

高速网络技术

GAOSU WANGLUO JISHU

郭联志 著



厦门大学出版社

高速网络技术

郭联志 著

厦门大学出版社

图书在版编目(CIP)数据

高速网络技术/郭联志著. —厦门:厦门大学出版社, 2003. 10

ISBN 7-5615-2124-3

I. 高… II. 郭… III. ①计算机网络-高等学校-教材②综合业务通信网-高等学校-教材
IV. TP393②TN915.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 090857 号

厦门大学出版社出版发行

(地址:厦门大学 邮编:361005)

<http://www.xmupress.com>

xmup@public.xm.fj.cn

厦门新嘉莹彩色印刷有限公司印刷

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月第 1 次印刷

开本:787×1092 1/16 印张:14 字数:358 千字

定价:23.00 元

如有印装质量问题请与承印厂调换

内 容 提 要

本书是根据计算机网络技术的最新发展，专门阐述高速网络技术的专著。重点叙述了 IP 地址的特殊应用、高速局域网、局域网管理、高速广域网、高速接入网、无线广域网、HFC 网络和虚拟网络技术。本书可作为高等学校计算机专业和其他工科专业的计算机网络课程的续修教材，也可供有关工程技术人员阅读参考。

前言

在进入 21 世纪的今天，网络世界从各方面包围着我们的生活。计算机网络技术对于中青年人来说，已经不再是什么神秘、不可测的高深知识，但是面对不断涌现的各种计算机网络技术，常常还会不知所措。的确，预测计算机网络技术领域的未来发展是件最令人头痛的事情。有的网络技术如同昙花一现，迅速销声匿迹，有的虽历数十年，至今仍兴盛不衰。网络技术的发展充满着不确定因素，它的活力不单在于厂商的不断推陈出新，而且最终还要得到用户的认同。但是有一点可以肯定的是人们为之不断探索和完善的 Internet 技术，必将成为 21 世纪人们熟练掌握的工具。

21 世纪的人们已经迈入高速网络的门槛。在局域网中，千兆、万兆以太网的突起，千兆位路由器（GSR）和太位交换路由器（TSR）的出现动摇了 ATM 在核心网络中的地位；在接入网中，ADSL、以太网技术成了 PBX 电话交换机接入技术和 ISDN 的强大克星；在广域网中，波分复用和光放大技术成功突破了传输带宽的瓶颈。但是多模光纤是否能突破成本制约最终到达用户桌面？也就是说光互联网到底距离我们还有多远？在高速网络阶段，如何保证电子商务、电子政务的安全？它们的标准及在现实世界中的可行性等都是困扰业界的话题。可以说网络技术的每一步发展，虽然解决了部分问题，但又带来其他令人困扰的问题。

由国际标准化组织（OSI）和国际电报电话咨询委员会 CCITT 共同制定的有名的 OSI/RM（Open System Interconnection / Reference Model）开放系统参考模型，其目的是考虑用一种标准的公用数据网将不同的系统互联在一起。推广普及 OSI/RM 是两大组织的初衷，遗憾的是并不是现今网络的发展都是遵循这个网络模型。而且 TCP/IP 体系已被公认为当前的工业标准，如果纯 IP 网络能够实现，OSI/RM 的模型是否走到了历史的尽头？交换机本来是数据链路层设备——网桥的一种。现已突破数据链路层的作用，分为第二层交换机：链路层交换机；第三层交换机：路由交换机；第四～七层交换机：高端交换机。甚至融入 Web 服务器成为 Web 交换机，交换技术在网络的应用把按 OSI 分层的界限搞得面目全非，其发展前程仍是不可预测。

考虑上述种种因素，本书以尽可能多的篇幅叙述新近网络技术，对于一些已经过时的高速网络技术只是略为带过。从发展和实用的眼光出发，将无线网络技术、虚拟网络技术、HFC 网络技术、接入网技术、IP 技术等单独列章进行叙述。另外考虑每章的相对独立性和阅读性，为方便读者的需求，减少查找索引，所以在某些地方有从不同角度叙述的重复。

本书对于高速网络的界定，是以能够较好实现视频传输以及用户能够承担的水准划分的，也就是高速局域网的速率大于 10 Mb/s，高速广域网的速率大于 2.048 Mb/s（E1）。

本书不少地方直接引述 IETF 的 RFC 原始文件，由于本人的英语水平有限，如有异议，敬请查找原出处，如网址 <http://www.ietf.org> 等。

计算机网络技术的高速发展也不断带来了新的变化，作为一种实用性技术，它本身就是
在发展中不断地自我完善，因此指望一本书能够成为灵丹妙药是不现实的，也是不可能的。
出版本书的初衷是抛砖引玉，能给读者一点清新的感觉。因此读者在阅读本书时，还需密切
关注计算机网络其他方面的最新发展。

虽然作者从事网络工作和教学工作已有一些年头，但因水平非常有限，书中难免存在错
误和不尽如人意的地方，恳请读者批评指正，以便于修订。

谨在此对参与审稿校对的黄茹芬女士、孙力先生表示衷心的感谢！

作者

2003 年 8 月

目 录

第 1 章 IP 地址的应用	(1)
1.1 IP 地址表示法	(1)
1.2 IP 地址的分类	(1)
1.2.1 IP 地址的结构	(2)
1.2.2 IP 地址分类	(2)
1.2.3 特殊 IP 地址	(5)
1.3 典型子网划分	(6)
1.3.1 子网分割	(6)
1.3.2 全 0 与全 1 网问题	(8)
1.3.3 子网掩码	(9)
1.3.4 子网分割实例	(10)
1.4 一般子网划分	(11)
1.4.1 CIDR 原理	(11)
1.4.2 CIDR 实例	(12)
1.5 网络地址转换	(13)
1.5.1 网络地址转换原理	(13)
1.5.2 网络地址转换注意事项	(14)
1.6 IPv6	(16)
1.6.1 IPv6 概述	(16)
1.6.2 IPv6 和 IPv4 协议的主要区别	(17)
1.6.3 IPv6 的寻址	(20)
1.6.4 单播地址	(23)
1.6.5 任意播地址	(28)
1.6.6 组播地址	(29)
第 2 章 网络互联设备	(31)
2.1 网络互联	(31)
2.1.1 网络互联的优点	(31)
2.1.2 网络互联的基本原理	(32)
2.2 网络互联设备	(33)
2.2.1 网卡	(33)
2.2.2 媒介转换器	(34)

2.2.3 中继器	(35)
2.2.4 集线器	(35)
2.2.5 网桥	(36)
2.2.6 交换机	(38)
2.2.7 路由器	(44)
2.2.8 桥路由器	(46)
2.2.9 网关	(46)
第3章 高速局域网	(48)
3.1 快速以太网	(48)
3.1.1 快速以太网标准	(49)
3.1.2 快速以太网规格	(49)
3.2 交换局域网	(50)
3.2.1 交换局域网的基本结构	(51)
3.2.2 交换机的工作原理	(51)
3.2.3 交换机的主要技术特点	(52)
3.2.4 虚拟局域网服务	(53)
3.3 千兆以太网	(53)
3.3.1 千兆以太网标准	(54)
3.3.2 千兆以太网的规格	(55)
3.3.3 千兆以太网的 QoS	(56)
3.4 万兆以太网	(57)
3.4.1 数据链路层	(57)
3.4.2 物理层	(57)
3.4.3 万兆以太网的 QoS	(62)
3.5 光纤分布式数据接口 FDDI	(64)
3.6 交换式多兆位数据服务	(65)
3.6.1 SMDS 特点	(65)
3.6.2 SMDS 体系结构	(66)
3.7 ATM 技术	(68)
3.7.1 ATM 工作原理	(68)
3.7.2 ATM 局域网仿真	(72)
第4章 局域网管理	(76)
4.1 网络故障分析和确定	(76)
4.1.1 以太网故障	(76)
4.1.2 ADSL 故障	(79)
4.2 常用故障诊断命令	(81)
4.2.1 PING	(81)
4.2.2 Ipconfig/Winipcfg	(82)
4.2.3 Tracert	(84)

4.2.4	Netstat	(85)
4.2.5	Route	(85)
4.2.6	ARP	(86)
4.2.7	NSLOOKUP	(87)
4.2.8	NBTSTAT	(87)
4.2.9	其他命令	(88)
附: ADSL 网吧解决方案		(88)
第 5 章 高速广域骨干网		(90)
5.1	光纤通信网络分类	(90)
5.1.1	按主要性能分类	(90)
5.1.2	按技术特征分类	(91)
5.1.3	按技术体制分类	(91)
5.2	广域网主干传输技术	(92)
5.2.1	物理层	(92)
5.2.2	SDH 技术	(94)
5.2.3	链路层	(97)
5.2.4	网络层	(98)
5.3	多协议标记交换	(105)
5.3.1	MPLS 的概念	(105)
5.3.2	MPLS 工作原理	(107)
5.3.3	MPLS 标记分配协议	(109)
5.3.4	MPLS 的应用	(114)
5.4	广域网前景	(116)
5.4.1	IP 和 ATM 之争	(117)
5.4.2	L2/L3/L4 一体化交换	(118)
5.4.3	直接在光纤上运行 IP	(118)
5.4.4	IP over Optical 的分帧方法	(119)
5.4.5	IP 优化光网络	(119)
第 6 章 接入网技术		(121)
6.1	接入网的划分	(122)
6.1.1	按通信媒介划分	(122)
6.1.2	按通信速率划分	(122)
6.2	网络接口标准	(123)
6.2.1	网络接口概念	(123)
6.2.2	V5 接口	(123)
6.2.3	802.3 EFM	(124)
6.2.4	IP 接入网及其分类	(125)
6.3	窄带接入技术	(129)
6.4	宽带接入技术	(129)

6.4.1	xDSL 接入技术	(130)
6.4.2	HomePNA 技术	(134)
6.4.3	Cable Modem 技术	(134)
6.4.4	以太网接入技术	(134)
6.5	无线网接入技术	(135)
6.5.1	固定式接入技术	(136)
6.5.2	移动式接入技术	(138)
6.5.3	无线局域网技术	(138)
6.6	光纤接入技术	(139)
6.6.1	光纤接入策略	(139)
6.6.2	光纤环路接入技术	(139)
6.6.3	光纤同轴电缆混合接入	(142)
6.7	接入网趋势	(142)
6.7.1	网络 IP 化	(143)
6.7.2	接入性能比较	(143)
第 7 章	无线网络技术	(144)
7.1	无线传输技术	(144)
7.1.1	光波	(144)
7.1.2	无线电波	(145)
7.1.3	窄频微波	(146)
7.1.4	扩频技术	(146)
7.2	无线局域网技术	(148)
7.2.1	WLAN 的组成	(148)
7.2.2	WLAN 的特点	(150)
7.2.3	WLAN 组网限制	(151)
7.3	IEEE 802.11	(152)
7.3.1	IEEE 802.11a	(152)
7.3.2	IEEE 802.11b	(153)
7.3.3	IEEE 802.11b+	(153)
7.3.4	IEEE 802.11g	(154)
7.3.5	无线城域网标准	(154)
7.4	Hiper LAN	(155)
7.4.1	Hiper LAN 1	(155)
7.4.2	Hiper LAN 2	(155)
7.4.3	Hiper LAN 2 的主要特征	(155)
7.5	HomeRF	(157)
7.5.1	HomeRF 的标准	(157)
7.5.2	高速 HomeRF	(158)
7.5.3	HomeRF 的终结	(158)

7.6 蓝牙技术	(159)
7.6.1 蓝牙功能	(159)
7.6.2 蓝牙技术的标准	(160)
7.6.3 蓝牙系统组成	(161)
7.6.4 无线个人区域网络	(161)
7.7 移动通信技术	(163)
7.7.1 GSM	(163)
7.7.2 GPRS	(164)
7.7.3 CDMA	(165)
7.7.4 OFDM	(169)
7.7.5 TDD 与 FDD 模式	(170)
7.8 WAP 协议	(171)
7.8.1 WAP 概念	(172)
7.8.2 WAP 的标准	(172)
7.8.3 移动互联网模型	(174)
第8章 HFC 网络	(175)
8.1 HFC 的原理	(175)
8.2 HFC 分类	(176)
8.3 Cable Modem 技术原理	(177)
8.4 Cable Modem 标准	(178)
8.4.1 DOCSIS 标准	(178)
8.4.2 DVB/DAVIC 标准	(179)
8.5 Cable Modem 接入	(179)
8.5.1 数据传输	(179)
8.5.2 语音的传输	(180)
8.6 共缆分纤法	(180)
第9章 虚拟网络技术	(182)
9.1 虚拟局域网 (VLAN)	(182)
9.1.1 虚拟网络概念	(182)
9.1.2 划分 VLAN 的方法	(183)
9.2 虚拟专用网络 (VPN)	(185)
9.2.1 VPN 工作原理	(186)
9.2.2 VPN 协议	(187)
9.2.3 VPN 的业务	(189)
9.2.4 构建 VPN	(191)
9.3 MPLS VPN	(193)
9.3.1 MPLS VPN 解决方案	(193)
9.3.2 MPLS VPN 的特点	(193)
9.3.3 L2/L3 MPLS VPN	(194)

9.3.4 三种 VPN 技术比较	(196)
9.4 组播骨干网络	(198)
9.4.1 组播骨干网络概念	(198)
9.4.2 MBONE	(198)
9.4.3 Internet 组管理协议	(199)
9.4.4 IP 组播组网技术	(200)
9.4.5 组播的高层协议	(201)
9.4.6 组播技术应用前景	(201)
9.4.7 流媒体技术	(202)
思考题	(204)
附录一: Internet 网络中的主要协议	(206)
附录二: Internet 国家(地区)代码	(208)
参考文献	(211)

第1章 IP 地址的应用

目前 Internet 上通用的 IP 版本为第 4 版，称为 IPv4。IPv4 的地址由 32 比特位组成，理论上有 $2^{32} = 4\,294\,967\,296$ （将近 43 亿个）种组合。这个数字虽然很大，但是在现实世界对于 IP 的需要却是永无止境的。在可预见的将来，32 比特位长度的 IP 地址必将不敷使用。Internet 工程任务组（Internet Engineering Task Force, IETF）研究设计的下一版本 IPv6，由 128 比特位组成， 2^{128} 可以说是天文数字，可以提供非常充裕的 IP 空间。下面先介绍 IPv4 IP 地址使用方法。

1.1 IP 地址表示法

IPv4 版本的 IP 地址是一长度为 32 Bits 的二进制数值，看起来就是一长串的 0 或 1：

11001010010010111100111001101110

└──┘
总共有 32 个 0/1

这样一长串的二进制数值，对于一般人来说，不要说记下来，连抄写都很困难。为了方便起见，一般使用下列方式来转换这一长串的 0/1 数值：

- 1) 首先以 8 Bits 为单位，将 32 Bits 的 IP 地址分成 4 段：

11001010 01001011 11001110 01101110

└──┴──┴──┴──┘
每一段是 8 Bits

- 2) 将各段的二进制数值转换成十进制，再以小数点“.”隔开，读为 202.75.206.110 这种表示方式就是大家熟悉的网络上设置的 IP 地址格式。

1.2 IP 地址的分类

最初在设计 IP 时，着眼于路由与管理上的需求，因此制定了 IP 地址的分类（Class）。这种以类来划分的方式，被称为有类别（Classify）的划分方式。这种规划方式在后来面临了地址严重不足的问题，因而做了许多更改，产生了无类别（Classless）的划分方式。不过由于相袭已久，而且大多数用户所申请到的 IP 地址很少，即使较大的校园网一般也只会分配 8 个 C 类网段地址，可以说感觉不出无类别的划分，因此仍习惯按类别称呼自己所得到的

网段。

1.2.1 IP 地址的结构

IP 地址是用来识别网络上设备的，不过 IP 路由的结构并非以个别的设备为基本单位，而是以网络为基础。也就是说，IP 地址必须能记载设备所属之网络。为了达到此目的，IP 地址是由网络地址与主机地址两部分所组成。

1. 网络地址

网络地址位于 IP 地址的前段，可用来识别所属的网络。当用户申请 IP 地址时，所分配到的通常并非个别零散的 IP 地址，而是取得一个独一无二、以资识别的网络地址。

同一网络上的所有设备，都会有相同的网络地址。IP 路由就是根据 IP 地址的网络地址，决定要将 IP 数据包送至哪个网络。

2. 主机地址

主机地址位于 IP 地址的后段，可用来识别网络上个别的设备。同一网络上的设备都会有相同的网络地址，而各设备之间则是以主机地址来区别。

那么网络地址与主机地址的长度是如何分配的呢？我们可以算算看，如果网络地址的长度较长，例如 24 Bits，那么主机地址便只有 8 Bits，亦即此一网络地址下共有 $2^8 = 256$ 个主机地址，可分配给 256 部设备使用。如果网络地址的长度较短，例如 16 Bits，那么主机地址便有 16 Bits，亦即此一网络地址下共有 $2^{16} = 65\,536$ 个主机地址，可分配给 65 536 台设备使用。

由于各个网络的规模大小不一，大型的网络应该使用较短的网络地址，以便能使用较多的主机地址；反之，较小的网络则应该使用较长的网络地址。为了符合不同网络规模的需求，IP 在设计时便根据网络地址的长度，划分出 IP 地址类别。

1.2.2 IP 地址分类

当初在设计 IP 时，制定了 5 种 IP 地址的类别，即 A、B、C、D 和 E 类。不过，一般最常用到的只是 A、B、C 这三类的 IP 地址。这三类分别使用不同长度的网络地址，因此适用于大、中、小型网络。IP 地址的管理机构可根据申请者的网络规模，决定要赋予哪类别地址。

1. A 类网络 (/8 前缀)

A 类网络地址的长度为 8 Bits，最左边的 Bit（称为前导位）必须为 0。A 类的网络地址可从 00000000 (b) 至 01111111 (b)，理论上总共有 $2^7 = 128$ 个（见图 1-1）。不过 A 类网络最多只可以定义 $2^7 - 2 = 126$ 个，因为网络 0.0.0.0 被保留用做默认路由，而网络 127.0.0.0 被留作回环地址。

由于 A 类的网络地址长度为 8 Bits，因此主机地址长度为 $32 - 8 = 24$ Bits，亦即每个 A

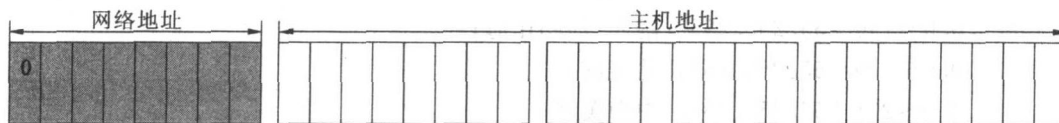


图 1-1 A 类的 IP 地址

类网络可供使用的主机地址有 $2^{24} = 16\,777\,216$ 个。只有一些大区、国家或一些特殊的单位，例如亚洲、加拿大、美国新泽西通用电气公司、美国麻省理工大学等才会分配到 A 类的 IP 地址。

请读者特别注意前导位。由于每类的前导位不同，因此，从前导位便可以判断所属的类别。

2. B 类网络 (/16 前缀)

B 类网络地址的长度为 16 Bits，最左边的 2 Bits 为前导位，必须为 10。因此 B 类的 IP 地址介于 128.0.0.0 和 191.255.255.255 之间（见图 1-2），可容纳 16 384 个网络。每个 B 类网络可供使用的主机地址有 $2^{16} = 65\,536$ 个，通常用来分配给一些跨国企业或 Internet 服务商（ISP）使用。

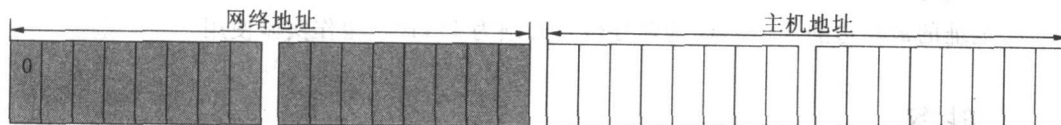


图 1-2 B 类的 IP 地址

3. C 类网络 (/24 前缀)

C 类网络地址的长度为 24 Bits，最左边的 3 Bits 为前导位，必须为 110。因此 C 类的 IP 地址介于 192.0.0.0 与 223.255.255.255 之间（见图 1-3），可容纳 2 097 152 个网络。每个 C 类网络可以使用的主机地址有 $2^8 = 256$ 个，通常用来分配给一些小型企业使用。

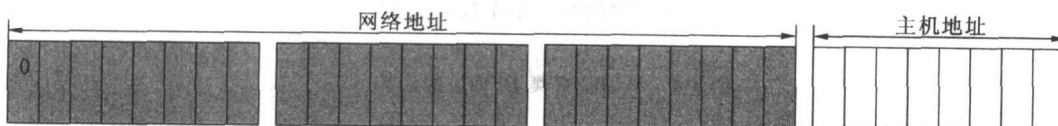


图 1-3 C 类的 IP 地址

为了便于路由选择，C 类地址是按大区分配的：

193.0.0.0~195.255.255.255；欧洲、非洲；

194.0.0.0~195.255.255.255: 欧洲;
 196.0.0.0~196.255.255.255: 南非/加勒比海;
 197.0.0.0~199.255.255.255: 北美洲;
 200.0.0.0~201.255.255.255: 中南美洲;
 202.0.0.0~203.255.255.255: 亚洲和大洋洲;
 204.0.0.0~209.255.255.255: 北美洲;
 210.0.0.0~211.255.255.255: 亚洲和大洋洲;
 212.0.0.0~213.255.255.255: 欧洲;
 214.0.0.0~215.255.255.255: 美国防部;
 216.0.0.0~216.255.255.255: 北美洲、中南美洲;
 217.0.0.0~217.255.255.255: 欧洲;
 218.0.0.0~218.255.255.255: 亚洲和大洋洲。
 219 以上网段尚未分配。

4. D 类地址

D 类地址不标识网络, 最左边的 4 个 Bits 为前导位, 必须为 1110, 基本的用途是多点广播 (组播)。

5. E 类地址

E 类地址的最左边的 5 个 Bits 为前导位, 必须为 11110, 留作实验使用。

6. 归纳比较

图 1-4 将 A、B、C 类 IP 地址并列, 方便读者进行比较记忆。

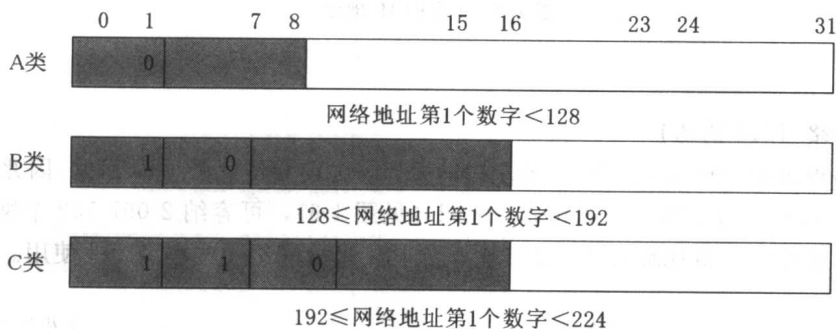


图 1-4 A、B、C 类 IP 地址的比较

上述 A、B、C 类的规划, 主要是针对路由与管理上的需求, 可归纳出如下的优点:

从 IP 地址的前导位, 便可判断出所属网络的分类, 进而得知网络地址与主机地址的关系。例如: 某主机 IP 地址为 66.195.2.64。我们从第 1 个数字“66”便可判断此为 A 类的 IP 地址。因此, 该 IP 地址的前 8 Bits 为网络地址, 后 24 Bits 为主机地址。

根据用户的实际需求, 可分配 A、B、C 三类的网络地址, 让 IP 地址的分配更有效率。

1.2.3 特殊 IP 地址

前面所提及 IP 地址的数量，都只是数学上各种排列组合的总量。在实际应用中，有些网络地址与主机地址会有特别的用途，因此在分配或管理 IP 地址时，要特别留意这些限制。下面是这些特殊 IP 地址的说明：

1. 主机地址全为 0

主机地址全为 0 用来代表“本网络”，以 C 类为例，202.101.112.0 用来代表该 C 类的网络。

2. 主机地址全为 1

主机地址全为 1 代表网络中的全部主机，因此也就是“广播”的意思。以 C 类为例，假设某一网络的网络地址为 202.101.112.0，若网络中有一部计算机送出 202.101.112.255 的数据包，即代表这是对 202.101.112.0 这个网络的广播数据包，所有位于该网络上的设备都会收到此数据包。事实上，只要沿途的路由器支持，位于其他网络的设备，也可传送此类广播数据包给 202.101.112.0 这个网络中的所有设备。

3. 网络地址与主机地址都为 1

若网络地址与主机地址都为 1，亦即 255.255.255.255，称为“有限的 (Limited)”或“本地的 (Local)”广播数据包。此种广播的范围仅限于所在的网络。亦即，只有同一网络上的设备可收到此种广播。

4. 127. x. y. z

根据 RFC-1700 文档 (已分配编号 RFC)，A 类地址的最后 1 个网络 127.0.0.0 的所有地址，即 127. x. y. z 地址都是内部主机“Loopback”地址 [(127, any) Internal host loop-back address]。

Loopback (回环，也就是不得出去的意思) 地址主要用来测试本机计算机上的 TCP/IP 之用。当 IP 数据包目的端为 Loopback 地址时，IP 数据包不会送到实体的网络上，而是送给系统的 Loopback 驱动程序来处理。

回环地址十分有用，当某主机是通过 DHCP 协议分配得到地址时，可以将本地主机的 E-mail 客户软件的 SMTP 服务器设置为 127.0.0.1。这样一来，不管该机的 IP 地址最终如何变化，SMTP 都可以照常工作。

5. 私有地址

在设计 IP 时，考虑到有些网络虽然使用 TCP/IP 的协议组合，但不会与 Internet 相连，或通过代理与 Internet 相连。因此，在 A、B、C 类中都保留了一些私有 IP 地址，供这类网络自行使用。

A 类：10.0.0.0 ~ 10.255.255.255 (10/8 前缀)