

MANET 网络中一种节约能量的负载平衡路由

余雄伟 黄传河 周 浩 张媛媛 罗 瑛

(武汉大学计算机学院, 武汉 430079)

E-mail: yu_xw1979@163.com

摘 要 节约能量的负载平衡路由(PELBR)协议是针对无线 Ad hoc 网络提出的一种路由协议。PELBR 定义了一种称为节点活动度的标准,节点活动度定义了节点的通信负载。在 PELBR 中,路由发现过程中目标节点从候选路径中寻找负载最小,即路径上活动度之和最小的路径;而节点在传送数据时适当调节能量以保证网络拓扑结构的连接性,同时节约电池能量从而延长节点的工作时间。

关键词 无线 Ad hoc 网络 能量调节 负载平衡 活动路径

文章编号 1002-8331-(2005)27-0141-03 **文献标识码** A **中图分类号** TP393

A Power-Efficient Load-Balanced Routing for Wireless Ad Hoc Networks

Yu Xiongwei Huang Chuanhe Zhou Hao Zhang Yuanyuan Luo Ying

(School of Computer Science, Wuhan University, Wuhan 430079)

Abstract: This paper proposes a novel reactive Power-Efficient Load-Balanced Routing(PELBR) protocol for wireless mobile Ad hoc. PELBR defines a metric for routing known as the degree of nodal activity that defines the communication-load of a node. In PELBR route discovery takes charge of searching routes and then selecting a route that has the least traffic load and activity of nodes. When transmitting, a node adjusts its transmission power to keep the connectivity of the network topology and save battery power to prolong the node's life time.

Keywords: wireless Ad hoc networks, power adjustment, load balance, active path

1 引言

无线 Ad hoc 网络没有固定网络设施,完全由移动主机构成。这种网络的建立快捷、灵活,不受有线网络的约束,可广泛用于灾难救助、偏远地区等无法得到有线网络支持或某些只是临时需要通信但建立有线网络代价太大的环境,具有广泛的应用前景。

Ad hoc 网络节点要与其发射范围外的节点通信,必须借助中间节点的路由转发,即 Ad hoc 网络的节点一方面可以是通信的发起或接收者,同时又需要充当路由器、负责发现、维护到其他节点的路由并为其转发数据。Ad hoc 网络的特征可概括如下^[1]:

(1)动态拓扑:Ad hoc 网络中节点的任意移动、电池耗尽/关机或损毁、节点间连接链路由于信号干扰或传输条件变化变得不可用等都会造成网络拓扑的动态变化。

(2)多跳通信:受 Ad hoc 网络信号传输范围小的限制,如果目标节点不在发起节点的传输范围之内则必须进行多跳通信,借助其他节点进行中继转发。

(3)带宽受限、链路容量动态变化:无线链路的容量比有线容量低,且多接入、多径衰落、信号干扰及噪声又使无线链路的容量随时间而动态变化,链路的有效吞吐量比空中接口的最大传输容量小得多。

(4)节点能量受限:移动节点是依赖电池正常的操作,网络中的节点要充当其他节点的路由器,节点能量耗尽将会改变网

络拓扑,进而改变网络性能及网络寿命,因而实现节点的低能耗非常重要。

(5)有限的安全性和服务质量:由于 Ad hoc 网络缺乏固定的网络基础设施进行用户鉴权和认证,因此其安全性很难保证。多跳网络、动态拓扑及动态链路容量使服务质量的保证变得也很困难,目前大多数 Ad hoc 网络都只能提供 best effort 服务。

2 相关背景

设计无线 Ad hoc 网络的一个重要的问题是如何设计有效的路由协议以保证两个节点间的高质量通信。目前已经有很多针对无线 Ad hoc 网络的协议,这些协议基本上可以分为两类:表格驱动(table-driven)的和基于需求(on-demand)的。基于表格驱动的路由协议^[2,3]中,每个节点都维护整个网络最新的路由信息表,即使用路径之前就已经计算好。这一类协议,虽然到其他所有节点的路径都可以直接从路由表中获得,但是会面临信号拥塞和能量消耗问题,因为无线 Ad hoc 网络中网络带宽和移动节点的电池能量都是极其有限的。而基于需求的路由协议^[4,5]克服了这些局限,不是所有节点都维护路由信息表,而是在源节点需要发送数据时才建立路由路径。从目前来看,无线 Ad hoc 网络中主要采用基于需求的路由协议。

在无线 Ad hoc 网络路由协议中,最著名的是动态源路由(DSR)^[4]和按需式距离向量(AODV)协议^[5]。DSR^[4]在源节点需要

发送数据的时候通过源路由发现机制找到从源到目标节点的路径。AODV^[9]中源节点只维护它们需要的路由信息表,当某条路径失效即目标节点或某个中间节点不可到达时,源节点必须通过路由发现机制重新找到到达相应目标节点的路径,同时更新路由表。

在 DSR 和 AODV 协议中,当无线 Ad hoc 网络中节点的移动减少时,从数据包发送率和路由开销来看,网络的通信性能会提高,但数据包延时反而增大^[9],这是因为这些协议有在大量路径中重复使用少数相同节点的趋势,从而导致媒体接入控制(MAC)层的拥塞,少数节点承受负载过重,结果就是数据包延时增大。如果考虑到能量消耗,这些节点的电池能量消耗将非常大,不仅使节点有效工作时间缩短,而且影响了整个网络拓扑结构的连接性。实际上,现有的协议的一个主要缺点是在路由建立过程中没有考虑负载平衡。本文提出了一种有效的路由协议,采用了负载平衡的概念,同时考虑节点电池能量的节约,即节约能量的负载平衡路由(PELBR)以减少网络拥塞、平衡网络负载并降低端到端(end-to-end)延时。

3 系统模型与问题定义

对于给定的网络用无向图 $G(V, E)$ 来表示,其中 V 为节点集合, E 为全部链路的集合。同时做如下定义:

活动路径:从源节点 s 向目标节点 d 发送数据包的路径。

节点活动度 A_i :表示通过节点 v 的活动路径数。

负载开销 C_k :路径 p_k 上所有节点的节点活动度之和,即:

$$C_k = \sum_{i \in k} A_i$$

那么 PELBR 的路由发现过程的目标就是对于给定的源节点 s 和目标节点 $d, s \in V, d \in V, s \neq d$,从找到的候选路径集合 P 中,选择具有最小负载开销的路径 p ,使得:

$$C_p = \min\{C_k = \sum_{i \in k} A_i, k \in P\}$$

4 PELBR

4.1 基本思想

在 DSR 和 AODV 协议中,当无线 Ad hoc 网络中节点的移动减少时,数据包延时反而增大^[9],这是因为这些协议有在大量路径中重复使用少数相同节点的趋势,从而导致媒体接入控制(MAC)层的拥塞,少数节点承受负载过重,结果就是数据包延时增大。因此,PELBR 的基本思想就是记录每个节点的负载情况,在路由选择时通过计算候选路径上所有节点的负载开销之和,从中选择具有最小负载开销的路径。另一方面,在数据发送过程中,PELBR 通过运用发送能量调节机制,在保证网络拓扑连接性的前提下节约了节点电池能量。

4.2 PELBR 的具体描述

在 PELBR 协议中每个节点需要维护 2 张表:路由表,相邻节点表。

(1)路由表(Routing Table):存储接收到的路由应答(RREP)信息。每条记录由目标节点 ID、路由计时器和到目标节点的路径三个部分组成。

(2)相邻节点表(Neighbor Table):存储本节点所能收听到的节点的信息。每条记录由相邻节点 ID 和相邻节点计时器(Neighbor Timer)组成。

并且还要维护 3 个计时器:路由计时器,邻接点计时器,节点模式计时器。

(1)路由计时器(Route Timer)记录空闲路由时间,控制路由的生命期(Life Time)。

(2)邻接点计时器(Neighbor Timer)记录相邻节点有效时间,控制相邻节点的生命期。

(3)模式计时器(Mode Timer)。

PELBR 由 3 个部分构成:路由发现,路由维护和能量控制。

4.2.1 路由发现

当源节点需要发送数据包且在它的路由表中没有有效路径时,就调用路由发现过程。源节点广播一个路由请求(RREQ)消息,中间节点接收到 RREQ 后,将执行以下操作。

```
if (路由表中有到目标节点的路径) then
begin
    反向向 s 发送路由应答(RREP)消息;
    删除该请求包,不再往前发送;
end
else
begin
    if (本节点 ID 在 RREQ 记录的 ID 序列中) then
        删除该请求包,不再往前发送;
    else
        begin
            计算本节点的 A 与 RREQ 中的负载开销之和;
            用计算结果更新 RREQ 中的负载开销;
            将本节点 ID 加入 RREQ 记录的 ID 序列继续广播该请求包;
        end
    end
end
```

当目标节点 d 收到第一个 RREQ 时,在一个预定的路由选择等待时间 Δt 内收集来自同一源节点的 RREQ,从中选择一个负载开销最小的路径——活动路径。 d 沿活动路径的反向向源节点 s 发送路由应答(RREP)消息。在此过程中,若链路断开,则在断开点 RREQ 将被放弃,下游节点向 d 发送路由错误(RRER)消息,收到 RRER 后, d 将再选择另一条不包含断开链路的负载开销最小的路径。 s 收到 RREP 后,按活动路径发送数据。

4.2.2 路由维护

在无线 Ad hoc 网络中由于节点可以自由移动,网络拓扑结构的动态变化会导致路由失效。一旦源节点、活动路径上的中间节点或目标节点移出了通信覆盖范围,就必须找到一条替代路径。在 PELBR 中,节点通过周期性地广播 hello 消息探测本地连接状态。在通信过程中,若源节点离开活动路径,则数据包无法发送到下游邻居节点,这种情况下,源节点重新调用路由发现过程,重新建立路径;若中间节点或目标节点移出活动路径,则运用路由维护机制修复断开的链路:一旦下一跳节点不可达,上游节点广播一个 RRER,目标节点收到 RRER 后,选择另一条不包含断开链路的负载开销最小的路径作为活动路径,源节点用新的活动路径继续发送数据,最坏的情况下,即没有其它替代路径可用时,目标节点广播一个 RRER,收到 RRER 后,源节点调用路由发现过程,重新建立路径。

4.2.3 能量控制

假设节点能够调节发送能量,在 PELBR 中,节点根据度(邻居节点数)来调节发送能量。当节点为源或目标节点时,能量调节至最大;当为中间节点时,调节能量以保证需要的度;当

节点空闲超过一段时间,能量调节至最低。

(1) 基本理论

Ramanathan 和 Rosales-Hain 提出了 Local Information No Topology (LINT)^[10]。在 LINT 中,他们得到了如何获得在网络拓扑中保持较好连接性的结果。式(1)是传输丢失函数,其中 n 为路径丢失指数,与网络环境相关,通常的取值范围是 2~5。 r 是距离, r_{th} 是距离阈值。当距离小于 r_{th} 时传输丢失为常数。

$$l(r)=l(r_{th}) \text{ if } r < r_{th}$$

$$l(r)=l(r_{th})+10 \cdot n \cdot \log_{10} \left(\frac{r}{r_{th}} \right) \text{ if } r \geq r_{th} \quad (1)$$

P_d 和 P_c 代表目标传输能量和当前传输能量, d_d 、 d_c 分别表示目标度和当前度。假设节点均匀分布,则有:

$$d_c = den \cdot \pi \cdot r_c^2$$

$$d_d = den \cdot \pi \cdot r_d^2 \quad (2)$$

den 表示节点分布密度, r_s 表示接收到的能量,则有:

$$P_c - (l(r_{th}) + 10 \cdot n \cdot \log_{10} \left(\frac{r_c}{r_{th}} \right)) = r_s$$

$$P_d - (l(r_{th}) + 10 \cdot n \cdot \log_{10} \left(\frac{r_d}{r_{th}} \right)) = r_s \quad (3)$$

由(2)(3)得到:

$$P_d = P_c + 5 \cdot n \cdot \log_{10} \left(\frac{d_d}{d_c} \right) \quad (4)$$

(2) 能量调节方法

初始化都调到最小,源节点要发送数据或目标节点接收数据时,调至最大。中间节点收到 RREQ 时根据(4)调节能量发送。节点发送任何数据包(不包括 RREQ、RREP 和 RRER)则将模式计时器置 0,当模式计时器的值超过阈值时,表示节点已经长时间处于空闲状态,则转入最小能量模式。

5 性能分析

表 1 列出了 DSR、AODV 和 PELBR 时间复杂度、通信复杂度和路由选择方式的对比。表中所列值均代表最坏情况。 d 表示网络直径, N 表示网络中的节点数。

表 1 DSR、AODV、PELBR 的性能对比

	时间复杂度	通信复杂度	路由选择方式
DSR	$O(2d)$	$O(2N)$	最短路径
AODV	$O(2d)$	$O(2N)$	最短路径
PELBR	$O(2d)$	$O(2N)$	最小负载开销

PELBR 的路由发现过程与 DSR 类似,只是在 RREQ 中记录了负载开销,所需要维护的表格也只会比 DSR 多一个邻居节

点表,通过目标节点选择负载开销最小的路径达到了平衡负载的目的,能量调节机制在保证连接性的前提下节约了节点电池能量。

6 结论

本文针对现有的协议在路由建立过程中没有考虑负载平衡的缺点,提出了一种有效的路由协议 PELBR。PELBR 协议是一种按需式路由协议,适用于对延时要求较严格的应用环境,同时延长整个网络的有效工作时间。PELBR 在通信过程中采取了能量调节机制,从局部节约了网络能量消耗;节点活动度的使用平衡了网络负载,减少了网络拥塞,从整体上延长整个网络的有效工作时间。在节点移动不频繁的情况下降低了端到端延时。(收稿日期:2005 年 1 月)

参考文献

1. J Macker, S Corson. Mobile Ad hoc networks (MANET). <http://www.ietf.org/html.charters/manet-charter.html>, IETF Working Group Charter, 1997
2. Tus-Wei Chen, Mario Gerla. Global State Routing: A New Routing Scheme for Ad-hoc Wireless Networks[C]. In: IEEE International Conference on Communications (ICC), 1998
3. Vincent D Park, M Scot Corson. Temporally-ordered routing algorithm (TORA). version 1 functional specification, Internet-Draft draft-ietf-manet-tora-spec-00.tex, 1997-11
4. David B Hohnson, Davis A Maltz. The Dynamic Source routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks
5. C E Perkins, E M Royer. Ad-Hoc On-Demand Distance Vector Routing[C]. Mobile Computing Systems and Applications, Proceedings, WM-CSA'99, Second IEEE Workshop on, 1999-02: 90-100
6. I-Shyan Hwang, Cheng-Ching Yeh, Chiung-Ying Wang. Link stability, loading balance and power control based multi-path routing (SBPMR) algorithm in ad hoc wireless networks[C]. In: Telecommunications, ICT 2003, 10th International Conference on, 2003: 1: 406-413
7. Santashil PalChaudhuri, David B Johnson. Power Mode Scheduling for Ad Hoc Networks[C]. In: Proceedings of the 10th IEEE International Conference on Network Protocols (ICNP'02)
8. Yu Liu, Jack Lau. Mobile and Wireless Communications Network[C]. In: 4th International Workshop on, 2002-09: 363-367
9. IETF MANET Working Group Charter. <http://www.ietf.org/html.charters/manetcharter.html>
10. Ram Ramanathan, Regina Rosales-Hain. Topology control of multi-hop wireless ad hoc networks[J]. Electronics letters, 2000; 36(18)

(上接 96 页)

2. G Bradski, J Davis. Motion Segmentation and Pose Recognition with Motion History Gradients[C]. In: IEEE WACV'00, 2000
3. Gregory D Hager, Wen-Chung Chang, A S Morse. Robot Hand-Eye Coordination Based on Stereo Vision[J]. IEEE Control Systems Magazine, 1995; 15(1): 30-39
4. 马颂德, 张正友. 计算机视觉[M]. 科学出版社, 1998
5. Heiko Hirschmuller, Peter R Innocent, Jon Garibaldi. Real-Time Cor-

- relation-Based Stereo Vision with Reduced Border Errors[J]. International Journal of Computer Vision, 2002; 47(1/2/3): 229-246
6. P Allen, B Yoshimi, A Timcenko. Hand-eye coordination for robotic tracking and grasping[C]. In: K Hashimoto ed. Visual Servoing, World Scientific, 1994: 33-70
7. Gregory D Hager, Wen-Chung Chang, A S Morse. Robot Hand-Eye Coordination Based on Stereo Vision[J]. IEEE Control Systems Magazine, 1995; 15(1): 30-39