

doi:10.13756/j.gtxyj.2019.05.007

光通信系统与网络技术

打造低时延光传输网络的策略

武清华

(华信咨询设计研究院有限公司,杭州 310046)

摘要:针对光传输网络时延问题,文章分析了光传输网络时延产生的因素,并按长途骨干网和本地网两种场景详细阐述了引入时延的各因素的影响比重。针对这两种场景,文章分别提出了打造低时延光传输网的策略,从而为建设或优化低时延光传输网提供有价值的参考依据。

关键词:长途骨干光传输网;本地光传输网;时延

中图分类号:TN913.7

文献标志码:A

文章编号:1005-8788(2019)05-0033-04

Strategies for Building Low Latency Optical Transport Network

WU Qing-hua

(Huaxin Consulting and Designing Institute, Hangzhou 310046, China)

Abstract: In view of the delay problem of optical transport network, this paper analyzes the factors caused by the delay of optical transport network, and elaborates the proportion of the factors that introduce delays according to the two scenarios of long-haul backbone network and local network. For these two scenarios, this paper proposes strategies to realize low-latency optical transport networks, which provides a valuable reference for optimization of low-latency optical transmission networks.

Key words: long-haul backbone optical transport network; local optical transport network; delay

0 引言

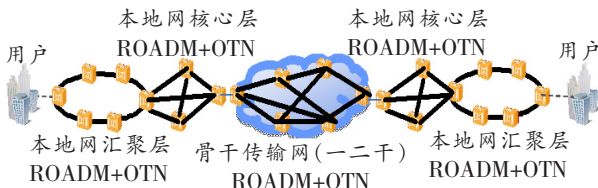
近几年来,随着金融证券行业的快速发展,网络的时延性能越来越受客户关注。对金融客户而言,“时间就是金钱”,尤其是在高频交易(High Frequency Trading, HFT)的证券和期货等领域,低时延网络将至关重要。另外,4K/8K 高清视频/虚拟现实业务、实时性云业务和 5G 移动通信对网络时延也提出了明确要求。网络的“低时延”成为运营商的核心竞争力之一,也是满足各类新业务发展的内在要求。

业务的端到端时延主要是由承载网产生的。承载网可细分为光传输网和数据网(IP 路由器),可以各自独立分析光传输网和数据网产生的时延。本文将聚焦于光传输网产生的时延,分析其时延的构成及各影响因素,从而找到降低光传输时延的解决方案,对应于长途骨干传输网和本地传输网,给出相应的实现低时延光传输网的策略。

1 光传输网络时延构成分析

图 1 所示为一个典型的端到端光传输网络,整个网络包含骨干光传输网段(含一干和二干)和本地光传输网段,业务从一个本地传输网经骨干传输网

通达另一个本地传输网。业务的端到端时延由本地传输网引入的时延加上骨干传输网引入的时延组成。



注:ROADM 为可重构光分插复用设备;
OTN 为光传送网设备。

图 1 典型的端到端光传输网络

1.1 传输网络中各种网元和传输介质引入的时延

为了详细分析整个传输网络中时延的情况,需考察其中各种网元和传输介质引入的时延数量级大小。根据测试和经验数据,表 1 给出了传输网络中各种网元和传输介质引入的时延数量级分布,其中光纤引入的时延与传输距离成正比($5 \mu\text{s}/\text{km}$),其在骨干长途传输网中影响最大。光层网元,如 ROADM、合分波器、滤波器和光线路放大器(Optical Line Amplifier, OLA)等,引入时延为 $1 \sim 100 \text{ ns}$ 量级,对整个传输网络时延来说基本可忽略不计。电交叉及电处理网元,如光转换单元(Optical Transform Unit, OTU)、同步数字体系

收稿日期:2019-06-24

作者简介:武清华(1978—),男,江西抚州人。高级工程师,硕士,主要研究方向为骨干传输网的设计与咨询工作。

通信作者:武清华,高级工程师。E-mail:wuqh@hxdi.com

(Synchronous Digital Hierarchy,SDH)设备和传统 OTN 设备等,引入时延为 100 μ s 量级;分组增强型 OTN 节点引入时延为 100~1 000 μ s 量级(其中 VC3、VC4 颗粒业务交换封装时引入时延为 100~450 μ s, VC12 颗粒业务交换封装时引入时延为 500~1 500 μ s),该时延在本地传输网中需要引起重视。

表 1 传输网络中各种网元和传输介质引入的时延数量级

序号	传输介质或网元	引入时延
1	光纤(包括用作色散补偿的色散补偿光纤)	5 μ s/km
2	光学器件(ROADM、合分波器、滤波器和耦合器)	ns 量级
3	OLA	100 ns 量级
4	收发合一 OTU(光/电/光)	10~100 μ s 量级
5	SDH 设备(封装/解封装和交换)	100 μ s 量级
6	传统 OTN 节点(封装/解封装、FEC 编解码和交换)	10~100 μ s 量级
7	分组增强型 OTN 节点(封装/解封装、FEC 编解码和交换)	10~100 μ s 量级(透传和分组业务); 100~1 000 μ s 量级,(SDH 的 VC 业务)

注:FEC 为前向纠错;VC 为虚容器。

1.2 骨干长途光传输网络时延构成分析

由于本地光传输网和骨干长途光传输网引入时延的因素侧重点有所差异,为此分成两个部分分别进行论述。针对图 1 中的骨干长途光传输网络,系统组成为线路光缆、OLA、ROADM、光终端复用器(Optical Terminal Multiplexer, OTM)(含合分波、滤波器和 OTU 等)。根据 1.1 节中各网元和传输介质引入的时延,可以计算得出骨干长途光传输网从源点(A)到宿点(Z)的时延如下:

$$T=T_{\text{线路光缆}}+T_{\text{DCM}}+T_{\text{光层}}+T_{\text{电层}}=\frac{L}{1\,000}\times 5+T_{\text{DCM}}+\text{OLA 数量}\times 100\times 10^{-6}+\text{OTU 数量}\times \frac{100}{1\,000},$$

(1)

式中: T 为从源点到宿点的时延(单位为 ms); $T_{\text{线路光缆}}$ 为线路光缆引入的时延; T_{DCM} 为色散补偿模块(Dispersion Compensation Module, DCM)引入的时延,一般按线路光缆引入时延的 10% 计列,当光传输系统采用相干光通信技术时(如 100 Gbit/s 系统),不需在系统中加入 DCM 模块,此时该类时延将不再计入; $T_{\text{光层}}$ 主要为 OLA 引入的时延,ROADM、合分波器、滤波器和耦合器等光层器件引

入的时延均为 ns 量级,可忽略不计; $T_{\text{电层}}$ 主要为 OTU(光/电/光)引入的时延; L 为线路光缆长度(单位为 km)。

图 2 所示为典型的骨干长途光传输网络,其线路光缆长度为 1 600 km,沿途设置 3 个 OTM 站、1 个 ROADM 站和 20 个 OLA 站。该网络从源点到宿点的时延为

$$T=\frac{1\,600}{1\,000}\times 5\times (1+10\%)+20\times 100\times 10^{-6}+4\times \frac{100}{1\,000}=9.202\text{ (ms)},$$

当系统为不考虑色散补偿的相干系统时,剔除 DCM 引入的时延,则时延降低为 8.402 0 ms。

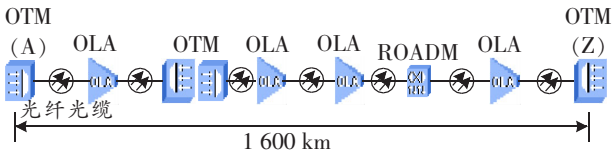


图 2 典型的骨干长途光传输网络

对整个时延进行分析,可以看出,骨干长途光传输网络引入时延最大的因素是线路光缆,占比达 87%;其次是 DCM 引入的时延(这项对相干光通信系统而言就不存在了);再者是电层设备(器件)引入的时延,光层设备(器件)引入的时延基本可以忽略。

1.3 本地光传输网络时延构成分析

为了实现综合承载,本地光传输网各节点设备采用光电混合设备,即 ROADM+电层 OTN(含分组增强型 OTN)设备,实现各类业务的终端。各节点至核心节点间的时延为

$$T=T_{\text{线路光缆}}+T_{\text{DCM}}+T_{\text{光层}}+T_{\text{电层}}=\frac{L}{1\,000}\times 5+T_{\text{DCM}}+\text{OLA 数量}\times 100\times 10^{-6}+\text{OTN 节点数量}\times \frac{100\sim 1\,000}{1\,000},$$

(2)

其中 OTN 节点引入的时延需要根据承载的业务及对应的映射封装的容器而定。在本地光传输网中,各时延所占权重和骨干长途传输网络差异较大。

图 3 所示为典型的本地光传输网,环网由 6 个节点(其中两个为核心节点)组成,全程路由长度约为 270 km。按最远路由计算(即考察 B 点逆时针绕转经 C、D、E、F 至 A 点)时延为 $T=\frac{200}{1\,000}\times 5\times (1+10\%)+6\times \frac{1\,000}{1\,000}=7.210\text{ (ms)}$ 。

上述时延是按照每个 OTN 节点均处理 VC12

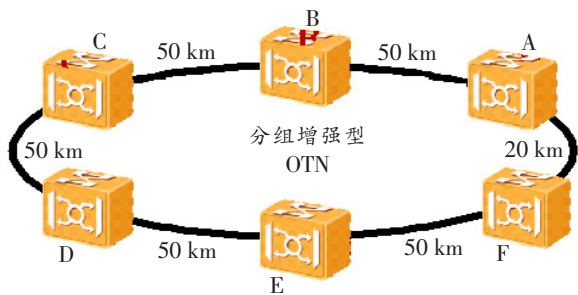


图3 典型的本地光传输网络

级别业务来计算的，即B开通一条 $n \times \text{VC12}$ 的业务，且途经C、D、E和F等节点，由于该业务带宽较小，为此在开通该类业务时会考虑在途经的各节点对该业务都进行电层处理，实现VC12业务的复用。这种业务配置方式能最大限度地利用带宽资源，但会带来较大的时延（每个节点将为此引入1 ms左右的时延），当途经节点数较多时，这类时延将成为本地光传输网时延的决定性因素。本例中OTN节点引入的时延占比达83%，线路光缆引入的时延占比为15%。

上述案例中如果对业务配置方式进行调整，采用VC3或VC4容器进行业务封装，则时延变为3.010 ms（每个OTN节点引入的时延按300 μs 计列）。更进一步，如果只在B和A节点采用VC3或VC4封装处理，而途经的C~F节点采用光通路数据单元（Optical Channel Data Unit, ODU）方式处理（具体实现时采用 $\text{ODU}_k, k=1, 2, 4$ 等）进行交换，则时延变为2.210 ms。更极限的情况，B到A节点开通点对点的双路由网络，则时延可进一步降低至1.810 ms（光缆距离不变，只是减少了4个节点的处理时延）。从这些时延的演进变化中可看出，网络结构和业务配置方式对本地光传输网时延影响较大，针对时延特别敏感的业务，需要对此给予充分的关注。

2 打造低时延传输光网络的策略

综上分析，不同场景下的光传输网络时延影响因素是不同的，在打造低时延传输光网络时需要针对长途和本地光传输网络，分别“对症下药”，给出不同的策略。

2.1 打造低时延骨干长途光传输网络的策略

骨干长途光传输网络引入时延的最主要因素是线路光缆，其次是线路DCM引入的时延，再者是电层设备引入的时延。为此打造低时延骨干长途光传输网络可从以下几方面进行：

首先，需要加密骨干光缆网络，使线路光缆长度尽可能短，以有效降低骨干长途光传输网络时延。在建设骨干长途光传输网络时，可以通过一二干光缆统筹规划和使用的方式实现网络的扁平化，一方面能使所建系统光缆长度变短，另一方面网络扁平化后，能高效直达地开通业务，减少网络（光缆路由）的绕转，从而能非常可观地降低时延（当线路光缆长度缩短200 km时，时延即可降低1 ms）。

其次，尽可能采用相干通信技术建设骨干光传输网络，这样不需要线路DCM，能明显降低近10%的时延。相比传统的10和40 Gbit/s密集波分复用（Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM）系统，100 Gbit/s及超100 Gbit/s系统采用了数字信号处理（Digital Signal Processing, DSP）等电层处理技术，大大提升了系统的色散容限（达50 000 ps/nm以上），系统不再需要配置线路DCM，虽然DSP芯片处理会带来10 μs 量级的时延，但去除DCM可降低0.5 $\mu\text{s}/\text{km}$ 的时延。骨干长途光传输网络使用100 Gbit/s及超100 Gbit/s相干通信技术时能实现1 000 km无电中继传输，两个因素相抵，能降低时延0.48 $\mu\text{s}/\text{km}$ 。

最后，根据业务的颗粒度和特点，能在光层解决的尽可能在光层解决，不要进入电层处理。在网络方案中尽可能使用ROADM组网，这样波道级的业务可以避开不必要的电层再生和处理（光/电/光），从而可以进一步降低时延。

2.2 打造低时延本地光传输网络的策略

本地光传输网络引入时延的最主要因素是网络结构以及业务的配置方式，其次是线路光缆，再者是线路DCM引入的时延。为此，打造低时延本地光传输网络也可从3个方面进行：

首先，尽可能打造极简的本地光传输网络，“极简”有两层含义：一是指网络结构的极简，对时延敏感的业务直接建设点到点的系统，采用两点间最短路由的光缆，这样能最大限度降低引入光缆路由绕转的时延影响和途经节点带来的时延影响；二是当网络结构难以做到点到点极简时，在业务配置时采用极简模式开通业务，从而做到最大限度降低时延。如波道级业务在途经节点采用ROADM光层穿通，尽可能减少在每个途经的节点设备中进行电层处理，这能降低100 $\mu\text{s}/\text{节点}$ 时延。VC级别的业务在途经节点采用 ODU_k 方式处理而尽量避免VC封装处理，以降低每个途经的节点设备的处理时延，这样能降低200 $\mu\text{s}/\text{节点}$ 时延。

其次,进一步完善本地光缆网络,使线路光缆长度尽可能短,从而进一步降低本地光传输网络时延。最后,尽可能采用相干通信技术建设骨干光传输网络,这样不需要线路 DCM,也能进一步降低时延。

3 结束语

在时延成为网络核心竞争力之一的今天,建设低时延光传输网至关重要,本文详细分析了光传输网络时延产生的各种因素和占比,并针对骨干长途

和本地光传输网两种场景分别给出了降低时延的策略,为低时延光传输网络建设提供有价值的参考。

参考文献:

[1] 李正辉,韩震. 光传送网低时延 GMP 映射方案设计及实现[J]. 光通信技术, 2018(4):5-9.
[2] 孟凡,王玮,宋占娜,等. 超高速、超长距传输系统性能分析[J]. 电信工程技术与标准化, 2017(7):78-81.
[3] 崔晓旭. 相干光突发传送网中相干接收 DSP 算法等关键技术的研究[D]. 北京:北京邮电大学, 2015.



(上接第 21 页)

参考文献:

[1] Jovicic A, Li J, Richardson T. Visible Light Communication: Opportunities, Challenges and the Path to Market[J]. IEEE Communications Magazine, 2013, 51(12):26-32.
[2] Wu S, Wang H, Youn C H. Visible Light Communications for 5G Wireless Networking Systems: from Fixed to Mobile Communications[J]. IEEE Network, 2014, 28(6):41-45.
[3] Kaushal H, Kaddoum G. Underwater Optical Wireless Communication [J]. IEEE Access, 2016, 4(1):1518-1547.
[4] Aoyamam H, Oshima M. Line Scan Sampling for Visible Light Communication: Theory and Practice[C]//IEEE International Conference on Communications. London, UK; IEEE, 2015; 7249126.
[5] Do T H, Yoo M. Performance Analysis of Visible Light Communication Using CMOS Sensors[J]. Sensors, 2016, 16(3):309.
[6] Liu Y. Decoding Mobile-Phone Image Sensor Rolling Shutter Effect for Visible Light Communications [J]. Optical Engineering, 2016, 55(1):016103.
[7] Do T H, Yoo M. Analysis on Visible Light Communication Using Rolling Shutter CMOS Sensor[C]//2015 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC). Jeju, South Korea; IEEE, 2015:755-757.
[8] Li Z, Zhang Z, Yuan Q. Digital Image Processing in LED Visible Light Communication Using Mobile Phone Camera[C]//2016 IEEE International Conference on Network Infrastructure and Digital Content (IC-NIDC). Beijing, China; IEEE, 2016:7974572.
[9] Chow C W, Chen C Y, Chen S H. Visible Light Communication Using Mobile Phone Camera with Data Rate Higher than Frame Rate[J]. Optical Express, 2015, 23(20):26080-26085.
[10] Danakis C, Afgani M, Povey G, et al. Using a CMOS Camera Sensor for Visible Light Communication[C]//2012 IEEE Globecom Workshops. Anaheim, CA, USA; IEEE, 2012:1244-1248.
[11] Liang K, Chow C W, Liu Y. Mobile-Phone based Visible Light Communication Using Region-Grow Light Source Tracking for Unstable Light Source[J]. Optical Express, 2016, 24(15):17505-17510.
[12] Chen C W, Chow C W, Liu Y, et al. Efficient Demodulation Scheme for Rolling Shutter Patterning of CMOS Image Sensor based VLC[J]. Optical Express, 2017, 25(20):24362-24367.