

# IPv6 技术介绍

谨以此书献给首个“世界IPv6日”

张颖豪

2011.6.8

第一章 引言.....	3
第二章 IPv6 基础知识.....	5
2.1 IPv6 地址.....	5
2.1.1 IPv6 地址结构定义.....	5
2.1.2 IPv6 地址分类.....	6
2.2 IPv6 报文格式.....	9
2.2.1 IPv6 报文基本头格式.....	10
2.2.2 IPv6 报文扩展头格式.....	11
2.3 IPv6 基本技术.....	13
2.3.1 IPv6 邻居发现协议.....	13
2.3.1.1 邻居发现.....	13
2.3.1.2 路由器发现.....	15
2.3.1.3 IPv6 无状态地址自动配置.....	16
2.3.1.4 重定向.....	18
2.3.2 IPv6 路径MTU发现协议.....	18
2.3.3 动态主机配置协议 (DHCPv6).....	18
2.3.3.1 DHCPv6 概述.....	18
2.3.3.2 DHCPv6 地址/前缀分配过程.....	19
2.3.3.3 地址/前缀租约更新过程.....	20
2.3.3.4 DHCPv6 无状态配置过程.....	21
2.3.4 IPv6 域名解析.....	22
第三章 IPv6 路由技术.....	24
3.1 RIPng.....	24
3.2 OSPFv3.....	24
3.3 IS-ISv6.....	25
3.4 BGP4+.....	26
第四章 IPv6 过渡技术.....	27
4.1 IPv6/IPv4 双协议栈.....	27
4.2 隧道技术.....	28
4.3 IPv6 与IPv4 互通技术.....	30
4.4 过渡技术比较.....	33
第五章 IPv6 部署规划.....	34
5.1 IPv6 地址规划.....	34
5.2 IPv6 路由规划.....	34
5.2.1 域内路由协议.....	35
5.2.2 域间路由协议.....	35
5.3 网络管理.....	36
第六章 IPv6 在中国.....	37
第七章 IPv6 地址分配状况.....	39
第八章 IPv6 网络新应用展望.....	41

# 第一章 引言

目前 IANA 的 IPv4 地址已经全部分配完毕，亚太区（APNIC）的正常可分配的 IPv4 地址也于 2011 年 4 月宣告耗尽。随着网络的普及，手机、笔记本、服务器、路由器等设备都在消耗 IP 地址，3G 网络和物联网的推广和应用更进一步加大了 IP 地址的消耗。第 27 次中国互联网络发展状况统计报告显示，中国网民达到 4.57 亿，是全球网民最多的国家，中国 IPv4 地址数量仅 2.78 亿，占全球的 8.6%，IP 地址增幅和数量落后于网民增幅和数量，所以中国面临 IP 地址供需缺口形势更为严峻。

IPv4 协议是目前广泛部署的 Internet 协议，IPv4 协议从 1981 年最初定义（RFC791）到现在已经近 30 年，在过去 20 多年的应用中，IPv4 获得了巨大的成功，同时随着应用范围的扩大，它也面临着越来越不容忽视的危机，例如地址匮乏等等。

IPv6 是为了解决 IPv4 所存在的一些问题和不足而提出的，同时它还在许多方面提出了改进：

- 简化的报头和灵活的扩展，层次化的地址结构
- IP 地址自动配置，即插即用的连网方式
- 对移动通讯更好的支持
- 端到端安全
- QoS

随着 Internet 的发展，IPv4 的局限越来越暴露出来，制约了 IP 技术的应用和未来网络的发展，IPv6 作为下一代网络的基础以其鲜明的技术优势得到广泛的认可

“十二五”规划明确了培育发展战略性新兴产业的战略目标，新一代信息技

## IPv6 技术介绍

---

术是国务院确定的七个战略性新兴产业之一，其中加快建设宽带、泛在、融合、安全的信息网络基础设施，推动新一代移动通信、下一代互联网核心设备和智能终端的研发及产业化，加快推进三网融合，促进物联网、云计算的研发和示范应用成为发展新一代信息技术产业的主要任务。面对网民的快速增长和发展新一代信息技术产业的产生的海量 IP 地址需求，实现向 IPv6 过渡变得更为紧迫。

本书搜集整理了 IPv6 的一些技术资料，旨在为互联网服务商初步了解 IPv6 技术提供参考。

## 第二章 IPv6 基础知识

IPv6 协议是 IP 协议第 6 版本，是作为 IPv4 协议的后继者而设计的新版本的 IP 协议。IPv6 相比 IPv4 主要有以下一些变化：扩展的寻址能力 IPv6 将 IP 地址长度从 32 位扩展到 128 位，支持更多级别的地址层次、更多的可寻址节点数以及更简单的地址自动配置。

### 2.1 IPv6 地址

IPv6 提供 128 位的地址空间，一下子将地址长度扩大了 4 倍(IPv4 地址 32 位)充分解决地址匮乏问题，IPv6 共有  $2^{128}$  个不同的地址，也就是全球可分配地址数为 340,282,366,920,938,463,463,374,607,431,768,211,456 个；如果这些 IPv6 地址平均分配在地球表面，地球上的每一平方米即可获得几百万个 IP 地址。在可预见的很长时期内，IPv6 的 128 位地址长度形成的巨大的地址空间能够为所有可以想象出的网络设备提供一个全球唯一的地址，IPv6 充足的地址空间将极大地满足那些伴随着网络智能设备的出现而对地址增长的需求，例如个人数据助理（PDA）、移动电话（Mobile Phone）、家庭网络接入设备（HAN）等

#### 2.1.1 IPv6 地址结构定义

##### 1. IPv6 地址表示

IPv6 地址 128 位，用 16 进制数字表示，128 位的地址由使用由冒号分隔的 8 组 16 位的十六进制数表示，每个 16 位分组写成 4 个十六进制数。例如：

FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210。

另外，对于中间比特连续为 0 的情况，还提供了简易表示方法，可以将十六进制格式中相邻的连续零位合并，用双冒号 “::” 表示，“::” 符号在一个地址中只能出现一次，该符号也能用来压缩地址中前部和尾部的相邻的连续零位。

例如：

1080:0:0:0:8:800:200C:417A                      等价于 1080::8:800:200C:417A

FF01:0:0:0:0:0:101                              等价于 FF01::101

0:0:0:0:0:0:0:1                    等价于 ::1  
 0:0:0:0:0:0:0:0                  等价于 ::

## 2. IPv6 地址前缀表示

IPv6 地址前缀表示如下：

ipv6-address/prefix-length

其中：

ipv6-address（16 进制）

表示的 128 比特地址

prefix-length（10 进制）

表示的地址前缀长度

### 2.1.2 IPv6 地址分类

IPv6 地址分为单播地址、任播地址、组播地址。和 IPv4 相比，取消了广播地址类型，以更丰富的组播地址代替，如下表所示：

地址类型	二进制前缀	IPv6 标识
未指定	00...0 (128 bits)	::/128
环回地址	00...1 (128 bits)	::1/128
组播	11111111	FF00::/8
链路本地地址	1111111010	FE80::/10
站点本地地址	1111111011	FEC0::/10
全局单播	(其他)	

表 2-1

#### 1. 单播 (Unicast) 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。发往发往单播地址的报文，由

此地址标识的接口接收。对于有多个接口的节点，它的任何一个单播地址都可以用作该节点的标识符。

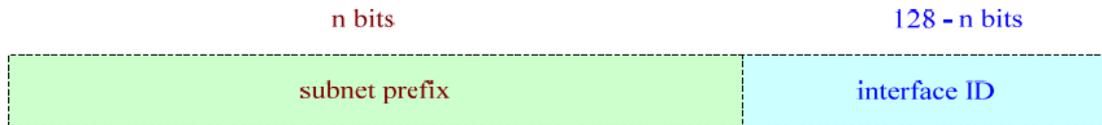


图 2-1 IPv6 单播地址格式

IPv6 单播地址由子网前缀和接口 ID 两部分组成，

## 2. 任意播 (AnyCast) 地址

IPv6 任播地址格式是用来标识一组接口的地址，一般这些接口属于不同的节点。发往任播地址的报文被送到这组接口中与其最近的接口（由使用的路由协议判断哪个是最近的）。IPv6 任意播地址存在下列限制：

- 任意播地址不能用作源地址，而只能作为目的地址；
- 任意播地址不能指定给 IPv6 主机，只能指定给 IPv6 路由器；

IPv6 任播地址的用途之一是用来标识属于同一提供 Internet 服务的组织的一组路由器。这些地址可在 IPv6 路由头中作为中间地址，以使报文能够通过特定聚合或聚合顺序发送，另一个用途就是标识特定子网的一组路由器。

例如：子网路由器任播地址：

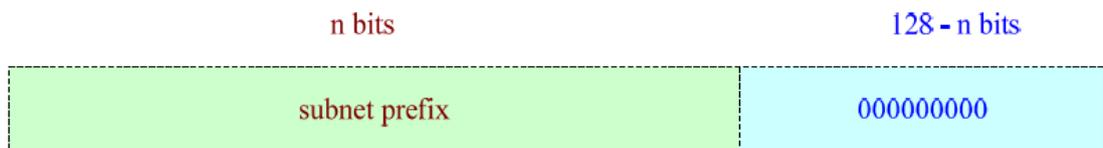


图 2-2 子网路由器任播地址格式

子网路由器任播地址中“subnet prefix”域用来标识特定链路，发送到子网路由器任播地址的报文会被送到子网中的一个路由器，所有路由器都必须支持子网任播地址。

## 3. 组播 (MultiCast) 地址

## IPv6 技术介绍

IPv6 组播地址用来标识一组接口，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。如下图所示：

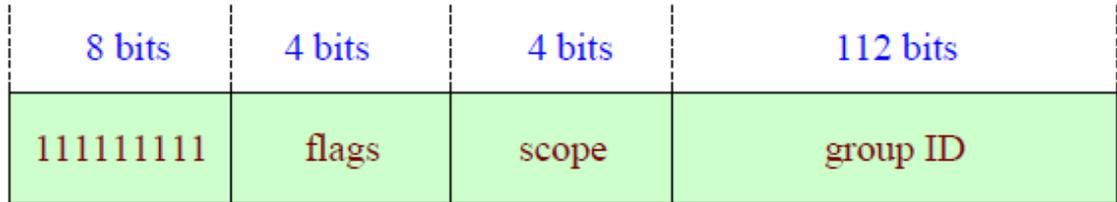


图 2-3 IPv6 组播地址格式

其中：

### **11111111**

8 比特，标识此地址为组播地址

### **flags**

4 比特，该字段的前 3 比特标记为保留域，必须被初始化为 0，目前只使用了最后一位：

T = 0 表示是 Internet 地址分配机构永久分配的“熟知”组播地址

T = 1 表示是临时使用的组播地址

### **scope**

4 比特，用来标记此组播组的应用范围，目前常用的值有：

0 reserved

1 node-local scope

2 link-local scope

5 site-local scope

8 organization-local scope

E global scope

### **group ID**

标识组播组（可能是永久的，也可能是临时的，范围由 scope 定义）

目前的永久分配的“熟知”组播组如下：

所有节点的地址

FF01:0:0:0:0:0:0:1 （节点本地）

FF02:0:0:0:0:0:0:1 （链路本地）

所有路由器地址

FF01:0:0:0:0:0:0:2 （节点本地）

FF02:0:0:0:0:0:0:2 （链路本地）

FF05:0:0:0:0:0:2 (站点本地)

## 2.2 IPv6 报文格式

IPv6 报头的结构比 IPv4 大大简化， IPv6 报头中删除了 IPv4 报头中不常用的域，放入了可选项和扩展报头中。IPv4 中有 10 个固定长度的域、2 个地址空间和若干个选项，IPv6 中只有 6 个域和 2 个地址空间。虽然 IPv6 报头占 40 字节，是 24 字节 IPv4 报头的 1.6 倍，但因其长度固定 (IPv4 报头是变长的)，故不需要消耗过多的内存容量。IPv4 中的报头长度(header length)、服务类型(type of service, TOS)、标识符 (identification)、标志 (flag)、分段偏移 (fragment offset) 和报头校验和 (header checksum) 这 6 个域被删除。报文总长 (total length)、协议类型 (protocol type) 和生存时间 (time to live, TTL) 3 个域的名称或部分功能被改变，其选项 (options) 功能完全被改变，新增加了 2 个域，即优先级和流标签。下图为具体的 IPv4 与 IPv6 报头比较：

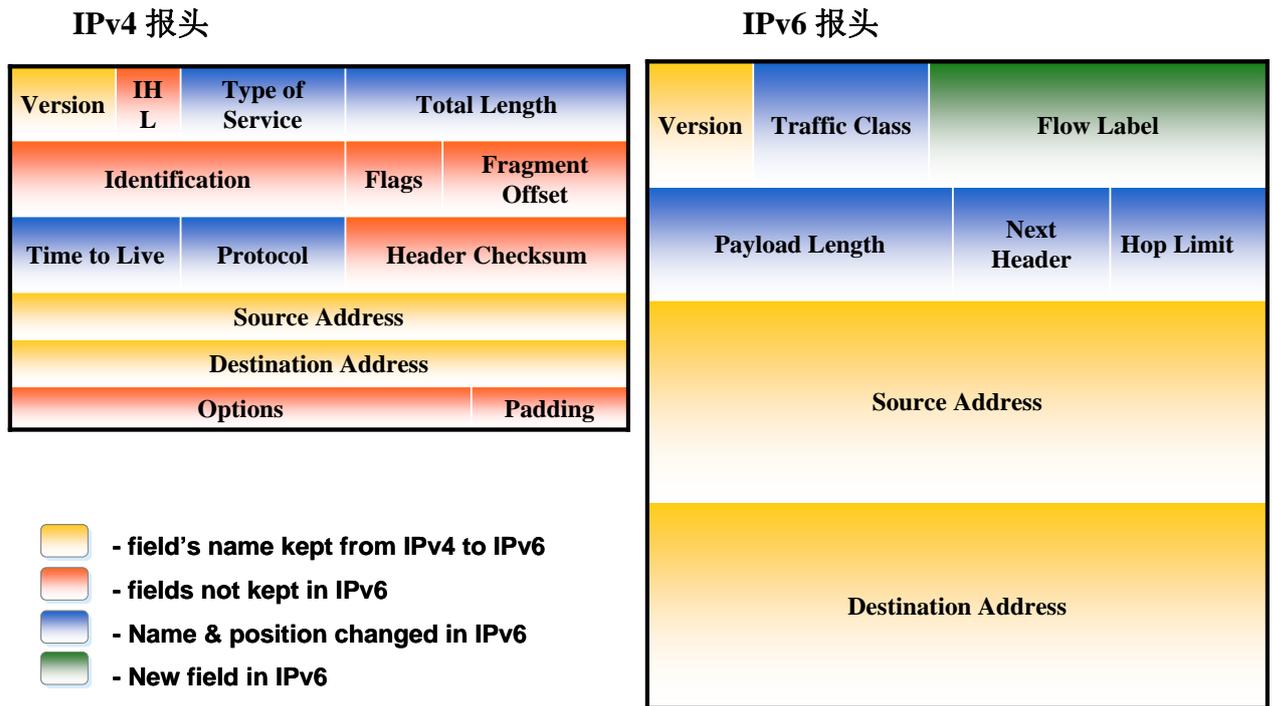


图 2-4 IPv4 和 IPv6 报头比较

## 2.2.1 IPv6 报文基本头格式

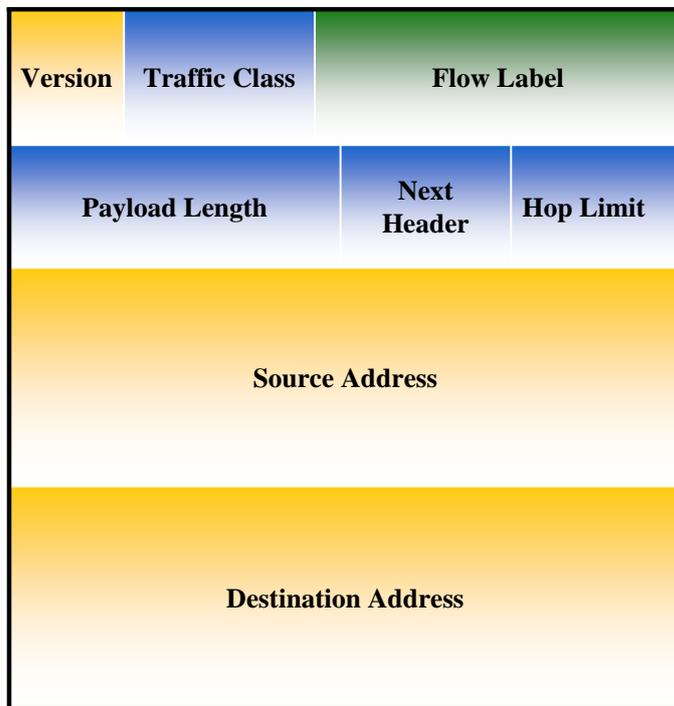


图 2-5 IPv6 基本头格式定义

其中：

**Version:** 4 比特，值为 6 表示 IPv6 报文。

**Traffic Class:** 8 比特，表示服务类型，类似于 IPv4 中的 TOS 域。

**Flow Label:** 20 比特，IPv6 中新增，流标签可用来标记特定流的报文，以便在网络层区分不同的报文。转发路径上的路由器可以根据流标签来区分流并进行处理。由于流标签在 IPv6 报文头中携带，转发路由器可以不必根据报文内容来识别不同的流，目的节点也同样可以根据流标签识别流，同时由于流标签在报文头中，因此使用 IPSec 后仍然可以根据流标签进行 QoS 处理。

**Payload Length:** 16 比特。以字节为单位的 IPv6 载荷长度，也就是 IPv6 报文基本头以后部分的长度（包括所有扩展头部分）。

**Next Header:** 8 比特，用来标识当前头（基本头或扩展头）后下一个头的类型。IPv6 定义的扩展头由基本头或扩展头中的扩展头域链接成一条链。这一机制下处理扩展头更高效，转发路由器只处理必须处理的选项头，提高了转发效率。

**Hop Limit:** 8 比特，和 IPv4 中的 TTL 字段类似。每个转发此报文的节点把此域减 1，如果此域值减到 0 则丢弃。

**Source Address:** 128 比特，报文的源地址。

**Destination Address:** 128 比特，报文的目的地地址。

### 2.2.2 IPv6 报文扩展头格式

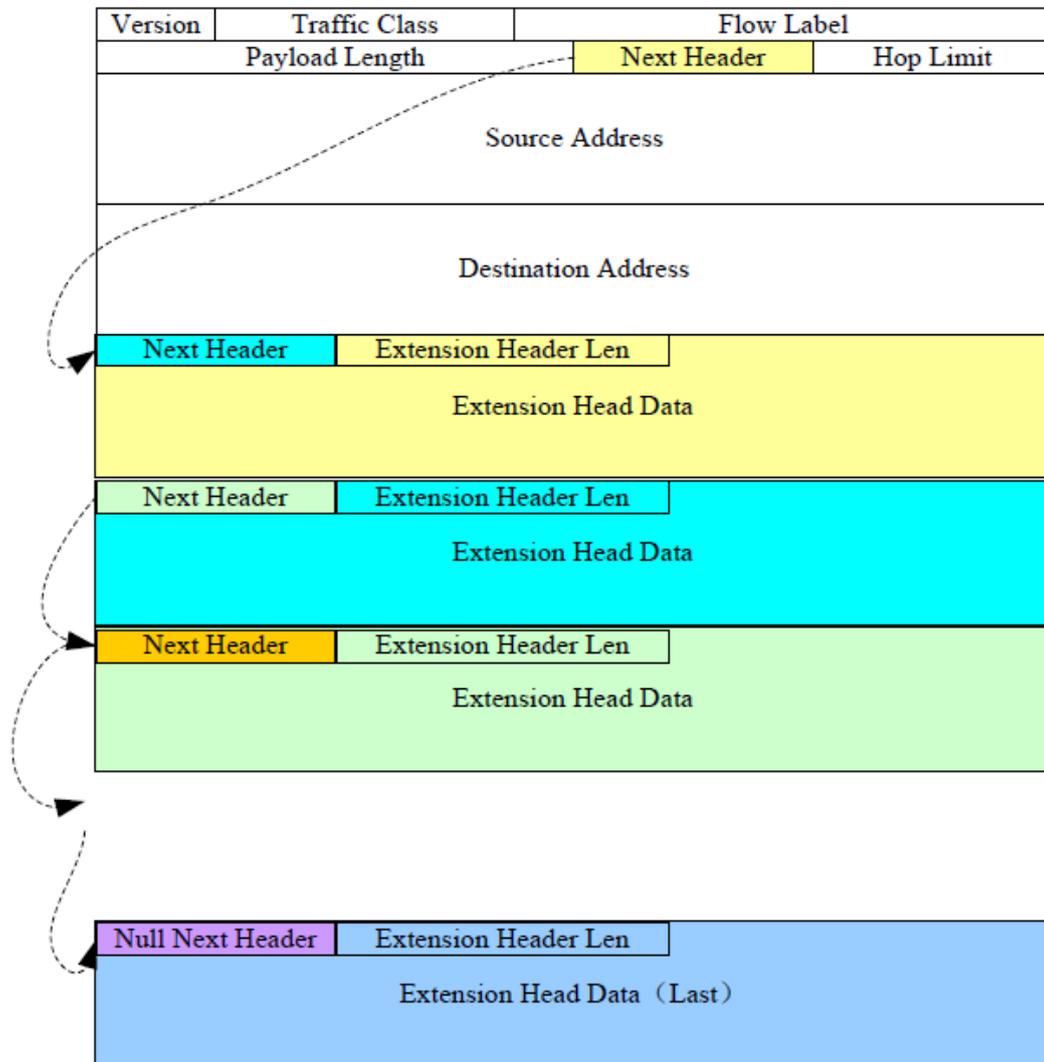


图 2-6 IPv6 扩展头格式

IPv6 选项字段是通过形成链式结构的扩展头支持的。IPv6 基本头后面可以有 0 到多个扩展头。IPv6 扩展头排列顺序如下：

**逐跳选项头 (Hop-by-Hop Options Header)**

值为 0（在IPv6 基本头中定义）。用于路由告警（RSVP 和MLDv1）与 Jumbo 帧，此扩展头被转发路径所有节点处理。

#### 目的选项头（Destination Options Header）

值为 60，只可能出现在两个位置：

-路由头前

这时此选项头被目的节点和路由头中指定的节点处理。

-上层头前（任何 ESP 选项后）

此时只能被目的节点处理，Mobile IPv6 中使用了目的选项头。

#### 路由头（Routing Header）

值为 43，用于源路由选项和Mobile IPv6。

#### 分片头（Fragment Header）

值为 44，此选项头在源节点发送的报文超过Path MTU（源和目的之间传输路径的MTU）时对报文分片时使用。

#### 验证头（Authentication Header）

值为 51，用于IPSec，提供报文验证、完整性检查。定义和IPv4 中相同。

#### 封装安全载荷头（ESP Header）

值为 50，用于IPSec，提供报文验证、完整性检查和加密。定义和IPv4 中相同。

#### 目的选项头（Destination Options Header）

值为 60，只可能出现在两个位置：

-路由头前

这时此选项头被目的节点和路由头中指定的节点处理。

-上层头前（任何 ESP 选项后）

此时只能被目的节点处理。Mobile IPv6 中使用了目的选项头。

#### 上层头（Upper-layer Header）

上层协议头，如 TCP/UDP/ICMP 等。

目的选项头最多出现两次（一次在路由头前，一次在上层协议头前），其它选项头最多出现一次。

## 2.3 IPv6 基本技术

IPv6 基本技术包括 IPv6 邻居发现协议（邻居发现、路由器发现、无状态地址自动配置、重定向）、IPv6 路径 MTU 发现，动态主机配置协议（DHCPv6）以及 IPv6 域名解析。其中路由器发现和无状态地址自动配置是 IPv6 的新增功能，邻居发现功能类似于 IPv4 ARP，但做了改进和增强。

### 2.3.1 IPv6 邻居发现协议

IPv6 邻居发现协议使用 IPv6 ICMP 消息和被请求节点的组播地址来得到同一网络（本地链路）上某个邻居的链路层地址，验证邻居的可达性，找到邻居路由器。每个 IPv6 节点都必须加入和其单播和泛播地址对应的组播组。IPv6 邻居发现协议主要包括邻居发现、路由器发现、IPv6 无状态地址自动配置、重定向功能。

#### 2.3.1.1 邻居发现

邻居发现功能和 IPv4 中的 ARP 功能类似，邻居发现功能由邻居请求和邻居通告机制实现：

##### 1. 邻居请求

当一个节点需要得到同一本地链路上另外一个节点的链路本地地址时，就会发送邻居请求报文。此报文类似于 IPv4 中的 ARP 请求报文，不过使用邻居请求组播地址而不使用广播，邻居请求组播地址格式如下：

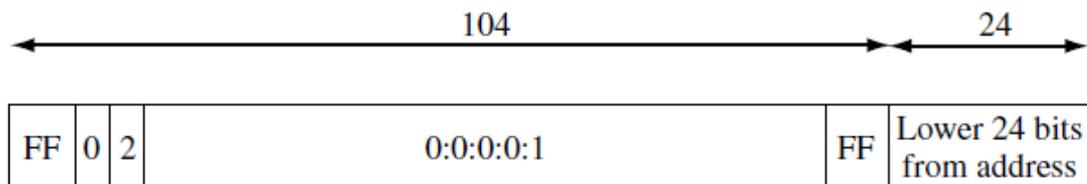


图 2-7 IPv6 邻居发现示意图（其中最后 24 位是需要请求的 IPv6 地址的最后 24 位）

只有被请求节点的最后 24 比特和此组播相同的节点才会收到此报文，减少了广播风暴的可能。

## IPv6 技术介绍

源节点使用目的节点的 IPv6 地址的最右 24 比特形成相应的组播地址，然后在相应链路上发送 ICMPv6 类型为 135 的报文。目的节点在响应报文中填充其链路地址。

邻居请求报文也用来在邻居的链路层地址已知时验证邻居的可达性。

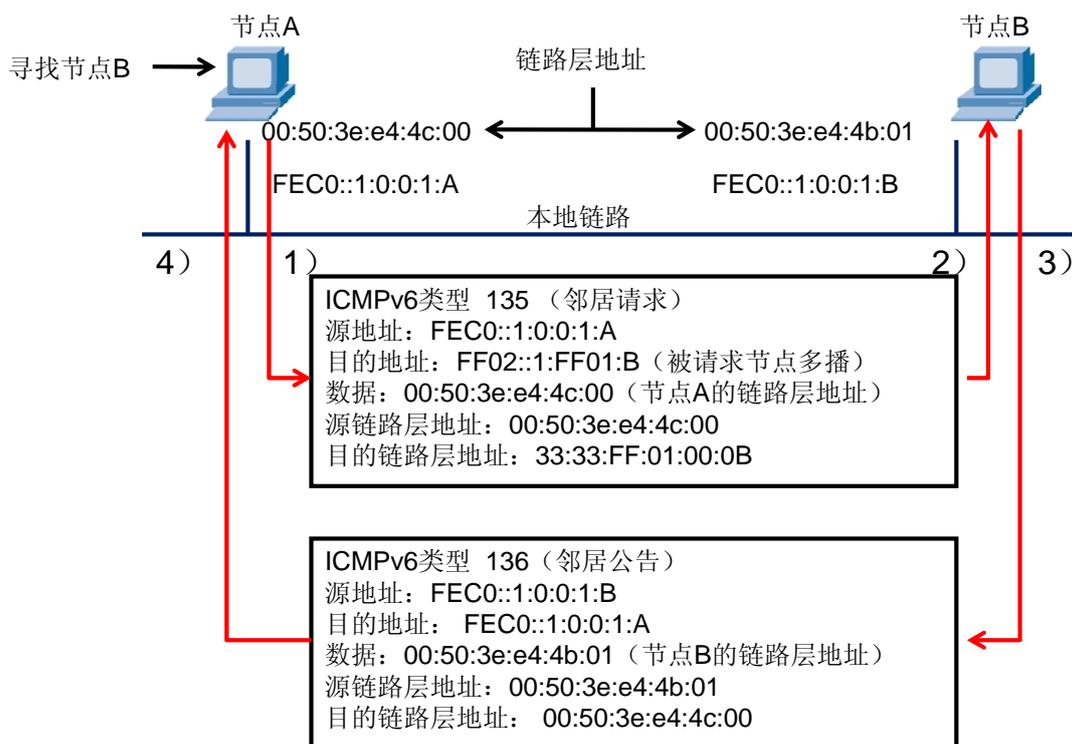


图 2-8 IPv6 邻居发现示意图

## 2. 邻居通告

IPv6 邻居通告报文是对 IPv6 邻居请求报文的响应。收到邻居请求报文后，目的节点通过在本地链路上发送 ICMPv6 类型为 136 的邻居通告报文进行响应。收到邻居通告后，源节点和目的节点就可以进行通信了。当一个节点的本地链路层上的链路层地址改变时也会主动发送邻居通告报文。

IPv6 邻居发现只要一次报文交互就可以互相学习到对方的链路层地址，而 IPv4 的 ARP 实现此功能需要两次报文交互，因此 IPv6 邻居发现的效率比较高。另外，IPv6 邻居发现是在 IP 层实现的，理论上可以支持各种传输媒介，这也是针对 IPv4 中 ARP 的改进点。

### 2.3.1.2 路由器发现

路由器发现用来定位邻居路由器，同时学习和地址自动配置有关的前缀和配置参数。IPv6路由器发现由下面两种机制实现：

#### 1. 路由器请求 (RS)

当主机没有配置单播地址（例如系统刚启动）时，就会发送路由器请求报文。路由器请求报文有助于主机迅速进行自动配置而不必等待IPv6路由器的周期性IPv6路由器通告报文。IPv6路由请求也是ICMP报文，类型为133。

IPv6路由器请求报文中的源地址通常为未指定的IPv6地址（0::0）。如果主机已经配置了一个单播地址，则此接口的单播地址可在发送路由器请求报文时作为源地址填充。

IPv6路由器请求报文中的目的地址是所有路由器组播地址（FF02::2），组播范围为本地链路。如果路由器通告是针对路由器请求发出的，则其目的地址为相应路由器请求报文的源地址。

注：路由器请求在启动期间发送并只发送三次以避免网络上没有路由器时拥塞网络。

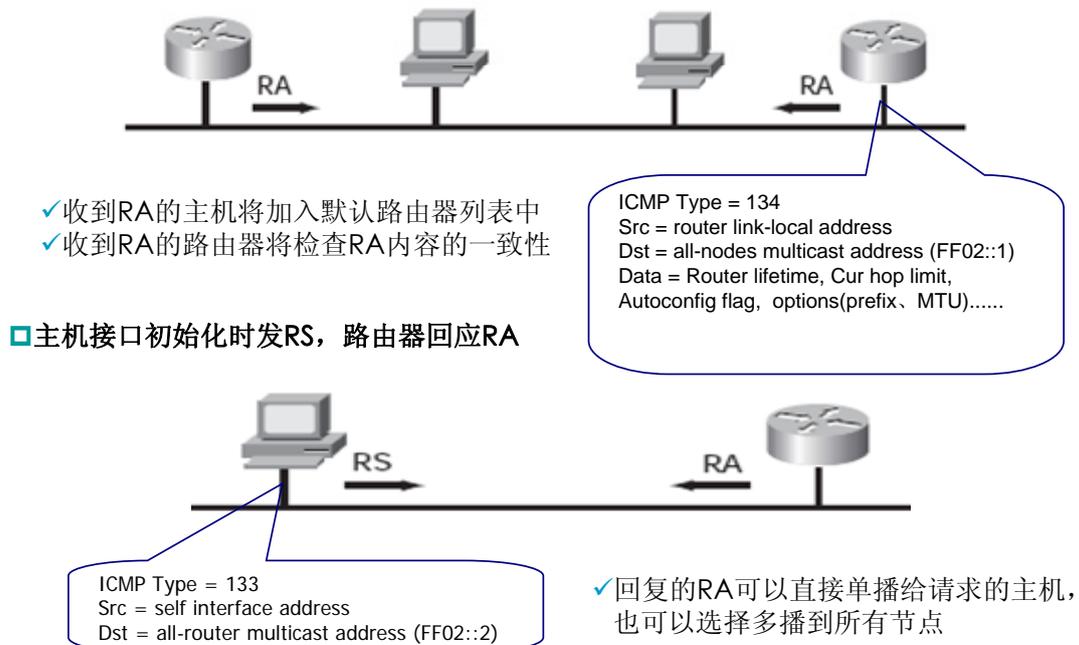


图2-9A IPv6路由器通告示意图

## 2. 路由器通告 (RA)

每个IPv6路由器的配置接口会周期发送路由器通告报文。在本地链路上收到IPv6节点的路由器请求报文后，路由器也会发送路由器通告报文。IPv6路由器通告报文发送到所有节点的链路本地多播地址(FF02::1)或发送路由器请求报文的节点的IPv6单播地址。路由器通告为ICMP报文，类型为134,包含以下内容：

- 是否使用地址自动配置
  - 标记支持的自动配置类型（无状态或有状态自动配置）
  - 一个或多个本地链路前缀——本地链路上的节点可以使用这些前缀完成地址自动配置
  - 通告的本地链路前缀的生存期
  - 是否发送路由器通告的路由器可作为缺省路由器，如果可以还包括此路由器可作为缺省路由器的时间（用秒表示）
  - 和主机相关的其它信息，如跳数限制，主机发起的报文可以使用的最大MTU。
- 本地链路上的IPv6节点接收路由器通告报文，并用其中的信息得到更新的缺省路由器、前缀列表以及其它配置。

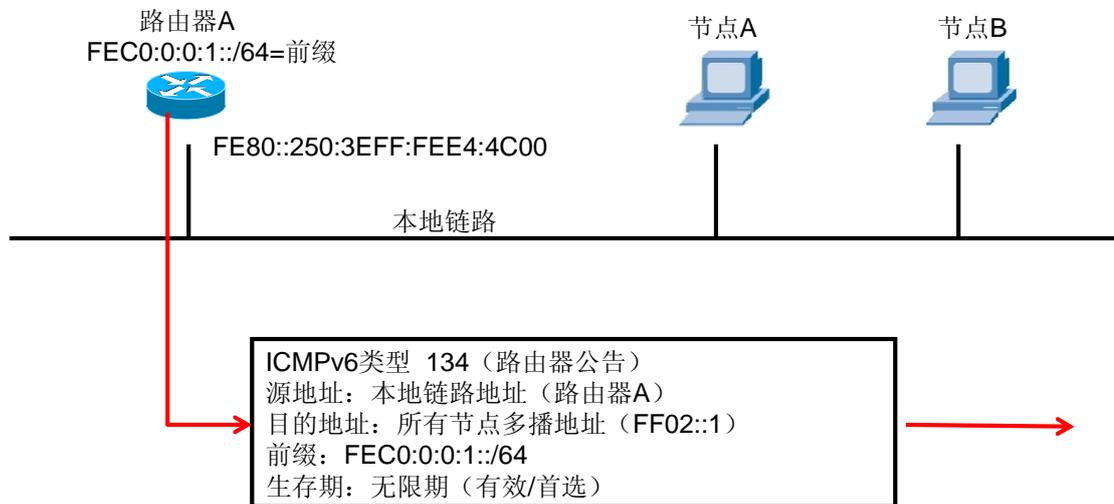


图2-9B IPv6路由器通告示意图

### 2.3.1.3 IPv6 无状态地址自动配置

通过使用路由器通告报文（和针对每一前缀的标记）路由器可以通知主机如

## IPv6 技术介绍

何进行地址自动配置。例如，路由器可以指定主机是使用有状态(DHCPv6)地址配置还是无状态地址自动配置进行地址配置。

主机收到路由器通告报文后，使用其中的前缀信息和本地接口ID自动形成IPv6地址，同时还可以根据其中的默认路由器信息设置默认路由器。

具体地说，在无状态自动配置过程中，主机首先通过将它的网卡 MAC 地址转化为64位的接口ID（EUI-64地址）：

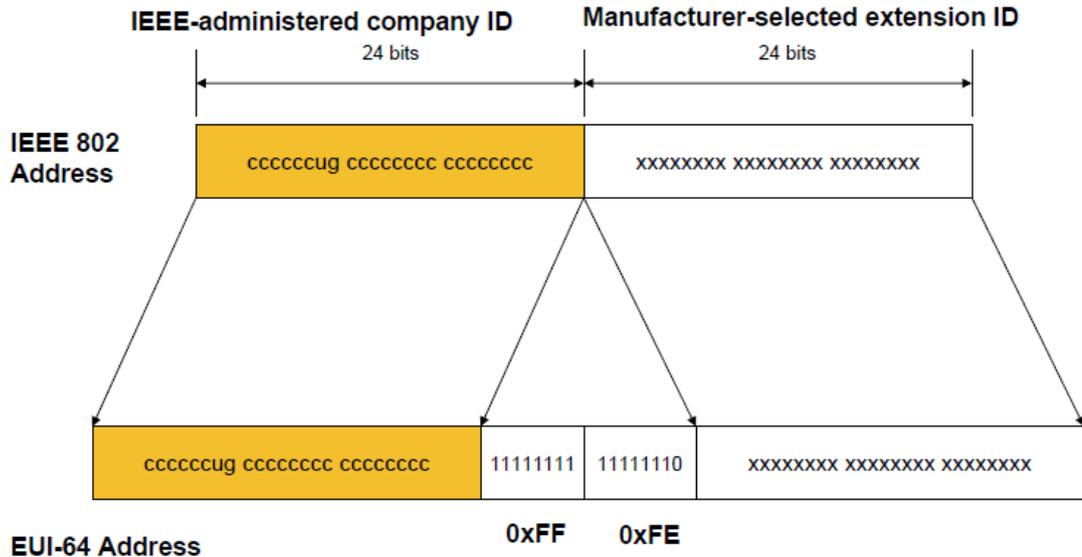


图2-10 IPv6地址——接口ID的通过MAC地址生成示意图

64位的接口ID附加在链路本地地址前缀 1111111010 之后，产生一个链路本地单播地址。

接着主机向该地址发出一个邻居发现请求 (Neighbor Discovery Request)，以验证地址的唯一性。如果请求没有得到响应，则表明主机自我配置的链路本地单播地址是唯一的。否则，主机将使用一个随机产生的接口 ID 组成一个新的链路本地单播地址。然后，以该地址为源地址，主机向本地链路中所有路由器多点传送一个路由器请求 (Router Solicitation) 来请求配置信息，路由器以一个包含一个可聚集全球单播地址前缀和其它相关配置信息的路由器宣告 (Router Advertisement) 作为响应。主机用它从路由器得到的全球地址前缀加上自己的接口 ID，自动配置全球地址，然后就可以与 Internet 中的其它主机通信了。

使用无状态地址配置可以使IPv6节点很容易完成地址重新编址，降低了网络重新部署的复杂性。进行重新编址时，路由器通告报文中既包括旧的前缀也包括新的前缀。旧前缀的生存期减少，促使节点使用新的前缀，同时保证现有连接可

以继续使用旧的前缀。在此期间，节点同时具有新旧两个单播地址。当旧的前缀不再使用时，路由器只通告新的前缀。

#### 2.3.1.4 重定向

和IPv4类似，IPv6路由器发送重定向报文的目的在于把报文重新路由到更合适的路由器。收到重定向报文的节点随后会把后续报文发送到更合适的路由器。路由器只针对单播流发送重定向报文，重定向报文只发给引起重定向的报文的发起节点（主机），并被处理。

### 2.3.2 IPv6 路径MTU发现协议

IPv4中也定义了路径MTU发现协议，不过是可选支持的。在IPv6中为了简化报文处理流程、提高处理效率，限定IPv6路由器不处理分片，分片只在源节点在需要的时候进行。因此IPv6的路径MTU发现协议是必须实现的。IPv6使用路径MTU发现得到源和目的节点之间路径的最大MTU。源节点在发现报文前进行路径MTU发现处理。如果路径上的MTU不足以传输整个报文，则源节点分片后重新发送。

路径MTU发现协议使IPv6节点能够动态发现并调整以适合给定数据路径上的MTU变化。在IPv4中最小链路MTU值是68字节（推荐最小值为576字节），而在IPv6中最小MTU值为1280字节（推荐最小值为1500）。IPv6基本头支持的最大报文长度是64000字节。更大的报文（jumbograms）通过逐跳扩展头选项处理。

### 2.3.3 动态主机配置协议（DHCPv6）

#### 2.3.3.1 DHCPv6 概述

DHCPv6（Dynamic Host Configuration Protocol for IPv6，支持IPv6 的动

态主机配置协议)是针对IPv6 编址方案设计的,为主机分配IPv6 前缀、IPv6 地址和其他网络配置参数的协议。与其他 IPv6 地址分配方式(手工配置、通过路由器公告消息中的网络前缀无状态自动配置等)相比, DHCPv6 具有以下优点:

- 不仅可以分配 IPv6 地址,还可以分配IPv6 前缀,便于全网络的自动配置和管理。
- 更好地控制地址的分配。通过DHCPv6 不仅可以记录为主机分配的地址/前缀,还可以为特定主机分配特定的地址/前缀,以便于网络管理。
- 除了 IPv6 前缀、IPv6 地址外,还可以为主机分配DNS 服务器、域名等网络配置参数。

### 2.3.3.2 DHCPv6 地址/前缀分配过程

DHCPv6服务器为客户端分配地址 /前缀的过程分为两类:

- 交互两个消息的快速分配过程
- 交互四个消息的分配过程

#### 交互两个消息的快速分配过程

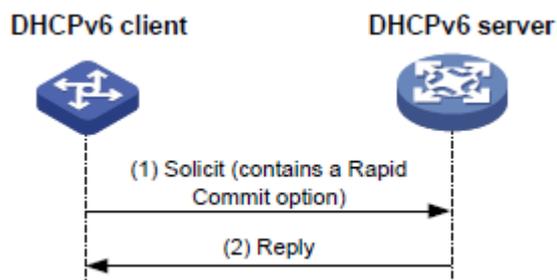


图2-11 地址/前缀快速分配过程

如 图 2-11所示,地址/前缀快速分配过程为:

- (1) DHCPv6 客户端在发送的Solicit 消息中携带Rapid Commit 选项,标识客户端希望服务器能够快速为其分配地址/前缀和网络配置参数;
- (2) 如果DHCPv6 服务器支持快速分配过程,则直接返回Reply 消息,为客户端分配IPv6 地址/前缀和其他网络配置参数。如果DHCPv6 服务器不支持快速

分配过程，则采用交互四个消息的分配过程为客户端分配IPv6 地址/前缀和其他网络配置参数。

### 交互四个消息的分配过程

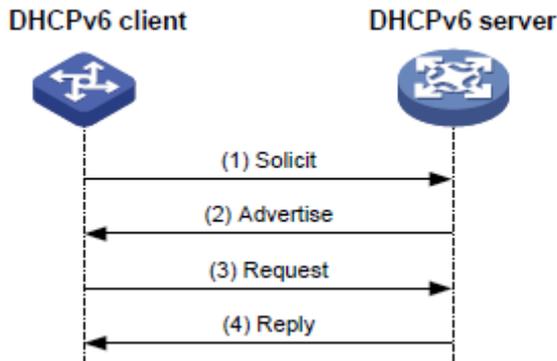


图2-12 地址/前缀快速分配过程

交互四个消息的分配过程如 图 2-12 所示，简述如下表：

步骤	发送的消息	说明
(1)	Solicit	DHCPv6客户端发送该消息，请求 DHCPv6服务器为其分配 IPv6地址/前缀和网络配置参数
(2)	Advertise	如果 Solicit消息中没有携带 Rapid Commit选项，或 Solicit消息中携带 Rapid Commit选项，但服务器不支持快速分配过程，则 DHCPv6服务器回复该消息，通知客户端可以为其分配的地址/前缀和网络配置参数
(3)	Request	如果 DHCPv6客户端接收到多个服务器回复的 Advertise消息，则根据消息接收的先后顺序、服务器优先级等，选择其中一台服务器，并向该服务器发送 Request消息，请求服务器确认为其分配地址/前缀和网络配置参数
(4)	Reply	DHCPv6服务器回复该消息，确认将地址/前缀和网络配置参数分配给客户端使用

### 2.3.3.3 地址/前缀租约更新过程

DHCPv6 服务器分配给客户端的 IPv6 地址/前缀具有一定的租借期限。租借期限由有效生命期（Valid Lifetime）决定。地址/前缀的租借时间到达有效生命期后，DHCPv6 客户端不能再使用该地址/前缀。在有效生命期到达之前，如果 DHCPv6

客户端希望继续使用该地址/前缀，则需要更新地址/前缀租约。

地址/前缀租借时间到达时间T1（推荐值为首选生命期Preferred Lifetime的一半）时，DHCPv6 客户端会向为它分配地址/前缀的DHCPv6 服务器单播发送Renew报文，以进行地址/前缀租约的更新。如果客户端可以继续使用该地址/前缀，则DHCPv6 服务器回应续约成功的Reply报文，通知DHCPv6 客户端已经成功更新地址/前缀租约；如果该地址/前缀不可以再分配给该客户端，则DHCPv6 服务器回应续约失败的Reply报文，通知客户端不能获得新的租约。

如果在T1 时发送Renew请求更新租约，但是没有收到DHCPv6 服务器的回应报文，则DHCPv6 客户端会在T2（推荐值为首选生命期的0.8 倍）时，向所有DHCPv6 服务器组播发送Rebind报文请求更新租约。如果客户端可以继续使用该地址/前缀，则DHCPv6 服务器回应续约成功的Reply报文，通知DHCPv6 客户端已经成功更新地址/前缀租约；如果该地址/前缀不可以再分配给该客户端，则DHCPv6 服务器回应续约失败的Reply报文，通知客户端不能获得新的租约；如果DHCPv6 客户端没有收到服务器的应答报文，则到达有效生命期后，客户端停止使用该地址/前缀。

### 2.3.3.4 DHCPv6 无状态配置过程

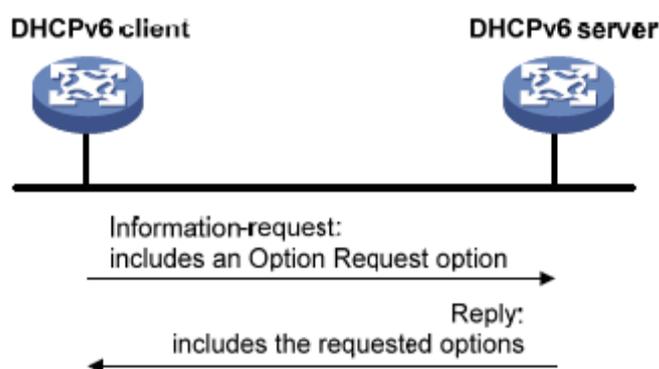


图2-13 DHCPv6 无状态配置工作过程

如 图2-13所示，DHCPv6 无状态配置的具体过程为：

(1) 客户端以组播的方式向DHCPv6 服务器发送Information-request 报文，该报文中携带OptionRequest 选项，指定客户端需要从服务器获取的配置参数。

(2) 服务器收到Information-request 报文后，为客户端分配网络配置参数，并单播发送Reply 报文将网络配置参数返回给客户端。

(3) 客户端检查Reply 报文中提供的信息，如果与Information-request 报文中请求的配置参数相符，则按照Reply 报文中提供的参数进行网络配置；否则，忽略该参数。如果接收到多个Reply报文，客户端将选择最先收到的Reply 报文，并根据该报文中提供的参数完成客户端无状态配置。

### 2.3.4 IPv6 域名解析

原有的IPv4 DNS由于应用假定地址查询只返回32比特的IPv4地址，因此不能直接支持IPv6，必须做部分扩展。

IPv6引入了新的DNS记录类型用于IPv6地址解析，同时支持正向解析（域名→地址）和反向解析（地址→域名）。主要新增内容如下：

#### (1) AAAA record

和 IPv4 中的 A 记录类似。此记录把主机名映射为 IPv6 地址，例如：

```
$ORIGIN ipv6.viagenie.qc.ca
```

```
www in aaaa 3ffe:b00:c18:1:290:27ff:fe17:fc1d
```

#### (2) PTR 记录

和IPv4中的指针记录类似，此记录把主机名映射为IPv6地址，例如：

```
$ORIGIN 1.0.0.0.8.1.c.0.0.0.b.0.e.f.f.3.ip6.arpa
```

```
d.1.c.f.7.1.e.f.f.f.7.2.0.9.2.0 in ptr www.ipv6.viagenie.qc.ca
```

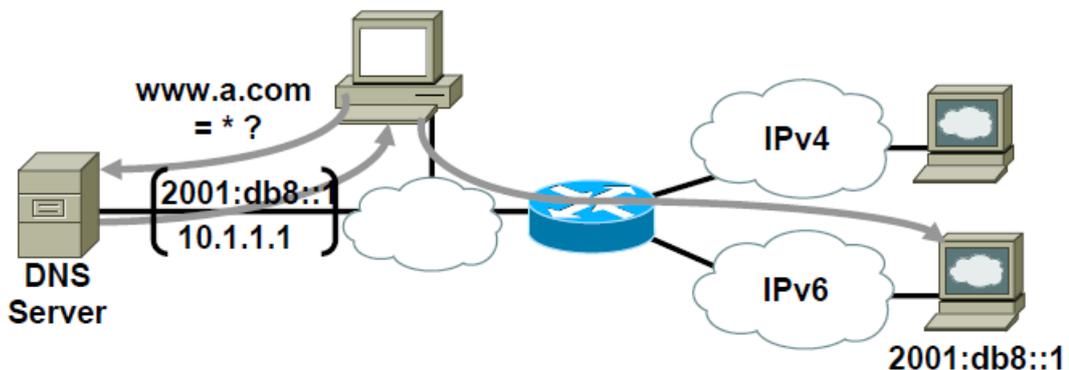


图2-14 DNS解析

IPv6网络中的DNS与IPv4的DNS在体系结构上是一致的，都采用树型结构的域名空间。IPv6顶级域的地址是ip6.arpa。

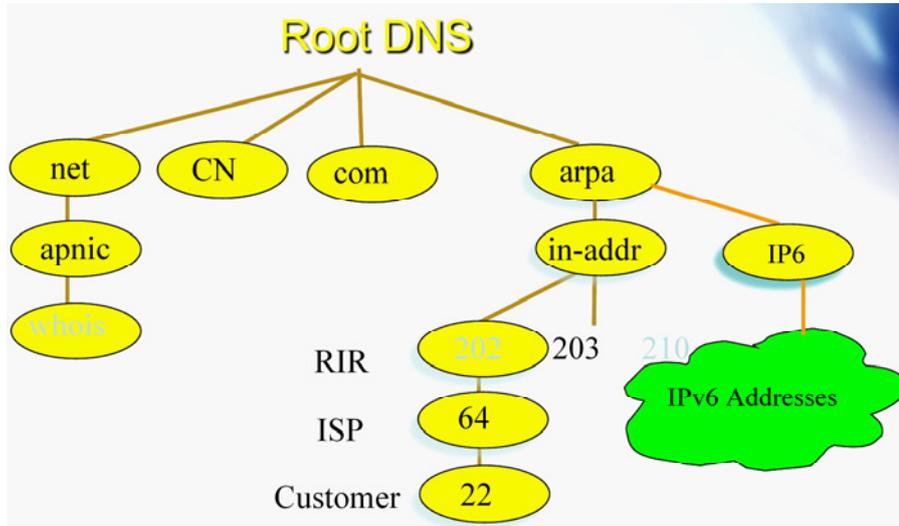


图2-15 DNS在体系结构

IPv4协议与IPv6协议的不同并不意味着需要单独两套IPv4 DNS体系和IPv6 DNS体系，相反的是，DNS的体系和域名空间必须是一致的，即，IPv4和IPv6共同拥有统一的域名空间。在IPv4到IPv6的过渡阶段，域名可以同时对应于多个IPv4和IPv6的地址。以后随着IPv6网络的普及，IPv6地址将逐渐取代IPv4地址。

当节点需要得到另外一个节点的地址时，就会发送AAAA记录请求到DNS服务器，请求以另外一个节点的主机名对应的地址。AAAA记录只保留一个IPv6地址。如果一个节点有多个地址，则要和多条记录对应。

为了在IPv6地址聚合和重新编址时能够很容易修改相应的DNS记录，新引入了以下两种记录类型：

(3) A6 record(RFC2874)

IETF使用的实验记录，A6记录不在运营网络中使用。此记录与AAAA记录类似，但支持IPv6地址的层次存储以简化网络重新编址。

(4) DNAME 记录(RFC2672)

(5) 二进制标签记录 (RFC2673)

这些记录使重新编址对于反向映射（地址到主机名对应）更易进行，重新编址时，则所有节点必须改变他们的IPv6地址前缀部分。如果重新编址网络使用了DNS，则DNS记录中保存的地址信息也要随之更新。

## 第三章 IPv6 路由技术

IPv6 是对 IPv4 的革新，尽管大多数 IPv6 的路由协议都需要重新设计或者开发，但 IPv6 路由协议相对 IPv4 只有很小的变化。目前各种常用的路由协议（IGP、EGP）都已经支持 IPv6。IPv6 单播路由协议实现和 IPv4 中类似，有些是在原有协议上做了简单扩展（如，ISISv6、BGP4+），有些则完全是新的版本（如，RIPng、OSPFv3）。

### 3.1 RIPng

下一代 RIP 协议（简称 RIPng）是对原来的 IPv4 网络中 RIP-2 协议的扩展。大多数 RIP 的概念都可以用于 RIPng。

为了在 IPv6 网络中应用，RIPng 对原有的 RIP 协议进行了修改：

- UDP 端口号：使用 UDP 的 521 端口发送和接收路由信息
- 组播地址：使用 FF02::9 作为链路本地范围内的 RIPng 路由器组播地址
- 路由前缀：使用 128 比特的 IPv6 地址作为路由前缀
- 下一跳地址：使用 128 比特的 IPv6 地址

### 3.2 OSPFv3

OSPFv3 是 OSPF 版本 3 的简称，主要提供对 IPv6 的支持，遵循的标准为 RFC2740（OSPF for IPv6）。与 OSPFv2 相比，OSPFv3 除了提供对 IPv6 的支持外，还充分考虑了协议的网络无关性以及可扩展性，进一步理顺了拓扑与路由的关系，使得 OSPF 的协议逻辑更加简单清晰，大大提高了 OSPF 的可扩展性。

OSPFv3 和 OSPFv2 的不同主要有：

- 修改了 LSA 的种类和格式，使其支持发布 IPv6 路由信息
- 修改部分协议流程，使其独立于网络协议，大大提高了可扩展性

主要的修改包括用 Router-ID 来标识邻居，使用链路本地（Link-local）地址来发现邻居等，使得拓扑本身独立于网络协议，与便于未来扩展。

□ 进一步理顺了拓扑与路由的关系

OSPFv3 在 LSA 中将拓扑与路由信息相分离，一、二类 LSA 中不再携带路由信息，而只是单纯的描述拓扑信息，另外用新增的八、九类 LSA 结合原有的三、五、七类 LSA 来发布路由前缀信息。

□ 提高了协议适应性

通过引入 LSA 扩散范围的概念，进一步明确了对未知 LSA 的处理，使得协议可以在不识别 LSA 的情况下根据需要做出恰当处理，大大提高了协议对未来扩展的适应性。

### 3.3 IS-ISv6

IS-IS 是由国际标准化组织 ISO 为其无连接网络协议 CLNP 发布的动态路由协议。同 BGP 一样，IS-IS 可以同时承载 IPv4 和 IPv6 的路由信息。

为了使 IS-IS 支持 IPv4，IETF 在 RFC1195 中对 IS-IS 协议进行了扩展，命名为集成化 IS-IS (Integrated IS-IS) 或双 IS-IS (Dual IS-IS)。这个新的 IS-IS 协议可同时应用在 TCP/IP 和 OSI 环境中。在此基础上，为了有效的支持 IPv6，IETF 在 draft-ietf-isis-ipv6-05.txt 中对 IS-IS 进一步进行了扩展，主要是新添加了支持 IPv6 路由信息的两个 TLV (Type-Length-Values) 和一个新的 NLP ID (Network Layer Protocol Identifier)。TLV 是在 LSP (Link State PDUs) 中的一个可变量结构，新增的两个 TLV 分别是：

□ IPv6 Reachability (TLV type 236):

类型值为 236 (0xEC)，通过定义路由信息前缀、度量值等信息来说明网络的可达性。

□ IPv6 Interface Address (TLV type 232):

类型值为 232 (0xE8)，它相当于 IPv4 中的“IP Interface Address” TLV，只不过把原来的 32 比特的 IPv4 地址改为 128 比特的 IPv6 地址。

NLP ID 是标识 IS-IS 支持何种网络层协议的一个 8 比特字段，IPv6 对应的 NLP ID 值为 142 (0x8E)。如果 IS-IS 路由器支持 IPv6，那么它必须在 Hello

报文中携带该值向邻居通告它支持 IPv6。

### 3.4 BGP4+

传统的 BGP-4 只能管理 IPv4 的路由信息，对于使用其它网络层协议（如 IPv6 等）的应用，在跨自治系统传播时就受到一定限制。

为了提供对多种网络层协议的支持，IETF 对 BGP-4 进行了扩展，形成 BGP4+，目前的 BGP4+标准是 RFC2858（Multiprotocol Extensions for BGP-4, BGP-4 多协议扩展）。

为了实现对 IPv6 协议的支持，BGP-4+需要将 IPv6 网络层协议的信息反映到 NLRI（Network Layer Reachable Information）及 Next\_Hop 属性中。

BGP4+中引入的两个 NLRI 属性分别是：

- MP\_REACH\_NLRI: Multiprotocol Reachable NLRI，多协议可达 NLRI。用于发布可达路由及下一跳信息。
- MP\_UNREACH\_NLRI: Multiprotocol Unreachable NLRI，多协议不可达 NLRI。用于撤销不可达路由。

BGP4+中的 Next\_Hop 属性用 IPv6 地址来表示，可以是 IPv6 全球单播地址或者下一跳的链路本地地址。BGP4+利用 BGP 的多协议扩展属性来达到在 IPv6 网络中应用的目的，BGP 协议原有的消息机制和路由机制并没有改变。

## 第四章 IPv6 过渡技术

IPv4/IPv6 过渡技术是用来在 IPv4 向 IPv6 演进的过渡期内, 保证业务共存和互操作的技术。IPv4 向 IPv6 的过渡阶段所采用的过渡技术主要包括:

□ IPv6/IPv4 双栈技术:

双栈节点与 IPv4 节点通讯时使用 IPv4 协议栈, 与 IPv6 节点通讯时使用 IPv6 协议栈。

□ 隧道技术:

提供了两个 IPv6 站点之间通过 IPv4 网络实现通讯连接, 以及两个 IPv4 站点之间通过 IPv6 网络实现通讯连接的技术。

□ IPv4/IPv6 协议转换技术:

提供了 IPv4 网络与 IPv6 网络之间的互访技术。

### 4.1 IPv6/IPv4 双协议栈

双栈技术是 IPv4 向 IPv6 过渡的一种有效的技术。网络中的节点同时支持 IPv4 和 IPv6 协议栈, 源节点根据目的节点的不同选用不同的协议栈, 而网络设备根据报文的协议类型选择不同的协议栈进行处理和转发。

双栈可以在一个单一的设备上实现, 也可以是一个双栈骨干网。对于双栈骨干网, 其中的所有设备必须同时支持 IPv4/IPv6 协议栈, 连接双栈网络的接口必须同时配置 IPv4 地址和 IPv6 地址。双栈技术是 IPv4 向 IPv6 过渡的基础, 所有其它的过渡技术都以此为基础, 双栈技术通过节点对 IPv4 和 IPv6 双协议栈的支持, 支持两种业务的共存。



图 4-1 双栈节点示意图

## 4.2 隧道技术

隧道 (tunnel) 是指一种协议封装到另外一种协议中的技术。隧道技术只要求隧道两端 (也就是两种协议边界的相交点) 的设备支持两种协议。IPv6 穿越 IPv4 隧道技术利用现有的 IPv4 网络为互相独立的 IPv6 网络提供连通性, IPv6 报文被封装在 IPv4 报文中穿越 IPv4 网络, 实现 IPv6 报文的透明传输。

这种技术的优点是, 不用把所有的设备都升级为双栈, 只要求 IPv4/IPv6 网络的边缘设备实现双栈和隧道功能。除边缘节点外, 其它节点不需要支持双协议栈。可以大大利用现有的 IPv4 网络投资。但是隧道技术不能实现 IPv4 主机与 IPv6 主机的直接通信。

IPv6 网络边缘设备收到 IPv6 网络的 IPv6 报文后, 将 IPv6 报文封装在 IPv4 报文中, 成为一个 IPv4 报文, 在 IPv4 网络中传输到目的 IPv6 网络的边缘设备后, 解封装去掉外部 IPv4 头, 恢复原来的 IPv6 报文, 进行 IPv6 转发。

随着 IPv6 网络的发展, 将会出现许多局部的 IPv6 网络, 但是这些 IPv6 网络被运行 IPv4 协议主干网络所分隔开来。IPv6 网络就象是处于 IPv4 “海洋” 中的 “孤岛”, 为了使这些 “IPv6 孤岛” 可以互通, 必须使用隧道技术。此技术要求隧道两端的节点 (路由器) 都支持 IPv4/IPv6 两种协议, 其通信方式如图 4-2 所示。在隧

## IPv6 技术介绍

道的入口处，路由器将 IPv6 的数据报封装入 IPv4 中，IPv4 数据报的源地址和目的地址分别是隧道入口和出口的 IPv4 地址。在隧道的出口处再将 IPv6 数据报取出转发给目的站点。隧道技术只要求在隧道的入口和出口处进行修改，对其他部分没有要求，因而很容易实现。但是隧道技术不能实现 IPv4 主机和 IPv6 主机的直接通信。

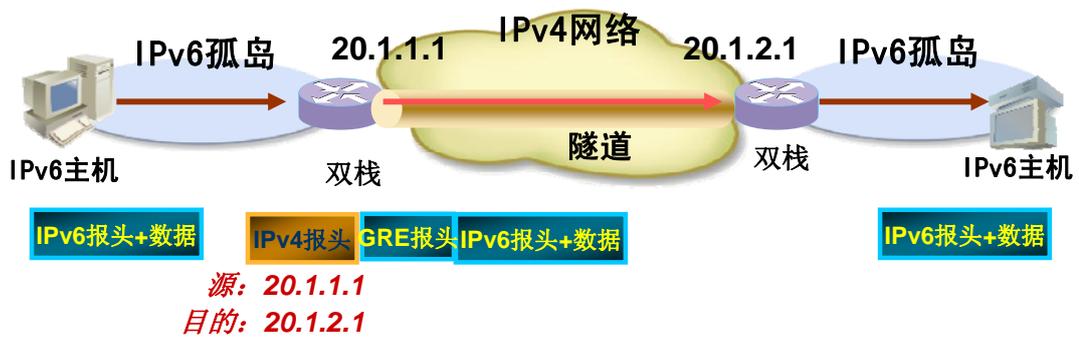


图 4-2 IPv6 穿越 IPv4 隧道

上图的隧道技术通过在 IPv4 网络中部署隧道，实现在 IPv4 网络上对 IPv6 业务的承载，保证业务的共存和过渡，用于 IPv6 穿越 IPv4 的隧道技术种类很多，主要包括：

- IPv6 手工配置隧道
- IPv4 兼容地址自动隧道
- 6to4 自动隧道
- ISATAP 自动隧道
- IPv6 over IPv4 GRE 隧道
- 隧道代理技术
- 6over4 隧道
- MPLS 6PE 隧道
- Teredo 隧道
- 6rd 隧道
- DS-lite 隧道

## 4.3 IPv6 与IPv4 互通技术

IPv6 穿越 IPv4 技术是为了实现 IPv6 节点之间的互通，而 IPv6/IPv4 互通技术是为了实现不同协议之间的互通，也就是实现 IPv6 节点和 IPv4 节点之间的相互访问

IPv4/IPv6 互通技术通过对数据包的转换实现在网络过渡期中 IPv4 节点和 IPv6 节点之间的相互访问，主要的技术有：

- NAT64
- IVI
- SIIT (Stateless IP/ICMP Translation)
- DSTM (Dual Stack Transition Mechanism)
- SOCKS64
- TRT (Transport Relay Translator)
- BIS (Bump in the Stack)
- BIA (Bump in the API)

其中 IVI 是清华大学提出的基于翻译的过渡技术。它的主要思想是运营商保留一段 IPv4 地址(称为 IVI4 地址)将其惟一映射为一段特殊的 IPv6 地址(称为 IVI6 地址)，可以实现这部分地址的**无状态转换**。获得 IVI6 地址的用户可以直接访问全球 IPv6 网络，通过 IVI 网关翻译器可将地址转换 IVI4 地址，可以和全球 IPv4 网络通信，实现 IPv4 和 IPv6 的互访。

IVI 通过内嵌 IPv4 地址的方法实现到 IPv6 地址的映射，地址格式特殊，映射格式如下图所示。

## IPv6 技术介绍

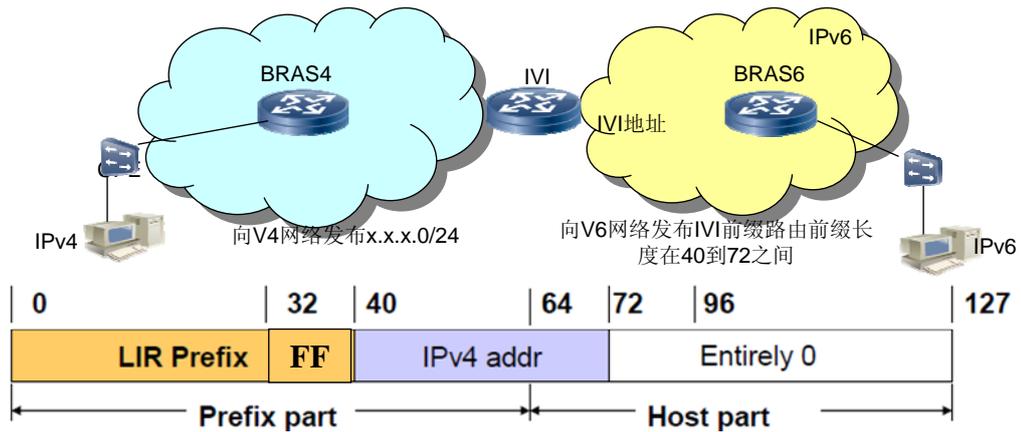


图 4-3 IPv6 穿越 IPv4 隧道

- ISP 拿一部分 IPv6 地址作为 IVI 地址，前 32bit 为 ISP 前缀，32-39bit 为 IVI 地址标识，40-71 是 IPv4 地址，ISP 拿出一部分 IPv4 地址，和 IPv4 网络中的地址不重叠，IPv4 地址直接嵌在在 IPv6 地址中
- IVI 通过 IPv4 接口向 IPv4 网络中发布嵌在 IPv6 地址中的 IPv4 地址池路由
- IVI 通过 IPv6 接口向 IPv6 网络中发布前缀为 40 的 IPv6 路由
- IVI 的 IPv4 缺省路由指向 IPv4 网络，IVI 有前缀为 40+masklen 的 IPv6 路由指向 IPv6 网络，masklen 为嵌在 IPv6 地址中的 IPv4 地址池的掩码长度
- 从 IPv4 接口收到的报文做 IPv4 IPv6 的转换，从 IPv6 接口收到的报文做 IPv4 IPv6 的转换

IPv6 技术介绍

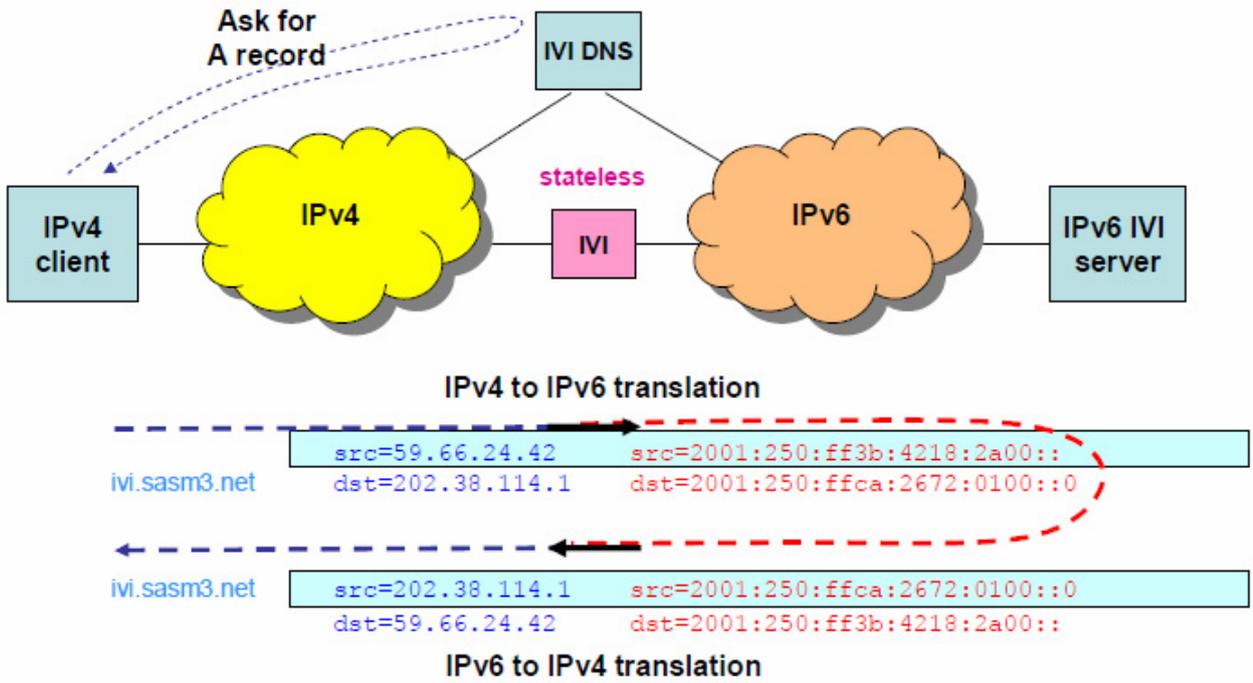


图 4-4 IVI 场景：IPv6 客户端 访问 IPv4 服务器 (1:1)

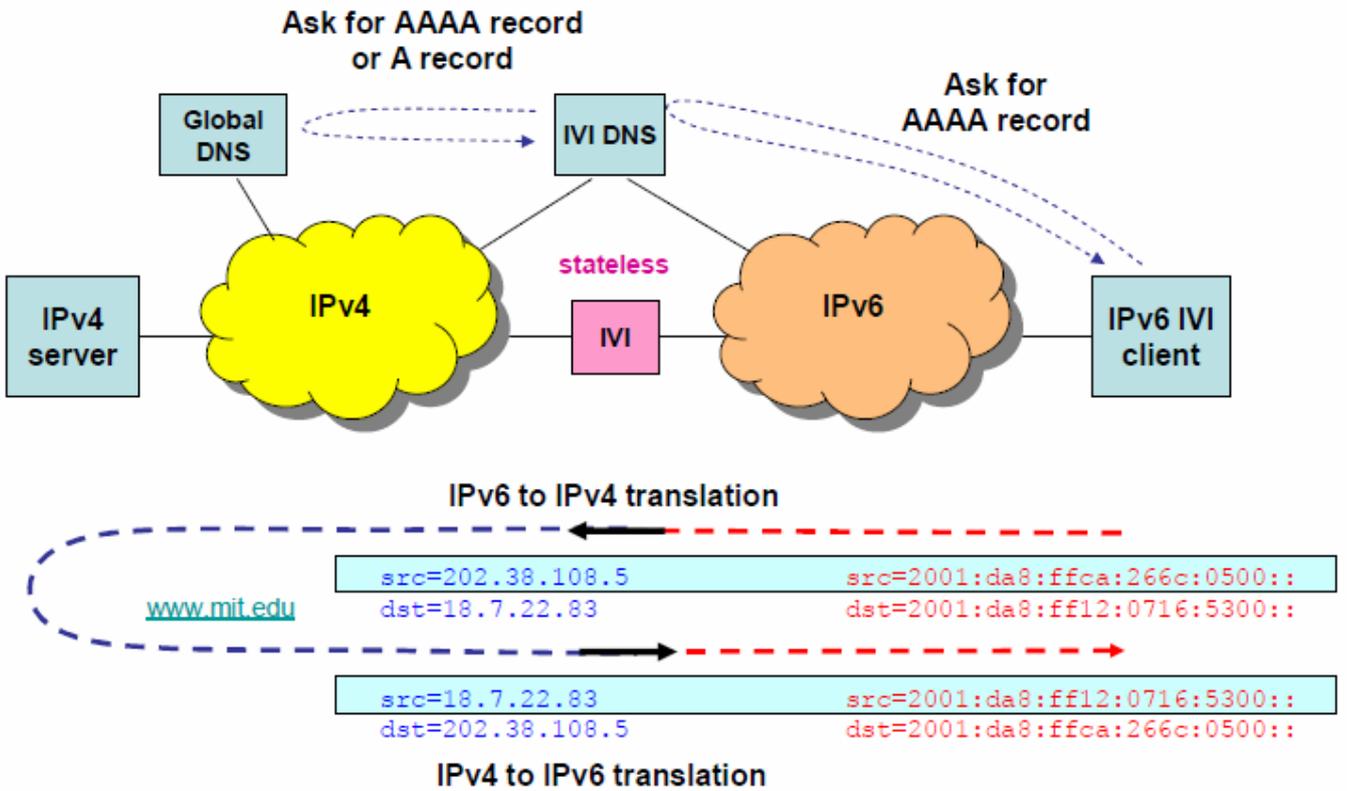


图 4-5 IVI 场景：IPv6 客户端 访问 IPv4 服务器 (1:N)

## 4.4 过渡技术比较

上述最新的 IPv6 过渡技术总体上可以分为隧道、翻译两个大类。隧道技术采用的是一种协议封装于另外一种协议的方式,适用于运行一种协议的设备或者站点穿过运行另外一种协议的网络实现互通。它只要求升级隧道的入口和出口设备,不需要网络核心中的设备运行双栈,网络部署和运维相对容易,能充分利用已有投资,但隧道端点需要封装解封装,转发效率低,也无法实现 IPv4 和 IPv6 的互访。翻译技术采用的是一种协议转换成另一种协议的方式,适用于纯 IPv4 终端和纯 IPv6 终端的互访,但也存在“地址转换”带来的业务质量降低。

当前大量的网络是 IPv4 网络,随着 IPv6 的部署,很长一段时间是 IPv4 与 IPv6 共存的过渡阶段。通常将 IPv6 的部署划分为三个阶段:

### 1. IPv6 发展初期阶段

在 IPv6 网络部署初期,IPv6 站点的规模不大,因此在 IPv4 网络中形成了一个“IPv6 孤岛”。业务应用上以原有的 IPv4 应用为主,需要保证 IPv6 站点与 IPv4 网络之间的通信,以及 IPv6 站点之间的互连。

### 2. IPv6 与 IPv4 共存阶段

随着 IPv6 网络规模的扩大,纯 IPv6 网络与纯 IPv4 网络并存。基于 IPv6 的传统业务逐渐开始大量部署,需要保证 IPv6 与 IPv4 之间的通信。

### 3. IPv6 主导阶段

纯 IPv6 网络最终形成,原有的 IPv4 网络大部分升级为 IPv6,只剩下少数的 IPv4 站点成为“IPv4 孤岛”。此时适用于 IPv6 的各种新型业务开始成为主流业务。

不存在一种过渡技术能用于所有场景,同一个场景可能使用多种过渡技术,具体使用何种过渡技术,需要根据实际应用场景和相关技术的适用范围、优缺点、安全性、接入性能以及其他相关策略来综合考虑。

各种过渡机制都有其特定的使用环境,在实际部署中过渡方案应该是各种技术的组合,运营商可根据不同的应用场景、网络状况和过渡时期选择合适的过渡技术,制定合适的过渡方案。

## 第五章 IPv6 部署规划

### 5.1 IPv6 地址规划

IP 地址规划主要涉及到网络资源的利用的方便有效的管理网络的问题, IPv6 地址有 128 位, 其中可供分配为网络前缀的空间有 64 位。按照最新的 IPv6 RFC3513, IPv6 地址分为全球可路由前缀和子网 ID 两部分, 协议并没有明确的规定全球可路由前缀和子网 ID 各自占的位数, 目前 CNNIC 会员分配的 IPv6 地址空间最小为/32 的地址。

IP地址的分配和网络组织、路由策略以及网络管理等都有密切的关系, IPv6 地址规划可以遵循一些分配原则:

- 地址资源应全网统一分配
- 地址划分应有层次性, 便于网络互联, 简化路由表

IP 地址分配要尽量给每个区域分配连续的 IP 地址空间; 在每个城域网中, 相同的业务和功能尽量分配连续的 IP 地址空间, 有利于路由聚合以及安全控制。

- IP 地址的规划与划分应该考虑到网络的发展要求

地址使用兼顾到近期的需求与远期的发展以及网络的扩展, 预留相应的地址段。IP 地址的分配需要有足够的灵活性, 应考虑到现有业务、新型业务以及各种特殊的业务要求、满足各种用户接入(如, 小区用户、专线用户, 等)的需要。

- 充分合理利用已申请的地址空间, 提高地址的利用效率。

IP 地址规划应该是网络整体规划的一部分, 即 IP 地址规划要和网络层次规划、路由协议规划、流量规划等结合起来考虑。IP 地址的规划应尽可能和网络层次相对应, 应该是自顶向下的一种规划。

### 5.2 IPv6 路由规划

路由协议分为域内路由协议和域间路由协议, 目前主要的路由协议都增加了对 IPv6 的支持功能。从路由协议的应用范围来看, OSPFv3、RIPng 和 IS-ISv6

适用于自治域内部路由，为内部网关协议；BGP4+用来在自治域之间交换网络可达信息，是外部网关协议。

### 5.2.1 域内路由协议

支持 IPv6 的内部网关协议有：RIPng、OSPFv3、IS-ISv6 协议。从路由协议标准化进程看，RIPng 和 OSPFv3 协议已较为成熟，从协议的应用范围的角度，RIPng 协议适用于小规模的网络，而 OSPF 和 IS-IS 协议可用于较大规模的网络。

对于大规模的 IP 网络，为了保证网络的可靠性和可扩展性，内部路由协议（IGP）必须使用链路状态路由协议，只能在 OSPF 与 IS-IS 之间进行选择，下面对两种路由协议进行简单的对比。

目前在 IPv4 网络中大量使用的 OSPF 路由协议版本号为 OSPFv2，能够支持 IPv6 路由信息的 OSPF 版本称为 OSPFv3，能够支持 IPv6 路由信息交换的 ISIS 路由协议称为 IS-ISv6。OSPFv3 与 OSPFv2 相比，虽然在机制和选路算法并没有本质的改变，但新增了一些 OSPFv2 不具备的功能。OSPFv3 只能用来交换 IPv6 路由信息，ISISv6 可以同时交换 IPv4 路由信息和 IPv6 路由信息。

总的来说，由于 OSPF 发展成熟，厂商支持广泛，已经成为世界上使用最广泛的 IGP，尤其在企业级网络，也是 IETF 推荐的唯一的 IGP。其他路由协议所能适应的网络和具备的主要优点，OSPF 都能适应。

### 5.2.2 域间路由协议

域间路由协议采用 BGP4+，从而实现不同 ISP 核心网络之间的互通，而且目前大多数典型的的路由器设备都支持这个协议。BGP4+处理各 ISP 间的路由传递，是一种域间路由协议。其特点是有丰富的路由策略，这是 RIPng、OSPFv3 等协议无法做到的，因为它们需要全局的信息计算路由表。BGP4+通过在 ISP 边界路由器上增加一定的策略，选择过滤路由，把 RIPng、OSPFv3、BGP4+等路由发送到对方。

随着 IPv6 网络的大量组建，BGP4+将得到越来越多的应用。

综上所述，在 IPv6 相关的路由协议中，无论是新开发的 OSPFv3，还是基于 IPv4 协议扩展的 RIPng、IS-ISv6、BGP4+等，都是从相关的 IPv4 路由协议演变而来的，旨在提供对 IPv6 的支持，其应用场合、路由思路及优缺点并没有发生根本改变。

## 5.3 网络管理

IP 网中许多问题是由管理造成的。IPv6 的管理与 IPv4 在思路上有可借鉴之处。由于 IPv6 的规模应用还需要一段时间，IPv4 和 IPv6 共存的情况还将长期存在，目前针对 IPv6 的网管设备和网管软件几乎没有成熟产品出现。因此网管向 IPv6 的过渡可以采用以下思路实现：

- 现有网管基于 IPv4，管理 IPv4 网络设备。
- 新建的 IPv6/IPv4 双栈网络，设备提供基于 IPv6 特性的 MIB。现有的网管可以通过基于 IPv4 的 SNMP 访问这些 MIB，实现 IPv6 特性的管理。
- 将现有网管升级为双栈网管，通过 IPv4 访问 IPv4 设备，通过 IPv6 访问 IPv6 设备，实现双栈管理。

目前已经实现基于 IPv4 网管通过访问双栈设备 IPv6 特性的 MIB 实现对 IPv6 特性的管理，如：

- 查询 IPv6 基本信息：包括查询 IPv6 地址转换表、接口表、地址表、地址前缀表、路由表、UDP 表、TCP 连接表信息
- IPv6 地址表添加、删除
- 监视 IPv6 端口流量：包括 IPv6 报文统计、端口流量统计、端口 ICMP 流量统计

## 第六章 IPv6 在中国

2010 年是中国制定第十二个五年规划的一年，“十二五”规划明确了培育发展战略性新兴产业的战略目标，新一代信息技术是国务院确定的七个战略性新兴产业之一，其中加快建设宽带、泛在、融合、安全的信息网络基础设施，推动新一代移动通信、下一代互联网核心设备和智能终端的研发及产业化，加快推进三网融合，促进物联网、云计算的研发和示范应用成为发展新一代信息技术产业的主要任务，其中 IPv6 被认为是发展新一代信息技术产业最重要的基础资源。

中国网民的快速增长使得本就捉襟见肘的 IPv4 地址资源变得更加短缺，而宽带网络、移动互联网、物联网、三网融合和云计算都需要有海量的 IP 地址资源做业务发展的支撑；据工信部电信研究院调研报告显示，未来 5 年我国将需要海量的 IP 地址，其中移动互联网需求量为 10 亿，物联网预计需求量为 100 亿，固定互联网为 5 亿，而按照 IP 地址 33% 的利用率来推算，我国未来 IP 地址需求量高达 345 亿；而全球的 IPv4 地址理论数量仅 43 亿个左右，因此，向 IPv6 过渡势在必行。

中国政府长期重视向下一代互联网过渡的研究，多年来国家安排过各种研究项目，其中最重要的是八部委联合支持的 CNGI 示范工程项目，建成了大规模的 IPv6 互联网示范网络，总体上达到世界领先水平，为中国发展 IPv6 奠定了良好的基础。中国还开展了大量 IPv6 示范性应用，继 2008 年的 IPv6 奥运官方网站之后，2010 年上海世博会成为展现信息时代“科技改善生活”的最新成果的绝佳舞台，而作为下一代互联网的关键技术，IPv6 也找到了实战检验的最佳场所；以中国电信为首的运营商已经在即将到来的 2011 年深圳大运会中展开了 IPv6 网络的试点工作，作为商用的过渡示范，探讨向下一代互联网演进的最佳路径。

2010 年是中国 IPv6 商用的元年，在国家政策的引导以及宽带网络、移动互联网、物联网、三网融合和云计算等新一代信息技术产业的驱动下，中国 IPv6

的商用进程逐步加快，下一代互联网逐步从试验、示范转向试用和商用，以中国电信为首的各大运营商也陆续制定了各自的 IPv6 商用时刻表。

IPv6 在中国取得了巨大的进展，不仅在试商用的部署方面迈出了关键的步伐，产业链也在逐步完善和成熟，涌现了华为、中兴、烽火、迈普等企业，承载网络设备等关键技术已经达到国际先进水平。同时，发展 IPv6 互联网是一项复杂的系统工程，我国 IPv6 的发展也存在一些问题，如产业链各方对于过渡的紧迫性认识不一，过渡技术路线和过渡方案不清晰等，需要在国家层面加强统筹规划和产业链各方加强合作、协同推进。

## 第七章 IPv6 地址分配状况

截至 2010 年 12 月，我国 IPv4 地址数量达到 2.78 亿，折合 16.55A。在 2011 年 2 月，IANA 把剩余最后 5 个 A 的 IPv4 地址各分配 1 个 A 给各区域互联网注册管理机构（RIR）后，IANA 的 IPv4 地址资源全部分发完毕，各区域互联网注册管理机构（RIR）持有的 IPv4 地址也预计在今年陆续分发完毕，其中 IPv4 地址消耗速度最快的亚太地区的 IPv4 地址在 2011 年 4 月分发完毕。

相对于全球第一的网民规模，中国的 IPv6 地址数量相对较少，截至 2010 年底共申请到 IPv6 地址 402 块/32，处于全球第十三位；但相对于 2009 年底的统计数据 63 块/32，2010 年中国的 IPv6 地址持有量显著增长，增加了 339 块/32，显现出在 IPv4 地址耗尽和新一代信息技术产业的驱动下，中国的 IPv6 在加速发展。

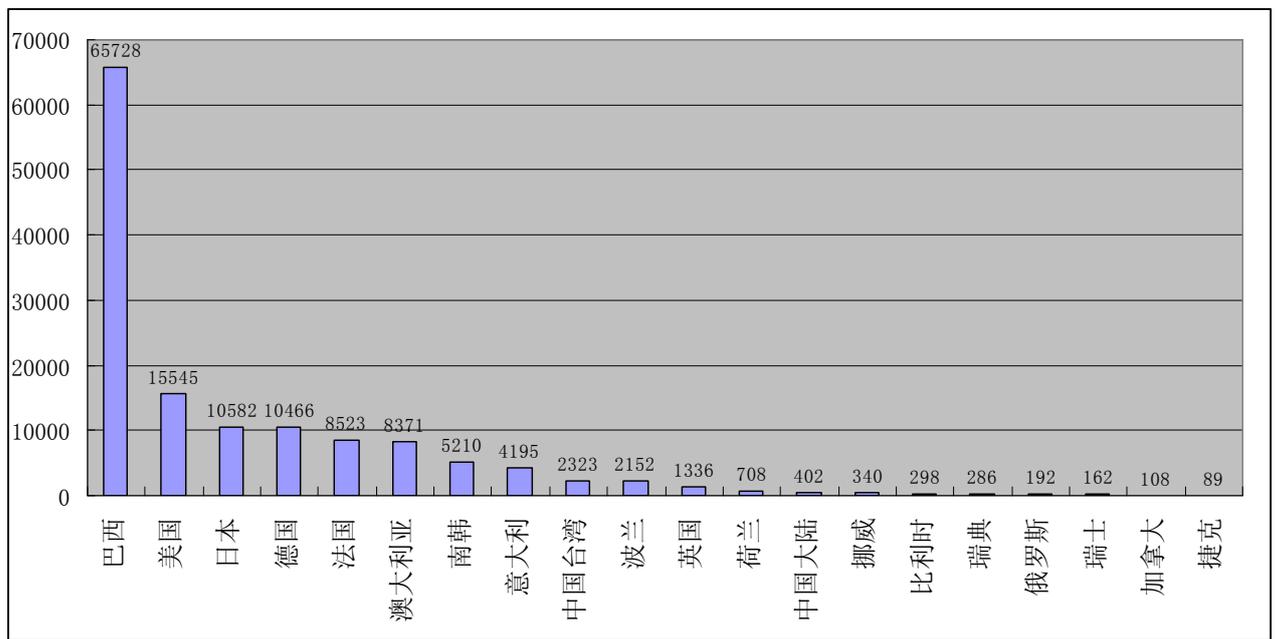


图 6-1 全球 IPv6 地址分配状态 (/32 地址块个数)

针对国内 IPv6 发展的形势和发展新一代信息技术产业的需求，结合对国际 IP 地址分配政策的了解，中国互联网络信息中心（CNNIC）于 2010 年 3 月推出了‘IPv6 地址快速申请通道’，方便国内互联网服务商申请 IPv6 地址；中国电信

也在制定 IPv6 商用部署计划后，向亚太互联网络信息中心（APNIC）申请了个 /24 的 IPv6 地址（相当于 256 个 /32），使中国大陆的 IPv6 地址持有量在 2010 年显著上升。

值得注意的是，与我国在下一代互联网上取得的成就相比，我国目前拥有的 IPv6 地址数量不容乐观，虽然比 2009 年底有了显著增长，2010 年底我国 IPv6 地址量仅处于全球第十三位，比位于前十名的国家或地区低了一个数量级，跟前三名的国家比更是远远落后。因此，提高对 IPv6 地址资源的认识，加强 IPv6 地址规划管理，改善我国 IP 地址资源分配管理机制，促进国内企业规划和申请更多的 IPv6 地址是今后的重要任务。

根据中国互联网络信息中心（CNNIC）‘IPv6 地址快速申请通道’，凡是持有 IPv4 地址且尚未持有 IPv6 地址的 IP 分配联盟会员，可以免费申请一块 IPv6 地址（默认大小 /32）。就目前的情况，全球分配的 IPv6 地址块 80% 的大小是 /32，也就是说，就目前可以预见的情况，/32 的 IPv6 地址块基本能满足大部分企业的需求，因此快速通道计划采用 /32 做默认大小，不做进一步审核，大大简化了申请流程，为互联网服务商申请 IPv6 地址提供便利，促进国内企业规划和申请更多的 IPv6 地址。

## 第八章 IPv6 网络新应用展望

网络最终用户关心的是业务应用，而 IPv6 最大的亮点在于海量地址、无状态自动配置和移动 IPv6 的特性，因此 IPv6 的应用主要有以下几方面：

### □ 视频监控：

IPv6 带来 IP 地址的极大丰富，大量部署网络摄像头成为可能，且可以方便地进行管理和控制。通过对 IPv6 协议的支持，使网络摄像终端具有更大的生命力。从国外的视频监控市场可以看出个人用户同样是视频监控的重要客户，而我国的视频监控业务主要还集中在行业用户，在个人用户方面有很大的发展潜力。视频监控已经开始展现出蓬勃的生命力，而规模化、可运营的监控网络则为运营商提供了广阔的商机。

### □ 智能终端/物联网：

随着 PDA、智能手机等个人终端联入互联网，越来越多的电子设备都有了联网功能的需求，包括：个人智能终端、工业传感器、自动售货机、汽车等，由此将产生巨大的 IP 地址的需求。IPv6 的“即插即用”的地址分配方式及巨大的地址空间可以满足智能终端的需求。

### □ 智能家庭网络：

基于 CNGI 的家庭网络是一个研究的热点。未来家庭网络中会包括智能家电、流媒体应用系统、视频监控系统、家居控制系统等多样化的组件，集通信、娱乐、控制应用于一体。结合 IPv6 技术可以更方便地实现智能家庭网络的部署。

### □ 3G 业务：

普遍认为 IPv6 将是发展 3G 移动通信的必要工具。3GPP 组织 2000 年 5 月决定在下一代移动技术中采用 IPv6，预计在 3G 手机上将率先正式使用 IPv6。

从目前国内外的应用情况来看，IPv6 业务已经有了很大进展，运营商、设备提供商、科研机构的积极参与使得 IPv6 向大规模商用迈进。市场是技术最好的驱动力，相信伴随部署和应用的逐步展开，IPv6 的优势将在具体应用中得到越来越突出的显现。