

---

## IPv4 地址规划

---

### 【项目引入】

主管：小李，咱们客服部有部分主机无法上网，你过去看看。

小李：好的。

过了很久……

小李：主管，这个问题需要您亲自出马，我看了那些主机的 IP 地址，掩码地址填写的怎么是 255.255.255.240 呢？不都是 255.255.255.0 吗？

主管：看来你需要把 IP 编址知识好好学习学习，弄懂什么是 IP 地址和子网掩码，这是主机上网的基础配置信息。

本项目介绍了小李需要学习的 IP 编址问题。通过本项目的学习，小李能够解决子网掩码的划分问题。

### 【学习目标】

1. 掌握：IPv4 编址的方法。
2. 领会：IPv4 地址的分类。
3. 熟悉：可变长子网掩码。
4. 应用：IPv4 地址规划设计。

## 3.1 任务 1：初识 IPv4 地址

每台连网的计算机都需要有全局唯一的 IP 地址才能实现正常通信。我们可以把“个人计算机”当成“一台电话”，那么“IP 地址”就相当于“电话号码”，通过拨打电话号码实现通信。

---

### 📖 大开眼界

IP 地址相当于某人住宅位置的具体地址，如哪一个城市的哪一条街道及具体的门牌号。住宅地址是为了寻找某一个人，而网络通信领域中的 IP 地址是为了确定一个具体网络设备所处的具体位置。

---

IP 地址由 32 位二进制数构成，为方便书写及记忆，一个 IP 地址通常采用 0~255 之内的 4 个十进制数表示，数之间用点号分开。这些十进制数中，每个数都代表 32 位地址中的 8 位，即所谓的 8 位位组，称为点分十进制。

### 📖 大开眼界

一个 IPv4 地址有两种表示形式：

- 点分十进制形式：10.110.192.111。
- 二进制形式：00001010.01101110.10000000.01101111。

为了清晰地区分各个网段，IP 地址采用了结构化分层方案。

结构化分层方案将 IP 地址分为网络部分和主机部分，网络部分称为网络地址，网络地址用于唯一地标识一个网段或者若干个网段的聚合，同一网段中的网络设备有同样的网络地址；主机部分称为主机地址，主机地址用于唯一地标识同一网段内的网络设备。

### 📌 小提示

IP 地址的结构化分层方案类似于电话号码，电话号码也是唯一的。例如，对于电话号码 010-12345678，前面的字段 010 代表北京，后面的字段 12345678 代表北京地区的一部电话。IP 地址也是一样，前面的网络部分代表一个网段，后面的主机部分代表这个网段中的一台设备。

IP 地址采用结构化分层方案后，每一台第三层的网络设备就不必储存每一台主机的 IP 地址，而是储存每个网段的网络地址（网络地址代表了该网段内的所有主机），大大减少了路由表条目，增加了路由的灵活性。

区分网络部分和主机部分需要借助地址掩码（Mask）。网络部分位于 IP 地址掩码前面连续的二进制“1”位，主机部分位于 IP 地址掩码后面连续的二进制“0”位。

## 3.1.1 IPv4 地址分类

按照定义，IP 寻址标准并没有提供地址类，为了便于管理，我们增加了地址类的定义。地址类将地址空间分解为数量有限的特大型网络（A 类）、数量较多的中等网络（B 类）和数量非常多的小型网络（C 类），以及特殊的地址类 D 类（用于多点传送）和 E 类（实验或研究类），如图 3.1 所示。

	1	8	9	16	17	24	25	32				
A类	0xxxxxxx							Host	Host	Host		
	范围 (1~126)											
B类	1	0xxxxxxx							Network	Host	Host	
	范围 (128~191)											
C类	1	0	xxxxxxx							Network	Network	Host
	范围 (192~223)											
D类	1	1	0xxxxx							Multicast Group	Multicast Group	Multicast Group
	范围 (224~239)											
E类	1	1	1xxxxx							Reserved	Reserved	Reserved
	范围 (240~254)											

图 3.1 IP 地址分类

### 1. A 类地址

在 A 类地址中, 前 8 位分配给网络地址, 后 24 位分配给主机地址。若一个 IP 地址的第 1 个 8 位位组中的最高位是 0, 则该地址是 A 类地址。A 类地址的第 1 个 8 位位组对应的值为 0~127, 其中, 0 和 127 具有保留功能, 所以实际的范围是 1~126。A 类地址中仅仅有 126 个网络可以使用。因为仅仅为网络地址保留了 8 位, 且第 1 位必须是 0。然而, 主机地址占 24 位, 每个网络可以有 16 777 214 台主机。

### 2. B 类地址

在 B 类地址中, 前 16 位分配给网络地址, 后 16 位分配给主机地址。若一个 IP 地址的第 1 个 8 位位组中的前两位为 10, 则该地址是 B 类地址。B 类地址的第 1 个 8 位位组对应的值为 128~191。因为前两位已经预先定义, 所以可以设置的网络地址只有 14 位, 组合产生了 16 384 个网络, 而每个网络中包含 65 534 台主机。

### 3. C 类地址

在 C 类地址中, 前 24 位分配给网络地址, 后 8 位分配给主机地址。若一个 IP 地址的第 1 个 8 位位组中的前 3 位为 110, 则该地址是 C 类地址。C 类地址的第 1 个 8 位位组对应的值为 192~223。在 C 类地址中, 仅仅最后 8 位用于主机地址, 这限制了每个网络最多仅仅能有 254 台主机。因为网络地址中有 21 位可以设置 (前 3 位已经预先设置为 110), 所以共能产生 2 097 152 个网络。

### 4. D 类地址

D 类地址以 1110 开头, 代表的第 1 个 8 位位组对应的值为 224~239, 这些地址并不用于标准的 IP 地址。相反, D 类地址作为多点传送小组的成员而注册。多点传送小组和电子邮件分配列表类似。正如可以使用电子邮件分配列表将一条消息发布给一群人一样, 可以通过多点传送小组将数据发送给一些主机。多点传送需要特殊的路由配置, 在默认情况下, 它不会转发。

### 5. E 类地址

E 类地址的第 1 个 8 位位组的前 4 位为 1111, 其第 1 个 8 位位组对应的值为 240~254, 这类地址并不用于标准的 IP 地址, 这类地址被保留, 用于实验或研究。

---

#### 大开眼界——谁负责发放和管理 IP 地址?

所有的 IP 地址都由国际组织 NIC (Network Information Center) 负责统一分配, 目前全世界共有 3 个这样的网络信息中心。InterNIC 负责北美地区; RIPENIC 负责欧洲地区; APNIC 负责亚太地区。我国申请 IP 地址要通过 APNIC, APNIC 的总部设在日本东京大学。

---

### 3.1.2 保留的 IP 地址

IP 地址用于唯一地标识一台网络设备, 但并不是每个 IP 地址都是可用的, 一些特殊的 IP 地址用于实现各种各样的功能, 不能用于标识网络设备。保留的 IP 地址如下。

1) 主机部分中的二进制数全为 0 的 IP 地址, 称为网络地址, 用来标识一个网段, 例

如 A 类地址 1.0.0.0，私有地址 10.0.0.0、192.168.1.0 等。

2) 主机部分中的二进制数全为 1 的 IP 地址，称为网段广播地址，用于标识一个网段的所有主机，例如 10.255.255.255、192.168.1.255 等。路由器可以在 10.0.0.0 或者 192.168.1.0 等网段转发广播包。网段广播地址用于向本网段的所有网络节点发送数据包。

3) 网络部分为 127 的 IP 地址。例如，127.0.0.1 往往用于环路测试。

4) 全 0 的 IP 地址 0.0.0.0，代表临时通信地址（也可表示默认路由）。

5) 全 1 的 IP 地址 255.255.255.255，称为广播地址，代表所有主机，用于向所有网络节点发送数据包，不能被路由器转发。

### 3.1.3 可用的主机 IP 地址数量的计算

综上所述，每个网段会有一些 IP 地址不能作为主机 IP 地址。下面来计算一下可用的主机 IP 地址数量，如图 3.2 所示。

Network		Host		
172	16	0	0	
10101100 00010000		00000000 00000000		1
		00000000 00000001		2
		00000000 00000011		3
		⋮		⋮
		11111111 11111101		65534
		11111111 11111110		65535
		11111111 11111111		65536
				- 2
		$2^N - 2 = 2^{16} - 2 = 65534$		65534

图 3.2 可用的主机 IP 地址数量的计算

网络层设备（如路由器等）使用网络地址来代表本网段内的所有主机，大大减少了路由器的路由表条目。例如，B 类网段 172.16.0.0，有 16 位主机地址，因此有 216 个 IP 地址，去掉一个网络地址 172.16.0.0 和一个广播地址 172.16.255.255（不能用于标识主机），那么共有  $216 - 2 = 214$  个可用地址。我们可以这样计算每个网段可用主机地址：假定这个网段的主机部分的位数为  $N$ ，那么可用的主机地址个数为  $2^N - 2$  个。

## 3.2 任务 2：带子网划分的编址

对于没有子网的 IP 地址组织，外部将该组织视为单一网络，不需要知道内部结构。例如，所有到 172.16.X.X 的路由被视为同一方向，不考虑地址的第 3 个和第 4 个 8 位分组，如图 3.3 所示。这种方案的好处是减少路由表的条目，但这种方案不能区分一个大的网络内不同的子网网段，这使网络内所有主机都能收到在该大的网络内的广播，会降低网络的性能，不利于管理。

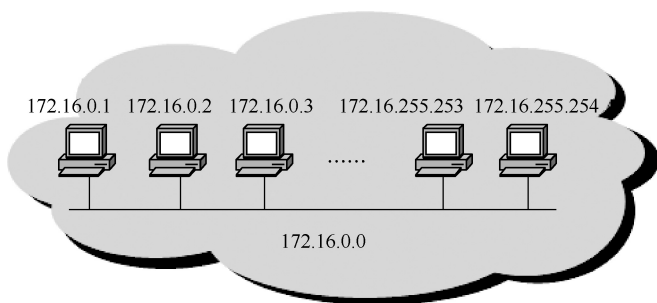


图 3.3 无子网编址

比如，一个 B 类网络可容纳 65000 多台主机在网络内，但是没有任何一个单位能够同时管理这么多主机。这就需要一种方法将这类网络分为不同的网段，按照各个子网段进行管理。通常主机部分可以被细分为子网位与主机位。在本例中，子网位占用了整个第 3 个 8 位位组，一个 B 类网络被划分成了 256 个子网，每个子网可容纳的主机数量减少为 254 台。

划分出不同的子网，即划分出不同的逻辑网络。这些网络之间的通信通过路由器完成，也就是说，将原来一个大的广播域划分成了多个小的广播域，如图 3.4 所示。

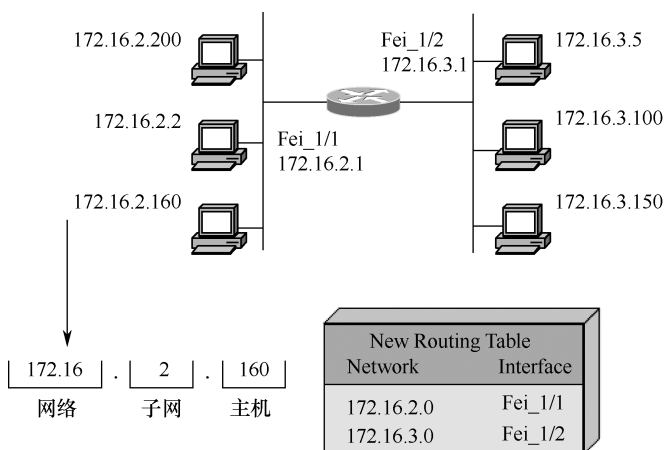


图 3.4 带子网编址

### 3.2.1 子网掩码

网络设备使用子网掩码（Subnet Mask）确定哪些部分为网络位，哪些部分为子网位，哪些部分为主机位。网络设备根据自身配置的 IP 地址与子网掩码可以识别出一个 IP 数据包的目的地址是否与自己处在同一子网或同一主网中。IP 地址在没有相关的子网掩码的情况下是没有意义的。

如图 3.5 所示，子网掩码使用与 IP 地址一样的格式。子网掩码的网络位和子网位全为 1，主机位全为 0。默认状态下，如果没有进行子网划分，A 类网络的子网掩码为 255.0.0.0，B 类网络的子网掩码为 255.255.0.0，C 类网络的子网掩码为 255.255.255.0。利用子网，网络地址的使用会更有效。划分子网其实就是将原来地址中的主机位中的一部分

作为子网位来使用，规定借位必须从左向右连续借位，即子网掩码中的 1 和 0 必须是连续的。

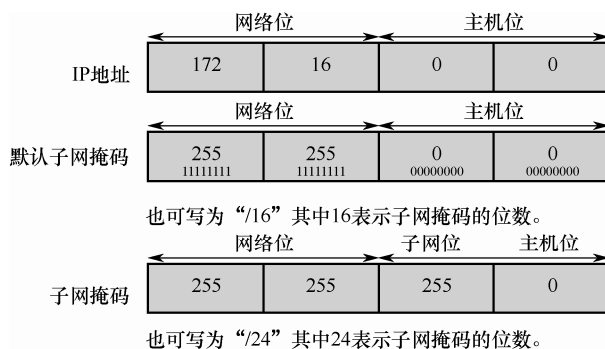


图 3.5 子网掩码

### 3.2.2 IP 地址子网划分的计算

如图 3.6 所示，对于给定的 IP 地址和子网掩码，计算该 IP 地址所处的子网的网络地址、子网的广播地址及可用 IP 地址范围。

步骤如下。

- 1) 将 IP 地址转换为二进制数表示。
- 2) 将子网掩码转换为二进制数表示。
- 3) 在子网掩码的 1 与 0 之间划一条竖线，竖线左边为网络位（包括子网位），竖线右边为主机位。
- 4) 将主机位全部置 0，网络位照写就是子网的网络地址。
- 5) 将主机位全部置 1，网络位照写就是子网的广播地址。
- 6) 介于子网的网络地址与子网的广播地址之间的地址即为子网内可用的 IP 地址。
- 7) 将前 3 段网络地址写全。
- 8) 将 IP 地址转换为点分十进制形式。

	172	16	2	160	
	-----				③
172.16.2.160	10101100	00010000	00000010	10 000000	①
255.255.255.192	11111111	11111111	11111111	11 000000	②
172.16.2.128	10101100	00010000	00000010	10000000	④
172.16.2.191	10101100	00010000	00000010	10111111	⑤
172.16.2.129	10101100	00010000	00000010	10000001	⑥
172.16.2.190	10101100	00010000	00000010	10111110	⑦

图 3.6 地址计算示例

### 3.2.3 子网划分案例

#### 1. 案例描述

给定一段 IP 地址总的网段 192.168.2.0/24，要求小李按照用户的实际需求，把大的网段划分为不同的小网段分配给用户。公司目前有 5 个部门（A~E），其中 A 部门有 10 台主机，B 部门有 20 台主机，C 部门有 32 台主机，D 部门有 15 台主机，E 部门有 20 台主机，需要为每个部门划分单独的网段，使不同的部门属于不同的网段。

#### 2. 案例分析

实际上，这是一个很典型的 IP 子网划分的问题，其中，192.168.2.0/24 是一个 C 类网络，24 表示子网掩码中 1 的个数为 24，子网掩码从左到右由连续的 1 表示，也就是说，这个网段的子网掩码的二进制形式为 11111111.11111111.11111111.00000000，转换为点分十进制形式为 255.255.255.0。子网掩码中的 1 代表网络位，不能变化，0 代表主机位，可以变化。所以这个大的网段总的 IP 地址数量就是 8 位 0，每一位都有 0 和 1 的两种取值，共有  $2^8$ （256）个 IP 地址，但是可用的 IP 地址要去除掉网络地址和广播地址，所以可用的 IP 地址数量为  $2^8-2$ 。

要划分子网，必须制定每个子网的掩码规划，换句话说，就是要确定每个子网能容纳的最多的主机数，即 0 的个数，显然，应该以拥有主机数量最多的部门为准。在本例中，C 部门有 30 台主机，也就是说，这个子网中至少应包含 30 个可用 IP 地址。我们在操作中可以套用以下公式：

$$\text{可用 IP 地址数量} = 2^N - 2$$

式中， $N$  为二进制形式子网掩码中 0 的个数。

C 部门需要 30 个可用 IP 地址，那么 2 的几次方减 2 大于等于 30？很明显，2 的 6 次方是 64，减去 2 得到 62 个可用 IP 地址，6 代表二进制形式子网掩码中最后 6 位必须为 0，前面 26 位均为 1，也就是 11111111.11111111.11111111.11000000，该子网掩码的点分十进制形式表示为 255.255.255.192；也就是说，如果要给 C 部门分配 IP 地址，那么子网掩码为 255.255.255.192 就够用了。

以此类推，A 部门需要 10 个可用 IP 地址，那么 2 的几次方减 2 大于等于 10？2 的 4 次方就可以，所以 A 部门二进制形式子网掩码的后 4 位为 0，即子网掩码为 255.255.255.240。

B 部门和 E 部门需要 20 个可用 IP 地址，因为 2 的 5 次方减 2 大于等于 20，所以 B 部门和 E 部门二进制形式子网掩码的后 5 位为 0，即子网掩码为 255.255.255.224。

D 部门需要 15 个可用 IP 地址，2 的 4 次方减 2 小于 15，2 的 5 次方减 2 大于等于 15，D 部门的二进制形式子网掩码后 5 位为 0，即子网掩码为 255.255.255.224。

接下来，我们需要把大的网段 192.168.2.0/24 按照不同部门的需求划分成小的网段，划分网段的原则是从需求数量最多的部门开始划分，上例中 C 部门需要的可用 IP 地址数量最多，我们从 C 部门开始划分。

**步骤 1** 确定 C 部门所在网段的网络地址。

已知当前的 IP 地址范围为从 192.168.2.0 到 192.168.2.255，而我们已经算出 C 部门的

子网掩码是 255.255.255.192，即掩码是/26 位的，从大网段中的第一个 IP 地址依次向上划分不同的小段，所以 C 部门的 IP 地址就可以表示为 192.168.2.0/26。C 部门所在的网段是由 IP 地址与子网掩码进行“与运算”的结果。“与运算”是一种逻辑运算，其规则是：1 与 1 的结果为 1；0 与 0、0 与 1、1 与 0 的结果均为 0。

将 IP 地址与子网掩码进行“与运算”：

192.168.2.0  $\rightarrow$  11000000.10101000.00000010.00000000

255.255.255.192  $\rightarrow$  11111111.11111111.11111111.11000000

运算结果：11000000.10101000.00000010.00000000  $\rightarrow$  192.168.2.0

因此，C 部门所在网段的网络地址是 192.168.2.0。

**步骤 2** 计算网段的广播地址。

广播地址就是主机位全是 1 的 IP 地址。

192.168.2.0  $\rightarrow$  11000000.10101000.00000010.00000000

将主机位全部设置为 1  $\rightarrow$  11000000.10101000.00000010.00111111  $\rightarrow$  192.168.2.63

所以广播地址为 192.168.2.63，C 部门所在网段是 192.168.2.0/26，网络的第一个 IP 地址是 192.168.2.0，最后一个 IP 地址是 192.168.2.63，可用的 IP 地址范围是 192.168.2.1~192.168.2.62。

继续划分 B 部门的 IP 地址，B 部门的子网掩码是 255.255.255.224，并且剩下可用的 IP 地址是从 192.168.2.64 开始的，所以我们就从 192.168.2.64 开始，使用“与运算”计算出该网段的网络地址。

**步骤 3** 确定 B 部门所在网段的网络地址。

192.168.2.64  $\rightarrow$  11000000.10101000.00000010.01000000

255.255.255.224  $\rightarrow$  11111111.11111111.11111111.11100000

运算结果：11000000.10101000.00000010.01000000  $\rightarrow$  192.168.2.64

因此，B 部门所在网段的网络地址是 192.168.2.64。

**步骤 4** 计算网段的广播地址。

192.168.2.64  $\rightarrow$  11000000.10101000.00000010.01000000

将主机位全部设置为 1  $\rightarrow$  11000000.10101000.00000010.01011111  $\rightarrow$  192.168.2.95

所以广播地址为 192.168.2.95，B 部门所在网段是 192.168.2.64/27，网络的第一个 IP 地址是 192.168.2.64，最后一个 IP 地址是 192.168.2.95，可用的 IP 地址范围是 192.168.2.65~192.168.2.94。

**步骤 5** 按照上面划分方式依次规划各部门的 IP 地址，结果如下：

A 部门的网段：192.168.2.0/28。地址范围：192.168.2.160~192.168.2.175。

B 部门的网段：192.168.2.64/27。地址范围：192.168.2.64~192.168.2.95。

C 部门的网段：192.168.2.0/26。地址范围：192.168.2.0~192.168.2.63。

D 部门的网段：192.168.2.128/27。地址范围：192.168.2.128~192.168.2.159。

E 部门的网段：192.168.2.96/27。地址范围：192.168.2.96~192.168.2.127。

### 3. 案例思考

如果最开始从 192.168.2.0 开始，分配给用户最少的 A 部门使用，那么 A 部门占用的



地址范围为 192.168.2.0~192.168.2.15，下一个地址从 192.168.2.16 开始。假设我们从 192.168.2.16 开始分配给 C 部门，按照前面的计算方法，把 192.168.2.16 和 C 部门的掩码 255.255.255.192 进行“与运算”，得出 192.168.2.0 这个网络地址，该网段的广播地址是 192.168.2.63，这个网段的地址范围就是 192.168.2.0~192.168.2.63，但是从 192.168.2.0 到 192.168.2.15 这个网络地址已经被 A 部门使用了，会产生冲突，所以只能跳过这个段，从 192.168.2.64 开始算起。在规划 IP 地址时，一定要先从需求量最多的部门开始，从大到小依次计算。

### 3.2.4 可变长子网掩码

把一个网络划分成多个子网，要求每个子网使用不同的网络地址。但是每个子网的主机数不一定相同，而且相差很大，如果我们每个子网都采用固定长度的子网掩码，而每个子网上分配的地址数相同，就会造成地址的大量浪费。这时可以采用可变长子网掩码（VLSM，Variable Length Subnet Mask）技术。

#### 📌 小提示

172.16.1.1 在传统的 IP 地址分类中应该分为 B 类，掩码应该是 255.255.0.0 或者写成 172.16.1.1/16。但由于某种原因，把 172.16.1.1 这个 B 类 IP 地址套用了 255.255.255.0 掩码，即 172.16.1.1/24。这就是一个典型的 VLSM 地址形式。

假如有一个子网，它通过串口连接了两台路由器。在这个子网上仅仅有两台主机，每个端口有一台主机，但是我们已将整个子网分配给了这两个端口。这将浪费很多 IP 地址。

如果我们使用其中的一个子网，并进一步将其划分为 2 级子网，将有效地建立“子网的子网”，并保留其他的子网，那么可以最大限度地利用 IP 地址。建立“子网的子网”的想法构成了 VLSM 的基础。

为使用 VLSM，通常定义一个基本的子网掩码，它将用于划分 1 级子网，然后用 2 级子网掩码来划分一个或多个 1 级子网。这种方法能节省大量的 IP 地址，节省的这些 IP 地址可用于其他子网。

### 📌 思考与练习

1. 若网络中 IP 地址为 131.55.223.75 的主机的子网掩码为 255.255.224.0，IP 地址为 131.55.213.73 的主机的子网掩码为 255.255.224.0，这两台主机属于同一子网吗？为什么？
2. 某主机 IP 地址为 172.16.2.160，子网掩码为 255.255.255.192，请计算此主机所在子网的网络地址、广播地址。
3. 127.0.0.100 是什么地址？
4. 国际上负责分配 IP 地址的专业组织划分了几个网段作为私有网段，可以供人们在私有网络上自由分配使用，以下不属于私有地址的网段是（ ）。

- A. 10.0.0.0/8    B. 172.16.0.0/12    C. 192.168.0.0/16    D. 224.0.0.0/8
5. 下面哪个 IP 地址可能出现在公网中? (    )
- A. 10.62.31.5    B. 172.60.31.5    C. 172.16.10.1    D. 192.168.100.1
6. 10.254.255.19/255.255.255.248 的广播地址是 (    )。
- A. 10.254.255.23    B. 10.254.255.255  
C. 10.254.255.16    D. 10.254.0.255
7. 下列说法中, 正确的是 (    )。
- A. 主机位全为“0”的 IP 地址, 称为网络地址, 网络地址用来标识一个网段  
B. 主机位全为“1”的 IP 地址, 称为广播地址  
C. 主机位全为“1”的 IP 地址, 称为主机地址  
D. 网络部分为 127 的 IP 地址, 例如 127.0.0.1 往往用于环路测试
8. 在一个 C 类地址的网段中要划分出 15 个子网, 哪个子网掩码比较适合? (    )
- A. 255.255.255.240    B. 255.255.255.248  
C. 255.255.255.0    D. 255.255.255.128



**实践活动: 查看你所在机房计算机使用的网段, 利用所学知识验证机房规划是否合理**

### 1. 实践目的

- 1) 掌握 IPv4 地址的分类。
- 2) 重点掌握 IPv4 可用主机地址的计算。

### 2. 实践要求

能够运用所学知识对网络进行 IP 地址划分。

### 3. 实践内容

- 1) 查看你所在机房计算机的 IP 地址。
- 2) 掌握网络中计算机的大致数量, 根据 IP 地址划分规则验证机房规划是否合理。

电子工业出版社版权所有  
盗版必究

