

基于分层图的最少资源碎片AR-RWA算法

阳小龙, 刘 潇, 郑 环

(电子科技大学通信与信息工程学院 成都 610054)

【摘要】提前预留模式是保障网络计算QoS的重要手段,但提前预留引起的资源碎片对资源利用率影响很大。该文分析了当前光网络中支持提前预留RWA算法存在的问题,即没有考虑资源碎片量及其对后来到达业务请求的影响。基于分层图模型,提出了最少资源碎片波长分配算法(即LG-LRF)。该算法将资源碎片作为分层图中波长平面的链路权值,尝试在分层图模型中对路由问题和波长分配子问题一并解决,较大限度地避免波长连续性限制与资源碎片对后续业务的影响。通过仿真证明了其阻塞率、资源碎片率等性能有一定提高,适合工作于提前预留模式。

关键词 提前预留; 光网络; 资源碎片; 路由和波长分配

中图分类号 TN919.8

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2009.04.013

A Novel Advance Reservation-Based RWA with Less Resource Fragmentations Based on Layered Graph for Lambda-Grids

YANG Xiao-long, LIU Xiao, and ZHENG Huan

(School of Communications and Information Engineering, University of Electronic Science and Technology of China Chengdu 610054)

【Abstract】In Lambda-grids, advance reservation is one of important methods to guarantee QoS for grid computing applications. However, it would bring many resource fragmentations, which have greatly effect on resource utilization. This paper discusses the key problems existing in advance reservation-based RWA algorithm, i.e., not considering resource fragmentation and its impacts to new arriving traffic request. Based on layered-graph model, a heuristic routing and wavelength assignment algorithm is proposed to support advance reservation with less resource fragmentations, named Less Resource Fragmentations based on Layered Graph (LG-LRF). The algorithm directly considers resource fragmentations as link weights of layered wavelength-plane graph, and therefore, can resolve routing and wavelength assignment at the same time, and avoid the wavelength continuity constraint and some side-effects on new arriving traffic request. Simulation results show that LG-LRF outperforms the conventional heuristic RWA algorithms in terms of blocking probability of traffic requests and resource fragmentations ratio, and is more suitable for advance reservation for lambda-grids.

【Keywords】 advance reservation; Lambda-grid; resource fragmentation; routing and wavelength assignment

网络计算可通过协同任务执行和资源共享完成e-Science等数据/计算密集型应用^[1]。近几年,光网络带宽增长很快,已被作为各种网络计算应用的首选承载网络,即光网络Lambda-grids^[2]。如何为这些应用提供灵活多样的资源管理,现已成了光网络领域的研究热点之一。

在光网络计算环境下,对用户资源请求的处理常采取两种模式,即立即预留和提前预留。但由于用户请求常常是突发性地随机到达,因此在资源预留中不可避免地出现大量的资源碎片,严重影响网络资源利用率。如何有效减少资源碎片,协调提前预留与立即预留的资源冲突已成了光网络计算领域

的一个重要研究主题,为此一些文献提出了相应的解决方法。如文献[3-8]分别提出了基于用户请求的弹性预留机制以减少资源碎片,但它们主要考虑对新到达请求的重配置以满足分配要求,却没有考虑波长分配时可能产生的资源碎片及其对后来到达业务请求的影响。文献[9]给出了以分层图模型来解决RWA问题的基本思路。因此本文也采用分层图模型来解决提前预留模式下RWA问题。

实际上,提前预留模式下的RWA(即AR-RWA)若不考虑资源碎片的影响,则波长使用率和网络性能较差,因此基于分层图模型提出了最少资源碎片波长分配算法(即LG-LRF)。该算法在波长分配时,

收稿日期: 2008-12-02; 修回日期: 2009-06-17

基金项目: 四川省青年基金(09ZQ026-032); 国家863项目(2009AAZ215)

作者简介: 阳小龙(1970-),男,教授,博士生导师,主要从事宽带网络理论与技术方面的研究。

考虑了可能产生的资源碎片量及其对后来到达业务请求的影响。仿真证明了其阻塞率、资源碎片率等性能有一定提高,适合工作于提前预留模式。

1 提前预留模式下RWA问题分析

1.1 提前预留用户请求模式描述

一个提前资源预留可表示为:

$$R=(s, d, t_{request}, t_{start}, t_{stop}, bw)$$

式中 s 表示源结点; d 表示目的结点; $t_{request}$ 表示预留请求到达时间; t_{start} 表示预留资源开始占用时间; t_{stop} 表示资源占用终止时间; bw 表示请求的带宽。在没有波长变换器的情况下,由于源节点到目的节点需要经过多条链路,受波长连续性限制,每条链路必须采用相同的波长号,因此每条链路上的资源的预留情况可如图1所示。

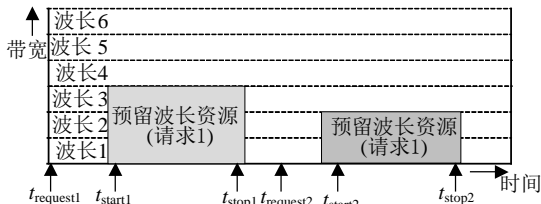


图1 提前预留模式下波长资源占用描述

由图1可知:当 $t_{request} < t_{start}$ 时,资源预留被称为提前预留AR(Advance Reservation);当 $t_{request} = t_{start}$,称为立即预留(immediate reservation, IR)。因此立即预留是提前预留的一种特例。

1.2 提前预留模式下RWA资源碎片问题

AR-RWA问题中的资源碎片,主要是由于提前预留业务的请求到达时间、预留开始时间和预留持续时间的概率分布造成,导致了WDM光网络在波长资源利用率并不高时业务请求被阻塞,如图2所示。

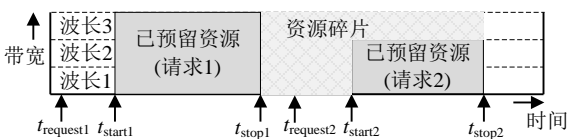


图2 资源碎片示意图

图2描述了某条链路上波长资源被预留占用的情况,在 t_{start1} 到 t_{stop1} 这段时间内,波长1、波长2、波长3的资源已被请求1预留。在 t_{start2} 到 t_{stop2} 这段时间内,波长1和波长2的资源已被请求2预留,而在 t_{stop1} 到 t_{start2} 这段时间内波长1、波长2、波长3的资源以及 t_{start2} 到 t_{stop2} 这段时间内波长3的资源还没有被预留,如果在预留结束后仍然未被预留,那么这未被预留的波长资源就成为了资源碎片。显然,资源碎片的多少影响着网络的性能。

2 基于分层图的最少资源碎片AR-RWA算法

设定光网络可抽象为图模型 $G(E, L)$, 其中 E 为顶点集, L 为链路集合。考虑多光纤情形,每根光纤支持 W 个波长,每条链路 F 根光纤。待分配请求 R_i 的预留开始时间为 t_{start} , 资源占用终止时间为 t_{stop} , 预留持续时间为 $size_timeslot$ 个单位时间片。这里的波长号是同一光纤中不同物理属性的波长,在多光纤网络中同一波长号对应多个波长。文中所用到的其他主要参数如表1所示。

表1 文中所用到的主要参数列表

$l(p)$	p_i	$\lambda(p)$	p_i	$\lambda(l_k)$	$l_i(\lambda_k)$
通路 p 所包含的链路集合	通路 p 上的链路总数	通路 p 上的可分配波长集合	通路 p 上的可分配波长总数	链路 l_k 上的可分配波长集合	波长号 λ_k 在链路 l_i 上的可分配波长数

面对一个新到达的待分配业务请求 R_i , 在WDM光网络分层图模型中,将每个波长平面的链路根据算法要求赋为不同的值,通过在每个波长平面中计算路由而得到路由候选集,从中选取一个合适路由作为结果返回,由此确定了WDM网络中的路由和波长。 $WT^{i,j}$ (波长-时间矩阵)。该矩阵为0-1矩阵,其中各元素描述了波长在某个时间片内的是否被占用;若为1,则表示该波长在该时间片已分配,反之则未分配。针对 T 个时间片的时间段内,共有 W 个波长-时间矩阵存在,在多光纤时,为 F 行 T 列矩阵,在单光纤时,为单行 T 列,用于求解该时间段内的波长-链路矩阵。LG-LRF算法详细步骤如下:

(1) 通过遍历网络中 $|WL|$ 个 $WT^{i,j}$ ($l \in L, \lambda \in W$) 矩阵,得到待分配请求 R_i 的预留持续时间内的全网波长-链路矩阵,记为 $WL(t_{start}, t_{stop})$ 。

(2) 对于网络中的每一个波长号 λ_i ($1 \leq i \leq |W|$), 遍历网络图中所有链路。若满足 $WL^{\lambda_i}(t_{start}, t_{stop}) > 0$, 则在其波长平面 η_i 中加入链路 l_k , 并比较 t_{start} 时刻前后的各波长信道上的资源碎片,选取其中最小者,并记为 ψ_{l_i, λ_k} ; 反之,波长平面 η_i 中不包括链路 l_k 。

(3) 通过步骤2得到了每个波长号 λ_i 对应的波长平面 η_i ($1 \leq i \leq |W|$), 以 ψ_{l_i, λ_k} 值作为矩阵元素得到波长-链路资源碎片 ($WL_rf[i][j]$ ($1 \leq i \leq |W|, 1 \leq j \leq |L|$)) 矩阵,分别针对每个波长平面 η_i , 以 $WL_rf[i][j]$ 值为其链路权值,运用Dijkstra算法,求解待分配请求 R_i 的起始节点和终止节点间的最短

路由 $P_i(0 \leq i \leq |W|)$ 。

(4) 在上面得到的各个波长平面 η_i 的路由 $P_i(0 \leq i \leq |W|)$ 中,如果 $P_i(i=0)$ 则阻塞请求, 并退出; 如果 $P_i(i \neq 0)$, 则选取权值最小的 $P_{w_{\text{num}}} = \min(P_1, P_2, \dots, P_w)$ 和其对应的波长号 $\lambda_{w_{\text{num}}}$ 作为路由和波长分配结果。

(5) 根据步骤4的结果, 得到通路 $P_{w_{\text{num}}}$ 所包含的链路集合 $l(P_{w_{\text{num}}})$ 。其中链路 l_i 以满足 $\psi_{l_i, \lambda_{w_{\text{num}}}} = \psi_{l_i, k} (1 \leq k \leq |F|)$ 的波长 k , 作为该波长号 $\lambda_{w_{\text{num}}}$ 在链路上 l_i 的分配波长。依次计算 $l(P_{w_{\text{num}}})$ 条链路上的分配波长, 完成波长分配。

在支持提前预留的多光纤网络中, 链路上某波长号对应的多个波长在时间轴上的分配情况并不一定相同, 因此步骤5中确定波长号分配结果后, 在资源碎片参量 ψ_{l_i, λ_k} 符合要求的波长上进行业务请求的分配。

3 性能仿真与分析

在文献[10]的FONTS平台基础上, 本文基于网络计算仿真工具GridSim中的SimJava软件包, 开发了离散事件驱动的光子网络资源调度仿真平台。仿真网络拓扑采用近似NSF网络拓扑, 如图3所示, 每个光纤6波长, 每条链路3光纤。提前预留请求仿真相关参数如表2所示, 立即预留与其相同, 只是预留请求到达窗口和资源提前预留窗口重合。业务流持续时间为1~24个时间片之间均匀分布, 因此, 业务请求平均持续时间值为12.5个时间片, 并假定LG-LRF算法中资源碎片平均为12。

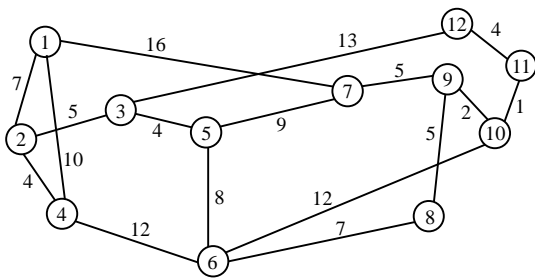


图3 仿真网络拓扑(12节点)

表2 仿真所用提前预留模型参数

预留开始时间分布	预留开始时间间隔/min	预留请求到达窗口/d	资源提前预留窗口/d	源和目的节点数	源和目的节点分布	预留单位时间片大小/min	预留时间片数分布	请求波长数
泊松分布	2.5,2,1.7,1.5,1.25,1.0,0.8,0.6,0.5	7	7	12	均匀分布	5	[1-24] 均匀分布	恒定1

将本文所提算法LG-LRF与FF和LRF的不同版本比较, 即普通版本的FF、支持AR的FF版本(即FF(AR))、普通的最小资源碎片版本LRF_min24(SH)。阻塞率性能如图4所示, 首次命中波长分配算法在FF和FF(AR)中表现差别很大, 由于资源碎片影响导致了已有RWA算法思想已不能很好工作于提前预留模式。LG-LRF_min24算法的阻塞率明显优于其他算法, 与立即预留模式下FF算法比较, 也具有明显的优越性, 通过充分利用提前预留中波长的时间轴分配信息, 既支持了可预留的光路资源, 又避免了资源碎片带来的影响。LRF_min24(SH)由于采用了最短路径路由策略, 避免了波长连续性限制, 并在波长分配时也考虑了资源碎片影响, 所以其性能较优, 但还是和LG-LRF_min24算法有一定差距。算法的阻塞率性能以LG-LRF_min24、LRF_min24(SH)、FF、FF(AR)依次递减。

提前预留模式中的一个特点就是资源碎片的影响, 图5分析了不同算法产生的资源碎片率情况。LRF_min24(SH)算法资源碎片率在高负载时明显高于LG-LRF_min24算法, 甚至接近了FF(AR)算法的阻塞率, 但是其阻塞率在图5中并没有恶化, 主要是由于LRF_min24(SH)采用了最小跳数路由, 路由中的链路数少, 减轻了波长连续性限制的影响, 缓解了资源碎片问题和WDM网络波长连续性限制的共同作用而导致网络性能恶化。LG-LRF_min24算法的资源碎片率, 在低负载时只是略高于LRF_min24(SH), 但在阻塞率上却大大优于LRF_min24(SH)算法, 因此, LG-LRF_min24算法达到了预先的效果, 更大程度上地缓解了资源碎片和波长连续性限制的相互影响, 降低了由于资源碎片引起波长不连续性的可能。算法的资源碎片率以LG-LRF_min24、LRF_min24(SH)、FF(AR)依次递增。

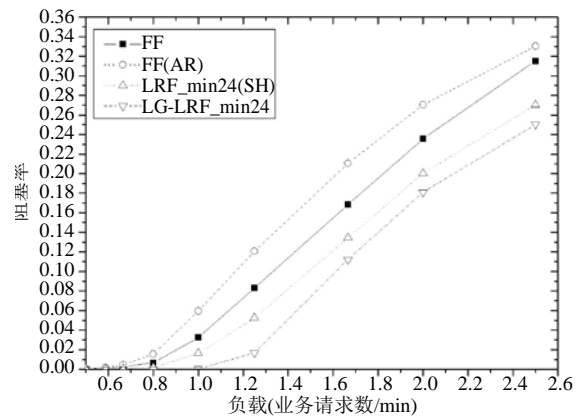


图4 各算法阻塞率比较

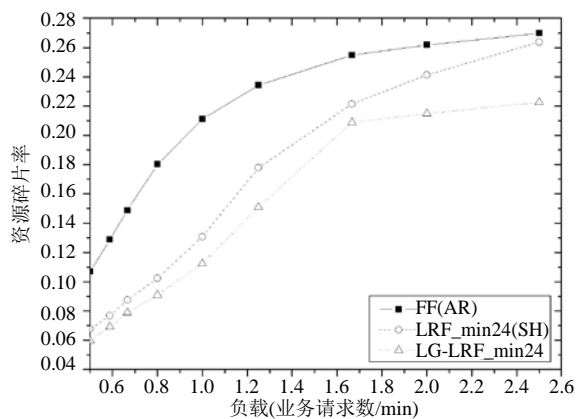


图5 各算法资源碎片率比较

前面已提到仿真业务流的平均请求持续时间为12.5个时间片,因此,理想的算法公平性应该是接收相同个数的持续时间为1~24业务请求,其平均值为12.5。这里对不同算法的这一公平性进行了对比,仿真结果如图7所示,十字横线为通过统计业务源而得到的业务请求平均持续时间,包括了被直接拒绝的请求情况,近似等于12.5。LG-LRF_min24算法的公平性明显优于其他算法,LRF_min(SH)算法的公平性次之,在高负载时接近于LG-LRF_min24。算法的公平性以LG-LRF_min24、LRF_min(SH)、FF(AR)依次递减。

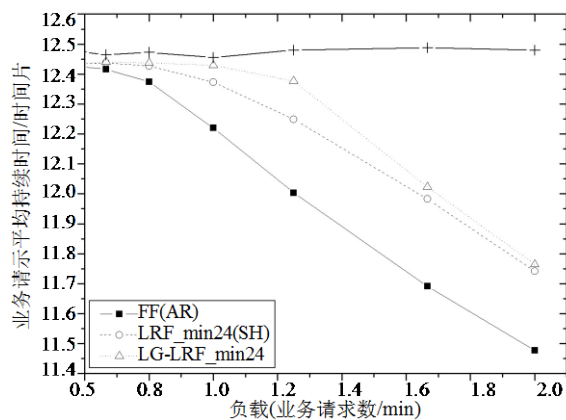


图6 各算法公平性比较

4 结论

提前预留模式是保障网络计算应用的服务质量和协同工作需求的重要手段,但其引起的资源碎片对资源利用率影响很大。在已有对网络计算下光网络资源提前预留研究中,主要是关注控制面技术和用户请求的弹性调度以缓解资源碎片影响,很少关注资源碎片对建立光路时的路由和波长分配(RWA)算法的影响。本文分析了资源碎片和波长连续性限制的相互作用,在较少资源碎片时,RWA算法性能也可能并不理想。考虑资源碎片的参量作为分层图

中波长平面的链路权值,尝试在分层图模型中对路由子问题和波长分配子问题一并解决,较大限度地避免了波长连续性限制与资源碎片的共同作用。

本文的LG-LRF算法具有以下优势:(1)与目前提前预留中普遍采用的最短路径路由和首次命中(First-Fit)波长分配RWA算法比较,其阻塞率、资源碎片率等性能有很大提高,适合工作于提前预留模式;(2)最小跳数路由(Shortest-Hop)受波长连续性限制较轻,与提前预留中采用最小跳数路由的RWA算法比较,性能也有较大提高,缓解了资源碎片对波长连续性限制的影响;(3)在相同业务流背景下,阻塞率等性能优于立即预留中的最短路径路由和首次命中(FF)波长分配RWA算法,在支持光路资源预留的同时,保障了网络的性能。

参考文献

- [1] FOSTER I, KESSELMAN C, TUECKE S, et al. The anatomy of the grid: enabling scalable virtual organizations [J]. International Journal of Supercomputer Applications, 2001, 15(3): 200-222.
- [2] DE FANTI T, LAA T C D, MAMBRETTI J, et al. TransLight: a global-scale LambdaGrid for e-Science [J]. Communications of ACM, 2003, 46(11):34-41.
- [3] GUERIN R, ORDA A. Networks with advance reservations: the routing perspective[C]//Proc of INFOCOM 2000. TelAviv, Israel: IEEE, 2000.
- [4] BURCHARD L O, HEISS H U, ROSE C A. Performance issues of bandwidth reservations for grid computing[C]//Proc of 15th Symposium on Computer Architecture and High Performance Computing. Los Alamjtors, USA: IEEE Computer Society, 2003.
- [5] WU L, XING J, WU, C et al. An adaptive advance reservation mechanism for Grid computing[C]//Proc of 6th PDCAT. Dalian, China: IEEE, 2005.
- [6] NAIKSATAM S, FIGUEIRA S. Elastic reservations for efficient bandwidth utilization in LambdaGrids[J]. Future Generation Computer Systems, 2007, 23(1): 1-22.
- [7] NAIKSATAM S, FIGUEIRA S. Analyzing the advance reservation of lightpaths in lambda-grids[C]//Proceedings of the 5th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid. Cardiff, UK: IEEE, 2005.
- [8] ZHENG JUN, MOUFTAH H T. Routing and wavelength assignment for advance reservation in wavelength-routed WDM optical networks[C]//Proc of ICC'2002. New York: IEEE, 2002.
- [9] CHEN C, BANERJEE S. A new model for optimal routing and wavelength assignment in wavelength division multiplexed optical networks[C]//Proc IEEE INFOCOM'96. San Francisco: IEEE, 1996.
- [10] LAVIAN T, HOANG D. A platform for large-scale grid data service on dynamic high-performance networks[C]//The First Workshop on Networks for Grid Applications (ICST/IEEE Gridnets). San Jose, USA: IEEE, 2004.

编辑 税红