

面向连接的Ad hoc网络多径路由协议

韦蓉^{1,2}, 朱颖¹, 宇天航³, 武穆清¹

(1. 北京邮电大学通信网络综合技术研究所 北京 海淀区 100876; 2. 北京跟踪与通信技术研究所 北京 海淀区 100094;
3. 北京航天飞行控制中心 北京 海淀区 100094)

【摘要】为了在Ad hoc网络中提供面向连接的服务, 结合MPLS技术中标签交换路径面向连接的特性和多径路由的特点, 提出了一种基于标签交换的Ad hoc网络多径路由(LSMR)协议。在源节点和目的节点间按需建立多条没有交叉节点的标签交换路径, 使得数据包的转发完全在链路层完成, 不需网络层的介入, 加快了转发速度。仿真结果表明, LSMR协议比AODV协议能够降低端到端时延和路由负载, 提高数据包的投递率。

关键词 Ad Hoc网络; 面向连接; 标签交换路径; 标签交换多径路由协议
中图分类号 TP393.4 **文献标识码** A

Connection Oriented Multipath Routing Protocol for Ad hoc Networks

WEI Rong^{1,2}, ZHU Ying¹, YU Tian-hang³, and WU Mu-qing¹

(1. Institute of Communication Networks Integrated Technology, Beijing University of Posts and Telecommunications Haidian Beijing 100876;
2. Beijing Institute of Tracking and Telecommunication Technology Haidian Beijing 100094;
3. Beijing Astronautics Control Center Haidian Beijing 100094)

Abstract In order to provide connection oriented service in Ad hoc networks, a novel multipath routing protocol, label switching multipath routing (LSMR), is proposed by combining connection oriented property of label switched path in multi-protocol label switching (MPLS) technology and advantage of multipath routing. LSMR can set up multiple node disjoint label switched paths on demand between communicating nodes and allow the entire packet forwarding operation to be executed within the link layer without intervention of the network layer. Simulation results show that compared with Ad hoc on-demand distance vector routing protocol (AODV), LSMR can decrease end-to-end delay and routing overhead while packet delivery ratio is increased.

Key words Ad hoc networks; connection oriented; label switched path; LSMR protocol

Ad hoc网络是由无线移动节点组成的具有任意性和临时性网络拓扑的动态自组织网络系统。网络中的节点既是路由器, 又是主机, 作为对等实体连接在一起。非相邻两节点间的通信必须通过网络中的其他节点以多跳的方式转发实现。Ad hoc网络路由协议^[1]的研究是一个热点, IETF专门成立了移动Ad hoc网络(MANET)工作组进行路由方面的研究, 提出了一系列路由协议草案, 如AODV^[2]、DSR^[3]等。ADOV和DSR都是单路由协议, 由于路由成本低而获得广泛的认同。但当网络拓扑变化较快时, 引起了过多的路由重新发现, 加大了网络的开销。而多路由协议^[4]能够提高路由的健壮性, 有利于流量分配, 受到越来越多研究人员的关注。目前比较成熟的多路径路由协议有: MSR^[5]、AOMDV^[6]、SMR^[7]

等。MSR协议是利用中间节点和目的节点反馈多条路径, 并使用路径探测来减少网络拥塞和延时, 路由回复包过多, 中间节点和目的节点的缓存开销和路由开销过大。AOMDV协议提出了一种链路独立的多路径路由算法, 在数据传输过程中经常不能使用最短路径。SMR协议构造两条最大限度不相交的路径来发送数据, 传输RREQ包过多, 给目的节点带来了额外的数据包排序等问题, 而且交叉节点要承担更多的负载, 能量消耗较多, 会迅速耗尽能源导致会话失败。因此, 需要一种实现简单、能够建立无交叉节点的多路径的方法。

目前Ad hoc网络中的很多业务需要网络层为其提供面向连接的服务。Ad hoc网络带宽受限, 拓扑动态变化, 导致路由的不稳定性, 很难提供面向连

收稿日期: 2007-06-18; 修回日期: 2007-12-19

基金项目: 国家自然科学基金(60772109)

作者简介: 韦蓉 (1980-), 女, 博士生, 主要从事Ad hoc网络路由协议、MAC层协议等方面的研究。

接的服务。多协议标签交换技术(MPLS)^[8]作为一种支持QoS的面向连接的技术,在有线网络和光网络提供了基于定长标签的链路层快速转发机制,已经得到了很好的应用。但是把MPLS技术引入无线网络中的研究还比较少。文献[9]提出了一种将MPLS技术与无线局域网结合的方法,但是只使用一条路径,不能进行流量分配。文献[10]基于DSR协议建立多条标签交换路径(label switched path, LSP),这种方法实现复杂,多路径只作为备份路径使用,且交叉节点容易成为网络中的瓶颈节点,不利于流量分配。

本文结合Ad hoc网络多径路由协议和MPLS技术中面向连接的标签交换路径的特点,提出了一种新的基于标签交换的Ad hoc网络多径路由协议LSMR,在源节点和目的节点之间按需建立起多条没有交叉节点的LSP,不仅能给Ad hoc网络提供面向连接的服务,还使得数据包在多条路径上并行传输,数据包的转发在数据链路层完成,不需要网络层的介入,加快了转发速度,有利于流量分配,提高了网络的鲁棒性。

1 节点结构

采用LSMR协议的节点结构如图1所示。LSMR模块主要进行LSP的建立、维护和拆除。源发表(incoming data mapping, IDM)位于节点网络层,用于源节点完成数据包到标签的映射。转发表(incoming label mapping, ILM)位于链路层,用于中间节点根据入标签查询出标签,进行数据包的链路层转发。源发表和转发表都由LSMR模块生成,并由其更新。

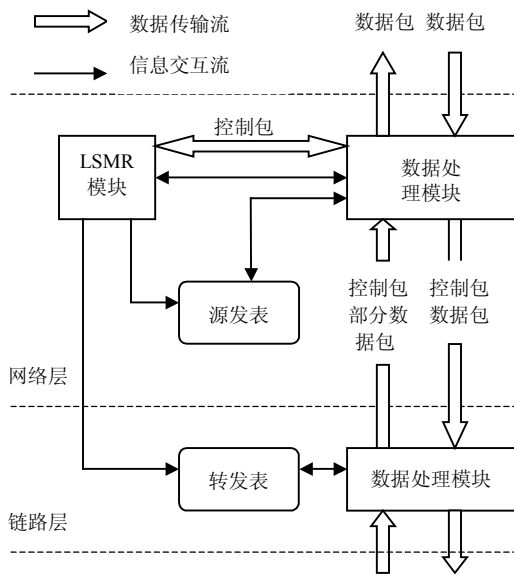


图1 基于标签交换的节点结构图

当源节点网络层的数据处理模块收到来自应用层的数据包后查询转发表是否有相应的出标签,如果有,则给数据包打上出标签,送往链路层处理;如果没有,则向LSMR模块发起建立路径请求。一旦LSP建立,数据包靠标签引导,沿着LSP从源节点传输到目的节点。当中间节点链路层的数据处理模块收到来自其他节点的带有标签的数据包时,根据标签查询转发表,如果得到出标签值不为0,则以此出标签代替数据包中的原标签,并继续转发;否则将数据包送往网络层进行处理。图2为协议栈和数据传输示意图。可以看出中间节点的转发操作完全在链路层进行,不用进入网络层进行传统的路由查询,加快了转发速度。

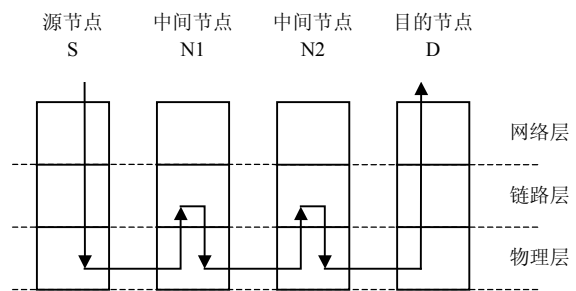


图2 协议栈和数据传输示意图

2 LSMR协议

2.1 相关数据结构

LSMR基于AODV协议,一次路由请求过程中在源节点和目的节点间建立起多条没有交叉节点的LSP。对AODV数据结构的修改有:

- (1) 在路由请求包RREQ中添加邻居节点域(source neighbour, SN)和标签域(label)。SN用于标识RREQ经过的路径上的第一跳节点,即源节点的邻居节点, label用于在反向路径上分发标签,建立反向LSP。
- (2) 在路由回复包RREP中添加标签域,用于分发正向路径上的标签,建立正向LSP。
- (3) 在路由表中添加源节点IP地址,避免不同节点对间建立多路径时的路径隐含改变。
- (4) 增加源发表IDM。条目内容为{FEC, 出标签, 下一跳节点MAC地址, 生存时间},其中转发等价类(forwarding equivalence class, FEC)是数据流特性的集合,本算法中选取数据流的目的节点作为数据流特征,目的节点相同的数据流将被分配相同的FEC,在相同的LSP上传输。
- (5) 增加转发表ILM。条目内容为{入标签, 上一跳节点MAC地址, 出标签, 下一跳节点MAC地

址, 生存时间}。

2.2 多路径的建立

在AODV协议中, RREQ以广播的形式发送, 中间节点收到重复的RREQ直接丢弃, RREQ传输路径如图3所示。从图中可以看出, 只要RREQ经过的第一跳节点不同, 在目的节点建立的路径是没有交叉节点的。因此, 在RREQ中添加SN域来标识路径上的第一跳节点, 即源节点的邻居节点。目的节点根据RREQ中携带的SN来判断是否以此RREQ来建立路径。

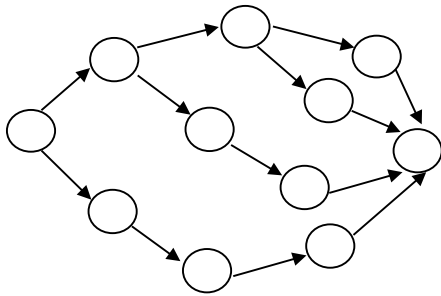


图3 RREQ转发路径图

2.3 标签交换路径的建立

MPLS技术中LSP通过分发标签建立。有两种标签分发方法: 一是显式分发, 使用专门的信令协议, 如标签分发协议LDP或RSVP, 来分发标签建立LSP。该方法要求在分发标签前先建立好路由。对拓扑经常变化的Ad hoc网络来说, 为了降低开销, 路由一般以按需的方式建立, 因此, 显示分发的方法不适合Ad hoc网络。其二是搭载式分发方法, 在路由控制包中搭载并分发标签。这种方法开销小, 能够用于各种路由协议, 更适合Ad hoc网络使用。LSMR协议通过在AODV的路由请求包和路由回复包中携带并分发标签, 建立起LSP。

源发表和转发表的建立与路由表的建立同步, 当源发表和转发表建立好之后, 不再需要路由表的相应条目, 可以在过期后删除相应的路由条目。LSP的维护、更新与拆除都通过源发表和转发表完成。

3 仿真分析

采用OPNET软件实现LSMR协议并与AODV的性能进行比较。仿真场景模型为50个节点在1 000 m×1 000 m的范围内随机分布, 并随机移动。随机选取10对节点发送CBR数据流。仿真参数如表1所示。

通过改变源节点的发包间隔改变网络负载, 每个发包间隔用不同的种子值仿真7次取平均值, 得到随网络负载变化的不同参数。仿真结果如表1所示。

表1 仿真参数列表

仿真参数	设置
物理层速度/Mb·s ⁻¹	2
物理层	802.11b DSSS
节点传输范围/m	250
移动模型	Random Waypoint
移动速度/m·s ⁻¹	10
停留时间/s	0
数据包大小/bit	1 024
发包速率/packet·s ⁻¹	2, 5, 10, 15, 20
仿真时间/s	300

图4为LSMR与AODV的端到端延时性能比较。

可以看出, 随着网络负载的增加, LSMR与AODV的端到端延时均有所增加。当发包速率较低($<11\text{packet}\cdot\text{s}^{-1}$)时, LSMR的时延比AODV略大, 随着发包速率的增大($>11\text{packet}\cdot\text{s}^{-1}$)LSMR的时延性能逐渐优于AODV, 最大降低了24%。影响时延大小的因素很多, 主要是由各节点之间的排队时延造成的。当网络负载较小时, AODV使用最短路径传输数据, 而LSMR使用的多条路径并不都是最短路径, 因此延时较大; 当网络负载增大到一定程度时, AODV使用一条最短路径传输更容易产生拥塞, 增大了数据在节点的排队时延。LSMR协议把数据包分配在不同的LSP上传输, 相当于增加了传输带宽, 平衡了网络负载, 可以减少排队时延。其次, 在LSMR中只有多条路径全部断开后才发起新的路由请求, 减少了路由发现带来的时延。第三, LSMR采用基于标签的快速转发, 中间节点收到带有标签的数据包后在数据链路层根据ILM表查询得到下一跳节点的信息, 不用把数据包送到网络层进行路由查询, 减少了查询操作的时延。

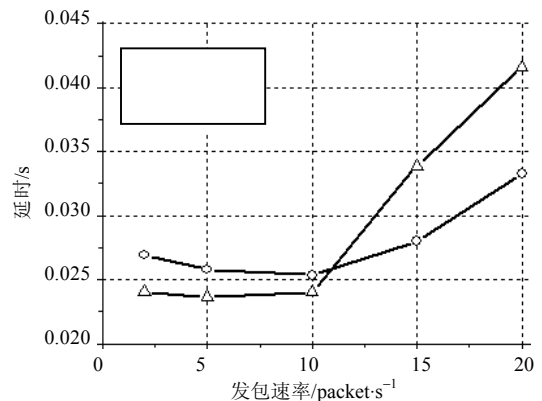


图4 端到端时延性能比较

图5为两个协议的数据包投递率比较。采用LSMR协议时, 虽然数据包投递率随着发包速率的增大而有所下降, 但相比AODV最大有10%的提

高。存在两方面的原因：首先，AODV采用最短路径传输，更容易发生拥塞，当节点队列缓存溢出时，需丢弃部分数据包，而LSMR在多条LSP上分配流量，减少了拥塞的发生，从而减少了数据包的丢弃概率。其次，AODV采用最短路径，随着节点的移动更容易发生断路，而丢弃缓存的数据包；LSMR的多条LSP不都是最短路径，较不容易断开，而且一条LSP断开后源节点可以把数据流分配到其他可用LSP上，只有源节点和目的节点间所有LSP都断开了才丢弃数据包，减少了数据包的丢弃。

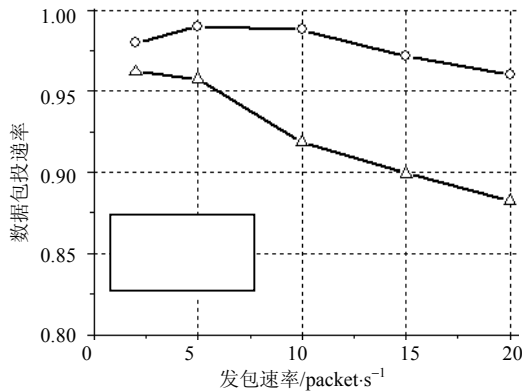


图5 数据包投递率比较

图6比较了LSMR和AODV的归一化路由负载。随着发包速率的增大，平均发送每个数据包所消耗的控制包个数下降。LSMR的归一化路由负载比AODV略有减少。虽然LSMR每次路由发现的开销比AODV略有增加，但发起路由请求的次数减少，因此归一化路由负载降低。

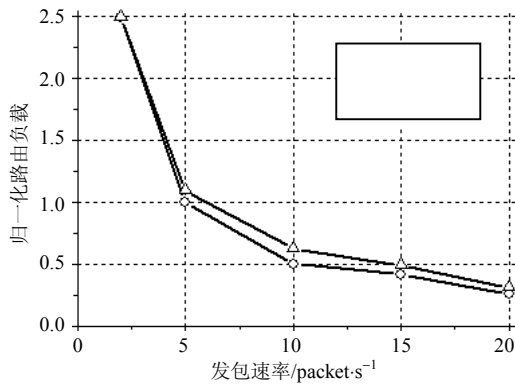


图6 归一化路由负载比较

从以上分析结果可以看出，LSMR协议与AODV相比能够降低网络的端到端时延，提高数据包的投递率，同时，给网络带来的控制开销略有减少。因此，LSMR协议适合用于Ad hoc网络。

4 结 论

Ad hoc网络的动态拓扑和无线环境使得网络中

的数据传输性能较差，难以提供面向连接的服务。而MPLS标签交换技术能够在有线网络中提供面向连接的服务，加快转发速度，提高服务质量。本文利用了MPLS标签交换路径面向连接的特点，结合多径路由的优势，提出了一种Ad hoc网络标签交换多径路由协议LSMR。LSMR能够用简单的算法在源节点和目的节点之间建立起多条节点独立的标签交换路径，数据包在多条路径上并行传输。仿真结果表明，LSMR与AODV相比降低了端到端时延，提高了数据包投递率，同时控制开销也略有减少。因此LSMR协议适合在Ad hoc网络中使用。在进一步的研究中，可利用面向连接的标签交换路径进行资源预留，研究多路径的流量分配，为Ad Hoc网络提供端到端的可靠传输，以提高服务质量。

参 考 文 献

- [1] RAJARAMAN R. Topology control and routing in Ad hoc networks: a survey[J]. ACM SIGACT News, 2002, 33(2): 60-73
- [2] PERKINS C, BELDING-ROYER E, DAS S. Ad hoc on-demand distance vector (AODV) routing[EB/OL]. [2007-02-12]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3561.txt>.
- [3] JOHNSON D, HU Y, MALTZ D. The dynamic source routing protocol (DSR) for mobile ad hoc networks for IPV4 [EB/OL]. [2007-02-25]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc4728.txt>.
- [4] SASAN A, SHERVIN E. A multipath routing survey for mobile ad-hoc networks[C]//Proceedings of the IEEE CCNC 2006. Las Vegas: IEEE Computer Society, 2006: 984-988.
- [5] WANG L, ZHANG L, SHU Y, DONG M. Multipath source routing in wireless ad hoc networks[C]//Proceedings of Canadian Conference on Electrical and Computer Engineering. Halifax: IEEE Press, 2000, 1: 479-483.
- [6] MARINA M K, DAS S R. On-demand multipath distance vector routing in ad hoc networks[C]//Proceedings of the International Conference on Network Protocols. Riverside: IEEE Press, 2001: 14-23
- [7] LEE S J, GERLA M. Split multipath routing with maximally disjoint paths in ad hoc networks[C]//Proceedings of the IEEE ICC 2001. Finland: IEEE Computer Society, 2001, 10: 3201-3205.
- [8] ROSEN E, VISWANATHAN A, CALLON R. Multiprotocol label switching architecture[EB/OL]. [2007-01-16]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc3031.txt>.
- [9] ACHARYA A, MISRA A, BANSAL S. A label-switching packet forwarding architecture for multi-hop wireless LANs [C]//Proceedings of the 5th ACM international workshop on wireless mobile multimedia. Atlanta: ACM Press, 2002: 33-40.
- [10] LIU H, RAYCHAUDHURI D. Label switched multi-path forwarding in wireless ad-hoc networks[C]//Proceedings of the IEEE International Conference on Pervasive Computing and Communications 2005. Hawaii: IEEE Press, 2005: 248-252.

编辑 张俊