



第十九章

网络层

逻辑寻址

19-1 IPv4 地址

IPv4 地址 是一个 **32-bit** 的地址，它唯一并通用地定义了一个连接在因特网上的设备（例如主机或是路由器）。

本节主题:

地址空间

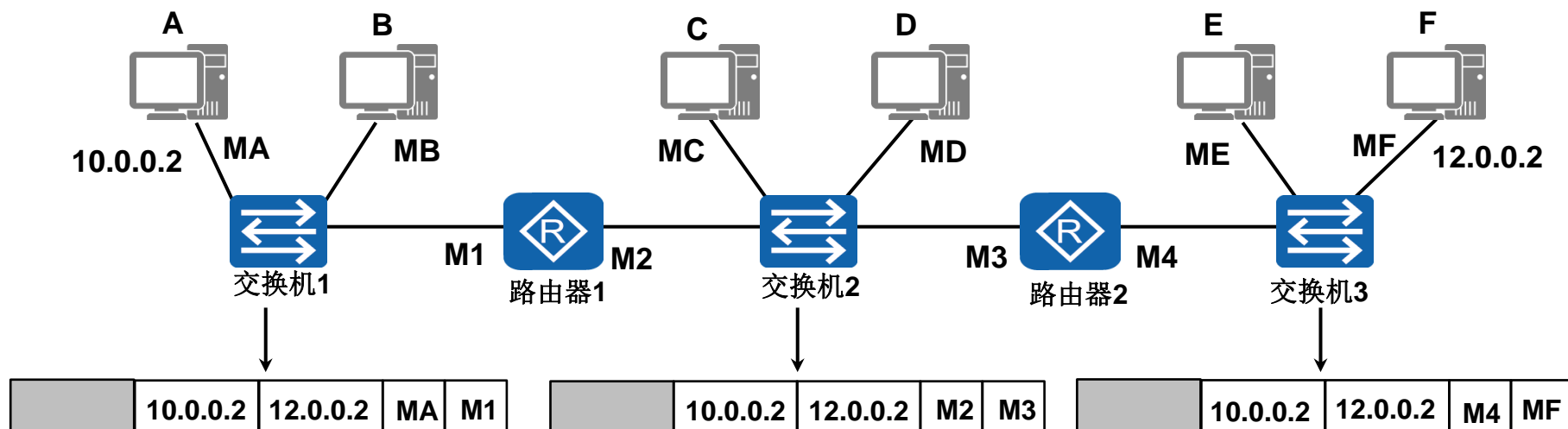
标记法

分类寻址

无类寻址

网络地址转换 (NAT)

为什么需要IP 地址？



数据报的目的IP地址决定了数据报到达哪个计算机，目标MAC地址决定了该数据报下一跳由哪个设备接收，不一定是终点。

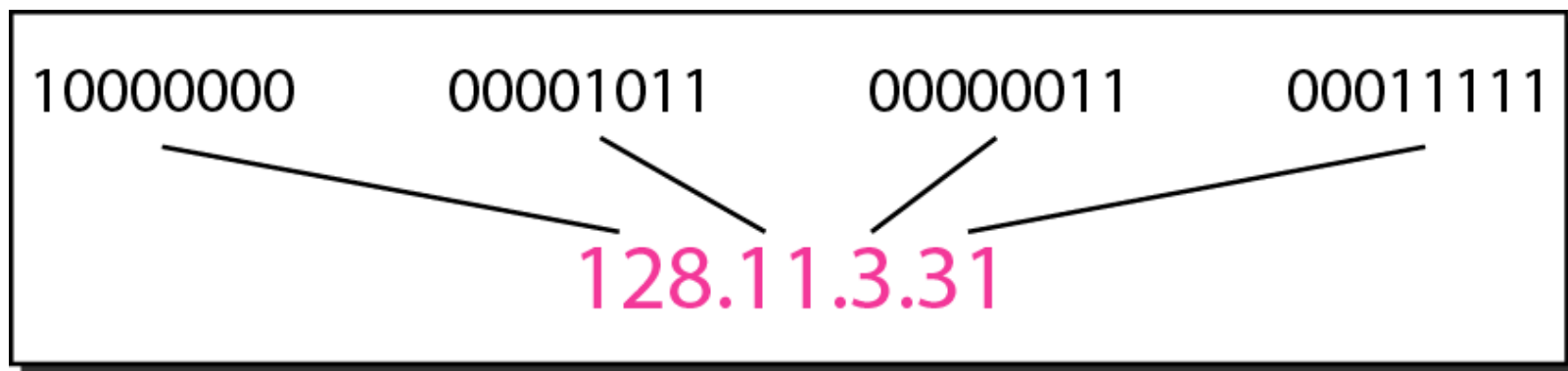
IP 地址及其表示方法

- 把整个因特网看成为一个单一的、抽象的网络。IP 地址就是给每个连接在因特网上的主机（或路由器）分配一个在全世界范围唯一的32位的标识符。
- IP地址由因特网名字与号码指派公司ICANN (Internet Corporation for Assigned Names and Numbers)进行分配。



- IPv4 地址是 32 位长。
- IPv4 地址是唯一的和通用的。
- IPv4 的地址空间是 2^{32} 。

Figure 19.1 IPv4地址二进制标记法和点分十进制标记法



IP 地址的编址方法

- 分类的 IP 地址。这是最基本的编址方法，在 1981 年就通过了相应的标准协议。
- 子网的划分。这是对最基本的编址方法的改进，其标准在 1985 年通过。
- 构成超网。这是比较新的无分类编址方法。1993 年提出后很快就得到推广应用。

分类的 IP 地址

- 在分类寻址中，地址空间被划为5类：
A、B、C、D和 E。
- 每一类地址都由两个固定长度的字段组成，其中一个字段是网络号 net-id，它标志主机（或路由器）所连接到的网络，而另一个字段则是主机号 host-id，它标志该主机（或路由器）。
- 两级的 IP 地址可以记为：

IP 地址 ::= { <网络号>, <主机号> }

Figure 19.2 以二进制和点分十进制标记法求类

	First byte	Second byte	Third byte	Fourth byte
Class A	0			
Class B	10			
Class C	110			
Class D	1110			
Class E	1111			

a. Binary notation

	First byte	Second byte	Third byte	Fourth byte
Class A	0-127			
Class B	128-191			
Class C	192-223			
Class D	224-239			
Class E	240-255			

b. Dotted-decimal notation

A类地址

- 网络号 ($2^7 - 2 = 126$)
 - 网络号字段为全 0 的IP地址为保留地址，意思为“本网络”。
 - 网络号为 127 (01111111) 保留作为本地软件环回测试 (loopback test) 本主机进程之间的通信之用。
- 主机号 ($2^{24} - 2$)
 - 全 0 的主机号字段表示该IP地址是“本主机”所连接到的单个网络地址。
 - 全 1 的主机号字段表示该网络上的所有主机。
- A类地址占有整个IP地址空间的50%。

B类地址

- 网络号 ($2^{14} - 1$)
 - 128.0.0.0不指派，因此可以指派的B类最小网络地址是128.1.0.0
- 主机号 ($2^{16} - 2$)
 - 去除全0和全1的主机号
- B类地址空间占整个IP空间的25%

C类地址

- 网络号 ($2^{21} - 1$)
 - 192.0.0.0不指派，可以指派的C类最小网络地址是192.0.1.0
- 主机号 ($2^8 - 2 = 254$)
 - 扣除全0和全1的主机号
- C类地址空间占整个IP空间的12.5%

常用的三种类别的 IP 地址

网络类别	最大网络数	第一个可用的网络号	最后一个可用的网络号	每个网络中最大的主机数
A	$126 (2^7 - 2)$	1	126	16,777,214
B	$16,383 (2^{14} - 1)$	128.1	191.255	65,534
C	$2,097,151 (2^{21} - 1)$	192.0.1	223.255.255	254

D类地址

D类地址被保留用于多播，多播可发送一个消息给同一多播组中的一组成员设备。在D类地址方案中，可以用28位来指定多播组，即有2.68亿（大约268 435 456）个可能的多播组。D类地址支持两种多播组，一种是永久多播地址，另外一种临时多播地址。

Example 19.4

求每个地址的类。

a. 00000001 00001011 00001011 11101111

b. 11000001 10000011 00011011 11111111

c. 14.23.120.8

d. 252.5.15.111

解

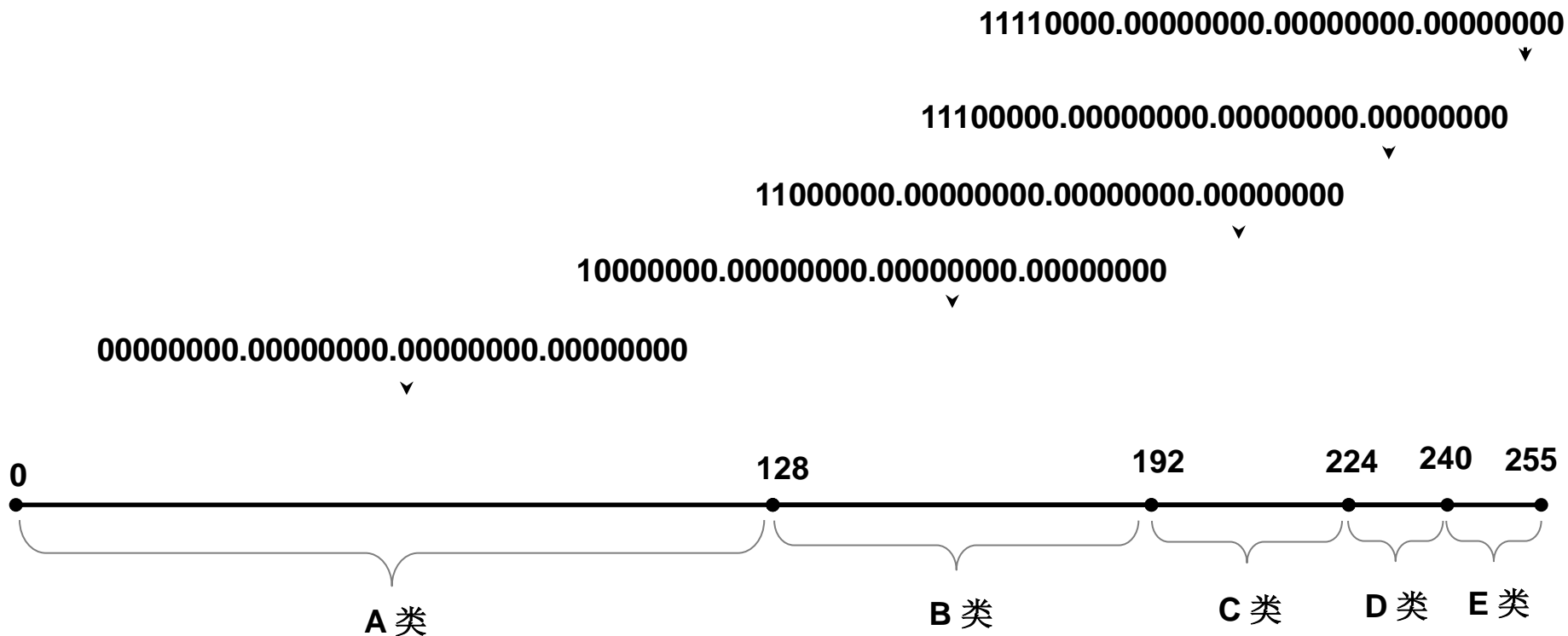
a. 第一位是 0，是A类地址。

b. 前2位是11，第三位是0，是C类地址。

c. 第一个字节是14（在0~127之间），是A类地址

d. 第一个字节是252（在240~255之间），是E类地址。

IP地址分类图



特殊IP地址

网络号	主机号	源地址使用	目的地址使用	意义
0	0	可以	不可	默认路径地址0.0.0.0，本网络上的本主机
0	host-id	可以	不可	本网络上的某个主机
全1	全1	不可	可以	广播地址255.255.255.255，只在本网络上广播（路由器不转发）
net-id	全1	不可	可以	特定子网的广播地址，对net-id上所有主机广播
127	非全0或全1的数	可以	可以	用作本地软件环回测试
169.254	0	可以	可以	主机无法获取IP地址时会自动配置地址169.254.x.x/16，使其可以通信

私有网络

在IP地址空间中，保留了几个用于私有网络的地址。私有网络地址通常应用于公司、组织和个人网络，它们没有置于因特网中，因特网上的路由器没有到私有网络的路由，在因特网上也不能访问私有地址，因而使用私网地址的计算机更安全，也节约了公网IP地址。用于私有网络的地址范围：

- A类：10.0.0.0～10.255.255.255
- B类：172.16.0.0～172.31.255.255
- C类：192.168.0.0～192.168.255.255

Table 19.1 IPv4分类寻址块的个数与每块的长度

<i>Class</i>	<i>Number of Blocks</i>	<i>Block Size</i>	<i>Application</i>
A	128	16,777,216	Unicast
B	16,384	65,536	Unicast
C	2,097,152	256	Unicast
D	1	268,435,456	Multicast
E	1	268,435,456	Reserved

- 在分类寻址中，大部分可用地址都被浪费了。
- 分类寻址的方法是采用地址类（固定数量的地址块）来分配，且每个地址块的长度固定。

两级IP地址

- 在 ARPANET 的早期，IP 地址的设计确实不够合理。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。

三级IP 地址

- 从 1985 年起在 IP 地址中又增加了一个“子网号字段”，使两级的 IP 地址变成为三级的 IP 地址。
- 这种做法叫作划分子网(subnetting)。划分子网已成为因特网的正式标准协议。

划分子网的基本思路

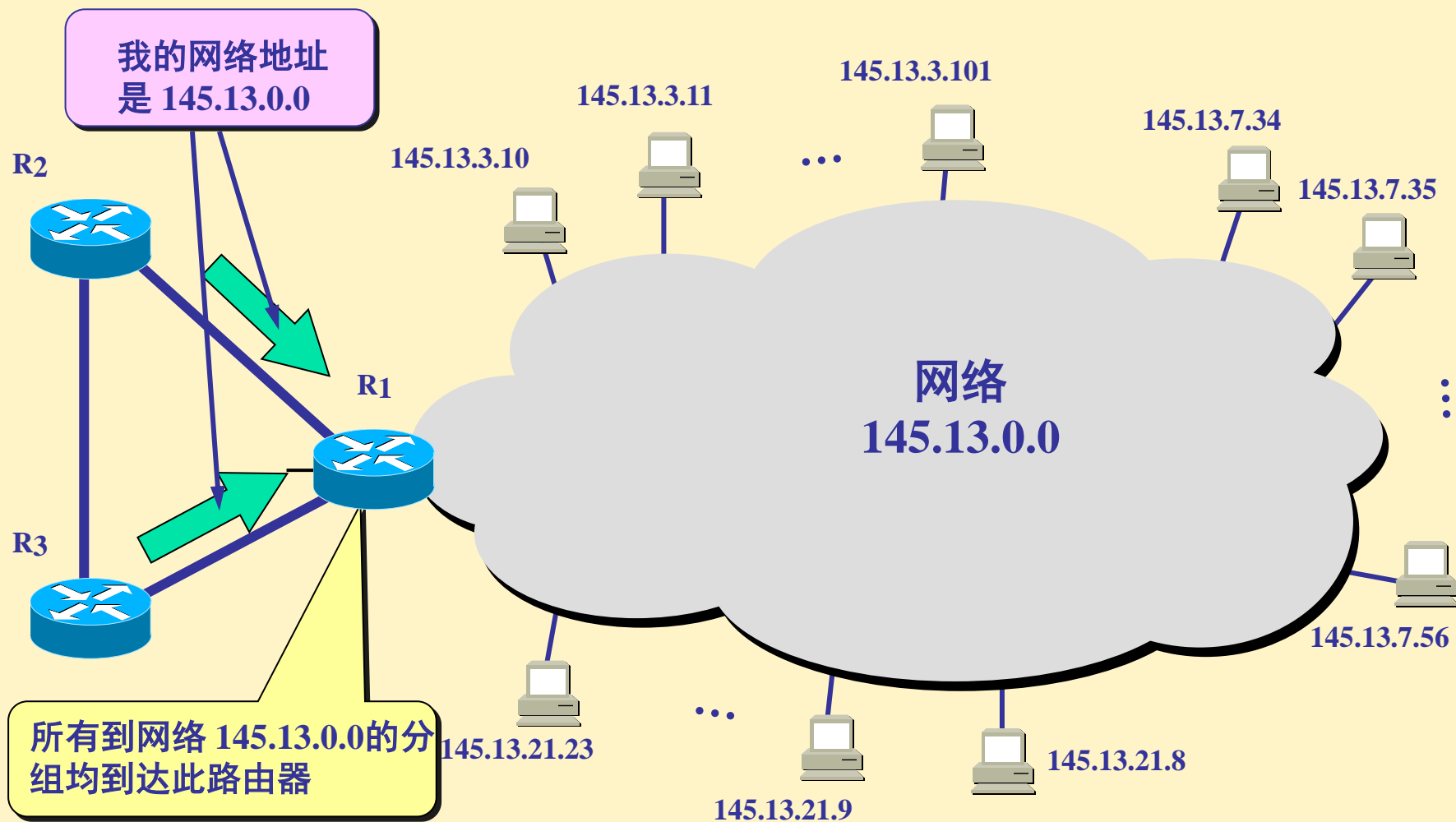
- 划分子网纯属一个单位内部的事情。单位对外仍然表现为没有划分子网的网络。
- 从主机号借用若干个位作为子网号 subnet-id, 而主机号 host-id 也就相应减少了若干个位。

IP地址 ::= {<网络号>, <子网号>, <主机号>}

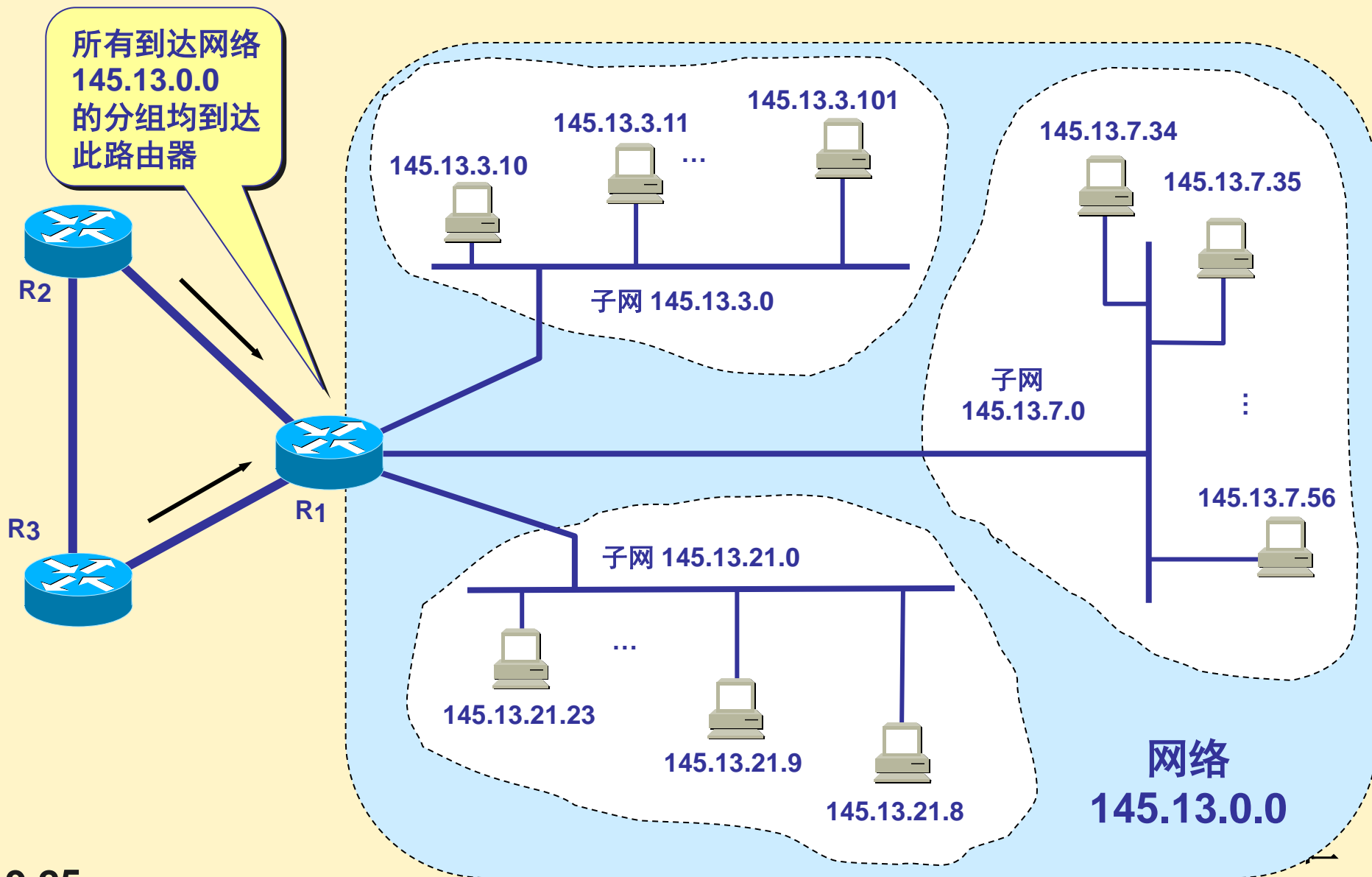
划分子网的基本思路

- 凡是从其他网络发送给本单位某个主机的IP数据报，仍然是根据 IP 数据报的**目的网络号**net-id，先找到连接在**本单位网络上的路由器**。
- 然后**此路由器**在收到 IP 数据报后，再按目的网络号 net-id 和子网号 subnet-id 找到目的子网。
- 最后就将 IP 数据报直接交付目的主机。

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



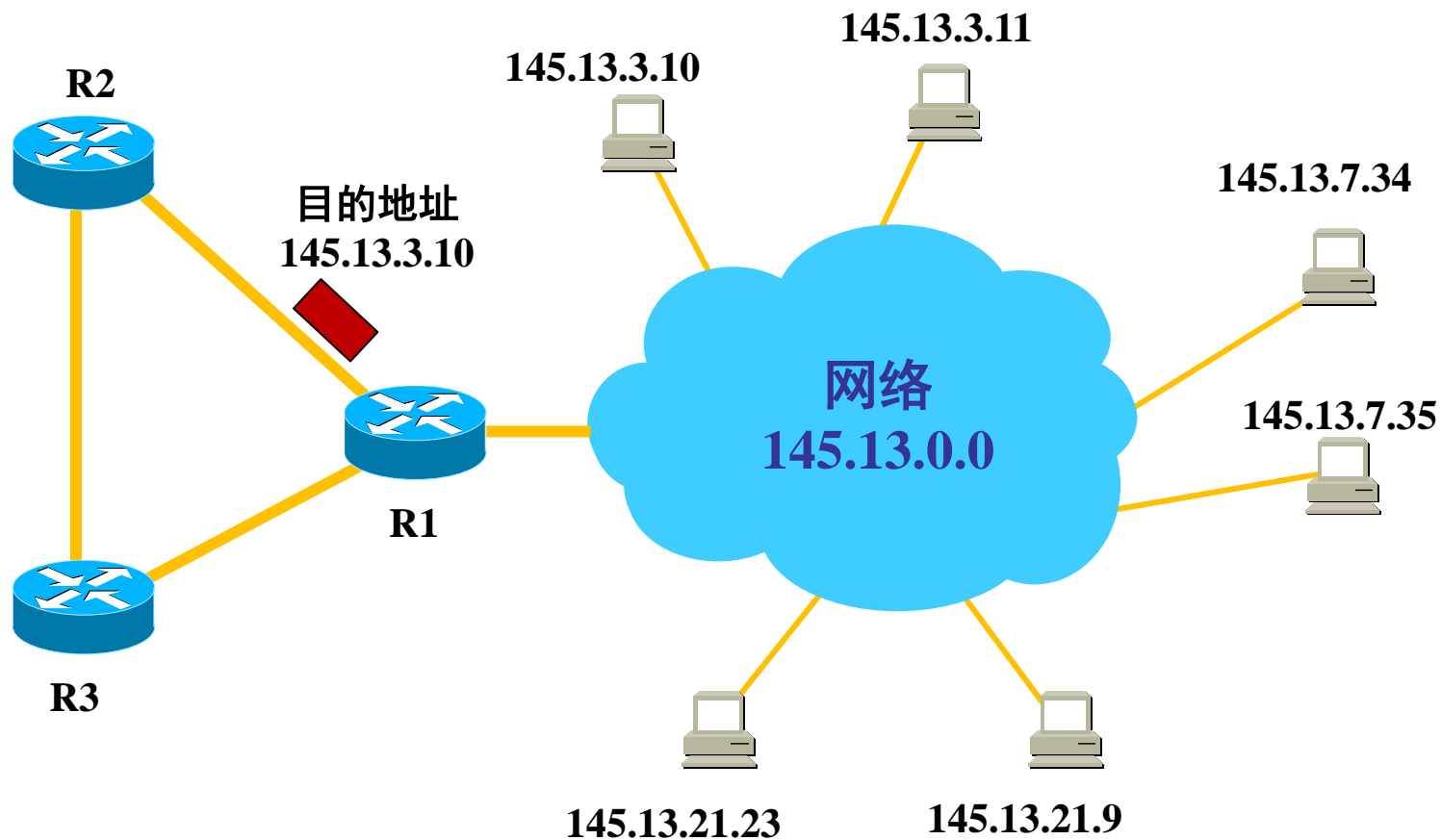
划分子网后变成了三级结构

- 当没有划分子网时，IP 地址是两级结构。
- 划分子网后 IP 地址就变成了三级结构。
- 划分子网只是把 IP 地址的主机号 host-id 这部分进行再划分，而不改变 IP 地址原来的网络号 net-id。

子网掩码(subnet mask)

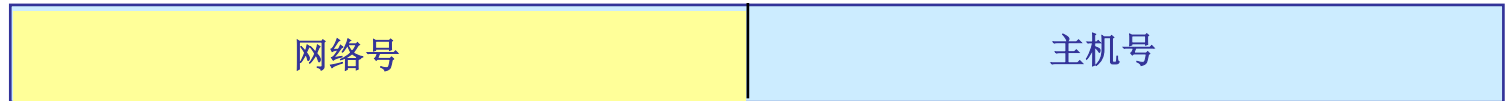
- 从一个 IP 数据报的首部并无法判断源主机或目的主机所连接的网络是否进行了子网划分。
- 使用子网掩码可以找出 IP 地址中的子网部分。

利用子网掩码判别属于哪个子网



(IP 地址) AND (子网掩码) = 网络地址

两级 IP 地址



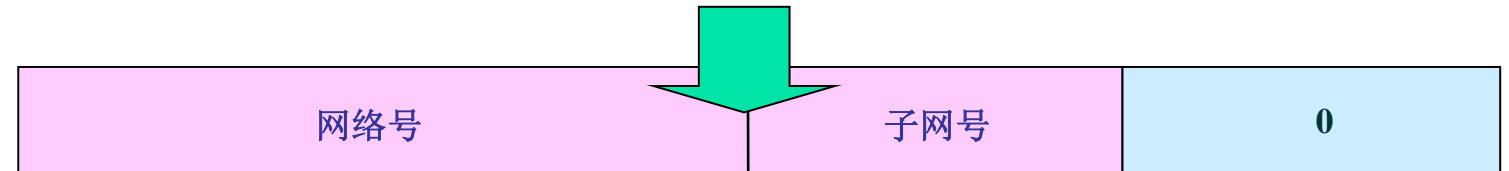
三级 IP 地址



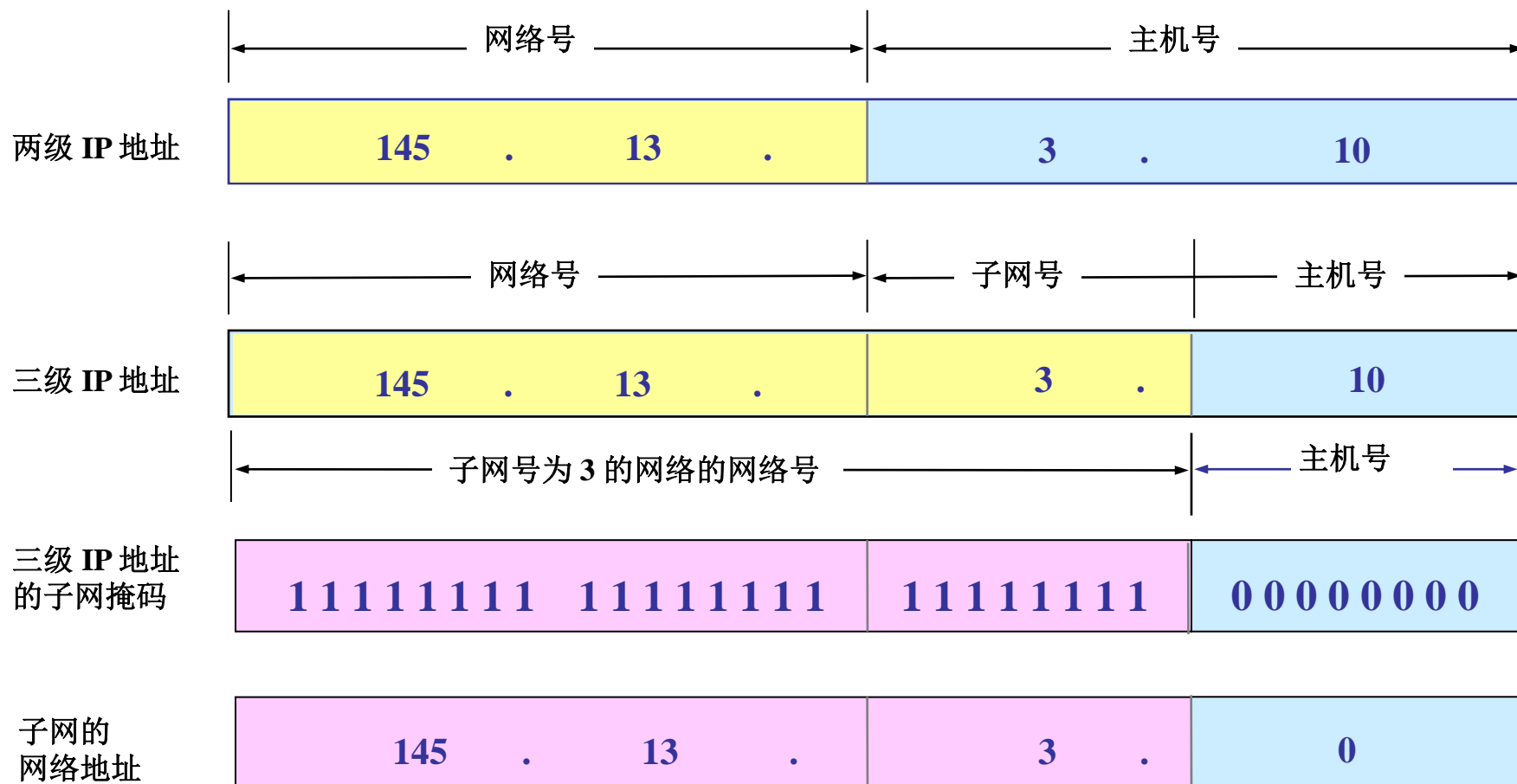
三级 IP 地址
的子网掩码



子网的
网络地址



IP 地址的各字段和子网掩码

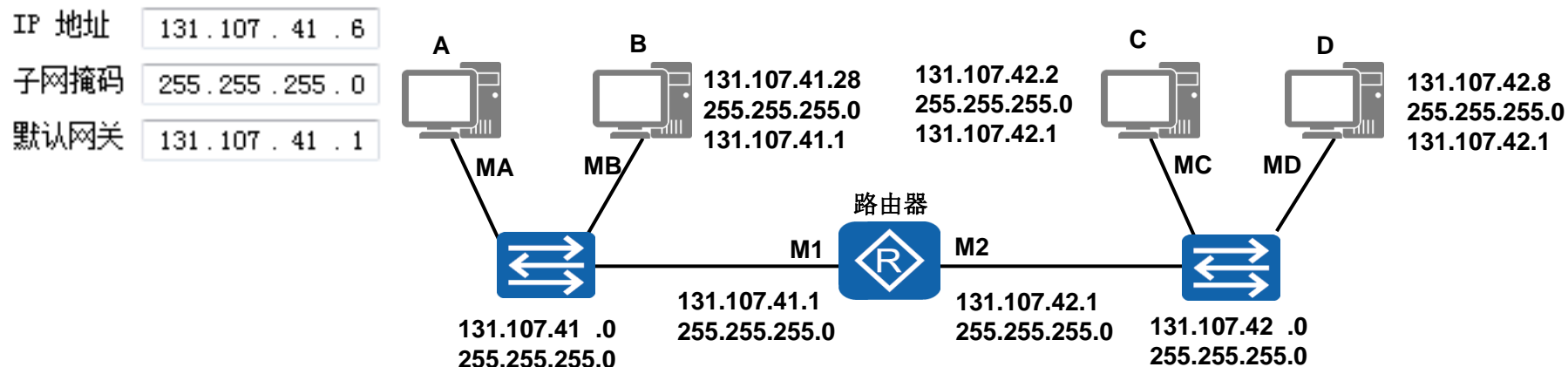


默认子网掩码

Table 19.2 分类寻址的默认掩码

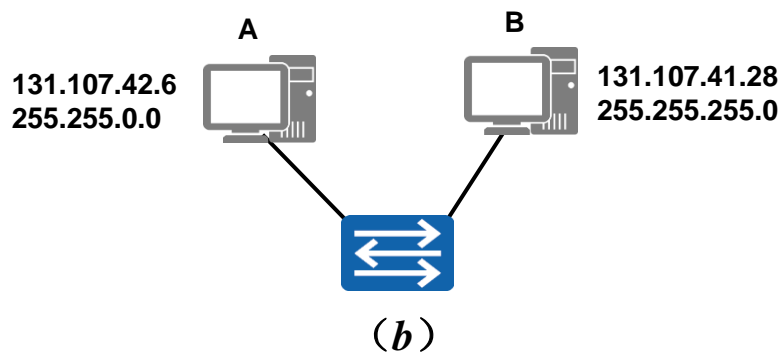
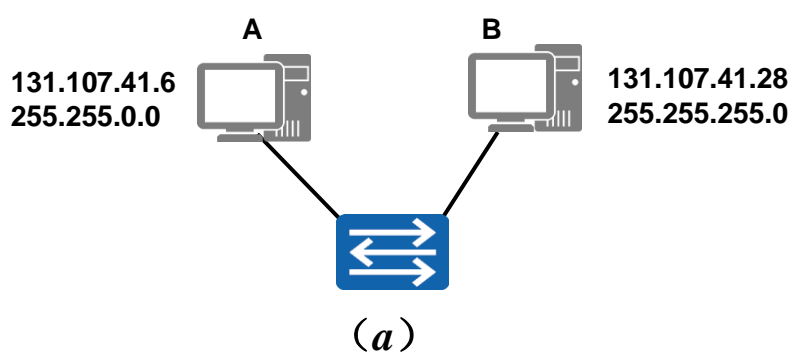
<i>Class</i>	<i>Binary</i>	<i>Dotted-Decimal</i>	<i>CIDR</i>
A	11111111 00000000 00000000 00000000	255 .0.0.0	/8
B	11111111 11111111 00000000 00000000	255.255 .0.0	/16
C	11111111 11111111 11111111 00000000	255.255.255 .0	/24

子网掩码和网关的作用



- ◆ 计算机在通信时，首先判定目标地址和自己是否在同一网段。先用自己的子网掩码与自己的IP地址进行“与”运算得到自己所在的网段，再用自己的子网掩码与目标地址进行“与”运算，判断得到的目标地址网络部分与自己所在网段是否相同；
- ◆ 如果得到的两个网段不相同，说明不在一个网段，封装帧时以网关的MAC地址作为目标MAC地址，交换机就会将帧转发给路由器接口；
- ◆ 如果得到的两个网段相同，说明在同一个网段，封装帧时直接使用目标IP地址的MAC地址作为目标MAC地址，直接将帧发送给目标IP地址。

子网掩码在通信中的作用



- ◆ (a) A的地址和自己的掩码“与”得到自己所在网段是131.107.0.0，A的掩码与目标B的地址“与”之后得到同样的网段，因此A可以直接把帧发送给B；当B给A发送返回的数据包时，B的地址与自己的掩码得到网段是131.107.41.0，B的掩码与A的地址相“与”得到相同的网段，所以B也可以直接把帧发送给A。由此实现了A与B的互通。
- ◆ (b) A的地址和自己的掩码“与”得到自己所在网段是131.107.0.0，A的掩码与目标B的地址“与”之后得到同样的网段，因此A可以直接把帧发送给B；当B给A发送返回的数据包时，B的地址与自己的掩码得到网段是131.107.41.0，而B的掩码与A的地址相“与”得到的网段是131.107.42.0，属于不同网段。如果B没有设置网关，就不知道如何把数据包发送到A。由此A可以发送数据包给B，但是B不能发送返回的数据包，网络不通。

无分类编址 CIDR（Classless Inter-Domain Routing）

- 划分子网在一定程度上缓解了因特网在发展中遇到的困难，但是目前互联网编号分配机构IANA再无IPv4地址可以分配给网络服务提供商，2012年所有的IPv4地址空间已分配给全球五大区域互联网注册机构。2011年亚太区互联网注册机构分配了最后一个IPv4区块，2014年拉丁美洲和加勒比海区分配了最后一个IPv4区块，2015年北美区分配了最后一个IPv4区块，2019年欧洲区也全部分配完毕。
- 因特网主干网上的路由表中的项目数急剧增长（从几千个增长到几万个）。

IP 编址问题的演进

- 1987 年，RFC 1009 就指明了在一个划分子网的网络中可同时使用几个不同的子网掩码。使用变长子网掩码 VLSM (Variable Length Subnet Mask)可进一步提高 IP 地址资源的利用率。
- 在 VLSM 的基础上又进一步研究出无分类编址方法，它的正式名字是无分类域间路由选择CIDR (Classless Inter-Domain Routing)。

CIDR的主要特点

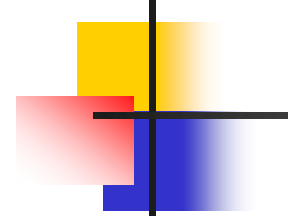
- CIDR 消除了传统的 A 类、B 类和 C 类地址以及划分子网的概念，因而可以更加有效地分配 IPv4 的地址空间。
- CIDR 使用各种长度的“网络前缀” (network-prefix) 来代替分类地址中的网络号和子网号。
- IP 地址从三级编址（使用子网掩码）又回到了两级编址。

无分类的两级编址

- 无分类的两级编址的记法是：

$$\text{IP地址} ::= \{ \langle \text{网络前缀} \rangle, \langle \text{主机号} \rangle \}$$

- CIDR 还使用“**斜线记法**” (slash notation), 又称为**CIDR记法**, 即在 IP 地址后面加上一个斜线 “/”, 然后写上网络前缀所占的位数 (这个数值对应于三级编址中子网掩码中 1 的个数)。
- CIDR 把网络前缀都相同的连续的 IP 地址组成“**CIDR 地址块**”。

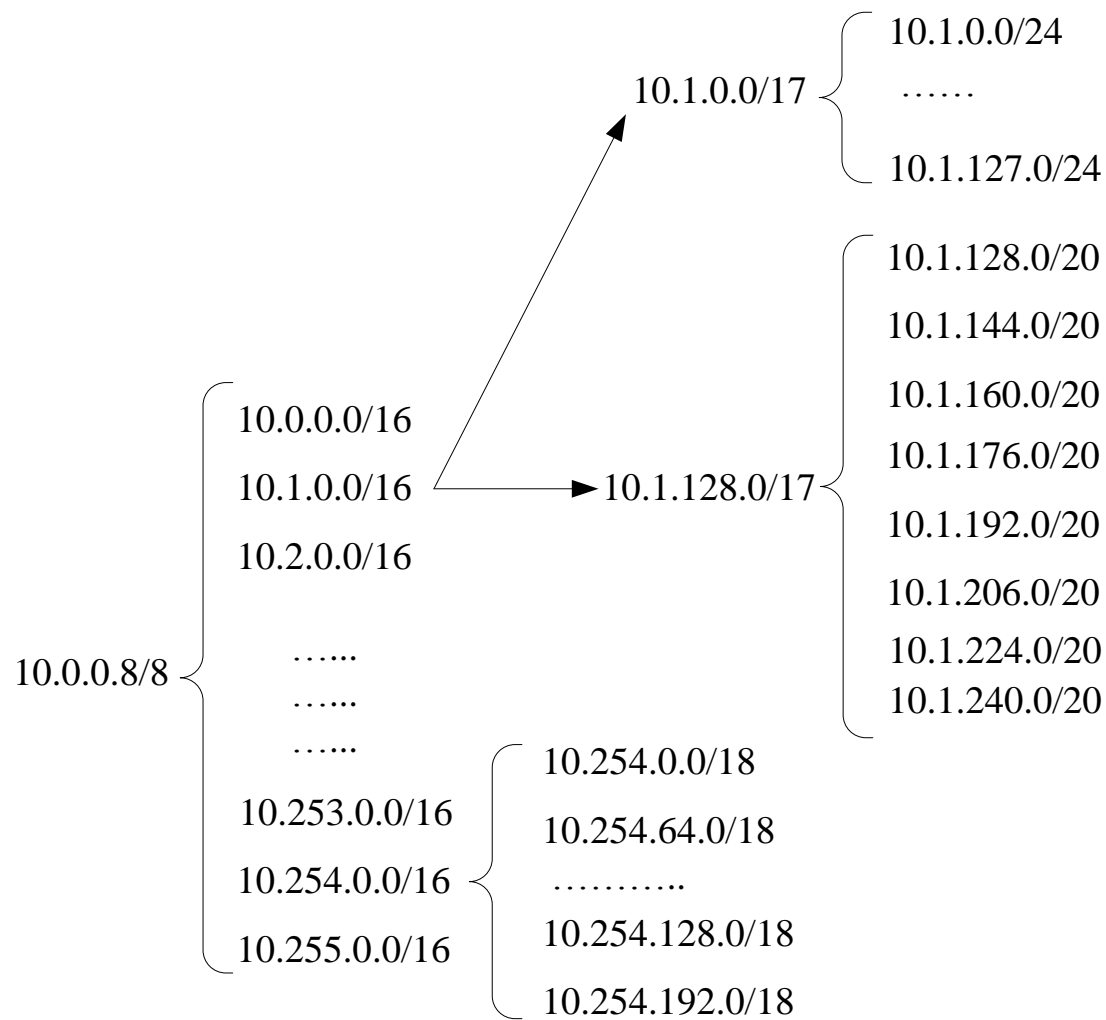


注意

这时的分类寻址被无类寻址所取代。

1. 块中的地址必须是连续的；
2. 块中的地址个数必须是2的整数次幂；
3. 块的起始地址必须能被块的个数整除。

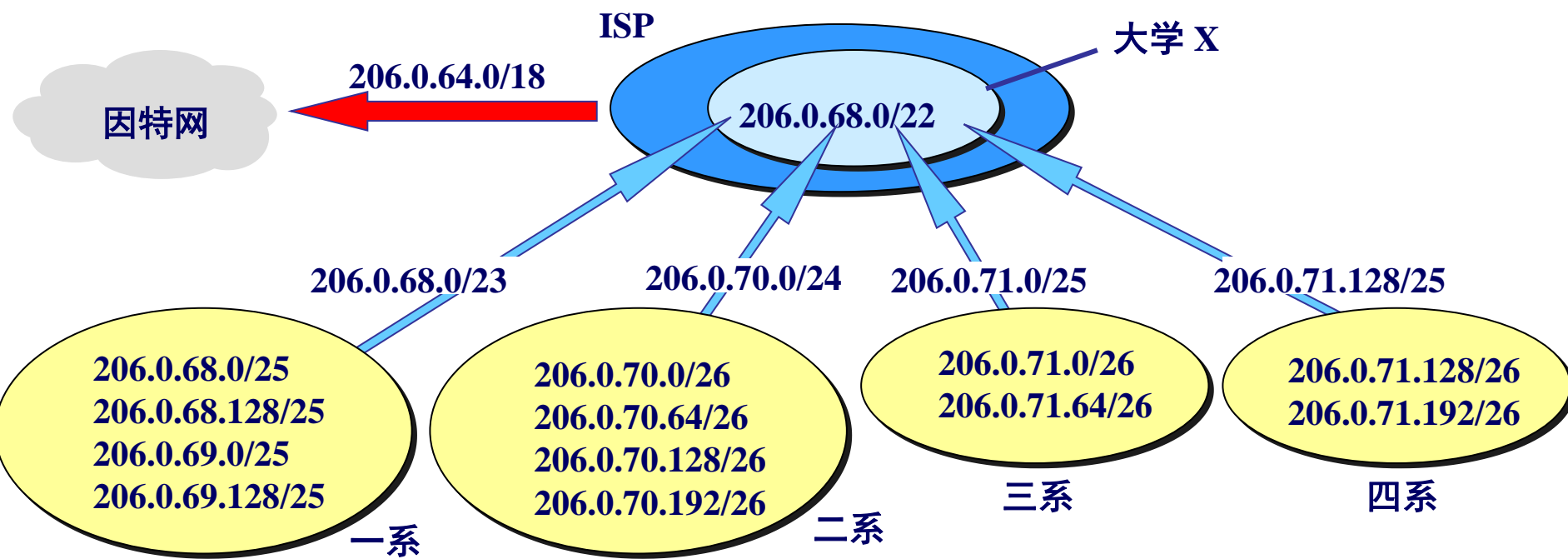
可变长子网掩码 VLSM



常用的CIDR地址块

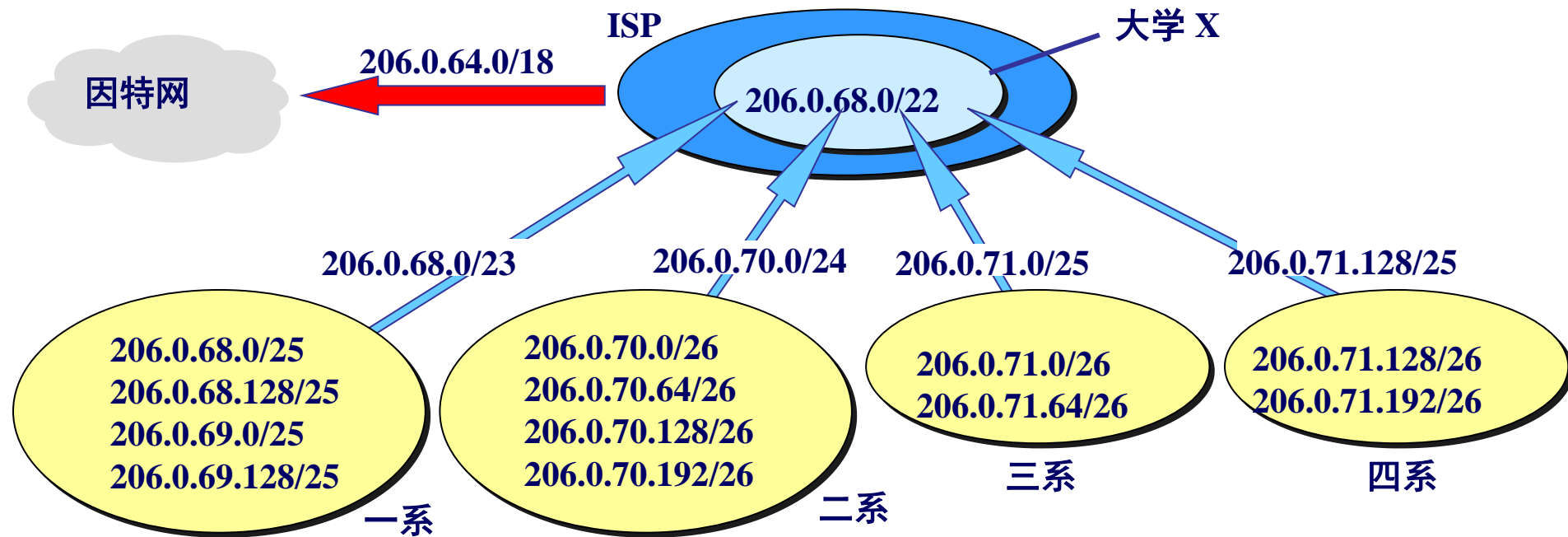
CIDR前缀长度	点分十进制	包含的地址数	相当于包含分类的网络数
/13	255.248.0.0	512K	8个B类或2048个C类
/14	255.252.0.0	256K	4个B类或1024个C类
/15	255.254.0.0	128K	2个B类或512个C类
/16	255.255.0.0	64K	1个B类或256个C类
/17	255.255.128.0	32K	128个C类
/18	255.255.192.0	16K	64个C类
/19	255.255.224.0	8K	32个C类
/20	255.255.240.0	4K	16个C类
/21	255.255.248.0	2K	8个C类
/22	255.255.252.0	1K	4个C类
/23	255.255.254.0	512	2个C类
/24	255.255.255.0	256	1个C类
/25	255.255.255.128	128	1/2个C类
/26	255.255.255.192	64	1/4个C类
/27	255.255.255.224	32	1/8个C类

CIDR 地址块划分举例



单位	地址块	二进制表示	地址数
ISP	206.0.64.0/18	11001110.00000000.01*	16384
大学	206.0.68.0/22	11001110.00000000.010001*	1024
一系	206.0.68.0/23	11001110.00000000.0100010*	512
二系	206.0.70.0/24	11001110.00000000.01000110.*	256
三系	206.0.71.0/25	11001110.00000000.01000111.0*	128
四系	206.0.71.128/25	11001110.00000000.01000111.1*	128

CIDR 地址块划分举例



这个 ISP 共有 64 个 C 类网络。如果不采用 CIDR 技术，则在与该 ISP 的路由器交换路由信息的每一个路由器的路由表中，就需要有 64 个项目。但采用地址聚合后，只需用路由聚合后的 1 个项目 206.0.64.0/18 就能找到该 ISP。

Example 19.6

分配给某一小型组织机构一个地址块，我们已知块中一个地址是205.16.37.39/28，求该块的起始地址？

解：

已知地址的二进制表示是

11001101 00010000 00100101 00100111

如果置最右边32-28位都是0，则得到块的起始地址

11001101 00010000 00100101 00100000

或

205.16.37.32

这个块的实际情况，如图 19.3所示。

Example 19.7

求例 19.6中的最后地址。

解：

已知地址的二进制表示是

11001101 00010000 00100101 00100111

如果置最右边32-28位都是1，则得到块的最后地址

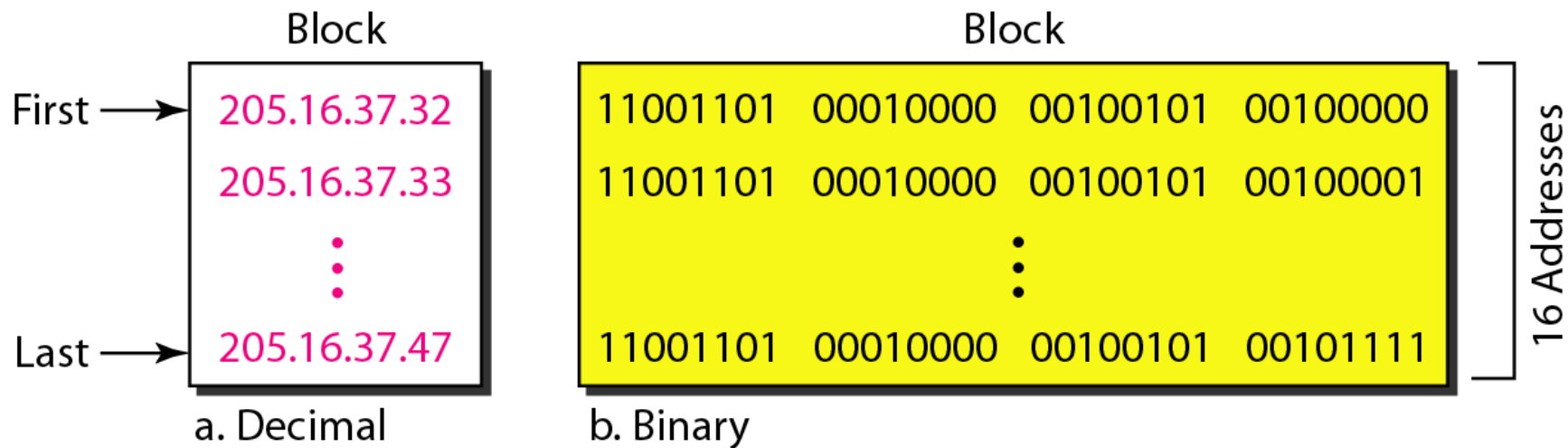
11001101 00010000 00100101 00101111****

或

205.16.37.47

这个块的实际情况，如图 19.3所示。

Figure 19.3 分配给一个小型组织机构 16个地址的块





注意

- 块中地址的个数可简单用公式 2^{32-n} 求得。
- 块中的起始地址通常不分配给任何设备，用做表示该组织的网络地址；
- 块中的最后地址通常不分配给任何设备，用来做广播地址。

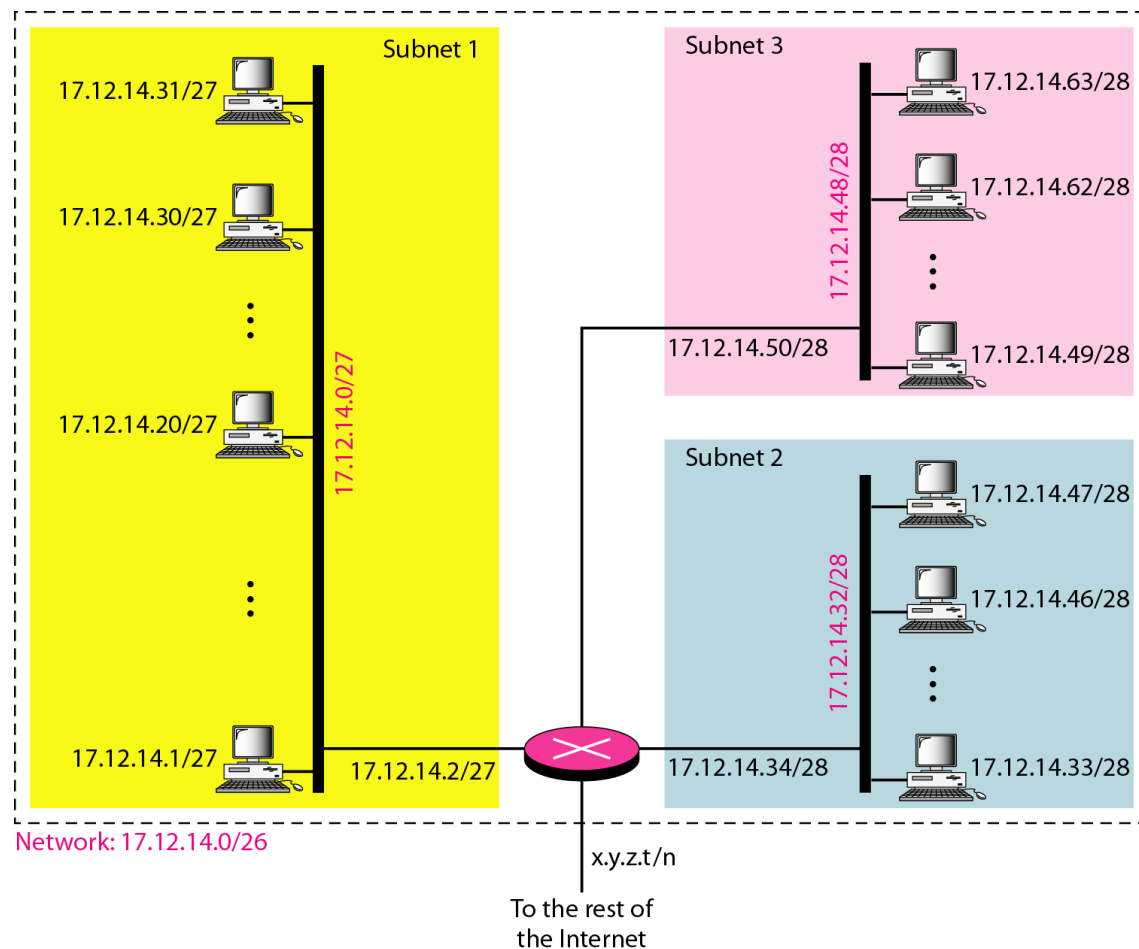


Example 19.5

图19.3 表示了给一个小型商业公司分配一个由16个地址组成的地址块，用二进制标记法和点分十进制标记法表示。

我们可以看见对这个块实施了限制。地址都是连续的，地址的个数是2的次幂 ($16 = 2^4$)，而起始地址可用16整除。起始地址转换成十进制数是3,440,387,360，当它被16除时，商是215,024,210。

Figure 19.7 一个子网化网络中的配置和地址



已给一个组织分配了17.12.14.0/26的地址块，该组织有3个部门，需要划分为32、16和16个地址的子块。

CIDR 地址块划分举例

例：某单位分配到一个 B 类 IP 地址，其 net-id 为 129.250.0.0。该单位有 4000 台机器，平均分布在 16 个不同的地点。如选用子网掩码为 255.255.255.0，试给每一地点分配一个子网号码，并计算出每个地点主机号码的最小值和最大值。

解： $4000/16=250$ ，平均每个地点 250 台机器。

如选 255.255.255.0 为掩码，则每个网络所连主机数为 $2^8 - 2 = 254 > 250$ ，共有子网数 $2^8 = 256$ ，能满足实际需求。

地点	子网号	子网网络号	主机IP的最小值和最大值
■ 1:	00000001	129.250.1.0	129.250.1.1 --- 129.250.1.254
■ 2:	00000010	129.250.2.0	129.250.2.1 --- 129.250.2.254
■ 3:	00000011	129.250.3.0	129.250.3.1 --- 129.250.3.254
■ 4:	00000100	129.250.4.0	129.250.4.1 --- 129.250.4.254
■ 5:	00000101	129.250.5.0	129.250.5.1 --- 129.250.5.254
■ 6:	00000110	129.250.6.0	129.250.6.1 --- 129.250.6.254
■ 7:	00000111	129.250.7.0	129.250.7.1 --- 129.250.7.254
■ 8:	00001000	129.250.8.0	129.250.8.1 --- 129.250.8.254
■ 9:	00001001	129.250.9.0	129.250.9.1 --- 129.250.9.254
■ 10:	00001010	129.250.10.0	129.250.10.1---129.250.10.254
■ 11:	00001011	129.250.11.0	129.250.11.1---129.250.11.254
■ 12:	00001100	129.250.12.0	129.250.12.1---129.250.12.254
■ 13:	00001101	129.250.13.0	129.250.13.1---129.250.13.254
■ 14:	00001110	129.250.14.0	129.250.14.1---129.250.14.254
■ 15:	00001111	129.250.15.0	129.250.15.1---129.250.15.254
■ 16:	00010000	129.250.16.0	129.250.16.1---129.250.16.254

IP地址的计算举例

例：假定从196.16.0.0开始有大量连续的IP地址可以使用。现在四个组织A、B、C和D按照顺序依次申请4000、2000、4000和8000个地址。对于每一个申请，请写出所分配的第一个IP地址、最后一个IP地址以及掩码。

- 196.16.0000**0**0000.000000000
- 196.16.000**10**000.000000000
- 196.16.00**10**0000.000000000
- 196.16.0**10**00000.000000000

- A: 196.16.0.1 — 196.16.15.254 255.255.240.0**
- B: 196.16.16.1 — 196.16.23.254 255.255.248.0**
- C: 196.16.32.1 — 196.16.47.254 255.255.240.0**
- D: 196.16.64.1 — 196.16.95.254 255.255.224.0**

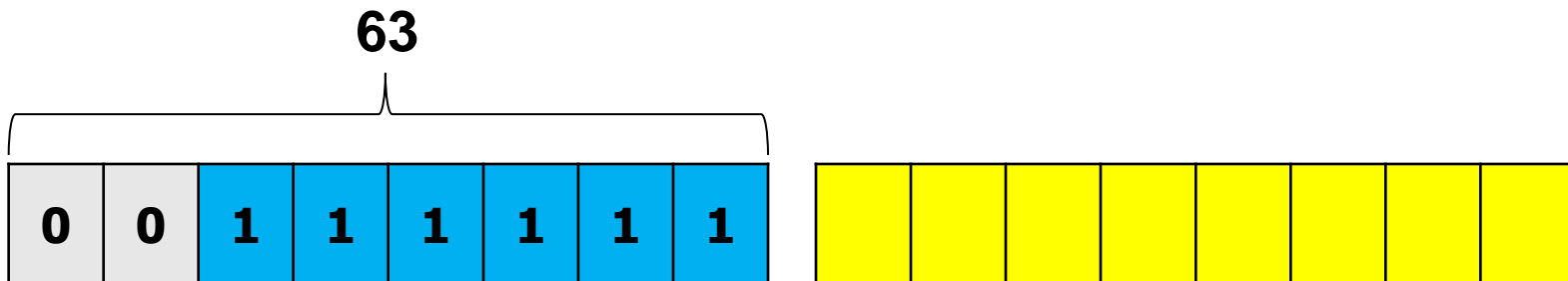
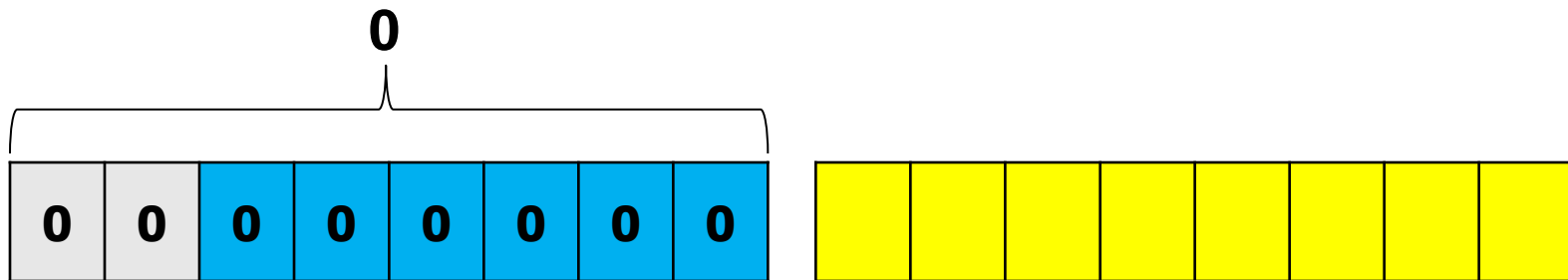
Example 19.10

给一个 ISP 分配了起始地址为 190.100.0.0/16 (65,536 个地址)的地址块。ISP需要按如下给3组客户分发这些地址：

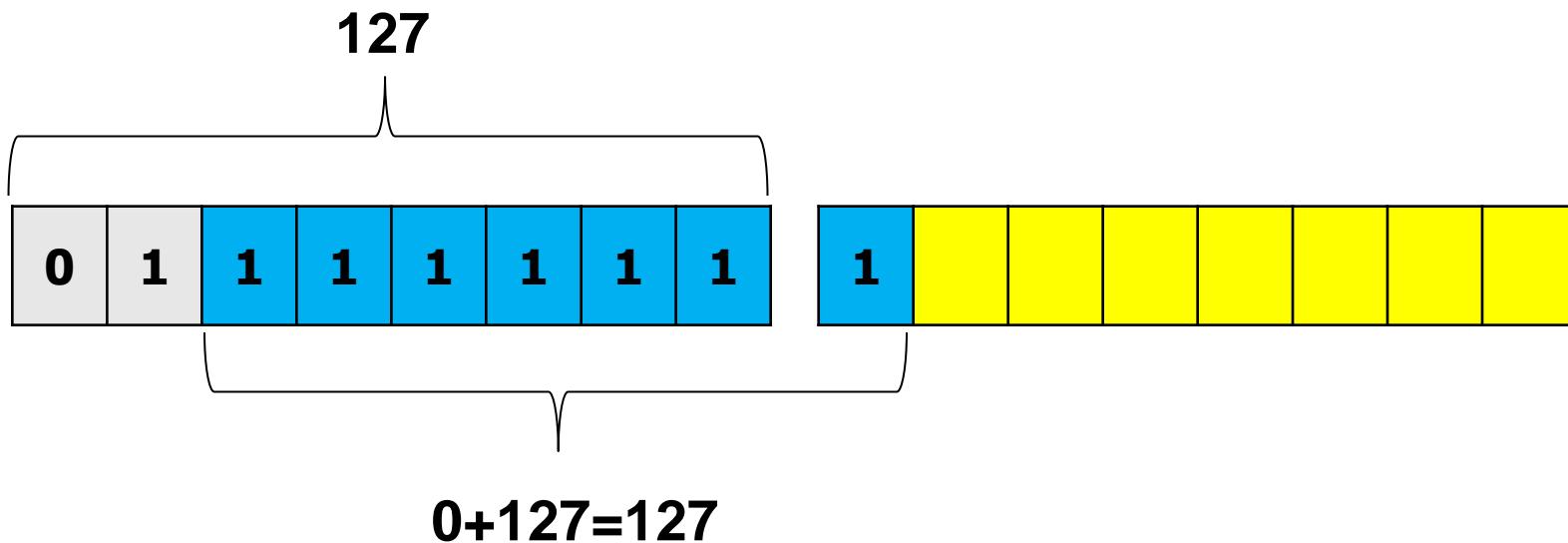
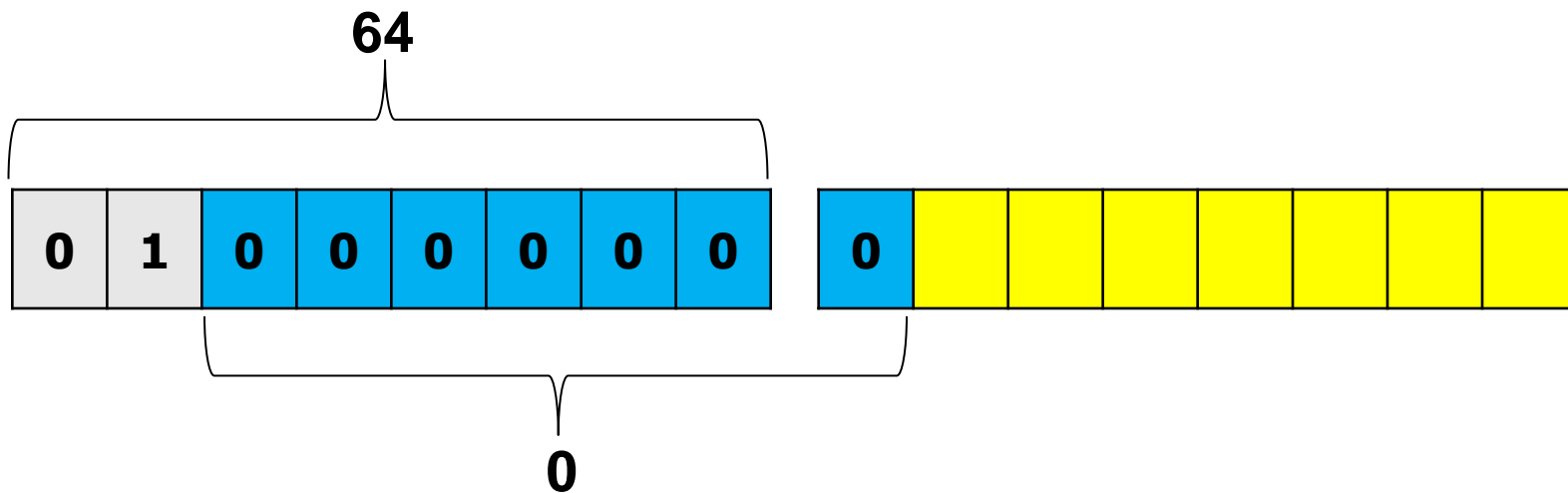
- a.** 第一组有64个客户，每个需要256个地址；
- b.** 第二组有128个客户，每个需要128个地址；
- c.** 第三组有128个客户，每个需要64个地址。

如果要求没有地址浪费，请设计这些子块。

1. 客户6位，主机8位—— 客户：190.100.0.0 ~ 190.100.63.0/24
主机：190.100.0.0 ~ 190.100.63.255/24



2. 客户7位，主机7位 —— 客户：190.100.64.0 ~ 190.100.127.128/25
主机：190.100.64.0 ~ 190.100.127.255/25



3. 客户7位，主机6位 —— 客户：190.100.128.0 ~ 190.100.159.192/26
主机：190.100.128.0 ~ 190.100.159.255/26

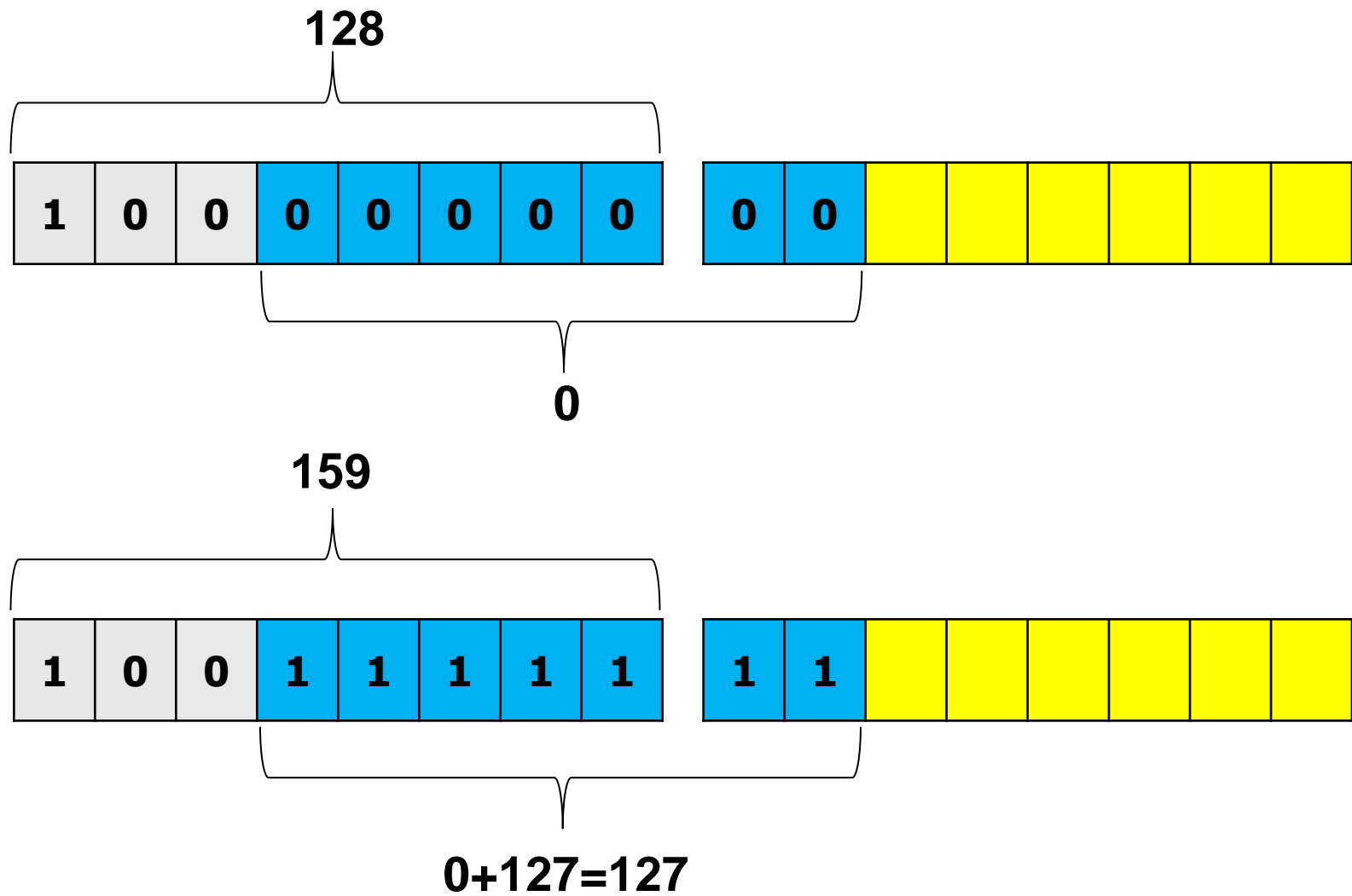
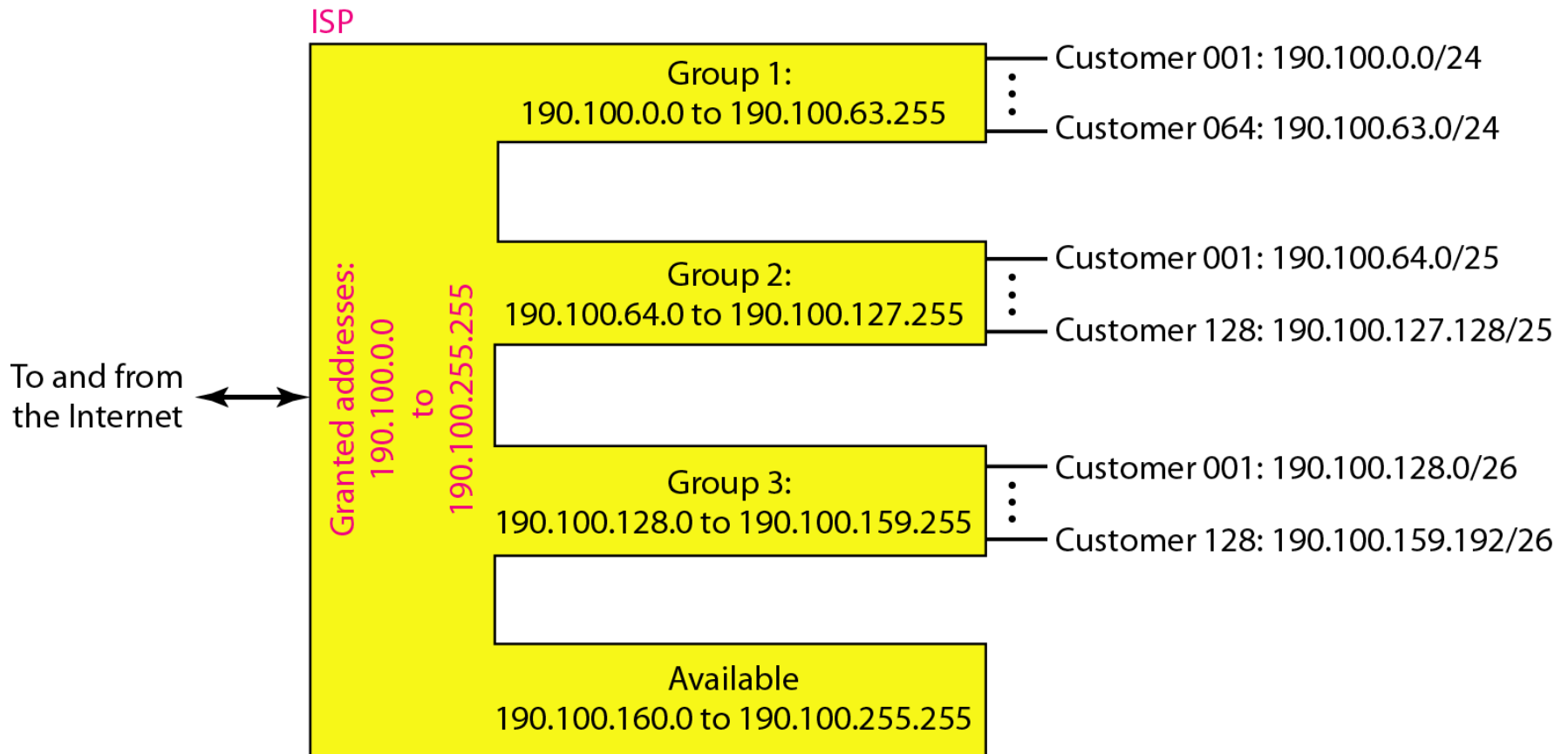
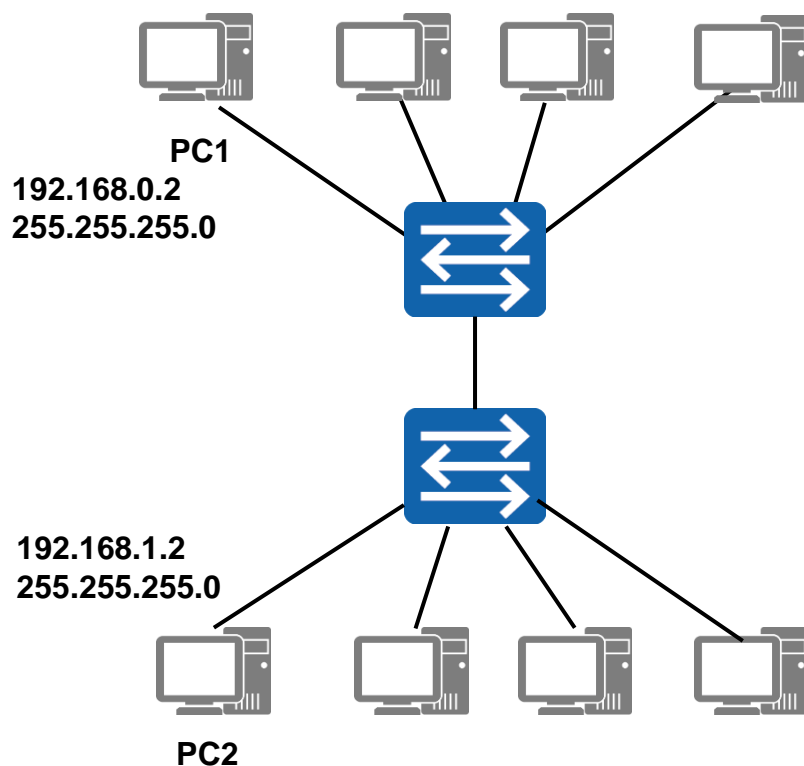


Figure 19.9 由 ISP 分配和分发地址的例子



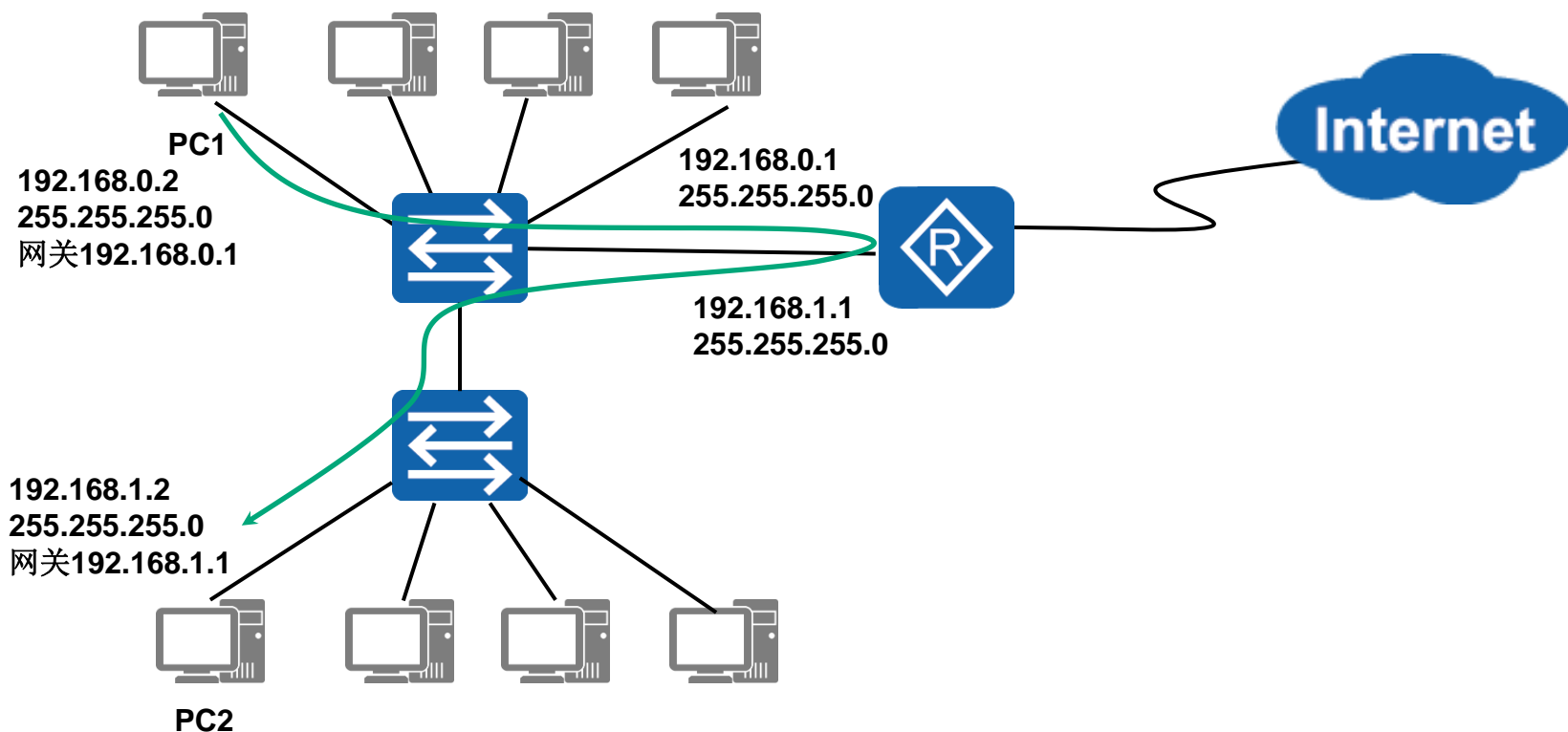
使用超网合并网段

某公司有一个网段192.168.0.0/24，该网段有200台计算机，后来公司计算机数量增加到400台。此时一个C类网段已经不够用，考虑增加一个C类网络192.168.1.0/24，并增加一台交换机。



使用超网合并网段

此时两个网段的计算机在物理上处于一个网段，但是IP地址却没在一个网段，即逻辑上不在一个网段。如果让这些计算机之间能够通信，考虑在路由器接口添加这两个C类网络的地址作为这两个网段的网关。但是在这种情况下，这些本来物理上在一个网段的计算机之间进行通信，就需要路由器转发，效率不高。



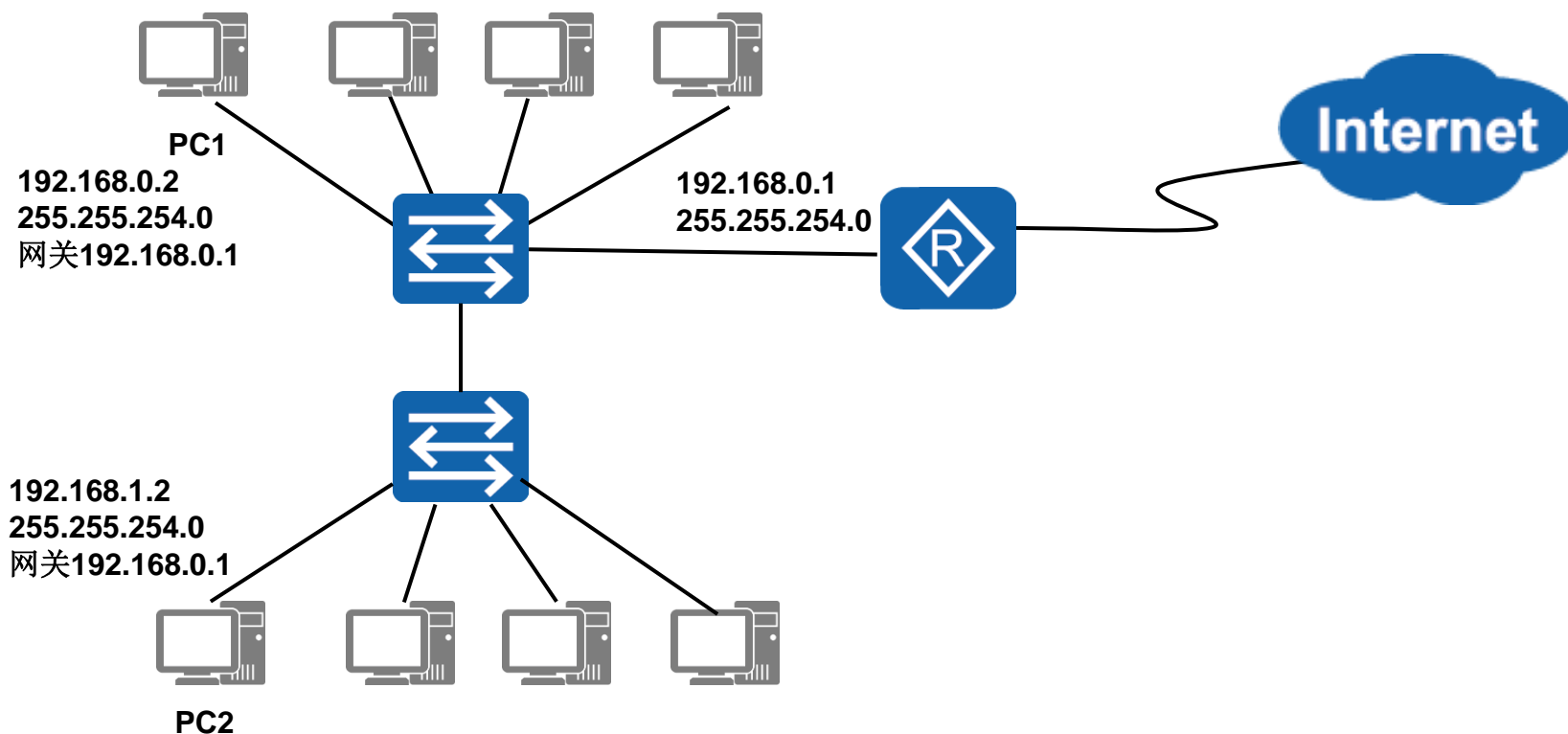
使用超网合并网段

比较好的办法就是将192.168.0.0/24和192.168.1.0/24这两个C类网络合并。合并后的网段为192.168.0.0/23，子网掩码为255.255.254.0，可用地址为192.168.0.1~ 192.168.1.254。

网络地址						主机地址							
192	168	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
192	168	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
11111111	11111111	1	1	1	1	1	1	1	0	0	0	0	0
255	255	254						0					

使用超网合并网段

合并后更改网络中计算机的IP地址配置与路由器接口配置。这种方法本质是通过把1位网络地址位用作主机地址位而实现了网络的扩容。



网络地址转换 NAT (Network Address Translation)

由于IPv4地址空间不足，网络地址转换技术作为一种能够解决IPv4地址短缺的解决方案而被广泛应用。网络地址转换也称为网络掩蔽或者IP掩蔽，是一种在IP数据包通过路由器或防火墙时重写源IP地址或目的IP地址的技术。这种技术被普遍使用在拥有多台主机但只通过一个或少量公有IP地址访问Internet的私有网络中。

专用地址和全球地址

- **专用地址**——仅在机构内部使用的 IP 地址，可以由本机构自行分配，而不需要向因特网的管理机构申请。
- **全球地址**——全球唯一的IP地址，必须向因特网的管理机构申请。

Table 19.3 专用网络地址

<i>Range</i>			<i>Total</i>
10.0.0.0	to	10.255.255.255	2^{24}
172.16.0.0	to	172.31.255.255	2^{20}
192.168.0.0	to	192.168.255.255	2^{16}

专用地址（私有地址）

- 专用地址只能用于一个机构的内部通信，而不能用于和因特网上的主机通信。
- 专用地址只能用作本地地址而不能用作全球地址。在因特网中的所有路由器，对目的地址是专用地址的数据报一律不进行转发。
- 采用专用IP地址的网络称为专用互联网、本地互联网或专用网。专用IP地址也称为可重用地址。

Figure 19.10 NAT实现

Site using private addresses

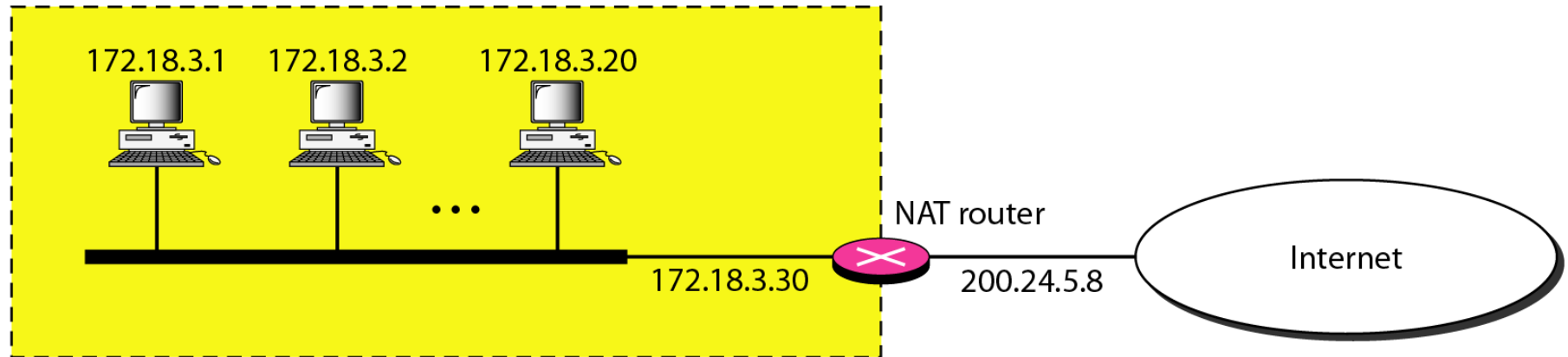


Figure 19.11 NAT中的地址

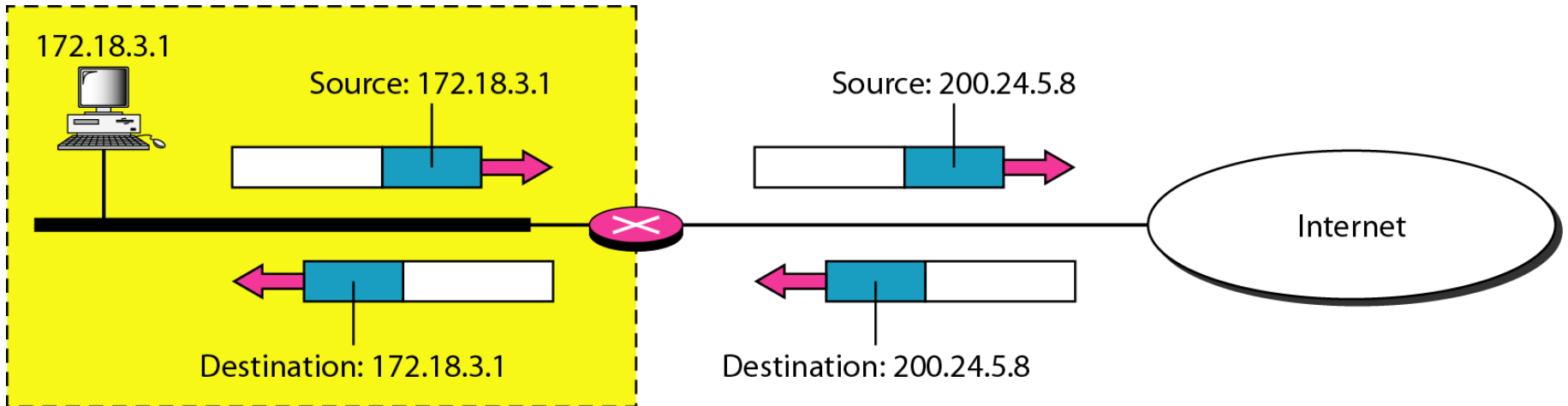
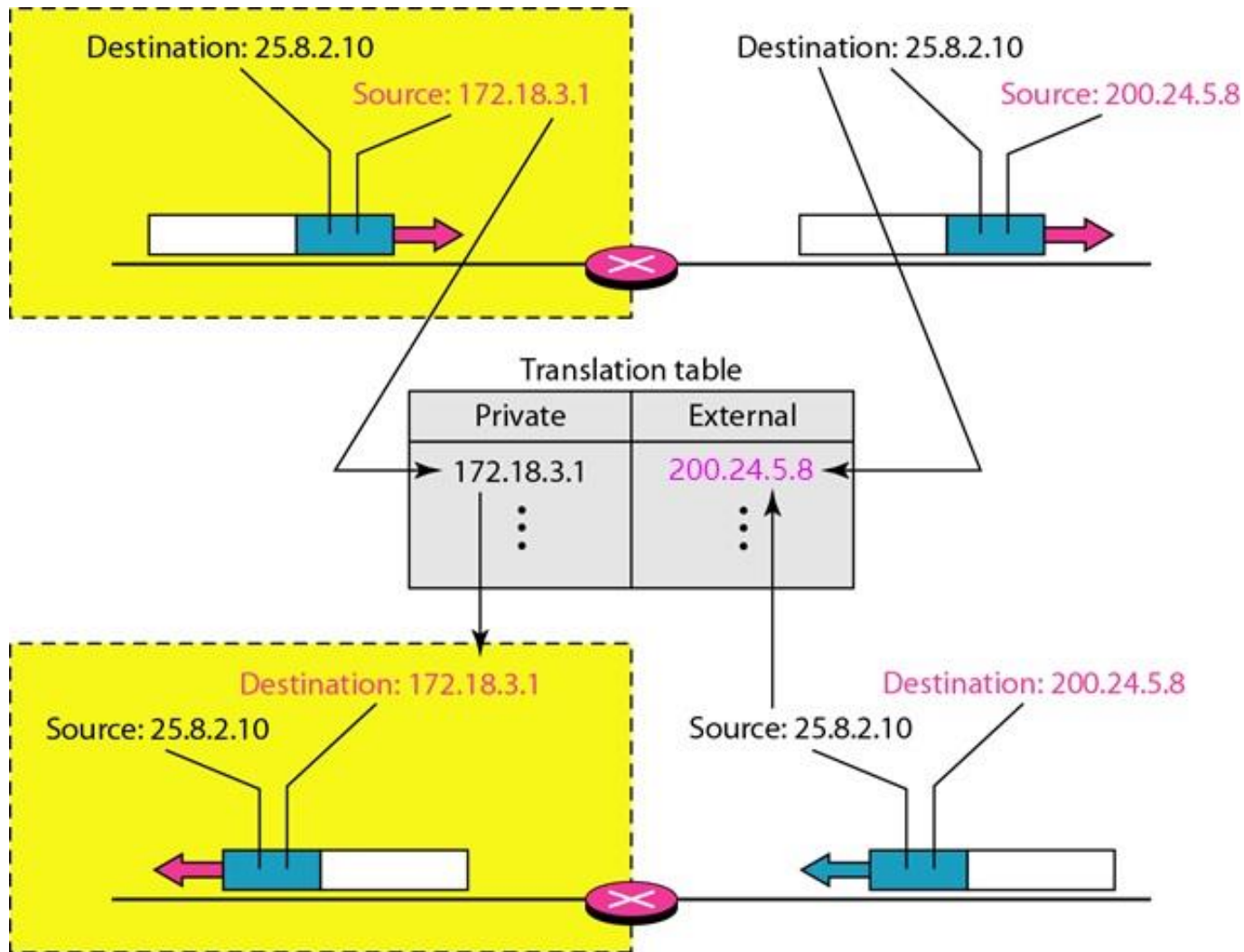


Figure 19.12 NAT地址转换



NAT的类型

- 静态NAT (Static NAT)实现了私有地址和全球公有地址的一对一映射，一个公有IP地址只会分配给唯一且固定的内网主机。
- 动态NAT (Dynamic NAT)是指将内部网络的私有IP地址转换为公有IP地址时，IP地址对是不确定的、随机的，所有被授权访问Internet的私有IP地址可随机转换为任何指定的公有IP地址。当ISP提供的公有IP地址略少于网络内部的计算机数量时，可以采用动态转换的方式。
- 网络地址端口转换PAT (Port Address Translation)是把内部地址映射到外部网络的一个IP地址的不同端口上。PAT与动态地址NAT不同，它将内部连接全部映射到外部网络中的一个单独的IP地址上，同时在该地址上加上一个由NAT设备选定的端口号。

有效利用NAT路由器的IP地址

- 当NAT路由器具有 n 个全球IP地址时，专用网内最多可以同时有 n 个主机接入到因特网。NAT路由器IP地址数量有限时，专用网内较多数量的主机可轮流使用NAT路由器的全球IP地址。
- 为了更有效地利用NAT路由器上的全球IP地址，常用的NAT转换表把运输层端口号也利用上。这样，就可以使多个拥有本地地址的主机，共用一个NAT路由器上的全球IP地址，因而可以同时和因特网上的不同主机进行通信。

网络地址端口转换PAT

PAT把源IP地址和TCP（或UDP）端口号都进行转换。

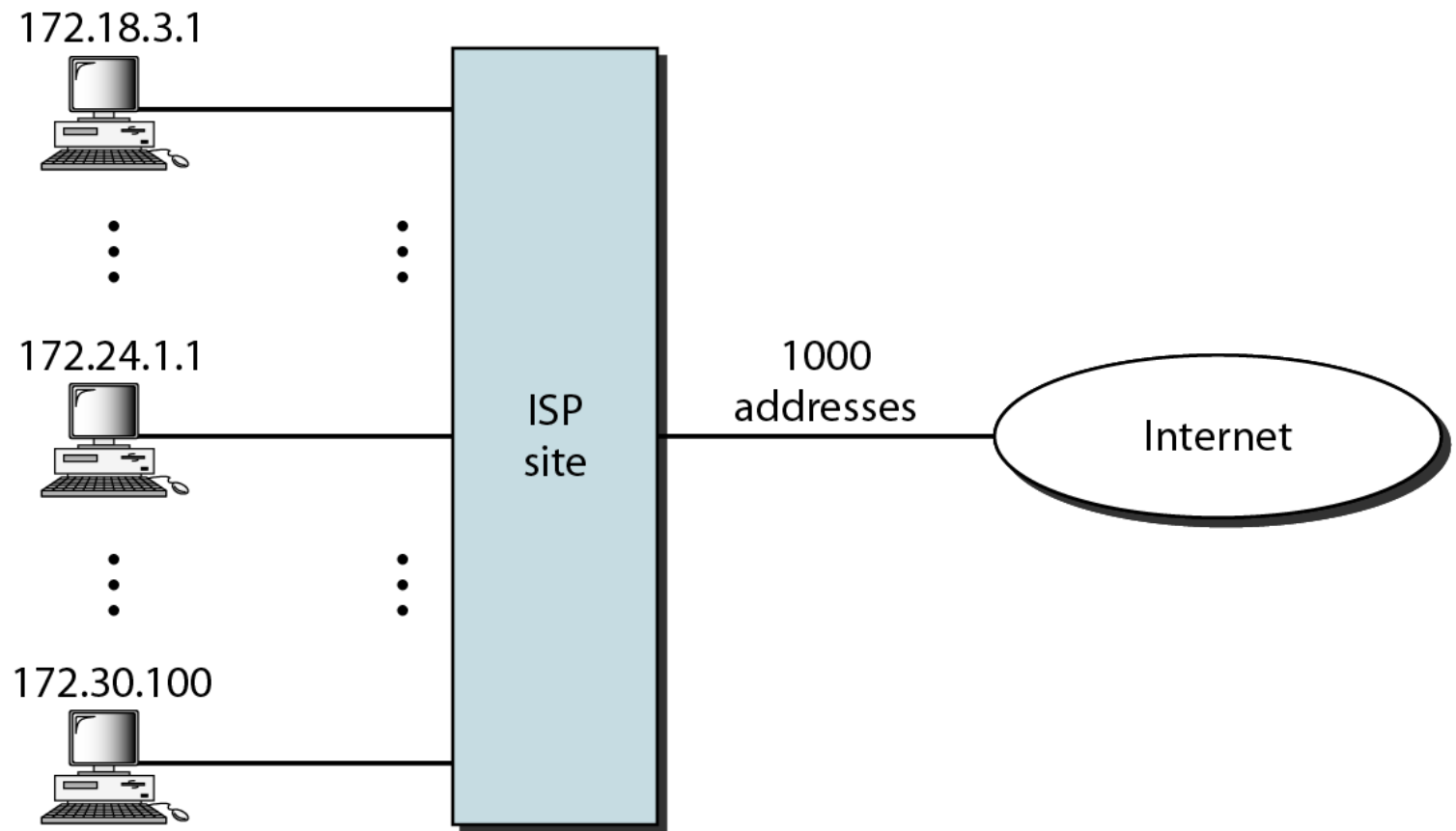
<i>Private Address</i>	<i>Private Port</i>	<i>External Address</i>	<i>External Port</i>	<i>Transport Protocol</i>
172.18.3.1	1400	25.8.3.2	2400	TCP
172.18.3.2	1401	25.8.3.2	2401	TCP
...

Table 19.4 5列转换表

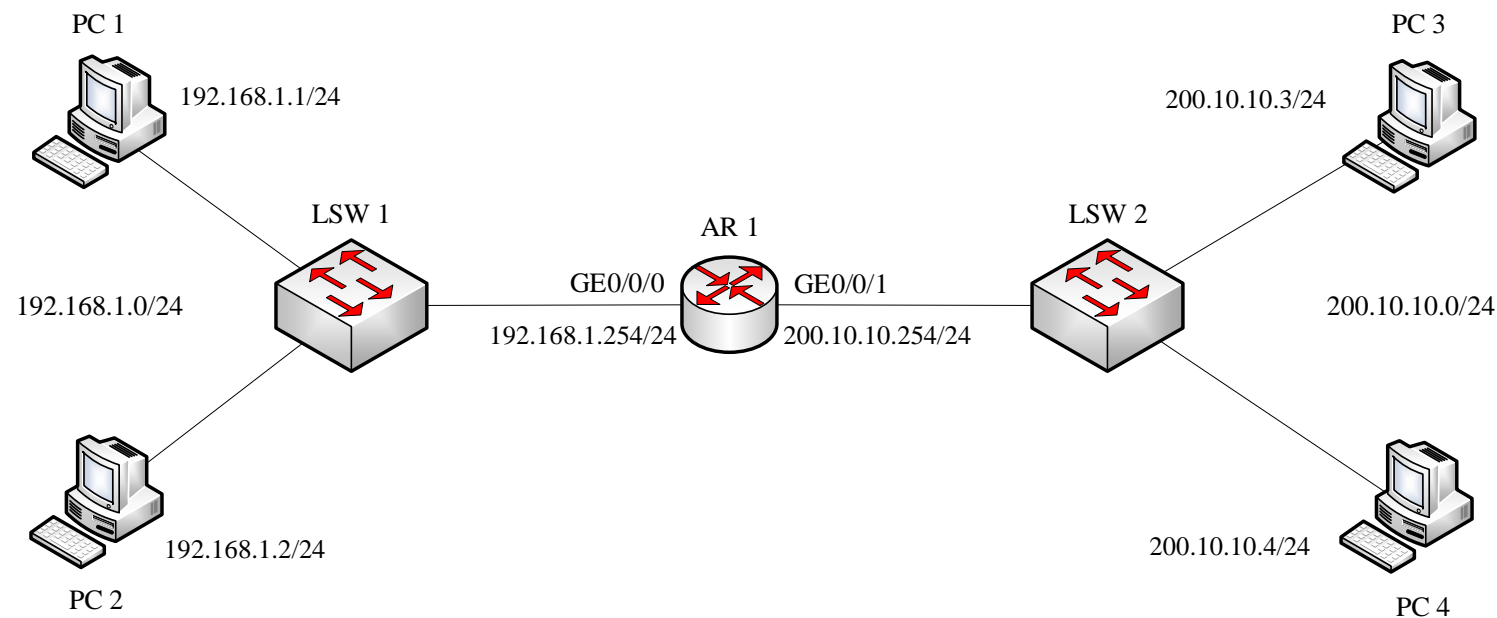
PAT

- PAT把专用网内不同的源IP地址，都转换为同样的全球IP地址。
- 对源主机所采用的TCP端口号（无论是否相同），转换为不同的新的端口号。
- 从层次的角度看，PAT的机制有些特殊。
 - 普通路由器在转发IP数据报时，源IP地址或目的IP地址都是不改变的，但NAT路由器在转发IP数据报时，一定要更换其IP地址（转换源地址或目的地址）。
 - 普通路由器在转发分组时工作在网络层，但PAT路由器要查看和转换传输层的端口号，属于传输层的范畴。

Figure 19.13 ISP和 NAT

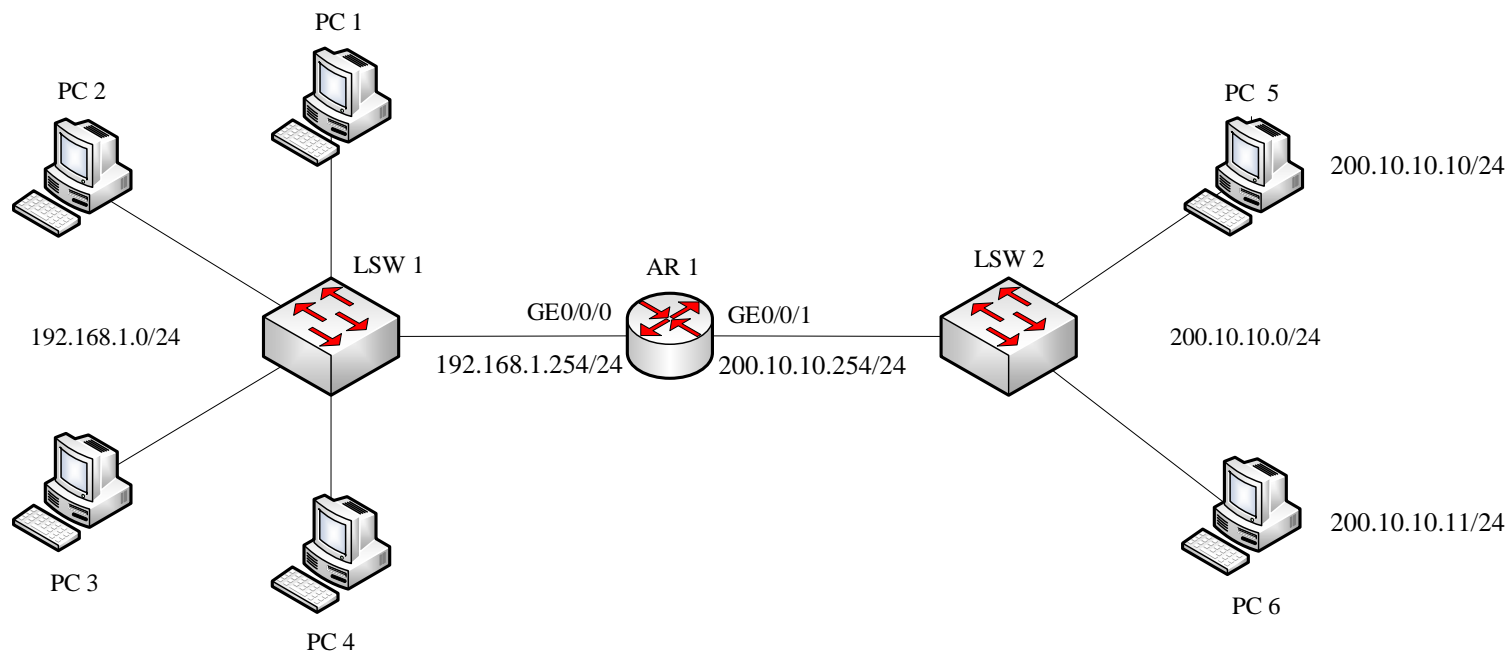


静态NAT实验



主机	私有IP地址	公有IP地址
PC1	192.168.1.1	200.10.10.1
PC2	192.168.1.2	200.10.10.2

动态NAT实验



主机	私有IP地址	公有IP地址
PC1	192.168.1.1	200.10.10.1 200.10.10.2 200.10.10.3
PC2	192.168.1.2	
PC3	192.168.1.3	
PC4	192.168.1.4	

19-2 IPv6 地址

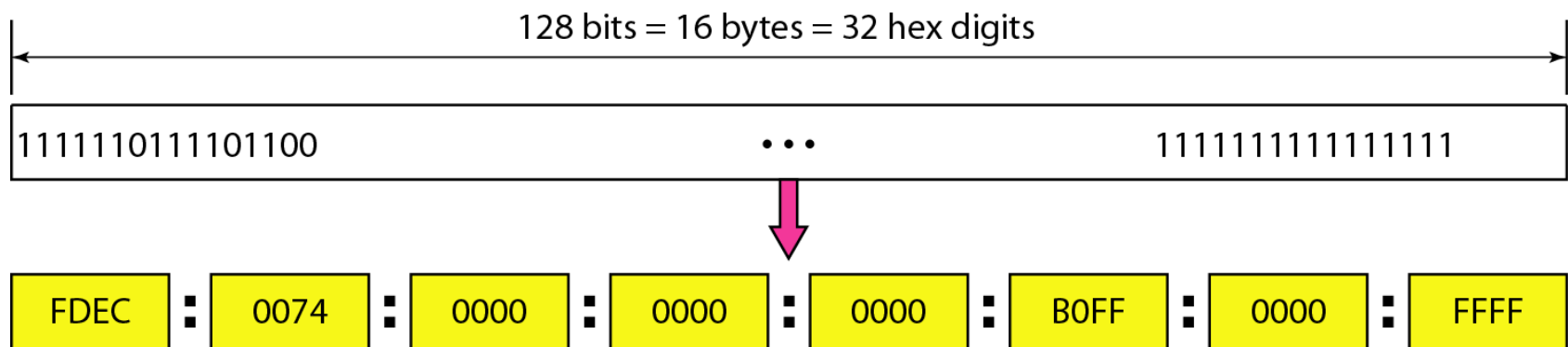
尽管有很多暂时解决问题的办法，但是因特网地址耗尽依然是长期存在的问题。这个问题与其他IP协议本身的问题一起，促进了IPv6的提出。

本节主题:

结构

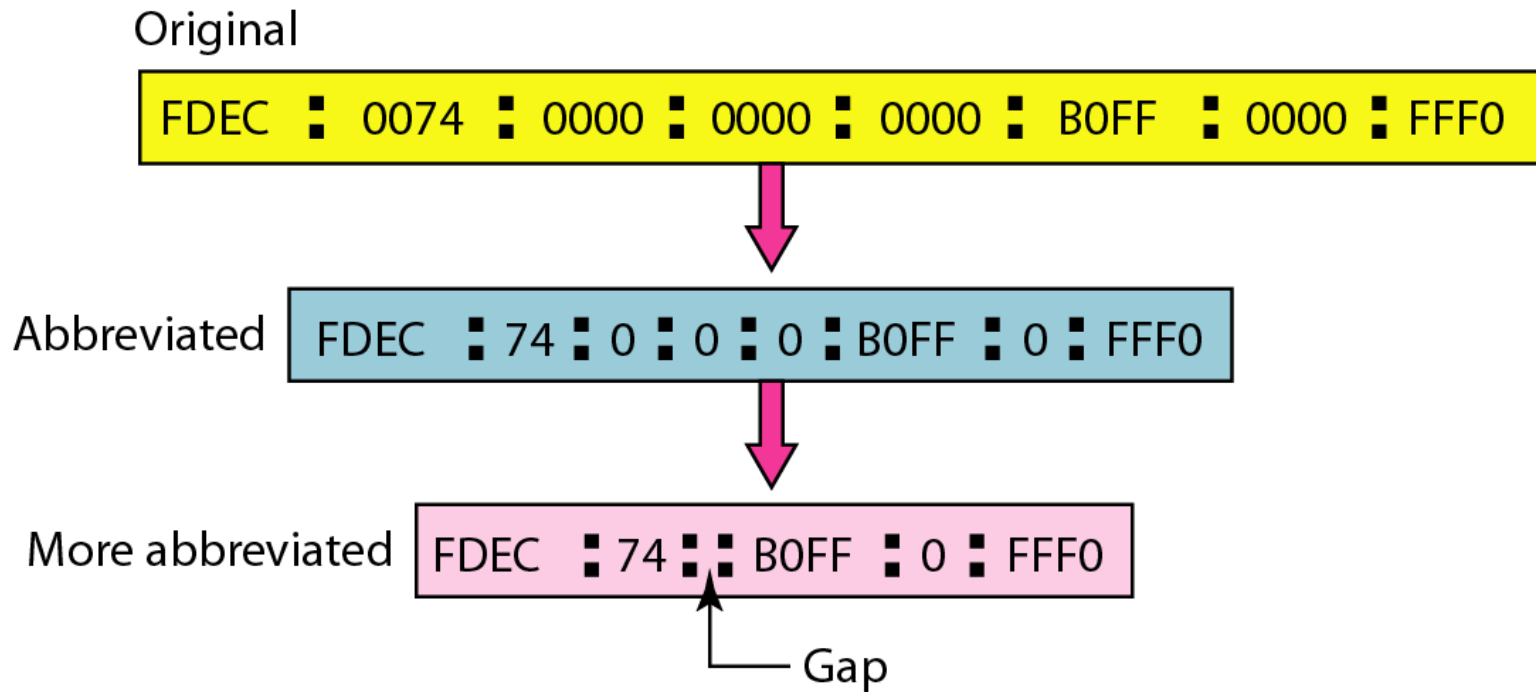
地址空间

Figure 19.14 IPv6 地址用二进制与十六进制冒号标记法



一个IPv6地址长度是128位。

Figure 19.15 缩短的 IPv6 地址



Example 19.11

将地址 **0:15::1:12:1213** 扩展成原来的地址。

解：首先需要将两倍冒号左边与原来模式左边对齐，然后将两倍冒号右边与原来模式右边插入所需的多个0。

XXXX:XXXX:XXXX:XXXX:XXXX:XXXX:XXXX:XXXX
0: 15: : 1: 12:1213

即原来的地址是

0000:0015:0000:0000:0000:0001:0012:1213

点分十进制记法的后缀

- 0:0:0:0:0:0:128.10.2.1
再使用零压缩即可得出： ::128.10.2.1
- CIDR 的斜线表示法仍然可用。
- 60 bit的前缀 12AB00000000CD3 可记为：
12AB:0000:0000:CD30:0000:0000:0000:0000/60
或12AB::CD30:0:0:0:0/60
或12AB:0:0:CD30::/60

Table 19.5 IPv6地址的类型前缀

Type Prefix	Type	Fraction
0000 0000	Reserved	1/256
0000 0001	Unassigned	1/256
0000 001	ISO network addresses	1/128
0000 010	IPX (Novell) network addresses	1/128
0000 011	Unassigned	1/128
0000 1	Unassigned	1/32
0001	Reserved	1/16
001	Reserved	1/8
010	Provider-based unicast addresses	1/8

Table 19.5 IPv6地址的类型前缀（续）

<i>Type Prefix</i>	<i>Type</i>	<i>Fraction</i>
011	Unassigned	1/8
100	Geographic-based unicast addresses	1/8
101	Unassigned	1/8
110	Unassigned	1/8
1110	Unassigned	1/16
1111 0	Unassigned	1/32
1111 10	Unassigned	1/64
1111 110	Unassigned	1/128
1111 1110 0	Unassigned	1/512
1111 1110 10	Link local addresses	1/1024
1111 1110 11	Site local addresses	1/1024
1111 1111	Multicast addresses	1/256

Figure 19.16 基于提供者的单播地址前缀

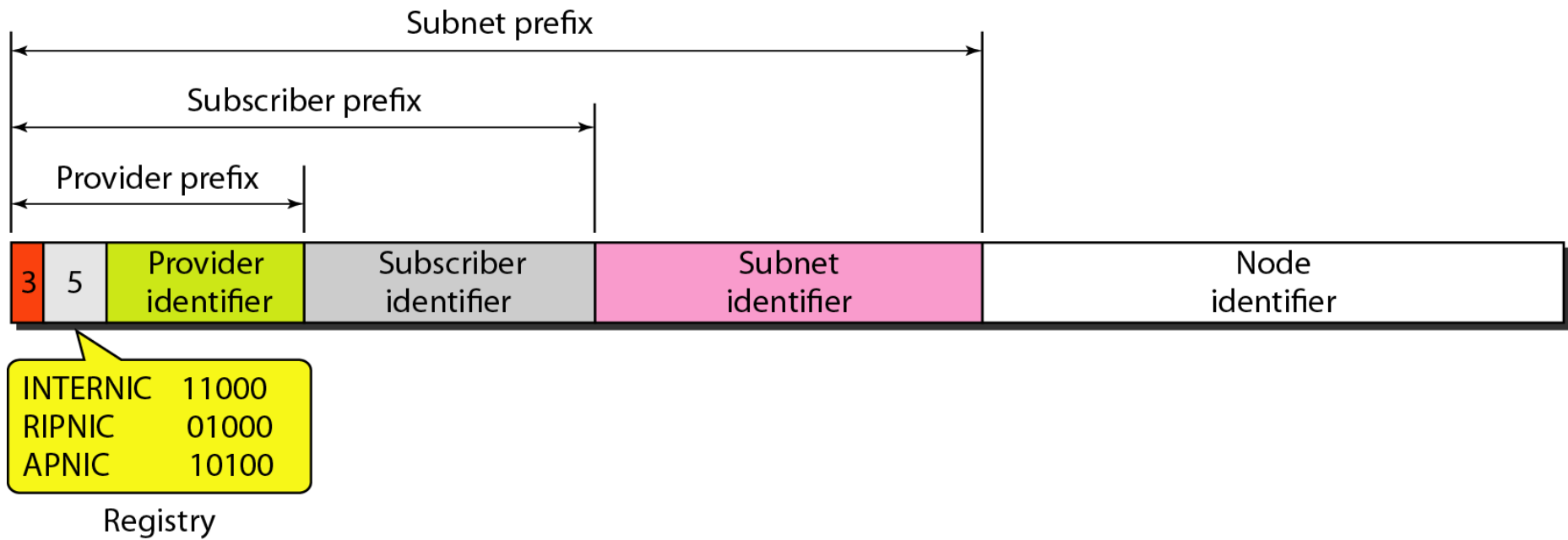


Figure 19.17 IPv6中多播地址

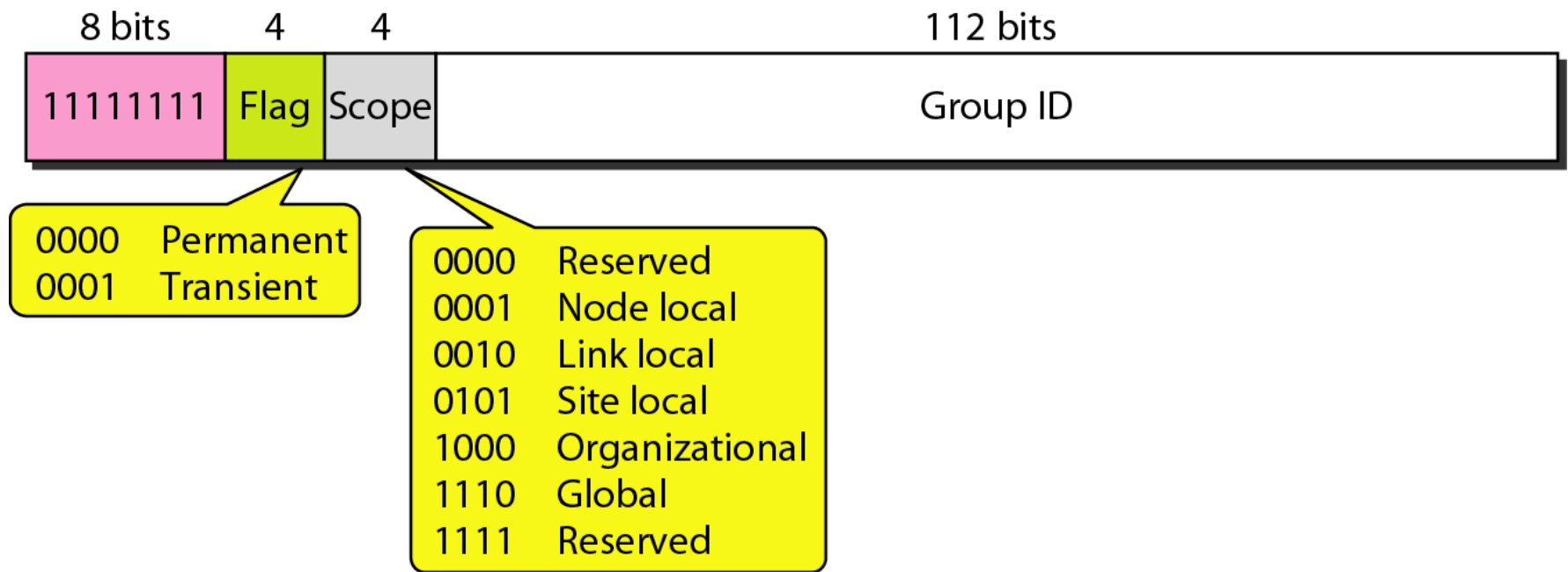


Figure 19.18 IPv6中保留地址

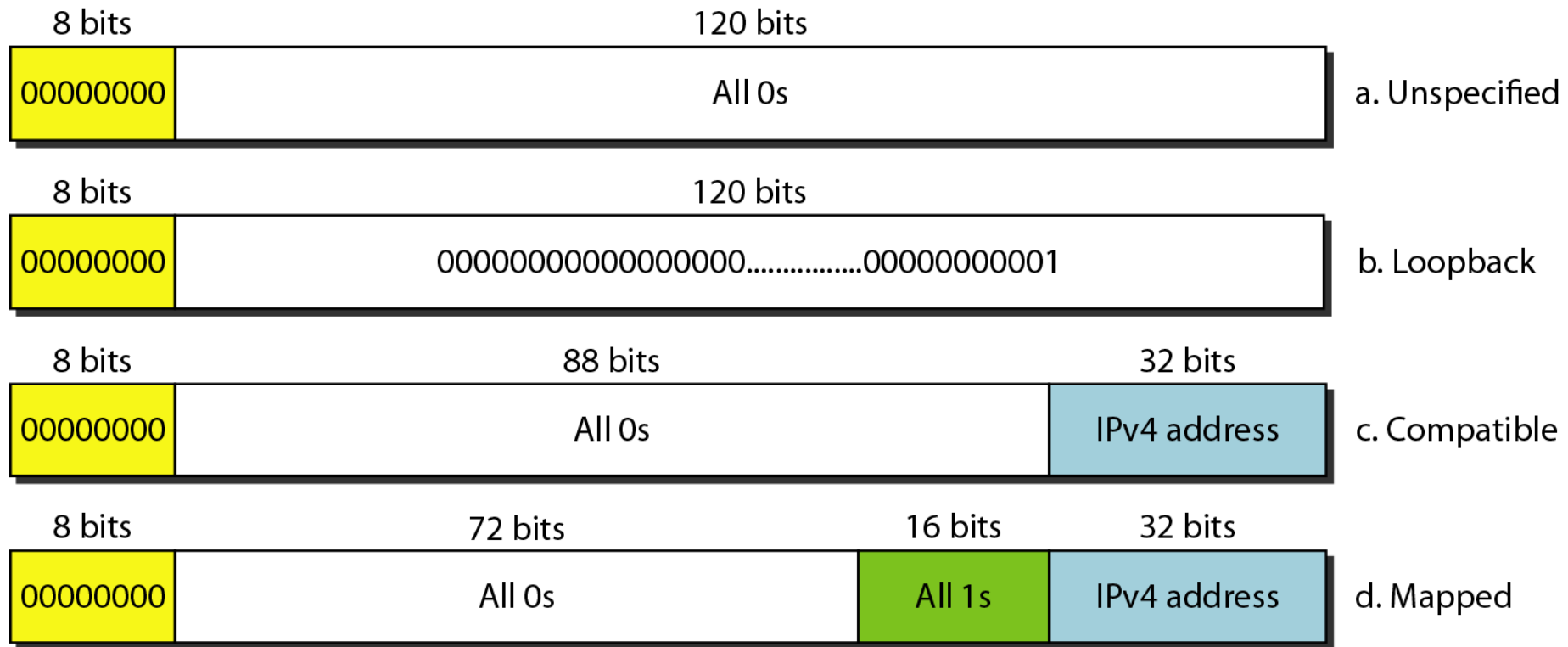
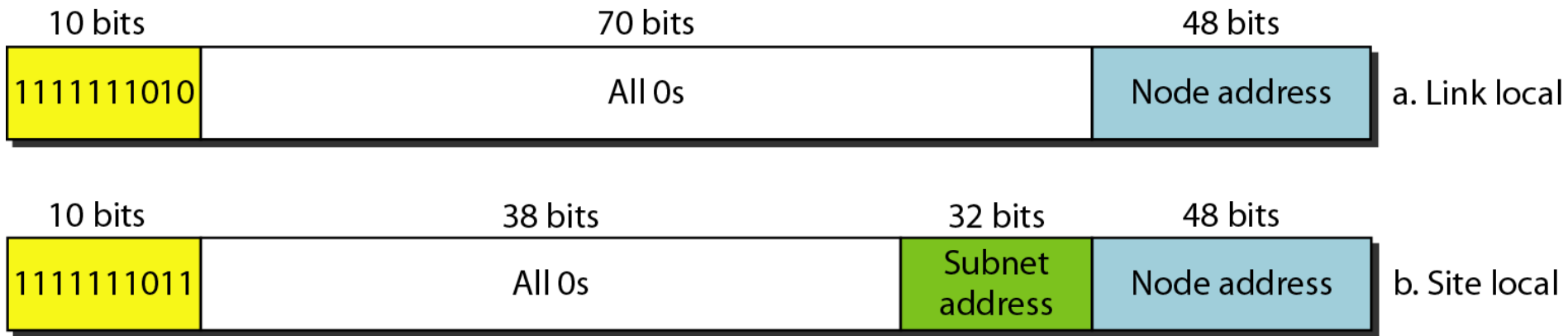


Figure 19.19 IPv6中本地地址



作业

- P380页 25, 27, 29