

# IPv6 组播技术白皮书

---

Copyright © 2019 新华三技术有限公司 版权所有，保留一切权利。

非经本公司书面许可，任何单位和个人不得擅自摘抄、复制本文档内容的部分或全部，并不得以任何形式传播。

除新华三技术有限公司的商标外，本手册中出现的其它公司的商标、产品标识及商品名称，由各自权利人拥有。

本文中的内容为通用性技术信息，某些信息可能不适用于您所购买的产品。

# 目 录

1 概述.....	1
2 IPv6 组播技术实现.....	1
2.1 IPv6 组播地址.....	1
2.1.1 IPv6 组播地址格式.....	1
2.1.2 预留的 IPv6 组播地址.....	2
2.1.3 基于单播前缀的 IPv6 组播地址.....	3
2.1.4 内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址.....	3
2.1.5 IPv6 SSM 组播地址.....	5
2.2 IPv6 组播 MAC 地址.....	5
2.3 IPv6 组播协议.....	5
2.3.1 组播组管理协议.....	5
2.3.2 组播路由协议.....	5
2.3.3 二层组播协议.....	6
3 参考文献.....	6

# 1 概述

作为 IPv4 协议的替代，IPv6 协议使用 128 位的地址结构解决了 IP 地址不足的问题，同时对一些特性进行了优化处理。出现于 IPv4 时代的组播技术，由于其有效解决了单点发送、多点接收的问题，实现了网络中点到多点的高效数据传送，能够大量节约网络带宽、降低网络负载，因此在 IPv6 中的应用得到了进一步的丰富和加强。

IPv6 组播与 IPv4 组播的最大不同在于 IPv6 组播地址机制的极大丰富，而其它诸如组成员管理、组播报文转发以及组播路由建立等与 IPv4 组播基本相同。因此，本文将重点介绍组播地址对 IPv6 的支持情况；对于 IPv6 组播协议，只对其与 IPv4 组播协议的异同进行大致的介绍。

## 2 IPv6 组播技术实现

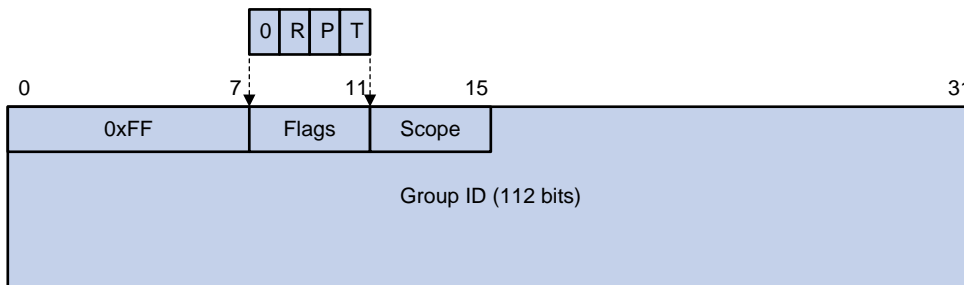
### 2.1 IPv6组播地址

在介绍 IPv6 组播地址之前，先简单回顾一下 IPv6 的地址结构：IPv6 地址的长度为 128 比特，每个 IPv6 地址被分为 8 组，每组的 16 比特用 4 个十六进制数来表示，组和组之间用冒号隔开，例如：FEDC:BA98:7654:3210:FEDC:BA98:7654:3210。

#### 2.1.1 IPv6 组播地址格式

IPv6 组播地址用来标识一组接口，通常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。

图1 IPv6 组播地址格式



如图 1 所示，IPv6 组播地址中各字段的含义如下：

- 0xFF：最高 8 比特为 11111111，标识此地址为 IPv6 组播地址。
- Flags：4 比特，该字段中各位的取值及含义如表 1 所示。

表1 Flags 字段各位的取值及含义

位	取值及含义
0位	保留位，必须取0
R位	<ul style="list-style-type: none"><li>• 取 0 表示非内嵌 RP 的 IPv6 组播地址</li><li>• 取 1 表示内嵌 RP 的 IPv6 组播地址（此时 P、T 位也必须置 1）</li></ul>

P位	<ul style="list-style-type: none"> <li>取 0 表示非基于单播前缀的 IPv6 组播地址</li> <li>取 1 表示基于单播前缀的 IPv6 组播地址（此时 T 位也必须置 1）</li> </ul>
T位	<ul style="list-style-type: none"> <li>取 0 表示由 IANA 永久分配的 IPv6 组播地址</li> <li>取 1 表示非永久分配的 IPv6 组播地址</li> </ul>

- **Scope:** 4 比特。用来标识该 IPv6 组播组的应用范围，其取值及含义如表 2 所示。

表2 Scope 字段的取值及其含义

取值	含义
0、F	保留 (Reserved)
1	接口本地范围 (Interface-Local Scope)
2	链路本地范围 (Link-Local Scope)
3	子网本地范围 (Subnet-Local Scope)
4	管理本地范围 (Admin-Local Scope)
5	站点本地范围 (Site-Local Scope)
6、7、9~D	未分配 (Unassigned)
8	机构本地范围 (Organization-Local Scope)
E	全球范围 (Global Scope)

- **Group ID:** 112 比特，IPv6 组播组标识号。用来在由 Scope 字段所指定的范围内唯一标识 IPv6 组播组，该标识可能是永久分配的或临时的，这由 Flags 字段的 T 位决定。

### 2.1.2 预留的 IPv6 组播地址

根据 RFC 4291，目前已被预留的 IPv6 组播地址如表 3 所示。

表3 预留的 IPv6 组播地址列表

名称	地址	说明
保留组播地址	FF0X::	不能分配给任何组播组
所有节点组播地址	<ul style="list-style-type: none"> <li>FF01::1 (节点本地)</li> <li>FF02::1 (链路本地)</li> </ul>	-
所有路由器组播地址	<ul style="list-style-type: none"> <li>FF01::2 (节点本地)</li> <li>FF02::2 (链路本地)</li> <li>FF05::2 (站点本地)</li> </ul>	-
被请求节点组播地址	FF02::1:FFXX:XXXX	在被请求节点单播或任播 IPv6 地址的低 24 位前增加地址前缀 FF02::1:FF00::/104 而得，如 4037::01:800:200E:8C6C 对应于 FF02::1:FF0E:8C6C



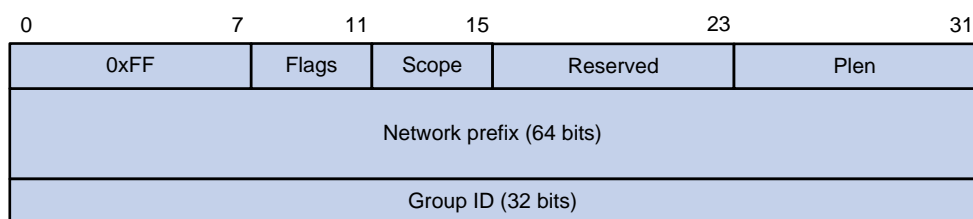
说明

表3中的 X 代表 0~F 的任意一个十六进制数。

### 2.1.3 基于单播前缀的 IPv6 组播地址

RFC 3306 中规定了一种动态分配 IPv6 组播地址的方式——基于单播前缀的 IPv6 组播地址。这种 IPv6 组播地址中包含了其组播源网络的单播地址前缀，通过这种方式分配全局唯一的组播地址。

图2 基于单播前缀的 IPv6 组播地址格式



基于单播前缀的 IPv6 组播地址的格式如图 2 所示，其中各字段的含义如下：

- **Flags:** R 位置 0，P、T 位则分别置 1，表示基于单播前缀的组播地址。
- **Scope:** 如 2.1.1 图 1 表 2 所示。
- **Reserved:** 8 比特。保留字段，必须为 0。
- **Plen:** 8 比特。表示网络前缀的有效长度（单位为比特）。
- **Network prefix:** 64 比特。表示该组播地址所属子网的单播前缀，有效长度由 Plen 字段指定。
- **Group ID:** 32 比特。表示 IPv6 组播组标识号。

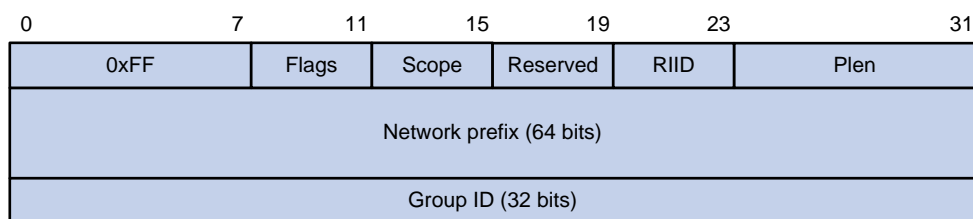
例如：单播前缀为 3FFE:FFFF:1::/48 的网络分配基于单播前缀的组播地址为 FF3X:30:3FFE:FFFF:1::/96（X 表示任意合法的 Scope）。

### 2.1.4 内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址

#### 1. 地址格式

嵌入式 RP（Rendezvous Point，汇集点）是 IPv6 PIM 中特有的 RP 发现机制，该机制使用内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址，使得组播路由器可以直接从该地址中解析出 RP 的地址。

图3 内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址格式



如图 3 所示，内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址使用基于单播前缀的 IPv6 组播地址格式，其中各字段的含义如下：

- **Flags:** R、P 和 T 位均置 1，表示内嵌 RP 地址的组播地址。
- **Scope:** 如 2.1.1 图 1 表 2 所示。
- **Reserved:** 4 比特。保留字段，必须为 0。
- **RIID:** 4 比特。表示 RP 地址的接口 ID。
- **Plen:** 8 比特。表示 RP 地址前缀的有效长度（单位为比特）。
- **Network prefix:** 64 比特。表示 RP 地址前缀，有效长度由 Plen 字段指定。
- **Group ID:** 32 比特。表示 IPv6 组播组标识号。

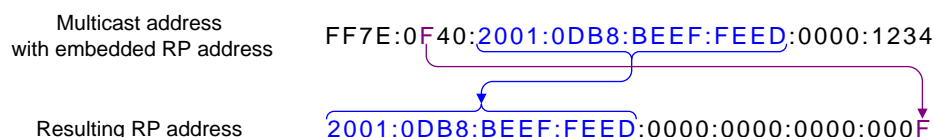
## 2. 计算规则

内嵌于 IPv6 组播地址中的 RP 地址的计算规则如下：

- (1) 先将 IPv6 组播地址 Network prefix 字段的前 Plen 位作为 RP 地址的网络前缀。
- (2) 再将 IPv6 组播地址 RIID 字段填充到 RP 地址的最低 4 位。
- (3) 最后，将 RP 地址的所有剩余位补 0。

例如：对于 IPv6 组播地址 FF7E:F40:2001:DB8:BEEF:FEED::1234，内嵌于其中的 RP 地址的前缀为 Network prefix 字段的前 Plen（这里为 0x40 = 64 bits）位，最低 4 位为 RIID（0xF），其余位均为 0，如图 4 所示。

图4 嵌入式 RP 计算举例



## 3. 应用举例

假设网络管理员想在 2001:DB8:BEEF:FEED::/64 网段中设置 RP，则内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址为 FF7X:Y40:2001:DB8:BEEF:FEED::/96，可分配 32 比特的 Group ID，内嵌于其中的 RP 地址为 2001:DB8:BEEF:FEED::Y/64。

如果网络管理员想在 IPv6 组播地址中保留更多可分配的 Group ID，可以选择更短的 RP 地址前缀：譬如取 Plen = 0x20 = 32 bits，则此时内嵌 RP 地址的 IPv6 组播地址为 FF7X:Y20:2001:DB8::/64，可分配 64 比特的 Group ID，内嵌于其中的 RP 地址为 2001:DB8::Y/32。



说明

X 表示任意合法的 Scope，Y 代表 1~F 的任意一个十六进制数。

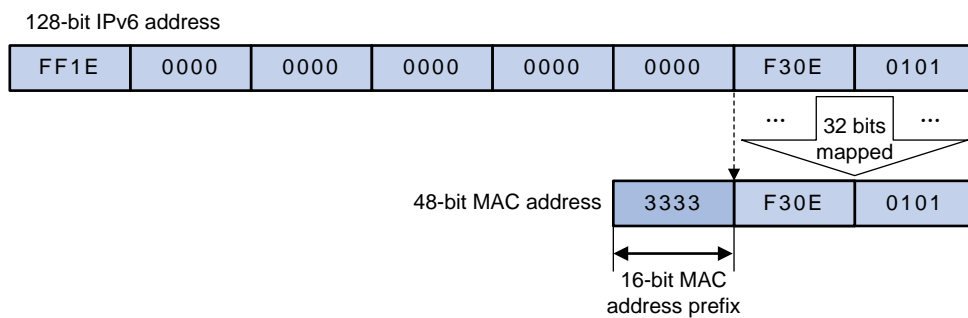
### 2.1.5 IPv6 SSM 组播地址

IPv6 SSM (Source-Specific Multicast, 指定信源组播) 组播地址也使用基于单播前缀的 IPv6 组播地址格式, 其中的 Plen 字段和 Network prefix 字段均取 0。IPv6 SSM 组播地址范围为 FF3X::/32 (X 表示任意合法的 Scope)。

## 2.2 IPv6组播MAC地址

IPv6 组播 MAC 地址以 0x3333 开头, 低 32 位为 IPv6 组播地址的低 32 位, 最终形成 48 比特的组播 MAC 地址。如图 5 所示, IPv6 组播地址 FF1E::F30E:101 所对应的组播 MAC 地址为 33-33-F3-0E-01-01。

图5 IPv6 组播地址的 MAC 地址映射举例



## 2.3 IPv6组播协议

IPv6 支持的组播协议包括 MLD (Multicast Listener Discovery Protocol, 组播侦听者发现协议)、MLD Snooping (Multicast Listener Discovery Snooping, 组播侦听者发现协议窥探)、IPv6 PIM (IPv6 Protocol Independent Multicast, IPv6 协议无关组播) 和 IPv6 MBGP (IPv6 Multicast BGP, IPv6 组播 BGP) 等。

### 2.3.1 组播组管理协议

MLD 源自 IGMP (Internet Group Management Protocol, 互联网组管理协议), MLD 有两个版本: MLDv1 源自 IGMPv2, MLDv2 源自 IGMPv3。

与 IGMP 采用 IP 协议号为 2 的报文类型不同, MLD 采用 ICMPv6 (IP 协议号为 58) 的报文类型, 包括 MLD 查询报文 (类型值 130)、MLDv1 报告报文 (类型值 131)、MLDv1 离开报文 (类型值 132) 和 MLDv2 报告报文 (类型值 143)。MLD 协议与 IGMP 协议除报文格式不同外, 协议行为完全相同。

### 2.3.2 组播路由协议

IPv6 PIM 与 PIM 除报文中 IP 地址结构不同外, 其它协议行为基本相同, IPv6 PIM 也支持如下四种模式:

- IPv6 PIM-DM (IPv6 Protocol Independent Multicast-Dense Mode, IPv6 协议无关组播一密集模式)

- IPv6 PIM-SM (IPv6 Protocol Independent Multicast-Sparse Mode, IPv6 协议无关组播—稀疏模式)
- IPv6 PIM-SSM (IPv6 Protocol Independent Multicast Source-Specific Multicast, IPv6 协议无关组播—指定源组播)
- IPv6 BIDIR-PIM (IPv6 Bidirectional Protocol Independent Multicast, IPv6 双向协议无关组播, 简称 IPv6 双向 PIM)

IPv6 PIM 发送链路本地范围的协议报文 (包括 PIM Hello、Join-Prune、Assert、Bootstrap、Graft、Graft-Ack 和 State-refresh 报文) 时, 报文的源 IPv6 地址使用发送接口的链路本地地址; IPv6 PIM 发送全球范围的协议报文 (包括 Register、Register-Stop 和 C-RP Advertisement 报文) 时, 报文的源 IPv6 地址使用发送接口的全球单播地址。

IPv6 组播并不支持 MSDP 协议, 如果需要接收来自其它 IPv6 PIM 域的组播数据, 有以下两种实现方式:

- 通过其它方式 (譬如广告等) 直接获取其它 IPv6 PIM 域内的组播源地址, 使用 IPv6 PIM-SSM 发起指定源组的加入。
- 使用嵌入式 RP 机制, 通过嵌入 RP 地址的 IPv6 组播地址来获取其它 IPv6 PIM 域内的 RP 地址, 向其它域内的 RP 发起组加入。

对于域间 IPv6 组播路由信息的传递, 则可以使用 IPv6 的 MBGP 协议, 其与 IPv4 的 MBGP 协议也基本相同。

### 2.3.3 二层组播协议

#### 1. MLD Snooping

MLD Snooping 与 IGMP Snooping 协议基本相同。

#### 2. IPv6 PIM Snooping

IPv6 PIM Snooping 与 PIM Snooping 协议基本相同。

#### 3. 组播 VLAN

组播 VLAN, 对于 IPv4 组播和 IPv6 组播, 处理原理相同。

## 3 参考文献

- RFC 4291: IP Version 6 Addressing Architecture
- RFC 3306: Unicast-Prefix-based IPv6 Multicast Addresses
- RFC 3956: Embedding the Rendezvous Point (RP) Address in an IPv6 Multicast Address