

基于 ODMRP 的稳定路由协议 LB-ODMRP

张文斌, 潘广贞, 黄玉飞, 戴红飞

(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, 提出了基于 ODMRP 的稳定路由协议 LB-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负载及节点剩余能量的基础上, 引入路径质量模型建立路径, 提高了协议的鲁棒性, 根据负载情况实现节点能量的均衡消耗, 延长了网络的生存时间. 仿真结果验证了该协议的有效性.

关键词: Ad Hoc 网络; ODMRP 协议; 路径质量模型; 负载均衡

中图分类号: TP393.04

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2013)04-0111-04

Load Balance Routing Protocol LB-ODMRP Based on ODMRP

ZHANG Wen-bin, PAN Guang-zhen, HUANG Yu-fei, DAI Hong-fei

(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 load balancing routing protocol based on ODMRP called LB-ODMRP is proposed, in which the path is constructed based on a greedy forwarding mechanism, and in the consideration of the link lifetime and residual energy of nodes and energy balance of nodes, the model of routing quality is introduced to establish backup path, which enhances the robustness, energy consumption in the network can be fairer and extends the whole network's survive time. Simulation result prove the validity of the protocol.

Key words: Ad Hoc networks; On-Demand Multicast Routing Protocol; route quality model; load balancing

1 引言

移动自组织网络 (Mobile Ad Hoc Networks, MANET), 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. 但由于节点的移动性, 导致网络拓扑频繁改变, 并且其能量有限, 一旦某些节点的能量耗尽将导致整个网络瘫痪. 所以, 提高路径稳定性及均衡节点的能耗对改善 Ad Hoc 网络的性能尤为重要.

按需组播路由协议 ODMRP (On-Demand Multicast Routing Protocol)^[1], 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路由协议.

然而, 没有考虑链路的稳定性及节点负载, 这样可能因某些节点能量的过度消耗而造成部分链路中断, 从而缩短了整个网络的生存时间.

目前, 对路径稳定性及节点能耗的研究很多. 文献[2]提出了一种基于节点剩余能量和网络稳定性的路由算法, 不仅综合考虑路径上节点的剩余能量和路由跳数, 而且考虑链路中各个节点对网络稳定性的影响, 但是无法保证网络中某条链路失效时能够迅速的找到其它路径. 因此, 在考虑链路连接时间及节点负载和能耗的情况下, 文中提出了一种稳定路由协议 LB-ODMRP, 可以有效减少网络拥塞, 有效降低节点能量的消耗, 延长了整个网络的生存时间.

2 LB-ODMRP 协议

2.1 基本思想

LB-ODMRP 协议在 ODMRP 基础上提出的一种基于节点负载的能量均衡消耗的稳态路由算法, 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, 并非简单泛洪, 而是贪婪地向与距离目标节点最近的节点转发 RREQ, 使得路径长度几乎等于最短路径长度, 从而可以降低路由控制开销及传输时延. 其次, 考虑链路保持时间和节点负载的能量均衡消耗, 引入路径质量模型, 运用鲁棒机制确保在某条路径失效时其它链路可以继续使用, 这样不仅提高了链路的稳定性, 而且可以有效降低节点能量的消耗, 从而延长了整个网络的生存时间.

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 $G=(V, E)$, 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, 与其它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^[3], 节点通过 GPS(Global Position System) 获知自己以及网络中其它节点的位置坐标、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, θ_{i-1}, θ_i ($0 \leq \theta_{i-1}, \theta_i \leq \pi$) 为节点的移动方向, (x_{i-1}, y_{i-1}) 和 (x_i, 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, $P_{\text{primary}} = (n_s, n_1 \cdots n_D)$ 是 n_s 和 n_D 之间的路径, n_{i-1} 和 n_i 是路径上的两个邻居节点, $Nei(n_i)$ 是 n_i 的邻居集合, $C_i = Nei(n_{i-1}) \cap Nei(n_i) = \{m_i, (m_j)\}$ 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

$$\in c_i, PET(n_{i-1}, m_j, n_i) = \min(LET(n_{i-1}, m_j), LET(n_i, m_j)).$$

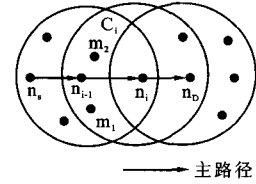


图 1 移动预测模型

2.2.2 网络节点能耗理论

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^[4]. 本文忽略接收能耗, 只考虑传输能耗. 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:

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

其中, $d_{i-1,i}$ 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_i , 然后由节点 m_i 将信息发送到 n_i , 总体能量消耗为 $E(n_{i-1}, m_i) + E(m_i, n_i)$;

(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 $E(n_{i-1}, m_i) + E(m_i, n_i) < E(n_{i-1}, n_i)$.

在网络节能方面, Ad Hoc 网络主要方法: 均衡各个节点的能量消耗. 在选择路由时考虑网络节点剩余能量, 将节点的能耗与负载状况共同作为路由度量. 当节点拥有充足的剩余能量时, 采用收发能耗与网络负载作为路由度量, 当节点处于低能状态时, 采用节点剩余能量和网络负载作为路由度量.

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、该路径上各个节点的能量和负载情况, 则第 i 条路径质量 PQ_i (Path Quality) 可表示为: $PQ_i = \frac{PET(i)}{E(i) \times \gamma_i}$, 其中 γ_i 为路径 i 的负载因子, 通常会根据链路的实际情况实时的改变. 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, 节点能耗和负载因子越小, 则该路径 PQ_i 越大, 表明其质量越高, 路径越稳定. 当 PQ_i 的值小于某一阈值时会选择其他的路径.

2.3 LB-ODMRP 路由算法描述

LB-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;在建立路径时,由于相邻两个节点可能有多个公共邻居节点,所以在充分考虑节点能耗和负载的情况下采用竞争机制,通过发送竞争备份 CB 包来建立路径,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它节点发送的 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, α 和 β 是常量参数.显然,一个具有较好质量的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 $MIN \times PQ$,当某路径 PQ 值小于该阈值时,则重新发起路径的发现过程.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 的有效路由时则直接发送数据包,否则将邻居表中距离 n_D 最近的节点作为下一跳,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 开始其它路径搜索.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}) 记录到路由表中;若 NEI 在时延期间收到其它节点发送的 CB 包,则不再发送 CB 包;如果某一链路已经存在路径 (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传输通路.当 RREQ 包传递到目的节点时,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,则重新发起路径的发现过程.

3 协议仿真及性能评估

3.1 仿真场景设置

用 NS2^[5]对 LB-ODMRP 协议进行仿真,将仿真结果与 ODMRP 协议进行比较.仿真参数设置如下:20 个节点随机分布在场景为 $1500m \times 1500m$ 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 100m,无线信道速率为 2mbps.流量模式为由 NS2 的 CBR Agent 产生带抖动的固定速率为 10 packet/s 的 CBR 流,其分组大小为 512 字节,节点的移动速度为 $0 \sim 20m/s$,方向随机,停留时间分别为 $0 \sim 50s$,初始能量为 100J.路由调节系数 $r=0.5$, $\eta=0.7$,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 IEEE802.11MAC 协议的 DCF 方式.仿真时间为 400 秒,多次结果取平均数.

3.2 性能评估指标

采用以下指标比较 LB-ODMRP 协议与 ODMRP 协议的性能^[6]:

(1) 分组传输成功率:接收节点成功收到的数据分组数目与源节点发送的分组数目之比,体现了路由协议的完整性和正确性.

(2) 网络生存时间:从网络开始运行到网络出现分离所经过的时间.

(3) 节点平均能耗:当仿真结束时,各节点所消耗能量的平均值.

(4) 剩余能量方差:网络能耗方差从概率论的角度评判了网络中各节点剩余能量的差异情况.

3.3 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 LB-ODMRP 协议确保在一条路径失效时其它路径仍旧有效.如图 2 所示,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 3 给出分组端到端节点平均能耗与移动速度的关系.实验结果表明,当节点移动速度增大时,LB-ODMRP 的平均能耗稍有上升,但总体能耗状况低于 ODMRP 协议.

图 4 比较了 LB-ODMRP 和 ODMRP 协议的网络生存时间.从实验结果可以看出,LB-ODMRP 协议使网络首次中断的时间延迟了,从而延长了网络的生存时间.

图 5 比较了 LB-ODMRP 和 ODMRP 协议的剩

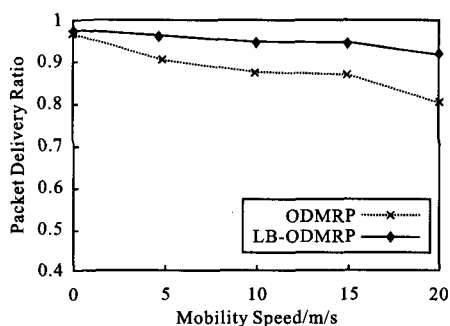


图2 分组传输成功率的比较

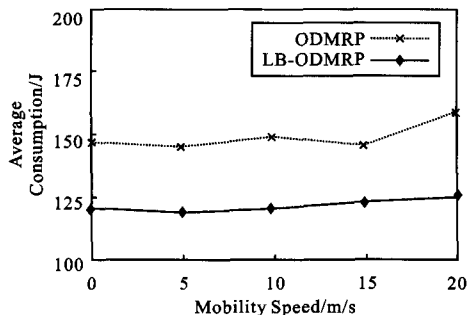


图3 分组端到端节点平均能耗的比较

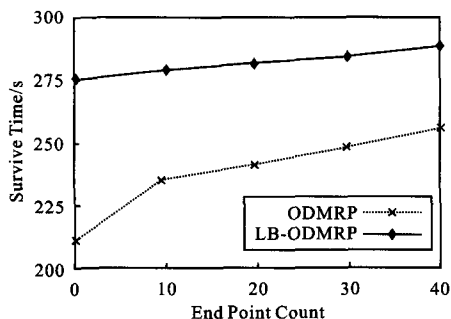


图4 分组端到端节点生存时间的比较

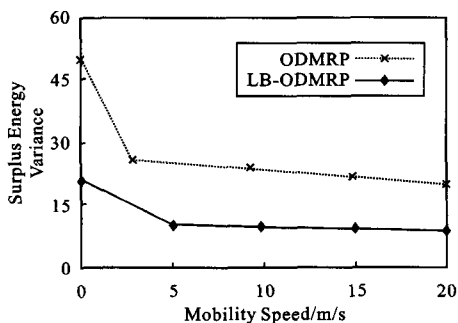


图5 剩余能量方差的比较

余能量方差.从图中可以看出, LB-ODMRP 协议展现出了良好的能耗平衡性,随着速度的增大,其优势越来越明显.

4 结束语

文中提出一种考虑节点负载的能量均衡稳定路由算法 LB-ODMRP 协议,通过贪婪转发建立路径,结合链路保持时间及节点负载和能耗,建立路径质量模型.仿真结果表明:LB-ODMRP 能够较好适应拓扑结构的动态变化,有效减少了链路的中断次数,提高了网络的传输效率,延长了网络的生存时间,具有一定的实用价值.

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] 陈永辉,刘志勤, Nagasaka, 等. 基于节点能量和网络稳定性的节能路由协议[J]. 计算机工程与应用, 2010, 46 (21): 79-80.
- [3] 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.
- [4] 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.
- [5] The Network Simulator ns-2 [EB/OL]. [2012-07-12]. <http://www.isi.edu/nsnam/ns>.
- [6] 沈明玉,孙伟. AODV 路由协议中负载及能量均衡技术[J]. 合肥工业大学学报, 2008, 31 (11): 1798-1800.

作者简介:

张文斌 男, (1987—), 硕士研究生. 研究方向为计算机视觉及计算机网络应用.

潘广贞 男, (1969—) 博士, 硕士生导师. 研究方向为图形图像处理.

黄玉飞 男, (1985—), 硕士研究生. 研究方向为计算机仿真及图像处理.

戴红飞 男, (1988—) 男, 硕士研究生. 研究方向为网络控制系统.