

文章编号:1672-058X(2011)06-0608-06

WDM 光网络中的 RWA 分析

王盈瑛

(盐城师范学院 信息科学与技术学院, 江苏 盐城 224002)

摘要:智能光网络被认为是下一代高速广域骨干网的最具竞争力的候选方案,代表了下一代光网络的发展方向。路由选择和波长分配(RWA)是智能光网络中的一个关键技术,它是指网络某对节点间有光路建立请求时,如何寻找从源节点到目的节点的路由并在路由上分配波长。优化光通道的选路和波长分配(RWA)是网络设计的核心问题,其主要任务是寻找一条合适的光路并为之合理地分配波长,使有限的资源充分发挥作用,以提供尽可能大的通信容量。

关键词:WDM 光网络;RWA 算法

中图分类号:TP421.5

文献标志码:A

波分复用传输技术(Wavelength Division Multiplexing, WDM)传输系统通过 OADM、OXC 节点设备联网组成可重构的光网络,网络是以波长通道为基本单位面向连接的。RWA 是指在光网络上为光路连接请求寻找源节点到目的节点的路由并给这个路由分配空闲的波长。

作为通信网络物理底层的光网络类似于电路交换网络,光网络为客户提供以波长通道为基本单位的光路连接。在传统的电路交换网络中,所有连接的电路交换都只在空间域进行,因而都是平等的而且完全一样。然而,如果在光网络中所有光路连接都是平等的而且完全一样,则光交换必须在空间域和波长域同时进行,节点则必须具备完全的波长转换能力。由于波长转换技术和成本的限制,节点不可能也没有必要具备完全的波长转换能力,通常网络节点完全无波长转换能力,或只具备部分波长转换能力,或网络的部分节点具备波长转换能力,因此,光路连接存在波长连续性限制因素,RWA 是光网络特有的问题。波长路由光网设计的可行性在很大程度上依赖于网络满足通信要求时所需要的波长数目,因而对于网络波长需求的研究也就显得特别重要。

1 WDM 光网网络拓朴模型

当前,传送网络正在发生深刻的变化。一方面,光电器件的飞速进步和数字封装技术的标准化将会大大加快光传送网的发展,并对当前的传送网络带来巨大的影响;另一方面,各个运营公司采取了不同的网络拓朴或技术建设自己的网络,出现了技术方案的多元化趋势,SDH 网络和 WDM 网络都出现了一些新的特点。

基于波分复用和波长路由技术的波长路由光网(WRONs)是实现未来宽带网络的一种富有前景的技术。

波长路由在光网中具有两个显著的特点:(1) 波长决定了光信号的路径,若从一给定的结点中发送多个波长信号,它们可以到达不同的目的地;(2) 由于每个波长信号均被限制于特定的路径,因此允许同一波长在不同路径中重用(即波长重用),只要这些路径不共存于同一光纤链接中。在波长路由光网中,终端结点之间通过光通道(light path)进行通信,每条光通道分配一个波长,如图 1 所示。光通道的建立是通过配置

收稿日期:2011-03-20;修回日期:2011-04-25.

* 基金项目:江苏省自然科学基金(BK2010293).

作者简介:王盈瑛(1973-),女,江苏启东人,讲师,硕士研究生,从事计算机应用研究.

网络中的路由结点而实现的。

2 WDM 传输网的 RWA 分析

2.1 WDM 中 RWA 的特性分析

根据不同的分类标准,RWA 算法可分为不同的类型。主要有根据网络承载的流量类型分为静态算法和动态算法,根据解决问题的不同方式分为分解算法和并行算法。

(1) RWA 静态算法与动态算法。

根据光网络承载的流量类型的不同,分为静态流量、动态流量,RWA 算法可以分为静态 RWA 算法、动态 RWA 算法。静态 RWA 算法对路由的选择不随时间的变化而变化。动态的 RWA 算法实时地根据可用网络资源按需进行路由选择和波长分配。静态 RWA 算法实际上是对光网络中配置的优化。在动态业务条件下,要求网络有高的灵活性和有效性,动态 RWA 是首选方案,动态 RWA 算法的优化目标是在给定的网络资源情况下,实现较低的光路连接阻塞率。

(2) 分解算法与并行算法。

根据解决问题的模型不同,RWA 算法可以分为以传统电路交换网络无向图模型为基础的 RWA 分解算法和以波长分层图模型为基础的 RWA 并行算法。

分解算法是把 RWA 分解为路由选择和波长分配两个子问题。首先为光路连接请求计算最短路由,然后在路由上分配波长。当在路由上没有空闲的波长通道,则再计算第二路由,分配波长,如此下去。程序将重复多次(一般有次数的限制)直到找到一个连续波长的光路或者对所有的路由找不到可以分配的波长而结束程序,导致光路连接请求被拒绝。对于规模较大的网络,这类算法的计算量很大。

并行算法利用了光网络的多波长特性建立波长分层图模型,分层图模型是指把全光网络物理拓扑复制多份。每一份为一层,对应有限波长集合 w 中的一个波长。应用分层图模型能够简化动态 RWA 问题的复杂性,凡是边不相交的路径都能保证物理光网络中路径的波长连续性限制。因此,RWA 可以在波长分层图模型中简单地为光路连接请求采用最短路径算法就可以同时解决波长分配问题。

2.2 RWA 策略对网络性能的影响

路由选择策略的目的是为新到达的业务在业务接入点间选择一条优化的物理路由,在给定网络和连接建立需求的情况下,根据一定的算法或策略找到连接源节点与目标节点之间的合适的连接路径,使连接请求得到满足,并且使网络资源得到充分地利用。

对于路由策略,通常是基于最短路由进行选取。目前提出的路由问题的解决方案通常可以包括固定路由选择策略^[1]、固定备用路由选择策略^[2]、自适应的备用路由选择策略^[3]。固定路由选择策略优点是简单、速度快,但是阻塞率较高;固定备用路由选择策略的网络业务阻塞率低,具有故障恢复能力;自适应的备用路由选择策略阻塞率同前两种方案相比最低,但时间复杂度高,因此在采用适应性路由方案时应当综合考虑性能和效率两个方面的需求。

资源分配策略对网络性能有重要影响。对于光网络的 RWA 算法,计算最短路由通常采用狄杰斯特拉(Dijkstra)算法。对于光网络来说,可以采用电路交换网络应用的路由策略,但必须考虑光网络的特性。链路在空间域和波长域可以为路由提供不同的遵循最大重用、最小重用和随机重用的 3 种原则。在为一对节点选择路由的同时还要为其分多个选择,其搜索的顺序有:首次命中、随机搜索、最少使用、最常使用等。波长分配通常配波长,这里存在着是路由选择优先还是波长分配优先之间的选择,波长优先策略是指对给定的波长在变化到另一波长之前在所有的可能路由中搜索一条路由,路由优先策略是指对给定的路由在变化到另一路由之前在所有的波长中搜索可用波长。对于多光纤网络,链路在空间域还存在多条光纤之间的选择,存在光纤优先、波长优先、路由优先的排列选择。

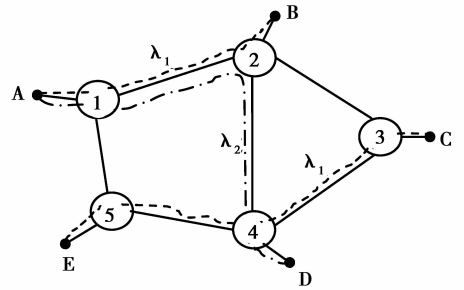


图1 WDM 光网络拓扑模型

3 经典 RWA 算法分析

在动态 RWA 中,各节点间建链请求和拆链请求的到达都是随机的。当节点收到连接加你请求后,根据当前网络的状态信息,实时地为连接选择路由并分配波长,建立光路连接^[4]。如果网络资源不足以支持连接的建立,则此请求将被拒绝,这种情况称为阻塞。在动态 RWA 问题中,路由波长分配算法的阻塞率是衡量此算法优劣的重要指标。由于动态 RWA 问题是 NP-C 问题,因此,一般都将其拆分为路由和波长分配两个子问题,以简化求解。

3.1 经典路由选择策略及性能分析

路由选择从整体上讲可以划分为基于全网信息和基于局部信息两种方式。所谓基于全网信息是指作出路由决策的节点维护着全网每一条链路的资源信息。这种方式既可适用于集中式控制的网络,也可适用于分布式控制的网络。基于全网信息的路由策略是基于端到端的通路来选择路由的,而基于局部信息的路由方式是以逐跳方式确定路由的。与基于全网信息的路由策略相比,基于局部信息的路由策略更为灵活,具有很强的可扩展性,但其缺点是连接建立的时间较长,信令过程比较复杂。目前,基于全网信息的路由方式是一种较为成熟的路由策略。以下为这种策略下的几种典型算法。

(1) 最短路径算法(Dijkstra 或是 Floyed)。

用表示 $p(s, d)$ 表示一条从源节点 s 到目的节点 d 的通路, $P(s, d)$ 为所有 $p(s, d)$ 的集合。用 L 表示通路的总长度,则算法根据下式确定路由:

$$p^* = \min_{p \in P} (L(p(s, d))) \quad (1)$$

(2) 最小负载路由(LLR, Least Loaded Routing)。

如果我们用 l 表示一条链路,用 p 表示一条端到端的通路, w 表示某一波长, W 表示多有波长的集合,当前的网络状态为 ψ 。用 $c(\psi, l, w)$ 表示 ψ 状态下链路 l 上的波长 w 的可用带宽,则 LLR 将根据下式确定路由波长对:

$$(w^*, p^*) = \max_{(w, p)} \min_{l \in p} c(\psi, l, w) \quad (2)$$

(3) 最小阻塞通路优先(FPLC, First Path Least Congest)。

选择可用波长数最多的通路建立连接,如下式:

$$p^* = \max_p \left[\sum_{w \in W} \min_{l \in p} c(\psi, l, w) \right] \quad (3)$$

3 种算法中,最短路径法计算量最小,实时性能最高,但是对没考虑网络资源分配,有可能造成资源的浪费。最小负载和最小阻塞通路优先都是通过计算当前的通道容量来均衡业务,降低网络的阻塞概率,但是由于网络状态处于不停的变化当中,算法要求路由服务器不停刷新网络状态信息,在大型网络上将造成网络通信开销的增大。

3.2 经典波长分配策略及性能分析

以下是国际上已经提出的典型的几种波长分配算法。

(1) 随机分配(Random Assignment; RA)。

随机分配算法的思路为:首先遍历所有波长,确定在选定路由上的可用波长集合,接着从可用波长集合中随机等概率地选取一波长。随机分配算法不考虑当前的网络资源的占用情况,所以时间复杂度低。由于需要遍历所有波长以确定可用波长集合,其时间复杂度可简单地用 $O(w)$ 表示,其中 w 为光纤中的服用波长数。但其对网络性能的改善不明显。

(2) 首次命中(First-Fit; FF)。

首次命中算法在网络规划阶段,所有的波长都被统一编号,接着选用可用波长集中编号最小的波长来建立光路。和随机算法一样,FF 算法也不考虑当前的网络状态,由于是按顺序检查波长集合,将发现的第一个空闲波长分配给呼叫,其时间复杂度为 $O(w)$ 。从文献 4 的比较结果看,FF 算法的阻塞性能要好于随机分配,而时间复杂度的最差情况才与随机分配相同。

(3) 相对容量损失(Relative Capacity Loss;RCL)。

RCL 方法为对所有波长,一次计算为该通道分配该波长后,其他每条通道在此波长上降低的可用信道数与其相应的可用信道总数的比值,累加此比值,从中选定比值最小的波长。公式表示如下:

$$\min_{\lambda \in A(p^*)} \sum_{p \in G(p^*)} \frac{U(\sum_{l \in L(p) \cap L(p^*)} D(L_c(l, \lambda), p_c(p, \lambda)))}{\sum_{\lambda} p_c(p, \lambda)} \quad (4)$$

(4) 最小影响(Least Influence;LI)。

LI 算法为新业务在选定路由上分配波长时是选择对全网影响最小的波长。其过程为首先计算网络中与新业务相关的业务在新业务选定路由上各波长遭遇的瓶颈链路数,接着选择具有最小瓶颈链路总数的波长。算法公式表示如下:

$$\min_{\lambda \in A(p^*)} \sum_{p \in G(p^*)} \sum_{l \in L(p) \cap L(p^*)} D(L_c(l, \lambda), P_c(p, \lambda)) \quad (5)$$

(5) 相对最小影响(Relative Least Influence;RLI)。

这种算法是在最小影响算法的基础上,将各种相关业务在各波长的瓶颈链路数除此业务的可用信道数,再将此比值累加,选择具有最小累加值的波长。

从以上分析可以看出,RCL 和 LI 各自考虑了某一方面的网络状况,RCL 算法考虑了受波长分配影响的通道的可用信道数,而 LI 算法则考虑了实际网络中相关业务的公共链路包含多条瓶颈链路的情况。因此,为了弥补 RCL 和 LI 算法的不足,RLI 算法结合了 LI 和 RCL 的优点,即先采用 LI 算法的思路得到一个绝对的影响值,再将该值去除以受波长分配影响的通路的可用信道数,从而得到一个最终作为判据的相对影响值。由于 RLI 算法更精确地描述新建光路对网络的影响,据此进行的波长分配有助于降低全网的阻塞率,改善公平性。算法公式表示如下:

$$\min_{\lambda \in A(p^*)} \sum_{p \in G(p^*)} \frac{\sum_{l \in L(p) \cap L(p^*)} D(L_c(l, \lambda), P_c(p, \lambda))}{\sum_{\lambda} P_c(p, \lambda)} \quad (6)$$

在以上提出的算法中,性能较好的算法为 RCL 和 RLI 算法。在 RCL 算法中,当分配波长 λ 给 p^* 时,优化目标中考虑了相对的容量损失,因此能区分 p^* 的所有相邻固定路由中具有相同的容量损失的情形,相对比值比绝对值更准确的描述了网络状态。因此,RCL 算法优于在其之前的算法。RLI 算法在 RCL 算法的基础上,记录了当分配波长 λ 给 p^* 时,所有瓶颈链路造成的影响的绝对值,因此,RLI 算法描述的网络状态比 RCL 更精确,其性能也更优于 RCL 算法。

以上列举的几种比较成熟的路由和波长分配算法,虽然都在某一个或几个指标上有着明显的优势,但是,路由和波长分配本质上是寻找光通路的问题,是一个整体,把路由和波长分配分开考虑的算法虽然有效的降低了求解的复杂度,但是却难以得到全局最优解^[5]。因此,另一类算法就尝试把路由和波长分配结合起来考虑,这类算法建立的基础是一个新的模型-分层图模型。

4 RWA 中的分层图模型

应用分层图模型(MGM, Multilayer Graph Model)能够实现路由选择和波长分配的并行计算。最初的分层图模型由 banerjees^[5]提出的,其模型结构如图 2 所示。

假设网络的物理拓扑以无向图 $G(N, E, W)$ 表示,其中 N 为顶点集,表示光交叉连接节点 OXC 。 E 为边集,表示结点间的双向光纤链路。 W 为可复用波长集, $W = \{\lambda_1, \lambda_2, \lambda_3, \dots, \lambda_{|W|}\}$ 。假设 OXC 结点没有波长转换功能。分层图 $LG(V, L)$ 就是把网络拓扑中的全光网部分复制 $|W|$ 份,每一份为一层,对应有限波长集 W 中的一个波长 λ_i 。每个接入结点被复制成两份,一个作为发送结点,有 $|W|$ 个有向链接分别指向与节点直接相连的复制路由结点;另一个为接收结点, $|W|$ 个有向链接分别从对应的 $|W|$ 个复制路由结点指向接收节点。 $G(N, E, W)$ 到 $LG(V, L)$ 的映射如图 2(a)(b)所示:图中 A, H 结点为接入结点, B, C, D, E, F, G 为全光网部分的全光路由结点。其中 $|V| = |N| \times |W|$, $|L| = 2 \times |E| \times |W|$ 。

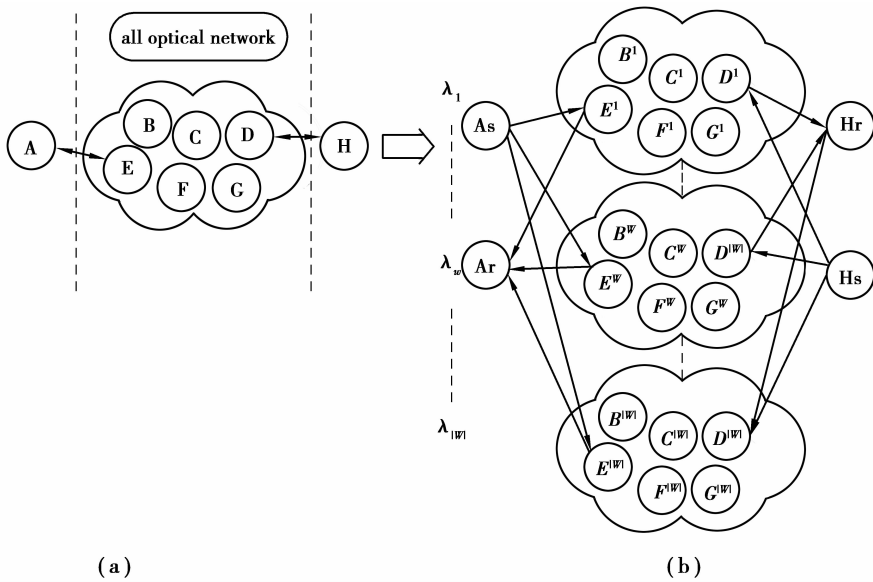


图 2 分层图模型

应用分层图模型,可以明显简化动态 RWA 问题的复杂性。从模型中可以看出,凡是边不相交的路径都能保证物理光网络中路径的波长连续性。因此,虽然网络规模扩大了 $|W|$ 倍,但是分层图模型屏蔽了多波长复用的影响,把路由和波长分配转化为纯路由问题,只要在等效的分层图中找到一条最佳路由,就同时解决了路由选择和波长分配。

目前在分层图模型中,一般都是先定义每一条链路的选路代价,它可以由多个因素决定:如链路物理长度、业务强度、资源利用率等,然后根据最短路径法求得源节点与目的节点之间全局代价最小的一条通路为最终路由。这种算法实现起来比较简单,性能也较好。但是,分层图模型不支持波长变换,算法不适应支持波长变换的 ASON 网络,而且算法也无法应用于分布式计算的应用场合,只能由集中式的路由服务器实现。因此,这就要求路由节点具有全局网络状态信息,且信息必须频繁地刷新否则不能正确地反映网络的变化。对于大规模网络,分层图模型需要大量的通信开销;当涉及多个限制时,能造成源节点的计算开销过大。

5 结束语

主要对 WDM 光网的 RWA 特性研究,分析了光网络的拓扑结构,探讨了 WDM 光网波长分配与路由策略,从而进一步明确了 RWA 算法的研究思路与研究方向。

参考文献:

- [1] KOVACEVI C, ACAMPORA A. On wavelength translation in all-optical networks[J]. INFOCO 1995(2):413-422
- [2] ALANYALI M, AYANOGLU E. Provisioning algorithms for WDM optical networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(5):767-778
- [3] 徐世中, 李乐民, 王晨. 多光纤波分复用网动态路由和波长分配算法[J]. 电子学报, 2000, 28:24-27
- [4] 顾畹仪. 光传送网[M]. 北京:机械工业出版社, 2003
- [5] 彭燕妮. 基于遗传算法的 MPLS 网络优化研究[J]. 重庆工商大学学报, 2005(5):37-40

The Study of RWA in WDM Optical Networks

WANG Ying-ying

(School of Information Science and Technology, Yancheng Teachers University, Jiangsu Yancheng 224002, China)

Abstract: The intelligent optical network is considered as the most competitive candidate for next generation high-speed backbone network and represents the development direction of next generation optical network. RWA is a key technology in the intelligent optical network, which aims to find the path from original node to objective node and to assign wavelength on this path when request is established by lightpath between a pair nodes of a network. The core question for network design is to optimize optical channel path and wavelength assignment, and its main task is to find a proper lightpath and to reasonably assign wavelength for it so that the limited resources can be sufficiently utilized to provide communication capacity as large as possible.

Key words: WDM optical network; RWA algorithm

责任编辑:代小红
校 对:田 静

(上接第 597 页)

Review of Regime-Switching Volatility Model of Financial Data and Its Research Progress

GUO Yue¹, WANG Na², JIANG Hong-lan¹

(1. College of Mathematics and Statistics, Chongqing University, Chongqing 400044, China;
2. School of Management Science, Chengdu Institute of Technology, Chengdu 610059, China)

Abstract: The regime-switching volatility models of financial data are reviewed from the combination of Markov-Switching Model, Markov Mixture Model and Markov-Switching ARCH Model, and this regime-switching volatility model overcomes the shortcomings of those conventional models including ARCH family, in which volatility persistence is overestimated and regime switching can not be realized.

Key words: Markov-Switching Model; mixture density; Markov-GARCH Model

责任编辑:李翠薇