

一种改进的加权质心定位算法

杨新宇, 孔庆茹, 戴湘军

(西安交通大学计算机科学与技术系, 710049, 西安)

摘要: 针对无线传感器网络质心定位算法精度不高的问题,提出了一种利用信号强度比值的加权质心定位算法(RR-WCL). 系统中的信标节点周期性地发送自身信息,未知节点在收到信标节点的信息之后只记录同一个信标节点的信号强度均值,在收到超过阈值的信标信息后,建立信标节点集合、信号强度集合和信标节点位置集合,最后将未知节点接收到的信标节点信号强度的比值作为加权因子进行定位. 仿真和真实系统实验结果表明,RR-WCL 算法在不同环境下表现稳定,随着信标节点数目的增加,与质心算法相比,其定位精度可提高 $6.4\% \sim 37.25\%$,与加权质心算法相比,其定位精度可提高 $5.12\% \sim 11.23\%$.

关键词: 无线传感器网络;定位;信号强度比值;质心

中图分类号: TP393 **文献标志码:** A **文章编号:** 0253-987X(2010)08-0001-04

An Improved Weighted Centroid Location Algorithm

YANG Xinyu, KONG Qingru, DAI Xiangjun

(Department of Computer Science & Technology, Xi'an Jiaotong University, Xi'an 710049, China)

Abstract: A weighted centroid location algorithm is proposed to improve location precision by using received signal strength indication(RSSI) ratio(RR-WCL). In the RR-WCL algorithm, the anchor nodes send their own information periodically, and the unknown nodes only record the RSSI mean values sent from the same anchor node. When the number of beacon messages that an unknown node received is larger than the threshold, the unknown node will establish a collection of anchor nodes, a collection of signal strength and a collection of anchor nodes' locations. Then the RSSI ratios received from anchor nodes are used as weights to determine the position of an unknown node. The results obtained from simulation and real-system experiments show that the environment has little impact on the performance of locating. Moreover, there is an improvement of 6.4% to 37.25% in location precision compared with the centroid location algorithm and 5.12% to 11.23% in location precision compared with the weighted centroid location algorithm when the number of anchor nodes increases.

Keywords: wireless sensor network; location; signal strength ratio; centroid

无线传感器网络(Wireless Sensor Networks, WSN)节点的自身定位对森林火灾位置、天然气、石油管道泄漏位置的确定等应用具有重要作用. 传感器节点的定位除了用于报告事件发生的地点之外,还在目标跟踪、协助路由和网络管理等方面具有重要作用^[1]. 在无线传感器网络中,定位算法的设计已

经成为了一个很重要的研究方向和热点问题.

当前,典型的无线传感器网络定位算法可分为基于距离的定位算法和距离无关的定位算法^[2-11]. 典型的距离无关定位算法主要有质心算法^[3]、凸规划算法^[4]、DV-Hop 算法^[5]、MDS-MAP 算法^[6]和 APIT 算法^[7]等. 距离无关的定位算法虽然对于节

点的硬件要求比较低,但是定位的误差比较大.

本文提出了一种基于信号强度比值的加权质心定位算法(Weighted Centroid Location Algorithm Based on Received Signal Strength Indication Ratio, RR-WCL). RR-WCL 算法使用未知节点接收到的信标节点信号强度的比值来确定加权因子,以提高定位精度,具有实用性强、定位精度高、受环境变化影响较小并且定位周期短的特点.

1 系统模型

质心算法^[3]的主要思想是:未知节点以所有在其通信范围内的信标节点的几何质心作为自己的估计位置.具体定位过程为:信标节点周期性向邻居节点广播一个信标信号,该信标信号中包含有信标节点自身的 ID 和位置信息,当未知节点在一段时间侦听到来自信标节点的信标信号数量超过某一预设的门限值时,该节点就把自己的位置确定为与之连通的信标节点组成的多边形的质心.

加权质心算法^[3]主要是利用固定信标节点和未知节点之间的接收信号强度指示值(RSSI)作为依据,来计算每个固定信标节点的权值,通过权值来体现固定信标节点对质心坐标决定权的大小,利用权值来体现固定信标节点对质心位置的影响程度,反映它们之间的内在关系.

已知网络中的 N 个固定信标节点 B_i 的位置坐标为 (x_i, y_i) , 其中 $1 \leq i \leq N$, 未知节点 M 的估计位置坐标为 $(x_{\text{est}}, y_{\text{est}})$. 那么加权质心计算公式为

$$x_{\text{est}} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i x_i}{\sum_{i=1}^N w_i}; \quad y_{\text{est}} = \frac{\sum_{i=1}^N w_i y_i}{\sum_{i=1}^N w_i} \quad (1)$$

式中: w_i 表示每个固定信标节点被赋的权值. 通常, 该权值是未知节点到固定信标节点的距离的函数, 如果未知节点不能与固定信标节点 B_i 通信, 那么 w_i 的值为 0.

对于无线传感器网络来说, RSSI 受环境的影响程度是非常大的, 同一个 RSSI 值, 在同一网络拓扑分布中的不同节点对间代表的距离是不同的, 相应的权值也应当是不同的^[8]. 如果未知节点的位置计算仅仅考虑未知节点到某个固定信标节点的 RSSI 值而没有加入其他修正方法, 可能导致算法的误差较大.

2 改进的 RR-WCL 定位算法

针对已有定位算法的缺陷, 本文把未知节点接收到的各信标节点的信号强度比值作为每个固定信标的权值, 既可以体现出不同信标节点对于未知节点的影响力, 也可以做到环境改变时权值基本保持不变.

对于 N 个固定信标节点 $B_1(x_1, y_1), B_2(x_2, y_2), B_3(x_3, y_3), \dots, B_N(x_N, y_N)$, 未知节点 $M(x_{\text{est}}, y_{\text{est}})$ 接收到各信标节点的信号强度分别为 $S_1, S_2, S_3, \dots, S_N$, 本文算法的定位示意图如图 1 所示.

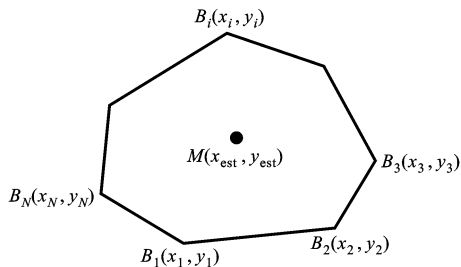


图1 算法定位示意图

定义 R_{ji} 为未知节点 M 分别从信标节点 B_j, B_i 接收到的信号强度的比值, 即:

$$R_{ji} = \frac{S_j}{S_i}, \quad i = 1, \dots, N, \quad j = 1, \dots, N, \quad i \neq j \quad (2)$$

定义权值为

$$W_i = \frac{1}{\sum_{j=1, j \neq i}^N R_{ji}}, \quad i = 1, \dots, N \quad (3)$$

最终得到的加权质心计算公式为

$$X_{\text{est}} = \left(\frac{\frac{x_1}{\sum_{j=2}^N R_{j1}} + \frac{x_2}{\sum_{j=1, j \neq 2}^N R_{j2}} + \frac{x_3}{\sum_{j=1, j \neq 3}^N R_{j3}} + \dots + \frac{x_N}{\sum_{j=1}^{N-1} R_{jN}}}{\frac{1}{\sum_{j=2}^N R_{j1}} + \frac{1}{\sum_{j=1, j \neq 2}^N R_{j2}} + \frac{1}{\sum_{j=1, j \neq 3}^N R_{j3}} + \dots + \frac{1}{\sum_{j=1}^{N-1} R_{jN}}} \right) \quad (4)$$

$$Y_{\text{est}} = \left(\frac{\frac{y_1}{\sum_{j=2}^N R_{j1}} + \frac{y_2}{\sum_{j=1, j \neq 2}^N R_{j2}} + \frac{y_3}{\sum_{j=1, j \neq 3}^N R_{j3}} + \dots + \frac{y_N}{\sum_{j=1}^{N-1} R_{jN}}}{\frac{1}{\sum_{j=2}^N R_{j1}} + \frac{1}{\sum_{j=1, j \neq 2}^N R_{j2}} + \frac{1}{\sum_{j=1, j \neq 3}^N R_{j3}} + \dots + \frac{1}{\sum_{j=1}^{N-1} R_{jN}}} \right) \quad (5)$$

RR-WCL 算法的定位步骤如下.

(1)信标节点周期性发送自身节点 ID 和自身位置信息.

(2)未知节点在收到信息后,只记录同一个信标节点的 RSSI 均值.

(3)未知节点在收到超过阈值 N 个信标信息后,建立以下 3 个集合:

信标节点集合 $S_{\text{beacon}} = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_N\}$;

信号强度比值集合 $S_{\text{RSSI}} = \{R_1, R_2, R_3, \dots, R_N\}$;

信标节点位置集合 $S_{\text{position}} = \{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2), (X_3, Y_3), \dots, (X_N, Y_N)\}$.

(4)根据式(4)计算出每一个信标节点的加权值 w_i .

(5)根据公式(6)计算出未知节点的位置坐标 (x, y) ,该坐标 (x, y) 就是经过 RR-WCL 算法定位出的未知节点坐标.

3 系统仿真

利用 OMNeT++ 软件对本文提出的 RR-WCL 算法进行仿真分析. 仿真环境设定的传感器网络位于 $200\text{ m} \times 200\text{ m}$ 区域内,信标节点和未知节点随机分布在仿真区域中. 信标节点取 100 m 的通信半径,待定位目标点数为 100 个,仿真测试中,所有的数据点代表 100 次实验结果的平均值.

系统仿真模拟了 2 种环境:在模拟环境 1 中,假设无线电路径传播模型的路径衰减因子 $n=2.2$;在模拟环境 2 中,假设无线电路径传播模型的路径衰减因子 $n=4.8$. 在以上 2 种模拟环境中,信标节点数依次取 $10, 20, 30, 40$ 和 50 ,分别对传统的质心算法(Centroid)、加权质心算法(W-Centroid)和本文 RR-WCL 算法进行仿真,结果如图 2、图 3 所示.

从图 2 和图 3 可明显看出,RR-WCL 算法的定位精度得到了显著提高. 当 $n=2.2$ 时,随着信标节点数的增加,RR-WCL 算法的定位精度比 Centroid

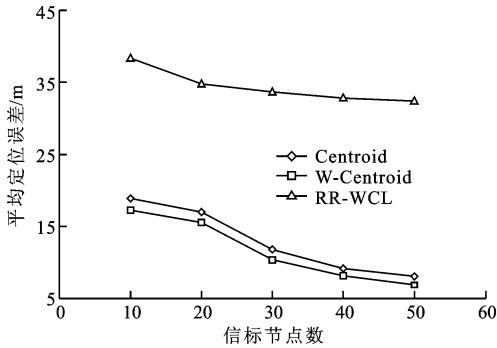


图 2 $n=2.2$ 时 3 种算法的定位误差

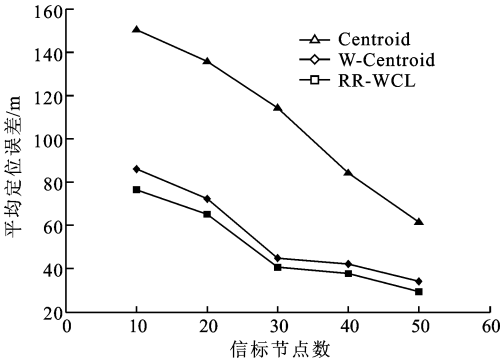


图 3 $n=4.8$ 时 3 种算法的定位误差

算法提高了 $55.17\% \sim 75.15\%$,比 W-Centroid 算法提高了 $8.86\% \sim 14.55\%$;当 $n=4.8$ 时,随着信标节点数目的增加,RR-WCL 算法的定位精度比 Centroid 算法提高了 $49.09\% \sim 52.11\%$,比 W-Centroid 算法提高了 $11.06\% \sim 13.57\%$.

4 Mica2 节点组网实验

实验利用 Mica2 节点组成实验网络系统,对本文提出的加权改进质心算法 RR-WCL 的性能进行实验验证. 系统由 PC 及多个 Mica2 节点组成, Mica2 采用的硬件平台为 MPR400CB. MPR400CB 采用了 Atmel 的 Atmega 128L 微控制器,该控制器从其自带的 ROM 中运行 TinyOS 操作系统,可以利用编程接口板来对其进行开发. Mica2 节点是第 3 代 mote 模块,用于低功耗无线传感器网络.

在所使用的 Mica2 节点中,将 1 个节点作为目标节点,其余作为信标节点,目标节点通过串口线与 PC 相连. 为了检验算法在不同环境下的定位效果,实验分别在水泥地和草地 2 种不同的场地环境下进行实验. 使用 n 个信标节点 ($n=3 \sim 9$),1 个目标节点,随机布置在 $20\text{ m} \times 20\text{ m}$ 的实验场地中,基站获得节点位置信息,调用 MATLAB 应用程序记录定位位置,通过比较测量位置与实际位置的误差来评价定位精度. 实验结果分别如图 4 和图 5 所示.

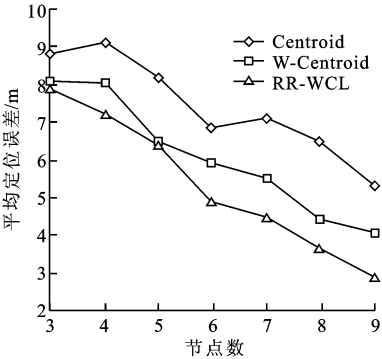


图 4 空旷水泥地环境下的性能比较

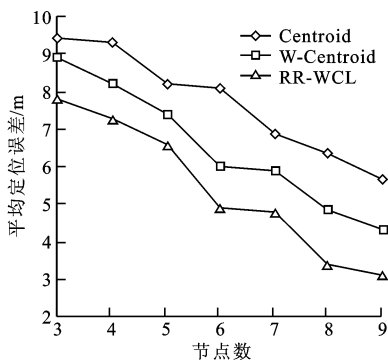


图5 空旷草地环境下的性能比较

从实验结果可明显看出,在不同环境下 RR-WCL 算法的定位精度均得到了显著提高.随着信标节点数目的增加,RR-WCL 算法的定位精度比 Centroid 算法提高了 6.4%~37.25%,比 W-Centroid 算法提高了 5.12%~11.23%.实验数据显示,基于 RSSI 的 W-Centroid 算法的定位精度受环境影响较大,而 RR-WCL 算法受环境的影响较小.

实验结果显示,RR-WCL 算法中信号强度大的信标节点的权值大,信号强度小的信标节点的权值小,显然这样选择加权,能够正确地体现各个信标节点对于未知节点定位决定权,符合加权质心算法的要求.算法采取了信号强度比值法,有效降低了环境对路径传播模型中的路径衰减因子的影响,同时减小了相同距离不同方向的节点信号强度不同带来的误差,使得定位更趋于准确.当环境发生改变时,本文算法的优点更加明显,定位误差不会发生明显变化.

5 结束语

本文提出了基于信号强度比值的加权质心算法 RR-WCL,用未知节点接收到信标节点信号强度的比值来确定加权因子,有效降低了环境对路径传播模型中路径衰减因子的影响,同时减小了由于相同距离不同方向节点的信号强度不同带来的误差,使得定位更加准确.

参考文献:

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005.
- [2] LI Yangming, MENG M Q H, LI Shuai, et al. Particle filtering for range-based localization in wireless sen-

sor networks [C]//Proceedings of 7th World Congress on Intelligent Control and Automation 2008. Piscataway, NJ, USA: IEEE, 2008: 1629-1634.

- [3] 陈维克,李文锋,首珩,等. 基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 30(2):265-268.
CHEN Weike, LI Wenfeng, SHOU Heng, et al. Weighted centroid localization algorithm based on RSSI for wireless sensor networks [J]. Journal of Wuhan University of Technology, 2006, 30(2):265-268.
- [4] HE Tian, HUANG Chengdu, BRIAN M B, et al. Range-free localization schemes for large scale sensor networks [C]//Proc of the 9th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking. New York, USA: ACM Press, 2003: 81-95.
- [5] 刘克中,王殊,胡富平,等. 无线传感器网络中一种改进 DV-Hop 节点定位方法[J]. 信息与控制, 2006, 35(6):787-792.
LIU Kezhong, WANG Shu, HU Fuping, et al. An improved DV-Hop localization algorithm for wireless sensor networks [J]. Information and Control, 2006, 35(6):787-792.
- [6] IYENGAR R, SIKDAR B. Scalable and distributed GPS free positioning for sensor networks [C]//Proceedings of IEEE International Conference on Communications 2003. New York, USA: IEEE Communications Society, 2003: 338-342.
- [7] CAPKUN S, HAMDI M, HUBAUX J P. GPS-free positioning in mobile ad-hoc networks [J]. Cluster Computing, 2002, 5(2):157-167.
- [8] PARK S, SAVVIDES A, SRIVASTAVA M B. SensorSim: a simulation framework for sensor networks [C] // Proceedings of the 3rd ACM International DRAFT Workshop on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems. New York, USA: ACM Press, 2000:104-111.
- [9] HIGHTOWER J, BORIELLO G. Location systems for ubiquitous computing [J]. Computer, 2001, 34(8):57-66.
- [10] NICULESCU D. Positioning in ad hoc sensor networks [J]. IEEE Network, 2004, 18(4):24-29.
- [11] NICOLESCU D, NATH B. Ad-hoc positioning systems (APS) [C]//Proceedings of 2001 IEEE Global Telecommunications Conference. New York, USA: IEEE Communications Society, 2001: 2926-2931.

(编辑 刘杨 苗凌)