

# 多路径路由协议 EMP-AOMDV 的研究与实现

邬春学 杨朝梁

(上海理工大学计算机工程学院 上海 200093)

**摘要** 为了减少建立路由所产生的延时,AODV 路由协议允许拥有积极路由的中间节点响应路由请求,而不考虑该节点当时的负荷,这样虽然快速地建立了路由,但并不一定能有效地传输数据。针对这一问题,在 AODV 的基础上对一种多路径路由方法 MP-AOMDV 进行了优化。这种优化的协议我们称为 EMP-AOMDV(Enhanced Ad hoc On-demand Multi-path Vector Routing Protocol)。结果表明改进的协议和原协议相比,降低了端到端的延时和丢包率,提高了传输效率。

**关键词** Ad Hoc 网络,多路径路由,拥塞改进,NS-2 仿真

## Research and Implementation of Multi-path Routing Protocol EMP-AOMDV

WU Chun-xue YANG Chao-liang

(University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

**Abstract** In AODV routing protocol, an intermediate node can reply a RREQ when it has a route with a sequence number that is greater than or equal to that contained in the RREQ, no matter how many packets are waiting to send in it. These routes' performance may degrade because local congestions may incur on those nodes with the increase of offered load. To solve this problem, a multi-path routing methods MP-AOMDV had been optimized on the basis of AODV. This optimized protocol is called EMP-AOMDV (Enhanced Ad hoc On-demand multi-path Vector routing protocol). The simulation results show that the protocol is improved compared to the original protocol. End-to-end delay and packet loss rate are all reduced, and the transmission efficiency is improved at the same time.

**Keywords** Ad Hoc network, Multi-path route, Congestion improvement, NS-2 simulation

## 1 引言

随着移动通信技术的飞速发展,人们对于网络接入方式的要求也逐渐提高,无线移动上网成为未来联网的一个发展趋势。移动无线通信网络通常以蜂窝移动通信网络或传统无线局域网的形式出现,这两种网络具有一个共同点,即移动终端的接入均需通过基站等转接设备来完成。与移动无线通信网络相比,Mobile Ad hoc network(MANET)是由多个移动节点组成的一种无基站的无线网络。网络中距离小于无线传输半径的两个节点可以直接通信,距离大于传输半径的两节点只能通过其它中间节点对数据分组的转发来通信。由于节点的移动,网络拓扑会不断变化,传输数据的路由会由于节点的移动而需要不断地重建或更新。因此,路由协议的设计是 Ad hoc 网络中最有挑战性的问题之一<sup>[1]</sup>。对于 Ad hoc 网络,人们已提出了很多多路径的解决方法。与此工作相似的有 AODMDVR(the Ad hoc On-Demand Multi-path Distance Vector Routing Protocol)<sup>[2]</sup> 和 AODV-BR(AODV-Backup Routing)<sup>[3]</sup>,都是基于 AODV 的协议。其主要缺点是,在路

由发现过程中计算出的替用路径不能在传送数据时维持,路径在实际被利用时可能已陈旧或失效了。这样,发现众多路径路由的方法缺少对过期的、过时路由缓存的机制。因此,众多协议的多路径方法并不是随着网络拓扑变化的自适应方法,这些协议随着节点移动性增加效果会下降。本文提出的方法不仅修改了替用路径选择的方式,而且修改了路径维持方式。这种方法在作为路径使用之前,能查明可选路由的有效性。文中基于多路径路由协议 MP-AOMDV,把这种优化了的协议称为 EMP-AOMDV 协议。结合拥塞控制策略对 MP-AOMDV 做了优化。并通过仿真比较了原 MP-AOMDV 协议和改进后的协议。结果表明,提出的优化方法对于提高网络性能具有重要的意义。

## 2 MP-AOMDV 分析及改进

### 2.1 节点独立 MP-AOMDV

#### 2.1.1 多重节点独立路径的发现

没有共同节点的两条路径称为节点独立路径。MP-AOMDV 采用与文献[2]类似的方式修改了基本 AODV 协议

到稿日期:2008-02-02 本文受国家自然科学基金项目(No. 60573142),湖北省自然科学基金项目(No. 2004ABA076),湖北省教育基金重点项目(No. 2004D003, D200512002)科学研究计划技术创新基金项目(No. J200512001)资助。

邬春学(1964-),男,博士,教授,主要研究领域为网络控制系统,高速网络;杨朝梁(1985-),男,硕士研究生,主要研究领域为网络控制系统, E-mail:lauratdcq2008@163.com。

的路由发现机制。修改 RREQ 信息包以含有源节点邻节点的地址,由此可向前传递,并且能为特定的源节点找到多重节点独立路径。目的节点用这个信息仅回答那些来自源节点不同的邻节点的路由请求。每一个中间节点对于目的节点向前仅有一个 RREQ,每一个 RREQ 到达目的节点都是沿着唯一的路径从源节点到达目的节点。目的节点仅用 RREQ 答复从源节点到不同的邻节点,这些路由由应答(RREP)到达源节点的路径就是节点独立路径。源节点相应地在它的路由表中为每个目的节点存储多重下一跳。文献[2]证实了路由发现机制的有效性。如图 1,在每一个链路上的数字表明了信号强度。节点 S 发现 S-A-F-D 和 S-C-H-D 这两条独立路径。

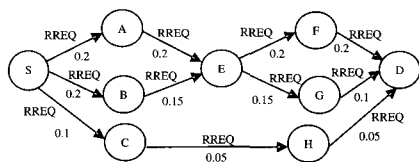


图 1 节点独立路径发现

### 2.1.2 替用路径的维持

为保持替用路径存放在每个源节点最近的信息随着网络拓扑而变化,需要一种分离机制。源节点沿着每一条替用路径向目的节点周期性地发送名为“中心”的特殊更新信息。路径的每一个节点用“中心”信息分组。用预测度量(MP)更新信息分组。MP 是一种相对的信号强度度量,它是从上行邻近节点接受的信息分组,公式如下:

$$MP = \frac{P_{AB} - P_{\min}}{P_{\min}} \quad (1)$$

式中,  $P_{AB}$  表示 B 接收从 A 节点发来的信号的权;  $P_{\min}$  表示被认为收到有效的传送信号的最小权值; MP 是信号强度标准化的描述。

源节点初始化为 1,当分组穿越路径时,每一个节点随着中心值增加它的 MP。目的节点向源节点逆向传递回中心分组。在这个过程中,所有节点都包含通向源节点和目的节点路径的信号强度信息。因此,当中心到达源节点时,中心 MP 的值就是沿着那条路径的所有链路上的 MP 的累计值。计算如下:

$$MP_{path} = \prod_{i \in path} MP_i \quad (2)$$

式(2)表明,链路的信号强度越强,MP 值增加,其路径断裂的可能性就越小,路径的稳定性就越好。在路由发现过程中,RREQ 和 RREP 分组携带 MP 的值,源节点在自身的路由发现过程中就能得知多重路径的稳定性。当源节点接收到 RREP,就会在增加的 MP 中识别出下一跳信息,并选择 MP 值最大的路径作为主路径。源节点在这个信息的基础上动态地维持了下一跳信息的优先权列表,并用这个最稳定的路径传送数据。

作为上述机制的结果,信号强度最强的替用路径总是最稳定的路径,并作为主路径。但是,源节点仅仅是在路径稳定性和预定义值相比有较大差别的前提下才会转向替用路径,并且不论替用路径此时的负荷是不是很重。与跳数相对,选择信号强度作为选择路径的度量,是因为使用微弱的链路,会导致路由振荡和大量数据包丢失<sup>[4,5]</sup>。

## 2.2 链路独立 MP-AOMDV

### 2.2.1 多重链路独立路径的发现

链路独立方法产生的独立路径较节点独立方法产生的要少。路径允许有共同节点,但是链路必须是唯一的。这种方法和节点独立的方法相比有较少的限制,可以产生比节点独立方法更多的替用路径。

发现链路独立路径的方法是基于修改的 AOMDV。为发现链路独立路径,在路由发现过程中,每个节点向目的节点仅转交一个路由请求。但是它维持着先前跳节点队列,这个先前跳节点就是从源节点唯一邻近节点接收到的每个路由请求的节点。正如节点独立 MP-AOMDV, RREQ 含有表明 RREQ 通过源节点的第一跳邻近节点范围,目的节点向每一个收到 RREQ 的先前跳发送一个 RREP。当中间节点接收到一个 RREP,就会向它的下一跳队列的头节点转送这个 RREP,并将这个节点从队列移走。在收到后继的 RREP 的中间节点时,重复上面的方法。此方法保证了一个中间节点转送每一个从不同的上行链路接收到的 RREP。当有数目不等的上行和下行链路时,路由不会使用过量的链路,以免导致过时。

每一个中间节点在它的上行和下行邻节点间保留一对一的映象,用这个映象转送所有分组,从而每一个节点保留一个可选下一跳的列表。因为目的节点仅发送一个 RREP 给它的每一个邻节点和转发 RREP 通过唯一的跳,所以包含源节点的路径就是链路独立路径。

当一个链路失效时,链路的上行节点检测到这个信息,就会为目的节点使路由表的入口失效并向源节点逆向传送路由错误信息 RRER。接收到 RRER 的有效路径上的每一个节点,就会使相应的路由表入口失效。一旦源节点接收到这个 RRER,它将下一条最好的替用链路独立路径转换为主要路径。如果在源节点没有可用的替用路径,它就会重新发起一个路由发现。

### 2.2.2 替用路径的维持

情况和节点独立 MP-AOMDV 中的一样,“中心”信息沿着每一条替用路径周期性地传送。在路由发现过程中,每一个节点在它的上行和下行节点之间用一对一的映象产生并转发“中心”信息。“中心”信息向目的节点和源节点都积累信号强度信息,源节点、目的节点和所有中间节点都使用这个累加值,在通向源节点和目的节点时,排列它们的多重路径。

## 2.3 MP-AOMDV 的改进

对 MP-AOMDV 的分析表明,在发现新路由和局部维持路由时,可以利用已有的路由。而这样的路由可能正在传送数据,这就可能加重这些路段的负荷,使其出现拥塞。即使此时路段的信号强度很强,也难以保证数据的稳定传输,会导致数据丢失。而空闲链路可能存在,却没有利用。为了克服以上的不足,本文提出两点改进:

(1)在路由发现过程,中间节点在收到路由请求后,根据自己的负荷状态来决定是否广播分组或直接响应。在 MP-AOMDV 中,发送分组的缓存队列的最大长度是 64,如果一个中间节点的缓存队列长度达到 40(60×62.5%),则不再适合传输新的数据流,因此它丢弃所收到的目的节点的 RREQ。

它即使有到目的节点的积极路由,也不直接响应路由请求。如果它的缓存队列长度小于 40,就按 MP-AOMDV 协议的方式处理路由请求。在两种情况下,都建立反向路由并可以用来发送数据。

(2) 当一个正在传送数据的节点探测到路由失败后,不是直接向源节点逆向传递路由错误信息 RRER,而是根据自己当前的负荷大小来确定是局部维修还是向上游报错。如果负荷较轻,即发送队列长度小于 40,就进行局部维修;反之,即发送队列长度大于 40,就直接报错,按照链路独立 MP-AOMDV 的路由发现和维持方法,使源节点可以新建一条负荷较轻并且信号强度较强的新路由。

在图 1 中,节点 E 正在向目的节点 D 沿路径 E-F-D 发送数据。现在源节点 S 也要向节点 D 发送数据,但节点 S 没有可用的路由,因此按照节点独立 MP-AOMDV 路由发现方法转发 RREQ。当 E 收到 RREQ 分组后,按 MP-AOMDV 协议,节点 E 向节点 D 发送 RREP,节点 S 收到后发现路由 S-A-E-F-D 和 S-C-H-D 两条独立路径。根据信号强度的大小最终选择路径 S-A-E-F-D 传送数据。按改进后的协议,如果节点 E 的负荷较大,就不会响应路由请求,也不转发 RREQ,这样 RREQ 就会沿 S-C-H-D 这条路径到达 D 点。

如果节点不是对 D 点发送数据,而是向别的节点发送数据,按照 MP-AOMDV 协议,从节点 S 到节点 D 的路由依然可以建立起来。按照改进后的协议,如果节点 E 的发送任务达到一定的程度,在收到 S 的 RREQ 后,就不再转发而是直接丢弃。这样不仅节约了网络带宽,更有利于选择负荷较轻的路由。

### 3 仿真性能分析

本文采用 NS-2 仿真,每个节点的路由缓存限定参照文献[6],最佳路由由缓存数量的设定参照文献[7]。每个路由表记载着 4 个下一跳和每个下一跳的信号强度范围。其余的条件同 AODV 协议。将本文提出的改进方法和原有的 MP-AOMDV 方法从分组投递率、端到端延迟、网络开销 3 个方面进行比较。分组投递率如图 2 所示。

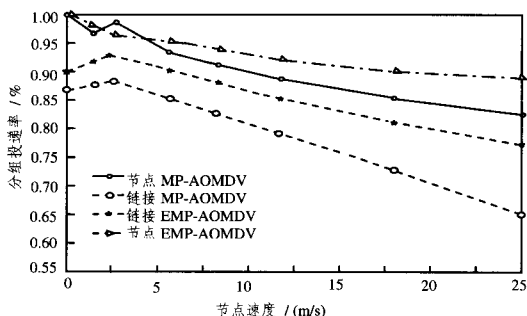


图 2 分组投递率

在不同的速度条件下和分组投递率方面,比较 MP-AOMDV 协议和改进的 MP-AOMDV 协议。结果证明,改进了的协议优于原有的 MP-AOMDV 协议。在较低的速度下,原有的协议和改进的协议性能都较好。速度较高时,原 MP-AOMDV 因路由频繁无效,无效路径的使用导致分组大幅度丢弃,性能的差别变得更明显。改进的协议具有明显的优势。

端到端延迟如图 3 所示。从图 3 可以看出,从平均端到

端延迟方面来比较,改进后的 MP-AOMDV 在所有速度下性能是最好的。链路独立 MP-AOMDV 在较高的速度下,性能较好,但要次于节点独立算法。这主要是因为链路独立路径受多重路径的公共节点移动的影响。

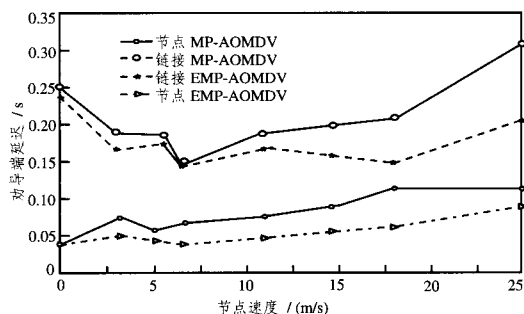


图 3 端到端延迟示意图

网络开销如图 4 所示。从图 4 可以看出,改进后的节点 MP-AOMDV 协议具有很低的网络控制开销。在较高的速度下,由于原节点发起路由的次数增加,导致开销上升。从仿真结果可以看出,改进后的 MP-AOMDV 协议在低速或高速环境下均具有良好的性能,因此对原有的协议是一种优化,性能上更加优越。

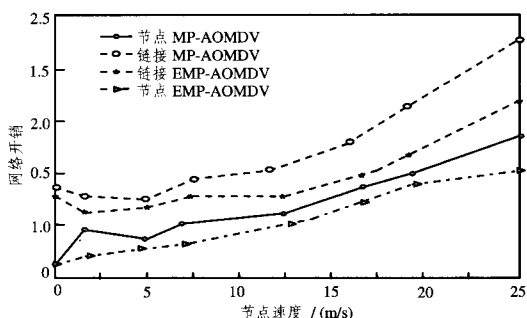


图 4 网络开销示意图

**结束语** 本文结合已有的 MP-AOMDV 多路径路由协议,分别对节点独立和链路独立两方面进行改进,提出一种改进的型协议 EMP-AOMDV 协议。结果表明,节点独立性能优于链路独立性能。因此,在提供多重节点独立路径网络中,改进后的节点独立 MP-AOMDV 是最佳协议。

### 参考文献

- [1] Chlamtac I, Conti M, Liu J. Mobile Ad hoc Networking: Imperatives and Challenges[J]. Ad hoc Networks, 2003, 1(1): 13-14
- [2] Marina MK, Das SR. On-demand multi-path distance vector routing in ad hoc networks [A]// Proceedings of the IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP) [C]. California: [s. n.], 2001, 14: 22-31
- [3] Lee SungJu, Gerla M. AODV2BR: Backup routing in ad hoc networks [A]// Proceedings of the IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC 2000) [C]. Chicago: Chicago, IL, 2000: 35-50
- [4] Lundgren H, Rom E N, Tschudin C. Coping with communication gray zones in IEEE 802.11b based ad hoc networks [A]// Proceedings of the 5th ACM International Workshop on Wireless Mobile Multimedia [C]. S. L. Atlanta, GA, 2002: 49-55

(下转第 91 页)

图 13 是 FTP 业务行为分析图。从图中可以得到该笔业务中的连接建立时间、文件上传、下载速率等分析指标,监控该业务的实时性能,性能下降时进行告警。

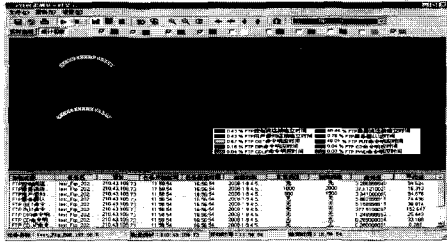


图 13 FTP 业务行为分析图

上述系统实验分析反映了被测网络中的行为特征,指出了这些行为的基本特征和经常出现性能下降的位置,这对于网络的维护和正常运行具有重要的作用,而这些特征则是一般网管系统很难反映的。这对于网络的进一步改善具有指导性的意义。

**结束语** 随着网络规模的不断扩大,新业务、新技术的不断应用,网络行为测量与分析研究工作变得越来越重要,也越来越复杂。本文设计并实现了一个面向网络行为特征分析的网络监测系统,能将网络监测技术和对网络数据分析技术有机结合起来,为网络行为的各种理论分析提供统一的研究平台。界面友好、具有可扩展性、各个测量点独立又协同的工作模式以及故障定位机制都是今后研究必须要考虑并深入研究的关键点。

### 参 考 文 献

[1] Roughan M, Veitch D. Measuring Long-Range Dependence under Changing Traffic Conditions // Proceedings of INFOCOM'99. New York, NY, 1999

[2] Karagiannis T, Molle M, Faloutsos M. Long-Range Dependence: Ten Years of Internet Traffic Modeling. IEEE Internet Computing, 2004, 8(5): 57-64

[3] Zhang Guangxing, Xie Gaogang, Yang Jianhua, et al. Self Similarity Characterization in Metro Area Network // The 15th IEEE Workshop on LAN/WAN. Princeton, New Jersey, USA, June 2007

[4] Zhang Y, Duffield N, Paxson V, et al. On the Constancy of Internet Path Properties // ACM SIGCOMM Internet Measurement Workshop. Nov. 2001

[5] Yu Xunqi, Modestino J W, Tian Xusheng. The accuracy of Gilbert models in predicting packet-loss statistics for a single-multiplexer network model. INFOCOM, 2005; 2602-2612

[6] Goyal M, Guerin R, Rajan R. Predicting TC P Throughput From Non-invasive Network Sampling // IEEE INFOCOM 2002

[7] 马维旻, 李忠诚, 王俊峰, 等. 基于仿真的宽带网络流量特征分析 [J]. 系统仿真学报, 2004, 16(4): 681-684

[8] 张宏莉, 方滨兴, 胡铭曾, 等. Internet 测量与分析综述 [J]. 软件学报, 2003, 14(1): 110-116

[9] Li Wenwei, Zhang Dafang, Yang Jinmin, et al. On Evaluating the Differences of TCP and ICMP in Network Measurement. Computer Communications, 2007, 30(2): 428-443

[10] 杨柳, 李振宇, 张大方, 等. 冗余最小化的 IPv6 拓扑发现方法. 计算机研究与发展, 2007(6)

[11] Zhang Guangxing, Xie Gaogang, Yang Jianhua, et al. Self-Similar Characteristic of Traffic in Current Metro Area Network // 15th IEEE Workshop on Local and Metropolitan Area Networks. Princeton NJ, USA, June 2007

[12] 黎文伟, 张大方, 谢高岗, 等. 基于通用 PC 架构的高精度时延测量. 软件学报, 2006, 17(2): 275-284

[13] 程京, 沈永坚, 张大方, 等. TCP-Shape: 一种改进的网络拥塞控制算法研究. 电子学报, 2006(9)

[14] 黎文伟, 张大方, 谢高岗, 等. 一种基于序列比对计算的路由对称性定量评估方法. 系统仿真学报, 2006(1)

[15] 黎文伟, 张大方, 杨金民, 等. A Resource Allocating Neural Network Based Approach for Detecting End-to-End Network Performance Anomaly // Lecture Notes in Computer Science, Advances in Neural Networks - ISNN, 2006(SCI, EI)

[16] 范超, 谢高岗, 张大方, 等. 基于主动测试的 HTTP 业务性能分析. 计算机研究与发展, 2005, 42(1)

[17] Li Wen-wei, Zhang Da-fang, Xie Gao-gang, et al. TCP and ICMP in Network Measurement: An Experimental Evaluation // The 3rd International Symposium on Parallel and Distributed Processing and Applications (ISPA05). Nanjing, China, Dec. 2005

[18] 黎文伟, 王俊峰, 谢高岗, 等. 基于包对采样的 IP 网络时延变化测量方法. 计算机研究与发展, 2004, 41(8)

[19] 黎文伟, 张大方. 网络测试数据存储 MIB 设计与实现. 小型微型计算机系统, 2006(6)

[20] 谢颀, 张大方, 谢高岗, 等. 一种基于网络业务流的流量监测分析算法. 小型微型计算机系统, 2006(1)

[21] 谢高岗, 闵应骅, 张大方, 等. 基于周期性对数流量模型的路由器性能分析. 计算机学报, 2002, 25(12): 1316-1324

[22] Xie Gaogang, Zhang Dafang, Min Yinghua. A reliable distributed hierarchical network management system study and implement // Proceeding of The Sixth International Conference for Young Computer Scientists, Huangzhou, P. R. China, October 2001; 24-25

[23] <http://www.zebra.org/>

(上接第 67 页)

[5] Chakeres I D, Elizabeth M, Royer B. The utility of hello messages for determining link connectivity [A] // Proceedings of the 5th International Symposium on Wireless Personal Multimedia Communications (WPMC) [C]. Honolulu, Hawaii, 2002, 2: 228

[6] Nasipuri A, Castaneda R, Das S R. Performance of multi-path

routing for on-demand protocols in mobile ad hoc networks [J] // ACM Mobile Networks and Applications (MONET), 2001, 5: 339-349

[7] Cidon I, Rom R, Shavitt Y. Analysis of multi-path routing [J]. IEEE/ACM Transactions on Networking, 1999, 7(5): 885-895