

应用三个移动锚节点的非测距定位方法

崔焕庆^{1,2,3}, 王英龙^{1,2,3}, 周传爱⁴

(1. 山东科技大学 信息科学与工程学院, 山东 青岛 266510; 2. 山东省计算中心, 山东 济南 250014;
3. 山东省计算机网络重点实验室, 山东 济南 250014; 4. 青岛滨海学院 综合学院, 山东 青岛 266555)

摘要: 针对使用单个移动锚节点的非测距定位方法精度较低的问题, 提出一种使用三个移动锚节点的非测距定位方法: 三个锚节点在移动过程中相对位置不变, 并周期性广播数据包, 而未知节点利用接收到的具有相同时间戳的两个或者三个锚节点信息进行质心定位。采用 Scan 作为信标的移动路径, 并使用 OMNET++ 进行了仿真实验, 结果表明, 该方法比使用单个移动锚节点提高了定位精度, 且不受节点部署密度的影响。

关键词: 移动锚节点; 非测距; 无线传感器网络; 质心; 定位

中图分类号: TP393 文献标志码: A 文章编号: 1672-3767(2011)01-0053-05

Three Mobile Anchor Nodes Aided Non-ranging Localization Method

CUI Huanqing^{1,2,3}, WANG Yinglong^{1,2,3}, ZHOU Chuanai⁴

(1. College of Information Science and Engineering, Shandong University of Science and Technology, Qingdao, Shandong 266510, China;

2. Shandong Center of Computer Science, Jinan, Shandong 250014, China;

3. Shandong Key Lab of Computer Network, Jinan, Shandong 250014, China;

4. Comprehensive College, Qingdao Binhai Institute, Qingdao, Shandong 266555, China)

Abstract: To improve the accuracy of non-ranging localization algorithm with single mobile anchor node, a three mobile anchor nodes aided non-ranging localization method was proposed. In this method, three mobile anchor nodes keep their relative positions stable in the process of their movement and they broadcast data packets periodically. The unknown nodes made the centroid localization based on two or three anchor node messages with same time stamps. Using Scan as the moving path of beacons, the simulation was made by using OMNET++. The results showed that the accuracy of localization with this method was improved by comparing to that with single mobile anchor node, and was not affected by the deployment density of nodes.

Key words: mobile anchor node; non-ranging; wireless sensor network; centroid; localization

20 世纪 90 年代以来, 无线传感器网络得到了广泛应用, 其应用领域从最初的军事领域扩展到反恐、防爆、环境监测、医疗保健、家居等众多领域, 能完成传统系统无法完成的任务。位置信息在无线传感器网络中有着举足轻重的地位: 一是由于位置信息在诸多应用领域(如目标跟踪)扮演着十分重要的角色; 二是位置信息可以辅助进行网络路由和管理, 从而节省网络能量, 延长网络生存期。

无线传感器网络的定位包含两类问题, 即内部节点的定位和外部目标的定位, 前者是后者的基础。节点

收稿日期: 2010-10-28

基金项目: 国家自然科学基金项目(60802030, 60773034); 山东省科技攻关计划项目(2007GG2QT01007); 山东省自然科学基金项目(ZR2009GQ002, ZR2010FQ014); 山东省中青年科学家科研奖励基金项目(BS2009DX011); 青岛市科技发展计划项目(KZJ-47, 09-1-3-50-ch); 山东科技大学科学研究“春蕾计划”项目(2009AZZ168)。

作者简介: 崔焕庆(1979—), 男, 山东泰安人, 讲师, 博士研究生, 主要从事无线传感器网络和高性能计算等方面的研究。
E-mail: smart0193@163.com.

王英龙(1965—), 男, 山东菏泽人, 研究员, 博士, 博士生导师, 主要从事无线传感器网络和计算机网络等方面的研究。

定位方法分为基于锚节点的定位方法和无锚节点的定位方法。基于锚节点的定位方法需要在系统中部署若干可利用 GPS 等设备获取自身位置的节点(称为锚节点),而后其他节点(称为未知节点)通过测量到锚节点的距离、角度等信息进行定位。而无锚节点的定位方法则利用节点间的相互关系,各节点以自身为参考点建立相对坐标。基于锚节点的定位方法比不利用锚节点的定位方法能够得到更高的定位精度。

在基于锚节点的定位方法中,锚节点越多,定位精度越高,但是锚节点比未知节点的成本要高很多。研究表明,如果网络中有 10% 的节点为带有 GPS 装置的锚节点,整个网络的成本将提高 10 倍^[1]。因此,许多学者提出移动锚节点辅助的定位方法。此类方法使用一个可以获取自身位置的移动锚节点在网络部署区域内移动,并同时发送包含其位置信息的数据包,形成一系列的虚拟信标,而未知节点利用虚拟信标进行定位。以往的方法通常只使用一个移动锚节点,而本文提出一种使用三个移动锚节点的定位方法,以提高定位精度。

1 相关工作

移动锚节点辅助的定位方法有测距(range-based)和非测距(range-free)两类。测距定位方法需要使用 RSSI(received signal strength indicator)、ToA(time of arrival)或 TDoA(time difference of arrival)等方法测量移动锚节点与未知节点之间的距离或角度等信息,从而实现定位。Sichitiu 等^[1]提出了一种基于 RSSI 测距的单移动锚节点辅助定位方法,该方法在校准信号强度模型后,建立对应于不同信号强度的距离的概率分布,未知节点利用 RSSI 和锚节点位置估算自己的位置。Sun 等^[2]提出并比较了几种基于概率的定位方法,这些方法需要未知节点在接收到移动锚节点的位置信息后,使用 Bayesian 推理或者加权平均值估算自身的位置。Bahi 等^[3]提出的方法要求移动锚节点按照 Hilbert 曲线在网络区域内进行移动并广播其位置信息,未知节点选择 H-key 处的锚节点信息进行定位。Zhang 等^[4]提出的方法是使用 TDoA 技术测量移动锚节点与未知节点之间的距离,而后使用三边测量法计算未知节点位置。

非测距定位有两种实现方法:一是估算未知节点所在的区域,然后利用该区域的质心作为其位置估计值;二是求出两条经过未知节点的曲线,而后利用曲线交点的位置作为其位置估计值。Ssu 等^[5]提出的基于弦的中垂线猜想的定位方法中,未知节点选择移动锚节点通过其通信区域的三个位置构造两条弦,而后利用两条弦的中垂线交点作为未知节点的位置估计。为提高上述方法的精度, Lee 等^[6]提出利用锚节点信息构建未知节点所在的可能地理区域,从而使用该区域的质心作为节点位置的估计。Guerrero 等^[7]提出的 ADAL(azimuthally defined area localization)算法需要移动锚节点配有可旋转的定向天线,并周期性广播其位置等信息,而后未知节点将接收到的锚节点信息产生的交叉区域质心作为自己的估计位置。

上述非测距定位方法均使用一个移动锚节点,定位精度较低,且对锚节点移动路径的依赖性较强。Patro 等^[8]提出一种使用四个移动锚节点的非测距定位方法。四个移动锚节点移动到待定位节点的周围构成一个正方形,而后未知节点利用这个正方形的质心作为位置估计值。本文在此基础上,将移动锚节点数量设置为三个,而后按照任意路径进行移动,并实现未知节点的定位。

2 TMAL 定位方法

假定移动锚节点的通信区域是一个半径为 R 的圆。TMAL(three mobile anchor assisted localization)算法的基本思想是由三个移动锚节点组成一个边长为 R 的等边三角形,并在移动过程中保持相对位置不变。三个锚节点周期性广播包含其位置、时间戳、ID 的数据包,未知节点根据其接收到的锚节点信息,确定自己所在的区域,选择该区域的质心作为位置估计值。

如图 1 所示,左上角为坐标原点 $(0,0)$,三个锚节点位于 $O_1(x,y)$, $O_2(x+R,y)$ 和 $O_3\left(x+\frac{R}{2},y+\frac{\sqrt{3}}{2}R\right)$, 则三个锚节点的通信区域产生六个交点,其中三个交点即三个圆心,另外三个交点为 $I_1\left(x+\frac{R}{2},y-\frac{\sqrt{3}}{2}R\right)$, $I_2\left(x-\frac{R}{2},y+\frac{\sqrt{3}}{2}R\right)$ 和 $I_3\left(x+\frac{3}{2}R,y+\frac{\sqrt{3}}{2}R\right)$ 。

未知节点只有接收到同一时刻不少于两个锚节点发出的信息,才开始估算自己的位置 x_{est}, y_{est} ,那么就

有四种可能(以三角形近似表示可能的区域):

1) 未知节点位于等边 $\triangle O_1 O_2 O_3$ 内, 则

$$\begin{cases} x_{\text{est}} = x + \frac{R}{2} \\ y_{\text{est}} = y + \frac{\sqrt{3}}{6}R \end{cases}; \quad (1)$$

2) 未知节点位于等边 $\triangle O_1 I_1 O_2$ 内, 则

$$\begin{cases} x_{\text{est}} = x + \frac{R}{2} \\ y_{\text{est}} = y - \frac{\sqrt{3}}{6}R \end{cases}; \quad (2)$$

3) 未知节点位于等边 $\triangle O_1 I_2 O_3$ 内,

$$\begin{cases} x_{\text{est}} = x \\ y_{\text{est}} = y + \frac{\sqrt{3}}{3}R \end{cases}; \quad (3)$$

4) 未知节点位于等边 $\triangle O_2 I_3 O_3$ 内,

$$\begin{cases} x_{\text{est}} = x + R \\ y_{\text{est}} = y + \frac{\sqrt{3}}{3}R \end{cases} \circ \quad (4)$$

假设三个锚节点按照文献[9]提出的 Scan 路径(图 2)进行移动, TMAL 定位算法的具体步骤如下。

Procedure Anchor()

- ① if it is still in the deployment area
 - ② move to the next position at a given speed;
 - ③ broadcast its position, id and time stamp;
 - ④ else
 - ⑤ exit;
 - ⑥ endif
- end

Procedure SensorNode()

- ① if it receives packets from some anchors at the same time
- ② $num \rightarrow$ number of packets received;
- ③ if $num = 3$
- ④ estimate its position using equation (1)
- ⑤ else if $num = 2$
- ⑥ if the packets are from anchor 1 and 2
- ⑦ estimate its position using equation (2)
- ⑧ else if the packets are from anchor 1 and 3
- ⑨ estimate its position using equation (3)
- ⑩ else
- ⑪ estimate its position using equation (4)
- ⑫ endif
- ⑬ endif

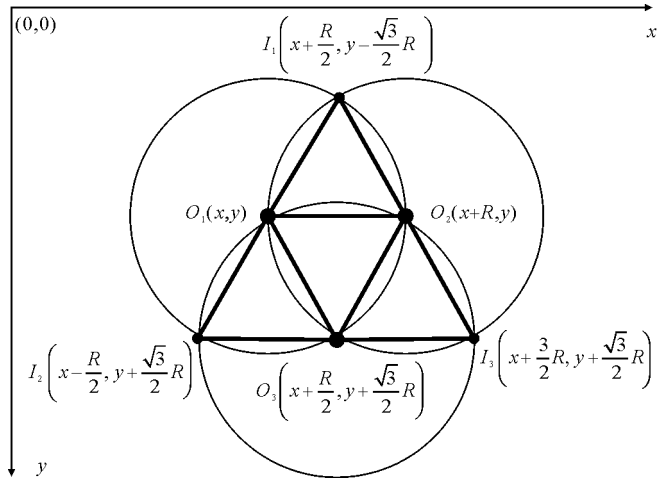


图 1 锚节点相对位置图

Fig. 1 Relative positions of three anchor nodes

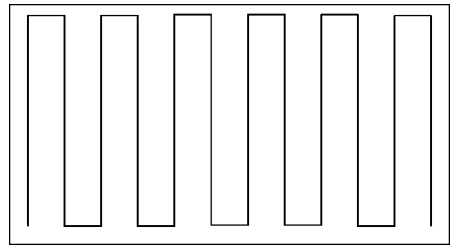


图 2 Scan 移动路径图

Fig. 2 The moving path of Scan

```

⑭ endif
end
    
```

3 仿真实验及结果分析

3.1 仿真实验设置

使用 OMNeT++4.0^[10]对 TMAL 算法进行仿真实验。假设:

1) 网络部署区域是边长为 l 的正方形,且 l 能被 R 整除,从而保证移动锚节点的路径能够全部覆盖整个部署区域;

2) 移动锚节点和未知节点的通信区域均为圆形,且通信半径均为 R 。

设定网络部署区域为 $400\text{ m} \times 400\text{ m}$,节点的通信半径 $R=40\text{ m}$,节点在部署区域内随机分布。移动锚节点每隔 1 s 发送一次数据包。分别在部署区域内部署 $50, 100, 200, 300$ 和 400 个节点,并设定移动锚节点的移动速度为 5 m/s 。

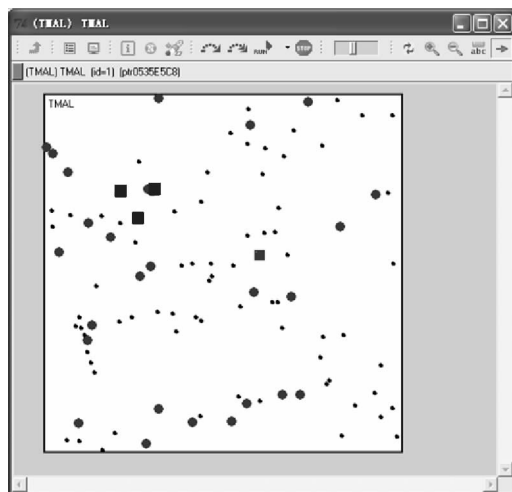
在仿真程序中,建立 Anchor 和 SensorNode 两个简单模块 (simple module),以及 TMAL 网络模块 (network module),TMAL 网络包含三个 Anchor 和若干 SensorNode。Anchor 模块对应的类定义负责实现三个移动锚节点的移动和周期性的数据包发送;SensorNode 模块对应的类定义负责实现各个未知节点接收锚节点消息并估算自身位置。移动锚节点的速度、未知节点个数等参数在 omnetpp.ini 文件中配置。当网络中有 100 个节点,且运行一定时间后,网络部署情况如图 3 所示。

3.2 仿真实验结果及分析

如前所述,针对 5 种节点分布密度进行仿真实验,每种情况运行 10 次,统计 10 次仿真的均值作为最终结果进行分析。

图 4 所示是在网络中部署 50 个节点时,使用 TMAL 算法计算的未知节点估计位置和真实位置的对比图。可见,TMAL 算法的定位精度较高。

将 TMAL 算法与使用单个移动锚节点的非测距定位方法 (single mobile anchor assisted localization, SMAL) 进行对比,结果如表 1、表 2 和表 3 所示。这三个表分别给出了 TMAL 和 SMAL 定位方法在各种节点密度情况下, X 轴、 Y 轴和 (X, Y) 坐标值的最大误差、最小误差和平均误差。可以看出,TMAL 算法产生的 X 轴、 Y 轴和 (X, Y) 坐标值平均误差分别在 $8.82 \sim 9.46\text{ m}$ 、 $7.91 \sim 8.37\text{ m}$ 和 $13.97 \sim 14.04\text{ m}$ 之间,而 SMAL 算法产生的 X 轴、 Y 轴和 (X, Y) 坐标值平均误差分别在 $18.61 \sim 20.16\text{ m}$ 、 $22.54 \sim 24.13\text{ m}$ 和 $32.05 \sim 33.9\text{ m}$ 之间,这说明 TMAL 算法具有更高的定位精度;对于 5 种节点部署密度,TMAL 算法产生的 X 轴、 Y 轴和 (X, Y) 坐标值平均误差相差约为 0.6 m ,而 SMAL 算法则相差约为 2 m ,说明



- 未知节点
- 正在处理消息的未知节点
- 移动信标节点

图 3 网络部署情况示意图

Fig. 3 The sketch of network deployment

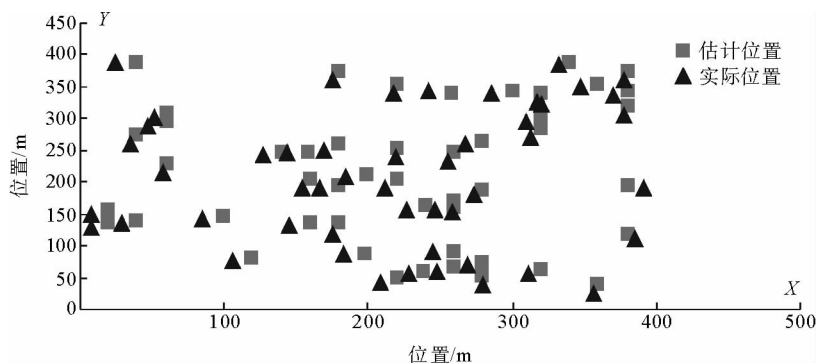


图 4 50 个节点时定位结果图

Fig. 4 The localization results with 50 nodes

TMAL 算法受节点部署密度的影响更小,稳定性更好。

表 1 TMAL 和 SMAL 算法定位产生的 X 轴坐标误差表

Tab.1 The X coordinate errors with TMAL and SMAL localizations

m

节点数	50		100		200		300		400	
	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL
定位方法	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL
最小误差	0.29	0.34	0.29	0.35	0.11	0.14	0.09	0.04	0.08	0.11
最大误差	17.65	36.40	17.71	36.87	17.82	39.54	17.72	37.77	16.23	34.66
平均误差	9.19	20.04	9.46	20.16	9.04	19.93	8.84	19.31	8.82	18.61

表 2 TMAL 和 SMAL 算法定位产生的 Y 轴坐标误差表

Tab.2 The Y coordinate errors with TMAL and SMAL localizations

m

节点数	50		100		200		300		400	
	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL
定位方法	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL
最小误差	0.124	4.95	0.10	2.97	0.09	1.04	0.03	2.01	0.01	1.12
最大误差	17.83	34.64	17.84	33.41	17.56	31.19	17.88	28.97	17.00	34.83
平均误差	8.26	24.13	7.91	22.94	8.09	22.54	8.37	23.25	8.37	23.93

表 3 TMAL 和 SMAL 算法定位产生 (X,Y) 坐标误差表

Tab.3 The (X,Y) coordinate error with TMAL and SMAL localizations

m

节点数	50		100		200		300		400	
	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL
定位方法	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL	TMAL	SMAL
最小误差	7.77	17.40	7.76	6.43	3.88	6.53	3.83	4.71	3.88	4.04
最大误差	17.93	37.56	17.88	37.89	17.91	36.88	17.80	39.55	17.99	39.44
平均误差	14.00	33.90	14.04	33.18	13.99	33.00	13.97	35.39	14.00	32.05

4 结论

针对采用一个移动锚节点的非测距传感器网络节点定位算法的精度较低的情况,提出一种利用三个移动锚节点的非测距定位方法。该方法要求三个移动锚节点在移动过程中保持相对位置不变,而各个未知节点利用接收到的同一时刻的三个或者两个锚节点的数据包进行定位。仿真实验表明,算法针对各种节点部署密度均可以使用,误差一般在 13~14 m。

非测距的定位方法精度较低,下一步可设计采用三个移动锚节点的基于测距的定位方法来提高其定位精度。同时,还应进一步研究锚节点的移动速度对定位精度的影响。

参考文献:

- [1]SICHITIU M L,RAMADURAI V. Localization of wireless sensor networks with a mobile anchor [C]//Proceeding of 2004 IEEE International Conference on Mobile Ad-hoc and Sensor Systems, Ft. Lauderdale,2004:174-183.
- [2]SUN G L,GUO W. Comparison of distributed localization algorithms for sensor network with a mobile anchor[C]//Proceeding of the IEEE International Conference on Networking, Sensing & Control. Taipei,2004:536-540.
- [3]BAHI J M,MAKHOUL A,MOSTEFAOUI A. A mobile anchor based approach for sensor network localization[C]//Proceedings of 3rd IEEE International Conference on Wireless and Mobile Computing, Networking and Communications, White Plains, New York,2007:44-48.
- [4]ZHANG B L,YU F Q. An energy efficient localization algorithm for wireless sensor networks using a mobile anchor node [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Information and Automation, Changsha,2008:215-219.