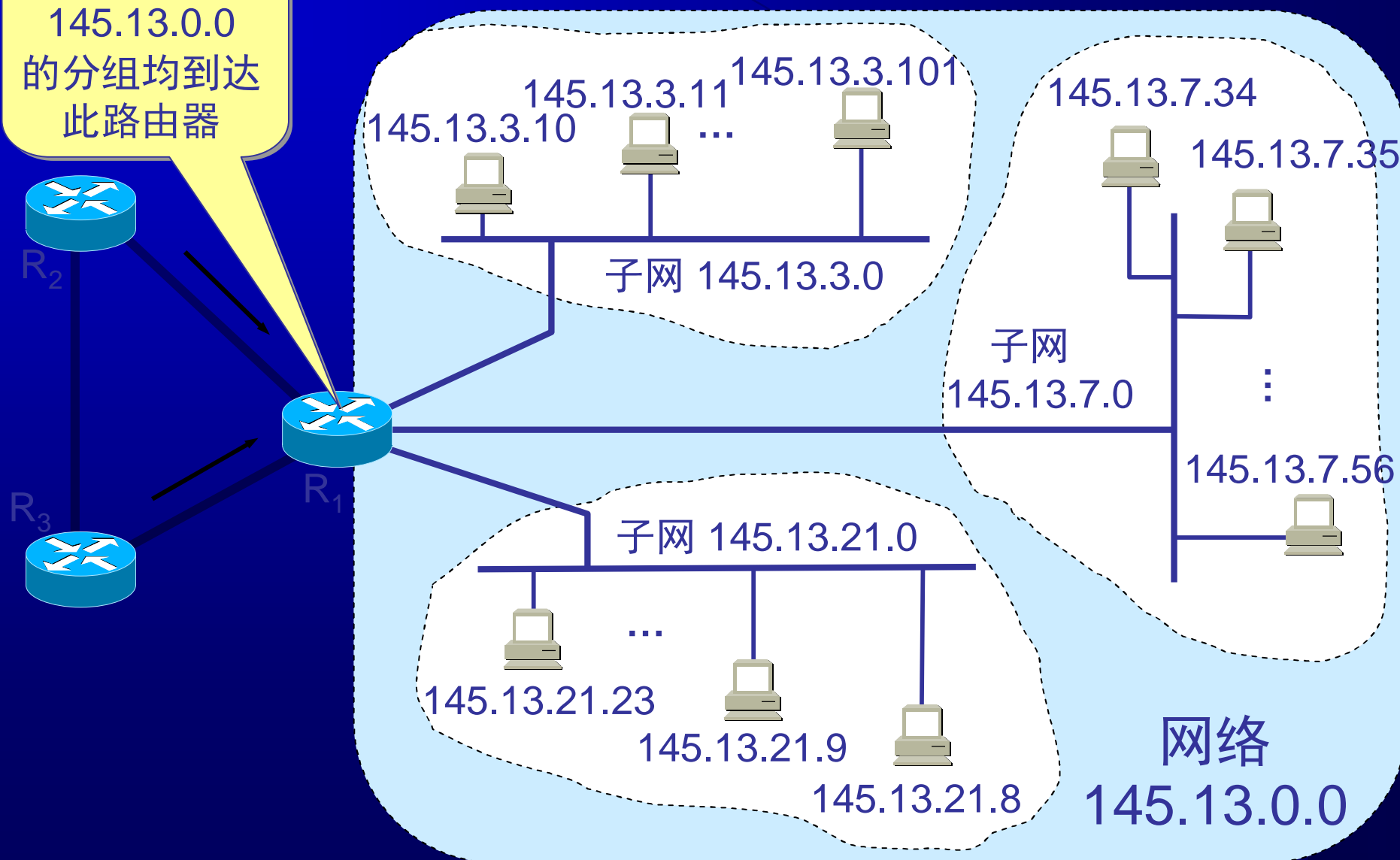
子网掩码默认值

一个未划分子网的 B 类网络 145.13.0.0



划分为三个子网后对外仍是一个网络

所有到达网络
145.13.0.0
的分组均到达
此路由器



子网掩码是一个重要属性

Ø

Ø

Ø

例题(P131)

例1、已知IP地址是141.14.72.24，子网掩码是255.255.192.0，试求网络地址。

(a) 点分十进制表示的 IP 地址

141 . 14 . 72 . 24

(b) IP 地址的第 3 字节是二进制

141 . 14 01001000 . 24

11111111 11111111 11 00000000

(d) IP 地址与子网掩码逐位相与

141 . 14 . 01000000 . 0

(e) 网络地址（点分十进制表示）

141 . 14 . 64 . 0

例题(P131)

例2、已知IP地址是141.14.72.24，子网掩码是255.255.224.0，试求网络地址。

(a) 点分十进制表示的 IP 地址

141 . 14 . 72 . 24

(b) IP 地址的第 3 字节是二进制

141 . 14 . 01001000 . 24

11111111 11111111 111 00000000

(d) IP 地址与子网掩码逐位相与

141 . 14 . 01000000 . 0

(e) 网络地址（点分十进制表示）

141 . 14 . 64 . 0

不同的子网掩码得出相同的网络地址。但不同的掩码的效果是不同的。

6、特殊的 IP 地址

直接广播地址

0

类型	网络前缀	
----	------	--

有限广播地址

0

0 地址

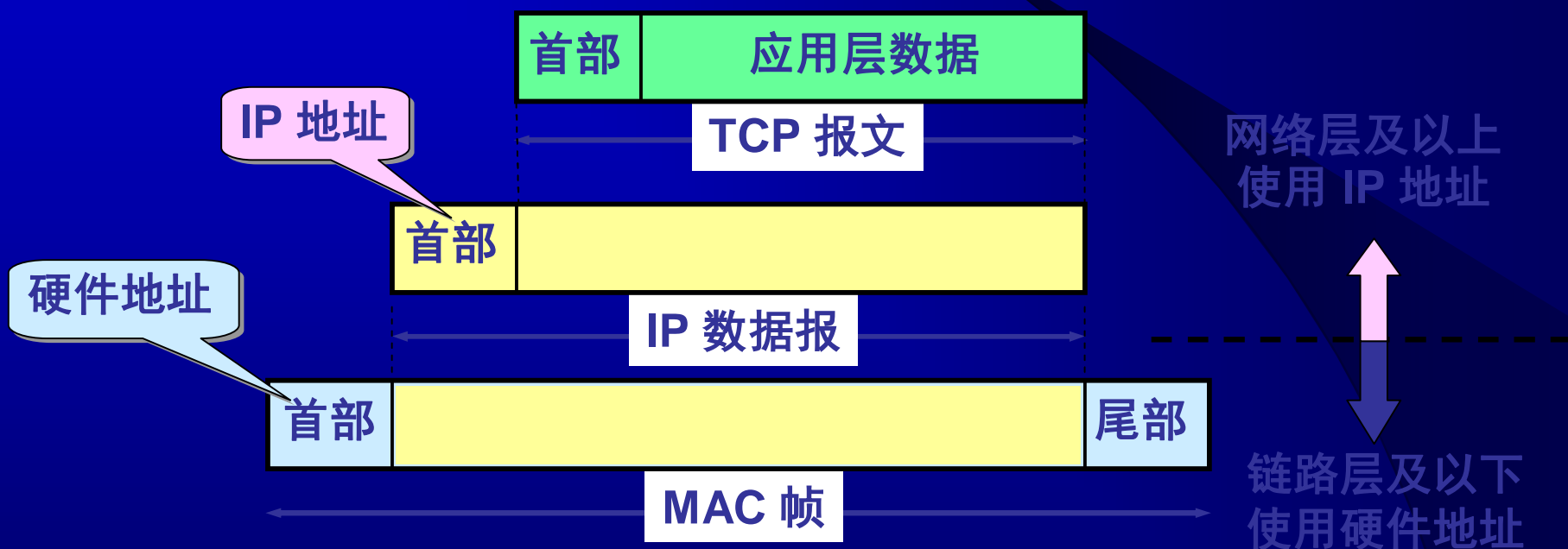
0

0

回送地址loopback address

0

4.2.3 IP地址与硬件地址



动画演示

从不同层次上看IP地址和硬件地址

PLAY

STOP

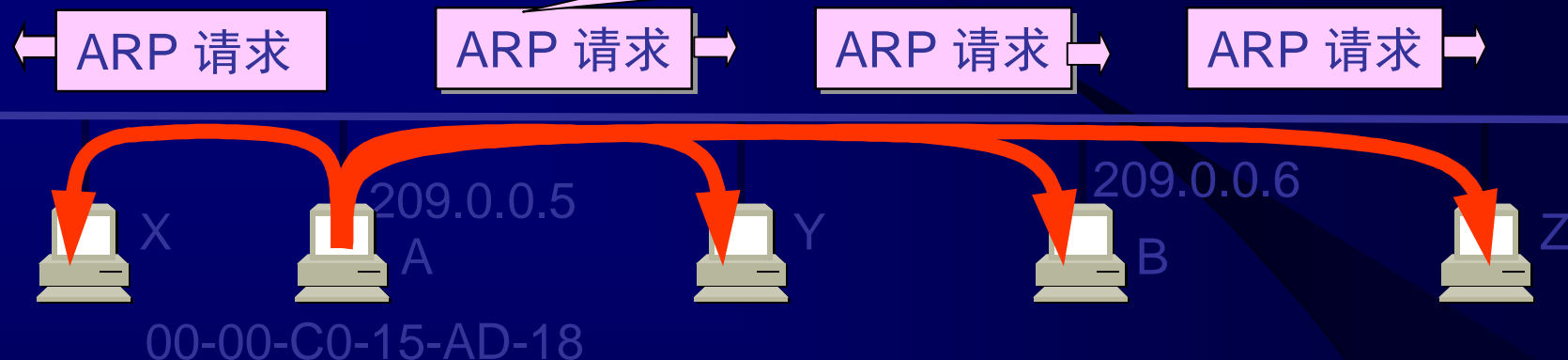
Silent

4.2.4 地址解析协议ARP

1、IP地址与主机物理地址的转换

主机 A 广播发送 ARP 请求分组

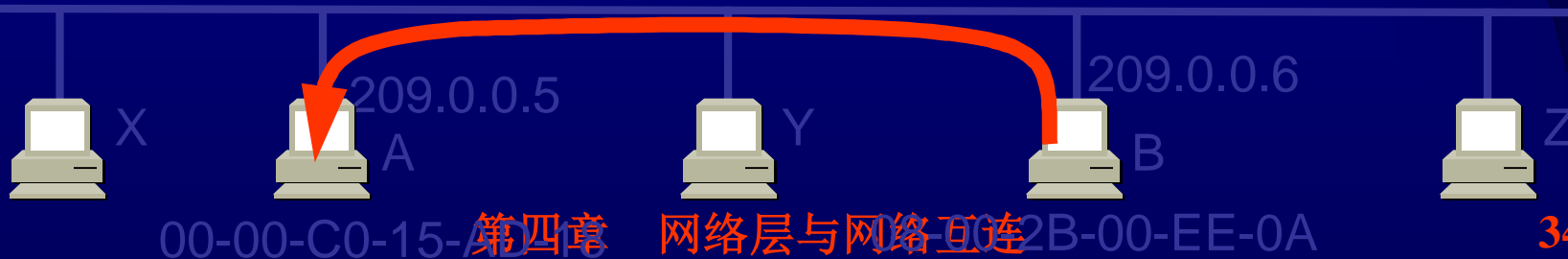
我是 209.0.0.5，硬件地址是 00-00-C0-15-AD-18
我想知道主机 209.0.0.6 的硬件地址



主机 B 向 A 发送 ARP 响应分组

我是 209.0.0.6
硬件地址是 08-00-2B-00-EE-0A

← ARP 响应

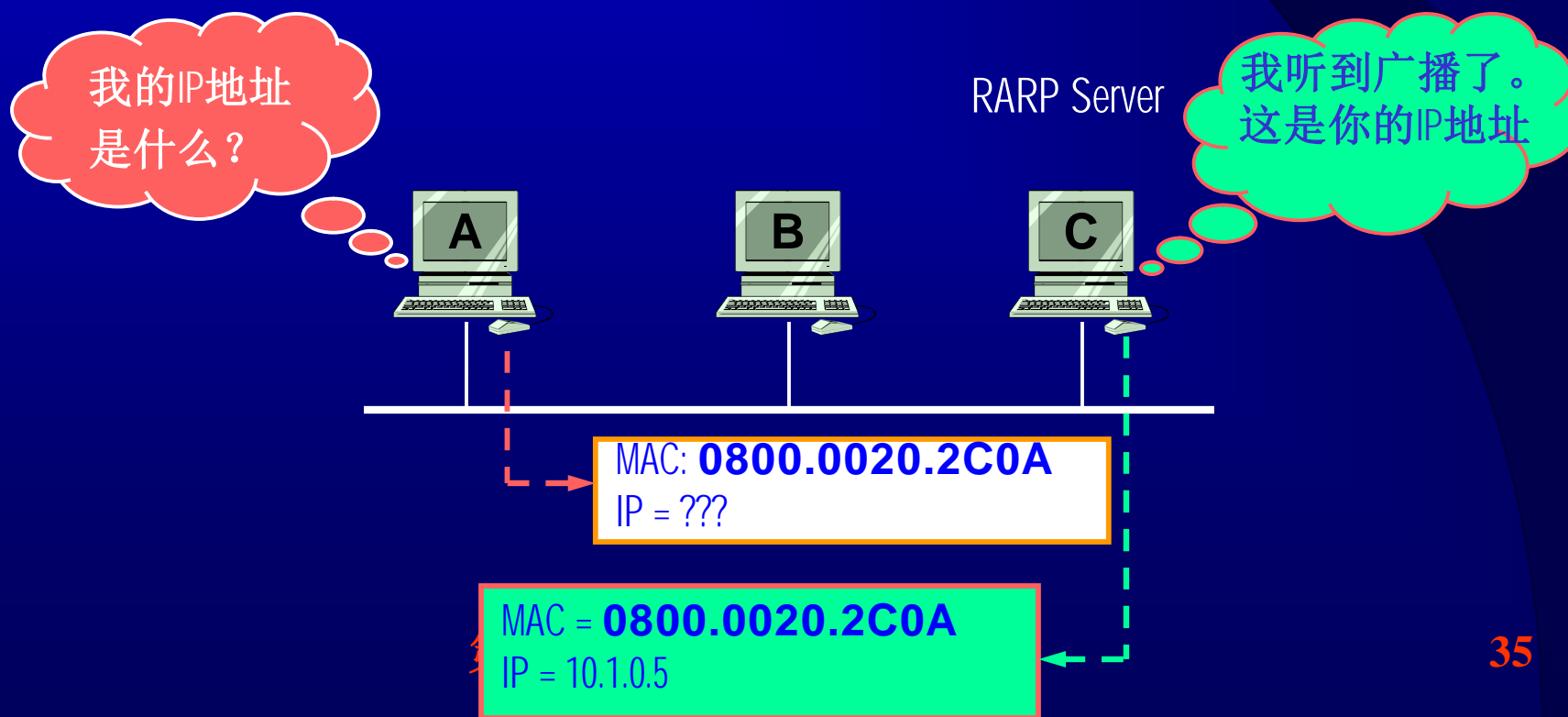


2、反向地址解析协议RARP（物理地址 --> IP地址）(选学)

*

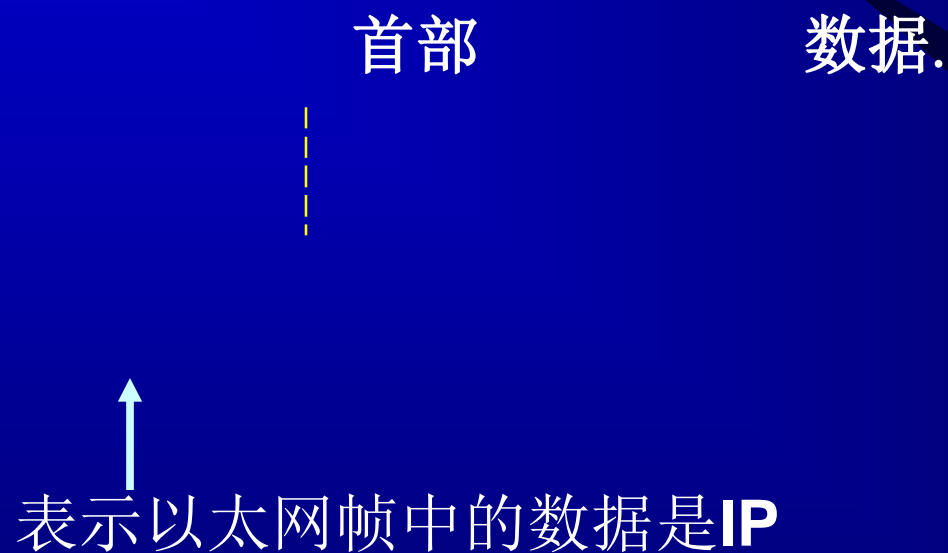
* RARP服务器查找从硬件地址到IP地址的映射表，找出该硬件地址对应的IP地址；

* 写入RARP响应分组中，发回给无盘工作站，从而获得自己的IP地址。



4.2.5 IP数据报的格式

IP数据报在以太网中的封装



“封装”概念：由于物理网络硬件并不了解IP数据报的格式和IP寻址，必须将IP数据报放在自己帧的数据字段内透明传送

IP首部格式

IP首部格式



版本号

IP首部格式



☞ 首部长度的 (HL)

给出以 32bit 字长为单位的 IP 数据报首部的长度

IP首部格式



总长度

TL(16bit):

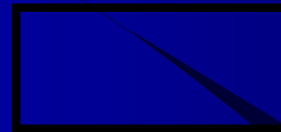
以字节为单位的 IP 数据报的总长度

IP首部格式



Ø标识

IP首部格式



Ø标志(Flag):

DF(Do

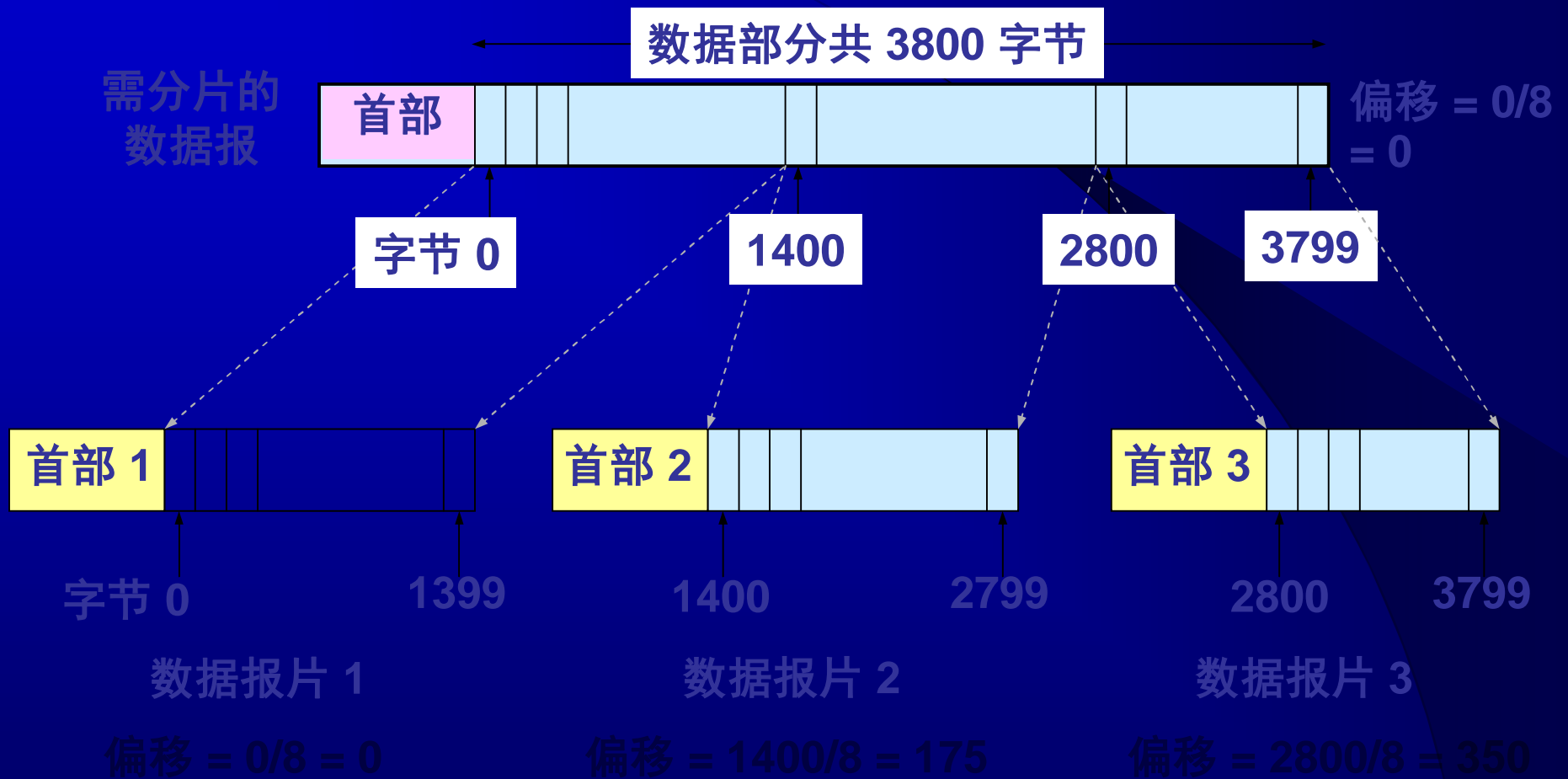
MF (More Fragment):

IP首部格式



Ø片偏移:


片偏移举例(P140)



片偏移举例

表4—5 IP 数据报首部中与分片有关的字段中的数值。

	总长度	标识	MF	DF	片偏移
原始数据报	3820	12345	0	0	0
数据报片 1	1 420	12345	1	0	0
数据报片 2	1 420	12345	1	0	175
数据报片 3	1 020	12345	0	0	350



片2—1	820		1	0	175
片2—2	620		1	0	275

IP首部格式



生存时间 (TTL - Time To Live, 1 byte)

IP首部格式



Ø协议

8 bit，指出数据区中承载的数据所采用的高层协议
协议类型的编码是预定义的：

IP首部格式



Ø数据报首部的校验和（2 byte）

IP 数据报首部

Ø校验和的计算和校验和字段置为零。将所
。收到数据报后，
未发生任何变化，

校验和只对 IP 分组头（不包括数据区）进行保护，而对数据区的保护需要依赖于高层协议，因此可以减少处理所需的时间。需要注意的是，对分组头的任何改动，校验和都要重新计算。因此，分组每经过一个路由器，其分组头的校验和都要重新计算，因为 TTL 值发生了变化。

校验和的计算和检验算法



首部校验和举例P142

```
10011001 00010011
00001000 01101000
10101011 00000011
00001110 00001011
00000000 00010001
00000000 00001111
00000100 00111111
00000000 00001101
00000000 00001111
00000000 00000000
01010100 01000101
01010011 01010100
01001001 01001110
01000111 00000000
```

	10 10010110 11101011	→ 普通求和得出的结果
加上溢出的10	10010110 11101101	→ 二进制反码运算求和得出的结果
将得出的结果求反码	01101001 00010010	→ 校验和

IP首部格式



Ø源站IP地址

Ø目的IP地址:

IP首部格式



Ø IP 选项

Ø

Ø

Ø

4.2.6 IP数据报的转发（选学）

但它们之间也有些区别

-
-
-
-

IP数据报的转发流程

在Internet中一个路由器的IP层所执行的路由算法为:

1.

2.

3.

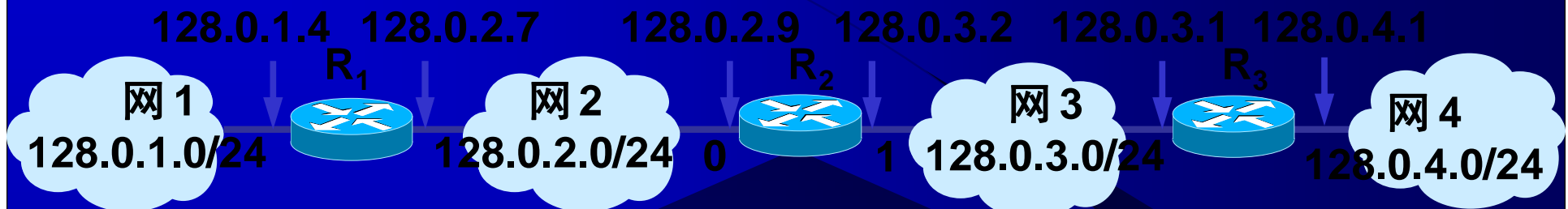
特定主机路由

4.

5.

6.

路由表举例P143



路由器 R₂ 的路由表

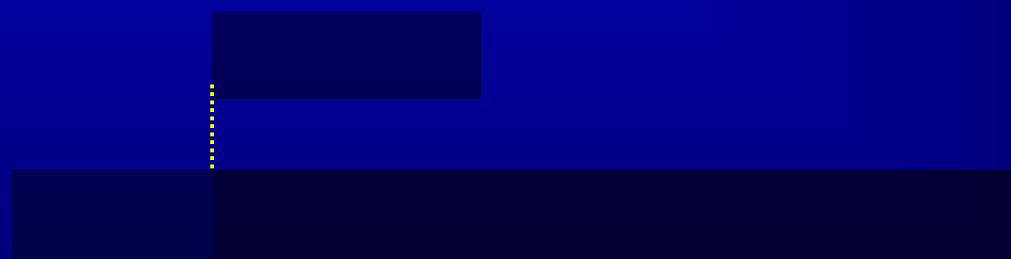
目的网络	子网掩码	下一跳	接口
128.0.2.0	255.255.255.0	直接交付	0
128.0.3.0	255.255.255.0	直接交付	1
128.0.1.0	255.255.255.0	128.0.2.7	0
128.0.4.0	255.255.255.0	128.0.3.1	1

目的主机
的网络号

下一站路由
器的地址

4.3 网际控制报文协议 (ICMP) (选学)

Ø
Ø
Ø
Ø
Ø



ICMP 报文

IP 分组

PROTOCOL = 1 (ICMP)

Ø

2、ICMP 的请求/应答报文

Ø 回送 (Echo) 请求/应答 (TYPE = 8 / 0)

Ø 时间戳请求与应答 (TYPE = 13 / 14)

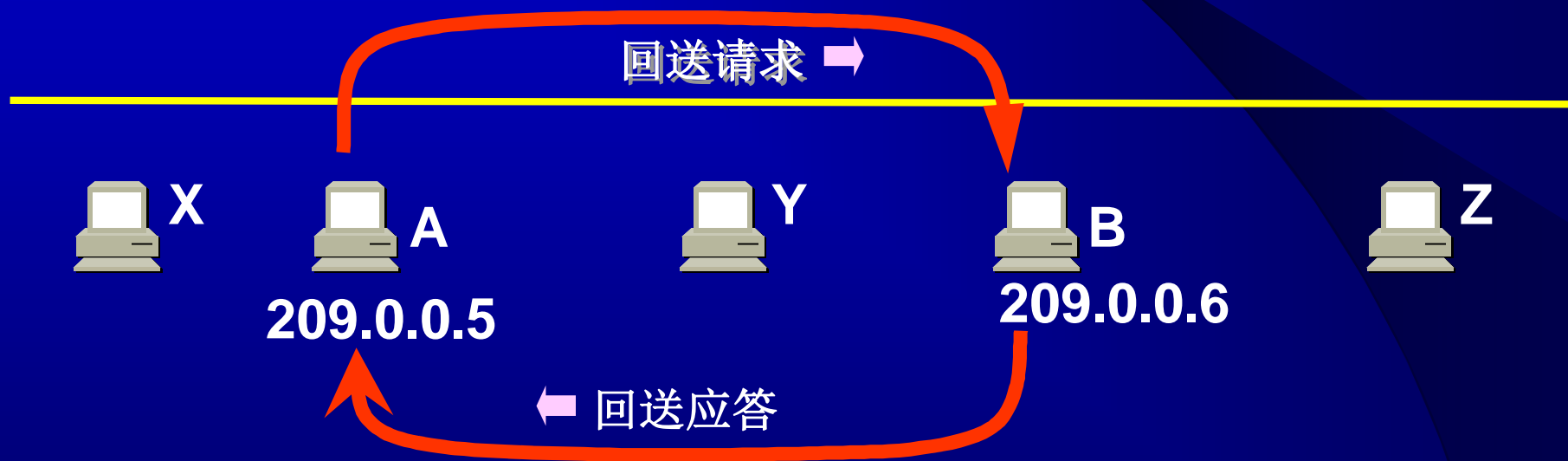
Ø 地址掩码请求与应答 (TYPE = 17 / 18)

3、ICMP 的请求/应答报文功能

回送请求/应答报文的功能:

4、PING 命令的实现

主机A发送回送请求分组



主机B向A发送回送响应分组

4.4 因特网的路由选择协议(部分选学)

一、路由选择协议的几个基本概念：(P151)

1、理想的路由选择算法的特点：

2、路由选择算法的分类

3、分层的路由选择协议：

自治系统 (**AS**)

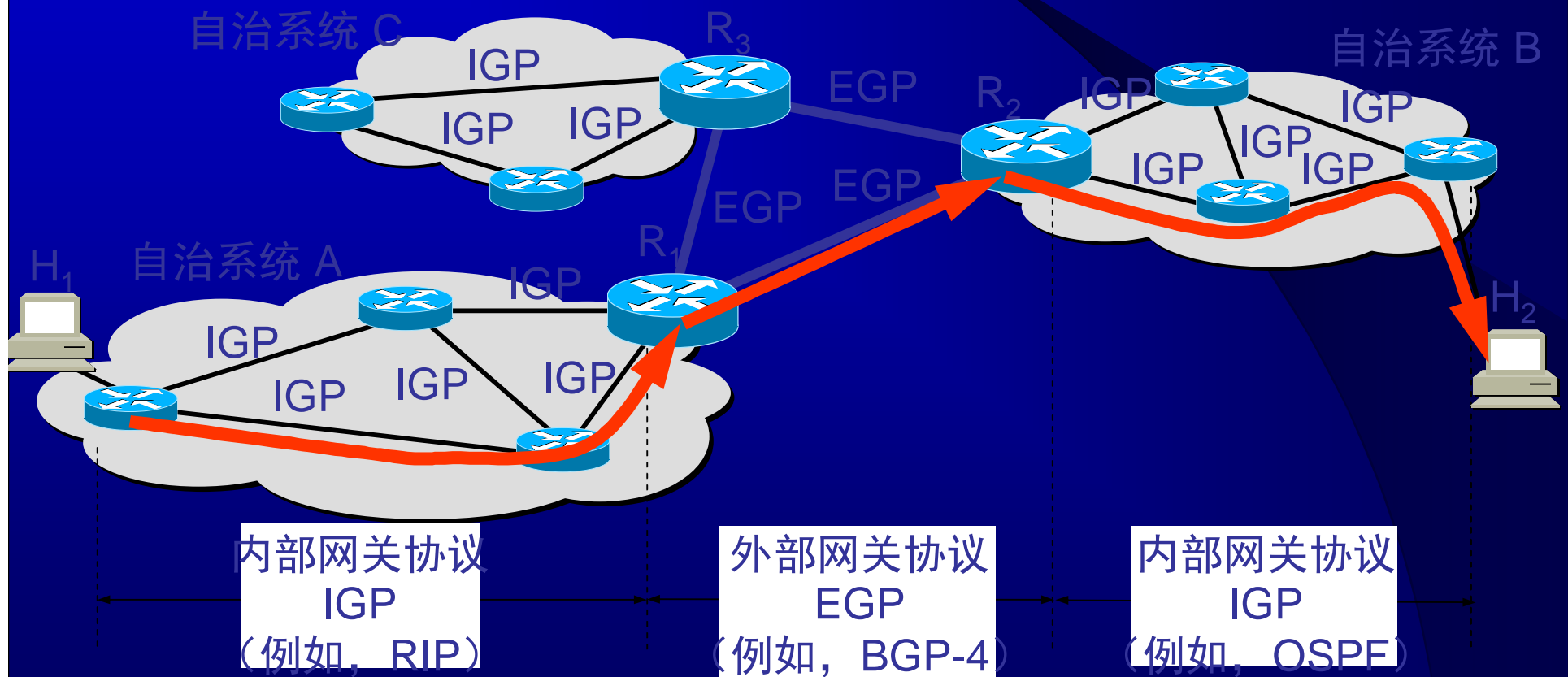
两类路由选择协议：

两类路由选择协议：

- 内部网关协议IGP

- 外部网关协议EGP

自治系统和 内部网关协议、外部网关协议 P153



二、 内部网关协议 RIP(要求掌握)

1、路由信息协议（Route Information Protocol）版本1

|

|

|

|

|

(1)RIP报文格式:



(2)选路信息协议(RIP)的工作原理(要求掌握)

- RIP的工作原理为:
- 路由表中最主要的信息就是
- 路由表更新的原则是:

选路信息协议(RIP)的工作原理

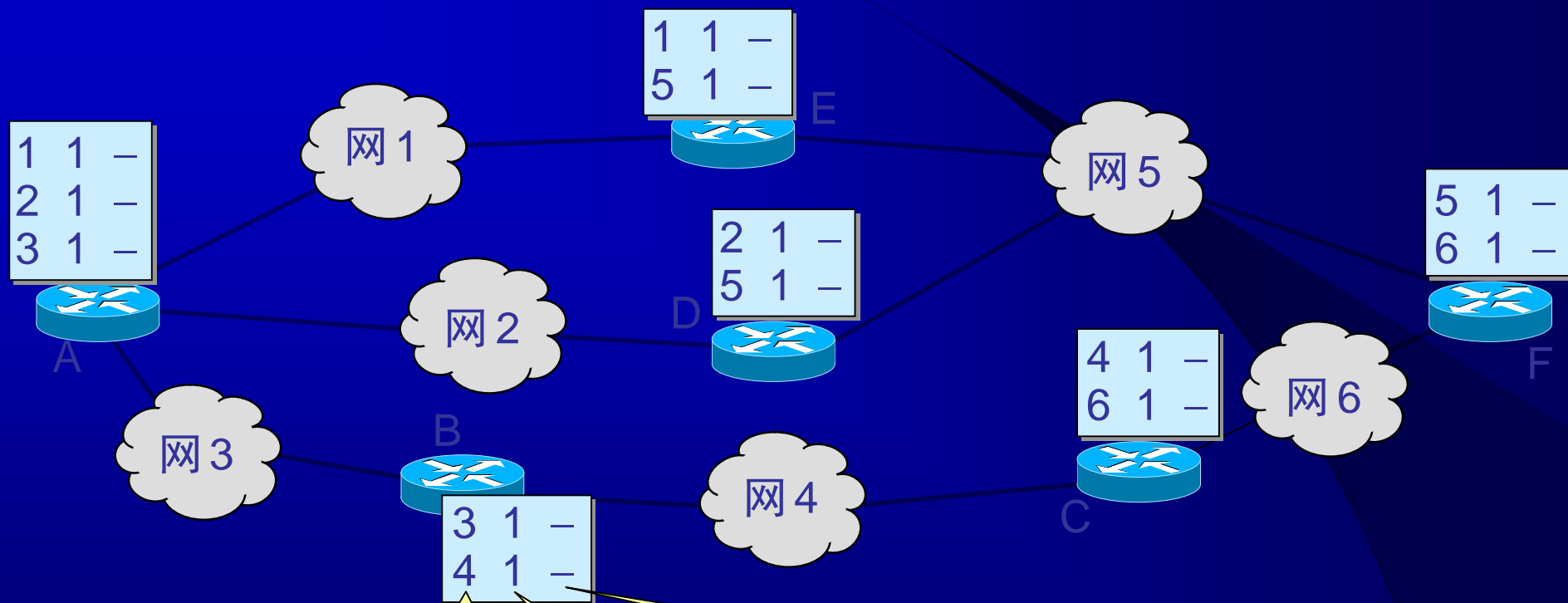
●更新路由表的依据是：

距离

(P155)

RIP协议的工作过程图解

一开始，各路由表只有到相邻路由器的信息

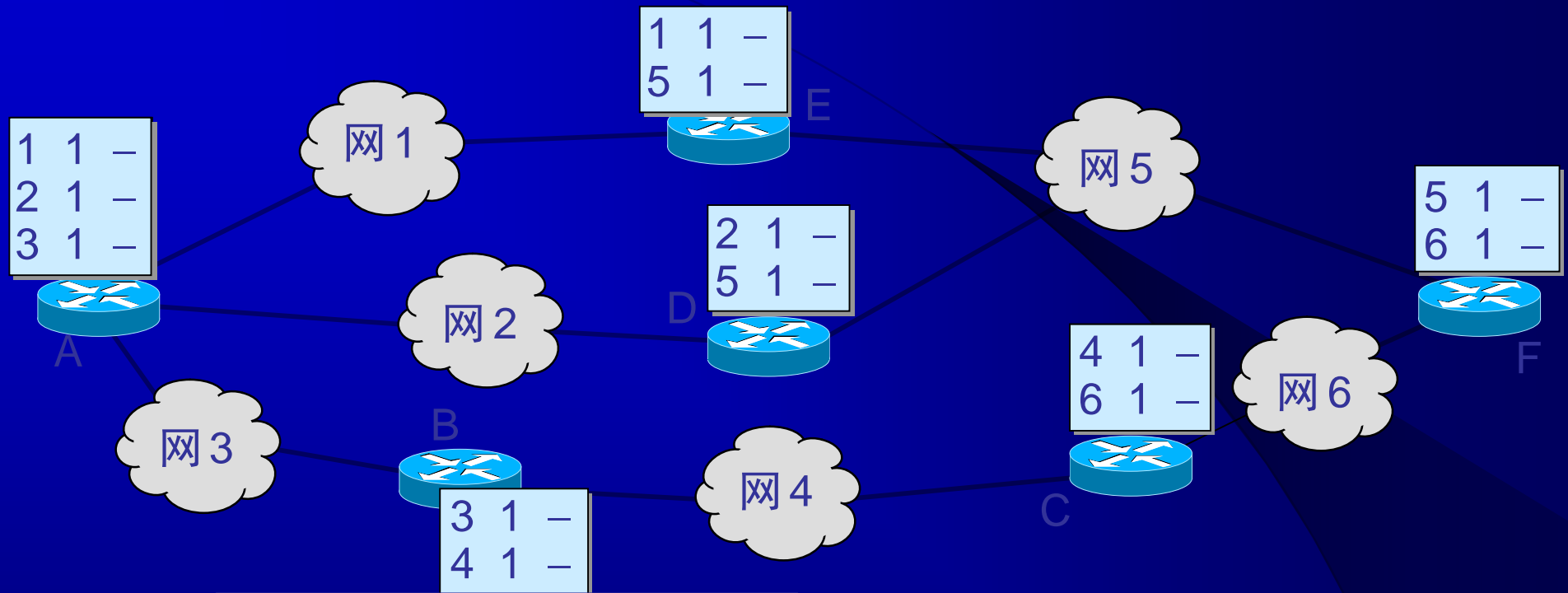


“4”表示“从本路由器
到网4”

“-”表示“直接交付”

“1”表示“距离是1”

路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表

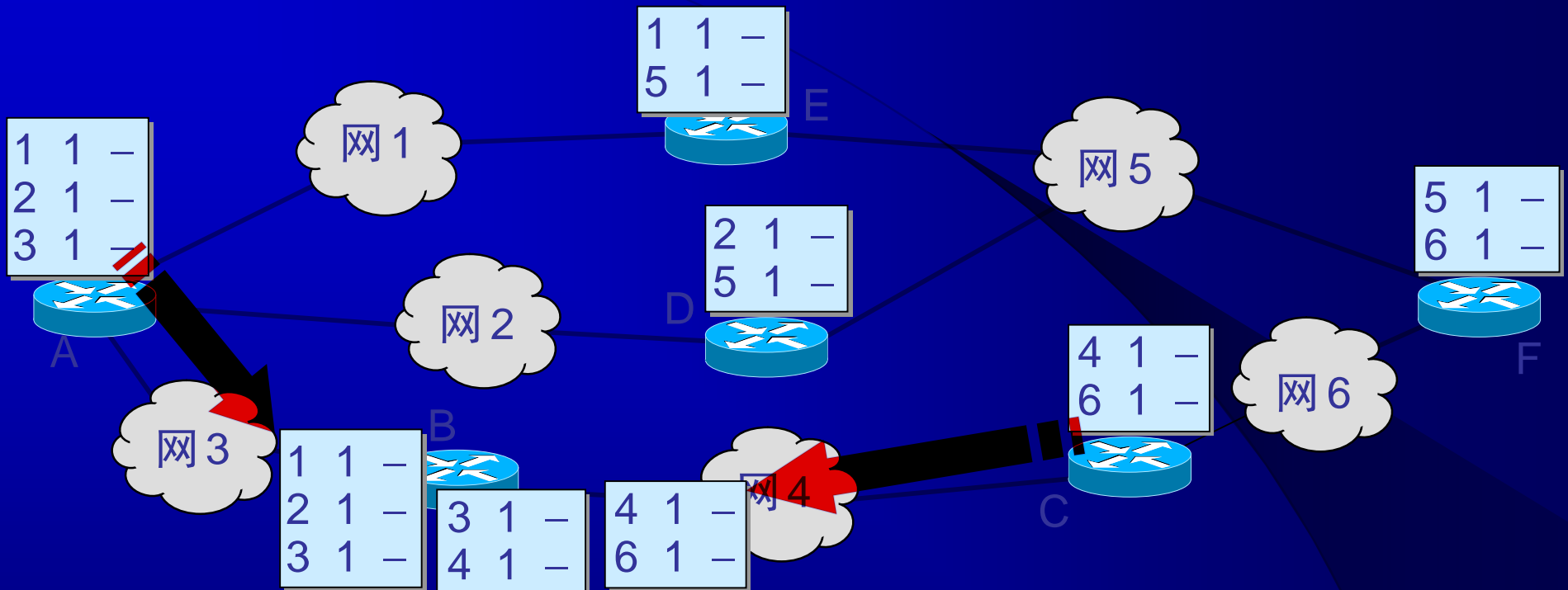


更新后

1	2	A
2	2	A
3	1	-
4	1	-
6	2	C

A 说：“我到网 1 的距离是 1。”
因此 B 现在也可以到网 1，
距离是 2，经过 A。”

路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表

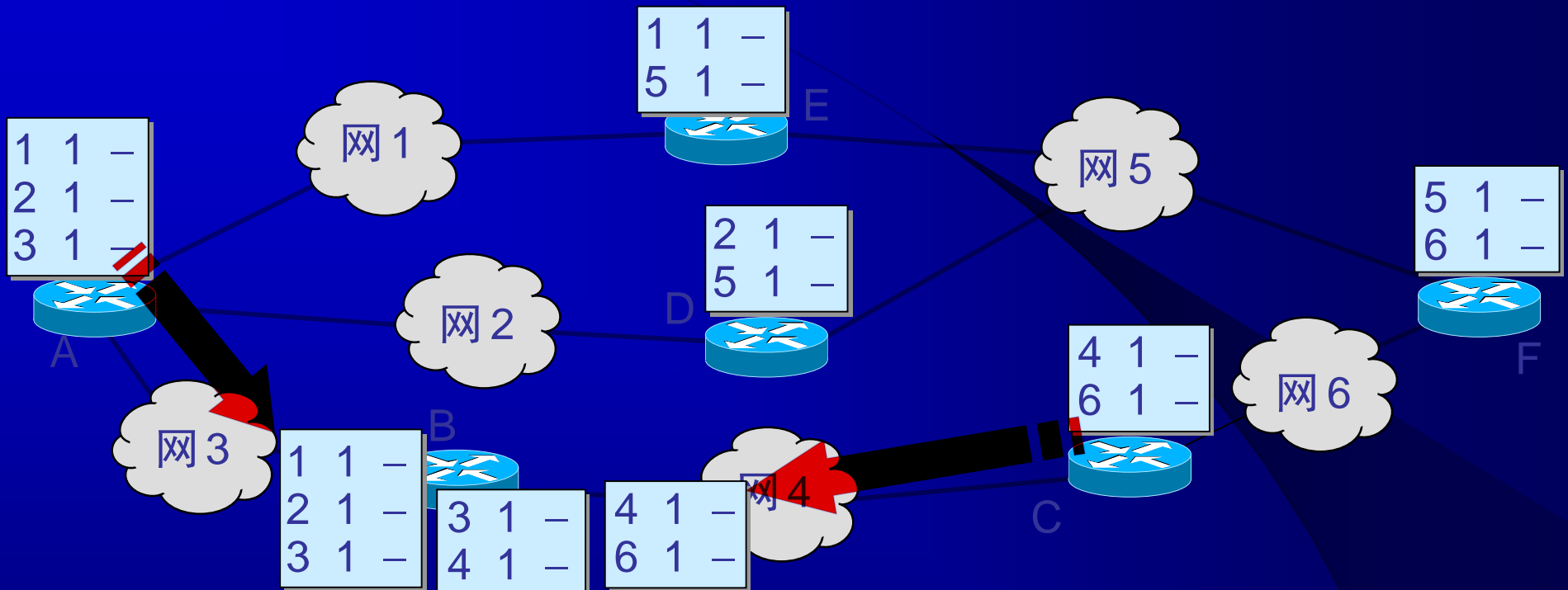


更新后

1	2	A
2	2	A
3	1	-
4	1	-
6	2	C

A 说：“我到网 2 的距离是 1。”
 因此 B 现在也可以到网 2，
 距离是 2，经过 A。”

路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表

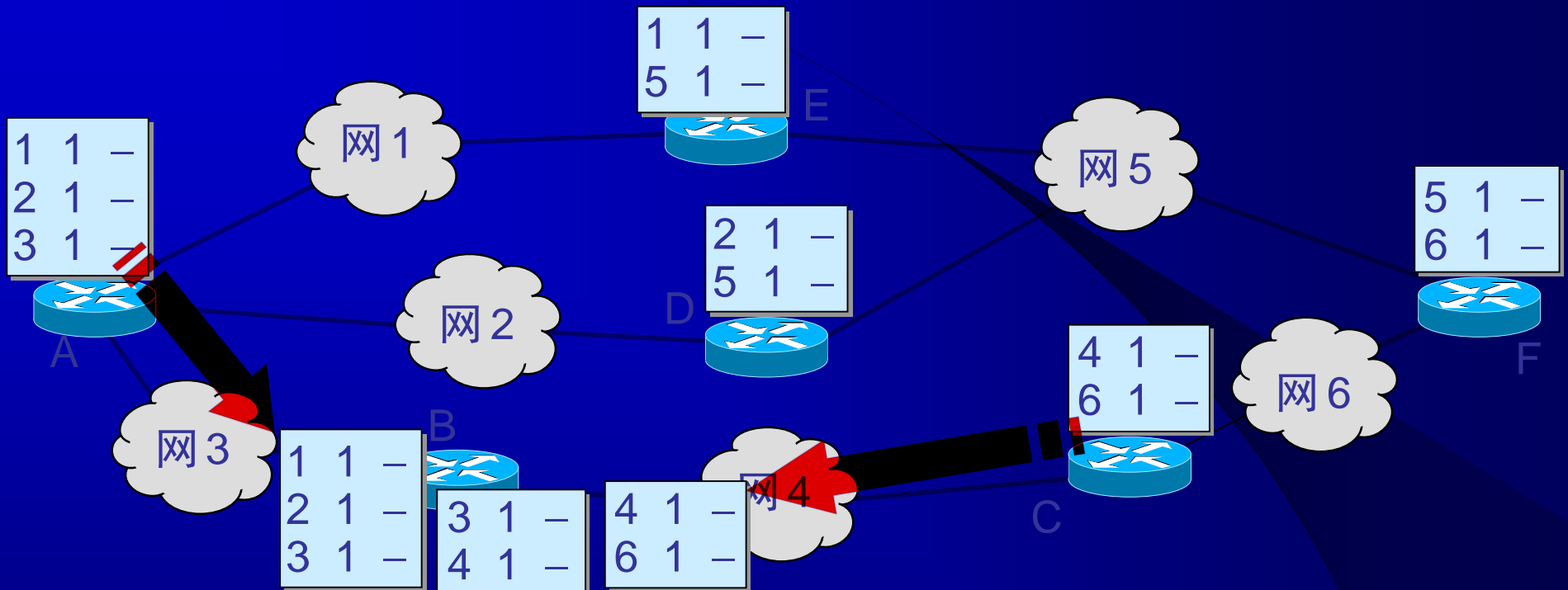


更新后

1	2	A
2	2	A
3	1	-
4	1	-
6	2	C

A 说：“我到网 3 的距离是 1。”
但 B 没有必要绕道经过路由器 A 再到达网 3，因此这一项目不变。

路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表

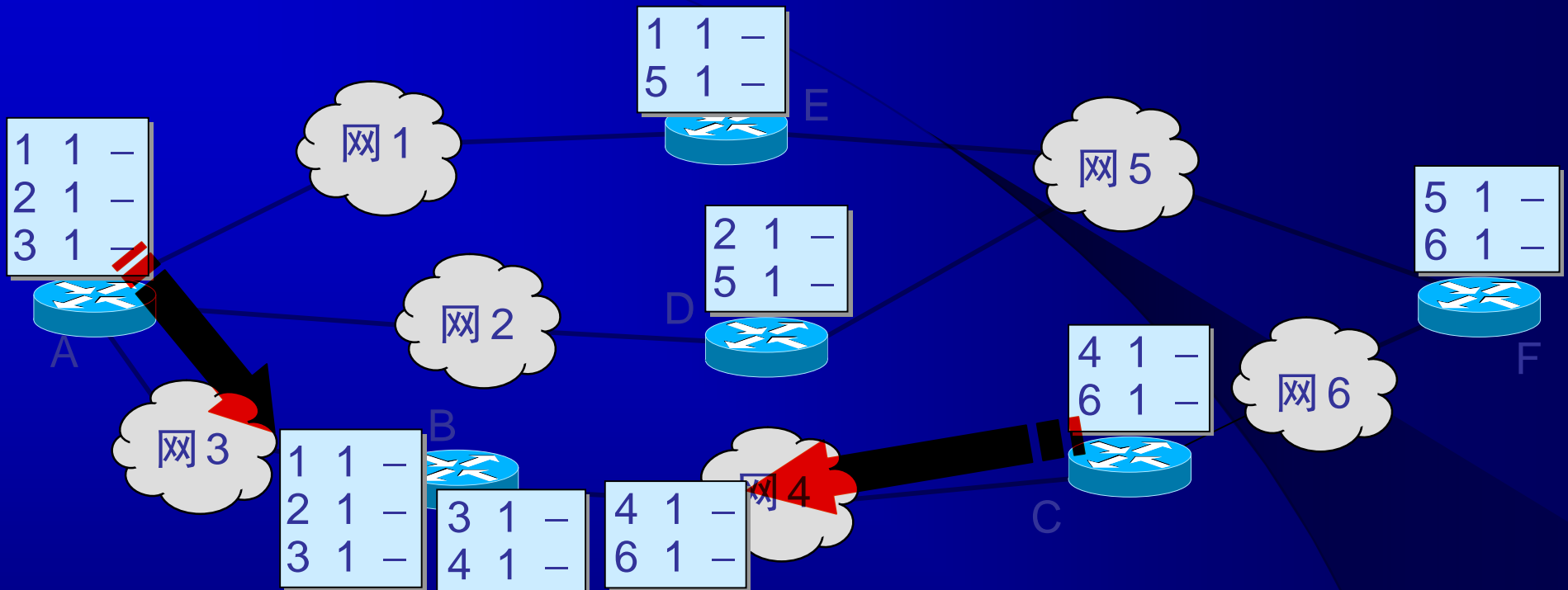


更新后

1	2	A
2	2	A
3	1	-
4	1	-
6	2	C

C 说：“我到网 4 的距离是 1。”
但 B 没有必要绕道经过路由器 C 再到达网 4，因此这一项目不变。

路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表

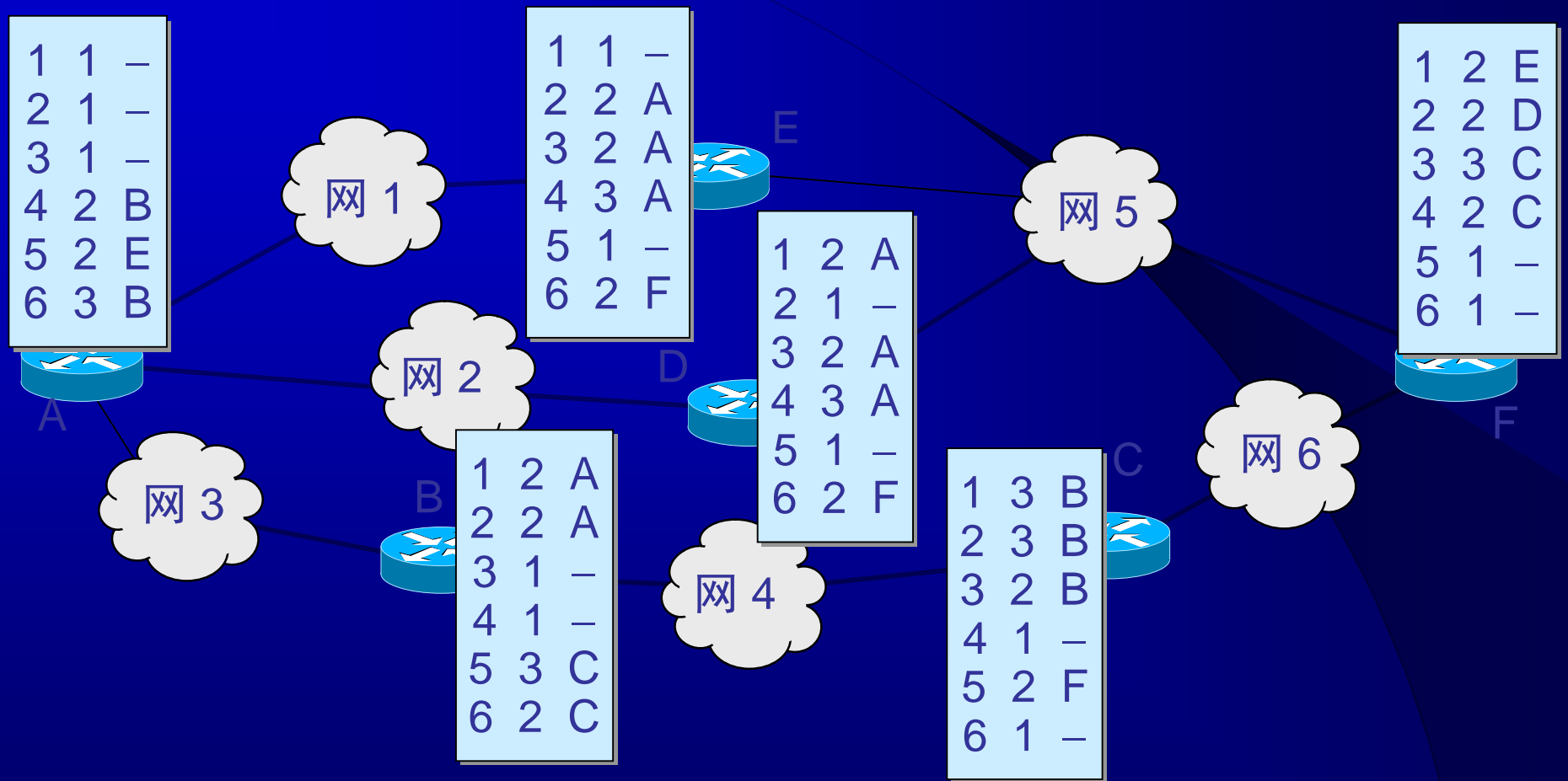


更新后

1	2	A
2	2	A
3	1	-
4	1	-
6	2	C

C 说：“我到网 6 的距离是 1。”
因此 B 现在也可以到网 6，
距离是 2，经过 C。”

最终所有的路由器的路由表都更新了



2、RIP 协议的优缺点

|

|

|

|

三、OSPF协议洪泛法动画演示

用可靠的洪泛法发送更新报文



更新报文



确认报文

Silent

PLAY

STOP

内部网关协议比较

四、 外部网关协议：边界网关协议（BGP）

BGP 特性

BGP 属于域间路由协议，

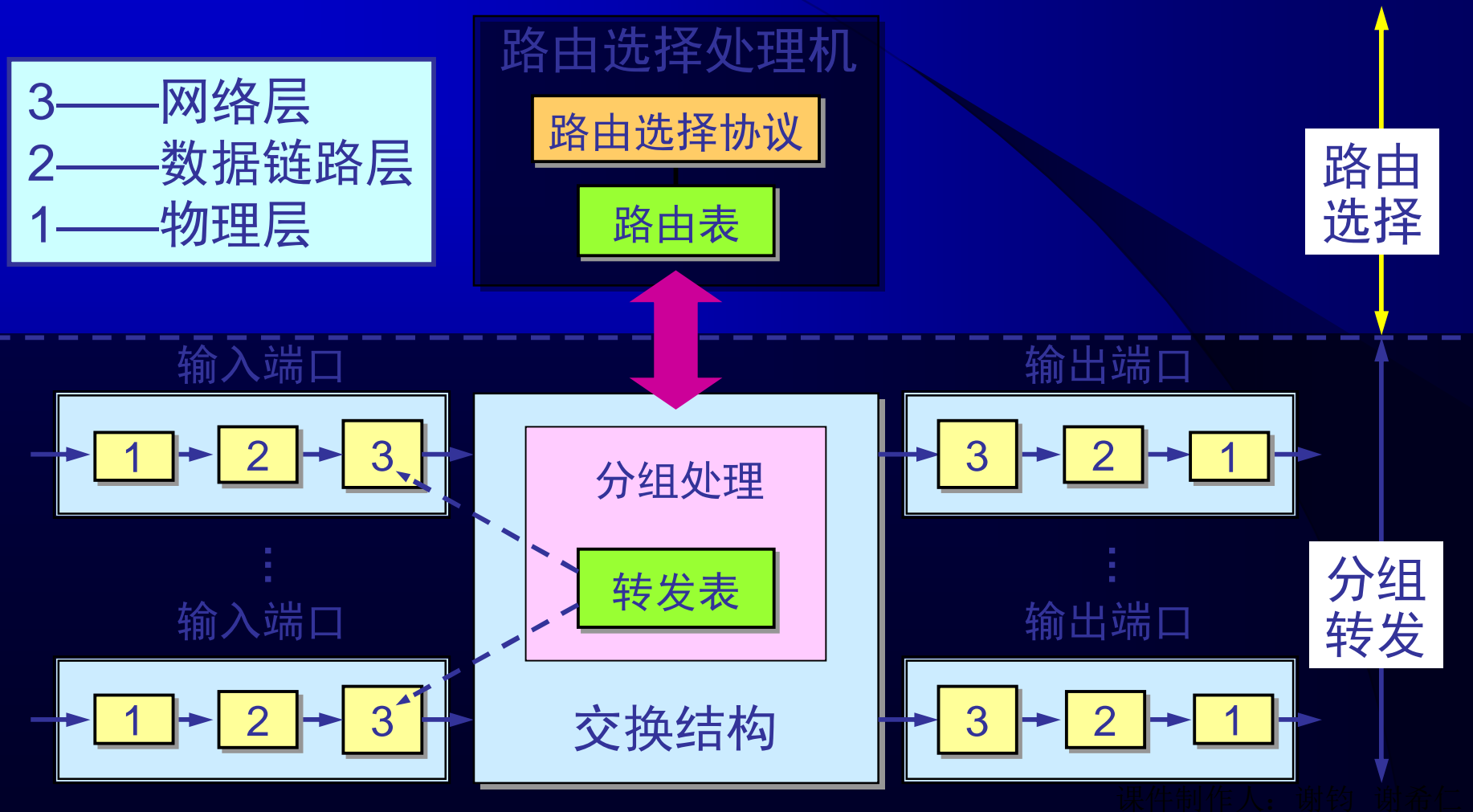
BGP 采用路径向量协议。

BGP 能够支持基于策略的路由。

采用了传输层的 TCP 协议

4.5 路由器的工作原理

4.5.1 路由器的构成

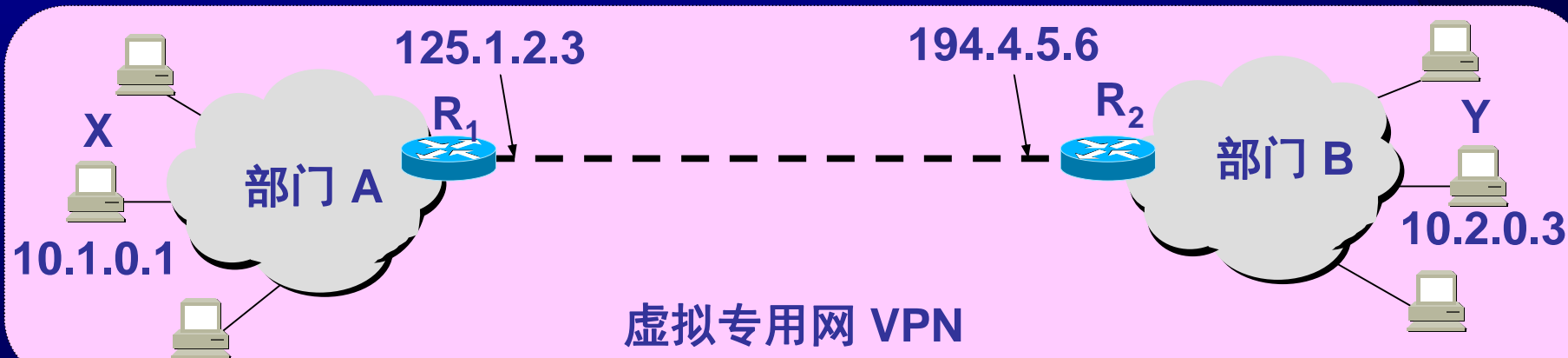
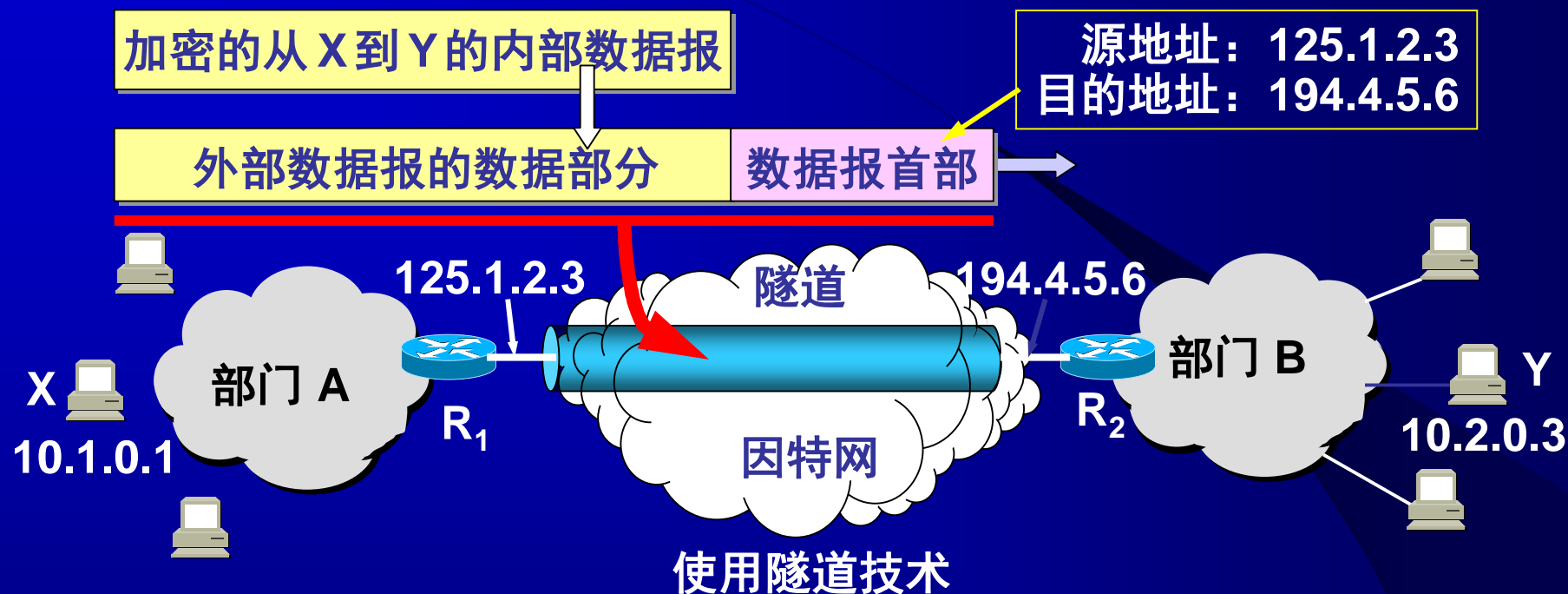


课件制作人：谢钧 谢希仁

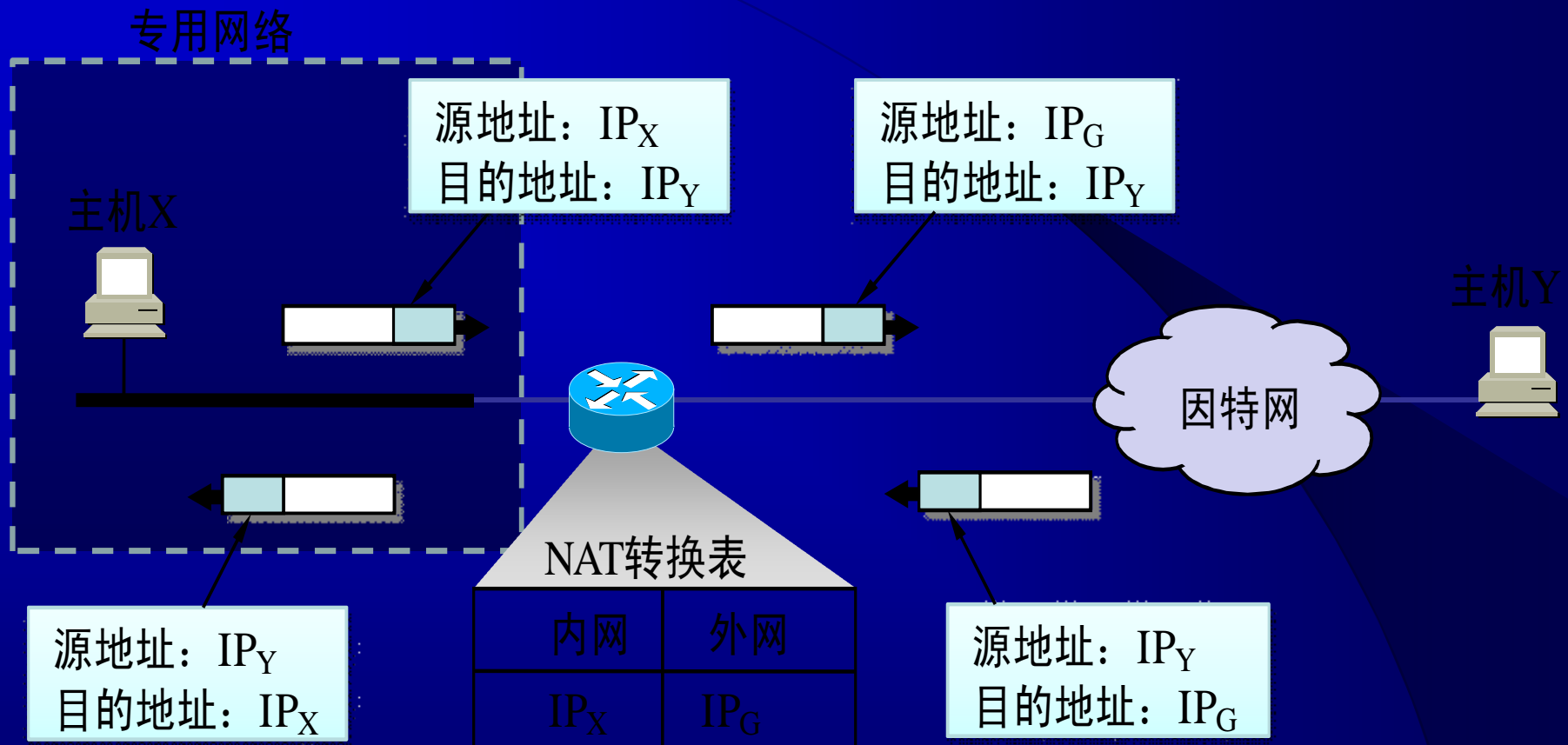
4.5.2 路由器与交换机的比较

优点

4.6 VPN 与 NAT(选学)



NAT基本方法



为支持更多主机访问因特网,路由器具有N个全球性地址,它字段来区别使用,那么至多只能有N个内网主机能够同时访问因特网。

4.7 IP多播 (选学)

多播与同时向多个目的站独立地发送数据报的区别

动画演示

多播可明显地减少网络中资源的消耗

PLAY

STOP

Silent

4.8 移动IP (选学)

4.8.1 移动性对网络应用的影响

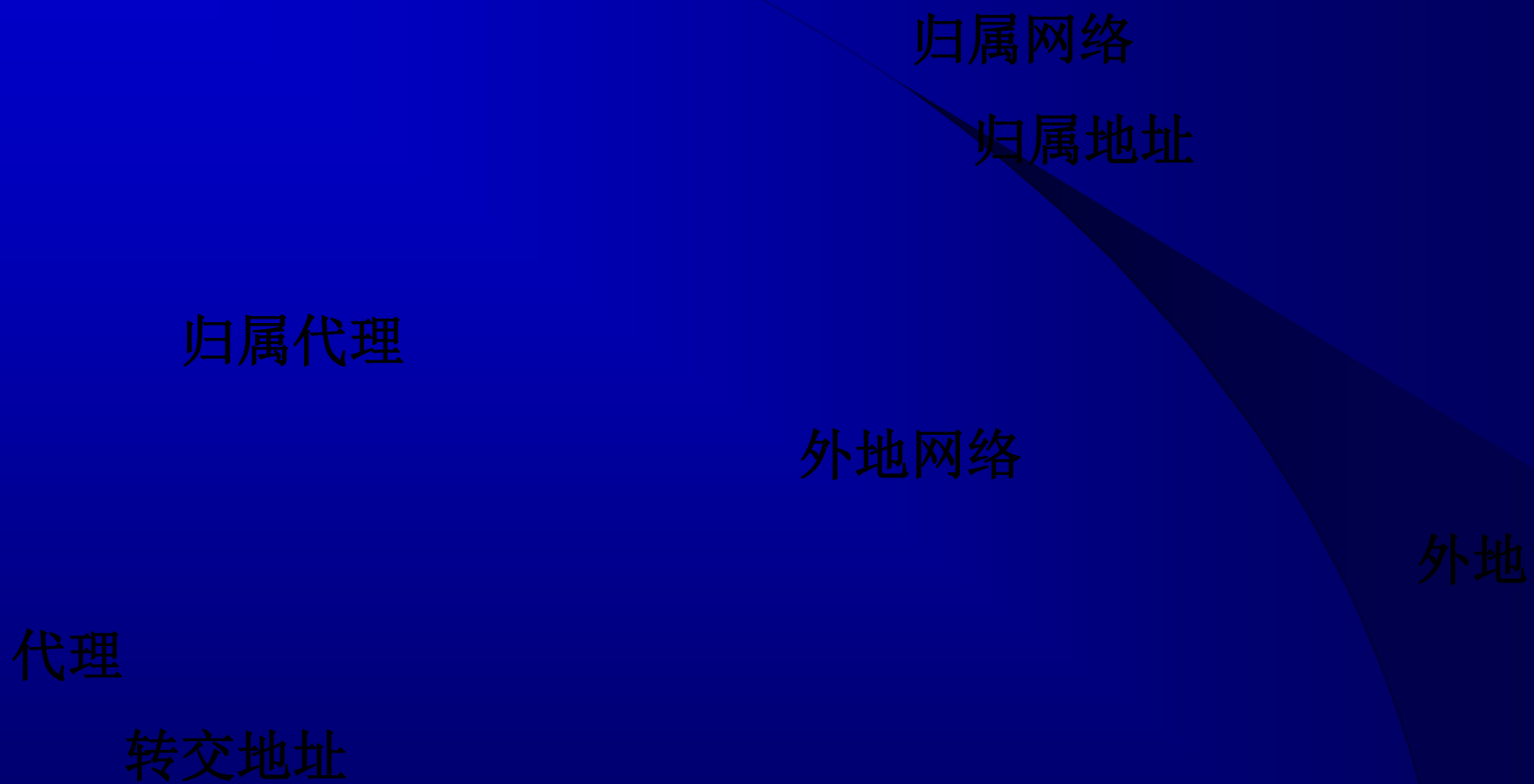
Ø

Ø

Ø

移动透明性

4.8.2 移动IP的工作原理



4.9 下一代的网际协议IPv6

IPv6基本首部（40字节）

通信量类

流标号：
下一个首部

跳数限制：

扩展首部

IPv6地址表示：冒号十六进制记法

Ø

Ø

点分十进制记法的后缀

Ø

Ø

Ø

4.10 多协议标签交换MPLS (选学)

Ø

Ø

Ø

流量工程

本章知识点

本章作业
