

新型 ICT 网络中的一种动态路由波长分配算法

吴润泽¹, 汪波涛¹, 唐良瑞¹, 王一蓉²

(1. 华北电力大学电气与电子工程学院, 北京 102206; 2. 国网信息通信有限公司, 北京 100872)

摘要: 根据新一代电力 ICT 网络模型的要求, 对智能光网络技术的动态路由和波长分配策略及其对 ICT 网络性能的影响进行了研究, 提出了基于分层图模型的动态路由选择和波长分配优化算法。在不设定备用路由的情况下, 以网络链路上的可用光通道数作为链路代价, 综合考虑路由跳数, 把连接请求建立在优化可用信道数和跳数选择的光通道上, 从而使网络负载平衡的同时, 尽可能减少网络资源的占用。仿真结果表明, 所提算法能有效地降低网络阻塞率, 性能优于分别求解两个子问题的传统路由和波长分配算法。

关键词: 电力信息通信网; 波分复用; 动态路由; 分层模型; 阻塞率

A dynamic routing and wavelength assignment algorithm in novel ICT networks

WU Run-ze¹, WANG Bo-tao¹, TANG Liang-rui¹, WANG Yi-rong²

(1. School of Electric & Electronic Engineering, North China Electric Power University, Beijing 102206, China;
2. State Grid Information & Telecommunication Company Ltd., Beijing 100872, China)

Abstract: According to the requirements of novel electric information and communication network, dynamic routing and wavelength assignment strategy with its effect on ICT network performance is addressed, and a heuristic algorithm based on hierarchy graph model is proposed to solve the dynamic centralized routing and wavelength assignment problem. Without rerouting, selecting available light channel count integrating with hop number as the link optimizing goal, the connection request is established on the lightpath with most available channel number and less hop number, so as to achieve load balance and reduce the occupation of network resource as less as possible. Simulating results show that the algorithm performs better than the other existing algorithms from the viewing of decreasing blocking probability.

Key words: electric information and communication network; wavelength dividing multiplexing; dynamic routing; hierarchy model; blocking probability

中图分类号: TM71 文献标识码: A 文章编号: 1674-3415(2010)22-0048-04

0 引言

随着智能电网定义和特性的提出, 电力生产、管理等各种信息应用系统的迅速发展和广泛应用, 如何建立新一代先进、大容量、多业务、稳定的 ICT 网络是目前电力系统的重要课题。数据业务已成为电力通信网传输的主要对象。新型的电力信息通信 (Information Communication Technology, ICT) 网络结合通信领域的新技术为未来的智能电网多业务提供高速、宽带、可靠和实时的数据传输通道。新型 ICT 网络采用基于 WDM 的智能光网络 (ION) 技

术将为智能电网提供成熟可靠的宽带网络服务和动态、可靠、实时、宽带的通信资源。WDM 全光网正逐步成为在新一代电力通信骨干网的最有竞争力的候选者^[1-3]。选路和波长分配 (Routing and Wavelength Assignment, RWA) 是 WDM 光传送网中的一个重要问题^[3], 研究 RWA 问题的目的是尽可能减少所需要的波长数和降低光路连接请求的阻塞率。

RWA 问题是个 NP-C 问题^[4], 因此很多文献都是将 RWA 问题拆分成路由子问题和波长分配子问题分别加以求解。文献[5]提出了固定路由 (FR) 加 First_Fit 波长分配算法, 以及为每对节点准备两条备用路由的算法 (AR2)。文献[6]提出了 MAX-SUM (最大和) 算法, 通过计算波长容量损失, 为新的

基金项目: 中央高校基本科研业务专项资金; 国家电网科技部项目

光路建立请求分配这样的波长。文献[7]是在文献[6]的基础上提出通过计算波长的相对容量损失 (Relative Capacity Loss, RCL), 为新的光路建立请求分配波长, 它对网络中其他所有光路建立请求所造成的相对容量损失最小。

本文基于分层图模型^[8-9]提出一种新的动态路由和波长分配算法, 利用分层图一次性解决 RWA 问题。所提算法以当前网络链路上的可用光通道数作为链路代价, 同时考虑每条路由的跳数, 把连接请求建立在优化可用信道数和跳数选择的通路上, 平衡业务负载并优化资源选择和分配, 在每个波长对应的分层图中动态寻找一条最佳路由。仿真结果表明, 所提算法性能优于分别求解两个子问题的传统算法。

1 动态 RWA 算法

一些经典的波长分配算法中, 为了集中研究波长分配策略, 简化网络的控制和管理, 通常采用预先固定路由或是备用路由集的方法, 即, 先采用简单的最短路由法 (如 Dijkstra 算法) 找出最短路由, 再分配波长。但是这种算法可能会造成某些链路承载了过多的业务路由, 而另一些链路却比较空闲, 从而资源得不到合理的利用, 导致网络对波长数目需求一直很大。而掺饵光纤放大器 (EDFA) 的增益带宽及光纤中的非线性效应的限制, 使得网络中能使用的波长数目是有限的, 且随着波长数的增加, 无论是网络的运行成本还是网络的管理难度都会大大增加。

基于以上分析, 本文提出一种新的算法, 该算法不仅考虑了单一分层图中的最大路由容量和最少的转接次数要求还借助目标函数优化方法, 在可用路由中选择一条最优路由由分配给连接请求。

1.1 分层图模型

给定网络物理拓扑 $G(N, L, F, W)$, 其中 N 代表节点集; L 代表双向链路集; F 是每条链路上的光纤集; W 是每条光纤上的可用波长数。这里假定每条链路的光纤数都相同, 且每条链路都是双向的。物理拓扑映射成分层图 $LG(V, E)$ (V 表示节点集合, E 表示双向链路集合) 的过程简述如下。

将物理拓扑复制 W 份, 形成分层图中的 W 层。物理拓扑中的节点 v_i 对应各个分层图中的 $\{v_i^1, v_i^2, \dots, v_i^w\}$, 链路 e_i 对应 $\{e_i^1, e_i^2, \dots, e_i^w\}$, 且原来的双向链路变成方向相反的两条有向链路, $v_i \in V$, $e_i \in E$ 。这样, 分层图 $LG(V, E)$ 的每一层都代表一个波长, 从上到下对每一层所对应的波长进行编

号, 依次为 $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_w$ 。图 1 给出映射过程, 其中图 1 (a) 为原始物理网络, 图 1 (b) 为映射后的分层图, $W=3$, 波长分层图的每一层所对应的波长依次为 $\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3$ 。

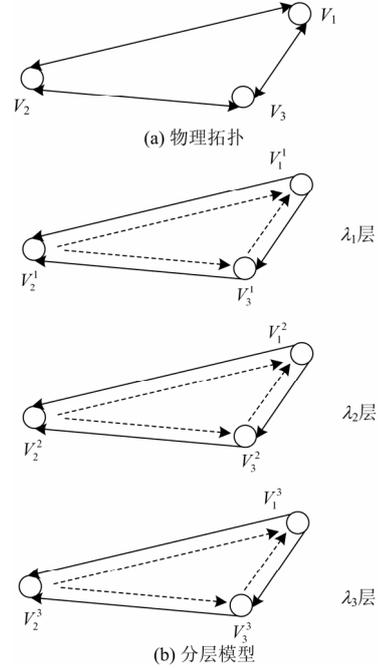


图 1 波长分层图模型

Fig.1 Hierarchy model of wavelengths

1.2 分层图内 RWA 算法

计算任意波长 $\lambda \in W$ 平面上的节点 $1 \rightarrow k$ 的路由。 h 表示节点 $1 \rightarrow k$ 路由的跳数, c_{ik} 表示链路 $(i, k) \in E$ 的可用光通道数。 $f_k^\lambda(h)$ 表示跳数为 h 时, 路由 $1 \rightarrow k$ 上的可用光通道数。 $p_k(h)$ 为一个中间量, 它表征了 $f_k^\lambda(h)$ 值, $p_k(h)$ 值越小, $f_k^\lambda(h)$ 值越大。 N 为网络节点数目, 且有

$$p_k(h) = \min \left\{ p_k(h-1), \min_{i|h_{ik} \leq h} \left\{ p_i(h-h_{ik}) + 1/c_{ik} \right\} \right\}$$

$$h = 0, \dots, N-1, \quad k = 2, \dots, N \quad (1)$$

其中,

$$h_{ik} = \begin{cases} 1 & \text{节点 } i, k \text{ 相连} \\ 0 & \text{否则} \end{cases}$$

$$p_1(h) = 0, \quad h = 0, \dots, N-1 \quad (2)$$

$$p_k(0) = \infty, \quad k = 2, \dots, N \quad (3)$$

计算路由时, 式 (1) 计算了网络中每个 h 对应路由上的 $p_k(h)$ 值, 且随着 h 的增大, $p_k(h)$ 有变小的趋势, 最终 $p_k(h)$ 会达到一个最小值, 之后

$p_k(h)$ 值将维持这个最小值。记录下 $p_k(h)$ 第一次达到最小值时所对应的跳数 h_λ 和相应的路由 r_λ ，并将此时路由 r_λ 上可用光通道数记为 $f_k^\lambda(h)$ 。

1.3 层次间 RWA 算法

由 1.2 节知，计算任一波长 λ 平面上的 $1 \rightarrow k$ 路由，可得路由 r_λ 及其对应的可用光通道数用 $f_k^\lambda(h)$ 和跳数 h_λ ，对于所有的可用波长 $\lambda \in W$ ，可得节点 $1 \rightarrow k$ 的可用路由集 R_k 。对于任意 $r_\lambda \in R_k$ ，计算 $1 \rightarrow k$ 间光通路的目标函数可描述为

$$T_{opt} = \max_{r_\lambda \in R_k} \frac{f_k^\lambda(h)}{h_\lambda} \quad (4)$$

由式 (4) 计算出 T_{opt} 的值，将与之对应波长 λ 和路由 r_λ 分配给连接请求 $1 \rightarrow k$ 。由此可知尽可能多的可用光通道被分配给了连接请求，同时保证路由跳数最短，这样就可以使得网络中的链路负载趋于平衡，而负载越平衡，网络总的平均阻塞率越小。

2 仿真结果与分析

FR 是在预定的唯一的路由上分配波长以建立光路。AR2 算法当连接建立请求到达时，按一定顺序检查各条备用路由，以寻找合适的路由并在其上分配波长，它在建立光路时，没有考虑了节点间所有可能的通路。MAX-SUM (最大和) 算法，通过计算波长容量损失，为新的光路建立请求分配这样的波长，它对网络中其他所有光路建立请求的可用波长资源影响最小。然而 RCL 算法考虑的仅是全网的可用波长数，没能综合考虑网络中的波长数和路由的长短对于网络性能的影响。

为了验证本文算法的有效性，本文在图 2 所示的两种网络拓扑下比较了本文算法与 RCL, FR, AR2 算法的性能。图 2 (a) 网络拓扑为 10 节点，16 链路的类教育网 (CERNET)。图 2 (b) 则是 4×4 格型网络。假设：(1) 全网所有节点对的业务强度相同，即支持业务为均匀业务；(2) 光路建立请求按参数为 λ 的 Poisson 过程独立的到达网络节点；(3) 光路建立后的持续服务时间服从均值为 $1/\mu$ 的负指数分布；(4) 一旦光路建立请求被拒绝，立即丢弃。为确保网络运行进入平稳状态，对网络的每个到达率都生成 10^6 个连接请求，在进行统计之前，先处理 1000 个连接请求使系统“预热”。

图 3 给出了在类教育网 (CERNET) 下，波长数 $W=4$ ，光纤数 $Fiber=4$ 时，本文算法与固定路由算法 (FR) 以及为每对节点对准备备用路由的 AR2 算法以及 RCL 算法的性能比较。从图中可以看出，

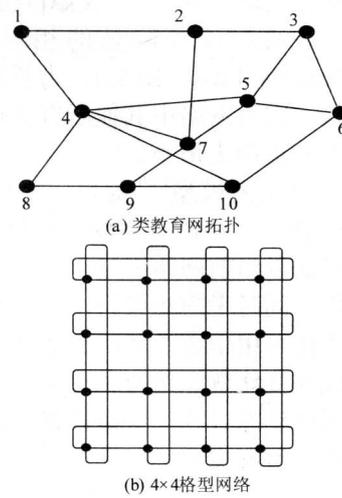


图 2 仿真实验网络拓扑

Fig.2 Simulating test network topology

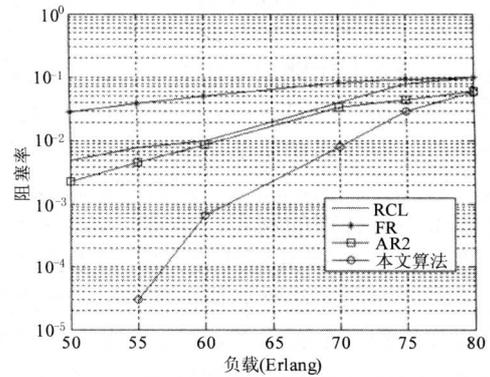


图 3 教育网中本文算法阻塞率性能与 RCL、FR、AR2 算法比较

Fig.3 Blocking probability polylines for several algorithms in CERNET topology

本文算法明显优于其他三种算法。尤其是在负载较低时，MPOA 算法对阻塞率的改善更为明显。例如，在负载同为 60Erlang 时，本文算法阻塞率是 FR 算法的 5%，是 AR2 和 RCL 算法的 31%。这是因为本文算法综合考虑了链路权重，在每个波长平面下搜索路由时把连接请求建立在可用光通道数多的通路上，同时在选路时考虑了路由跳数的影响，选择跳数较小的通路，从而能充分利用网络资源，获得较小的网络阻塞率。当负载较大时，例如负载为 80Erlang 时，本文算法和其他三种算法性能接近。这是因为在负载很高的情况下，网络中的阻塞主要是由于资源不足造成的，此时不论采取什么算法，都无法明显改善阻塞率。

图 4 给出了在 4×4 格型网络下，4 纤、4 波长时本文算法与 FR、AR2、RCL 的性能比较。从图

中可以看出, 本文算法的阻塞率比其他算法要低的多。当阻塞率为 0.01 时, 本文算法的吞吐量是 FR 和 RCL 算法的 2 倍左右, 是 AR2 算法 1.4 倍左右。结合图 3 可知, 本文算法性能既优于固定路由算法和备用动态路由算法, 又优于 RCL 算法。相同的网络资源时, 对于不同的网络拓扑, 本文算法都具有良好的性能。

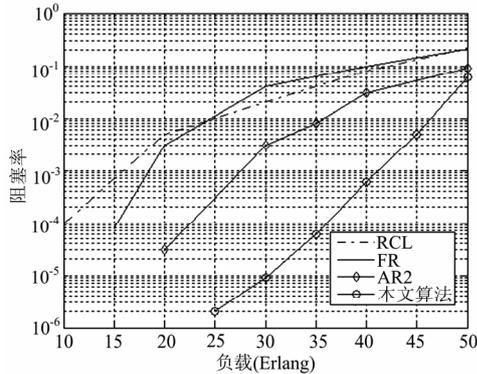


图 4 格型网中本文算法阻塞率性能与 RCL、FR、AR2 算法的比较

Fig.4 Blocking probability polylines for several algorithms in grid topology

3 结论

新型电力 ICT 网络以 WDM 技术为基础、在光层组织网络实现动态光路控制的智能传送网, 是下一代的电力 ICT 骨干传送网优选方案。基于 WDM 的 OTN 具有智能控制、多业务传送等功能, 能为智能电网的未来应用提供动态、可控的光资源。本文对基于 WDM 的 OTN 全光网中的动态路由与波长分配算法进行了深入的研究, 并提出了基于分层图的路由选择和波长分配优化算法。在不设定备用路由的情况下, 综合考虑通路容量和通路跳数, 从而使网络负载平衡的同时, 尽可能地减少了网络资源的占用。仿真表明, 本文算法在不同的网络拓扑下, 都具有很好的阻塞率性能。

参考文献

- [1] Ezhan Karasan, Ender Ayanoglu. Performance of WDM transport networks[J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1998, 16 (7) : 1081-1096.
- [2] 国网科技部. 新一代电力信息通信 (ICT) 网络模式研究[J]. 电力系统通信, 2009 (3).

Department of Science and Technology of the State Grid. Future research of a novel ICT network mode[J]. Telecommunications for Electric Power System, 2009 (3).

- [3] Ehrhardt A. Next generation optical networks and new services: an operator's point of view[C]. // ICTON 2007, Rome, Italy, 2007: 323 - 326.
 - [4] Zang H, Jue J P, Mukherjee B. A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks[J]. Optical Networks Magazine, 2000: 47-63.
 - [5] Chiu A L, Modiano E H. Traffic grooming algorithms for reducing electronic multiplexing costs in WDM ring networks[J]. Lightwave Technology, 2000, 18(1): 2-12.
 - [6] Mokhtar A, Azizoglu M. Adaptive wavelength routing in all-optical networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1998, 6 (2) : 197-206.
 - [7] Barry R, Subramaniam S. The MAX-SUM wavelength assignment algorithm for WDM ring networks[C]. //OFC97. Dallas: 1997: 121-122.
 - [8] ZHANG Xi-jun, QIAO Chun-ming. Wavelength assignment for dynamic Traffic in Multi-fiber WDM Networks[C]. //7th International Conference on Computer Communications and Networks. Lafayette: 1998: 479-485.
 - [9] WANG Xiong, WANG Sheng, Li Le-min. Provisioning of survivable multicast sessions in sparse light splitting WDM network[C]. //ICC'08. Beijing: 2008: 5286- 5291.
 - [10] 苏扬, 徐展琦, 刘增基. MPLS over WDM光互联网中多优先级标记交换路径路由算法研究[J]. 电子与信息学报, 2007, 29 (1) : 205-208.
- SU Yang, XU Zhan-qi, LIU Zeng-ji. The study on routing algorithms of multi-priority label switch path in MPLS over WDM mesh networks[J]. Journal of Electronics & Information Technology, 2007, 29 (1) : 205-208.

收稿日期: 2009-11-19; 修回日期: 2010-02-10

作者简介:

吴润泽 (1975-), 女, 博士, 从事智能光网络在电力系统中的应用技术研究; E-mail: wurunze.y@gmail.com

汪波涛 (1984-), 男, 硕士研究生, 研究方向为光网络中的 RWA 机制;

唐良瑞 (1966-), 男, 教授, 博士, 研究方向为宽带通信技术及其在电力系统中的应用。