

一种基于 GMPLS 协议快速实现 ASON 网络恢复的策略

郑滢雷¹ 顾婉仪¹ 黄善国¹ 邓宇^{1,2} 王磊¹ 刘涛¹

(¹ 北京邮电大学光通信与光波导技术教育部重点实验室,北京 100876;² 中国移动通信集团公司,北京 100032)

摘要 在自动交换光网络(ASON)的控制平面内引入了通用多协议标签交换(GMPLS)协议,使得光传送网络具备了更大的智能性。在控制平面拓扑和传送平面拓扑一致的情形下,以 GMPLS 的“便道”技术为基础,提出了一种改进型的基于标签交换路径(LSP)“双链路”恢复(DLR)的生存性机制。它对发生故障的节点两端链路同时实施迂回策略。通过对传统的链路恢复和“双链路”恢复进行细致地分析,定量地给出了在这两种情形下,信令恢复时间的比较方案。以美国 AT&T 实验室中研制的大型路由器上的数据为参数,对上述两种不同恢复机制进行了对比分析,进一步验证了该恢复策略提出的有效性。

关键词 光通信;自动交换光网络;双链路恢复;通用多协议标签交换;生存性;控制平面

中图分类号 TN915 文献标识码 A doi: 10.3788/AOS200828s2.0227

GMPLS-Based Fast Restoration Mechanism for Meshed Networks in ASON

Zheng Yanlei¹ Gu Wanyi¹ Huang Shanguo¹ Deng Yu^{1,2} Wang Lei¹ Liu Tao¹

¹ Key Laboratory of Optical Communication and Lightwave Technologies, Ministry of Education, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China
² China Mobile Communications Corporation, Beijing 100032, China

Abstract As the introduction of generalized multi-protocol label switching (GMPLS) for control plane, the technology of automatic switched optical networks (ASON) provides optical transmission network with greater intelligence. Based on the view consistency of topology between control plane and transport plane, this contribution proposes a new network survival mechanism-double links restoration to solve the single optical node failure. The mechanism seeks to protect for the two links of the failure point by detours in GMPLS simultaneously. Through detailed analysis of the common link restoration and double link restoration(DLR), the paper quantitatively presents the scheme for signaling recovery time in these two cases. From the mathematical formulas, it can be concluded that DLR overcomes the disadvantages about long signaling establishment delay in presence of node failure traditionally. Some experimental descriptions for the different restoration mechanisms are illustrated. It verifies the effectiveness of the proposed mechanism.

Key words optical communication; automatic switched optical networks; double link restoration; generalized multi-protocol label switching; survival mechanism; control plane

基金项目: 国家 863 计划(2006AA01Z244),国家自然科学基金(60702005)和教育部新世纪优秀人才支持计划(NCET-05-0112)资助课题。

作者简介: 郑滢雷(1978—),男,博士研究生,主要从事光网络的控制与管理方面的研究。

E-mail:leonard.zheng@gmail.com

导师简介: 顾婉仪(1945—),女,教授,博士生导师,主要从事全光通信网、光纤放大器、超长距离波分复用系统和自动交换光网络方面的研究。E-mail:wyg@bupt.edu.cn

1 引言

同步数字传输系统(SDH)技术以其良好的性能得到了举世公认。块状帧结构使得信号在设备中的处理过程变得简单化,并改善了网络的业务透明性。由于采用了大量的软件功能进行配置管理,在业务的调度及维护上表现出很强的灵活性和可扩展性,实现故障的 50 ms 内网络自愈^[1]。但是自动保护倒换协议(Automatic protection switch)在跨环保护上仍然缺乏有力的研究。智能光网络自动交换光网络(ASON)创造性提出了控制平面,得益于通用多协议标签交换(GMPLS)协议丰富性,基于 IP 的控制平面可以完成诸如路由选路,信令消息和链路资源管理等智能功能。

ASON 作为下一代传送网,其主要的特点是将控制功能与管理平面分离,通过控制平面上的信令协议的交互来实现对传送光网络的智能管理。基于各种信令建立和路由策略的结合,ASON 网络可以为客户提供更加灵活的业务可靠性保障^[2]。ASON 保护机制的特点是路径建立(PATH),消息散布和资源预留同时进行,保护链路通过相关算法已经事先计算,这样更快地得到了一条新的路径。ASON 的恢复机制是当接收到链路错误消息后,查找本地路径保护信息(路由算法生成),得到一条新的备份链路,发出标签交换路径(LSP)双链路快速恢复的建立请求,快速建立新的路径。但 ASON 网络的生存性研究刚刚开始,存在问题。如在 LSP 上节点发生故障的时候,业务上游的倒换节点无法验证是链路故障还是节点故障,认为总是下一链路发生故障,并把重路由的端点定义为故障节点。这样重复选路的工作将频频发生,影响到这个策略的性能。本文提出了一种基于单一业务的快速实现单光节点故障的双链路恢复(DLR)方案,通过对“便道”协议进行改进,获得更加良好的信令恢复性能,解决光节点故障问题。在该方案中,当光层上的节点故障告警产生后,基于业务的源端节点的控制平面将发起一条受限的重路由请求,LSP 上的交换节点会重路由一条绕过故障节点的新的光通道,保证了光层上连接到受损节点上的两条链路同时得到保护。从仿真中,也可以看出这个方法获得了较短的恢复时延^[3]。

2 控制平面中的技术实现

GMPLS 网络是基于 IP 的网络,控制消息通过

控制节点的存储转发(store and forward)进行发送。对于每一个 IP 数据包,都需要 ASON 节点内部多个模块的相应处理(信令控制模块和路由控制模块等)^[4]。以 GMPLS 为控制平面的 ASON,降低了管理复杂性,因为其中的控制平面处理了复杂的功能,如 1) 路由;2) 信令;3) 链路管理;4) 生存性机制。

2.1 ASON 路由协议

ASON 路由技术来源于 IP 网络的路由技术。ITU-T 中 G. 8080^[5]定义了三种基本的 ASON 路由方式:分级路由、源路由和逐跳路由。不同的路由方式将导致功能组件不同的分布式连接和控制器之间进行操作配合。路由协议中最重要的内容是泛洪(flooding)机制,泛洪带来的问题是消耗了大量的带宽资源。如何在分布式网络中合理优化泛洪方式,将是 ASON 路由协议中关心的重点。项目组开发的分布式路由测试平台,基于移动代理技术及蚁群算法,可以为分布式路由算法提供一个很好的解决方案,从而为该信令恢复方式提供支持与保障。GMPLS 网络支持源节点路由,即由源节点计算路径,在信令中携带该路径的信息,中间节点根据这个信息来决定下一跳。

2.2 LSP 建立信令的过程

ASON 中的信令协议是必须的,其主要功能是实现呼叫和连接的创建、拆除、修改及查询,是保障业务建立的前提^[6]。通路建立请求的信令消息由源节点出发,逐跳的经过中间节点,最后到达目的节点。当一条连接请求到达边缘控制节点上后,网络的发起端将发出携带业务参数(带宽、负荷类型等)、显示路由、连接标识等信息的 PATH/REQUEST 的请求消息,这条 LSP 业务上的中间各个节点将根据请求的内容,对本地节点进行相应资源的预留工作,到达 LSP 的目的节点后,该节点将沿着这条 LSP 反馈给源节点,发出 RESV/MAPPING 的回应消息,同时进行标签的分配,表示此 LSP 在光层上的连接已经建立。

2.3 链路管理协议

链路资源作为业务数据的载体,对于光网络的传送数据至关重要^[7]。它的管理协议机制(Link Management Protocol, LMP)也就作为一项关键技术从 GMPLS 分离出来。作为运行于两个相邻控制节点间用于流量工程(TE)链路管理的协议,由控制平面内的链路资源管理模块(LRM)完成其以下功能:

1) 链路属性关联性,除了用于检验两端控制配置的一致性外,可以将多条数据链路汇聚成一条 TE 链路,同时可以减少网络中链路状态广播造成的拥塞。

2) 链路连通性确认,用来验证数据链路的物理连通性得到一张标有确定链路状态的资源映射表,以实现业务端口和波长的分配及自动发现功能。

2.4 故障监测

图 1(a)描述了在一条 LSP 上相邻三个光节点出现故障的场景,并得到了在 ASON 网络的传送平

面和控制平面间进行故障监测的过程。当光层上节点 A 和节点 B 之间的链路发生了故障,节点 B 和节点 C 会把告警信息发送到相对应的控制节点 B' 和节点 C' 上;若节点 C' 为业务端点,则 C' 会沿着 LSP 上游把告警信息传递给节点 B', B' 检查本地告警数据库,发现业务相关告警后,节点 B' 继续把告警信息发送到节点 A', 接着节点 A' 会根据到来的信息检查本地的告警数据库。在节点 A' 确认入口光信号是正常的,并确认故障是发生在节点 A 和节点 B 之间的链路。这样一个故障检测过程就完成了。

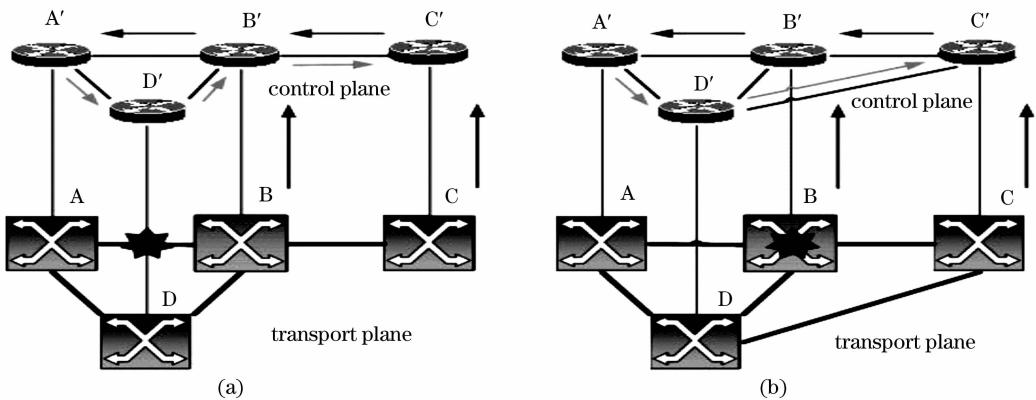


图 1 故障监测示意. (a) A~B 链路故障 ;(b) 光节点 B 故障

Fig. 1 Exemplification for fault monitor. (a) Link failure between node A and node B; (b) Node B failure

2.5 控制平面流程

基于 ASON/GMPLS 的控制节点的结构如图 2 所示。当连接请求到达时,连接控制器(Connection Controller,CC)模块将请求路由控制器(Route Controller,RC)模块提供传递信令消息的 IP 通道。然后,CC 模块通过网络节点接口(Network Node Interface,NNI,)向邻居节点发送 PATH 消息,该 PATH 消息将在既定路由上的控制节点进行处理,到达宿节点后,将向源节点反馈 RSVP-TE 消息,经过环回途径到各个 CC 模块时,CC 模块会向链路资源

源管理器(Link Resource Manager,LRM)模块咨询链路资源状态,同时完成光传送平面内的光交叉倒换;当 RSVP-TE 消息返回到源 CC 模块中,完成信令过程,业务的连接建立完毕^[8]。

3 双链路快速恢复方式

基于前面章节的讨论,使用 GMPLS 协议来实现快速恢复具有很多优点。但是在实现故障节点的恢复时,如果使用基于业务的路径恢复会带来很大的时延。提出一种 DLR 以实现节点故障恢复的方案。

MPLS 协议中针对链路故障提供了一种被称为“便道”技术的方案^[9]。这种方法可以在 LSP 的每个主要控制节点上建立一个除了主要工作路径外的旁路,为每一条标记交换路径中的链路进行恢复故障。该机制需要在主要路径完成后,在控制平面上的主要节点上,自动计算一条从该控制节点到下一跳节点的便道路由。虽然这种方案可以实现快速地恢复故障链路,但是它耗用大量的网络资源和容量的中心处理器。在最坏的情况下,这个方案并不

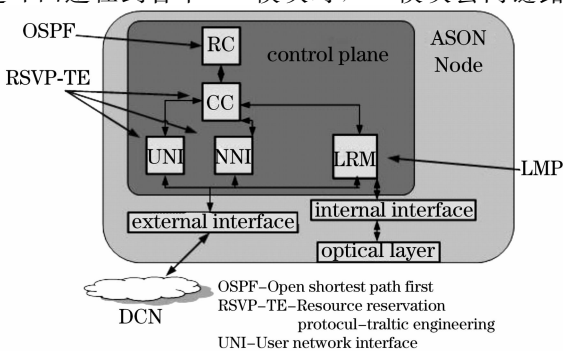


图 2 ASON 节点功能模块结构

Fig. 2 Functional structures in ASON node

能有效地解决故障节点问题。

我们先来观察传统的一条 LSP 业务上发生节点故障的情形^[10]。图 1(b)所示当光节点 B 的数据传送层面发生故障时,传送平面上的监测设备会把该状态以告警包的形式,通知到节点 B 的控制器 B',由于 C 节点处于业务的下游,仍然会产生基于业务信号的告警包发往节点 C 的控制器 C'。当收到任何一个端口丢失了光信号的消息时,节点 C'会把这个消息发送给节点 B',节点 B'和 C'之间启动 LMP 协议,完成链路连通性的认证工作,节点 B'基于业务流的方向,比对本地的告警数据库,核实同样的故障出现在本地的告警数据库中,会把该告警包继续向上游节点 A'发送,节点 A'同样将对该告警包进行本地信息的搜索。当它确认入口端口的光信号正常时,结束故障检测并认为故障是发生在节点 A 和节点 B 之间的光链路上。根据协议,节点 A 会重新路由一条新的光通道来保护节点 A 和节点 B 之间的链路。事实上,图 1(b)中的真正故障发生在节点 B 上,因此当控制平面内新的光通道路由计算完毕后,节点 A'将发出 PATH 消息,沿着新的路由跨接 A'和 B'段,等待节点 C'的 RSVP-TE 消息返

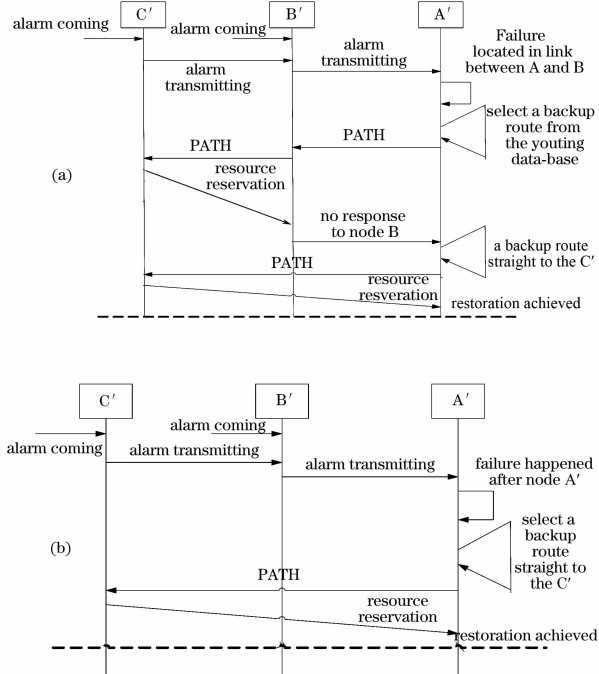


图 3 普通方式下 LSP 上节点故障采用便道技术的(a)及 DLR 方式下改进“便道”技术解决节点故障的(b)处理流程

Fig. 3 Procedure of fault management using detour in LSP in normal (a) and improved detour in LSP in DLR (b)

回。由于节点 B' 不能得到 OXC 的响应消息,说明此建立的通道失败;节点 A' 将不断尝试与节点 B' 的建立过程,直到终止连接,或是采取人为指配把该路径的下一跳定义为节点 C'。该过程的详细说明见图 3(a)所示。

在 DLR 算法中,当节点 A' 得到需要进行倒换路由时,恢复路由的目的节点将是节点 C' 而不是节点 B'。当 A' 中的 CC 模块收到当前重建的链路信令消息失败后,它会向 RC 模块寻求一条新的连接路由,接着 RC 模块会计算一条新的受限光通道路由。该光通道中,下一跳则是该 LSP 上跨过节点 B',与之相邻的 C' 点。虽然 RC 模块为了重路由选择一条新的光通道的过程很复杂,但是它可以并行地选择一条恢复路由,因此在重新建立一条新的恢复通道时,它不会产生额外的时延。该过程的详细说明见图 3(b)所示。

4 性能仿真和结果

4.1 前提条件和业务建立时延等式

假设所有光通道建立的初始化都是在 LSP 上具备倒换功能的节点上,且所有的路由(工作/恢复通道对)都是预先计算好的。针对基于 LSP 恢复的主题开展研究。在这个过程中,与传统选择方式最大的不同点是每一个主要的节点既是故障监测点,也是路由倒换节点,在主要路由计算的同时,也为每一段链路进行了备用路由的计算。

比较了双链路恢复和传统链路恢复,在遇到节点故障时通道建立的时延问题。通常遇到故障的问题,不论是节点还是链路,都可以采用 LSP 的方式保护整条光通道,但是端到端的时延大是个严重的问题。这种方式更为严重的缺陷是故障信息将在全网泛洪,这样当源节点收到该信息后,更新自己的路由表后,做出一条受限的路由。因为这种方法会占用很大的网络资源,并且造成的时延不能满足要求。

一般来说,对于生存性的保护/恢复机制主要采用业务恢复的响应速度来衡量其优劣性,这种时延主要来自于三个方面:

- 1) 故障检测产生的时延;
- 2) 源节点选择恢复通道产生的时延;
- 3) 建立新的光通道产生的时延。

基于以上的讨论,可以得出一个在发生故障之后建立一条新的光通道时延的公式

$$W_{\text{delay}} = \text{DetectDelay} + \text{SelfDelay} + \text{NewestablishPathDelay}, \quad (1)$$

式中, W_{delay} 为业务的恢复时间; $DetecDelay$ 指光层上的故障被监测到后, 发到对应的控制器的时延; $SelPDelay$ 指路径计算路由器选择恢复通道的计算时延, 由于采用的是预先计算路由的保护方式, 当工作 LSP 建立后, 每一个标记交换控制器都将计算多条自本节点到业务下游节点 N 条备选路径, 因此这个值取值比较小; $NewestablishPathDelay$ 指采用信令的方式, 建立新的光通道产生的时延, 这个参数各异。

当在 LSP 上中某一个节点出现了故障, 若使用传统链路恢复时, 建立新的通道所产生的时延为

$$\begin{aligned} \text{NewestablishPathDelay} = & 2 \times (K + 1) \times \\ & \text{TranDelay} + C + \overline{\text{SelPDelay}} + 2 \times \\ & (K' + 1) \times \text{TranDelay} + (K' + 2) \times C + 2 \times \\ & [(K + 2) + (K' + 2)] \times \text{MsgDelay}, \quad (2) \end{aligned}$$

式中, TranDelay 指 PATH 和 RSVP 消息一个来回所引发的时延; $\overline{\text{SelPDelay}}$ 表示选择通道的时延, 其中选路的目的是下一跳连接节点; C 表示一个光节点中光层上交叉连接相关操作引发的时延; K 代表从故障点到实施路由倒换节点之间的数目; K' 代表实施路由倒换节点和下一个 LSP 上的节点之间的节点数目; MsgDelay 代表每一个光节点中控制平面内处理 PATH 和 RSVP 消息耗用的时延。

当在节点中出现故障的时候, 若使用双链路恢复时, 建立新的通道所产生的时延为

$$\begin{aligned} \text{NewestablishPathDelay} = & 2 \times (K' + 1) \times \\ & \text{TranDelay} + (K' + 2) \times C + 2 \times \\ & \text{MsgDelay} \times (K' + 2) \quad (3) \end{aligned}$$

4.2 仿真结果和分析

为了评估 DLR 的方案, 使用 AT&T Shannon 实验室开发的 SRSO 路由器的实验数据, 其中包括一些重要的参数: 每一个光节点 1 s 内可以处理 500 次光交叉连接, 每一次光交叉连接操作产生的时延是 2 ms; 每一个节点需要 0.3 s 的时间来处理 PATH 和 RSVP 消息, 并且每一次信号的环回需要 3 ms。另外, 假设入口节点选择保护通道的时间与它处理一个 PATH 消息耗用的时间相同, 于是得到 $C = 2 \text{ ms}$, $\text{MsgDelay} = 0.3 \text{ ms}$, $\text{TranDelay} = 3 \text{ } \mu\text{s}$, $\overline{\text{SelPDelay}} = 0.3 \text{ ms}$ 。根据这些参数, 使用 MATLAB 进行仿真^[11], 得到的仿真结果如图 4 所示。

在上面的模拟计算中, 比较了基于标准的“便道”技术下业务建立的时延(点星线)和本文提出的 DLR(点角线)方式下业务建立的时延。从图 4 中可以清楚地看到一般情况下, DLR 方案完全符合工业

标准对于保护/恢复提出的要求, 另外, 通过两者的比较不难看出, 使用 DLR 来进行保护节点故障所产生的时延也远远地比传统的链路恢复的业务恢复时间要短。

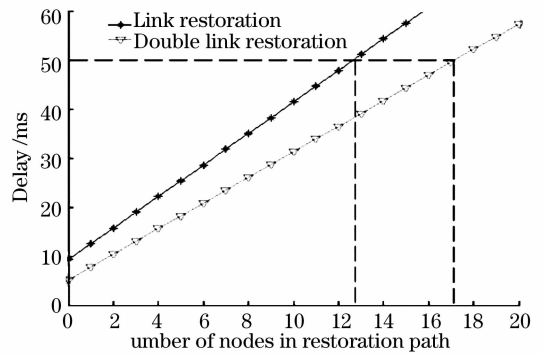


图 4 采用 MATLAB 描述两种方案比较: 恢复时间与恢复路径上节点数目关系

Fig. 4 Comparing two schemes by MATLAB; the relationship between recovery time and the number of nodes in restoration path

5 结 论

着重讨论了 ASON 网络中一种实现业务快速恢复的生存性机制。传统的 LSP 路径恢复虽然可以保护该路径中的所有链路及节点, 但是完成一次路由倒换将消耗大量的网络资源。针对基于标准的“便道”技术面对节点故障发生时, 业务恢复性能差的问题, 我们在该方法的基础上进行了协议实现上的改进, 一次性地对于出现故障的两段链路同时采取恢复策略, 路由绕过了具备争议的故障位置, 从而为业务恢复赢得了恢复的时间。

参 考 文 献

- Ji Yuefeng. SDH Technology [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 1998. 93~124
纪越峰. SDH 技术[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 1998. 93~124
- Gu Wanyi. Automatic Switched Optical Network [M]. Beijing: Beijing University of Posts and Telecommunications Press, 2004. 25~63
顾晓仪. 自动交换光网络 ASON[M]. 北京:北京邮电大学出版社, 2004. 25~63
- E. Mannie, P. Ashwood-Smith. Generalized Multi-protocol Label Switching (GMPLS) Architecture, Internet Draft (working in progress), draft-ietf-ccamp-gmpls-architecture-00.txt
- A. Jajszyk. The ASON approach to the control plane for optical networks[J]. *ICTON*, 2004, 1: 87~90
- Architecture for the automatically switched optical network (ASON)[M]. Nov. 2001, ITU-T G. 8080/Y. 1304
- Deng Yu, Zhao Lei, Xie Jielan et al. . Research of resource reservation schemes of RSVP-TE in ASON[J]. *Acta Photonica*

- Sinica*, 2007, **36**(10): 1848~1852
- 邓宇,赵蕾,谢洁岚等. ASON 信令协议 RSVP-TE 中资源预留策略研究[J]. 光子学报, 2007, **36**(10): 1848~1852
- 7 Zhang Feng, Zheng Xiaoping, Zhang Hanyi. Comparative study of different routing and connection management schemes in hierarchical ASON [J]. *Acta Electronic Sinica*, 2004, **32**(12A): 73~77
- 张锋,郑小平,张汉一. 分层 ASON 网络中路由计算和连接管理策略的比较研究[J]. 电子学报, 2004, **32**(12A): 73~77
- 8 Zhang Jie, Xu Yunbin, Song Hongsheng. Automatic Switched Optical Networks [M]. Beijing: Posts & Telecom. Press, 2004. 58~78
- 张杰,徐云斌,宋鸿升. 自动交换光网络[M]. 北京:人民邮电出版社, 2004. 58~78
- 9 Li Xiaodong, MPLS: Technology and Implementation [M]. Beijing: Publishing House of Electronics Industry, 2002. 200~221
- 李晓东. MPLS 技术与实现[M]. 北京:电子工业出版社, 2002. 200~221
- 10 G. Z. Li, J. Yates, D. M. Wang, Control plane design for reliable optical networks [J]. *IEEE Comm. Mag.*, 2002, **40**(2): 90~96
- 11 Zhang Gexiang, Li Na. MATLAB: Simulation Technology and Application [M]. Beijing: Tsinghua Press, 2003. 70~92
- 张葛祥,李娜. MATLAB 仿真技术与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2003. 70~92