

MPLS 网络故障检测环回机制

肖宇峰¹, 李 昕², 李玉宏²

(1. 西南科技大学信息工程学院, 绵阳 621010; 2. 北京邮电大学网络与交换国家重点实验室, 北京 100876)

摘 要: 针对现有多协议标签交换(MPLS)网络故障检测机制计算复杂和难于部署的问题, 提出一种简单快速的故障检测机制——MPLS 网络故障环回检测机制。在 MPLS 协议转发模块中增加操作与维护环回处理模块以加快故障检测速度, 实现固定周期和动态周期 2 种检测方式。在 Linux 平台上开发其工作原型——LSPFD, 实验证明该机制能正确测量网络延迟, 且采用动态周期检测方式可使网络开销更低。

关键词: 多协议标签交换; 标签交换路径; 故障检测

Loopback Mechanism for MPLS Network Failure Detection

XIAO Yu-feng¹, LI Xin², LI Yu-hong²

(1. Information Engineering School, South Western University of Science and Technology, Mianyang 621010;

2. State Key Laboratory of Networking and Switching, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876)

【Abstract】 This paper proposes a simple and fast failure detection mechanism—the loopback detection mechanism for Multi-Protocol Label Switching(MPLS) network failure. The “OAM loopback module” is added into the MPLS protocol module, and the implementation and deployment are very simple. The detection packets are transferred below the MPLS level, and the detection operations are executed fast. The detection methods with fixed period and dynamic period are both provided. The mechanism is implemented on the Linux platform and a prototype named LSP Fast Detecting(LSPFD) is developed. Experiments show that the mechanism works effectively.

【Key words】 Multi-Protocol Label Switching(MPLS); Label Switched Path(LSP); failure detection

1 概述

电信骨干网所采用的多协议标签交换(Multi-Protocol Label Switching, MPLS)技术有效地支持了 VoIP、视频会议等应用。随着这些时延敏感应用的日益普及, 如何快速恢复网络故障以保证网络服务质量成为一个重要的课题^[1-5]。

标签交换路径(Label Switched Path, LSP)是 MPLS 网络中数据包赖以转发的路径, 其故障检测方式直接影响到故障恢复的质量。根据功能复杂性, 现有的 LSP 故障检测机制可分为 2 类^[2-3]: 一类是简单的故障检测, 如 CV(Connectivity Verification)和 FFD(Fast Failure Detection); 另一类是完备的故障检测, 如 LSP Ping。ITU 发布了 ITU-T Y.1711, 提出 CV 和 FFD 机制。其中, CV 不适合快速故障检测, 而 FFD 检测周期可设置为毫秒级, 能快速发现故障。在采用 PHP(Penultimate Hop Popping)的 MPLS 网络中, 倒数第二跳问题限制了这 2 种机制的部署。IETF 发布了 RFC4379, 描述了 LSP Ping 的各项功能。该机制同时检测数据平面与控制平面的故障, 计算开销大, 增加路由器负担。

针对现有 LSP 故障检测机制的不足, 本文提出了一种实现简单、部署方便、测试快速的机制——MPLS 网络故障环回检测机制。

2 故障环回检测机制

本文故障检测的基本思想是: LSP 入口路由器发出带有 OAM 标签的 LSP 检测包, LSP 出口路由器收到检测包后自动生成一个带 OAM 标签的应答包, 沿一条反向 LSP 返回给入口路由器。

判断是否故障的原则是: 入口路由器在发出检测包后的一段时间内(超时时间范围)未收到应答包, 则认为检测超时;

如果连续出现 k 次检测超时则认为网络故障。要实现该机制, 必须扩展 MPLS 协议以支持 OAM 环回处理, 使得入口路由器能发出带 OAM 标签的检测包, 而出口路由器在收到检测包后能生成带 OAM 标签的应答包。

如图 1 所示, 检测机制的实现包括 2 个部分: 故障检测和 MPLS-OAM。故障检测部分是负责控制检测过程的应用程序, 而 MPLS-OAM 就是支持 OAM 环回处理的 MPLS 协议模块。这里的故障检测包括: “时钟”模块, 设置检测周期和超时定时器; “故障报告”模块, 报告网络故障; “发送”和“接收”模块, 分别发送检测包和接收应答包; “检测控制”模块, 控制检测步骤。MPLS-OAM 部分包括: “无 OAM 支持的 MPLS”协议模块和“OAM 环回处理”模块。“无 OAM 支持的 MPLS”协议模块是标准的 MPLS 协议模块, 支持标签交换。而“OAM 环回处理”模块扩展了 MPLS 协议, 包括有: “上层访问 MPLS-OAM 接口”模块, “封装 OAM 数据包”模块, “添加 OAM 标签”模块, “提交 OAM 包”模块和“OAM 映射处理”模块。LSP 的边缘路由器安装故障检测应用程序和 MPLS-OAM 后, 入口路由器沿 LSP 周期性地发出检测包, 并设定超时定时器, 如果出口路由器的应答包未在定时器结束前返回, 则会触发检测超时。故障检测程序的“检测控制”模块包括 2 个重要工作: 检测超时控制和检测周期调节。其

基金项目: 国家“863”计划基金资助项目(2007AA01Z2A1); 控制技术四川省高等学校重点实验室基金资助项目; 西南科技大学科研基金资助项目(09zx7123)

作者简介: 肖宇峰(1978—), 男, 讲师、博士, 主研方向: 网络生存性, 网络测量; 李 昕, 博士后; 李玉宏, 副教授、博士

收稿日期: 2010-02-21 **E-mail:** xiaoyfswit@gmail.com

中, 检测超时控制需要计算超时定时器的定时长度并设置该定时器; 检测周期调节需要计算检测周期长度并设置检测包发送时刻。下面是分析检测周期原理所用到的符号: P_i 是第 i 个检测包, TO 是检测超时长度, TWD_i 是第 i 个检测包测得的延迟, t_i 是第 i 个检测包发送时刻, $t_{failure}$ 是故障发生时刻, t_{found1} 第 1 个检测超时时刻, t_{report} 是故障报告时刻, TH 是时延约束(故障检测时间低于这个值才能保证服务质量, 即 $t_{report} - t_{failure} \leq TH$), Δt_i 是第 i 个检测周期, Δt_{min} 最低发包间隔 ($\Delta t_{min} = SIZE/C$, 其中, $SIZE$ 是检测包长度, C 是出口带宽), α 和 β 是超时控制系数。

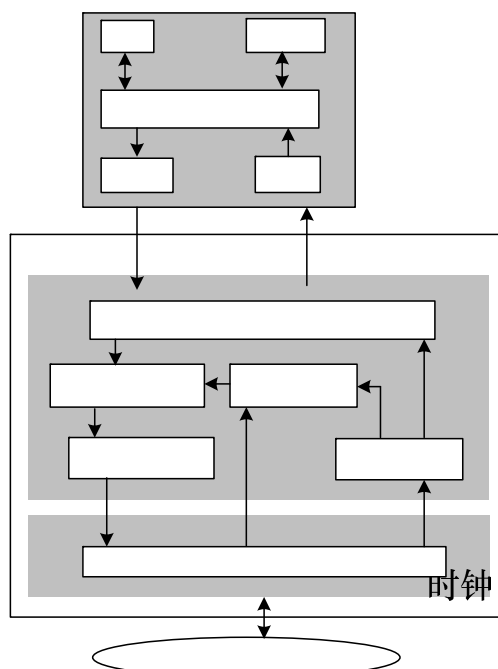


图1 故障环回检测机制的实现

在图2中, 如果发送 P_i 时发生了检测超时, 那么在超时结束时刻报告第一次检测超时, 这个时刻定义为 t_{found1} ; 连续发生 k 次检测超时后, 在 P_{i+k-1} 检测超时结束时刻报告 LSP 故障, 这个时刻定义为 $t_{failure}$ 。

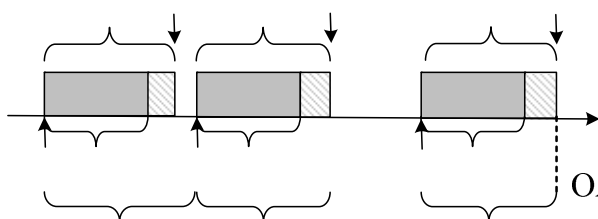


图2 故障检测周期的分析模型

检测周期的计算方法如下:

(1) 检测超时。检测超时定时器的长度 TO 可根据延迟测量来计算。

(2) 固定周期检测。如采用固定周期检测故障, 可如下计算周期:

$$t_{report} - t_{failure} = k \times \Delta t_j \leq TH \Rightarrow \Delta t_i \leq \frac{TH}{k}$$

其中, TH/k 是 Δt_i 的上界, 检测周期低于该值就能保证故障检测速度。为尽量减小检测包的数量, Δt_i 取上界值, 即 $\Delta t_i = TH/k$ 。当 TH 值很小时, 检测周期很短, 必然会增加网络开销。

(3) 动态周期检测。动态周期检测的基本思想在于: 发出的检测包未超时, 根据测量得到延迟动态调节检测周期, 尽可能少地发送故障检测包; 检测包出现超时, 迅速缩短检测周期, 发出指定数目的检测包以快速判断是否出现故障。这样就兼顾了检测速度和网络开销。如果采用动态周期检测, 可如下计算周期:

$$t_{report} - t_{failure} = \sum_{j=i}^{i+k} \Delta t_j \leq TH \Rightarrow$$

$$\Delta t_i + \sum_{j=i+1}^{i+k} \Delta t_j \leq TH \Rightarrow \Delta t_i \leq TH - k \times TO$$

其中, $TH - k \times TO$ 是 Δt_i 的上界, 只要低于这个上界, 就能保证故障检测速度。为尽量减小检测包的数量, Δt_i 取上界值, 即 $\Delta t_i = TH - k \times TO$ 。有如下检测周期计算公式:

$$\Delta t_i = \begin{cases} TH - k \times TO & \text{当前包检测未超时} \\ TO & \text{当前包检测超时} \end{cases}$$

当未发生检测超时, 按 $TH - k \times TO$ 来设置检测周期, 尽量少发送检测包。此时检测周期随着延迟的增加而缩短, 随延迟的减少而增加。当出现检测超时, 按 TO 来设置检测周期, 尽可能快地发现网络故障。

3 实验

本文在 Linux 平台上实现了 MPLS 网络故障环回检测机制的原型——LSPFD。它可以采用固定周期和动态周期 2 种方式来调节检测周期, 同时报告测量得到的延迟。实验网络如图3所示, 包括 2 个边缘路由器 LER0 和 LER1, 2 个中间路由器 LSR2 和 LSR3, 同时配置了 2 条 LSP: LSP1 沿入口路由器 LER0 经过 LSR3 到出口路由器 LER1, 沿 LSP1 的链路检测带宽为故障报告 LSP2 沿入口路由器 LER1 经 LSR2 到出口路由器 LER0, 沿 LSP2 的链路带宽为 100 Mb/s。另外网络部署了 2 个背景流, 一个由流量源 S1 到 T1, 另一个由流量源 S2 到 T2。测试用的 LSPFD 部署在 LER0 上。

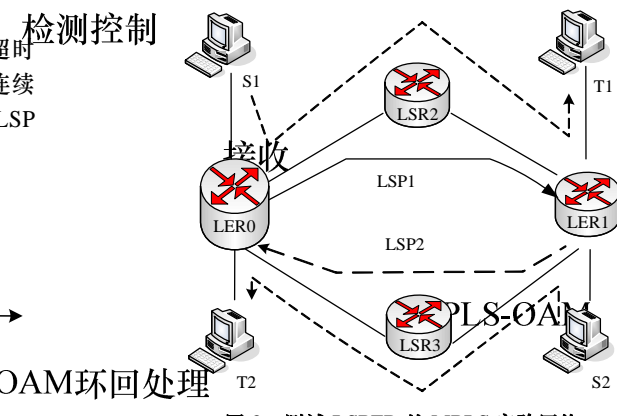


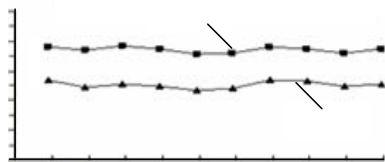
图3 测试 LSPFD 的 MPLS 实验网络

3.1 网络延迟测试

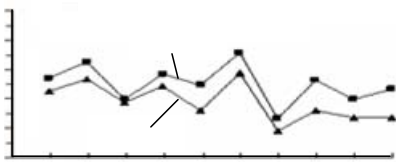
本文的故障检测机制利用延迟测量值来设置检测超时时间, 再根据检测超时情况来判断网络故障。因此, 需要验证延迟测量值的有效性。本实验安排 10 组测试来比较 Ping 和 LSPFD 的延迟测量, 每组实验取 10 次延迟测量的均值, 得到图 4。横轴为实验组序号, 纵轴为测量得到的延迟(图中用 Ping 值表示)。从延迟曲线可看出: LSPFD 的延迟测量值略小于 Ping 的测量值, 这是因为 LSPFD 在发送和接收检测包时未经过第 3 层的处理, 缩短了处理时间; 两者的延迟曲线变化一致, 反映出网络的延迟和流量变化。实验结果表明 LSPFD 的延迟测量基本准确、工作有效。

无 OAM 支持的 MPLS

标准的 MPLS 标签交换



(a)负载为 0 时的 Ping 值比较



(b)负载为 50% 时的 Ping 值比较

图 4 LSPFD 与 IP Ping 的延迟测量比较

3.2 网络开销测试

本测试分析检测机制能否在规定的时间内快速发现故障，并比较固定周期检测与动态周期检测的网络开销。图 5 是网络延迟 $TWD=0.5$ ms 时的动态周期检测情况，曲线反映了 TH 与每秒发包数的关系。纵轴是每秒内发送的检测包个数，用来衡量网络开销；横轴是规定的故障检测时间(TH 时延约束)。实验发现 LSPFD 能在 TH 要求的时间范围内快速发现故障，故障发现时间能达到毫秒级。取 $k=2$ 时的开销来分析，当 $TH=30$ ms，固定周期检测必须在 30 ms 内发出 2 个检测包。此时网络最低开销是每秒发送 67 个检测包，对于 80 Byte 的检测包，大约占用 43 Kb/s 的带宽。参照图 5 中 $k=2$ 的曲线，如果用动态周期检测，网络平均开销大约是 36 个检测包，大约占用 23 Kb/s 的带宽，网络开销比固定周期少了 40%。实验结果表明该机制能快速检测故障，而且采用动态周期检测能减少网络开销。

(上接第 16 页)

表 2 不同误码率下反向信道确认信息流量比较

BER	ACK 个数 (TCP)	ACK 个数 (SCPS-TP)	反向信道流量/bit (CFDP/UDP)	反向信道流量/bit (MDP/UDP)
10^{-7}	144	139	99 082	5 592
10^{-6}	144	139	143 300	5 976
10^{-5}	147	138	180 190	15 504

6 结束语

SCPS-TP 在低轨、前/反向信道的带宽容量的不对称性较低(小于 100:1)时,相比于 TCP 能够表现出较好的空间通信适应性。本文实验结果表明,当前/反向信道带宽不对称性较高(1 000:1)且链路延迟增大后,由于受制于反馈信道容量,SCPS-TP 不再有明显的性能优势。针对深空链路,需要研究新的传输层协议拥塞控制和重传算法。

CFDP 与 MDP 都是基于 NACK 来保证传输的可靠性,在没有丢包的情况下无需反馈,只有出现丢包时,向发送端反馈丢包的信息,因此,它们对反馈信道的要求较低。实验中 CFDP 采用立即重传模式,即接收端一旦发现数据包有丢失,立即向发送端发送 NAK 以提供丢包信息,发送端接收到 NACK 后立即进入重传程序,重传丢失的数据包。MDP 为了适应广播和多播条件下的传输效率,其重传机制是接收

IP

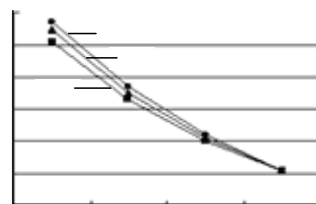


图 5 LSPFD 的网络开销

4 结束语

针对现有 LSP 故障检测机制的不足,本文提出了 MPLS 网络故障环回检测机制。通过在 MPLS 协议中增加 OAM 环回处理模块,实现了对环回检测的支持,使得检测更加简单,易于部署;只经过 MPLS 数据平面和第二层发送检测包,故障检测速度较快。根据该机制的工作原理,在开源的 Linux 平台上设计工作原型 LSPFD。实验证明该机制能有效检测 LSP 故障,缩短其动态周期检测能减少网络开销。

参考文献

- [1] Aggarwal R. OAM Mechanisms in MPLS Layer 2 Transport Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(10): 124-130.
- [2] 李金岭, 陈山枝, 李 昕, 等. 自适应的 LSP 故障环回检测机制[J]. 北京邮电大学学报, 2009, 32(2): 5-9.
- [3] Cavendish D, Ohta H, Rakotoranto H. Operation, Administration, and Maintenance in MPLS Networks[J]. IEEE Communications Magazine, 2004, 42(10): 91-99.
- [4] 李金岭, 苏晓云, 张 晨, 等. 基于基本回路的 MPLS 网络重路由故障恢复机制[J]. 计算机工程, 2008, 34(9): 124-126.
- [5] 侯剑锋, 马明凯, 李向红. MPLS VPN 中动态服务质量机制的应用[J]. 计算机工程, 2010, 36(3): 706-1088.

实验组序号

编辑 任吉慧

端在检测到丢包时并不立即向发送端发送 NACK 要求重传,而是随机地等待一段时间后,根据其他接收节点的 NACK 信息和自己的重传需求向发送端发送 NACK 以请求重传。实验结果表明:MDP 协议在单节点到单节点的传输业务中性能表现一般,CFDP 协议的可靠传输模式在长时延、高度不对称深空链路环境中表现出较好的适应性。

参考文献

- [1] 沈荣骏. 我国天地一体化航天互联网构想[J]. 中国工程科学, 2006, 8(10): 19-30.
- [2] 胡圣波, 孟 新, 蒋立正, 等. 深空探测网络中的链路层协议感知[J]. 计算机工程, 2009, 35(5): 79-80, 102.
- [3] Consultative Committee for Space Data Systems. CCSDS 714.0-B-1-1999 Space Communications Protocol Specification-Transport Protocol(SCPS-TP)[S]. 1999.
- [4] Consultative Committee for Space Data Systems. CCSDS 727.0-B-4-2007 CCSDS File Delivery Protocol Recommendation for Space Data Systems Standards[S]. 2007.
- [5] Macker J P, Adamson R B. The Multicast Dissemination Protocol (MDP) Toolkit[C]//Proc. of MILCOM'00. Los Angeles, USA: [s. n.], 2000.

编辑 任吉慧

