

一种预约式波分复用网信道分配方法^{*①}

胡明^{**} 李乐民

(电子科技大学宽带光纤传输与通信系统技术国家重点实验室 成都 610054)

【摘要】 针对波分复用网所拥有的信道数不多,而宽带网所容纳的节点数往往较多这一特点,提出了一种波分复用网信道分配方法,通过理论分析,得出了采用此方法后网络的性能参数。为在现有技术条件下,如何更好地利用有限的信道资源找到了一条较好的途径。文中还探讨了数据时隙数的最优选法问题。

关键词 波分复用网; 数据信道; 控制信道; 排时
中图分类号 TN929.11

由于波分复用(Wavelength Division Multiplexing)网在挖掘光纤的频带资源、扩大网络容量方面有着巨大潜力,近年来,有关波分复用网的研究正越来越受到人们的关注,目前已成为国际通信领域的一个热点。现有资料表明,光纤的可用带宽约为 25 THz ~ 30 THz,若单信道容量为 10 Gbit/s,则一根光纤所容纳的信道数为上千个。就目前的研究情况看,其面临主要问题是现有可调谐光器件(可调谐激光器、可调谐滤波器)性能还达不到理想要求,从而限制了网络所拥有的信道数。

在波分复用网中,信息的传递是通过多个信道(波长)同时进行的,往往要求各节点的收发器件(激光器和滤波器)部分或全部具有可调谐性,以便节点在不同信道上接收和发出信息。大容量波分复用网对可调谐光器件的要求是在光纤的可用频带内迅速完成不同信道间的调谐转换。目前,由于可调谐光器件的调谐范围较窄,使波分复用网的信道数较少,所以在实际应用中要实现给每个节点分配一个数据信道还比较困难^{1,2}。为了更有效地利用有限的信道资源,各国研究人员提出了许多方法^{3,4},其中一种较简便的方法是采用信道共享,即各节点均可利用各信道传送信息,本文所提出的方法正是基于信道共享这一思路,它采用预约方式,物理结构基于星形。

1 信道分配方法

针对目前波分复用网信道数较少,而节点较多这一特点,本文基于信道共享提出了一种信道资源分配方法,它采用星形结构。具体方法是:在网络中心设置一信道分配器,负责信道资源在各节点间的分配,并将信道分为控制信道和数据信道两类,即一个控制信道和多个数据信道。控制信道用于传送各节点对信道资源的申请信号及信道分配器给申请节点的信道分配信息,控制信道和信道分配器一起完成数据信道资源的申请及分配工作,数据信道用于各节点传送信息。

在帧结构的划分上,对控制帧和数据帧采用不同的方式。对控制帧,将其划分为 m 个时隙,一个节点固定占用其中一个时隙;对数据帧,将其划分为 n 个时隙,时隙应足够长以保证信道转换所需的时间,这样就形成了 Nn 个(设数据信道数为 N)小数据信道,各节点可对其中任何一个小信

① 1997年1月20日收稿,1997年2月26日修改定稿

* 国家教委博士点基金资助项目

** 男 31岁 博士生

道进行申请。控制帧和数据帧的长度相同。

在信道分配上,采用各节点预约申请的方式,并引入排队机制,先来先服务的原则运行。在实际网络中,各节点通过两根光纤与中心的星形耦合器相连接,如图 1 所示。

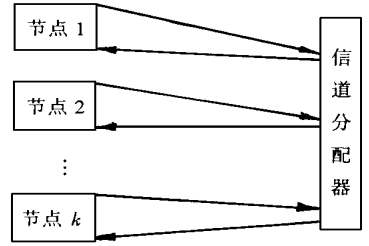


图 1 物理连接

一根光纤传输由节点到中心的信息,另一根光纤传送由中心到节点的信息,如果将前者称为上行信息,而将后者称为下行信息,则在控制信道上,其上行信息(由节点到信道分配器的信息)和下行信息(由信道分配器到各节点的信息)所包含的内容有所不同。在上行信息中,一个时隙容纳一个请求,即占用一个小数据信道的申请,占用数据信道时间由请求信号提供。因此,一个由节点通过控制信道发往信道分配器的请求应包含收信地址及占用时间长度等信息。在下行信息中,各时隙主要包括两项内容,一是排队信息,即信道分配器对请求信号的处理结果,包括待发数据信息被安排在哪一个小信道上发送等信息;另一个是接收数据指令,该指令通知节点在哪个小数据信道上接收信息。

信道分配器完成对数据信道资源的分配工作。它将 N 个数据信道进一步划分为 Nn (n 为一个数据帧包含的时隙数) 个小信道,按先来先服务的原则将收到的申请安排在等待时间最短的小信道上接受服务,并将排队信息及接收数据指令实时地发往发请求节点和收数据节点。为了完成这些功能,设置了一个请求排队表,排队表的格式及内容如图 2 所示。一请求服务完后便去除该请求,其余请求逐次上移。图 2 中的队列位号表示请求在相应小信道上被服务的先后次序。



图 2 请求排队队列

下面举例说明信息的传输过程。假设节点 A 有一段信息需向节点 B 发出,其过程如下:

- 1) 节点 A 首先通过其在控制信道上的专用时隙向中心的信道分配器发出一请求信号,申请占用一个小数据信道,占用的时间长度由所传信息的长度决定;
- 2) 信道分配器收到 A 发来的这一申请后,如果有空闲的小数据信道,便指定该信道用于传送这组由 A 发往 B 的信息;如果所有小数据信道均被占用,便依照等待时间最短的原则将其安排在等待时间最短的小信道上等待服务;
- 3) 信道分配器将排队信息通过控制信道发往节点 A ,即通知 A 节点在什么时候通过哪一个小数据信道发生信息,同时通过控制信道通知节点 B 在什么时候通过哪一个小数据信道接收来自节点 A 的信息。

这样,便建立了一个由 A 到 B 的单向连接,节点 A 可通过这一连接向 B 节点发出信息。当信息传输完成后,这一连接便自动撤销,即将相应的请求信号从请求排队表中除去。

2 性能分析

首先对采用该信道分配方法后网络的性能参数作理论上的分析, 然后讨论当网络业务模型确定后数据帧时隙数 n 的最优选法。

由于这里采用了预约请求排队的访问方式, 所以网络的时延主要包括信息的传播时延和排队等待时延两项, 传播时延主要由信息的传输距离和信道上的码速决定, 网络建立后该指标很容易求得, 我们主要关心的是后一项指标, 即排队等待时延, 下面着重分析该参数。

设网络中的数据信道数为 N , 每个数据帧有 n 个时隙, 则该排队系统有 Nn 个排队队列。同时, 假定请求以泊松流到达, 参数为 λ ; 各数据时隙对请求的服务相互独立, 由于各请求要求服务的时间长度不同, 即占用一个小数据信道的的时间不一样, 因此这里假设请求的服务时间为负指数分布, 参数为 μ 。由于该排队系统是采用先来先服务的原则, 即当一请求到达时, 若有空闲时隙便立即接受服务, 若没有空闲时隙便排队等待(假设存储器足够长), 所以该排队系统是一个 $M/M/Nn$ 排队系统。令 $L(t)$ 表示 t 时刻排队系统的队长, $\{L(t)\}$ 是一齐次马尔可夫链, 同时也是关键过程, 其参数为

$$\text{其余} \quad \begin{cases} \lambda_r = \lambda & r \geq 0 \\ \mu_r = \begin{cases} r\mu & r = 1, 2, \dots, Nn \\ Nn\mu & r = Nn + 1, Nn + 2, \dots \end{cases} \end{cases} \quad (1)$$

其中 r 为排队系统中等待服务的请求数。

由文献 [5] 知该关键过程的平稳解为

$$P_r = \begin{cases} \frac{(Nn\rho)^r}{r!} P_0 & r \leq Nn \\ \frac{(Nn)^{Nn}\rho^r}{(Nn)!} P_0 & r > Nn \end{cases} \quad (2)$$

式中 P_r 表示排队系统中有 r 个请求的概率, 参数 ρ 代表系统的负荷量, 其值为 $\lambda/Nn\mu$; P_0 的值为

$$P_0 = \left[\sum_{r=0}^{Nn-1} \frac{(Nn\rho)^r}{r!} + \sum_{r=Nn}^{\infty} \frac{(Nn)^{Nn}\rho^r}{(Nn)!} \right]^{-1} \quad \text{求排} \quad (3)$$

当 $\rho < 1$ 时, 平稳分布才存在。

下面求平均等待时间, 为此先求出等待时间分布 $W(t)$ 。由文献 [5] 知, 该分布为

$$W(t) = 1 - \frac{P_{Nn}}{1-\rho} \exp[-(1-\rho)Nn\mu t] \quad t \geq 0 \quad (4)$$

其密度函数为

$$W(t) = \begin{cases} 1 - \frac{P_{Nn}}{1-\rho} & t = 0 \\ P_{Nn}Nn\mu \exp[-(1-\rho)Nn\mu t] & t > 0 \end{cases} \quad (5)$$

所以平均等待时间为

$$W = E[\omega] = \frac{P_{Nn}}{Nn\mu(1-\rho)^2} \quad (6)$$

为了对式(6)有一个更直观的认识, 图 3 给出了 W 与 ρ 的关系曲线。曲线 a 为 $\mu=0.0066$ 时的情况, 曲线 b 为 $\mu=0.01$ 时的情况。参数设为 $N=15, n=10$ 。

另外, 由于引入了预约排队机制, 使数据信道不会出现碰撞现象, 信道资源的利用率高, 其吞吐量可达 1, 只是当业务量较重时, 网络的时延会加大, 这一点可以由图 3 明显看出。下面讨论当网络业务模型确定后数据帧时隙数 n 的最优选法。

当网络的业务模型确定后,就存在一个数据帧时隙数 n 的选取问题。若 n 较大而请求数较少,就会出现资源浪费现象;反之,又会造成等待队列较长,不仅加大了等待时延,而且还需要更多的存储器来保存等待信息,所以对于 n 的选取有一个优化问题。

假设每个请求在排队系统逗留单位时间的损失费为 C_1 , 每个数据时隙单位时间服务费为 C_2 , 则单位时间平均总损失费用为

$$F = C_1 L(n) + N n C_2 \mu \quad n \geq 1 \quad (7)$$

其中 $L(n)$ 为平均队长,由文献[5]知,平均队长为

$$L(n) = \frac{P_{Nn} \rho}{(1-\rho)^2} + N n \rho \quad (8)$$

下面求 n 的最优值 n^* 。 n^* 应使 F 最小,应满足

$$\begin{cases} F(n^*) \leq F(n^* + 1) \\ F(n^*) \leq F(n^* - 1) \end{cases} \quad (9)$$

于是有

$$L(n^*) - L(n^* + 1) \leq \frac{C_2 N \mu}{C_1} \leq L(n^* - 1) - L(n^*) \quad (10)$$

当 n 值满足式(10)时即为最优。例如,设请求的到达率 $\lambda = 1$ 个/帧,每个小数据信道的服务率为 $\mu = 0.01$ 个/帧, $C_1 = 12$ 元, $C_2 = 8$ 元,由式(7)和式(8)计算的结果如表 1 所示,其中假设 $N = 15$ 。由表 1 可以看出, n 的最优值 $n^* = 9$,这时的总费用 F 最小。值得注意的是,在讨论最优的 n 值时,均假设 λ, μ 已知。

表 1 优化计算

n	$L(n) - L(n+1)$	$L(n-1) - L(n)$	F
7	10.148 2		1332.169 8
8	0.164 5	10.148 2	1211.591 8
9	0.001 5	0.164 5	1210.818 3
10	0.000 0	0.001 5	1212.000 1

3 结 束 语

由于目前可调谐光器件的性能还不够理想,使波分复用网所拥有的信道数较少。针对这一实际情况,本文按照信道共享的思想提出了一种采用预约排队访问的信道分配方法。它基于星型结构,信道的申请及分配由控制信道和信道分配器完成。文中对采用此方法后网络的时延特性进行了分析,并讨论了数据时隙数 n 的最优选法,给出了相应的关系表达式及准则。

波分复用网要实现的目标是建立了一个拥有成百上千个信道,且单信道速率达 10 Gbit/s 数量级的超大容量通信网。由于现有技术条件的限制,近期要达到这一目标的可能性较小,因此对较小容量的波分复用网进行讨论具有一定的现实意义。

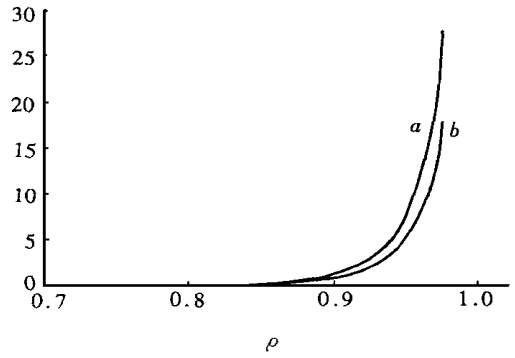


图 3 平均等待时间与网络负载的关系曲线

参 考 文 献

- 1 Humblet P A, Ramaswami R, Sivarajan K N. An efficient communication protocol for high-speed packet-switched multichannel networks. IEEE J select Areas Commun, 1993, 11(4) :568 ~ 577
- 2 Chen M S, Dono N R, Ramaswami R. A media-access protocol for packet-switched wavelength-division metropolitan area networks. IEEE J Select Areas Commun, 1990, 8:1 048 ~ 1 057
- 3 Tridandapani S, Meditch J S, Somani A K. The mapi protocol:masking tuning times through pipelining in WDM optical networks In proc. IEEE Infocom. 1994, 2 140 ~ 2 150
- 4 Huang N F, Liaw G H, Chiou C C. On the isochronous paths selection problem in an interconnected WDM network. J Lightwave Technol, 1996, 14(3) :304 ~ 314
- 5 孟玉珂. 排队论基础及应用. 上海:同济大学出版社, 1989

A Reservation Distribution Method of Channels for Wavelength Division Multiplexing Networks

Hu Ming Li Lemin

(National key Lab of Broadband Optical Transmission and Communication Systems UEST of China Chengdu 610054)

Abstract Nowadays, the WDM network can not hold more than tens of channels and the broadband network normally need support a lot of nodes. This paper, proposes a distribution method of the network channels based on the condition that the node number is bigger than the channel number. Some of the network properties are analyzed through mathematical method, based on the distribution method. This paper also find a new method to utilized the limited channel resource. Moreover, the optimal number of data slat is studied.

Key words wavelength division multiplexing networks; data channels; control channel; queuing

编辑 徐培红

°科研成果介绍°

战术通信网可靠性研究

主研人员 魏鸿骏 张明安 陈 浩 覃 刚 高晓平 朱 健等

该项研究属于理论应用研究,所取得的成果为论文、研究报告和一个战术通令网可靠性设计软件包。它具有以下特点:

- 1) 提出了计算通信网可靠性指标之一的连通率的一种新的算法模型,可以由单跳链路到多跳链路。按递推方式依次算出全部路由。并可在计算精度与速度之间折中。
- 2) 对计算通信网可靠性指标之一的完成性提出了一种算法模型,定义了耗费值的概念,给出了路由寻优、业务量分配及网络参数寻优并优化算法。

该成果在很多方面均属首创,属于国际当前先进水平。该成果除可提供部队使用也可推广应用于公用电话内、电力网、运输网等作可靠性设计。

°科 卞°