

文章编号:1007-5321(2015)06-0039-05

DOI:10.13190/j.jbupt.2015.06.009

透明 IP over WDM 网络中能效链路控制策略

陈 勇¹, 籍慧琴¹, 刘焕淋²

(1. 重庆邮电大学 工业物联网与网络化控制教育部重点实验室, 重庆 400065;

2. 重庆邮电大学 光纤通信技术重点实验室, 重庆 400065)

摘要: 在低负载时断开网络拓扑部分链路是 IP over WDM 光网络中一种有效的节能方法,但链路断开时段的选择对 IP over WDM 光网络的阻塞率和节能效果有较大的影响,对此,根据网络中 IP 流量一天中的周期性变化规律,设计了一种链路能效分时控制策略调整非峰值时间段网络拓扑连接关系,并建立整数线性规划能耗模型,设计了便于求解模型的启发式算法。仿真结果表明,与无链路断开的原始策略相比,所提策略能有效降低网络能耗;与现有的链路断开策略相比,新策略能获得更低的网络请求阻塞率。

关 键 词: 波分复用网络; 链路断开; 分时控制; 能耗; 阻塞率

中图分类号: TN929.11

文献标志码: A

Energy-Efficiency Link Control Strategy for Transparent IP over WDM Networks

CHEN Yong¹, JI Hui-qin¹, LIU Huan-lin²

(1. Key Laboratory of Industrial Internet of Things and Network Control, (Chongqing University of Posts and Telecommunications)

Ministry of Education, Chongqing 400065, China; 2. Key Laboratory of Optical Fiber Communication Technology,

Chongqing University of Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China)

Abstract: Development of networks is restricted by energy consumption. Shutting down part links is an effective energy-saving method for Internet protocol over wavelength division multiplexing (IP over WDM) networks during the period of low traffic requests. Optimization of link-off period is of great influence on the blocking probability and energy-saving effect for IP over WDM networks. According to one-day change of IP traffic requests, an energy efficiency strategy of link time-interval control (SLTIC) was proposed to change the connection state of network topology during off-peak hours. An integer linear programming (ILP) optimization model was derived to optimize the network energy consumption. And a heuristic algorithm was designed to solve the model. Simulation shows that, compared with the original algorithm without link shut, the proposed strategy can decrease the energy consumption effectively. Meanwhile, compared with switch on/off multiple links (SOFM), the proposed SLTIC can achieve a lower request blocking probability.

Key words: wavelength division multiplexing networks; link shut down; time-interval control; power consumption; blocking probability

收稿日期: 2014-09-16

基金项目: 国家自然科学基金项目(61275077); 重庆市基础与前沿研究计划项目(cstc2015jcyjA40024)

作者简介: 陈 勇(1963—), 教授, 硕士生导师, E-mail: chen Yong@cqupt.edu.cn.

IP over WDM 核心网络能耗的策略主要有:1) 能量最小化虚拟拓扑设计;2) 能量感知路由和波长分配;3) 能量感知流量工程^[1]. Coior 等^[2]指出网络中的流量具有周期性变化规律,可通过划分时段断开空闲端口降低网络能耗;Caria 等^[3]则把满足夜晚流量的拓扑设为初始拓扑;Caria 等^[4]提出了包含隐藏光旁路的闭合方案;Caria 等^[3-4]采用链路断开策略(SOFM, switch on/off multiple link)通过在非峰值负载时段断开网络拓扑中存在的并联链路来降低网络能耗,但该策略容易产生孤立节点. 随着网络拓扑复杂度的增加,阻塞率随之增大.

针对上述问题,笔者基于透明 IP over WDM 网络,提出了一种新的链路能效分时控制策略(SLTIC, strategy of link time-interval control),并建立了相应的整数线性规划优化模型(ILP, integer linear programming). 针对实际网络中节点和链路数较多将导致模型的复杂度增加难于求解的问题,设计了启发式算法. 仿真结果表明,笔者提出的策略不仅能够降低网络能耗,同时能够有效降低网络阻塞率.

1 链路能效分时控制策略

1.1 时段划分

网络中的负载随时间成周期性变化,因此可根据负载的变化调整网络拓扑,降低网络能耗. 我国运营商根据网络负载的周期性变化,划分了不同时段. 在对我国的23个省、4个直辖市、2个特别行政区、5个自治区进行统计中发现,使用率位居前3位的情况^[5-7]分别为:1) 7:00—23:00(峰值), 23:00—7:00(次日)(非峰值);2) 7:00—22:00(峰值), 22:00—7:00(次日)(非峰值);3) 8:00—22:00(峰值), 22:00—8:00(次日)(非峰值). 对3种情况求平均峰值时间段的时间长度,可得为15 h. 因此,选用7:00—22:00为峰值负载时段,22:00—7:00(次日)为非峰值负载时段.

1.2 链路切换原理

为了降低网络能耗,笔者提出 SLTIC, 该策略在非峰值负载时段到来时刻,关闭部分链路,同时避免断开链路后使网络部分节点成孤立节点;在峰值负载到来时刻,闭合断开的链路. 确定断开链路的 SLTIC 步骤为:先选择网络中度数最高节点为出节点,求该节点为根的最短路径树;在树的入节点中随机选择一个节点为根求参考路径树;在

原网络中,断开与参考树根节点相连接但在最短路径树中与此节点不相连的链路,得到的新拓扑图即为 SLTIC 策略调整后的拓扑图. 图1为 SLTIC 断开链路的原理示意图. 在图1(a)中,节点1和2的节点度数为4,为最高度数节点,随机选择节点2为出节点,求节点2为根的最短路径树,得图1(b)(图中的粗线条即为最短路径树);该最短路径树的邻居节点为1、6、7和9,随机选择节点1为入节点,求节点1为根的参考路径树,得图1(c)(图中的粗线条即为参考路径树);比较以节点2为根的最短路径树和以节点1为根的参考路径树,断开图1(c)中与根节点1相连但在图1(b)中与节点1不相连的链路1~5,得到如图1(d)所示的非峰值负载时段的调整后网络拓扑.

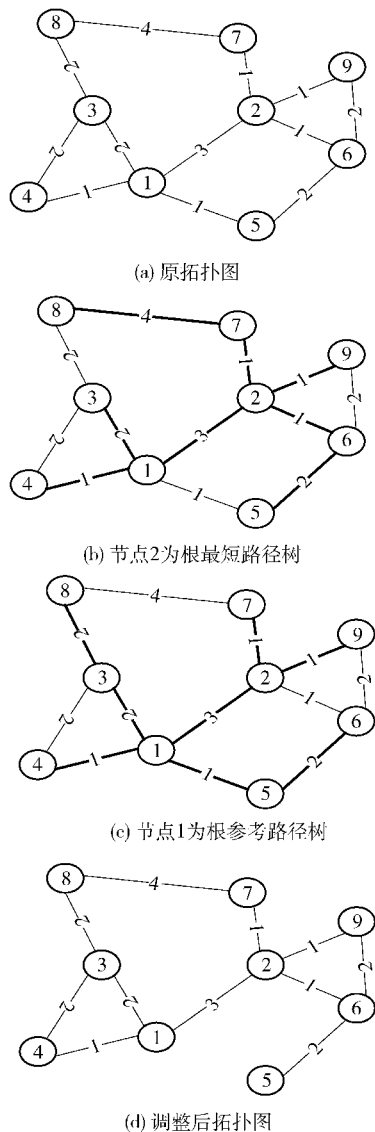


图1 链路断开策略示意图

4 仿真与分析

仿真条件:选用 NSFnet 网络拓扑,如图 3 所示,14 个节点,21 条链路,链路上的数字表示节点之间的距离,单位为 km;Original、SOFM 和 SLTIC 策略的业务疏导均采用 Liu 等^[9]提出的疏导方法。

参数设置:波长平面数为 6;波长信道容量为 STM-64 (10 Gbit/s);在 14 个节点中随机任选 1 个作为新到达请求的源节点,目的节点在剩余的节点中产生,其中目的节点个数服从 [2, 5] 的平均分布,请求到达服从参数为 λ 的泊松分布,请求的服务时间服从参数 $1/\mu$,请求所需的带宽粒度按 OC-3: OC-12: OC-48: OC-192 = 3: 3: 3: 1 产生。

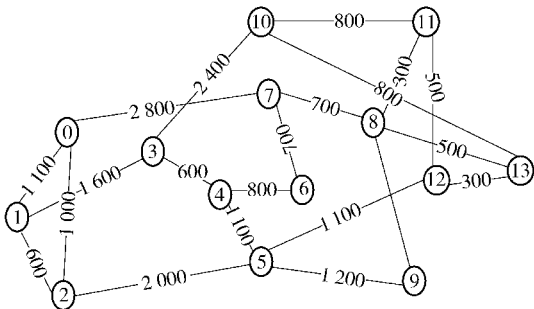


图 3 NSFnet 网络拓扑

为了验证 SLTIC 策略在节能的同时能够保证网络的阻塞率性能,笔者选用网络的请求阻塞率和能耗 2 个性能指标进行仿真与分析。

4.1 网络阻塞率

表 2 所示为采用 Original、SOFM 和 SLTIC 三种

策略,求得网络请求阻塞率随业务量的变化情况。从表 2 中的数据分析可知,业务量为 2 000 ~ 10 000 时,由于 Original 网络连通度最高,阻塞率最低。SOFM 要断开网络中存在的并联链路,造成网络连通度过低或出现孤立节点,因此其阻塞率会相应增大。笔者提出的 SLTIC 策略可以避免孤立节点的产生,网络连通度有所增加,与 SOFM 相比阻塞率至少降低了 32.9%。

表 2 不同策略阻塞率

策略	业务量				
	2 000	4 000	6 000	8 000	10 000
Original	0.025 75	0.027 16	0.027 83	0.028 38	0.030 34
SOFM	0.049 55	0.051 92	0.053 83	0.054 88	0.056 49
SLTIC	0.026 87	0.029 85	0.034 75	0.035 90	0.037 17
SLTIC 策略与 SOFM					
策略相比阻塞率下	45.8 ↓	42.5 ↓	35.4 ↓	32.9 ↓	34.2 ↓
降百分比					

4.2 网络能耗

网络中节点的能耗主要由路由器、光交叉连接设备以及转发器 3 部分组成。光纤上消耗能量主要集中在放大器上。由表 3 可知,在峰值负载时段,3 种策略能耗均相同;而在非峰值时段,采用 SOFM 和 SLTIC 2 种策略,网络能耗均能得到控制。在网络的一个进行周期中,表 3 中的总能耗为峰值时和非峰值时的能耗之和。综合表 2 的数据分析可知,笔者所提 SLTIC 策略与 SOFM 相比,仅以多消耗 4.94% 的能耗为代价得到了网络阻塞率下降约 30% ~ 50% 的效果,从能效的性价比角度来评价,SLTIC 比 SOFM 优越。

表 3 不同策略下的能耗

策略	峰值时段			非峰值时段			总时段		
	节点	光纤	网络	节点	光纤	网络	节点	光纤	网络
Original	678 300	67 950	746 250	406 980	40 770	447 750	1 085 280	108 720	1 194 000
SOFM	678 300	67 950	746 250	325 980	34 425	360 405	1 004 280	102 375	1 106 655
SLTIC	678 300	67 950	746 250	374 580	38 475	413 055	1 054 880	106 425	1 161 305
SLTIC 比 SOFM 多消耗能量的百分比/%	—			—			5.00 ↑	3.96 ↑	4.94 ↑

5 结束语

探索能效网络是未来通信网中一项很重要的工作。基于透明网络结构,根据 1 d 内网络中负载周期性变化规律,通过 SLTIC 选择断开部分链路来降低

能耗,在峰值时段又关闭链路。设计了基于 SLTIC 的启发式路由算法,有效地解决了休眠节能机制中请求阻率劣化严重的问题。在促进网络节能的同时,保证网络的质量是未来绿色通信网络能效发展的长远之路。

参考文献:

- [1] Coior A, Listanti M, Valenti A. Impact of energy-aware topology design and adaptive routing at different layers in IP over WDM networks[J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2012: 1-6.
- [2] Coior A, Listanti M, Valenti A. Distributed and adaptive interface switch off for internet energy saving[C] // IEEE Conference on Computer Communications and Networks (ICCCN), 2011: 1-8.
- [3] Caria M, Chamania M, Jukan A. To switch on or off: a simple case study on energy efficiency in IP-over-WDM networks[C] // IEEE International Conference on Performance Switching and Routing, 2011: 70-76.
- [4] Caria M, Chamania M, Jukan A. A comparative performance study of load adaptive energy saving schemes for IP-over-WDM networks[J]. Journal of Optical Communications and Networking, 2012, 4(3): 152-164.
- [5] 资费标准(移动)[EB/OL]. [2015-12-01]. <http://mobile.zol.com.cn/active/money/images/Untitled-2.htm>.
- [6] 资费标准(联通)[EB/OL]. [2015-12-01]. <http://mobile.zol.com.cn/active/money/images/Untitled-1.htm>.
- [7] 资费标准(电信)[EB/OL]. [2015-12-01]. http://gd.189.cn/internet/taocan_gh/2011/11/07/10644.htm.
- [8] Coiro A, Listanti M, Valenti A. Dynamic power-aware routing and wavelength assignment for green WDM optical networks[C] // IEEE International Conference on Communications (ICC), 2011: 1-6.
- [9] Liu Huanlin, Xue Xiang, Chen Yong, et al. An efficient dynamic multicast traffic grooming algorithm for WDM networks[J]. Photonic Network Communication, 2013, 26(2-3): 95-102.