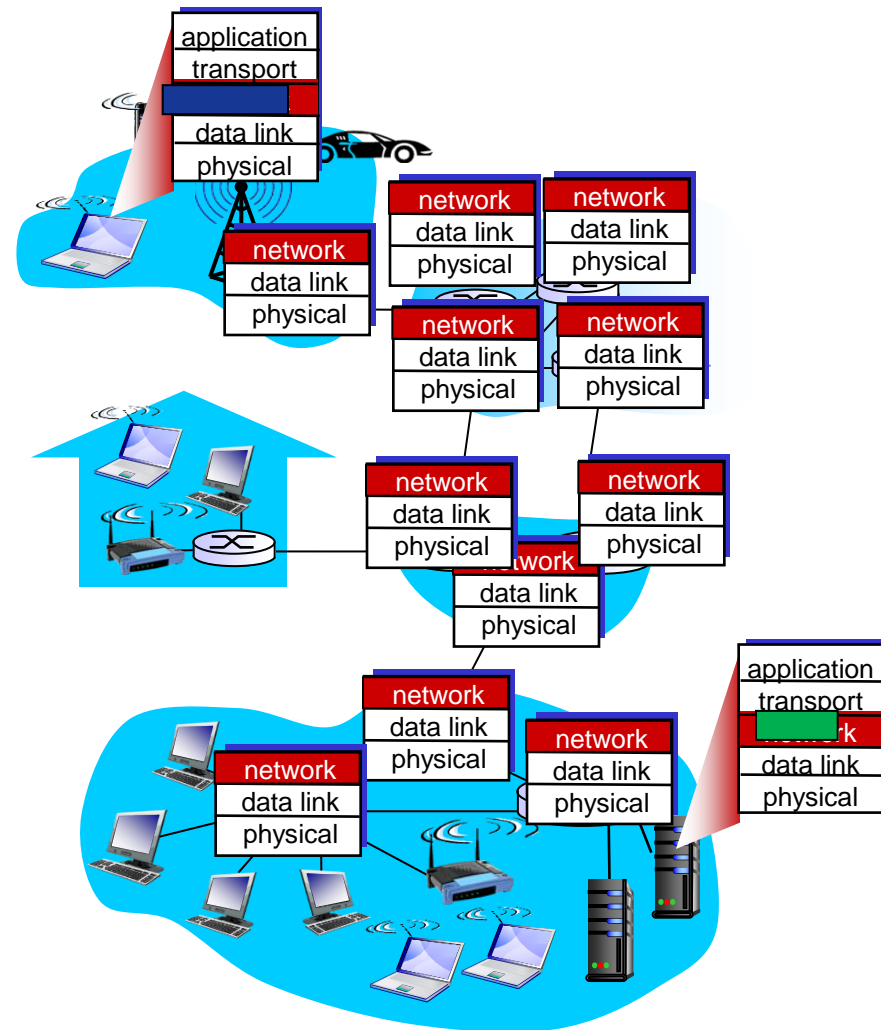


本讲主题

网络层服务

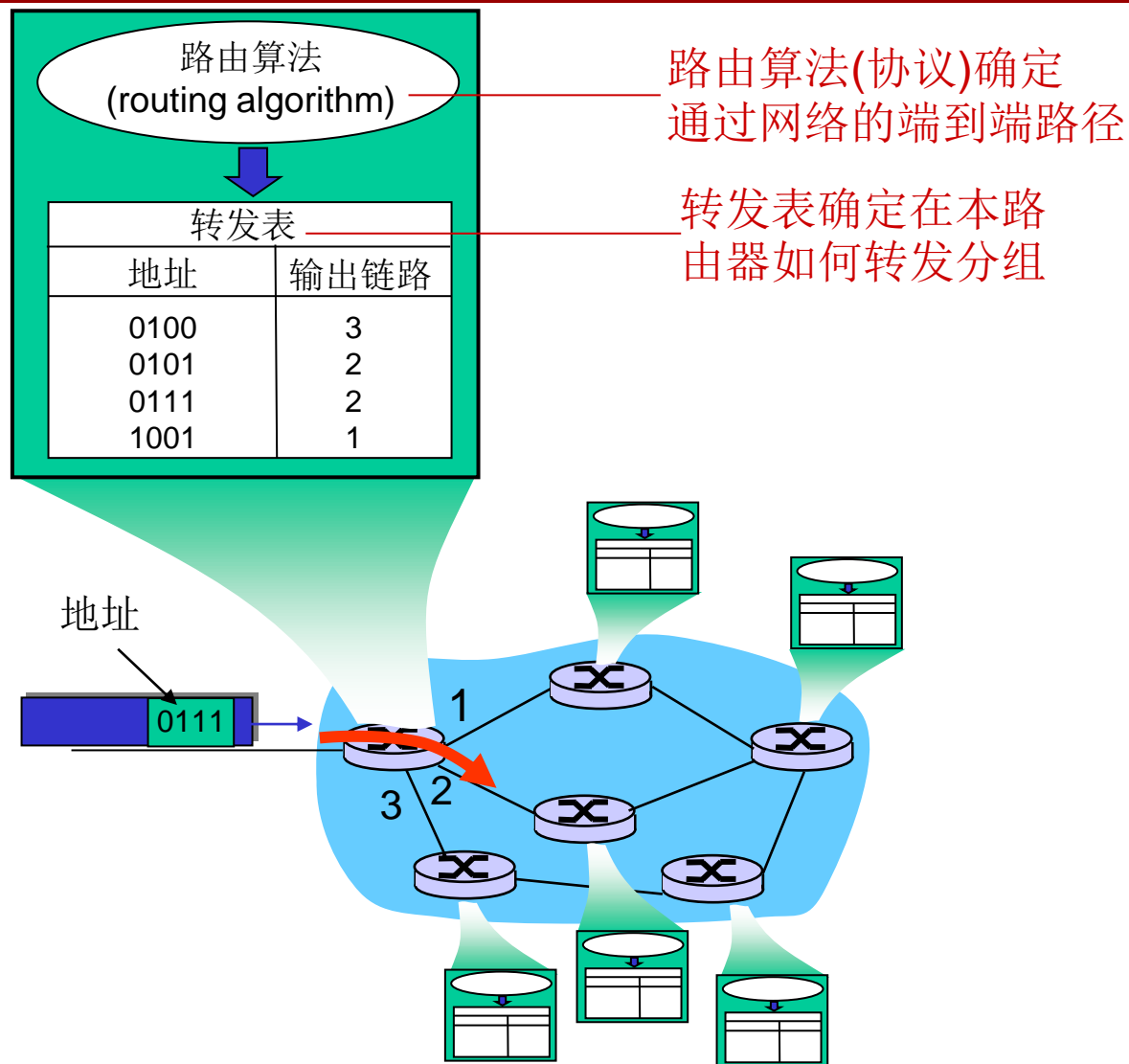
网络层

- ❖ 从发送主机向接收主机传送数据段（**segment**）
- ❖ 发送主机：将数据段封装到数据报（**datagram**）中
- ❖ 接收主机：向传输层交付数据段（**segment**）
- ❖ **每个**主机和路由器都运行网络层协议
- ❖ 路由器检验所有穿越它的IP数据报的头部域
 - 决策如何处理IP数据报



网络层核心功能-转发与路由

- ❖ **转发(forwarding):**
将分组从路由器的输入端口转移到合适的输出端口
- ❖ **路由(routing):** 确定分组从源到目的经过的路径
 - 路由算法
(routing algorithms)

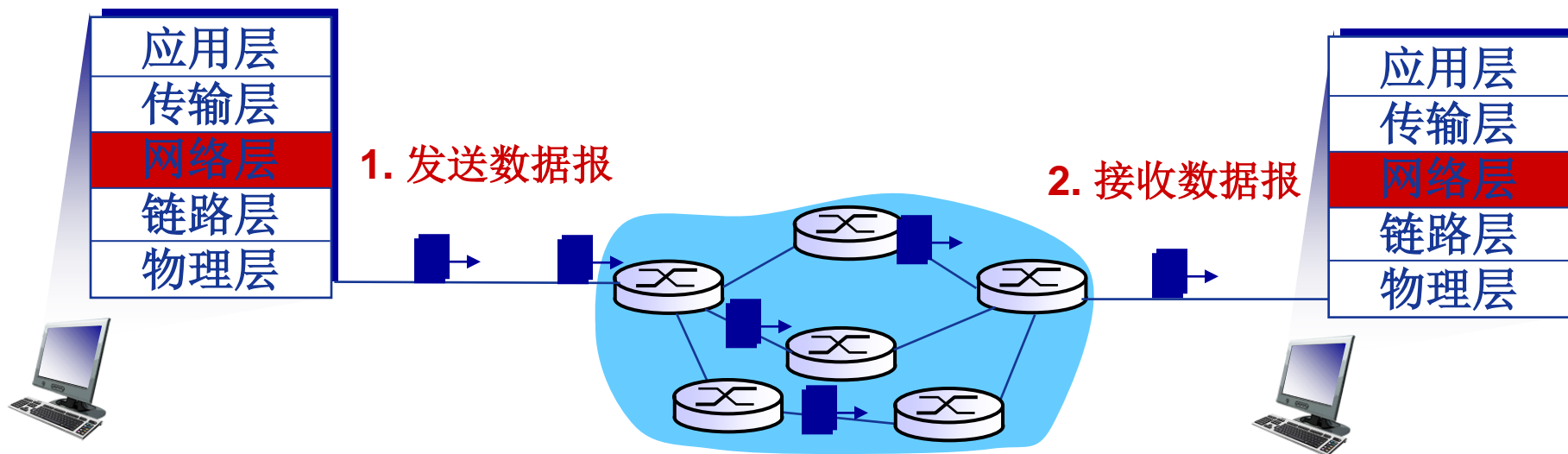


本讲主题

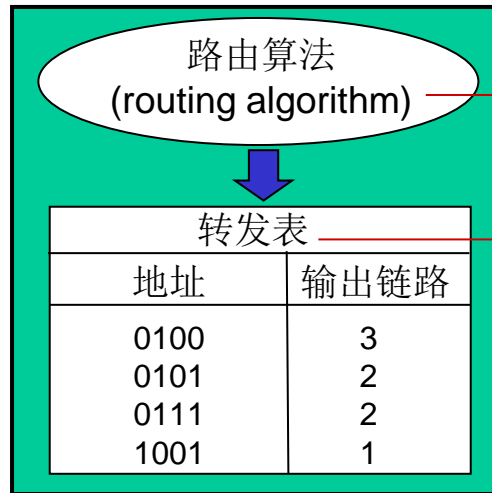
数据报网络

数据报网络

- ❖ 网络层无连接
- ❖ 每个分组携带目的地址
- ❖ 路由器根据分组的目的地址转发分组
 - 基于路由协议/算法构建转发表
 - 检索转发表
 - 每个分组独立选路

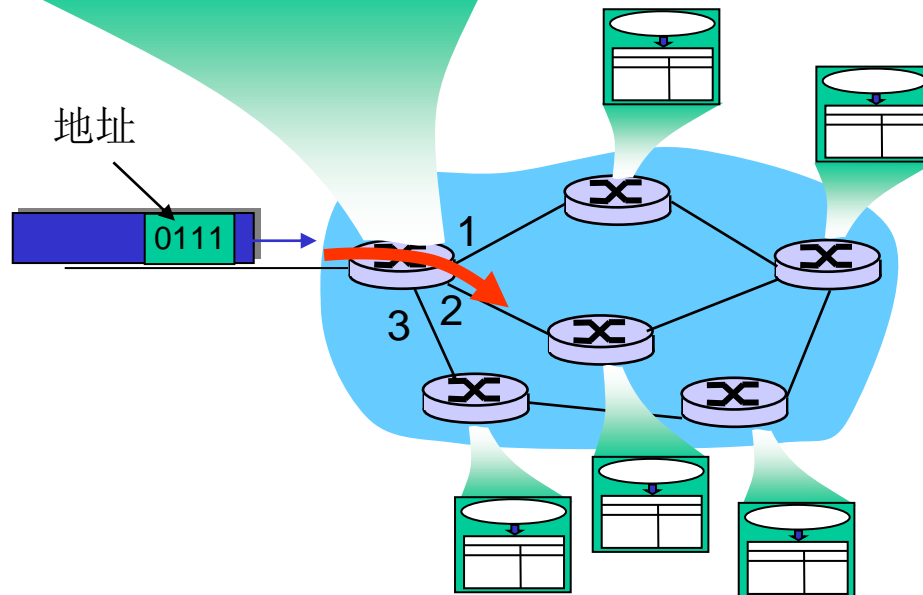


数据报转发表

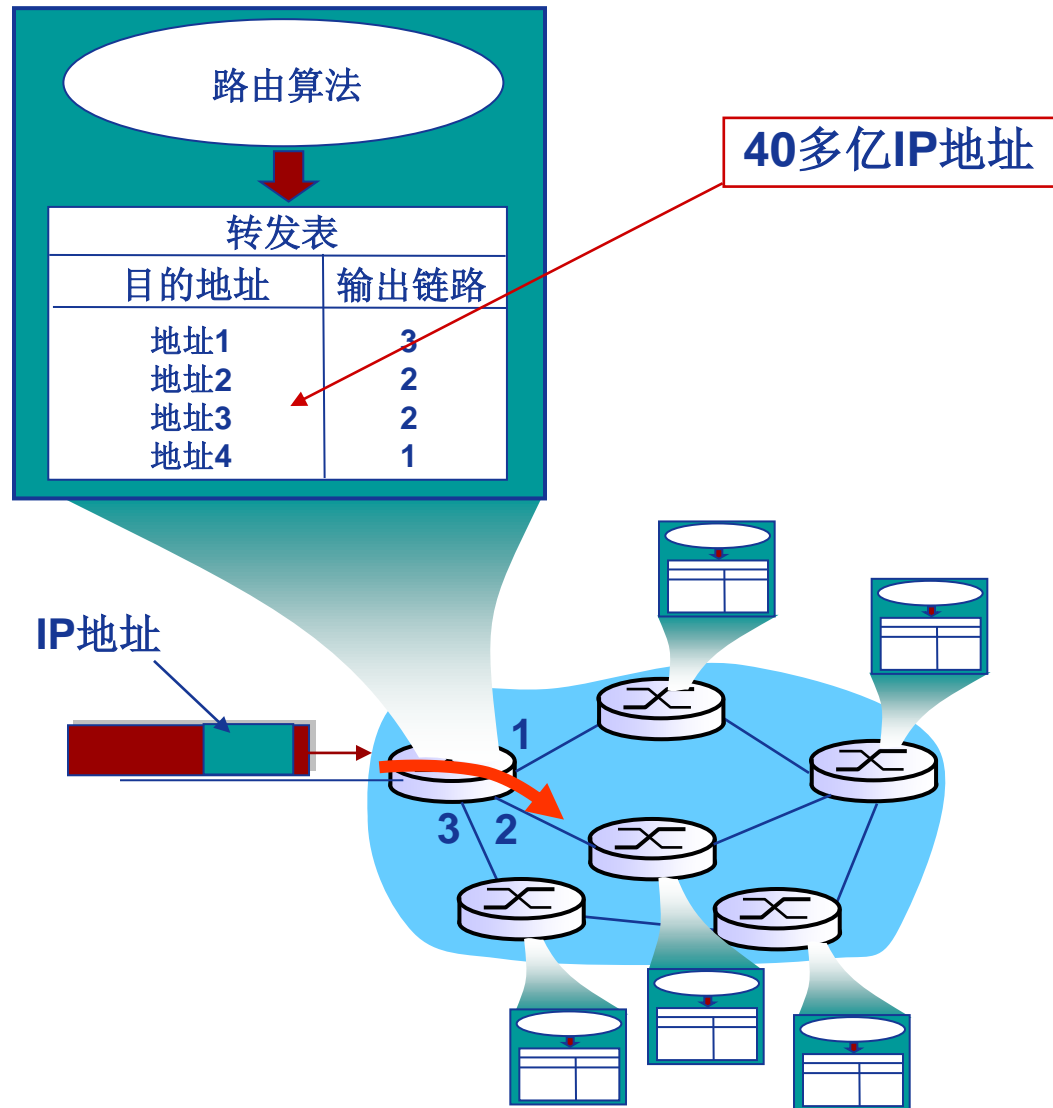


路由算法(协议)确定
通过网络的端到端路径

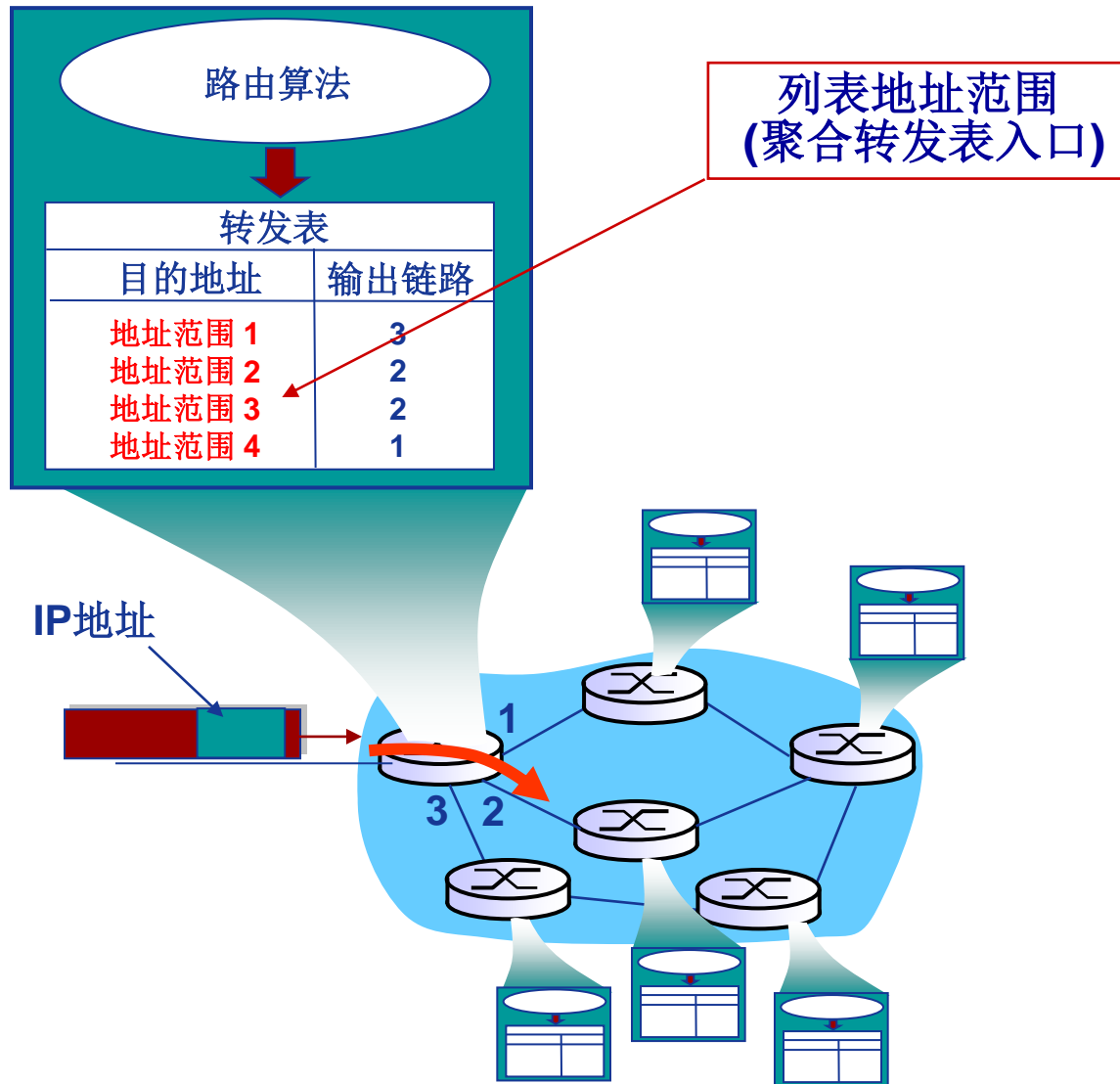
转发表确定在本路
由器如何转发分组



数据报转发表



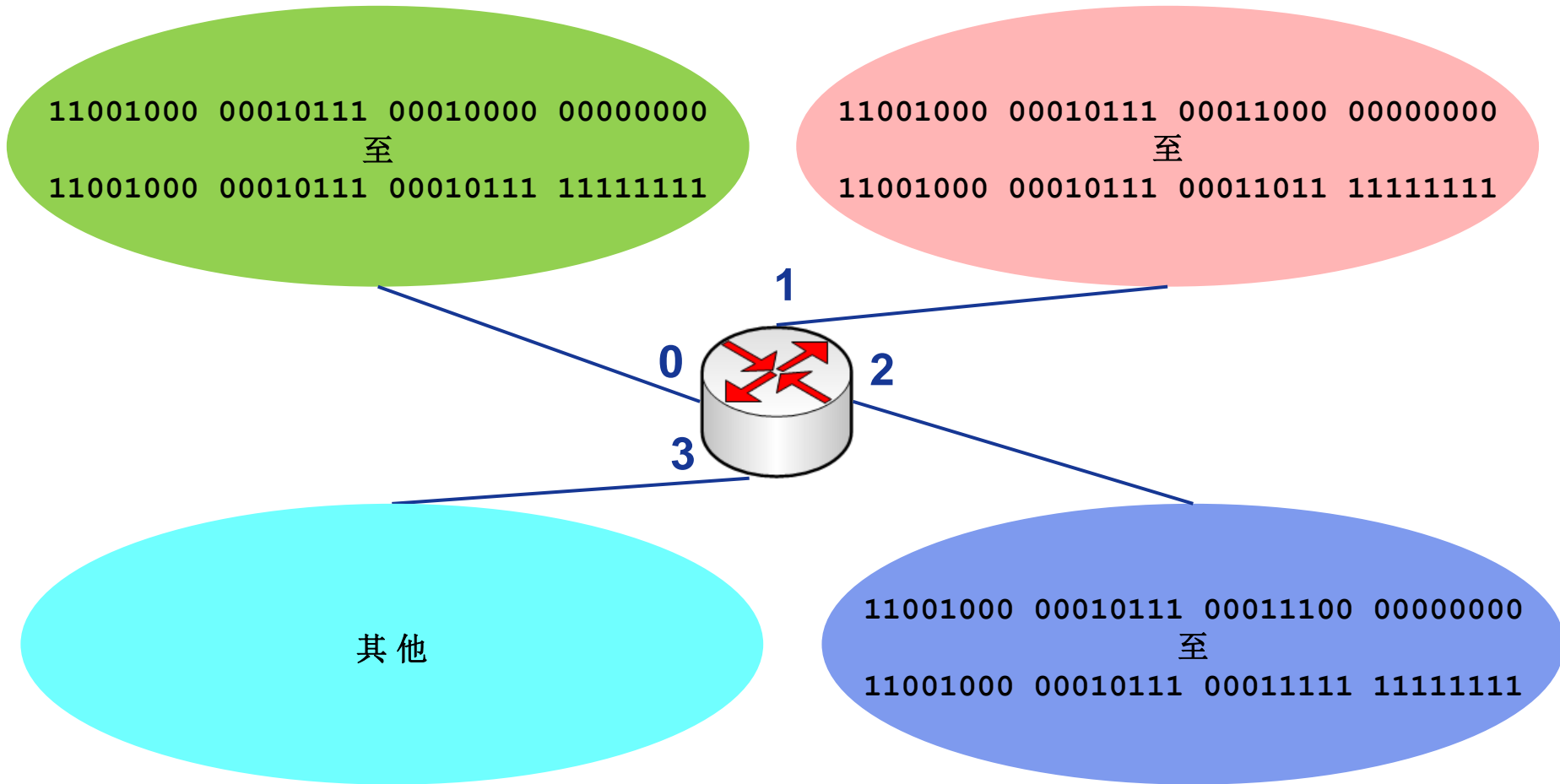
数据报转发表



数据报转发表

目的地址范围	链路接口
11001000 00010111 00010000 00000000 至 11001000 00010111 00010111 11111111	0
11001000 00010111 00011000 00000000 至 11001000 00010111 00011011 11111111	1
11001000 00010111 00011100 00000000 至 11001000 00010111 00011111 11111111	2
其他	3

数据报转发表



Q: 如果地址范围划分的不是这么“完美”会怎么样？

最长前缀匹配优先

例如：

目的地址范围	链路接口
11001000 00010111 00010*** *****	0
11001000 00010111 00011000 *****	1
11001000 00010111 00011*** *****	2
其他	3

DA: 11001000 00010111 00010**110** 10100001 从哪个接口转发？ **A:0**

DA: 11001000 00010111 00011**000** 10101010 从哪个接口转发？ **A:1**

最长前缀匹配优先

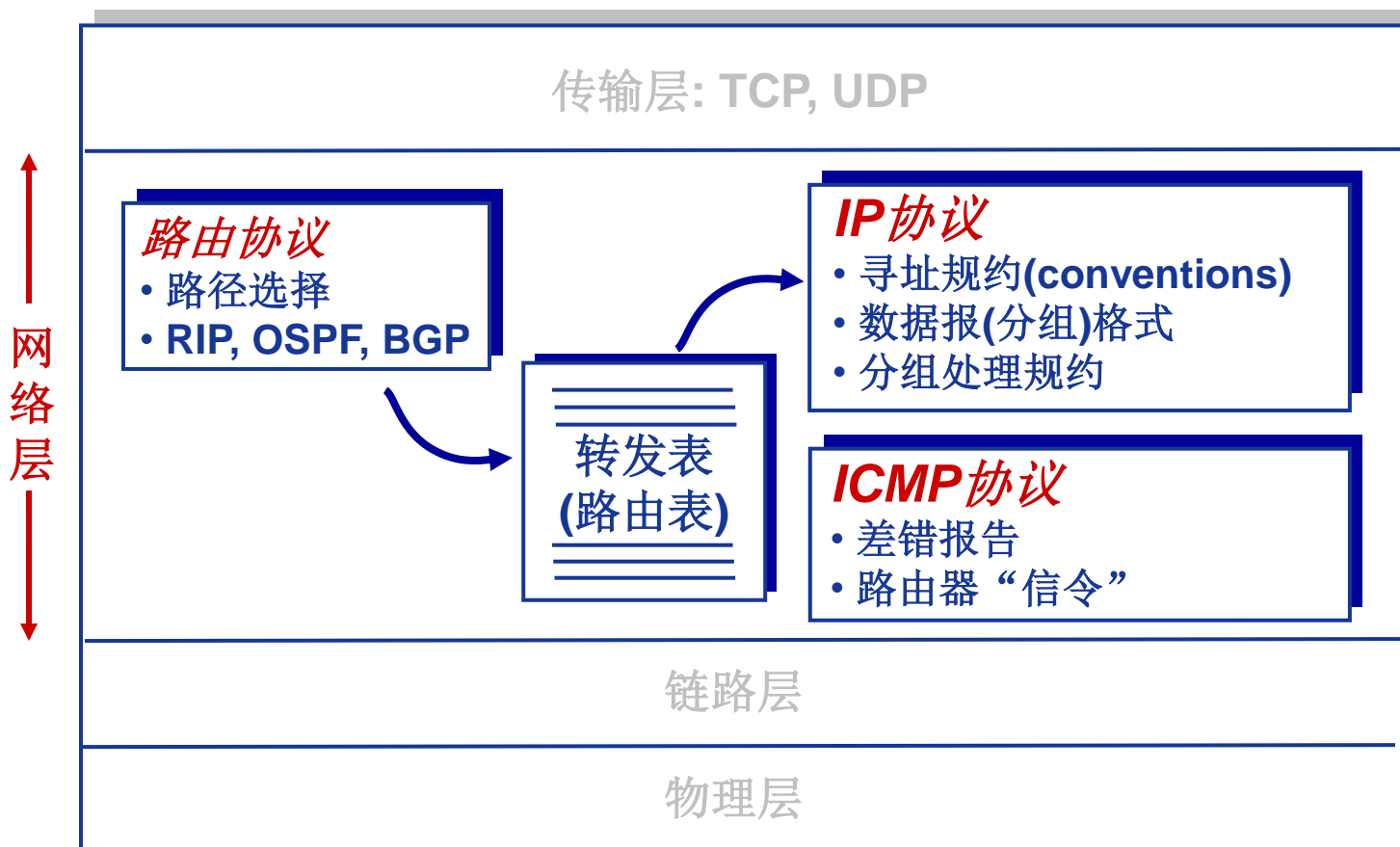
在检索转发表时，优先选择与分组目的地址匹配**前缀最长**的入口（**entry**）。

本讲主题

IP协议（1）-IP数据报

Internet网络层

主机、路由器网络层主要功能：



IP数据报(分组)格式



IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31	
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度				
	标识			标志位	片偏移			
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和				
	源IP地址							
	目的IP地址							
=	选项字段（长度可变）					填充		=
	数据							

❖ 版本号字段占4位：IP协议的版本号

- E.g. 4→IPv4, 6 → IPv6

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度的	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和			
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

❖ 首部长度的字段占4位：IP分组首部长度的

- 以4字节为单位的
- E.g. 5→IP首部长度的为20(5×4)字节

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议		首部检验和		
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

- ❖ **服务类型(TOS)**字段占8位：指示期望获得哪种类型的服务
 - 1998 年这个字段改名为**区分服务**
 - 只有在网络提供区分服务(DiffServ)时使用
 - 一般情况下不使用，通常IP分组的该字段(第2字节)的值为00H

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和			
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

❖ 总长度字段占16位：IP分组的总字节数(首部+数据)

- 最大IP分组的总长度：65535B
- 最小的IP分组首部：20B
- IP分组可以封装的最大数据：65535-20=65515B

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和			
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

❖ 生存时间（**TTL**）字段占8位：IP分组在网络中可以通过的路由器数（或跳步数）

- 路由器转发一次分组，TTL减1
- 如果TTL=0，路由器则丢弃该IP分组

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)	协议		首部检验和			
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

- ❖ 协议字段占8位：指示IP分组封装的是哪个协议的数据包
 - 实现复用/分解
 - E.g. 6为TCP，表示封装的为TCP段；17为UDP，表示封装的是UDP数据报

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和			
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

❖ 首部校验和字段占16位：实现对IP分组首部的差错检测

- 计算校验和时，该字段置全0
- 采用反码算数运算求和，和的反码作为首部校验和字段
- 逐跳计算、逐跳校验

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和			
=	源IP地址						
	目的IP地址						
	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

- ❖ **源IP地址、目的IP地址**字段各占32位：分别标识发送分组的源主机/路由器(网络接口)和接收分组的目的主机/路由器（网络接口）的IP地址

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31	
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度				
	标识			标志位	片偏移			
	生存时间(TTL)		协议		首部检验和			
	源IP地址							
	目的IP地址							
=	选项字段（长度可变）					填充		=
	数据							

- ❖ 选项字段占长度可变，范围在1~40B之间：携带安全、源选路径、时间戳和路由记录等内容
 - 实际上很少被使用

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31	
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度				
	标识			标志位	片偏移			
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和				
	源IP地址							
	目的IP地址							
=	选项字段（长度可变）					填充		=
	数据							

- ❖ 填充字段占长度可变，范围在0~3B之间：目的是补齐整个首部，符合32位对齐，即保证首部长度是4字节的倍数

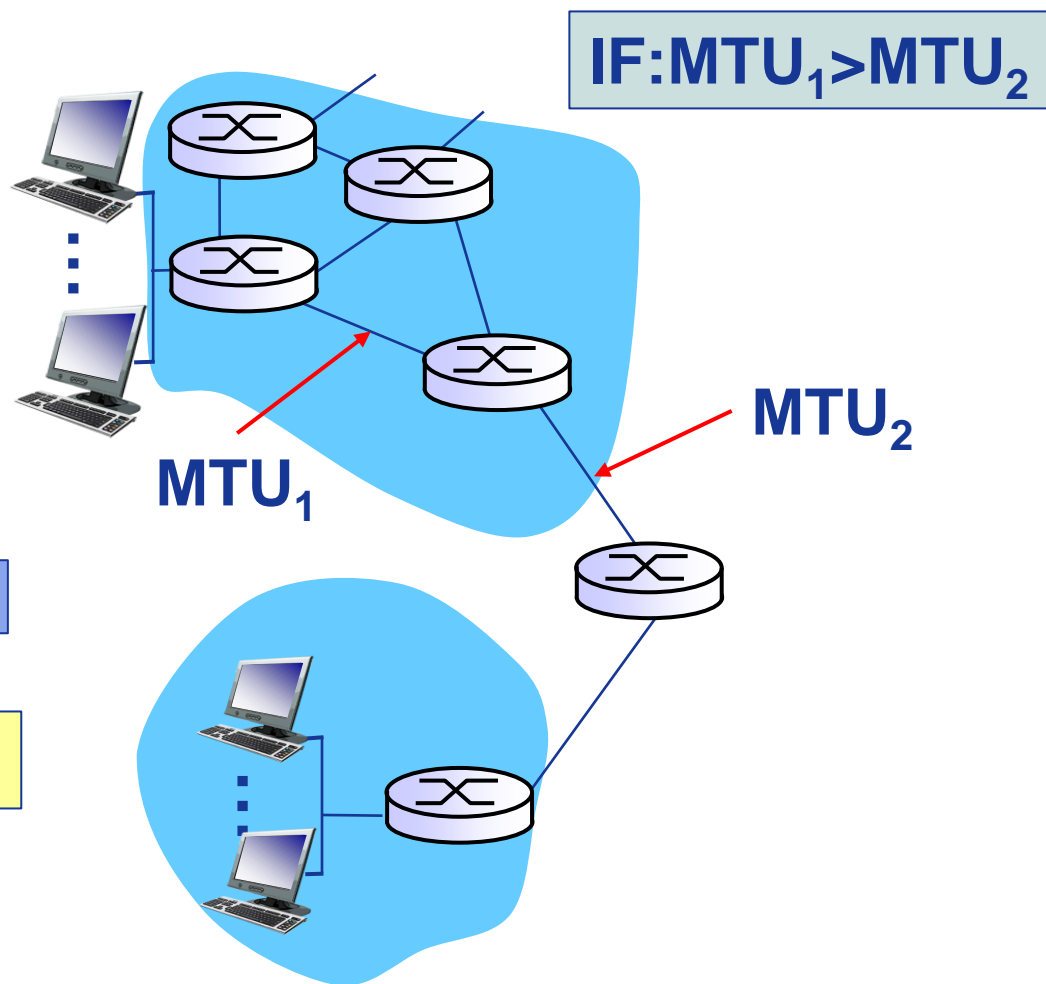
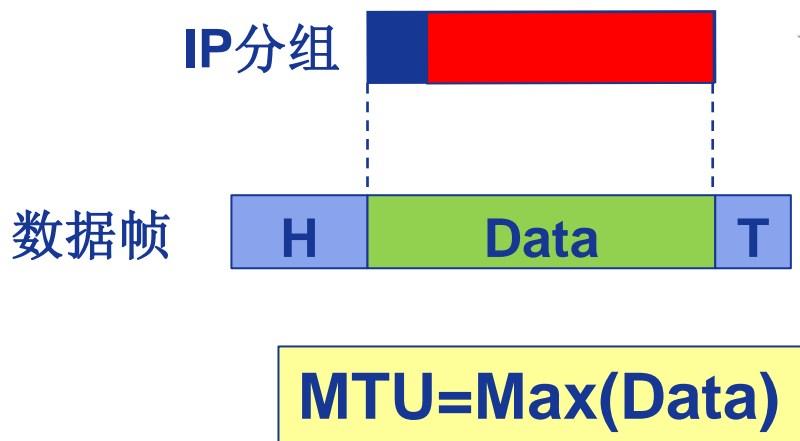
本讲主题

IP协议（2）-IP分片

最大传输单元(MTU)

❖ 网络链路存在MTU (最大传输单元)—链路层数据帧可封装数据的上限

- 不同链路的MTU不同



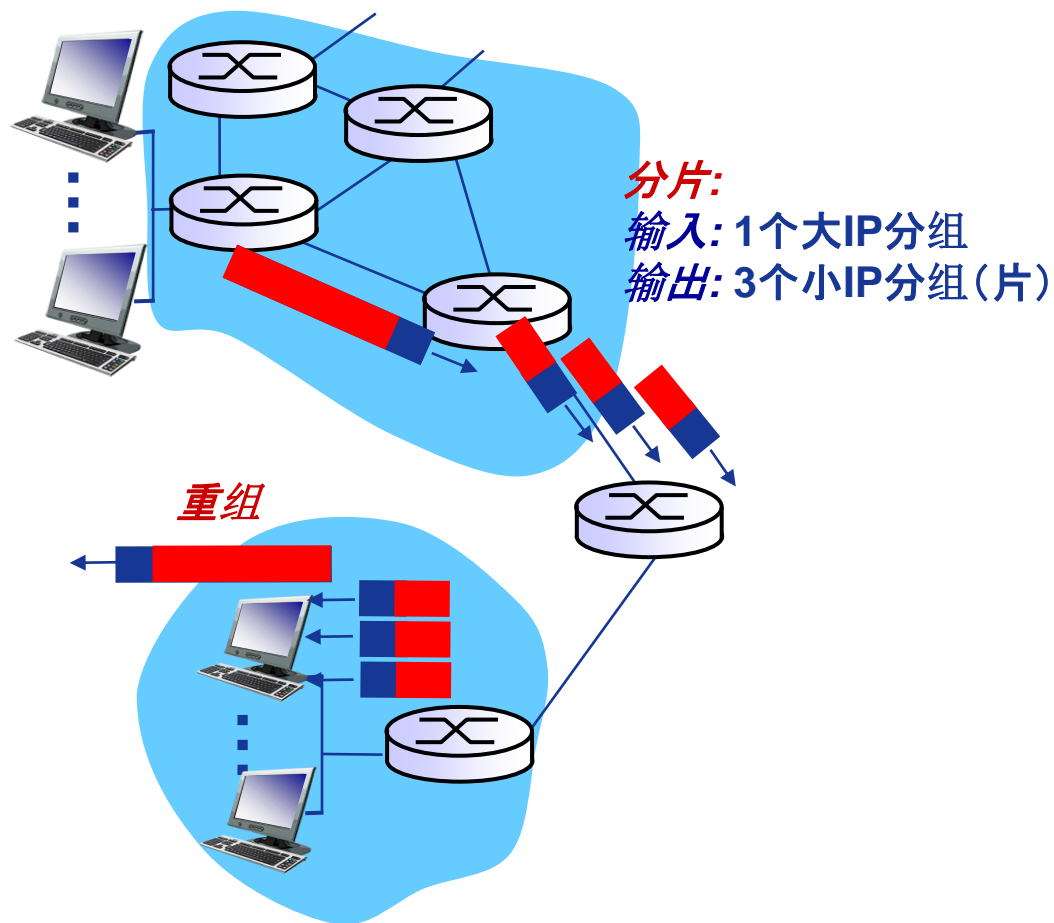
IP分片与重组

❖ 大IP分组向较小MTU链路转发时，**可以**被“分片” (fragmented)

- 1个IP分组分为多片IP分组
- IP分片到达目的主机后进行“重组” (reassembled)

❖ IP首部的相关字段用于标识分片以及确定分片的相对顺序

- 总长度、标识、标志位和片偏移



IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31	
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度				
	标识(ID)			标志位	片偏移			
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和				
	源IP地址							
	目的IP地址							
=	选项字段（长度可变）					填充		=
	数据							

❖ 标识字段占16位：标识一个IP分组

- IP协议利用一个计数器，每产生IP分组计数器加1，作为该IP分组的标识

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号		首部长度		服务类型(TOS)		总长度
	标识(ID)				标志位	片偏移	
	生存时间(TTL)		协议		首部检验和		
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

❖ 标志位字段占3位:

- **DF** (Don't Fragment)
- **MF** (More Fragment)

保留	DF	MF
----	----	----

- **DF =1**: 禁止分片;
DF =0: 允许分片
- **MF =1**: 非最后一片;
MF =0: 最后一片(或未分片)

IP分组格式

位	0	4	8	16	19	24	31
	版本号	首部长度	服务类型(TOS)	总长度			
	标识(ID)			标志位	片偏移		
	生存时间(TTL)		协议	首部检验和			
	源IP地址						
	目的IP地址						
=	选项字段（长度可变）					填充	
	数据						

❖ 片偏移字段占13位：一个IP分组分片封装原IP分组数据的相对偏移量

- 片偏移字段以8字节为单位

本讲主题

IP协议（3）-IP编址

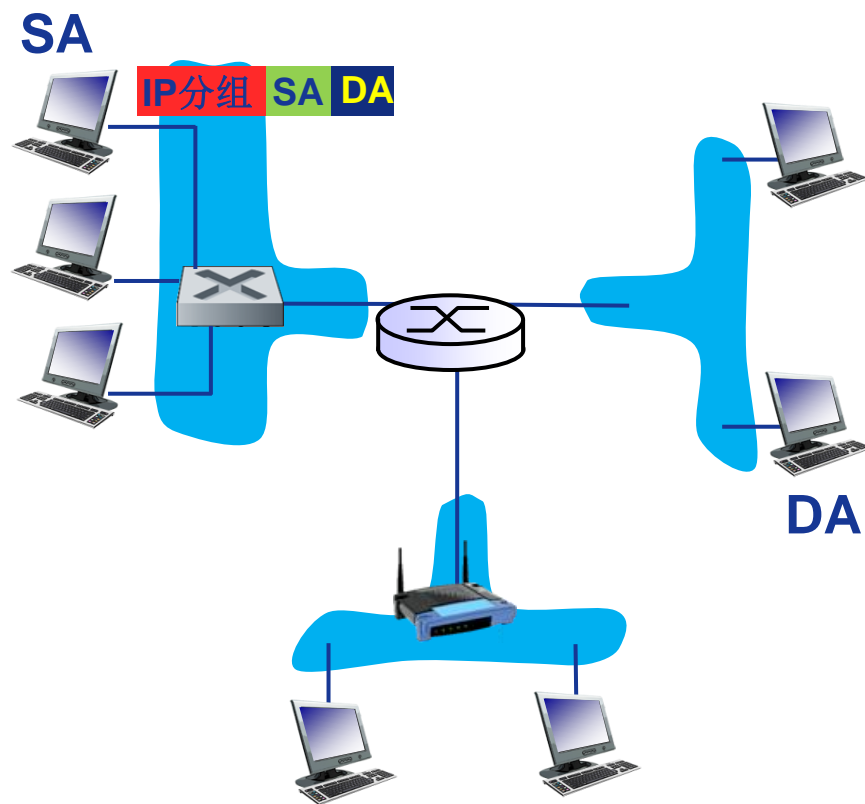
IP编址(addressing)

❖ IP分组:

- 源地址(SA)-从哪儿来
- 目的地址(DA)-到哪儿去

❖ 接口(interface): 主机/路由器与物理链路的连接

- 实现网络层功能
- 路由器通常有多个接口
- 主机通常只有一个或两个接口 (e.g., 有线的以太网接口, 无线的802.11接口)



IP编址(addressing)

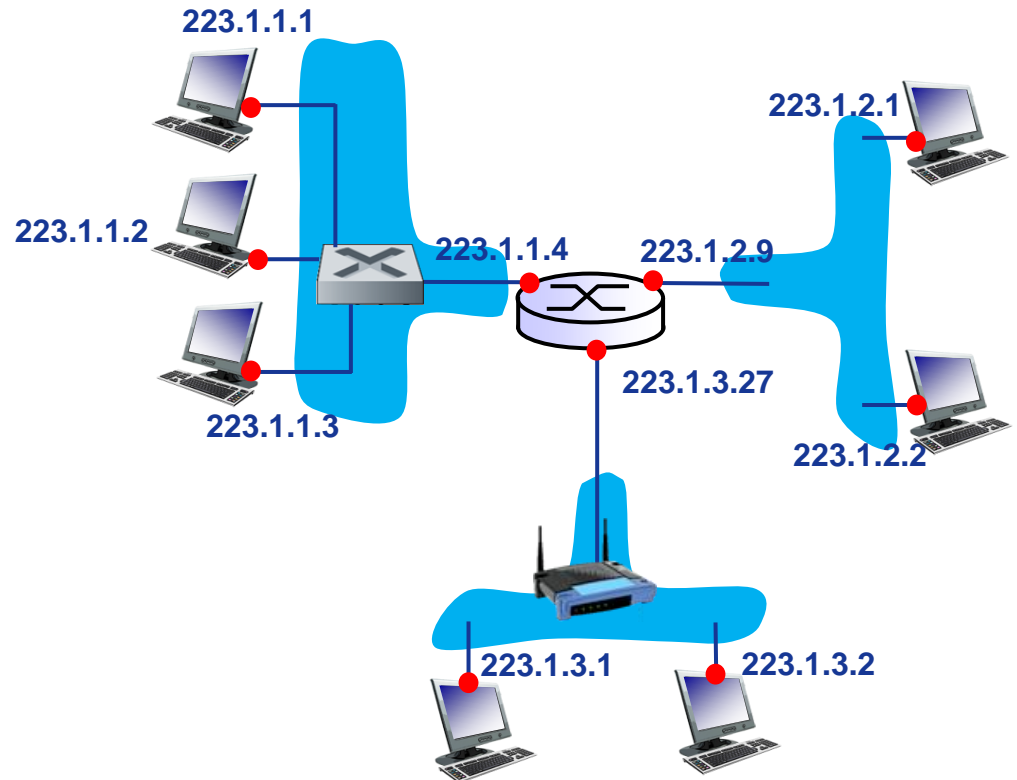
❖ IP地址: 32比特(IPv4)

编号标识主机、路由器的接口

$\underbrace{11011111}_{223} \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 \underbrace{00000001}_1 = 223.1.1.1$

❖ IP地址与每个接口关联

❖ 怎样为接口分配IP地址呢?



IP子网 (Subnets)

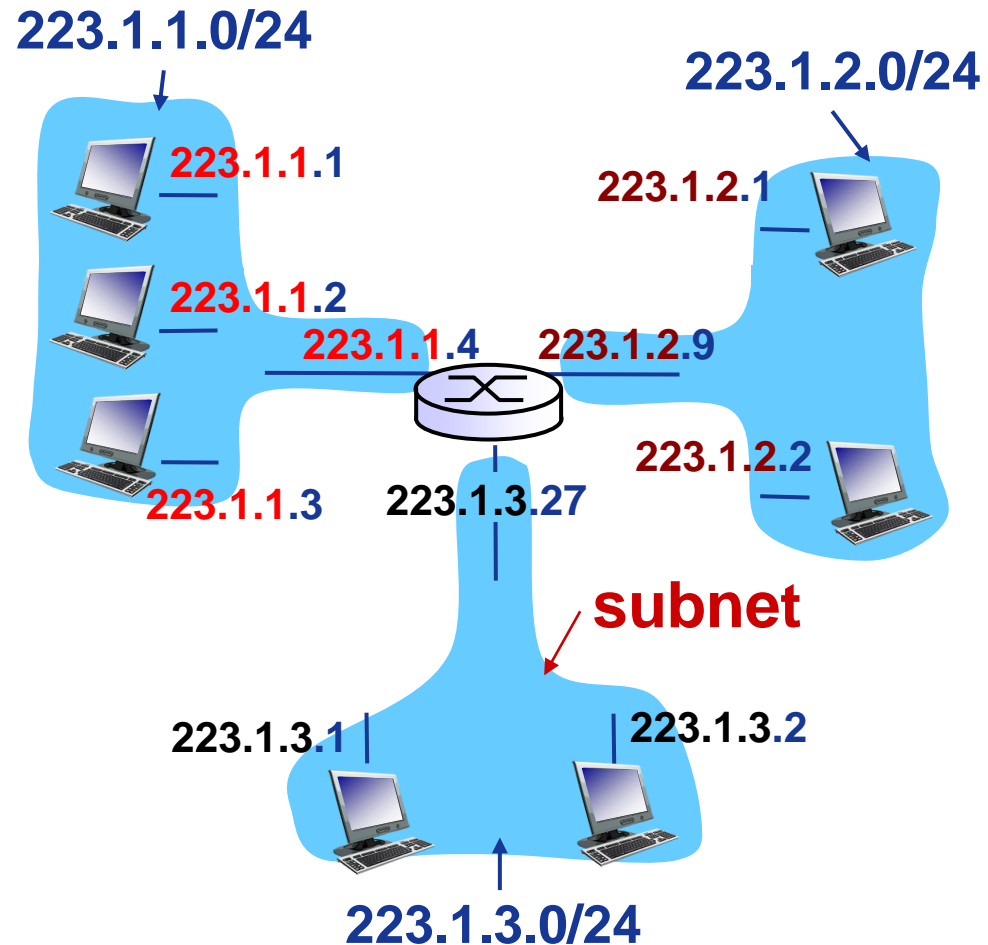
❖ IP地址:

- 网络号(NetID) – 高位比特
- 主机号(HostID) – 低位比特

NetID	HostID
-------	--------

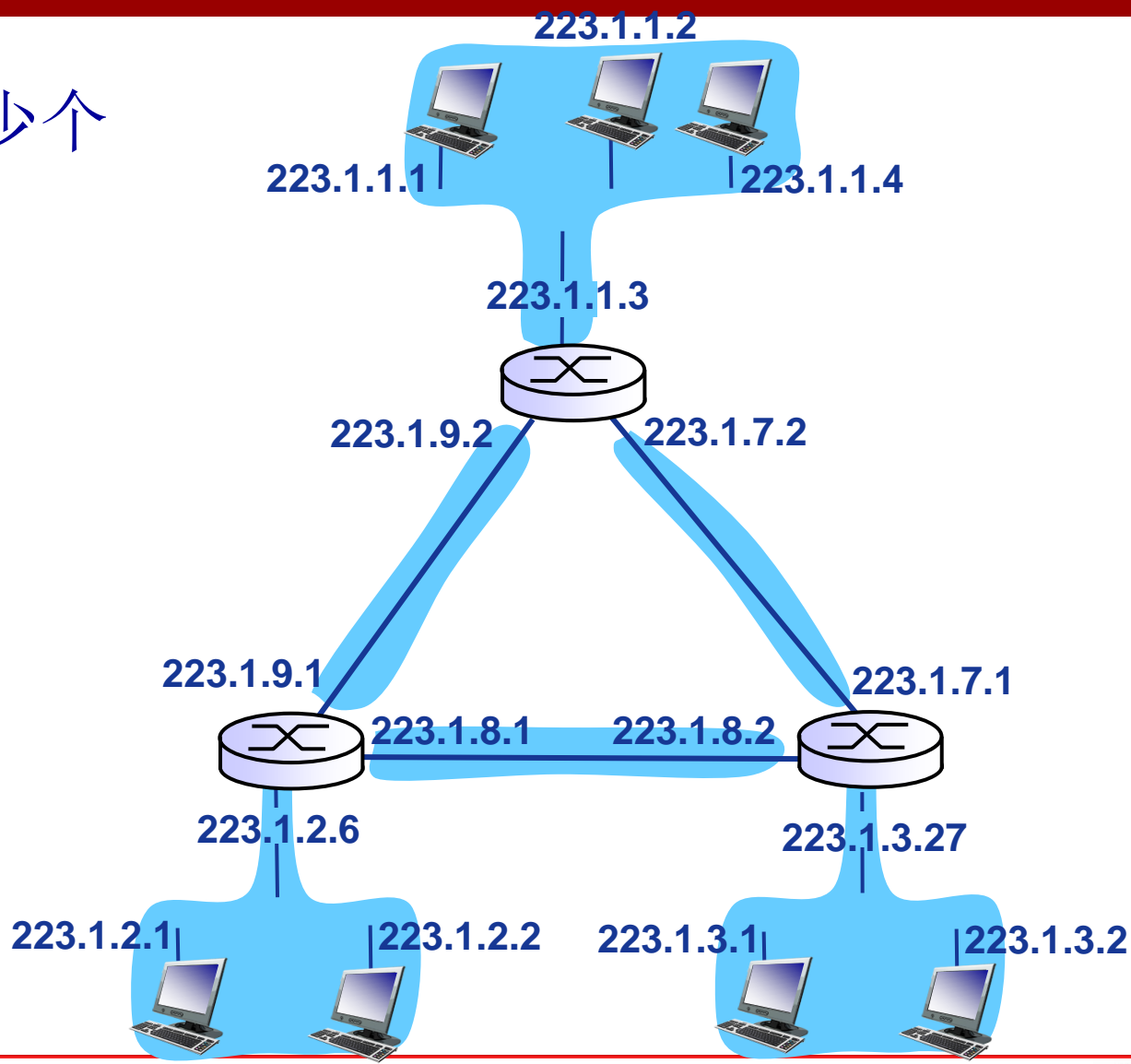
❖ IP子网:

- IP地址具有相同网络号的设备接口
- 不跨越路由器 (第三及以上层网络设备) 可以彼此物理联通的接口



IP子网 (Subnets)

图中网络有多少个
IP子网?



本讲主题

IP协议（4）-有类IP地址

IP子网 (Subnets)

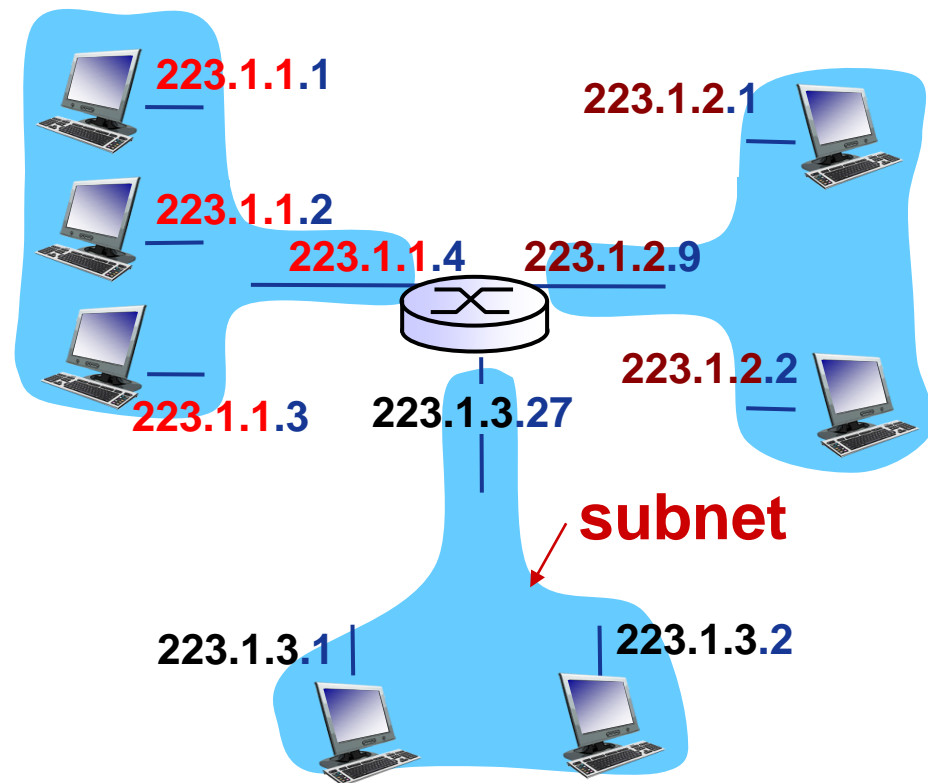
❖ IP地址:

- 网络号(NetID) – 高位比特
- 主机号(HostID) – 低位比特

NetID	HostID
-------	--------

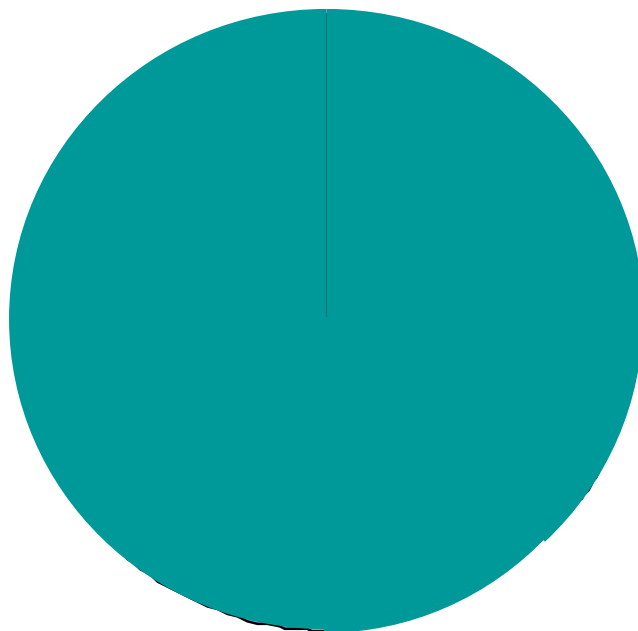
❖ IP子网:

- IP地址具有相同网络号的设备接口
- 不跨越路由器（第三及以上层网络设备）可以彼此物理联通的接口



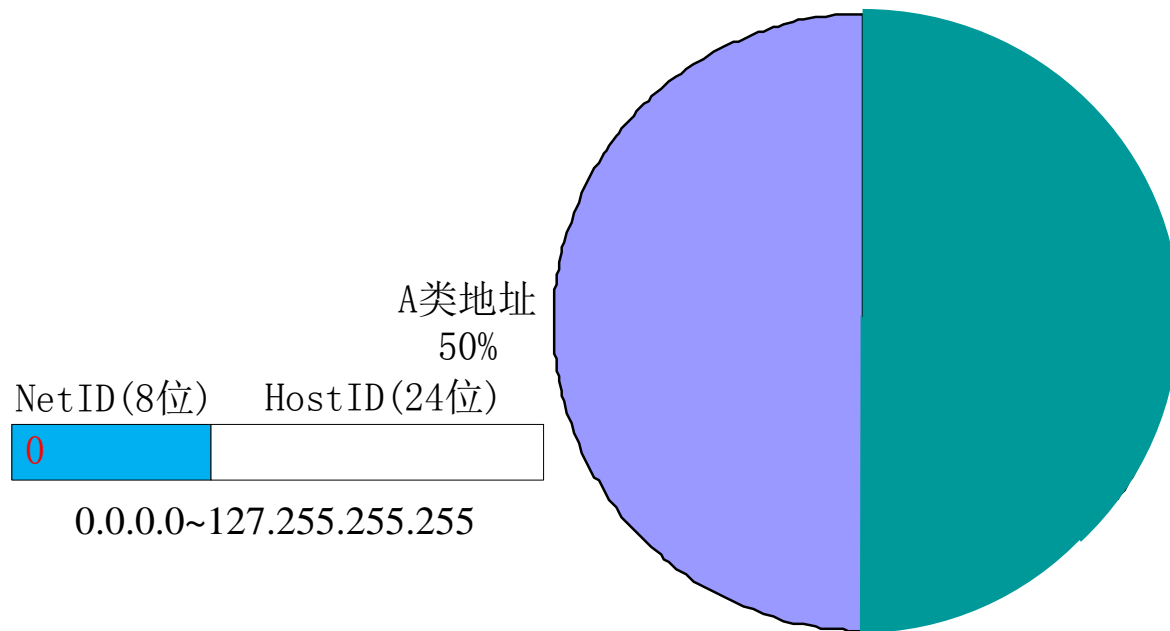
IP地址(Addresses)

“有类”编址:



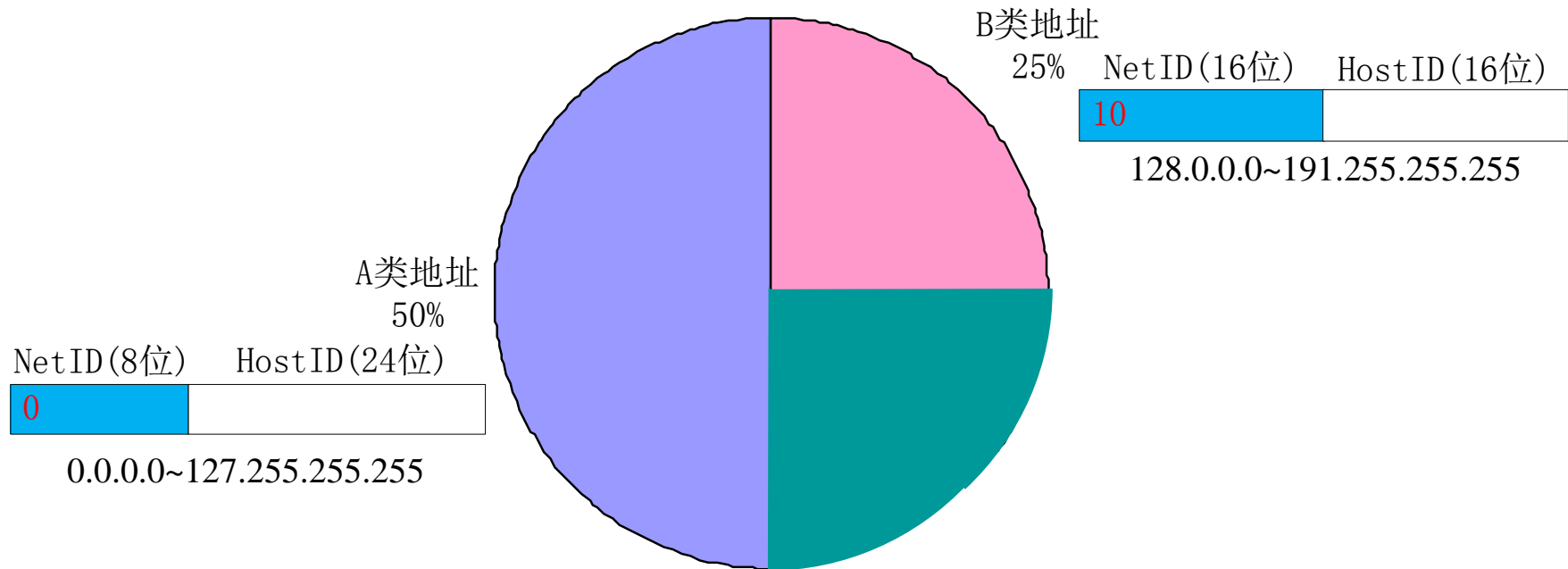
IP地址(Addresses)

“有类”编址:



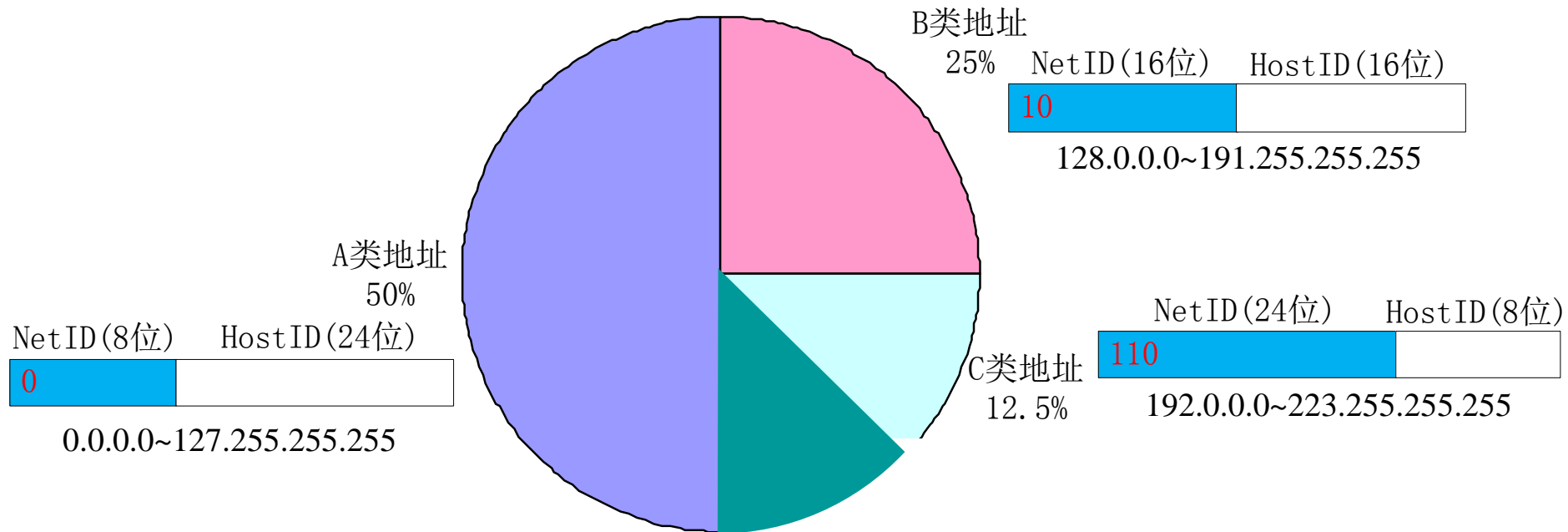
IP地址(Addresses)

“有类”编址:



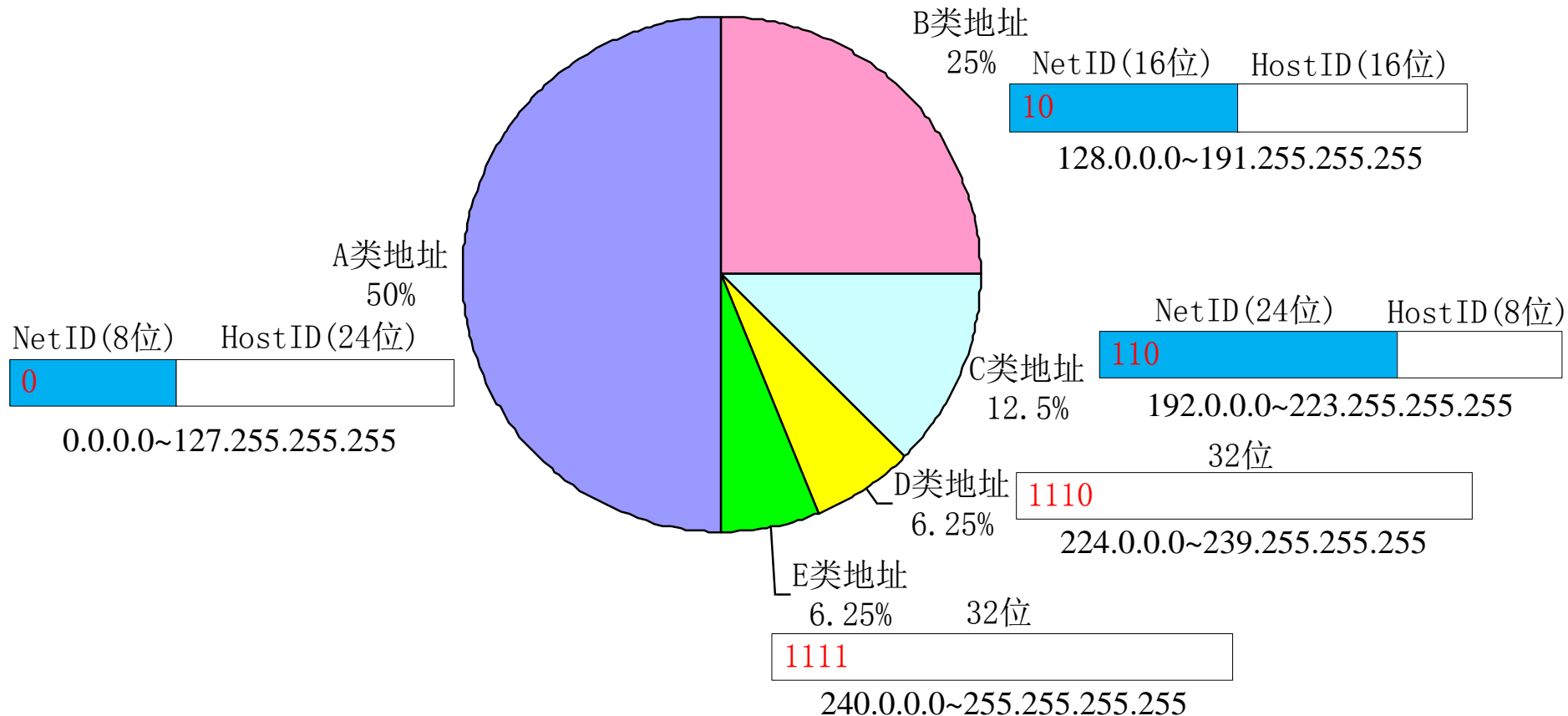
IP地址(Addresses)

“有类”编址:



IP地址(Addresses)

“有类”编址:



特殊IP地址

NetID	HostID	作为IP分组 源地址	作为IP分组 目的地址	用途
全0	全0	可以	不可以	在本网范围内表示本机；在路由表中用于表示默认路由(相当于表示整个Internet网络)
全0	特定值	不可以	可以	表示本网内某个特定主机
全1	全1	不可以	可以	本网广播地址(路由器不转发)
特定值	全0	不可以	不可以	网络地址，表示一个网络
特定值	全1	不可以	可以	直接广播地址，对特定网络上的所有主机进行广播
127	非全0或非全1的任何数	可以	可以	用于本地软件环回测试，称为环回地址

私有 (Private) IP地址

Class	NetIDs	Blocks
A	10	1
B	172.16 to 172.31	16
C	192.168.0 to 192.168.255	256

本讲主题

IP协议（5）-IP子网划分与子网掩码

IP子网 (Subnets)

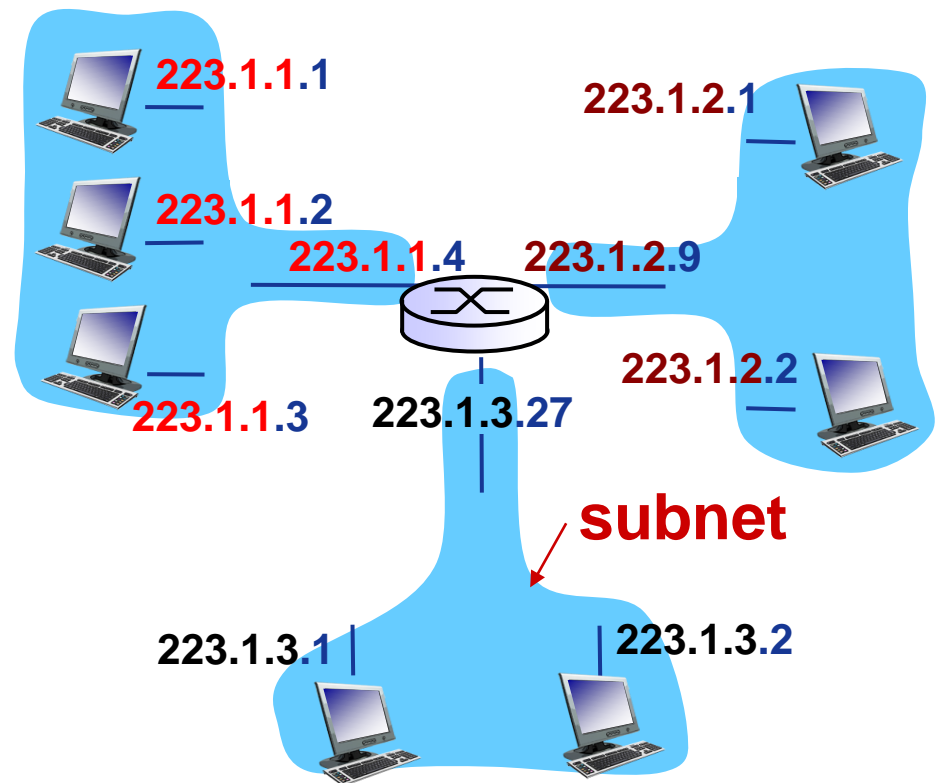
❖ IP地址:

- 网络号(NetID) – 高位比特
- 主机号(HostID) – 低位比特

NetID	HostID
-------	--------

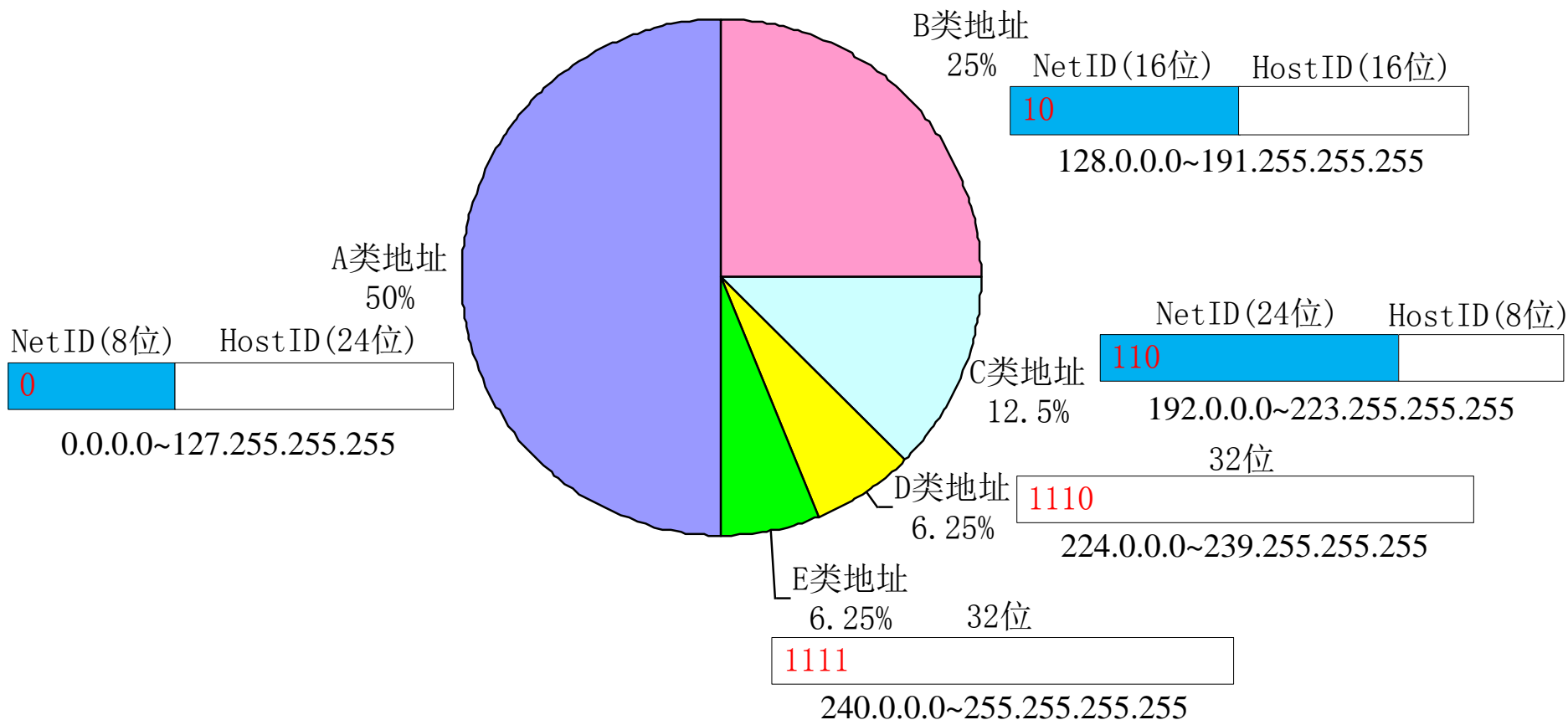
❖ IP子网:

- IP地址具有相同网络号的设备接口
- 不跨越路由器（第三及以上层网络设备）可以彼此物理联通的接口

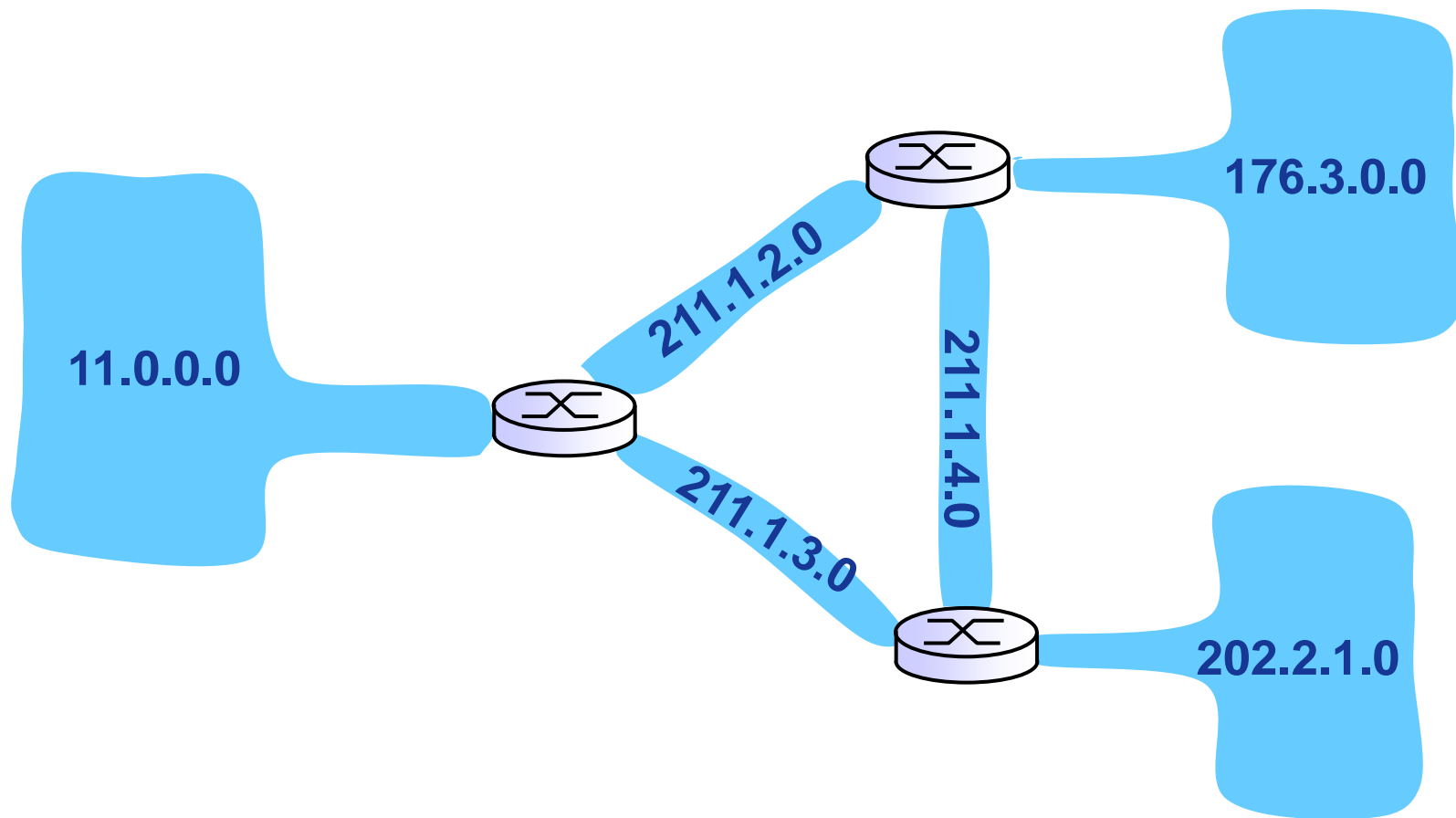


IP地址(Addresses)

“有类”编址:



子网划分(Subnetting)?



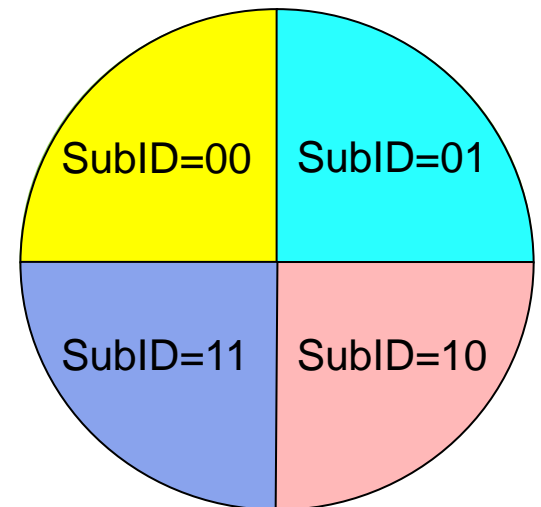
❖ 如何区分一个IP子网更小范围网络（子网）？

- 子网划分

子网划分?

❖ IP地址:

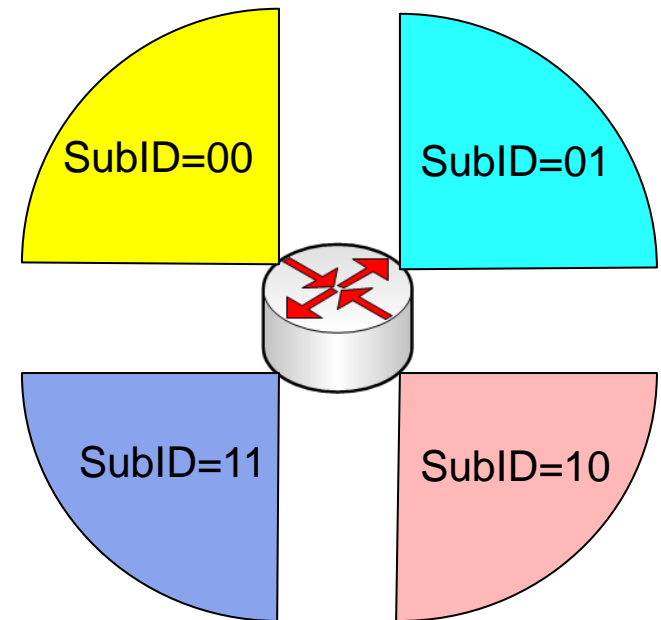
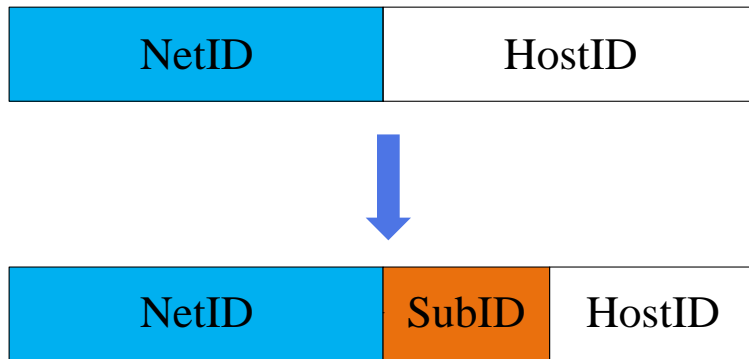
- 网络号(NetID) – 高位比特
- 子网号(SubID) – 原网络主机号部分比特
- 主机号(HostID) – 低位比特



子网划分?

❖ IP地址:

- 网络号(NetID) – 高位比特
- 子网号(SubID) – 原网络主机号部分比特
- 主机号(HostID) – 低位比特



❖ 如何确定是否划分了子网? 利用多少位划分子网?

- 子网掩码

子网掩码

❖ 形如IP地址:

NetID	SubID	HostID
-------	-------	--------


- 32位
- 点分十进制形式

❖ 取值:

- NetID、SubID位全取1
- HostID位全取0

❖ 例如:

- A网的默认子网掩码为: 255.0.0.0
- B网的默认子网掩码为: 255.255.0.0
- C网的默认子网掩码为: 255.255.255.0
- 借用3比特划分子网的B网的子网掩码为: 255.255.224.0

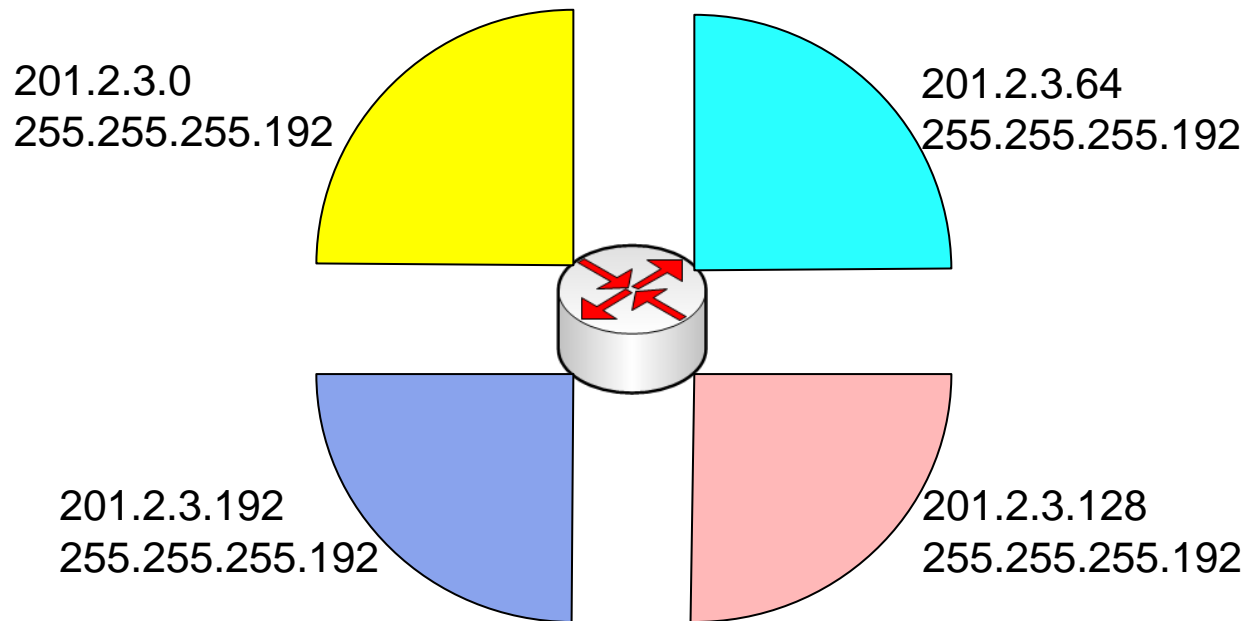


子网地址+子网掩码
→ 准确确定子网大小

子网划分

❖ 例如：

- 子网201.2.3.0，255.255.255.0，
划分为等长的4个子网



❖ 路由器如何确定应该将IP分组转发到哪个子网？

子网掩码的应用

❖ 将IP分组的目的IP地址与子网掩码按位与运算，提取子网地址

❖ 例如：

- 目的IP地址：172.32.1.112，子网掩码：255.255.254.0

$$\begin{array}{rcccc} 172.32.1.112 = & 10101100 & 00100000 & 00000001 & 01110000 \\ 255.255.254.0 = & 11111111 & 11111111 & 11111110 & 00000000 \\ \hline & 10101100 & 00100000 & 00000000 & 00000000 \\ & 172 & 32 & 0 & 0 \end{array}$$

- 子网地址：172.32.0.0(子网掩码：255.255.254.0)
- 地址范围：172.32.0.0~172.32.1.255
- 可分配地址范围：172.32.0.1~172.32.1.254
- 广播地址：172.32.1.255

一个C类网络划分子网举例

子网	SubID (二进制)	HostID取值范围 (二进制)	第4八位组取值范围 (十进制)
1#	000	00000 thru 11111	.0 thru .31
2#	001	00000 thru 11111	.32 thru .63
3#	010	00000 thru 11111	.64 thru .95
4#	011	00000 thru 11111	.96 thru .127
5#	100	00000 thru 11111	.128 thru .159
6#	101	00000 thru 11111	.160 thru .191
7#	110	00000 thru 11111	.192 thru .223
8#	111	00000 thru 11111	.224 thru .255

一个C类网络划分子网举例

子网	SubID (二进制)	HostID取值范围 (二进制)	第4八位组取值范围 (十进制)
1#	000	00000 thru 11111	.0 thru .31
2#	001	00000 thru 11111	.32 thru .63
3#	010	00000 thru 11111	.64 thru .95
4#	011	00000 thru 11111	.96 thru .127
5#	100	00000 thru 11111	.128 thru .159
6#	101	00000 thru 11111	.160 thru .191
7#	110	00000 thru 11111	.192 thru .223
8#	111	00000 thru 11111	.224 thru .255