

文章编号:1000-582X(2009)10-1231-05

ASON 中波长预留冲突避免恢复算法

杜 荔, 刘晓娟, 张韶华

(东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要:在 ASON 中的链路故障恢复过程即选择路由并分配波长的过程,采用一种改进的均衡路由算法(ERA)以实现负载均衡;分配波长过程中由于波长连续性的限制,不具备波长转换能力的网络中很容易造成阻塞,提出一种波长预留冲突避免算法(WRCA),通过在基于流量工程的资源预留协议中加入冲突检测对象(CDO),并根据 CD 标志位不同的取值,由目的端选取不同的波长分配策略,减少由于波长预留冲突造成的阻塞。仿真实验对采用了 ERA 的 4 种波长分配算法进行了比较,数据结果显示,应用了冲突检测机制的首次适配法(FF)和随机适配法(RD)与传统的 FF 和 RD 相比,能够有效降低全网的阻塞率。

关键词:多协议标记交换;恢复算法;负载均衡;冲突避免

中图分类号:TN915.63

文献标志码:A

Restoration algorithm with wavelength reservation collision avoidance in ASON

DU Li, LIU Xiao-juan, ZHANG Shao-hua

(College of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang, Liaoning 110004, P. R. China)

Abstract: Aiming at the problem of link fault restoration in ASON, an improved equalizing routing algorithm (ERA) is introduced to proportion the load at the routing phase. In order to solve the easy blocking problem for the network without wavelength converter because of the wavelength-continuity constraint, the algorithm WRCA is proposed at the wavelength assignment phase. This algorithm is realized by adding collision detection object (CDO) in the path message of the resource reservation protocol with traffic engineering extension (RSVP-TE). Depending on the value of the CD flag, different wavelength selection strategies are applied at the destination node, and the blocks resulting from wavelength reservation collision are reduced. The simulation experiments compare four wavelength assignment algorithms with the same routing algorithm ERA. The results show that compared with the traditional first fit algorithm (FF) and random fit algorithm (RD), the FF and RD employing CD scheme can effectively reduce the blocking ratio of the whole network, and enhance the practical applicability of the restoration algorithms.

Key words: GMPLS; restoration algorithm; load proportion

收稿日期:2009-05-20

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50875268)

作者简介:张大可(1956-),东北大学副教授,硕士生导师,主要从事现代设计方法,机械结构设计方向研究,
(E-mail)dkzhang@cqu.edu.cn。

GMPLS 恢复算法的目标是寻找一条能够有效利用现有网络资源的可行路径进行故障恢复,并为其分配波长,属于路由波长分配问题^[1-3]。智能光网络中路由和波长分配问题属于 NP-C 问题^[4],随着网络规模的增大,问题求解的复杂度也急剧上升,求解最优解变得更加困难。实际的算法研究中通常分解成 2 个步骤:一是按照某种优化目标,寻找从源节点到目的节点的路由;二是在满足一定优化性能的情况下为这些路由分配波长。

在选路阶段,传统的选路算法采用最短路径优先算法,以 Floyd^[5] 和 Dijkstra^[6] 算法为代表,主要考虑最小化单个网络呼叫而不考虑负载均衡,造成一些链路负载过重而另一些链路处于空闲状态,资源利用不合理,为克服这种缺陷,在 FIR 算法^[7] 的基础上,笔者对一种均衡路由算法 ERA (equalized routing algorithm)^[8] 进行了改进。在波长分配阶段,由于波长资源有限及波长连续性等限制性条件很容易产生资源冲突,设计了一种波长预留冲突避免(WRCA)恢复算法,通过在基于流量工程的资源预留协议(RSVP-TE)中加入冲突检测对象,并在目的端选取不同的波长分配策略,减少由于波长预留冲突造成的阻塞率。

1 波长预留冲突问题

在 ASON 中,GMPLS 控制平面利用 RSVP-TE 分布式信令协议^[9-10] 进行动态连接请求的光路预留。在不具备波长转换能力的光网络中链路在预留或是恢复过程中,RSVP-TE 协议事件都有可能被阻塞。阻塞又分为前向阻塞和后向阻塞^[11-12]。造成前向阻塞的原因主要有 2 个:一是从源端到目的端有空余容量的路由存在,但是找不到;二是由于波长连续性限制,尽管路径上每一跳都有空闲容量,但是端到端的可用波长找不到。后向阻塞主要是由于收集到的链路状态信息因广播延时,到达目的端时造成全网信息过时,从而导致同时有 2 个或者更多的信令协议试图预留同一链路上的相同波长。有实验数据表明,在没有波长转换器且路径请求间隔太短的情况下,前向阻塞相对于后向阻塞来说可以忽略。尤其在动态的高业务量环境中,后向阻塞变得更重要,预留冲突会使得连接阻塞率急速增大。

2 均衡路由算法(ERA)

2.1 ERA 算法权重设计

首先对本算法中用到的变量做如下定义

1) 业务带宽 $S(i)$: 在链路 i 上,工作路径占用

的总带宽。

2) 预留带宽 $R(i)$: 在链路 i 上,被预留用作故障恢复路径占用的总带宽。

3) 可用带宽 $A(i)$: 链路 i 的总带宽除去业务带宽和预留带宽之后的空闲带宽。

4) 路的总带宽 $B(i)$: $S(i) + R(i) + A(i)$ 。

5) 管理权重 $W(i)$: 由网络管理者设定的,可以作为网络启发式代价的度量。链路的代价越小,被选择的可能性就越大。

6) 请求带宽 b : 新增加的请求带宽的大小。

算法实现过程如下

① 业务路径上链路 i 的负荷指标 $L(i)$, 反映链路 i 上的业务负荷

$$L(i) = \begin{cases} (S(i) + b)/B(i), & b \leq A(i); \\ \infty, & b > A(i) \text{ 或该链路不存在。} \end{cases} \quad (1)$$

② 业务路径的链路 i 的权重 $W_s(i)$:

$$W_s(i) = L(i) \cdot W(i). \quad (2)$$

在选取业务路径时应该选取该权重最小的链路,这意味着总是给负载小的链路多分配负载,最终实现业务路径的负载均衡。

③ 恢复路径的链路 i 的利用率指标 $U(i)$

$$U(i) = \begin{cases} \{R(i) + \min[b, T(i) + b - R(i)]\}/B(i), & 0 < T(i) + b - R(i) \leq A(i), \text{ 且 } i \notin P_s; \\ R(i)/B(i), & T(i) + b - R(i) \leq 0, \text{ 且 } i \notin P_s; \\ \infty, & T(i) + b - R(i) > A(i) \text{ 且 } i \notin P_s. \end{cases} \quad (3)$$

链路的利用率指标反映了该链路上的恢复路径所占用资源的情况。其中 $T(i)$ 表示沿业务路径 P_s 的任何链路发生故障时,为实现故障恢复在链路 i 上的业务需要的最大带宽。

④ 恢复路径的链路 i 的权重 $W_r(i)$

$$W_r(i) = U(i) \cdot W(i), \quad (4)$$

在选取恢复路径时应选取该权重最小的链路,这意味着在共享网状网恢复的方式下所选取的链路对原有链路影响最小,恢复路径分配更均衡。

2.2 ERA 业务路径计算

用 $G(V, E)$ 代表一个 ASON 网络,其中 V 代表网络中节点的集合, E 代表双向链路的集合。设指定节点 v_1 到任意其它节点 v 的链路最小权值为 $D(v_1, v)$; 暂定任两节点 v_i 到 v_j 的链路权值为 $L(v_i, v_j)$, 当剩余带宽 $A(v_i, v_j)$ 小于请求带宽 b 时, $L(v_i, v_j)$ 为无穷大。业务路径选取步骤如下:

Step1: 初始化。首先,置定节点集 $V_s = \{v_1\}$, 其权值 $D(v_1) = 0$, 假定此时不在 V_s 中的其它每个节点 v 皆未与 v_1 相连,即 $D(v_1, v) = \infty$ 。其次,若有

任一节点 v 欲与 v_1 相连,但不一定是最短径。设其链路权值为 $L(v_1, v)$ 。若有节点 v_s 经由中间节点 v_i 到未置节点 v_j ,其 v_s 到 v_j 的链路权值则为 $D(v_s, v_j) = D(v_s, v_i) + L(v_i, v_j)$,式中 $D(v_s, v_i)$ 为置定最小链路权值, $L(v_i, v_j)$ 为未置定链路权值。

Step2:求节点集 V_s 中指定节点 v_1 经 v_i 到 v_j 最小链路权值路由。要求满足关系式

$$D(v_1, v_j) = \min_{v_i \in V_s} [D(v_1, v_j), D(v_1, v_i) + L(v_i, v_j)],$$

$$v_j \in (V - V_s), \tag{5}$$

其中 $D(v_1, v_j)$ 为含有节点 v_i 的上次求得的最短径的最小链路权值, $L(v_i, v_j)$ 为本次欲求节点 v_i 和 v_j 间链路权值; V_s 为包含 v_1 的置定子集;差集 $V - V_s$ 为未置定集。

重复 Step2 多次,直至全部节点皆在 V_s 中。按照最小权值要求,逐步缩小差集 $V - V_s$,扩大置定子集 V_s ,直至 $V_s \rightarrow V$,得出从源节点到目的节点的业务路径 P_s ,算法结束。

2.3 ERA 恢复路径计算

通道恢复计算过程与业务路径计算过程类似。为避免恢复路径选用业务路径上的链路或节点,在原有的拓扑 $G(V, E)$ 中剪裁掉业务路径 P_s 所经过的节点和链路,生成拓扑 $G'(V, E)$ 。 $U(v_i, v_j)$ 表示节点 v_i 和 v_j 之间链路的权重。对于 $A(v_i, v_j)$ 小于请求带宽 b ,设它的 $U(v_i, v_j)$ 为无穷大。具体过程如下

Step1:设定 $P = \{v_1\}, D_1 = 0, D_j = U(v_1, v_j), j \neq 1$ 。

Step2:寻找所有与 P 中新叫入的节点相邻的节点,设该节点为 v_i 使其满足 $v_i \notin P$,

$$D_i = D_j + U(v_j, v_i)。$$

Step3:把节点 v_i 加入 P 中, $P = P \cup \{v_i\}$,更新 D_j ,

$$D_j = \min_i [D_j, U(v_j, v_i) + D_i]。$$

Step4:直到所有节点都包含在 V_s , 否则回到 Step2。

Step5:计算出源节点和目的节点之间的权重最小路径,记为 P_r 。

3 波长预留冲突避免恢复算法 (WRCA) 描述

WRCA 算法的每个节点分别需要一个 Path 和 Resv 状态数据库,即 PSB 和 RSB^[13]。每个 PSB 都包含在一个到达的 Path 消息中,PSB 中维护了几个关于连接请求的消息。每一个 RSB 都包含在一个入口的 Resv 消息中。在 PSB(RSB) 中储存的信息持续时间为从 Path(Resv) 消息到达开始到相应的 PathErr 或

ResvErr 消息到达(光路预留不成功)为止,或者从光连接请求发出开始直到光路径拆除为止。其中,在一个分布式环境中,显式路由对象 ERO(Explicit Route object) 和标签集对象 LSO(Label Set object, LS) 2 个附加对象是必需的^[14-15]。ERO 沿着预计算好的路径显示路由 Path 消息;LSO 在 Path 消息穿过的链路上收集可用波长信息。

WRCA 算法步骤如下:

Step1:中间节点确定连接请求是否存在潜在冲突。中间节点用它的 LSO 同连接请求中储存的 LSO 相交,看是否有交集,如果有非空交集且这几个请求有着不同的目的节点,但是具有相同的下一跳时被确定为存在潜在冲突。若没有, $CD = 0$; 否则 $CD = 1$ 。

Step2:RSVP-TE 协议的 Path 消息扩展通知目的节点是否一个连接已经被确定为是潜在冲突的,若存在则通知目的节点,执行 Step3。

Step3:由目的节点为具有潜在冲突的连接请求执行一个特定的波长选择策略,若 $CD = 0$,选用首次命中算法 FF;若 $CD = 1$,则选用随机适配算法 RD。

预留冲突避免的实现正是通过在 Path 消息中设置冲突检测对象 CDO。CDO 对可能经受资源竞争的预留事件打上标记,CDO 被插入到 Path 消息中且不能被下一跳中间节点移除。如果 Path 消息已经被 CDO 标记了,则不再执行冲突检测。收到 Path 消息后,目的节点根据收到的 Path 消息中 CDO 的值为不同的连接请求应用不同的波长分配策略。每一个源节点或者是中间节点根据 PSB 和 RSB 的内容决定出口 Path 消息的 CD 值。当不存在潜在冲突时 $CD = 0$ 即潜在竞争预留不存在或者是出口 LSO 和任何其他 LSO 交集为空;存在时 $CD = 1$ 。

4 仿真结果及分析

仿真拓扑采用 NSFNet,共 14 个节点,21 条链路,如图 1 所示。假设每条链路由一对方向相反的单向光纤组成,每根光纤可支持 10 个波长。每个节点配置相同的光收发器对,假定连接请求所有节点对中随机选定,业务连接请求的带宽为 1 个波长容量。

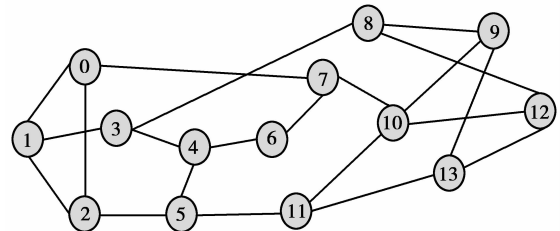


图 1 NSFNet 拓扑

在仿真过程中主要考虑了 2 个性能指标:

阻塞率:由阻塞率的定义知道,在网络拓扑及网络负载一定的情况下,当网络达到动态平衡时,阻塞率越小,说明被拒绝的业务请求越少,算法性能越好。

负载均衡度:负载均衡度通过链路负载的平均方差表示,定义为 $\frac{\sum(\lambda_{\max} - \lambda_{\text{ave}})^2}{L}$,其中 λ_{\max} 表示链路的最大负载, λ_{ave} 表示负载均值。

实验数据是 5 次仿真的平均结果,业务强度选择了从 50 ~ 300 Erlang。

1) ERA 算法和 FIR 算法的性能比较

为评估 ERA 算法的性能,采用现有较成熟的全信息路由算法 FIR 与均衡路由算法 ERA 进行仿真比较。仿真结果如图 2 所示。由图 2 可见,随着全网业务强度的逐渐增大,全网链路负载逐渐均衡,这是因为随着业务请求的增大,最短路径被堵塞,请求被分配到不同的路径被传送。网络中的平均链路负载逐渐趋近最大链路负载,负载均衡度变小。

2) 基于 WRCA 机制的恢复算法与传统的 FF (first-fit)算法和 RD(random)算法的比较

采用两种波长分配策略来评估 WRCA 机制,一种是当 $CD=0$ 时采用 FF 分配算法;当 $CD=1$ 时采用 RD 分配算法,即 WRCA-FF/RD;另一种是当 $CD=0$ 时采用 FF 分配算法;当 $CD=1$ 时采用 LF 分配算法,即 WRCA-FF/LF,并且与传统的 FF 和 RD 进行比较。仿真中的恢复路由算法均采用 ERA 算法。由图 3 可以看出在业务请求不太大时,前向阻塞相对于后向阻塞来说基本可以忽略,网络的阻塞率主要是由后向阻塞造成的,在网络负载超过 250Erlang 时,前向阻塞迅速增大,不受所用算法控制,这是由于网络中的可用资源缺乏所造成的。

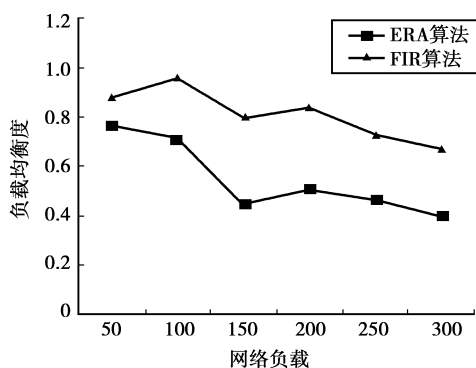


图 2 负载均衡度随网络负载的变化

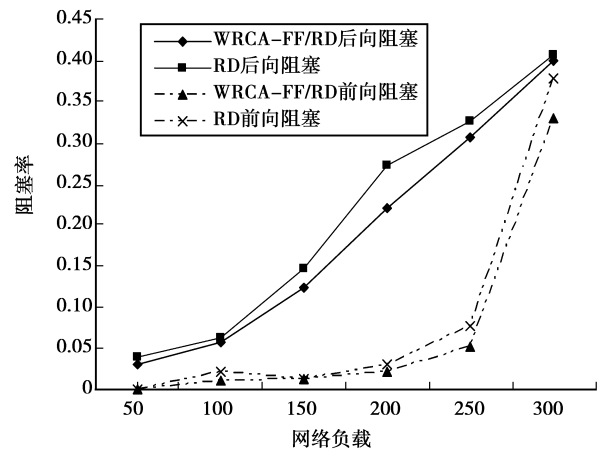


图 3 恢复阻塞率随网络负载的变化

从图 4 中可以看出,当网络负载较小时,WRCA-FF/LF 比 FF 的阻塞率要高。这是由于目的节点收到的标签集中由于采用了 FF 或 LF (last-fit) 算法,波长按照大小排列,对于不同的目的节点,它们的初始标签不同,但是最后一个标签相同(由于每个链路有 10 个波长,所以最后一个标签为 10),因此若采用 LF 时都选取相同的波长反而更容易冲突。图中还表明了 RD 算法在降低冲突方面比 FF 更有效,同理,WRCA-FF/RD 比 WRCA-FF/LF 的性能要好,这是因为采用随机的波长分配算法降低了不同的恢复路径选用相同的波长资源的概率,这种优势在网络负载高时更加明显。随着网络负载的增大,WRCA-FF/RD 与 RD 算法相比在阻塞率上已经没有太大的优势,而且各算法的阻塞率都呈增大的趋势,这是由于网络可用波长资源不足所致。

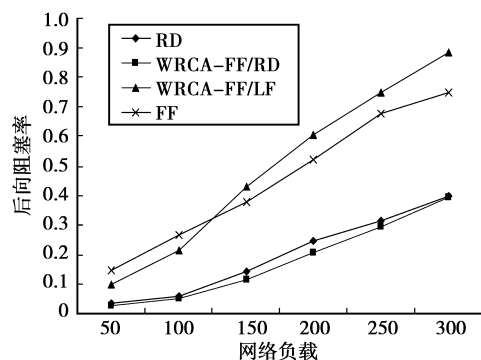


图 4 后向阻塞率随网络负载的变化

5 结 论

给出了一种均衡路由算法(ERA),以实现选路时的负载均衡,提出一种波长预留冲突避免(WRCA)恢复算法,以减少波长预留冲突造成的阻

塞,并将 ERA 与传统的全信息路由算法 FIR 进行了比较,对采用 WRCA 算法的首次适配法 FF 和随机适配法 RD 与传统的 FF/RD 在阻塞率方面进行了性能比较,数据结果表明,ERA 算法更有利于均衡网络的负载,优化资源的分配;具有冲突检测机制的恢复算法 WRCA 可以有效地降低阻塞率。

参考文献:

- [1] ZANG H, JUE J P, MUKHERJEE B. A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks [J]. *Optical Network Magazine*, 2000, 1(1): 47-60.
- [2] BANERJEE D, MUKHERJEE B. A practical approach for routing and wavelength assignment in large wavelength routed optical networks[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1996, 14(5): 903-908.
- [3] ALESSIO G, VALCARENGHI L, CASTOLDI P. Single-Layer versus multilayer preplanned lightpath restoration[J]. *Journal of lightwave technology*, 2005, 23(10): 58-60.
- [4] OZ DAGLAR A, BERTSEKAS D. Routing and wavelength assignment in optical networks [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2003, 11(2): 259-272.
- [5] CHLAMTAC I, GANZ A, KARMI G. Lightnet: lightpath based solutions for wide bandwidth WANs [C]//*INFOCOM '90*, 1990. San Francisco: IEEE, 1990:1014-1021.
- [6] LI L, SHENG W. Dynamic routing and assignment of wavelength algorithms in multifiber wavelength division multiplexing networks [J]. *IEEE J, Selected Areas in Commun*, 2000,18(10): 2130-2137.
- [7] G Z L, D M W, K C, et al. Efficient distributed path selection for shared mesh restoration [J]. *IEEE/ACM Transaction on Network*, 2003, 11(5): 761-771.
- [8] 崔力,赵季红.一种基于 GMPLS 光网络的共享恢复路由算法[J]. *西北大学学报:自然科学版*,2005,35(1): 35-38.
- CUI LI, ZHAO JI-HONG. A novel routing algorithm for shared restoration of GMPLS-Based optical network [J]. *Jorunal of Northwestern University : Natrual Science Edition*, 2005, 35(1):35-38.
- [9] Network Working Group. RFC 4426 Generalized MPLS recovery functional Specification [S]. [S. L]: The Internet Society, 2006.
- [10] BERGER L. RFC 3473 Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) Signaling Resource Reservation Protocol-Traffic Engineering (RSVP-TE) Extensions [S]. [S. L]:IETF, 2003.
- [11] LU K J, XIAO G, CHLAMTAC I. Analysis of blocking probability for distributed lightpath establishment in WDM optical networks [J]. *IEEE/ACM Transactions on Networking*, 2005, 13(1): 187-197.
- [12] ANDRIOLLI N, BURON J, RUEPP S, et al. Label preference schemes in GMPLS controlled networks[J]. *IEEE Comm Lett* 2006,10(12): 849-851.
- [13] PERELLO J, ESCALONA E, SPADARO S, et al. Resource discovery in ASON/GMPLS transport networks[J]. *IEEE Communication Magazine*, 2007, 45(10):86-92.
- [14] BERGER L. RFC 3472 Generalized Multi-Protocol Label Switching (GMPLS) signaling resoruce reservation protocol-traffic engineering (RSVP-TE) extensions [S][S. L] IETF, 2003.
- [15] FARREL A. Crankback Signaling Extensions for MPLS and GMPLS and GMPLS RSVP-TE [S]. [S. L]:IETF,2007.
- [16] GIORGETTI A, SAMBO N, VALCARENGHI L, et al. Reservation collision avoidance in GMPLS wavelength-routed optical networks [C]//*Internationed Conference on Photonics in Switching*, Oct. 16-18, 2006. Herakleion, Greece:IEEE, 2006:1-3.

(编辑 侯 湘)