

文章编号:1001-9081(2005)10-2233-03

基于多协议标签交换技术的 Ad Hoc 网络研究

熊 焰, 骆晓晖, 苗付友, 王行甫

(中国科学技术大学计算机科学与技术系, 安徽 合肥 230026)

(xhluo@mail.ustc.edu.cn)

摘要: 将 MPLS(Multiprotocol Label Switching)技术引入到 Ad Hoc 网络中, 目的是为 Ad Hoc 网络提供快速转发能力、QoS 功能和可扩展性。针对传统 IP 转发机制在移动自组网(Ad Hoc)中的缺陷, 研究了基于 MPLS 技术的 Ad Hoc 网络, 详细描述了其基本结构, 并提出了新的在 Ad Hoc 网络中支持自愈恢复的 MPLS 信令协议 DMSP(Dynamic MPLS Signaling Protocol), 最后通过仿真实验对 DMSP 的自愈恢复方式进行了性能分析。

关键词: 移动自组网; 多协议标签交换; 标签交换路径; 自愈恢复

中图分类号: TP393 **文献标识码:** A

On the research of MPLS-based mobile Ad Hoc networks

XIONG Yan, LUO Xiao-hui, MIAO Fu-you, WANG Xing-fu

(Department of Computer Science and Technology, University of Science and Technology of China,
Hefei Anhui 230026, China)

Abstract: The goal of this paper is to provide fast-forwarding ability, QoS-provisioning functions and expansibility for mobile Ad Hoc networks. The MPLS-based techniques was presented recently to dealt with the drawbacks of the standard IP forwarding in mobile Ad Hoc networks. This paper focuses on the MPLS-based mobile Ad Hoc networks and its architecture. A new MPLS signaling protocol of DMSP(Dynamic MPLS Signaling Protocol) supporting recovery in mobile Ad Hoc networks was also presented in this paper. Finally, the feasibility of the recovery technique of DMSP had been validated via simulations.

Key words: Ad Hoc; MPLS(Multiprotocol Label Switching); LSP(Label Switching Path); recovery

0 引言

下一代的网络正在发展为一个有线与无线共存的统一网络, 由于实时多媒体应用的发展, 网络越来越需要提供服务质量(QoS)支持, 具有流量工程(TE)能力的多协议标签交换(MPLS)作为一个提供 QoS 支持的有力工具, 在多种网络中都有很大发展。MPLS 技术集成了三层路由的灵活性和二层交换的高速性, 具有良好的扩展性和高速的数据转发能力。标签交换路由器(LSR)使用标签值为索引查询标签交换表, 将入标签替换成出标签, 然后把分组交换到下一 LSR, 在分组离开 MPLS 域后标签被移去。MPLS 使用标签分发协议(LDP)来分发标签并建立标签交换路径(LSP)。对于需要满足一定 QoS 或流量工程限制的 LSP, 可以使用 CR-LDP 或 RSVP-TE 来建立。

Ad Hoc 网络是一种多跳的移动计算机网络:每一个主机都做一个路由器转发分组。由于传统 IP 转发的无连接性, 中间的每个路由器都要进行如下操作:分析路由表、寻找最长匹配等处理, 这种开销对于时延和抖动比较敏感的应用影响很大。当使用 LSP 在标签交换的基础上转发, 能够为 Ad Hoc 网络提供快速转发能力、QoS 功能和可扩展性。而且通过建

立 LSP 来实现基于标签交换的转发机制还有如下优点:1) 由于显式 LSP 的建立, 很容易避免回路的产生, 这对于资源有限的无线网络很有意义;2) 采用标签交换的技术可以在同一对源与目的之间建立多条路径, 既可用于平衡流量, 又可根据不同 QoS 要求选择不同的 LSP, 这是传统 IP 转发机制所难以实现的。因此, 研究基于 MPLS 技术的 Ad Hoc 网络很有意义。

1 基于 MPLS 技术的 Ad Hoc 网络的基本结构

在基于 MPLS 技术的 Ad Hoc 网络中, 每一个单独的移动节点都是支持 MPLS 的路由器(LSRs), 每个移动节点能与位于其发射半径内的邻居节点相连接。并且假设 Ad Hoc 网络使用某一按需的路由协议, 通过路由协议来按需的管理标签交换路径(LSP), 从而在 Ad Hoc 网络中实现基于 MPLS 的转发。

引入 MPLS 做为 2.5 层的协议, 使路由选择与路径的建立分别由不同的协议处理, 路由协议计算所得的路由序列用于建立标签交换路径(LSP)。这里需要一个按需的 Ad Hoc 网络路由协议, 例如 AODV 等。下面将以 AODV 为例, 描述基于 MPLS 技术的 Ad Hoc 网络的基本结构, 它由以下几个模

收稿日期:2005-04-20 基金项目:国家 863 计划项目(2002AA121066)

作者简介:熊焰(1960-),男,教授,博士生导师,主要研究方向:计算机网络与信息安全、移动计算与移动网络和分布式处理等; 骆晓晖(1979-),硕士研究生,主要研究方向:基于 MPLS 的移动 Ad Hoc 网络; 苗付友,男,讲师,主要研究方向:计算机网络安全; 王行甫,男,工程师,主要研究方向:计算机网络。

块构成,各模块间的结构如图 1 所示。

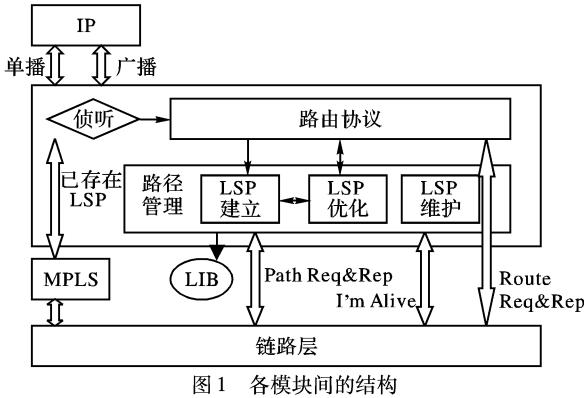


图 1 各模块间的结构

1) 侦听模块

侦听模块负责侦听那些未建立 LSP 的单播分组和所有的广播分组。单播分组将被送往路由协议模块发起路由选择,触发 LSP 的建立之后,分组将沿 LSP 转发。广播分组将被送往路由协议,路由协议通过基本的路由发现机制(洪泛)将其传播到子网中的所有主机。

2) 路由协议模块

路由协议模块执行一个类似于 AODV 的 Ad Hoc 路由协议,它至少要能提供一条路由使我们可以建立到达目的的 LSP,协议利用两种消息:ROUTE REQUEST 和 ROUTE REPLY。当需要建立一条路由时,它产生一个包含访问节点记录序列的 ROUTE REQUEST 消息,这个请求消息在网络中洪泛,中间节点将自己加入到记录序列中。一旦请求消息到达目的节点,将产生一个 ROUTE REPLY 消息,这个应答消息沿着反向路径传回。目的节点能够多次应答请求,从而产生多条 LSP,因此源节点可以从多条可用的路径中进行选择。

3) LSP 建立模块

LSP 建立模块使用的 LSP 建立协议基于两种消息:PATH REQUEST 和 PATH REPLY。PATH REQUEST 消息传到目的后,会产生 PATH REPLY 消息,应答消息携带用于 LSP 建立的标签绑定。LSP 建立模块将修改反向路径上每个节点的标签信息库(LIB),MPLS 将利用此表通过标签交换来转发分组。LIB 的修改实际上就产生了一条指定中间节点的 LSP。这种 LSP 建立协议的实现和我们的路由协议是相联系的:PATH REQUEST 和 PATH REPLY 消息分别被包含在 ROUTE REQUEST 和 ROUTE REPLY 消息中。

4) LSP 维护模块

LSP 维护模块通过链路层广播周期性的向 LSPs 的下游邻居发送 I'M ALIVE(IMA)消息,这个消息用于判断路径是否中断,是否要进行切换。如果下游邻居一定时期内未收到此消息,将触发 MPLS 自愈恢复。

5) LSP 优化模块

LSP 优化模块是在后台完成的,并不影响当前 LSPs 上的数据流。LSP 优化模块对当前 LSP 进行评价,判断是否需要重建。

2 支持自愈恢复的 MPLS 信令协议 DMSP

MPLS 信令协议提供 LSPs 建立、拆卸、自愈恢复的控制机

制。自愈恢复是指在路径发生故障后,如何及时进行切换,保障应用不受影响。然而,目前已有的 MPLS 自愈恢复机制缺乏对移动 Ad Hoc 网络的支持。在有线固定网络中,路径一旦建立,很少会发生变化;而在移动 Ad Hoc 网络中,由于节点故障或节点移动而造成链路故障,经常使网络拓扑结构发生变化,计算所得路由的生命期很短。因此,MPLS 自愈恢复技术在移动 Ad Hoc 网络中显得更加重要。

IETF 的 MPLS 自愈恢复框架定义了两种基本的 MPLS 自愈恢复方式:保护和重新路由计算。保护方式(如快速重路由 FR)恢复的 LSP 是预先建立的,优点是切换速度快,缺点是需要额外的备份资源,因此保护方式在动态网络中显得很脆弱;而重新路由计算方式(如输入节点重路由 IBR)是发生故障后输入节点利用约束路由自动重新计算新的路由,并重新建立一条新的标签交换路径,优点是无需配置额外的路径,缺点在于恢复时间比较长。考虑到在移动网络中,采用一种局部恢复机制,应该有更短的恢复时间。

本节将描述一种 Ad Hoc 网络中支持自愈恢复的 MPLS 信令协议 DMSP,当发生链路或节点故障时,DMSP 通过连接故障处的上游与下游节点来恢复路径,避免了输入节点或输出节点的介入。DMSP 不需要任何预先计算和预先的资源预留,它是一种局部恢复机制,能够提供快速的自愈恢复。这里仅考虑带宽约束因素,DMSP 包括如下几个过程:

2.1 LSP 建立过程

如果要新建一条从源 S 到目的 D 的满足带宽需求 Bw 的路径,S 先向 D 发送携带 PATH REQUEST 的 ROUTE REQUEST 分组,满足 Bw 要求的中间节点接收到分组后转发,D 接收到分组后,将发起新建 LSP 的过程,沿反向路径向 S 发送携带 PATH REPLY 的 ROUTE REPLY 分组,反向路径上的节点将设置它们的 LIB 表,这样就可以建立一条从 S 到 D 的显式 LSP。这条 LSP 在这个 MPLS 域内以一个 LSP 标识符 LSPi 唯一的标识,LSPi 按照基本的 CR-LDP 建立过程来建立。除此以外,有关 LSP 需求局部恢复的信息存储在路径中的每一个 LSRs 中,显式的路由序列和约束因素 Bw、LSP 标识符 LSPi 也都存储在路径中的每一个 LSRs 中。

2.2 故障发现过程

假设在 LSR Nf 出现了节点故障或在 Nf 与 Nf + 1 间出现了链路故障,无论是哪种情况,Nf + 1 都将检测到故障并发送自愈恢复信号,因此,Nf + 1 可视为自愈恢复的发起者(IOR,Initiator of Recovery)。

2.3 自愈恢复过程

IOR Nf + 1 将尝试绕过故障与上游路由器 Nf - 1 建立一条路径。在 LSR Nf - 1,恢复路径将与原 LSP 合并,因此 LSR Nf - 1 称为恢复的合并点(MP, Merge Point)。IOR 向 MP 发送一个恢复 LSP 设置消息(RLS, Recovery LSP Setup),RLS 消息包含一个恢复标志(显示恢复模式是否被激活),MP 的 IP 地址,恢复 LSP 的 LSP 标识符,原 LSP 的路由序列。另外,一个

包含恢复路径标签绑定的标签映射消息也嵌入在 RLS 中。

通过基本的路由机制, RLS 消息逐跳的送往 MP。在这个过程中, 每一跳网络层与 MPLS 层都进行交互。网络层负责获得通往 MP 的下一跳的地址, MPLS 层负责确立下一跳的约束条件。当恢复路径上的节点 Nr 收到 RLS 消息, 将采取下游自主标签分发方式。从而 Nr 将进行下列过程:

- 1) Nr 接收包含在 RLS 消息中的标签, 存储标签并将它和 LSPi 绑定。
- 2) 若 $Nr \notin LSPi$, Nr 将把自己插入到路由序列中的合适的位置上, 刷新路由序列:
 - a) 尝试建立一条通往下一跳的满足带宽约束条件 Bw 的资源路径;
 - b) 若 Bw 可分配, 则发送更新的 RLS 消息给下一跳, 即新的 Nr;
 - c) 否则, 向 IOR 发送失败消息中断恢复过程。
- 3) 若 $Nr \in LSPi$ 且 $r > f + 1$, 即 Nr 位于 IOR 的下游, 这种情况下, 存在着多余的带宽分配, 应释放 Nr 与 Nr - 1 间分配的带宽。
- 4) 若 $Nr \in LSPi$ 且 $r < f - 1$, 即 Nr 位于 MP 的上游:
 - a) 若恢复标志已设置, 即 Nr 是位于原 LSPi 故障处上游的第一个收到 RLS 消息的节点:

替换新的 LSP 绑定; 取消恢复标志设置; 向 Nr + 1 发送 RLS 消息; 释放 Nr 与 Nr + 1 间分配的带宽;
 - b) 若恢复标志未设置, 即 Nr 是位于 LSPi 故障上游无用部分的节点:

去除与 LSPi 的标签绑定; 向 Nr + 1 发送 RLS 消息; 释放 Nr 与 Nr + 1 间分配的带宽。
- 5) 若 $Nr = MP$ 且恢复标志已设置:
 - a) 替换新的 LSP 绑定;
 - b) 若 Nf 有故障, 终止;
 - c) 若 Nf 无故障, 释放 MP 与 Nf 间分配的带宽, 向 Nf 发送 RLS 消息。在 Nf 去除绑定后, 终止。
- 6) 若 $Nr = MP$ 且恢复标志未设置:
 - a) 若 Nf 有故障, 去除绑定后, 终止;
 - b) 若 Nf 无故障, 释放 MP 与 Nf 间分配的带宽, 从横向连接表中去除绑定且向 Nf 发送 RLS 消息。在 Nf 去除绑定后, 终止。

2.4 LSP 更新过程

如果成功找到通向 MP 的合适路径, MP 产生一个更新通知消息(Update Notification Message, UNM), 包含更新后的路由序列和带宽约束参数。MP 向输入节点 S 发送 UNM, 输入节点收到后, 通过新的路径发送 LSP 参数更新消息(Parameter Refresh Message, PRM)。LSRs 收到 PRM 后, 更新它们的路由序列和 Bw 值。

2.5 自愈恢复取消过程

如果没有找到通向 MP 的合适路径, IOR 将接到一个失败消息。IOR 将发送一个释放消息, 释放那些为建立通向 MP

的恢复路径所预留的带宽, IOR 通过另一条路径向 S 发送 LSPi 的故障通告消息, 之后, S 尝试重新计算整个 LSP。

3 仿真实验

DMSP 能发生故障后自动地进行自愈恢复建立新的 LSP, 这一节通过对 DMSP 的自愈恢复方式与快速重路由(FR)、输入节点重路由(IBR)进行仿真对比实验, 从路径优化性、响应时间和协议 Overhead 三方面进行性能分析。仿真参数如下: 节点个数 150, 传输半径 90m, 分布区域 $600 \times 600 \text{ m}^2$ 。仿真结果如图 2 所示, DMSP 的自愈恢复方式在路径优化性方面, 接近 IBR 所建立的最短路径; 在响应时间方面, 拥有与 FR 相近的响应时间; 在协议 Overhead 方面, 有着明显的低 Overhead 优势。

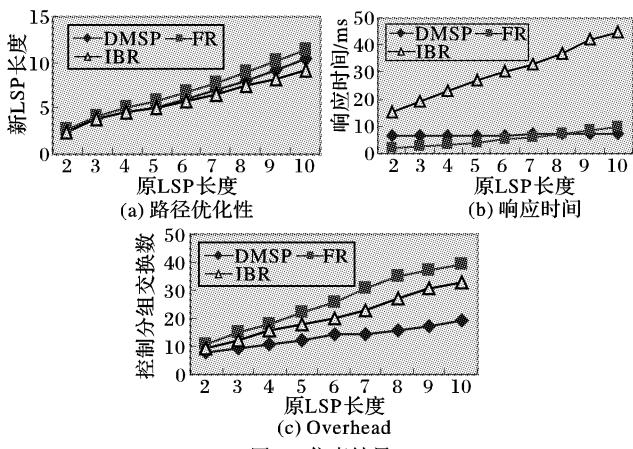


图 2 仿真结果

4 结语

本文研究了基于 MPLS 技术的 Ad Hoc 网络, 描述了其基本结构和支持自愈恢复的 MPLS 信令协议 DMSP。DMSP 能发生故障后自动地进行自愈恢复建立新的 LSP, 所建立的路径十分接近最短路径; 由于 MP 的出现, 在控制消息到达 MP 后, 数据流量就可以转向恢复后的 LSPs, 减少了响应时间; 而且具有低 Overhead 特点, 适用于移动 Ad Hoc 网络环境。将 MPLS 技术引入到 Ad Hoc 网络中, 目的是为 Ad Hoc 网络提供快速转发能力、QoS 功能和可扩展性, 进一步促进 Ad Hoc 网络的发展。

参考文献:

- [1] IETF MANET Working Group [EB/OL]. <http://www.ietf.org/html.charters/-manet-charter.html>. 2000.
- [2] PERKINS CE, BELDING-ROYER EM, DAS S. Ad hoc On-Demand Distance Vector(AODV) Routing[S]. RFC 3561, 2003.
- [3] ROSEN E, VISWANATHAN A, CALLON R. Multiprotocol Label Switching Architecture[S]. RFC 3031, 2001.
- [4] UNTZ V, HEUSSE M, ROUSSEAU F, et al. On Demand Label Switching for Spontaneous Edge Networks[A]. In Proc SIGCOMM Workshop on Future Directions in Network Architectures[C], Portland, August 2004.
- [5] WEATHERALL J, JONES A. Ubiquitous Networks and their Applications[J]. IEEE Wireless Communications, February 2002, 9(1): 18 - 29.