



石家庄铁道大学  
SHIJIAZHUANG TIEDAO UNIVERSITY

# 计算机网络

## 第 12 讲 网络层



# 上讲内容回顾

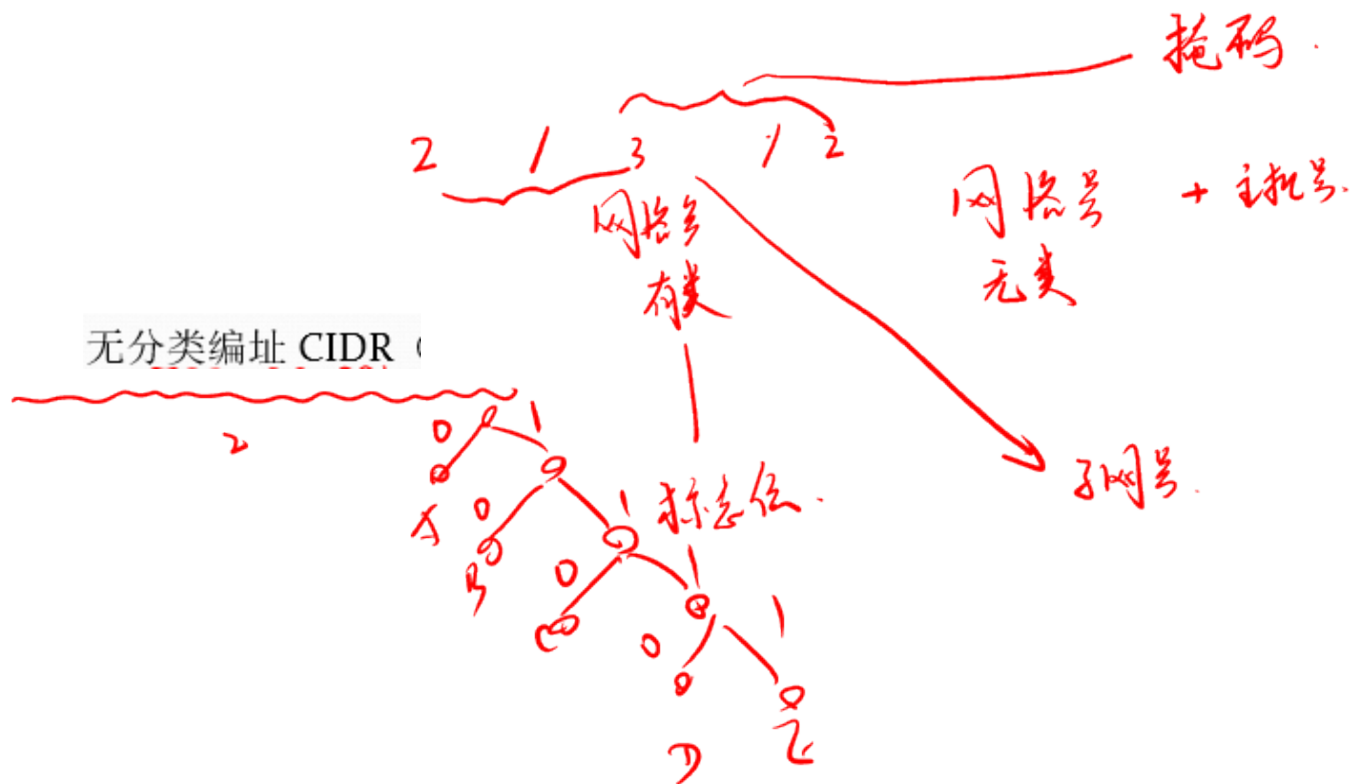
- ◆ 划分子网
- ◆ 使用子网时分组转发
- ◆ 无分类编址 CIDR (构造超网)

掩码

网络号 + 主机号  
无类

子网号







# 本讲内容

- ◆ ICMP 报文的种类
- ◆ ICMP 的应用举例
- ◆ 有关路由选择协议的几个基本概念
- ◆ 内部网关协议 RIP



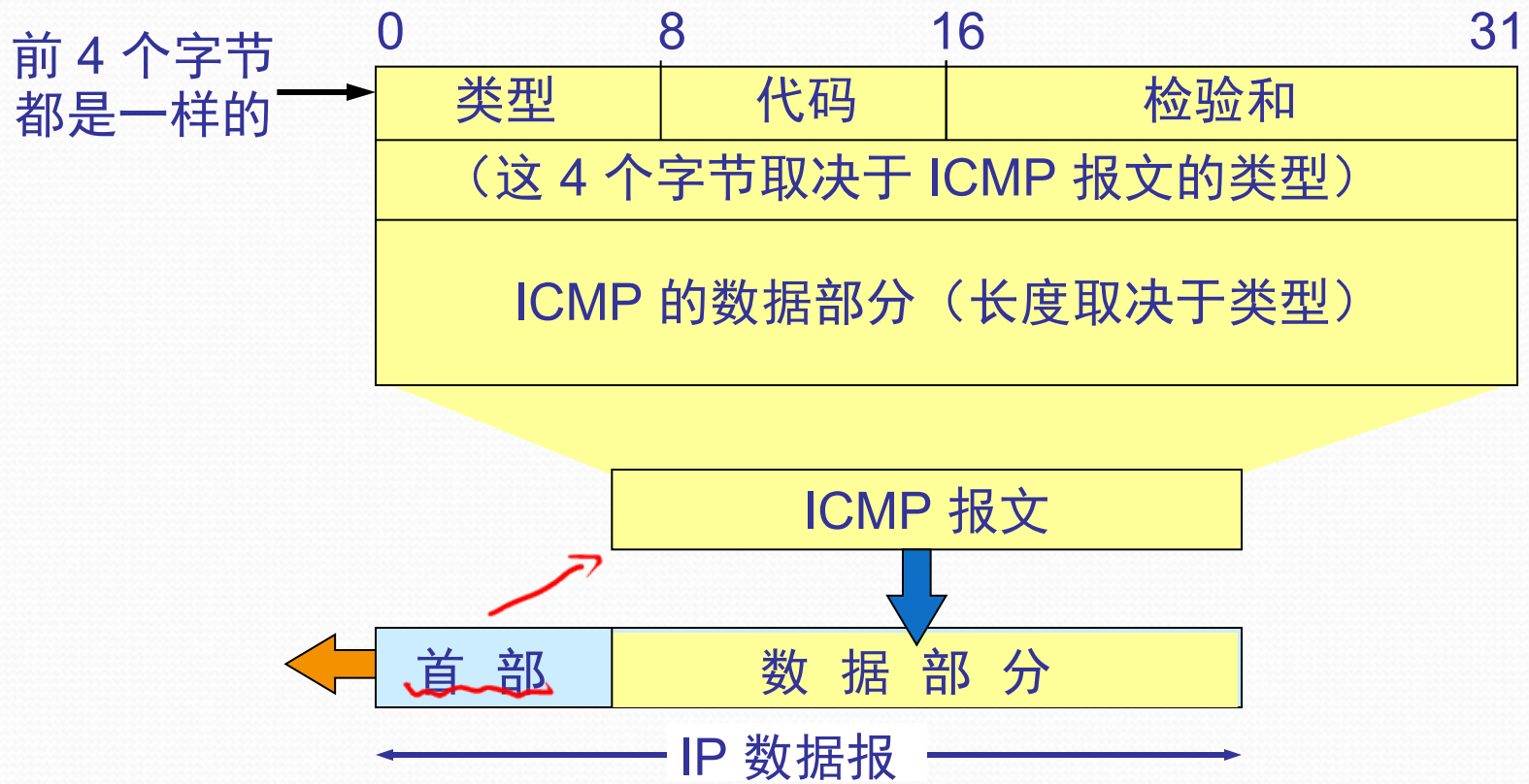
ICMP, ICMP → IP 报文

## 4.4 网际控制报文协议 ICMP ICMP 的报文 封装、解封装

- 为了提高 IP 数据报交付成功的机会，在网际层使用了网际控制报文协议 ICMP (Internet Control Message Protocol)。
- ICMP 允许主机或路由器报告差错情况和提供有关异常情况的报告。
- ICMP 不是高层协议，而是 IP 层的协议。
- ICMP 报文作为 IP 层数据报的数据，加上数据报的首部，组成 IP 数据报发送出去。

协议 { 语法 语义 语用 } ✓

# ICMP 报文的格式



## 4.4.1 ICMP 报文的种类

- ICMP 报文的种类有两种，即 ICMP 差错报告报文 和 ICMP 询问报文。
- ICMP 报文的前 4 个字节是统一的格式，共有三个字段：即类型、代码和检验和。接着的 4 个字节的内容与 ICMP 的类型有关。



# ICMP 差错报告报文共有 5 种

- 终点不可达
- 源点抑制(Source quench)
- 时间超过 TTL.
- 参数问题
- 改变路由（重定向）(Redirect)

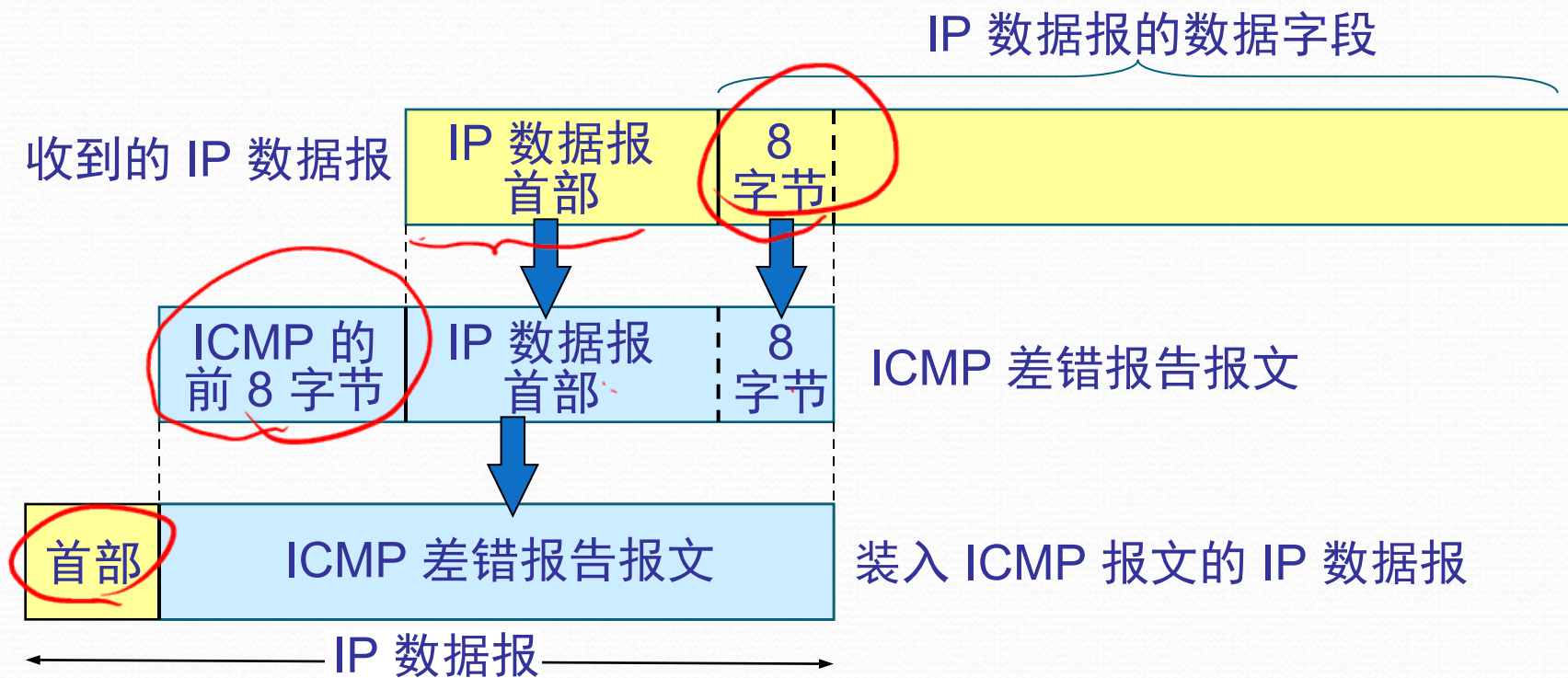
ARP

?



IP 报文 116-0

## ICMP 差错报告报文的数据字段的内容



## 不应发送 ICMP 差错报告报文 的几种情况

①

- 对 ICMP 差错报告报文不再发送 ICMP 差错报告报文。
- 对第一个分片的数据报片的所有后续数据报片都不发送 ICMP 差错报告报文。
- 对具有多播地址的数据报都不发送 ICMP 差错报告报文。
- 对具有特殊地址（如127.0.0.0 或 0.0.0.0）的数据报不发送 ICMP 差错报告报文。



# ICMP 询问报文有两种

- 回送请求和回答报文
- 时间戳请求和回答报文

下面的几种 ICMP 报文不再使用

- 信息请求与回答报文
- 掩码地址请求和回答报文
- 路由器询问和通告报文

ping

网际互连网  
网际互连网

tracert

www.hidu.com

www.stdu.edu.cn

外网



## 4.4.2 ICMP的应用举例

### PING (Packet InterNet Groper)

- PING 用来测试两个主机之间的连通性。
- PING 使用了 ICMP 回送请求与回送回答报文。
- PING 是应用层直接使用网络层 ICMP 的例子，它没有通过运输层的 TCP 或UDP。

印更性  
网络服务做

troubleshoot 断网的地方 - icmp

ARP 劫持

✓ ping of death

## PING 的应用举例

public 通，是不是 IP 地址？

```
C:\Documents and Settings\XXR>ping mail.sina.com.cn
```

```
Pinging mail.sina.com.cn [202.108.43.230] with 32 bytes of data:
```

```
Reply from 202.108.43.230: bytes=32 time=368ms TTL=242
```

```
Reply from 202.108.43.230: bytes=32 time=374ms TTL=242
```

```
Request timed out.
```

```
Reply from 202.108.43.230: bytes=32 time=374ms TTL=242
```

```
Ping statistics for 202.108.43.230:
```

```
    Packets: Sent = 4, Received = 3, Lost = 1 (25% loss),
```

```
Approximate round trip times in milli-seconds:
```

```
    Minimum = 368ms, Maximum = 374ms, Average = 372ms
```

## Traceroute 的应用举例

```
C:\Documents and Settings\XXR>tracert mail.sina.com.cn
```

```
Tracing route to mail.sina.com.cn [202.108.43.230]  
over a maximum of 30 hops:
```

1	24 ms	24 ms	23 ms	222.95.172.1
2	23 ms	24 ms	22 ms	221.231.204.129
3	23 ms	22 ms	23 ms	221.231.206.9
4	24 ms	23 ms	24 ms	202.97.27.37
5	22 ms	23 ms	24 ms	202.97.41.226
6	28 ms	28 ms	28 ms	202.97.35.25
7	50 ms	50 ms	51 ms	202.97.36.86
8	308 ms	311 ms	310 ms	219.158.32.1
9	307 ms	305 ms	305 ms	219.158.13.17
10	164 ms	164 ms	165 ms	202.96.12.154
11	322 ms	320 ms	2988 ms	61.135.148.50
12	321 ms	322 ms	320 ms	freemail43-230.sina.com [202.108.43.230]

```
Trace complete.
```





# 4.5 因特网的路由选择协议

## 4.5.1 有关路由选择协议的几个基本概念

### 1. 理想的路由算法

- 算法必须是正确的和完整的。
- 算法在计算上应简单。
- 算法应能适应通信量和网络拓扑的变化，这就是说，要有自适应性。
- 算法应具有稳定性。
- 算法应是公平的。
- 算法应是最佳的。

# 关于“最佳路由”

- 不存在一种绝对的最佳路由算法。
- 所谓“最佳”只能是相对于某一种特定要求下得出的较为合理的选择而已。
- 实际的路由选择算法，应尽可能接近于理想的算法。
- 路由选择是个非常复杂的问题
  - 它是网络中的所有结点共同协调工作的结果。
  - 路由选择的环境往往是不不断变化的，而这种变化有时无法事先知道。



# 从路由算法的自适应性考虑

- **静态**路由选择策略——即非自适应路由选择，其特点是简单和开销较小，但不能及时适应网络状态的变化。
- **动态**路由选择策略——即自适应路由选择，其特点是能较好地适应网络状态的变化，但实现起来较为复杂，开销也比较大。







## 2. 分层次的路由选择协议

- 因特网采用分层次的路由选择协议。
- 因特网的规模非常大。如果让所有的路由器知道所有的网络应怎样到达，则这种路由表将非常大，处理起来也太花时间。而所有这些路由器之间交换路由信息所需的带宽就会使因特网的通信链路饱和。
- 许多单位不愿意外界了解自己单位网络的布局细节和本部门所采用的路由选择协议（这属于本部门内部的事情），但同时还希望连接到因特网上。

内部 | 外部  
问题 可信 路由表

# 自治系统 AS

## (Autonomous System)

内网

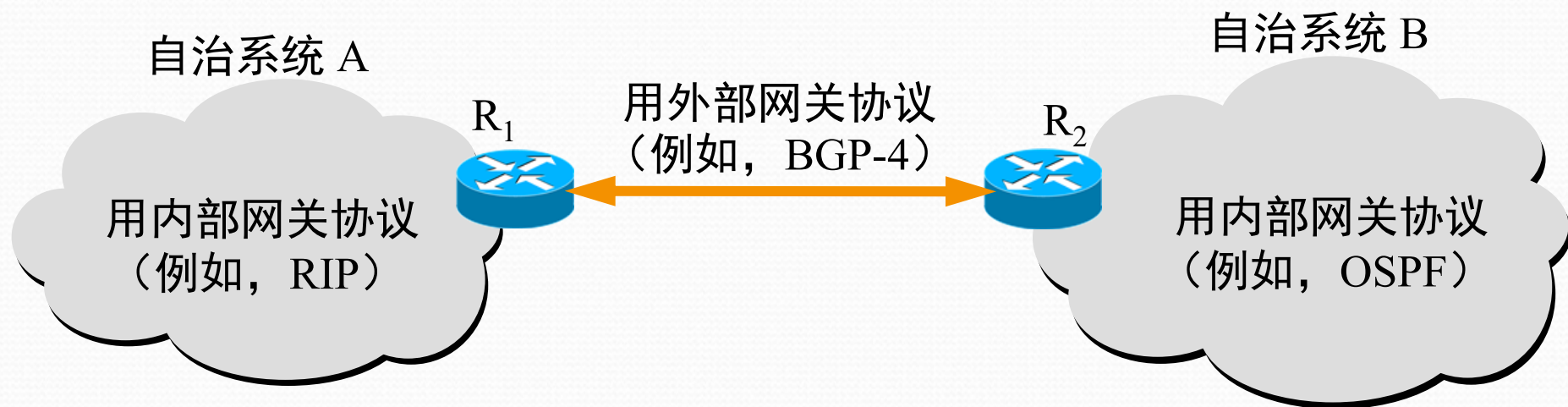
- 自治系统 AS 的定义：在单一的技术管理下的一组路由器，而这些路由器使用一种 AS 内部的路由选择协议和共同的度量以确定分组在该 AS 内的路由，同时还使用一种 AS 之间的路由选择协议用以确定分组在 AS 之间的路由。
- 现在对自治系统 AS 的定义是强调下面的事实：尽管一个 AS 使用了多种内部路由选择协议和度量，但重要的是一个 AS 对其他 AS 表现出的是一个单一的和一致的路由选择策略。



# 因特网有两大类路由选择协议

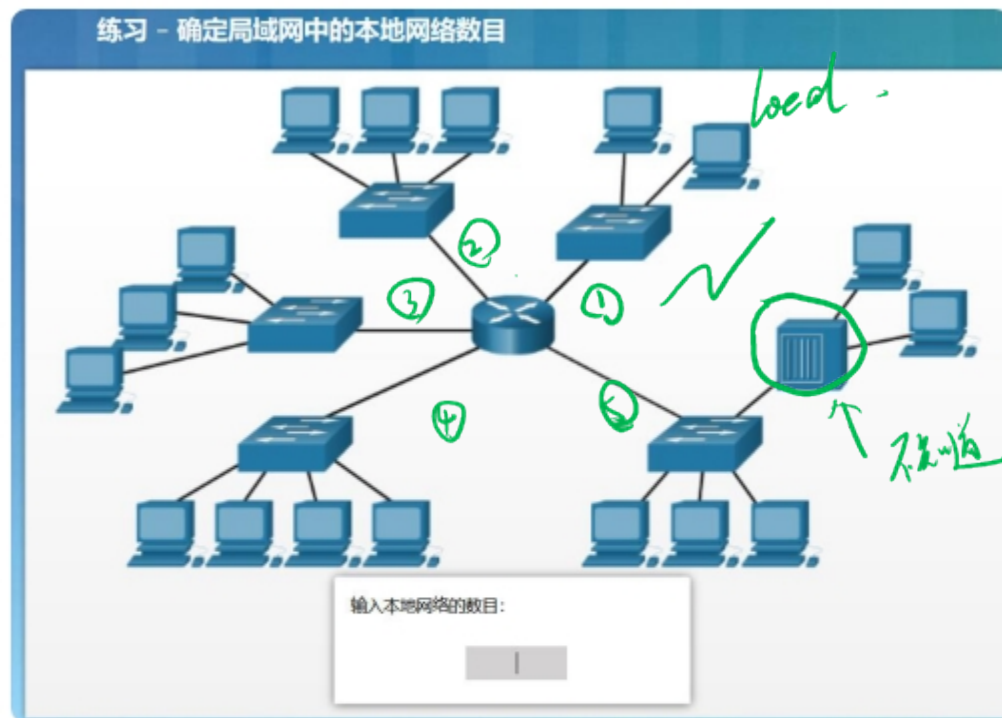
- **内部网关协议** IGP (Interior Gateway Protocol) 即在一个自治系统内部使用的路由选择协议。目前这类路由选择协议使用得最多，如 RIP 和 OSPF 协议。
- **外部网关协议** EGP (External Gateway Protocol) 若源站和目的站处在不同的自治系统中，当数据报传到一个自治系统的边界时，就需要使用一种协议将路由选择信息传递到另一个自治系统中。这样的协议就是 外部网关协议 EGP。在外部网关协议中目前使用最多的是 BGP-4。

# 自治系统和 内部网关协议、外部网关协议



自治系统之间的路由选择也叫做  
**域间路由选择**(interdomain routing),  
在自治系统内部的路由选择叫做  
**域内路由选择**(intradomain routing)





这个不是  
跟题目



没有看懂

该用户通过“2022春-计算机网络课程群”群向你发起临时会话，[前往设置](#)。

Jeep

## 这里要指出两点

- 因特网的早期 RFC 文档中未使用“路由器”而是使用“网关”这一名词。但是在新的 RFC 文档中又使用了“路由器”这一名词。应当把这两个属于当作同义词。
- IGP 和 EGP 是协议类别的名称。但 RFC 在使用 EGP 这个名词时出现了一点混乱，因为最早的一个外部网关协议的协议名字正好也是 EGP。因此在遇到名词 EGP 时，应弄清它是指旧的协议 EGP 还是指外部网关协议 EGP 这个类别。

# 因特网的路由选择协议

- 内部网关协议 IGP：具体的协议有多种，如 RIP 和 OSPF 等。
- 外部网关协议 EGP：目前使用的协议就是 BGP。



## 4.5.2 内部网关协议 RIP

### (Routing Information Protocol)

#### 1. 工作原理

- 路由信息协议 **RIP** 是内部网关协议 IGP 中最先得到广泛使用的协议。
- RIP 是一种分布式的基于 **距离向量** 的路由选择协议。
- RIP 协议要求网络中的每一个 路由器 都要维护从它自己到 其他每一个目的网络 的 距离记录。



## “距离”的定义

- 从一路由器到**直接连接**的网络的距离定义为 1。
- 从一个路由器到非直接连接的网络的距离定义为所经过的路由器数加 1。
- RIP 协议中的“距离”也称为“**跳数**”(hop count)，因为每经过一个路由器，跳数就加 1。
- 这里的“距离”实际上指的是“**最短距离**”，

# “距离”的定义

- RIP 认为一个好的路由就是它通过的路由器的数目少，即“距离短”。
- RIP 允许一条路径最多只能包含 15 个路由器。
- “距离”的最大值为16 时即相当于不可达。可见 RIP 只适用于小型互联网。
- RIP 不能在两个网络之间同时使用多条路由。RIP 选择一个具有最少路由器的路由（即最短路由），哪怕还存在另一条高速(低时延)但路由器较多的路由。



# RIP 协议的三个要点

- 仅和相邻路由器交换信息。
- 交换的信息是当前本路由器所知道的全部信息，即自己的路由表。
- 按固定的时间间隔交换路由信息，例如，每隔 30 秒。



# 路由表的建立

- 路由器在刚刚开始工作时，只知道到直接连接的网络的距离（此距离定义为1）。
- 以后，每一个路由器也只和数目非常有限的相邻路由器交换并更新路由信息。
- 经过若干次更新后，所有的路由器最终都会知道到达本自治系统中任何一个网络的最短距离和下一跳路由器的地址。
- RIP 协议的收敛(convergence)过程较快，即在自治系统中所有的结点都得到正确的路由选择信息的过程。



原来

原来



## 2. 距离向量算法

收到相邻路由器（其地址为 X）的一个 RIP 报文：

(1) 先修改此 RIP 报文中的所有项目：把“下一跳”字段中的地址都改为 X，并把所有的“距离”字段的值加 1。

(2) 对修改后的 RIP 报文中的每一个项目，重复以下步骤：

若项目中的目的网络不在路由表中，则把该项目加到路由表中。

否则

若下一跳字段给出的地址是本地地址，则是同样目的网络的项目

替换为路由表中的项目

否则

若收到项目中的距离小于路由表中的距离，则进行更新，

否则，什么也不做。

(3) 若 3 分钟还没有收到相邻路由器的更新路由表，则把此相邻路由器记为不可达路由器，即将距离置为 16（距离为 16 表示不可达）

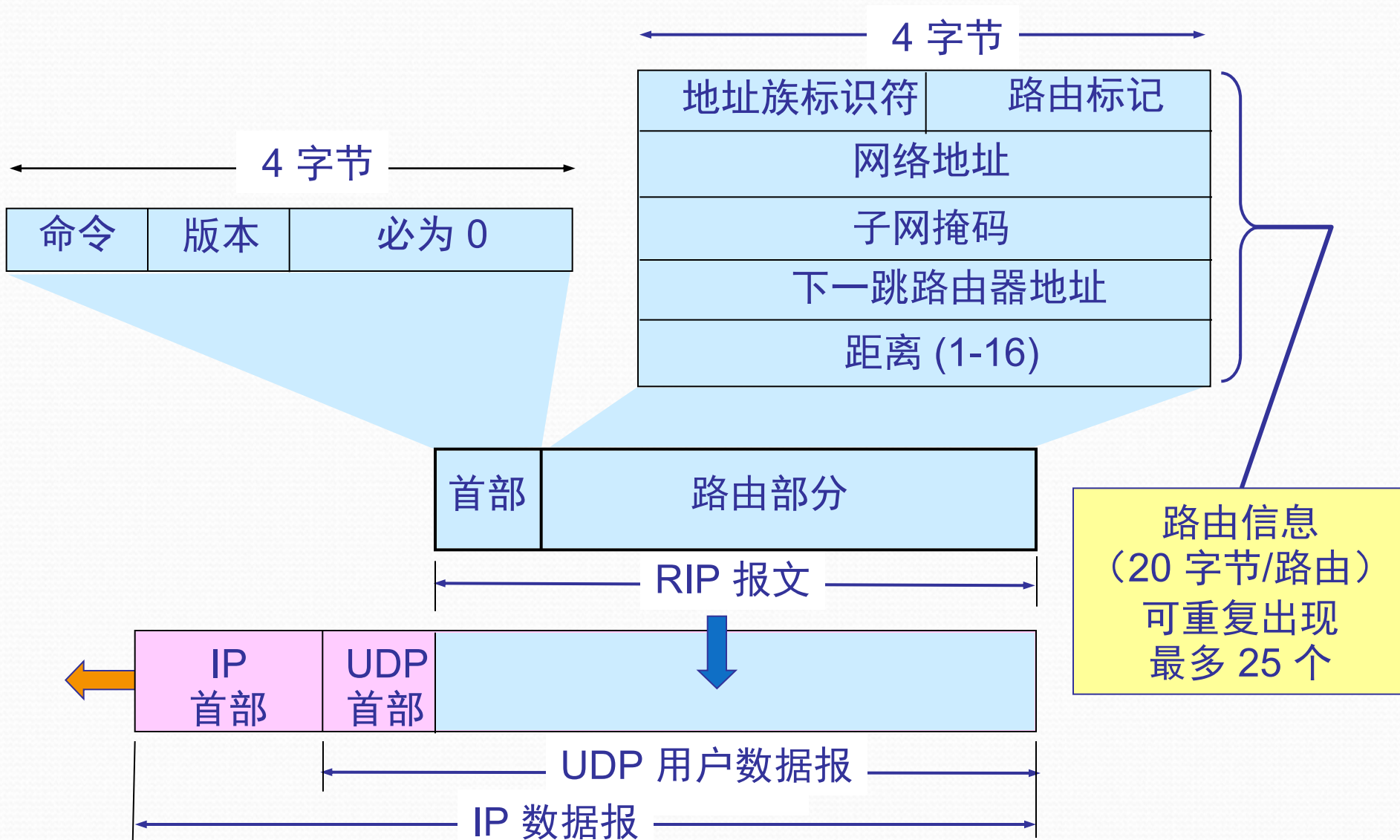
(4) 返回。

## 路由器之间交换信息

- RIP协议让互联网中的所有路由器都和自己的相邻路由器不断交换路由信息，并不断更新其路由表，使得从每一个路由器到每一个目的网络的路由都是最短的（即跳数最少）。
- 虽然所有的路由器最终都拥有了整个自治系统的全局路由信息，但由于每一个路由器的位置不同，它们的路由表当然也应当是不同的。



### 3. RIP2 协议的报文格式



# RIP2 的报文

## 由首部和路由部分组成。

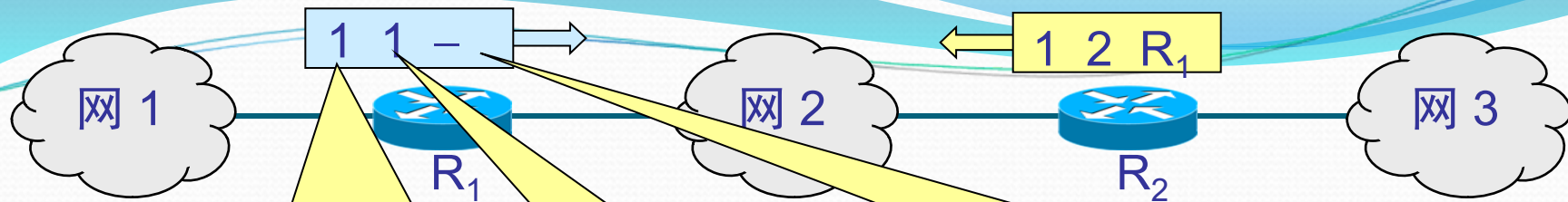
- RIP2 报文中的路由部分由若干个路由信息组成。每个路由信息需要用 20 个字节。地址族标识符（又称为地址类别）字段用来标志所使用的地址协议。
- 路由标记填入自治系统的号码，这是考虑使RIP 有可能收到本自治系统以外的路由选择信息。再后面指出某个网络地址、该网络的子网掩码、下一跳路由器地址以及到此网络的距离。

# RIP 协议的优缺点

- RIP 存在的一个问题是当网络出现故障时，要经过比较长的时间才能将此信息传送到所有的路由器。
- RIP 协议最大的优点就是实现简单，开销较小。
- RIP 限制了网络的规模，它能使用的最大距离为 15（16 表示不可达）。
- 路由器之间交换的路由信息是路由器中的完整路由表，因而随着网络规模的扩大，开销也就增加。



正常情况



“1”表示“从本路由器到网 1”

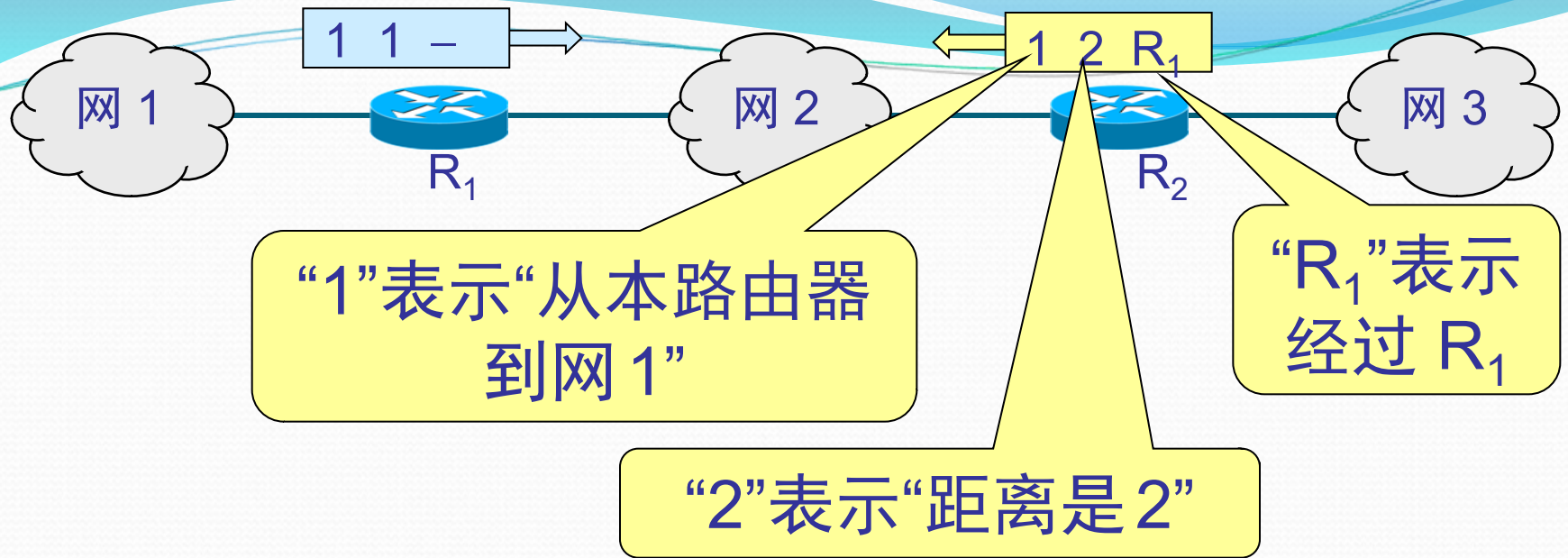
“-”表示“直接交付”

“1”表示“距离是 1”

R<sub>1</sub> 说：“我到网 1 的距离是 1，是直接交付。”

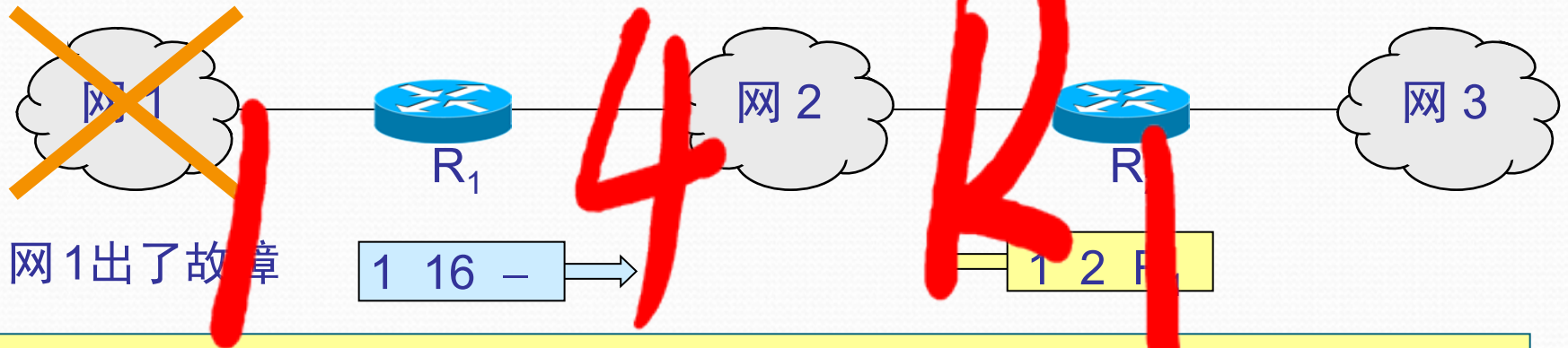


正常情况



$R_2$  说：“我到网 1 的距离是 2，是经过  $R_1$ 。”

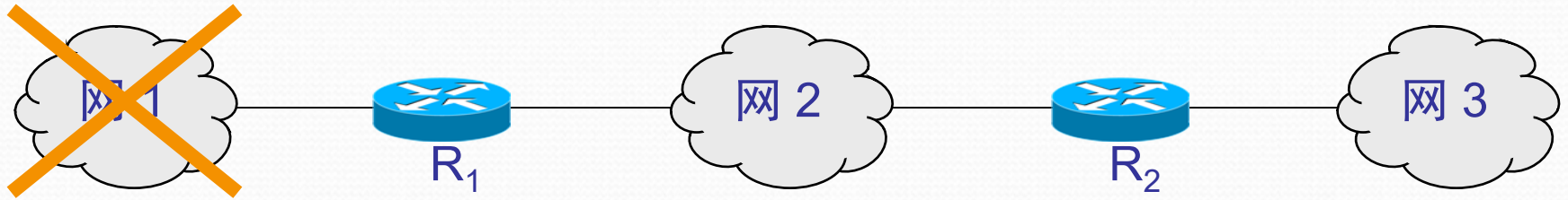
正常情况



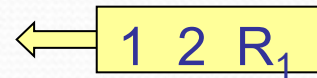
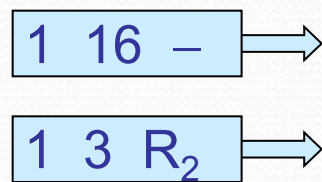
R<sub>1</sub> 说：“我到网 1 的距离是 16（表示无法到达），是直接交付。”

但 R<sub>2</sub> 在收到 R<sub>1</sub> 的更新报文之前，还发送原来的报文，因为这时 R<sub>2</sub> 并不知道 R<sub>1</sub> 出了故障。

正常情况



网 1 出了故障

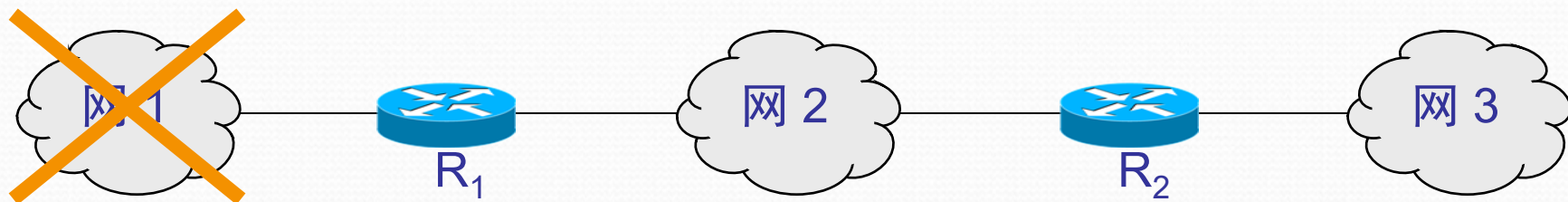


本讲总结

R<sub>1</sub> 收到 R<sub>2</sub> 的更新报文后，误认为可经过 R<sub>2</sub> 到达网 1，于是更新自己的路由表，说：“我到网 1 的距离是 3，下一跳经过 R<sub>2</sub>”。然后将此更新信息发送给 R<sub>2</sub>。



正常情况



网1出了故障

1 16 -

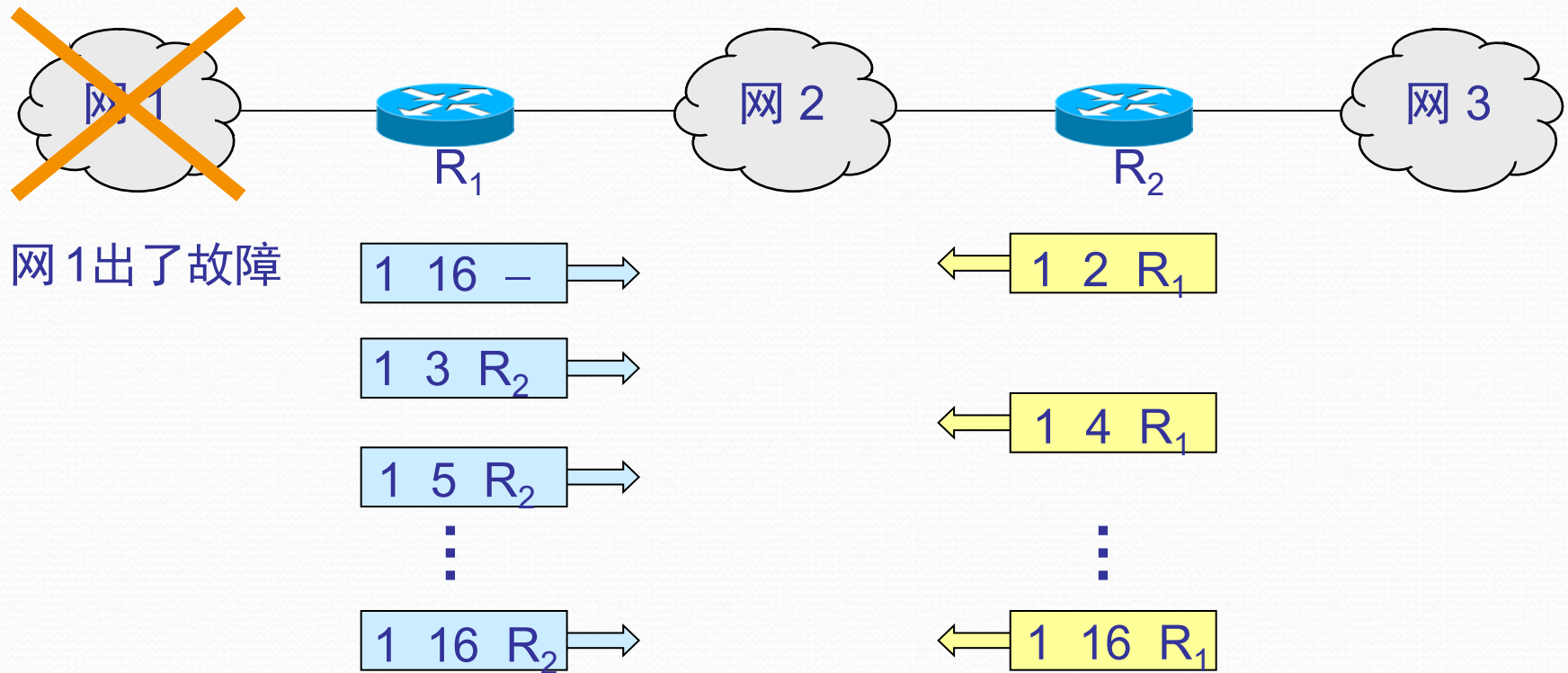
1 3  $R_2$

1 2  $R_1$


1 4  $R_1$

$R_2$  以后又更新自己的路由表为“1, 4,  $R_1$ ”，表明 “我到网 1 距离是 4，下一跳经过  $R_1$ ”。

这就是好消息传播得快，而坏消息传播得慢。网络出故障的传播时间往往需要较长的时间(例如数分钟)。这是 RIP 的一个主要缺点。



这样不断更新下去，直到  $R_1$  和  $R_2$  到网 1 的距离都增大到 16 时， $R_1$  和  $R_2$  才知道网 1 是不可达的。



ICMP 报文

内部网关协议 RIP





# 作业

- 4-04, 4-30, 4-31, 4-32, 4-38