



西北師範大學
NORTHWEST NORMAL UNIVERSITY

计算机网络

第四章 网络层 (3)

陈旺虎

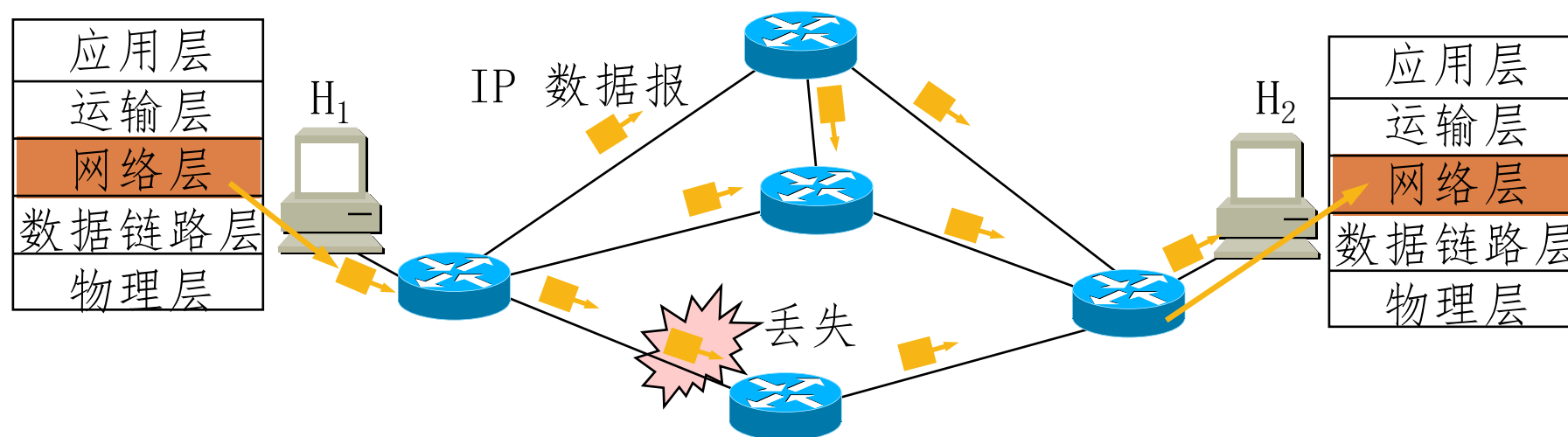
chenwh@nwnu.edu.cn



Review

□ 网络层提供的服务

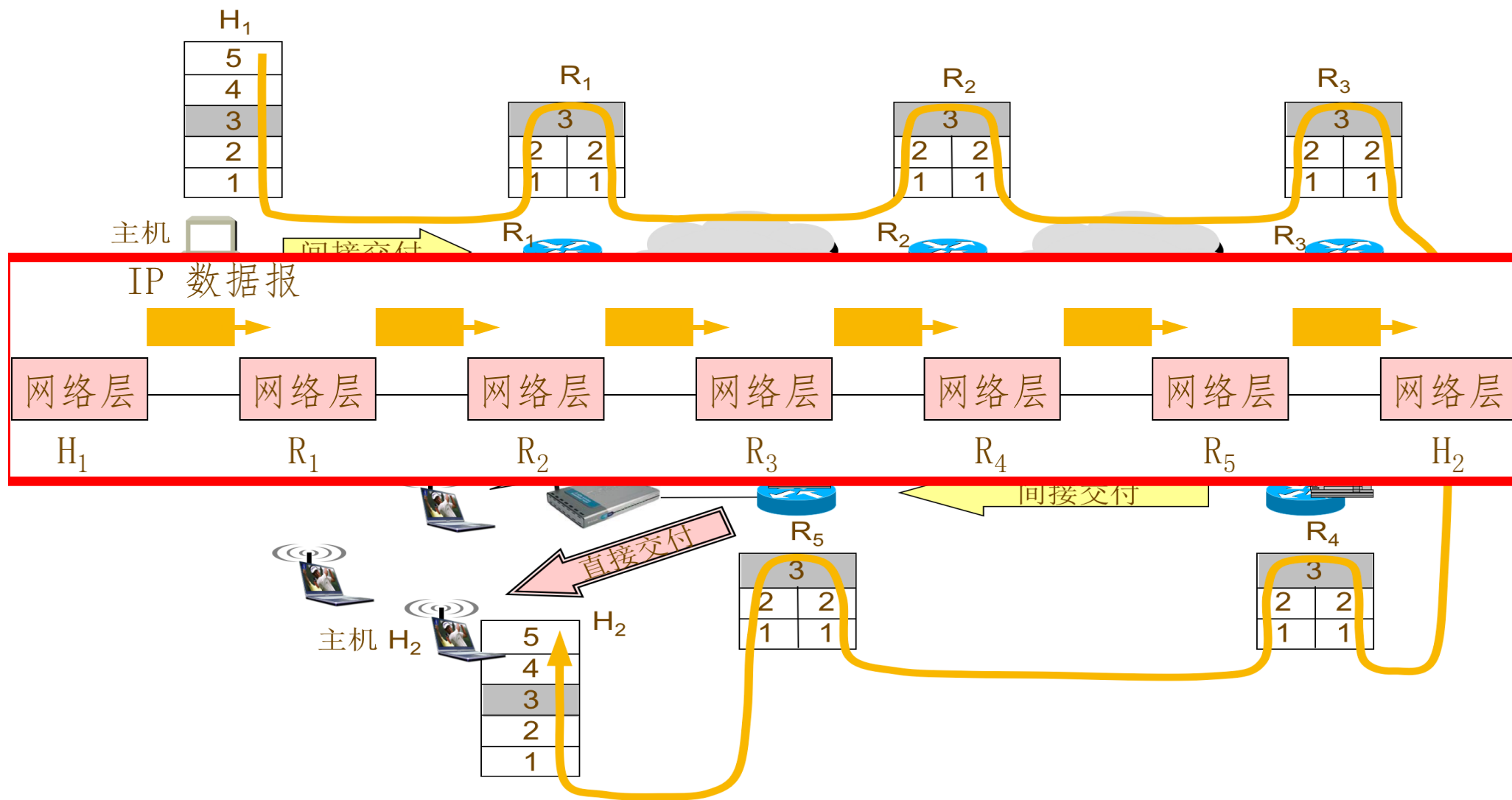
- 不保障可靠性，尽最大努力交付
- 无连接



- 数据报服务，区别于电路交换和虚电路服务

Review

□ 网际协议IP (IP Over Everything/Everything Over IP)



Review

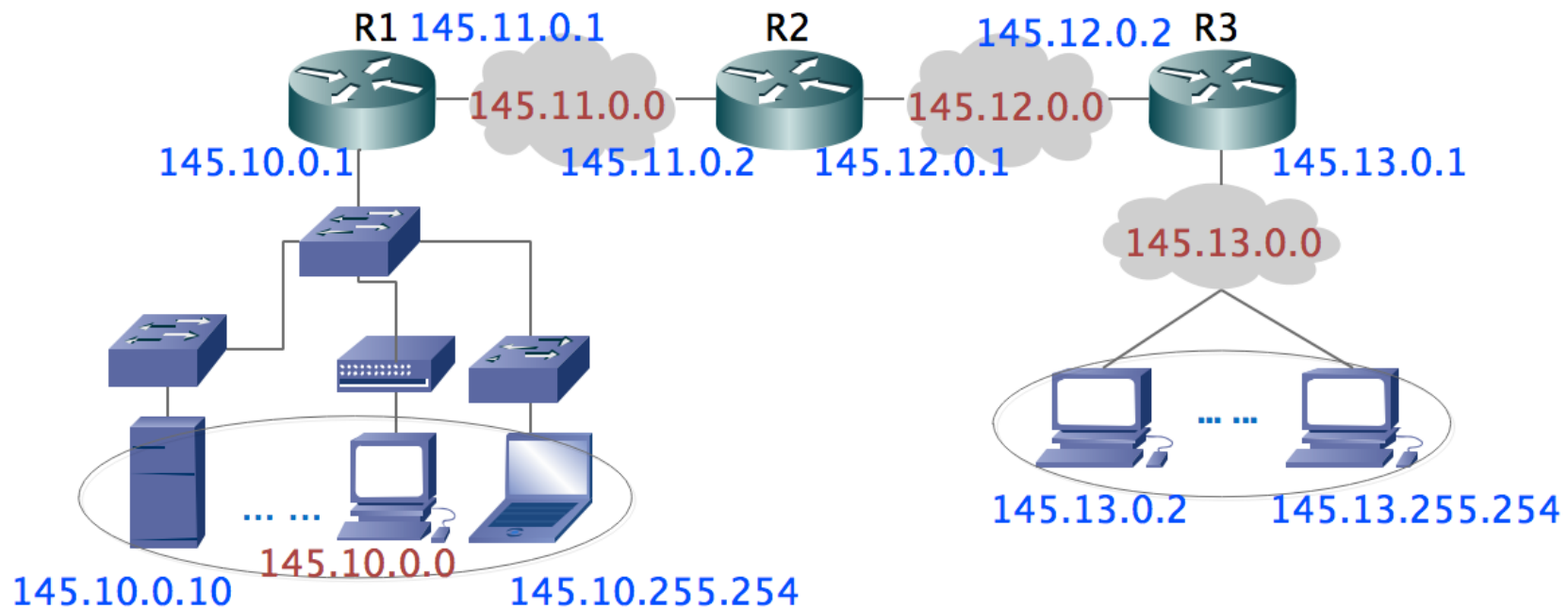
```
+ Ethernet II, Src: ComdaEnt_67:60:0a (00:d0:03:67:60:0a)
- Internet Protocol Version 4, Src: 175.45.180.102
  Version: 4
  Header Length: 20 bytes
  + Differentiated Services Field: 0x00 (DSCP 0x00)
  Total Length: 40
+ Frame 234: 50 bytes on wire (400 bits), 40 bytes captured
- Ethernet II, Src: ComdaEnt_67:60:0a (00:d0:03:67:60:0a)
  + Destination: Elitegro_74:7f:de (00:1e:90:74:7f:de)
  + Source: ComdaEnt_67:60:0a (00:d0:03:67:60:0a)
  Type: IP (0x0800)
  Padding: 0000000000000000
+ Internet Protocol Version 4, Src: 175.45.180.102 (175.45.180.102)
+ Transmission Control Protocol, Src Port: 42626 (42626)
  Source: 175.45.180.102 (175.45.180.102)
  Destination: 210.26.101.73 (210.26.101.73)
  [Source GeoIP: Unknown]
  [Destination GeoIP: Unknown]
+ Transmission Control Protocol, Src Port: 42626
```

第4章 网络层

- 4.1 网络层提供的两种服务
- 4.2 网际协议 IP (IP转发分组的流程)
- 4.3 划分子网和构造超网
- 4.4 网际控制报文协议 ICMP
- 4.5 因特网的路由选择协议
- 4.6 IP 多播
- 4.7 虚拟专用网 VPN 和网络地址转换 NAT

4.2.6 IP层转发分组的流程

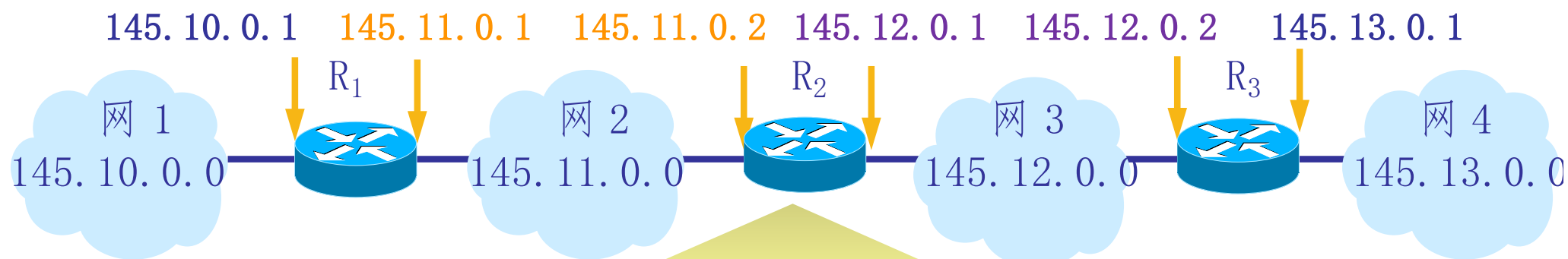
□ 案例：路由器实现网络互连



□ 任务：制作各路由器的路由表

▣ 目的主机号？目的主机所在的网络地址？

示例：R2的路由表

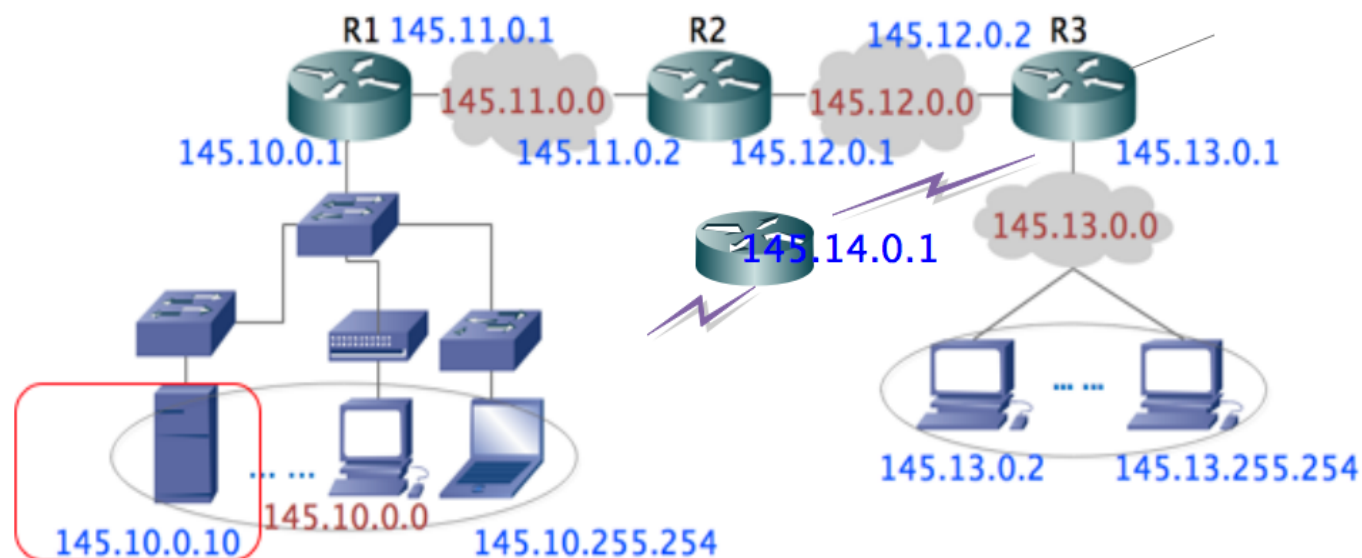


路由器 R₂ 的路由表

目的主机所在的网络	下一跳地址
145.11.0.0	直接交付, 接口 0
145.12.0.0	直接交付, 接口 1
145.10.0.0	145.11.0.1
145.13.0.0	145.12.0.2

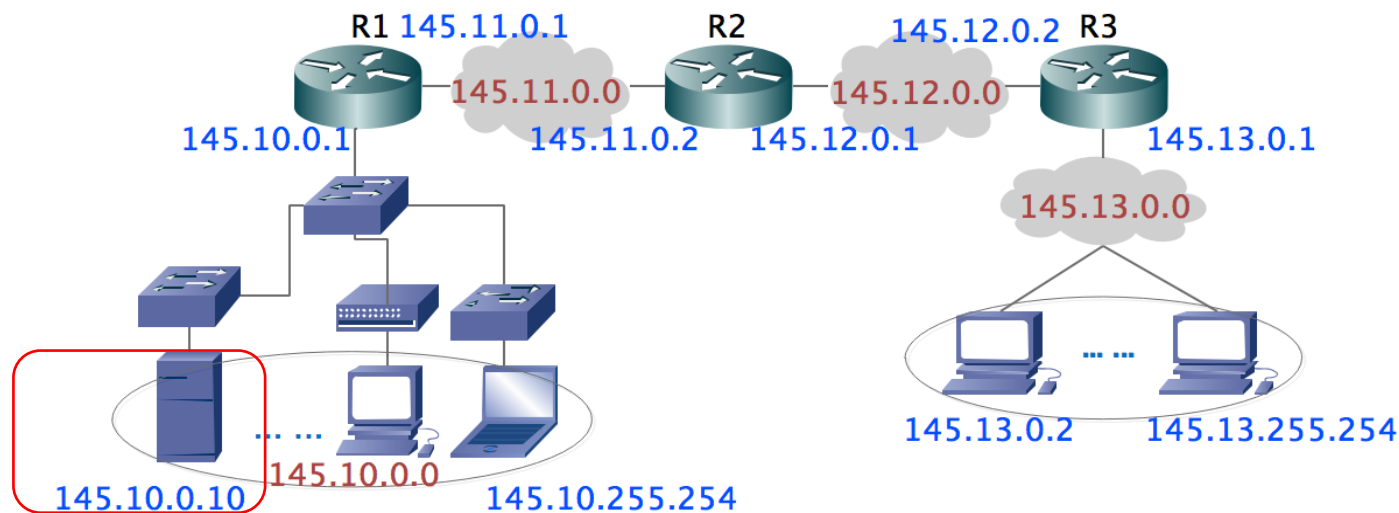
特定主机路由

- 问题：是不是只能针对网络地址制定路由？
- 特例：为特定目的**主机**指明路由，称为**特定主机路由**。



- 作用
 - ▣ 方便管理：控制网络；测试网络
 - ▣ 安全需求

特定主机路由



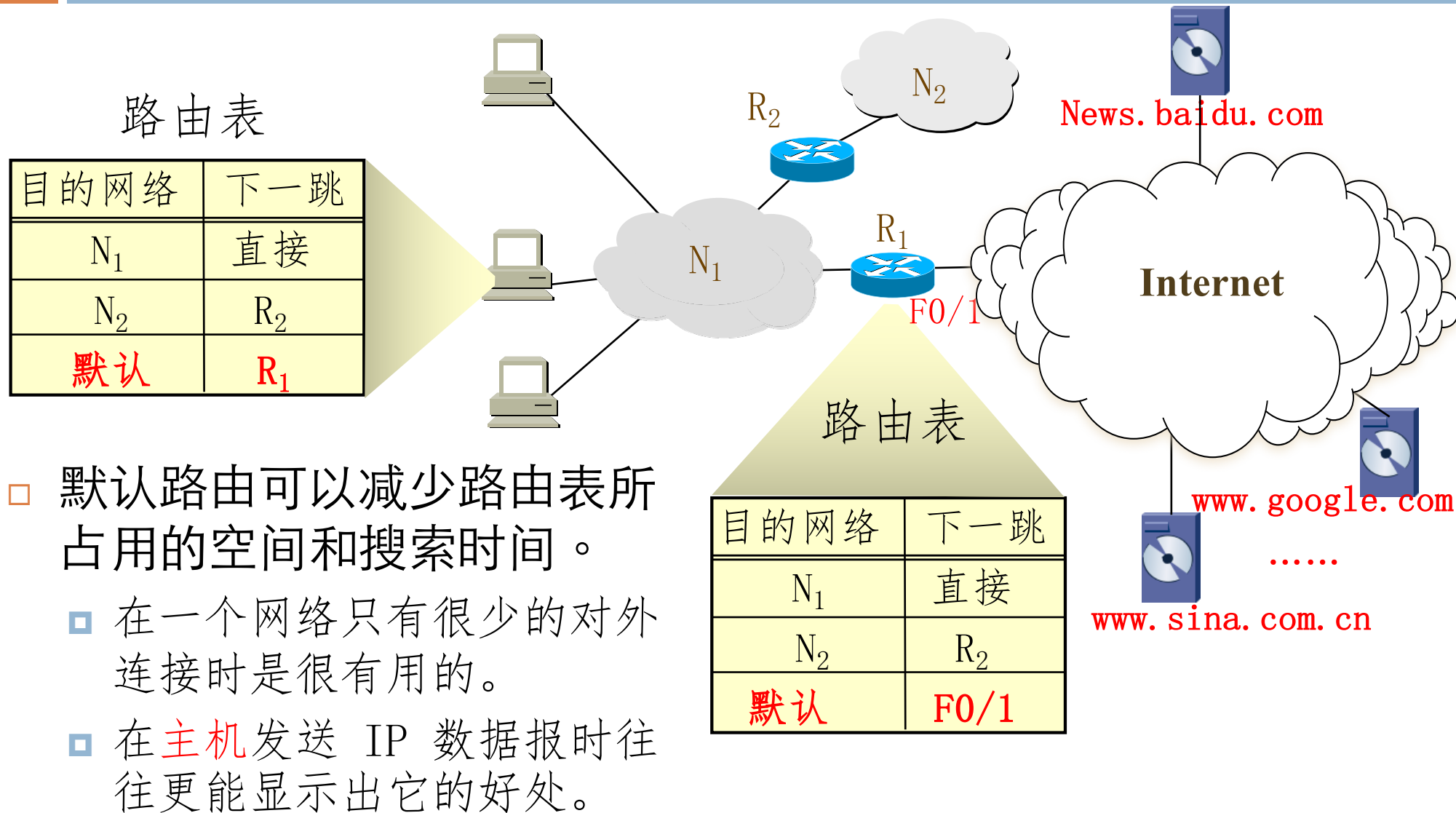
路由器 R₂ 的路由表

目的主机所在的网络	下一跳地址
20.0.0.0	直接交付, 接口 0
30.0.0.0	直接交付, 接口 1
145.10.0.10	145.11.0.1
...	...

路由器 R₃ 的路由表

目的主机所在的网络	下一跳地址
20.0.0.0	直接交付, 接口 0
30.0.0.0	直接交付, 接口 1
145.10.0.10	145.12.0.1
...	...

默认路由(default route)



路由器转发分组的流程

R3收到IP数据报IP1=>IP2

源地址IP1=145. 13. 0. 2

□ IP2=145. 13. 255. 254

□ IP2=145. 12. 0. 10

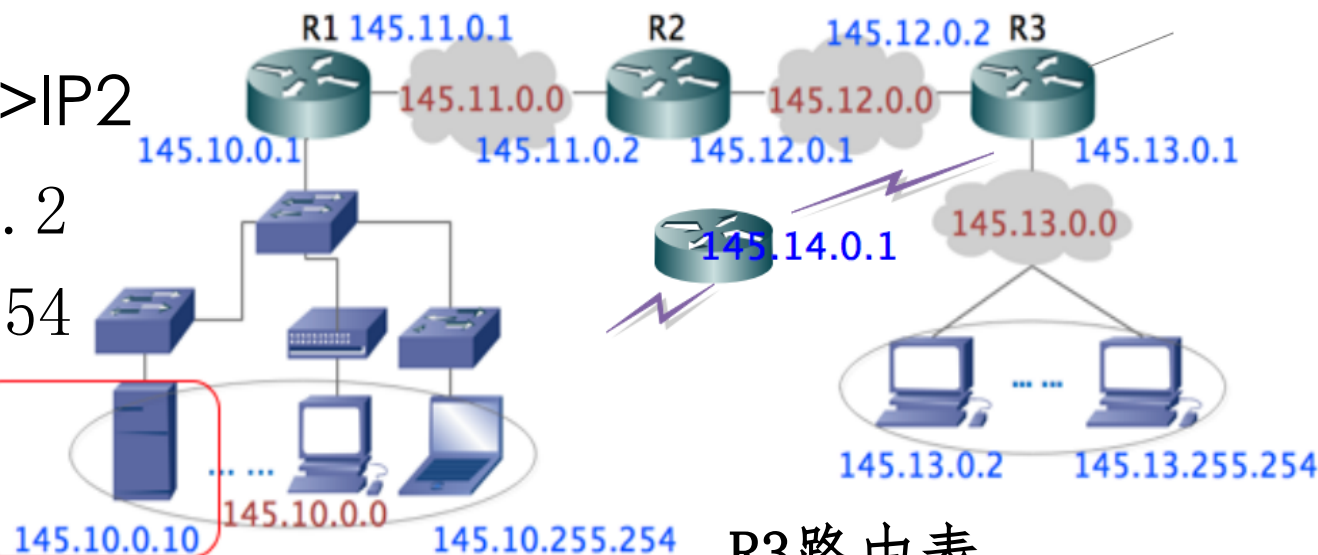
□ IP2=145. 11. 0. 10

□ IP2=145. 10. 0. 10

□ IP2=145. 10. 255. 254

□ IP2=183. 232. 24. 188

□ IP2=108. 160. 167. 166



R3路由表

目的网络	下一跳地址
145. 13. 0. 0	直接交付，接口 0
145. 12. 0. 0	直接交付，接口 1
145. 10. 0. 10	145. 14. 0. 1
145. 11. 0. 0	145. 12. 0. 1
145. 10. 0. 0	145. 12. 0. 1
默认	接口 2

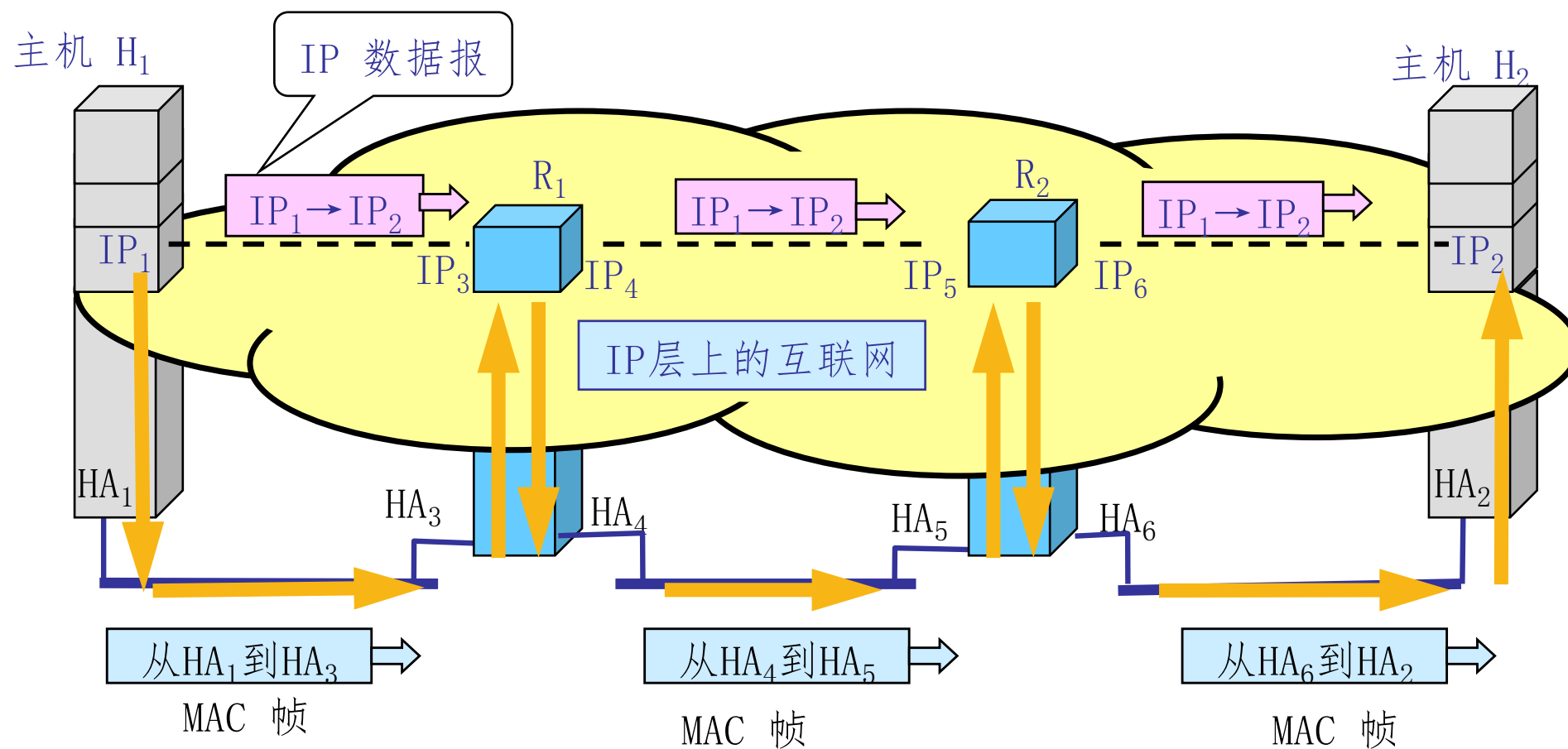
顺序？

分组转发算法

1. IP数据报首部=》目的IP地址D=》目的网络地址N。
2. 若网络N与路由器直接相连，**直接交付**目的主机D；否则间接交付，执行3。
3. 若路由表中有目的地址为D的**特定主机路由**，则把数据报传送给路由表中所指明的下一跳路由器；否则，执行4。
4. 若路由表中有到达网络N的路由，则把数据报传送给路由表指明的下一跳路由器；否则，执行5。（**间接交付**）
5. 若路由表中有一个默认路由，则把数据报传送给路由表中所指明的**默认路由器**；否则，执行6。
6. 报告转发分组出错。

报文中的IP地址没有改变；首部中没有下一跳IP地址。

分组交付的详细过程

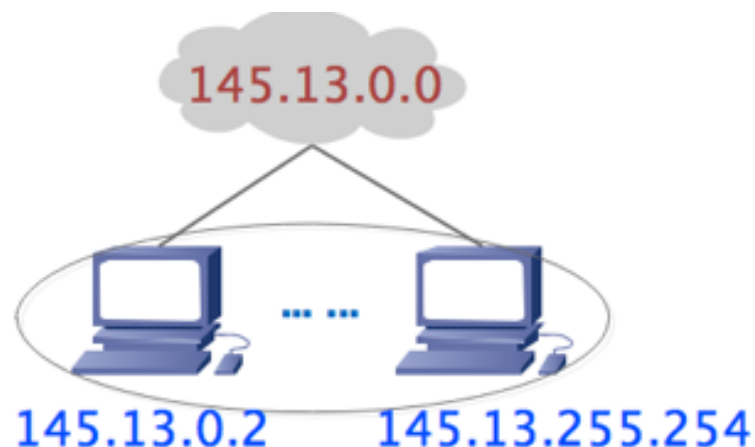


主题任务（二）

- 撰写报告（PPT）（与第一个报告一起参与评奖）
 - ▣ 详细分析Internet上的主机A向主机B发送数据的过程中，数据交付的详细环节。
- 要求：
 - ▣ 协议栈中的数据流动（向下/向上，报文中核心字段的作用）
 - ▣ 检错，错误帧/数据包的处理
 - ▣ 数据报的TTL
 - ▣ 路由表的查找
 - ▣ Mac地址和IP地址的关系

4.3 划分子网和构造超网

- 分类的IP地址是一种两级结构，由ARPANET早期设计
- 存在一些典型的问题
 - ▣ IP地址空间的利用率有时很低；
 - ▣ 给每一个物理网络分配一个网络号会使路由表变得太大因而使网络性能变坏；
 - ▣ 两级的 IP 地址不够灵活。



- IP编址方式演变：分类的IP地址；划分子网；构造超网

4.3.1 划分子网

□ 基本思想

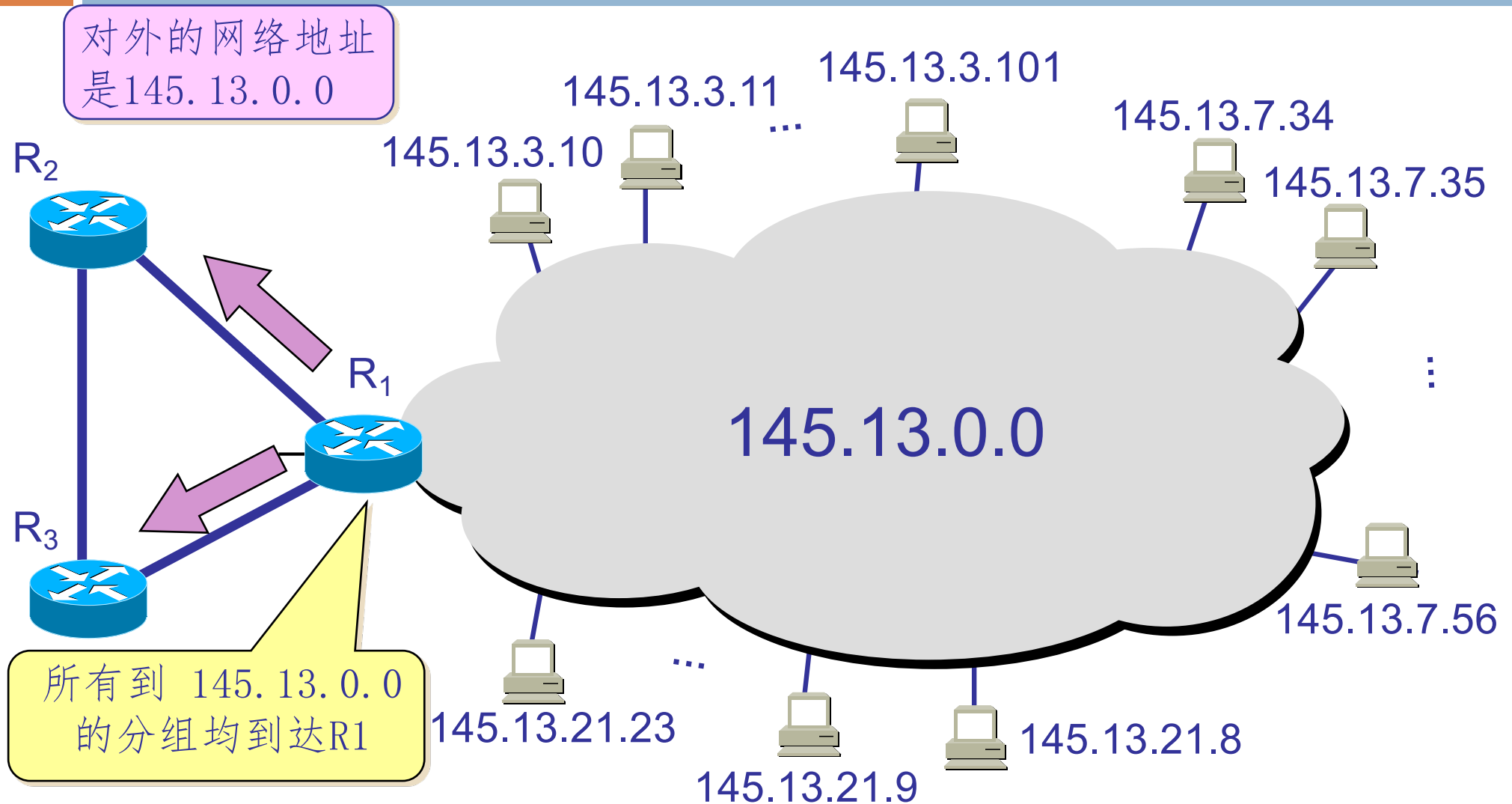
- 划分子网纯属一个单位内部的事情，单位对外仍然表现为没有划分子网的网络。
- 从 1985 年起，在 IP 地址中增加了“子网号”字段
- 两级的 IP 地址变成成为三级的 IP 地址。

IP地址 ::= {<net-id>, <subnet-id>, <host-id>}

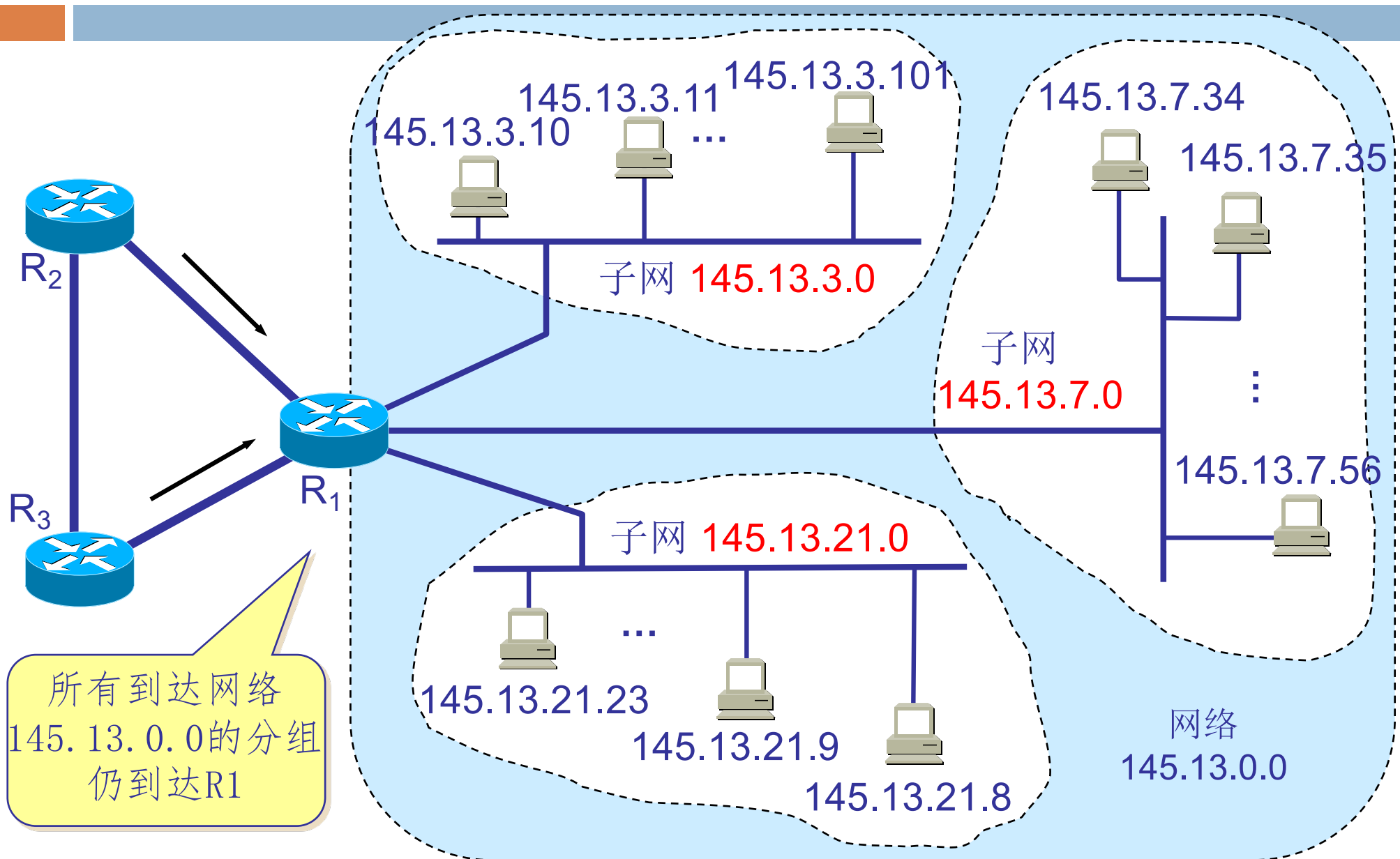
□ 手段？

- 从主机号借用若干个位作为子网号（subnet-id）。
- 这种做法叫作划分子网(subnetting)

B类网络145.13.0.0：未划分子网



B类网络145.13.0.0：划分子网

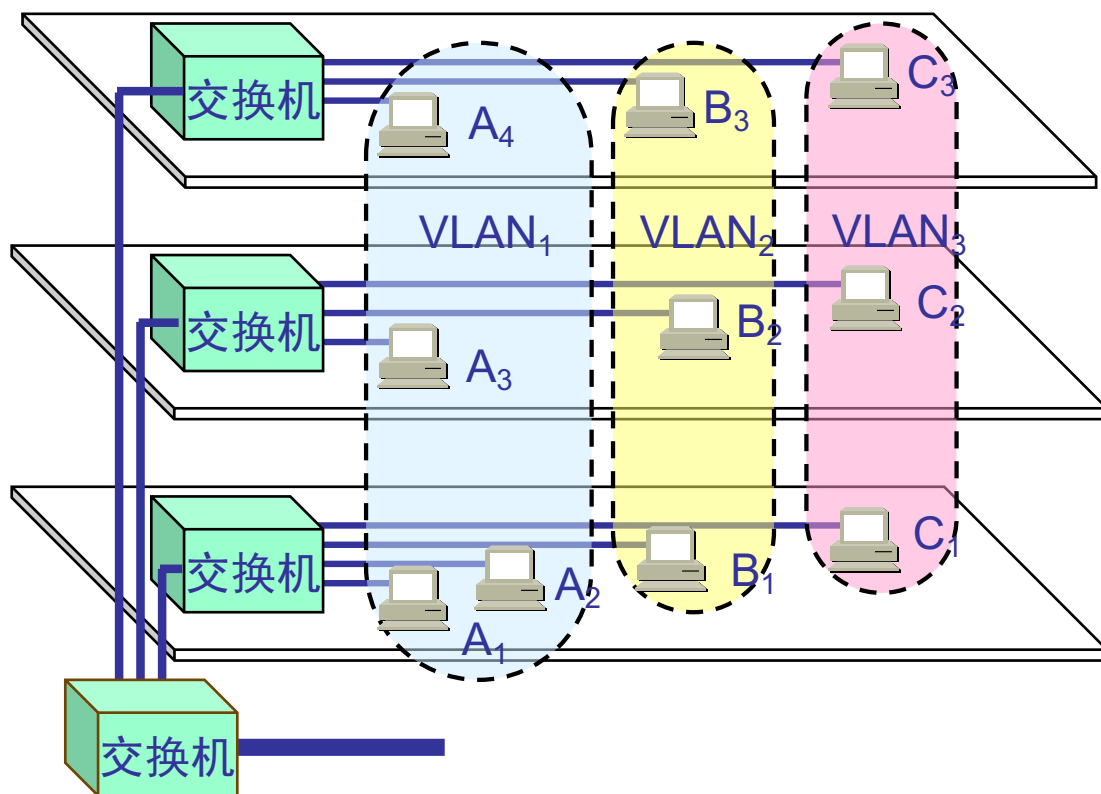


划分子网后的数据报路由

- IP数据报路由：**网络 -> 子网 -> 主机**
 - ▣ 首先根据发往本单位某主机的IP数据报的目的网络号net-id，找到连接在**本单位网络**上的路由器；
 - ▣ 然后，此路由器再按目的网络号net-id和子网号subnet-id找到**目的子网**。
 - ▣ 最后，将IP数据报直接交付目的主机。
- 问题
 - ▣ 从IP数据报的首部并无法判断源主机或目的主机所连接的网络是否进行了子网划分。
 - ▣ 给定IP地址145. 13. 3. 101，在网络中的具体位置？
 - ▣ **如何确定子网？ 子网掩码**

思考&实验

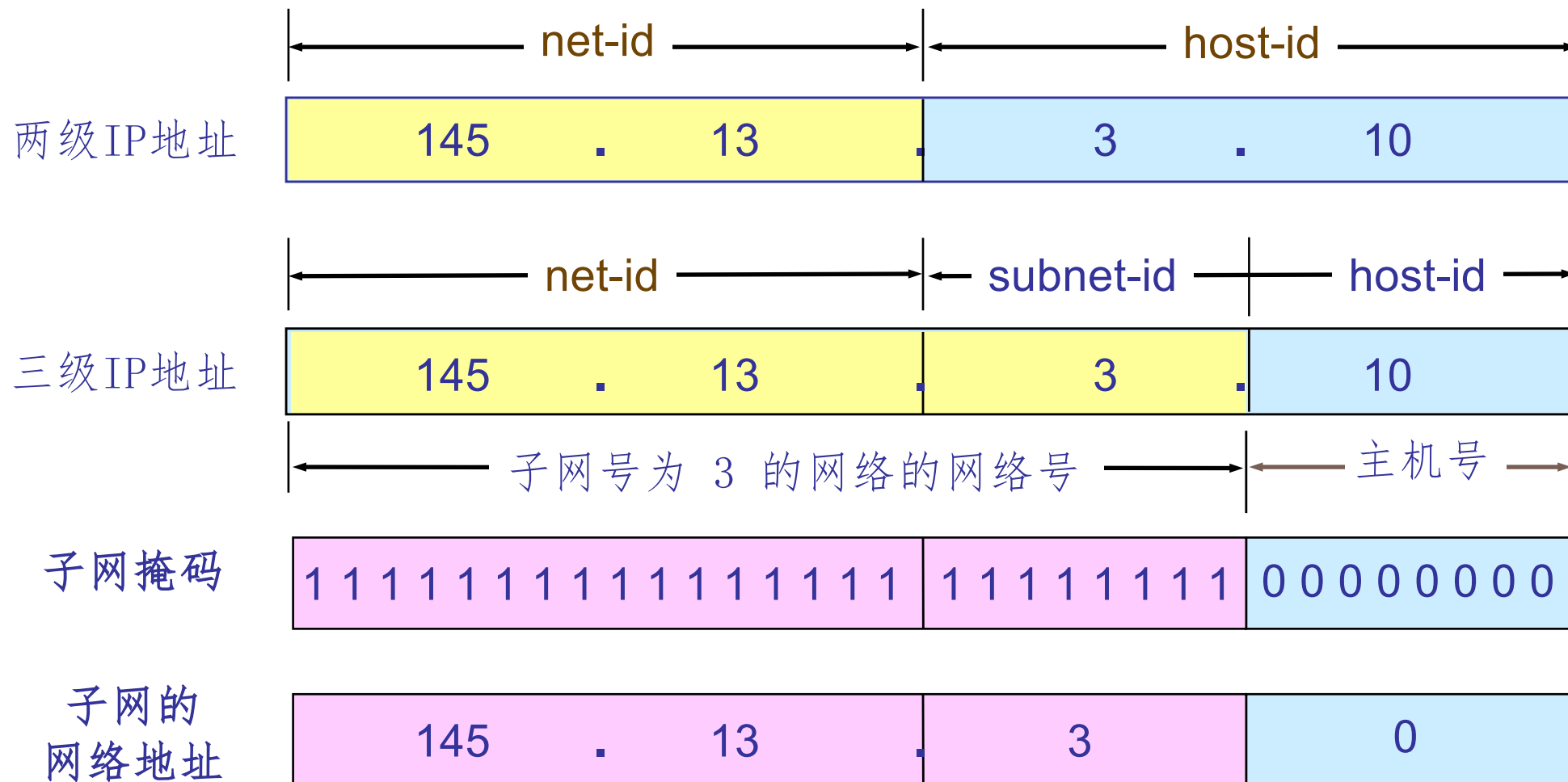
- 划分VLAN与子网划分的区别？



- 实验：划分VLAN，一个VLAN对应一个子网，实现路由。

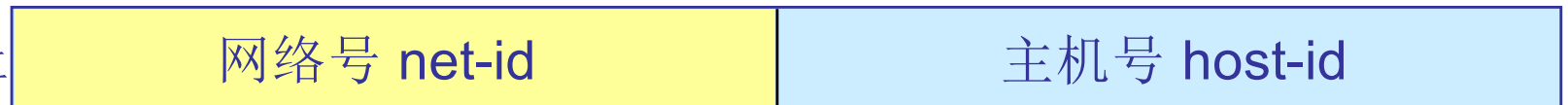


子网掩码

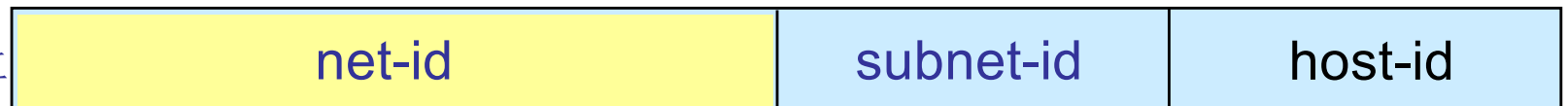


(IP地址) and (子网掩码) = 网络地址

两级 IP 地址

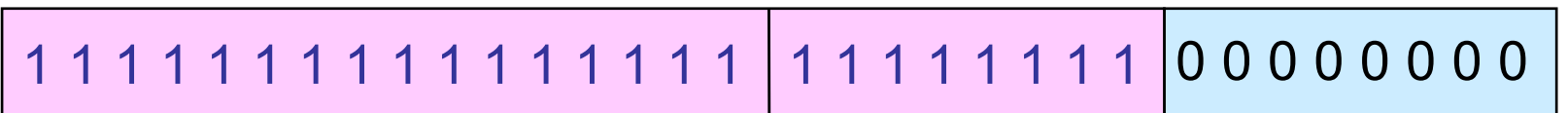


三级 IP 地址

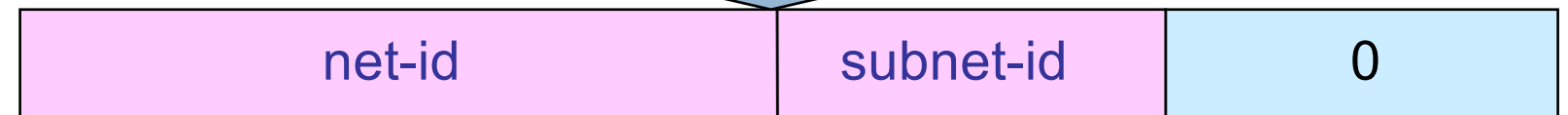


逐位进行 AND 运算

子网掩码



子网的
网络地址



默认子网掩码

A 类 地 址	网络地址	net-id		host-id 为全 0																				
	默认子网掩码 255.0.0.0	1 1 1 1 1 1 1 1								0 0														
B 类 地 址	网络地址	net-id														host-id 为全 0								
	默认子网掩码 255.255.0.0	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1														0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0								
C 类 地 址	网络地址	net-id														host-id 为全 0								
	默认子网掩码 255.255.255.0	1 1														0 0 0 0 0 0 0 0								

例：求取网络地址

已知：IP地址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
-----	---	----	---	----------	---	----

(c) 子网掩码是 255.255.192.0

11111111	11111111	11000000	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：子网掩码的一些重要特性

在上例中，若子网掩码改为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
-----	---	----	---	----------	---	----

(c) 子网掩码是 255.255.224.0

11111111	11111111	11100000	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
-----	---	----	---	----	---	---

不同的子网掩码可得出相同的网络地址，效果/含义是否相同？

结论

- 子网掩码是一个网络或一个子网的重要属性
- 路由器的路由表中的每一个项目，必须包含：
 - ▣ 网络地址
 - ▣ 该网络的子网掩码
- 若一个路由器连接在两个子网上，则拥有两个网络地址和两个子网掩码。
- 掩码中的0和1可以任意分布，不过一般在设计时，把掩码开始连续的几位设为1。

练习

- 某单位内有4个局域网，通过一台四个端口的路由器连接，一个端口连接一个局域网，每个网络的主机数分别为20、60、26和25台
- 该单位已拥有一个C类地址198. 101. 116. 0，255. 255. 255. 0
- 试合理分配IP地址，给出子网地址、IP地址范围和子网掩码。
- 问题的核心？
- 子网掩码
- 255. 255. 255. 192
- 子网号？ 0， 1， 2， 3
- 网络地址： 198. 101. 116. 0； 198. 101. 116. 64；
198. 101. 116. 128； 198. 101. 116. 192

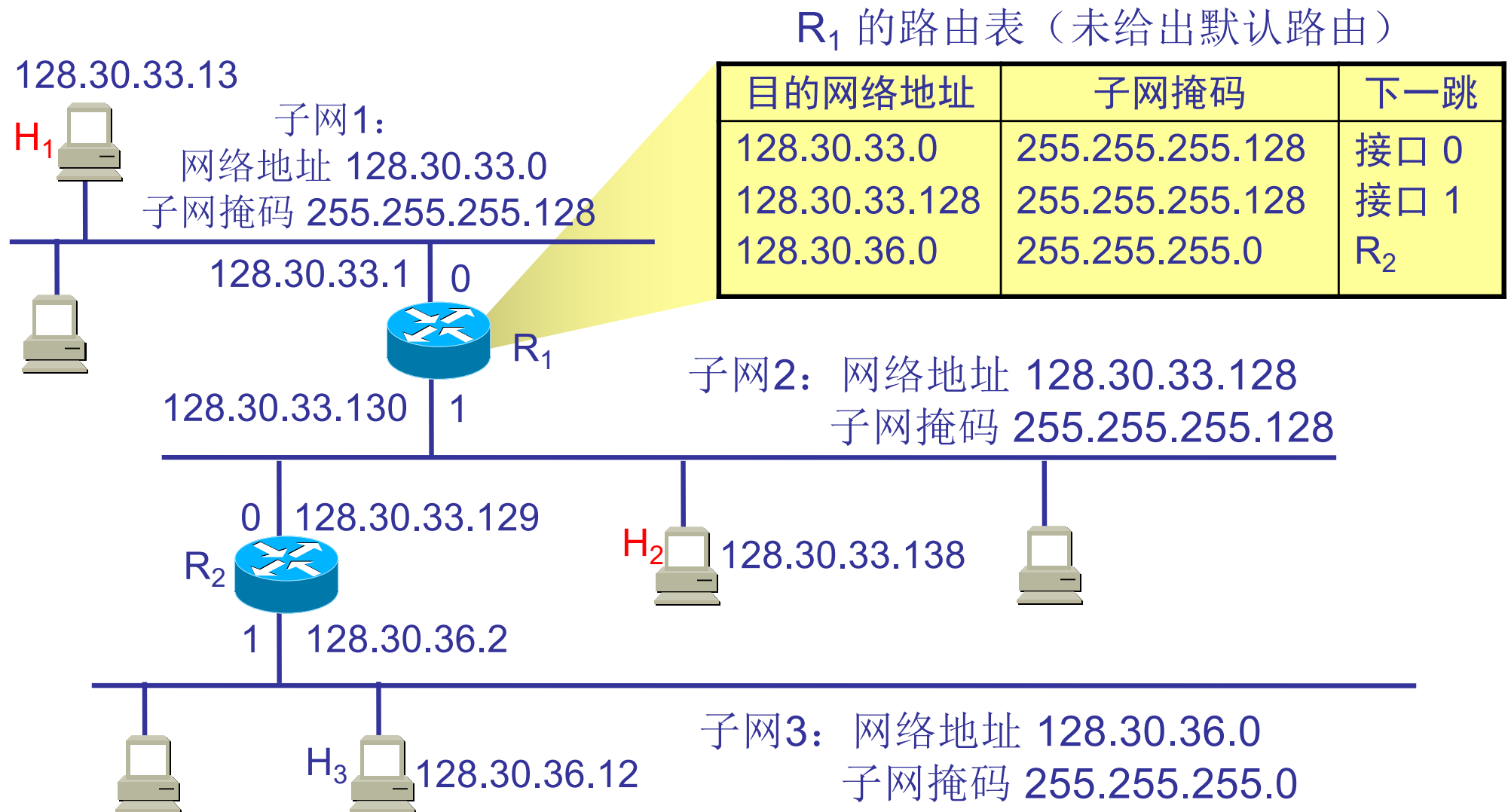
讨论

- 在划分子网时，子网号是否可全0，或者全1？
 - ▣ 可以，构造超网
- 主机号部分是否可以全0或者全1？
 - ▣ 不可以
- 以B类网络为例，子网号的长度是否可以为0，1，15，16？
 - ▣ 无意义

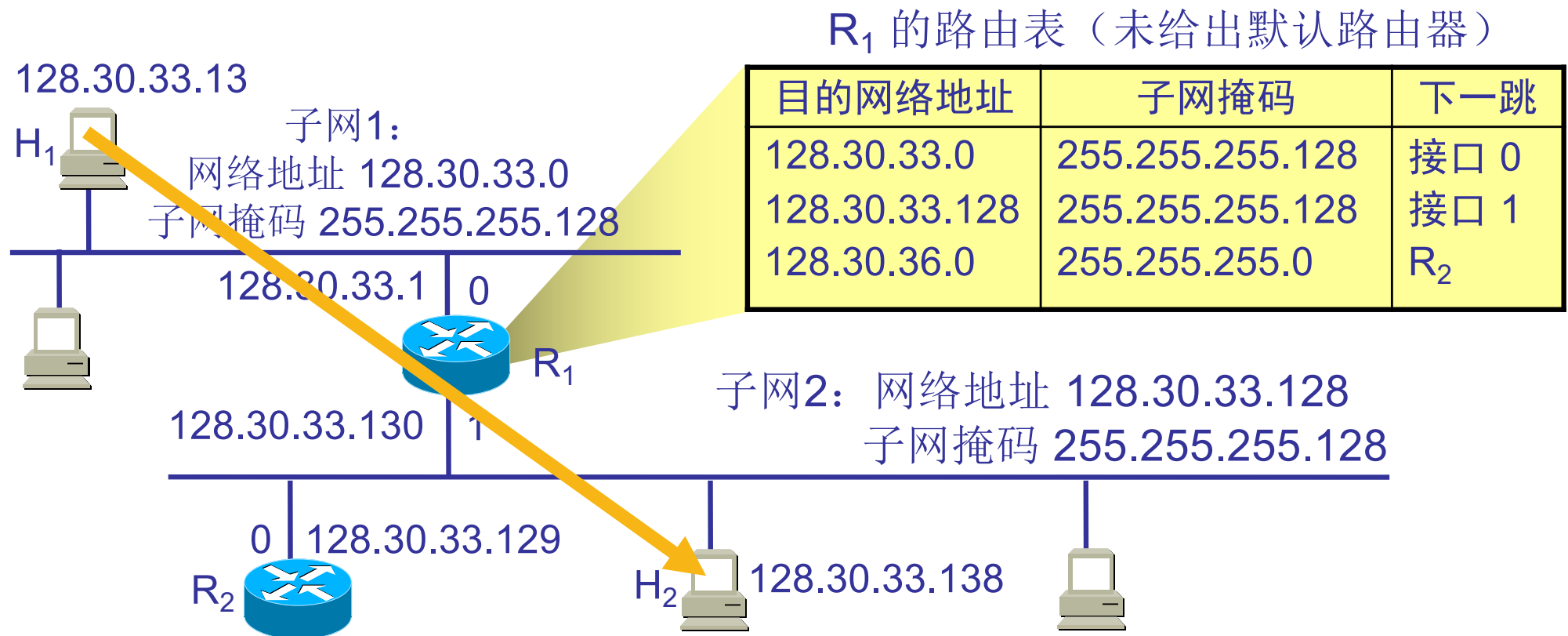
4.3.2 使用子网掩码的分组转发过程

- 在划分子网的情况下，仅从 IP 地址不能唯一地得出网络地址
 - ▣ 因为，网络地址取决于网络所采用的子网掩码
 - ▣ 但是，数据报的首部并没有包含子网掩码
- 因此
 - ▣ 路由表的路由项要包含网络地址，子网掩码，下一跳地址
 - ▣ 匹配原则：IP 报文中的目的地址跟路由表的每一项中的掩码做与运算，再与目的网络地址比较。

路由器R1转发分组的过程



主机 H_1 要发送分组给 H_2

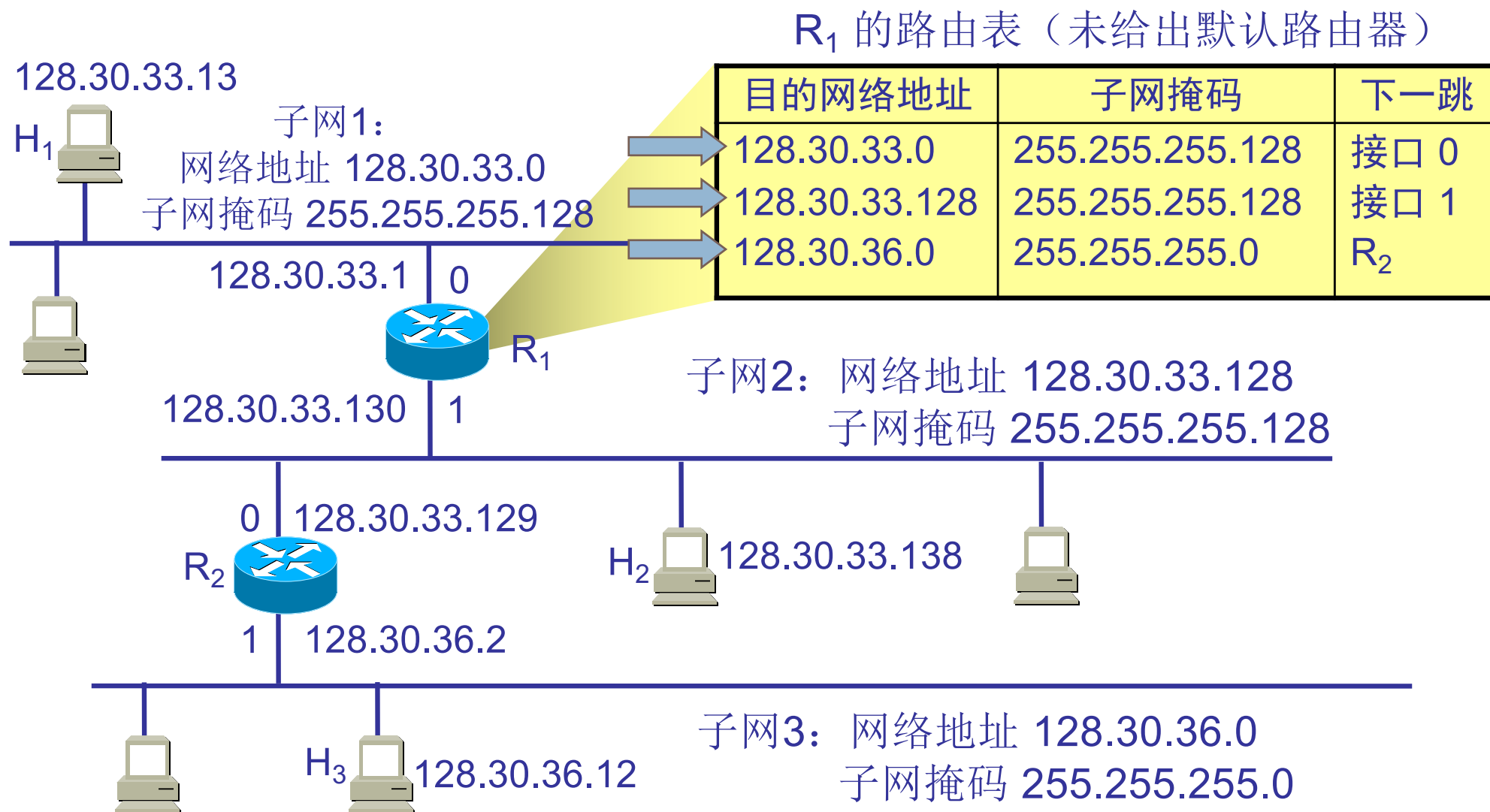


H_1 首先检查主机 128.30.33.138 是否连接在本网络上
如果是，则直接交付；否则，就送交路由器 R_1 。

检查目标主机是否在本网络

- 主机 H1 将本子网掩码与分组的目的 IP 地址逐比特相“与”
- 255. 255. 255. 128 and 128. 30. 33. 138
- =128. 30. 33. 128
- 与主机H1的网络地址匹配
- 128. 30. 33. 128 $\neq$ 128. 30. 33. 0

H₁ 把分组传送到路由器 R₁，逐项查找路由表

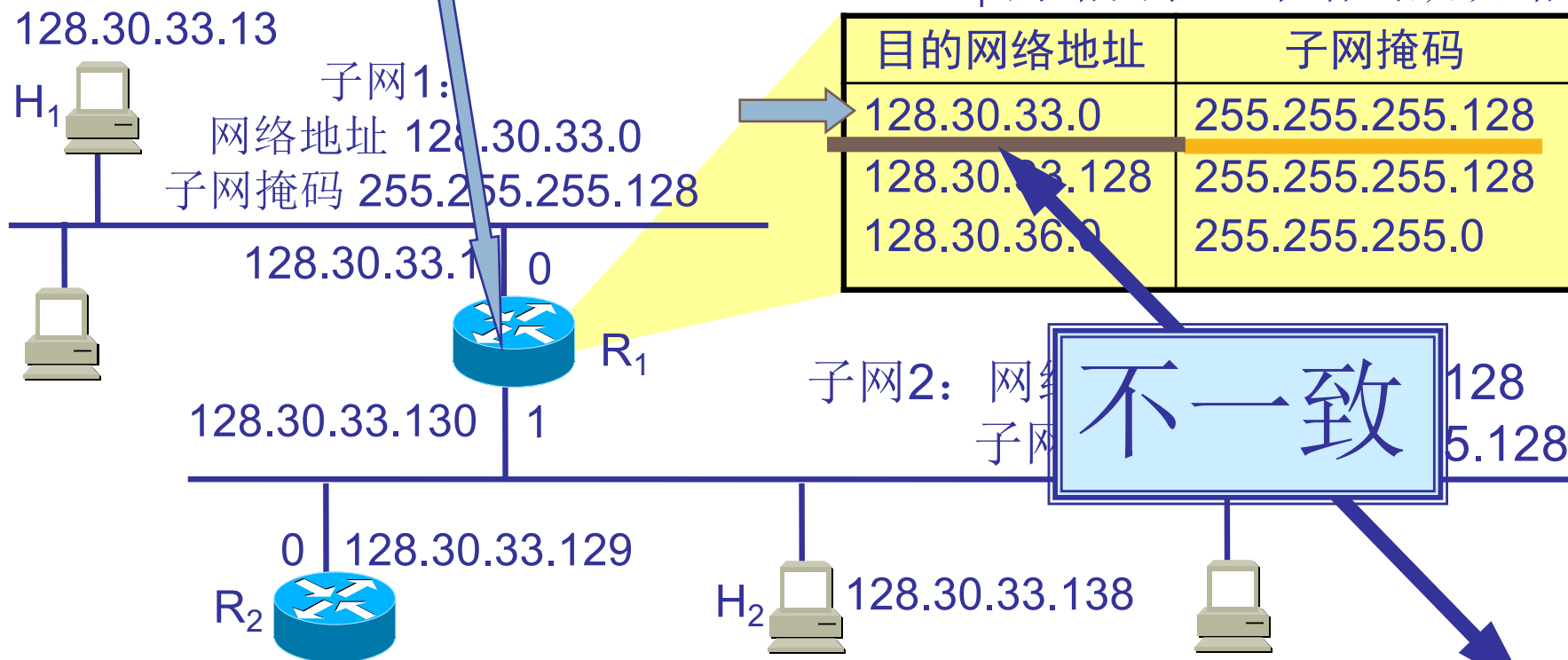


路由器 R_1 收到分组后就用路由表中第 1 个项目的子网掩码和 128.30.33.138 逐比特 AND 操作

R_1 收到的分组的目的 IP 地址: 128.30.33.138

R_1 的路由表 (未给出默认路由器)

目的网络地址	子网掩码	下一跳
128.30.33.0	255.255.255.128	接口 0
128.30.33.128	255.255.255.128	接口 1
128.30.36.0	255.255.255.0	R_2



$255.255.255.128 \text{ AND } 128.30.33.138 = 128.30.33.128$

不匹配!

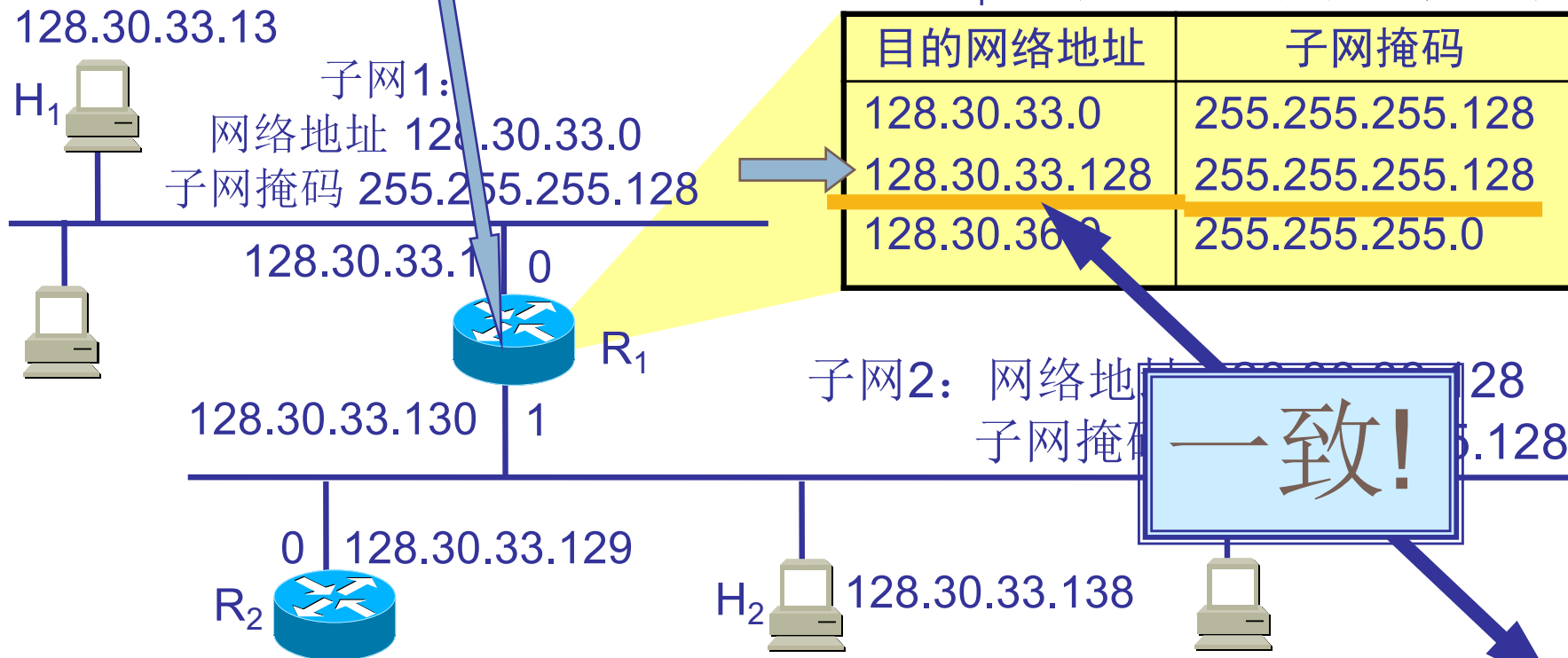
(因为 128.30.33.128 与路由表中的 128.30.33.0 不一致)

路由器 R₁ 再用路由表中第 2 个项目的
子网掩码和 128.30.33.138 逐比特 AND 操作

R₁ 收到的分组的目的 IP 地址: 128.30.33.138

R₁ 的路由表 (未给出默认路由器)

目的网络地址	子网掩码	下一跳
128.30.33.0	255.255.255.128	接口 0
128.30.33.128	255.255.255.128	接口 1
128.30.36.0	255.255.255.0	R ₂



$255.255.255.128 \text{ AND } 128.30.33.138 = 128.30.33.128$

匹配!

这表明子网 2 就是收到的分组所要寻找的目的网络

路由表的搜索

- 在查找路由表时，要求使用最佳匹配原则。
 - ▣ 在路由表中每条路由的掩码长度可能不同
 - ▣ 如果有多条成功匹配的路由项，则选择掩码最长的项所对应的路由。
- 路由项一般按掩码的长度从长到短排序
- 默认路由的掩码长度？
 - ▣ 0.0.0.0
- 特定主机路由的长度？
 - ▣ 255.255.255.255

分组转发算法各步骤的统一？

$D \& \& Mask$ 匹配路由项目标网络地址

- (1) 从分组首部提取目的IP地址 D 。
- (2) 用路由器直接相连的各网络的子网掩码和 D 逐位相“与”，看是否和相应的网络地址匹配。
 - ▣ 若匹配，则将分组直接交付；否则就是间接交付，执行(3)。
- (3) 若路由表中有目的地址为 D 的特定主机路由 **255.255.255.255**
 - ▣ 则将分组传送给指明的下一跳路由器；否则，执行(4)。
- (4) 对路由表中的每一行的子网掩码和 D 逐位相“与”
 - ▣ 若其结果与该行的目的网络地址匹配，则将分组传送给该行指明的下一跳路由器；否则，执行(5)。（间接交付）
- (5) 若路由表中有一个默认路由 **0.0.0.0**
 - ▣ 则将分组传送给路由表中所指明的默认路由器；否则，执行(6)。
- (6) 报告转发分组出错。

作业

- 7, 12, 13, 17, 20, 21, 22, 24
- Internet上的一个B类地址的子网掩码是255.255.248.0。试问能够有多少个子网，且每个子网上的主机数最多为多少？

Thanks, Any Question?

The End.

chenwh@nwnu.edu.cn

