

一种基于无线传感器网络的室内定位算法

张伟 孙强

(上海电机学院 上海 200240)

摘要 无线传感器网络是室内定位的关键技术之一。影响定位精度的因素有两方面:测距误差和定位计算误差。在测距阶段,为解决信号在复杂的环境中传播损耗较大而影响测量精度的问题,基于对数常态路径传播损耗模型,提出了一种环境因子的估算方法,该方法动态修正测量值,减小了因环境引起的测量误差。在定位阶段,为解决三角形质心算法对数据利用不足的缺点,提出了加权的三角形质心算法,实现了高精度的室内定位。实验表明,该算法可以实现较高精度的室内定位,具有一定的可行性。

关键词 无线传感器网络,接收信号强度指示,环境因子估算,加权三角形质心算法,室内定位

中图分类号 TN929.5, TP212.9 **文献标识码** A

One of Indoor Positioning Algorithm Based on Wireless Sensor Network

ZHANG Wei SUN Qiang

(Shanghai Dianji University, Shanghai 200240, China)

Abstract Wireless sensor network is one of the key technologies of indoor location. Two aspects affect the positioning accuracy. One is ranging error, the other is the positioning calculation error. At Ranging stage, in order to solve the problems that signal propagation in complex environments has larger loss and affects the measurement accuracy, this paper proposed a method for estimating environmental factors based on the log-normal propagation path loss model, which can dynamically correct measurements and reduce the measurement errors caused by the environment. At the positioning stage, in order to solve the shortcoming that a triangle and centroid algorithm cannot make full use of the data, this paper presented the weighted of the triangle and centroid algorithm to achieve a high-precision indoor positioning. Experimental results show that the algorithm can realize a high accuracy indoor positioning and is feasible.

Keywords Wireless sensor network, RSSI, Environmental factors to estimate, Weighted of triangle and centroid location algorithm, Indoor positioning

1 引言

现在关于室内定位的研究越来越热,而基于无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)的室内定位技术其传感器节点具有低成本、使用灵活等特性,因而得到广泛运用与研究^[1]。在基于无线传感器网络的定位系统中,基于RSSI测距定位技术硬件要求较低、价格低廉、算法比较简单,在实验室环境中表现出良好特性,受到广大研究者的深入研究,但也有对环境变化敏感,定位精度较低的缺点^[2]。文献^[3]采用距离和的倒数作为权重;文献^[4]采用测试距离倒数之和代替距离和的倒数作为权重,同时提出了修正系数的概念,避免了信息淹没现象,提高了定位精度。

基于RSSI测距定位技术,本文提出用加权平均的方式估算环境因子的参数,动态修正测距值,再与加权的三角形质心算法结合的高精度室内定位算法。该算法解决了信号在空气中传播受环境影响对测量值产生较大的干扰,使得RSSI定位精度不高的问题。实验表明,该算法可以实现较高精度的定位,具有一定可行性。

2 信道模型

本文采用的是基于RSSI测距定位技术,RSSI(Received Signal Strength Indicator,接收信号强度指示)是指节点接收到的无线信号强度大小。RSSI测距原理是已知发射节点的发射功率,将接收节点接收到的RSSI值转换为接收功率,计算出信号的传播损耗,再利用信号衰减模型将传输损耗转化为距离,从而计算出发射和接收节点间的距离^[5,6]。

无线信号在空气中传播会产生衍射、反射、多径衰减等现象,对测量值产生较大的影响,长期以来,这都是RSSI定位精度不高的主要原因,如何解决这一问题是提高RSSI室内定位的精度关键。所以必须选用合适的信号传播路径衰减模型来减小环境影响,提高定位误差。常用的模型有:自由空间信号传播路径损耗模型,对数-常态分布模型,RSSI测距信号衰减模型等。

在一般室内定位中,考虑到环境、成本、定位精度等因素需求,所使用的模型是RSSI测距信号衰减模型,如式(1)所示:

$$RSSI = -(10 \times n \times \lg d + A) \quad (1)$$

张伟(1988—),男,硕士生,主要研究方向为无线传感器网络定位、移动机器人智能控制;孙强(1974—),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为工业无线传感器网络、高性能计算机技术。

n 为信号衰减因子,范围一般为 $2\sim 4$; d 为信号传播的距离; A 为距离发射点 $1m$ 的距离所测得的信号平均强度; $RSSI$ 为接收到信号强度的值。通过上式看出影响 $RSSI$ 的因数主要由 n, A 两个参数所决定^[2]。

但由于实际环境中的复杂多变与不确定性, $RSSI$ 测距信号衰减模型不能满足多变的环境下的定位需求, 而对数-常态分布模型的普遍性及对各种环境的适应性强, 是最为合适无线传感器网络的信号传播的模型, 因此本文采用的是此模型。对数-常态分布模型可以转化为距离-损耗模型, 距离-损耗模型的表达式如式(2)所示:

$$RSSI = RSSI_0 + 10n \lg(d/d_0) + X \quad (2)$$

其中, $RSSI$ 为相距距离 d 收到的 $RSSI$ 值, d 为真实距离; d_0 为参考距离, $RSSI_0$ 为相距为 d_0 的 $RSSI$ 值; n 为信号衰减因子, 范围为 $2\sim 4$; X 为环境因子满足均值为 0、方差为 $4\sim 10$ 的高斯随机分布。

3 算法模型

基于 $RSSI$ 测距定位技术的定位方法可以总结为: 是在已知发射节点的发射信号强度, 根据接收节点收到的信号强度, 利用信号传输衰减模型将 $RSSI$ 转化为距离, 然后运用定位算法方法根据距离来计算出节点的位置坐标。提高定位精度的方法有两种: 1) 提高测距时的精确度; 2) 改进算法的不足, 提高定位计算的精度。

3.1 传统算法模型

传统的算法模型一般采用 $RSSI$ 测距信号衰减模型进行测距, 再与三角形质心算法结合实现定位。假设没有损耗, 没有干扰的理想情况下, $RSSI$ 测距得到的位置会相交在一点, 即需要定位的盲节点的位置。然而由于环境的复杂性, 一般信号在干扰的情况下逐渐衰减, 除了少量陶瓷等介质对信号有所加强外, 在大多数情况下根据 $RSSI$ 测距得到的距离一般总是大于实际距离。根据这个特性, 三角形质心定位算法的算法原理如下所述: 以盲节点到 3 个参考节点的测量距离为半径、各参考节点为圆心画圆, 重叠区域大致可以构成一个三角形, 通过计算三角形的质心就近似得到了盲节点的实际位置^[7], 如下式所示:

$$\begin{cases} x = (x_A + x_B + x_C) / 3 \\ y = (y_A + y_B + y_C) / 3 \end{cases} \quad (3)$$

3.2 动态修正的加权质心算法模型

通过分析发现一般的测距信号衰减模型都对环境、定位精度、成本等因素做了综合的考虑, 无法解决信号在复杂的环境中传播损耗较大而影响测量精度的问题。本文针对对数-常态分布的信号衰减模型提出采用加权平均的方式估算环境因子的参数方法, 从而降低环境因素的影响, 动态地修正测量的测距值, 以达到提高测距精确度的目的。通过分析发现三角形质心算法没有反映出信标节点对节点位置影响力的大小。针对质心算法对数据的利用不足的缺点, 本文提出一种复杂的加权质心算法来解决这一不足。

3.2.1 环境因子估算方法

在距离-损耗模型中, 环境因子 X 满足均值为 0、方差为 $4\sim 10$ 的高斯随机分布。环境因子是用来代替实际环境中的反射、多径、物体移动、气候等带来的影响的参数, 由于环境因子的存在, 测量到的距离和实际距离相差很大, 使得算法估计得到的位置很不可靠。下面引进一种加权平均的环境因子估

算方法, 其目的是减小由于环境因子引起的距离测量的不精确性影响, 以达到提高测距精确度的目的。

环境因子估算方法: 假设某时刻有 S 个参考节点, 每个参考节点按顺序标号为 $1\sim S$, 基站 P 坐标为 (\bar{x}, \bar{y}) , 接收参考节点发来的信号, 这就有 S 对 $(d, RSSI)$ 组合, 取第 j 组为 $(d_0, RSSI_0)$, 其余的 $S-1$ 组为 $(d, RSSI)$, 代入式(2)中, 可得下面的方程:

$$d = \sqrt{(x-\bar{x})^2 + (y-\bar{y})^2} \quad (4)$$

$$RSSI_i = RSSI_j + 10n \lg(d_i/d_j) + X_i, i \in (1, S) \cap i \neq j \quad (5)$$

则:

$$X_i = RSSI_i - RSSI_j - 10n \lg(d_i/d_j), i \in (1, S) \cap i \neq j \quad (6)$$

$$X_j = \frac{\sum_{i \neq j} X_i}{S-1} = \frac{\sum_{i \neq j} (RSSI_i - RSSI_j - 10n \lg(d_i/d_j))}{S-1}$$

$$= \frac{\sum_{i \neq j} RSSI_i - 10n \lg(\prod_{i \neq j} d_i/d_j^{S-1})}{S-1} - RSSI_j$$

其中, $j \in (1, S), i \in (1, S) \cap i \neq j$ 。

这 S 个 X 反映了参考节点所组成的区域的环境情况, 在这里采用加权取平均值的方式可以得到区域在这个时刻的环境因子 X^* :

$$X^* = \sum_j \left(\frac{RSSI_j \times X_j}{\sum_i RSSI_i} \right) \quad (7)$$

3.2.2 加权三角形质心算法

加权三角形质心算法的基本思想是: 在质心算法中, 通过加权因子来体现参考节点对质心坐标决定权的大小, 利用加权因子体现各参考节点对质心位置的影响程度, 反映它们间的内在关系^[7]。通过下式中的加权因子来体现这种约束力:

$$\begin{cases} x = \frac{\frac{x_A}{d_A+d_B} + \frac{x_B}{d_C+d_B} + \frac{x_C}{d_A+d_C}}{\frac{1}{d_A+d_B} + \frac{1}{d_C+d_B} + \frac{1}{d_A+d_C}} \\ y = \frac{\frac{y_A}{d_A+d_B} + \frac{y_B}{d_C+d_B} + \frac{y_C}{d_A+d_C}}{\frac{1}{d_A+d_B} + \frac{1}{d_C+d_B} + \frac{1}{d_A+d_C}} \end{cases} \quad (8)$$

其中, (x, y) 就是用加权质心算法求出的盲节点坐标; d_A, d_B, d_C 为未知节点获得的 3 个参考节点间的距离; 如图 1 所示: $A(x_A, y_A), B(x_B, y_B), C(x_C, y_C)$, 为三角形质心算法计算出的 3 个参考节点相交的点; 加权因子为 $\frac{1}{d_A+d_B}, \frac{1}{d_C+d_B}, \frac{1}{d_A+d_C}$, 它体现了距离盲节点越近的参考节点对其坐标位置的影响力越大。通过这种内在关系的反映来达到提高定位精度的目的。

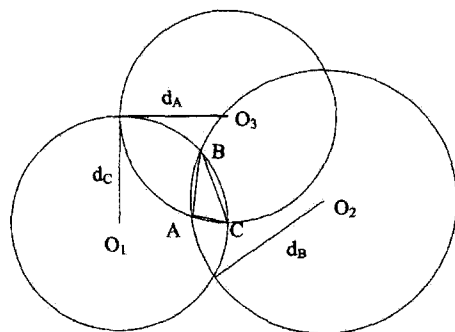


图 1 (加权)三角形质心定位算法原理

3.3 算法实现步骤

第1步:盲节点向周围环境发送信息广播,参考节点收到信息,记录这个时间段超过阈值的RSSI值,求其平均值即为收到的RSSI值,通过协议向基站发送节点ID、坐标信息和接收到的RSSI值,并广播信息让基站接收。

第2步:基站将参考节点接收到盲节点的信号即RSSI值按从大到小的顺序排列,筛选前4个,设为 $RSSI_1, RSSI_2, RSSI_3, RSSI_4$,对应的参考节点的坐标值为 $(x_1, y_1), (x_2, y_2), (x_3, y_3), (x_4, y_4)$,这4个节点组成的环境区域为A,基站接收到对应参考节点ID广播的RSSI,对应得到参考节点到基站的 $(d, RSSI)$ 。利用上述的估算方法估算出环境因子 X^* ,代入到式(2)中可得相应参考节点到盲节点的距离为 d_1, d_2, d_3, d_4 。

第3步:去除对应的3个参考节点在同一直线的组,将距离集最小的组 $\{d_1, d_2, d_3\}$ 根据修正的加权质心算法进行计算,求得这个多边形的质心即为盲节点的坐标 (x, y) 。

4 实验结果

在硬件方面,本文采用的是CC2430开发板作为参考节点和盲节点。在软件方面,采用了一种开源的嵌入式操作系统——TinyOS作为平台和nesC编程语言来实现。实验是在长6m、宽6m、高2.5m的干燥的自由空间实验室内进行的,设定左下角为最小坐标定位 $(0, 0)$,右上角为最大坐标定为 $(6, 6)$,基站坐标为 $(3, 3)$ 。实验中共有9个参考节点和1个基站点,采用的布局方式如图2所示。

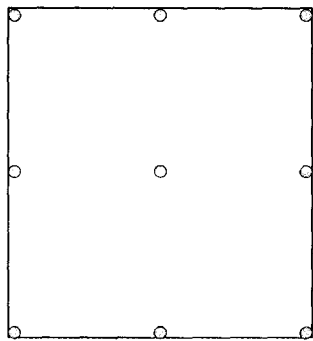


图2 实验参考节点布局

误差定义:假设通过室内定位系统测试的移动节点的坐标是 (x, y) ,而实际的移动节点的真实位置坐标是 (a, b) ,本文用定位误差来表示定位出的坐标与真实的坐标之间的距离。定位误差定义如式(9)所示:

$$ER = \sqrt{(x-a)^2 + (y-b)^2} \quad (9)$$

算法精度测试:实验一采用对数-常态分布模型测距再结合加权的三角质心算法进行室内定位实验,其中衰减系数 $n=2.3$, X 为均值为0、方差为6的高斯噪声;实验二采用对数-常态分布模型使用环境因子估算方法估算环境因子参数动态修正测得距离并结合加权三角质心算法进行室内定位实验,其中衰减系数 $n=2.3$ 。通过20次测量取平均值的方法减小小试验中的误差从而提高精度,两组实验分别测试这15个盲节点的室内定位的精度测试结果,如图3所示。

通过对实验的定位误差取平均值得到平均误差,再筛选不同数目的参考节点组成区域环境从而得到不同的环境因子

进行实验,得到如图4所示的曲线图。从图中可以看出,动态修正的加权质心算法误差的减小效果明显,平均定位误差也明显优于其他两种算法。当组成区域环境的参考节点选取为4个时平均误差为0.38,定位效果最好;当选取的数目大于4时反而平均误差越大,这是参考节点组成的区域太大而造成了环境因子的误差较大的结果。

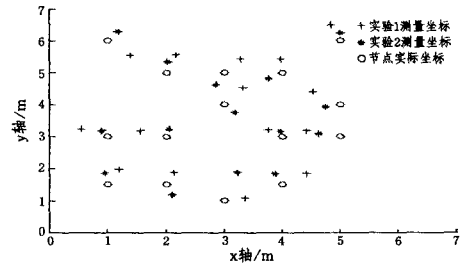


图3 定位精度测试结果

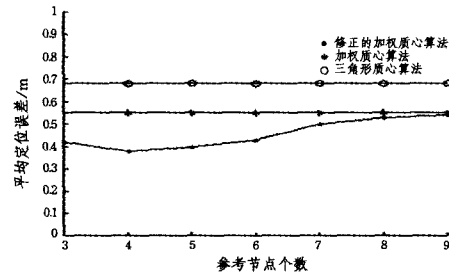


图4 平均定位误差

结束语 本文基于CC2430节点根据对数-常态分布的传播路径损耗模型提出环境因子的估算方法,动态修正测量值,再与加权的三角质心算法相结合来实现高精度的室内定位。加权的三角形质心算法定位实验和动态修正的加权三角形质心算法定位实验的对比表明,本文提出的环境因子的估算方法动态修正测量值的加权质心算法可实现平均定位误差为0.38米的室内定位,取得了良好的综合效果。

参考文献

- [1] Shi Wen-ming, Huang Chuan-he, Shao Ming-ka. Indoor Localization Scheme in Wireless Sensor Networks Using Spatial Information[C]// Wireless Communications, Networking and Mobile Computing (WiCOM). 2006
- [2] Al Alawi, R. RSSI based location estimation in wireless sensors networks[C]// Networks (ICON). 2011; 118-122
- [3] 金卫民, 神显豪. 基于RSSI的室外无线传感网络自定位算法[J]. 计算机工程, 2008(13)
- [4] Li Jian, Liu He-ping. A New Weighted Centroid Localization Algorithm in Coal Mine Wireless Sensor Networks[C]// Computer Research and Development (ICCRD). 2011; 106-109
- [5] Shi Shuo, Sun Hao, Song Yang. Design of an experimental indoor position system based on RSSI[C]// Information Science and Engineering (ICISE). 2010
- [6] Xu Jiu-qiang, Liu Wei, Lang Feng-gao. Distance Measurement Model Based on RSSI in WSN[C]// Wireless Sensor Network. 2010; 606-611
- [7] 林玮, 陈传峰. 基于RSSI的无线传感器网络三角形质心定位算法[J]. 现代电子技术, 2009(2)