



IPv6 通信能力指标化分析方法及 在端到端运营级网络的应用

李阳春, 冯薇薇

(中国电信股份有限公司广州研究院, 广东 广州 510630)

摘要:针对新、老旧设备混合组建的端到端运营级网络, 产业界通常采用传统的定性方法描述其 IPv6 通信能力。通过定义 IPv6 通信事件、IPv6 通信能力指标, 提出了单节点、节点集、单路径、多路径以及端到端运营级网络的 IPv6 通信能力指标及其计算方法, 从而实现 IPv6 通信能力的指标化分析, 并评估了端到端运营级网络的 IPv6 通信能力。

关键词: IPv6; IPv6 通信事件; IPv6 通信能力指标; 量化分析方法

中图分类号: TN919

文献标识码: A

doi: 10.11959/j.issn.1000-0801.2016138

IPv6 communication capability index and its application in end-to-end carrier network

LI Yangchun, FENG Weiwei

Guangzhou Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Guangzhou 510630, China

Abstract: The traditional way was used to qualitatively describe the IPv6 communication capabilities for end-to-end carrier grade network with many old devices. By introducing concepts of IPv6 communication events, IPv6 communication capability index, the algorithms were presented to calculate the IPv6 communication capability index for single node, node set, single path, multi-path and end-to-end network. These algorithms were also used to analyze and evaluate the IPv6 communication capability for end-to-end carrier grade network.

Key words: IPv6, IPv6 communication event, IPv6 communication capability index, quantitative analysis method

1 引言

国际地址分配机构的 IPv4 地址资源^[1]已经分配完。从 2012 年起, 国内运营商、网络内容服务商 (internet content provider, ICP) 开始大规模部署私网双栈 NAT44^[2-4]、轻型双栈 DS-Lite^[5,6]等 IPv6^[7]过渡技术。同时, 现有网络部署了大量不支持 IPv6 的老旧 BRAS (broadband remote access server)、路由型 CPE (custom premise equipment) 和 ICP

(internet content provider) 应用服务器等节点设备。一些主机、服务器也运行了不支持 IPv6 的应用软件和操作系统, 将在较长时间内存在并阻碍 IPv6 技术的大规模应用。

在推广 IPv6 应用的过程中, ISP (internet service provider) 和 ICP 通常根据定性描述来评估网络设备/系统的 IPv6 支持能力, 并升级或替换现网设备/系统。这种方法只能反映设备能力, 无法准确反映端到端运营级网络的通信能力。同时, IPv6 报文从终端到服务器端, 是一个不断选



择下一跳的过程。本文把每次选择当作独立事件,选中支持 IPv6 的下一跳的概率与终端集、网络节点集或服务器集在现网中的 IPv6 占比一致,客观上为量化分析 IPv6 通信能力提供了数据基础。此外,国内外现有研究通常聚焦在 IPv6 及其过渡技术本身,但缺少针对运营商网络环境中的 IPv6 通信能力指标及量化分析方法。

类似于 ITU-T 标准 Y.1541^[8],时延、分组丢失、抖动等指标被用于描述网络质量等,本文定义了 IPv6 通信能力指标,并用于描述节点和网络的 IPv6 通信能力。

2 节点的 IPv6 通信能力量化分析方法

在本文中,支持 IPv6 指设备可以开启 IPv6 协议,运行 IPv6 功能。本文关注设备支持 IPv6 的能力,不关心是否已运行 IPv6 功能,也不考虑设备的故障对 IPv6 通信的影响。

2.1 概述

现网部署的大量设备,可以划分成终端集、网络设备集和服务器集,如图 1 所示。

图 1 中各设备集包括支持 IPv6 和不支持 IPv6 的设备。不支持 IPv6 的设备通常指现网运行的老旧设备,既不能运行 IPv6 功能,也无法转发 IPv6 报文。新上线的设备通常被认为支持 IPv6。

为便于分析,本节首先定义 IPv6 通信事件和 IPv6 通信能力指标等概念。

IPv6 通信事件指支持 IPv6 的终端发起 IPv6 通信,由支持 IPv6 的网络节点承载,与支持 IPv6 的服务器完成通信的过程。1 个 IPv6 通信事件代表终端与服务器之间完成了 1 次 IPv6 通信过程。在 IPv6 通信事件中,终端、网络节点、服务器必须同时支持 IPv6。

IPv6 通信能力指标指由终端、网络节点和服务器共同完成 IPv6 通信的成功概率 P ,分别用 P_{term} 、 P_{node} 、 P_{serv} 、 P_{net} 表示终端、网络节点、服务器和网络的 IPv6 通信能力指标,取值范围均为 $[0, 1]$ 。IPv6 通信能力指标取值越大,IPv6 通

信能力越强。

对于单节点、节点集和网络,IPv6 通信能力指标的意义并不一致。对于单节点,IPv6 通信能力指标指该设备是否支持 IPv6;对于节点集,IPv6 通信能力指标指支持 IPv6 的设备占比;对于承载网络或端到端通信,IPv6 通信能力指标则描述了 IPv6 通信事件发生的概率。

2.2 节点的 IPv6 通信能力分析方法

这里的节点指终端、网络设备和服务器,节点集指如图 1 所示的终端集、网络设备集和服务器集。

(1) 单节点的 IPv6 通信能力

单节点指单台终端、网络节点、服务器等设备,其 IPv6 通信能力是独立事件。终端的 IPv6 通信能力指终端支持 IPv6、发起 IPv6 访问并完成通信的能力,服务器的 IPv6 通信能力指服务器支持 IPv6、接收 IPv6 访问请求并提供 IPv6 服务的能力;网络节点的 IPv6 通信能力指网络节点接收、存储和转发 IPv6 报文的能力。单节点的终端、网络节点和服务器的 IPv6 通信能力指标可按式(1)计算:

$$p = \begin{cases} 1, & \text{支持 IPv6} \\ 0, & \text{不支持 IPv6} \end{cases} \quad (1)$$

当终端、网络节点或服务器支持 IPv6 时, $p=1$;否则, $p=0$ 。 p 分别表示终端的 IPv6 通信能力指标 P_{ter} 、网络节点的 IPv6 通信能力指标 P_{node} 或服务器的 IPv6 通信能力指标 P_{serv} 。

(2) 节点集的 IPv6 通信能力

节点集,或称节点集合,指图 1 的终端集、网络节点集和服务器集。现网中的各节点集包含支持 IPv6 的节点子集和不支持 IPv6 的节点子集。终端集、网络节点集和服务器集的 IPv6 通信能力指标定义如下:

$$p = \begin{cases} P_{\text{ratio}}, & \text{支持 IPv6 的子集} \\ 1 - P_{\text{ratio}}, & \text{不支持 IPv6 的子集} \end{cases} \quad (2)$$

式(2)表示,从设备集任意选择一个元素,属于支持 IPv6 子集的概率是 P_{ratio} ,属于不支持 IPv6 子集的概率是

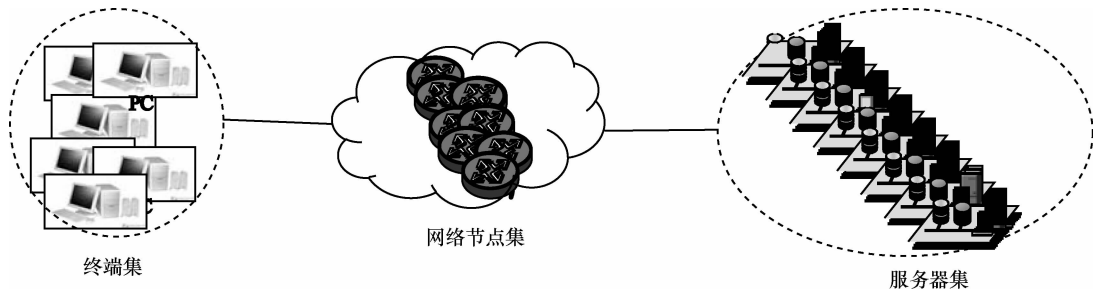


图 1 终端、网络节点和服务器的节点集合

$1-P_{\text{ratio}}$ 。式(2)用于描述终端集、网络节点集和服务器的 IPv6 通信能力,适用于单跳节点组成的网络节点集,但不适用于经过多跳节点组成的网络节点集。

3 网络的 IPv6 通信能力分析

基于图 1 和式(2),本节探讨多个节点组成的单路径网络和多路径网络的 IPv6 通信能力指标。

3.1 单路径 IPv6 通信能力

单路径指在节点之间的 IPv6 报文只有 1 条可供选择的转发路径,如图 2 所示。图 2 的节点 N1、N2、N3 可以是终端集、服务器集或者网络节点集中的节点,并可以用于端到端通信模型。现网大量宽带用户终端采用单路径方式接入互联网。



图 2 单路径网络

图 2 中的节点 N1、N2、N3 形成 1 条 IPv6 通信的单路径,分别用 P_{N1} 、 P_{N2} 、 P_{N3} 表示这些节点的 IPv6 通信能力指标。当节点 N1、N2、N3 同时支持 IPv6 时,IPv6 报文可以由图 2 的单路径承载,IPv6 通信能力指标按式(3)计算:

$$p = P_{N1} \times P_{N2} \times P_{N3} \quad (3)$$

结合式(1)、式(2),当节点 N1、N2、N3 之一不支持 IPv6 或者节点 N1、N2、N3 之一所属集合中没有支持 IPv6 的节点,则 P_{N1} 、 P_{N2} 或 P_{N3} 之一取值为 0,则由式(3)计算的节点 N1 到 N2 的单路径的 IPv6 通信能力指标为 0,即节点 N1 到 N2 的单路径不能承载 IPv6 报文。

3.2 多路径 IPv6 通信能力

多路径指节点之间可以通过多条路径传送 IPv6 报文。图 3 描述了一种典型的多个节点组成的通信网络。

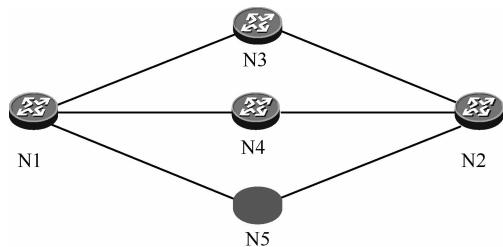


图 3 多路径网络

如图 3 所示的多路径网络,节点 N1、N2、N3、N4 支持 IPv6,组成 IPv6 逻辑网络;节点 N5 不支持 IPv6。节点 N3、N4、N5 并联,是 N1 到 N2 的等价路径。节点 N1 或 N2 选

中 N3、N4 或 N5 是独立事件,各自被选中的概率是 1/3,因此,从 N1 到 N2 的网络的 IPv6 通信能力指标为:

$$p = P_{N1} \times P_{N3N4N5} \times P_{N2} = 1 \times \frac{2}{3} \times 1 = \frac{2}{3} \quad (4)$$

即节点 N1 到 N2 的 IPv6 通信成功率为 2/3。其中, P_{N3N4N5} 表示支持 IPv6 的节点在该节点集中的占比。

城域网、IDC、骨干网等实际网络通常运行了路由协议,如 OSPFv3、ISISv6 等。以图 3 为例,节点 N1、N2 在选路时会避开不支持 IPv6 的节点 N5,只从 N3、N4 中选择支持 IPv6 的下一跳,各自被选中的概率是 1/2,但中间节点集{N3, N4}支持 IPv6 的设备占比是 100%,不会出现选中不支持 IPv6 的节点。因此,从 N1 到 N2 的 IPv6 通信能力指标为:

$$p = P_{N1} \times P_{N3N4} \times P_{N2} = 1 \times 100\% \times 1 = 1 \quad (5)$$

即从节点 N1 到 N2 的 IPv6 通信成功率为 100%。其中, P_{N3N4} 表示支持 IPv6 的节点在该节点集中的占比。

根据现网部署特点,城域网、IDC、骨干网等实际网络都运行了 IPv6 路由协议,由 IPv6 路由协议保证节点间的 IPv6 连通性,并考虑了路径冗余的需求。同时,边缘节点通常都支持 IPv6。因此,可以总结如下结论。

结论 1 对于运行路由协议的多路径网络环境,IPv6 通信报文由支持 IPv6 的节点承载,不会选中不支持 IPv6 的节点。当该类网络的边缘设备(如城域网 BRAS/MSE、CR 等)都支持 IPv6,则该类型 IPv6 逻辑网络的 IPv6 承载成功率为 100%;当该类网络的边缘设备只有部分支持 IPv6,则等于边缘设备集的 IPv6 通信能力指标。

根据结论 1,现网的城域网、骨干网、IDC 等承载网络的边缘设备通常都支持 IPv6,其 IPv6 通信能力指标为 100%。后续讨论可以把该类网络抽象为支持 IPv6 的节点,并且其 IPv6 通信能力指标为 100%。

4 端到端运营级网络的 IPv6 通信能力量化分析

4.1 端到端运营级网络模型

实际部署的端到端运营级网络模型通常由主机、家庭网关、BRAS/MSE、承载网络和 ICP 应用服务器等设备共同组成,相关设备分成主机集、家庭网关集、BRAS/MSE 集、ISP 网络、ICP 应用服务器集,如图 4 所示。

在图 4 中,主机负责发起 IPv6 通信。根据是否运行 3 层功能,家庭网关被分成路由型 CPE 和桥接型 CPE。其中,桥接型 CPE 透传 IPv6 报文,由主机发起 PPPoE/IPoE

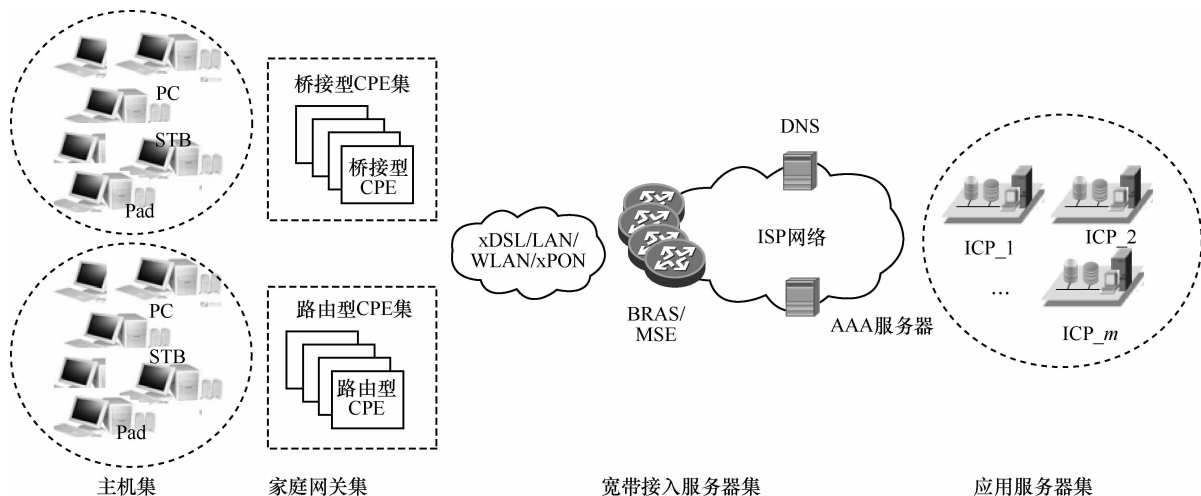


图4 端到端运营级网络模型

接入;路由型 CPE 发起 PPPoE/IPoE 接入,运行 IPv6 报文转发等功能。宽带接入服务器(BRAS/MSE)终结 PPP 连接,提供认证、地址分配和用户管理、报文承载等服务。ISP 网络承载业务流量,包括城域网、骨干网(如 ChinaNet、China169/CN2 等)。应用服务器应响应用户主机的应用访问请求,提供应用服务。

主机、CPE、BRAS/MSE、ICP 应用服务器等设备集既包含支持 IPv6 的设备,又包含不支持 IPv6 的设备,其 IPv6 通信能力指标符合式(2)。单次 IPv6 通信事件由主机集的任意节点发起,并选择网络节点和服务器节点完成通信。当选择不支持 IPv6 的设备,本次 IPv6 通信事件不能发生。

4.2 端到端 IPv6 通信能力量化分析方法

根据第 3.2 节的结论 1,图 4 的 ISP 网络运行了 ISISv6 或 OSPFv3 等 IPv6 路由协议,除 BRAS/MSE 之外的边缘设备通常都支持 IPv6,因此,ISP 网络的 IPv6 通信能力指标为 1 或 100%。在图 4 的端到端模型中,ISP 网络可以抽象成一个支持 IPv6 的节点,与主机、CPE、BRAS/MSE、ICP 应用服务器组成类似第 3.1 节的单路径网络。因此,图 4 的通信模型可以采用类似式(3)的方法计算端到端 IPv6 通信能力指标:

$$p_{\text{ipv6_suc}} = p_u \times [(1-p_c) + p_c \times p_e] \times p_b \times 100\% \times p_i \\ = p_u \times [1 - p_c \times (1 - p_e)] \times p_b \times p_i \quad (6)$$

其中, p_u 、 p_b 、 p_i 分别表示主机、BRAS/MSE、ICP 应用服务器的 IPv6 通信能力指标, p_c 、 p_e 分别表示路由型 CPE 的占比及其中支持 IPv6 的路由型 CPE 的占比。各参数的取值范围为[0, 1]。式(5)按照 100%计算图 4 中的 ISP 网络的 IPv6 通信能力指标。

式(6)中的 $(1-p_c)$ 代表桥接型 CPE 的占比或其 IPv6 通信能力指标; $p_c \times p_e$ 代表支持 IPv6 的路由型 CPE 在全部家庭网关中的占比; $(1-p_c) + p_c \times p_e$ 则代表包括桥接型 CPE 和路由型 CPE 在内的全部 CPE 的 IPv6 通信能力指标。其中,桥接型 CPE 透传 IPv6 报文,按照支持 IPv6 计算。

对于同时部署桥接型 CPE 和路由型 CPE 的运营级网络,根据式(6)和 p_c 的不同取值,端到端模型的 IPv6 通信能力指标按照式(7)计算:

$$p_{\text{ipv6_suc}} = \begin{cases} p_u \times [1 - p_c \times (1 - p_e)] \times p_b \times p_i, & 0 < p_c < 1 \\ p_u \times p_c \times p_b \times p_i, & p_c = 1 \\ p_u \times p_b \times p_i, & p_c = 0 \end{cases} \quad (7)$$

其中,当 $p_c = 0$ 时,现网只部署桥接型 CPE; $p_c = 1$ 时,现网只部署路由型 CPE。

对于同时部署桥接型 CPE 和路由型 CPE 的运营级网络,根据式(6)和 p_e 的不同取值,端到端运营级网络的 IPv6 通信能力指标的计算方法可以简化如下:

$$p_{\text{ipv6_suc}} = \begin{cases} p_u \times [1 - p_c \times (1 - p_e)] \times p_b \times p_i, & 0 < p_e < 1 \\ p_u \times p_c \times p_b \times p_i, & p_e = 0 \\ p_u \times p_b \times p_i, & p_e = 1 \end{cases} \quad (8)$$

其中, $p_e = 0$ 时表示路由型 CPE 都不支持 IPv6,只有桥接型 CPE 接入的用户主机可以实现 IPv6 接入; $p_e = 1$ 时表示路由型 CPE 全部支持 IPv6,所有 CPE(包括桥接型 CPE 和路由型 CPE)都支持 IPv6,IPv6 通信能力指标与 CPE 的 IPv6 通信能力指标值无关,只取决于用户主机、BRAS/MSE 和 ICP 应用服务器的 IPv6 通信能力指标。

根据式(6)~式(8),端到端运营级网络的 IPv6 通信能力指标计算方法具有如下特征:

- IPv6 通信能力指标 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 与主机、BRAS/MSE 及 ICP 应用服务器的 IPv6 通信能力指标成正比,通过提升 p_u 、 p_b 或 p_i 的值,可以提升指标 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 。但当 p_u 、 p_b 或 p_i 之一取 0 时, $p_{\text{ipv6_suc}}=0$, 即主机集、BRAS/MSE 集或 ICP 应用服务器集之一不支持 IPv6, 则无法实现 IPv6 通信;
- 当 p_u 、 p_b 或 p_i 取 1 时, 现网主机集、BRAS/MSE 集或者 ICP 服务器集支持 IPv6, IPv6 的通信能力指标分别取 $[1-p_{\text{cr}} \times (1-p_c)] \times p_b \times p_i$ 、 $p_u \times [1-p_{\text{cr}} \times (1-p_c)] \times p_i$ 和 $p_u \times [1-p_{\text{cr}} \times (1-p_c)] \times p_b$ 。

家庭网关 CPE 对 IPv6 通信能力指标 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 的影响与 p_u 、 p_b 或 p_i 不一致: $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_c 单调增; $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{cr} 单调减。当 $0 < p_{\text{cr}} < 1$ 时, 即网络中同时存在支持 IPv6 和不支持 IPv6 的路由型 CPE, $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{cr} 的增大逐步减小。因此, 逐步提高路由型 CPE 的占比, 并不能提升端到端网络模型的 IPv6 的通信能力, 需要同步增大支持 IPv6 的路由型 CPE, 才可能提升 IPv6 通信能力指标 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 。

4.3 现网端到端运营级网络的 IPv6 通信能力的量化分析

根据现有的一些调查数据^[9], 国内 IPv6 的使用率仅有 0.07%。随着 IPv6 的逐步推广, 主机、家庭网关、BRAS/MSE、ICP 应用服务器的 IPv6 支持率逐步提高, 会逐步提升 IPv6 使用率。

根据式(6), $p_{\text{ipv6_suc}}$ 与 p_u 、 p_b 和 p_i 成正比, 这里用 p_{uli} 代表 $p_u \times p_b \times p_i$, 则式(6)变成:

$$p_{\text{ipv6_suc}} = p_{\text{uli}} \times [1 - p_{\text{cr}} \times (1 - p_c)] \tag{9}$$

针对图 4 的网络模型, 本节分析端到端 IPv6 通信能力的 3 种情况: p_{cr} 取固定值(如 50%), 即网络中的路由型 CPE 占比不变, 分析 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{uli} 、 p_c 的变化趋势; p_c 取固定值(如 50%), 即网络中支持 IPv6 的路由型 CPE 占比不变, 分析 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{uli} 、 p_{cr} 的变化趋势; p_{uli} 取固定值(如 50%), 分析 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{cr} 、 p_c 的变化趋势, 即路由型 CPE 的变化对

端到端 IPv6 通信能力的影响。

当 $p_{\text{cr}}=50\%$ 时, 根据式(9), $p_{\text{ipv6_suc}} = p_{\text{uli}} \times (0.5 + 0.5p_c)$, 端到端 IPv6 通信能力指标的计算结果见表 1, $p_{\text{ipv6_suc}}$ 的变化趋势如图 5 所示。

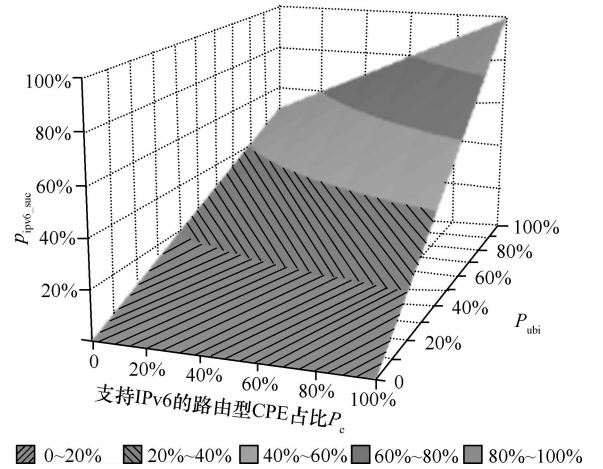


图 5 $p_{\text{cr}}=50\%$ 时的 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 变化趋势

其中, p_{uli} 按照步长 10% 从 0 增加到 100%, p_c 按照步长 20% 从 0 增加到 100%。根据表 1 和图 5, $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{uli} 、 p_c 单调增加。

当 $p_c=50\%$ 时, 根据式(9), $p_{\text{ipv6_suc}} = p_{\text{uli}} \times (0.5 + 0.5p_{\text{cr}})$, 端到端 IPv6 通信能力指标的计算结果见表 2, 变化趋势如图 6 所示。

其中, p_{uli} 按照步长 10% 从 0 增加到 100%, p_{cr} 按照步长 20% 从 0 增加到 100%。根据表 2 和图 6, $p_{\text{ipv6_suc}}$ 随 p_{uli} 单调增加, 但随 p_{cr} 单调减少。因此, 仅仅提升路由型家庭网关的占比, 而支持 IPv6 的路由型家庭网关的占比不变, 端到端 IPv6 通信能力指标 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 会下降。

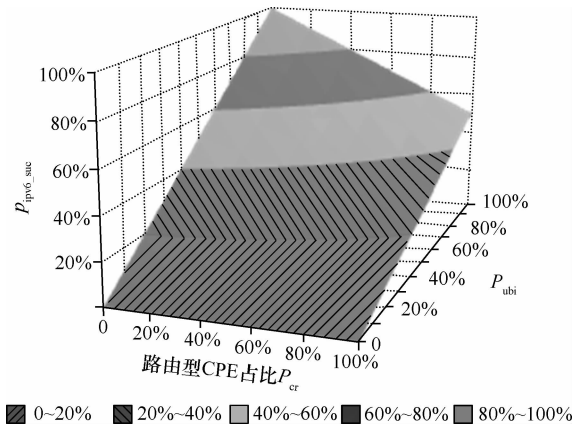
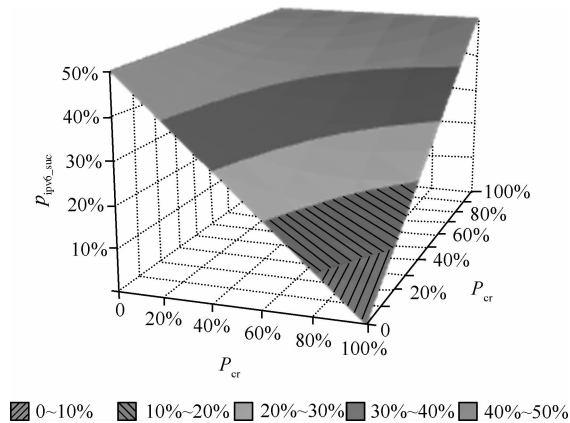
当 $p_{\text{uli}}=50\%$ 时, 根据式(9), $p_{\text{ipv6_suc}} = 0.5 \times [1 - p_{\text{cr}} \times (1 - p_c)]$, 端到端 IPv6 通信能力指标的计算结果见表 3, 变化趋势如图 7 所示。

表 1 $p_{\text{cr}}=50\%$ 时的 $p_{\text{ipv6_suc}}$ 计算结果

P_c	P_{uli}										
	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0	0	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%
20%	0	6%	12%	18%	24%	30%	36%	42%	48%	54%	60%
40%	0	7%	14%	21%	28%	35%	42%	49%	56%	63%	70%
60%	0	8%	16%	24%	32%	40%	48%	56%	64%	72%	80%
80%	0	9%	18%	27%	36%	45%	54%	63%	72%	81%	90%
100%	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%

表 2 $p_c=50\%$ 时的 $p_{\text{IPv6_suc}}$ 计算结果

P_{cr}	P_{ubi}										
	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
20%	0	9%	18%	27%	36%	45%	54%	63%	72%	81%	90%
40%	0	8%	16%	24%	32%	40%	48%	56%	64%	72%	80%
60%	0	7%	14%	21%	28%	35%	42%	49%	56%	63%	70%
80%	0	6%	12%	18%	24%	30%	36%	42%	48%	54%	60%
100%	0	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%

图 6 $p_c=50\%$ 时的 $p_{\text{IPv6_suc}}$ 变化趋势图 7 $p_{ubi}=50\%$ 时的 $p_{\text{IPv6_suc}}$ 变化趋势

其中, p_c 按照步长 10% 从 0 增加到 100%, p_{cr} 按照步长 20% 从 0 增加到 100%。根据表 3 和图 7, $p_{\text{IPv6_suc}}$ 随 p_c 单调增加, 但随 p_{cr} 单调减少。在提升路由型家庭网关占比的同时, 应同时提升支持 IPv6 的路由型家庭网关的占比, 才能提升端到端 IPv6 通信能力。

5 结束语

类似于时延、分组丢失、抖动等网络质量指标, 本文引入 IPv6 通信能力指标和 IPv6 通信事件等概念, 分别定义了节点/节点集、单路径/多路径的 IPv6 通信能力指标, 并提出了相关指标的计算方法。本文提出的 IPv6 通信能力指标, 可以定量描述节点/节点集、单路径/多路径以及端到端运营级网络的 IPv6 通信能力, 为产业界定量分析 IPv6 通信能力提供技术依据。通常来讲, IPv6 通信能力指标越大, 网络的 IPv6 通信能力越强。与此同时, 本文进一步定义了端到端运营级网络的 IPv6 通信能力指标, 并推导出其计算方法, 简要分析了端到端运营级网络的 IPv6 通信能力与各设备集的 IPv6 通信能力指标之间的关系及其变化趋势。

基于前面的分析, 多路径网络, 如城域网、ChinaNet/CN2/China169 等骨干网、IDC 等, 通常运行了 ISISv6、OSPFv3 等 IPv6 路由协议, 从逻辑上排除不支持 IPv6 的网络节点。因此, 本文的 IPv6 通信能力指标可忽略多路径网络的细节, 并把多路径网络抽象成一个支持 IPv6 的节点,

表 3 $p_{ubi}=50\%$ 时的 $p_{\text{IPv6_suc}}$ 计算结果

P_{cr}	P_c										
	0	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%	80%	90%	100%
0	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
20%	40%	41%	42%	43%	44%	45%	46%	47%	48%	49%	50%
40%	30%	32%	34%	36%	38%	40%	42%	44%	46%	48%	50%
60%	20%	23%	26%	29%	32%	35%	38%	41%	44%	47%	50%
80%	10%	14%	18%	22%	26%	30%	34%	38%	42%	46%	50%
100%	0	5%	10%	15%	20%	25%	30%	35%	40%	45%	50%

如 ISP 网络,其 IPv6 通信能力指标取值为 1。因此,现网的主机、家庭网关、BRAS/MSE、ISP 网络、ICP 服务器从逻辑上构成了 1 条单路径网络,并按照单路径的分析方法完成了端到端运营级网络的 IPv6 通信能力的分析。从分析结果看,提升主机、BRAS/MSE、ICP 服务器的 IPv6 通信能力指标和支持 IPv6 的路由型 CPE 的占比可以提升端到端 IPv6 通信能力指标,但单纯提升路由型 CPE 的占比,反而可能降低端到端 IPv6 通信能力指标。

需要注意的是,本文的定义和分析方法忽略了大量细节,如节点的部署点、网络拓扑结构、运行的功能、终端/服务器操作系统和应用软件的差异性,也未考虑 NAT444、DS-Lite、A+P 等过渡技术特征、隧道等因素的影响,是一种宏观的、整体的、简化的描述和分析方法,可以用于分析城域网、骨干网、宽带接入等各种网络场景中的 IPv6 通信能力。后续将通过引入网络拓扑结构、部署点、过渡技术特征等信息,逐步优化本文的分析方法,并争取得到更精细、准确的分析结果,支持产业界推广 IPv6。

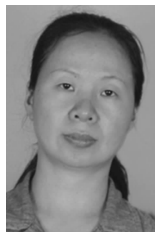
参考文献:

- [1] HUSTON G. IPv4 address report [R/OL]. [2011-02-03]. <http://www.potaroo.net/tools/ipv4/index.html>.
- [2] 运营级 NAT44 设备技术要求: CCSA YD/T 2544-2013[S]. 2013.
The technical specifications for carrier grade NAT(NAT44): CCSA YD/T 2544-2013[S]. 2013.
- [3] 运营级 NAT444 技术要求: CCSA YD/T 2811-2015[S]. 2015.
Technical requirements for NAT444: CCSA YD/T 2811-2015[S]. 2015.
- [4] Assessing the impact of carrier-grade NAT on network applications: RFC 7021[S]. 2013.
- [5] DS-Lite 技术要求: CCSA YD/T2371-2011[S]. 2011.
Technical requirements for DS-Lite: CCSA YD/T2371-2011[S]. 2011.
- [6] RFC6333. Dual-stack lite broadband deployments following IPv4 exhaustion[S]. 2011.
- [7] Internet protocol version 6 (IPv6) specification: RFC2640[S]. 1998.
- [8] Network performance objectives for IP-based services: ITU-T Y. 1541[S]. 2011.
- [9] 智博睿. “十三五”中国 IPv6 行业应用现状及投资可行性研究报告 [R/OL]. [2015-09-01]. http://wenku.baidu.com/link?url=rHnsMru2J4IXSkguiL1_Qc8laPKcemZimeLMHQB8N6XYIY_ceu3_QFLxX8OvJ8zP7sw5IJlhIjcBg4lCGSnNjHp-UOS4ennk_ZO-AlkYbZIK.
ZHI R B. The feasibility study report of 13th five-yearIPv6 industry application and investment in China [R/OL]. [2015-09-01]. http://wenku.baidu.com/link?url=rHnsMru2J4IXSkguiL1_Qc8laPKcemZimeLMHQB8N6XYIY_ceu3_QFLxX8OvJ8zP7sw5IJlhIjcBg4lCGSnNjHp-UOS4ennk_ZO-AlkYbZIK.

[作者简介]



李阳春(1970-),男,博士,中国电信股份有限公司广州研究院高级工程师,主要从事互联网领域的技术研究工作,重点研究下一代互联网相关技术。



冯薇薇(1974-),女,中国电信股份有限公司广州研究院工程师,主要从事互联网领域的技术研究工作,重点研究移动互联网相关技术。