

基于标记的 Ad hoc 网络混合路由协议

马永彩, 宋如顺, 娄燕强

(南京师范大学 数学科学学院, 江苏 南京 210046)

[摘要] 建立健壮的、实用的、快速准确地到达目的节点的路由选择一直是 Ad hoc 网络研究的一个核心问题. 提出了一种改进的基于 GPSR 的路由协议, 加入时间标记减少了路由选择计算和传输延时, 并把节点剩余能量作为路由选择的因素, 实现了剩余能量均衡, 解决了部分节点能量损耗过快导致网络性能恶化的情况. 同时, 提出了一种较好的处理空洞问题的机制, 通过发送警告信息, 对空洞节点进行标记, 避免了节点多次通过同一个空洞而造成的能量消耗问题.

[关键词] 移动自组网, 地理路由协议, 标记, 单跳路由状态表

[中图分类号] TP 393 [文献标识码] A [文章编号] 1672-1292(2009)04-0068-05

Based on the Marked Ad hoc Network Hybrid Routing Protocols

Ma Yongcai, Song Rushun, Lou Yanqiang

(School of Mathematical Sciences, Nanjing Normal University, Nanjing 210046, China)

Abstract It is a core research issue to make the robust, practical, fast and accurate routing selection to the destination node in Ad hoc networks. This paper presents an improved protocol based on GPSR to solve the problem of the rapid collapse of the whole network performance by keeping the nodes' remaining energy balanced as a routing selection factor and adding the time marker to reduce the routing selection calculation and transmission delay. Moreover, the paper puts forward a better mechanism to solve the routing hole problem: sending a warning message by the perimeter node to avoid passing the same hole several times that causes energy consumption.

Key words mobile ad hoc network (MANET), geographic routing, mark, single-hop routing status table

移动通信网络一般都是有中心的, 要基于预设的网络设施才能运行. 例如, 蜂窝移动通信系统要有基站的支持; 无线局域网一般也工作在有 AP (Access Point) 接入点和有线骨干网的模式下. 但对于有些特殊场合来说, 有中心的移动网络并不能胜任. 比如, 战场上部队的快速展开和推进、地震或水灾后的营救等. 这些场合的通信不能依赖于任何预设的网络设施, 而需要一种能够临时快速自动组网的移动网络. Ad hoc 网络可以满足这样的要求. Ad hoc 网络是由一组带有无线收发装置的移动终端组成的一个多跳的临时性自治系统, 网络中的结点不仅要具备普通移动终端的功能, 还要具有报文转发能力, 即要具备路由器的功能. 网络中所有结点的地位平等, 无需设置任何的中心控制结点, 具有独立组网、自组织、多跳路由、动态拓扑和移动节点的能量有限等特点^[1]. 由于以上特点, 路由协议一直是 Ad hoc 网络研究的一个核心问题. 移动自组网的路由算法按照网络结构主要分为基于拓扑的路由协议和基于地理位置的路由协议两类, 按照路由发现机制不同, 又可以分为表驱动路由协议和按需路由协议. 本文主要分析了基于地理位置的 GPSR 路由协议, 并加以改进, 提出了一个比较健壮的对路由空洞节点进行标记的混合路由算法, 避免了节点能量无必要的损耗, 延长了网络的使用寿命.

1 GPSR 地理路由协议概述

大多数的地理路由协议采用的贪婪算法将数据包转发到目的地. 他们的不同主要在于对贪婪路由算法出现空洞时的处理方法不同. Finn 利用限制的洪泛绕过空洞, 该机制的一个缺点就是很难确定一个合

收稿日期: 2009-05-15

通讯联系人: 宋如顺, 教授, 研究方向: 信息网络、保密技术、安全控制. E-mail: 05085@njnu.edu.cn

适的洪泛范围. Kap 等人的 GPSR 算法通过把网络拓扑平面化避免了以上缺点. GPSR 算法是一种无状态、按需的贪婪路由协议, 该协议无须维护路由表, 避免了在节点中建立、维护、存储路由表, 通过应用邻节点和目标节点进行路由选择, 决定数据包的传送路径, 其目的是把数据包传送到距离目的节点最近的节点, 该路由算法能够容忍路径的突然失效, 满足了数据传输的鲁棒性要求.

1.1 GPSR 路由算法

假设在一个无线网络中 V 表示节点集, 网络覆盖区域为 A , n 表示移动节点平均个数, n 个节点分布在 A 中, 网络中的第 i 个节点的惟一标识 ID 表示为 M_i ($1 \leq i \leq n$), 第 i 个节点的通信范围为 R_i , 第 i 个节点的位置表示为 (x_i, y_i) , 邻居节点集合为 N_{M_i} (即 M_i 传输半径内的所有移动节点), d_{ij} 表示两节点 M_i 和 M_j 之间的欧式距离. GPSR 路由协议中当节点需要传输数据包时, GPSR 算法主要包括贪婪转发和边界转发两种模式^[2].

1.1.1 贪婪转发模式

可应用图 1 来解释 GPSR 的贪婪转发 (greedy forwarding) 模式. 当节点 M_1 需要向 M_6 发送数据包时, 它在邻居节点的集合 N_{M_1} 中选择距离目的节点 M_6 最近的节点 M_3 作为下一跳的节点, 然后不停重复该过程, 直到数据包传送到目的节点 M_6 .

GPSR 采用信标 (beaconing) 机制, 节点周期性地向所有邻居节点发送信标信号, 互相获得对方的位置信息等. 发送信标的周期 Δt 取决于网络中节点的移动速度和一跳的范围. 采用贪婪转发的模式, 节点只需了解邻居节点的位置信息, 而无须掌握整个网络中所有节点的信息. 每次转发数据包时, 只需向一个邻居节点转发, 不会造成数据包在网络中泛滥. 但是, 由于采用贪婪转发, 会遇到通信空洞问题 (即不包含比当前需要转发数据包节点更接近的目的节点的节点区域, 如图 2 所示), 也即出现局部优化问题时, 需要把贪婪转发模式转换为边界转发模式. 比如在节点 M_{15} 在它的传输半径 R 中, 离节点 M_{22} 最近的节点是自己, 没有比自己离节点 M_{22} 更近的节点了.

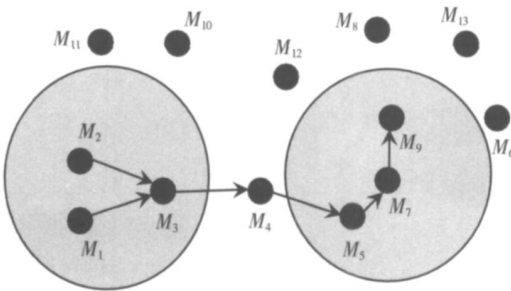


图 1 GPSR 的贪婪转发

Fig.1 Greedy forwarding of GPSR

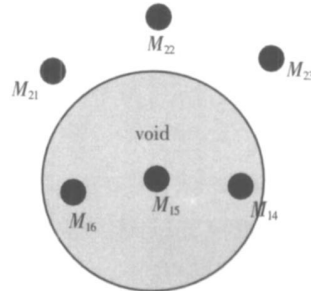


图 2 目的地为 M_{22} 的节点 M_{15} 为 GPSR 的通信空洞

Fig.2 Node M_{15} 's void with respect to destination M_{22}

1.1.2 边界转发模式

边界转发 (perimeter forwarding) 的目的就是寻找比当前节点更靠近目标节点的节点, 走出通信空洞. 执行边界转发, 平面化图是必需的. 在原始网络图的基础上建立平面图, 通过探测空洞周围的节点, 利用右手法则沿空洞周围传输, 即数据包会按照建立的平面图进行边界转发. 当条件满足时, 又恢复贪婪转发模式, 如此不断重复直到数据包被传递到目的节点. 右手法则是指当从 M_i 前传数据包到节点 M_j 时, M_i 的下一前传节点在最接近 (M_i, M_j) 的逆时针方向, 如图 2 中的 M_{16} 节点.

1.2 GPSR 路由协议存在的问题

从上述对 GPSR 路由协议的描述中可以看出该算法存在以下问题:

(1) 在使用最短路径和最小延迟为标准的路由算法中, 某些节点支持了大量的路径, 所以能量更容易被耗尽, 从而造成网络拓扑的急速变化和网络分割. 要提高节点在网络生存的时间必须把节点的能耗均衡作为路由选择的重要考虑因素.

(2) 每次发送数据包时, 都要进行路由选择计算, 当某些节点在某段连续的时间内有大量的数据包需要发送时, 计算消耗比较大.

(3) 在边界转发模式中, 把网络拓扑连接状态映射成平面图形, 路由包到达本地最小节点后, 采用右

手规则绕过障碍区域,然而平面化网络过程复杂,消耗量很大,并且使用右手法则所得到的路径有可能并非最佳路径,右手规则找到最短路径的概率很小,需要经过很多路径的转发,消耗了很多能量.

(4) 对于网络节点移动速度比较慢,或者是在短时间内源节点有大量的信息包向同一个目标节点发送的时候,每个单链必须探测多次,协议开销很大.

(5) 平面化网络图后,采取右手法则处理空洞问题,使得数据包的传输集中在网络图周边,通信不平衡,部分节点能量迅速耗尽.

本文在 GPSR 的贪婪算法基础上,结合 GEAR 路由协议中把能量作为路由选择因素的方法考虑节点剩余能量,并通过节点保存单跳路由表信息,减少选择路由的计算代价,节省节点能量.在处理出现路由空洞的情况时,采用广播方法通知邻居节点,邻居节点对此节点进行标记,以避免重复出现空洞情况,造成不必要的能量消耗.

2 基于时间标记的移动自组网地理路由协议

以下介绍本文所提出的基于标记的移动自组网地理路由协议对 GPSR 的改进部分.

2.1 对 GPSR 的改进部分

在选择下跳转发节点的时候以下跳节点到目的节点的路径和剩余能量的加权和为选择的度量依据,避免因使用能量过低的节点而造成能量消耗不平衡,延长整个网络的生存时间.

在转发过程中节点要保持一张单跳路由状态表以记录发往目的节点的下跳转发节点以及相应的目标节点,如果下跳节点是贪婪转发节点,在接下来的 T 时间内,对于发往同一个目标节点的数据包采取相同的下一跳节点为转发节点并且在 T 减为 0 之前不对该条路由信息改动,除非收到该转发节点能量过低的警告信息,这样可以节省计算邻居节点到目标节点的代价的能量.如果下跳节点是边界转发节点,边界转发节点对此数据包选取邻居节点中到目标节点中代价最小的节点作为下跳转发节点进行转发后,广播通知自己的邻居节点(包括自己的上一跳节点)自己为到某目标节点的边界转发节点,邻居节点对此节点进行标记,在以后的 T 时间内邻居节点中需要向该目标节点发送数据包进行路由选择时,绕开此边界转发节点,避免遇到同样的空洞,造成能量的不必要损失.

2.2 改进协议描述

假设节点需要能够周期性(发射周期记为 Δt)地发射信标知道自己的和邻居节点的位置信息和剩余能量,以及目标节点的位置;每个节点在网络中的标识是惟一的,可以通过标识得到节点在某时刻的位置;协议只考虑计算能耗、传输消耗;传输是双向的,即如果节点 M_j 可以接收到节点 M_i 的数据包,则 M_j 也可以向 M_i 发送数据包,这个假设对于 IEEE802.11 等 MAC 层协议是合理的;最后假设节点可以判断一个数据包是否为第一次经过此节点,如果为第一次则进行转发,否则认为形成死循环丢弃该包.

从 2.1 中的介绍分析可以看出,节点需要维持一个单跳路由状态表(单跳路由状态表格式如表 1 所示),能够记录下在 T 时间(T 的设置根据节点的移动速度、整个网络的节点平均移动速度和下跳节点的剩余能量来决定)内发往下一跳节点的节点标志.表中包括目标节点标志、下跳节点标志、转发节点对于目标节点状态是贪婪路由还是空洞状态(当 $\text{flag} = 0$ 时,表示下跳节点是正常可以经过贪婪状态转发的节点,当 $\text{flag} = 1$ 时,表示下跳节点是边界转发节点)以及单跳状态表中这条记录的剩余存活时间即有效时间.

在进行路由代价计算时(以下均以 M_i 向目标节点 M_j 发送数据,经 M_k 转发为例来说明),由于此协议是以转发节点到目标节点的距离以及转发节点的剩余能量的加权和为选择下跳节点的度量依据,因此选取式(1)为选择的函数,其中 e_k 为节点 M_k 的剩余能量, α 为距离对于选取路由转发节点的影响大小, β 表示剩余能量对于转发节点选择的影响大小,且 $\alpha + \beta = 1$,即路由的选择只与转发节点的剩余能量以及到目标节点的距离有关.

$$h(d_{ij}, e_k) = \alpha d_{kj} + \beta e_k$$

(1)

改进协议详细描述:

(1) 节点进入网络后首先对单跳状态表进行初始化, 目标节点及相应的下跳节点置为 null flag 和剩余时间置 0

(2) 节点 M_i 需要向 M_j 发送数据包时, 首先检查自己的单跳状态表中是否有目的地为 M_j 的记录, 如果有且 flag=0 以及剩余时间 t_i 不为 0 则选取记录中的节点 M_k 作为下跳转发节点; 如果有且 flag=1 或者 $t_i=0$ (对于 $t_i=0$ 的情况, 节点要及时删除该条记录), 则重新进行计算选取下跳转发节点;

(3) 当节点 M_i 有数据必须要发送时, 需要周期性 (周期为 Δt) 地广播发送信标请求信号通知周围节点集 N_{M_i} 自己的地理位置及剩余能量, N_{M_i} 中的邻居节点也将自己的信息反馈给该节点, 此时应答信息要采取单播方式. M_i 收到邻居节点的信息后, 计算每个节点的路由代价 $h(d_{ij}, e_k)$ ($1 \leq l \leq |N_{M_i}|$, $|N_{M_i}|$ 为 M_i 的邻居节点个数), 选取其中代价最小的节点, 设为 M_k (即 $h(d_{ij}, e_k) = \min h(d_{ij}, e_l)$, 其中 $1 \leq l \leq |N_{M_i}|$), 作为下跳转发节点, 同时 M_i 在其单跳路由状态表中记录此路由信息, 即目标节点为 M_j , 下跳节点为 M_k , flag=0 剩余时间置为 T ;

(4) 比较 $h(d_{ij}, e_i)$ 与 $h(d_{ij}, e_k)$ 的大小, 如果 $h(d_{ij}, e_i) \geq h(d_{ij}, e_k)$, 则表明节点 M_i 为通往目标节点 M_j 的正常贪婪转发节点; 如果 $h(d_{ij}, e_i) < h(d_{ij}, e_k)$, 则表明 M_i 没有转发代价比自己小的邻居节点, 即出现空洞, 此时需要向邻居节点广播警告信息, 通知自己为通往目标节点 M_j 的边界转发节点, 邻居节点根据收到的广播信息修改自己的单跳路由状态表. 修改路由表时首先检查路由表中有无经 M_i 到 M_j 的路由信息, 有则重新设置 flag=1 及剩余时间为 T , 如果没有则增加新的路由信息, 其中目标节点和转发节点分别为 M_j 和 M_i , flag=1 及剩余时间为 T ;

(5) 节点 M_k 收到数据包后进行 (2) 中的相同过程, 此时 M_k 相当于 (2) 中的 M_i ; 如果 M_k 在选择下跳转发节点的时候发现自己为边界转发节点, 和 (4) 中一样, 此时需要发出警告信息通知邻居节点自己为边界转发节点, 这时 M_i 应该能够收到警告信息, 然后修改单跳路由状态中的 flag 的值;

(6) 结束.

3 基于标记的混合路由协议的特点

根据以上路由过程, 详细分析了改进协议的特点. 为了实际应用, 改进或者调整后的 GPSR 协议有如下特点:

3.1 对 GPSR 的贪婪转发模式的一个扩展

当对路由选择代价 $h(d_{ij}, e_k) = \alpha d_{ij} + \beta e_k$ 取特殊值 $\alpha=1, \beta=0$ 时, 相当于 GPSR 中的只对传输距离进行考虑; 当 $\beta \neq 0$ 时, 本文把剩余能量作为选择下跳路由的考虑因素, 可以较好地平衡节点的剩余能量, 延长网络的使用寿命.

3.2 对 GPSR 边界转发模式的一个改进

当节点为边界转发节点时, 本文采取邻居节点中路由选择代价最小的节点作为转发节点, 而不是采用右手法则, 因此不需要在消耗了计算路由选择代价的能量后再消耗平面化原始网络状态图的能量, 节省了节点能量.

3.3 节点存储带有标记单跳路由状态表

节点在对数据包进行转发后, 存储下跳路由信息并加入时间标记 T , 当在较短的时间内有大量数据包需要发送到相同目的节点时, 采取相同的下跳节点, 虽然增加了节点的存储信息, 但节省了大量的计算时间, 尤其是网络中节点移动速度比较慢时, 而且其中的时间标记即路由信息有效时间的长短可以通过设定其最大值 T 来设定, 当 $T=0$ 时, 相当于没有存储单跳路由状态表的情况, 当 T 比较大时可以用于节点静止时间比较长的情况 (比如无线传感器网络).

单跳路由状态表中的 flag 标记可以通过邻居节点的边界转发节点警告信息进行设置, 当 flag=1 时, 节点选择下跳转发节点时, 可以避免空洞情况, 避免多次进入同一空洞, 节省转发能量, 较好地处理了空洞情况.

4 结论

在 Ad hoc 网络中 GPSR 是一种健壮的地理路由协议, 但当向相同目的地发送多个数据包并且网络节

点移动速度不是很快时, 频繁的计算路由代价需要消耗大量不必要的能量; 对于边界模式, 平面化网络过程以及产生的过多的跳跃往往消耗较多的能量; 在考虑路由选择时没有考虑节点的剩余能量, 往往会导致某些节点能量的快速消耗代价, 造成较多空洞情况, 形成恶性循环, 减短了网络的寿命.

本文提出一种简易的、更有效的策略, 采取 GEAR 中把节点剩余能量作为路由选择考虑因素的方法, 节点存储带有标记的单跳路由状态表, 对 GPSR 的路由转发机制进行了改进, 减少了由 GPSR 发现的路由造成的网络寿命减短; 同时当转发节点知道自己为边界转发节点时通过发送警告信息通知邻居节点, 避免了信息进入同一个空洞中, 对 GPSR 协议做了完善和改进. 由于单跳路由有效时间 T 、距离对路由选择的贡献或者影响大小 α 以及剩余能量对路由选择的贡献和影响大小 β 的值需要根据实际情况和主观经验确定, 今后的工作是通过仿真软件对这些值给出比较好的参考选择范围.

[参考文献] (References)

- [1] 郑少仁, 王海涛, 赵志峰, 等. Ad Hoc 网络技术 [M]. 北京: 人民邮电出版社, 2005
Zheng Shaoren, Wang Haitao, Zhao Zhifeng, et al. Ad hoc Network[M]. Beijing: Post&Telecom Press, 2005. (in Chinese)
- [2] 牛新征, 周明天, 余堃. 一种新的移动自组网的数据传输策略 [J]. 计算机应用研究, 2009, 26(2): 660-664
Niu Xinzheng, Zhou Mingtian, She Kun. New data transmission scheme in mobile Ad hoc networks[J]. Application Research of Computers, 2009, 26(2): 660-664. (in Chinese)
- [3] 郑锴, 董利标, 陆文骏. 基于地理位置的无线传感器网络路由协议 [J]. 中兴通讯技术, 2008, 14(6): 37-41
Zheng Kai, Tong Libiao, Lu Wenjun. Routing algorithms based on location information for wireless sensor network[J]. ZTE Communications, 2008, 14(6): 37-41. (in Chinese)
- [4] Karp B, Kung H T. Greedy perimeter stateless routing for wireless networks[C] // Proceedings of the Sixth Annual ACM / IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking (MOBICOM 2000). Boston, 2000: 243-254.
- [5] Yu Yan, Govindan R, Estrin D. Geographical and energy-aware routing: A recursive data dissemination protocol for wireless sensor networks[R]. UCLA Computer Science Department, 2001: 1-23.
- [6] 张耀, 贾振红. 求解路由空洞问题的 GEAR 改进算法 [J]. 计算机工程, 2008, 34(12): 94-95
Zhang Yao, Jia Zhenhong. Improved GEAR algorithm for solving routing hole problem [J]. Computer Engineering, 2008, 34(12): 94-95. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]

(上接第 62 页)

- [8] 吴飞, 刘亚楠, 庄越挺. 基于张量表示的直推式多模态视频语义概念检测 [J]. 软件学报, 2008, 19(11): 2583-2868
Wu Fei, Liu Yanan, Zhuang Yueting. Transductive multimodality video concept detection with Tensor representation[J]. Journal of Software, 2008, 19(11): 2583-2868. (in Chinese)
- [9] Xue Xiaobing, Zhou Zhifeng. Distributional features for text categorization[C] // Proceedings of the 17th European Conference on Machine Learning (ECML'06). Berlin, Germany, LNAI 4212, 2006: 497-508.
- [10] 孙春红, 杨明. 一种嵌入分布信息的 Web 文档相似性度量 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2008, 8(3): 67-68
Sun Chunhong, Yang Ming. A novel similarity measurement for web pages by incorporating distribution information[J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2008, 8(3): 67-68. (in Chinese)

[责任编辑: 严海琳]