

Ad hoc 网络邻居节点表自适应构建与维护算法*

温卫¹, 王玲², 张衡阳²

(1. 江西理工大学信息工程学院, 江西赣州 341000; 2. 国防科技大学电子科学与工程学院, 长沙 410073)

摘要: 在 Ad hoc 网络贪婪地理路由协议中, 传统的邻居节点表自适应构建与维护采用周期性信标交换算法, 在移动环境下会导致通信暂盲现象。在分析节点移动对网络连通性影响的基础上, 提出一种基于链路断开概率的自适应信标交换算法来实现邻居节点表自适应构建与维护。仿真结果表明, 该算法不但提高了数据分组传送成功率, 而且还降低了控制开销, 因此该算法适用于移动 Ad hoc 网络。

关键词: Ad hoc 网络; 贪婪地理路由协议; 信标交换算法; 通信暂盲现象

中图分类号: TP393; TP301.6 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2010)06-2243-03

doi: 10.3969/j.issn.1001-3695.2010.06.070

Neighbors table updating algorithm for Ad hoc networks

WEN Wei¹, WANG Ling², ZHANG Heng-yang²

(1. Faculty of Information Engineering, Jiangxi University of Science & Technology, Ganzhou Jiangxi 341000, China; 2. College of Electronic Science & Engineering, National University of Defense Technology, Changsha 410073, China)

Abstract: On the basis of analyzing the phenomenon of temporary communication blindness resulted from fixed period beacon exchange in greedy geographical routing of Ad hoc networks, this paper proposed a new neighbors table updating algorithm. Simulation shows that the adaptive beacon exchange algorithm can acquire high packet success delivery ratio for eliminating the phenomenon of temporary communication blindness, and get low consumption. So the algorithm is scalable and applicable to large-scale Ad hoc networks.

Key words: Ad hoc networks; greedy geographical routing; neighbors table updating; temporary communication blindness

0 引言

对于基于地理位置信息的贪婪地理路由协议^[1~4]来说, 邻居节点表的构建与维护作为贪婪转发策略选择下一跳节点的依据, 是路由协议的基础。在移动环境下, 网络拓扑不断发生变化, 各个节点的邻居节点个数和位置也随之发生变化, 需要各个节点不断进行信标交换, 动态地构建和维护各自的邻居节点表, 掌握局部的拓扑信息。目前使用信标交换的路由协议大多采用周期性信标交换算法, 研究发现, 周期性信标交换算法在移动环境中存在通信暂盲现象^[5], 严重影响数据传输的可靠性。为了克服这种因周期性信标交换算法带来的问题, 有必要设计一种新的邻居节点表自适应构建与维护算法, 以及及时地反映邻居节点的位置变化情况, 提高邻居节点表的构建与维护的准确性及实时性, 为下一跳节点的选择提供可靠的依据。

1 相关工作

由于周期性信标交换的局限性, 文献[6]提出当实际位置与数据库位置的差值超过所设定的门限值时, 便发送信标来更新位置数据库的方法。文献[7]中提出一种自适应位置更新策略, 结合移动预测和按需学习方法来发送信标, 但信标交换没有区分工作节点和空闲节点。文献[8]中提出三种信标交

换算法: a) 基于时间, 周期性的信标交换算法, 运动快的节点信标发送周期比运动慢的节点短; b) 基于距离, 节点每移动一定的距离便发送一个信标; c) 基于速率, 移动速率越快的节点信标发送频率越高。文献[9]中也提出与文献[8]类似的基于距离的信标发送方法, 同时还提出了反应式信标交换及事件驱动的信标发送算法, 但是这种触发的反应式信标会涉及到整个网络, 在数据传送频繁的网络中, 控制开销将会大大增加。文献[10]中提出一种自适应信标交换算法, 节点在链路断开之前发送信标, 同时使邻居节点表中相应的邻居节点过期来达到消除通信暂盲现象的目的。文中所采用的分析是一种极限情况, 缺乏理论推导分析。文献[5]研究指出在统计意义上移出概率与时间存在着——对应的关系, 运行时间越长, 链路断开概率越大。

上述算法从不同程度上克服了周期性信标交换算法存在的缺点, 但是, 这些算法所制定的信标交换周期大多为定性获得, 缺乏数学上的理论推导分析。

2 自适应信标交换算法

节点移动性强的 Ad hoc 网络中, 信标交换的周期可以设计得比较小; 反之, 信标交换的周期可以设计得比较大。如果节点发送信标周期设置较小的值, 就可以提高节点对链路通断

收稿日期: 2009-10-28; **修回日期:** 2009-12-14 **基金项目:** 国家部委基金资助项目(9140A22050408KG0164); 航空科学基金资助项目(20095596016); 陕西省自然科学基金资助项目(2009JM8010)

作者简介: 温卫(1970-), 男, 江西赣州人, 工程师, 硕士, 主要研究方向为计算机网络、Ad hoc 网络; 王玲(1965-), 女, 河南郑州人, 副教授, 博士, 主要研究方向为无线传感器网络、Ad hoc 网络、智能信息处理(wl_anne@sohu.com); 张衡阳(1978-), 男, 湖南衡阳人, 博士, 主要研究方向为无线传感器网络、Ad hoc 网络。

的感知灵敏度,在链路即将断开之前,提前按照贪婪转发策略重新进行分布式的路由选择,可以减缓通信暂盲现象。在移动场景确定的条件下,统计意义上,链路断开概率和运行时间具有一一对应的关系,设定一个链路断开概率门限值,则对应于某一条链路的运行时间,并以此时间来触发下一次信标交换。这种方法可以从理论上进行定量分析,并且具有很大的可行性。根据上述原理,本文提出一种基于链路断开概率的自适应信标交换算法:根据网络系统的 QoS 要求,设定一个链路断开概率门限值,节点则根据周围所有邻居节点的相对状态动态地计算相对应的平均剩余链路寿命值,作为下一次信标交换的周期。基于 SGM(smooth Gauss-semi-Markov)移动模型^[11]分析节点移动对网络连通性能的影响并计算链路断开概率,为网络信标交换算法提供理论依据。

2.1 链路断开概率的计算

如果在时刻 t_0 ,节点 1 和节点 2 之间的链路已经存在,随着节点的移动和时间的推进,链路断开的可能性越来越大。在场景确定,节点的通信距离、节点间相对距离确定的情况下,从数学统计意义上,链路断开概率与时间存在一一对应的关系,如果确定一个链路断开概率门限值,则相应地确定了一个时间,并以此作为下一次信标交换的周期。

从文献[11]中可知,如果将节点的运动时间以时隙 Δt 进行等分,每一个时隙即为一步,在第 k 步时节点 1 和节点 2 的运动速度分别是 v_{1k} 和 v_{2k} ,用 v_k 和 ρ_k 分别表示第 k 步时节点 2 相对节点 1 的相对速度和相对距离,如图 1 所示,因此有如下表达式

$$v_k = v_{2k} - v_{1k}; \quad \rho_k = \rho_{k-1} + v_k \quad (1)$$

由余弦定理可得

$$\rho_k = \sqrt{\rho_{k-1}^2 + v_k^2 - 2\rho_{k-1}v_k \cos \theta_k} \quad (2)$$

$$\theta_k = \arccos \frac{\rho_{k-1}^2 + v_k^2 - \rho_k^2}{2\rho_{k-1}v_k} \quad (3)$$

其中, θ_k 均匀分布于 $[0, \pi)$ 。

将两节点之间的相对距离 ρ 定义为分离距离, ρ 随着节点运动不断发生变化。这里约定初始时刻分离距离用 ρ_0 表示,第 k 步分离距离用 ρ_k 来表示。将节点的通信半径 R 用 ε 等分为 $L = \frac{R}{\varepsilon}$,如图 2 所示,当链路存在时,分离距离 ρ 一定处在 $[0, L\varepsilon]$ 区间内。如果 $\rho \in [(i-1)\varepsilon, i\varepsilon]$, $i \in [1, L]$,则定义 ρ 处于状态 s_i 。链路断开时,即 $\rho_N > R$ 时的情况记为状态 s_{L+1} 。

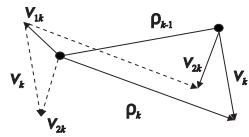


图1 两节点相对运动关系示意图

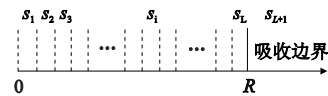


图2 两节点分离距离 ρ 的状态空间

随着节点不断运动, ρ 所处的状态将不断变化,可以用具有吸收边界的马尔可夫链描述 ρ 的状态变化过程,用 P 来表示状态之间的一步转移矩阵^[12]。当 ρ 处于状态 s_{L+1} 时,表示节点 2 移出了节点 1 的通信范围,链路断开, s_{L+1} 为该马尔可夫过程的吸收边界。 $\rho_{k-1} \in s_i$ 经过一步(即一个时隙)后到达 $\rho_k \in s_j$ 的概率为一步转移概率 $P_{ij} = \Pr\{\rho_k \in s_j | \rho_{k-1} \in s_i\}$,分离距离 ρ 最多跨跃 $\lambda = \lceil \frac{2(v_\alpha + \sigma_\alpha)}{\varepsilon} \rceil$ 个状态。

用 $\pi^{(0)}$ 表示 ρ_0 所处状态的概率分布:

$$\pi^{(0)} = (\pi_{s_1}(0), \pi_{s_2}(0), \dots, \pi_{s_L}(0), \pi_{s_{L+1}}(0)) \quad (4)$$

用 $\pi^{(1)}$ 表示经过一步后 ρ_1 所处状态的概率分布

$$\pi^{(1)} = (\pi_{s_1}(1), \pi_{s_2}(1), \dots, \pi_{s_L}(1), \pi_{s_{L+1}}(1)) = \pi^{(0)}P \quad (5)$$

同理可用 $\pi^{(k)}$ 表示经过 k 步后 ρ_k 所处状态的概率分布

$$\pi^{(k)} = (\pi_{s_1}(k), \pi_{s_2}(k), \dots, \pi_{s_L}(k), \pi_{s_{L+1}}(k)) = \pi^{(0)}P^k \quad (6)$$

一步转移概率矩阵 P 可以写成 $P = [P_1, P_2, \dots, P_i, \dots, P_{L+1}]$, P_i 表示 P 中第 i 列向量。根据向量的乘法,可将式(5)(6)改写为

$$\pi^{(1)} = \pi^{(0)}P = [\pi^{(0)}P_1, \pi^{(0)}P_2, \dots, \pi^{(0)}P_i, \dots, \pi^{(0)}P_{L+1}] \quad (7)$$

$$\pi^{(k)} = \pi^{(0)}P^k = [\pi^{(0)}P_1^k, \pi^{(0)}P_2^k, \dots, \pi^{(0)}P_i^k, \dots, \pi^{(0)}P_{L+1}^k] \quad (8)$$

s_{L+1} 为吸收边界, $\pi^{(0)}P_{L+1}$ 表示节点 2 经过一步移出节点 1 通信范围的概率,即链路断开概率。由马尔可夫链的多步转移性质,根据 $\pi^{(0)}$ 和 P 便可得 ρ 经多步转移后所处状态的概率,求出链路断开概率。由式(8)可得以下重要公式

$$\pi_{s_{L+1}}(k) = \pi^{(0)}P_{L+1}^k \quad (9)$$

表示初始状态为 $\pi^{(0)}$ 分布的分离距离 ρ_0 经过 k 步后链路断开概率为 $\pi^{(0)}P_{L+1}^k$ 。

2.2 初始状态分布 $\pi^{(0)}$

对于两个节点分离距离 ρ_0 确知,即 ρ_0 初始状态为 s_i 的情况下,初始状态分布 $\pi^{(0)}$ 可以写为

$$\pi^{(0)} = (0, 0, \dots, 1, \dots, 0) \quad (10)$$

即 $\pi^{(0)}$ 向量中第 i 个元素为 1。

2.3 一步转移概率矩阵 P 的计算

由文献[12]可知转移概率矩阵 P 的 P_{ij} 可表示为:

当 L 远远大于 ε 时,即当 L 足够大, ε 足够小的时候,可以用如下近似表示 $\rho_{k-1} \approx (i - \frac{1}{2})\varepsilon$, $\rho_k \approx (j - \frac{1}{2})\varepsilon$, 因此, P_{ij} 可近似为

$$P_{ij} \approx \varepsilon \cdot f_{\rho_{k-1}|\rho_{k-1}}((j - \frac{1}{2})\varepsilon | (i - \frac{1}{2})\varepsilon) \quad (11)$$

$$f_{\rho_{k-1}|\rho_{k-1}}(\rho_k | \rho_{k-1}) = \int_0^{2r_{\max}} \frac{2\rho_k f(v_k)}{\pi \sqrt{4\rho_{k-1}^2 v_k^2 - (\rho_{k-1}^2 + v_k^2 - \rho_k^2)^2}} dv_k \quad (12)$$

$$f_{v_k}(v_k) = \int_{\min}^{\max} \int_{\min}^{\max} f_{v_k, v_{1k}, v_{2k}}(v_k, v_{1k}, v_{2k}) dv_{1k} dv_{2k} = \quad (13)$$

$$\int_{\min}^{\max} \int_{\min}^{\max} \frac{v_k f_{v_{1k}}(v_{1k}) f_{v_{2k}}(v_{2k})}{\pi \sqrt{4v_{1k}^2 v_{2k}^2 - (v_k^2 + v_{1k}^2 - v_{2k}^2)^2}} dv_{1k} dv_{2k}$$

为了求出上式,必须首先求出 $f_{v_{1k}}(v_{1k})$ 和 $f_{v_{2k}}(v_{2k})$, 即单个节点运动速率的概率密度,由文献[11]推导获得

$$f_{v_{1k}}(v_{1k}) = \frac{1}{\alpha_{\max} - \alpha_{\min} + 1} \frac{\sum_{l=\alpha_{\min}}^{\alpha_{\max}} \sum_{j=1}^l \frac{1}{j} f_{v_\alpha}(\frac{v_{1k}l}{j})}{E\{T\} + E\{T_p\}} + \frac{\frac{(M+1)}{\beta_{\max} - \beta_{\min} + 1} \sum_{l=\beta_{\min}}^{\beta_{\max}} \sum_{j=1}^l f_{v_\beta(j)}(v_{1k})}{E\{T\} + E\{T_p\}} + \frac{M}{\varepsilon_{\max} - \varepsilon_{\min} + 1} \frac{\sum_{l=\varepsilon_{\min}}^{\varepsilon_{\max}} \sum_{j=1}^l f_{v_\varepsilon(j)}(v_{1k})}{E\{T\} + E\{T_p\}} + \frac{1}{\gamma_{\max} - \gamma_{\min} + 1} \frac{\sum_{l=\gamma_{\min}}^{\gamma_{\max}} \sum_{j=1}^l \frac{l}{l-j} f_{v_\beta}(\frac{v_{1k}l}{l-j})}{E\{T\} + E\{T_p\}} + \frac{E\{T_p\} \delta(v_{1k})}{E\{T\} + E\{T_p\}} \quad (14)$$

同理可得 $f_{v_{2k}}(v_{2k})$ 。

在给定运动场景,节点通信范围和节点运动参数确定的情

况下,减缓通信暂盲现象,提高数据分组传输可靠性的关键在于如何设定节点之间的信标交换周期。针对网络系统对可靠性的要求,可以设定一个链路断开概率门限值 P_{Th} ,

$$\pi_{s_{L+1}}(k) = \pi^{(0)} P_{L+1}^k = P_{Th} \quad (15)$$

通过式(15)便可求出相应的信标周期 $T = k \cdot \Delta t$ 。选定的 P_{Th} 越小,得到的信标交换周期 T 越小,当 $P_{Th} = 0$ 时,对应的信标交换周期 T 的最大值为 $\frac{R-\rho}{2v_{max}}$ 。其中 ρ 为两个节点之间的初始分离距离, v_{max} 为节点的最大运动速率。此时在下一个周期内,链路断开概率 $\pi_{s_{L+1}}(k) = 0$,即不会产生通信暂盲现象。针对不同的链路,需要根据节点之间的分离距离 ρ 动态地计算信标交换周期。

3 算法模拟仿真

本文把采用邻居节点表自适应构建与维护算法的贪婪地理路由协议称为 GVAR 协议,并与 GPSR 协议在采用相同运动场景和业务场景条件下进行比较,两者使用相同的空洞处理算法,只是构建邻居节点表时 GPSR 协议采用周期性信标交换算法,而 GVAR 协议采用自适应信标交换算法。评价参数采用即时吞吐量、分组传送成功率和控制开销。仿真平台使用 NS-2.30^[13],仿真场景设置如表 1 所示。

表 1 仿真场景设置

参数	GPSR		GVAR	
场景大小	150	200	250	300
节点数目	10	20	30	40
运动速率	0, [0,2], [1,3], [2,4], [3,5], [4,6] m/s			
通信半径	100 m			
数据类型	CBR 512 bit			
数据速率	10 个/s			
信标周期	5 s	自适应动态计算		
仿真时间	100 s			

图 3 说明采用周期性信标交换的 GPSR 协议在相同的节点运动模型 ($v_a \in [1, 3]$ m/s)、相同的节点通信范围 ($R = 100$ m) 条件下,数据分组传送成功率随着网络规模(通信链路的跳数)的增大而降低。而控制开销也相应地增加, GVAR 协议在控制开销方面要优于 GPSR 协议,如图 4 所示。

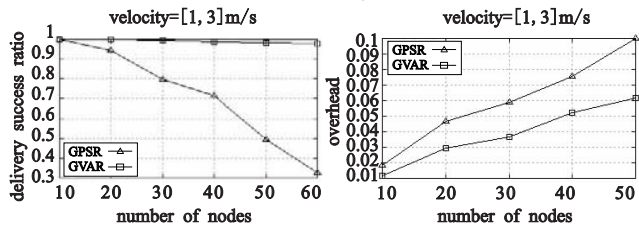


图3 分组传送成功率
[$v_a=[1, 3]$ m/s, n 变化]

图4 控制开销

图 5 说明在网络规模相同、节点通信范围相同的条件下, GPSR 协议数据分组传送成功率随着节点运动剧烈程度的增加而降低,而 GVAR 协议的数据分组传送成功率受网络节点的运动剧烈程度影响不大,对网络拓扑的动态变化具有很好的适应性,能适用于移动无线传感器网络。

图 6 说明使用自适应信标交换算法的 GVAR 协议中控制开销要低于使用周期性信标交换算法的 GPSR 协议。在 GPSR 协议中由于节点的运动速率的增大,数据分组成功传送的总数减少,而信标分组数目基本不变,导致控制开销有所增加。而在 GVAR 协议中,信标交换周期随节点之间相对运动速率的

增大而自适应地减小,产生的信标分组有所增加,导致控制开销也有所增加。

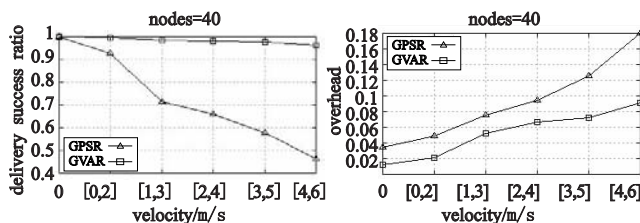


图5 分组传送成功率
[$n=40, v_a$ 变化]

图6 控制开销 [$n=40, v_a$ 变化]

4 结束语

本文针对 Ad hoc 网络贪婪地理路由协议在移动环境中存在的通信暂盲现象进行了研究,在 SGM 移动模型的基础上,分析节点移动对网络连通性的影响,并提出了一种基于链路断开概率的邻居节点表自适应构建与维护算法。仿真结果表明,该算法能够有效地消除通信暂盲现象,大大提高了数据传输可靠性,同时还降低了控制开销,延长了网络使用寿命。

参考文献:

- [1] KARP B, KUNG H T. GPSR: greedy perimeter stateless routing for wireless networks[C]//Proc of MOBICOM. 2000;243-254.
- [2] KUHN F, WATTENHOFER R, ZHONG Y, et al. Geometric Ad hoc routing: of theory and practice[C]//Proc of the 23rd ACM Symposium on Principles of Distributed Computing (PODC'03). 2003.
- [3] KRANAKIS E, SINGH H, URRUTIA J. Compass routing on geometric networks[C]//Proc of the 11th Canadian Conference on Computation Geometry. 1999.
- [4] STOJMENOVIC I, LIN X. Loop-free hybrid single-path/flooding routing algorithms with guaranteed delivery for wireless networks [J]. IEEE Trans on Parallel and Distributed Systems, 2001, 12(10): 1023-1032.
- [5] 张衡阳,李莹莹,刘云辉. 移动无线传感器网络自适应信标交换算法[J]. 软件学报, 2008, 19(11): 3033-3041.
- [6] WOLFSON O, JIANG L, SISTLA P, et al. Databases for tracking mobile units in real time [C]//Proc of the 7th International Conference on Database Theory. [S. l.]: Springer Verlag, 1999:169-186.
- [7] CHEN Q, SALIL S S, HASSAN M, et al. Adaptive position update in geographic routing[C]//Proc of IEEE International Conference on Communications. 2006.
- [8] HEISSEN BUTTEL M, BRAUN T. Optimizing neighbor table accuracy of position-based routing algorithms [C]//Proc of IEEE INFOCOM. 2005.
- [9] GIRUKA V C, SINGHAL M. Hello protocols for Ad hoc networks: overhead and accuracy tradeoffs [C]//Proc of the 6th IEEE International Symposium on World of Wireless Mobile and Multimedia Networks. 2005:354-361.
- [10] SHEN Yao, CAI Yun-ze, XU Xiao-ming. An adaptive scheme for neighbor discovery in mobile Ad hoc networks [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University, 2007, E-12(5).
- [11] 张衡阳,许丹,刘云辉,等. 一种平滑的高斯-半马尔可夫无线传感器网络移动模型[J]. 软件学报, 2008, 19(7): 1701-1715.
- [12] SUNGSOON C, HAYES J P. Impact of mobility on connection in Ad hoc networks[C]//Proc of Wireless Communications and Networking Conference. 2005:1650-1656.
- [13] http://www.isi.edu/nsnam/ns/doc-stable/ns_doc.pdf [EB/OL].