实验四 子网划分及路由

一、实验目的

通过本次实验，使学生加深对IP地址的理解，能熟练地进行IP地址子网划分。加深对于CIDR技术和NAT技术工作原理的认识。

二、实验原理

目前的因特网所采用的协议族是TCP/IP协议族。IP协议（Internet Protocol，网际协议）是该协议族中网络层的协议，也是该协议族的核心协议。IP协议目前使用的版本有IPv6和IPv4。目前的大多数局域网内部IP协议采用是第4版（简称为IPv4）。IPv4为每台主机分配了一个逻辑地址，称为IP地址。它是由4个8位二进制数组成的，这样就有232个IP地址可供我们利用。由于二进制使用起来不方便，所以人们经常使用“点分十进制”（dotted-decimal notation）方式表示，即被分割为4个段：aaa.bbb.ccc.ddd，每个段是一个十进制数，其范围是0～255。

随着互联网的迅速发展，IPv4定义的有限地址空间将被耗尽。这阻碍了互联网的进一步发展。为了扩大地址空间，拟通过IPv6重新定义地址空间。IPv6是下一版本的互联网网际协议，也叫下一代网际协议（IP next generation，IPng）。它采用128位地址长度，几乎可以不受限制地提供地址。按保守方法估算IPv6实际可分配的地址可在整个地球的每平方米内分配1000多个地址。在IPv6的设计过程中除了一劳永逸地解决了地址短缺问题以外，还考虑了在IPv4中解决不好的其它问题，主要有端到端IP连接、服务质量（QoS）、安全性、多播、移动性、即插即用等。虽然IPv6是网络互联协议发展的必然趋势，但是由于采用了CIDR和NAT技术，这使得IPv4可能在一段时期内还不能完全被IPv6取代。

那么，子网划分究竟是用来干什么用的呢？我们可以想象一下，2的32次方是一个非常大的数字，如何管理这些IP呢？也就是说我们如何才能让一个数据报高效地从一个IP地址发送到另一个IP地址呢？我们如何统计、控制和分配这些IP地址呢？划分子网就是一个有效的手段。它把一个个IP段逻辑上分成不同的主网和子网，数据发送的时候只需要知道所属目的地址的主网和子网地址，然后可以通过广播或者点到点的形式发送出去。这样就能够有效地管理IP地址。用官方的解释就是为了有效地利用与管理有限的IP资源。原文如下：

To efficiently manage a limited supply of IP addresses, all classes can be subdivided into smaller subnetworks.

划分子网技术通常与CIDR技术和NAT技术结合使用。所以本次实验首先介绍这几项技术的原理，然后介绍一个实际的划分子网的实例。

1. **分类的两级IP地址**

众所周知，当我们需要登陆一个网站的时候就必须首先在浏览器的地址栏里输入它的地址，如：www.neuq.edu.cn。这个地址其实是一个域名，目的是为了好记。当我们输入地址并按下回车后，域名解析系统（DNS）就把输入的域名解释为了IP地址。形象地说，IP地址就像门牌号，而域名就像这家人的姓名。

Internet上的每台主机和路由器都有一个IP地址，IP地址包含网络号和主机号。并且这种组合是唯一的（原则上，Internet上的任何两台机器不会有相同的IP地址）。但是IP地址并不是完全表示一台主机的，相反，它是表示一个网络接口，如果一台主机同时位于两个网络上，那么它必须拥有两个IP地址。然而，在实际的网络中，大多数主机都在一个网络上，所以只有一个IP地址。

网络号是由一个非营利性的机构来管理的，该机构的名称为ICANN（Internet Corporation for Assigned Name and Number）。同时，ICANN把部分地址空间委托给各种区域性的权威机构，然后这些机构又将IP地址分配给ISP和其他公司。

过去的几十年来，IP地址被分为5大类，如表1。这种分配方案称为分类的编址方案（classified addressing）。现在这种方案已经不再使用了。

表1 IP地址的格式

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Class A | Network | Host | | |
| Octet | 0\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* |
| Decimalization | 1 - 127 | 0 - 255 | 0 - 255 | 0 - 255 |
| Class B | Network | | Host | |
| Octet | 10\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* |
| Decimalization | 128 - 191 | 0 - 255 | 0 - 255 | 0 - 255 |
| Class C | Network | | | Host |
| Octet | 110\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* |
| Decimalization | 192 - 233 | 0 - 255 | 0 - 255 | 0 - 255 |
| Class D | Multicast Address | | | |
| Octet | 1110 \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* |
| Decimalization | 224 - 239 | 0 - 255 | 0 - 255 | 0- 255 |
| Class E | 保留将来使用 | | | |
| Octet | 1111 0\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* | \*\*\*\* \*\*\*\* |
| Decimalization | 240 - 247 | 0 - 255 | 0 - 255 | 0 - 255 |

另外，TCP/IP还规定了几种具有特殊意义的IP地址，见表2：

表2 一些特殊的IP地址

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 本机 | 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 0000 | | |
| 当前网络上的主机 | 00……00 | | 主 机 |
| 远程网络上的广播 | 网 络 | | 1111 ………… 1111 |
| 本地网络上的广播 | 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 1111 | | |
| 回环 | 127 | 任 意 值 | |

注意：所有形如127.xx.yy.zz的地址都被保留用作回环测试。发送到这类地址的分组都不会被输出到线路上，而是被看成进入的分组直接在本地处理。这类地址通常在网络调试中使用。

一个网络中的所有主机必须有相同的网络号。当网络规模不断增长的时候，有些单位出现了IP地址紧缺的情况，为此，需要重新申请网络号。但是重新申请网络号是一件非常困难的事情。随着越来越多的组织面临着这样的窘境，IP地址的编址系统有必要稍作修改以便能够适应这种局面。

问题的解决方案是：允许将一个网络分成多个部分供内部使用，但是对外仍像单个的网络一样。如图1是一个典型的校园网络。

该网络有一台主路由器连接到一个ISP或者一个区域网络，而大量的以太网网络遍布在学校的各个系里。每个系都有它们自己的路由器，该路由器连接到学校的主路由器上。

……

……

……

……

……

……

数学系

计算机系

生物系

物理系

化学系

英语系

连接到

ISP

路由器

主机

图1 一个典型的校园网络，各系自成一个LAN

为了有效地管理IP地址，在有关的Internet的文献中，把网络的各个部分（本例中是各个系的以太网）称为子网（subnet）。

1. **子网划分**

对于图1中的例子，我们首先了解一下主路由器收到分组时的转发过程。当一个分组到达主路由器中的时候，主路由器怎么才能知道该把这个分组交给哪个子网呢？这里是对于一个B类地址为例介绍转发过程。

如果没有划分子网，则需要在路由器中建立一张表，表中最多有65535个记录，每个记录有两个数据项：每台主机的IP地址和该主机使用的路由器。这样，主路由器收到分组后就能够根据该分组中指明的目的主机的IP地址而把分组发送到正确的路由器。这种想法是可行的，但是这需要在主路由器中建立一张非常大的表，而且当主机被加入进来，或者被移走，这种做法需要大量的手工维护工作。

相反，人们发明了一种不同的方案。它的基本思想是：B类地址不再是14位网络号和16位的主机号，而是从主机号中拿出一些构成一个子网号。如图2所示。如果一个大学有50个系，那么可以使用6位子网号和10位主机号，从而最多可以支持64个以太网，每个以太网最多可容纳1022台主机（全0和全1的主机地址的意义如前所讲）。这样主路由器中最多需要存64个记录，每个记录有两个数据项：目的子网号和转发到该子网的相应的路由器。当分组由主路由器转发到各系的路由器后，系里的路由器负责把分组转发到目的主机。

网络号

主机号

网络号

主机号

子网号

图2 两级IP地址和三级IP地址的关系

但是当主路由器在转发分组到各系路由器前，它需要知道目的子网号。那么它如何才能知道目的子网号呢？人们引进了子网掩码（subnet mask），它代表了“网络+子网号”与主机号之间的分割方案。如图3所示。子网掩码也采用点分十进制记法来表示，如图3的子网掩码可记为：255.255.252.0。另外的一种记法是用“/22”来表示子网掩码有22个1和10个0组成。

11111111111111111111110000000000

网络

主机号

子网号

0 1

子网掩码

图3 一个B类网络被分成64个子网

在网络的外部，子网是不可见的。所以分配新的子网的时候也不需要和ICANN联系，也不用改变任何外部的数据库。表3是对图1的一种子网划分方案，这里假设校园网的网络号为130.187.0.0/16。

表3 子网划分方案

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 系 | 子网 | 系 | 子网 |
| 数学系 | 130.187.4.0/22 | 英语系 | 130.187.16.0/22 |
| 计算机系 | 130.187.8.0/22 | 化学系 | 130.187.24.0/22 |
| 生物系 | 130.187.12.0/22 | 物理系 | 130.187.28.0/22 |

由表3的方案可知，主路由器中的路由表为表4。其中第2列和第4列的“下一跳路由器”字段表示各系的路由器。

表4 主路由器的路由表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 子网号 | 下一跳路由器 | 子网号 | 下一跳路由器 |
| 130.187.4.0/22 | 数学系 | 130.187.16.0/22 | 英语系 |
| 130.187.8.0/22 | 计算机系 | 130.187.24.0/22 | 化学系 |
| 130.187.12.0/22 | 生物系 | 130.187.28.0/22 | 物理系 |

表3中每一个子网的后10位全是0，这一部分由各系根据自己的情况具体分配给每台主机。如数学系的子网号是130.187.4.0/22，假设数学系恰好有300台主机，表5是数学系的这300台主机的一种分配方案。其他系的主机数量只要不超过1022台，都可以采用类似的方案。

表5 数学系主机IP地址分配表

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 主机号 | IP地址 | 主机号 | IP地址 |
| PC1 | 130.187.4.1/22 | PC256 | 130.187.5.1/22 |
| PC2 | 130.187.4.2/22 | PC257 | 130.187.5.2/22 |
| … | … … | … | … … |
| PC254 | 130.187.4.254/22 | PC299 | 130.187.5.43/22 |
| PC255 | 130.187.4.255/22 | PC300 | 130.187.5.45/22 |

注意：该校园网的所有主机的IP地址的前16个位是相同的，本例中都是130.187，这16个位代表了整个校园网，所有目的IP地址的前16个位为130.187的分组都将通过ISP发给该校园网的主路由器。然后主路由器再利用子网掩码来提取目的IP地址的前22个位来判断该分组应该发送到哪个系的路由器。提取的方法是将目的IP地址与子网掩码逐比特进行“与”运算，运算的结果就是“网络号”+“子网号”。

假设有一个分组的目的IP地址是130.187.5.30，当该分组到达ISP的时候，ISP判断出该地址的网络号为130.187.0.0/16，则ISP把此分组转发给图5.1中的主路由器。当主路由器收到此分组时，主路由器再判断出该地址的子网号为130.187.4.0/22，然后就把此分组转发给数学系的路由器。当数学系的路由器收到此分组时，数学系路由器再把此分组转发给目的主机。这就是分组的整个接收过程。

1. **CIDR**

以上划分子网的意义是不言而喻的，但仍存在问题。主要体现在IP地址的利用率不高，如：假设某单位有5个部门，则对于一个C类地址216.87.35.0/24，子网号需要3位，主机号只剩下了5位，但是如果各部门的主机数目不相同，有的部门有20台，有的系有35台，那么以上的子网划分方法就行不通了，这是因为每个子网的主机数目不能超过25 - 2 = 30台。于是人们提出了一种新的称为是VLSM（Variable Length Subnet Mask，可变长子网掩码）的技术来解决这类问题。VLSM技术的基本思想是对不同子网使用不同长度的子网掩码。现在假设该单位的5个部门拥有的主机数目如表6所示：

表6 各部门的主机数量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 部门1 | 部门2 | 部门3 | 部门4 | 部门5 |
| 8 | 10 | 35 | 25 | 80 |

采用VLSM技术对该C类地址进行子网划分的一种方案如表7所示：

表7 子网划分的一种方案

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 部门1 | 部门2 | 部门3 | 部门4 | 部门5 |
| 216.87.35.16/28 | 216.87.35.0/28 | 216.87.35.64/26 | 216.87.35.32/27 | 216.87.35.128/25 |

与三级IP地址结构的子网划分技术相比，VLSM进一步提高了IP地址的利用率。但是在现实中，一个B类地址对大多数组织来说显得太大了，而一个C类地址又不够用。如果某单位申请若干个C类地址，则和此单位的相连的ISP的路由器中必须得有多条下一跳路由器是该单位路由器的记录，这样导致路由表变长。另外，这也不利于ISP的管理。于是人们在VLSM技术基础上又提出了一种称为CIDR（Classless Inter Domain Routing，无类别域间路由）的技术。

CIDR技术的基本思想是将剩余的IP地址以可变大小块的方式进行分配，而不管它们所属的类别。如果一个站点需要1000个地址，那么它可以获得一个以1024作为地址边界的地址块，该地址块包含1024个地址。

现在假设一个单位有5个部门，每个部门的主机数如表8所示：

表8 各部门的主机数量

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 部门1 | 部门2 | 部门3 | 部门4 | 部门5 |
| 500 | 100 | 20 | 60 | 200 |

再假设该单位从ISP那里申请了一个地址块210.68.116.0/22（此地址块的后10位为0，用来表示该单位的主机），那么对此单位来说，一个可行的分配方案如表9所示：

表9 各部门的IP地址块分配方案

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| 部门1 | 部门2 | 部门3 | 部门4 | 部门5 |
| 210.68.116.0/23 | 210.68.119.0/25 | 210.68.119.192/26 | 210.68.119.128/26 | 210.68.118.0/24 |

由上可见：

1）CIDR技术取消了IP地址的类别。

2）ISP的路由器中只需要一个记录（210.68.116.0/22，该单位的路由器）来表示该单位的网络。

3）本例实际上是把多个C类地址合成了一个地址块，故也称作地址聚合、构造超网。

1. **NAT**

以上所有的技术都不能解决IP地址短缺的问题。虽然IPv6能从根本上解决此问题，但是IPv6进展缓慢，可能需要很多年才能完成。目前，Internet主要采用NAT（Network Address Translation，网络地址转换）技术解决此问题，这使得IPv4得以延续若干年。

NAT的基本思想是为每个单位分配一个或少量的IP地址（也叫全局地址，在全球范围内是唯一的）。而在单位内部，每台计算机都有内部IP地址（也叫本地地址，在该单位内唯一）。

为了保证这种方案的可行性，有三段IP地址范围已经被声明为私有地址（Private Address），这三段地址是ARPNET当初做实验用的。任何一个单位都可以在他们的内部随意地使用这些地址。而这些包含这些地址的分组不应该出现在Internet上。这三段保留的地址范围是：

10.0.0.0/8 （16 777 216个主机地址，24bit的地址块）

172.16.0.0/12 （1 048 576个主机地址，20bit的地址块）

192.168.0.0/16 （65 535个主机地址，16bit的地址块）

1

2

3

5

6

172.16.21.167

NAT

路由器

**/**防火墙

202.206.16.8

本地LAN

本地

路由器

PC机

地址转换

之前的分组

地址转换

之后的分组

租用的线路

ISP的路由器

图4 NAT的位置和工作过程

NAT的操作过程如图4所示。在单位内部，每台机器都有一个形如172.16.x.y的地址。但是当一个分组离开单位的时候，它首先要通过一个NAT盒（NAT box），此NAT盒就是一个能将内部IP源地址（图中是172.16.21.167）转换成该单位所拥有的全局IP地址（本例是202.206.16.8）的一段程序。NAT盒通常与防火墙组合在一起使用。装有NAT软件的路由器也叫NAT路由器。

三、实验任务

按照图5所示的网络拓扑图进行配置。

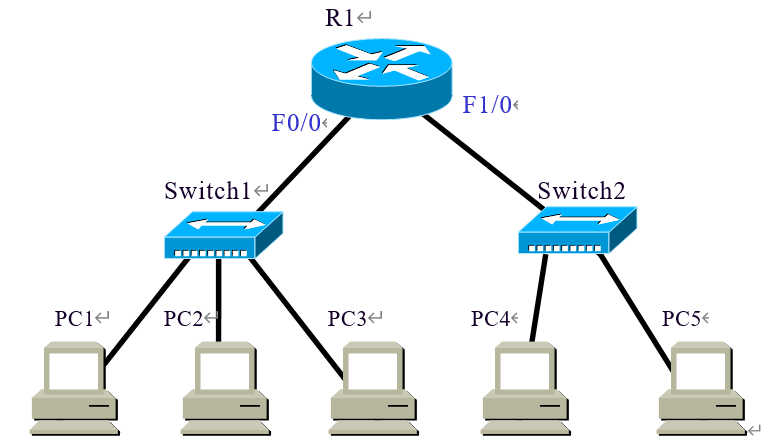
****

图5 实验用图

现假设该从ISP那里申请了一个B类地址块190.68.0.0/16。路由器R1的F0/0端口的IP地址为：190.68.20.1/24，F1/0的IP地址为：190.68.30.1/24，主机的配置如表10：

表10 主机的配置

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| 主机 | IP地址 | 主机 | IP地址 |
| PC1 | 190.68.20.11/24 | PC4 | 190.68.30.11/24 |
| PC2 | 190.68.20.12/24 | PC5 | 190.68.30.12/24 |
| PC3 | 190.68.20.13/24 |  |  |

1. 实验所需要的设备

模拟软件中的Cisco 4500路由器1台，其中slot 1选1 Fast Ethernet，slot 2选1 Fast Ethernet；Cisco 1912交换机两台；PC机5台。

1. 实验步骤
2. 在模拟器中设置相应设备，并用合适的连接线进行连接。
3. 使用命令以及图形方式进行相应设备的网络接口配置。
4. 实验的验证方式

在PC1机上用ping命令检查到PC2和PC5的连通性。记下屏幕截图或命令执行时屏幕上显示的内容。

四、实验思考

路由器的IP地址配置完毕后为什么不需要配置静态路由就可以进行通信？假设子网掩码为“/20”，重新配置各设备的IP地址，思考在配置时出现的问题及其原因。