

文章编号:1001-9081(2015)01-0027-04

doi:10.11772/j.issn.1001-9081.2015.01.0027

基于波长选择型可重构光分插复用设备的 IP 网络的传输长度设计

熊 莹^{1,2*}, 毛雪松³, 刘 星¹, 汪亚玲¹, 金 刚¹

(1. 武汉科技大学 计算机科学与技术学院, 武汉 430065; 2. 智能信息处理与实时工业系统湖北省重点实验室(武汉科技大学), 武汉 430065;
3. 武汉科技大学 信息科学与工程学院, 武汉 430081)
(* 通信作者电子邮箱 xiongying78@wust.edu.cn)

摘要:针对高速大容量波分复用(WDM)网络在多点故障、变更的情况下,运行效率低、维护成本高的问题,提出使用可重构光分插复用设备(ROADM)元件来构建灵活网络。首先,给出了所用的5节点网络配置模型;然后,研究了在动态网络条件下使用ROADM的光网络损耗与传输长度间关系,提出网络传输长度设计流程;其次,基于ROADM搭建一个5节点双向光纤环路实验网络,测量了光损失特性;最后,分析实验结果,得出损耗计算值与光纤实测损耗测量值近似相等(相差0.8 dB),验证了设计的可行性,保证了节点间的可靠传输。

关键词:可重构光分插复用设备;波分复用网络;双向光纤环路;光损失;传输长度

中图分类号: TP393.1 文献标志码:A

Transmission length design of IP network with wavelength-selectable reconfigurable optical add/drop multiplexer

XIONG Ying^{1,2*}, MAO Xuesong³, LIU Xing¹, WANG Yaling¹, JIN Gang¹

(1. College of Computer Science and Technology, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430065, China;
2. Hubei Province Key Laboratory of Intelligent Information Processing and Real-time Industrial System
(Wuhan University of Science and Technology), Wuhan Hubei 430065, China;
3. School of Information Science and Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan Hubei 430081, China)

Abstract: For dealing with the problem of low efficiency and high maintenance cost when multi-point breakdown or change occurs in Wavelength Division Multiplexing (WDM) network with high speed and large capacity, the component of Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM) was used to construct a flexible network. Firstly, the 5-node network configuration model was provided. Then, the relation between loss and transmission length was investigated when optical network was composed of ROADM under dynamic conditions. The design flow of network transmission length was proposed. Next, a 5-node bi-directional fiber ring experiment network was constructed, and the optical loss characteristics were measured. Finally, based on the analysis of experiment data, it shows that the computed optical loss value and the measured loss value are approximately equal (0.8 dB difference). Thus, the feasibility of the design is verified, which assures the reliable transmission between nodes.

Key words: Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer (ROADM); Wavelength Division Multiplexing (WDM) network; bi-directional fiber ring; optical loss; transmission length

0 引言

随着网络数据流量的急剧增长,使用光宽带特性的光网络技术在高速大容量骨干网络中得到迅速发展与应用。另一方面,在校园网、写字楼等局域网应用领域,人们期望同样能够使用光网络技术来提供更加有效的宽带服务。疏波分复用(Coarse Wavelength Division Multiplexing, CWDM)技术因为不需要波长稳定控制设备,可以降低组网成本,因而符合这些应用的需求。在这些应用中,通信服务由波长连接节点来实现,这种由一个波长实现的连接就称为一条光路。所有的网络必须由网络管理员来管理与维护。网络管理员的重要任务包括在网络建设期光路的初始化配置^[1]以及网络服务期为避免网络堵塞执行的资源重新配置。为了实现网络的重新配置,本文提出使用可远程控制的可重构光分插复用设备

(Reconfigurable Optical Add/Drop Multiplexer, ROADM)元件来组网。

ROADM是构成波分复用(Wavelength Division Multiplexing, WDM)网络的关键设备^[2-4],通过它,可以远程控制在一个节点上完成光信号的上路、下路(Add/Drop, A/D),以及通过(Passing Through, PT)。近年来有很多文献讨论ROADM器件以及使用ROADM组网。文献[5-6]提出在ROADM中引入阵列光放大器,并共用一个泵浦激光器构建无色、无向、无竞争的ROADM器件,以及使用该器件实现127 Gb的正交相位键控传输系统;文献[7-9]研究使用可叠放ROADM构建CWDM网络;文献[10]研究使用分裂谱提高ROADM弹性光网络的性能;文献[11]研究基于相干光正交复用,用波长转换器构建波长灵活的ROADM器件;文献[12]研究ROADM器件的功耗问题;文献[13]研究使用ROADM

收稿日期:2014-07-18;修回日期:2014-09-19。

作者简介:熊莹(1978-),女,湖北汉川人,实习研究员,硕士,主要研究方向:高速大容量网络;毛雪松(1975-),男,江苏盐城人,研究员,主要研究方向:车载多普勒激光雷达信号处理;刘星(1975-),女,湖北孝感人,高级工程师,主要研究方向:计算机网络、自然语义分析。

和波长选择开关(Wavelength Selective Switch, WSS)构建的 WDM 网络功耗激增问题;文献[14]研究了 100D 密波分复用(Dense Wavelength Division Multiplexing, DWDM)网络中由 ROADM 引起的通带变窄以及串话等缺陷;文献[15~16]实验验证了 ROADM 对光路的重新配置性能,同时得出光路可以由一个具有设计和管理功能的中央系统远程重新配置。基于 ROADM,本文搭建了一个 5 节点的网络实验平台,其中所使用的 ROADM 具有对波长透明传输的特性。本文研究了使用 ROADM 搭建网络的传输损耗,设计了节点间最佳传输路径长度,因此可以更加高效地实现网络的传输与管理。

1 研究模型

图 1 给出了本研究所用的网络配置框图,它可应用于诸如城域网内写字楼之间的通信等场景。网络中的节点表示用户建筑,这些建筑之间通过单模光纤连接。本实验中假定网络具有环形的拓扑结构,连接节点的光纤为双向双光纤或者单向单光纤。图 1 所示的模型为双向双光纤环路,图中标示出一些连接 5 个节点的光路,这些光路可以满足节点间流量的需求。节点 4 用于和外部网络交换数据,称该节点为边缘节点。5 个节点之间的光路总数为 $C_5^2 = 10$,这 10 条光路($L_1 \sim L_{10}$)通过 10 条光纤路径($\Phi 1 \sim \Phi 10$)连接构成。

表 1 列出复用在光纤路径 Φ_i ($i = 1, 2, \dots, 10$)上的 10 条顺时针(ClockWise, CW)和逆时针光路(Counter ClockWise, CCW),以及其上分配的波长。每个节点包含一个波长路由器设备(Wavelength-Routing Device, WRD)、光收发器(Optical Transceiver, OTR)和三层交换机(Layer-3 Switch, L3SW)。WRD 由一个与波长相关的光耦合器/分离器 2×2 机械光开关和一个开关驱动电路构成。ROADM 具有 3 种状态:上路、下路和通过,它可以通过控制环路发送控制信号来改变其工作状态。每个 ROADM 都连接到 L3SW 上,控制信号通过 L3SW 发送到光开关驱动上。

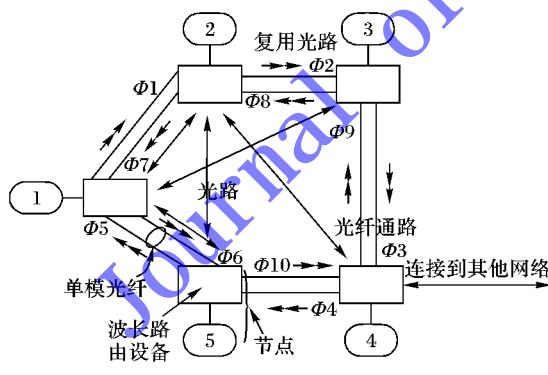


图 1 网络配置框图

实验中选择的波长如表 1 所示,其中: $\lambda_1 = 1530 \text{ nm}$ 、 $\lambda_2 = 1550 \text{ nm}$ 、 $\lambda_3 = 1570 \text{ nm}$ 、 $\lambda_4 = 1590 \text{ nm}$ 。除了环形结构,还可以使用设计系统^[17]来自由设计网络的拓扑、波长以及光路。

2 传输长度设计流程

图 2 所示为本研究设计传输长度的流程。首先,假定网络中所有的 ROADM 工作于特定的波长段,分别测量其处于上路、下路和通过时的损耗;然后,分别在网络工作于顺时针

和逆时针方向的情况下,根据动态源节点找出最远的目标节点,于是最大损耗 $L_{ds}(\lambda_x)$ 为:

$$L_{ds}(\lambda_x) = L_{as}(\lambda_x) + \sum_{y=0}^v L_{py}(\lambda_x) + L_{dd}(\lambda_x) \quad (1)$$

其中: $L_{as}(\lambda_x)$ 是源节点的上路损耗, $\sum_{y=0}^v L_{py}(\lambda_x)$ 是中间节点的总通过损耗, v 为通过的节点个数, $L_{dd}(\lambda_x)$ 是目标节点的下路损耗。

$$p_f(\lambda_x) = DR(\lambda_x) - L_M(\lambda_x) \quad (2)$$

其中: $p_f(\lambda_x)$ 是 OTR 的功率预算, $DR(\lambda_x)$ 是 OTR 的动态范围, $L_M(\lambda_x)$ 是最大损耗。

表 1 复用在光纤上的光路

方向	光纤	节点走向	复用在光纤上的光路
顺时针	$\Phi 1$	(1 → 2)	$L_1(\lambda_1), L_2(\lambda_2), L_7(\lambda_3)$
	$\Phi 2$	(2 → 3)	$L_2(\lambda_2), L_5(\lambda_1), L_6(\lambda_3)$
	$\Phi 3$	(3 → 4)	$L_6(\lambda_3), L_8(\lambda_1), L_9(\lambda_2)$
	$\Phi 4$	(4 → 5)	$L_3(\lambda_1), L_9(\lambda_2), L_{10}(\lambda_4)$
	$\Phi 5$	(5 → 1)	$L_3(\lambda_1), L_4(\lambda_2), L_7(\lambda_3)$
逆时针	$\Phi 6$	(1 → 5)	$L_3(\lambda_1), L_4(\lambda_2), L_7(\lambda_3)$
	$\Phi 7$	(2 → 1)	$L_1(\lambda_1), L_2(\lambda_2), L_7(\lambda_3)$
	$\Phi 8$	(3 → 2)	$L_2(\lambda_2), L_5(\lambda_1), L_6(\lambda_3)$
	$\Phi 9$	(4 → 3)	$L_6(\lambda_3), L_8(\lambda_1), L_9(\lambda_2)$
	$\Phi 10$	(5 → 4)	$L_3(\lambda_1), L_9(\lambda_2), L_{10}(\lambda_4)$

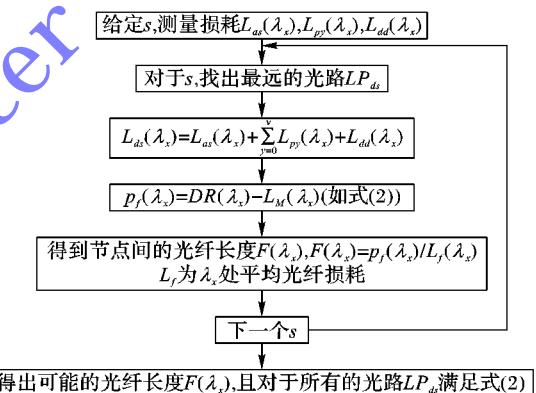


图 2 传输长度设计流程

图 3 所示为一个 n 节点实验网络配置模型。

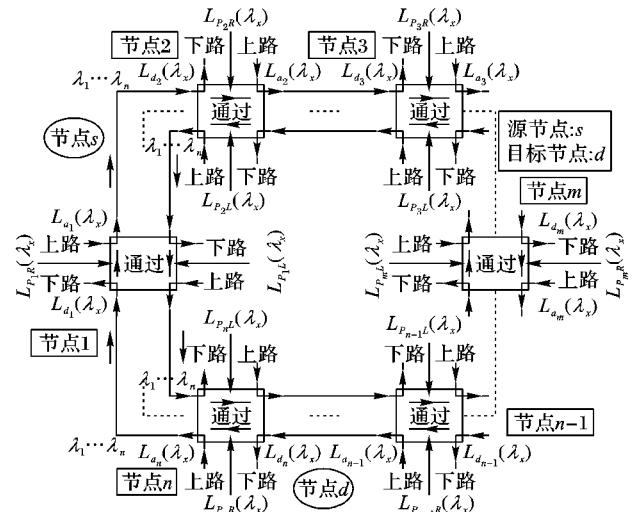


图 3 n 节点实验网络配置模型

假定节点 1 为源节点,节点 m 为目标节点。顺时针方向总

的损耗为节点1的上路损耗 $L_{a_1}(\lambda_x)$ 、节点m的下路损耗 $L_{d_m}(\lambda_x)$ 以及m-2个中间节点的总通过损耗 $\sum L_{p(m-2)}(\lambda_x)$ 的总和。同样,假定节点m为源节点,在逆时针方向上,最远节点为节点1。当工作波长在 λ_x 时, $L_{ds}(\lambda_x) = L_{1m}(\lambda_x)$ 。根据这些最大损耗,可以计算出OTR的功率预算 $P_f(\lambda_x)$,它是OTR动态范围 $DR(\lambda_x)$ 与 $L_M(\lambda_x)$ 之差。

最后可以计算出光纤长度 $F(\lambda_x)$:

$$F(\lambda_x) = P_f(\lambda_x)/L_f(\lambda_x) \quad (3)$$

其中 $L_f(\lambda_x)$ 是在波长 λ_x 处的光纤平均损耗(dB/km)。

3 实验与结果分析

首先按照图1设计一个5节点IP网络。图4给出节点1,4的配置。这5个节点使用了A和B两种类型的ROADM,其区别在于:A类型ROADM不使用SW3,而B类型不使用SW4。节点1,2,3包括一个A类型ROADM和一个B类型ROADM;节点5包括一个A类型、一个B类型ROADM和4个光分插复用设备(Optical Add/Drop Multiplexer, OADM);节点4包括8个OADM,作为边缘节点。

为了找出最大光纤长度,首先测量了每个ROADM的损耗,并计算出总损耗来找出节点连接间的最大损耗。如表2所示,所找出的具有最大损耗的光路为LP14,它连接节点1和节点4并以顺时针方向通过节点2和节点3。AP21为上路端口,位于节点1的ROADM-4W2中;DP31为下路端口,位于节点4的OADM-1530中。因此,最大损耗 $L_M(\lambda_1)$ 等于 $L_{14}(\lambda_1)$,这里 λ_1 为1530 nm, $L_{14}(\lambda_1) = 11.93$ dB。光收发器的动态范围为22 dB,计算出节点间的光纤损耗预算为10.07 dB。假设光纤损耗为0.35 dB/km,那么最大允许的光路长度为28.8 km。因此节点1-2、2-3、3-4光纤的长度分别被确定为3 km、12 km、10 km,总长度为25 km。节点间决定的光纤长度如图5所示。

表2 光损耗的测量结果

源节点	目标节点	损耗/dB			
		上路	通过	下路	总和
1	4	2.08	7.05	2.8	11.93

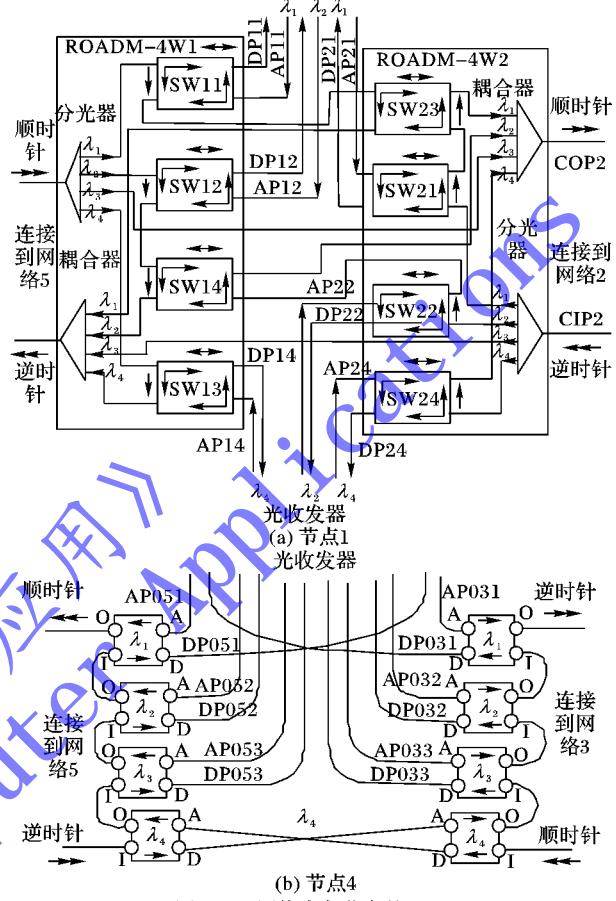


图4 IP网络中各节点的配置

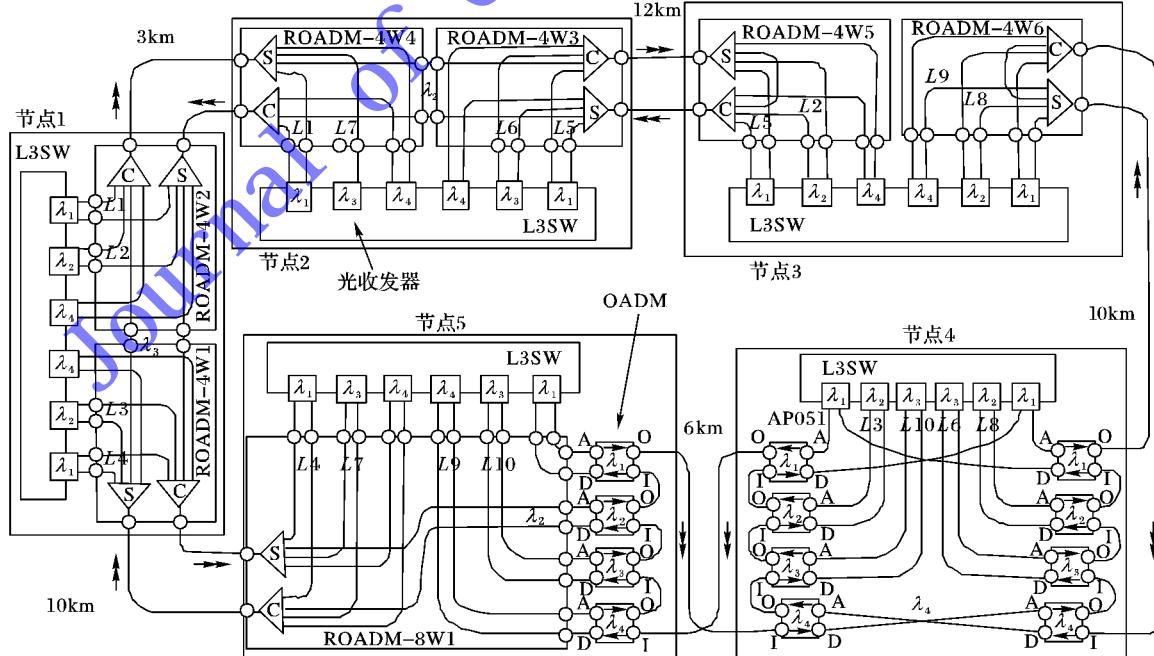


图5 实验网络配置

同样可以得出其他节点间顺时针光路的最大损耗和所允许的光纤长度,也可以测量得出逆时针传输的最大损耗和所

允许的光纤长度。最后得出网络中所有的光纤长度,满足所有光路传输的要求。

实验测量得到的光路 LP14 的损耗特性如图 6 所示。图 6 中也给出了每个 ROADM 和每段光纤的损耗,其中:曲线上标有“测量值”和“总和”分别表示光路 LP14 上的测量损耗值以及通过对独立的各个损耗求和获得的总损耗。在 1530 nm 处,测量得到的损耗值 18.6 dB 与计算值 17.8 dB 近似相等(相差 0.8 dB),且均小于 22 dB,使得节点间 IP 包传输可行。

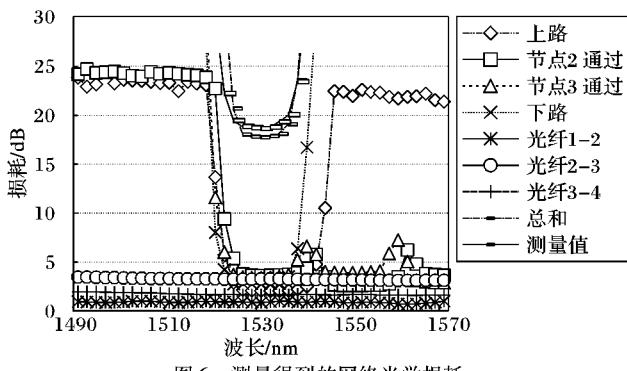


图 6 测量得到的网络光学损耗

在与上述同等的条件下,实验测量了其他节点间的光学损耗特性,得出与节点 1 到节点 4(图 6)相似的曲线。由于节点 1 到节点 4 为最大损耗光路,本文中只给出 LP14 的结果。

4 结语

本文介绍了一个使用 ROADM 的 5 节点实验网络模型,研究了在动态条件下其光学损耗与网络中光路长度的关系。通过所提流程,在测量了独立状态的上路、通过、下路的损失后,本文能决定出网络所能达到的最大长度。在这个 5 节点 ROADM 环状网络中,最大光路长度可以达到 41 km,并且 IP 包能在节点间可靠传输。这对使用 ROADM 的在网运行 IP 网络提高运行效率,减少维护成本有十分积极的意义。

参考文献:

- [1] MUKHERJEE B. WDM optical communication networks: progress and challenges [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2000, 18(10): 1810 – 1824.
- [2] KOYAMA O, HASHIMOTO M, UENO A, et al. Remote control for ROADM in IP-over-CWDM networks [J]. IEICE Transactions on Communications, 2008, E91-B(9): 2991 – 2993.
- [3] TSAI C-M, TAGA H, YANG C-H, et al. Demonstration of a ROADM using cyclic AWGs [J]. Journal of Lightwave Technology, 2011, 29(18): 2780 – 2784.
- [4] CASTRO J M, GERAGHTY D F, HONKANEN S, et al. Optical add-drop multiplexers based on the antisymmetric waveguide Bragg grating [J]. Applied Optics, 2006, 45(6): 1236 – 1243.
- [5] SAKAMAKI Y, KAWAI T, FUKUTOKU M, et al. Experimental demonstration of arrayed optical amplifiers with a shared pump laser for realizing colorless, directionless, contentionless ROADM [J]. Optics Express, 2012, 20(26): B131 – B140.
- [6] SAKAMAKI Y, KAWAI T, KOMUKAI T, et al. Experimental demonstration of multi-degree colorless, directionless, contentionless ROADM for 127-Gbit/s PDM-QPSK transmission system [J]. Optics Express, 2011, 19(26): B1 – B11.
- [7] NOORUZZAMAN M, KOYAMA O, YAMADA M, et al. Scalable single-fiber CWDM ring networks with stackable ROADMs [J]. IEEE/OSA Journal of Optical Communications and Networking, 2013, 5(8): 910 – 920.
- [8] NOORUZZAMAN M, HARADA Y, KOYAMA O, et al. Proposal of stackable ROADM for wavelength transparent IP-over-CWDM networks [J]. IEICE Transactions on Communications, 2008, E91-B(10): 3330 – 3333.
- [9] KOYAMA O, NOORUZZAMAN M, THUY N T T, et al. Stackable ROADM with optical amplifier for use in IP-over-CWDM ring networks [J]. IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering, 2012, 7(S1): S119 – S125.
- [10] XIA M, PROIETTI R, DAHLFORT S, et al. Split spectrum: a multi-channel approach to elastic optical networking [J]. Optics Express, 2012, 20(28): 29143 – 29148.
- [11] YOU S. Performance improvement of bandwidth-flexible reconfigurable optical add/drop multiplexers with wavelength converters [C]// Proceedings of the 2011 Asia Communications and Photonics Conference and Exhibition. Piscataway: IEEE, 2011: 1 – 7.
- [12] WANG Z, TSAI J, PAN Y, et al. Control for suppression of channel power excursions in ROADM-based WDM chain networks [J]. Journal of Lightwave Technology, 2013, 32(2): 293 – 302.
- [13] WANG Z, TSAI J, PAN Y, et al. Control of channel power excursions at sudden reconfiguration or faults in a ROADM-based WDM network [C]// Proceedings of the 2013 Conference on Control and Fault-Tolerant. Piscataway: IEEE, 2013: 548 – 553.
- [14] HSUEH Y T, STARK A, LIU C, et al. ROADM-enabled 100D DWDM networks [J]. Journal of Lightwave Technology, 2012, 30(24): 3980 – 3986.
- [15] NOORUZZAMAN M, HARADA Y, HASHIMOTO M, et al. Lightpath reconfigurations in IP over CWDM networks with stackable ROADMs [C]// ICCIT 2008: Proceedings of the 11th International Conference on Computer and Information Technology. Piscataway: IEEE, 2008: 144 – 149.
- [16] KAWAI S, OKIMITSU S, NAKAI K, et al. Recovery time of degraded throughput in best-effort CWDM networks with ROADM [C]// Proceedings of the 16th Asia-Pacific Conference on Communications. Piscataway: IEEE, 2010: 192 – 197.
- [17] KATSUYAMA Y, HASHIMOTO M, NISHIKAWA K, et al. Lightpath reconfiguration in regional IP-over-WDM networks by a centralized control system [C]// Proceedings of the 32nd Local Computer Networks. Piscataway: IEEE, 2007: 63 – 69.

(上接第 26 页)

- [9] JAIN S, DAS S R. Collision avoidance in a dense RFID network [C]// WiNTECH'06: Proceedings of the 1st International Workshop on Wireless Network Testbeds, Experimental Evaluation and Characterization. New York: ACM Press, 2006: 49 – 56.
- [10] CHA J-R, KIM J-H. Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID System [C]// ICPADS'05: Proceedings of the 11th International Conference on Parallel and Distributed Systems-Workshops. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 63 – 67.
- [11] LEONG K S, NG M L, COLE P H. The reader collision problem in RFID systems [C]// MAPE 2005: Proceedings of the 2005 IEEE International Symposium on Microwave, Antenna, Propagation and EMC Technologies for Wireless Communications. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2005: 658 – 661.
- [12] HALE W. Frequency assignment: theory and applications [J]. Proceedings of the IEEE, 1980, 68(12): 1497 – 1514.