

无线传感网络中 SINR 模型下 MIS 算法的研究

冯文峰, 皇运才

(河南理工大学 计算机科学与技术学院, 河南 焦作 454003)

摘 要: 在 SINR 模型上对 MIS 算法进行研究. 首先通过理论分析得出 MIS 算法节点的度受 SINR 模型下路径损耗指数和信噪比值的约束, 然后利用 NetLogo 和 Matlab 软件进行模拟和分析, 最后通过实验得出当路径损耗指数和信噪比的值越小, MIS 算法运行时间越短; 当路径损耗指数和信噪比的值越大, MIS 算法运行时间越长.

关键词: MIS 算法; SINR 模型; 路径损耗指数; 信噪比

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)06-0166-05

Research on MIS Algorithm of SINR Model in Wireless Sensor Networks

FENG Wen-feng, HUANG Yun-cai

(College of Computer Science and Technology, Henan Polytechnic University, Jiaozuo 454000, China)

Abstract: This article is in the SINR model on the research of MIS algorithm. Theoretical analysis shows that the MIS algorithm the node degree constrained path loss exponent and the signal-to-noise ratio of the SINR model, and then simulated and analyzed by NetLogo and Matlab software, finally through experiments, proved that the smaller the path loss exponent and signal-to-noise ratio value is, the shorter the MIS algorithm running time is; the greater the path loss exponent and the signal to noise ratio value is, the longer the running time of MIS algorithm is.

Key words: MIS algorithm; SINR model; path loss exponent; signal-to-noise ratio

1 引言

通常在无线传感网络中, 由于节点并发传输出现的干扰是影响网络性能(例如吞吐量、延时、公平性、和能耗)的一个主要因素. 而这些因素势必会对 MIS 算法产生重要影响. 由于干扰是限制网络性能的一个重要因素, 国内外学者也对该真实性的干扰模型做了大量的研究, 并分析了该模型下网络性能. 常用的干扰模型包括协议干扰模型和物理干扰模型. 协议干扰模型对干扰的刻画是对现实网络中物理场景的一种非常简单、不准确的描述. 而在物理干扰模型中, 若接收节点 v 处的信噪比 (Signal-to-Interference-Plus-Noise-Ratio, SINR) 大于一定的门限时, 则此次传输是成功的, 克服了协议干扰模型的弊端. 虽然物理干扰模型更接近现实模型, 但同时增加了问题的复杂度.

Afek 等人受到生物界启发对 MIS 算法进行研

究, 解决了 MIS 存在的问题^[1-3], 并且在许多模型上对 MIS 算法都进行过改进, 如 beeping 模型^[4] 和 fly 模型^[5], 并且加入了异步唤醒, 碰撞检测, 时钟信号等一些条件. 但在 SINR 模型上对 MIS 算法研究介绍的文献比较少. 不同的模型对 MIS 算法产生的影响也不同.

本文的主要贡献: (1) 在 SINR 模型上研究 MIS 算法; (2) 分析在此物理干扰模型下, 一些干扰因素如路径损耗指数, 信噪比值等对 MIS 算法产生的影响.

2 SINR 模型介绍

本文中所采用的干扰模型是物理干扰模型, 根据接收端的 SINR 值决定链路传输是否成功. 尤其是, 节点 u 发送信息到节点 v 能否被正确接受, 当且仅当

$$\frac{p_v(u)}{N_0 + \sum_{\omega \in S} p_v(\omega)} \geq \beta,$$

式中, $p_x(y)$ 表示是接受节点 x 接收到的节点 y 所发送信号的功率, N 是背景噪声的功率, S 是当前并发传输的节点 V 的子集, β 是一个常量取决于所需的速率, 调制方案等, 它是数据能正确接受的最小门限值^[2].

2.1 SINR 模型下信号的传输

在物理干扰模型下, SINR 值能确定节点的传输范围, 考虑到节点受环境和距离的影响, 为了处理不规则的环境, 提出了成本函数 C , 给顶一个节点集 V , 节点均匀的分布在二位的欧几里得空间内. 对任意的 $v, \omega \in V$, $d(v, \omega)$ 表示 v, ω 之间的欧几里得距离^[6]:

$$c(v, \omega) \in [(1 + \theta)^{-1} \cdot d(v, \omega), (1 + \theta) \cdot d(v, \omega)]$$

式中, $\theta \geq 0$, θ 是不规则环境的边界, 成本函数 C 决定节点的传输机制和干扰行为. 节点 v 到 ω 成功传输当且仅当 $c(v, \omega) \leq r_s$, r_s 是节点的传输半径(或有效传输距离). 而 $c(v, \omega)$ 是与节点距离有关的函数.

2.2 节点有效传输距离

假设所有节点的能量都固定为 P , r_s 为节点在能量的有效传输范围, 在理想环境下(仅有背景噪声的情况下)节点 v 能成功向节点 ω 传输当且仅当 $c(v, \omega) \leq r_s$ ^[6], 换句话说 r_s 满足 $\frac{p}{r_s^\alpha} \geq \beta N_0$, 即

$$r_s = \sqrt[\alpha]{\frac{p}{\beta N_0}} \quad (1)$$

式中, α 范围为 $2 \sim 5$.

2.3 节点距离期望

假设网络中共有 n 个节点, 它们被随机地放在一个 $L \times L$ 的平面上, 其位置服从该区域内的均匀分布, 令每个节点的传输半径为 r_s , 对于网络中任意两个节点 N_1, N_2 , 设其坐标分别为 (x_1, y_1) 和 (x_2, y_2) , 由于 x_1 和 x_2 相互独立, 且服从区间 $(0, L)$ 内的均匀分布, 所以:

x_1 到 x_2 距离的期望值为^[7]

$$\begin{aligned} E(|x_1 - x_2|) &= \frac{1}{L^2} \times \int_0^L \int_0^L |x_1 - x_2| dx_1 dx_2 \\ &= L/3 \end{aligned} \quad (2)$$

同理可知 y_1 到 y_2 距离的期望值为 $E(|y_1 - y_2|) = L/3$.

因此, N_1, N_2 两个节点之间的距离期望值为

$$E(d_i) = \sqrt{E^2(|x_1 - x_2|) + E^2(|y_1 - y_2|)} = \frac{\sqrt{2}}{3} L \quad (3)$$

2.4 SINR 值

无线网络中接收端能正确接受信号是由 SINR 值决定的, 无线信号的传输有两部分决定: (1) 是固定的链路成本函数 $c(v, \omega)$; (2) 是路径损耗指数 α . 结合之前的物理干扰模型, 由于传输过程中节点能量受距离和路径损耗指数的影响, 在该模型下加入这两个因素, 一个节点 N 成功接收包当且仅当它接收到的信噪比 SINR 大于信噪门限. 加入这两个因素后, 由式(3)可得在物理干扰模型向下节点能正确接受的信噪比门限值 SINR 为^[8]

$$\frac{\frac{p}{[E(d_i)]^\alpha}}{N_0 + \sum_{\omega \in S} \frac{p}{[E(d_i)]^\alpha}} = \frac{\frac{\left[\frac{\sqrt{2}}{3} L\right]^\alpha}{p}}{N_0 + \sum_{\omega \in S} \frac{\left[\frac{\sqrt{2}}{3} L\right]^\alpha}{p}} \geq \beta \quad (4)$$

式中, β 范围为 $4 \sim 10$ dB.

2.5 节点度数期望值

对于任一节点 N , 令其度数为 d , 当不考虑边界效应时, 其各邻居均匀分布在以 N 为中心, 半径为 r_s 的圆形区域内. 当不考虑边界效应时, 由式(1)可得各节点的度数的期望值为

$$E(d) = \pi r_s^2 \times \frac{n}{L^2} = \pi \times \frac{n}{L^2} \left[\sqrt[\alpha]{\frac{p}{\beta N_0}} \right]^2 \quad (5)$$

3 对 MIS 算法做改进

最大独立集(Maximum Independent Set, MIS)介绍: 给定一个无向图 $G = \langle V, E \rangle$, 其中 V 为网络中的节点或进程集合, E 为相邻节点组成的边集合, 也即链路, 若存在一个子集 $U \in V$, 且 U 中任何两顶点均不相邻, 并且 V 中的节点要么在 U 中要么和 U 中的节点相连, 则称 U 为 G 的最大独立集, 即 MIS.

改进后的 MIS 算法与原算法(Afek 等人提出的 MIS 算法)不同的是在 SINR 模型下节点的度是 $E(d)$, 由节点的传输半径 r_s , 路径损耗指数 α , 物理干扰模型下 SINR 值共同决定的. 算法分内外两层循环, 内层循环有两次改变, 且内层循环节点的广播概率也是由节点度数 $E(d)$ 决定的. 通常 MIS 算法节点的度数为固定值 n (n 为节点的上界范围), 而在 SINR 模型下 MIS 算法度数为 $E(d)$. 则 SINR 模型下 MIS 算法即为:

```

1. Algorithm: MIS ( $n, E(d)$ ) at node  $u$ 
2. For  $i = 0: \log E(d)$ 
3. For  $j = 0: M \log n // M$  is a constant ( $M = 34$ )
4. * exchange 1 *
5.  $v = 0$ 
6. With probability  $1/2^{\log(E(d)-i)}$  broadcast  $B$ 
   to neighbors and set  $v = 1 // B$  is one bit
7. If received message from neighbor, then  $v = 0$ 
8. * exchange 2 *
9. If  $v = 1$  then
10. Broadcast  $B$ ; join MIS; exit the algorithm
11. Else
12. If received message  $B$  in this exchange,
    then mark node  $u$  inactive; exit the algorithm
13. End
14. End
15. End

```

该算法的所有节点是同步执行的. 其中接收节点为网络 n 的上界、 $E(d)$ 为上界范围(如果没有已知的上界范围, 把 $E(d)$ 设置为 n). 算法分 $\log E(d)$ 个阶段, 每个阶段分 $M \log n$ 步, 其中 M 是个常量, 值为 34. 最初, 算法中所有的节点都是活跃的. 每个阶段的每一步 i 都有两次交换. 第一次交换, 每个活跃节点以概率 P_i 广播消息给它的邻节点, P_i 随着 i 的增加而增大. 第二个交换是, 第一次交换已广播的节点如果其邻节点没有广播消息则该节点加入 MIS. 这样的节点再次广播消息给它的邻节点, 告诉邻节点成为不活跃的节点(即与加入到 MIS 相邻的节点成为不活跃节点), 然后退出算法.

当算法终止, 在 MIS 节点集中不存在两两相邻的节点, 每个不活跃的节点都有一个邻节点在 MIS 节点集中. 所有节点都以很高的概率要么在 MIS 节点集中, 要么和 MIS 节点集中的一个节点相连, 只有当节点既不在 MIS 中又不和 MIS 中的节点相连, 算法才有可能终止出错, 解决了 MIS 问题. 同时, 算法的运行时间是 $O(\log n \log E(d))$, 是每轮中需要执行的两个嵌套循环的轮数. 算法中所有的消息都是 1 bit, 即发送的消息和节点个数成线性比, 具有较好的信息复杂度.

4 实验仿真

(1) NetLogo 是一个用来对自然和社会现象进

行仿真的可编程建模环境, 特别适合对随时间演化的复杂系统进行建模. 利用 NetLogo 软件可以模拟无线网络下 MIS 算法运行过程, 并可以动态的跟踪算法执行的步骤和调整该算法参数设置. 图 1 是用 NetLogo 仿真的当节点个数为 100, 节点度数为 10 情况下的 MIS 算法仿真图. 其中深灰色节点构成的集合即为 MIS 节点集, 浅灰色节点即为普通节点.

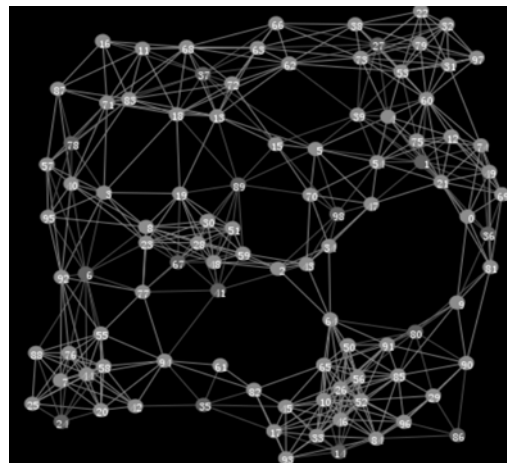


图 1 度数为 10 的 MIS 算法示意图

(2) 验证 SINR 模型下的干扰因素对节点度数和算法执行时间的影响.

由于在 SINR 模型下, MIS 算法节点度数的变化会导致算法信息的发送概率以及外层循环的改变, 从而影响算法的运行时间. 将影响 SINR 模型下节点度数期望值 $E(d)$ 的参数按表 1 设置.

表 1 参数设置表

参数类别	设定量
节点初始能量 P	1 000 dB
节点个数 n	100
背景噪音 N_0	20 dB
节点分布的平面区域 $L \times L$	10×10
路径损耗指数 α	2~5
信噪比 SINR 值	4~10 dB

根据表 1 设置的参量进行赋值, 用 Matlab 软件进行仿真, 其中 x, y 分别代表路径损耗指数 α , 信噪比值 β 的取值范围, 节点度数期望值函数 $E(d)$ 的仿真结果如图 2 所示.

除去函数中一些常量因素(如节点个数, 节点的分布区域以及节点能量和物理干扰模型下背景噪音)的影响, 由图 2 可以看出在 SINR 模型下, 路径损耗指数 α , 信噪比值 β 对节点度数期望值 $E(d)$ 的影响, 当路径损耗指数 α , 信噪比值 β 取值较小的时候节点度数的期望值越大; 当路径损耗指数 α , 信噪

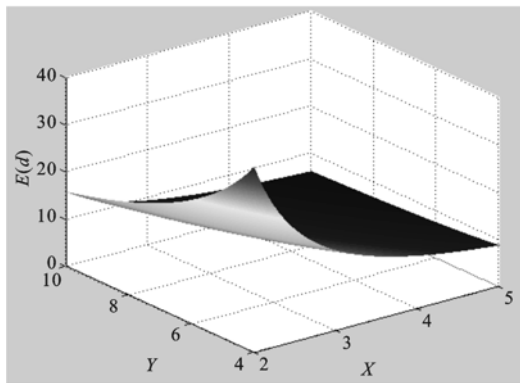


图 2 路径损耗指数,信噪比值和节点度数关系图

比值 β 取值较大的时候节点度数的期望值越小. 也就是说在 SINR 模型下, MIS 算法的节点度数在 SINR 模型下会随路径损耗指数 α , 信噪比值 β 的改变而动态变化, 从而导致在该模型下 MIS 算法动态的变化.

由图 2 可知节点度数期望值 $E(d)$ 的取值范围为 $0 \sim 40$, 而 MIS 算法中节点的度数取值都为整数, 且节点度数取值不能为 0. 则 $E(d)$ 取值范围为 $1 \sim 40$ 个整数点, 接下来将这 40 个值应用到 MIS 算法中, 利用 NetLogo 软件进行试验仿真, 在每个度数下运行 MIS 算法 100 次, 求其在每个度数值下节点运行步数的平均值. 每个度数对应的 MIS 算法运行步数的平均值如表 2 所示.

表 2 节点度数和算法运行步数参数表

节点度数 期望值	MIS 算法 运行步数	节点度数 期望值	MIS 算法 运行步数
1	17.10	21	7.86
2	16.72	22	7.59
3	14.29	23	7.30
4	13.85	24	7.38
5	12.76	25	7.45
6	12.07	26	7.84
7	11.87	27	6.88
8	10.61	28	6.76
9	9.92	29	6.74
10	9.90	30	6.35
11	9.36	31	6.56
12	9.15	32	6.64
13	9.03	33	6.03
14	8.71	34	6.40
15	8.58	35	6.16
16	8.59	36	5.96
17	8.42	37	5.66
18	7.81	38	6.23
19	7.66	39	6.19
20	7.97	40	6.02

用 Matlab 验证 α, β 对 MIS 运行步数的影响, 也对算法运行时间的影响, 如图 3 所示, 当 α 取值范围为 $2 \sim 5$, β 取值范围为 $4 \sim 10$ dB 时, MIS 算法执行步数的区间为 $4 \sim 14$. 由表 2 可知当节点度 $E(d)$ 数越小时算法执行的步数越长, $E(d)$ 越大时算法执行的步数越短, 最后 MIS 算法运行步数趋近于 6. 由前面所知, 节点度数 $E(d)$ 受 α, β 影响较大, 即当 α, β 较小时节点度数 $E(d)$ 较大, MIS 算法执行步长越短, 当 α, β 较大时, 节点度数 $E(d)$ 较小, MIS 算法执行步长就越长. 也就是说在 SINR 模型下, 路径损耗指数 α , 信噪比值 β 越小, 节点度数 $E(d)$ 较大, MIS 算法运行时间就越短, 路径损耗指数 α , 信噪比值 β 越大, 节点度数 $E(d)$ 较小, MIS 算法运行时间就越长, 由此验证了 SINR 模型下, 路径损耗指数 α , 信噪比值 β 对 MIS 的影响.

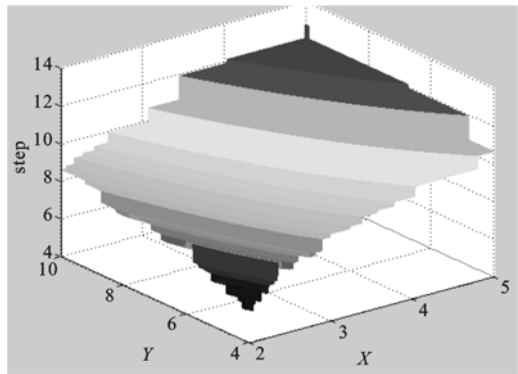


图 3 路径损耗指数,信噪比值和 MIS 算法执行步数关系图

图 3 图形成梯形结构, 也就说 x, y 分别代表的的路径损耗指数 α 和信噪比值 β 不同的值会对应一个相同的节点度数, 这就导致算法执行的步数也对应同一个值. 也就是说 x, y 取不同的值会对应一个相同的节点度数, 从而对应路径损耗指数和信噪比取不同的值时算法的执行步数相同, 节点步数, 路径损耗指数和信噪比形成的图形成梯形分布, 且路径损耗指数和信噪比取值较大时, 算法执行步数越长, 路径损耗指数和信噪比取值较小时, 算法执行步数越短.

5 结束语

本文在 SINR(物理干扰模型下)对 MIS 算法做了研究和分析, 通过 NetLogo 对 MIS 算法进行了仿真, 并用 Matlab 软件验证和分析了 SINR 模型下路径损耗指数和信噪比值对 MIS 算法的影响. 通过实验分析得出路径损耗指数 α , 信噪比值 β 越小, 节点

度数 $E(d)$ 较大, MIS 算法运行时间就越短; 路径损耗指数 α , 信噪比值 β 越大, 节点度数 $E(d)$ 较大, MIS 算法运行时间就越长。

MIS 算法可作为分簇算法中簇头选举策略, 而通过在 SINR 模型下分析 MIS 算法, 发现算法只受路径损耗指数和信噪比的影响, 造成算法度数的改变, 其算法复杂度和信息复杂度都未改变。下一步就可以把这种新的 MIS 算法应用到分簇算法中去。

参考文献:

- [1] Christoph Lenzen, Roger Wattenhoffer. Distributed algorithms for sensor networks[J]. Philosophical Transactions of The Royal Society A Mathematical Physical and Engineering Sciences, 2012, 370(1958): 11-26.
- [2] 樊帅, 张林, 冯伟, 等. 基于物理干扰模型的分布式传输调度算法[J]. 清华大学学报, 2011, 51(11): 1631-1636.
- [3] Afek Y, Alon N, Barad O, et al. A biological solution to a fundamental distributed computing problem[J]. Science, 2011, 331(6014): 83-185.

- [4] Yehuda Afek, Noga Alon, Ziv Bar-Joseph, et al. Bee-ping a maximal independent set[DB/OL]. [2013-07-09] (2012-06-01). cs Ds, <http://arxiv.org/abs/1206.0150>.
- [5] Yehuda Afek, Noga Alon, Ziv Bar-Joseph. MIS on the fly[DB/OL]. [2013-07-09] (2011-06-10). cs Dc, <http://arxiv.org/abs/1106.2126v1>.
- [6] Christian Scheideler, Andrea W Richa, Paolo Santi. An $O(\log n)$ dominating set protocol for wireless ad-hoc networks under the physical interference model, ISBN: 978-1-60558-073-9 [R]. New York: ACM, 2008.
- [7] 袁锦绣. 基于 LDHT 方案的移动 Adhoc 网络性能分析[J]. 福建电脑, 2009, (12): 71-72.
- [8] 刘永振. 无线自组织网络干扰模型[D]. 安徽: 中国科学技术大学, 2009.

作者简介:

冯文峰 男, (1975-), 博士后, 副教授. 研究方向为复杂网络、无线传感网络。

(上接第 165 页)

参考文献:

- [1] Huang H-P, Jeng J-C. Monitoring and assessment of control performance for single loop systems[J]. Industrial Engineering Chemistry Research, 2002, 41(5): 1297-1309.
- [2] Sun H, Wu J. Scale-free characteristics of supply chain distribution networks[J]. Modern Physics Letters B, 2005, 19(17): 841-848.
- [3] 宫晓曼. 一种云计算环境下的最优物流服务商选择方法[J]. 物流技术, 2013(12): 423-425.
- [4] 宋明红, 俞华锋, 陈海燕. 改进量子进化算法在计算机网络路由选择中的应用研究[J]. 科技通报, 2014(1): 170-173.
- [5] Zhao K, Kumar A, Harrison T P, et al. Analyzing the resilience of complex supply network topologies against random and targeted disruptions [J]. IEEE

Systems Journal. 2011, 5(1): 28-39.

- [6] 周少平, 荆涛, 任义广. 定性定量相结合的探索性分析建模[J]. 计算机仿真, 2009, 26(10): 87-89.
- [7] 李一, 李东海, 曾河华. 机炉协调控制系统的鲁棒性能分析[J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2007, 47(5): 674-677.
- [8] 袁少强, 李行善. 现代飞行控制系统的稳定鲁棒性评估[J]. 仪器仪表报, 2004, 25(4): 851-852.
- [9] Tyreus B D, Luyben W L. Tuning PI controllers for integrator/dead time processes [J]. Industrial Engineering Chemistry Research, 1992, 31(31): 2625-2628.

作者简介:

韩红章 男, (1981-), 硕士研究生, 实验师. 研究方向为网络与信息安全。