



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

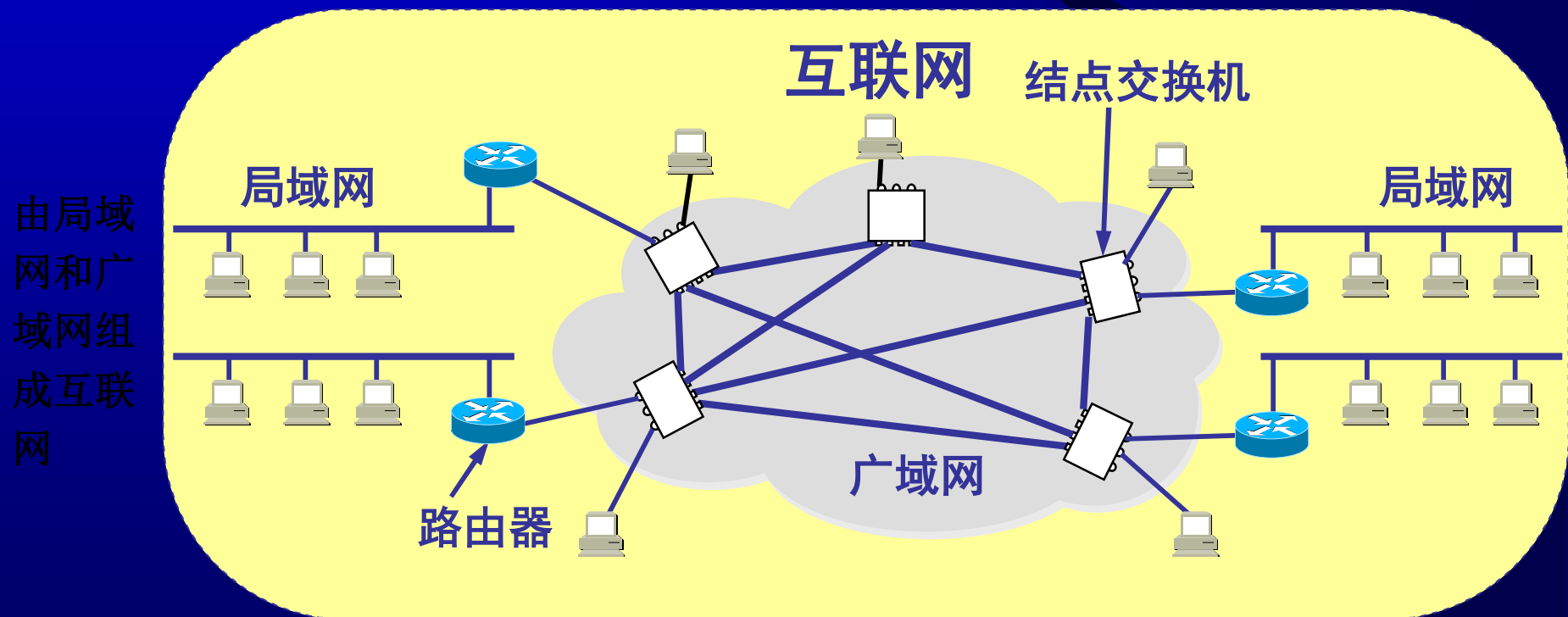
章	节	知识点	相关概念或原理
		网络层两种服务	
		异构网络互连、IP地址 IP数据报格式、IP数据报转发	
		ICMP报文种类	
		路由选择协议、内部网关协议	
		路由器构成、三层交换机	
		网络地址转换	
		IP v6首部格式、IP v6编址、 IP v4向IP v6过渡	

## 4.1 网络层提供的两种服务

---

### 一、广域网的基本概念

# 广域网的基本概念



## 二、网络层的两种服务：虚电路和数据报

### ┆ 虚电路 ( Virtual Circuit ) 服务

r

r

r

r

r

### ┆ 数据报 ( Data gram )

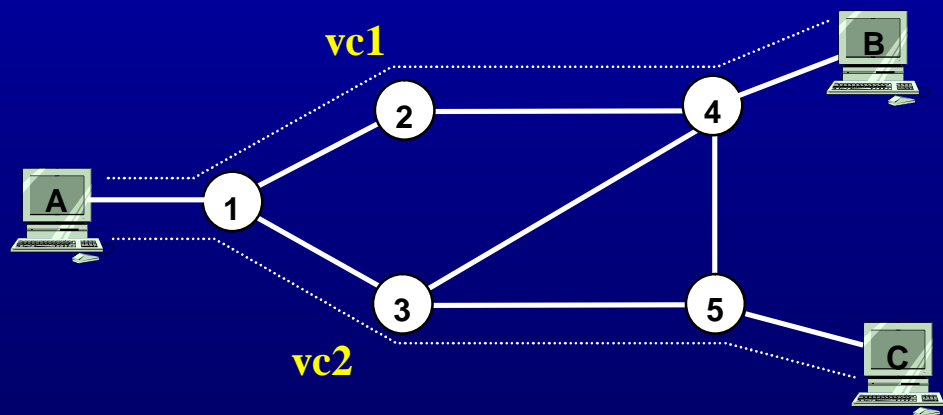
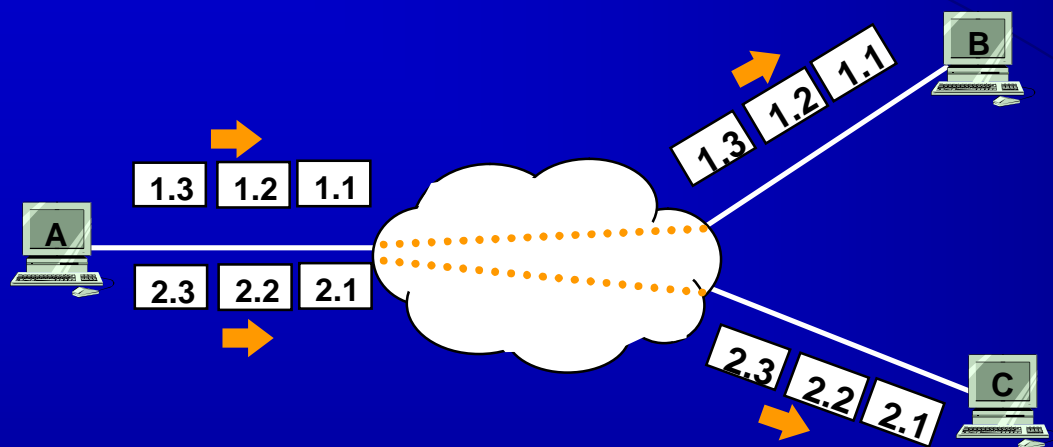
r

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**。

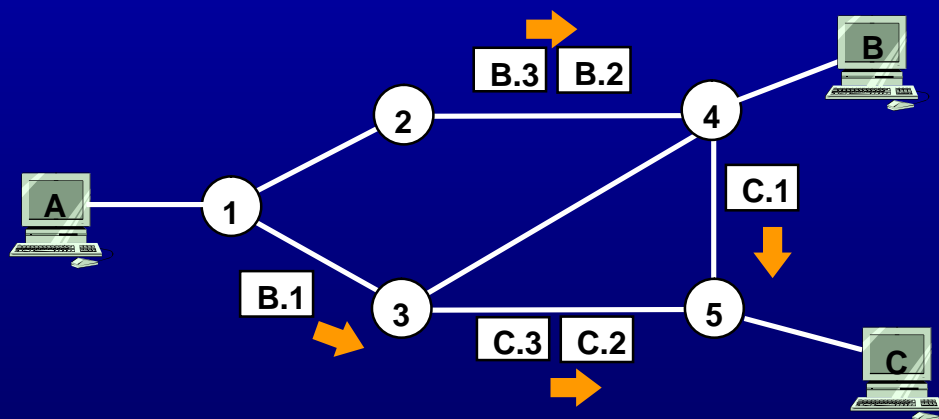
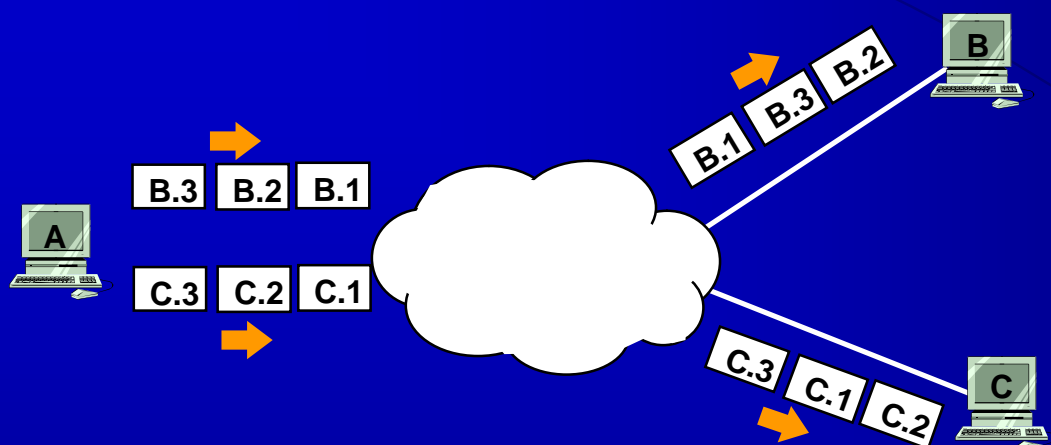
3、主机B同意通信就**发回响应**，然后双方就可以传送数据了。

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.

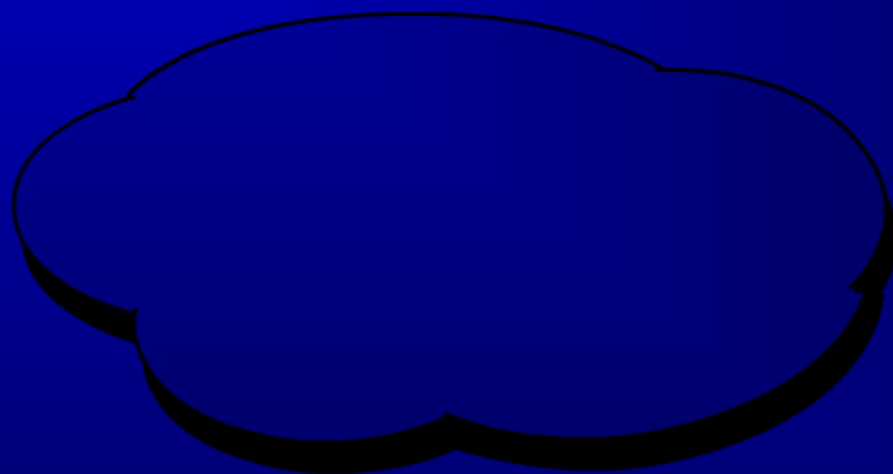
在一个网络中，还可以有多个主机同时发送数据报。



# 动画演示

数据报服务和虚电路服务

Silent

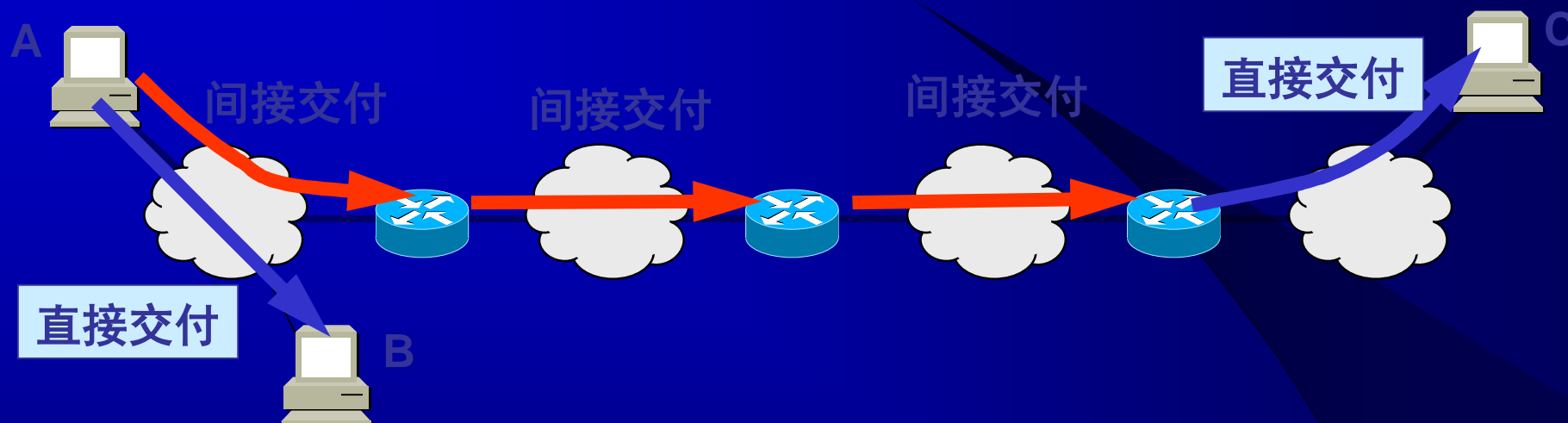


### 3、虚电路与数据报的比较

虚电路

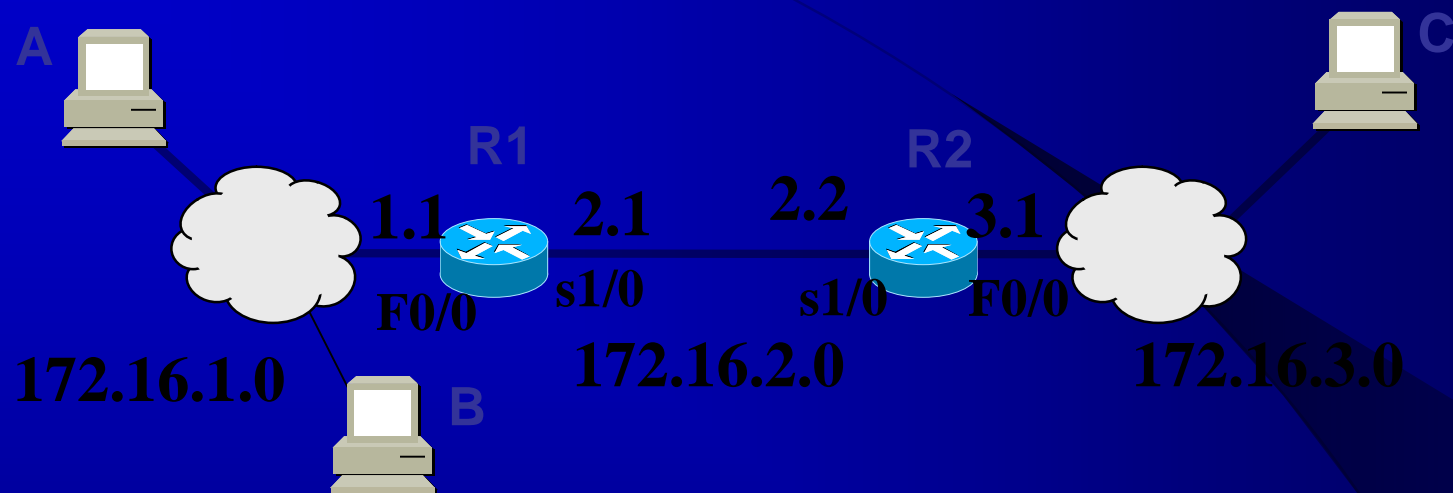
数据报

### 三、直接交付和间接交付 P127



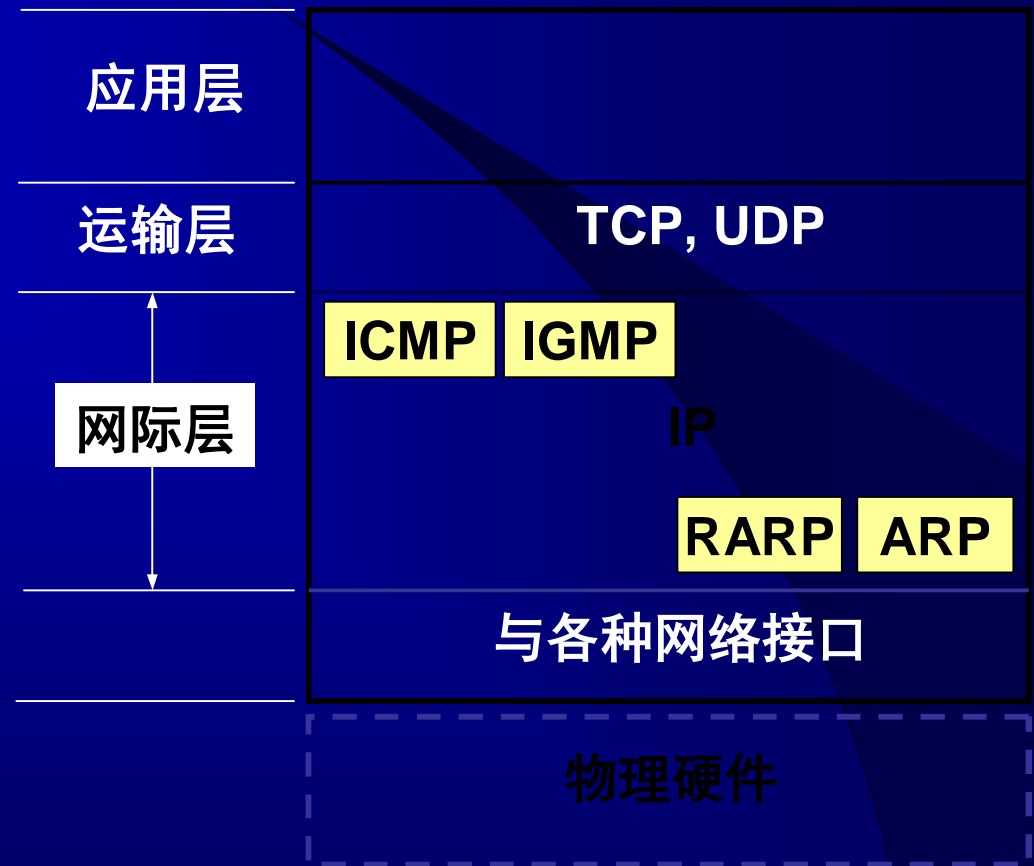
直接交付不需要使用路由器  
但间接交付就必须使用路由器

# 直接交付和间接交付



## 4.2 网际协议IP

### Internet的网络层协议及其配套协议



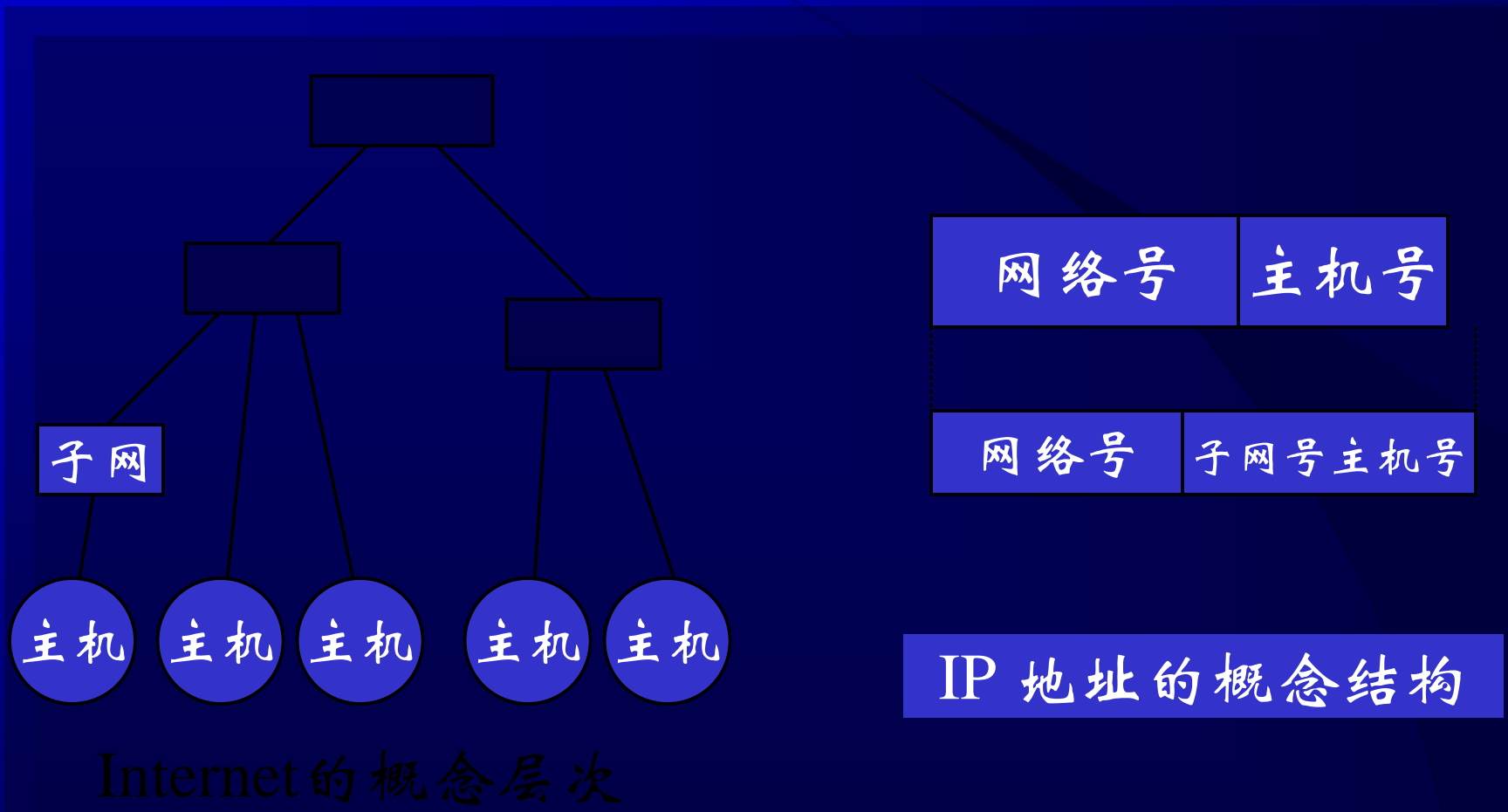
## 4.2.1 异构网络互连

### 中间设备的分类

## 4.2.2 IP地址及编址方式

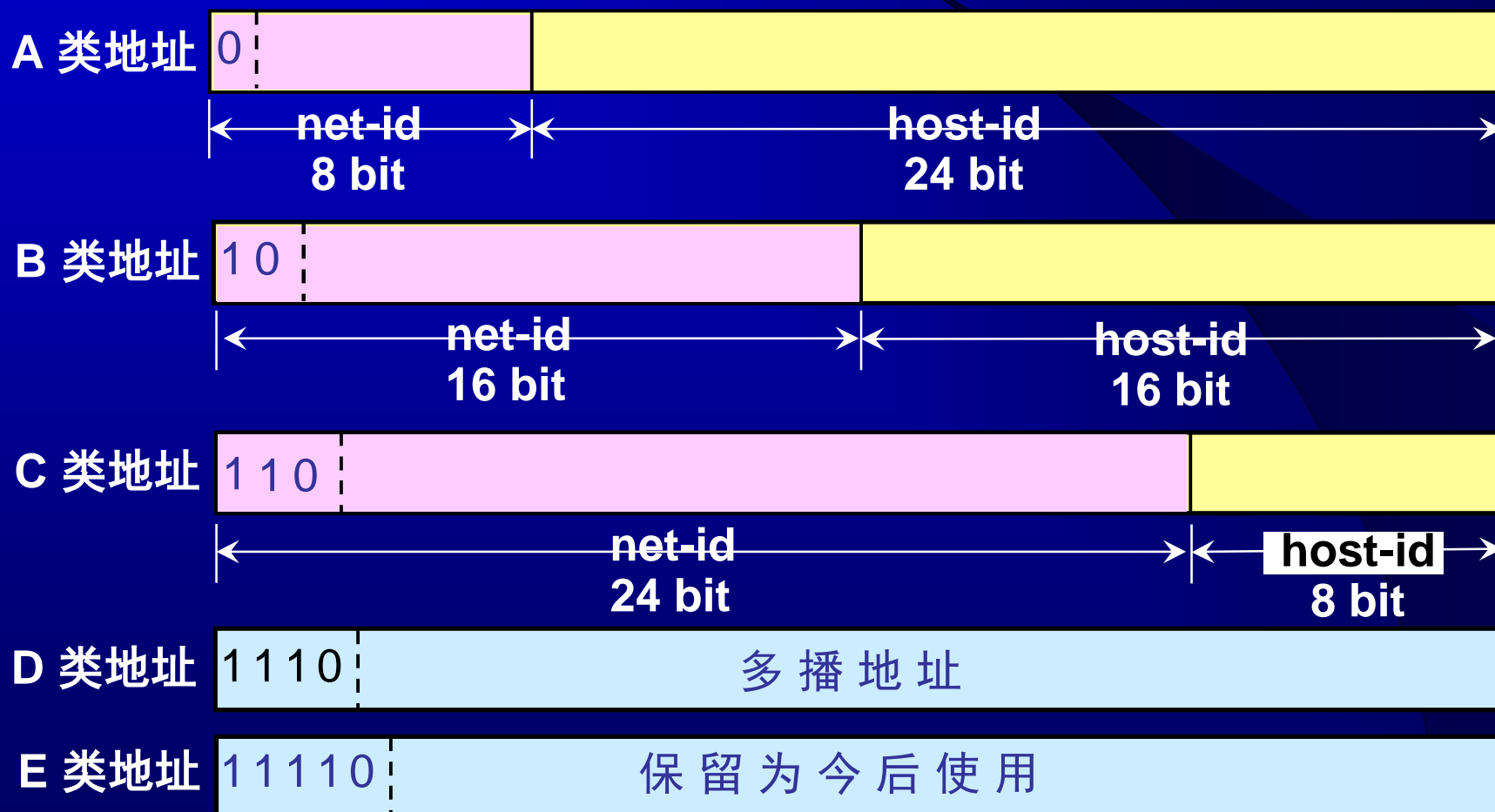
### IP地址及其表示方法

# 一、IP 地址的结构





## 二、IP 地址的分类



### 三、IP地址的特点

- 
- 
- 
-

## 四、IP 地址表示法

| IP 地址的表示法:

# 五、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

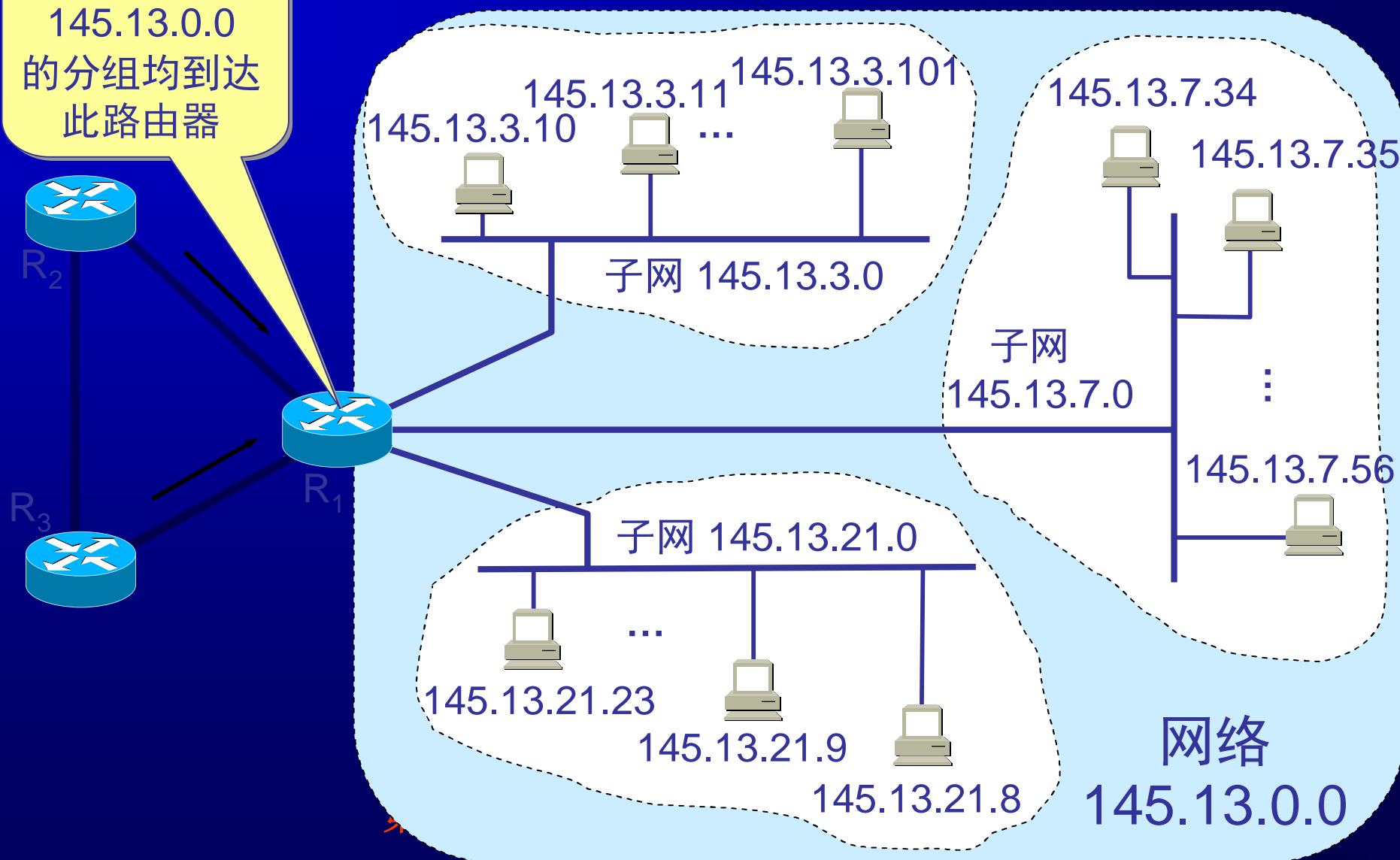
子网掩码默认值

## 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。

## 5、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

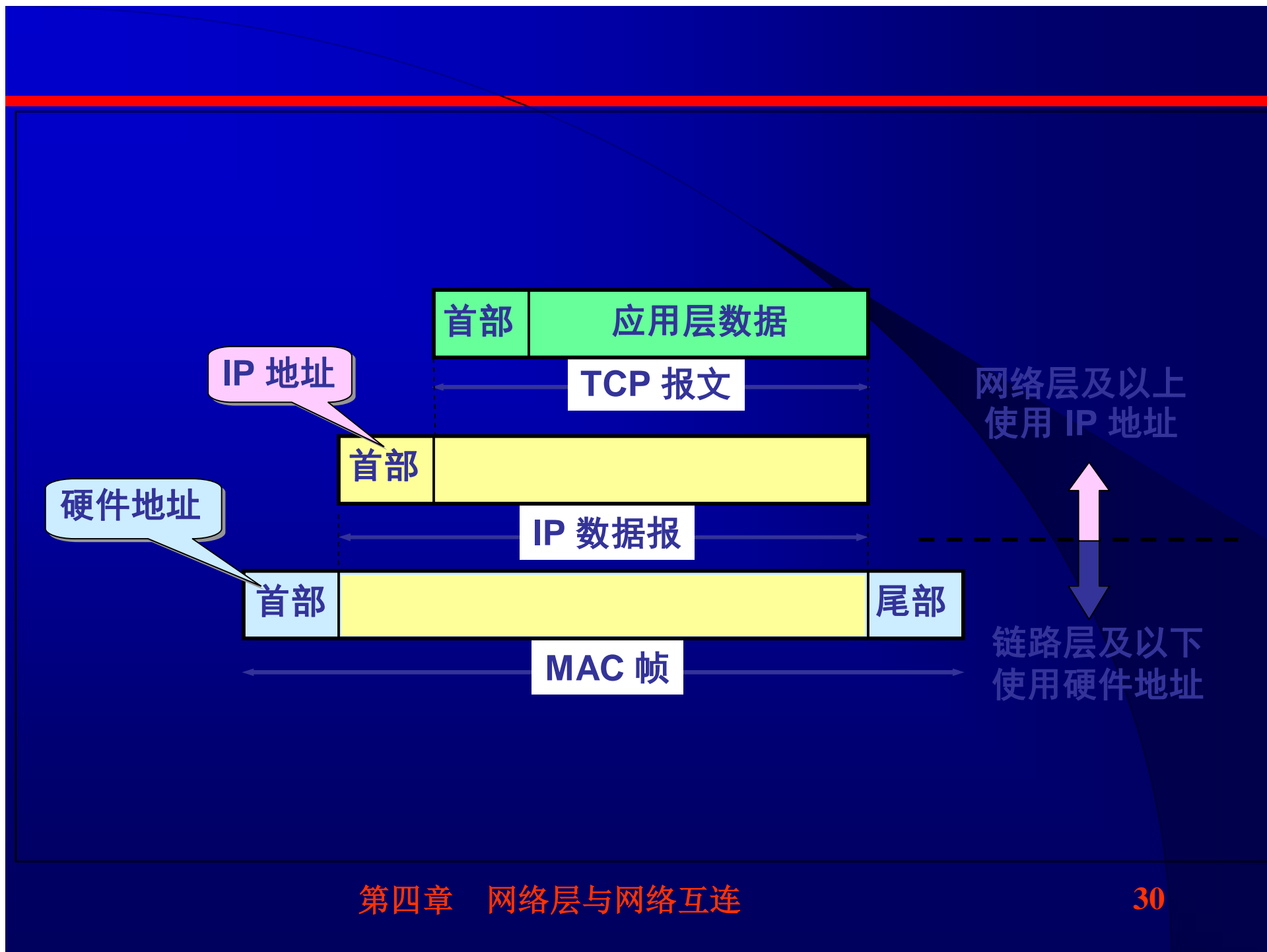
0

### 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

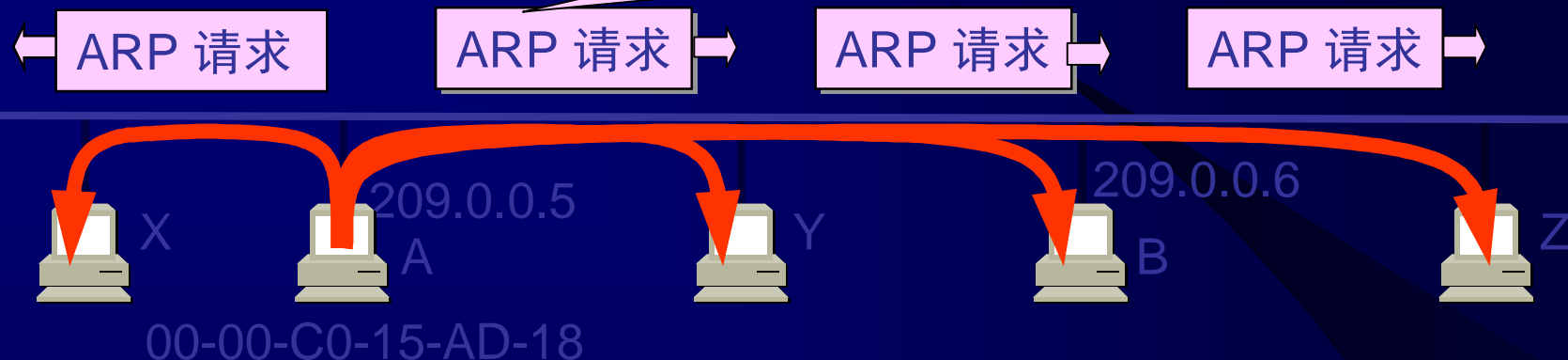
## 4.2.4 地址解析协议ARP

### 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

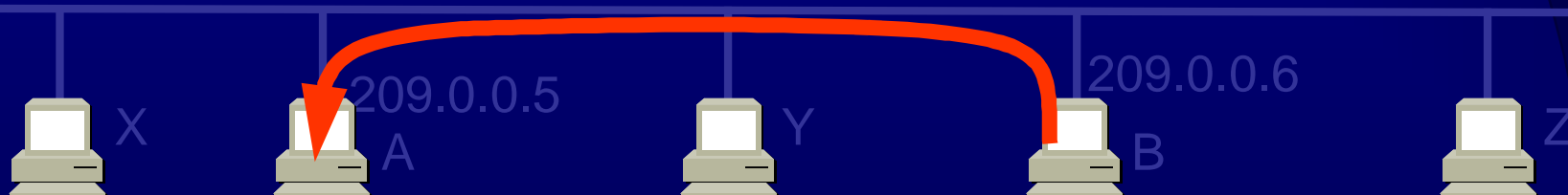
我是 209.0.0.5，硬件地址是 00-00-C0-15-AD-18  
我想知道主机 209.0.0.6 的硬件地址



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

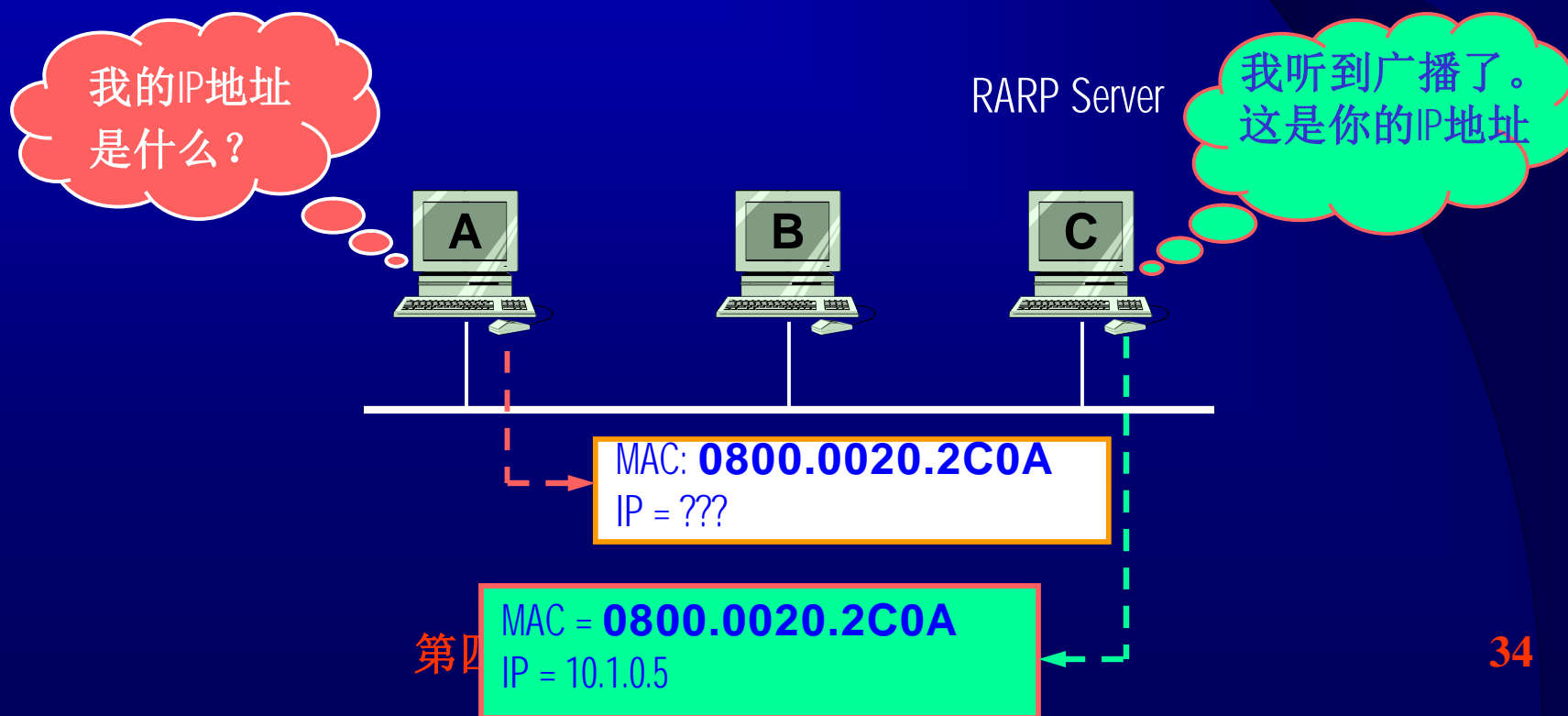


## 2、反向地址解析协议RARP（物理地址 --> IP地址）(选学)

\*

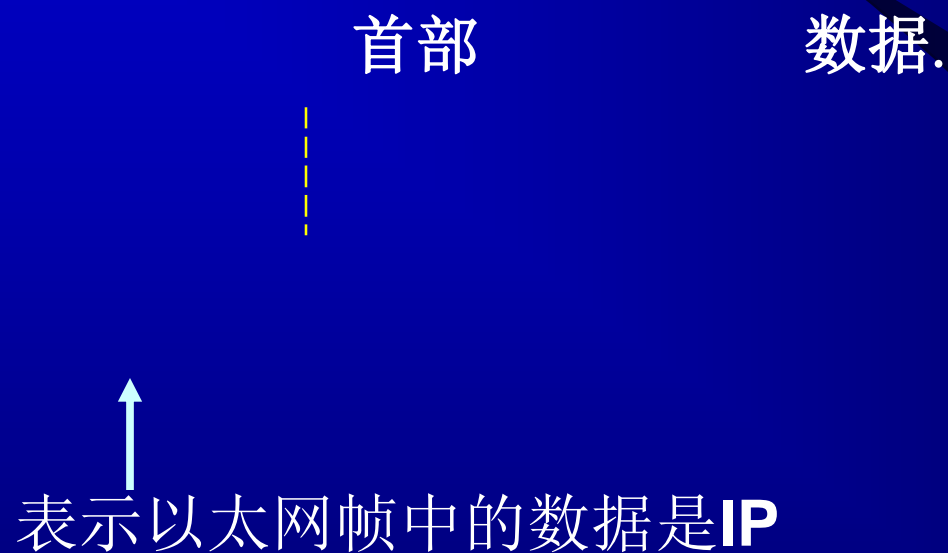
\* RARP服务器查找从硬件地址到IP地址的映射表，找出该硬件地址对应的IP地址；

\* 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

---



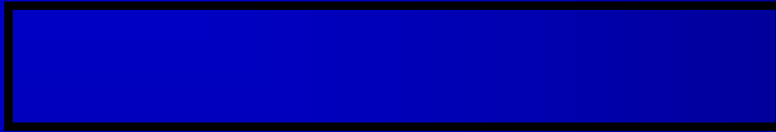
总长度

TL(16bit):

以字节为单位的 IP 数据报的总长度

# IP首部格式

---

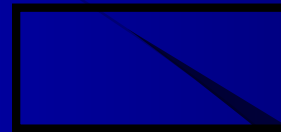


标识



# IP首部格式

---



Ø标志(Flag):

DF(Do

MF (More Fragment):

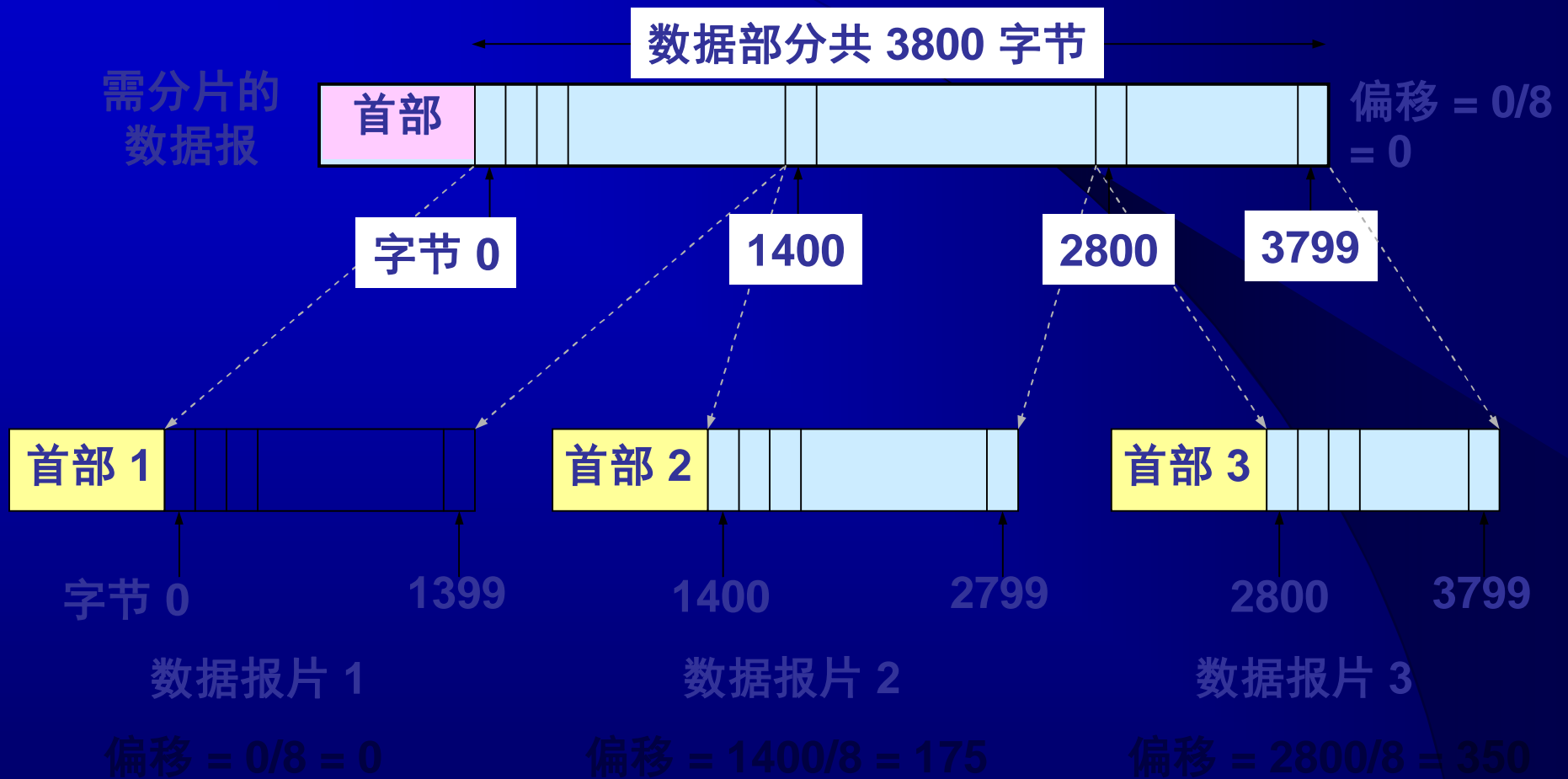
# IP首部格式

---



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



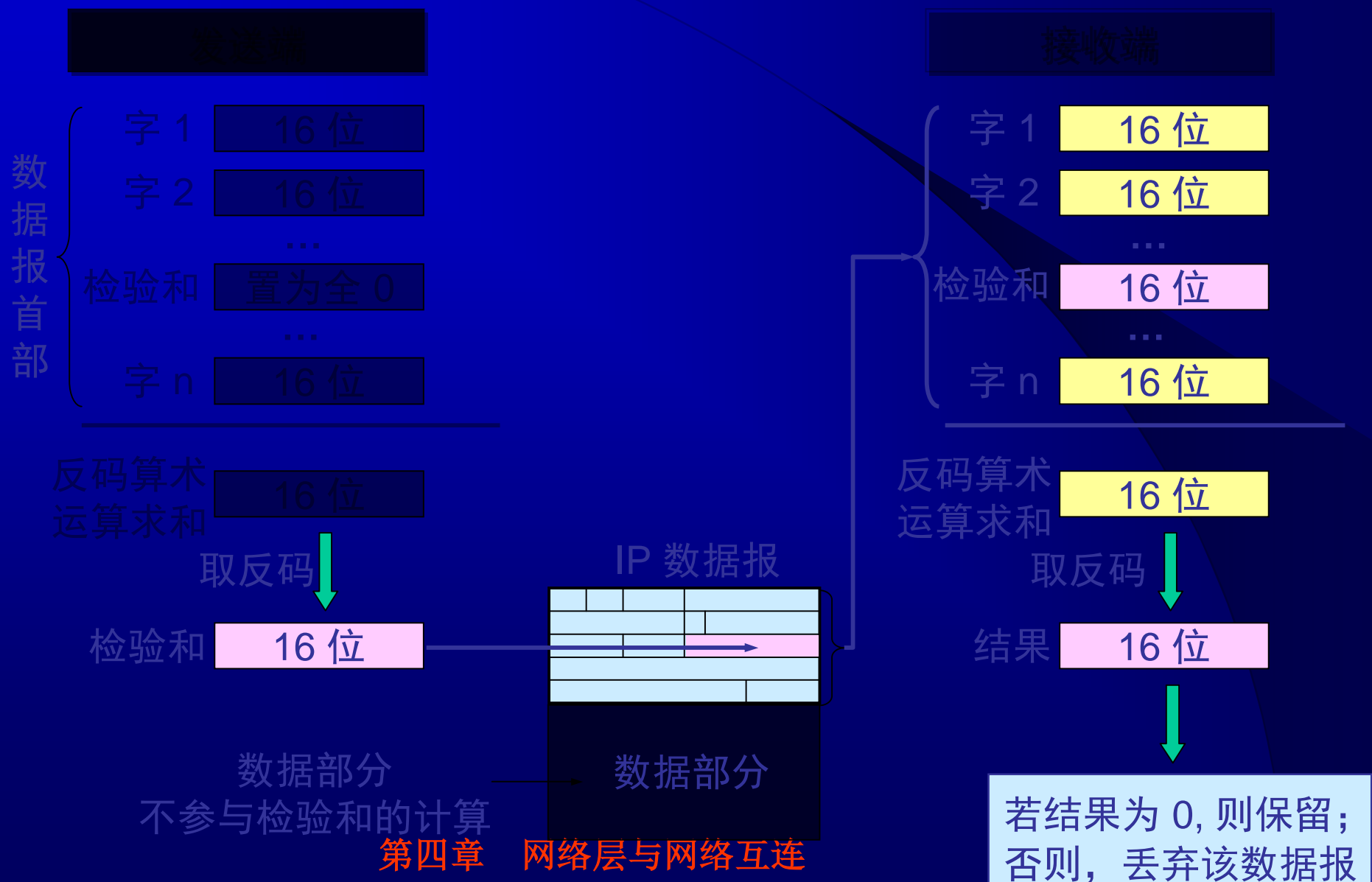
## Ø数据报首部的校验和（2 byte）

### 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





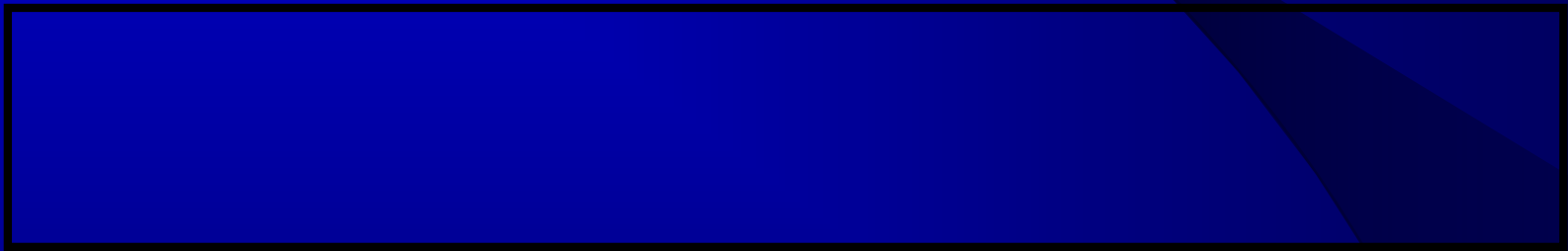
# 首部校验和举例P142

```
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层处理数据报的流程

在Internet中一个路由器的IP层所执行的路由算法为：

1.

2.

3.

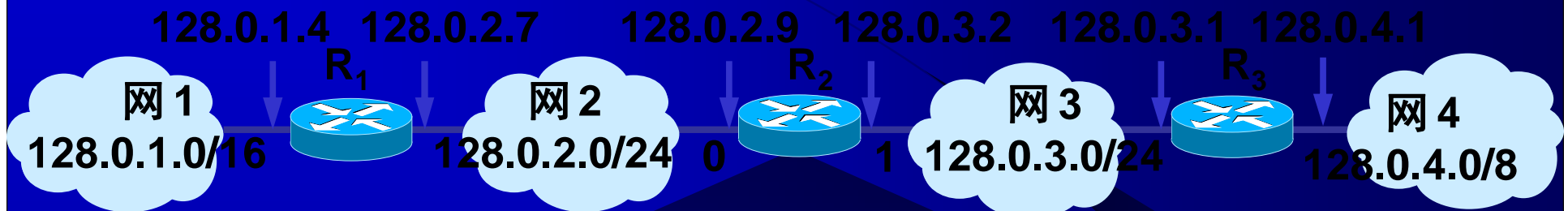
特定主机路由

4.

5.

6.

# 路由表举例P143



路由器 R<sub>2</sub> 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	255.255.0.0	128.0.2.7	0
128.0.4.0	255.0.0.0	128.0.3.1	1

目的主机  
的网络号

下一站路由  
器的地址

## 4.3 因特网控制报文协议 (ICMP) (选学)

Ø

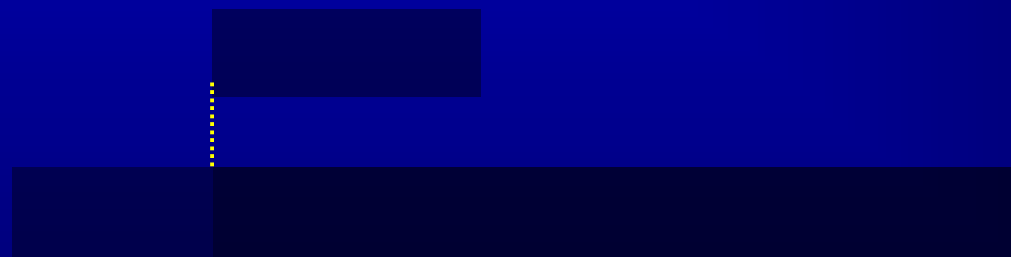
Ø

Ø

Ø

Ø

Ø



ICMP 报文

IP 分组

PROTOCOL = 1 (ICMP)

Ø

# 1、ICMP 协议报文分类

- 允许
- 两类报文
- 主要的ICMP报文:
- ICMP报文封装在IP包内传送



## 2、ICMP 的请求/应答报文

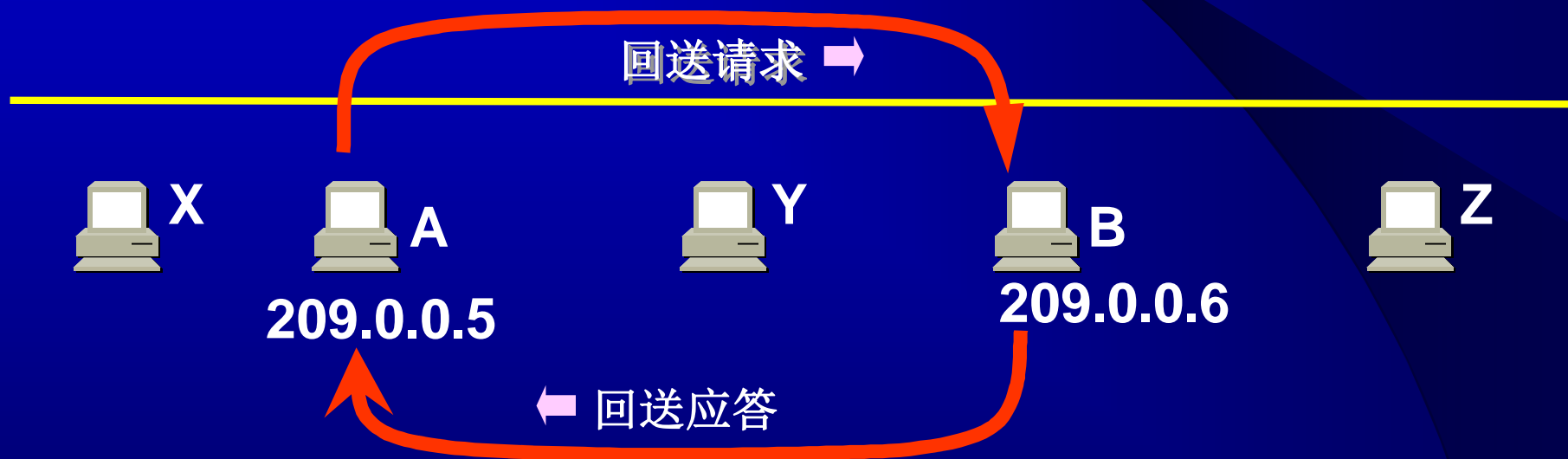
- Ø 回送 (Echo) 请求/应答 (TYPE = 8 / 0)
- Ø 时间戳请求与应答 (TYPE = 13 / 14)
- Ø 地址掩码请求与应答 (TYPE = 17 / 18)

### 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

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**）

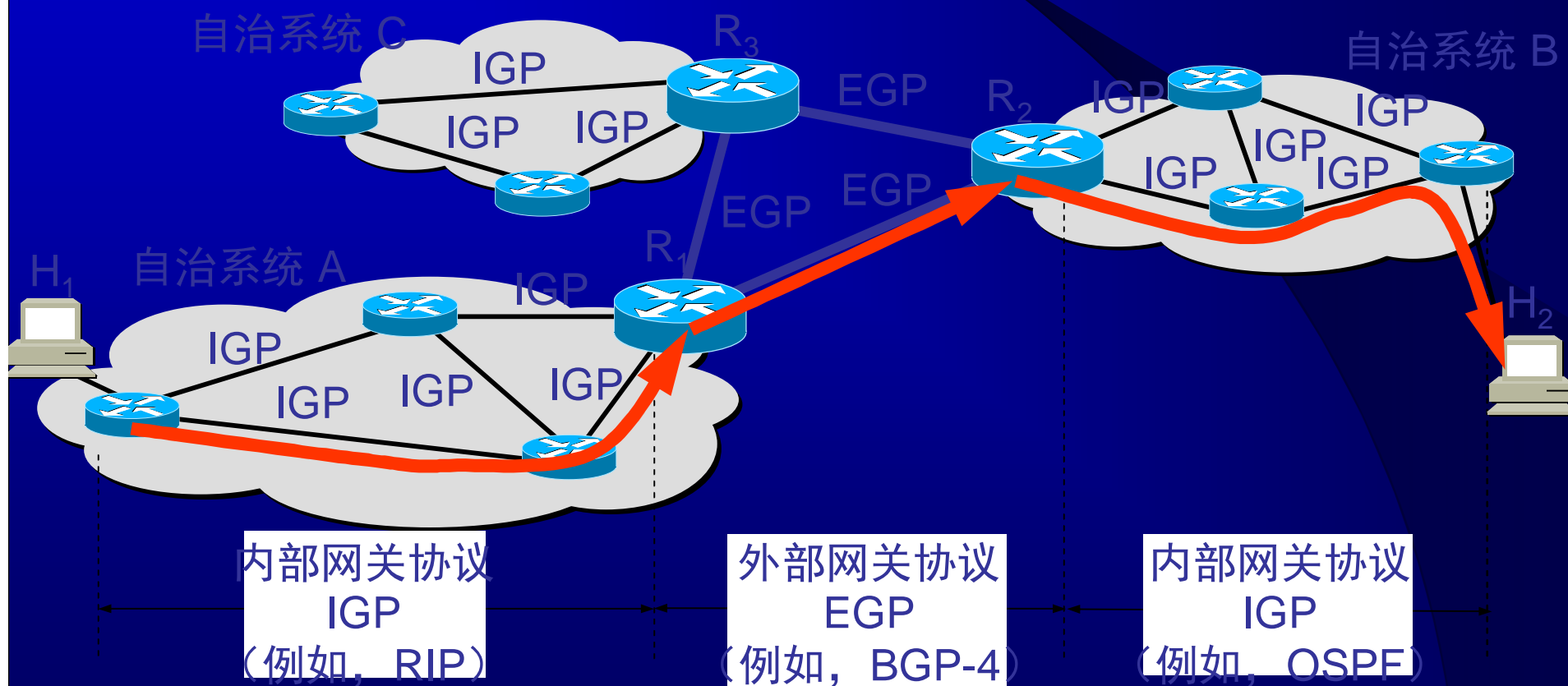
两类路由选择协议：

## 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





## 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

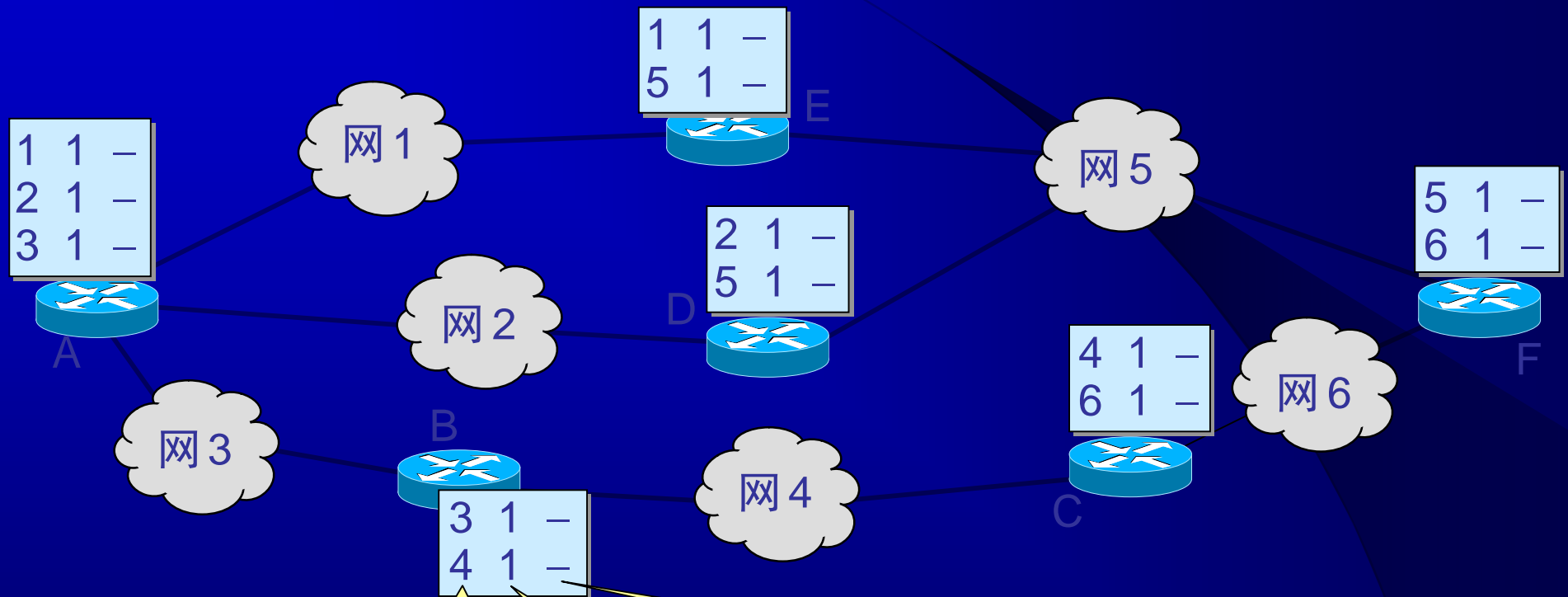
●更新路由表的依据是：

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

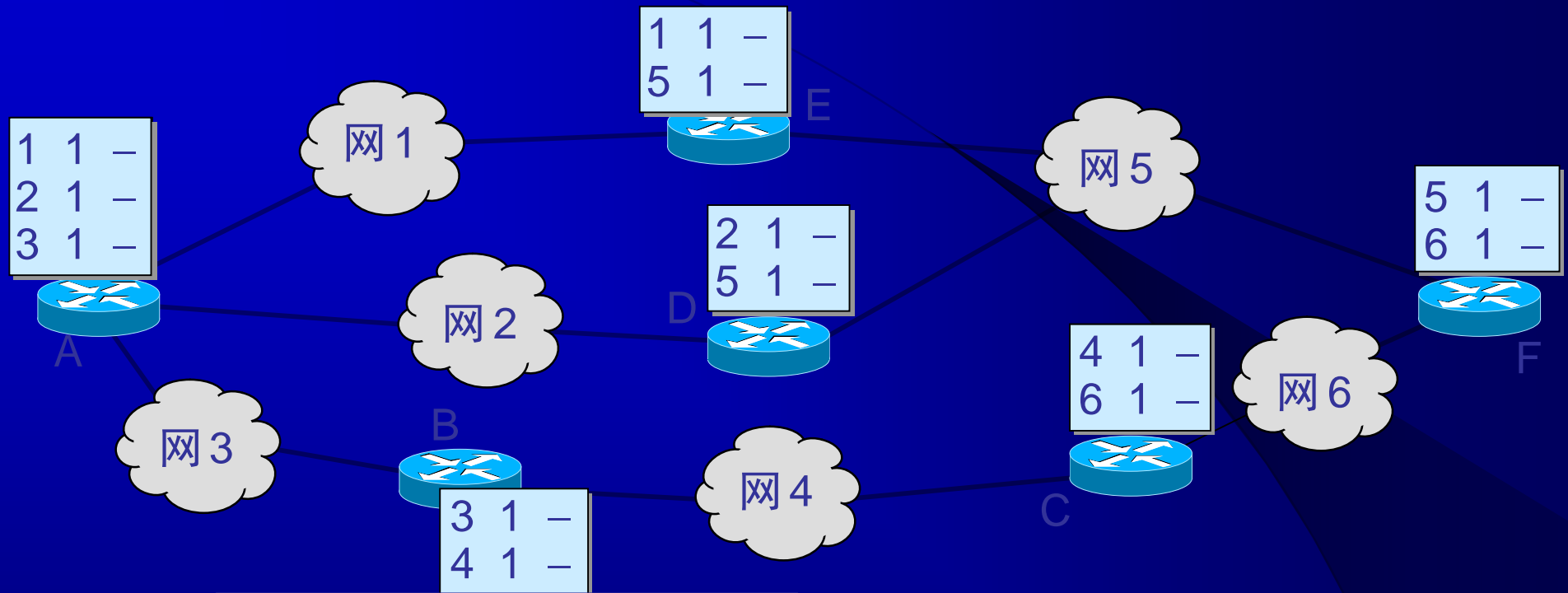


“4”表示“从本路由器  
到网4”

“-”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



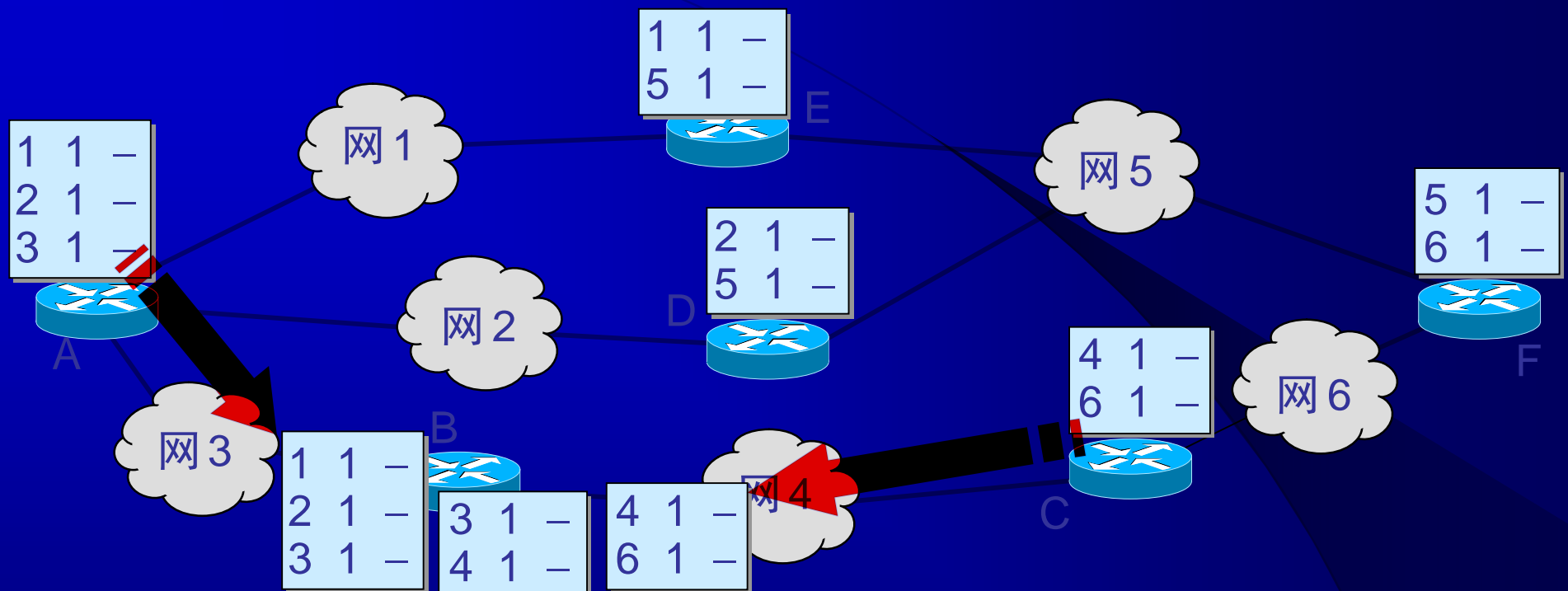
更新后

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。”

网络层与网络互连

## 路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表



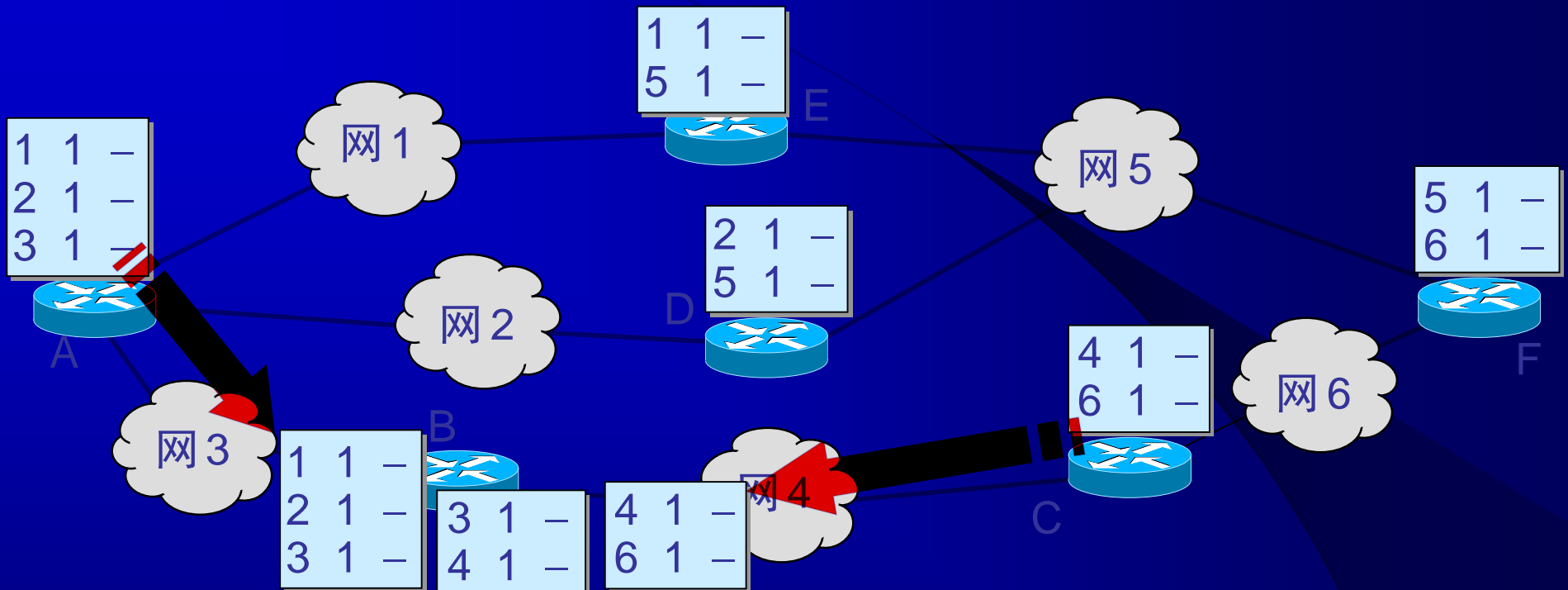
更新后

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。”

网络层与网络互连

## 路由器 B 收到相邻路由器 A 和 C 的路由表



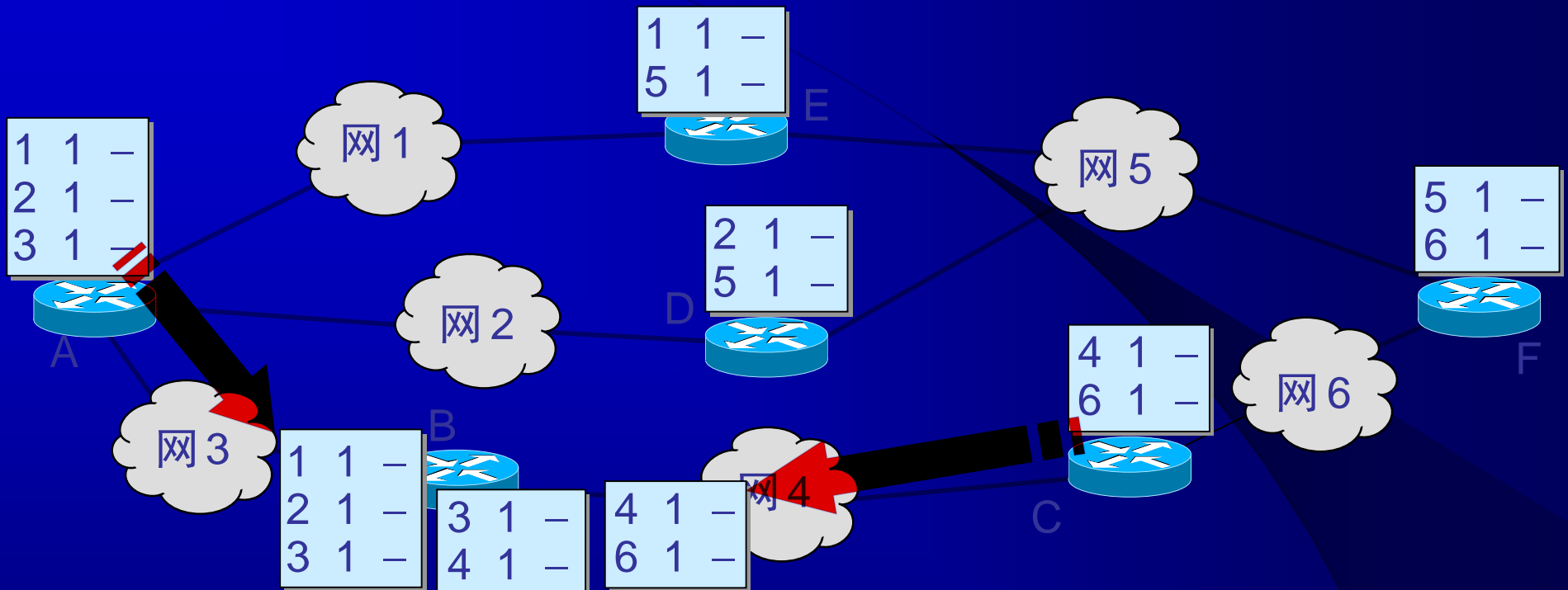
更新后

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

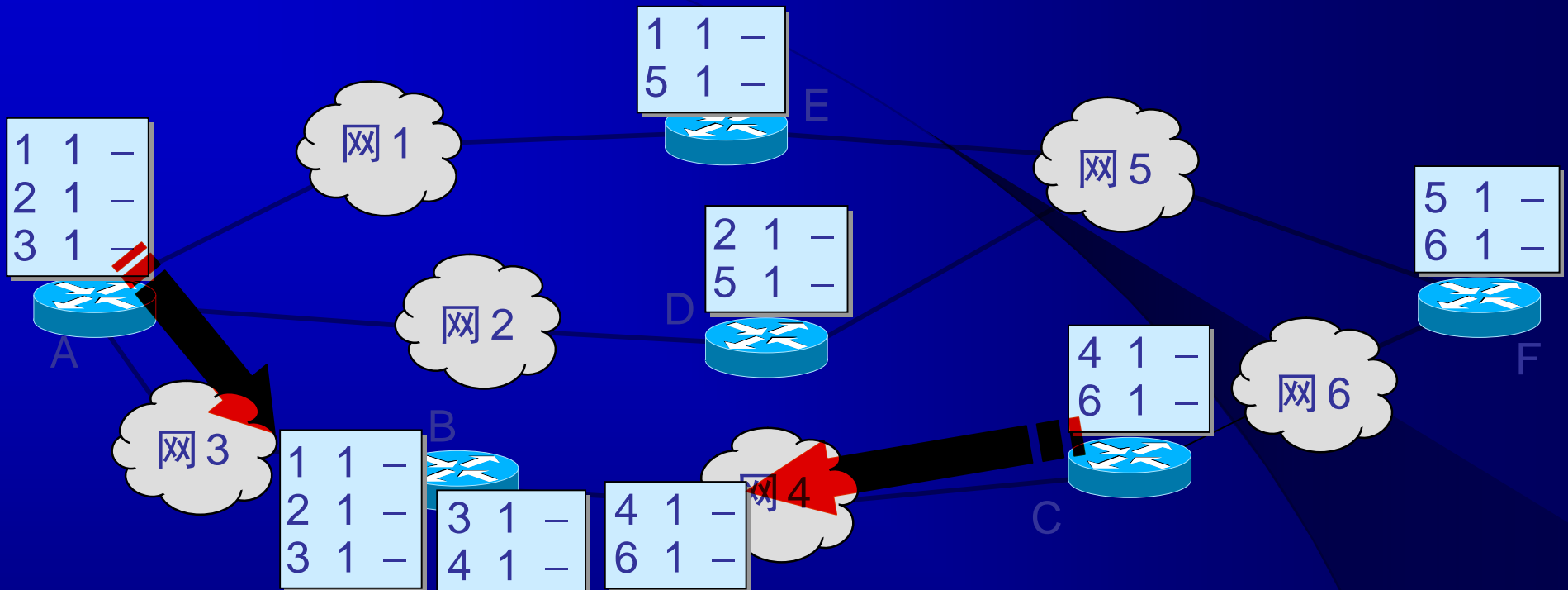


更新后

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



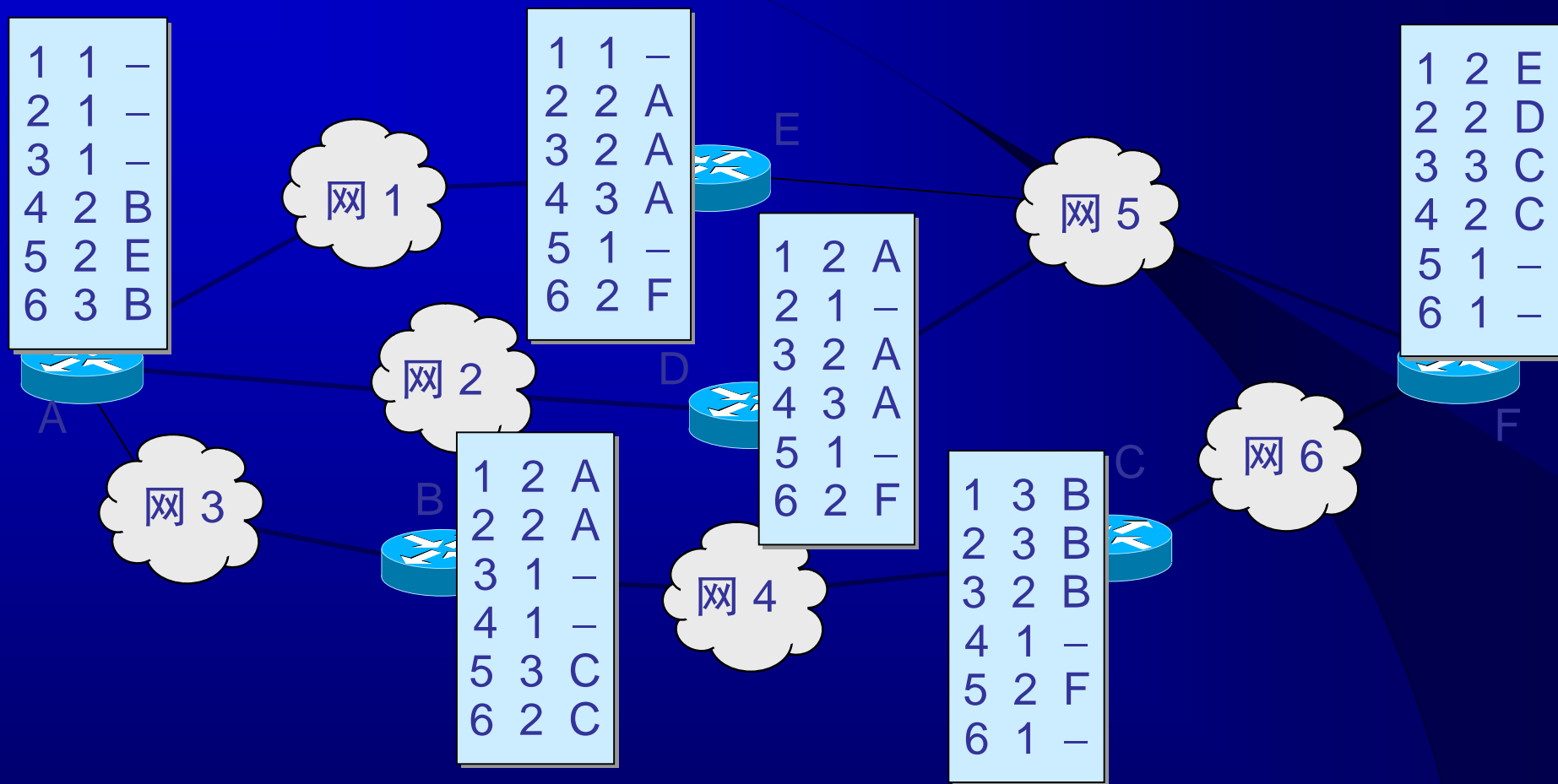
更新后

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。”

网络层与网络互连

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P159

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(选学)**

---

## **4.6 VPN 与NAT(选学)**

## **4.7 IP多播 (选学)**

## **4.8 移动IP (选学)**



# 多播与同时向多个目的站独立地发送数据报的区别

# 多播动画演示

多播可明显地减少网络中资源的消耗

PLAY

STOP

Silent

## 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

∅

∅

# 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

---