

ICS 33.040.40  
M 32

**YD**

# 中华人民共和国通信行业标准

YD/T 2545-2013

---

## 边缘网络轻量级 4over6 过渡技术要求

Technical requirements of lightweight 4over6 in access network

2013-04-25 发布

2013-06-01 实施

---

中华人民共和国工业和信息化部 发布

## 目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语、定义和缩略语	1
3.1 术语和定义	1
3.2 缩略语	2
4 概述	2
5 轻量级4over6过渡方案	2
5.1 控制层面	2
5.2 数据层面	3
5.3 用户侧考虑	4
6 ICMP过程	4
7 分片和重组	5
8 DNS服务	5
附录A (资料性附录) 边缘网络轻量级4over6的意义与方案分析	6
附录B (资料性附录) PCP方式分配端口段	7
附录C (资料性附录) 边缘网络轻量级4over6的技术优势与地址复用影响	8
参考文献	9

## 前 言

本标准按照GB/T 1.1-2009给出的规则起草。

本标准由中国通信标准化协会归口。

本标准起草单位：清华大学、中国电信集团公司、工业与信息化部电信研究院。

本标准起草人：崔 勇、吴 鹏、董 江、徐明伟、徐 恪、吴建平、孙 琼、解冲锋、陈运清、赵慧玲、赵 锋、何宝宏、田 辉、蒋林涛。

广东省网络空间安全协会受控资料

# 边缘网络轻量级 4over6 过渡技术要求

## 1 范围

本标准规定了在IPv6接入网中，支持IPv4与IPv6协议栈的终端设备使用共享公有IPv4地址，通过IPv4-over-IPv6方式与IPv4 Internet通信机制的技术要求。

本标准适用于基于边缘网4over6过渡。

## 2 规范性引用文件

下列文件对于本文件的应用是必不可少的。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是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 RFC4925 互联网IPv6 过渡问题描述草案（Software problem statement）

IETF RFC5625 DNS代理实施指南（DNS Proxy Implementation Guidelines）

IETF RFC6333 面对IPv4耗尽的双栈精简版宽带部署（Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion）

## 3 术语、定义和缩略语

### 3.1 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

#### 3.1.1

**边缘网络 4over6 Public 4over6**

IPv6 边缘网络中的一种过渡方案。在该方案中，ISP 向 IPv6 接入网中的终端分配公有 IPv4 地址，终端设备使用独享的公有地址，通过 IPv4-over-IPv6 的隧道，与 IPv4 Internet 实现双向 IPv4 通信。

#### 3.1.2

**轻量级 4over6 Lightweight 4over6**

IPv6 边缘网络 4over6 过渡的一种机制。在基本的边缘网 4over6 方案基础之上，轻量级 4over6 增加了终端设备公有 IPv4 地址复用的考虑，以适应 ISP IPv4 地址紧缺以及用户规模持续增长现状，增加边缘网 4over6 的适用范围。

#### 3.1.3

**轻量级 4over6 发起点 Lightweight 4over6 Initiator**

轻量级 4over6 发起点是在轻量级 4over6 机制中 IPv4-over-IPv6 隧道的发起点（基于 hub & spoke software 模型（见 IETF RFC4925））。轻量级 4over6 发起点可以是直连 IPv6 的双栈主机，也可以是双栈的 CPE 设备。

#### 3.1.4

**轻量级 4over6 汇聚点 Lightweight 4over6 Concentrator**

轻量级 4over6 汇聚点是在轻量级 4over6 机制中 IPv4-over-IPv6 隧道的聚集点路由器（基于 hub & spoke software 模型）。轻量级 4over6 汇聚点一侧连接 ISP IPv6 网络，另一侧连接 IPv4 Internet。

### 3.2 缩略语

下列缩略语适用于本文件。

CGN	Carrier Grade NAT	运营商级NAT
CPE	Customer Premise Equipment	用户侧前端设备
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol	动态主机配置协议
GRE	Generic Routing Encapsulation	通用路由封装协议
ISP	Internet Service Provider	互联网服务提供商
NAT	Network Address Translator	网络地址翻译器

## 4 概述

本标准规定了一种IPv6边缘网络中用户使用IPv4协议栈，通过隧道实现与IPv4 Internet双向互访的轻量级、可扩展性强的过渡机制。轻量级4over6继承了边缘网4over6机制的基本思想，将公有IPv4地址分发到用户侧，在隧道汇聚点采用有状态4over6的方式，维护用户IPv4-IPv6地址映射，用于隧道封装；另一方面，用户（终端）在使用公有IPv4地址时采用基于端口空间划分的复用的方式，每个用户只拥有1个地址的部分“所有权”，实现用户间IPv4地址的共享。附录A对边缘网络轻量级4over6的意义和方案进行了分析。

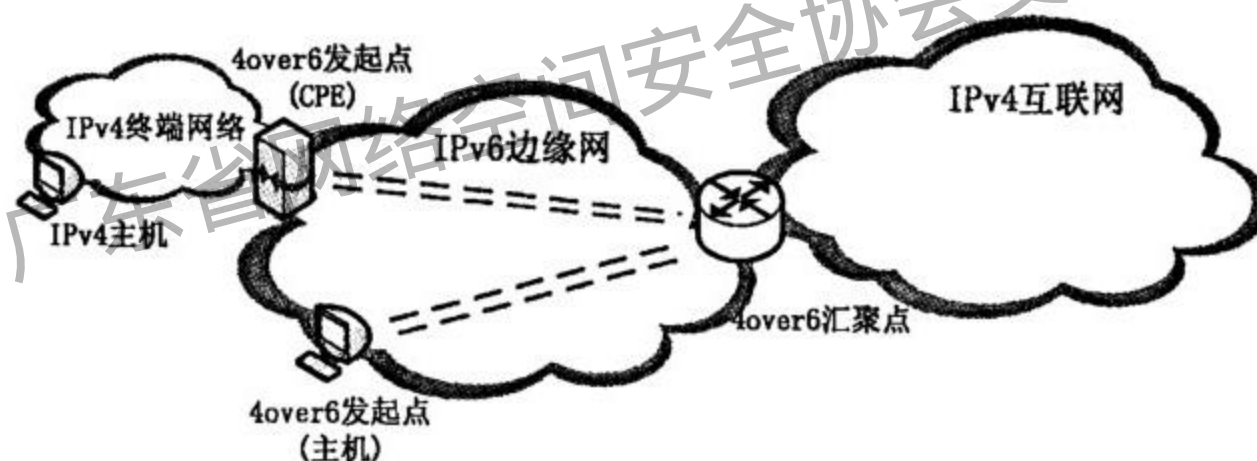


图1 边缘网络轻量级 4over6 场景

边缘网络轻量级4over6的场景如图1所示。IPv6网络中的用户以IPv6作为原生接入。这些用户可能是直连ISP IPv6网络的终端主机，也可能是通过CPE挂到ISP IPv6网络中的终端网络。虽然ISP网络本身不提供对IPv4的原生支持，但通过从用户（4over6发起点）汇聚到IPv4-IPv6边界（4over6汇聚点）的IPv4-over-IPv6隧道，仍能实现用户与IPv4 Internet的双向互访。

## 5 轻量级 4over6 过渡方案

本章分别从控制层面与数据层面给出轻量级4over6过渡方案的原理与技术细节。

### 5.1 控制层面

边缘网络轻量级4over6在控制层面上如图2所示，4over6发起点须申请ISP分配的公有地址以及端口范围；4over6汇聚点则须向发起点分配公有地址以及端口范围，并维护分配给4over6发起点的IPv4地址+端口范围（以下简称为共享IPv4地址）与发起点的IPv6地址的映射。本标准主要规定DHCP方式的实现过程，PCP方式的实现过程请参见附录B。

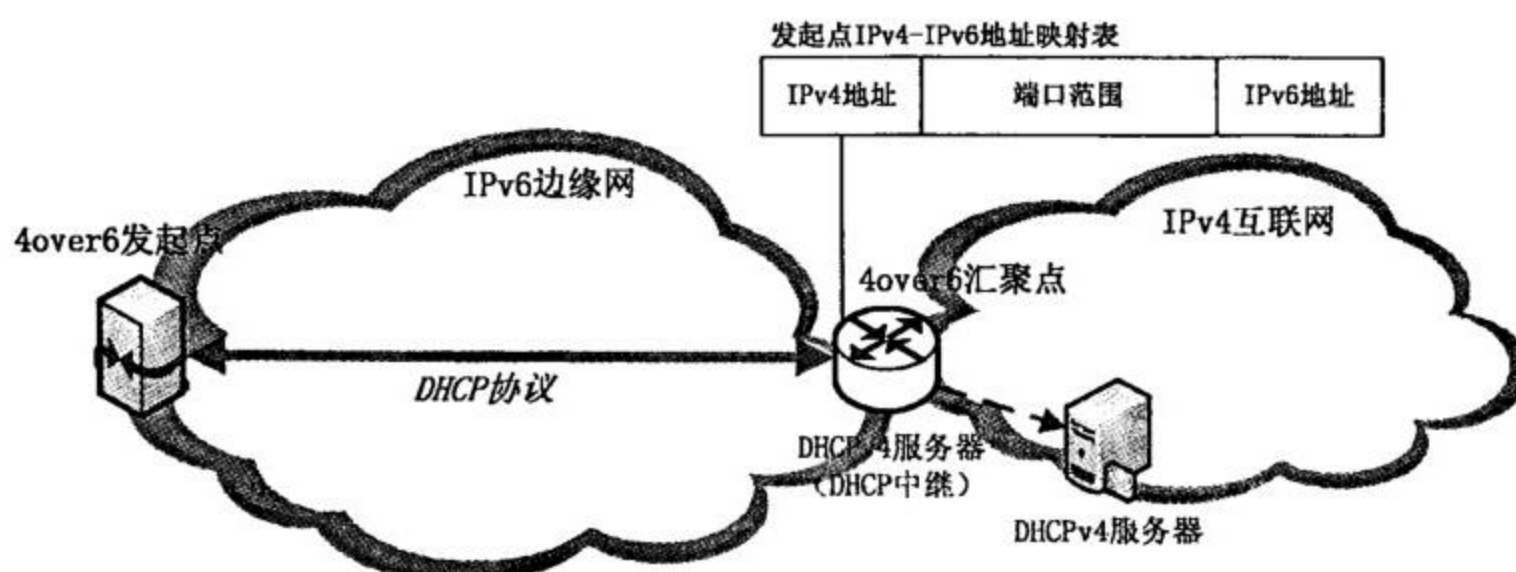


图2 边缘网络轻量级 4over6 控制层面

在DHCP方式下，发起点与聚集点间使用DHCPv4完成共享IPv4地址分配。须对DHCPv4协议进行报文扩展，使得协议能支持带端口范围的共享IPv4地址分配（注：该扩展可通过DHCP选项的方式实现，在IETF已经有深入讨论。协议流程无须更改）。

由于实际两者中间的网络为IPv6，因而该DHCPv4的过程须基于IPv6传输实现。4over6发起点将DHCPv4请求通过IPv6发往4over6汇聚点。4over6汇聚点作为DHCPv4服务器，接受并处理DHCPv4请求，最终给出DHCPv4回复时，也使用IPv6将DHCPv4回复发往4over6发起点。发起点从IPv6协议栈获取DHCPv4回复，从而得到了4over6汇聚点动态分配的共享地址。

汇聚点在完成共享地址分配，给出DHCPv4回复的同时，在其IPv4-IPv6地址映射表中，记录发起点的IPv4地址+端口范围和发起点的IPv6地址的映射关系。该映射将在DHCP续租（renew）时更新，在DHCP释放（release）或租约到期时删除。

如果地址分配的任务交由IPv4侧单独的DHCPv4服务器完成，则4over6汇聚点作为4over6发起点与DHCPv4服务器间的DHCPv4中继。此时汇聚点需在中继DHCP报文时进行DHCP解析，以维护IPv4地址+端口范围和IPv6地址的映射。

## 5.2 数据层面

在4over6发起点获得共享IPv4地址，4over6汇聚点记录发起点的IPv4-IPv6地址映射后，发起点与汇聚点之间就可以通过封装解封装进行双向隧道转发了。数据层面流程如图3所示。当发起点向IPv4 Internet发送一个IPv4报文时，以自身的IPv6地址作为封装源地址，以汇聚点的IPv6地址（汇聚点的IPv6地址通过DHCPv6选项等方式预先获得）作为封装目的地址进行IPv6封装，将封装形成的IPv6报文发往IPv6网络，最终到达汇聚点，汇聚点执行解封装并将得到的IPv4报文发往IPv4 Internet。

在另一方向上，当4over6汇聚点收到来自IPv4 Internet，去往4over6发起点的IPv4报文时，执行IPv6封装。封装源地址为汇聚点自身的IPv6地址；封装目的地址则是根据该报文的IPv4目的地址与目的端口，在IPv4-IPv6地址映射表中按IPv4地址与端口范围进行匹配得到。封装完成后4over6汇聚点将IPv6报文发往IPv6网络，该报文将到达4over6发起点。发起点执行解封装即可得到原始的IPv4报文。

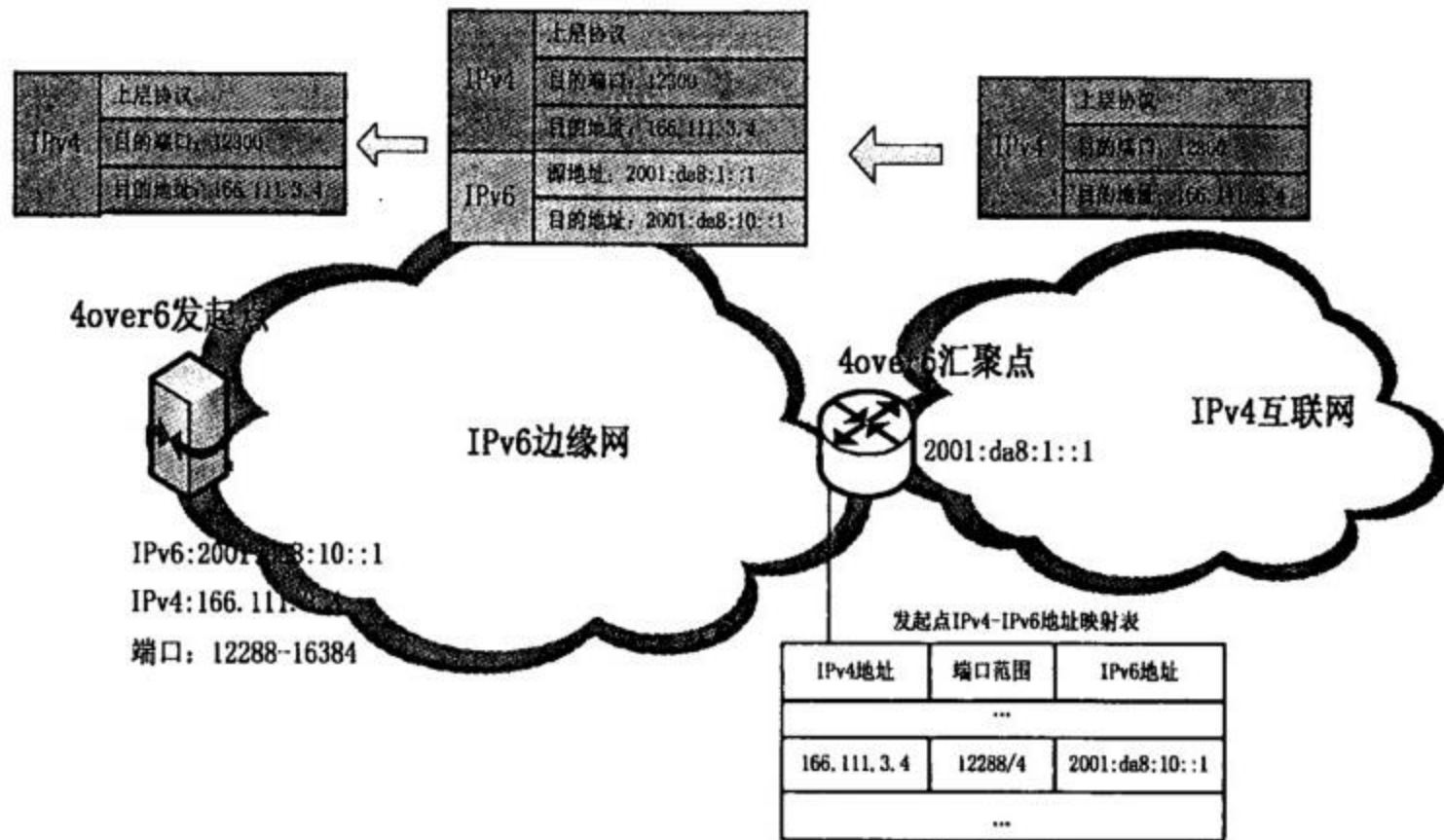


图3 边缘网络轻量级 4over6 数据层面

### 5.3 用户侧考虑

4over6发起点与汇聚点之间使用隧道实现IPv4数据包的透传，而在用户侧（发起点与发起点以下），由于发起点仅拿到共享IPv4地址，因而数据处理方式则有多种可能性。

当4over6发起点为CPE时，情况相对简单。CPE将获取的共享IPv4地址分配给隧道虚接口，CPE向下的终端网络只能使用私有IPv4地址。CPE上运行IPv4 NAT，NAT向下接终端网络，出口为隧道虚接口。该NAT与普通的IPv4的NAT的仅有区别在于，NAT使用的地址池并非整个IPv4地址（或地址段），而是一个IPv4地址的一部分端口。

当4over6发起点为直连IPv6的终端主机时，主机也将获取的公有IPv4地址分配给隧道虚接口。此时主机可使用的端口被限制在给定范围内，因而必须对主机协议栈进行一定修改。第一种方式是在应用程序建立socket，请求端口时，协议栈只提供给定范围内的端口，无须其它改动。第二种方式是在协议栈中建立一个仅仅实现端口翻译的NAT（不进行地址转换），在上层的任意本机端口IPv4包与实际发送/接收的限定源端口/接受目的端口范围的IPv4包之间进行转换；此时主机上的应用使用公有IPv4地址。第三种方式是将CPE情况下的NAT植入到主机协议栈中，此时公有IPv4地址对主机上层不可见（不显式作为虚接口地址），应用使用私有地址。使用第一种方式需要在协议栈较高位置进行修改，但可以保持主机端到端特性。第二种方式与第三种方式从本质上都是在主机内部使用了NAT，无法保持端到端特性。第二种方式保证了公有地址的可见性，而第三种方式则可以避免前两种方式下，使用同一地址的不同主机间通信时给协议栈带来的问题。

### 6 ICMP 过程

在IP地址端口有限制的情况下，ICMP的可用性是一个必须考虑的问题。为了使得从4over6发起点产生的ICMP会话正常工作，本方案中ICMP的id范围与各个发起点分配到的端口号段需要一致。每个发起点只能使用特定的ICMP id范围来发送ICMP请求。这样汇聚点可以根据ICMP数据包的id值对相应的ICMP响应报文进行正确地封装。汇聚点外侧IPv4网络发起的ICMP请求将不被支持。这点与NAT/CGN的处理保持一致。

## 7 分片和重组

在隧道端点处需要考虑分片和重组问题。如果下层链路MTU不能适应上层的封装，4over6汇聚点就必须进行分片和重组。分片需要在封装IPv6包之后进行，重组需要在解封装IPv6包头之前进行。

在隧道入口处的分片是轻量级的操作，但是在隧道出口处的重组则比较复杂。隧道出口检测到收到的数据包经过分片时，需要等待后续分片包到来，以便将这些分片重组为完整IPv6数据包，再进行解封装。这就需要隧道出口暂存并追踪分片的数据包。由于4over6汇聚点是很多隧道的终点，因而当许多设备同时通过汇聚点向它管理的4over6发起点发送大量的分片包时，重组的过程会明显影响汇聚点的性能。然而，这种情况只有在大量用户同时发送很大的IPv4数据包的时候才会发生。本标准规定的情况下，大部分的客户端会收到很大的IPv4数据包（如观看视频流），但不会作为源发送大量IPv4数据包，因此这种重组工作只是汇聚点主要工作的一小部分。

分片与重组过程与IETF RFC6333中 Dual-Stack Lite Broadband Deployments Following IPv4 Exhaustion部分的规定保持一致。

## 8 DNS 服务

4over6发起点从服务提供商处只获得了IPv6地址，它只能通过DHCPv6（或其他基于IPv6的方法）获得递归式DNS服务器的IPv6地址。4over6发起点不能轻易获得递归式服务器的IPv4地址。在这种情况下，本方案中将通过IPv6实现全部DNS功能。

4over6发起点可以将此DNS服务器的IPv6地址发送给下游的IPv6节点，但是不能发送给下游IPv4节点。此类情况可以按照IETF RFC5625的规定，在发起点上应该实现一个DNS代理。

DNS过程与IETF RFC6333中的规定保持一致。



## 附录 A

(资料性附录)

## 边缘网络轻量级 4over6 的意义与方案分析

## A.1 方案意义

在互联网逐步向IPv6过渡的背景下，通过4over6方式向IPv6用户提供IPv4接入是很有意义的。ISP在升级网络到IPv6后，短期内内容与应用提供商普遍存在一定滞后性，因而纯IPv6将暂时无法满足网络用户的需求。通过4over6的方式，基于底层IPv6向用户提供IPv4接入，使得IPv6网络用户仍能访问到IPv4 Internet，能有效解决这一矛盾：给内容与应用提供商一个缓冲时间逐步升级到支持IPv6，也消除了ISP因升级到IPv6反而损失用户的顾虑。在过渡进程中，IPv6边缘网络的4over6需求将会长期存在，直到IPv4-only的内容与应用逐渐消失。

## A.2 方案分析

考虑到IPv4地址的普遍紧缺，ISP在大规模向用户提供4over6服务时必须考虑地址复用，这可以通过传统的NAT方式进行每流映射来实现，也可以通过划分端口段的方式进行每用户级别的映射来实现。NAT方式通过在隧道集中点引入CGN，统一管理公有地址，用户以流为单位使用地址资源（每个流占用1个地址下的1个端口）。该方式虽然共享率高，但要求网络核心设备（CGN）维护每流状态，其可扩展性相对较差。划分端口段的方式则将每个公有地址的端口空间分成若干端口段，分发给终端用户，每个用户只占有公有地址的一部分。每用户共享方式的地址复用率相对CGN方式低，但可以有效地将网络核心设备的状态数从每流级别降低到每用户级别。同时该方式可以保持到用户的端到端特性。本方案从轻量级的角度出发，选择划分端口段的方式实现地址复用。

部署4over6时ISP需要考虑的另一问题是否采用预定义的无状态IPv4/IPv6前缀映射模式。对于ISP而言，将IPv4与IPv6地址规划的解耦合可大大减轻运营商地址规划的复杂度，因此本方案采用动态地址获取的方式，在网络中维护用户级的IPv4/IPv6地址映射表，从轻量级的角度出发，选择有状态4over6的方式。

附录C中分析了边缘网络轻量级4over6的技术优势与地址复用影响。

**附录 B**  
**(资料性附录)**  
**PCP 方式分配端口段**

由用户作为PCP客户端，与PCP服务器间交互，请求PCP服务器给出共享IPv4地址。此时用户作为PCP客户端，只须请求任意的共享IPv4地址，并不会对地址与端口的值做出指定。须对PCP协议进行报文扩展，使得协议能支持端口范围的分配（当前协议每次仅分配1个端口）。该扩展可通过PCP选项的方式实现，在IETF已经有初步讨论（见参考文献[4]）。协议流程无须更改。

客户端与服务器间的PCP交互过程使用IPv6通信。4over6发起点向PCP服务器发送PCP请求，希望获得任意的共享IPv4地址，PCP服务器收到请求，完成PCP协议处理后，给出PCP回复，其中携带有分配给客户端的地址与端口范围信息。发起点的PCP客户端在收到PCP回复后获得共享IPv4地址。

PCP服务器在向4over6发起点给出回复的同时，使用私有协议与4over6汇聚点通信，告知汇聚点发起点的IPv6地址、向其分配的共享IPv4地址信息以及生命周期，由4over6汇聚点建立相应地址映射。实际情况中，PCP服务器与4over6汇聚点也很可能为同一物理设备。

广东省网络空间安全协会受控资料

## 附录 C

### (资料性附录)

#### 边缘网络轻量级 4over6 的技术优势与地址复用影响

##### C.1 技术优势

轻量级4over6方案继承了边缘网4over6技术的优势，解决了IPv6边缘网络与IPv4 Internet互联的问题，基于隧道技术开销较小，通过下发公有地址，保证了到终端用户的端到端特性，支持双向通信。

轻量级4over6采用划分端口空间的地址复用方式，避免了网络核心设备维护每流状态，解决了CGN溯源困难的问题，使得一个汇聚点设备可以支持更多的用户；通过维护用户级的地址映射，避免IPv4与IPv6编址与路由的耦合，保持了IPv4相对中间IPv6网络的独立性与灵活性，降低了对IPv6网络的影响。本方案具有轻量级、可扩展性强、易于运营部署的优势，是综合各方面考虑的一个较可行的边缘网IPv6过渡方案。

轻量级4over6方案在基本的边缘网4over6方案基础上，增加了对地址复用的支持。而边缘网4over6与轻量级4over6方案本身是可以自然耦合的，结合使用这两种技术，可以完整地给出IPv6边缘网的隧道过渡解决方案。

##### C.2 地址复用影响

由于进行了地址复用，轻量级4over6会在用户侧带来一些改变。首先，每个用户能使用的端口数量较正常情况下降低很多，因此用户容易出现端口耗尽的失败模式。因此ISP在实际部署前，需要对用户的端口使用情况做好评估分析，选取合适的复用率。

其次，端口分段会导致用户无法使用希望的端口，特别是一些众所周知的服务默认端口（如http的80端口，ftp的21端口等），这会造成一定的问题。但常见服务一般支持使用默认端口外的其他端口通信。

以上两个问题是地址共享时，无论CGN方式或地址复用方式均会面临的问题。然而在IPv4地址不足的现实下，地址共享是ISP必然的选择，用户受到一定影响不可避免。此外，针对地址复用，还有两个细节值得注意。首先，不同的4over6发起点可能使用同一个IPv4公有地址。这样的发起点间通过IPv4互访时，将出现源地址与目的地址相同的情况。此时需要在发起点做适当处理，确保这种情况下报文仍能正确转发。第二，当4over6发起点为IPv6直连主机时，需要对主机协议栈进行一定改动。改动可按上一章介绍的三种方式实现。三种方式的效果不尽相同，对于不同的终端操作系统，可能实现的难度也不尽相同。

## 参 考 文 献

- [1]Y. Cui et al., "Lightweight 4over6: An Extension to DS-Lite Architecture", IETF draft, Feb. 2012
  - [2]Y. Cui et al., "Public IPv4 over IPv6 Access Network", IETF WG draft, Mar. 2012
  - [3]Y. Cui et al., "DHCPv4 over IPv6 Transport", IETF WG draft, Mar. 2012
  - [4]Q. Sun et al., "Using PCP To Coordinate Between the CGN and Home Gateway Via Port Allocation", IETF Softwire draft, Mar. 2012
- 

广东省网络空间安全协会受控资料

广东省网络空间安全协会受控资料

中华人民共和国  
通信行业标准

边缘网络轻量级 4over6 过渡技术要求

YD/T 2545-2013

\*

人民邮电出版社出版发行

北京市丰台区成寿寺路 11 号邮电出版大厦

邮政编码：100164

宝隆元（北京）印刷技术有限公司印刷

版权所有 不得翻印

\*

开本：880×1230 1/16

2014 年 7 月第 1 版

印张：1

2014 年 7 月北京第 1 次印刷

字数：23 千字

15115·243

定价：10 元

本书如有印装质量问题，请与本社联系 电话：(010)81055492