



基于 p -坚持随机通告的邻居发现算法分析及其改进

唐颖¹, 邝育军^{1,2}, 隆克平¹, 袁红¹, 郑国强¹, 杨共燕²

(1. 重庆邮电大学通信与信息工程学院, 重庆 400065;

2. 电子科技大学移动互联实验室, 成都 611731)

摘要: 对现有基于 p -坚持随机发送概率的邻居发现算法进行分析, 结果表明: 最优普适发送概率不具实践价值, 经分析得出, 在单个时隙上进行“多重发送”的方法基本上不能改善邻居发现概率。在此基础上提出了相应的改进方法, 其分析及仿真结果表明: 改进算法能够有效地改进原算法的性能。

关键词: 通信与信息系统; 邻居发现; p -坚持; 冲突解析

中图分类号: TN929.5 **文献标识码:** A **文章编号:** 1674-2850(2010)11-2316-5

Analysis and improvement of p -persistent random announcement based neighbor discovery

TANG Ying¹, KUANG Yujun^{1,2}, LONG Keping¹, YUAN Hong¹,
ZHENG Guoqiang¹, YANG Gongyan²

(1. School of Communication and Information Engineering, Chongqing University of
Posts and Telecommunications, Chongqing 400065, China;

2. Mobile Link Lab, University of Electronic Science and Technology of
China, Chengdu 611731, China)

Abstract: This paper analyzes existing neighbor discovery algorithm based upon p -persistent random announcement strategy. Simulation results have shown that no universal optimal transmission probability p as stated in current literature exists. And the paper also shows that p -persistent multiple announcement proposed by current literature can not improve neighbor discovery performance since it is equivalent to that of single announcement. Thus, the paper proposes a modified p -persistent random announcement strategy for neighbor discovery. Analysis and simulation results show that the proposed method can effectively improve the performance of the original algorithm.

Key words: communication and information system; neighbor discovery; p -persistent; collision resolution

0 引言

在无线网络中, 节点执行邻居发现算法可以发现彼此的存在, 从而获得可达的路径信息。无线 Ad Hoc 网络及传感器网络已经有不少邻居发现机制提出^[1~6], 但其主要目标是针对路由发现和建立, 主要基于网络层协议, 未考虑无线协作接力传输的需求, 不能直接应用。邻居发现机制是实现终端间分布式协作通信的关键, 也是利用有限的无线带宽资源进行高效信息共享的重要基础。衡量邻居发现算法性能的主要指标是邻居发现的成功率和完成邻居发现所经历的时间^[1]。费晓飞等^[7]提出坚持发送概率 p_T 的邻居发现算法, 并指出在不同邻居节点数下都以 0.1 的发送概率总能发现所有邻居。研究对此进行进一步分析, 并给出了一种改进方法以有效地避免发送冲突, 减少邻居发现时间, 提高邻居发现概率。

基金项目: 国家自然科学基金 (60672045)

作者简介: 唐颖 (1985—), 女, 硕士研究生, 主要研究方向: 移动通信

通信联系人: 邝育军, 教授, 主要研究方向: 移动互联、智能交通。E-mail: kyj@uestc.edu.cn

1 系统模型

根据文献[7], 给定 1 个节点数为 N 的网络 (为方便讨论, 假定网络中每个节点是其他节点的邻居)。如果其中的节点 A 和 B 是邻居, 节点 A 发现 B 的充分条件是 A 至少收到 1 次节点 B 发送的广播消息 m 。为了发现邻居, 每个节点在任一时隙分别以概率 p_T 和 $1-p_T$ 选择发送 (T) 或者接收 (R) 状态, 通过多次通告发送和接收, 网络的节点将发现自己的所有邻居。同一时隙不同节点的选择相互独立, 不同时刻同一节点的选择也相互独立。显然, 当某个时隙上有多个节点同时选择发送状态时, 处于监听的节点无法恢复这些发送节点的消息, 即发生冲突。因此, 仅当某个时隙上只有 1 个节点选择发送状态时, 处于监听的节点均会发现这个节点是自己的邻居。节点选择时隙状态如图 1 所示, 在 $k-1$ 时隙, 只有节点 B 选择发送状态, 则其邻居节点均能发现节点 B ; 而在第 1 时隙和第 k 时隙, 同时有 $M(M \geq 2)$ 个节点选择发送状态, 则产生冲突, 表明该时隙无成功发送节点。选择发送状态 T 的节点在当前发送时隙重复发送 W 份广播消息 m 。设发送 1 份消息 m 需经过时间 T_m 到达接收方, 则发送 W 份 m 需要耗时 WT_m 。因此, 1 个时隙定义为 $T_s = WT_m$ 。

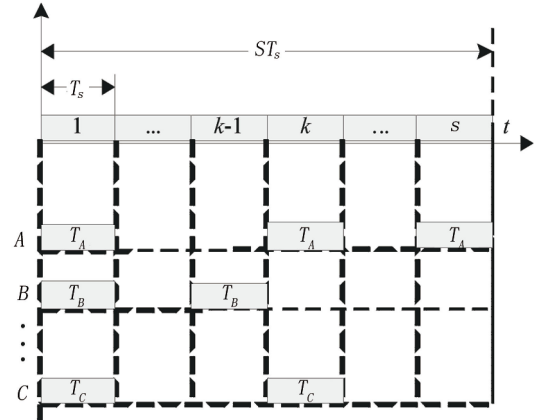


图 1 邻居发现过程示意
Fig. 1 Neighbor discovery process

2 现有邻居发现算法性能分析

文献[7]指出在不同邻居节点数下以 0.1 的发送概率总能发现所有邻居, 并提出“多重发送”可以提高邻居发现的概率。这里将分析该算法存在的问题并给出改进方法。

2.1 最优普适概率分析

首先, 对不重复发送 ($W = 1$) 的情形进行分析。任意时隙, 节点 A 处于接收 (R) 状态, 节点 A 的邻居节点中只能有 1 个节点 B 处于发送 (T) 状态。节点 A 发现邻居的概率 p [7]。

$$p = (1 - p_T)C_{N-1}^1 \cdot p_T(1 - p_T)^{N-2} = (N-1)p_T(1 - p_T)^{N-1}. \quad (1)$$

任意时隙内, 节点 A 发现某一邻居 B 的概率 P 为

$$P = p/(N-1) = p_T(1 - p_T)^{N-1}. \quad (2)$$

定义 1 次伯努利试验为 1 个时隙内节点 A 是否发现某一邻居 B , 当给定时隙数为 s 时, 邻居发现过程可以看作 s 重伯努利试验, 且节点 A 发现某一邻居 B 的次数服从二项分布。由二项分布的泊松逼近公式得出可以用 1 个均值为 sP 的泊松变量来估计 s 时隙内节点 A 听到某一邻居 B 的次数 [7], 那么 s 时隙节点 A 发现某一邻居 B 发生 k 次的概率近似为

$$P(G = k) \approx \frac{\lambda^k e^{-\lambda}}{k!}, \lambda = sP, k = 0, 1, 2, \dots, s. \quad (3)$$

s 时隙内, 节点 A 听到某一邻居 B 的概率等于泊松变量不为 0 的概率, 即邻居发现结束时 (s 时隙), 节点 A 发现某一邻居 B 的概率为

$$P = 1 - e^{-s p_T(1-p_T)^{N-1}}. \quad (4)$$

于是对于给定的 s 和 N , p_T 的最优值 [7] 为

$$p_T = 1/N.$$
(5)

可见， p_T 的最优值与节点数有关，不能简单选取某固定值。为了验证上述分析，如下仿真表明文献[7]的结论并不符合实际需求。

假设所有的节点都在相互的无线电范围，即所有节点相互间均为邻居，且同时开始执行邻居发现过程。如图 2 所示，给出 N 分别为 2, 10, 15 和 20 时，2 000 次蒙特卡罗仿真得到的不同 s , p_T , N 下的邻居发现概率 p 分布。

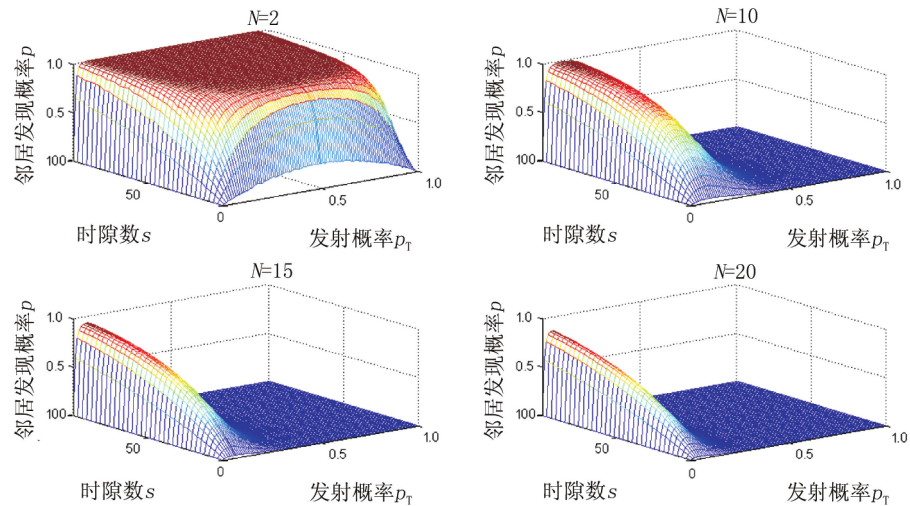


图 2 邻居发现概率分布
Fig. 2 Neighbor discovery probability distribution

从图 2 中可以看出仿真结果与数学模型吻合：邻居发现概率最大值均是在发送概率 p_T 取最优值出现，且 N 越大， p_T 最优取值越小，发现所有邻居所需时隙越多。同时，仿真表明， p_T 越偏离最优值，则发现所有邻居所需时隙越多，一定会浪费时隙，偏离越大浪费越多，因为 p_T 小于最优值，会浪费很多时隙，而 p_T 大于最优值，则会造成大量冲突，2 种情况均会导致邻居发现概率变小。如表 1 所示，当 N 为 15 时，发送概率 p_T 取最优值 0.066 7，在所选 p_T 下，经过 25 个时隙时，邻居发现概率为 0.474 0；当选 p_T 为 0.030 3 时，为了达到相当的邻居发现概率（0.472 1），需要经过 32 个时隙；而当选 p_T 为 0.121 2 时，为了达到相当的邻居发现概率（0.473 7），需要经过 32 个时隙。对于 $N=20$ 的情形类似，不再赘述。

表 1 发送概率 p_T 取值与所需时隙数 s 关系示意
Tab. 1 Required number of slots s vs. transmission probability p_T

$N=15$			$N=20$		
p_T	s	P	p_T	s	P
0.066 7	25	0.474 0	0.050 0	34	0.478 6
0.030 3	32	0.472 1	0.030 3	38	0.475 2
0.121 2	32	0.473 7	0.111 1	54	0.474 2

上述分析表明： p_T 的选择很重要，而这等价于邻居节点数的准确估计，然而邻居发现之前难以准确估计邻居节点数。因此，文献[7]给出的“通用”发送概率 p_T 在多数情况下会造成很大时延和资源浪费，不具有实践价值。

2.2 “多重发送”机制的冲突分析

文献[7]给出算法异步执行时的最佳取值为 $W=2$, $p_T=0.1$. 事实上，采用文献[7]所述的“多重发送”机制（在一个 T , 即 WT_m 内发送消息 W 份），无论是同步还是异步情况下，其冲突情形和邻居发现概率均与 $W=1$ 时相同。

同步方式：如图 3a 所示， $W=1$ 时，有 2 个以上节点选择发送，则冲突； $W=2$ 时，也一定冲突，因为重发的 W 份消息等价于消息长度为 WT_m 时 $W=1$ 的情形。

异步方式：如图 3b 所示， $W=2$ 时，只要有 2 个以上节点选择发送，则一定冲突，如图 3b 中的第

1 个图所示；只有当第 1 个节点的第 1 份消息结束时刻之后，其他节点开始发送第 1 份消息时，第 1 个节点的第 1 份消息可以成功发送，即可以发现 1 个邻居，如图 3b 中的第 2 个图所示，但这种情形出现的概率很小，且节点数越多，概率越小。

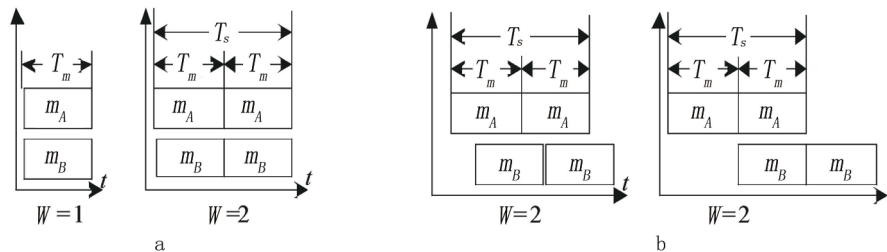


图 3 “多重发送”机制的冲突分析

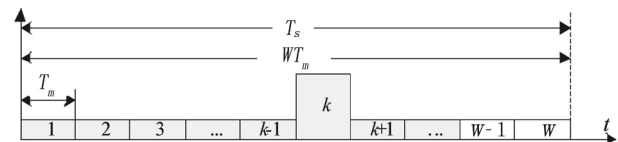
Fig. 3 Analysis of collisions of duplicate transmission mechanism

a—同步；b—异步

a-Synchronized case; b-Nonsynchronized case

3 算法改进及性能分析

在文献[8]的基础上对上述方法进行改进。如图 4 所示，所有节点在任意时隙 T_s 内均以概率 p_T 选择发送状态，以 $1-p_T$ 选择接收状态，而选择发送状态的节点仅在当前时隙 T_s 中随机选择 1 个 T_m 发送 1 份消息，而在其余 T_m 均处于接收状态，即随机选择 1 个自然数 $k \in [1, W]$ ，并在第 k 个 T_m 发送消息。



注：重复发送份数为 1

图 4 一个 T_s 时隙内发送一份消息

Fig. 4 Transmitting a message in a T_s slot

从图 4 可以看出：即使有 N 个节点同时在 1 个时隙 T_s 内选择发送状态，如果 $N-1$ 个节点均选择在第 k 个 T_m 发送消息，而仅有 1 个节点选择在其他 T_m 发送消息时也将会出现成功发送的机会，但实际上 $N-1$ 个节点均在同一个 T_m 选择发送的几率是很小的。因此，改进的算法能够将一部分冲突转化为成功发送，从而大大降低了发生冲突的概率，减小邻居发现时间，提高邻居发现概率。值得指出的是，当 $W=1$ 时，该方法与原方法等效；但当 $W=2$ 时，当 2 个节点均选择发送时，冲突的概率降为原方法的 $1/2$ ，显然 W 越大，冲突概率越小。改进方法适合同步、异步 2 种方式。

仿真分析中，给定网络节点数 $N = [4 : 1 : 30]$ ，并对每一个网络节点数 N 对应 $t = [1 : 100]$ （单位为 T_m ），且为对照起见，同样在参数设置时使节点均在相互的通信范围内，这里选择发送概率为 $p_T = 2/N$ [大于最优取值 $1/(N-1)$]。图 5 给出了同步方式下，改进方法在 $W=2$ 时在相同的网络环境下相对原方法的邻居发现概率增量；可以看出，虽然改进方法仍然选择固定的发送概率，但邻居发现概率总体上均有提高，其中多数情况下提高 0.1 左右，优势明显。这主要是因为改进方法减小了冲突概率，提高了邻居发现概率，减少了邻居发现时间。

图 6 给出了异步方式下，改进方法与原方法在选择发送的节点数 $N_T = [2 : 2 : 20]$ ，每一个 N_T 下取不同 $W = [1 : 1 : 40]$ 时，一个时隙 $T_s (WT_m)$ 下的邻居发现概率。从图 6 中知道：当 $W=1$ 时，改进方法与原方法等价，当 $W>1$ 时，改进方法相比原方法均有改善，且 W 越大改善越多。

上述仿真表明：改进方法相比文献[7]方法通过降低冲突概率，提高了邻居发现概率，相应地减小了邻居发现时间。

4 结论

讨论了文献[7]给出的基于坚持发送概率 p_T 的邻居发现算法，分析表明不存在文献[7]所述的实际

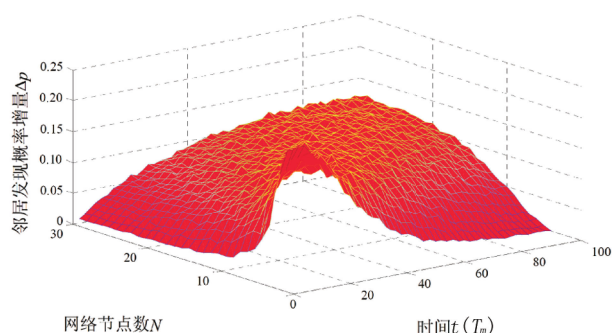


图5 邻居发现概率增量(同步改进 $W=2$ 相对 $W=1$)
Fig. 5 Neighbor discovery probability difference for synchronized cases ($W=2$ vs. $W=1$)

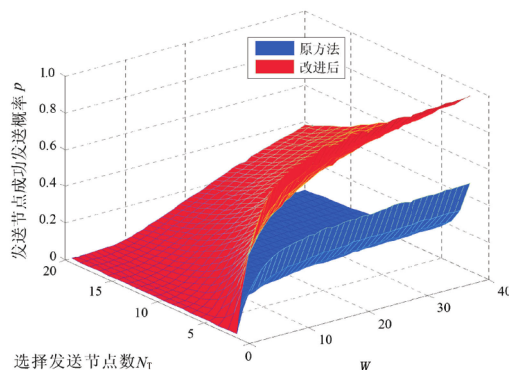


图6 一个 T_s 内发送节点成功发送概率比较(异步)
Fig. 6 Neighbor discovery probability in single T_s for non-synchronized cases

意义的最优普适发送概率,而且,在单个时隙上进行“多重发送”的方法基本上也不能改善邻居发现概率。论文在“多重发送的基础上”给出的改进方法,相比文献[7]方法能够有效的避免发送冲突,提高邻居发现概率,降低邻居发现时间。

[参考文献] (References)

- [1] 赵瑞琴,刘增基.采用定向天线的MANET邻居发现算法研究[J].无线电通信技术,2006,32(4):30-33.
ZHAO R Q, LIU Z J. On neighbor discovery in mobile Ad Hoc networks with directional antennas[J]. Radio Communications Technology, 2006, 32(4): 30-33. (in Chinese)
- [2] 杜军朝,刘惠,陈平.无线传感器网络中邻居发现及链路通信质量预测技术[J].西安电子科技大学学报,2007,34(2):181-186.
DU J Z, LIU H, CHEN P. Study of neighborhood discovery and link quality estimation in WSNs[J]. Journal of Xidian University, 2007, 34(2): 181-186. (in Chinese)
- [3] 田彩霞,吴克军.采用方向性天线的Ad Hoc网络邻居发现策略研究[J].测控技术,2008,27(12):3-6.
TIAN C X, WU K J. Research on strategy of neighbor discovery in Ad Hoc networks using directional antennas[J]. Measurement & Control Technology, 2008, 27(12): 3-6. (in Chinese)
- [4] 赵瑞琴,文爱军,刘增基,等.有效支持智能天线的MANET邻结点发现算法与分析[J].西安电子科技大学学报,2007,34(3):342-347.
ZHAO R Q, WEN A J, LIU Z J, et al. Study of neighbor discovery in wireless ad hoc networks with smart antennas[J]. Journal of Xidian University, 2007, 34(3): 342-347. (in Chinese)
- [5] JAKLLARI G, LUO W J, KRISHNAMURTHY S V. An integrated neighbor discovery and MAC protocol for Ad Hoc networks using directional antennas[A]. Sixth IEEE International Symposium on a World of Wireless Mobile and Multimedia Networks, 2005 (WoWMoM 2005)[C]. Taormina, Italy. 2005. 11-21.
- [6] CORSON S, MACKER J. Mobile Ad Hoc networking (MANET): routing protocol performance issues and evaluation considerations[OL]. [2006-04-01]. <http://www.ietf.org/rfc/rfc2501.txt>
- [7] 费晓飞,胡捍英.无线传感器网邻居发现算法研究[J].微计算机信息,2009(4):145-146,224.
FEI X F, HU H Y. Neighbor discovery algorithm for wireless sensor networks[J]. Microcomputer Information, 2009(4): 145-146, 224. (in Chinese)
- [8] 康凯,林孝康. IEEE 802.11 MAC层中一种减小冲突的方法[J].哈尔滨工业大学学报,2009(1):156-160.
KANG K, LIN X K. A method to decrease contentions in IEEE 802.11 MAC layer[J]. Journal of Harbin Institute of Technology, 2009(1): 156-160. (in Chinese)