

# 基于 ODMRP 的稳定节能路由协议

杨秋翔, 杨 扬

(中北大学 电子与计算机科学技术学院, 山西 太原 030051)

**摘 要:** 针对 Ad Hoc 网络拓扑变化频繁及节点能量有限的问题, 提出基于 ODMRP 的稳定节能路由协议 SEE-ODMRP, 通过贪婪转发机制建立主路径, 在综合考虑路径保持连接时间和节点剩余能量的基础上, 引入路径质量模型建立备用路径, 实现节点能耗的最小化, 从而提高协议的鲁棒性. 理论分析和仿真结果证明了该协议的有效性.

**关键词:** Ad Hoc 网络; ODMRP 协议; 稳定节能路由; 剩余能量

**中图分类号:** TP393.04

**文献标识码:** A

**文章编号:** 1000-7180(2012)08-0200-04

## Stable and Energy-Efficient Routing Protocol Based on ODMRP

YANG Qiu-xiang, YANG Yang

(School of Electronics and Computer Science and Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

**Abstract:** Aiming at the problem of the frequently changes of topology and limited energy of nodes in Ad Hoc networks, a stable and energy-efficient routing protocol based on ODMRP called SEE-ODMRP is proposed, in which the primary path is constructed based on a greedy forwarding mechanism, and in the consideration of the link lifetime and residual energy of nodes, the model of routing quality is introduced to establish backup path, which minimizes the energy consumption and enhances the robustness. Analysis and simulation result prove the validity of the protocol.

**Key words:** Ad Hoc networks; On-Demand Multicast Routing Protocol; stable and energy-efficient routes; residual energy

### 1 引言

移动自组织网络 (Mobile Ad Hoc Networks, MANETs), 作为一种多跳的临时性自治系统, 具有自组性、不依赖基础设施及易铺设等特点. 提高路径稳定性及降低节点能耗对改善 Ad Hoc 网络的性能显得尤为重要.

按需组播路由协议 ODMRP (On-Demand Multicast Routing Protocol)<sup>[1]</sup>, 通过冗余链路提高组播路径的鲁棒性, 且有吞吐量大、适合高速运动等特点, 是按需组播路由协议中性能较好的一个<sup>[2]</sup>. 然而, ODMRP 协议主要关注于如何在源节点和目的节点之间找到多条可行路径, 并没有考虑链路的稳

定性及节点能耗, 可能造成部分链路失效或节点能量的过度使用, 从而导致网络分割等问题. 目前, 对路径稳定性及能量消耗的研究很多<sup>[3-5]</sup>, 本文提出一种基于链路连接时间和节点能耗的稳定节能路由协议 SEE-ODMRP, 确保备用路径质量最好且在主路径失效时仍可用.

### 2 SEE-ODMRP 协议

#### 2.1 基本思想

SEE-ODMRP 协议在 ODMRP 基础上提出一种稳定节能路由算法, 主要从以下两个方面对其进行改进: 首先, 通过贪婪转发机制建立主路径, 中间节点根据适当的转发策略发送分组数据, 并非简单

收稿日期: 2012-01-12; 修回日期: 2012-03-06

基金项目: 山西省青年基金(2010021016-3); 山西省科技攻关项目(20090322004); 中北大学 2011 年校基金

泛洪,而是贪婪地向与距离目的节点最近的邻居节点转发 RREQ,使得主路径长度几乎等于最短路径长度,有效降低了路由控制开销及传输时延.其次,结合链路保持时间和节点能耗,引入路径质量模型,运用鲁棒机制确保备用路径在主路径失效时仍可用,不仅提高了路径稳定性,而且有效降低了节点的能量消耗.

### 2.2 关键技术

假设 Ad Hoc 网络拓扑结构是一个由  $n$  个节点构成的完全图  $G:G=(V,E)$ ,  $V$  代表网络中所有节点的集合,  $E$  代表网络中节点之间的链路集合.节点随机均匀分布在二维平面内,每个节点可动态移动,有唯一的频率和相同的能量初值,并且使用全向天线,与其他节点直接通信区域的半径为  $R$ ,所有通信连接都是双向的.

#### 2.2.1 移动预测模型

利用移动预测模型<sup>[8]</sup>,节点通过 GPS(Global Position System)获知自己以及网络中其他节点的位置坐标、平均速度和移动方向,从而确定两节点保持连接的时间.其中,  $v_{i-1}, v_i$  为节点的平均移动速度,  $\theta_{i-1}, \theta_i$  ( $0 \leq \theta_{i-1}, \theta_i \leq \pi$ ) 为节点的移动方向,  $(x_{i-1}, x_i)$  和  $(y_{i-1}, y_i)$  分别为节点  $n_{i-1}$  和  $n_i$  的坐标, LET(Link Expiration Time) 为两节点保持连接的时间,计算公式如下:

$$LET(n_{i-1}, n_i) = \frac{-(pl + qd) + \sqrt{(p^2 + q^2)R^2 - (pd - ld)^2}}{p^2 + q^2}$$

$$p = v_{i-1} \sin \theta_{i-1} - v_i \sin \theta_i$$

$$q = v_{i-1} \cos \theta_{i-1} - v_i \cos \theta_i$$

$$l = x_{i-1} - x_i$$

$$d = y_{i-1} - y_i$$

如图 1 所示,  $P_{\text{primary}} = (n_s, n_1, \dots, n_D)$  是  $n_s$  和  $n_D$  之间的主路径,  $n_{i-1}$  和  $n_i$  是主路径上的两个邻居节点,  $Nei(n_i)$  是  $n_i$  的邻居集合,  $C_i = Nei(n_{i-1}) \cap Nei(n_i) = \{m_1, m_2\}$  是  $n_{i-1}$  与  $n_i$  节点邻居集合的交集,  $PET(P)$  代表路径  $P$  的生存时间,则对于  $m_j \in C_i$ ,  $PET(n_{i-1}, m_j, n_i) = \min(LET(n_{i-1}, m_j), LET(n_i, m_j))$ .

#### 2.2.2 节点能耗理论

Ad Hoc 网络中节点的能量消耗由两部分构成:接受信息的能耗与发送信息的能耗<sup>[9]</sup>.本文忽略接收能量,只考虑传输能量.假设节点  $n_{i-1}$  和  $n_i$  的链路消耗能量为  $E(n_{i-1}, n_i)$ , 则:

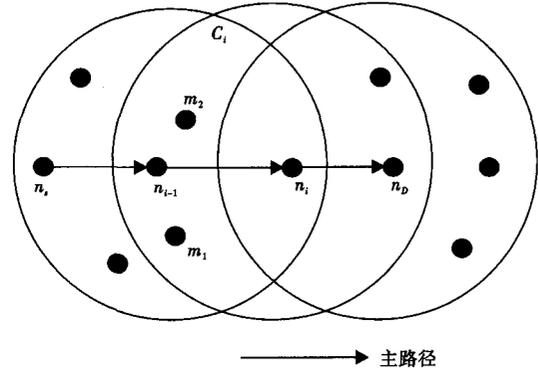


图 1 移动预测模型

$$E(n_{i-1}, n_i) = d_{i-1,i}^r$$

式中,  $d_{i-1,i}$  是节点  $n_{i-1}$  和  $n_i$  之间的链路长度,  $r$  是通信媒介参数,  $r \in [2, 4]$ , 本文设定  $r=2$ .

传输节点的能量消耗取决于它的最大链路消耗能量,对于  $m_i, m_j \in C_i$ ,  $E(n_{i-1}, C_i) = \max(E(n_{i-1}, m_i), E(n_{i-1}, m_j))$ .

根据图 1, 节点  $n_{i-1}$  与  $n_i$  的通信有两条路径可选:

(1) 节点  $n_{i-1}$  发送信息到节点  $m_1$ , 然后由节点  $m_1$  将信息发送到  $n_i$ , 总体能量消耗为  $E(n_{i-1}, m_1) + E(m_1, n_i)$ ;

(2) 节点  $n_{i-1}$  将信号直接发送到  $n_i$ , 其总的能量消耗为  $E(n_{i-1}, n_i)$ . 当通信媒介参数  $r > 1$  时, 存在  $E(n_{i-1}, m_1) + E(m_1, n_i) < E(n_{i-1}, n_i)$ .

#### 2.2.3 路径质量模型

假设从节点  $n_{i-1}$  到节点  $n_i$  有  $k$  条可达路径, 结合每条路径的生存时间及该路径上各个节点的能量消耗, 则第  $i$  条路径质量  $PQ_i$  (Path Quality) 可表示为

$$PQ_i = \frac{PET(i)}{E(i)}$$

$PQ_i$  反映了路径  $i$  的生存时间及其上各节点的能量消耗的大小, 该路径的生存时间越长, 节点能耗越低, 则该路径  $PQ_i$  越大, 表明其质量越高, 路径越稳定.

假设两个相邻节点  $n_{i-1}$  和  $n_i$ , 对于  $\forall u_k \in C_i$ , 满足  $(PQ(n_{i-1}, u_j, n_i) > PQ(n_{i-1}, n_i)) \wedge (PQ(n_{i-1}, u_j, n_i) > PQ(n_{i-1}, u_k, n_i))$ , 则  $path_{\text{backup}}^{i-1,i} = (n_{i-1}, u_j, n_i)$  是节点  $n_{i-1}$  与  $n_i$  之间的备用路径,  $path_{\text{backup}} = \{path_{\text{backup}}^{i-1,i} | (n_{i-1}, n_i) \in P_{\text{primary}}\}$  是所有的备用路径.

### 2.3 SEE-ODMRP 路由算法描述

SEE-ODMRP 协议在建立主路径时, 中间节点

计算其与上一跳节点的  $PQ$ , 将  $PQ$ 、速度及位置信息添加到 RREQ 包, 并添加反向路径到主路径路由表中; 在建立备用路径时, 由于相邻两个节点可能有多个公共邻居节点, 所以采用竞争机制, 通过发送竞争备份 CB 包来建立备用路径, 为减少 CB 包数量,  $C_i$  中每个节点都在一段时延后发送 CB 包, 若  $C_i$  中某节点在其时延期间收到其他节点发送的 CB 包, 则该节点不再广播 CB 包. 时延计算公式为:  $d = \alpha / PQ(n_{i-1}, NEI, n_i) + \beta$ , 其中,  $\alpha$  和  $\beta$  是常量参数. 显然, 一个具有较好质量的备用路径是通过一个较小启发式时延构建的.

另外, 利用预测策略减少数据包的丢失率, 设定路径质量阈值为  $MIN \times PQ$ , 当某备用路径  $PQ$  值小于该阈值时, 则重新发起备用路径的发现过程. 通过大量实验仿真, 设定  $MIN = 0.2$ . 具体过程如下:

(1) 主路径的建立基于局部最优决策, 数据的每一次转发都将距离目的节点最近的邻居节点作为下一跳. 当源节点  $n_s$  有到目的节点  $n_D$  的有效路由, 则直接发送数据包, 否则将邻居表中距离  $n_D$  最近的邻居作为下一跳, 若中间节点有到  $n_D$  的有效路由, 则直接沿反向路径向  $n_s$  发送 RREP, 否则, 将执行贪婪转发直至  $n_D$ , 当 RREP 以反向路径发送至  $n_s$  时, 主路径即构成.

(2) 设  $NEI$  为  $n_i$  邻居集中任一节点, 若  $NEI$  收到来自主路径上相邻节点  $n_i$  和  $n_{i+1}$  相同的 RREQ 包, 且  $NEI$  不等于  $n_{i+1}$  和  $n_{i-1}$ , 则  $NEI$  计算  $PQ(n_i, NEI, n_{i+1})$ , 丢弃 RREQ 开始备用路径搜索. 如果  $PQ(n_i, NEI, n_{i+1}) > PQ(n_i, n_{i+1})$ , 则  $NEI$  在时延等于  $d = \alpha / PQ(n_i, NEI, n_{i+1}) + \beta$  之后广播一个 CB 包, 其中包括  $NEI$  的 ID 和  $PQ(n_{i-1}, NEI, n_i)$ , 并且把  $(n_i, NEI)$  和  $(NEI, n_{i+1})$  记录到备用路由表中; 若  $NEI$  在时延期间收到其他节点发送的 CB 包, 则不再发送 CB 包; 如果某一链路, 已经存在备用路径  $(n_i, NEI, n_{i+1})$ , 若存在  $NEI'$ , 使得  $PQ(n_i, NEI, n_{i+1}) < PQ(n_i, NEI', n_{i+1})$ , 则用路径  $(n_i, NEI', n_{i+1})$  替换  $(n_i, NEI, n_{i+1})$ , 即  $n_i$  选择质量最好的路径作为其备用路径. 当 RREQ 包传递到目的节点时, 备用路径构建成功.

(3) 随着节点的随机移动或能量耗尽, 均会导致路径失效. 当其路径质量小于  $PQ$  阈值, 则重新发起备用路径的发现过程. 当  $n_i$  与  $n_{i+1}$  之间主路径失效时, 若其间有备用路径, 则数据可通过备用路径继续传输; 若其间没有备用路径, 但  $n_i$  与  $n_{i+2}$  之间有备用路径, 数据可通过该路径进行传输; 否则, 向源

节点发送 RERR 包, 然后重新发起路由发现过程.

### 3 协议仿真及性能评估

#### 3.1 仿真场景设置

用 NS2<sup>[8]</sup> 对 SEE-ODMRP 协议进行仿真并将结果与 ODMRP 进行比较, 仿真参数设置如下: 20 个节点随机分布在场景为  $1500\text{ m} \times 1500\text{ m}$  的方形区域中, 其中一个是源节点, 节点无线信号覆盖半径为  $100\text{ m}$ , 无线信道速率为  $2\text{ mb/s}$ . 流量模式为由 NS2 的 CBR Agent 产生带抖动的固定速率为  $10\text{ packet/s}$  的 CBR 流, 其分组大小为  $512$  字节, 节点的移动速度为  $0 \sim 20\text{ m/s}$ , 方向随机, 停留时间分别为  $0 \sim 50\text{ s}$ , 初始能量为  $10\text{ J}$ . 传播模型采用的是 Two Ray Ground 模型, 节点运动模型采用 Random Way Point 模型, MAC 层采用 IEEE802.11 MAC 协议的 DCF 方式. 仿真时间为  $400\text{ s}$ , 多次结果取平均数.

#### 3.2 仿真结果与分析

随着节点移动速度的增大, 由于链路失效和重构次数的增多, 导致协议的数据分组传输成功率都趋于下降. 但 SEE-ODMRP 协议的备用路径确保在主路径失效时仍旧有效, 尽管链路失效率增加, 但 SEE-ODMRP 建立备份路径时, 选择节点稳定性较好、能量充裕的节点作为中间路由节点, 建立的路径具有较好的稳定性, 使得网络能较多地传递数据分组. 图 2 显示, 其平均分组传输成功率一直高于 ODMRP, 且较为平衡, 随着速度的增大, 其优势越来越明显.

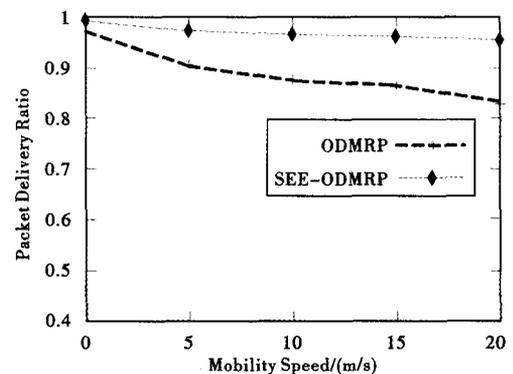


图 2 分组传输成功率的比较

图 3 中给出分组端到端时延与节点移动速度的关系. 实验结果表明, 当节点移动速度增大时, SEE-ODMRP 的平均时延低于 ODMRP, 原因如下: (1) SEE-ODMRP 协议采用贪婪转发机制, 主路径的长度几乎等于最短路径长度, 而 ODMRP 建立路由时

间较长;(2)SEE-ODMRP 中备用路径具有鲁棒性,减少了因节点运动引起的路由恢复或重建时延,将路径失效对数据传输的影响降到最低,尽管花费节点计算时间和选路等待时间,但较 ODMRP 表现出更低的端到端平均时延。

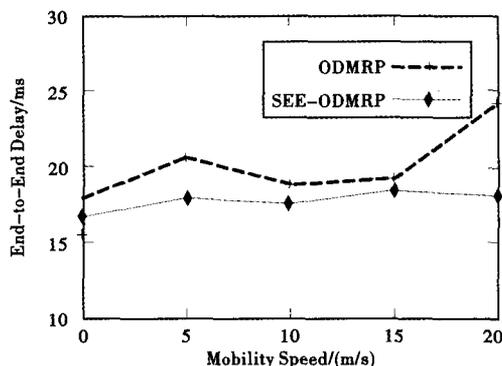


图 3 分组端到端时延的比较

图 4 中比较了协议 SEE-ODMRP 和 ODMRP 的能耗总量.从图中可以看出,随着连接的增多,越来越多的节点参与路由,两个协议的能耗都有所增大.但 SEE-ODMRP 协议的总能耗明显低于 ODMRP 路由协议,因为 SEE-ODMRP 路由协议优化了路由发现的洪泛机制,通过贪婪转发策略减少了洪泛对象,且其选择稳定节能的备用路径,有效减少路径修复与重构的次数,降低了路由开销,从而降低总能耗。

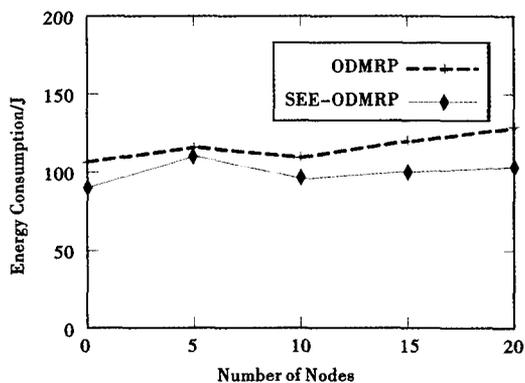


图 4 能耗总量的比较

## 4 结束语

SEE-ODMRP 能够较好适应拓扑结构的动态变化,有效减少了路径的中断次数和数据分组端到端时延,提高了网络的传输效率,并且实现网络中的能量高效,降低了协议开销.在 Ad Hoc 网络中,不同的特殊环境,对能量消耗最小化与能量消耗分布平衡的要求是不同的,在本文研究中,我们并未考虑平衡节点能量消耗的问题,因此,对路由过程中平衡节点能耗的进一步分析将是我们下一步的工作。

### 参考文献:

- [1] Lee S-J, Su W, Gerla M. On-demand multicast routing protocol (ODMRP) for Ad hoc networks[S]. Internet Draft, draft-ietf-manet-odmrp-02. txt, 2000.
- [2] Luo Junhai, Ye Danxia, Xue Liu, et al. A survey of multicast routing protocols for mobile Ad hoc networks[J]. Communications Surveys & Tutorials, 2009, 11(1): 78-91.
- [3] 蔡一兵,李海波,李忠诚,等.移动自组网基于邻居变化率稳定路径选择方法[J].软件学报,2007,18(3):681-692.
- [4] Scott K, Bambos N. Routing and channel assignment for low power transmission in PCS[C] // Proc of ICUPC'96, Cambridge, MA: IEEE, 1996: 498-502.
- [5] 吴丽杰,钱雪忠,窦维江.基于 AODV 的能量有效路由协议[J].微电子学与计算机,2006,23(10):219-221.
- [6] Su W, Lee Sung-Ju, Gerla M. Mobility prediction and routing in Ad hoc wireless networks[J]. International Journal of Network Management, 2001,11(1):3-30.
- [7] 罗瑛,黄传河,张媛媛,等. MANET 网络中节约能量的组播路由协议[J].计算机工程,2005,31(16):121-123.
- [8] The Network Simulator ns-2 [EB/OL]. [2012-01-12]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [9] 盘莉莉.无线移动自组网的 AODV 路由协议性能研究[J].微电子学与计算机,2010,27(2):184-187.

### 作者简介:

杨秋翔 男,(1969—),教授,研究方向为网络拓扑及网络安全。

杨扬 女,(1987—),硕士研究生,研究方向为网络技术应用。