

IP/DWDM 光因特网路由选择机制的研究^{*}

王兴伟¹ 崔建业¹ 邸 魁² 郑露滴³

(东北大学计算中心 沈阳110004)¹ (东北大学教务处 沈阳110004)²

(朗讯贝尔实验室中国基础科学研究院 北京100080)³

Research on IP/DWDM Optical Internet Routing Mechanisms

WANG Xing-Wei¹ CUI Jian-Ye¹ DI Kui² ZHENG Lu-Di³

(Computer Center, Northeast University, Shenyang 110004)¹ (Educational Administration Branch, Northeast University, Shenyang 110004)²

(Lucent Bell Labs Research in China, Beijing 100080)³

Abstract The requirements of IP/DWDM optical Internet routing are analyzed. Guaranteeing QoS, survivability and fast routing, and supporting multicast and making full use of the resources of network are the basic requirements for it. Point out that QoS and survivability are the most important two keys to optical Internet routing. Summarize the common implementations which are used to satisfy these requirements. At last, point out the further steps that should be taken.

Keywords IP/DWDM, Routing, QoS, Survivability

1. 引言

IP/DWDM 光因特网让 IP 数据分组直接在光上传输,从而减少了网络各层之间的冗余部分。IP/DWDM 较 IP/ATM 和 IP/SDH/SONET 具有网络体系结构简单、网络设备少、网络管理复杂性小、额外开销低、网络延迟小、传输效率高等优点。IP/ATM 和 IP/SDH/SONET 最终都将为 IP/DWDM 所替代。

IP/DWDM 光因特网所要解决的两个关键问题是:路由选择和网络生存性。这两个问题所涉及的内容既是相互区别又是相互联系。目前,IP/DWDM 光因特网的路由选择问题主要有两种解决方案:重叠式路由(overlay)和集成式路由(integrated)。IP/DWDM 光因特网生存性机制一般又可以分为两大类:保护机制(protection)和恢复机制(restoration)^[1]。本文主要对 IP/DWDM 光因特网集成式路由选择机制及其网络生存性进行探讨。

2. IP/DWDM 光因特网路由选择机制的需求

IP/DWDM 光因特网路由选择机制不同于现有的 Internet 路由选择机制,具有其特殊性。其需求概括起来共有如下5点:1. 对服务质量的保证;2. 对网络生存性的保证;3. 对选路快速性的保证;4. 对多点播送业务的支持;5. 对网络资源优化配置的支持。其中,对服务质量和网络生存性的保证是光因特网路由选择机制的基本,同时也是最重要的两种需求。下面将分别对上述5种需求进行阐释。

2.1 对服务质量的保证

传统的因特网仅提供“尽力而为”(best-effort)的服务,但并不能给用户以服务质量的保证。随着因特网规模的不断增大和用户对服务质量需求的不断提高,服务质量已经成

为现在和将来因特网不可或缺的重要组成部分。

因此,IP/DWDM 光因特网路由选择机制必须对服务质量有所保证。

2.2 对网络生存性的保证

网络的生存性是指网络在经受各种故障后能够维持可接受业务质量的能力。网络的生存性是网络完整性的一部分。尽管人们在网络的设计和运营中采用各种方法来保证网络的完整性,但网络从未达到100%的可用性^[1]。

随着人类社会对通信依赖性的不断增强,通信中断给人们带来的损失和影响势必愈加严重。因此,为了保证信息安全传送,降低通讯中断所带来的损失,保证网络的生存性有着非常重要的意义。

因此,IP/DWDM 光因特网路由选择机制必须对网络的生存性有所保证。

2.3 对选路快速性的保证

IP/DWDM 光因特网传输速率极高,在对业务量进行路由选择时,对延迟的要求也是极高的。并且由于目前硬件水平的限制,光存储器并不十分成熟,即便光存储器设备实用化,在光因特网中由于其高速的传输速率,所需存储器的数量也是极其巨大的,令人无法接受。

因此,IP/DWDM 光因特网路由选择机制必须对选路快速性有所保证。

2.4 对多点播送业务的支持

在实际应用中有大量的多媒体实时业务,例如:股票交易信息、用于实时新闻报道和音乐剪辑等的流式视频和音频等等,这些业务量都需要由多点播送技术来支持。尽管可以采用由源端将多个相同的分组发送给目的端的方法来实现多点播送,但这极大地消耗了带宽资源。随着因特网规模的不断增大,多点播送业务的数量必定会高速增长。

^{*} 本文的研究得到国家自然科学基金与朗讯贝尔实验室中国基础科学研究院联合资助(60003006,70101006)、国家高技术研究发展计划资助(2001AA121064)、国家教育部现代远程教育关键技术及支持服务系统资助和沈阳市科委(基金)资助。王兴伟 博士,教授,主要研究领域为分布式多媒体信息处理。崔建业 硕士生,主要研究领域为 IP/DWDM 光因特网。郑露滴 博士,主要研究领域为光网络。

因此,为了节省带宽资源,提高网络资源的利用效率,IP/DWDM 光因特网路由选择机制必须对多点播送业务有所支持。

2.5 对网络资源优化配置的支持

网络资源数量的增长相对于用户高速增长的需求永远是相对滞后的。必须对网络中的资源进行优化配置,合理地使用。在每根光纤上所复用的波长数量是有限的,这就产生了如何对有限的带宽资源进行优化配置的问题。

因此,IP/DWDM 光因特网路由选择机制必须对网络资源优化配置有所支持。

3. 重叠式路由与集成式路由

在这部分中将重叠式路由与集成式路由进行比较,以确定在 IP/DWDM 光因特网中选取何种路由方式。

3.1 重叠式路由及其缺点

重叠式路由就是 IP 网络和 DWDM 网络仍使用各自的路由机制,即 IP 网络使用传统的动态路由协议(例如:RIP, OSPF, BGP 等)路由 IP 分组,而 DWDM 网络则使用路由和波长分配算法为光路确定路由并分配波长,两者相互独立。

重叠式路由存在的缺点主要有:网络资源的利用效率低,网络的可扩展性差,适用于网络建设的初期或者是规模较小的网络(如企业网、园区网等)。

3.2 集成式路由及其优点

集成式路由与重叠式路由恰恰相反,它将 IP 网络和 DWDM 网络紧密地结合起来,也就是在对 IP 分组进行路由选择时综合考虑 IP 层和光网络层的拓扑结构和资源信息。

集成式路由的优点主要有:网络资源利用效率较高,网络的可扩展性较好,适合于 Internet 骨干网应用。

3.3 重叠式路由与集成式路由的比较

重叠式路由与集成式路由的比较如表1所示。

表1 重叠式路由与集成式路由的比较

路由方式	重叠式路由	集成式路由
可扩展性	差	好
服务质量	支持	支持
计费支持	比较困难	比较容易
组播	效率较低	效率较高
标准	已标准化	正在发展
适用网络	小型网络	骨干网络

基于以上比较,在 IP/DWDM 光因特网路由选择机制中应采用集成式路由选择机制,以适应 Internet 骨干网的需求。

4. IP/DWDM 光因特网路由选择机制的研究现状

在这部分中对 IP/DWDM 光因特网路由选择机制的研究现状进行总结。共包括如下几方面:服务质量、网络生存性、快速选路、多点播送路由、网络资源优化配置和光网络的路由和波长分配。

4.1 服务质量

服务质量是 IP 分组在一个或多个网络中传输的过程中所表现的各种性能,它是对各种性能参数的具体描述。这些性能参数包括:业务可靠性、延迟、抖动、吞吐率和分组丢失率等^[2]。

IP 网络上存在的服务质量问题归根到底是由于下列两

方面的原因造成的:

- 网络资源绝对数量不能满足用户的需求,从而导致服务质量下降。

- 现有的网络性能无法满足各种新型实时业务的各种具体服务质量需求,此种矛盾可以通过对网络上的业务量进行合理的配置来解决。

为了满足对服务质量的需求,IETF 已经提出了一些服务模型和机制。它们分别是:综合服务/资源预留(RSVP)模型、区分服务模型、业务量工程和约束路由(constraint-based routing)以及多协议标记交换(MPLS)^[3]。下面对上述几种模型分别讨论。

综合服务/资源预留(RSVP)模型 它在尽力(best-effort)服务的基础上又添加了两类类型的服务。它们分别是:

- 确保服务(Guaranteed service):适用于对带宽和延迟有着严格要求的实时应用。

- 控制负载服务(Controlled-load service):适用于其用户期望性能等效于轻负载时的尽力服务网络的性能。

综合服务/资源预留(RSVP)模型的主要优点是实现了端到端的服务质量保证;使用 RSVP 的资源预留模式,可以高效地实现多点播送业务。缺点是对于路由器的要求较高;随着数据流的增加,状态信息高速增长,该模型不适合于 Internet 骨干网应用。

区分服务模型 区分服务模型的引入是为了解决综合服务/资源预留(RSVP)模型的缺点和不足。区分服务模型与综合服务模型的本质不同在于它并不是针对每一个业务流配置服务质量参数,而是将具有相似要求的一组业务归为一类,对这一类业务采取一致的处理方式。

区分服务模型的主要优点是它弱化了对于信令协议的依赖;具有较好的可扩展性;模型实现的复杂性较低。缺点是并未提供真正的端到端的服务质量;区分业务模型所使用的业务量组合模型造成了服务质量在某种程度上的不可预测性。

业务量工程和约束路由 业务量工程的出现就是为了在网络拥塞发生之前来避免网络拥塞的发生。约束路由就是用多个限制条件来约束对路由的计算。约束路由要达到如下目标:

- 选择可以满足确定服务质量需求的路径。
- 提高网络资源的利用效率。

约束路由的主要优点是可以更好地满足业务量对服务质量的需求,并且可以提高网络资源的利用效率。缺点是增加了通讯和计算的开销,增大了路由表的规模。

多协议标记交换 文[2]中对其有详尽说明,此处不再赘述。多协议标记交换的主要优点是简化控制过程,改善网络的可扩展性,具备一定的服务质量能力并且提供对业务量工程的保证。缺点是在多协议标记交换的标准化过程中,面临着对标记分发协议(LDP)和资源预留协议(RSVP)两种信令协议的选择,如果解决不好,将造成未来网络无法互连互通的严重问题。

4.2 网络生存性

一般地,实现网络的生存性有两种方法:保护和恢复。

保护是指利用节点间预先分配的容量实施网络保护,保护倒换时间很短,但备用资源无法在网络范围内共享,资源利用效率低^[1]。

恢复是指利用节点之间可用的任何容量,其实质是在网

(下转第148页)

- Network Special Issue, 2001, 15(2):24~32
- 14 Floyd S, Jacobson V. Random Early Detection Gateways for Congestion Avoidance. IEEE/ACM Transactions on Networks, 1993, 1(4): 397~413
 - 15 Lin D, Morris R. Dynamics of Random Early Detection. In: Proc. of SIGCOMM, Sep. 1997. 127~137
 - 16 Clark D D, Fang Wenjia. Explicit Allocations of Best-effort Packet Delivery Service. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1998, 6(4): 362~373
 - 17 Chang C S. Stability, Queue Length and Delay, Part I: Deterministic Queuing Networks: [Technical Report RC 17708]. IBM, 1992
 - 18 Cruz R L. A Calculus for Network Delay, Part I: Network Elements in isolation. IEEE Trans. Inform. Theory, 1991, 37-1: 114~131
 - 19 Cruz R L. A Calculus for Network Delay, Part II: Network Analysis. IEEE Trans. Inform. Theory, 1991, 37-1: 132~141
 - 20 Nahrstedt K. To Overprovision or To Share via QoS-aware Resource Resource Management. HPDC, Redondo Beach, California, USA, 1999
 - 21 VoIP Call Admission Control. <http://www.cisco.com/univercd/cc/td/doc/cisintwk/intsolns/voipsol/cac.htm>
 - 22 Sahoo A, Li C, Devalla B, Zhao Wei. Design and Implementation of NetEx: A Toolkit for Delay Guaranteed Communications. In: Proc. of Milcom, Volume: 2, 1997. 733~739
 - 23 Choi B K, Xuan D, Li C, Bettati R, Zhao Wei. Utilization-Based Admission Control for Scalable Real-Time Communications. Journal of Real-Time Systems, 2000
 - 24 Chuah C-N. A Scalable Framework for IP-Network Resource Provision Through Aggregation and Hierarchical Control: [PH. D. Thesis]. Fall 2001
 - 25 Raha A, Kamat S, Zhao W. Guaranteeing End-to-End Deadlines in ATM Network. In: Proc. of the IEEE Intl. Conf. on Distributed Computing Systems, May 1995

(上接第137页)

络中寻找失效路由的替代路由。使用网络恢复可以大大节省备用资源,但需要较长的恢复时间^[1]。

本文所讨论的光因特网的拓扑结构是网状网拓扑。因此,在这部分所讨论的网络生存性机制也都是基于网状网拓扑的。

网状网的保护:根据保护层次的不同可以分为 DWDM 层保护和 IP 层保护两种。

网状网的恢复:根据重新选路的计算和执行方式,可以把恢复分为集中式和分布式的恢复;根据重新选路的类型,又可以把恢复分为基于通道和基于链路的恢复;根据失效发生后路由计算的时效性,又可以把恢复分为实时和预计算恢复。

在恢复中另外一个重要的问题就是多层恢复机制的相互协调。常见的有如下3种策略:1. 在 DWDM 层进行恢复;2. 在 IP 层进行恢复;3. 不进行恢复协调。

4.3 快速选路

在 IP/DWDM 光因特网集成式路由选择机制中,如果仅仅考虑 IP 层的路由就已经是 NP-Hard 问题^[4]。因此,必须选用启发式算法或近似算法以完成快速选路的过程。

启发式算法可以这样定义:一个基于直观或经验构造的算法,在可接受的花费(指计算时间、占用空间等)下给出待解决组合优化问题每一个实例的一个可行解,该可行解与最优解的偏离程度不一定事先可以预计^[5]。

在光因特网路由选择机制中常用的启发式算法有:禁忌搜索、模拟退火、遗传算法和遗传模拟退火等算法。

4.4 多点播送路由

目前常见的做法是建立从发送方到接收方各成员的多点播送光路树,以降低多点播送业务对网络资源的占用,从而提高网络资源的利用效率。

4.5 网络资源优化配置

在这里我们所考虑的网络资源优化配置主要是针对网络的带宽资源。前述的业务量工程是基于给定业务量模型基础之上的,也就是静态业务量。在 IP/DWDM 光因特网路由选择机制中要考虑动态业务量的情况,目的是为了业务量在整个网络上均匀分布,从而提高网络资源的利用效率。

4.6 光网络的路由和波长分配

要建立一组光路就必须决定这些光路所占用的链路以及在每条链路上为每条光路所分配的波长。这就是光网络中的

路由和波长分配(RWA)问题。

在通常情况下,根据连接需求可以将路由和波长分配问题分为静态和动态两大类。

光因特网中所面临的业务量主要是动态业务量。动态 RWA 问题在求解时,通常的做法是将其分解为路由和波长分配两个子问题。

·路由子问题:路由子问题的常见解决方式包括:固定路由与固定可选路由、基于全局信息的自适应路由、基于邻居信息的自适应路由和基于本地信息的自适应路由。

·波长分配子问题:波长分配子问题的常见解决方式包括:并行预留和逐跳预留。其中逐跳预留又可以划分为:前向预留和反向预留。

上述方式在文[6]中有详尽阐述,此处不再赘述。

结束语 IP/DWDM 光因特网路由选择机制不同于现有的 Internet 路由选择机制,具有其自身的特殊性。本文将其概括为5种基本需求,并对这5种需求分别阐释。最后对 IP/DWDM 光因特网路由选择机制的研究现状进行总结。

IP/DWDM 光因特网路由选择机制的进一步研究过程中要充分考虑前述5种需求,要运用相关的现代优化方法建立相应的启发式算法,在算法的设计过程中要综合考虑服务质量和网络生存性这两种基本需要,还要考虑到业务量工程、链路负载均衡和多点播送等因素。在算法建立之后,运用计算机仿真手段对算法的性能进行评估。

参 考 文 献

- 1 龚倩,徐荣,张民,叶培大. 光网络的组网与优化设计. 北京:北京邮电大学出版社,2002
- 2 吴江,赵慧玲. 下一代的 IP 骨干网络技术-多协议标记交换. 北京:人民邮电出版社,2002
- 3 Xiao Xipeng, Ni L M. Internet QoS: A Big Picture. IEEE Network, March/April 1999
- 4 Kodialam M, Lakshman T V. Minimum Interference Routing with Applications to MPLS Traffic Engineering. In: Proc. of IEEE INFOCOM, March 2000
- 5 邢文训,谢金星. 现代优化计算方法. 北京:清华大学出版社,1999
- 6 Zang Hui, Jue J P, Lakshman Sahasrabudhe, Ramu Ramamurthy, Biswanath Mukherjee. Dynamic Lightpath Establishment in Wavelength-Routed WDM Networks. IEEE Communications Magazine, Sep. 2001