



面向 FTTx 的 VDSL2 矢量化技术及其应用模式研究^{*}

李浩琳¹, 蒋 铭¹, 沈成彬¹, 王 波²

(1. 中国电信股份有限公司上海研究院 上海 200122; 2. 中国电信集团公司 北京 100032)

摘 要: 主要介绍了 VDSL2 矢量化、G.inp 等铜缆接入技术的最新进展, 结合实验室和现网测试结果, 系统评估了 VDSL2 矢量化和 G.inp 的功能、性能和互通性, 分析了技术发展趋势。结合电信运营商线路、设备、维护的实际情况, 探讨了 FTTx+VDSL2 矢量化的部署模式及设备要求。

关键词: VDSL2; 串音干扰; 矢量化; 脉冲噪声防护; 重传

doi: 10.3969/j.issn.1000-0801.2014.08.024

Study on FTTx-Oriented VDSL2 Vectoring Technology and Application

Li Haolin¹, Jiang Ming¹, Shen Chengbin¹, Wang Bo²

(1. Shanghai Research Institute of China Telecom Co., Ltd., Shanghai 200122, China;

2. China Telecom Corporation, Beijing 100032, China)

Abstract: VDSL2 vectoring and G.inp technologies and their progress were investigated. Based on the results of laboratory and field testing, VDSL2 vectoring and G.inp's functionalities, performance and interoperability were evaluated in detail. Combined with the status of telecom operators' networks construction and maintenance, VDSL2 vectoring and G.inp's deployment mode and equipment requirements in FTTx+VDSL2 scenario were proposed. Finally, development trend of VDSL2 vectoring and G.inp technologies and their application were given.

Key words: VDSL2, crosstalk, vectoring, impulse noise protection, retransmission

1 概述

随着高速上网、多路高清视频、云存储、互动游戏、视频监控等高带宽用户业务需求的开展, 宽带接入网络面临新一轮的提速挑战, 承载能力需要由原先的 2~4 Mbit/s 逐步向 20 Mbit/s、50 Mbit/s 甚至 100 Mbit/s 以上的方向发展, 现有基于铜缆的传统 ADSL2+ 技术受限于频带和接入距离成为提速的瓶颈。因此, 近年来各大电信运营商纷纷实施光进铜退战略, 大力推进 FTTx 接入网建设, 采用 EPON、GPON 和 10 Gbit/s EPON 技术将 DSL 局端设备逐

步下移靠近用户, 使得铜缆接入距离缩短 (一般在 500~1 500 m, 部分甚至小于 300 m), 从而提升接入带宽。尤其是采用 PON FTTH(光纤到户)的模式, 可以满足今后长期的带宽需求, 是宽带发展的方向, 但也存在网络相对建设成本较高、入户改造复杂、开发商和物业对于光纤化改造的准入门槛高等实际问题, 还不能全面普及。

VDSL2 技术基于普通电话铜缆, 具备高带宽且向下兼容 ADSL2+ 的特性, 结合 FTTx 方式部署时相对成本较低, 根据接入距离的不同, 理论上提供 20~100 Mbit/s 的对称或非对称速率, 可以充分利用现网已有的铜缆、机房空间

^{*} 国家高技术研究发展计划(“863”计划)基金资助项目(No.2011AA01A104)

资源以及运维模式,是一种较好的宽带提速方式。但 VDSL2 系统中固有的串音干扰(以下简称串扰)问题会降低开通速率和稳定性。串扰指信号线对间由于互感和互容耦合引起的噪声干扰,是影响 DSL 线路传输速率和稳定性的重要因素,严重时可能引起信号无法正确接收,造成数据分组的丢失。VDSL2 系统中上下行数据采用频分传输,其串扰主要表现为远端串扰(FEXT),特别是同一基本单位线捆(如 25 对线)内干扰影响最大。大量实验室及现网部署的电话铜缆线对的实测表明,FEXT 会大大降低 VDSL2 的噪声余量,短距离(如 300 m)下同—基本单位线捆内的 24 路 VDSL2 自串扰可使上下行最大开通速率降低 40%~50%,与单线对无串扰场景时的能力相去甚远。因此,如何解决串扰问题一直是国内外的研究热点。

2 VDSL2 矢量化和 G.inp 技术简介

矢量化(vectoring)技术的出现对于消除 VDSL2 串扰、提升实用性能提供了良好的解决方案。此前,传统的方式一般基于静态频谱或简单的动态频谱管理,如通过降低发送功率相对减少线对间干扰或预先增大目标噪声容限以提高稳定性,均以牺牲性能为代价,实质上难以完全解决自串扰的影响。而 vectoring 系统则基于动态频谱管理,将局端设备与用户终端设备配合组成矢量化组,通过在下行方向对信号进行联合处理(协同发送)或在上行方向对信号进行联合处理(协同接收),对远端自串扰(即矢量化组内线路产生的 FEXT)进行消除,均衡提升各线对的传输性能。在下行方向,局端侧对需要处理的端口进行分组,矢量化控制实体(VCE)在训练过程中对每个矢量化子载波的信道矩阵进行学习和管理,通过局端侧设备和所有终端的交互,获取线路中的串扰矢量信息(包括幅度和相位),然后进行大规模复杂的实时矩阵计算,获得“反相”串扰并将其预编码后迭加到 VDSL2 的原有发送信号中,用以补偿矢量化组内各线路所受到的 FEXT。而在终端数据接收侧,“反相”串扰和线路中的实际串扰互相抵消,从而降低了对线路传输的影响,提升了接入速率。同理,在上行方向,局端通过 FEXT 解码器将 FEXT 信息提取出来,再从接收信号中予以去除,即可消除 FEXT 的影响。vectoring 技术的关键在于多终端信道矩阵串扰截取误差的协同获取处理与计算。vectoring 对于双绞线铜缆串扰的改善也使其成为下一代高性能铜缆接入技术(如 G.fast)的关键基础。

vectoring 标准化方面,ITU 于 2010 年 4 月发布标准

G.993.5-2010(G.vector),并对 VDSL2 标准 G.993.2 以及相关的 DSL 握手、管理等规范进行了修订和增补,为推动 vectoring 技术商用奠定了基础。此外,BBF WT-249 工作组正在推动矢量化技术的测试及互通。随着 VDSL2 设备在全球范围内的广泛部署,主流芯片商纷纷推出支持 vectoring 的芯片,vectoring 组处理能力和芯片端口密度不断升级和优化。设备厂商方面,从 2010 年起陆续推出了不同容量的支持 VDSL2 vectoring 的设备样机,经过几年的海外实践测试和小规模试验,目前已逐步开始走向商用。数十家国外运营商已开始对 vectoring 技术进行技术试验,尤其是 VDSL2 覆盖率较高的欧洲地区,vectoring 技术正成为部分运营商宽带接入网提速改造的热点。

此外,VDSL2 技术基于铜缆线路,实际应用中覆盖最高达 17 MHz 或 30 MHz 的频带,相比原有的 ADSL2+更容易受到外部各种噪声的干扰,尤其是幅值较高的随机间隔瞬间脉冲或连续的脉冲噪声。普通 VDSL2 线路由于大量串扰噪声的存在降低了噪声容限,信道承载比特数相对减少,大部分较低幅值的脉冲噪声相当于淹没在串扰噪声中影响不明显;而启用 vectoring 后接收端由于抵消了这部分串扰噪声,相当于还原了一个较为干净的承载环境,信道可以承载更高的比特数,开通速率随之提高,此时未能抵消的脉冲噪声干扰会更为明显地体现出来,可能导致 VDSL2 线路误码率增大,严重时会引起掉线。因此,vectoring 系统应用需要引入更为有效的噪声抵抗纠错技术。传统交织方式的脉冲保护技术——脉冲噪声防护(impulse noise protection, INP)通过交织、解交织处理分散连续脉冲干扰,再结合前向纠错技术消除误码,但会带来额外的较为固定的时延和冗余开销,当需要配置抵御较长时间的连续突发脉冲噪声时,最高可开通的速率将受到严重影响。而新型的重传技术则提供了一种增强的脉冲保护机制,其重传方式作用在物理层,可以在设定时延范围内通过局端和终端间的快速重传机制纠正因干扰产生的数据错误,避免上层重传所带来的时延增大,效率相对更高。同时,仅在发生错误时才产生重传,正常数据转发时延极短,冗余数据开销占用很小。因此,重传方式对于抵御非周期性的连续突发噪声来说更为适合(相同时延下保护连续脉冲的能力远高于交织方式),非常有利于低时延的高速业务需求。目前重传型脉冲噪声保护技术已比较成熟,ITU 对此已正式发布 G.998.4(G.inp)标准,许多设备已经开始支持。

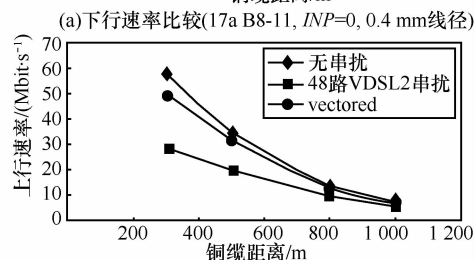
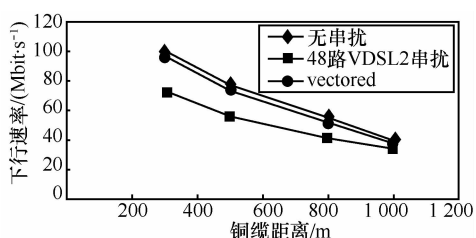


3 vectoring 技术实际效果测试与验证

为了评估 vectoring 技术对于传输性能的提升效果及影响,笔者分别在实验室环境和现网大对数铜缆实际环境进行了验证测试。其中,实验室测试环境选取不同距离的 0.4 mm 线径 50 对双绞线铜缆(2 个基本单位),同时开通其中的 48 路,仿真高密度部署场景,VDSL2 频谱模板采用常用的 17a B8-11(998ADE17-M2x-A)。测试结果表明以下几点。

(1) vectoring 系统传输性能

在 VDSL2 局端与用户端设备全部支持并启用 vectoring 时,性能相比普通 VDSL2 有显著的提升。图 1 是开启 vectoring 串扰消除分别与全串扰、单线对时的平均上下行速率比较。不启用脉冲噪声防护($INP=0$)时,300 m 距离下, vectoring 设备可以达到 50 Mbit/s/100 Mbit/s 的上下行速率,1 km 范围内的速率均接近单线对场景,尤其是 300~800 m 范围。



(b) 上行速率比较(17a B8-11, $INP=0$, 0.4 mm 线径)

图 1 不同距离下串扰场景性能对比

图 2 显示了 500 m 下 vectoring 对于多路 VDSL2 串扰的性能提升,上/下行速率平均分别提升 42%/25%,最大提升 61%/46%,可达到单线对无串扰性能的 92%/96%(启用交织方式的脉冲噪声防护, $INP=2$ symbol)。同时,各线对速率均衡提升,较少出现普通 VDSL2 应用时部分线对因串扰大而速率极低的情况。

(2) vectoring 系统兼容性问题

vectoring 技术重点在于通过局端和终端设备的配合解决 VDSL2 线路自串扰的问题,而外部串扰噪声则对于

vectoring 系统速率的提升和稳定性有明显影响。一方面,如果 vectoring 组中存在不支持矢量化的传统 VDSL2 终端,由于初始化建链的过程不同,传统 VDSL2 终端无法反馈串扰截取误差,因而 vectoring 系统无法对这部分串扰进行抵消,降低了提升效果。另一方面,如果同捆线缆中存在两个以上非关联的 vectoring 组(非同组)VDSL2 终端设备的混用场景,则由于无法保持同步抵消,相互之间的影响也会导致速率提升效果和稳定性的下降。图 3 显示了同组/非同组混用 vectoring 的性能对比,相比正常同组情况下的上下行平均速率分别提升 40%/26%,非同组时的提升仅为 9%/6%,改善非常有限。因此, vectoring 系统的兼容性问题在实际部署应用中需要重点考虑。

(3) 设备功能及互通性

目前主流厂商设备的 vectoring 功能支持情况良好。其中,局端设备可以支持 vectoring/VDSL2 兼容,自动识别终端类型,支持不同终端 vectoring 模式(G.993.5)和 VDSL2 模式(G.993.2)的同时激活,对于普通 VDSL2 终端也可以通过限制使用频段等方式降低对其他 vectoring 终端的影响。vectoring 组中部分端口的无序加入或离开不影响其他正常工作端口的建链稳定和性能。G.inp 支持方面,主流厂商设备可以满足上下行同时启用,部分设备仅支持下行方向或暂不支持。另外,由于 vectoring 系统需要协同处理 vectoring 组内所有端口的同步和串扰抵消,其激活模式相比普通 VDSL2 增加了特定的 vectoring 训练和编码系数计算等处理流程,因此激活时间也长于普通 VDSL2,对于设备处理能力和算法优化提出了较高的要求,存在优化的空间。

互通性方面,采用同厂商 VDSL2 vectoring 芯片的异厂商设备互通时,传输速率基本接近, vectoring 提升效果较好;采用异厂商 VDSL2/vectoring 芯片的设备情况下,部分主流厂商芯片间可以实现 vectoring 互通, vectoring、G.inp 传输性能略有下降,但一些终端厂商的芯片虽然 VDSL2 建链模式正常,但暂时无法进行 vectoring 或 G.inp 模式互通。因此,总体看目前 vectoring 系统局端和终端设备的互通性仍有待进一步完善。

(4) 现网验证

笔者在现网已进行 FTTx 节点下移的用户小区进行 vectoring 试点验证,局端设备部署在小区机房,采用支持 VDSL2/vectoring 的 PON MDU 设备,通过分光器上联到 OLT 设备,下联电缆由机房配线架出线至小区配缆入户,

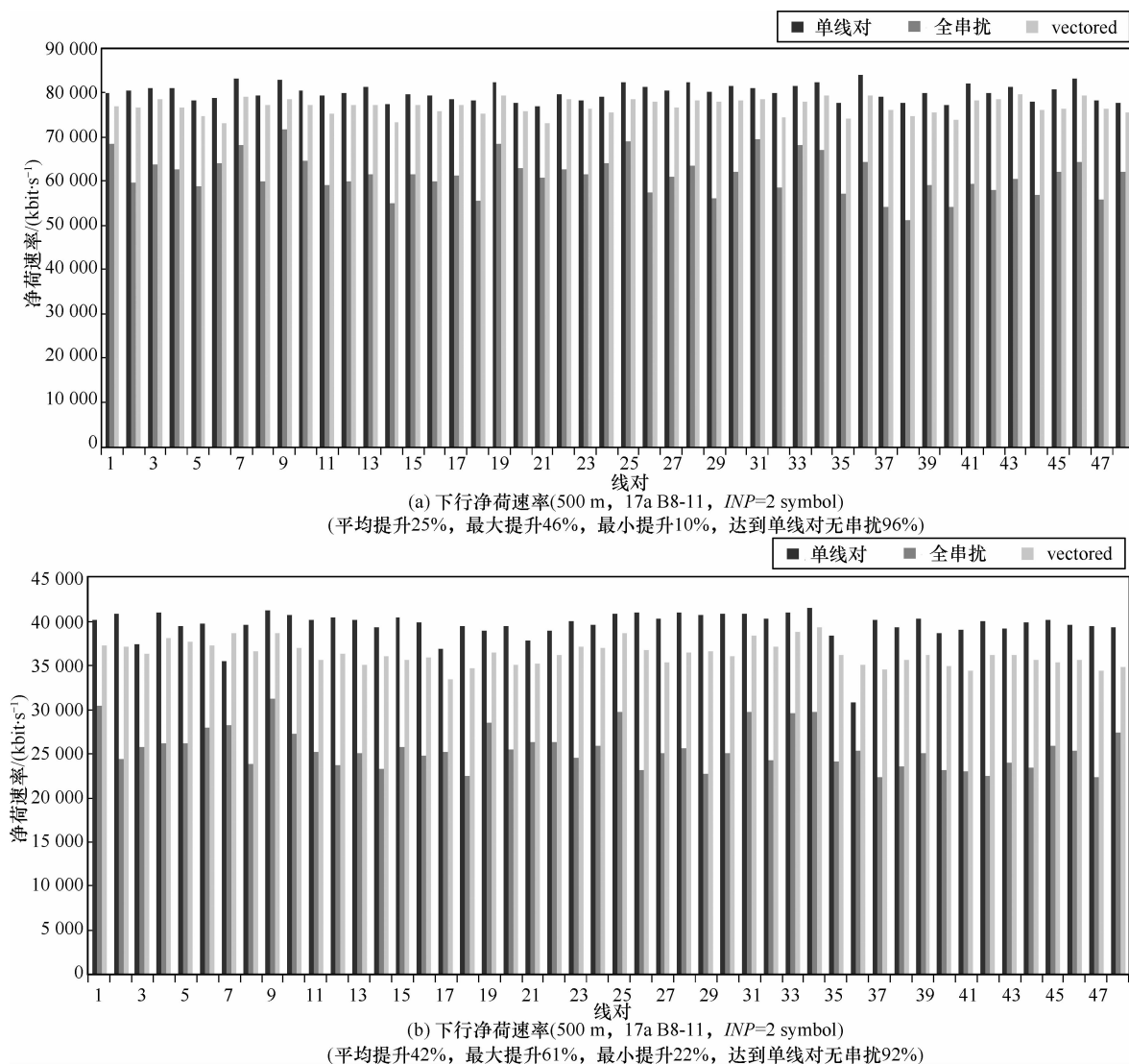


图2 vectoring 对于多路 VDSL2 性能的改善

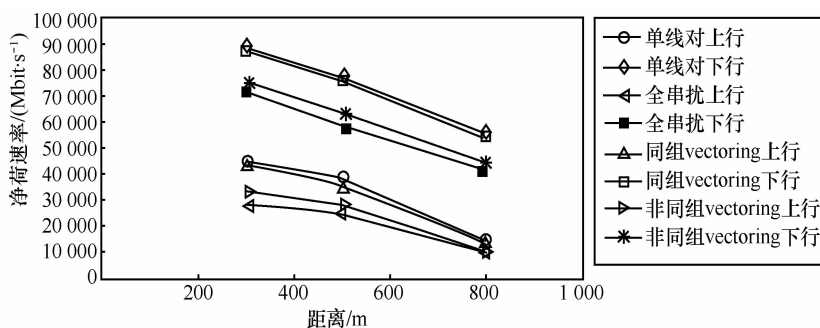
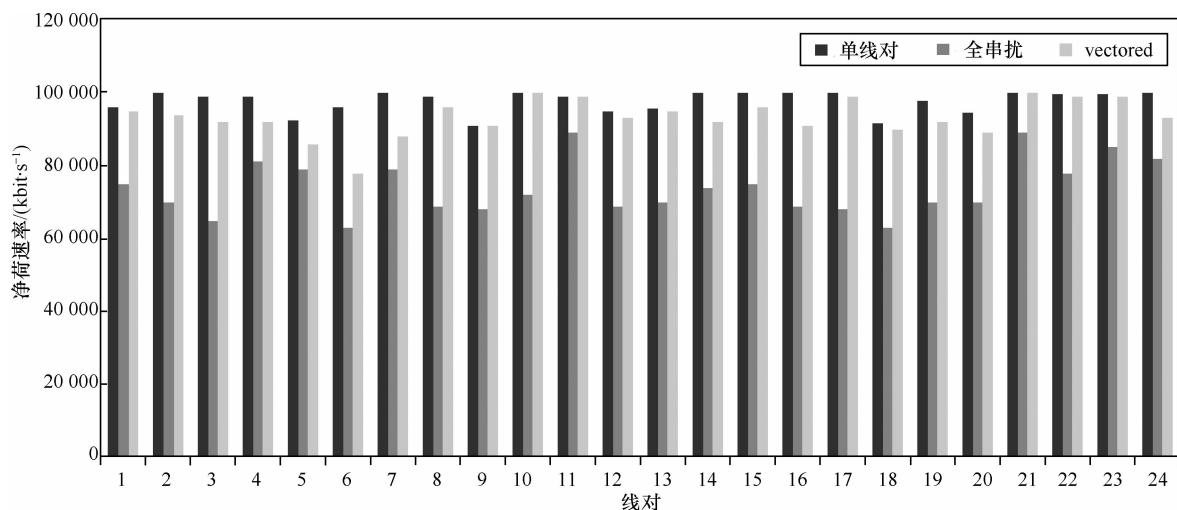


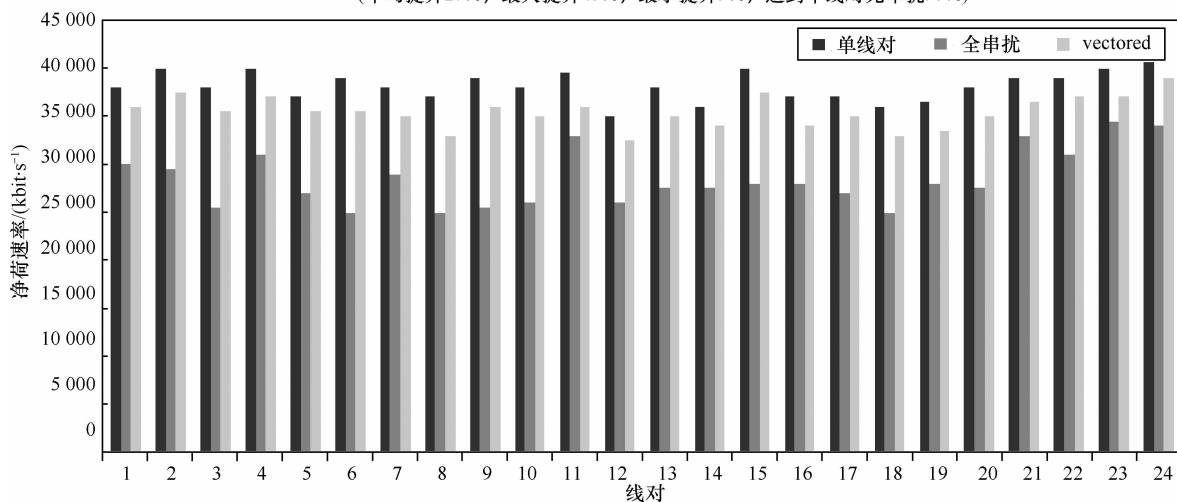
图3 同组/非同组 vectoring 的性能对比

局端加接保安单元。端到端铜缆总距离 520 m (400 对线
缆,线径 0.4 mm,选取其中 24 路同时开通)。系统采用 17a
B8-11 模板,用户终端采用支持 vectoring 的 VDSL2 终端设

备。考虑到现网实际铜缆承载高速业务的频段需要面临较
多的脉冲噪声干扰,因此采用 G.inp 物理层重传方式进行
保护,以提升稳定性,并配置 $INP=8$ symbol。现网实验系统



(a) 下行净荷速率(520 m, 17a B8-11, 重传模板 $INP=8$ symbol)
(平均提升27%, 最大提升45%, 最小提升9%, 达到单线对无串扰95%)



(b) 下行净荷速率(520 m, 17a B8-11, 重传模板 $INP=8$ symbol)
(平均提升25%, 最大提升40%, 最小提升8%, 达到单线对无串扰93%)

图4 现网场景 VDSL2/vectoring 传输性能对比

的平均上下行速率达到 35 Mbit/s/93 Mbit/s, 平均提升率 25%/27%, 达到单线对无串扰的 93%/95%, 最大提升率 40%/45%。总体看, 现网场景下启用 vectoring 总体传输速率提升效果较好, 与实验室测试结果基本吻合, 达到预期水平。不过, 现网局端原先部署的保安单元主要针对 ADSL2+应用, 对于高速的 VDSL2 vectoring 性能有一定影响, 因此, 针对高速率的 VDSL2 用户建议采用或更换低结电容的保安单元(如气体放电管), 避免速率损失。

4 vectoring 应用模式

(1) 应用场景

vectoring 应用应根据现网业务需求、设备能力、线路

条件、环境因素、部署规模以及部署成本等综合考虑。矢量化的 VDSL2 系统可以有效解决串扰的影响, 尤其在 300~800 m 铜缆范围显著提升速率, 具备 50~100 Mbit/s 的承载能力。因此在实际应用中应据此特性, 结合光纤化 PON/10GPON 技术的推进, 以 FTTB(光纤到楼)/FTTCab(光纤到交接箱)等方式进行部署, 充分发挥其中短距离下的速率优势, 端到端铜缆距离应尽可能小于 500 m。同时, 光节点下移后铜缆线路的密度相对降低, 对于节点矢量化处理组设备的性能要求也可以相应降低, 避免过多地增加设备复杂度和改造成本。而对于铜缆长度超过 800 m 的中长距离场景, 由于铜缆线路衰减大, 加上出局铜缆密度更高, 即使采用矢量化技术速率提升也非常有限, 且对设备处理性能要求极高, 因此不推荐使用。vectoring 局端设备可利用部

署在已有的小区机房或室外机柜中,改造场景下可利用原有 ADSL2+ DSLAM、PON MDU 设备进行升级,根据用户业务需求逐步通过新增 vectoring 业务板/处理板,并升级系统软件来实现平滑提速部署或者结合老旧设备的退网,进行整体升级。

由于传统不支持 vectoring 的 VDSL2 终端设备对于 vectoring 终端的速率提升影响较为明显,在部署初期实装率及业务速率不高的情况下相对问题不大,而部署成熟期实装率提高和业务速率较高的情况下,则应尽量避免与 vectoring 终端在同捆电缆中混用。考虑到目前 VDSL2 终端芯片大部分已支持矢量化技术,因此建议部署 VDSL2 时即采用支持 vectoring 功能的终端设备,便于今后需要时通过远程管理方式启用。而对于无法升级的终端可以在局侧自适应识别,通过配置频带回退模板限制其频谱范围或其他处理方式,降低相互干扰影响,必要时采用新设备替换。

此外,原有已使用的 ADSL2+设备由于占用频带相对较低,FTTx 下其串扰对于铜缆长度较短的 VDSL2 矢量化系统来说基本无需考虑,对于中长距离下会导致一定的性能损失,但总体影响亦不大。

(2) 设备选取

根据处理能力和应用场景,VDSL2 vectoring 局端设备可分为单板级(板卡级)、系统级和站点级。其中,单板级设备仅支持 VDSL2 板内的串扰抵消,矢量化组线对处理能力相对较小,vectoring 处理芯片一般集成在业务板上,相对成本较低,适用于小容量设备(小于 50 线),满足容量需求少且较为独立的单一场点用户,如小型办公楼、商业网点等;系统级设备可以协同处理不同 VDSL2 业务单板间的串扰抵消,单台设备矢量化组线对处理能力相对较大,成本相应有所提高,适用于中等容量设备(50~200 线),可满足居民小区等大多数场景应用;而站点级设备需要支持跨设备的协同矢量化处理,并满足不同设备间的数据共享及同步,性能要求及成本最高,适用于中大容量设备(200 线以上),可以满足各种场景应用。

考虑到今后的高速业务需求,新型高密度 vectoring 端口板卡的 FTTx 局端设备建议提供 10GPON 的上联接入能力,保证无阻塞的接入承载。

另外,从现网场点交接配线架部署情况看,由于用户开通的数量是逐步增加的,可能存在配缆连接与局端设备板卡并非完全一一对应的现象,对于单板级设备来说无法

完全抵消其他矢量化分组中的串扰,因此实际应用中具备较大 vectoring 组处理能力的系统级和站点级设备相对更为有效。建议 vectoring 设备部署时根据铜缆分组情况及设备容量进行对应规划,尽可能保证对应关系,改造中如条件许可也可对交接配线进行梳理整治。

(3) 结合抗干扰技术有效提升质量

G.inp 是克服脉冲噪声干扰的重要技术,目前技术较为成熟,改善效果明显,因此 vectoring 技术在实际使用中建议结合 G.inp 技术抵御瞬时突发干扰,同时启用 BS(比特交换)、SRA(无缝速率适配)消除渐变噪声影响,可以极大地提升高速业务下系统的整体稳定性和传输效率,有利于保障电信级业务的承载要求。

5 结束语

本文系统地研究了 vectoring、G.inp 等铜缆新技术及其进展,评估了当前 vectoring 和 G.inp 系统的功能、性能及其与 ADSL2+、VDSL2 系统之间串扰的影响,并提出了 vectoring 系统覆盖范围、上联方式、终端 modem、线缆施工等方面的部署策略。研究表明,FTTx+VDSL2 可以充分利用现有资源,具有技术和设备已经非常成熟、改造成本低、实施难度小等优点,是当前宽带接入提速的重要模式。vectoring 技术可以较好地消除铜线间的串扰,结合重传脉冲噪声保护技术,可以显著提升短距离下的铜缆传输速率(500 m 内大于 50 Mbit/s),改善业务质量,是 FTTN+VDSL2 网络的发展方向,也必将成为近期运营商宽带网络提速的重要手段。

目前 vectoring 和 G.inp 标准已经比较完善,设备基本成熟,全球商用案例逐步增加,但互通性还有待进一步完善,后续应重点推动 vectoring 和 G.inp 的互通性、优化 vectoring 设备激活流程和研究现网 MDU 设备如何平滑升级支持 vectoring。

参考文献

- 1 ITU-T G.993.5. Self-FEXT Cancellation (Vectoring) for Use with VDSL2 Transceivers, 2010
- 2 ITU-T G.993.2. Very High Speed Digital Subscriber Line Transceivers 2 (VDSL2), 2011
- 3 ITU-T G.998.4. Improved Impulse Noise Protection for DSL Transceivers, 2010
- 4 BBF TR-249 Issue 1 Final Ballot. Testing of G.993.2 Self-FEXT Cancellation (Vectoring), 2013

(下转第 176 页)



估指标)的权重为 35%,3 级指标(容灾专项指标)的最终评分为: $0 \times 65\% + 99.5 \times 35\% = 34.8$ 分。

4.4 2 级指标集评分

假设其他 3 个 3 级指标的评分分别为 92.6 分、98.3 分、95.8 分,则 2 级指标的评分为: $92.6 \times 1/4 + 98.3 \times 1/4 + 95.8 \times 1/4 + 34.8 \times 1/4 = 80.4$ 分(假设各个 3 级指标的权重为 1/4),该省 A 区的网络安全评分为 80.4 分。

4.5 1 级指标集评分

假设 B 区的网络安全评分为 97.3 分。按照两个分区的用户容量,可计算得到两个分区的权重分别为 75% 和 25%。因此 1 级指标的最终评分为: $80.4 \times 75\% + 97.3 \times 25\% = 84.6$ 分,即该省的网络安全评分为 84.6 分。

5 结束语

本文为 IMS 网络安全运行评估提供了一套较为完整的衡量指标、参考标准和测试方法的建议。指标体系涵盖网络、设备、业务 3 个层面与 1 个容灾专项。指标的应用将对深入发现 IMS 网络运行隐患、提升网络运行质量有重要作用,同时所提出的统计功能、能力需求,可作为 IMS 网络产品相关功能完善和发展的依据。

参考文献

- 1 3GPP TS 23.228. IP Multimedia Subsystem (IMS), Stage 2, 2005
- 2 中国电信集团公司. 中国电信 IMS 网络技术体制, 2011

[作者简介]



陈庆年,男,中国电信股份有限公司广东分公司高级工程师,主要研究方向为固网、IMS 网络、CDMA 核心网络的维护管理。



区浩明,男,中国电信股份有限公司广东分公司高级工程师,主要研究方向为固网、IMS 网络、CDMA 核心网络、业务平台的维护管理以及网络安全管理。

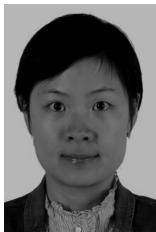
(收稿日期:2014-05-20)

(上接第 171 页)

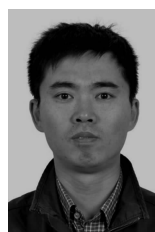
[作者简介]



李浩琳,男,中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师,长期从事宽带接入研究与应用工作,主要研究方向为 DSL 铜缆技术、PON 技术以及 WLAN 等,发表过多篇学术论文和专利。



蒋铭,女,博士,中国电信股份有限公司上海研究院高级工程师、基础网络部接入室主任,长期从事光纤接入网的技术研究工作,是 FSAN NG-PON2 IOP 组的 Co-chair(共同主席)和 G.989.3 的 Co-editor(合编者),参与推动了 EPON 和 GPON 技术的发展和在国内的应用部署,主导制定了多项 ITU-T、CCSA 等国际国内标准,先后发表了 10 多篇学术论文,发明 10 多项专利,获得国家科学技术进步奖二等奖和多次省部级奖励,目前主要研究方向为下一代 PON 技术以及 PON 的网络规划和运维。



沈成彬,男,博士,中国电信股份有限公司上海研究院教授级高级工程师、技术总监,多年从事宽带光接入与传输技术及其应用研究工作,主导制定了多项 BBF、IEEE、ITU-T、CCSA 等国际国内标准,先后发表了 20 多篇学术论文,发明近 20 项专利并有多项专利转化为标准,多次获得国家级和省部级奖励。



王波,男,中国电信集团公司高级工程师、技术部业务经理,CCSA TC6 WG2 副主席,多年从事宽带技术研究与技术管理工作,主要研究方向为 PON、DSL、光链路测量与诊断、WLAN、网络智能化等,主持制定了多项宽带接入领域的国际、国内行业标准和中国电信集团的企业标准,先后发表了多篇学术论文,发明近 10 项专利,先后获得国家科学技术进步奖二等奖和多次省部级奖励。

(收稿日期:2014-03-28)