

一种稀疏波长转换光网络中的波长分配算法

李艳春, 刘方爱

(山东师范大学 信息管理学院, 山东 济南 250014)

摘要:研究了具有波长转换功能的 WDM 光网络的分类以及已有的几种波长分配算法, 分析了波长分配算法的一般流程。文中以波长变换次数最少做为所提出的波长分配算法的主要优化目标, 根据 WDM 光网络中的节点是否具有波长转换的功能, 结合等价光路由替换的思想, 提出了在稀疏有限波长转换光网络中的一种启发式的波长分配算法。仿真实验表明, 当光网络中的连接请求量较大时, 该算法的阻塞率低于已有的一些波长分配算法, 连接能力有了较大提高。

关键词:波分复用光网络; 路由与波长分配; 光通道; 波长转换

中图分类号: TN913; TP301.6

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2006)03-0066-03

A Wavelength Assignment Algorithm for Optical Networks with Sparse-Limited Wavelength Conversion

LI Yan-chun, LIU Fang-ai

(Information and Management School, Shandong Normal University, Ji'nan 250014, China)

Abstract: Discusses three kinds of optical networks with wavelength conversion and some presented wavelength assignments. Based on node's functions and equivalent light-route, proposed a heuristic WA which minimize the number of wavelength conversion for WDM optical networks with sparse-limited wavelength conversion. The analytical and simulation results show that when the traffic is heavy, the proposed WSTF algorithm can provide a much lower blocking probability than some other previously proposed WA algorithms.

Key words: WDM optical networks; routing and wavelength assignment; lightpath; wavelength conversion

0 引言

基于波分复用(Wavelength Division Multiplexing, 简称 WDM^[1])和波长路由技术的全光通信网络具有带宽资源丰富、性能优越的显著特点, WDM 多波长光网络可以满足当前和未来通信业务量迅速增长的需求。

在 WDM 光网络中, 一对通信节点在进行数据传输之前必须建立连接, 即建立一条从源节点到目的节点的光通道。决定光通道的问题可以分为两个相关的子问题: a. 决定从源节点到目的节点的一条光路由; b. 为光路由上的每条链路分配一个波长。即所谓的路由及波长分配(Routing and Wavelength Assignment, 简称 RWA)问题。

在无波长转换器的光网络中, 波长分配必须遵守波长连续性限制, 即从源节点到目的节点光路由中所有链路上的波长必须保持不变(波长通道 WP, wavelength path)。如果光路由上无满足此条件的波长存在, 则该路由被阻

塞。为了克服这一限制, 降低网络的阻塞率, 在光网络的不同结点上引入了波长转换器, 使得一条光路由上不同的链路可以使用不同的波长(虚波长通道 VWP, virtual wavelength path)。所以, 引入波长转换技术, 可以实现波长的再利用, 更加有效地进行光通道的建立, 从而提高网络的灵活性和可扩充性。

1 波长转换光网络分类

(1) 完全波长转换光网络。

若 WDM 光网络中的每个节点都具有完全的波长转换能力, 即每个节点输入端的任意波长可以转换成输出端的任意波长, 这样的网络称为具有完全波长转换能力的网络。在这样的网络中, 只需要考虑路由问题即可, 因为只要光路由上的每段链路有一个空闲波长, 则可实现波长分配, 建立光通道。

(2) 有限波长转换光网络。

由于波长转换技术的限制, 节点的波长转换器为有限波长转换节点, 即只能完成从输入波长到某一(些)输出波长之间的转换。这样的波长变换光网络称为有限波长变换网络。

(3) 稀疏波长转换光网络。

指波长转换器的数目有限, 即光网络中仅有某些节点

收稿日期: 2005-06-17

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60373063); 山东省自然科学基金资助项目(Y2002G03)

作者简介: 李艳春(1975—), 女, 河北怀安人, 硕士研究生, 研究方向为 WDM 光网络、并行算法; 刘方爱, 博士, 教授, 研究方向为并行处理、互连网络。

具有完全或有限的波长转换能力。根据已有文献分析,经过一定的优化,稀疏波长变换网络的性能可以接近完全波长变换网络^[2]。文中要讨论的稀疏波长转换光网络中,具有波长转换能力的节点为有限波长转换节点。

为了评价网络性能,引进两个参数:转换密度 q 与转换能力 c 。转换密度表示具有波长转换能力的网络节点所占的比例,即 $q = \frac{|V_c|}{|V|}$, ($0 \leq q \leq 1$), 这里 $|V_c|$ 是支持波长转换的节点数目, $|V|$ 是网络中总节点数目。转换能力表示波长转换的程度,它等于可被转换的波长的最大数目 C 与光纤中复用的总波长数目 W 之比,即 $c = \frac{C}{W}$, ($0 \leq c \leq 1$)。

2 已有的波长分配算法研究

(1) 波长连续分配算法 WCL (Wavelength Continuous Lightpath)。

从源点到目的节点间的通路上只使用某一个连续的波长。如果没有满足此要求的波长,则尽管光路由上的每段链路上都有空闲波长,此光路由仍被阻塞,光通道建立失败^[3]。这种算法最简单,适用于无波长转换器的光网络。

(2) 首先适配波长分配算法 FF (First-fit)。

光网络中的波长被按照某个特定的顺序从高到低进行排列,编号低的波长比编号高的波长优先分配给光路由。当请求到达时第一个可用的编号,最低的波长即被选中,建立光通道。在有波长转换能力的光网络中,波长选择必须遵循 WCS (Wavelength-Converter-Saving) 限制,即在前一段链路上使用的波长在本段链路上具有最高优先权。这一限制目的是尽可能地保留连续波长段,减少波长转换器的使用。如果无空闲波长或有空闲波长但不能进行转换,则算法失败。

(3) 回溯 FF 算法。

此算法类似于 FF 算法,但它具有回溯寻找能力。如果在某些链路中没有空闲波长或有空闲波长但不连续,则退回寻找,返回到源节点并试图获取另一个波长,以建立光通道。此方法重复直至寻找到一条光通道或所有的可选波长被逐一试过。

此外,在文献[4~6]中,还提到 the Least-used WA, the Most-used WA, the MaxSum WA 等多种波长分配算法。

3 一种新的波长分配算法

3.1 算法描述

源节点到目的节点的路由选择部分采用备选路由策略,即在有连接请求的节点间,利用 Dijkstra 算法决定 K 条可供选择的较短路径,并按一定的顺序进行优先级排列,当优先级高的光路由发生阻塞时,可依次从备选路由中动态选择一条并分配波长。在波长分配部分,基本思

路为:a. 为连接请求建立波长通道;b. 对无法建立波长通道的连接请求建立虚波长通道。图1为动态连接请求波长分配算法的流程图。

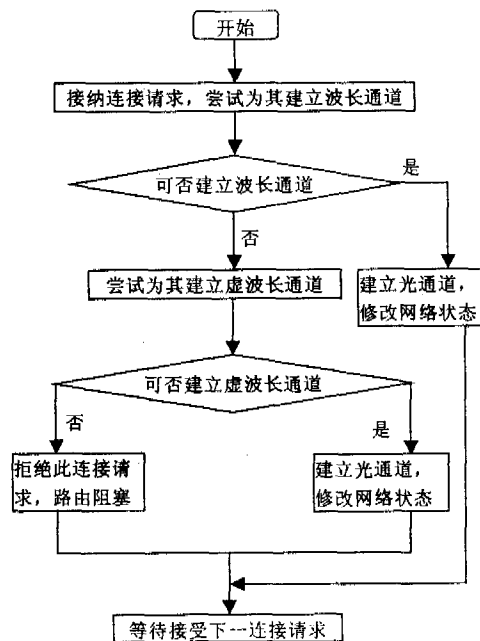


图1 算法流程图

建立虚波长通道时,使用的波长转换器应该尽可能地少,即此波长分配算法是以波长变换次数最少做为优化目标的。

波长等价弧定义^[7]: 波长等价弧是指一条光路由中某两个节点间,如果存在一系列由连续的 V_S 类节点连接的链路,则用一条虚拟的弧进行等价替换。虚拟弧上的可用波长集为这段连续链路上可用波长集的交集,称这条虚拟弧为这条光路由上的波长等价弧。

等价光路由: 经过波长等价弧替换后的光路由。

V_S 指无波长转换功能的节点集合, V_c 指具有波长转换功能节点集合。

在等价光路由 P 上的节点集 $V^P = V_c^P \cup \{v_s, v_d\}$, 其中, v_s 为源节点, v_d 为目的节点, V_c^P 为光路由 P 上具有波长转换功能的节点集合, L' 为连接 V^P 内部两节点间的波长等价弧集合, H' 为等价光路由 P 上从 v_s 到 v_d 的最长跳距。

等价光路由上的链路由波长等价弧组成, $L' = \{l_j, \forall j \in H'\}$, 每条光纤上的可用波长数为 W , 波长集合为 $W = \{w_i, \forall i \in H'\}$ 。

在稀疏有限波长转换网络中,一个光通道上分配的波长是由若干个波长连续段组成的,下面将这些波长连续段记为 $\lambda_w(w_i, l_j)$, 表示链路 l_j 上波长 w_i 为空闲波长。为达到优化目标,只需使光通道上的 λ_w 尽可能地少,或者说尽量选择较长的 λ_w 。

算法假设已经用备选路由算法确定了光路由。首先按照定义将光路由转化为等价光路由,选取给定光路由上的所有可能的 λ_w 集合 R , 集合中很可能会有多余的 λ_w 。如果

将一个 λ_w 移去而路由连接不断开,则称此 λ_w 是多余的。将集合中的所有 λ_w 按经过的跳距从低到高排列,从跳距最短的 λ_w 开始移去多余的 λ_w ,称之为最短先截原则(Shortest - Truncated - First, STF) 算法。

new_ λ_w _found(w_i, l_j):如果发现链路 l_j 上有空闲波长 w_i ,则返回 TRUE,否则返回 FALSE;

λ_w _not_ended(w_i, l_j):当波长 w_i 在链路 l_{j-1} 上为空闲波长,在下一跳链路 l_j 上仍然为空闲波长时,返回 TRUE,否则返回 FALSE;

num(R, l_j):计算链路 l_j 上的所有波长连续段 λ_w 个数,返回该数值,如果为 0,表示该光路由阻塞;

sort_hop(R):将所有的波长连续段 λ_w 按跳距进行排序;

redundant(λ_w):如果从集合 R 中移去波长连续段 λ_w 而连接不断开,说明此 λ_w 为多余的,返回 TRUE,否则返回 FALSE。

STF 算法的伪代码如下:

//选取等价光路由上所有可能的 λ_w

$R \leftarrow \emptyset$

for each $w_i (w_i \in W)$ do

$j \leftarrow 1$

while($j \leq H'$) do

if(λ_w _new_found(w_i, l_j)) then

$\lambda_w \leftarrow \{w_i, l_j\}$

$j \leftarrow j + 1$

while(λ_w _not_ended(w_i, l_j)) do

$\lambda_w \leftarrow \lambda_w \cup \{w_i, l_j\}$

$j \leftarrow j + 1$

$R \leftarrow R \cup \{\lambda_w\}$

//检查是否有可能建立光通道

for each $l_j, l_j \in L'$ do

if(num(R, l_j) = 0) then

return Lightpath_blocked

//对 λ_w 排序,最短 λ_w 先截

$R \leftarrow \text{sort_hop}(R)$

for each $\lambda_w, \lambda_w \in R$ do

if(redundant(λ_w)) then

$R \leftarrow R - \{\lambda_w\}$

//用剩余的 λ_w 建立光通道

Lightpath_established

从算法中容易看出,在按跳距对 λ_w 进行排序后,将把第一个最短的、且是多余的 λ_w 截去。

3.2 WSTF 算法步骤

将 STF 算法与波长连续分配算法 WCL 相结合,形成 WSTF 算法,对已确定的光路由进行波长分配:

step1 判断光路由 P 上是否有波长转换节点,如果没有,转 step2;如果有,转 step3。

step2 按照波长连续算法分配波长,如果每条链路上均有共同的空闲波长,则用首先适配算法分配一个波长给

该光路由,光通道建立;否则,该路由阻塞。

step3 根据定义将光路由转化为等价光路由,如果 L' 中的每条弧均有共同的空闲波长,则按首先适配方法分配波长,光通道建立,否则转 step4。

step4 使用 STF 算法。

END

4 仿真结果与分析

为了说明本算法的性能,选取著名的 NSFNET 网络(如图 2 所示)进行仿真实验。该网络有 14 个节点,21 条链路。

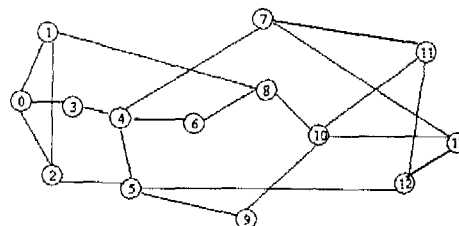


图 2 NSFNET 网络

选取三种波长分配算法进行仿真,比较其阻塞率:波长连续分配算法 WCL、首先适配 FF 算法及文中提出的 WSTF 算法。通过仿真,得到阻塞率 vs 通信流量的性能曲线图,如图 3 所示(网络的转换密度 $q = 0.25$,转换能力 $c = 0.25$)。

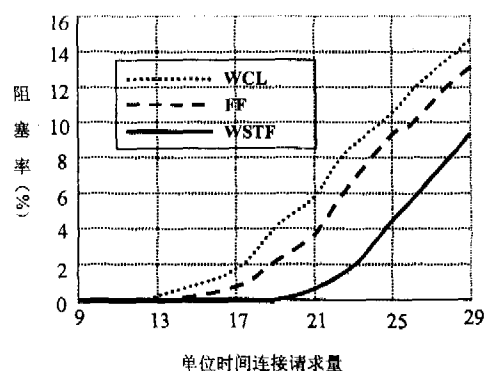


图 3 三种波长分配算法比较 ($W = 32$)

从图 3 中可以看出,当连接请求量很小时,三种波长分配算法性能相似,因为此时所有的光通道可以通过波长连续算法建立,WSTF 算法的优势并不突出。但是,当连接请求量变大时,波长连续算法的性能最差,首先适配算法性能居中,而 WSTF 算法最优,其阻塞率最低。可见,当网络中的连接请求量较大时,WSTF 算法具有明显的优势。

同时,由于引入等价光路由的概念,使得波长分配算法的计算时间大大减小,连接能力有了较大提高。

5 结论

基于光路由等价替换的思想,提出一种新的启发式波长分配算法 WSTF,以波长变换次数最少做为优化目标。

(下转第 219 页)

1) 坦克排长车仿真子系统与其它子系统的关系。

坦克排长车属于红方的一个联邦成员,由图 1 知,各个联邦成员之间通过 HLA 接口与 RTI 连接,由 RTI 来实现成员(对象)之间的数据交换的控制。

2) 坦克排长车指挥过程分析。

坦克排长车的指挥主要是对属车的指挥和本台坦克的指挥。可以表述为:观察战场、发现目标、目标识别、目标威胁评估及排序、决策射击方式、完成射击、毁伤效果判断、毁伤效果显示及火力转移等。

3) 信息交互关系。

坦克排长车作为一个联邦成员,要想完成整个攻防对抗作战过程的仿真,必须要与其它联邦成员之间发生信息交互,主要有以下交互信息:

① 与白方成员之间。

所需信息包括:

- 启动仿真运行、暂停和结束的控制信息;
- 显示方式、内容和控制信息;
- 坦克武器性能参数信息;
- 各种弹药毁伤效能信息;
- 目标被毁伤信息等。

发送的信息包括:

- 本排 3 辆坦克的部署位置;
- 各种弹药弹道轨迹数据;
- 本排坦克被毁伤的信息。

② 与蓝方成员之间。

所需信息包括:

- 目标(蓝方坦克)的部署位置信息;
- 蓝方步战车的类型、弹药种类;
- 蓝方步战车的弹道轨迹;
- 目标(蓝方步战车)被毁伤的信息。

发送的信息包括:

- 各种弹药的弹道轨迹;
- 目标(蓝方步战车)被毁伤的信息。

坦克排长车的仿真系统的工作流程图如图 3 所示。

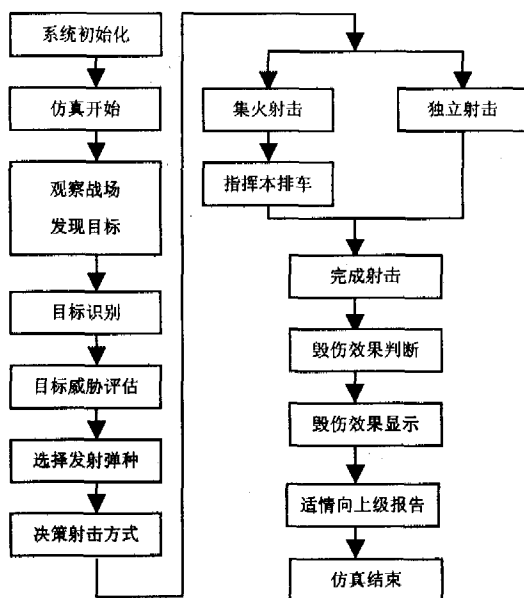


图 3 坦克排长车 CGF 仿真子系统的工作流程图

5 结束语

在对基于 HLA 的坦克分队攻防对抗仿真系统体系结构和仿真模型探讨的基础上,重点对坦克排长车 CGF 仿真子系统的设计方法进行了研究,其可行性和合理性也在仿真系统的开发过程中得到了验证。

参考文献:

- [1] 戴剑伟,蒋晓堂.基于 HLA 的武器对抗仿真系统开发研究[J].计算机仿真,2002(2):10-14.
- [2] 齐欢,代建民.HLA 仿真与 UML 建模[M].北京:科学出版社,2004.
- [3] 任全,李为民.基于 HLA/CGF 的地空导弹攻防对抗仿真研究[J].计算机仿真,2004(5):4-7.
- [4] 郁志本.坦克兵营连战术教材[M].北京:解放军出版社,2001.
- [5] 谭跃进,陈英武.系统工程原理[M].长沙:国防科技大学出版社,1999.
- [6] 译.北京:人民邮电出版社,2002.
- [4] Chlamtac I, Ganz A, Karmi G. Lightpath Communications: An Approach to High Bandwidth Optical WAN's[J]. IEEE Transactions on Communications, 1992(7):1171-1182.
- [5] Subramaniam S, Barry R A. Wavelength Assignment in Fixed Routing WDM Networks[J]. In: Proceeding of IEEE ICC, 1997(1):406-410.
- [6] Mokhtar A, Azizoglu M. Adaptive Wavelength Routing in All-Optical Networks[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1998(6):197-206.
- [7] 齐小刚,刘三阳.基于节点功能的 WDM 光网络分布式路由与波长分配算法[J].通信学报,2003,24(8):1-5.
- [1] Ortiz Z, Rouskas G N, Perros H G. Maximizing multicast throughput in WDM networks with tuning latencies using the virtual receiver concept[J]. European Transactions on Telecommunications, 2000, 11(1):63-72.
- [2] Suresh S, Somani A K. All-Optical Networks with Sparse Wavelength Conversion[J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1996(4):544-557.
- [3] Stern T E, Krishna B. 多波长光网络[M].徐荣,龚倩倩.

(上接第 68 页)

应用这种算法,在网络通信流量较大时,可以明显降低网络的阻塞率。仿真实验表明,本算法达到了预期的目的。

参考文献: