

IP over WDM 网中的策略路由算法¹

何荣希 李乐民 王 晟

(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 业务量工程允许管理者通过赋予业务主干不同的业务量工程属性来体现一定的管理策略,在为业务主干建立标记交换路径(LSP)时也应该考虑这些策略的影响。该文讨论了业务主干具有不同优先权属性时的LSP建立问题,针对中断LSP个数最少和中断业务量最小两种指标,分别提出不同的解决策略:最小连接数中断法(MCNIM)和最小连接带宽中断法(MCBIM),并在不同负载的动态业务下对所提算法进行了仿真研究,给出了仿真结果。

关键词 IP over WDM, 综合路由算法, 路由选择和波长分配, 策略路由

中图分类号 TN919.3

1 引 言

在IP over WDM网络对等模型(Peer model)中,网络由大量带有WDM接口的路由器(Router)和光交叉连接设备(OXC)通过光纤互连成网状(Mesh)结构。全网采用统一的路由协议,通过IGP(如扩展的OSPF或者IS-IS协议等)来交换拓扑信息,并且路由器和OXC中维持同样的链路状态信息^[1]。路由器可以计算出到其他路由器的端到端路径,即标记交换路径(Label Switch Path, LSP)。LSP可以经过OXC,它实际上就是在两个边缘路由器之间建立一条光路。一旦建立成功,该光路就可看作一条虚链路(Virtual Link),可以被业务量工程(Traffic Engineering, TE)和路由计算使用^[2]。在对等模型中,可以通过综合路由(Integrated routing)算法^[3]为业务主干建立LSP。与传统文献中的选路和波长分配(Routing and Wavelength Assignment, RWA)算法^[4]不同,综合路由将IP层与WDM层结合在一起统一考虑,在为业务主干建立LSP时,既可以通过IP层面建立在已经存在的虚拓扑上(先前已经建立的光路),也可以在WDM层为它新建一条光路,从而有效地提高全网的资源利用率。对等模型中存在两种不同类型的链路:一种是WDM层的波长链路(Wavelength link),另一种是IP层的逻辑链路(Logical link),这两种链路被统称为TE链路(TE-Link)^[2]。

在IP over WDM网中,当采用基于GMPLS(General Multi-Protocol Label Switch)^[5]的控制面来实现业务量工程时,管理者可以依据一定的管理策略赋予每个业务主干不同的业务量工程属性^[6,7]。文献[3]在讨论综合路由算法时,并没有考虑如何满足业务主干不同的业务量工程属性的问题。只是简单地将所有业务主干对应的LSP建立请求不加区别,同等对待。事实上管理者赋予业务主干不同业务量工程属性的目的就是为实现一定的管理策略,因此在为它们建立业务连接(也就是建立LSP)时,就应该考虑管理策略的影响。作者将这种考虑业务主干的业务量工程属性的综合路由算法称为IP over WDM网中的策略路由算法,其主要任务就是要解决如何为具有不同业务量工程属性(本文主要讨论优先权属性)的业务主干建立LSP。在为业务主干建立LSP时应该根据它们不同的优先权属性区别对待,保证优先权属性越高的业务主干能够获得越好的服务质量,如保证它们对应的LSP建立请求具有较低的阻塞率等。在网络资源较为紧张时,甚至可以通过抢占(Preempt)优先权比它低的业务主干已经占用的资源来满足为它建立LSP的要求^[6,7]。但是,由于抢占不可避免地会造成被抢占LSP上所承载的低优

¹ 2001-11-15收到, 2002-04-22改回

国家自然科学基金项目资助(基金号: 69990540, 60002004)

先权业务主干中断, 因此, 究竟应该如何抢占才能尽量减少全网中断的业务总量是一个值得探讨的问题。目前还未见文献对此进行讨论, 本文将对此作一些探索性的工作。

在实际运营网络中, 运营商可以向用户提供不同服务级别的租赁线路, 不同级别线路的使用费用不同。显然, 愿意支付更多费用的用户应该获得更好的服务。这可以通过一定的资源分配策略加以保证: 管理者可以为这些用户对应的业务主干指定更高的优先权属性, 从而保证能够为它们提供更高级别的服务。由于不同运营商为用户提供服务时可能采用不同的计费方式, 比如可以按照所能提供的业务连接个数 (LSP 个数) 进行计费, 也可以根据所能提供连接的总带宽进行计费。由于抢占会造成被抢占的 LSP 上所承载的业务中断, 运营商就不能对该连接收费, 这无疑会造成一定经济损失。因此, 在进行抢占时应该考虑如何减少运营商的经济损失, 这是一个有现实意义的问题。对于第一种计费方式, 在为高优先权的业务主干建立业务连接时应该尽量减少中断已建 LSP 的数目, 而对于第二种计费方式, 则应该尽量避免中断承载业务量较大的 LSP。针对这两种不同情况, 本文提出两种解决策略: 最小连接数目中断法 (Minimum Connection Number Interrupt Method, MCNIM) 和最小连接带宽中断法 (Minimum Connection Bandwidth Interrupt Method, MCBIM)。

在 WDM 光传送网中, 如果采用分层图 (Layered graph) 模型将 RWA 问题的选路子问题和波长分配子问题结合在一起进行考虑, 可以进一步降低全网的阻塞率^[4]。本文首先对分层图模型^[4]进行修改, 在此基础上对 MCNIM 和 MCBIM 进行讨论。在所提算法中, 对于到达源路由器的 LSP 建立请求, 根据其所对应的业务主干的优先权属性进行不同处理。在网络资源紧张时, 允许抢占承载低优先权业务主干的 LSP 上的资源来满足高优先权业务主干建立 LSP 的要求。在进行抢占时, MCNIM 总是选择中断 LSP 个数最少的通路, 而 MCBIM 选择中断业务带宽最小的通路。所提算法都能很好地保证高优先权属性的业务主干对应的 LSP 建立请求具有较低的阻塞率, 同时又可以尽量减少对低优先权属性业务主干的中断。本文最后采用文献^[3]的网络模型, 在不同负载的动态业务下, 对所提算法进行了仿真研究, 并给出了仿真结果。

2 IP over WDM 网中的策略路由算法

2.1 问题描述

给定网络物理拓扑 $G(N, L, W)$, 其中 N 代表节点集, L 代表双向链路集, W 是每条光纤上的可用波长集。假定每条链路都由一对方向相反的单向光纤组成, 每条光纤可支持的波长集为 $\{\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{|w|}\}$ 。考虑的光路是双向光路。节点数、链路数和波长数分别用 $|N|$ 、 $|L|$ 和 $|W|$ 表示。一个节点可能是路由器, 也可能是 OXC (本文仅限于无波长变换的 OXC, 这有利于降低成本)。用 R 代表所有路由器的集合, 用 S 代表所有 OXC 的集合, 即 $N = R \cup S$; 属于 R 的节点可以按任意粒度对不同带宽的业务进行复用和解复用, 而且可以根据需要将业务输出到适当的波长上^[3]。假定每个路由器都具有足够的接口来处理所有到达它的业务; 属于 S 的节点只能进行波长交换, 将一条输入光纤上的波长交换到另一条输出光纤的同一波长上。 R 集合中的一部分作为输入/输出节点对。假定所有 LSP 建立请求动态到达这些节点对, 而且每次只有一个请求到达源路由器。LSP 建立请求 i 可以表示为 (o_i, t_i, b_i) , 其中 $o_i, t_i \in R$, 分别表示该请求对应的源、宿路由器, b_i 表示其带宽要求。不失一般性, 可以用一个波长支持的传输速率作为带宽要求的基本单位^[3]。

为了更好地讨论所提算法, 本文对分层图模型^[4]进行了修改。为了便于描述, 先引入波长通道的概念。在物理拓扑 G 中, 如果节点 i 与 j 之间存在链路 $l_{ij} \in L$, 那么构成该链路的光纤对上的每一个波长, 就称为一个波长通道。可见波长通道也是双向的。

分层图模型将物理拓扑 $G(N, L, W)$ 转化为 $|W|$ 个互不相邻的子图 $G(N^\lambda, L^\lambda)$, $\lambda \in W$, 分别对应一个特定的波长 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, |W|)$, 称为波长平面。物理拓扑中的每个节点 $N_k \in N$, 在分层图中都被复制 $|W|$ 次, 对应着 $|W|$ 个波长平面中的节点 $N_k^i (i = 1, 2, \dots, |W|)$; 物理拓

扑中的链路 $l_{kn} \in L$ 映射为波长平面 $\lambda_i (i = 1, 2, \dots, |W|)$ 中的弧段 $l_{k'n'}$, 每个弧段就代表一个波长通道。

在分层图中应该反映出所有 TE 链路的信息, 也就是除了要反映 WDM 层的波长通道信息外, 还要反映出 IP 层的逻辑链路信息。一条逻辑 IP 链路实际上就是先前在 WDM 层建立的一条光路。由于建立该逻辑 IP 链路必然要占用 WDM 层部分节点间的波长通道, 因此, 在分层图中就应该去掉相应的波长通道。图 1 所示为一个五节点、单光纤、双波长的物理拓扑及其分层图模型, 其中 r_1, r_2, r_3 为路由器, s_1, s_2 为 OXC。图中表示 r_1, r_2 之间已经存在一条带宽为 0.5 单位的逻辑 IP 链路 (用 $L-1$ 表示), 也就是说在 r_1, r_2 之间已经建立一条光路, 并且其带宽已经被占用 0.5 单位。该光路使用 r_1-s_1 和 s_1-r_2 之间的光纤对上的波长 λ_1 。图 1(b) 为此时的

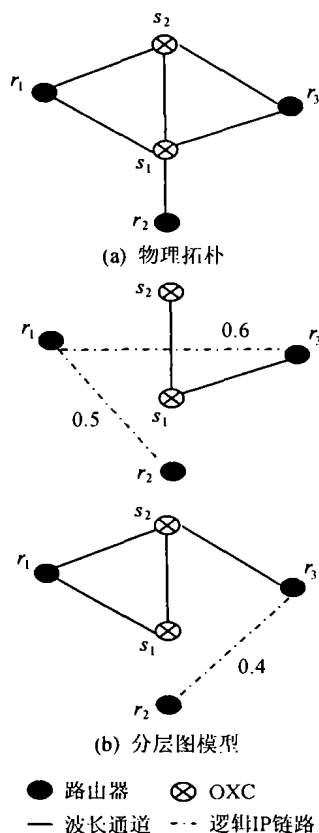


图 1 IP Over WDM 中的分层图模型

假设 $L-1, L-2$ 和 $L-3$ 对应的业务主干都被管理者赋予低优先权属性, 此时在路由器 r_1 处又到达一个 LSP 建立请求 $(r_1, r_2, 0.6)$, 它对应的业务主干具有高优先权属性。由于此时网络中已经无空闲资源为它建立 LSP, 因此只能通过抢占低优先权属性业务主干占用的资源才能满足它的 LSP 建立要求。由于 $L-1, L-2$ 和 $L-3$ 都对应低优先权属性的业务主干, 而且抢占其中任何一个的资源都能为新到的高优先权属性业务主干成功建立 LSP。那么, 此时究竟应该选择中断那条已建 LSP 呢? 这正是本文将要解决的问题。对于该问题处理的好坏会直接影响到策略路由算法的效率。

2.2 IP over WDM 网中的策略路由算法

假设 IP over WDM 网中, LSP 建立请求按照泊松过程独立、随机到达源端路由器, 平均

分层图描述, r_1-r_2 之间的虚线就代表逻辑 IP 链路 $L-1$, 其剩余带宽为 0.5 单位。由于该条逻辑链路使用了 r_1-s_1 和 s_1-r_2 之间的光纤对上的波长 λ_1 , 因此, 分层图中去掉了 λ_1 对应的波长平面上相应节点对间的波长通道。同时图中还表示在 r_1, r_3 之间存在一条带宽为 0.6 的逻辑 IP 链路 (用 $L-2$ 表示), 它对应的光路使用 r_1-s_2 和 s_2-r_3 之间的光纤对上的波长 λ_1 ; 在 r_2, r_3 之间存在一条带宽为 0.4 的逻辑 IP 链路 (用 $L-3$ 表示), 对应光路使用 r_2-s_1 和 s_1-r_3 之间光纤对上的波长 λ_2 。由于 LSP 动态建立和拆除, 逻辑 IP 链路的剩余带宽将是动态变化的。如果一条逻辑 IP 链路的剩余带宽为 0, 则在分层图中就应该删除该条逻辑 IP 链路。相反, 如果一条逻辑 IP 链路的剩余带宽达到 1, 则除了在分层图中删除该逻辑 IP 链路外, 还应在该逻辑 IP 链路经过的各个节点对间增加相应的波长通道连接, 并且这些波长通道的剩余带宽为 1。也就是说, 此时将该逻辑 IP 链路还原成 WDM 层中的波长通道。在分层图中, 标注在每条链路旁的数字表示此时该链路的剩余带宽值。

到达率为 β 。LSP 的持续时间服从均值 $1/\mu$ 的指数分布, 而且平均持续时间大大超过网络的传输时延以及 LSP 建立时间。假定所有到达业务主干的优先权属性都可归入高和低两种级别, 分别用 p_1 和 p_2 表示; 高优先权属性的业务主干具有强占属性。一旦将物理拓扑转化为分层图, LSP 建立问题就转化为在分层图上找寻一条从源端路由器到目的端路由器的代价最小的通路。此时, 如何确定分层图中链路的权值就成为解决问题的关键。

分层图中的链路分为波长链路和逻辑 IP 链路两种。波长链路 h_{kn}^i 表示 λ_i 对应的波长平面上, 节点 k 和 n 之间的光纤对上的弧段。实际上它代表物理拓扑 G 中节点 k 和 n 之间光纤对上波长 λ_i 对应的波长通道; 逻辑 IP 链路 l_{kn}^i 表示物理拓扑 G 中, 节点 k 和 n 之间建立的一条光路, 该光路使用波长 λ_i 。对于这两种链路, 应该采用不同的方式决定其代价函数: h_{kn}^i 的代价函数 $c(h_{kn}^i)$ 仅仅取决于物理拓扑 G 中相应链路 l_{kn} 上的波长使用情况, 即

$$c(h_{kn}^i) = \begin{cases} c_{kn}, & o(h_{kn}^i) = 1 \\ +\infty, & \text{其它} \end{cases} \quad (1)$$

其中 $o(h_{kn}^i)$ 为 h_{kn}^i 的占用函数。物理拓扑 G 中, 如果节点 k, n 之间的光纤对上的波长 λ_i 空闲, 则称 h_{kn}^i 未被占用 (空闲), $o(h_{kn}^i) = 1$; 否则, h_{kn}^i 被占用, $o(h_{kn}^i) = 0$; c_{kn} 是物理拓扑 G 中链路 l_{kn} 对应的基本代价, 它由相应链路的物理长度、建设费用等多种因素共同决定。

逻辑 IP 链路 l_{kn}^i 的代价函数 $c(l_{kn}^i)$ 除了取决于链路的剩余带宽 b_l 外, 同时还必须考虑到达 LSP 建立请求的带宽要求, 以及该请求所对应业务主干的业务量工程属性。对于一个新到的带宽要求为 b 的 LSP 建立请求来说, 如果它对应的是高优先权属性的业务主干, 尽管它可以抢占所有比它优先权低的业务主干对应的 LSP 上的资源。但是, 为了避免引起过多的业务中断, 应该尽量使用空闲带宽资源满足要求的 TE 链路来建立 LSP; 只有当空闲资源无法满足要求时, 才抢占低优先权业务主干对应的 LSP 上的资源。而且在进行抢占时, 还应当综合考虑低优先权业务主干对应的 LSP 上承载业务的情况。在策略路由算法中应该遵循以下准则:

- (1) 对于低优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求, 只能使用空闲带宽满足其带宽要求的 TE 链路来建立 LSP;
- (2) 对于高优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求:
 - (A) 尽量鼓励利用 TE 链路上的空闲带宽资源建立 LSP;
 - (B) 如果在 TE 链路的空闲带宽资源上无法建立 LSP, 则允许抢占低优先权属性业务主干对应的 LSP 上的带宽资源:
 - (a) MCNIM 鼓励尽量选择中断 LSP 个数最少的路径建立 LSP;
 - (b) MCBIM 鼓励尽量选择中断业务带宽最小的路径建立 LSP。

上述准则的主要目的就是: 既要保证高优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求具有较低的阻塞率, 同时又要避免造成全网业务中断过多, 致使运营商遭受较大的经济损失。根据上述准则, 可以决定分层图中逻辑 IP 链路 l_{kn}^i 的代价函数 $c(l_{kn}^i)$, 即

$$c(l_{kn}^i) = \begin{cases} e_{kn}^i, & b_l < b \\ d_{kn}^i, & \text{其它} \end{cases} \quad (2)$$

其中 b_l 是该链路的剩余带宽; d_{kn}^i 是与逻辑 IP 链路的跳数 (Hop) 有关的常数, 跳数越大, 其值越大; 而 e_{kn}^i 可以按下式计算:

$$e_{kn}^i = \begin{cases} +\infty, & \text{优先权为 } p_2, \text{ 或者 } l_{kn}^i \text{ 承载高优先权业务} \\ f_{kn}^i, & \text{优先权为 } p_1, \text{ 并且 } l_{kn}^i \text{ 承载低优先权业务} \end{cases} \quad (3)$$

其中 f_{kn}^i 是一个常数因子, 要求 $f_{kn}^i \gg \max\{d_{kn}^i\}$. 它除了与仿真时所用网络模型的规模大小有关外, 在 MCBIM 中它还取决于该链路承载业务量的多少. 承载业务量越大, 取值就相应增加, 表达式如下:

$$f_{kn}^i = \max\{d_{kn}^i\}/b_l + \Delta \quad (4a)$$

而在 MCNIM 中, f_{kn}^i 与该逻辑 IP 链路上承载的 LSP 个数有关. 承载的 LSP 个数越多, 其值越大, 即

$$f_{kn}^i = \max\{d_{kn}^i\} \cdot n_{li_{kn}}^i + \Delta \quad (4b)$$

其中 b_l 是该链路的剩余带宽, 满足 $b_l < 1$. $n_{li_{kn}}^i$ 表示该逻辑 IP 链路上承载的 LSP 个数, 显然 $n_{li_{kn}}^i \geq 1$. Δ 是一个常数, 通过调整该常数可以保证总是首先选择满足带宽要求的 TE 链路建立 LSP, 只有在空闲资源上无法成功建立 LSP 时才抢占低优先权业务主干已经使用的资源.

在为一个新到的请求建立 LSP 时, 可以先对分层图进行裁减, 删除那些不满足带宽要求的链路 (权值为无穷大的链路), 然后新的分层图上采用最短路径算法 (如 Dijkstra 等) 找出一条代价最小的通路; 该通路的总代价函数 $C(P)$ 应该满足 $0 < C(P) < +\infty$.

IP over WDM 网中策略路由算法的关键就在于如何根据到达 LSP 建立请求的带宽要求, 以及其对应业务主干的业务量工程属性, 结合全网的资源使用情况来构造分层图, 并决定分层图中 TE 链路的权值. 一旦构造好分层图, 则对应不同业务主干的 LSP 建立问题就转化为在分层图上寻找出一条源、宿路由器之间的最短通路问题. IP over WDM 网中策略路由算法的具体步骤如下:

步骤 1 将给定的物理拓扑 $G(N, L, W)$ 转化成分层图, 根据 (1) 式计算出分层图中各个波长链路的代价函数值;

步骤 2 等待请求到达;

如果到达的是 LSP 建立请求, 则转至步骤 3;

如果到达的是 LSP 释放请求, 则转至步骤 6;

步骤 3 根据到达 LSP 建立请求的带宽要求 b 和它对应业务主干的优先权属性 p_i , 以及各个链路的剩余带宽情况, 根据 (2) 式、(3) 式和 (4a) 式 (对应 MCBIM) 或者 (4b) 式 (对应 MCNIM) 决定分层图中逻辑 IP 链路的代价函数值, 然后转到步骤 4;

步骤 4 在分层图中, 用 Dijkstra 算法在 $|W|$ 个波长平面上并行地寻找出各自的最短路径 P_j , 要求 $0 < C(P_j) < +\infty$:

(1) 如果一条都没有找到, 则拒绝该业务连接建立请求, 并转至步骤 2;

(2) 如果找到 $v(v \leq |W|)$ 条最短路径 $P_m(m = 1, 2, \dots, v)$, 则转至步骤 5;

步骤 5 从这 v 条可用通路中选择代价最小的通路, 如果找到不止一条, 则按照 First-Fit 原则选出中断业务连接 (LSP) 个数最小 (对应 MCNIM) 或者中断业务带宽最小 (对应 MCBIM) 的那条通路, 并释放该通路链路上所承载的将被抢占 LSP 上的带宽资源; 然后在选定通路上建立新的 LSP; 修改该通路所在波长平面中相应链路的剩余带宽值; 转至步骤 2.

步骤 6 释放该 LSP 所占用的资源, 修改它经过的逻辑 IP 链路上的剩余带宽值. 如果某条逻辑 IP 链路的剩余带宽值达到 1 单位, 则释放该条逻辑 IP 链路, 将它还原为相应节点对间的波长链路, 这些波长链路的剩余带宽为 1 单位, 然后转至步骤 2.

3 计算机仿真及数据分析

利用 IP over WDM 网的策略路由算法为高优先权属性的业务主干建立 LSP 时, 除了采用前面讨论的 MCNIM 和 MCBIM 外, 还可以采用另一种比较直观的策略——随机抢占法 (Random

Preemption Method, RPM). RPM 在为高优先权属性业务主干建立 LSP 时, 可以任意抢占低优先权属性业务主干对应 LSP 上的资源, 并没有考虑额外的优化指标. 显然, 对于运营商而言, 前面讨论的 MCNIM 和 MCBIM 应该比 RPM 更有吸引力. 本节将通过计算机仿真的方法, 将 MCNIM 和 MCBIM 分别与 RPM 进行比较. 仿真时采用文献 [3] 中的网络模型, 如图 2 所示. 图中方框为路由器, 圆圈为 OXC(不考虑波长变换的情况). 仿真时假定每根光纤可以支持 4 个波长.

假定所有到达源路由器的 LSP 建立请求的平均速率服从参数 β 的泊松分布, 即全网总的到达率为 β . 全网所有源-宿节点对间的业务强度都相同, 即支持的业务为均匀业务. 高、低两种优先权属性的业务主干等概率出现, 并且 LSP 建立请求的源、宿节点对在 $\{(1-13), (5-9), (4-2), (5-15)\}$ 中随机选定^[3], 允许一对节点之间同时存在多条 LSP. 一旦 LSP 建立请求被拒绝 (阻塞),

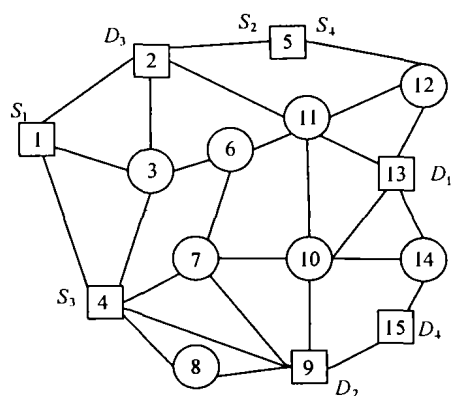


图 2 仿真用的网络模型^[3]

就立即丢弃, 即无等待队列. 由于业务经过汇聚 (Aggregate) 后到达边缘路由器, 因此一般具有较大的带宽要求, 不妨假设用户 LSP 建立请求的带宽要求服从均匀分布 $U(0.5, 0.7)$.

本文在不同负载的动态业务环境下, 对采用上述 3 种方法时不同优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求的阻塞率进行了仿真研究, 如图 3 和图 4 所示. 同时图 5 对采用 RPM、MCBIM 和 MCNIM 时全网中断的 LSP 数目进行了比较, 图 6 比较了采用上述 3 种方法时全网中断的业务量多少 (中断的 LSP 带宽之和). 所有结果都是在模拟 10^6 次请求后统计得出的. 图中 RPM-1, MCNIM-1, MCBIM-1, RPM-2, MCNIM-2 和 MCBIM-2 分别表示采用 RPM、MCNIM 和 MCBIM 时全网中高和低优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求的阻塞率.

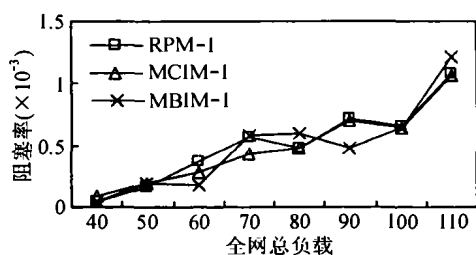


图 3 不同方法中高优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求的阻塞率比较

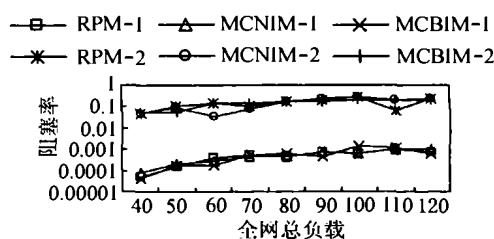


图 4 不同方法中不同优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求的阻塞率比较

从图 3 和图 4 可以看出, 采用 3 种策略都能很好地保证高优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求具有很低的阻塞率, 而且三者非常接近. 因此就阻塞率指标而言, 这 3 种方法区别不大. 从图 5 可以看出, 与 RPM 和 MCBIM 相比, 采用 MCNIM 策略可以有效减小被抢占的 LSP 数目, 这在运营商按照提供业务连接数进行收费时是非常有利的. 从图 6 可以看出, 与 RPM 和 MCNIM 相比, 采用 MCBIM 可以减少抢占引起的业务中断量. 图中所示为在不同负载下全网

所有被中断的 LSP 上的总业务量, 单位为基本单位。因此, 在运营商依据所提供的服务带宽进行计费时, 采用 MCBIM 比较有利。总之, 在策略路由中, 如果出现只能通过抢占才能为高优先权属性业务主干成功建立 LSP 时, 应该结合 TE 链路的状态信息来决定如何抢占, 从而可以有效减少被中断的业务。

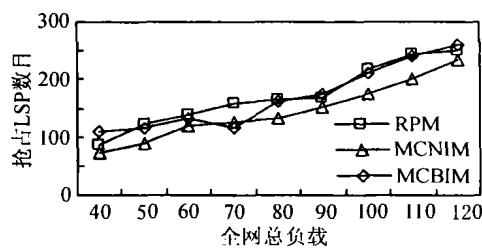


图 5 采用 RPM 和 MCNIM 时
全网抢占的 LSP 数目比较

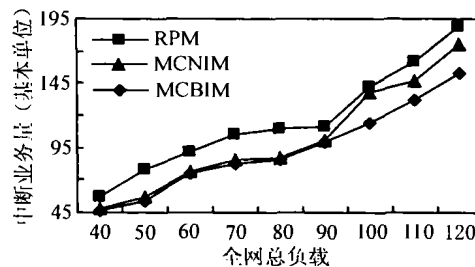


图 6 采用 RPM 和 MCBIM 时
全网中断的业务量比较

4 结 束 语

在 IP over WDM 网中, 可以采用基于 GMPLS 的控制平面来实现业务量工程。此时管理者可以通过赋予业务主干不同的业务量工程属性来体现一定的管理策略。那么, 在为每个业务主干建立 LSP 时也应该考虑这些管理策略, 也就是应该采用策略路由算法来建立 LSP。本文对此问题进行了研究, 主要解决: 在通过抢占低优先权属性业务主干使用的资源来为高优先权属性业务主干建立 LSP 时, 如何实施抢占才能尽量减少抢占所造成的业务中断。本文针对中断 LSP 个数最少和中断业务量最少两种指标, 提出两种不同的解决策略: MCNIM 和 MCBIM, 并在不同负载的动态业务下对所提算法进行了仿真研究。结果表明: 二者都能很好地保证高优先权属性业务主干对应的 LSP 建立请求具有很低的阻塞率, 同时 MCNIM 能够有效减少全网被抢占的 LSP 个数, 而 MCBIM 能够降低全网被中断的业务量。

参 考 文 献

- [1] S. Seetharaman, *et al.*, IP over optical networks, A summary of issues, Internet Draft, draft-osu-ipo-mpls-issues-02. txt, Apr. 2001.
- [2] K. Kompella, *et al.*, OSPF extensions in support of generalized MPLS, Internet Draft, draft-kompella-ospf-gmpls-extensions-01. txt, Feb. 2001.
- [3] M. Kodialam, *et al.*, Integrated dynamic IP and wavelength routing in IP over WDM networks, Proc. of IEEE INFOCOM, Anchorage, Alaska, Apr. 2001.
- [4] 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, 电子学报, 2000, 28(7), 23-27.
- [5] A. Banerjee, *et al.*, Generalized multiprotocol label switching: an overview of routing and management enhancements, IEEE Commun. Mag., 2001, 39(1), 2-8.
- [6] D. Awduche, *et al.*, Requirements for traffic engineering over MPLS, Internet RFC2702.
- [7] D. Awduche, *et al.*, Multi-protocol lambda switching: Combining MPLS traffic engineering control with optical crossconnects, Internet Draft, draft-awduche-mpls-te-optical-03. txt, Apr. 2001.

POLICY-BASED DYNAMIC ROUTING AND WAVELENGTH ASSIGNMENT IN IP OVER WDM NETWORKS

He Rongxi Li Lemin Wang Sheng

(*Nat. Key Lab of Broadband Opt. Fiber Transm. and Comm. Networks,
UEST of China, Chengdu 610054, China*)

Abstract A traffic trunk can be characterized by administrator in optical traffic engineering, and an attribute of a traffic trunk is a parameter assigned to it which influences its behavioral characteristics. The priority attribute defines the relative importance of traffic trunks. If a constraint-based routing framework is used, then priorities become very important in implementations permitting preemption. Preemption is used to assure that high priority traffic trunks can always be routed through relatively favorable paths at connection establishment within a differentiated services environment. The main objective of this paper is to discuss how to preempt at Label Switch Path(LSP) establishment according to the attribute of traffic trunk, and two new schemes, Minimum Connection Bandwidth Interrupt Method(MCBIM) and Minimum Connection Number Interrupt Method(MCNIM), are presented. They make full use of established LSP information to determine how to route an arriving request. Simulation results show that these two schemes can improve the performance of the network significantly.

Key words IP over WDM, Integrated routing algorithm, Routing and Wavelength Assignment (RWA), Policy-based routing

何荣希: 男, 1971 年生, 博士, 东北大学博士后, 目前主要研究方向为: 光联网中的路由和波长分配算法、生存性等。
李乐民: 男, 1932 年生, 教授, 博士生导师, 中国工程院院士, 主要研究方向为通信网与宽带通信技术。
王 晟: 男, 1971 年生, 博士, 副教授, 目前主要研究方向为通信网与宽带通信技术。