

PTN 网络的二次断纤链路规划算法

罗伟¹, 李兴明¹, 吴简¹, 陈捷²

(1. 电子科技大学 光纤传感与通信教育部重点实验室, 四川 成都 611731;

2. 中兴通讯股份有限公司, 广东 深圳 518057)

摘要:在 PTN(Packet Transport Network)网络规划建设中,需要对光纤链路留出备份带宽,以保证部分光纤断开时,受影响业务有足够的容量进行路由重组。这也是提高网络生存性的有效方法之一。文中首先遍历网络双链路的失效状态,然后断开网络中任意两条链路,通过逐次增加链路容量来保证失效业务能够重组路由;最后提出二次断纤链路容量规划算法并进行试验仿真。结果表明,该算法在节约网络带宽、降低建造成本以及故障容错方面有着良好性能,能够很好应用于传送网络的链路规划中。

关键词:分组传送网;双链路失效;网络容量规划;路由重组

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)07-0013-04

Dual-link Fiber Disconnected Capacity Planning Algorithm in PTN

LUO Wei¹, LI Xing-ming¹, WU Jian¹, CHEN Jie²

(1. The Key Laboratory of Optical Fiber Sensing and Communication of Ministry of Education,
UESTC, Chengdu 611731, China;

2. ZTE Corporation, Shenzhen 518057, China)

Abstract: In the PTN network planning & construction, leaving backup bandwidth for optical fibers is an effective method to improve network survivability. It ensures that parts of the fiber links are disconnected, and the affected businesses still have sufficient capacity for resources re-routing. In this paper, first look through every network dual-link failure state, then disconnect any two links in the network, after that increase link capacities to assure all failed services can be successfully re-routing again; At last propose the dual-link fiber disconnected capacity planning algorithm (DDCPA) and carry out simulation experiments. The results show that the algorithm effectively saves network bandwidth, reduces construction cost and improves fault tolerance, also has a good performance in link planning of transmission network.

Key words: PTN; dual-link failure; network capacity planning; re-routing

0 引言

分组传送网(PTN, Packet Transport Network)技术既具有分组特性又具有运营级网络特性,对移动回传等业务的支持逐渐被运营商重视,中国移动已开始大规模使用。在我国运营商的城域网中,PTN技术主要定位于城域的汇聚接入层,网络主要承载的业务有:2G/3G基站业务、集团专线和互联网大客户业务、内部业务(营业厅DCN和IPTV)、OLT、WLAN、环境监控等多种高质分组业务。所以一旦网络中链路或节点失效将中断大量的业务,造成巨大的损失,因此网络生

存性策略变得十分紧迫。随着网络规模和容量的日益扩大,网络的生存性显得越来越重要。这就迫使我们考虑PTN网络的生存能力。

在规划建设PTN网络初期,为了提高其生存性,对网络链路的容量规划是必须要考虑的问题之一。现有的大多数规划工具和研究^[1-5],是在网络拓扑已知、链路容量确定的情况下,根据算法为承载业务的路径建立工作LSP(Label Switch Path)和保护LSP。而对于链路容量未知或者较低的情况,规划出足够备份链路,使网络部分链路断开时,仍有较高的容错性和稳健性,满足业务需求等方面还涉及较少。

文中针对以上方向,通过网路双链路失效,逐次增加链路容量的方法,对节点间多光纤的网络进行容量规划。所谓双链路失效,是指网络中同时存在两条失效的链路(一条链路失效表示两节点间的所有光纤链路断开)。这两条链路可能同时失效,也可能先后失

收稿日期:2011-12-02;修回日期:2012-03-04

基金项目:2011中兴通讯基金资助项目(090016)

作者简介:罗伟(1988-),男,四川蓬溪人,硕士研究生,主要研究方向为宽带网络技术;李兴明,教授,博士生导师,研究方向为网络管理、光纤通信、光交换与自动光网络。

效,即在修好第一条失效链路前,又发生了第二条链路失效。目前,已有一系列文献进行了相关方面的研究^[6-14]。

其中,文献[6]采用 1+1+Shared 方式实现双链路失效保护:即为每条工作通道计算出一条专用保护的 LSP 和一条共享保护 LSP。这样为业务设计出三条分离链路的 LSP,除在工作 LSP 上配置资源外,同时也在专用保护和共享保护 LSP 上为业务预留资源。使得即使双链路失效的情况发生,业务也不会中断,从而实现了业务的不间断传输,但该算法存在需求的网络总带宽过高和故障容忍能力较差的问题。文献[7]所提算法是一种共享链路保护 SLP(Shared Link Protection),静态 SLP 算法:业务请求到达后,根据 Dijkstra 算法首先为业务请求 n 计算一条工作通路(假设为 W_n),再根据 Dijkstra 算法为工作通路上每段工作链路(假设为 W_n^i)各计算一条链路分离的保护通路(假设为 BW_n^i),然后根据 Dijkstra 算法为 BW_n^i 上每段保护链路(假设为 $(BW_n^i)_k$)各计算一条链路分离的保护通路(记为 $B(BW_n^i)_k$),且满足 $B(BW_n^i)_k$ 与 W_n^i 链路分离,接着更新网络状态,等待新的业务请求的到来。在最恶劣的情况下,如果 W_n 和 BW_n^i 上分别存在一条失效链路,则业务数据可以切换到 $B(BW_n^i)_k$ 上传输。

文中提出的二次断纤链路容量规划算法(DDCPA),首先在链路容量规划过程中,只对业务建立工作 LSP。由此规划出的网络容量,满足在双链路失效情况下,受影响业务有足够的容量进行重路由。同时,算法是根据业务需求来建立工作和保护 LSP(无保护,1:1 保护,1+1 保护,环网保护等)。最多只为业务规划出两条 LSP,相比 1+1+Shared 算法规划的三条 LSP,降低了网络带宽资源的要求。

1 系统模型

文中网络拓扑类型采用著名的 K-L 网络结构,如图 1 所示。这样 PTN 结构已知,即节点间的链路连接已知,而链路带宽未知或很小,并具有如下特征:

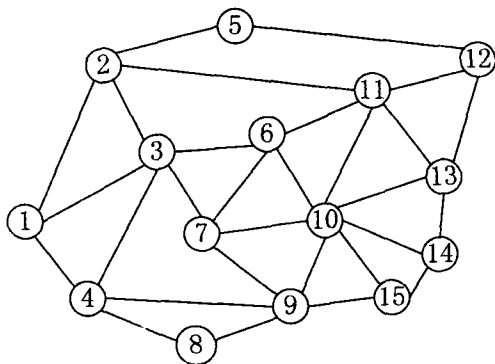


图 1 PTN 网络拓扑结构图

①PTN 节点的交换容量较大($\geq 320\text{G}$);

②光纤链路带宽为 1G 或 10G;

③业务的源节点和目的节点的度数都大于 2;

④PTN 设备间可以有 multiple 光纤链路。

设置 PTN 网络的初始状态:各节点设备交换能力为 320G,每条链路至少要有两条方向相反的光纤,初始带宽都为 1G,业务源节点和目的节点在拓扑中度数大于 2 的节点之间任意选择。DDCPA 算法的目标是规划出满足双链路失效的网络链路容量,从而增强网络拓扑的生存性。

2 二次断纤链路容量规划算法

2.1 算法参数

TOP:初始状态的 PTN 拓扑可以通过一个有向图 $G(N, L, T)$ 表示,且 $TOP = G(N, L, T)$;

N :节点设备集合, $n = |N|$ 为网络节点数;

L :网络链路集合, $L = \{L_1, L_2, \dots, L_d\}$, $d = |L|$ 为网络链路数,每条链路至少要有两条方向相反的光纤;

M :网络光纤集合, $M = \{M_1, M_2, \dots, M_m\}$, m 为网络光纤数,由于节点间可以存在多条方向相同的光纤,所以 $m \geq 2d$;

F :网络拓扑双链路失效的状态集合, $F = \{S_1, S_2, \dots, S_K\}$, K 表示网络中任意双链路失效的状态数 $K = C_d^2$,元素 S_i 则记录失效的两条链路;

T :已知业务集合, $T = \{T_1, T_2, \dots, T_c\}$, c 为业务数;

V :所有业务带宽总和, $V = \sum_{i=1}^c V_i$, V_i 表示业务 T_i 的带宽;

B_{sum} :规划完成后网络光纤总带宽, $B_{sum} = \sum_{i=1}^m B_i$, B_i 为光纤 M_i 的带宽, $B_i = M_i$ 已用带宽 + M_i 剩余带宽。

2.2 算法描述

1+1+Shared 算法实现双链路失效保护:由于 PTN 业务是有向的且上下行业务不一定对称,在业务路由时建立工作 LSP 和保护 LSP 后,对业务加标签,同时形成节点标签转发表,其路由方式采用有向带权图 Dijkstra 最短路径算法。文中 DDCPA 断纤规划算法也是基于这种业务路由规则。

二次断纤链路容量规划算法是对 TOP 的链路逐次增加容量,使之在满足双链路失效时,所有业务仍能重组路由。其基本思想是:对双链路失效状态集合 F 依次遍历,逐次增加光纤容量。每一种失效状态 S_i 下,记录失效链路中各光纤的带宽,然后将失效链路中所有光纤带宽置为 0,记当前拓扑状态为 top_0 ,然后对集合 T 中所有业务进行路由,建立工作 LSP。如果存在路由失败,则对 top_0 中未失效的每条链路 L_i 中

容量最小的光纤增加容量 V , 并记录增加容量后的拓扑状态 top_1 , 重新进行业务路由。若路由仍然失败, 则规划无法完成, 表示双链路失效网络拓扑遭受根本性破坏, 不能让业务路由成功。反之, 若路由成功, 则遍历比较 top_0 和 top_1 中每条光纤对应容量, 当 top_1 中光纤 M_{i1} 已用带宽大于 top_0 中对应光纤 M_{i0} 的带宽 B_i , 则进行相应的增加容量处理。业务重组路由成功, 说明在失效状态 S_i 下网络容量能够满足业务需求, 之后将 top_0 中带宽为 0 的光纤带宽还原。此时, 双链路失效状态 S_i 扩容处理结束, 进入集合 F 中下一次双链路失效状态 S_{i+1} , 处理流程同上。

DDCPA 算法步骤如下:

1) 依次遍历双链路失效状态集合 F , 如果遍历完所有的失效状态, 则链路容量规划完成, 算法结束。

2) 记录失效链路中各光纤的带宽, 然后将失效的链路中所有光纤带宽置为 0, 记录此时的拓扑状态 top_0 , 分配集合 T 中所有业务, 为业务建立工作 LSP。如果有业务路由失败, 转步骤 3); 如果所有业务路由成功, 将 top_0 中带宽被置为 0 的光纤带宽还原, 转步骤 1)。

3) 对 top_0 中未失效的每条链路 L_i 中带宽最小的光纤增加容量 V , 记录此时的网络拓扑状态 top_1 , 分配集合 T 所有业务, 为业务建立工作 LSP。若仍有业务路由失败, 转步骤 5)。

4) 遍历比较 top_0 与 top_1 中对应光纤的容量, 当 M_{i1} 已用带宽大于 M_{i0} 对应带宽, 按下述原则增加光纤 M_{i0} 的带宽: ①如果光纤 M_{i0} 的带宽为 1G, 则将 top_0 中的光纤 M_{i0} 扩容为 10G; ②如果光纤 M_{i0} 的带宽已经为 10G, 则计算 top_1 中光纤 M_{i1} 已用带宽 W , 当 $W < 11G$, 重置 $W = 1G$, 当 $W \geq 11G$, 重置 $W = 10G$ 。然后在 top_0 中增加与光纤 M_{i0} 起始节点相同、方向相同、带宽为 W 的光纤。最后遍历 top_0 中所有的光纤, 将其中带宽被置为 0 的光纤带宽还原。转步骤 1)。

5) 链路容量规划失败, 算法结束。

3 仿真实验和算法分析

3.1 网络总带宽对比

本节通过仿真, 来进行 DDCPA 算法和 1+1+Shared 算法的性能比较。试验运行在 2.13GHz Core2 PC, 2G 内存和 Windows 7-32bit 环境平台下。网络选用上节 PTN 拓扑结构, 算法采用 C++ 实现。

PTN 业务的生成方式如下: 业务源节点和目的节点在拓扑中度数大于 2 的节点之间任意选择, 业务等级分为 8 级从高到低分别为 CS7, CS6, EF, AF4, AF3, AF2, AF1, BE, 同时对业务进行 1:1 的伪线 (PW) 适配。同时为使业务带宽更加具有区分性, 分别选择区

间 $[100, 200]$, $[600, 700]$, $[1000, 1200]$, $[2200, 2500]$, $[4000, 4500]$, $[7500, 8000]$ 之间的任意整数为网络总带宽。

图 2 给出了不同业务量的情况下, 两种算法对网络光纤总带宽 B_{sum} 的规划对比。可以看出, DDCPA 比 1+1+Shared 的总带宽明显降低。而且随着业务数量的增加, 节约带宽也越显著, 分别从 499G 到 658G 和从 508G 到 786G, 同时 DDCPA 拥有良好的线性可扩展性, 能更好降低网络建设成本。然而从算法过程可知, 生成失效状态集合元素的个数与 d^2 成正比, 增加容量过程中遍历所有光纤的时间复杂度为 $O(d)$, 得出 DDCPA 算法的时间复杂度 $O(d^3)$ 。相比 1+1+Shared 算法的时间复杂度 $O(d)$, DDCPA 在算法效率方面有所下降。

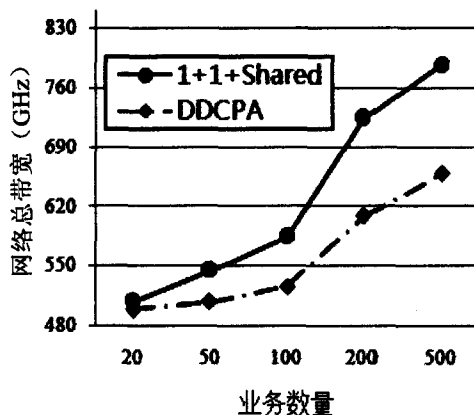


图2 规划完成网络总带宽对比图

3.2 故障容错性对比

断纤规划算法是在任意两条链路失效的情况下, 规划出满足业务要求的网络容量, 保证所有受影响的业务都可以重组路由成功。1+1+Shared 算法为每条工作通道 LSP 计算一条专用保护 LSP 和一条共享保护 LSP。当工作 LSP 和专用 LSP 链路失效时, 将会出现共享 LSP 没有足够带宽承载所有受影响业务的情况, 当大量业务具有相同的共享保护 LSP 的时候, 会出现业务几乎全部失效的极端情况。DDCPA 在网络容量规划时, 对于不同数量的链路失效, 图 3 是进行仿真分析得到的失效业务平均百分比。百分比的计算方法为, 设有 t 条链路失效, 则共有 $K = C_d^t$ 个失效状态, 业务总数 c 。

在失效状态 S_i ($1 \leq i \leq k$) 下, 失效业务数 f_i , 得到:

$$\text{失效百分比 } Y_i = \frac{f_i}{c} \quad (1)$$

$$\text{平均百分比 } Y = \frac{\sum_{i=1}^K Y_i}{K} \quad (2)$$

仿真结果显示, 在双链路失效的情况, DDCPA 没

有失效业务,而 1+1+Shared 有部分业务失效。随着失效链路数的增加,两种算法下的失效业务也相应增加。但就总体而言,DDCPA 的失效业务数远远少于 1+1+Shared 算法,分别从 0 增加到 78% 和 16% 增加到 95%。

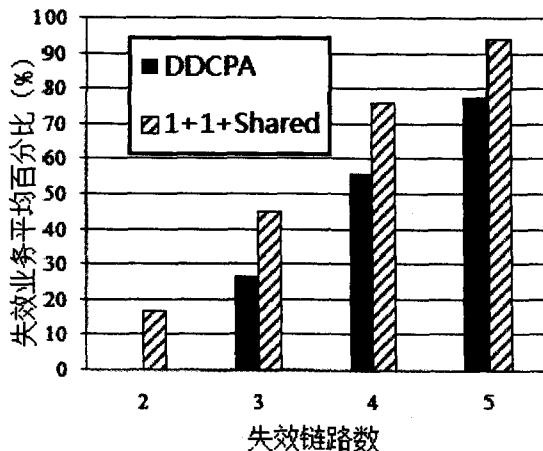


图 3 失效业务平均百分比对比图

4 结束语

文中是在 PTN 网络规划设计中,根据已有业务,通过逐次增加链路容量,来保证失效业务能够重组路由的思想提出二次断纤链路容量规划算法。然后文中对 PTN 网络的二次断纤链路规划算法进行详细的描述。

仿真表明该算法比 1+1+Shared 算法规划出的网络容量总带宽更小,在节约网络带宽、降低建造成本上更有优势。同时是以增加复杂度、牺牲算法效率实现网络带宽的大幅度降低,来达到减少建造成本、提高网络稳健性的目的。此外,DDCPA 在故障容错性方面比 1+1+Shared 也有一定的提升,网络的生存性得到了提高。另外,该算法思想可以用于满足多链路失效(如 3 条及以上链路失效)的网络容量规划中,适用性较广。

如何兼顾算法效率与网络容量,保证网络路由规划,设计出更为合理的链路规划算法,是下一步要研究

的方向。

参考文献:

- [1] 张涛,任红涛. PTN 规划工具的基本功能及相关问题讨论[J]. 邮电设计技术,2010(3):19-22.
- [2] 陈敏. 传输网络规划与优化软件系统的设计与实现[D]. 成都:电子科技大学,2008.
- [3] 龚倩,徐荣,李允博,等. 分组传送网[M]. 北京:人民邮电出版社,2009:1-32.
- [4] 傅俊伟,李兴明,陈捷. 基于背离路径的 Kth 最短路径实用搜索算法[J]. 计算机技术与发展,2009,19(2):120-122.
- [5] 孙自翔,李兴明,陈捷. 基于 MPLS TE 的多光纤带宽适配算法[J]. 计算机技术与发展,2011,21(8):71-74.
- [6] 荣芳. 分组传送网络规划技术研究及实现[D]. 成都:电子科技大学,2009.
- [7] Choi H, Subramaniam S, Choi H. On double link failure recovery in WDM optical networks[C]//Proc of IEEE INFOCOM. New York, USA: [s. n.], 2002:23-27.
- [8] Zhang Haiyan, Igor U, Li Han. Linear Protection Switching in MPLS-TP[S]. 2011.
- [9] Liu G, Yang J, Jiang L. Multi-protocol Label Switching Transport Profile P2MP Shared Protection[S]. 2010.
- [10] Barakovic S, Barakovic J. Traffic Performances Improvement Using Diff Serv and MPLS Networks[C]//International Symposium on Information, Communication and Automation Technologies (ICAT 2009). [s. l.]: [s. n.], 2009:1-8.
- [11] ITU-T Recommendation G. 8131. Linear protection switching for transport MPLS (T-MPLS) networks[S]. 2007.
- [12] Tapolacai J, Fodor P. Class-based minimum interference routing for traffic engineering in optical networks[C]//Next Generation Internet Networks. [s. l.]: [s. n.], 2005:31-38.
- [13] Choi H S, Subramaniam S, Choi H A. On double-link failure recovery in WDM optical networks[C]//Proceedings of IEEE INFOCOM. [s. l.]: [s. n.], 2002:808-816.
- [14] Jozaa B G, Orincsay D, Kern A. Surviving multiple network failures using shared backup path protection[C]//Proceedings of IEEE ISCC. [s. l.]: [s. n.], 2003:1333-1340.

2012 CCF 中国计算机大会

第九届 CCF 中国计算机大会(2012 CCF China National Computer Congress, CCF CNCC2012)将于 2012 年 10 月 18-20 日在大连世博广场举行。CCF CNCC 是由中国计算机学会创建的系列性学术会议,已在不同的城市成功举办八届。CCF CNCC 旨在探讨计算机及相关领域最新进展和宏观发展趋势,展示中国学术界、企业界最重要的学术、技术事件和成果,使不同领域的专业人士能够获得探讨的机会并获得所需信息。CCF CNCC2012 还将有逾 100 项成果进行展览展示。CCF CNCC2012 采取网上投稿方式公开征集会议论文,征文范围涵盖计算机领域各专业。大会网站: <http://cncc.ccf.org.cn/>。