

上海大学



SHANGHAI UNIVERSITY

2021-2022 学年秋季学期

上海大学 计算机学院

《计算机网络》

综合实验一

实验名称 : IPv6

专业 : 计算机科学与技术专业

姓名 : 汪雨卿

学号 : 19120191

1 引言

互联网技术对于 21 世纪人们生活的方方面面都产生着重大的影响，最初使用了 IPv4 的网络协议。由于 IPv4 最大的问题在于网络地址资源不足，严重制约了互联网的应用和发展。IPv6 的使用，不仅能解决网络地址资源数量的问题，而且也解决了多种接入设备连入互联网的障碍。

2 IPv6 技术的概念与定义

IPv6 是互联网协议的第 6 版，那么由此推及可以发现，在这个第 6 版之前还存在着其他版本。而 IPv6 诞生的主要原因就是为了解决其他版本所存在的不足，为了使其更好地服务于人类社会。在 IPv4 中存在的常见问题是地址枯竭，不能应对当今广大人士的需求，会出现互联网容量不足这一问题。所以 IPv6 就是基于 IPv4 版本进行改造升级的，它借鉴参考了 IPv4 已有的优势特征，但同时也对 IPv4 的劣势进行了改造，完成了创新，使其具有容量大、安全性高且运作高效便捷等特征。虽然 IPv6 并非完美无缺，还存在着很大的提升空间。但就目前来看，它是在现阶段中全球公认的最成熟，最具有操作性的互联网核心协议。不管是我国还是他国，现如今都在采用这一版本互联网协议，并在积极建设以 IPv6 为基础的应用网络体系。

我国更是明确颁布了相关的行动部署计划，在计划中还明确指出了网络应用体系的建设目标和具体策略。以政府牵头领导，其他相关部门和行业都在积极响应国家和政府的号召，不同的地区还根据地区现有的网络技术发展情况对 IPv6 技术的升级改造进行了试点。在众多优秀人才的努力下，我国 IPv6 技术正在逐渐完善，在向下一代技术进行过渡推演。根据相关人士的分析统计来看，我国目前在升级改造 IPv6 技术上，其核心技术和内容包含了中心平台系统，接入网以及城域网数据网的方面。而将这三大内容进行细分，又可以发现接入网含有三种经典的网络构架，ftth、hfc 和 eoc 这三种不同的网络构建又分别对应着不同的传输技术体系。我国要对 IPv6 技术进行改造升级，要详细规划 IPv6 技术的发展模式，就需要针对 IPv6 技术进行统一部署，统一规划。这样才可以实现国家和政府部门的基本要求，才能进一步发展我国的网络技术。

3 IPv6 关键技术

3.1 IPv6 的特点

IPv6 是对曾经 IPv4 版本的升级与优化，国际互联网工程设计的一套规范的互联网协议，其中蕴含着许多与互联网相关的核心技术。包括但不限于按文头格式、地址、空间和地址结构以及邻居发现机制等。身处信息科技高度发达的时代中，人们的生活与教育的发展和科技的研究都离不开互联网的应用，而就目前来看，全世界的网民数量都在逐年增多，对互联网的需求也越来越大。而随着需求的提升，就必须要对现有技术进行升级，这样才不会出现供不应求的状况。所以针对以前 IPv4 版本，IPv6 对地址数量进行了升级。新版本是 128 位的地址结构，而以前老旧的版本则是 32 位，从数量上来看，IPv6 的地址数比 IPv4 多了 4 倍。而根据它的运作原理来看，第 128 位的地址结构就可以为人们提供极大的地址空间。此外，IPv6 不仅提高了地址结构数量，同时还对地址结构的空间进行了优化。与以前的版本相比，它的地址结构更具有层次化，能够有效借助路由集合快速查找相关协议及信息，能全面提高路由设备的转发效率。不仅如此，它的地址还能够自动配置。这凸显了新技术的智能型，也有效提高了内部网络的管理效率，使得 IPv6 技术更符合当今人类的需求。同时，根据人们的现有需求和 IPv4 的本质特征，IPv6

技术就拓展出了扩展头的概念。从理论上讲，它能够无限的扩张，可以有效解决 IPv4 容量不足、地址结构数量不够等多项问题，具备极强的灵活性。

3.2 IPv6 过渡技术

IPv6 过渡技术主要有三种，分别是同步应用 IPv4 和 IPv6 协议线的双线技术，一种协议数据传输另一种协议数据的隧道技术，以及对一种网络地址与协议进行转换翻译，从而解决 IPv4 和 IPv6 不兼容的问题，致使 IPv4 和 IPv6 协议能够相互连通的翻译技术。将 IPv6 过渡技术进行细化分类，并不是为了单一使用某一种技术，而是为了更好地融合这三种技术，进而使 IPv6 技术的优势特点能进一步凸显出来。因为联网的构造是极其复杂多变的，它承载着大量的数据，肩负着重要的社会功能，某一项单一技术完全无法满足人们的需求，只有将双线技术、翻译技术和隧道技术有效整合起来，并将其正确应用在不同的程序中，才能实现对 IPv6 技术的升级与改进。

3.3 DHCPv6 技术

在这种快节奏的社会中，人们做事越来越讲求效率，讲求速度，因此 IPv6 技术就根据人类的这一重大需求进行创新，使得 IPv6 可以分成变成自动配置的方式，这样一来，人们在终端设备应用互联网技术的时候，就可以实现即插即用，能有效提升应用效率。而对 IPv6 技术的自动配置技术进行分析，可以发现它主要分为两种状态，一个是有状态的 dhcpv6，一个是无状态的配置 slaac。两者的运作方式存在较大的区别，其中有状态的配置主要是通过主机获取地址信息和配置信息；而无状态的配置则不会直接与主机对接，会借助路由设备，并利用主机自动识别。详细来讲，是指 dhcpv6 是动态的配置协议，它不仅能够给主机提供对应的地址信息，同时还能够提供 DNS 信息和其他配置信息，对一些数据的收集更加全面完善，能增强与终端用户的联系，进一步强化管理的可控性。这一点是无状态配置 slaac 所不具有的。除此之外，dhcpv6 还具有几个重要的功能，比如它可以提供扩展功能，同时具备前缀分配机制。利用这种技术，能进一步提升网络的层次性，促使 IPv6 地址管理更科学有效。

4 组成结构

4.1 IPv6 地址的表示方法

IPv6 地址总长度为 128 比特，通常分为 8 组，每组为 4 个十六进制数的形式，每组十六进制数间用冒号分隔。例如：FC00:0000:130F:0000:0000:09C0:876A:130B，这是 IPv6 地址的首选格式。

为了书写方便，IPv6 还提供了压缩格式，以上述 IPv6 地址为例，具体压缩规则为：每组中的前导“0”都可以省略，所以上述地址可写为：FC00:0:130F:0:0:9C0:876A:130B。

地址中包含的连续两个或多个均为 0 的组，可以用双冒号“::”来代替，所以上述地址又可以进一步简写为：FC00:0:130F::9C0:876A:130B。

说明：

需要注意的是，在一个 IPv6 地址中只能使用一次双冒号“::”，

否则当计算机将压缩后的地址恢复成 128 位时，无法确定每个“::”代表 0 的个数。

4.2 IPv6 地址的结构

一个 IPv6 地址可以分为如下两部分：

- 网络前缀: n 比特, 相当于 IPv4 地址中的网络 ID
- 接口标识: $128-n$ 比特, 相当于 IPv4 地址中的主机 ID

说明:

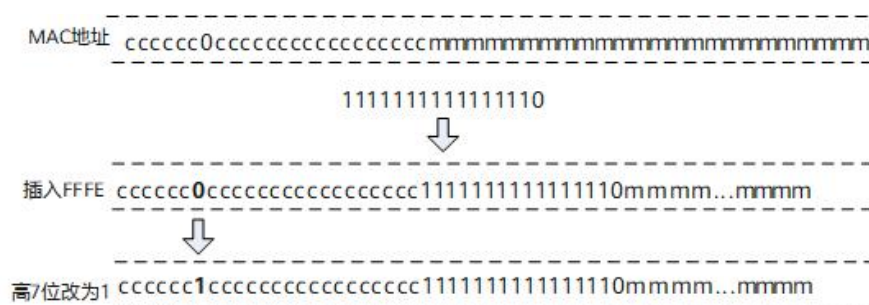
对于 IPv6 单播地址来说，如果地址的前三位不是 000，则接口标识必须为 64 位。

如果地址的前三位是 000，则没有以上限制。

接口标识可通过三种方法生成：手工配置、系统通过软件自动生成或 IEEE EUI-64 规范生成。其中，EUI-64 规范自动生成最为常用。

IEEE EUI-64 规范是将接口的 MAC 地址转换为 IPv6 接口标识的过程。如图 1 所示, MAC 地址的前 24 位 (用 c 表示的部分) 为公司标识, 后 24 位 (用 m 表示的部分) 为扩展标识符。从高位数, 第 7 位是 0 表示了 MAC 地址全球唯一。转换的第一步将 FFFE 插入 MAC 地址的公司标识和扩展标识符之间, 第二步将从高位数, 第 7 位的 0 改为 1 表示此接口标识本地唯一。

图 1 EUI-64 规范示意图



例如：MAC 地址：000E-0C82-C4D4；转换后：020E:0CFF:FE82:C4D4。

这种由 MAC 地址产生 IPv6 地址接口标识的方法可以减少配置的工作量,尤其是当采用无状态地址自动配置时,只需要获取一个 IPv6 前缀就可以与接口标识形成 IPv6 地址。但是使用这种方式最大的缺点是任何人都可以通过二层 MAC 地址推算出三层 IPv6 地址。

4.3 IPv6 的地址分类

IPv6 地址分为单播地址、任播地址 (Anycast Address)、组播地址三种类型。和 IPv4 相比，取消了广播地址类型，以更丰富的组播地址代替，同时增加了任播地址类型。

4.3.1 IPv6 单播地址

IPv6 单播地址标识了一个接口，由于每个接口属于一个节点，因此每个节点的任何接口上的单播地址都可以标识这个节点。发往单播地址的报文，由此地址标识的接口接收。

IPv6 定义了多种单播地址，目前常用的单播地址有：未指定地址、环回地址、全球单播地址、链路本地地址、唯一本地地址 ULA (Unique Local Address)。

- 未指定地址

IPv6 中的未指定地址即 $0:0:0:0:0:0:0:0/128$ 或者 $::/128$ 。该地址可以表示某个接口或者节点还没有 IP 地址，可以作为某些报文的源 IP 地址（例如在 NS 报文的重复地址检测中会出现）。源 IP 地址是 $::$ 的报文不会被路由设备转发。

- 环回地址

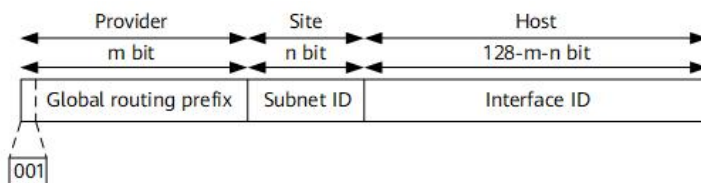
IPv6 中的环回地址即 $0:0:0:0:0:0:0:1/128$ 或者 $::1/128$ 。环回与 IPv4 中的 $127.0.0.1$ 作用相同，主要用于设备给自己发送报文。该地址通常用来作为一个虚接口的地址（如 Loopback 接口）。实际发送的数据包中不能使用环回地址作为源 IP 地址或者目的 IP 地址。

- 全球单播地址

全球单播地址是带有全球单播前缀的 IPv6 地址，其作用类似于 IPv4 中的公网地址。这种类型的地址允许路由前缀的聚合，从而限制了全球路由表项的数量。

全球单播地址由全球路由前缀（Global routing prefix）、子网 ID（Subnet ID）和接口标识（Interface ID）组成，其格式如图 2 所示：

图 2 全球单播地址格式



Global routing prefix: 全球路由前缀。

由提供商（Provider）指定给一个组织机构，通常全球路由前缀至少为 48 位。目前已经分配的全球路由前缀的前 3bit 均为 001。

Subnet ID: 子网 ID。

组织机构可以用子网 ID 来构建本地网络（Site）。子网 ID 通常最多分配到第 64 位。子网 ID 和 IPv4 中的子网号作用相似。

Interface ID: 接口标识。

用来标识一个设备（Host）。

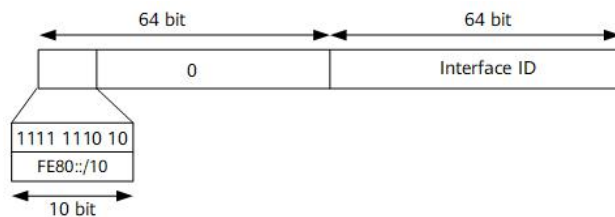
- 链路本地地址

链路本地地址是 IPv6 中的应用范围受限制的地址类型，只能在连接到同一本地链路的节点之间使用。它使用了特定的本地链路前缀 $FE80::/10$ （最高 10 位值为 1111111010），同时将接口标识添加在后面作为地址的低 64 比特。

当一个节点启动 IPv6 协议栈时，启动时节点的每个接口会自动配置一个链路本地地址（其固定的前缀+EUI-64 规则形成的接口标识）。这种机制使得两个连接到同一链路的 IPv6 节点不需要做任何配置就可以通信。所以链路本地地址广泛应用于邻居发现，无状态地址配置等应用。

以链路本地地址为源地址或目的地址的 IPv6 报文不会被路由设备转发到其他链路。链路本地地址的格式如图 3 所示：

图 3 链路本地地址格式

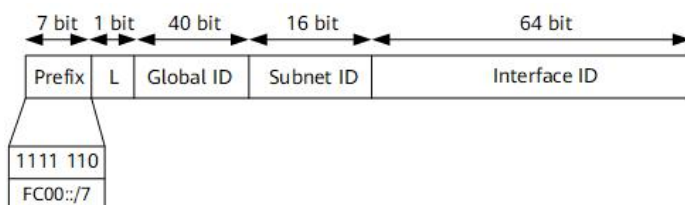


- 唯一本地地址

唯一本地地址是另一种应用范围受限的地址，它仅能在一个站点内使用。由于本地站点地址的废除（RFC3879），唯一本地地址被用来代替本地站点地址。

唯一本地地址的作用类似于 IPv4 中的私网地址，任何没有申请到提供商分配的全球单播地址的组织机构都可以使用唯一本地地址。唯一本地地址只能在本地网络内部被路由转发而不会在全球网络中被路由转发。唯一本地地址格式如图 4 所示：

·图 4 唯一本地地址格式



Prefix: 前缀；固定为 FC00::/7。

L: L 标志位；值为 1 代表该地址为在本地网络范围内使用的地址；值为 0 被保留，用于以后扩展。

Global ID: 全球唯一前缀；通过伪随机方式产生。

Subnet ID: 子网 ID；划分子网使用。

Interface ID: 接口标识。

唯一本地地址具有如下特点：

- + 具有全球唯一的前缀（虽然随机方式产生，但是冲突概率很低）。
- + 可以进行网络之间的私有连接，而不必担心地址冲突等问题。
- + 具有知名前缀（FC00::/7），方便边缘设备进行路由过滤。
- + 如果出现路由泄漏，该地址不会和其他地址冲突，不会造成 Internet 路由冲突。
- + 应用中，上层应用程序将这些地址看作全球单播地址对待。
- + 独立于互联网服务提供商 ISP（Internet Service Provider）。

4.3.2 IPv6 组播地址

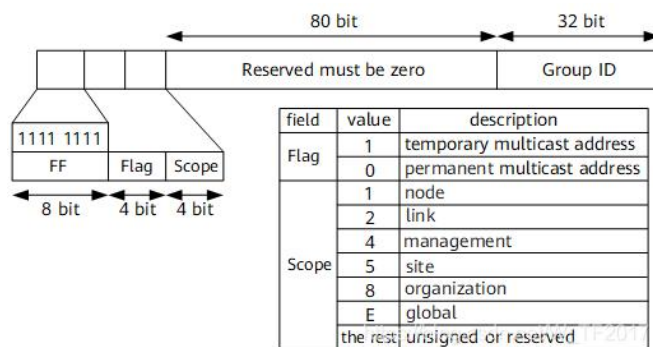
IPv6 的组播与 IPv4 相同，用来标识一组接口，一般这些接口属于不同的节点。一个节点可能属于 0 到多个组播组。发往组播地址的报文被组播地址标识的所有接口接收。例如组播地址 FF02::1 表示链路本地范围的所有节点，组播地址 FF02::2 表示链路本地范围的所有路由器。

一个 IPv6 组播地址由前缀，标志（Flag）字段、范围（Scope）字段以及组播组 ID（Global ID）4 个部分组成：

- + 前缀：IPv6 组播地址的前缀是 FF00::/8。
- + 标志字段 (Flag)：长度 4bit，目前只使用了最后一个比特（前三位必须置 0），当该位值为 0 时，表示当前的组播地址是由 IANA 所分配的一个永久分配地址；当该值为 1 时，表示当前的组播地址是一个临时组播地址（非永久分配地址）。
- + 范围字段 (Scope)：长度 4bit，用来限制组播数据流在网络中发送的范围，该字段取值和含义的对应关系如图 5 所示。
- + 组播组 ID (Group ID)：长度 112bit，用以标识组播组。目前，RFC2373 并没有将所有的 112 位都定义成组标识，而是建议仅使用该 112 位的最低 32 位作为组播组 ID，将剩余的 80 位都置 0。这样每个组播组 ID 都映射到一个唯一的以太网组播 MAC 地址 (RFC2464)。

IPv6 组播地址格式如图 5 所示：

图 5 IPv6 组播地址格式



+ 被请求节点组播地址

被请求节点组播地址通过节点的单播或任播地址生成。当一个节点具有了单播或任播地址，就会对应生成一个被请求节点组播地址，并且加入这个组播组。一个单播地址或任播地址对应一个被请求节点组播地址。该地址主要用于邻居发现机制和地址重复检测功能。

IPv6 中没有广播地址，也不使用 ARP。但是仍然需要从 IP 地址解析到 MAC 地址的功能。在 IPv6 中，这个功能通过邻居请求 NS (Neighbor Solicitation) 报文完成。当一个节点需要解析某个 IPv6 地址对应的 MAC 地址时，会发送 NS 报文，该报文的目 IP 就是需要解析的 IPv6 地址对应的被请求节点组播地址；只有具有该组播地址的节点会检查处理。

被请求节点组播地址由前缀 FF02::1:FF00:0/104 和单播地址的最后 24 位组成。

4.3.3 IPv6 任播地址

任播地址标识一组网络接口（通常属于不同的节点）。目标地址是任播地址的数据包将发送给其中路由意义上最近的一个网络接口。

任播地址设计用来在给多个主机或者节点提供相同服务时提供冗余功能和负载分担功能。目前，任播地址的使用通过共享单播地址方式来完成。将一个单播地址分配给多个节点或者主机，这样在网络中如果存在多条该地址路由，当发送者发送以任播地址为目的 IP 的数据报文时，发送者无法控制哪台设备能够收到，这取决于整个网络中路由协议计算的结果。这种方式可以适用于一些无状态的应用，例如 DNS 等。

IPv6 中没有为任播规定单独的地址空间，任播地址和单播地址使用相同的地址空间。目前

IPv6 中任播主要应用于移动 IPv6。

说明：

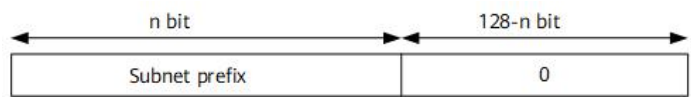
IPv6 任播地址仅可以被分配给路由设备，不能应用于主机。任播地址不能作为 **IPv6** 报文的源地址。

+ 子网路由器任播地址

子网路由器任播地址是已经定义好的一种任播地址（RFC3513）。发送到子网路由器任播地址的报文会被发送到该地址标识的子网中路由意义上最近的一个设备。所有设备都必须支持子网任播地址。子网路由器任播地址用于节点需要和远端子网上所有设备中的一个（不关心具体是哪一个）通信时使用。例如，一个移动节点需要和它的“家乡”子网上的所有移动代理中的一个进行通信。

子网路由器任播地址由 n bit 子网前缀标识子网，其余用 0 填充。格式如图 6 所示：

图 6 子网路由器任播地址格式



5 结语

IPv6 作为新推出的网络协议是一种大势所趋，其初衷是为了解决 IPv4 地址的局限性。而所有事物的发展都要遵从客观规律，新事物的推出也一定有它的两面性。或许，目前市场上 IPv6 的兼容性，推广程度仍然有待提高。但笔者相信随着科技的高速发展，以及市场需求推动下的不断优化 IPv6 在未来有着很客观的使用前景，也会对人们的生活给予很大的辅助。