

# 冗余 PW 机制的研究与实现

陈春玲,毛允亭,张锦跃

(南京邮电大学 计算机学院,江苏 南京 210003)

**摘要:**冗余 PW 是为了提高故障的自愈能力,通过为两个通信节点部署一条或多条备用 PW,主备 PW 构成一个冗余 PW 组。网络的拓扑复杂多变,冗余 PW 的模型也是多样化的,主要有独立模式和主从模式两种。冗余 PW 切换主要分为外部切换和信令切换。冗余 PW 的切换是通过信令的交互实现的。PW 的建立和维护是通过扩展 LDP(label distribution protocol)协议实现的,其在 LDP 所定义消息编解码 TLV 的基础上增加了 PW STATUS TLV,该 TLV 可以在 MAPPING 消息和 Notification 消息中携带。研究和实验表明冗余 PW 机制可以提高通信节点故障的自愈能力,从而提高网络通信的可行性。

**关键词:** MPLS;PW;冗余;PW 切换

中图分类号:TP31

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2012)01-0049-04

## Research and Realization of PW Redundancy Mechanism

CHEN Chun-ling, MAO Yun-ting, ZHANG Jin-yue

(College of Computer, Nanjing University of Posts and Telecommunications, Nanjing 210003, China)

**Abstract:** Redundant PW is to improve the self-healing of fault. By disposing one or more reserve PW for two communication nodes, the redundant PW group is composed by main and reserve PW. Because of complex network, the redundant PW is variety, which is divided into two modes: stand-alone mode and master-slave mode. Redundancy PW switching consists of an external switching and signaling switching. Redundancy PW switching is achieved via signaling interaction. The establishment and maintenance of PW is realized by extending the LDP (label distribution protocol), and based on the message encoding and decoding TLV which is defined by LDP, PW STATUS TLV is added, which can be carried in the MAPPING and Notification message. Simulation results show that the system of redundancy PW can improve the self-healing of communication nodes' fault, so as to improve the whole reliability of the network communication.

**Key words:** MPLS;PW;redundancy;PW switching

### 1 背景技术

MPLS<sup>[1]</sup>(Multi-Protocol Label Switching)作为一种性价比高和业务能力强的交换技术,用短而定长的标签来封装网络层分组,直接根据标签进行转发,而不需要像 IP 进行复杂的路由查找和转发。MPLS 技术可以非常容易地实现基于 IP 技术的虚拟专用网 VPN 业务,满足虚拟专用网可扩展性和管理的需求。

MPLS VPN 有三种方式:

- 1) MPLS L3VPN<sup>[2,3]</sup>;
- 2) VPWS (Virtual Private Wire Service, 虚拟专用线服务,旧称 VLL, Virtual Leased Line, 虚拟租用线);
- 3) VPLS (Virtual Private Lan Service, 虚拟专用局

域网服务)。

以最简单的 VPWS 为例进行说明,如图 1 所示。

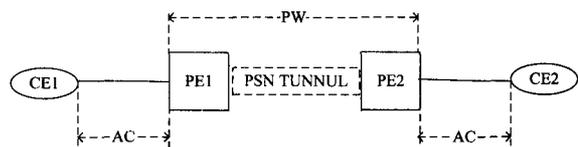


图 1 VPWS

其中 CE 为用户边缘设备,PE 为运营商边缘设备。PE1 与 PE2 之间建立一条 PW<sup>[4,5]</sup>(Pseudo Wire), CE1 与 PE1、CE2 与 PE2 之间的连接为 AC (Attachment Circuit), PE1 与 PE2 之间为公网隧道,这样 CE1 与 CE2 间就连通起来了。PW 就是运营商网络为用户提供的的一个 VPWS 服务。PW 有多种方式:基于 MPLS 或基于其它技术的,如 L2TPv3。文中的 PW 为 MPLS<sup>[6-8]</sup>方式。这种方式下,一条 PW 由一对方向相反的 VC-LSP (Virtual Circuit Label Switched Path) 组成。PW 由更低一层的隧道承载,一条隧道可以承载成千上万条 PW,甚至更多。PW 转发表分为 PW 出标

收稿日期:2011-06-14;修回日期:2011-09-25

基金项目:国家自然科学基金(60773041)

作者简介:陈春玲(1961-),男,江西兴国人,教授,硕士,研究方向为软件技术及其在通信中的应用;毛允亭(1987-),男,山东临沂人,硕士研究生,研究方向为软件技术及其在通信中的应用。

签和入标签。PW 发送流量时,先打上 PW 出标签,再加上承载 PW 的隧道封装,然后在指定的链路上发送。当 PW 收到流量时,先剥离隧道封装,露出分组所带的 PW 标签,根据这个标签查找本地的 PW receive label 表项,将分组从 PW 标签所关联的接口发送出去。如果两个 CE 所通过的 PE 设备间仅有一条 PW 连接,当 PW 或 AC 出现异常时,会导致转异常,因此节点间通信的可靠性不高。这时迫切需要一种技术来提高故障的自愈能力,保障流量的正常转发,冗余 PW 技术应时而出。

## 2 冗余 PW

冗余 PW<sup>[9]</sup>是为了提高故障的自愈能力,通过为两个通信节点部署一条或多条备用 PW,主备 PW 构成一个冗余 PW 组;冗余 PW 组的 PW 都可进行流量转发,但任何时候只有一条 PW 用来传送流量;当这条 PW 失效时,将流量快速切换到备用 PW 上进行传送。若设备要求将流量回切到主 PW 上,当主 PW 有效时,必须进行流量回切。配置了冗余 PW 的网络设备可以检测网络错误并将流量迅速切换到备用的 PW 上以延续所提供的服务。任何 PW 的状态只可能是 UP、BLOCKED、DOWN 中的一种。非 DOWN 状态的 PW 均可以传送流量,但只有 UP 状态的 PW 可转发流量,文中称 BLOCKED 状态的 PW 是可操作的。

### 2.1 冗余 PW 的模型

网络的拓扑复杂多变,冗余 PW 的模型<sup>[10,11]</sup>也是多样化的。文中以图 2 所示的模型进行说明。

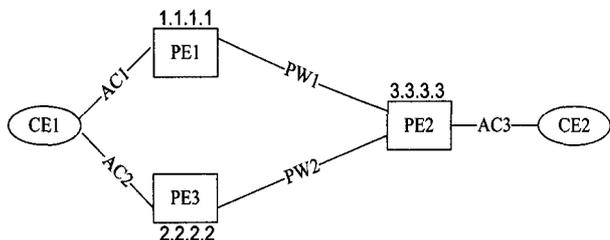


图 2 简单的冗余 PW 模型

如图 2 所示:PW1 与 PW2 为冗余 PW,AC1 与 AC2 为 CE1 的冗余 AC。从 CE1 到 CE2,任何时候下只有一条 AC 来传送数据,另一条 AC 处于 BLOCKED 状态,如果当前传数据的 AC 出现异常时,CE1 会将流量切换到另一条 AC 链路上,这时流量也切换到另一条 PW 上。反过来,从 CE2 到 CE1,PW1 与 PW2 为 PE2 的冗余 PW,任何时候只有一条 PW 进行数据传送,另一条为 BLOCKED 状态。当需要进行切换时,把流量切换到另一条 PW 上。当主 PW 又变为可操作时,若设备要求将流量回切到主 PW 上,还要进行流量回切。

### 2.2 运行模式

操作模式有独立模式和主从模式两种。

独立模式:PW 两端的节点独立选择流量转发的 PW。并将 UP 和 BLOCKED 的 PW 通告给对端。两端各自比较本地和远端的 PW 状态,选择状态为操作且同时被两端选择转发的 PW 来转发数据。正确配置的情况下,PE 总能选定一条 UP 的 PW。但是如果配置错误,可能导致找不到一条 UP 的 PW。这时就必须提供一种管理提示信息。如图 2 所示:三个 PE 独立选择优选转发的 PW 路径并通过 Notification 消息通知对端,选择后必须保证 PW 两端的状态是一致的。独立模式的各个节点都会发送 PW 切换请求消息。

主从模式:从冗余 PW 组中选出一端作为主控端,负责选择用于流量转发的 PW,其它端为被控端。主控端通过冗余 PW 信令将所选择的用于流量转发的 PW 通知给被控端,被控端接收到这个通知后必须执行这个决定。主控端必须忽略从被控端发来的所选择转发流量的 PW 的消息通知。如图 2:对于 PW1 与 PW2 组成冗余 PW 组,选择 PE2 为主控端,负责选择优选转发的 PW 路径,而 PE1 与 PE3 为被控端则只要执行 PE2 所做出的选择,因此保证了 PW 两端状态的一致性。主从模式只有主控端可以发送 PW 切换请求消息,而被控端则不会。

当两台通信的设备的运行模式不一致时,必须通过协商选择一种运行模式。定义规则是:主从模式的优先级比独立模式高。

文中主要以主从模式进行描述。

### 2.3 冗余 PW 切换的触发因素

冗余 PW 切换主要分为外部切换和信令切换。

外部倒换是指通过手工配置的命令触发的保护倒换。外部倒换的优先级由高到低为:

(1) 清除倒换 (Clear):清除所有的外部倒换命令。

(2) 锁定倒换 (Lockout of Protection):数据流锁定在 PW 上传输。

(3) 强制倒换 (Forced Switch):强制数据流在 BLOCKED 的 PW 上传输。

(4) 手工倒换 (Manual Switch):手动将数据流从 UP 状态的 PW 切换到 BLOCKED 状态的 PW 上,更新相互切换的 PW 状态。

信令切换是指通过协议信令触发的保护倒换。可以触发冗余 PW 切换的信令包括 VCCV LSP PING、VC-CV BFD、MPLS OAM (Operation, Administration and Maintenance, 操作、管理和维护) 和链路失效所产生的接口事件。

## 3 冗余 PW 的信令交互

冗余 PW 的切换是通过信令的交互实现的。PW 的建立和维护是通过扩展 LDP (label distribution proto-

col)<sup>[12,13]</sup>协议实现的,其在 LDP 所定义消息编解码 TLV 的基础上增加了 PW STATUS TLV,该 TLV 可以在 MAPPING 消息和 Notification 消息中携带。为了便于边缘节点选定转发流量的 PW 后通知对端,定义一个“优选转发”的状态位来标识优先转发路径。为使 PW 两端的节点选择同一 PW 进行流量转发,定义了另一个“PW 切换请求”状态位来协调对端节点的 PW 切换操作。因此,在 PWE3 定义的 PW 状态位的基础上增加的状态码为:

0x00000020“优选转发”位,置位时,表示“PW 的转发状态为 standby”;当该位清除时,表示“PW 转发状态为 active”。

0x00000040“PW 切换请求”位,置位时,表示“请求切换到这条 PW”;当清除该位时,不代表任何特殊动作。

配置初始时,通过带 PW STATUS TLV 的 MAPPING 消息将 PW 状态通知对端,对端节点收到 MAPPING 消息时置 PW 为相应的状态,这样保证配置初始化后两端状态的一致;当要进行 PW 切换时,通过带 PW STATUS TLV “PW 切换请求”置位的 Notification 消息通知对端进行 PW 切换。“切换请求”的 Notification 消息要求对端返回一个确认消息。触发请求 PW 切换的 Notification 消息的条件是:一、运行事件,比如导致 active PW 不再符合 active 条件的失败;二、管理员维护的操作,将流量从正在服务节点移开。

独立模式时:PW 的两个端点独立选择要转发流量的 PW,并将选择的结果通知给对端。对端收到消息后将其远端节点所做的选择保存下来。每个端点将其所做的选择与保存的对端选择进行比较,选择两端均为可操作的且都被优选为流量转发的 PW 为 UP 状态进行数据转发。处于 BLOCKED 状态的 PW 虽然不能转发数据流量但能收发 OAM 的包。

主从模式时:当主控端选定或取消流量传送的 PW 时,必须明确通知被控端。被控端收到 PW 状态变化的 Notification 消息后按“优选转发位”进行相应的动作。如果收到的 Notification 消息中的 status TLV 中的“优选转发位”被置位,则表明 PW 的主控端没有选择这条 PW 进行转发数据,因此保持原状态。如 status TLV 中的“优选转发位”未被置位,则表明主控端选择这条 PW 为 ACTIVE 并进行流量转发,若满足激活条件则激活该 PW,并回一个状态通告信息。这种机制也非常适合 PW 组操作,将 PWid FEC Element 中相同 Group ID 的 PW 或 Generalized PWid FEC Element 中相同 Group TLV 的 PW 进行同样的操作。

### 3.1 PW 切换请求端的处理

(1)切换请求端发送了一个带“切换请求位”置位

的 Notification 消息给要切换的 PW,并开始一个定时器,等待对端的确认消息;此时流量不必切换到这条 PW 上,其“优先转发位”反映的还是当前 UP 状态的 PW;

(2)若在定时器超时之前收到对端发送了切换到相同或不相同的 PW 路径的请求消息时:如果本地 IP 地址大于对端 IP,则忽略对端的切换请求并继续等对端的确认消息;如果本地 IP 地址小于对端的 IP,则清除定时器并立即处理并回复这个请求消息;

(3)若在定时器超时之前收到对端发送的该 PW “优先转发位”未置位而其它 PW 置位的 Notification 消息,则必须将这个信息当作切换请求消息所回复的确认消息,这时,请求端要消除这个定时器,并激活这个 PW 路径,最后向对端发送状态位更新后的 Notification 消息;

(4)若在定时器超时之前发现所请求切换的 PW 变为 DOWN,如果有其它可以切换的 PW,则清除该定时器并给新的要切换的 PW 发出一个切换请求,并重启一个定时器;如果没有其它可以切换的 PW,则清除该定时器并发送状态位更新后的 Notification 消息;

(5)若定时器超时,则认为对端拒绝切换请求,重新发送切换请求;

(6)若定时器超时后收到对端发送的确认消息,则认为对端没有发送切换请求而单方面切换 PW 路径。这时,请求端再发送一个新的切换请求,以同步到操作。

### 3.2 切换被请求端的处理

当被请求端收到一个“切换请求”置位的 Notification 消息后,如果请求切换的 PW 与当前 UP 状态的 PW 不同,且该 PW 是可操作的,则激活该 PW,并向对端发送状态位更新后的 Notification 消息。如果请求切换的 PW 的状态为 DOWN,则接收端将忽略这个切换请求消息。

### 3.3 PW 切换

当本地要进行切换,必须先向对端发送“切换请求”消息,然后等待对端回复的确认信息。只有收到确认信息后才能进行 PW 切换。当对端节点收到“PW 切换请求”的 Notification 消息时,先检查要切换的 PW 是否满足 UP 的条件,如果不满足则丢弃这个切换请求消息。如果满足 UP 条件,先去激活原处于 UP 状态的 PW 再则激活新的 PW,然后向切换请求端发送状态位更新后的 Notification 消息作为确认消息。PW 切换时,先更新切换的 PW 的状态,通知 MPLS 转发面删除旧的 UP 状态的 PW 表项,再把新的 UP 状态的 PW 下发到转发平面生成新的转发表项,这样使流量转移到 UP 的 PW 上。

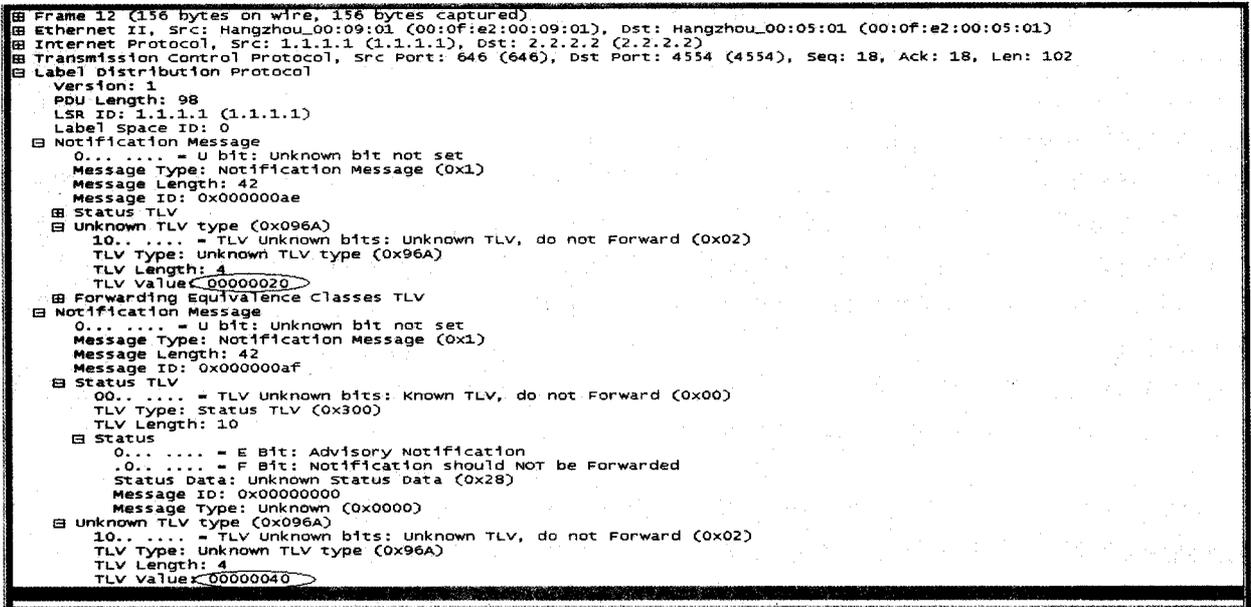


图 6 切换通告数据包图

的变为 BLOCKED, 而 VC-ID 为 20 的变为 UP。切换后, 两端 PE 的数据转发正常。

### 4 实验仿真

仿真的硬件环境为: 两个 CE 设备、两个 PE 设备。

软件环境为: 模拟网络操作系统、Ethereal 抓包工具、通用测试平台软件。

仿真测试的目标: 主要测试 VPWS 方式的 PW 冗余机制、测试冗余 PW 机制的实现是否可行、两端 PW 路径的状态是否一致。

为测试 PW 切换以及 LDP 会话振荡后, 两端的 PW 能否路径状态保持一致。文中对图 3 所示的测试组网进行测试。

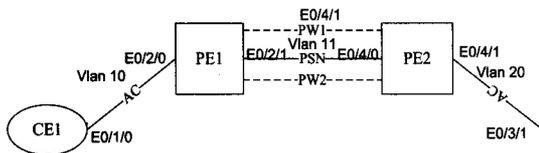


图 3 测试组网图

如图 3 所示: 其中 PW1 与 PW2 由同一公网隧道承载, 即 PW1 与 PW2 组成冗余 PW 组, 其中 PW1 为主 PW, PW2 为备 PW。如果进行一系列切换或 LDP 会话振荡后, PE1 与 PE2 的 PW 状态能保持一致, 则也就能说明对于不同公网隧道所承载的冗余 PW 也能使两端 PW 状态保持一致。因此就能证明冗余 PW 机制是确实可行的。

正确配置 MPLS L2VPN 的 VC 后, PE1 的 VC 链路的状态如图 4 所示: 其中 VC-ID 为 10 的那条 L2VC 状态为 UP, VC-ID 为 20 的那条 L2VC 状态为 BLOCKED。

在 PE1 进行手动 PW 和异常导致的 PW 切换及 LDP 会话振荡, 稳定后查看 PE1 的 VC 状态如图 5 所示, 此时, 两条 L2VC 的状态进行了切换, VC-ID 为 10

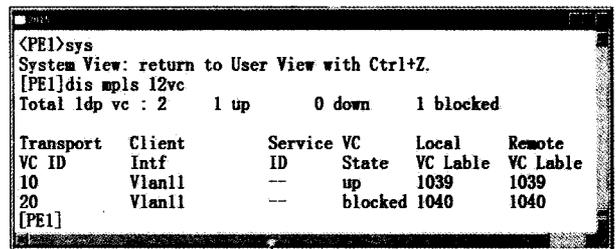


图 4 PE1 的 PW 路径状态图

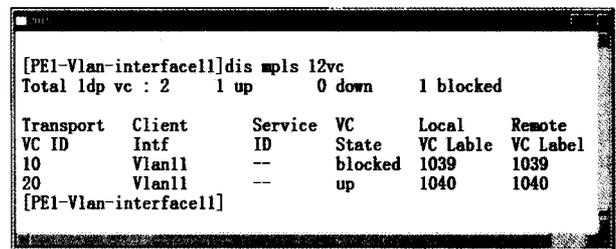


图 5 切换及震荡后 PE1 的状态图

图 6 为 Ethereal 抓到的切换请求消息和优先转发通告消息的数据包: TLV value 为 0x00000020 表示该 PW 切换到 STANBY, 0x00000040 表示切换请求。

仿真结果表明: 手动 PW 切换或由于异常导致的 PW 切换、LDP 会话振荡后, PW 两端节点的路径状态依然保持一致, 不会影响流量的转发。

### 5 结束语

实验表明, 通过冗余 PW 机制来提高通信节点间通信可靠性是完全可行的。正常情况下只有一条 ACTIVE PW 进行数据转发, 当由于异常或网络管理操作时, 可将流量快速切换到备用的 PW 上。

(下转第 58 页)

法结合并用于提取二阶纹理特征。一个提取纹理特征的方法是通过能量谱的灰度共存矩阵<sup>[15]</sup>(GLCM)来实现,求出的纹理特征可以用于基于纹理的自动分割与分类。文中的研究正是为上述以及其它 QS 变换的应用铺路。

在使用 QS 变换能量谱来提取纹理特征应用中仍然有许多未解决的问题。该能量谱是合成了包括该局部所有的频率的局部能量。尽管没有强调何种频率应该包括在能量谱的计算中,但是在此次研究中,所有的频率被计算于能量谱中。然而低频常常受到边缘效果的影响,高频又存在噪音。因此适中的频率在纹理特征提取中更有效率。这就要求我们对频率设置门槛值。

## 5 结束语

总的来说,这篇文章介绍了一个局部空间四元数 S 变换,并通过实例证明了其在彩色图像分析中的积极作用。QS 变换允许同时的分析局部彩色图像的所有颜色分量,而其它非四元数变换只能单独分析彩色图像的各个颜色分量。文章给出的 QS 变换是可逆和旋转不变的,并且又提出了一个通过在 Hartley 空间下的卷积实现的 QS 变换简便计算,之后构建的 QS 变换的能量谱被用于提取彩色纹理特征。今后需要把更多的研究投入于 QS 变换四元数生成式的另外 2 个属性上(特征角和特征轴)。

### 参考文献:

- [1] 王端秀,徐磊,张仁杰. 数字图像中傅里叶变换的研究分析与仿真[J]. 光学仪器,2009,31(1):48-51.
- [2] 杨亚,王铮,张素兰. 基于小波变换的多聚焦图像融合[J]. 计算机技术与发展,2010,20(3):56-58.
- [3] Mansinha L, Stockwell R G, Lowe R P. Pattern analysis with

two-dimensional spectral localization: applications of two-dimensional S transforms [J]. *Physica*, 1997, 239 (1): 286 - 295.

- [4] 林开颜,吴军辉,徐立鸿. 彩色图像分割方法综述[J]. 中国图象图形学报,2005,10(1):1-10.
- [5] Ell T A, Sangwine S G. Hypercomplex Fourier transforms of color images[J]. *IEEE Trans on Image Proc*, 2007, 16(1): 22 - 35.
- [6] Denis P, Carre P, Fernandez-Maloigne C. Spatial and spectral quaternionic approaches for colour images[J]. *Comput Vision and Image Understanding*, 2007, 107(1-2): 74-87.
- [7] 黄伟,周鸣争,李小牛. 一种基于四元数的彩色图像边缘检测改进算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(3): 121-124.
- [8] 陈静,罗斌,詹小四. 基于 Gabor 滤波的指纹图像增强算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(4): 124-126.
- [9] Palm C, Lehmann T M. Classification of color textures by Gabor filtering[J]. *Machine Graphics and Vision*, 2002, 11(2/3): 195-219.
- [10] Hoang M A, Geusebroek G M, Smeulders A W M. Color texture measurement and segmentation[J]. *Signal Process*, 2005, 85(5): 265-275.
- [11] Shi L, Funt B. Quaternion color texture segmentation[J]. *Comput Vision and Image Understanding*, 2007, 107(1-2): 88-96.
- [12] Hamilton W R. *Lectures on Quaternions* [M]. Dublin: Hodges and Smith, 1853.
- [13] Hitzer E M S. Quaternion Fourier transform on quaternion fields and generalizations[J]. *Adv. Appl. Clifford Alg*, 2007, 17(3): 497-517.
- [14] Bracewell R N. Assessing the Hartley transform [J] *IEEE Trans. Acoust. Speech Signal Process*, 1990, 38(12): 2174-2176.
- [15] 苑丽红,付丽,杨勇. 灰度共生矩阵提取纹理特征的实验结果分析[J]. 计算机应用, 2009, 29(4): 1018-1021.

(上接第 52 页)

### 参考文献:

- [1] 袁嘉. 基于 MPLS 的 PWE3 实现研究[J]. 现代有线传输, 2005(6): 51-56.
- [2] 李缓,安宁. MPLS VPN 的关键技术及其应用[J]. 科技信息, 2008(35): 497-498.
- [3] 胡国辉,崔可升. MPLS VPN 原理及组网应用[J]. 电信技术, 2005(12): 124-126.
- [4] 奚小获,张蓉. PWE3 技术概述和参考模型[J]. 飞行器测控学报, 2005(3): 69-74.
- [5] RFC5036. LDP Specification [S]. IETF, 2007.
- [6] Osborne E, Simha A. 基于 MPLS 的流量工程 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2003.
- [7] 陈业芳. MPLS 技术及发展前景分析 [C] // 海南省通信学

会学术年会论文集. 海南: 出版者不详, 2006.

- [8] 沈鑫剌,伍红兵,俞海英. 基于 MPLS 第二层 VPN [J]. 中国数据通信, 2002(5): 159-161.
- [9] RFC4096. Transport of Layer 2 Frames Over MPLS [S]. IETF, 2007.
- [10] RFC 4447. Pseudowire Setup and Maintenance Using the Label Distribution Protocol [S]. 2006.
- [11] RFC3985. Pseudo Wire Emulation Edge-to-Edge (PWE3) Architecture [S]. IETF, 2005.
- [12] RFC3031. Multiprotocol Label Switching Architecture [S]. IETF, 2001.
- [13] RFC5331. MPLS Upstream Label Assignment and Context-Specific Label Space [S]. IETF, 2008.