

一种新的基于节点位置的自组网区域路由算法

王杉^① 尹浩^② 魏急波^①

^①(国防科技大学电子科学与工程学院 长沙 410073)

^②(中国电子设备系统工程公司研究所 北京 100039)

摘要: 群组移动是战术自组网中典型的节点运动模式,群组的特性限制了区域路由协议中区域的形成,对路由性能造成了较大的影响。位置信息的引入对此会有较好的改善,该文提出修正的区域路由算法利用节点位置信息,使得区域内的邻节点更新过程获得更有效的触发,从而减少了大量不必要的广播报文开销。同时,采用网络直径缩短了按需过程中的路由查询长度。仿真结果表明,基于位置信息修正的区域路由算法在群组移动模式下,时延、吞吐量等性能指标有着较明显的提升。

关键词: 移动自组网; 参考点群组移动; 区域路由; 节点位置; 网络直径

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1009-5896(2007)05-1211-04

A Novel Zone Routing Scheme of Ad hoc Networks Based on Node Position

Wang Shan^① Yin Hao^② Wei Ji-bo^①

^①(College of Electronic Science and Engineering, National Univ. of Defense Technology,
Changsha 410073, China)

^②(Institute of China Electronic System Engineering Corporation, Beijing 100039, China)

Abstract: Group mobility is the typical mobile mode in tactical Ad hoc networks. The characters of groups confine the shaping of zones for Zone Routing Protocol (ZRP) and affect the routing performance greatly. The introduction of location information can improve these. Position Based Modified ZRP (PBMZRP) effectively triggers the neighbor nodes' update process of IntrAZone Routing Protocol (IARP) in virtue of node positions, accordingly the broadcast overhead has been decreased much. While, the network diameter restricts the length of routing enquiries during IntErzone Routing Protocol (IERP). Simulation results show that under the circumstance of group mobility, PBMZRP has better performances in the case of delay, throughput, etc.

Key words: Mobile Ad hoc NETworks; Reference point group mobility; Zone routing; Node position; Network diameter

1 引言

移动自组织网络(Mobile Ad hoc NETworks, MANET)是一组带有无线收发装置的移动节点组成的一个多跳、临时性的自治系统,其通信链路通常为无线信道;节点兼有终端和路由器功能,可以快速、任意的移动,形成不可预测的网络拓扑。由于MANET网络具有无固定设施要求、易于组网及覆盖范围灵活等特点,常常作为有线网络的无线延伸,为固定的基础网络提供一种灵活的无线接入组网方式,因而被广泛的应用于军事战场信息系统建设、民用紧急救援或会场布置等场合,它被认为是支持真正的“无所不在的计算”环境及未来移动通信系统的重要技术保证之一。

路由决定了报文信息转发的路径和方式,对网络性能的影响至关重要。近年来,对路由协议的研究和探讨一直是Ad hoc网络研究的热点之一,各种研究机构已经提出了许多路由算法^[1]。本文在区域路由协议^[2](Zone Routing Protocol, ZRP)的基础上,提出了一种基于节点位置信息修正的区域路由(PBMZRP),该算法有效地提升了相关网络性能指标。

2 网络表述与移动模型

MANET网络一般表示为无向图 $G(V, E)$,其中 V 表示网络 G 中的移动节点集, E 表示节点间可双向通信的链路集合。Ad hoc网络中每个节点的覆盖范围有限,当其他节点落于该范围之内,就认为在这对节点之间存在可用的通信链路。由于节点可运动,所以Ad hoc网络中 E 是动态变化的。文章中作出如下合理假设:

(1) 根据节点的对等性,可认为其有效发射距离相同,

2005-10-25 收到, 2006-10-08 改回
国防科技重点实验室基金, 国家重点基础研究发展规划(973)基金
和国防科技大学预研基金资助课题

节点之间的链路为双向通信, 即当节点 A 、 B 互为邻节点时, 它们之间的通信既可以是 $A \rightarrow B$, 也可以是 $B \rightarrow A$;

(2) 通过GPS或其他定位技术^[3], $\forall v \in V$, 都已知自己所处的位置 $(x(v), y(v))$, 并且通过BEACON或HELLO报文的交换, 可以获知位于其邻节点集 $N(v)$ 中的所有节点位置;

(3) 存在适当的MAC协议, 解决了多址接入的介质竞争问题^[4,5]; 并且网络中节点的位置变化遵循群组移动^[6]的特点。

此外, 定义 MANET 的网络直径 $D_L = \sqrt{l^2 + w^2} / \rho$, 其中 l , w 和 ρ 分别表示仿真场景的长、宽以及发射覆盖范围。同时, $\forall i, j \in V$, 如果其连接 $l(i, j) \in E$, 那么意味着节点 i 和 j 之间的欧氏距离不超过发射节点的覆盖范围, 即 $L_{ij} \leq \rho$; 反之亦然。

移动模型与应用相关, 不同的节点移动模式对网络性能所产生的影响也是不同的。随机移动模型中, 节点下一时刻的位置与前一时刻没有关联^[7]; 群组移动模型则认为节点新的位置是前一位置与一个随机偏移量的函数, 参考点群组移动(RPGM)模式是战术自组网的一个显著特点^[6]。

RPGM 模型中每个群组有一个逻辑中心, 该中心的位置变化定义了整个群组的移动模式: 位置、速度以及方向等, 因此群组的移动轨迹完全由逻辑中心的移动路径所决定, 该路径以参考点位置变更的形式显示定义, 如图 1 所示。随着时间的推移, 逻辑中心由一个参考点移动到下一个参考点, 群组中的节点随之进行相应的位置变化, 这种移动特性与战术自组网的作战场景非常吻合。

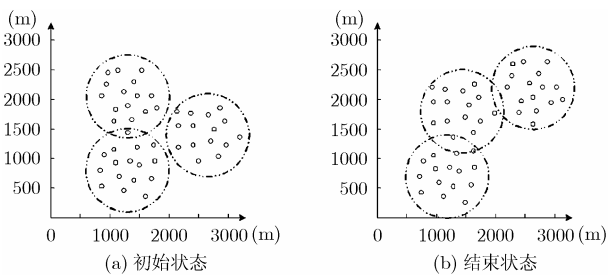


图 1 群组移动模式下的网络拓扑

3 算法描述

3.1 区域路由协议(ZRP)

在具有 N 个节点的MANET中, ZRP协议的思想是以每一个节点为中心, 以跳数 h 为区域半径, 将整个网络划分成 N 个相互重叠的区域。在区域内部, 报文路由采用 IARP(IntrAzone Routing Protocol)协议, 区域间路由采用 IERP(IntErzone Routing Protocol)协议。因此, ZRP协议是一种混合式路由机制, 它涵盖了主动式路由和反应式路由两部分内容^[2,8](如图 2 所示)。

区域半径决定了链路状态报文向外广播的最大跳数限制。区域中心节点负责存储该区域内所有节点间的连接路由

表。极端情况下, 当 $h=1$ 时, 只周期性地更新邻节点信息, ZRP 协议即为按需路由协议。当 $h = [D_L] + 1$ 时, ZRP 协议则成为完全的表驱动路由协议。文献[9]指出当 $h=2$ 或 $h=3$ 时, ZRP 协议具有较好的性能表现。

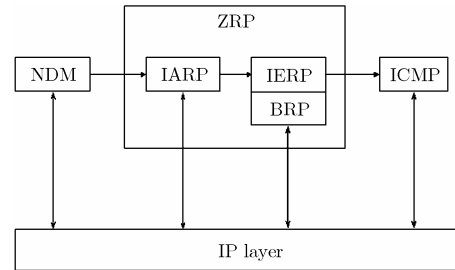


图 2 ZRP 协议实体结构

3.2 基于节点位置修正的区域路由算法(PBMZRP)

ZRP 实体中的 IARP 协议通过邻节点发现机制(Neighbor Discover Maintenance, NDM)以及区域半径的限制, 记录了位于区域内所有节点的连接状态。假设(2)指出, 借助简单的定位设备或技术, 每个节点可以获知自身的位置信息, 同时通过对 BEACON 或 HELLO 报文结构的修正, 在其中添加新的信息域, 用来记录当时节点所处的位置, 这样就可通过邻节点之间的该类报文交换, 获得区域半径内其他所有节点的位置信息。

PBMZRP 算法的主动式路由部分利用上述位置信息, 适当地调整邻节点发现(NeighborNode_Found), 邻节点丢失(NeighborNode_Lost)以及邻节点更新(NeighborNode_Updated)等过程, 从而有效地控制了区域内开销报文的广播。具体算法步骤描述如下:

- (1) 检查邻节点时间到中断(Neighbor_Timeout);
- (2) 根据时间差判断邻节点路由表中所有存在路径的时戳是否过时, 是的话, 进行下述过程, 否则返回步骤(1);
- (3) 计算该节点与路由表中所有存在路径的下一跳节点之间的距离, 当大于节点覆盖半径时, 继续进行下述过程, 否则返回步骤(1);
- (4) 产生邻节点丢失(NeighborNode_Lost)中断, 并形成相应的 IARP 控制报文在区域内广播;
- (5) 区域内其它邻节点根据接收到的 IARP 控制报文更新相应的路由表。

另一方面, 为了确保 RREQ 寻路过程中不会遗漏任何节点, ZRP 协议中定义了最大路由长度 L_{MAX} , 该长度是以节点数 N 为依据的, 即 $L_{MAX} = N$ 。这种粗略的定义使得网络中形成了大量的不必要路由路径以及由此产生的 RREQ 控制报文开销, 导致路由效率急剧下降, PBMZRP 算法对此也做了相应的改进。

网络中任意两点之间的距离不会超过 $\sqrt{l^2 + w^2}$, 如果采用最短路径优先的原则, 在保证链路连通性的情况下, 以节点当前发射功率的覆盖距离计算, 任意两个节点之间通信所需的路由路径长度不大于 $\lceil \sqrt{l^2 + w^2} / \rho \rceil + 1$ 跳。考虑

到场景的特殊性以及冗余度设计, PBMZRP 算法修正了最大路由长度 L_{MAX} 的定义, 认为路径长度不会超过 $(\lceil \sqrt{l^2 + w^2} / \rho \rceil + 1) \times 2$ 。因此对于节点间所建立的任意一条路由而言, 其路径长度 L_r 满足如下条件:

$$L_r \leq L_{MAX} = \min(N, (\lceil \sqrt{l^2 + w^2} / \rho \rceil + 1) \times 2) \quad (1)$$

PBMZRP 算法在 IERP 协议的路由查询及路由修复等过程中, 根据修正的 L_{MAX} 判断所选路径的长度以及路由表查询范围, 有效地减少了处理时延以及控制报文的广播次数。

4 算法分析及仿真实验

仿真中采用以下 4 种重要的指标^[10]评测路由算法的性能差别:

分组平均时延 =

$$\frac{\sum_{i,j} (\text{节点 } i \text{ 数据分组 } j \text{ 的接收时刻} - \text{数据分组 } j \text{ 的发送时刻})}{\sum_i (\text{节点 } i \text{ 接收数据分组数})} \quad (2)$$

$$\text{路由协议开销} = \sum_i \text{节点 } i \text{ 发送的路由协议分组} \quad (3)$$

$$\text{分组递交率} = \frac{\sum_i \text{节点 } i \text{ 应用层成功接收到的数据分组数}}{\sum_i \text{节点 } i \text{ 应用层发送的数据分组数}} \quad (4)$$

$$\text{网络吞吐量} = \sum_i \left(\frac{\text{节点 } i \text{ 正确接收的比特数}}{\text{相应报文的传输时延}} \right) \quad (5)$$

仿真场景中分别选取 90 个、150 个节点以群组的形式随机分布在 $3\text{km} \times 3\text{km}$ 的地形范围内, 每个群组大小为 $1\text{km} \times 1\text{km}$, 并存在 10 对随机的业务流。群组逻辑中心的移动速度介于 $[10\text{m/s}, 20\text{m/s}]$, 这与实际场景中行进队伍以每小时几十公里推进的情况是相符的。群组内节点的移动是随机的, 速率也是可变的。通过调节群组移动的暂停时间, 可以实现对拓扑变化的控制。在仿真过程中, 群组的暂停时间选择为 0–600s, 拓扑变化程度依次减缓, 其中 0s 表示群组整体一直处于移动的状态, 600s 则表示群组处于一种相对静止的状态, 但是群内节点却是随机移动的。考虑到网络性能对移动的敏感性, 在每种情况下, 分别进行 3 次移动样本的采集和数据统计。

仿真结果图 3 和图 4 中的(a)–(d)分别反映了平均传输时延、网络开销、分组递交率和网络吞吐量情况。其中图 3 是在 $N = 90$ 情况下的性能仿真结果, 相对于 ZRP 协议, PBMZRP 算法在 4 种性能指标上的表现都优于前者。一方面, PBMZRP 算法根据网络直径调整了最大路径长度限制, 由原来 ZRP 协议中定义的节点数 90 缩减为 24 ($L_{MAX} = (\lceil D_L \rceil + 1) \times 2 = 24$), 这样就在 IERP 的路由过程中, 减少了在中间节点处的路由查询处理时延以及过长路径导致的

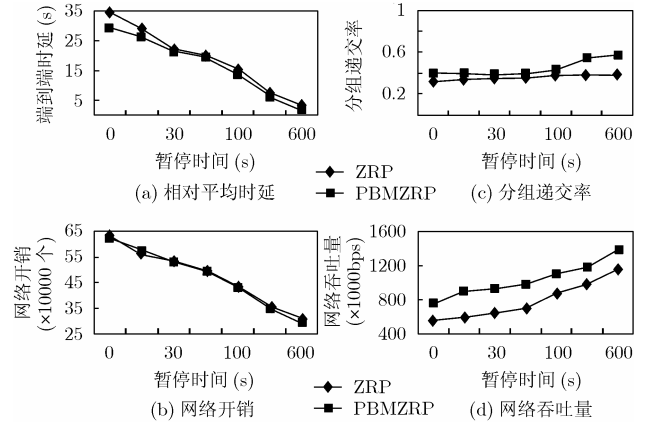


图 3 90 个节点下的仿真结果

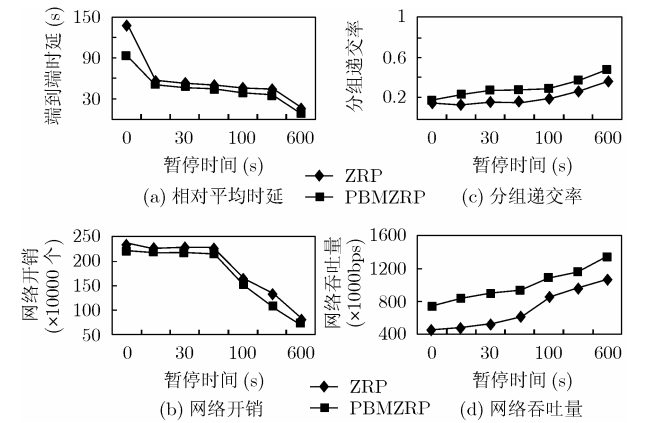


图 4 150 个节点下的仿真结果

网络开销; 另一方面, 由于 ZRP 协议中, 邻节点更新的依据是判断距离上一次监听到该信息的时间间隔是否超过规定的时长, 是的话, 就认为该邻节点已经丢失, 并产生相应的中断以及定时器。这种判断方法有失偏颇, 因为在静态或慢变化的网络拓扑结构中, 有时节点经过一段时间, 可能并没有太大的位置变化; 或者在快变化的网络拓扑中, 即使节点位置不时地发生变化, 但是彼此之间的相对距离仍位于相互覆盖范围之内, 这一点在群组移动模式下非常明显。在这些情况下, 如果仍然频繁地产生类似于邻节点丢失等中断, 势必会造成不必要的网络开销以及延迟等待。因此, PBMZRP 算法利用节点位置信息, 有效地控制此类中断的产生, 避免了由此而产生的大量开销和时延, 相应的分组递交率以及网络吞吐量也得到了明显改善。

图 4 反映的是 150 个节点在相同范围和业务量情况下的统计结果, 此时最大路径长度由 150 缩减为 24。从仿真曲线中可以看出, 相比于 90 个节点的场景, 在 $N = 150$ 的情况下, 端到端的传输时延、网络开销都大幅度地增加, 而分组递交率以及网络吞吐量都有所下降。这主要是由于网络中节点密度的加大导致了报文发生冲突或碰撞的几率增大, 从而使得相应的网络性能有所下降。但是 PBMZRP 的性能仍然是显著优于 ZRP 协议的, 尤其是传输时延和网络开销, 这是由于最大路径长度较 90 个节点情况下有了更

大程度的调整,使得不必要的开销报文得到了更明显的抑制。

与图 3 对比后可以看出, PBMZRP 的网络吞吐量和分组递交率在群组移动的情况下,对网络节点数的变化并不敏感,相比于 ZRP 协议,其所获得的性能改善表现稳定,优化程度并没有随着移动变化的快慢有明显的跳动。这一点与随机移动方式的网络状况有着比较显著的差别。在群组移动模式下,节点的移动范围有着较多的约束条件,在整个任务执行过程(体现为仿真时长)中,节点的位置变化始终受到所在群的逻辑中心的移动限制。因此对于占绝大比例的组内通信,实际上类似于较小规模的 Ad hoc 网络通信。另一方面,发射机的覆盖范围不变,所以群组内的链路连通性还是比较高的,当节点数小范围变化(仿真中由每群组 30 个节点增至每群组 50 个节点)的时候, PBMZRP 所获得的性能优化,更多的还是依赖于利用位置信息适当调整了网络路由的更新频度和查找过程。

5 结束语

区域路由协议可以同时支持表驱动和按需两种路由方式,这种灵活性使其在自组网的研究及应用中得到了广泛关注。另一方面,移动模式对网络性能的影响至关重要。本文将位置信息和网络直径等参数引入到区域路由选路机制中,对其相关约束条件(路由表更新触发和最大路由长度)做了合理的调整,通过群组移动模式下的仿真验证与分析,证明了这种修正的区域路由算法在战术自组网应用中具有更强的可扩展性,在不同节点密度的作战场景下可获得比 ZRP 协议更好的性能表现。

参 考 文 献

- [1] Royer E M and Toh C K. A review of current routing protocols for ad hoc mobile wireless networks[J]. *IEEE Personal Communications*, 1999, 6(2): 46–55.
- [2] Hass Z J. A new routing protocol for the reconfigurable wireless networks[C]. In Proc. IEEE International Conference in Universal Personal Communications, San Diego, CA, 1997: 562–566.
- [3] Hightower J and Borriello G. Location systems for ubiquitous computing[J]. *Computer*, 2001, 34(8): 57–66.
- [4] Royer E, Lee S, and Perkins C. The effects of MAC protocols on ad hoc network communications[C]. In Proc. IEEE Wireless Communications and Networking Conference, Chicago, IL, 2000: 543–548.
- [5] Cali F, Conti M, and Gregori E. IEEE 802.11 protocol: design and performance evaluation of an adaptive backoff mechanism[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 2000, 18(9): 1774–1786.
- [6] Hong X Y, Gerla M, Pei G Y, and Chiang C C. A group mobility model for ad hoc wireless networks[C]. In Proc. ACM/IEEE MSWiM, Seattle, WA, 1999: 53–60.
- [7] Zonoozi M M and Dassanayake P. User mobility modeling and characterization of mobility patterns[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1997, 15(7): 1239–1252.
- [8] Haas Z J and Pearlman M R. The performance of query control schemes for the zone routing protocol[J]. *IEEE/ACM Trans. on Networking*, 2001, 9(4): 427–438.
- [9] Pearlman M R and Haas Z J. Determining the optimal configuration for the zone routing protocol[J]. *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, 1999, 17(8): 1395–1414.
- [10] Corson S and Macker J. Mobile Ad hoc Networking (MANET): Routing Protocol Performance Issues and Evaluation Considerations. RFC 2501, 1999. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.htm>.

王 杉: 男, 1978 年生, 博士, 研究方向为移动自组网、网络服务质量、无线局域网。

尹 浩: 男, 1959 年生, 研究员, 博士生导师, 研究方向为战术互联网、移动通信信息系统。

魏急波: 男, 1967 年生, 教授, 博士生导师, 研究方向为无线通信信息系统、高速信号处理。