

基于 RSSI 均值的等边三角形定位算法

朱 剑¹, 赵 海¹, 孙佩刚^{1,2}, 毕远国¹
(1. 东北大学 信息科学与工程学院 辽宁 沈阳 110004; 2. 沈阳炮兵学院 基础部 辽宁 沈阳 110062)

摘 要: 为了提高无线传感网络的定位精度, 从提高测量精度、改善信标节点分布的角度提出了一种基于 RSSI 均值的等边三角形定位算法。该算法引入信号强度指示(RSSI)敏感区和非敏感区概念, 采用高斯模型对非敏感区的 RSSI 数据进行处理, 解决了 RSSI 易受干扰的问题。采用等边三角形分布模型处理信标节点的分布, 保证未知节点运动轨迹始终在信标节点的非敏感区内, 从而在定位算法上使测量精度得到提高。研究表明, 高斯模型可以很好地筛选出 RSSI 较优值; 等边三角形分布模型可以提高 RSSI 的采集优度。这种定位算法计算简单, 定位过程中节点间无通讯开销, 无需硬件扩展。

关 键 词: 无线传感网络; 信标节点; 等边三角形定位; 高斯模型; RSSI(信号强度指示)

中图分类号: TP 393.17 **文献标识码:** A **文章编号:** 1005-3026(2007)08-1094-04

Equilateral Triangle Localization Algorithm Based on Average RSSI

ZHU Jian¹, ZHAO Hai¹, SUN Pei-gang^{1,2}, BI Yuan-guo¹
(1. School of Information Science & Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004 China; 2. Department of Fundamental Courses, Shenyang Artillery Academy, Shenyang 110062 China. Correspondent: SUN Pei-gang, E-mail: sunpg@neura.com)

Abstract: To get high precision of localization in WSNs(wireless sensor networks), an equilateral triangle localization algorithm based on average RSSI is brought up, taking account mainly of the measurement precision and improvement of the distribution of beacon nodes. This algorithm presents two concepts: sensitive region and insensitive region of RSSI. It introduces Gauss model to deal with the RSSI which is got from in sensitive region, then the problem that RSSI is easy to be interfered is resolved. And the equilateral triangle distribution model is used to deal with the distribution of beacon nodes to ensure that the tracks of unknown nodes are always kept within the insensitive region, thus improving the measurement precision. A conclusion is drawn that the Gauss model can screen out the first-class RSSI well and the equilateral triangle distribution model can improve the acquisition precision. This algorithm is easy to implement and no communication expense and extended hardware are required.

Key words: WSNs (wireless sensor networks); beacon node; equilateral triangle localization; Gauss model; RSSI (received signal strength indication)

无线传感器节点定位服务在当今社会中正在扮演着越来越重要的角色, 它逐渐取代了传统高额费用的定位系统, 是一种全新的定位信息获取平台。定位难点在于硬件资源有限性、能源有限性与精度。目前的定位算法从定位手段上分为两大类: 基于测距算法(range-based)和无需测距算法(range-free)^[1]。基于测距算法通过测量节点间的距离或角度信息, 使用三边测量、三角测量或最大似然估计定位法计算节点位置^[2-3]。无需测距定位算法则不需要距离和角度信息, 算法根据网络连通性等信息来实现节点定位。

本文充分研究了现有的基于测距算法, 从测量精度与信标节点分布着手提出一种少资源、低能耗、高精度、防干扰的定位算法。

1 RSSI 均值定位技术

理想环境下比较常用的定位算法为加权质心定位算法^[1]。实际应用中定位信息随机性较大,极容易受到外界干扰,故在定位算法的基础上,对 RSSI(信号强度指示)值的处理显得尤为重要。

1.1 传统模型分析 RSSI

随机数模型^[1]是指当信标节点采集到一个 RSSI 值则马上进行定位计算。该模型优点在于定位实时、运算量小,适用于处理速率较低的硬件平台。该模型容易受到外界干扰。

统计均值模型是信标节点采集一组 n 个 RSSI 值,然后求这些数据的均值。该模型可以通过调节 n 来平衡实时性与精确性,当 n 很大时可以有效解决定位数据随机性,但计算量会相应增加。该模型在处理大扰动时效果不是很好。

1.2 高斯模型分析 RSSI

RSSI 是一种指示当前介质中电磁波能量大小的数值,单位为 $\text{dB} \cdot \text{m}$ 。RSSI 值随距离增加而减小,信标节点可以通过 RSSI 值计算出未知节点与它的距离。电磁波能量 P 与路径 r 的关系模型为

$$P = a \left(\frac{1}{r} \right)^2 \tag{1}$$

其中, a 为待定系数; P 为能量值; r 为距离。

在实际应用环境中,由于多径、绕射、障碍物等因素, RSSI 值与理论值有些差异,所以式(1)中的待定系数随不同应用环境会有所变化。在实际测量过程中 RSSI 有一个随机分量 x_0 ,即实际测量的数值在一个稳定值附近变动,本文得出了高斯模型:

$$p_0 = p + x_0 \tag{2}$$

其中, p_0 服从高斯分布,即 $p_0 \sim N[m, \sigma]$, 密度函数为

$$F(x) = \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}}; \tag{3}$$

$$m = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n}, \tag{4}$$

$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - m)^2}{n - 1} \tag{5}$$

其中, X_i 为第 i 个信号强度值, n 为信号数。

本文在每个距离点上采集 500 次 RSSI 值,并以这 500 个 RSSI 值中的最大值、最小值、平均

值做出 3 条曲线,如图 1 所示。从图中可以看出曲线变化规律符合式(1),并且可以看出未知节点到信标节点的距离越近, RSSI 的最大值和最小值相差越小,即距离与 RSSI 值的对应关系越好;从图 2 中可以看出, RSSI 值的方差随着距离的增加而增加。当方差大到一定程度时,测得的数据随机偏差很大, RSSI 值变得非常敏感,这个时候采集到的数据几乎不可用。基于以上分析,本文提出 RSSI 敏感区与 RSSI 非敏感区的概念。

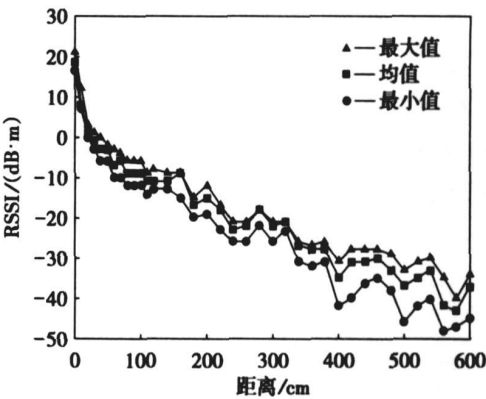


图 1 RSSI 变化曲线

Fig. 1 The curve of RSSI's movement

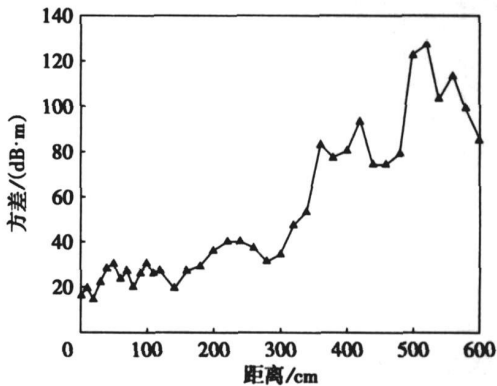


图 2 方差变化曲线

Fig. 2 The curve of variance's movement

高斯分布处理数据原则: 一个信标节点在同一位置可能收到 n 个 RSSI, 其中必然存在着小概率事件。通过高斯模型选取高概率发生区的 RSSI 值,然后再取其几何均值,这种做法减少了一些小概率、大干扰事件对整体测量的影响,增强了定位信息的准确性。

高斯模型解决了 RSSI 在实际测试中易受干扰、稳定性差等问题,提高了定位精度。但是高斯模型只能消除小概率短暂的扰动,面对室内定位墙壁对 RSSI 的能量反射等长时间干扰问题效果就会受到影响。

2 等边三角形定位算法

若未知节点在信标节点的敏感区内,则只要

RSSI 值一次小小的随机变化就会造成测距结果的偏差。为了确保定位精度,本文提出等边三角形定位算法,保证了未知节点运动轨迹始终在信标节点的非敏感区内,从而在定位算法上使测量精度得到提高。

2.1 三边测量法

传感器节点定位算法很多,三边测量法^[6]是最典型的一种。通过 RSSI 值得出未知节点到 3 个信标节点的距离,通过这 3 个距离值计算出未知节点的位置。

如图 3 所示,当信标节点 p_1, p_2, p_3 收到未知节点 p 发出的定位信号时,根据 RSSI 值,可以得到 p_1 到 p, p_2 到 p, p_3 到 p 的距离 d_1, d_2, d_3 ; 分别以 p_1, p_2, p_3 为圆心, d_1, d_2, d_3 为半径作圆,通过这 3 个圆可以定出未知节点。

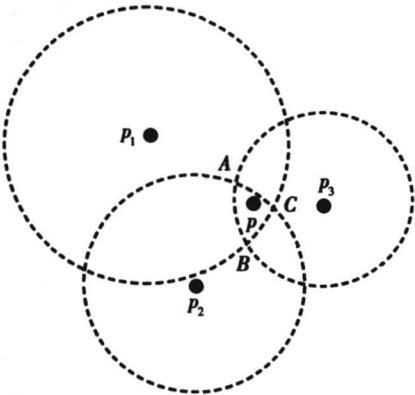


图 3 三边测量法
Fig 3 Three-border measurement

2.2 等边三角形定位算法模型

通常室内 RSSI 的敏感区出现在节点 5 m 以外,故本文需要布置信标节点,使未知节点出现在信标节点非敏感区内,信标节点分布模型如图 4。

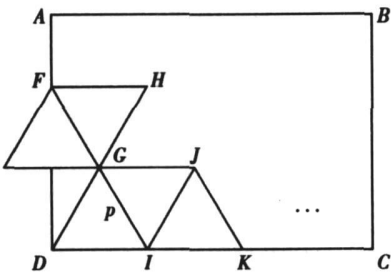


图 4 信标节点分布模型
Fig 4 Model of beaconing's distribution

将室内空间划分为边长为 5 m 的等边三角形,从几何角度看,无论什么未知节点在哪个点发送信号,未知节点 p 必然在等边三角形之内。设室内敏感区距离为 x ,以 D 点为起点,作等边三角形 $\triangle DGI$,然后以 I, G 为起点作等边三角形 $\triangle IJK, \triangle GFH$,依此类推直到三角形覆盖整个室

内平面,所有三角形边长为 x 。设 n 为所需节点数,则有

$$n = \left\lceil \frac{DC}{x} + 1 \right\rceil \left\lceil \frac{AD}{\frac{\sqrt{3}}{2}x} + 1 \right\rceil \quad (6)$$

该模型可以使每个节点的发射功率降到 $-25 \text{ dB}\cdot\text{m}$;它还缩短了 CSMA/CA^[7] 中由于退避算法导致的时间延迟,避免反复发送信号造成能量损耗。所以信标节点分布模型可以在满足能量损耗小、节点需求数少的基础上提高定位精度。

2.3 定位算法

等边三角形定位算法过程如下。

- ① 初始化信标点网络模型。
- ② 未知节点周期性发送自身信息。
- ③ 各信标节点在收到信息后,记录同一个未知节点的 RSSI 测量值,并将其值记录到对应的 RSSI 数组 Beacon-val[500] 中。
- ④ 各信标节点运用高斯分布函数处理 RSSI 值。

针对实际情况,本文选择 0.6 为临界点,即当高斯分布函数值大于 0.6 时认为对应的 RSSI 值为高概率发生值;小于或等于 0.6 对应的 RSSI 值认为是小概率随机事件,通过式(3)与式(4)可以求出 σ 与 m 。

$$0.6 \leq \frac{1}{\sigma \sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \leq 1 \quad (7)$$

由式(7)可以确定 RSSI 的选值范围,按照此范围各节点从步骤③中的 RSSI 数组中选值,并存放数组 Beacon-val-gaosi[n] 中。则最终得出的 RSSI 优化值为

$$RSSI = \frac{\sum_{i=1}^n \text{Beacon-val-gaosi}[i]}{n} \quad (8)$$

其中 n 为高斯筛选后入选 RSSI 的个数。

- ⑤ 各个节点将步骤④中得到的 RSSI 值传给基站,由基站将各个节点的 RSSI 值进行排序,取其最大的 3 个值,并转换为距离。通过本文提出的三边测量法选择模块判断这 3 个值是否为有效值,若不满足则回到步骤③,若满足则执行步骤⑥。

- ⑥ 运用式①和步骤⑤中的 RSSI 值,计算出 p_1p, p_2p, p_3p ,并以 p_1, p_2, p_3 为圆心作圆,求解这 3 个圆的交点。若交于一点则该点就是未知点的坐标;若解得 3 点 $A(x_1, y_1), B(x_2, y_2), C(x_3, y_3)$ 不重合如图 3,则以这 3 点作三角形,算其质心,则质心即为未知点 $p(x, y)$ 坐标。

3 实验分析

3.1 测试环境

测试以 Crossbow 出产的无线传感器节点 Micaz 节点为硬件平台, 其通讯模块 CC2420^[8] 具有强大的通讯功能; Micaz 节点的核心是 ATmega128^[9], 它是一款低功耗、高速率、功能全的处理器。

测试的软件平台是 MANTIS 嵌入式操作系统, 它能够很好地支持点对点通讯。测试过程中采用了 12 个信标节点, 1 个未知节点, 测试地点为 15 m×10 m 的某长方形教室。

3.2 结果分析

本文在大量实验数据的基础上比较高斯模型、随机模型、统计均值模型的实际效果, 如图 5 所示。从图中可以看到由高斯模型处理的数据变化非常平稳, 它避免了在 5 m 附近出现较大干扰。这说明随机偏差出现概率非常大, 这会直接影响测试精度, 本文从精度着手采用等边三角形定位算法消除了这一隐患。

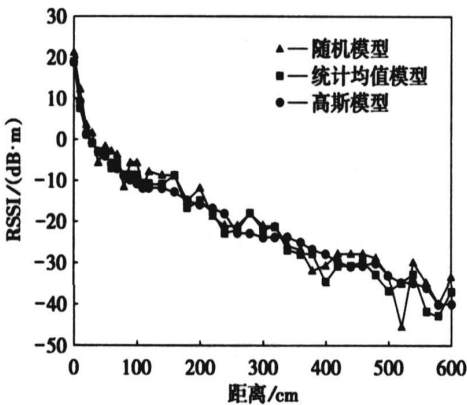


图 5 三种模型处理后的曲线

Fig. 5 Curves after three models dealt with

通过上文的分析与实际测量定位验证, 可以得出以下结论:

- (1) 运用高斯模型处理 RSSI 可以避免一些随机性的扰动, 使 RSSI 定位技术更加实用;
- (2) 敏感区与非敏感区概念可以有效地解决 RSSI 易变化、不稳定的问题;
- (3) 等边三角形定位算法可以有效防止定位错误, 确保定位过程始终是在非敏感区内进行, 从而在廉价的基础上提高了定位精度;
- (4) 通过实际测量定位, 得出最大定位误差 22%, 这比传统的定位精度提高了大约 30%。

4 结 语

本文提出的三角形定位算法基于无线传感器

节点, 在室内空间进行定位。由于 RSSI 的测量值不稳定, 随机性比较大, 因此采用高斯模型处理 RSSI 值, 并提出敏感区与非敏感区概念, 做到了低能耗、无扩展、高精度。

本文从实际着手, 在无线传感器节点定位精度较高, 能耗很低的基础上提出了一种全新的等边三角形定位算法。但是 RSSI 值与未知节点到信标节点的距离之间的关系随环境变化而改变, 如何产生一个普适的损耗模型仍是一个有待解决的问题; 另一方面, RSSI 值在室内必然由于墙壁反射能量而造成室内与室外的差异, 如何确立室内能量场分布也是室内定位的一个难点。

参考文献:

- [1] 王福豹, 史龙, 任丰原. 无线传感器网络中的自身定位系统和算法[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 1148—1157.
(Wang Fu-bao, Shi Long, Ren Feng-yuan. Self-localization systems and algorithms for wireless sensor networks[J]. *Journal of Software*, 2005, 16(5): 1148—1157.)
- [2] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: an in-building RF-based user location and tracking system[C] //Proceeding of the IEEE INFOCOM, 2000. New York: IEEE Computer and Communications Society, 2000: 775—784.
- [3] Harter A, Hopper A, Steggle P *et al.* The anatomy of a context-aware application[C] //Proceedings of the 5th Annual ACM/IEEE International Conference on Mobile Computing and Networking. New York: ACM Press, 1999: 59—68.
- [4] Girod L, Estrin D. Robust range estimation using acoustic and multimodal sensing[C] // Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Piscataway: IEEE Press, 2001: 1312—1320.
- [5] Niculescu D, Nath B. Ad hoc positioning system (APS) using AoA[C] //Proceedings of the IEEE INFOCOM, 2003. New York: IEEE Computer and Communications Society, 2003: 1734—1743.
- [6] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005: 137—140.
(Sun Li-min. *Wireless sensor network* [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2005: 137—140.)
- [7] IEEE. IEEE Std 802. 15. 4: wireless medium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low-rate wireless personal area networks (LRWPANs) [S]. New York: IEEE Press, 2003.
- [8] Chipcon Inc. CC2420-2. 4GHz IEEE 802. 15. 4/ZigBee-ready RF transceiver datasheet [S/OL]. 2004—06—09. http://www.chipcon.com/files/cc2420_Data_sheet_1_2.pdf.
- [9] 耿德根. AVR 高速嵌入式单片机原理与应用[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2002: 30—100.
(Geng De-gen. *Principle and application of high speed embed singlechip AVR* [M]. Beijing: Beijing University of Aeronautics & Astronautics Press, 2002: 30—100.)