

An Indoor Location Algorithm Base on RSSI-Similarity Degree^{*}

YANG Dong-yong^{*}, GU Dong-yuan, FU Xiao-jie
(College of Software, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310023, China)

Abstract: In the wireless sensor network (WSN), the position information of the nodes are very important to many applications. The characteristics of RSSI in real environments are investigated. In order to improve the effects of RSSI error to WSN node localization precision, a conception of Node's RSSI-Similarity Degree in space environment is presented, which is used as weight factors to improve the Weighted Centroid Localization (WCL). Experimental results show that the proposed algorithm has a smaller average location error and stronger robustness to environmental disturbance.

Key words: wireless sensor network; indoor location; RSSI-Similarity degree; weighted centroid localization

EEACC: 7230; 6150P

一种基于 RSSI 相似度的室内定位算法^{*}

杨东勇^{*}, 顾东袁, 傅晓婕

(浙江工业大学软件学院, 杭州 310023)

摘要: 无线传感器网络中节点的位置信息在很多应用中具有重要意义。本文研究了实际环境中节点的 RSSI 特性, 为提高无线传感器节点定位的精度, 提出了无线传感器节点在空间环境上的 RSSI 相似度概念, 采用 RSSI 相似度作为权重因子, 改进了加权质心算法。实验结果表明, 改进后的算法具有更小的平均定位误差、更强的环境干扰鲁棒性。

关键词: 无线传感器网络; 室内定位; RSSI 相似度; 加权质心定位

中图分类号: TP393

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2009)02-0264-05

作为一种全新的信息获取和处理技术, 无线传感器网络具有广泛的应用领域。传感器网络节点的位置信息对目标检测和跟踪等应用至关重要, 位置信息的准确性直接关系到传感器节点所采集数据的有效性^[1]。在室内目标定位和跟踪等应用中, 无线传感器网络正好弥补了 GPS 在室内难于获得位置信息的弊端, 可以为智能大厦、体育场馆、会展中心提供安全防护、人员跟踪等实时位置信息。

目前, 无线传感器网络定位大多采用 RSSI (接收信号强度指示) 方法和质心算法相结合。加权质心算法通过锚节点对未知节点的不同影响力来确定加权因子, 提高定位精度^[2]。张俊霞等提出用节点间收集到的 RSSI 值对锚节点的权值进行修正的质心算法^[3]。基于 TSK (Takagi-Sugeno-Kang) 模糊

模型的相邻锚节点边权值的增强型质心定位算法^[4], 首先找到未知节点的邻居节点, 用已知节点和未知节点间的 RSSI 值确定模糊隶属函数, 再用遗传算法优化模糊隶属函数, 得到比较精确的边权值, 最后利用所得到的边权值进行质心定位。

上述方法都不同程度地依赖于信号传播模型中的路径损耗指数。不同环境下值的不确定性影响算法的定位精度。基于 TSK 模糊模型的方法过于复杂, 在传感器节点上不易实现。为使算法适应复杂的室内环境, 并具有较小的计算开销, 本文基于 RSSI 相似度提出了一种适合用于室内环境的定位算法。该算法利用各节点 RSSI 在空间上的相似程度进行计算, 不依赖于具体环境的值, 定位精度高、环境干扰鲁棒性强。

基金项目: 国家 863 计划资助项目 (2006AA01Z235)

收稿日期: 2008-09-23 修改日期: 2008-12-12

1 RSSI 特性分析与 RSSI 测距模型

目前,室内环境下常用的定位方法有两种:基于超声波的 TDOA 方法和基于 RSSI 的方法。TDOA 方法的传感器节点需要集成超声波收发装置,不但增大了节点尺寸、提高了成本和能耗,而且传播距离短、穿透性差。采用 RSSI 技术的定位方法,节点无需额外的硬件装置,功耗低、成本低,能满足大规模应用要求,已在许多实际项目中应用^[5-7]。

但在实际应用中,RSSI 总会受到很多因素的干扰。在研究定位算法之前,通过实验检验各种因素对 RSSI 测量值的影响。

1.1 节点自身特性对 RSSI 的影响

由于传感器节点的电子器件和焊接工艺的不一致性,导致无线传感器节点之间存在一定的差异性,对于具有相同配置的发射节点或接收节点,其 RSSI 特性会有差异;天线的不同方位指向对接收到的 RSSI 值也会有影响。

(1) 不同的收发节点对 RSSI 的影响

实验针对同一接收节点和 6 个不同的发射节点、同一发射节点和 6 个不同的接收节点测量 RSSI。实验中天线的朝向及接收和发射节点的放置位置都相同,节点发射功率设定为 0 dBm,发射和接收节点间距 1 m,发射节点连续发送 200 个数据包(数据包长度为 28byte)。

对 200 个 RSSI 测量数据取平均后,实验结果如图 1。从图中可看出不同的发射和接收节点会导致 RSSI 测量值的差异。

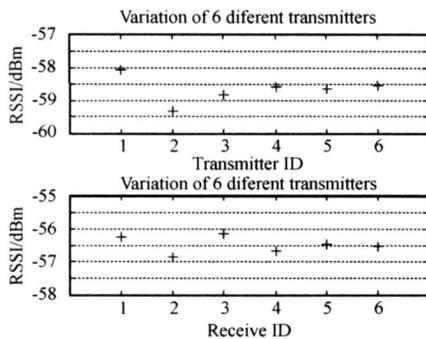
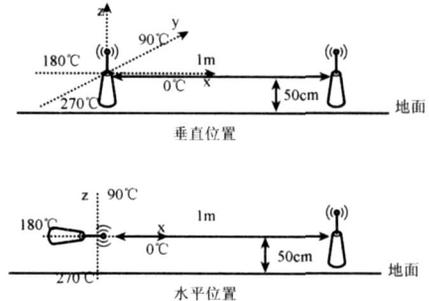


图 1 不同收发节点的差异

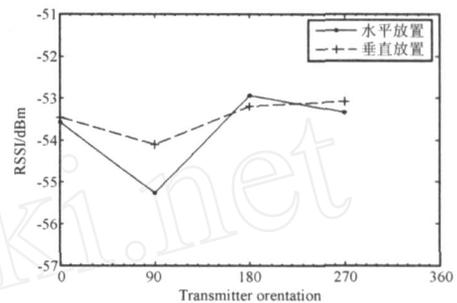
(2) 天线的不同方位指向对 RSSI 的影响

无线传感器节点使用全向性天线。为验证天线的不同方位指向对 RSSI 的影响,固定接收天线的指向为垂直向上,发射天线分别以水平和竖直方向放置,如图 2(a) 所示;节点发射功率设定为 0 dBm,发射和接收节点离地高度 50 cm,发射和接收节点间距 1 m;分别在发射天线的 0°、90°、

180°、270° 四个方向接收 200 个数据包(数据包长度 28byte),测量 RSSI 值并计算均值。实验结果如图 2(b) 所示。实验结果表明:天线处于垂直指向时,其 RSSI 相对比较稳定,变化幅度小。



(a) 接收和发射天线放置位置



(b) RSSI 和天线防线

图 2 天线的不同放置和 RSSI 的关系

1.2 外部环境对 RSSI 测量值的影响

无线传感器节点周围的环境因素,如墙壁、地面、障碍物等,都会导致传感器节点无线信号的衰减,甚至会阻断信号。室内环境下障碍物对 RSSI 值的影响通过以下实验进行验证。

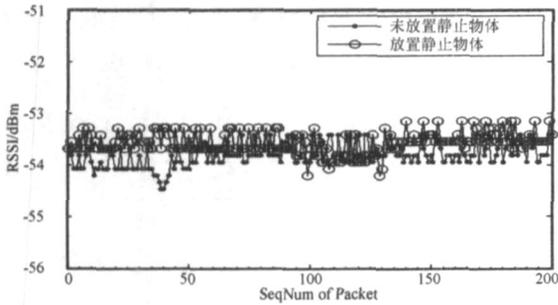
固定发射节点和接受节点,节点间距 1 m,离地高度 0.5 m。设定发射节点的功率为 0 dBm。发射节点连续发送 200 个数据包(数据包长度 28byte),接收节点记录每个数据包的 RSSI 值。设置以下四种环境情况:

- (1) 发射和接收节点间未放置任何物体。
- (2) 发射和接收节点间放置纸盒等静止物体,未阻挡天线。
- (3) 人(干扰物)在两节点之间缓慢的移动。
- (4) 人(干扰物)在两节点之间快速的移动。

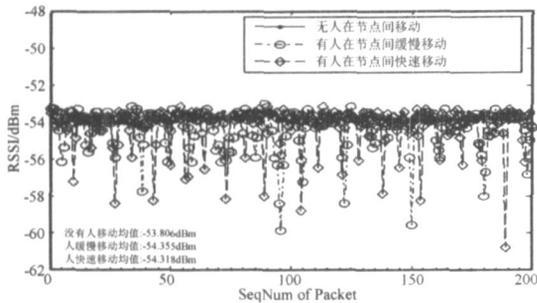
节点间无静止的物体和有静止的物体但不遮挡天线时的 RSSI 如图 3(a) 所示,不遮挡天线的静止物体对于信号干扰微弱。

节点间移动物体对 RSSI 的影响如图 3(b) 所示,无论是快速还是缓慢移动的物体,对于节点的 RSSI 均有较大影响。特别是人快速移动时对于单次测量值影响更大,瞬间造成 RSSI 值快速

变化;慢速移动时对 RSSI 的扰动较小,但持续较久。



(a) 节点间静止物体对 RSSI 和影响



(b) 节点间动态物体对 RSSI 影响

图3 节点间干扰物对 RSSI 影响

1.3 RSSI 测距模型

目前,利用 RSSI 的定位算法一般采用对数正态模型^[8-9]:

$$[P_r(d)]_{\text{dBm}} = [P_r(d_0)]_{\text{dBm}} - 10 \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{\text{dBm}} \quad (1)$$

式中: d_0 为近地参考距离,由测试决定, d 为接收发射节点间距离, $P_r(d_0)$ 是距离为 d_0 时接收到的信号强度, $P_r(d)$ 是距离为 d 时接收到的信号强度, X_{dBm} 服从 $N(0, \sigma^2)$ 分布的随机变量,为与阻挡物等环境有关的路径损耗指数 (path loss exponent)。由于不同的环境对测距有较大影响,为了得到更高的定位精度,需要针对特定的环境,通过实验获得相应的 σ 和 X_{dBm} 值。文献[10]给出了的经验值。

2 基于 RSSI 相似度定位算法

由于 RSSI 易受环境影响,相关研究提出了将 RSSI 与质心算法相结合,降低定位算法的复杂性、提高定位精度。为提高室内复杂环境下定位的稳定性、降低环境差异对定位精度的影响,本文采用 RSSI 相似度概念,利用节点的 RSSI 值改进定位算法。

2.1 RSSI 相似度

RSSI 能够在一定程度上反应两个节点周围环

境的近似程度。如果两个节点空间上很接近,则其环境基本相似,会有相同的邻居节点,接收到的邻居节点的 RSSI 值也会比较接近,如图 4 所示。图中,节点 A 和 B 在空间上接近,其接收到的邻居节点的 RSSI 分别为 $RSSI_A = \{R_{A_1}, R_{A_2}, R_{A_3}, \dots, R_{A_n}\}$, $RSSI_B = \{R_{B_1}, R_{B_2}, R_{B_3}, \dots, R_{B_n}\}$ 。

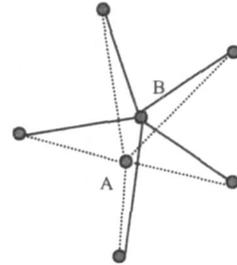


图4 节点相似性

两个节点之间的相似度定义为:无线传感器网络中任意两个节点 A、B,从相同的 n 个节点接收到的 RSSI 集合记为 $\{R_1, R_2, \dots, R_n\}$,则两节点的相似度值 $\text{Sim}(A, B)$ 为:

$$\text{Sim}(A, B) = \frac{1}{R_{AB}} \cdot \frac{\sum_{i=1}^n R_{Ai} R_{Bi}}{\sqrt{\sum_{i=1}^n R_{Ai}^2 \sum_{i=1}^n R_{Bi}^2}} \quad (2)$$

式中, R_{Ai} 、 R_{Bi} 分别表示节点 A 和 B 接收到的第 i 个邻居节点的 RSSI 值, R_{AB} 为节点 A 收到节点 B 的信号 RSSI 值。节点间的 RSSI 相似度值越大,说明两个节点距离越接近。

2.2 基于 RSSI 相似度的定位算法

假设无线传感器网络有 n 个固定锚节点 B_i , 其坐标 (x_i, y_i) ($1 \leq i \leq n$) 已知,未知节点 M 的估测位置坐标记为 (X, Y) 。选取未知节点和已知锚节点间最大的 k 个相似度值,构成加权质心算法:

$$X = \frac{\sum_{i=1}^k S_{Mi} \times x_i}{\sum_{i=1}^k S_{Mi}} \quad Y = \frac{\sum_{i=1}^k S_{Mi} \times y_i}{\sum_{i=1}^k S_{Mi}} \quad (3)$$

其中, S_{Mi} 为锚节点 B_i 与未知节点 M 的相似度。

2.3 定位算法的实现

在定位开始阶段,每个锚节点都维护着自身的邻居节点的 RSSI 值向量,每隔一段时间向全网广播发送本节点所接收到的来自其它节点的 RSSI 值向量的数据包,数据格式如图 5 所示。其它锚节点只记录接收到该信息的 RSSI 值,并按图 6 所示规则添加到自己的邻居节点 RSSI 值向量中。

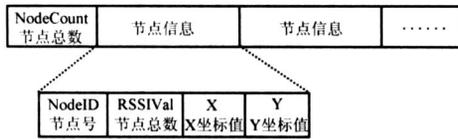


图 5 节点的 RSSI 值向量数据格式

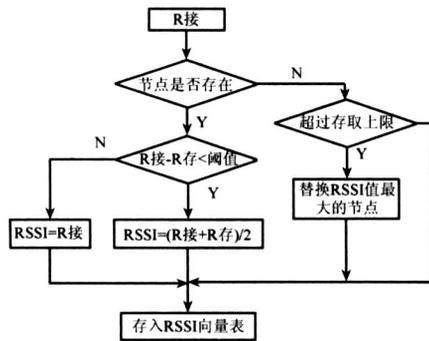


图 6 锚节点 RSSI 值存放规则

当未知节点 M 进入到定位区域时, 节点 M 和所有的邻居锚节点经过一次通信后, 节点 M 获得了邻居锚节点的 RSSI 值向量 R_M 和邻居锚节点收到的其它邻居节点的 RSSI 值矩阵 R 。

$$R_M = [R_{M1}, R_{M2}, \dots, R_{Mn}] \quad (4)$$

$$R = \begin{bmatrix} 0 & r_{12} & r_{13} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & 0 & r_{23} & \dots & r_{2n} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ r_{(n-1)1} & r_{(n-1)2} & r_{(n-1)3} & 0 & r_{(n-1)n} \\ r_{n1} & r_{n2} & r_{n3} & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (5)$$

未知节点 M 在获得向量 R_M 和矩阵 R 后, 根据式 (2) 计算得到未知节点和各个邻居节点的一个相似度序列 $Sim = \{S_{M1}, S_{M2}, S_{M3}, \dots, S_{Mn}\}$ 。对相似度序列 Sim 进行从大到小排序, 考虑到与未知节点 M 相距较远的锚节点估算会产生较大的误差和增加节点的运算量, 仅选取其中相似度最大的前 K 个邻居节点进行定位计算。 K 值根据传感器网络中节点的覆盖率确定。 K 值越大需要越多的已知节点。 K 值增大则网络成本增加、通信开销增加。实际应用中, 一般选用 $K=4$ 。

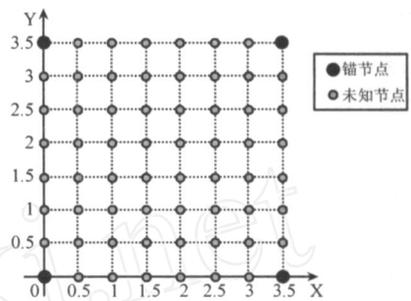
3 实验验证和分析

为验证所提出算法的性能, 进行了实际传感器节点实验。无线传感器节点为 GAIN33, 节点使用 CC1000 通讯模块和 Atmega128 处理器芯片, RF 通讯频段为 433 MHz, 节点程序采用 C 语言设计开发。实验中节点的发射能量设置为 0 dBm。实验环境为学院大楼的室内大厅, 如图 7 所示。在 3.5 m \times 3.5 m 的区域中, 将 4 个锚节点放置在正方形的四个顶点处, 四个锚节点的坐标分别为 $A_1(0, 0)$ 、

$A_2(3.5, 0)$ 、 $A_3(3.5, 3.5)$ 、 $A_4(0, 3.5)$ 。通过多次测量后, 确定 $\sigma = 2.1, X_{dBm} \sim N(0, 5)$ 。



(a) 实验现场



(b) 传感器网络节点分布

图 7 实验现场环境和节点分布

3.1 无障碍物室内环境定位

四个锚节点每隔 200 ms 广播发送一次信息, 选取定位区域中 60 个位置进行定位实验, 如图 7 (b), 对每个位置进行 10 次测量后, 计算得到节点在该位置的平均定位误差 (ALE)。基于 RSSI 的未知节点 M 的平均定位误差如图 8 所示。结果表明: 在 60 个位置中最大平均定位误差为 1.6 m, 最小平均定位误差为 0.21 m, 同时由于受几何精度因子 (geometrical dilution of precision, GDOP) 的影响, 在正方形边缘的平均定位误差明显偏大。三种不同定位算法下, 60 个定位误差样本的累积概率分布如图 9 所示。结果表明: 本文提出的定位算法其定位误差小于 1 m 的概率达到 85%, 优于其他两种算法。

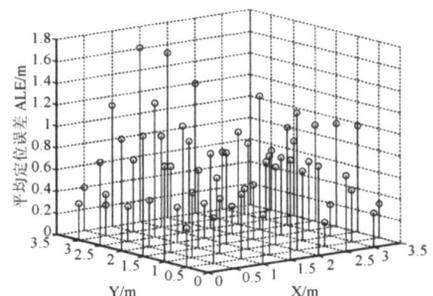


图 8 未知节点 M 的放置位置和平均定位误差

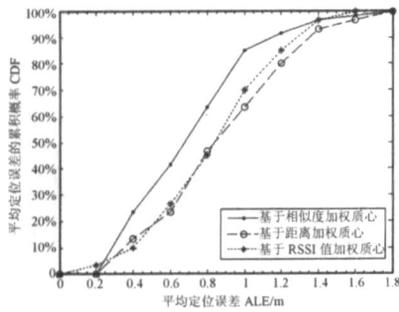


图9 平均定位误差累积分布

3.2 有障碍物室内环境定位

为检验室内环境中障碍物和人员的移动对定位精度的影响,设置图10所示的环境,定位区域中桌、椅等障碍物分别按图示的四种情况进行摆放;同时在障碍物摆放相同的情况下,多个人在定位区域中不停的走动,实验结果如表1和图11所示。结果表明,本文提出的定位算法具有更好的定位性能,更强的抗干扰能力。

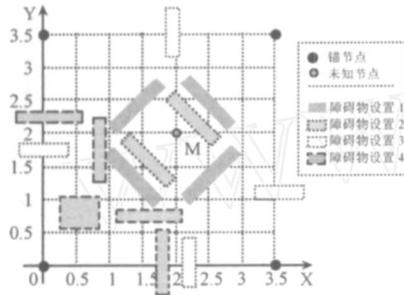


图10 障碍物设置示意图

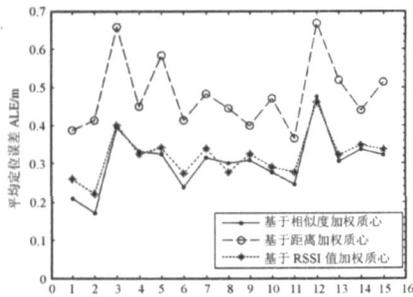


图11 人员移动环境中的平均定位误差

表1 不同障碍物设置场景下的定位结果

	相似度加权		距离加权		RSSI加权	
	平均误差	均方差	平均误差	均方差	平均误差	均方差
无障碍物	0.25582	0.029502	0.33719	0.11937	0.29837	0.02463
障碍物1	0.28166	0.023773	0.62642	0.23246	0.31331	0.019891
障碍物2	0.22628	0.01568	0.67519	0.12627	0.23672	0.017031
障碍物3	0.47148	0.030647	0.86645	0.16502	0.49264	0.025699
障碍物4	0.46153	0.026624	0.71689	0.18607	0.45498	0.020833

4 结束语

本文在对 RSSI 特性进行研究分析的基础上,提出了室内环境下基于 RSSI 相似度的定位算法。

该方法既考虑了节点之间的环境因素,又避免了不同环境下路径损耗指数 因子的影响。实验结果表明,该方法在定位精度和稳定性方面有较大的提高,具有较强的环境干扰鲁棒性,能够运用到实际的室内环境的定位应用中。

参考文献:

- [1] Capkun S, Hamdi M and Hubaux J P. GPS-Free Positioning in Mobile Ad-Hoc Networks[C]// Proceedings of the 34th Annual Hawaii International Conference on System Science. Hawaii, USA :IEEE Computing society, 2001. 3481-3490.
- [2] 陈维克,李文锋,首晰,袁兵. 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.
- [3] 杨凤,史浩山,朱灵波,赵洪钢. 一种基于测距的无线传感器网络智能定位算法[J]. 传感技术学报,2008, 27(1) :135-140.
- [4] Sukhyun Y, Jaehun L, Wooyong C, Euntai K. Centroid Localization Method in Wireless Sensor Networks using TSK Fuzzy Modeling[C]// Proceedings of 8th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS2007). Sokcho-City, Korea, 2007:971-974.
- [5] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An in-Building RF-based user Location and Tracking System [C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000. Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000. 775-784.
- [6] Hightower J, Want R, Borriello G. SpotON: an Indoor 3D Location Sensing Technology based on RF Signal Strength [D]. Seattle: University of Washington, 2000.
- [7] 韩屏,李方敏,吴学红. 一种基于无线传感网络的实用性地下坑道定位方法[J]. 传感技术学报,2007,10(20) :2313-2318.
- [8] Alippi C, Vanini G. Wireless Sensor Networks and Radio Localization: a Metrological Analysis of the MICA2 Received Signal Strength Indicator [C]// Proceedings of the 29th Annual IEEE International Conference on Local Computer Networks (LCN04), Italy, 2004:16-18.
- [9] 任维政,徐连明,邓中亮,王川. 基于 RSSI 的测距差分修正定位算法[J]. 传感技术学报, 2008, 21(7) :1247-1250.
- [10] Pahlavan K, Levesque A. Wireless Information Networks [M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995.



杨东勇(1961-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为嵌入式系统、计算机智能系统及应用,yangdy@zjut.edu.cn



顾东袁(1980-),男,硕士研究生,主要研究方向为嵌入式软件技术、无线传感器网络技术等,starsky98@163.com