

路由与波长分配仿真研究

郭平 许纯 侯睿 陈海珠 杨国洲

(重庆大学计算机学院 重庆 400044)

摘要 光纤网络是高速网络的代表,路由与波长分配是其关键技术。文中对光纤网络中路由与波长分配问题进行了研究,讨论了常用的路由算法和波长分配算法。在较为接近应用实际的假设条件下对路由与波长分配进行了仿真实验研究,获得的仿真结果对不同业务应用环境建立光纤网络系统具有一定的参考价值。

关键词 路由,波长分配,距离向量算法,贪婪算法,光纤网

The Simulation of Routing and Wave Length Distribution

GUO Ping XU Chun HOU Rui CHEN Hai-Zhu YANG Guo-Zhou

(College of Computer Science, Chongqing University, Chongqing 400044)

Abstract In this article, we briefly describe how to simulate routing and wave length distribution in WDM network. The simulation has been divided into two parts: routing and wave length distribution. We explain routing methods and algorithms, as well, we discuss wave length distribution algorithms. Additionally, we implement the routing and wave length distribution algorithms, simulate the WDM network and analyses the experience data.

Keywords Routing, Wave length distribution, Distance-vector algorithm, Greedy algorithm

1 背景

路由与波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)技术是全光网的关键技术之一,它充分利用单个光纤上提供的带来建立光交换设备之间的连接,以达到高效利用资源的目的。这需要较好的路由与波长分配算法和协议。该算法要能选择路由高效地利用网络资源并且最大化地建立光路并把波长分配到连接。协议必须有效地管理消息和网络信息以便及时地进行连接控制。

路由算法的研究已取得了许多成果。文[1,2]研究了基于静态的路由算法,并将问题抽象为一个整数线性规划(Integer linear planning, ILP)问题,通过该问题的求解获得需要的光路。一般地,ILP是NP完全问题,其启发式算法的研究又成为新的问题。文[1]通过约束光路的源-目标结点来寻求最少的波长数,文[4]按照预先确定的策略来寻找具有最少跳数的光路,文[5]研究了最少的光纤数目。光路建立的另外一种研究是动态光路的建立。动态光路建立与网络拓扑相关,随着网络拓扑结构的复杂,动态光路也会越来越复杂,其算法的效率也成为考虑的重点。有的动态光路算法包括固定路由和自适应路由两大类。在自适应路由中又分为利用全局信息的自适应路由^[6]和利用局部信息的自适应路由^[7]。

WDM的另一个困难来自数据包传递的随机性。数据包的传送起点、终点,数据包产生的时间,数据包的长度等都是随机的,它们对网络的性能(阻塞率)的影响不能完全定量地确定。因此,研究数据包传送请求、波长数以及光路数之间的关系和规律对于WDM的研究是有积极意义的。

本文在一定的假设条件下,通过数据仿真来研究请求、波长数和光路数以及网络拓扑之间的关系,并对实验数据进行了分析。

2 问题的描述和假设

路由即是要在通讯网络中建立从通讯的源节点至目标节

点的通讯线路,以使通讯信号能从源节点传送到目标节点。一般而言,这样的线路分为两类:第一类是通讯线路一旦建立,该线路将保持到通讯结束,如电话通讯网。第二类是通讯连接不一直保持,物理层的每个数据包使用的线路可能不相同。第一类连接以复杂的路由换取高速的传送量,第二类连接降低了路由的复杂性(每个节点只需将数据送到下个节点),但降低了系统的吞吐率。

波分复用即是将适当的波段分配给每一条传输通路。一般考虑两种方式:第一种方式为在一条完整的从源节点至目标节点的通路中使用相同的波段,称为连续性条件。这种方式对光网中的每一个节点的要求较低,只是信号转发。第二种方式是同一条传送通路中不同的光纤段可以使用不同的波段,这要求相关的节点具有波长转换功能。第一种方式网络建立的代价较低,但容易形成阻塞;第二种方式传送灵活,系统吞吐率高,建设费用也高。

实际中,路由与波分复用是相互关联的。路由算法能否建立网络中两个节点间的连接,除了考虑这两个节点间是否有光纤相连外,还需考虑在光纤中是否有适合的波段可用,如,是否有符合连续性条件的波段,该节点是否有波长转换器等。另一方面,在做波段分配时须考虑怎样分配波段才能使整个网络中能建立更多的通路等。

为建立路由与波分复用的仿真模型,我们作如下假设:

(1) 网络中每条光纤可使用的波段数相同,亦即每条光纤中可以传送的光信号的路数是相同的。由于光纤中可使用的光波长与光纤的特性相关,这个假设即是说网络中的光纤具有相同的光特性。

(2) 网络拓扑结构在一定的时间范围内是稳定的。一般而言,网络拓扑结构在网络设计时被确定,在随后的运行过程中虽有一些变化,但这种变化相对来说是较慢的,我们的仿真中允许在一定的时间间隔后改变网络拓扑结构。

(3) 网络传输请求是随机的。这个随机性包括 3 个方面: 第一, 由那一个节点发出传输请求是随机的; 第二, 每个传输请求的时间(即数据包的大小)是随机的; 第三, 传输的目的节点是随机的。在实际的网络传输中, 存在这 3 种随机性。只有在一些为专用服务的网络中, 这样的随机性可能有些减少。

(4) 一次成功的传送请求从源节点到目标节点的路径经过的所有光纤使用相同的波段(波长), 直至本次传送请求完成。在实际的网络环境中, 当每个节点中没有波长转换器时, 我们的假设是合理的。通过节点中增加转换器可以使不同光纤段中使用不同的波段。

基于以上假设, 我们建立的仿真模型是: 将络拓扑结构抽象为图, 图中的顶点被看作路由器, 图中的边被看作光纤。由此, 从源节点到目的节点的路由就是从图中与源节点对应的顶点(称源顶点)寻找到与目的节点对应的顶点(称目的顶点)的路径。

3 路由选择算法

路由算法用于确定从源顶点到目的顶点路径。实际上, 在每个顶点都需要进行路由计算, 以确定到达该顶点的数据为到达目的顶点的下一跳应到达哪个顶点。路由算法分为静态路由算法和动态路由算法两种, 在实际情况下, 由于连接不是静态的, 因此我们只关注动态路由算法。

两个使用最广泛的动态路由算法是距离向量路由算法和链路状态路由算法。距离向量路由算法在每个路由器使用一个表格, 称为路由表。路由表给出了当前顶点到每个目的节点的最小距离以及下一跳的位置, 通过维护和更新路由表实现动态路由选择。链路状态路由算法通过广播各路由器的状态信息而获得整个网络的拓扑结构, 从而计算出路由表, 实现在网络拓扑发生变化时的动态路由计算和路由选择。相比之下, 由于链路状态算法收敛更快, 因此它在一定程度上比距离向量算法更不易产生路由循环。另一方面, 距离向量算法比较简单, 而链路状态算法较为复杂。链路状态算法要求比距离向量算法有更强的 CPU 能力和更多的内存空间, 因此链路状态算法将会在实现时显得更昂贵一些。除了这些区别, 两种算法在大多数环境下都能很好地运行。基于路由算法必须简单、健壮及稳定的原则, 在我们的 WDM 网络路由模拟中采用距离向量路由算法。

距离向量算法在每个节点上保持两个向量: 路由向量 S 和代价向量 D , 即:

$$D_i = [d_{i1}, d_{i2}, \dots, d_{iN}]'$$

$$S_i = [s_{i1}, s_{i2}, \dots, s_{iN}]'$$

其中, N 为网络中的节点数; D_i 为节点 i 的代价向量, d_{ij} 为节点 i 至节点 j 的最小代价当前估值, $d_{ii} = 0$; S_i 为节点 i 的路由向量, s_{ij} 为节点 i 到节点 j 最小代价路由中的后继节点。

每个节点每隔一个时延与它的所有相邻节点交换它们的代价向量。然后根据收到的全部代价向量来修改本节点的代价向量和路由向量。对于任一节点 i , 按以下方法进行两个向量的修改:

$$\begin{cases} d_{ij} = d_{ik} + d_{kj} = \min_{A \in A} \{d_{ik} + d_{kj}\} & A \text{ 为节点 } i \text{ 的所有相邻节点的集合 } Ck \in A \\ s_{ij} = k \end{cases}$$

4 波长分配算法

在我们的模拟中, 为了简化问题采用连续性约束, 即同一

光通路中只允许同一波长存在。这样的假设降低了网络建设的复杂性和成本, 但可能导致波长的不充分利用和更高的传输阻塞率, 因为即使源节点与目标节点存在通路, 也可能因为通路中可使用的波长不满足连续性约束而导致该通路阻塞。模拟中, 假设节点的度为一。

波长分配问题是 NP 完全的, 目前使用的算法很多是启发式算法, 它们提供的都是比较理想的近似最优解。这些算法的目标在静态波长分配中对任意给定的连接集合是以最小数目的波长最大化连接数, 后者对动态通信量来说, 最小化传输被阻塞的概率^[9]。

处理到来的连接时, 算法简单性和速度也是非常重要的。在各种各样的贪婪、顺序、启发式、遗传、随机舍入和模拟退火算法中, 我们选择快速的贪婪算法。

波长分配贪婪算法的基本思想是: 当一个连接请求到达时, 首先, 路由算法计算出源节点和目标节点之间的最佳路径。接着, 波长被分配算法在源节点选择编号最小的可用波长并将一个请求保留此波长的 Reserve 包从源节点发出, 通过通路的所有路由器向前传播。如果该波长在通路的所有链路都可用, 这个 Reserve 包将到达目的节点, 然后目的节点发送一条消息给源节点, 确认这一波长的保留; 并且, 通路中每个路由器的路由表将这一波长标记为“已使用”。源节点收到目标节点发来的“波长保留包”后, 就开始传送数据。如果在通路的某一链路中请求波长不可用, 相应的路由器马上发送一个否认消息给源节点, 表明请求波长不可用。当源节点收到这样一条消息时, 未被检测过的最低波长被选择。然后重复相同的过程, 如果所有的波长都测试完了而目的节点没有返回波长保留消息, 连接将被阻塞。一条通路在数据传送结束时将被释放, 通路中每个路由器的路由表将刚用于传送的波长标记为“未使用”。这样, 波长通过贪婪算法以一种顺序方式分配。

算法 1: 波长分配算法

输入: 各个节点的路由向量, 源节点 s , 目标节点 d ;

输出: 最小可用波长的编号;

步骤:

- 1) 调用路由算法找出 s 到 d 的最短路由;
- 2) 若已无可用波长, 阻塞该传输算法, 结束;
- 3) 对当前编号最小的可用波长, 测试 s 到 d 的每一段链路该波长是否可用。若可用, 则返回当前的波长编号, 算法结束; 否则, 转到 2)。

5 仿真系统的结构

5.1 模拟环境假设

下文将给出路由与波长模拟的实现细节。对模拟环境的假设是:

- 1) 网络拓扑在一个固定的时间后周期性地更新;
- 2) 任一链路的开销能够预先知道;
- 3) 传输路径一旦确定, 直到网络拓扑结构发生变化才能改变;
- 4) 传输是面向连接的, 即通路一旦分配, 直到整个传输结束它才释放。

5.2 模拟系统的组成

模拟由三个模块组成: 协调器, 寻路模块, 波长分配模块。它们相互协调来模拟路由和波长分配, 功能如下:

- 1) 协调器 协调器负责初始化, 构造网络拓扑, 将网络拓扑信息发送给各个节点, 并设置网络中的各种参数, 如, 数据

包的容量限制。此外,它还负责产生传输请求。

2)寻路模块 寻路是一个独立的模块,它根据每个节点保存的路由表来解决选路问题。网络中的每个节点维护一个路由表和一个代价表,当网络拓扑结构发生改变时,这两个表通过对网络拓扑结构的宽度优先遍历来更新。

3)波长分配模块 波长分配主要负责为已建立的传输线路分配一个源节点可用的最小波长编号,见波长分配算法。

4)波长的保留和释放 在源节点到目的节点间,寻路模块找到了传输通路并且波长分配模块寻找可用的波长后,再从源节点到目标节点沿传输通路依次设置各节点已选用的波长编号为“已用”,从而为实际的数据传送留出波长,这个过程称为波长保护。

一旦传输结束,即目标节点收到传输结束标志,从目标节点到源节点沿传输通路逆向删除各节点刚使用过的波长编号的“已用”标记,这个过程称为波长释放。显然,波长释放的同时,传输通路也释放了。

5.3 模拟系统结构

模拟系统在协调器的协调下运行,系统结构如图1所示。

6 仿真结果及分析

仿真环境是赛扬 2.4G, 512M DDR 内存,80G 硬盘, Win2000,SQL Server 2000。在实验中选取的主要参数包括:

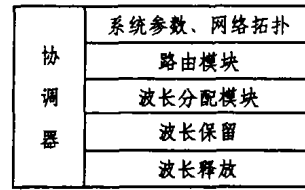


图1 仿真系统结构

- (1) 节点数目:网络中节点数目限制在 6~13 个;
- (2) 光纤数目:网络中光纤数目限制在 8~54 段;
- (3) 波长数目:假设每段光纤的波短数为 6~9 个;
- (4) 容量上限:相对值,用来比较数据大小对网络传输的影响,限定在 20~100;
- (5) 传输请求速率:指网络中传输请求发生的频率,限定在 500 次/秒~1000 次/秒。

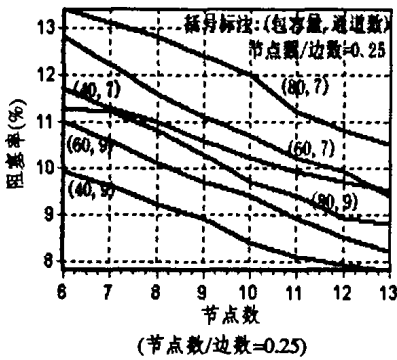


图2 节点数与传输阻塞数的关系

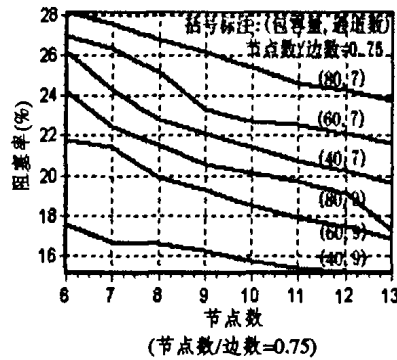


图3 节点数与阻塞数的关系

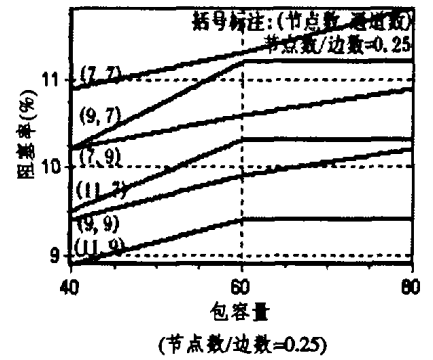


图4 容量与传输阻塞数的关系

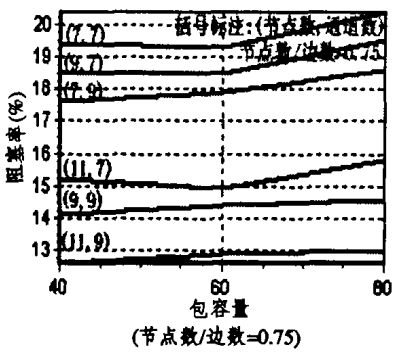


图5 容量与阻塞数的关系

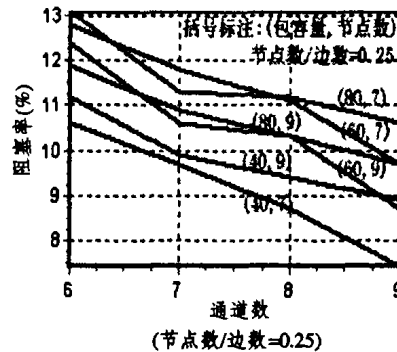


图6 通道数与传输阻塞数的关系

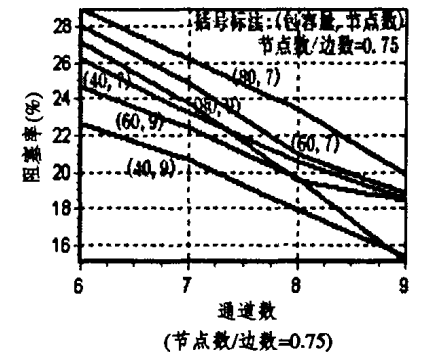


图7 通道数与阻塞数的关系

实验中周期性地改变这些参数,图2~图7是部分实验结果。从实验中可以得到:

- 1) 随着节点数的增加,网络传输阻塞率几乎线性减小;
- 2) 随着容量上限的增加,网络传输阻塞率几乎线性增加;
- 3) 随着波段数目的增加,网络传输阻塞率几乎线性减少;
- 4) 节点数和通道数不变的情况下,增加容量上限将增加阻塞率;
- 5) 节点数与边数的比值对阻塞率也有影响:随着比值的增大,阻塞率相应地增加。

结论 本文通过数字仿真对路由与波长分配问题进行了

研究。实验中考虑了网络拓扑结构变化、数据包容量、光纤波段数以及传输请求率等对网络传输阻塞率有重要影响的若干参数。实验获得的结果对于针对不同的业务应用系统建立光纤网络具有一定的参考价值。

参考文献

- 1 Banerjee D, Mukherjee B. A Practical Approach for Routing and Wavelength Assignment in Large Wavelength-Routed Optical Networks. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 1996,14(5):903~908
- 2 Zang H, Jue J P, Mukherjee B. Review of Routing and Wave-

(下转第 136 页)

息。如下所示:

增强层2 组2中传输
 增强层1 组1中传输
 基础层 组0中传输

采用这种累积式分层方式时,接收方根据自己的带宽能力,通过同时加入不同的层(依次累加)来获取不同的接收质量。和不相关分层方式相同,每一层的数据也是在具有不同IP组播地址的组播组中进行传输。举例如下:

增强层2 3 6 9
 增强层1 2 5 8
 基础层 1 4 7

—————→时间

当接收者带宽最窄时,只接收基层信号1 4 7……,信号质量最差,但是能够使用,对于带宽更宽的用户则可以在接收基层的同时接收增强层1的数据,它接收到的数据就12 45 78……,具有最高带宽的用户则可以对三层信号全部接收,它收到的数据就是123456789……。解码出来的信号质量就是最好的。

以上两种分层方式各有优势,但在提高带宽利用率方面,累积式分层方式显得更有效。

2.2 基于RLM的视频信息传输模型

由以上对RLM的介绍,我们知道它是解决网络异构问题的一种切实可行的方法。但它只适合于发送方以固定速率进行编码的数据发送,而对网络状态动态改变的特性缺少适应能力。针对这个问题,我们提出一种混合式的基于RLM的视频信息传输模型,如图1所示。

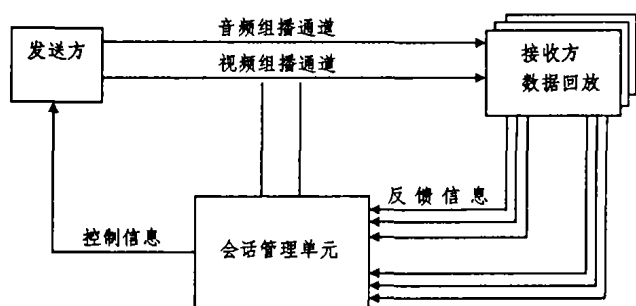


图1 基于RLM的视频信息传输模型

在该模型中,发送方将音频视频数据进行压缩编码形成实时数据流,按RTP协议对多媒体数据进行封装,RTP数据分组中包含了媒体的类型、格式、时间戳以及是否有附加数据等重要信息。音频和视频数据按照RLM方式被分成位于不同层(不同质量级别)的数据流,每个数据流分别在不同的组播组中同时发送。

多个接收方通过加入不同的组播组,接收在该组中传送

的分层数据流进行解码回放。通过加入或离开发送数据的层来进行调整自己的接收状态。当出现拥塞,接收端则离开一层,如果有空闲的带宽则多加入一层。随接收分层数据的增加,信号越好,带宽要求也越高。接收者同时监视自己的丢包率,根据实际情况选择接收相应的发送层数据。这种机制能够适应网络异构环境的要求,既能避免拥塞,又可以提高网络利用率,保证用户在现有状态下接收最好质量的信号。当使用RTP/RTCP协议进行数据传输时,接收方利用RTCP采用与RTP数据分组相同的分发机制,周期性地向媒体会话中所有成员发送包含反馈信息的控制分组。反馈信息的内容有传输时延,丢包率等反映网络状态变化的参数。

在发送方和接收方之间我们专门设立了一个负责收集和反馈信息的会话管理单元,它的存在减轻了发送方的负担,使发送方能够只负责多媒体数据的采集、编码和分层发送,不必处理由众多用户发出的大量包含反馈信息的控制分组。会话管理单元通过对反馈信息的收集整理,综合汇总,最后向发送方发出控制信息,发送方根据控制信息动态地改变数据的发送速率,从而对网络状态的动态改变做出适应性调整。

要实现这个模型有两个必要条件:(1)发送方编码时能够动态地改变发送速率;(2)发送方能够知道所有接收方的接收情况。

从上面分析可知,这个模型在原有RLM模型的基础上增加了反馈机制,对于适应网络状态的动态改变提供了解决办法。

目前,RTP/RTCP在实时多媒体信息传输的广泛应用,组播的相关理论和应用的成熟都为本模型的具体实现提供了有力的保证。但在具体实现过程中还应考虑媒体同步,接收缓冲以及添加用户控制等问题。

结论 本文提出的基于RLM的视频信息传输模型将分层组播技术、视频编码技术和反馈技术进行了有机的集成。该模型针对网络异构性和网络动态改变的特性提出了一种有效的解决方案,提高了多媒体信息传过程的交互性,使得接收方不再被动地接收数据,还可以根据自己的带宽要求选择最适合自己的接收效果,并对发送方实施一定的控制。用户可以在有效利用带宽的前提下,得到最好的媒体播放效果。

参考文献

- 1 朱利,等.基于RTP的IP视频传输与控制.计算机工程与应用,1996,6
- 2 McCanne S. Receiver-driven Layered Multicast. ACM SIGCOMM 96, Aug. 1996. 117~130
- 3 Li B, Liu J. Multi-rate video multicast over the internet: an overview. IEEE Network, Special Issue on Multicasting An Enabling Technology, 2003, 17(1): 24~29
- 4 Dec. 1999. 1428~1432
- 5 Jue J P, Xiao G. An Adaptive Routing Algorithm with a Distributed Control Scheme for Wavelength-Routed Optical Networks. In: Proc. Ninth Intl. Conf. on Computer Communications and Networks, Las Vegas, NV, Oct. 2000. 192~197
- 6 Zang H, et al. Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength-Routed WDM Networks. IEEE Communications Magazine, 2001, 39(9): 100~107
- 7 Jue J P. Lightpath establishment in wavelength-routed WDM optical networks, in Optical Networks-Recent Advances. In: L. Ruan, D. Z. Du, eds. Amsterdam: The Netherlands: Kluwer Academic, 2001. 99~122

(上接第40页)

- length Assignment Approaches for Wavelength-Routed Optical WDM Networks. Optical Networks Magazine, 2000, 1(1): 47~60
- 3 Alanyali M, Ayanoglu E. Provisioning Algorithms for WDM Optical Networks. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(5): 767~778
 - 4 Baroni S, Bayvel P. Wavelength Requirements in Arbitrary Connected Wavelength-Routed Optical Networks. IEEE/OSA Journal of Lightwave Technology, 1997, 15(2): 242~251
 - 5 Zang H, Sahasrabudhe L, Jue J P, Ramamurthy S, Mukherjee B. Connection Management for Wavelength-Routed WDM Networks. In: Proc. IEEE Globecom '99, Rio de Janeiro, Brazil,