



中华人民共和国国家标准

GB/T 44866.1—2024

面向单栈 IPv6 网络的 4over6 技术要求 第 1 部分：基于 IPv6 骨干网的 IPv4 网络互联

Technical requirements of 4over6 technology in IPv6-only network—
Part 1: Interconnection of IPv4 networks based on IPv6 backbone networks

2024-10-26 发布

2025-02-01 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会 发布

目 次

前言	III
引言	IV
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	1
4 缩略语	1
5 概述	2
5.1 4over6 网络结构	2
5.2 4over6 网络主要功能	2
6 4over6 数据平面	2
6.1 4over6 数据平面处理流程	2
6.2 4over6 数据平面分组报文封装方法	3
7 4over6 控制平面	3
附录 A (资料性) 4over6 机制典型实例	5
参考文献	6

前 言

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

GB/T 44866《面向单栈 IPv6 网络的 4over6 技术要求》与 GB/T 44887《IPv6 演进技术要求》、GB/T 44598《多域 IPv6 单栈网络总体技术要求》共同构成 IPv6 演进技术的国家标准体系。

本文件是 GB/T 44866《面向单栈 IPv6 网络的 4over6 技术要求》的第 1 部分。GB/T 44866 已经发布了以下部分：

- 第 1 部分：基于 IPv6 骨干网的 IPv4 网络互联；
- 第 3 部分：基于 IPv6 网络的 IPv4 地址动态分配。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中华人民共和国工业和信息化部提出。

本文件由全国通信标准化技术委员会(SAC/TC 485)归口。

本文件起草单位：清华大学、北京中关村实验室、中国信息通信研究院、国家计算机网络应急技术处理协调中心、中国电信集团有限公司、中国移动通信集团有限公司、中国联合网络通信集团有限公司、华为技术有限公司、上海诺基亚贝尔股份有限公司。

本文件主要起草人：崔勇、吴建平、董江、张蕾、徐璐、许志勇、赵慧玲、曹蓟光、田辉、赵锋、高巍、王文磊、解冲锋、孙琼、陆璐、刘鹏、段晓东、王海军、李振斌、范大卫、郭大勇、陈端。

引 言

根据《关于加快推进互联网协议第六版(IPv6)规模部署和应用工作的通知》，为推动 IPv6 技术融合、构建 IPv6 技术体系，推动 IPv6 规模部署和应用成果标准化，我国制定了一系列 IPv6 技术标准。其中，GB/T 44866《面向单栈 IPv6 网络的 4over6 技术要求》是在我国开展 IPv6 规模部署的关键时期，为规范 4over6 过渡技术要求而制定的标准，由三个部分构成。

- 第 1 部分：基于 IPv6 骨干网的 IPv4 网络互联。目的在于规范 IPv6 骨干网的 IPv4 网络互联。
- 第 2 部分：基于 IPv6 接入网的 IPv4 网络互联。目的在于规范 IPv6 接入网采用 IPv4 公有地址及地址复用的方式实现用户与 IPv4 网络的双向互联。
- 第 3 部分：基于 IPv6 网络的 IPv4 地址动态分配。目的在于规范 IPv6 网络用户支持 IPv4 地址动态分配的机制。



面向单栈 IPv6 网络的 4over6 技术要求

第 1 部分：基于 IPv6 骨干网的 IPv4 网络互联

1 范围

本文件规定了在单栈 IPv6 骨干网上实现 IPv4 网络互联的 4over6 机制的技术要求。

本文件适用于 IPv4 网络向 IPv6 网络过渡阶段, IPv4 接入网用户之间通过单栈 IPv6 骨干网采用 4over6 技术进行互联互通的场景。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中, 注日期的引用文件, 仅该日期对应的版本适用于本文件; 不注日期的引用文件, 其最新版本(包括所有的修改单)适用于本文件。

IETF RFC 2473(1998) IPv6 规范的通用分组隧道(Generic Packet Tunneling in IPv6 Specification)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

4over6 机制 IPv4 over IPv6 mechanism

向 IPv6 网络演进的过渡技术, 通过对网络协议的扩展, 在 IPv6 网络上实现 IPv4 网络的互联互通。

3.2

4over6 路由器 IPv4 over IPv6 router

支持 4over6 功能的路由器。

4 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

AFBR: 地址簇边界路由器(Address Family Border Router)

AFI: 地址簇标识符(Address Family Identifier)

BGP: 边界网关协议(Border Gateway Protocol)

CE: 用户边缘设备(Customer Edge)

GRE: 通用路由封装(Generic Routing Encapsulation)

ICMP: 互联网控制消息协议(Internet Control Message Protocol)

IPSec: 互联网协议安全(Internet Protocol Security)

IPv4: 互联网协议第 4 版(Internet Protocol Version 4)

IPv6: 互联网协议第 6 版(Internet Protocol Version 6)

MP-BGP: 边界网关协议多协议扩展(Multiprotocol extension to BGP)

MPLS: 多协议标签交换(Multiprotocol Label Switching)

NLRI: 网络层可达性信息(Network Layer Reachability Information)

PE: 运营商边缘设备(Provider Edge)

PPVPN: 运营商配置的虚拟私人网络(Provider Provisioned Virtual Private Networks)

RR: 路由反射器(Route Reflector)

SAFI: 后续地址簇标识符(Subsequent Address Family Identifier)

VIF: 虚拟接口(Virtual interface)

5 概述

5.1 4over6 网络结构

在单栈 IPv6 骨干网络边缘,存在大量 IPv4 接入网络需要通过单栈 IPv6 骨干网来实现互联,4over6 机制传输的网络拓扑如图 1 所示。PE 路由器作为 AFBR,同时运行 IPv6 和 IPv4 双协议栈。在骨干网侧,PE 路由器使用 IPv6 协议连接单栈 IPv6 骨干网;在接入网络侧,PE 路由器使用 IPv4 协议栈与 CE 路由器连接,为 IPv4 接入网络提供互联服务。

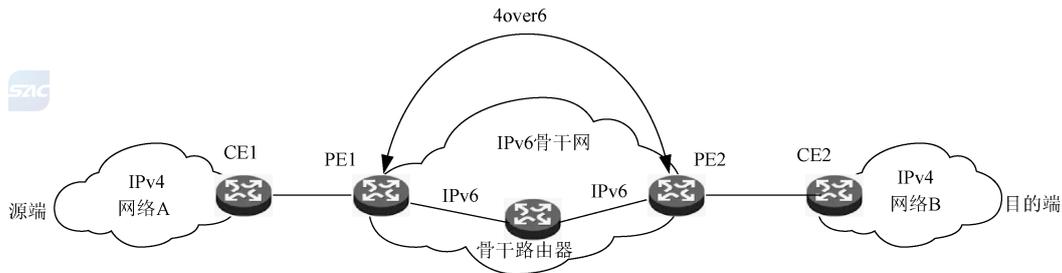


图 1 4over6 机制传输的网络拓扑

5.2 4over6 网络主要功能

4over6 网络应具备以下功能:

- a) 4over6 机制具备对网络和端系统的透明性,能自适应地动态选路,并适应于大规模复杂网络拓扑,而无需手工配置端到端隧道;
- b) 控制平面通过隧道端点发现机制来建立 4over6 隧道,PE 路由器与 CE 之间可以通过域内或域间 IPv4 路由协议来交互 IPv4 路由,也可由 CE 路由器配置缺省路由到 PE 路由器;
- c) 数据平面实现 4over6 隧道封装和解封装以及分组报文转发处理。

6 4over6 数据平面

6.1 4over6 数据平面处理流程

4over6 数据平面主要包括下面三个部分:

- a) 入口 PE 路由器将接收到的 IPv4 分组报文用 IPv6 头部进行封装;
- b) 封装后的分组报文在 IPv6 骨干网中传输;
- c) 出口 PE 路由器把分组报文解封装为原来的 IPv4 格式。

单栈 IPv6 骨干网中的 PE 路由器实现 AFBR 的分组封装和解封装的功能。每个 4over6 PE 路由器维护一个 4over6 VIF,该 VIF 需要维护 4over6 封装表。封装表的每个表项中包含目的 IPv4 网络的

地址和掩码,以及需要转发到的出口 PE 路由器的 4over6 虚接口 IPv6 地址。

如图 2 所示,IPv4 分组报文到达 4over6 入口 PE 路由器(图中 PE1),PE1 在查找 IPv4 转发表后,确定应进入本地的 4over6 虚接口处理;在 4over6 虚接口处理中,通过查找 4over6 封装表对该分组报文进行封装,封装的目的 IPv6 地址是 4over6 出口 PE 路由器的虚接口 IPv6 地址,源 IPv6 地址是 4over6 入口 PE 路由器的虚接口 IPv6 地址。封装后的 IPv6 分组报文通过 IPv6 骨干网发送到出口 PE 路由器;出口路由器对分组报文进行解封装后,再通过查找 IPv4 转发表将原始 IPv4 分组报文转发到相应的目的 IPv4 网络。4over6 封装表的维护由 4over6 控制平面完成。

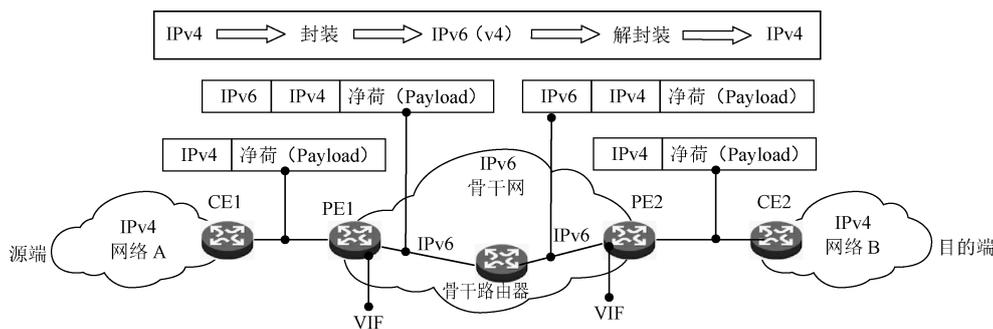


图 2 4over6 数据平面处理

6.2 4over6 数据平面分组报文封装方法

数据分组报文的封装和解封装采用 IPv4-in-IPv6 的方法,如图 3 所示,具体封装、解封装以及分组报文分片和 ICMP 分组报文的相应处理应符合 IETF RFC 2473(1998)中的第 3 章和第 8 章。其他封装方法如 GRE 隧道方法、IPSec、MPLS 隧道以及 PPVPN 隧道等,4over6 机制后续可通过扩展进行支持,本文件不对具体扩展技术进行规定。

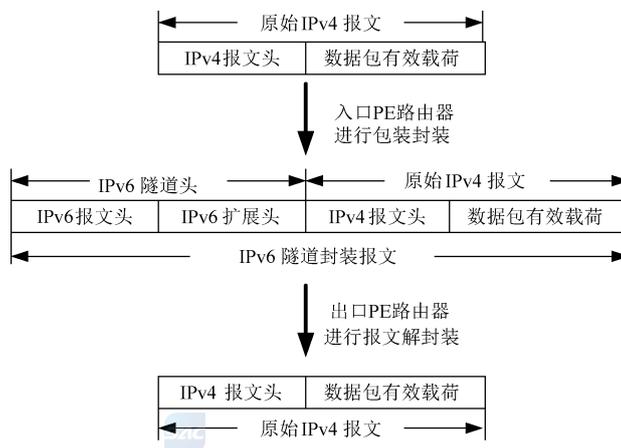


图 3 IPv4-in-IPv6 的封装和解封装方法

7 4over6 控制平面

4over6 控制平面通过扩展 MP-BGP 协议来实现隧道端点的发现。作为 AFBR,PE 路由器在 IPv6 骨干网上建立 BGP 邻居关系,并通过 MP-BGP 扩展来携带不同种类的路由信息。

根据 MP-BGP 协议的规定,建立 BGP 邻居关系时,使用 OPEN 消息中的两个参数组合标识 BGP

实体的能力: AFI 和 SAFI。MP-BGP 实体通过 {AFI,SAFI} 组合来传输 4over6 隧道端点和目的地址。对于 4over6 所需传输的目的地址为 IPv4 网络地址,故 AFI 使用 AFI_IP4=1。基于 SAFI 的先到先服务原则,本文件采用 SAFI_4over6 = 67。BGP 实体在 MP-BGP 协议的 OPEN 消息中使用 {AFI,SAFI}=(AFI_IP4=1,SAFI_4over6=67)来支持 4over6 的能力。

在 BGP 建立邻居关系的基础上,BGP UPDATE 消息的路径属性包含下一跳的 AFI、SAFI、下一跳地址和网络层可达性信息。在利用 MP-BGP 的 UPDATE 消息传输隧道端点和网络可达性信息时,继续使用 AFI 和 SAFI。此外,路径属性中的下一跳网络地址应是 4over6 VIF 的 IPv6 地址,NLRI 应包含目的 IPv4 网络地址和掩码。该 Update 分组报文如图 4 所示。

AFI (2个字节): 取值为1, 表示IPv4
SAFI (1个字节): 取值为7, 表示4over6
下一跳网络地址长度 (1个字节): 取值16
下一跳虚接口IPv6地址 (可变长度)
子网连接点数量 (1个字节)
子网连接点长度 (1个字节)
第一个子网连接点 (可变长度)
第二个子网连接点的长度 (1个字节)
第二个子网连接点 (可变长度)
.....
最后一个子网连接点的长度 (1个字节)
最后一个子网连接点 (可变长度)
NLRI (可变长度): 取值为目的IPv4网络地址

图 4 BGP 协议的 4over6 扩展报文格式

当 4over6 路由器的 IPv4 路由信息发生变化时,路由管理模块将通知 BGP 协议,并启动 4over6 功能的 BGP 协议向其他对端路由器发送 Update 分组报文。对端 4over6 路由器在接收到 Update 分组报文后,将更新本地维护的封装表和 IPv4 路由表,更新完成后,将相应目的 IPv4 地址的出接口设置为本地 4over6 虚接口。

实现 4over6 机制的 PE 路由器应支持配置有路由 RR 的场景。在配置有 RR 的情况下,PE 路由器分为 RR 和非 RR 两种类型。每个 RR 连接多个非 RR,这些非 RR 称为该 RR 的客户端路由器。所有 RR 之间建立全连接结构。

在 RR 结构中,每个 RR 的 IBGP Peer 分为两种角色:RR 和客户端路由器。客户端路由器将其所连接的 IPv4 网络中的 IPv4 路由变化通过 IBGP 报文通告给对应的 RR。当一个 RR 收到其他 RR 通过 IBGP 发来的 4over6 路由时,将其转发给所有的客户端路由器。而当一个 RR 收到客户端路由器通过 IBGP 发来的 4over6 路由时,则将其转发给所有的 IBGP Peer。

这种传播机制确保任何一个远端 IPv4 网络中的路由变化最多经过三步就能传到整个网络,即远端出口客户端 PE 路由器、RR 以及网络中任意入口客户端 PE 路由器。

4over6 机制典型实例见附录 A。

附录 A

(资料性)

4over6 机制典型实例

基于上文对 4over6 数据平面和控制平面的定义,下面以图 A.1 为例详细说明 4over6 机制的实际工作过程。PE2 从 CE2 学习到到达目的 IPv4 网络 B 和网络 C 的路由信息,并更新本地的 PE2 IPv4 路由表。接着生成 PE2 封装表,并将其发送给 MP-BGP 模块。PE2 的 MP-BGP 模块通过 BGP Update 消息把目的 IPv4 网络 B 和网络 C 的可达性信息以及隧道端点信息(PE2 的 4over6 VIF)发送到 PE1。

PE1 接收到 BGP 更新消息后,将网络 B 和网络 C 的网络地址以及隧道端点(PE2 的 4over6 VIF)存储到 PE1 封装表,并在本地 IPv4 路由表中增加相关信息,将目的地址为网络 B 和网络 C 的转发接口设置为本地 4over6 VIF,即 PE1 VIF。完成这些路由信息的交互后,PE1 和 PE2 分别维护了如图 A.1 所示的封装表和路由表。

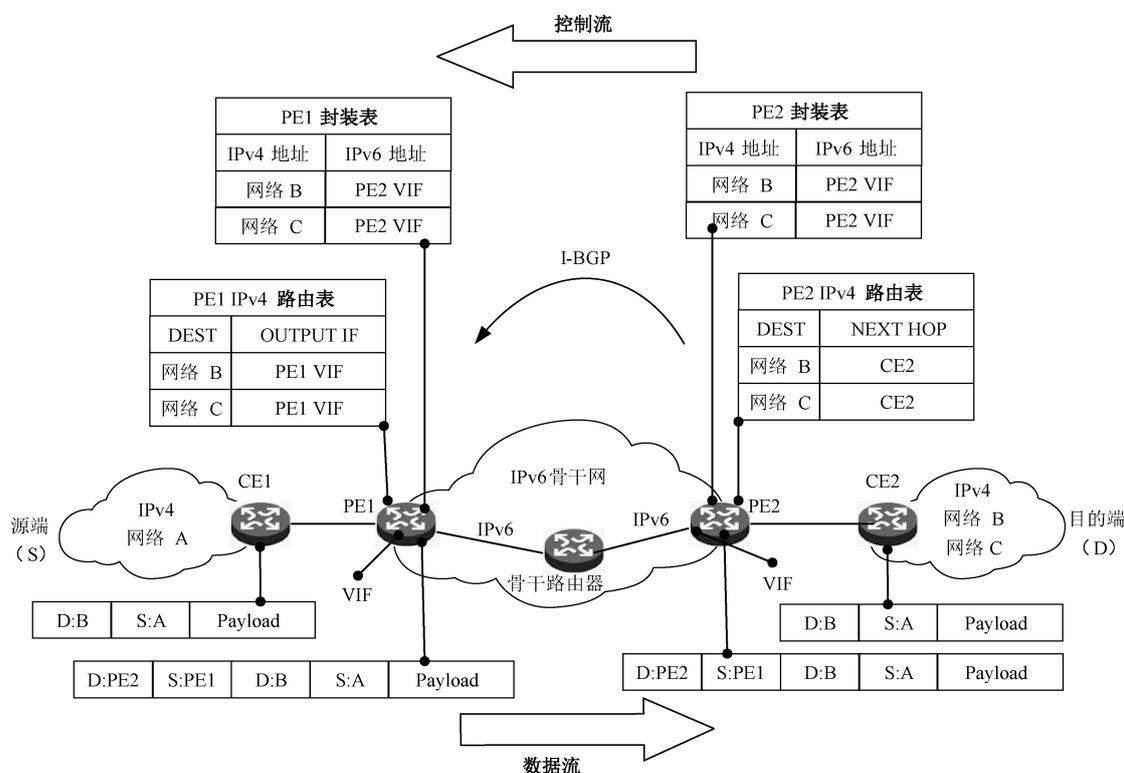


图 A.1 4over6 机制示例

当来自源端网络 A 的目的地址在网络 B 内部的 IPv4 分组报文到达 PE1 后,PE1 在 IPv4 转发表中进行路由查找。根据查找结果,确定对应转发接口为本地 VIF 接口,将该分组报文转发至本地 VIF 接口。在 VIF 接口处理中,PE1 查找封装表,找到对应的 IPv6 地址(即 PE2 的 4over6 虚接口的 IPv6 地址),并将该地址作为目的 IPv6 地址,同时将本地 4over6 虚接口的 IPv6 地址作为源地址进行封装。然后,PE1 将封装后的分组报文发送到 IPv6 网络。

PE2 收到封装后的分组报文后,进行解封装,并根据原始 IPv4 分组报文的地址在 IPv4 转发表查找,最终,PE2 将该分组报文转发到目的网络 B。

参 考 文 献

- [1] YD/T 1656—2007 采用边界网关协议多协议扩展(BGP-MP)的基于 IPv6 骨干网的 IPv4 网络互联(4over6)技术要求
-



