

网络应用技术



第5讲：路由器组网基础

河南中医药大学 信息技术学院
许成刚

本章教学目标

- 掌握路由器的工作原理（互联、转发）
- 熟悉路由表各字段含义
- 掌握直连路由、静态路由、缺省路由的配置与应用
- 理解路由器与交换机的不同

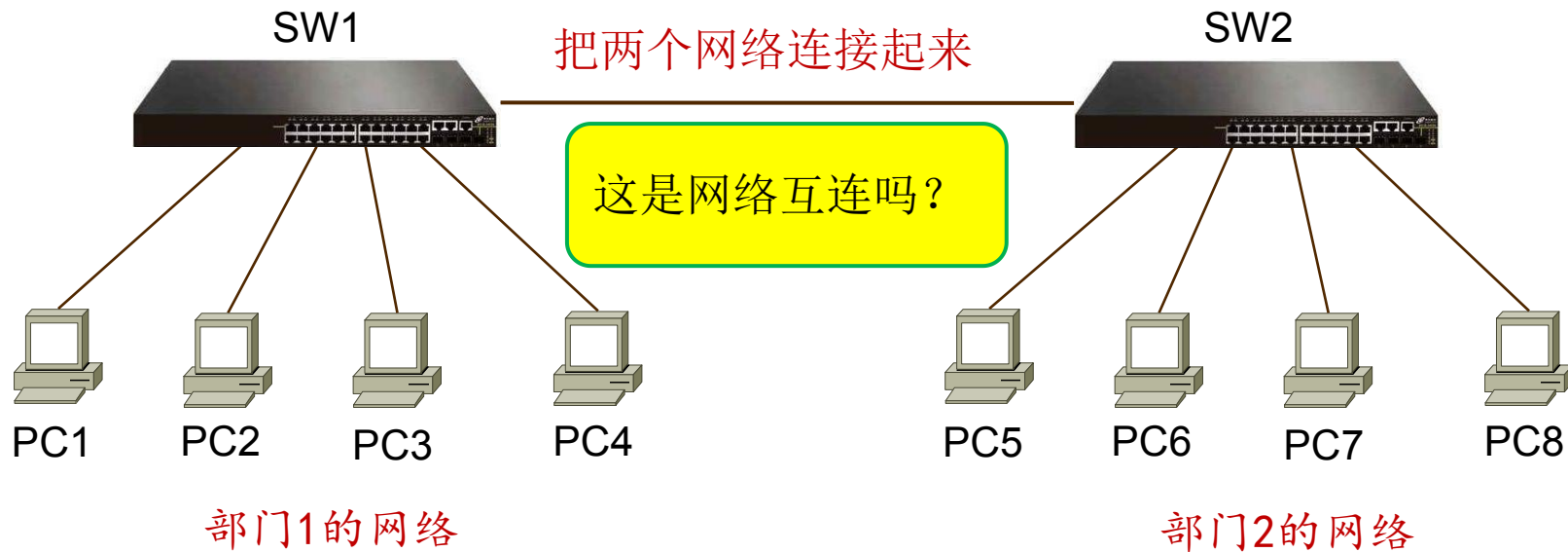


一、认识路由器

认识路由器

□ 交换机组网存在的问题

- 将网络互连起来要使用一些中间设备

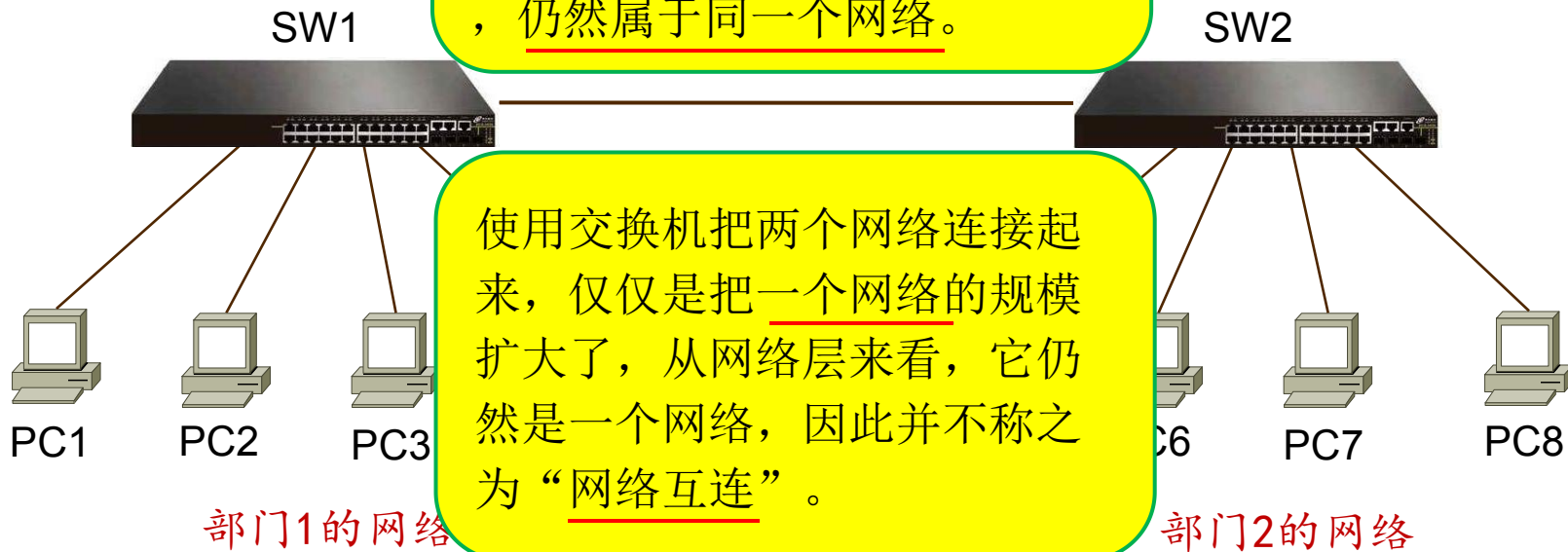


认识路由器

□ 交换机组网存在的

■ 将网络互连起来要

交换机是数据链路层设备，两台交换机互连以后，所有的接口仍然属于同一个广播域。
即交换机互连以后形成的网络，仍然属于同一个网络。



认识路由器

□ 交换机组网存在的问题

- 交换机并不能无限制地级联下去，超过一定数量的交换机级联，最终会由于“广播”的问题，从而导致网络性能的严重下降。（规模有限）
- 不仅如此，交换机所连接的网络必须是同种网络，例如以太网交换机只能连接以太网，而不能连接令牌环网。（连接有限）
- 还有，利用交换机组建的网络中，各个主机的IP地址必须属于同一网络，否则就不能通信。即不同网络无法通过交换机实现通信。（功能有限）
- 要想解决上述问题，就需要用到路由器。

认识路由器

□ 路由器的基本功能

■ 路由器(Router)，是实现网络互联的核心设备。

- 路由器也是一个**多接口**的网络设备，可将不同（不同网段或不同类型）网络互联起来，实现不同网络间的报文转发。也被称作**网际互连设备**。
- 核心功能：**互联**（不同网络）、**转发**（在不同网络间转发报文）



思科路由器



华为AR6300-S万兆路由器

认识路由器

先从路由器接口的角度，谈谈如何把不同网络互联起来

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 接口类型

- 路由器具有非常强大的网络连接和路由功能，它可以与各种各样的不同网络进行物理连接，这就决定了路由器的接口技术非常复杂；
- 路由器的接口主要包括
 - 管理配置接口
 - 局域网接口
 - 广域网接口

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 接口类型 —— 管理配置接口

- Console口：管理员可通过Console口对路由器进行配置管理；
- 通过console配置线连接配置电脑和路由器设备，采用串口协议方式配置。



认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 接口类型 —— 与局域网的接口

➤ 以太网接口

- RJ-45接口（FE、GE）

➤ 光纤接口

- SC口等，用于光纤介质连接，常用于高速局域网



GE接口



FE接口

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 接口类型 —— 与广域网的接口

- **Ethernet接口**：以太网接口，例如GE接口
- **serial接口（高速同步串口）**：传输方式、支持的速度、使用的协议都与Ethernet接口不相同。Serial口多封装 PPP协议或Frame-Relay协议，用于广域网连接。
- **POS接口**： POS(Packet Over SONET/SDH) 技术支持光纤介质，它是一种高速、先进的广域网连接技术。在路由器上插入一块POS模块，路由器就可以提供POS接口。
-

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

- 说明：本课程中，关于路由器接口的配置，都是针对以太网接口。

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 路由器接口的MAC地址与IP地址

- 路由器上的每个以太网接口，都具有独立的MAC地址。（对比交换机？）
- 不仅如此，在使用过程中，管理员还要根据联网需要，给路由器的每个以太网接口配置独立的IP地址。（对比交换机）
- 由于路由器的每个网络接口要**连接不同的网络**，因此路由器每个网络接口的IP地址不仅不能一样，而且必须具有**不同的网络号**。
- 因此，路由器的每个接口，就是一个**独立的广播域**。（对比交换机）
- 路由器**必须经过配置**才能正常工作，其中一项重要的配置操作，就是给路由器接口配置IP地址。

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

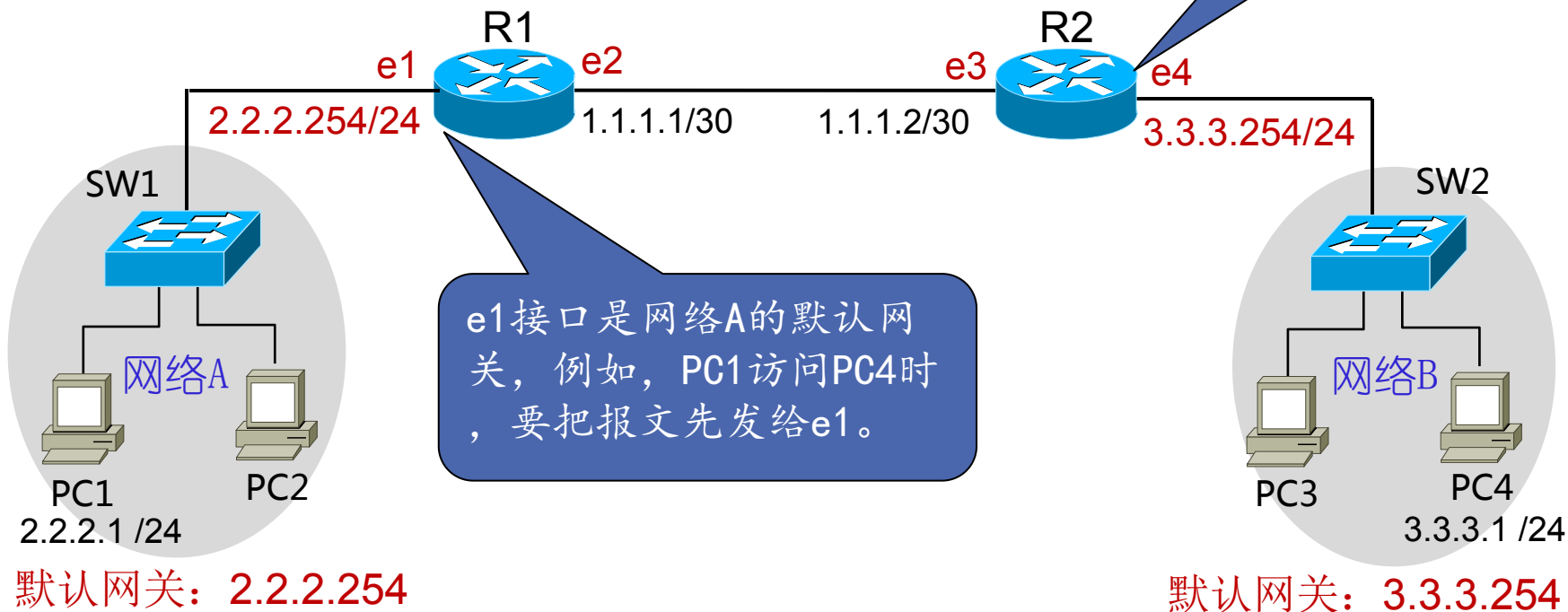
■ 作为所接入网络的默认网关

- 【复习】当源主机与目的主机不在同一网络时（IP地址的网络号不同），源主机无法将数据包直接发送给目的主机，而是先把数据包发给自己的默认网关。然后，由默认网关进行后续转发。
- 路由器接口可连接不同的网络，并且具有独立的MAC地址和IP地址，因此，通常将路由器接口作为其直连网络的默认网关。即直连网络中的各主机要将自己的默认网关地址，设置成路由器接口的IP地址。
- 注意：主机的IP地址一定要与自己默认网关的IP地址在同一网段，否则无法将数据包直接发给默认网关（提示：ARP的作用）
- 举例

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 作为所接入网络的默认网关



□ 配置主机的默认网关

- 在Windows操作系统中配置主机IP地址和默认网关。



□ 配置主机的默认网关

- 在Linux操作系统中，使用vi命令编辑网卡配置文件（此处为ifcfg-enp0s3），从而配置主机的IP地址和默认网关

```
#vi /etc/sysconfig/network-scripts/ifcfg-enp0s3
```

```
TYPE=Ethernet
```

```
PROXY_METHOD=none
```

```
BROSWSET_ONLY=no
```

```
BOOTPROTO=static
```

```
DEFROUTE=yes
```

```
.....
```

```
DEVICE=enp0s3
```

```
ONBOOT=yes
```

```
IPADDR=192.168.100.200      本机IP地址
```

```
NETMASK=255.255.255.0
```

```
GATEWAY=192.168.100.254      默认网关地址
```

```
ONBOOT=yes
```

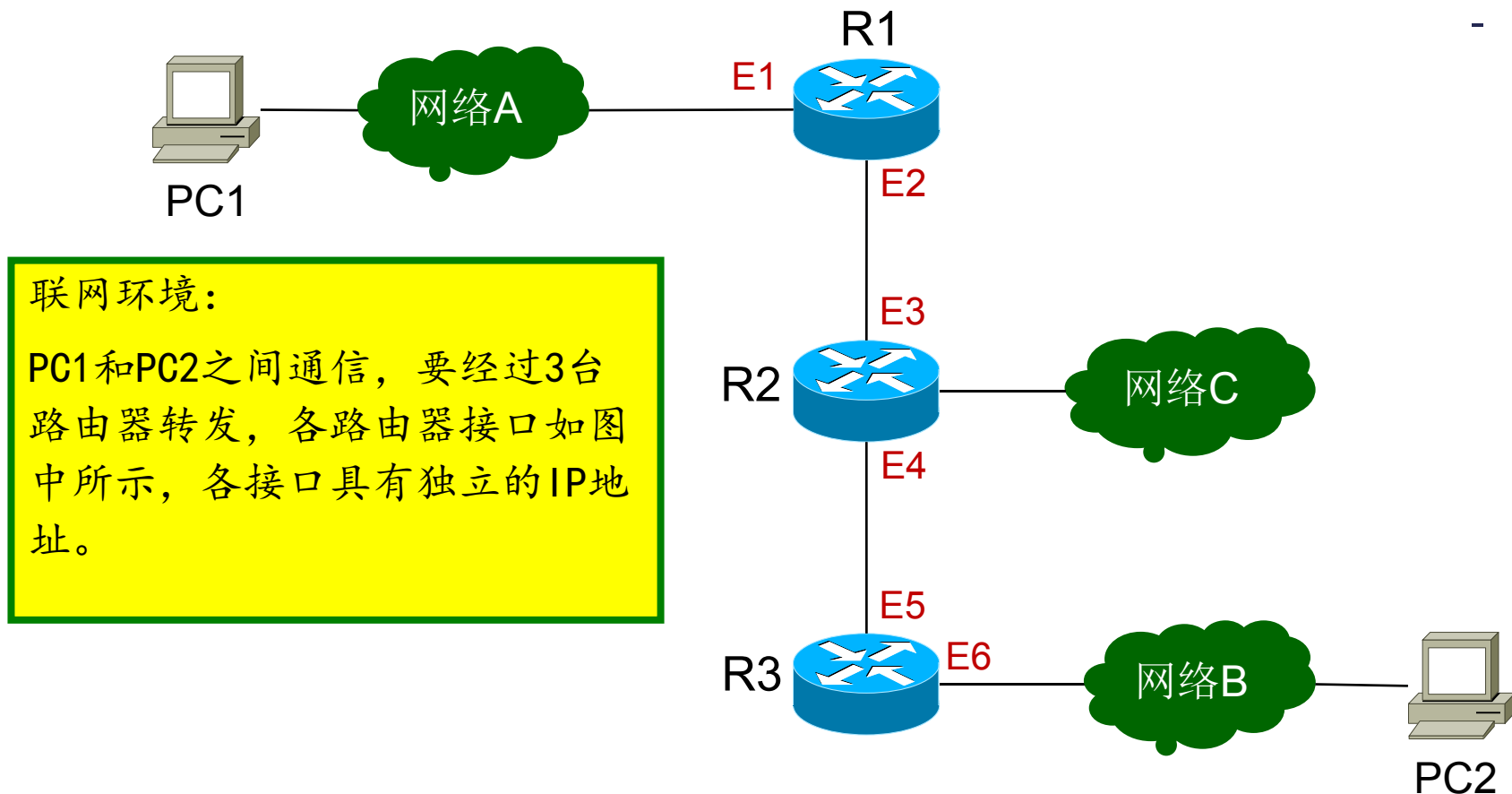
认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

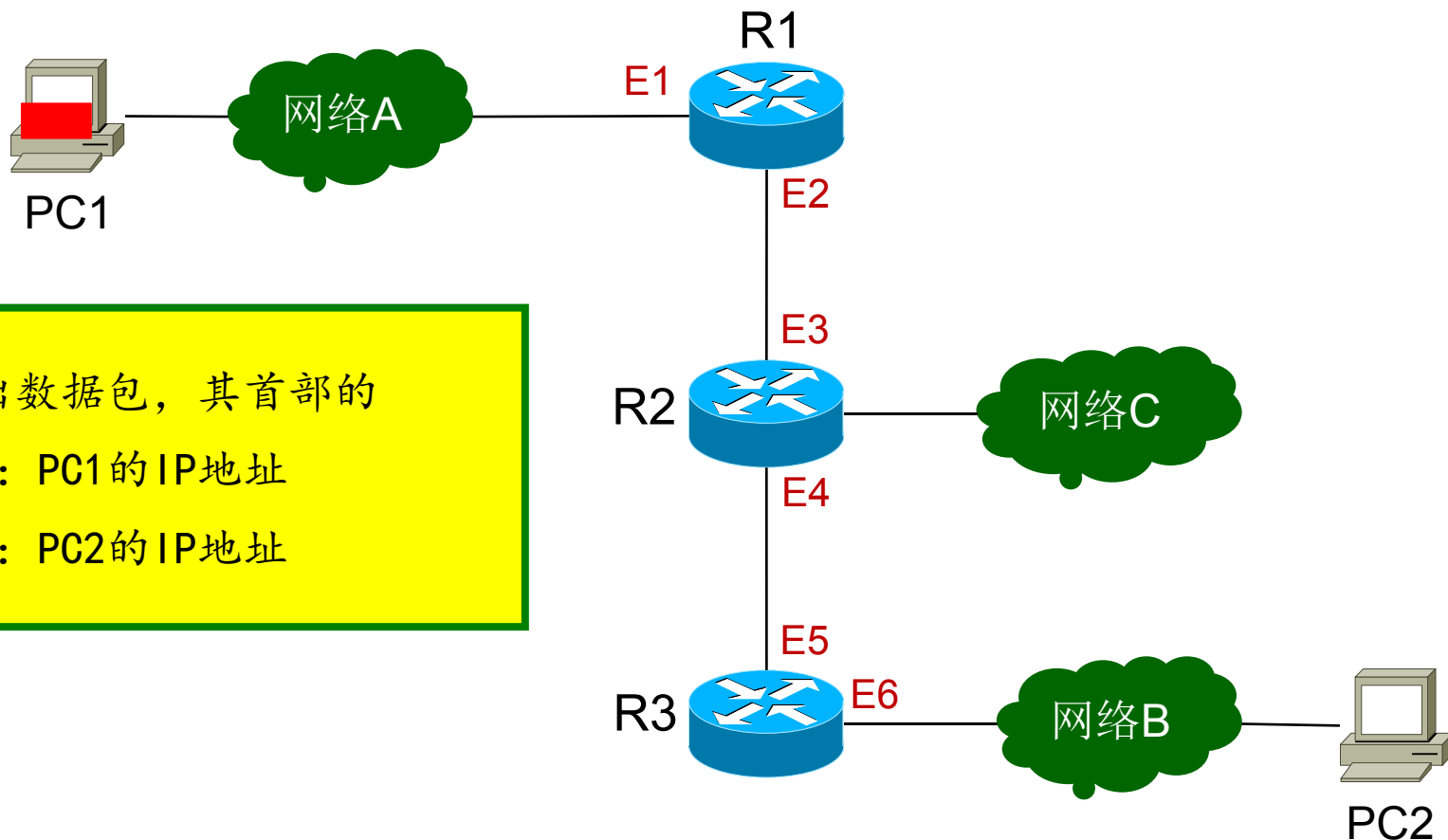
■ 作为通信过程中，数据包的“下一跳”

- 当通信过程要经过多个路由器，即默认网关无法将收到的数据包直接转发到目的网络时，路由器（依据路由表）可以将数据包转发至与自己相邻的、另一台路由器的接口，然后由该路由器完成后续的转发工作。
- 这里的“相邻的、另一个路由器的接口”，就是该数据包下一步要到达的地方，即“下一跳”。
- 举例

◆ 动画演示：路由器接口作为“下一跳”

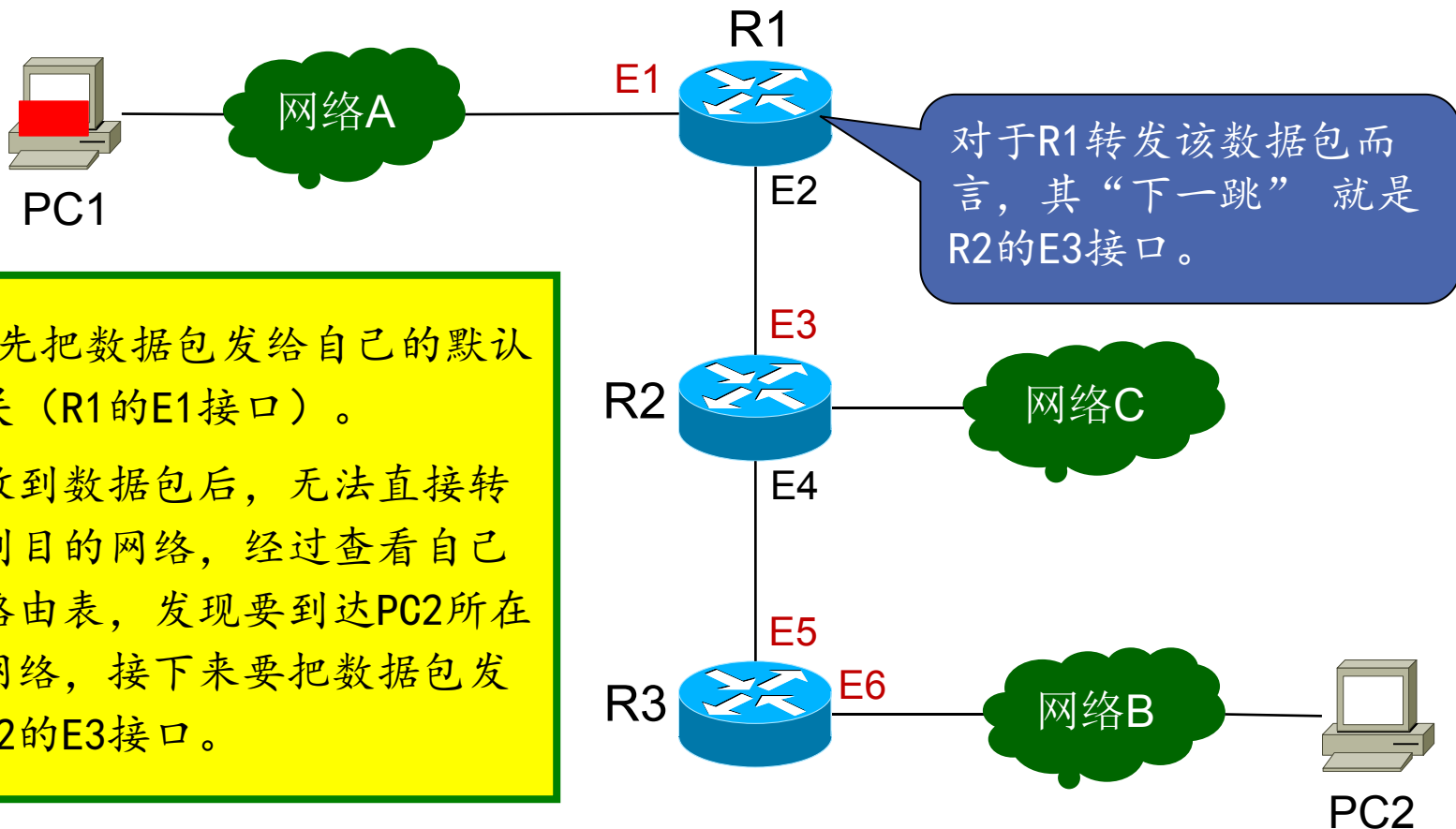


◆ 动画演示：路由器接口作为“下一跳”



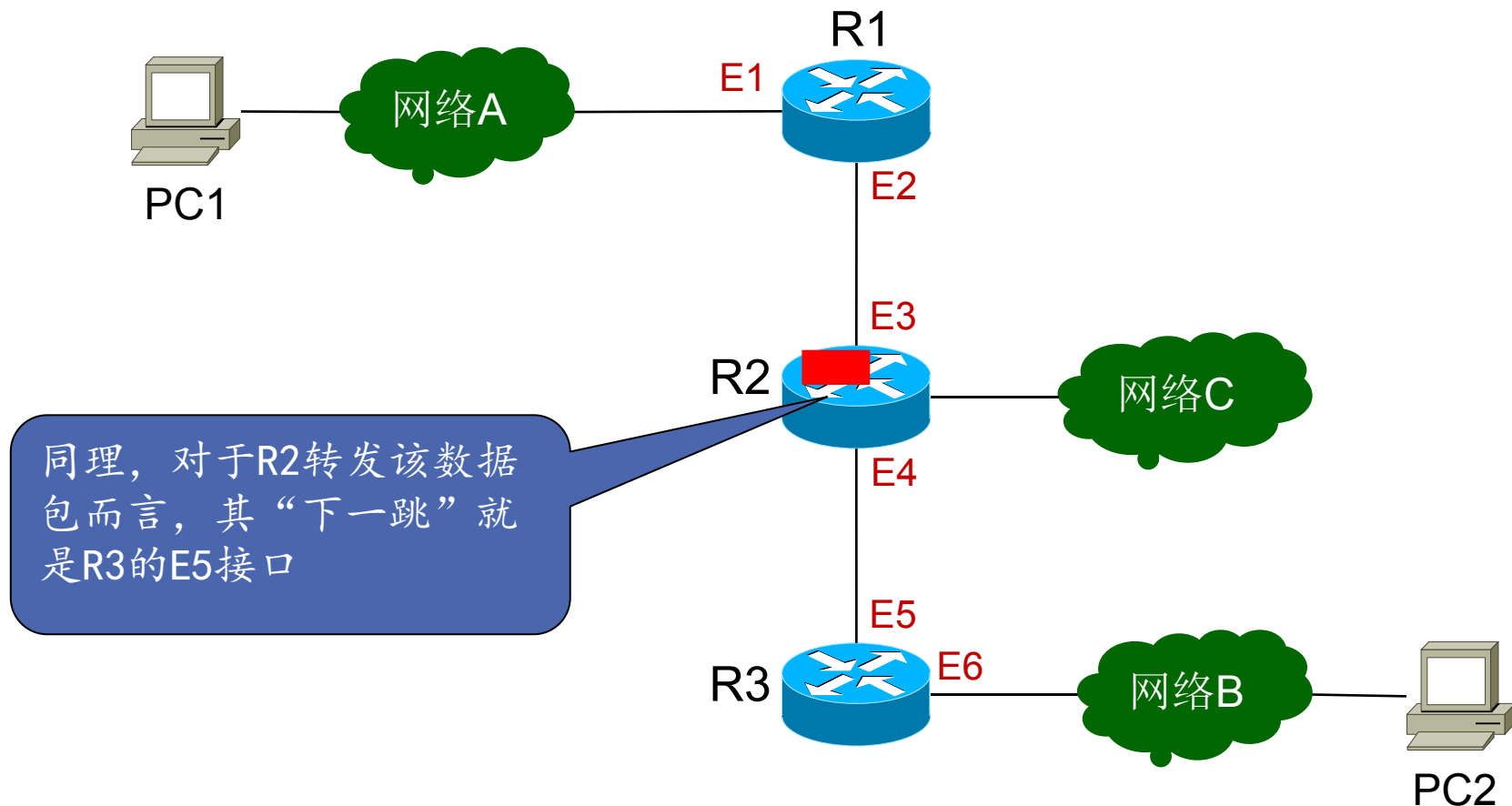
PC1发出数据包，其首部的
源IP：PC1的IP地址
目的IP：PC2的IP地址

◆ 动画演示：路由器接口作为“下一跳”

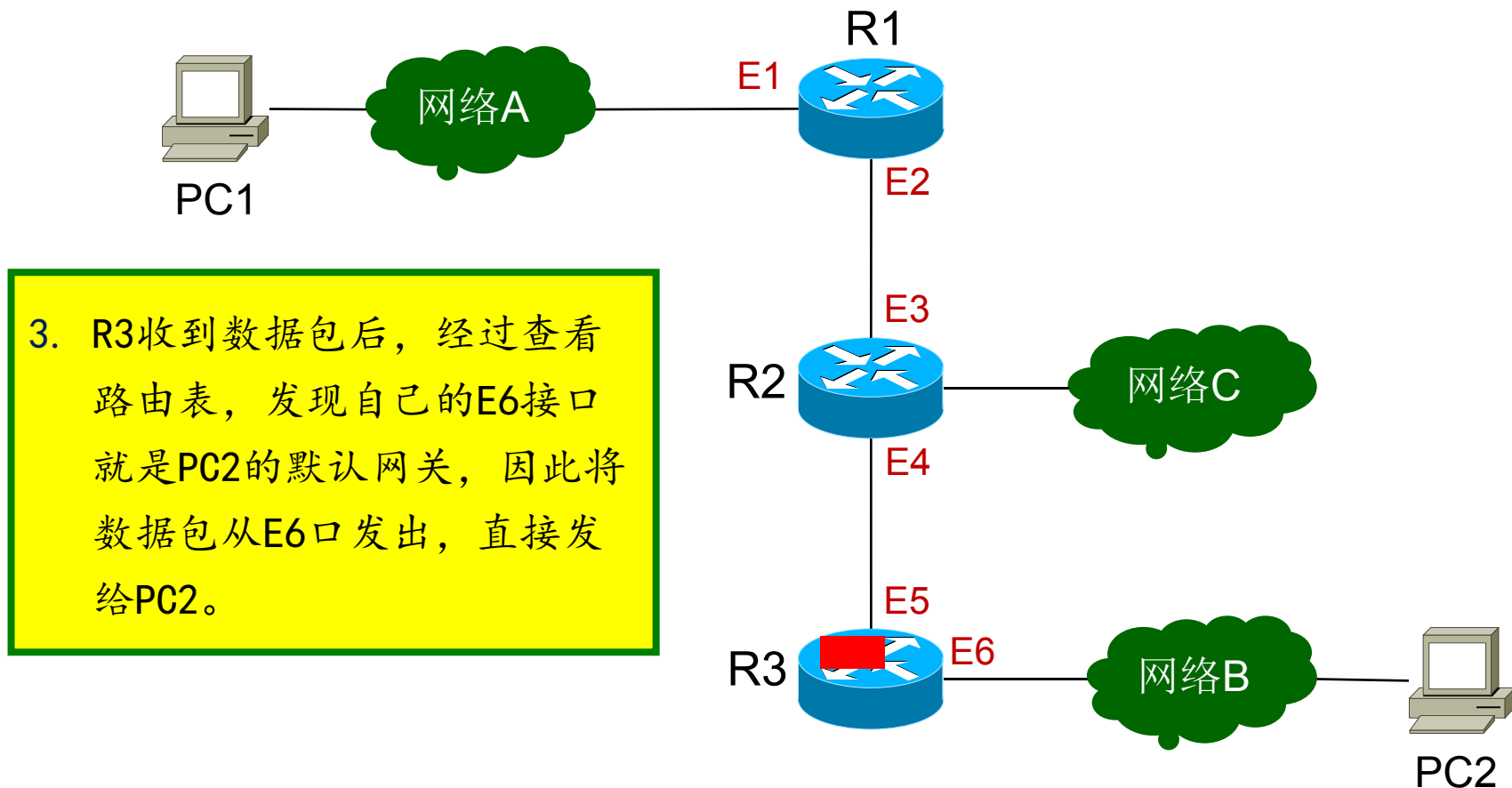


1. PC1先把数据包发给自己的默认网关（R1的E1接口）。
2. R1收到数据包后，无法直接转发到目的网络，经过查看自己的路由表，发现要到达PC2所在的网络，接下来要把数据包发给R2的E3接口。

◆ 动画演示：路由器接口作为“下一跳”



◆ 动画演示：路由器接口作为“下一跳”



认识路由器

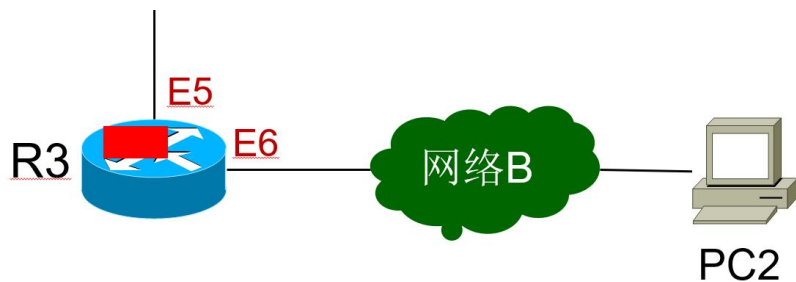
□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 作为通信过程中，数据包的“下一跳”

➤ **总结：**（一台）路由器**通常**并不负责把报文“送到家”，只负责把报文转发到正确的“下一站”。

➤ **问：**为何是“通常”？

- 若路由器的某个接口正是目的主机的默认网关，则路由器接口直接把报文发给目的主机。



认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 对报文进行“解封装”和“封装”

- 路由器属于“三层设备”，包含下三层功能。所以路由器接口通常也被称作“三层接口”，它既可以识别报文首部的MAC地址，也可以识别报文首部的IP地址。
- 当路由器收到一个报文后，接口的数据链路层和网络层会分别读取报文首部的目的MAC地址和目的IP地址，然后进行相应的处理。

认识路由器

□ 先认识路由器的接口（实现网络互联）

■ 对报文进行“解封装”和“封装”

➤ 解封装（接收报文）

- 接收数据帧：从物理接口(如以太网口)接收数据链路层帧(如以太网帧)
- 解封装至网络层：剥离数据链路层头部(MAC地址)，提取网络层数据包(IP包)
- 检查目的IP地址：查看IP包首部的目的IP地址，确定是本接口IP或需转发；

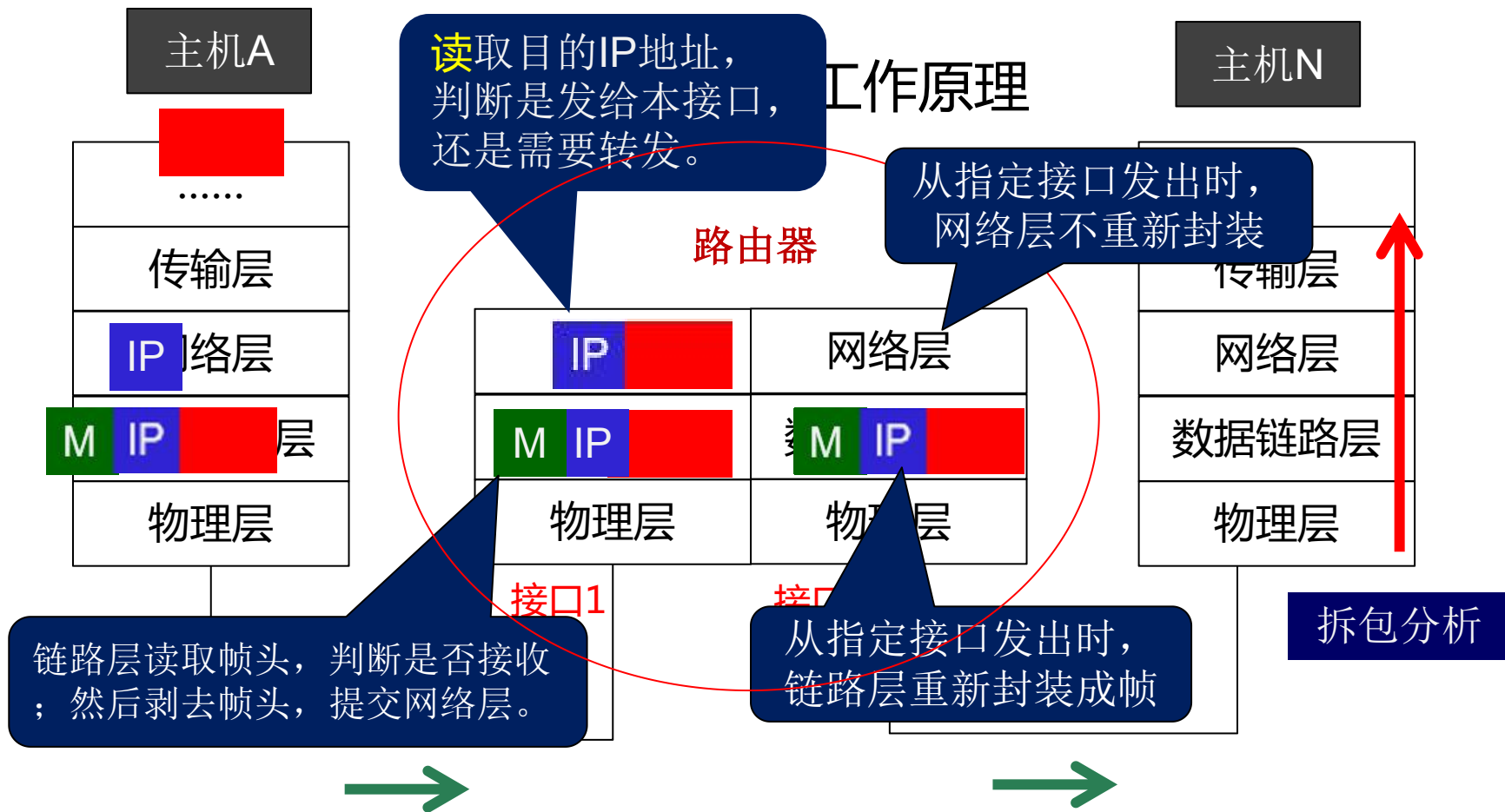
➤ 封装（转发报文）

- 重新封装数据帧：根据出接口类型(如以太网、PPP)，添加新的数据链路层首部
- 转发数据包：将帧发送到下一跳设备或目的主机

➤ 动画演示

◆ 动画演示：路由器接口的解封封装和封装

工作原理



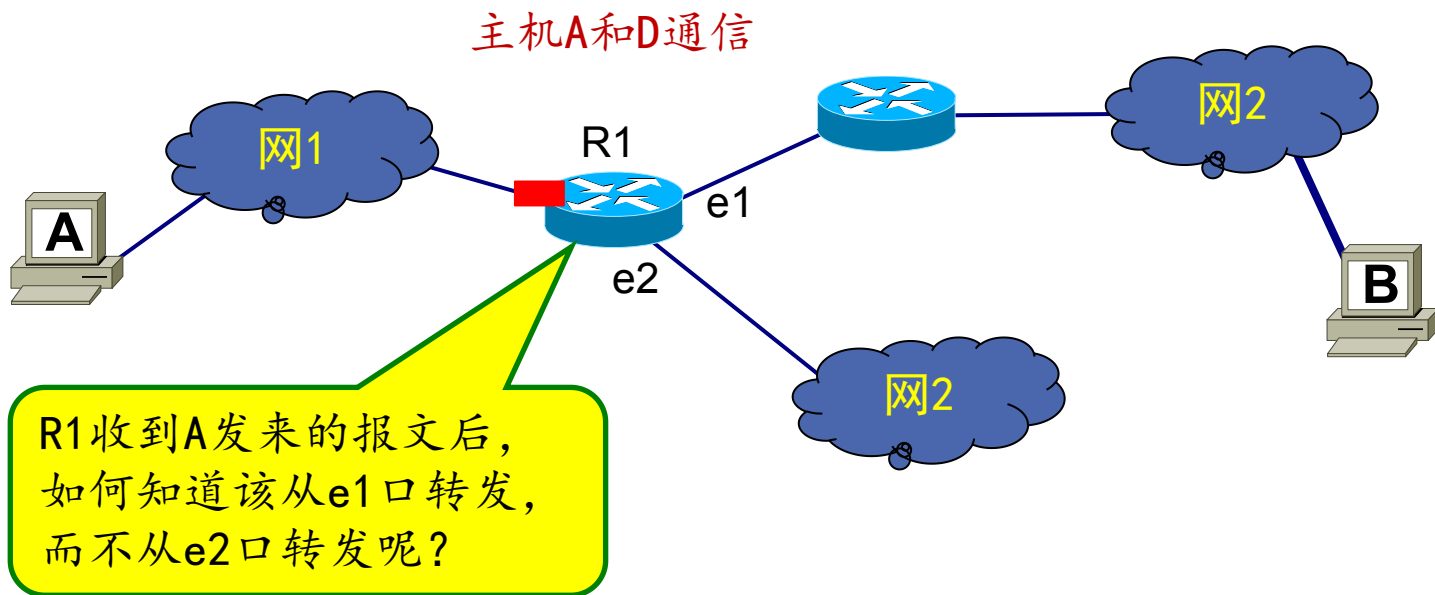
二、认识路由表

接下来谈谈路由器为什么能够在不同网络间转发数据包？

认识路由表

□ 路由器为什么能够在不同网络间转发数据包？

■ 当路由器收到一个报文(分组), 如何知道接下来该从哪个接口转发出去呢?



认识路由表

□ 路由器为什么能够在不同网络间转发数据包？

■ 因为路由器中有路由表！路由表中有前往各个目的网络的路由信息！

- 路由器是支持各种路由选择协议的，包括静态路由协议和动态路由协议（例如RIP、OSPF等）。
- 通过管理员的手工配置，或者执行路由协议，路由器可获取到达各目的网络的路由信息。例如，某园区网内各路由器执行RIP协议，通过相互交换路由报文，使得每一台路由器都知道到达园区网中某个子网络该如何走（准确的说，是知道“到达目的网络A，‘下一步’怎么走”）。
- 路由器将上述到达各个目的网络的路由信息，保存在路由表中。并根据路由表，实现报文在不同网络间的转发。

认识路由表

□ 路由器为什么能够在不同网络间转发数据包？

■ 按照路由表进行报文转发

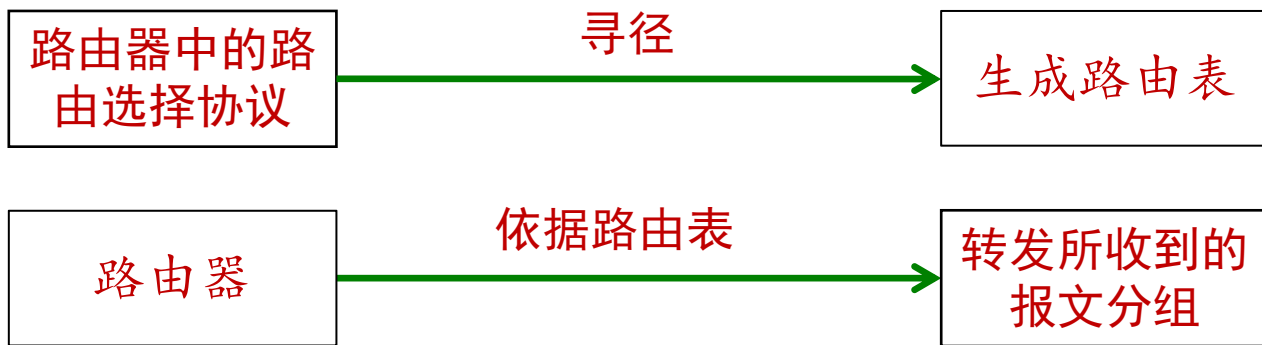
- 当路由器接口收到一个报文后，会分析报文首部的目的IP地址，然后通过某种查找算法（例如使用二叉线索查找转发表），查找该目的IP地址与路由表中哪条记录匹配。
- 若匹配上，就根据该记录所提供的路径，将报文从指定的路由器接口送出去；
- 若没有匹配上，则丢弃该报文。

认识路由表

□ 路由器为什么能够在不同网络间转发数据包？

■ 注意，路由表的形成和报文转发是相互独立的

- 路由表是通过执行路由选择协议（包括动态或者静态路由选择协议）形成的，这一过程也被称为“寻径”。
- 转发报文的过程不需要寻径操作的参与，而仅仅使用寻径的结果——路由表。



认识路由表

□ 路由表和转发表

- 路由器中包含路由表和**转发表** (即FIB, Forward Information Base);
- 路由表内容的核心是三元素：目的网络、掩码、下一跳，而转发表的内容更详细，还包括输出端口信息等。
- 路由表用来决策路由，转发表直接作用于分组。路由表是转发表生成的依据，即转发表通过路由表生成。
- **本课程不再区分路由表和转发表，统称为“路由表”。**

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

[R-2]display ip routing-table

华为路由器 **display ip routing-table**

Route Flags: R - relay, D - download to fib

Routing Tables: Public

Destinations : 16

Routes : 16

<u>Destination/Mask</u>	<u>Proto</u>	<u>Pre</u>	<u>Cost</u>	<u>Flags</u>	<u>NextHop</u>	<u>Interface</u>
10.0.0.4/30	Direct	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Destination/Mask（目的网络）

► 表示“目的网络及其地址掩码”

Destination/Mask	Proto	Pre				
10.0.0.4/30	Direct	0				Interface0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP					GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP					GigabitEthernet0/0/0

“Mask”指地址掩码（即子网掩码），其值表示掩码中“1”的个数，即网络前缀的长度。例如“24”表示前24位是网络位，对应的子网掩码是255.255.255.0

“Destination”通常用目的网络地址表示（例如172.16.1.0），而不是目的主机地址

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Proto（路由来源协议）

- 表示该路由的协议类型，即路由器获取该路由条目的方式。
- 常见的协议类型包括3种：直连路由、静态路由、动态路由

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.0.4/30	<u>Direct</u>	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	<u>Static</u>	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	<u>RIP</u>	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Proto（路由来源协议）

- **Direct**：直连路由，通过物理接口直接连接的网络产生。管理员给路由器接口配置IP地址后，即可自动生成直连路由。
- **Static**：静态路由。说明该路由记录是管理员手工配置的。
- **RIP**：路由信息协议（动态路由）。说明该路由记录是通过RIP协议获取到的路由信息。
- **OSPF**：开放最短路径优先协议（动态路由）。说明该路由记录是通过OSPF协议获取到的路由信息。

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Pre（优先级）

- 优先级用来标识不同路由的可靠性，数值越小越优：当存在多条到达同一目的地的路由时，设备优先选择优先级数值较小的路由条目
- 华为设备Pre默认值：直连路由(0)、静态路由(60)，RIP(100)，OSPF(10)。

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.0.4/30	Direct	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Cost（开销值）

- ▶ 当路由器通过同一种方式获取到多条去往同一网络的路由时，路由器根据Cost值来判断哪条路径更优。不同协议对于计算Cost值会使用不同的参数、按照不同的标准来计算，但总的来说，开销值越小，优先级越高。

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.0.4/30	Direct	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Flags（路由标记）（有的路由器不包含此项）

- Flags即路由标记。R，是relay的首字母，说明是迭代路由，会根据路由下一跳的IP地址获取出接口。配置静态路由时如果只指定下一跳IP地址，而不指定出接口，那么就是迭代路由，需要根据下一跳IP地址的路由获取出接口。D，是download的首字母，表示该路由下发到FIB表中。FIB的全称是转发信息库（Forwarding Information Base）。

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.0.4/30	Direct	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0

认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ NextHop（下一跳）

- ▶ 下一跳。每个路由表条目都会指明转发数据包的下一跳地址，这个地址通常是相邻路由设备某个接口的IP地址。

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.0.4/30	Direct	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0

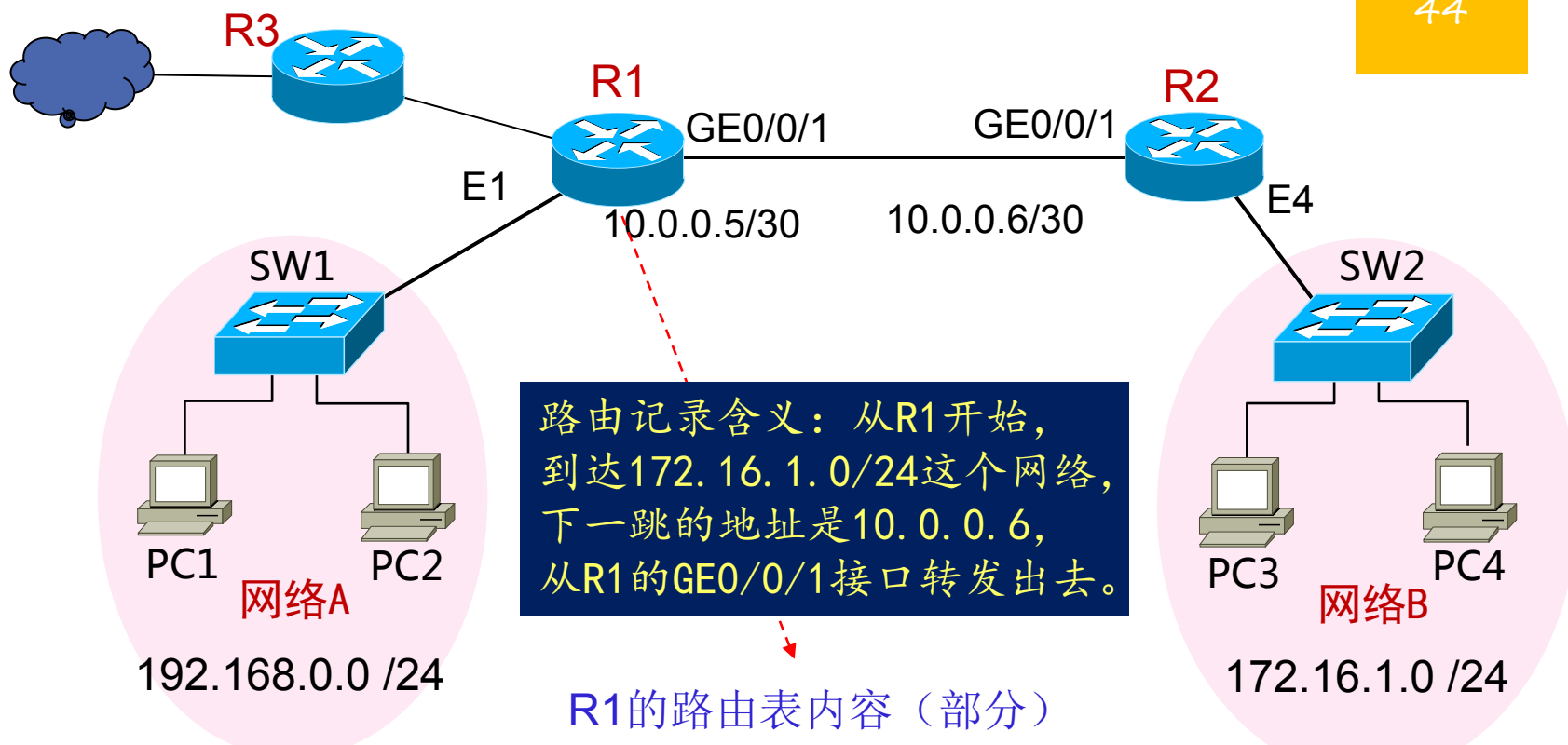
认识路由表

□ 路由表里面有什么？

■ Interface（出接口）

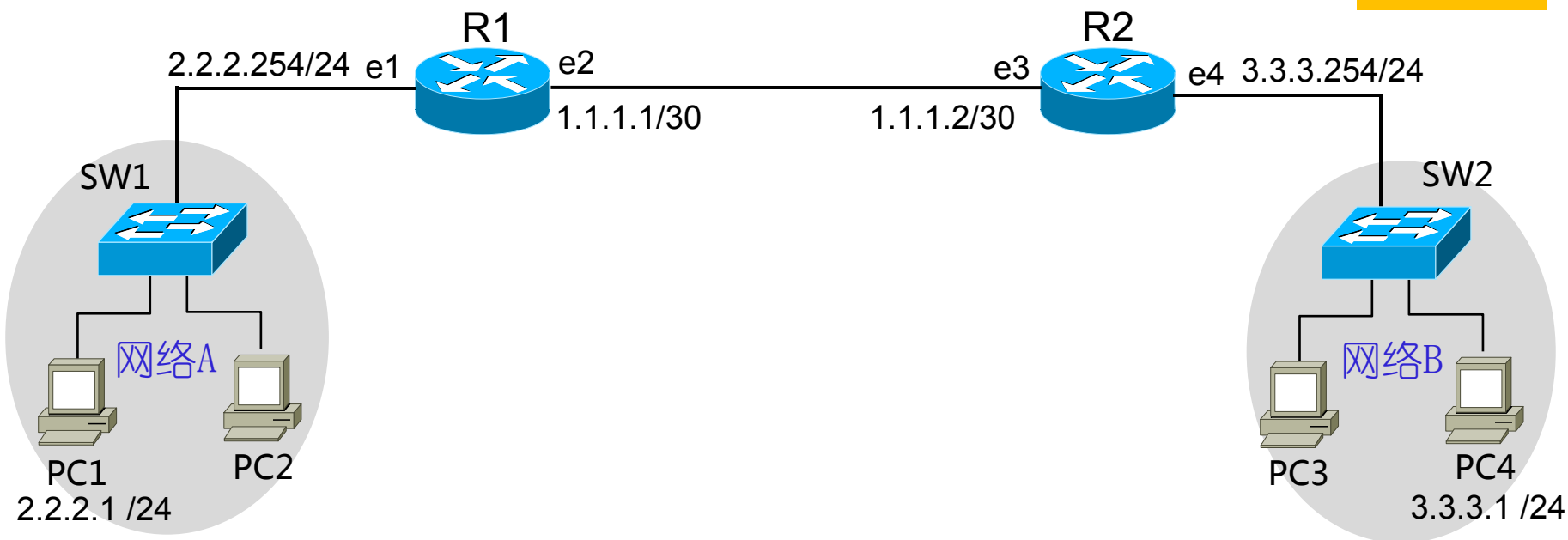
- 指明将分组从路由器的哪个接口转发出去

Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.0.4/30	Direct	0	0	D	10.0.0.5	GigabitEthernet0/0/1
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1
192.168.64.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0
192.168.65.0/24	RIP	100	2	D	10.0.0.1	GigabitEthernet0/0/0



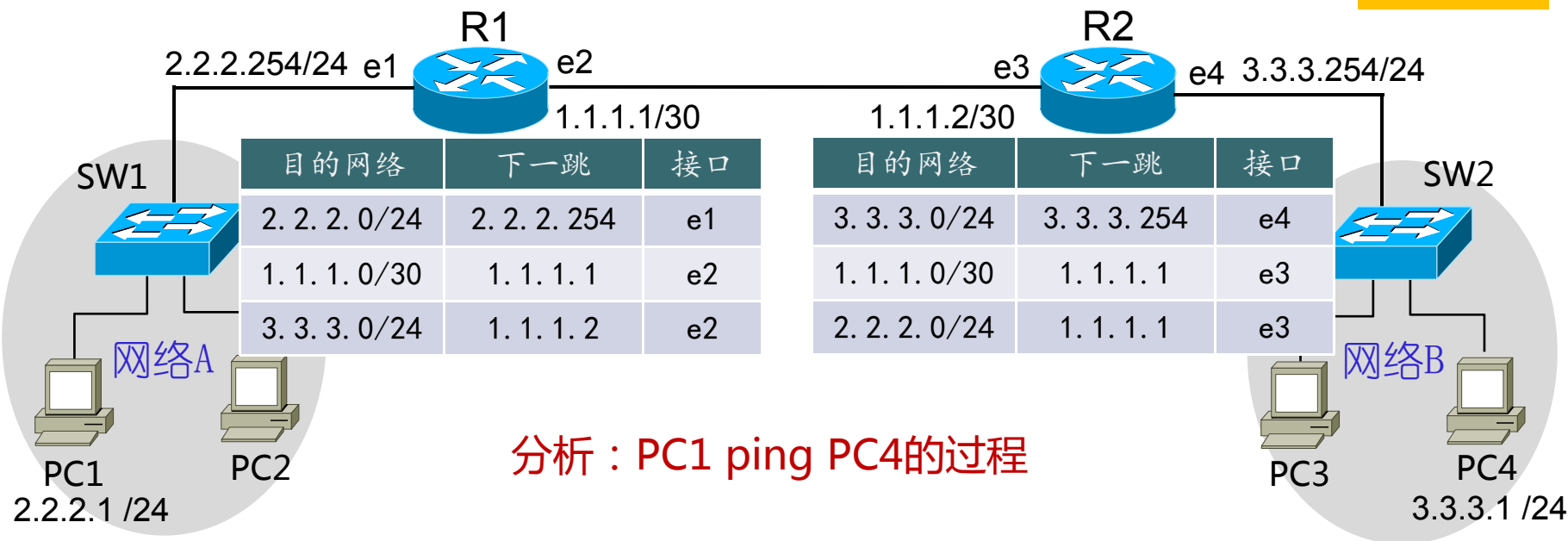
Destination/Mask	Proto	Pre	Cost	Flags	NextHop	Interface
10.0.5.0/30	Direct	0	0	D	10.0.5.2	GigabitEthernet0/0/3
172.16.1.0/24	Static	60	0	RD	10.0.0.6	GigabitEthernet0/0/1

案例分析：路由器转发报文的过程



说明1:

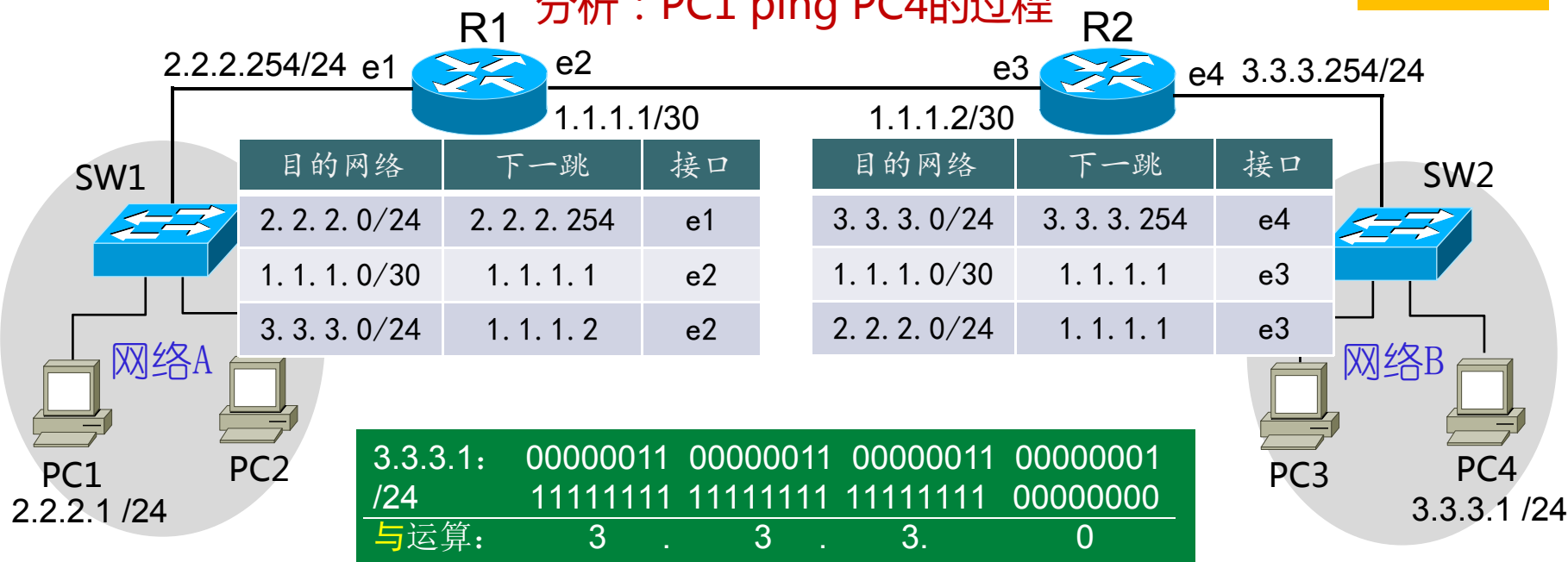
1. 如图，R1、R2是路由器，SW1和SW2是二层交换机；
2. 网络A的网络地址是2.2.2.0/24，其默认网关配置在R1的e1接口，其IP地址是2.2.2.254/24；
3. 网络B的网络地址是3.3.3.0/24，其默认网关配置在R2的e4接口，其IP地址是3.3.3.254/24；



说明2:

1. 路由器各接口已经配置IP地址;
2. SW1和SW2的MAC地址表已经生成（后续不再讨论MAC地址表的生成过程）;
3. 如图，R1和R2的路由表已经生成（此处不再讨论路由的配置操作）;

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤1: PC1首先判断目的主机与自己是否在同一网络。

- 将PC4的IP地址 (3.3.3.1) 和PC1的子网掩码 (/24, 255.255.255.0), 以二进制形式按位相与, 若结果等于PC1所在网络的网络地址 (即2.2.2.0), 表明PC4和PC1在同一网络
- 结论: 不在同一网络, PC1必须把报文先发给自己的默认网关(R1的e1口)

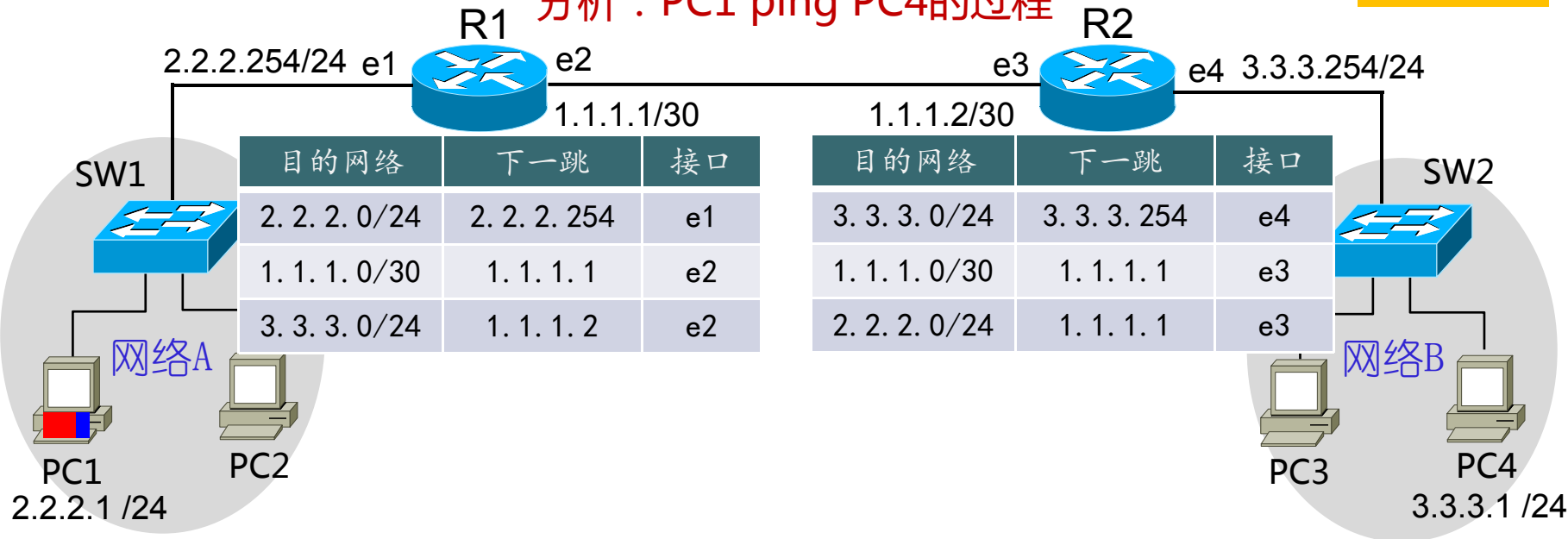
分析：PC1 ping PC4的过程



步骤2：PC1与本网络默认网关之间的通信（1）

- 由于是ping命令，所以PC1要发出ICMP回送请求报文。
- 在进行封装时，首部中的目的IP是IP_PC4，表明该报文的终点是PC4。
- 根据步骤1的分析，PC1要先把报文发给默认网关，所以在封装成帧时，帧首部中的目的MAC是MAC_e1（即R1的e1接口的MAC地址）。

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤2：PC1与本网络默认网关之间的通信（2）

- 若PC1此时不知道默认网关的MAC地址，怎么办？
- PC1可通过ARP协议，获取到e1接口的MAC地址（过程分析略）
 - PC1发出ARP请求报文（源MAC？目的MAC？）
 - e1接口发回ARP响应报文（源MAC？目的MAC？）

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤3: SW1转发PC1发来的ICMP请求报文（注意，转发其他报文同理）

- SW1分析所收到帧的首部中的目的MAC地址，并依据自身MAC地址表进行转发。
- 注意，转发过程中，SW1没有剥掉帧首部，也没有重新封装帧。只是读取目的MAC地址，然后依据MAC地址表进行转发而已。这一点与路由器不同！

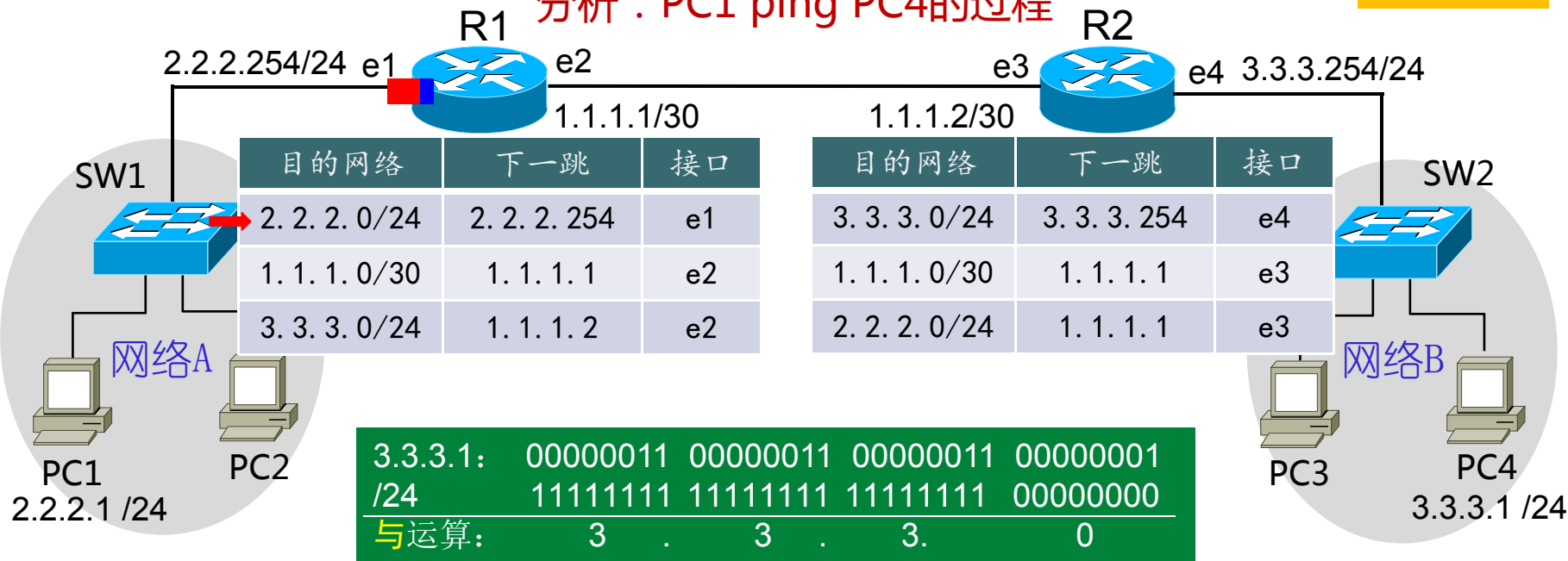
分析：PC1 ping PC4的过程



步骤4：R1接收PC1发来的ICMP请求报文

- R1收到PC1发来的报文后，是否有解封装操作？
 - 路由器是三层设备，其e1接口的数据链路层会分析帧首部的目的MAC地址，确认是发给自己的。然后去掉帧首、帧尾，将里面的分组发给自己的网络层，进行进一步处理。
 - 提示：路由器接口的数据链路层处理帧首部，网络层处理分组首部。

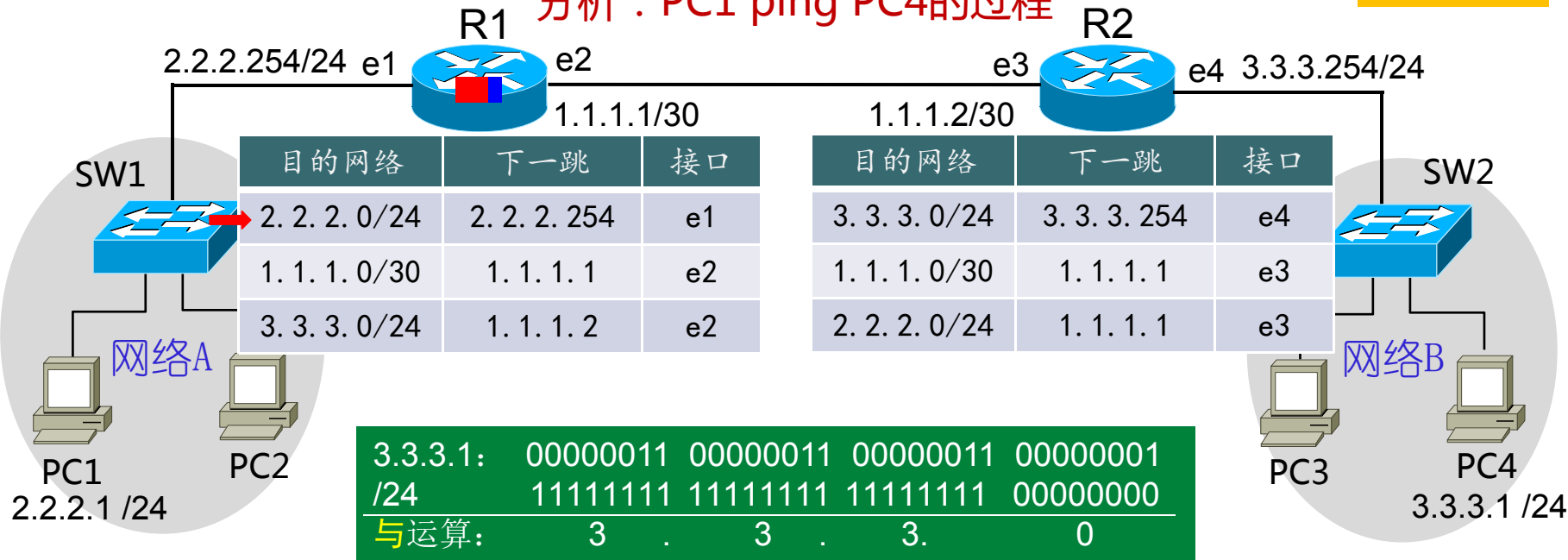
分析：PC1 ping PC4的过程



步骤5：R1查找转发表：寻找前缀匹配的过程（1）

- 读取分组首部中的目的IP地址（3.3.3.1），与转发表第1条记录中的子网掩码（/24，255.255.255.0）按二进制位进行与（and）运算。
- 运算结果（3.3.3.0）**不等于**该记录的目的网络地址（2.2.2.0），说明未匹配，继续查找。

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤5: R1查找转发表：寻找前缀匹配的过程 (2)

- 继续查找，发现第3条记录匹配，则按照该记录提供的路径进行转发。
- 含义：(从R1开始)要到达3.3.3.0/24这个网络，下一跳的IP地址是1.1.1.2（注意，下一跳是e3, 不是e2），把分组从本路由器的e2接口发出。

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤6: R1 (e2接口) 重新封装并转发所收到的ICMP请求报文

- R1的e2接口在转发报文时，需要重新封装报文，具体如下：
 - 报文首部中源IP和目的IP保持不变，即报文的起点信息和终点信息不变；
 - e2接口的数据链路层重新封装成帧，帧首部的源MAC变为MAC_e2，目的MAC变为MAC_e3。
 - 提示，e2和e3的IP地址一定属于同一网段，e2可通过ARP获取e3的MAC。

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤7: R2转发所收到的ICMP请求报文

- R2的转发过程，与R1基本相同；
- **区别1:** 在匹配转发表记录时，由于网络B是R2的直连网络（其默认网关就在R2上），所以其下一跳地址就是网络B的默认网关（即e4口）的IP地址；
- **区别2:** e4接口的数据链路层重新封装成帧，帧首部的源MAC变为MAC_e4，目的MAC变为MAC_PC4。（因为PC4和e4口属于同一网段）

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤8：SW2转发所收到的ICMP请求报文（同SW1）

- SW2分析所收到帧的首部中的目的MAC地址，并依据自身MAC地址表进行转发。
- **注意**，转发过程中，SW1没有剥掉帧首部，也没有重新封装帧。只是读取目的MAC地址，然后依据MAC地址表进行转发而已。这一点与路由器不同！

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤9：PC4接收ICMP请求报文

- PC4收到ICMP请求报文，解封装，分析目的MAC和目的IP地址，发现是给自己的，收下。

分析：PC1 ping PC4的过程



步骤10：PC4发回ICMP响应报文

- PC4发现该报文是ICMP的回送请求报文，根据ICMP协议，PC4会返回ICMP回送响应报文。
- 具体过程略

路由器转发报文的过程

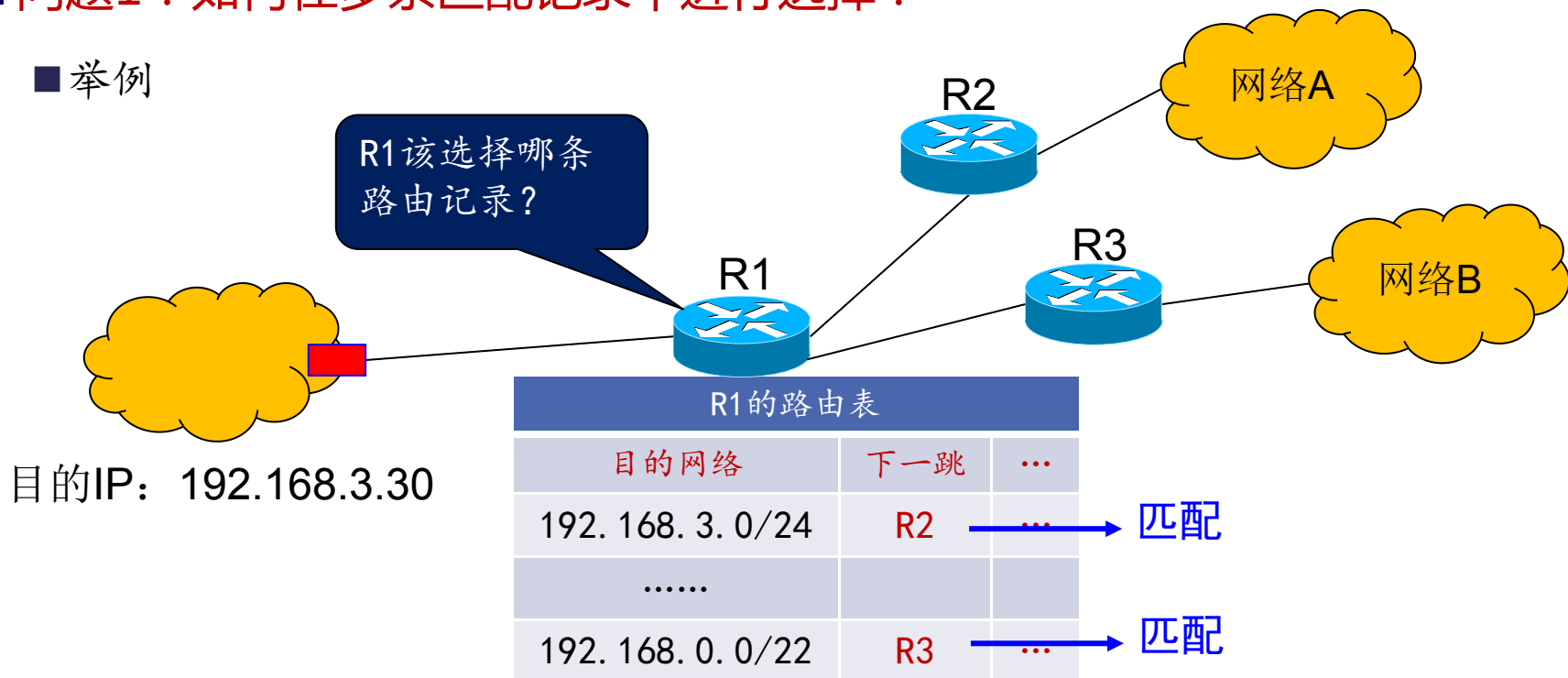
□ 分析两个问题

1. 路由器根据分组首部中的目的IP地址，在匹配转发表中的记录时，发现能匹配上的**不止一条**路由记录，按照哪一条进行转发？
2. 如何提高路由器查找转发表的速度？

路由器转发报文的过程

□ 问题1：如何在多条匹配记录中进行选择？

■ 举例



路由器转发报文的过程

□ 问题1：如何在多条匹配记录中进行选择？

■ 再谈“最长前缀匹配”原则

- 路由器遵循**最长匹配原则**对收到的报文（分组）进行路由匹配！
- “在采用CIDR编址时，如果一个分组在转发表中可以找到多个匹配的前缀，那么就应当选择前缀最长的一个作为匹配的前缀。这个原则称为最长前缀匹配。网络前缀越长，其地址块就越小，因而路由就越具体。”

—— 《计算机网络

（第8版）》 P143

路由器转发报文的过程

□ 问题1：如何在多条匹配记录中进行选择？

■ 再谈“最长前缀匹配”原则

- 第1条匹配记录的网络前缀是24位（/24）
- 第2条匹配记录的网络前缀是22位（/22）

■ 根据“最长前缀匹配”原则，路由器选择第1条匹配记录。

R1选择该条路由记录！

R1的路由表		
目的网络	下一跳	...
192. 168. 3. 0/24	R2	...
.....		
192. 168. 0. 0/22	R3	...

路由器转发报文的过程

□ 问题2：如何提高路由器查找转发表的速度？

■ 路由器转发表的项目数很大时，怎样设法缩短转发表的查找时间就成为一个非常重要的问题！

■ 二叉线索查找转发表（好的数据结构 + 快速查找算法）

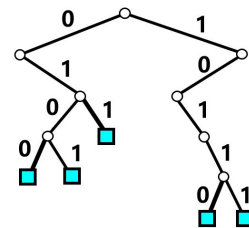
➤ 为了进行更加有效的查找，通常是把无分类编址的转发表存放在一种层次数据结构中，然后自上而下地按层次进行查找。最常用的就是二叉线索。《计算机网络（第8版）》P144，4.3.3 使用二叉线索查找转发表

32 位的 IP 地址

01000110	00000000	00000000	00000000
01010110	00000000	00000000	00000000
01100001	00000000	00000000	00000000
10110000	00000010	00000000	00000000
10111011	00001010	00000000	00000000

唯一前缀

0100
0101
011
10110
10111



三、路由表的生成

路由表中的记录获取方式有三种：直连路由、静态路由、动态路由。
本章讲解直连路由和静态路由的生成和运行特点。动态路由在后续章节讲解。

三、路由表的生成

—— 直连路由

路由表的生成 —— 直连路由

□ 直连路由是如何生成的？

■ 给路由器接口配置IP地址

- ▶ 和交换机不同（交换机加电即可工作，实现所连接网络内部主机之间的通信），路由器必须经过配置，才能工作，即实现不同网络之间的通信。而路由器最基本的配置，就是给路由器接口配置IP地址。
- ▶ 只要管理员为路由器活动接口配置了IP地址/子网掩码，路由器就会根据该地址，自动计算出该接口所属网络（即直连网络）的网络地址信息，并将该信息以直连路由的形式，写入路由表，即路由表中就会自动生成对应的直连路由。

路由表的生成 —— 直连路由

□ 直连路由是如何生成的？

■ 路由器接口配置IP地址举例

```
[R1]interface Ethernet 0/0/1
```

//进入接口视图

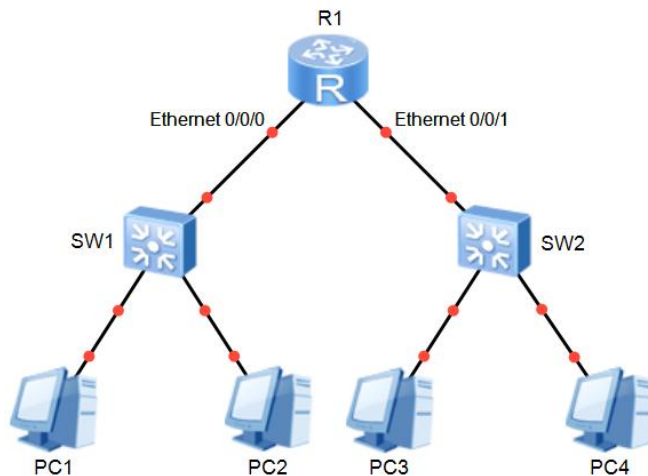
```
[R1-Ethernet0/0/1]ip address 192.168.1.1 255.255.255.0
```

//配置当前接口的IP

给R1的Ethernet0/0/1接口配置IP地址

192.168.1.1，子网掩码为255.255.255.0

R1会计算出Ethernet0/0/1接口所直连的网络的网络地址为192.168.1.0/24，并自动在路由表中记下相应的路由记录。



路由表的生成 —— 直连路由

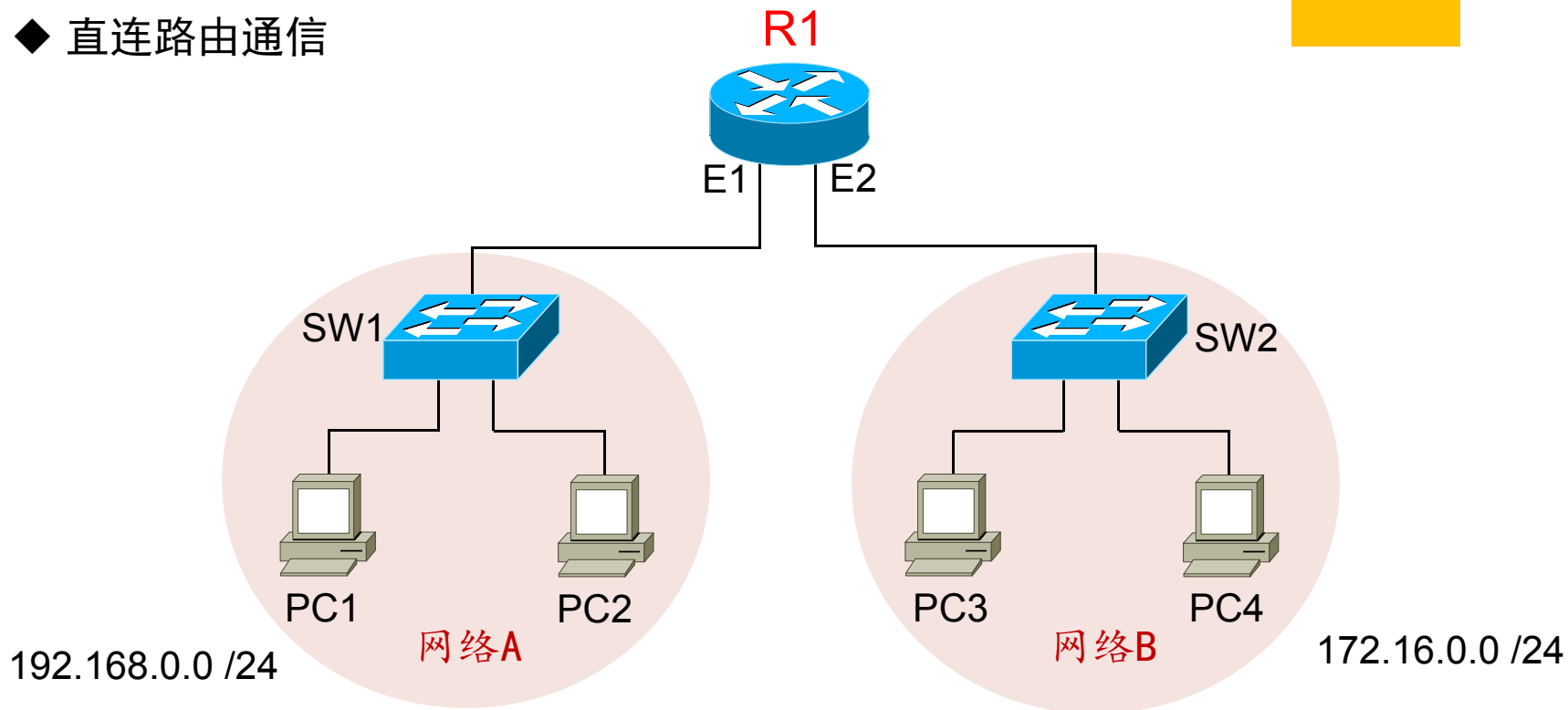
□ 直连路由的应用

■ 实现直连网络之间的互联互通。

- ▶ 路由器各接口直接连接的网络，称为直连网络，直连网络之间，通过路由器的直连路由即可实现通信。

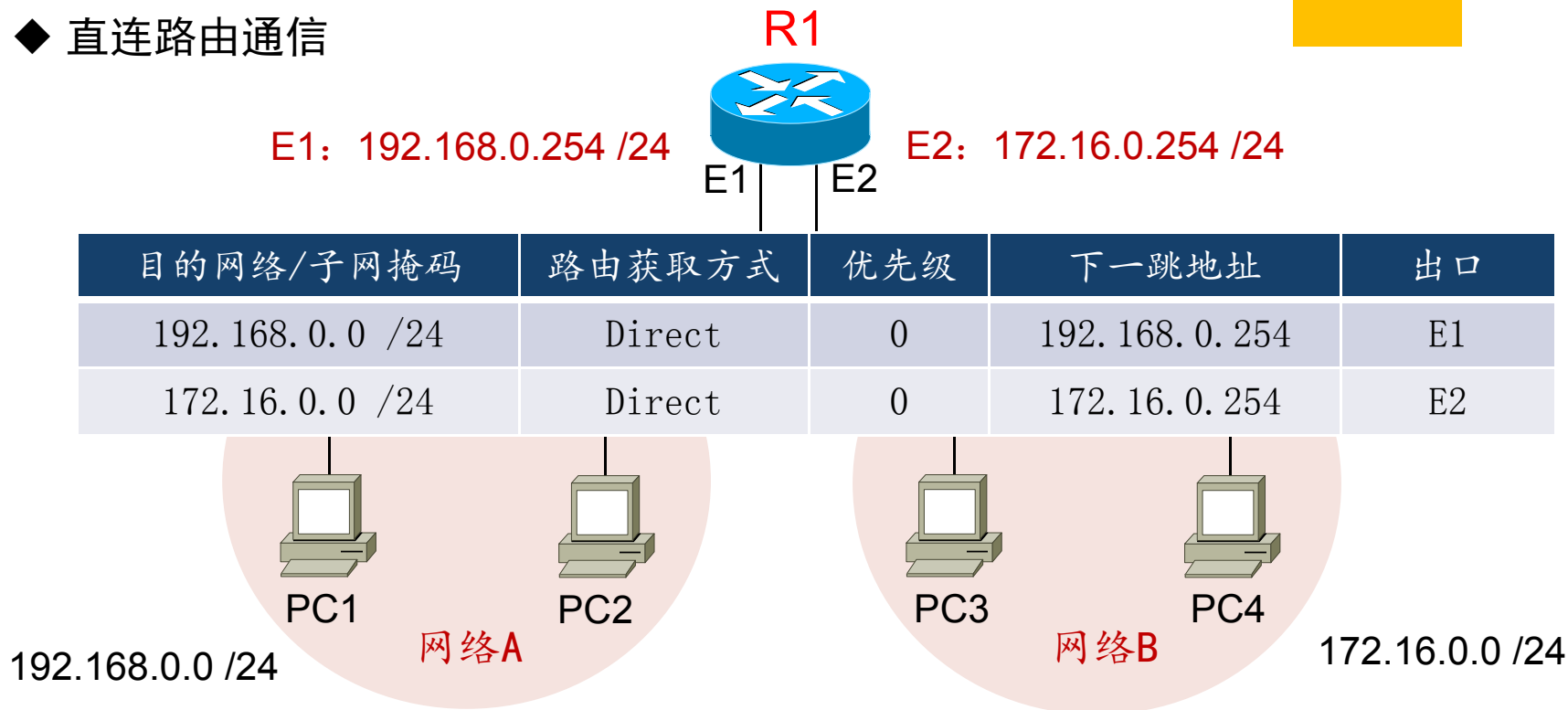
■ 举例

◆ 直连路由通信



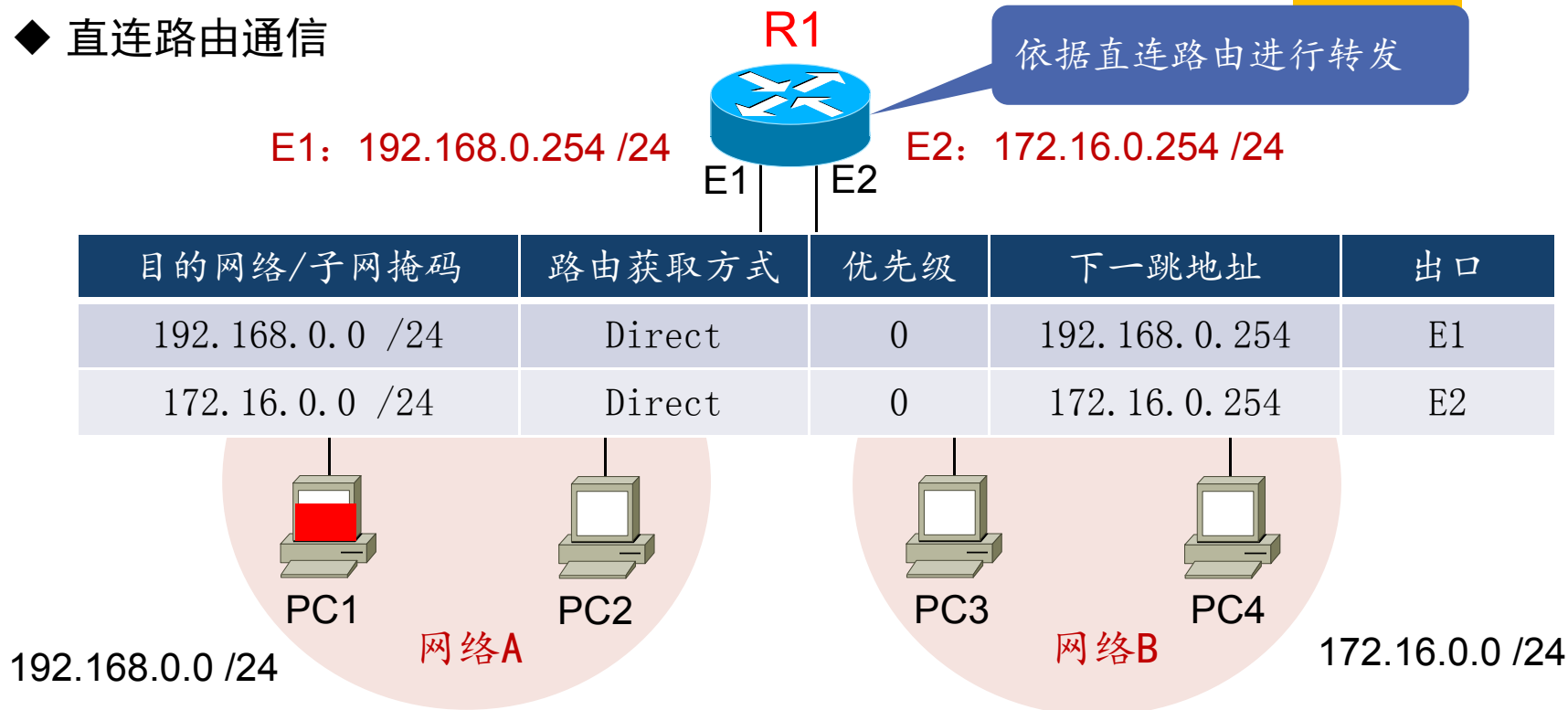
1. **网络规划**：R1为路由器，SW1和SW2为交换机。网络A直接连接R1的E1接口，网络B直接连接R1的E2接口。网络A和网络B的IP地址如图所示。

◆ 直连路由通信



2. 分别给R1的E1接口和E2接口配置IP地址。注意，此处E1是网络A的默认网关，E2是网络B的默认网关。
配置完成后，R1中自动生成两条直连路由。

◆ 直连路由通信



3. 将网络A中各主机的默认网关地址设置为E1接口的IP地址，网络B中各主机的默认网关地址设置为E2接口的IP地址。则网络A和网络B可正常通信。（例如PC1 访问 PC4）

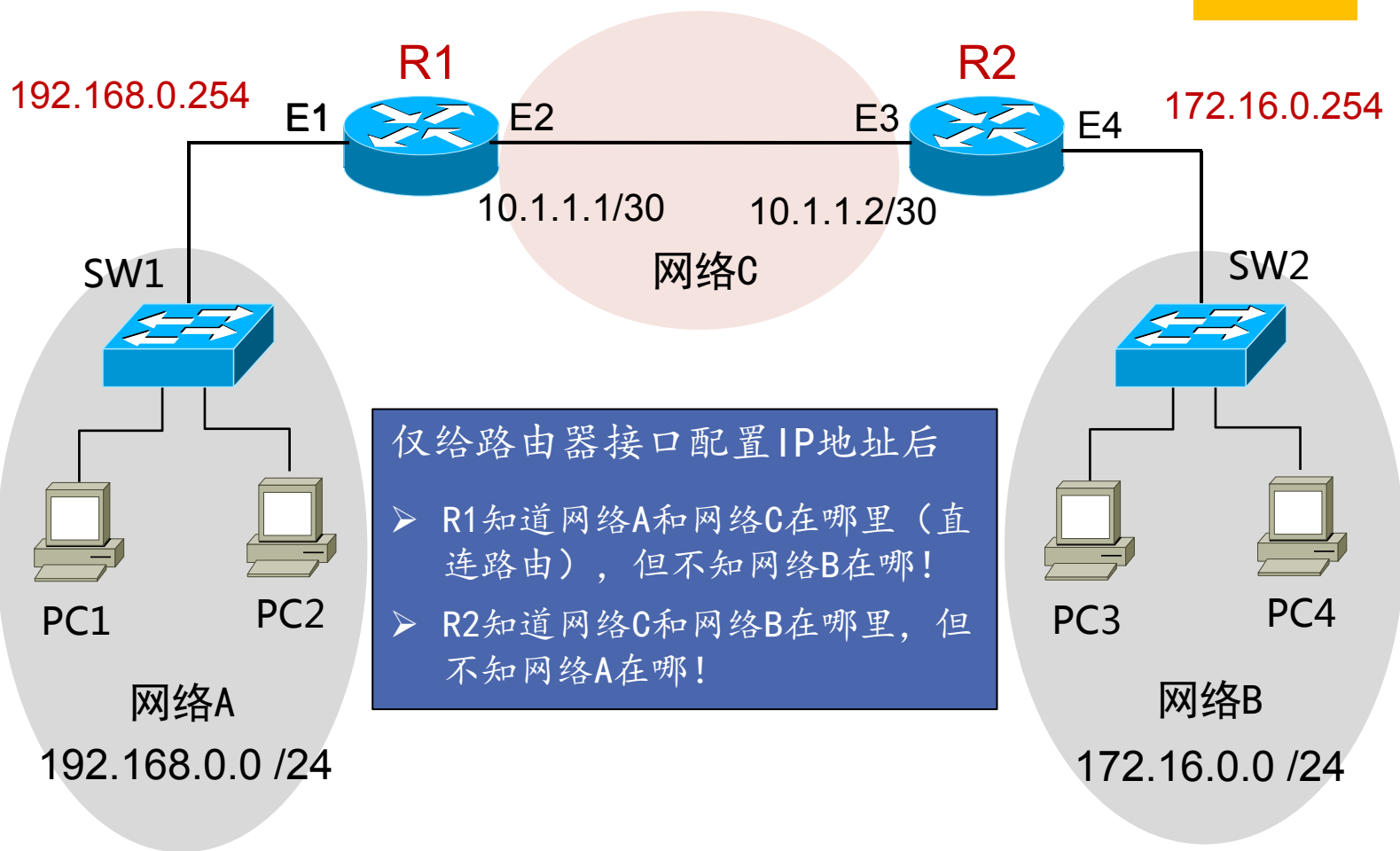
三、路由表的生成

—— 静态路由

路由表的生成 —— 静态路由

□ 直连路由存在的问题

- 当网络中具有多个路由器时，由于路由器之间屏蔽了各自直接连接的网络分段，因此，一台路由器就无法通过直连路由获取远端网络的位置信息。
- 举例



路由表的生成 —— 静态路由

□ 直连路由存在的问题

- 此时，就有必要为路由器添加对远端网络位置的认知信息，即配置路由选择策略。
- 根据路由选择策略能否随网络拓扑结构变化而自适应的调整，分为静态路由选择策略和动态路由选择策略。

路由表的生成 —— 静态路由

□ 静态路由的生成

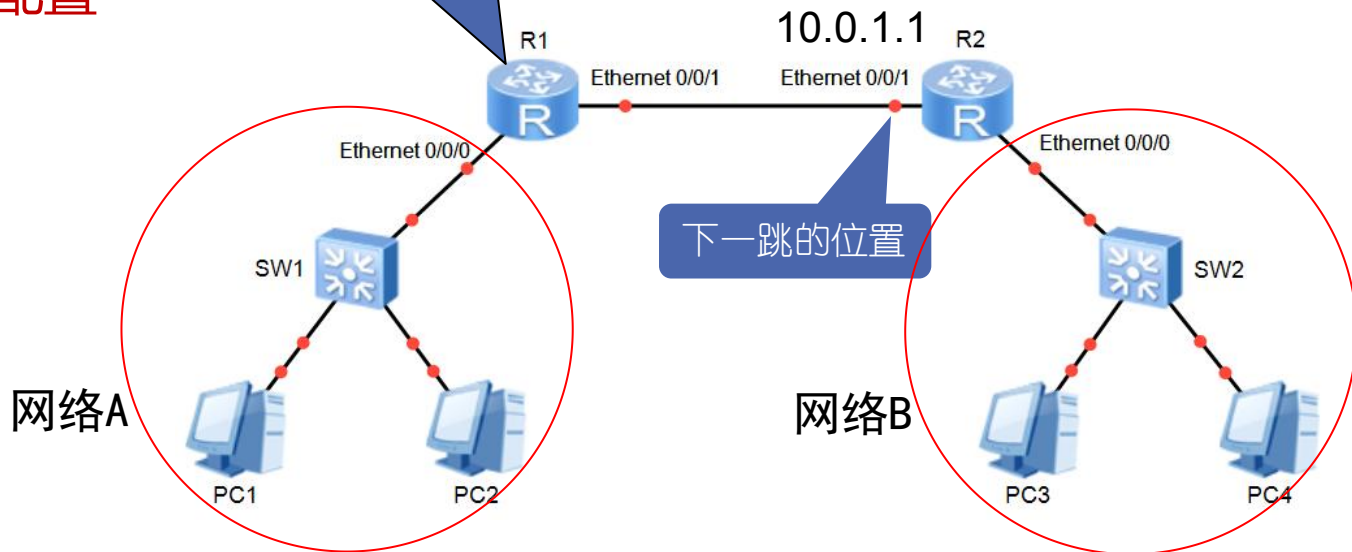
■ 手工配置

- 路由器不会自动生成所需的静态路由记录，需要网络管理员根据网络互联互通的实际需要，在路由器上一条条手工配置。
- 静态路由记录中主要包括：目的网络地址、下一跳地址、出端口。
- 配置命令举例

路由表的生成

在R1上配置到达网络B的静态路由

静态路由的配置



```
[R1]ip route-static 192.168.0.0 255.255.255.0 10.0.1.1
```



说明：在路由器R1上配置一条静态路由，其含义为：**从路由器R1开始**，到达192.168.0.0/24这个网络，其下一跳地址为10.0.1.1（即路由器R2的Ethernet0/0/1接口）

路由表的生成 —— 静态路由

□ 静态路由的特点

■ 固定不变

- 由网络管理员预先设置好路由表，除非网络管理员干预，否则静态路由不会随着网络拓扑结构的变化而自动发生变化。

■ 不可通告性

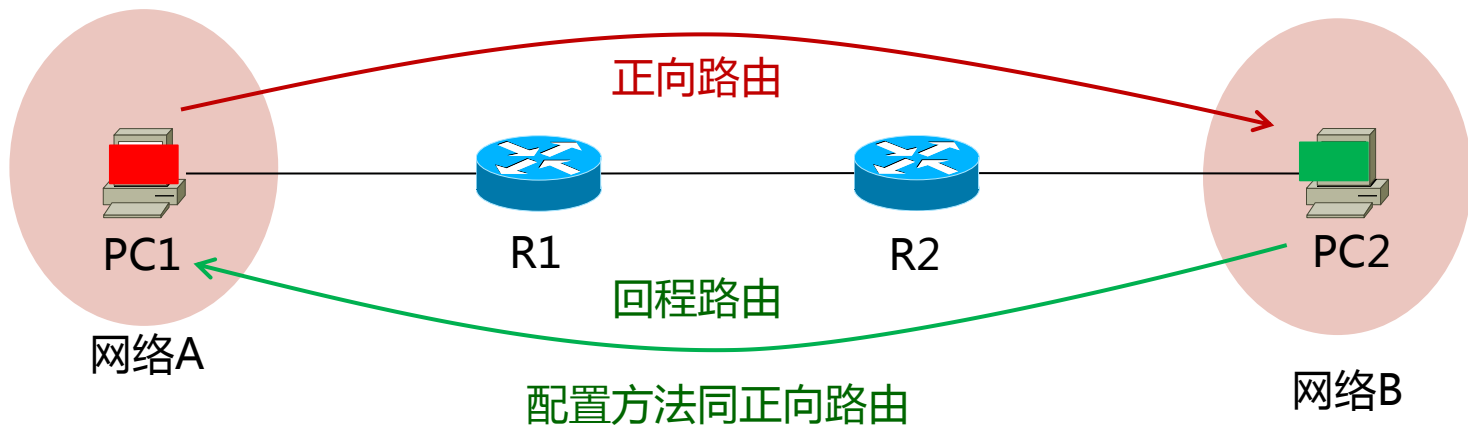
- 当在一台路由器上配置了某条静态路由信息，它不会被通告到网络中相连的其他路由器。（我所具有的，别人不知道）

路由表的生成 —— 静态路由

□ 静态路由的特点

■ 单向性

- ▶ 静态路由是单向性的，也就是它仅为数据包提供沿着下一跳的方向进行路由，不提供反向路由。所以要使源主机与目的主机进行双向通信，就必须同时配置回程路由。



路由表的生成 —— 静态路由

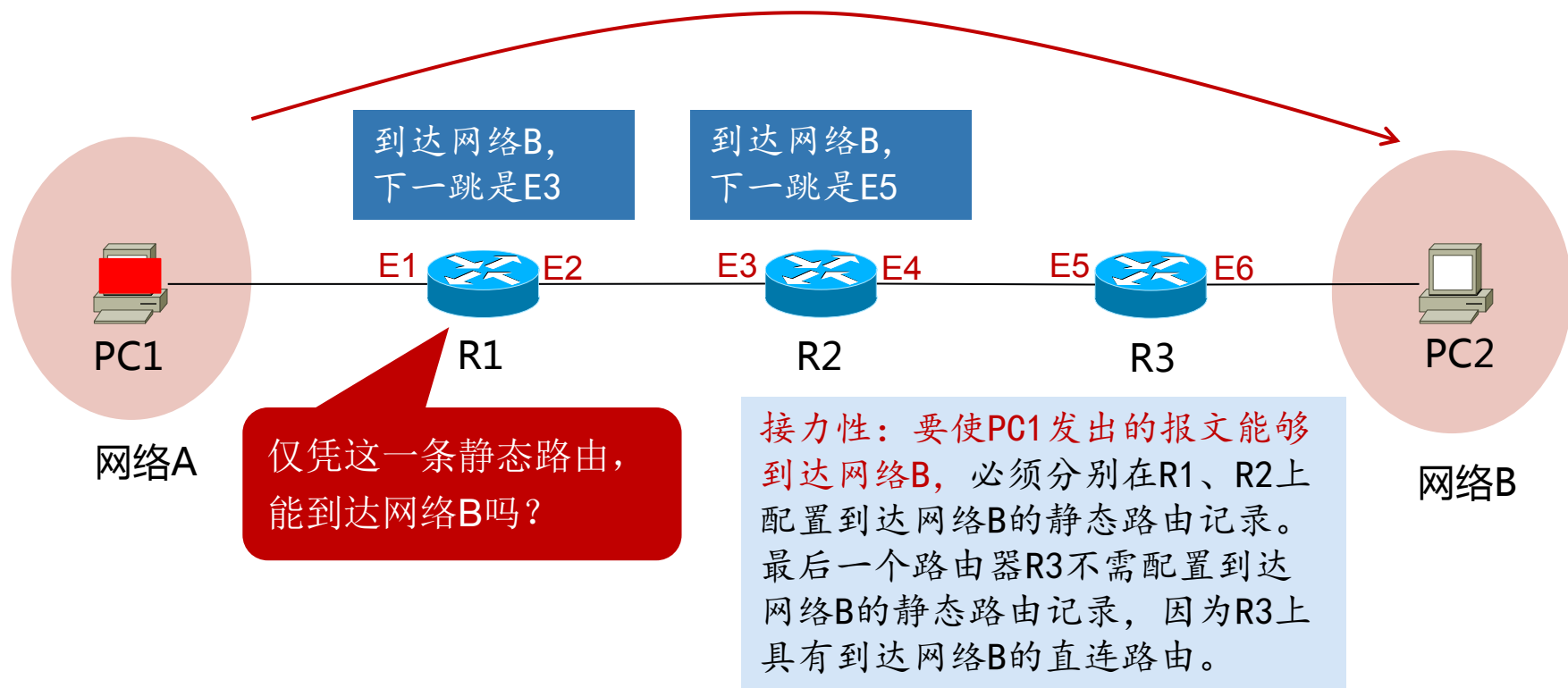
□ 静态路由的特点

■ 接力性

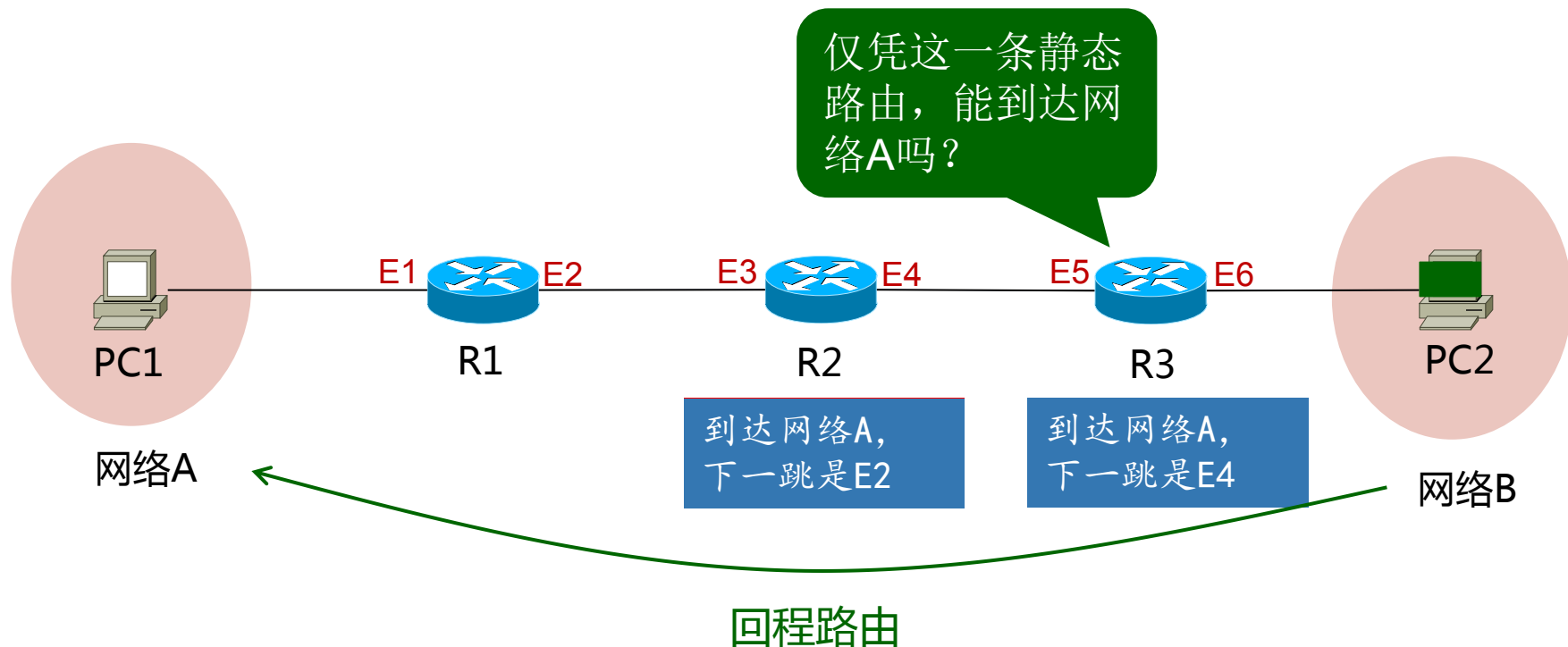
- 若某条静态路由的路径中间包含多台路由器，则必须在除最后一个路由器外的其他路由器上，依次配置到达相同目的网络的静态路由，这就是静态路由的接力性。
- 举例

◆ 演示：静态路由的接力性

正向路由



◆ 演示：静态路由的接力性



路由表的生成 —— 静态路由

□ 静态路由的特点

■ 优先级较高

- 静态路由的默认优先级为60，数值越小优先级越高。在华为设备中，静态路由的优先级高于RIP（100）但低于直连路由（0）、OSPF（10）和IS-IS（15）。

➤ 应用举例

- **路由备份：**通过配置不同优先级的静态路由实现主备切换。例如主路由优先级为60（默认），备用路由优先级设为更高的值（如80），主路由失效时启用备用路由。

路由表的生成 —— 静态路由

□ 静态路由的特点

■ 适用于小型网络

- ▶ 根据静态路由的基本概念和工作特点，静态路由一般适用于较为简单的网络环境，在这样的环境中，管理员易于清楚地了解整个网络的拓扑结构，便于配置正确的路由信息。
- ▶ 如果网络规模较大，拓扑结构比较复杂，则适宜采用动态路由协议。

路由表的生成 —— 静态路由

特殊的静态路由：缺省路由及应用

路由表的生成 —— 静态路由

□ 认识缺省路由（也叫默认路由）

- **作用：**缺省路由又称默认路由。当报文的路由与路由表中的所有路由都匹配失败时，为使报文有一个最终的发送地，路由器或网络主机将根据缺省路由转发报文。
- **若没有**配置缺省路由，则在路由表中没有匹配成功的数据包将被丢弃。
- **特殊之处：**路由记录中的“目的网络/掩码”用0.0.0.0 0.0.0.0表示。

路由表的生成 —— 静态路由

□ 缺省路由的配置

■ 缺省路由既能由网络管理者设定，也能由某些动态路由协议生成

【方式1】管理员设定

```
[R1]ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 10.0.1.1
```

说明：在路由器R1上配置一条缺省路由，其含义为：从路由器R1开始，不论到达任何网络，其下一跳地址为10.0.1.1

路由表的生成 —— 静态路由

▣ 缺省路由的配置

【方式2】使用动态路由协议广播缺省路由（例如OSPF）

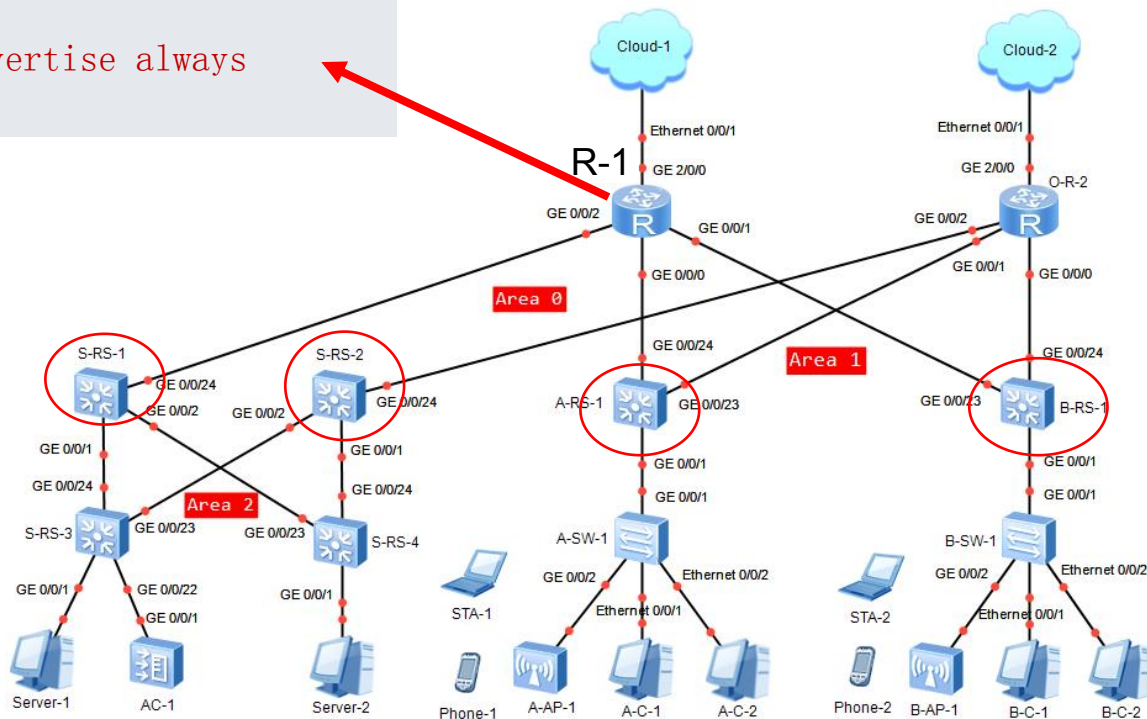
```
[R-1] ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 11.11.11.2      //配置缺省路由
[R-1]ospf 1
//在ospf中引入缺省路由，并将其发布到整个OSPF 1区域
[R-1-ospf-1]default-route-advertise always
[R-1-ospf-1]area 0
[R-1-ospf-1-area-0.0.0.0]network 10.0.0.0 0.0.0.3
```

说明：某园区网内部各路由器使用OSPF动态路由协议，在边界路由器上配置了一条缺省路由，用以转发访问互联网的报文。为使内部各路由器也能转发发往互联网的报文，可在边界路由器上做如上配置，配置中用到的命令default-route-advertise将缺省路由通告到OSPF区域中，这样内部网中的其他路由器也会学习到该缺省路由，并自动修改下一跳地址。

【方式2】使用动态路由协议广播缺省路由（例如OSPF）

```
[R-1] ip route-static 0.0.0.0 0.0.0.0 11.11.11.2
[R-1] ospf 1
[R-1-ospf-1] default-route-advertise always
[R-1-ospf-1] area 0
```

通过在路由器R-1上配置上述命令，可将R-1上的缺省路由发到园区网内部的其他路由器，即其他路由器上也会自动产生一条缺省路由。



路由表的生成 —— 静态路由

□ 缺省路由应用案例

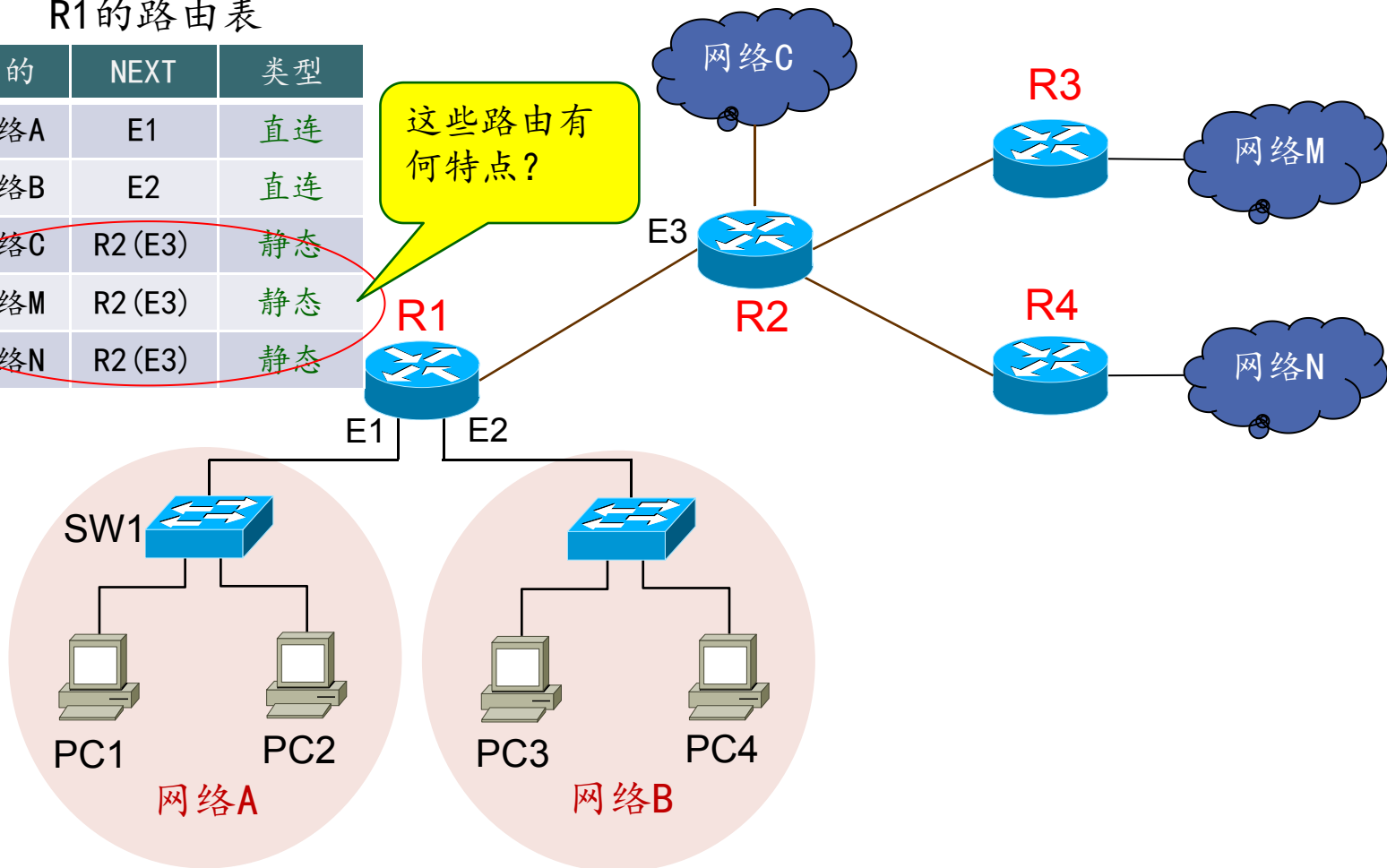
- **简化路由配置：**缺省路由在某些时候非常有效，例如，存在末梢网络时，缺省路由会大大简化路由器的配置，减轻管理员的工作负担，提高网络性能。
- 案例

◆ 演示：缺省路由的应用案例

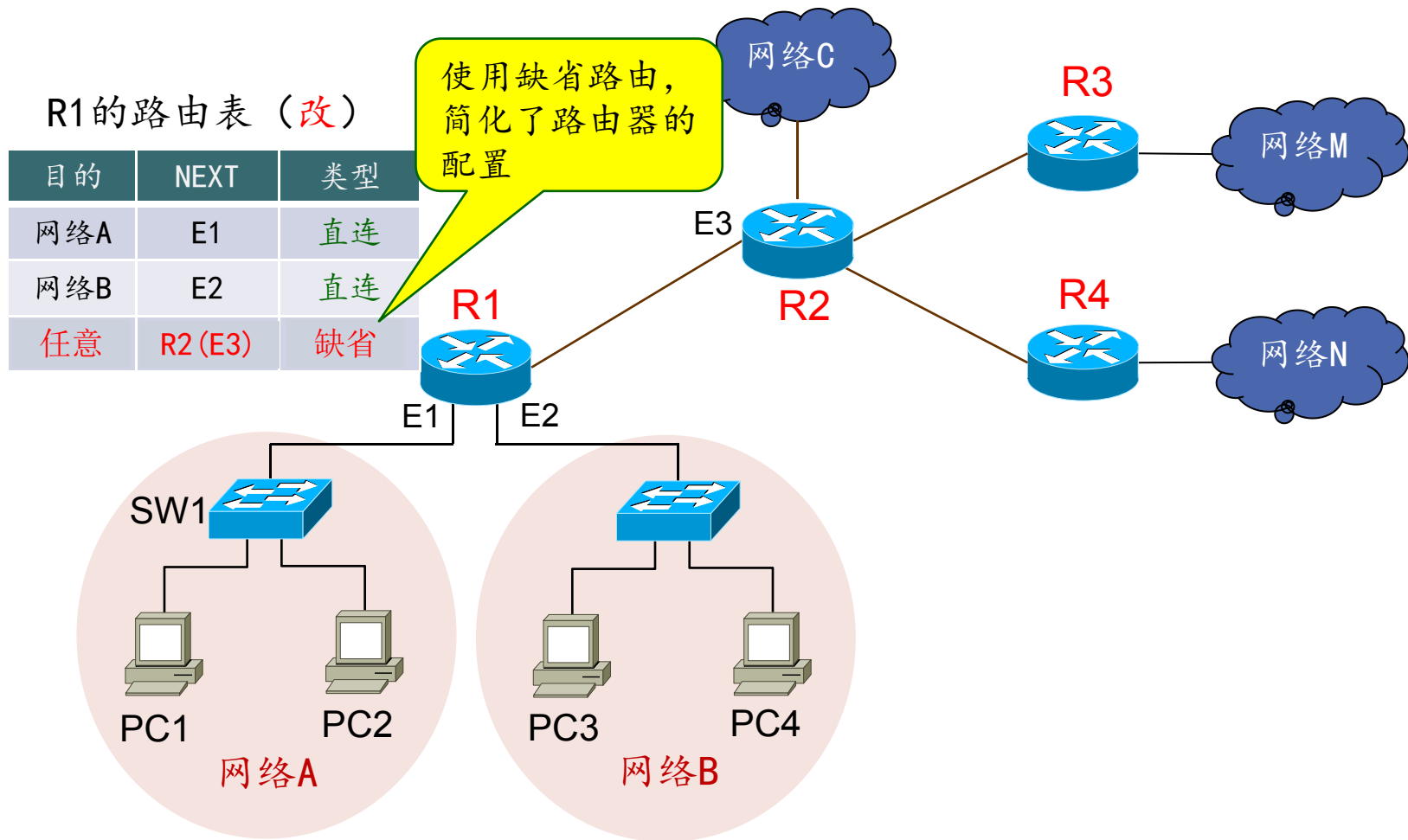
R1的路由表

目的	NEXT	类型
网络A	E1	直连
网络B	E2	直连
网络C	R2 (E3)	静态
网络M	R2 (E3)	静态
网络N	R2 (E3)	静态

这些路由有何特点？



◆ 演示：缺省路由的应用案例

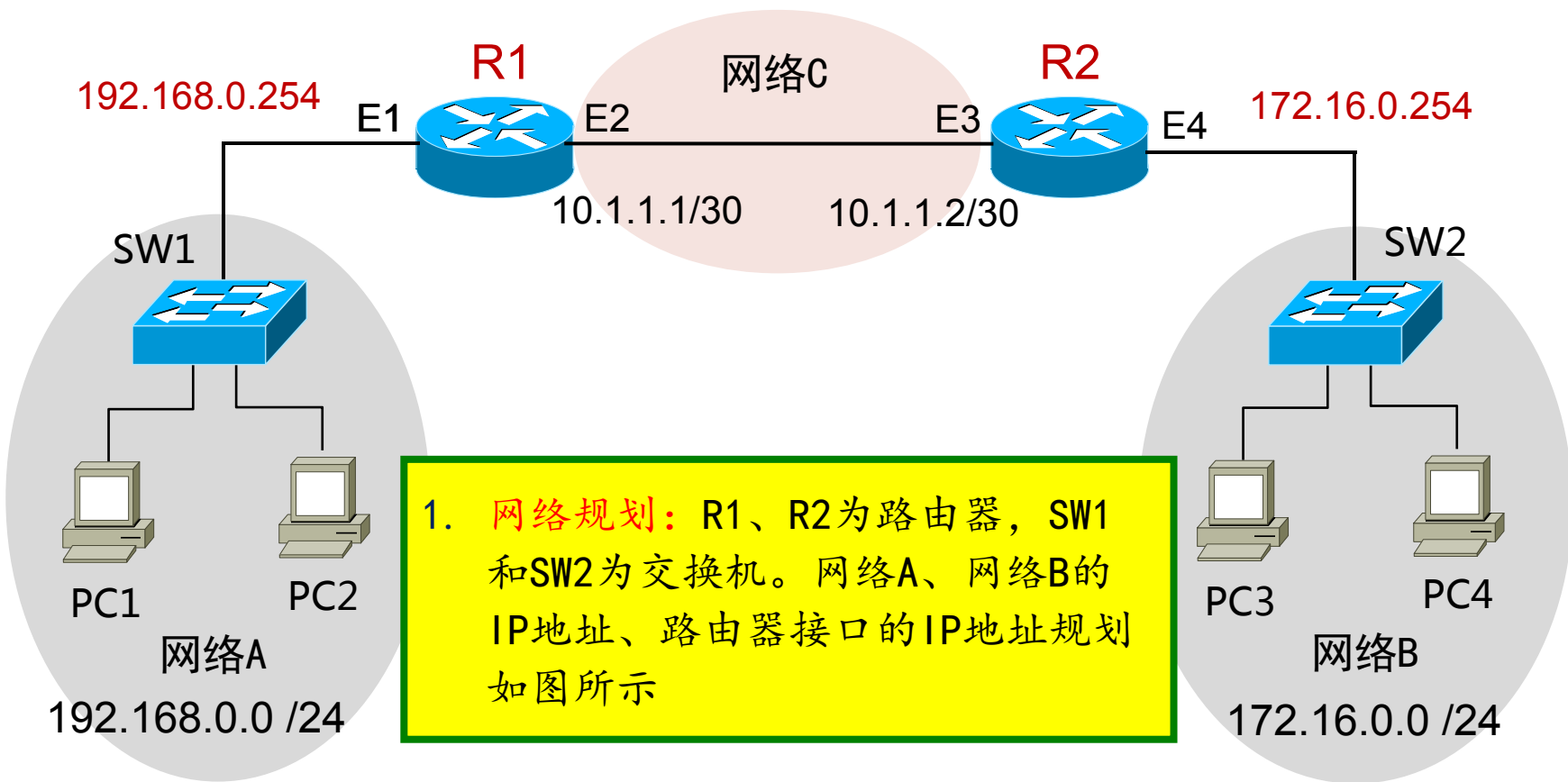


四、案例研讨

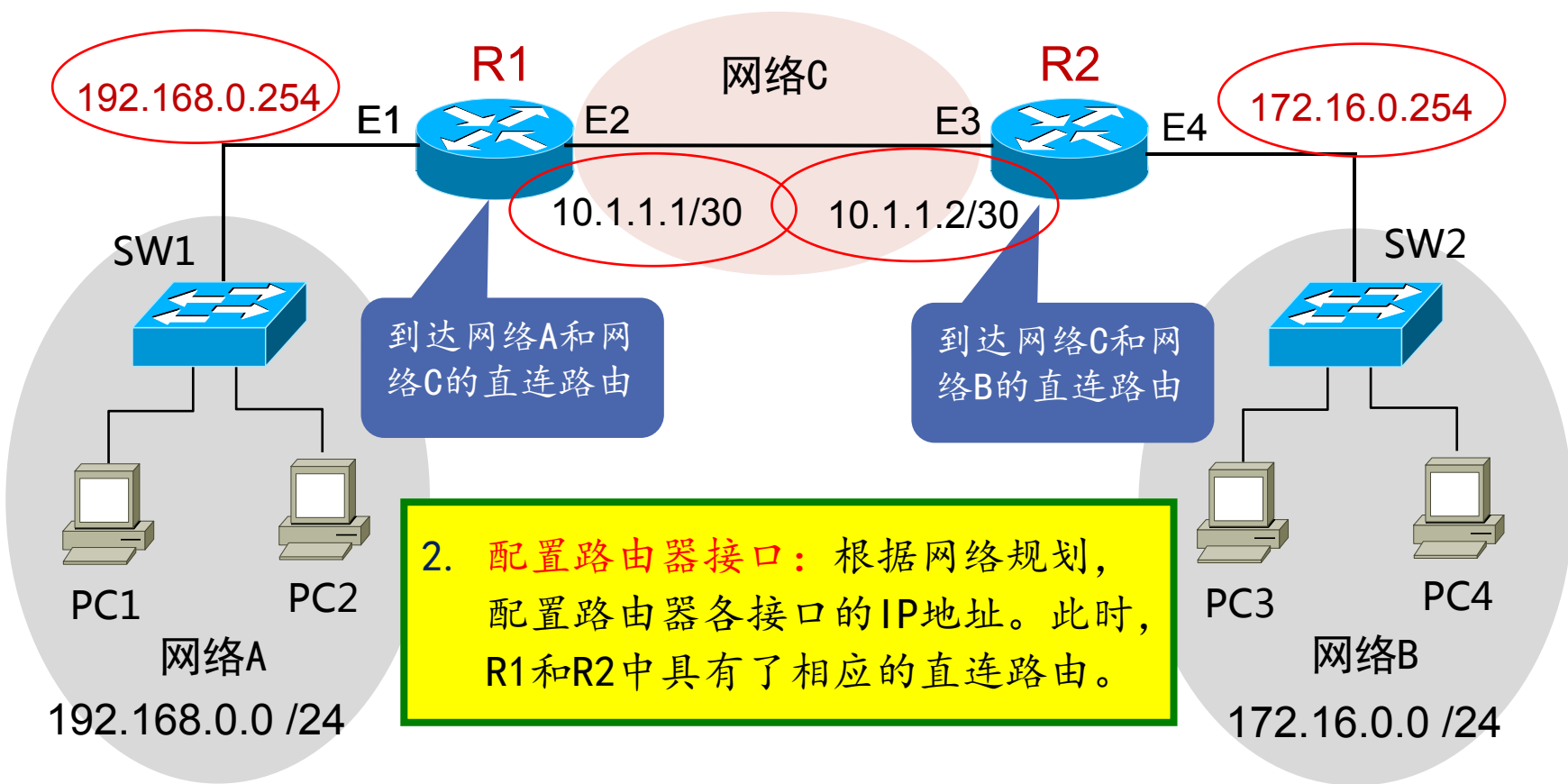
路由器组网通信分析

—— 静态路由配置

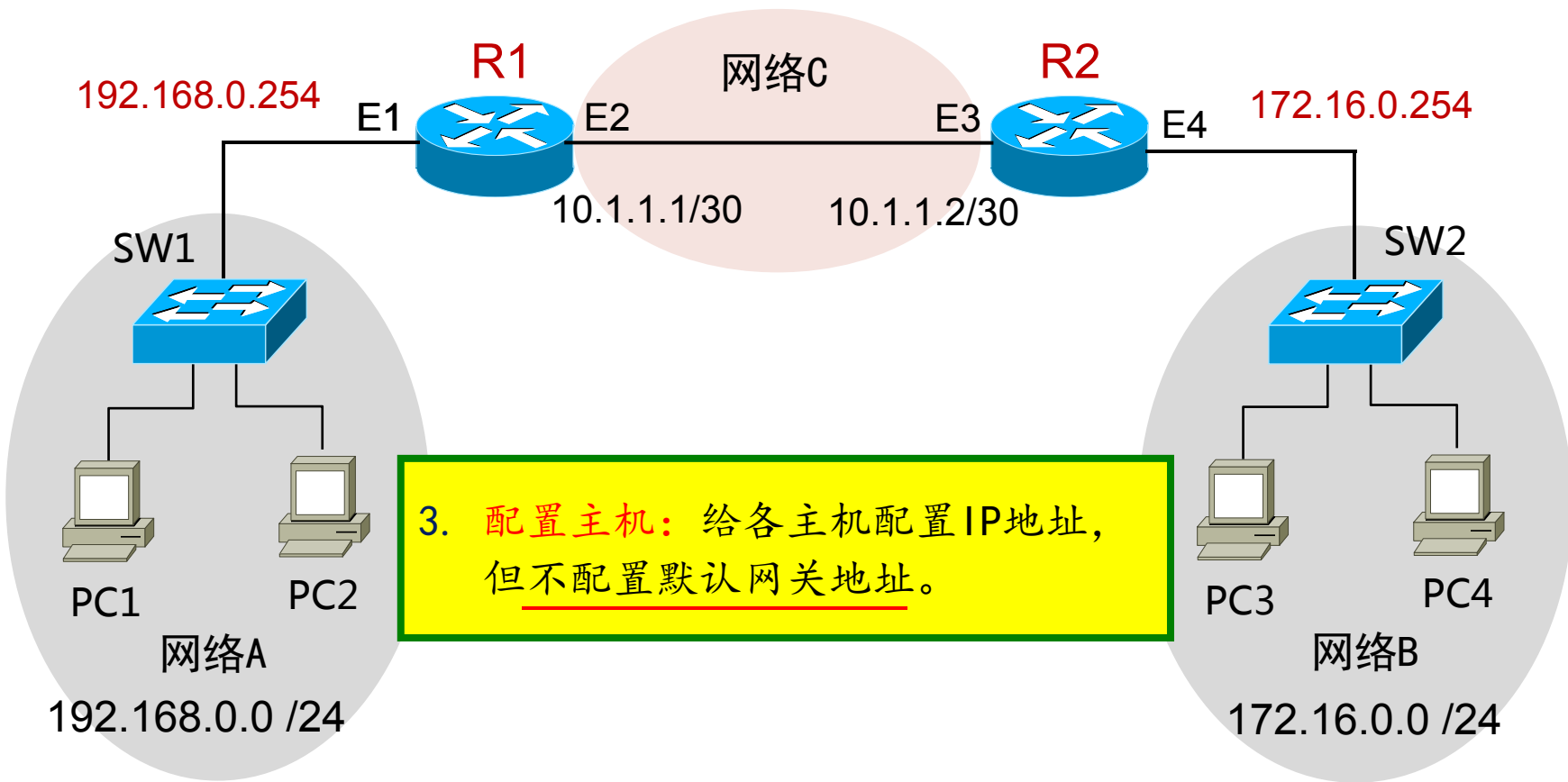
➤ 研讨：路由器组网通信分析



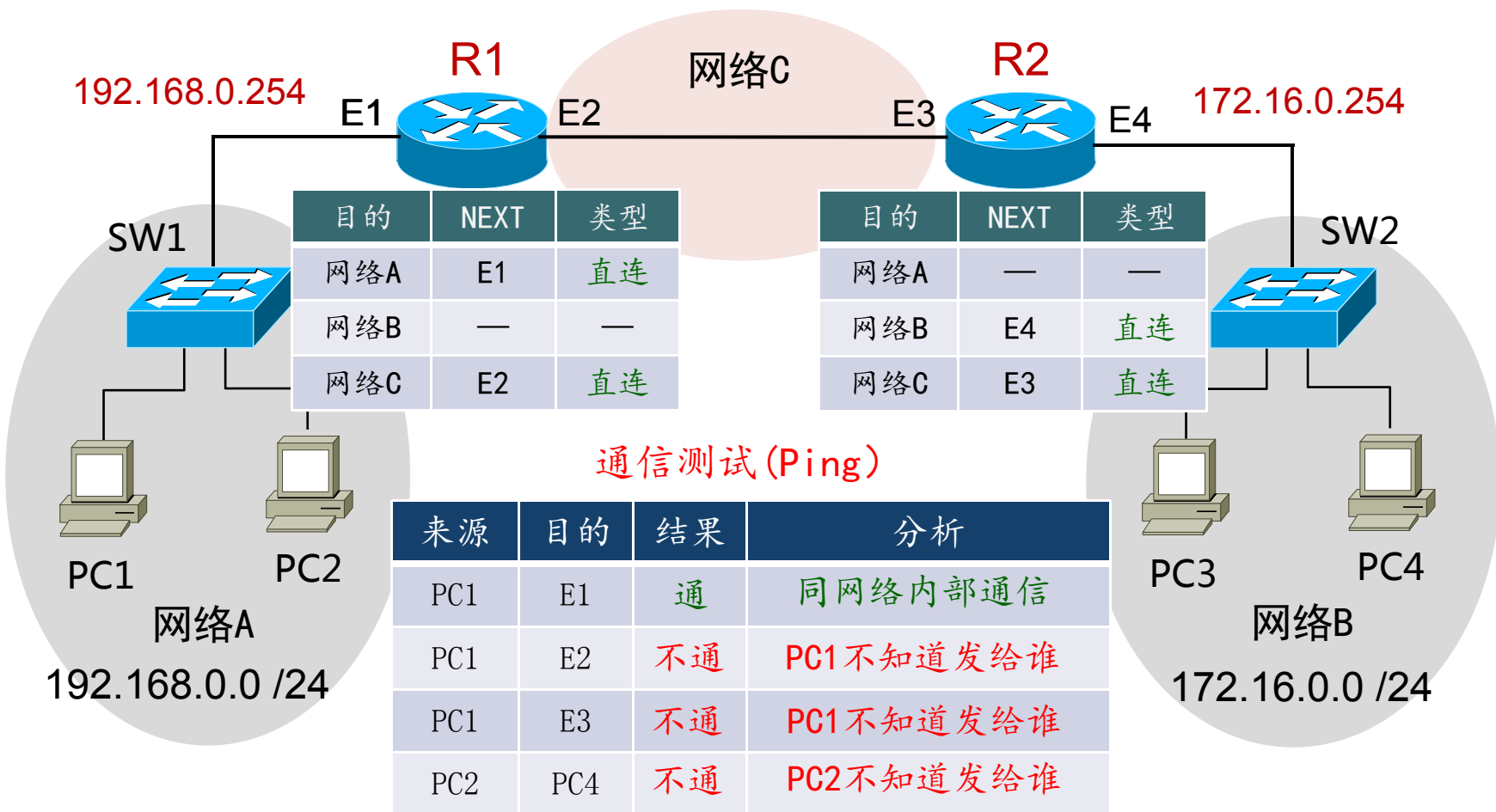
➤ 研讨：路由器组网通信分析



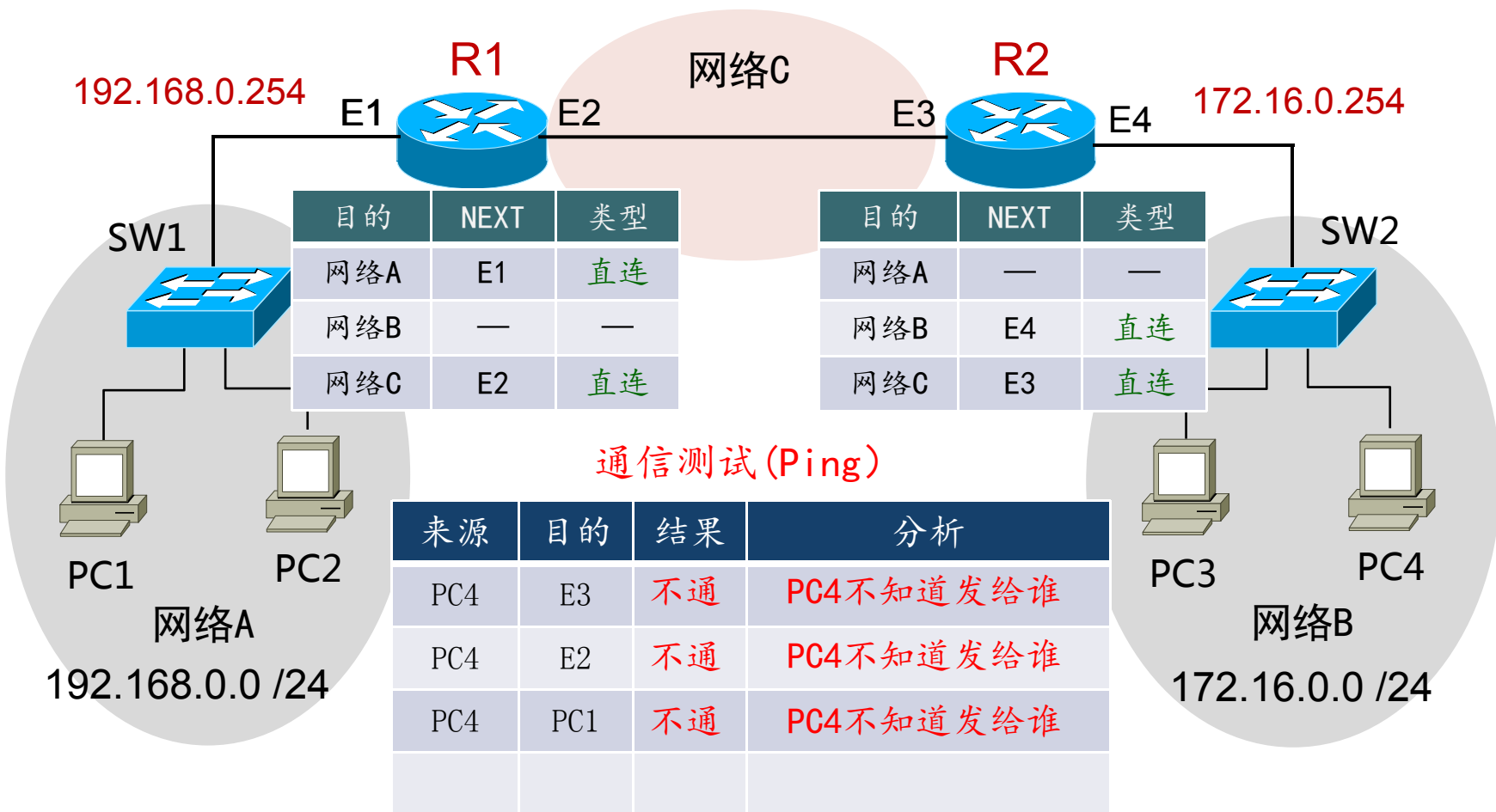
➤ 研讨：路由器组网通信分析



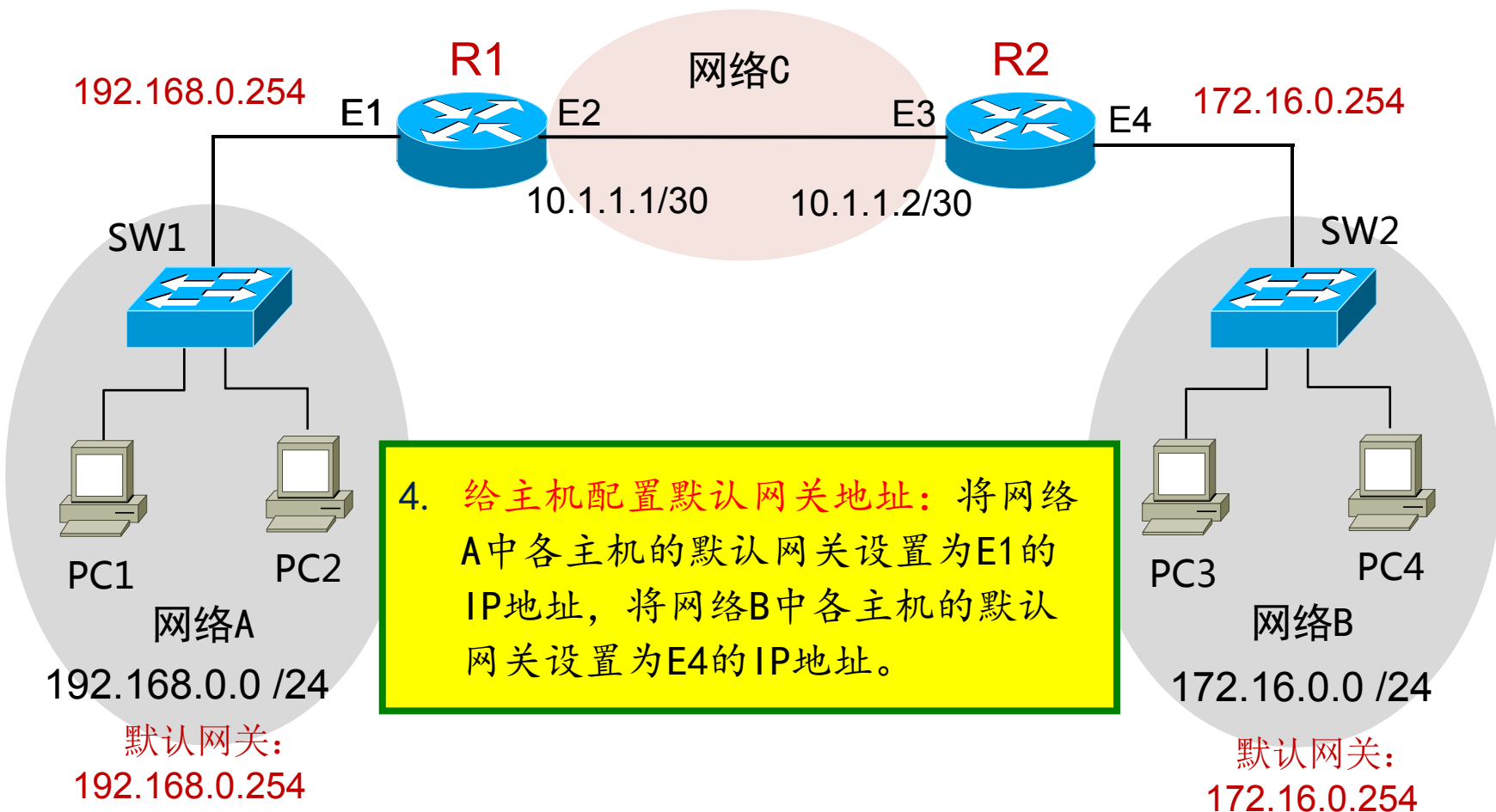
➤ 研讨：路由器组网通信分析



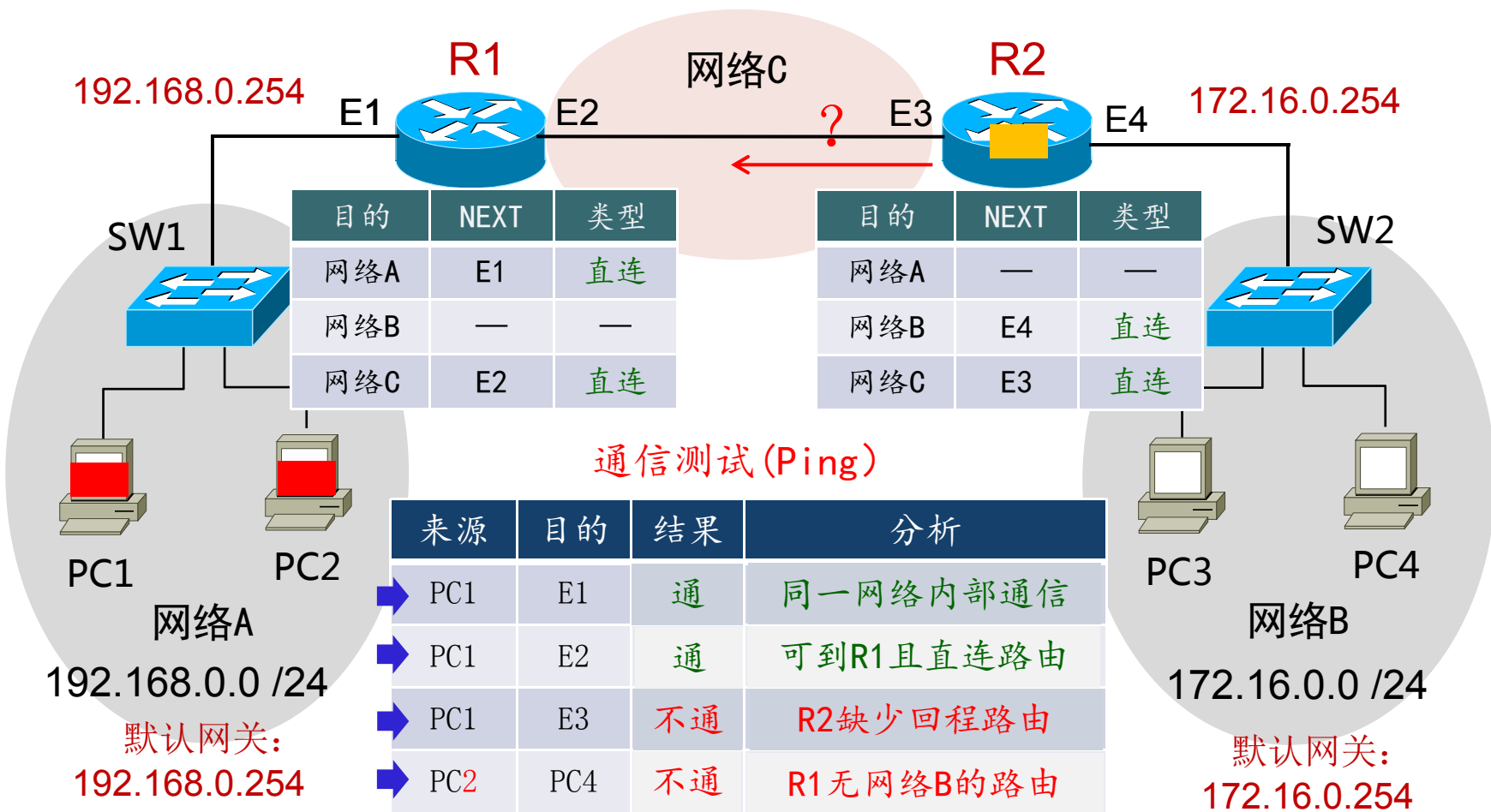
➤ 研讨：路由器组网通信分析



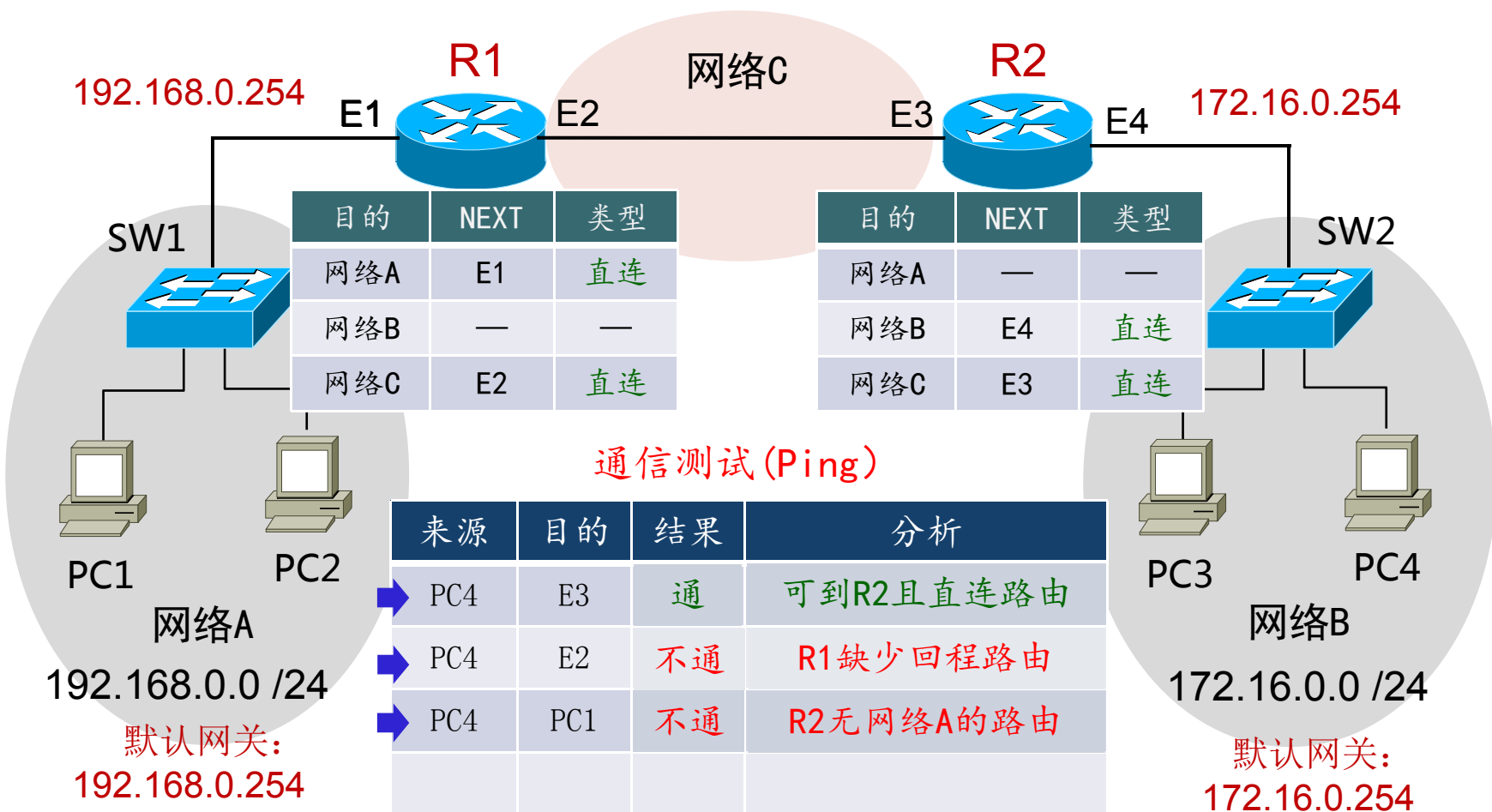
➤ 研讨：路由器组网通信分析



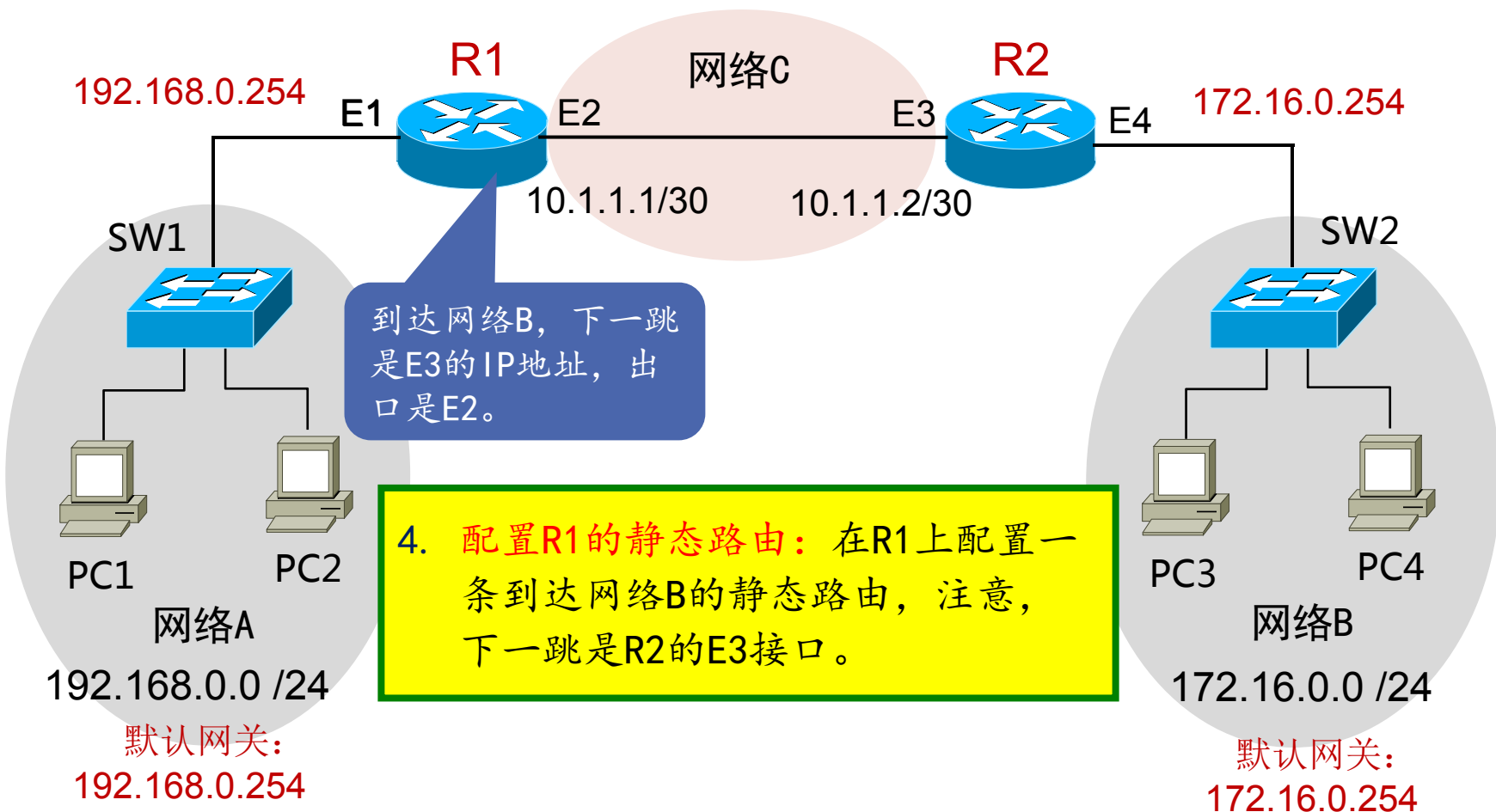
➤ 研讨：路由器组网通信分析



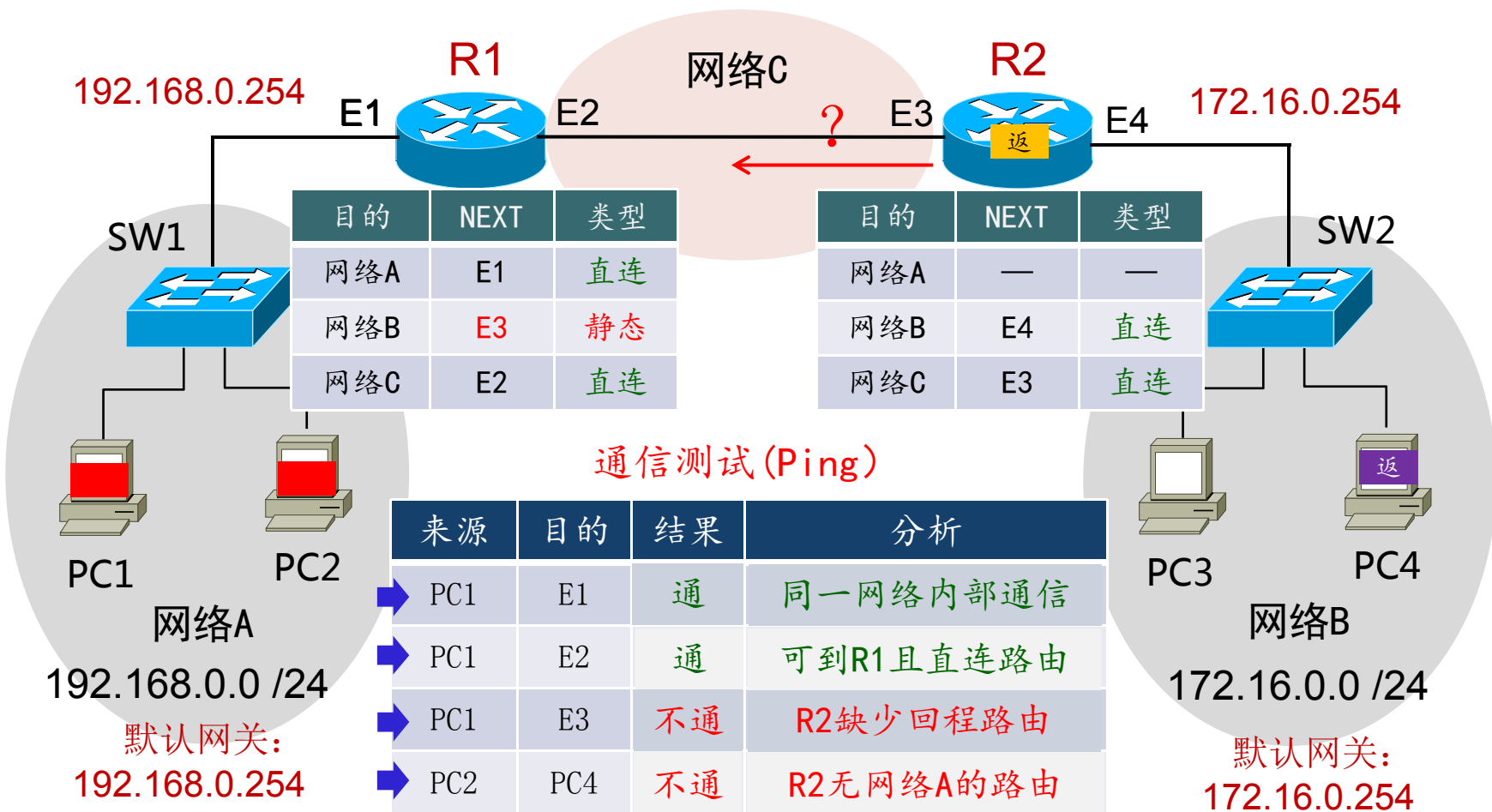
► 研讨：路由器组网通信分析



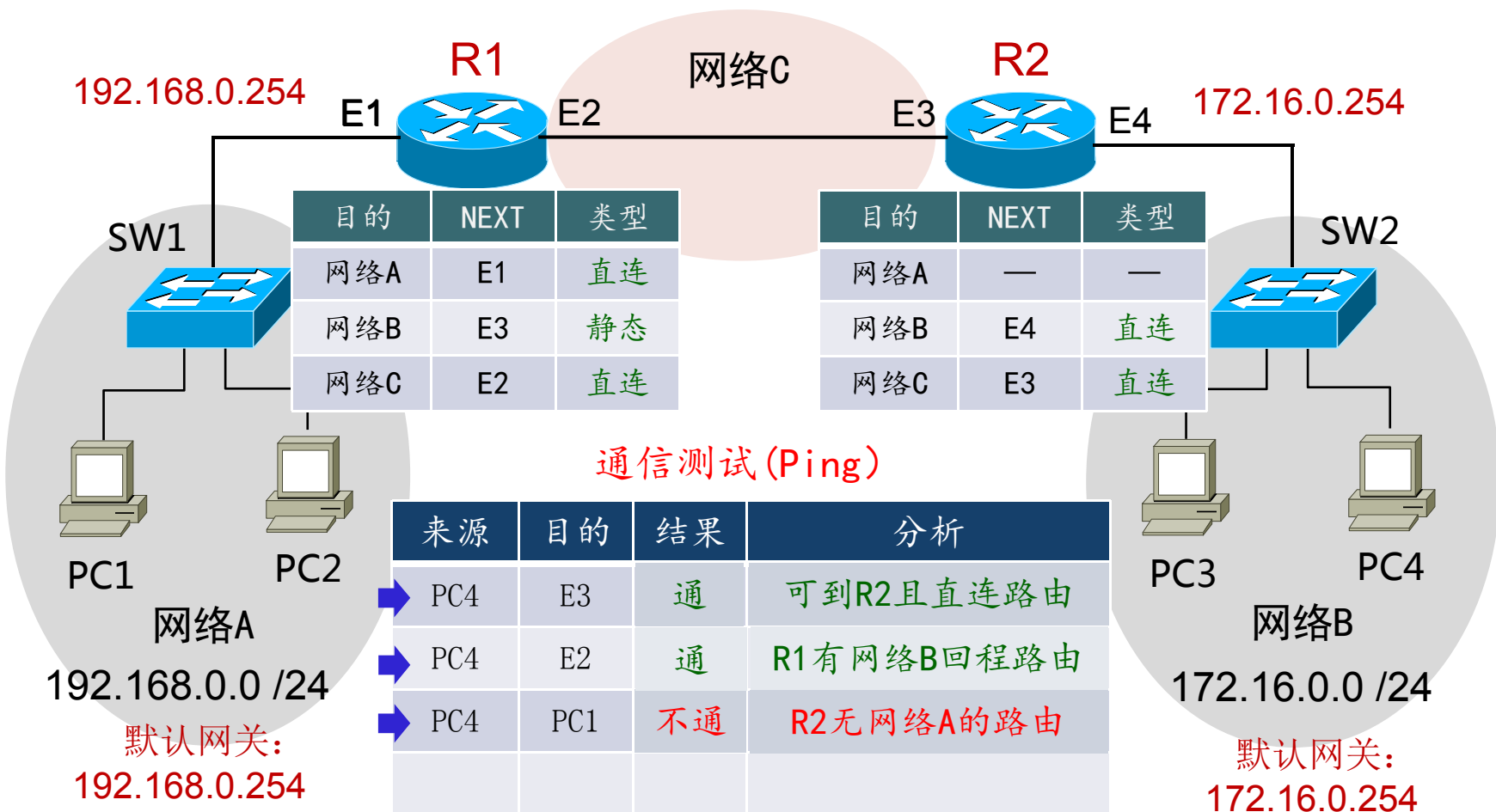
➤ 研讨：路由器组网通信分析



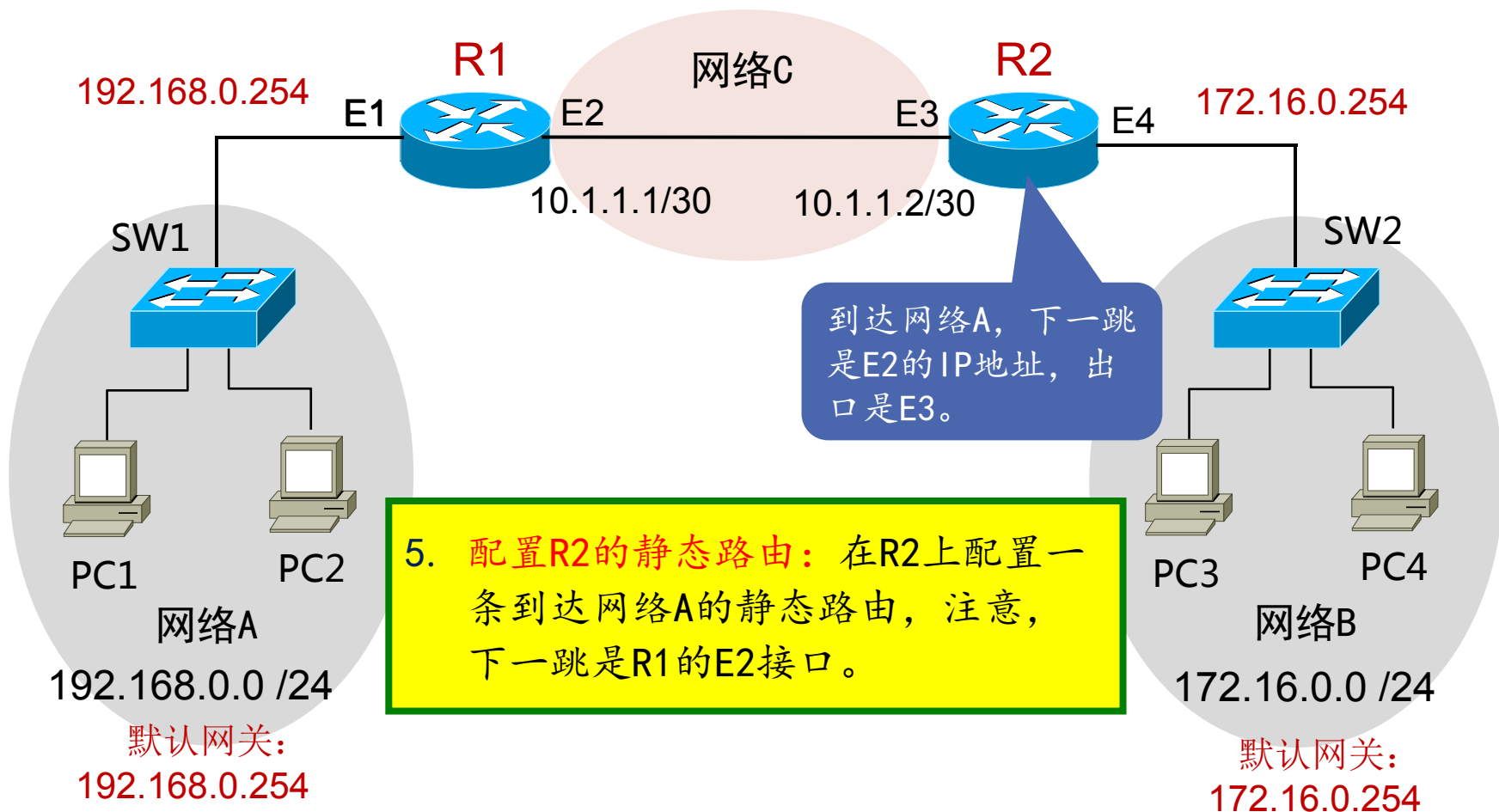
➤ 研讨：路由器组网通信分析



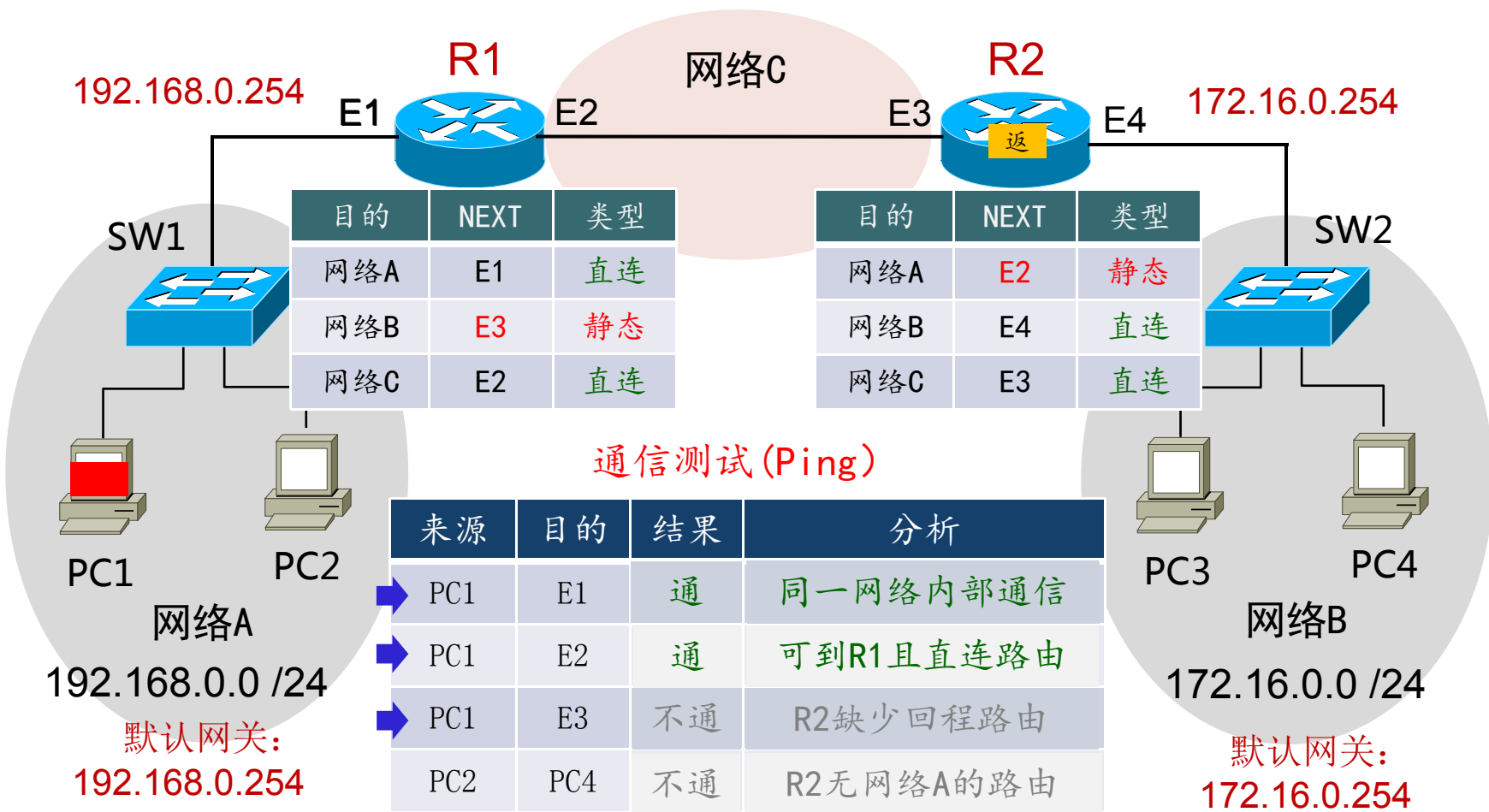
➤ 研讨：路由器组网通信分析



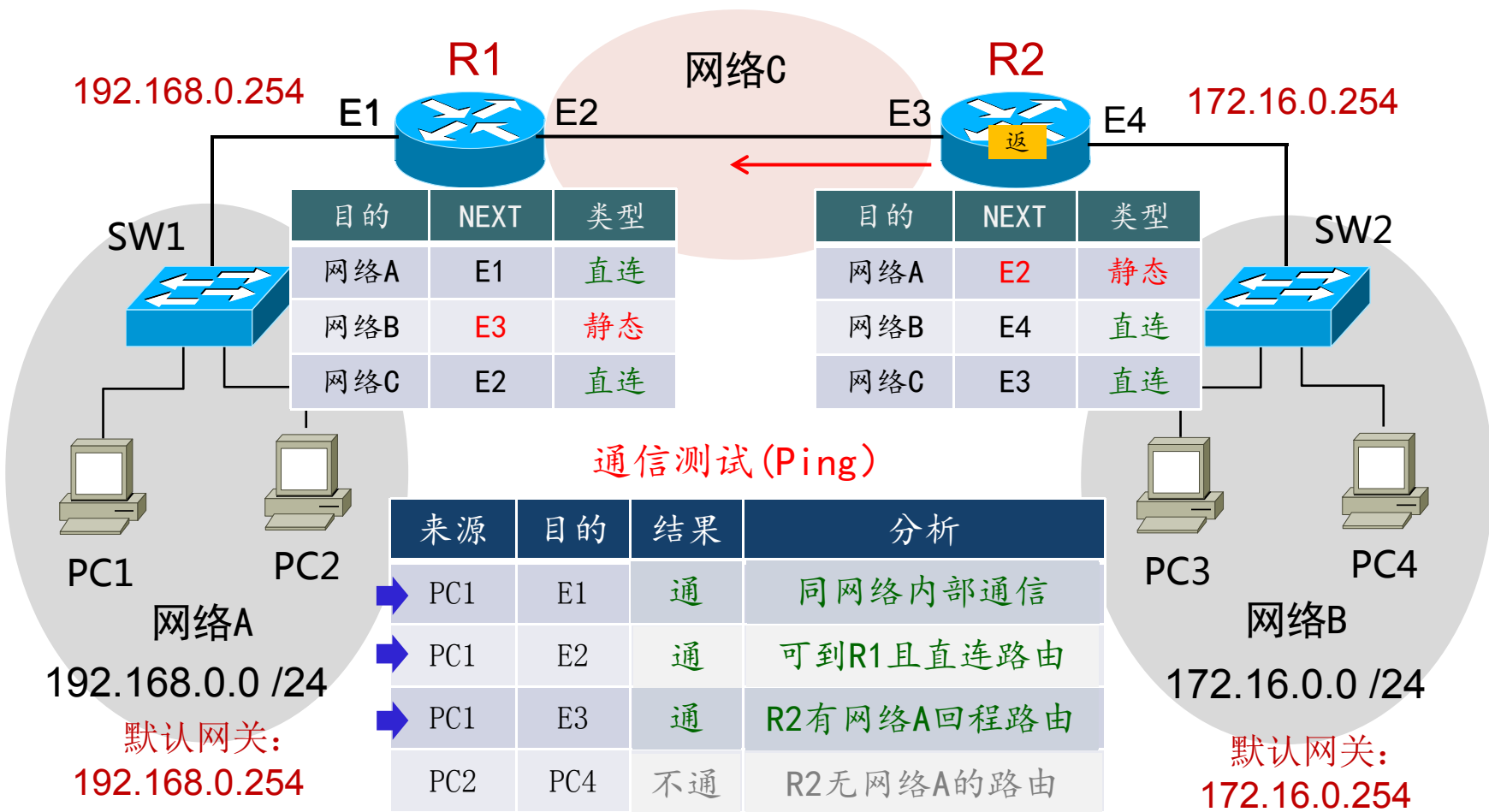
► 研讨：路由器组网通信分析



➤ 研讨：路由器组网通信分析



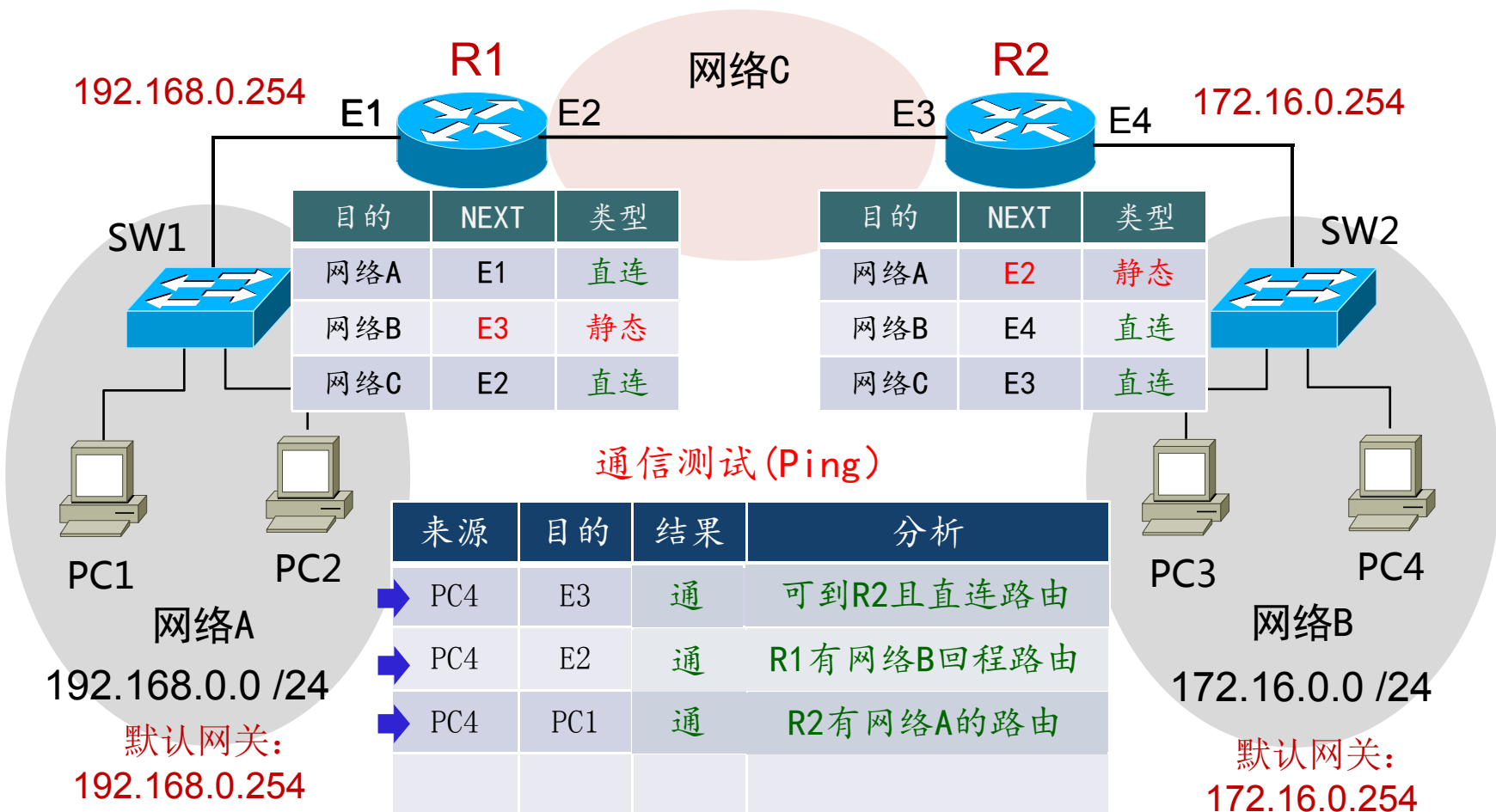
➤ 研讨：路由器组网通信分析



➤ 研讨：路由器组网通信分析



➤ 研讨：路由器组网通信分析



五、路由器与交换机的区别

路由器与交换机的区别

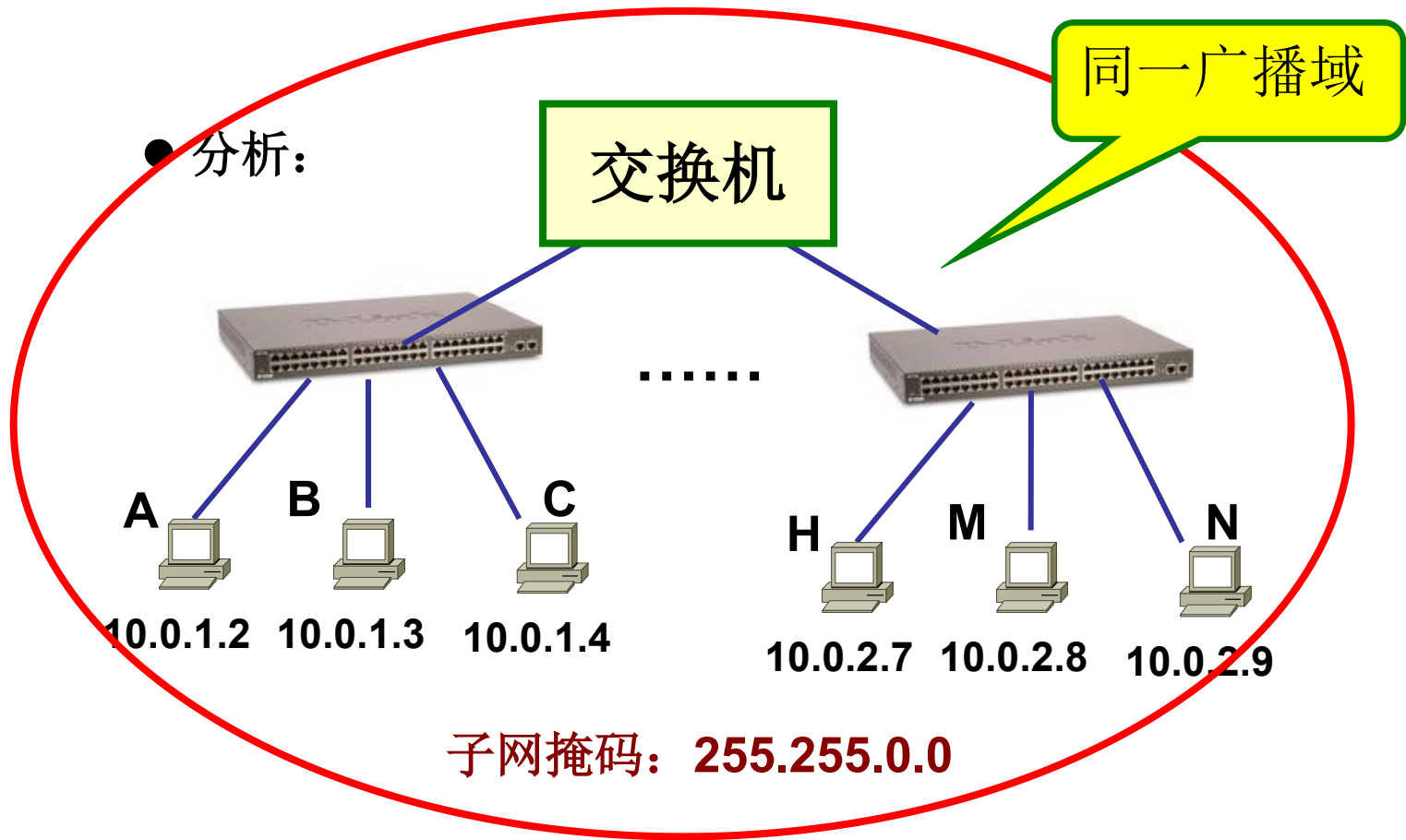
□ 数据转发所依据的对象不同

- 交换机：依据MAC地址表来确定转发数据的目的端口；
- 路由器：依据路由表来确定数据转发的下一跳地址。

路由器与交换机的区别

□ 分割冲突域与广播域

- 交换机只能分割冲突域，不能分割广播域；而路由器可以分割广播域。
- 由交换机连接的网段仍属于同一个广播域，广播数据包会在交换机连接的所有网段上传播，在某些情况下会导致通信拥挤和安全漏洞。连接到路由器上的网段会被分配成不同的广播域，广播数据不会穿过路由器。



● 分析:

路由器

分割广播域

A B C
10.0.1.2 10.0.1.3 10.0.1.4

H M N
10.0.2.7 10.0.2.8 10.0.2.9

子网掩码: 255.255.255.0

路由器与交换机的区别

□ 端口所接入的对象不同

- 交换机：连接主机。交换机，是在扩展同一个网络
- 路由器：不同的网络。是在互联不同的网络

路由器与交换机的区别

□ 在OSI/RM中对应的层次不同

- 交换机包含下两层，又称为“二层设备”。
- 路由器包含下三层，又称为“三层设备”。

第5讲 完