

## Distance Difference Localization Algorithm Based on RSSI for Wireless Sensor Networks \*

REN Wei-zheng, XU Lian-ming, DENG Zhong-liang\*, WANG Chuan

(School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, Beijing 100876, China)

**Abstract:** In order to suppress effectively the effects of RSSI error to WSN node localization precision, individual difference coefficient, distance difference coefficient and distance difference localization equation are defined, based on the trilateration localization algorithm. The closest beaconing node to object node as reference node corrects measure distance based on RSSI by difference method. A distance difference correction localization algorithm is put forward through combining difference method and weighted centroid averaging method. This localization algorithm needn't additional hardware spending, easy to be realized, and its location error is less than 2.5m, so it is fit for WSN node whose operation ability and power supply are restricted.

**Key words:** WSN; localization; difference; RSSI (Received Signal Strength Indicator)

EEACC: 7230; 6150P

## 基于 RSSI 的测距差分修正定位算法 \*

任维政, 徐连明, 邓中亮\*, 王 川

(北京邮电大学电子工程学院, 北京 100876)

**摘 要:** 为了抑制 RSSI 误差对无线传感器节点自身定位精度的影响, 以三边定位算法为基础, 定义了个体差异系数、距离差分系数和距离差分定位方程, 把离目标节点最近的信标节点作为参考节点对基于 RSSI 的测距进行差分修正, 并将差分法和质心法相结合提出了一种测距差分修正定位算法。该定位算法无需增加额外硬件开销, 容易实现, 定位误差可小于 2.5 m, 适合于处理能力和能量有限的无线传感器网络节点。

**关键词:** 无线传感器网络; 定位; 差分; RSSI

中图分类号: TP919.2; TP212

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2008)07-1247-04

无线传感器网络将改变人类与客观世界的交互方式, 通过部署大量传感器节点至目标区域, 可以在广泛的应用领域内实现复杂的大范围监测和追踪任务, 但对于大多数应用, 不知道传感器位置而感知的数据是没有意义的<sup>[1]</sup>。人工部署和为所有网络节点安装 GPS 接收器都会受到成本、功耗、扩展性等问题的限制, 因此必须采用一定的机制与算法实现 WSN 的自身定位。

目前的定位算法主要分两大类, 基于测距算法 (range-based) 和无需测距算法 (range-free)<sup>[2]</sup>。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等定位算法。常用的测距技术有 RSSI<sup>[3]</sup>, TOA<sup>[4]</sup>, TDOA<sup>[5]</sup> 和 AOA<sup>[6]</sup> 等; 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<sup>[7]</sup>。

反射、多径传播、非视距、天线增益等问题都会对相同距离产生显著的传播损耗。通常将 RSSI 测距看作为一种粗糙的测距技术, 如何能够提高基于 RSSI 的定位精度是一个比较有意义的问题。因此, 本文通过对无线电传播路径损耗模型的分析, 提出了基于 RSSI, 通信开销小、硬件要求低、定位精度

基金项目: 北京大学数字中国研究院为新研究基金项目资助“室内外无缝定位与导航关键技术研究”(W07SN12)

收稿日期: 2007-08-26 修改日期: 2008-01-31

高、适合传感器节点处理的 RSSI 差分修正定位算法。

### 1 算法模型描述

WSN 定位要求硬件成本低、定位过程通信开销小。本文在不增加节点硬件设计的情况下,通过 RSSI 的测量得到节点距离相关信息,以三边测量定位算法为理论基础,提出了基于 RSSI 的无线传感器网络距离差分修正定位算法。

#### 1.1 三边测量法

假设 3 个参考节点的坐标分别为信标节点  $B_i(x_i, y_i), B_j(x_j, y_j), B_k(x_k, y_k)$ , 待确定位置节点的坐标为  $O(x, y)$ , 该节点到各个参考节点的距离分别是  $d_i, d_j, d_k$ , 根据二维空间距离计算公式, 可以获得一个非线性方程组<sup>[8]</sup>, 如式(1)

$$\begin{cases} (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 = d_i^2 \\ (x - x_j)^2 + (y - y_j)^2 = d_j^2 \\ (x - x_k)^2 + (y - y_k)^2 = d_k^2 \end{cases} \quad (1)$$

采用线性化方法求解, 可以得到待定位节点的坐标为

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_i - x_k) & 2(y_i - y_k) \\ 2(x_j - x_k) & 2(y_j - y_k) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_i^2 - x_k^2 + y_i^2 - y_k^2 + d_k^2 - d_i^2 \\ x_j^2 - x_k^2 + y_j^2 - y_k^2 + d_k^2 - d_j^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

#### 1.2 无线电传播路径损耗模型分析

由于传感器节点自身具备通信能力, 通信控制芯片通常会提供测量 RSSI 的方法, 在信标节点广播自身坐标的同时可完成 RSSI 的测量, 故而是一种低功率、低代价的测距技术。其误差主要来源于信号实际传播过程中环境影响造成的信号衰减与理论或经验模型不符, 从而造成实际建模的复杂性。

无线电传播路径损耗对于 RSSI 定位算法的定位精度有很大影响。常用的传播路径损耗模型有: 自由空间传播模型; 对数距离路径损耗模型; 哈它模型; 对数-常态分布模型等。本文采用自由空间传播模型和对数-常态分布模型, 用于分析和仿真。自由空间无线电传播路径损耗模型如下。

$$Loss = 32.4 + 10 \times k \times \lg(d) + 10 \times k \times \lg(f) \quad (3)$$

其中,  $d$  为距信源的距离 km;  $f$  为频率 MHz;  $k$  为路径衰减因子。在实际应用环境中, 由于多径、绕射、障碍物等因素, 无线电传播路径损耗与理论值相比有些变化。下述对数-常态分布模型将更加合理, 下式可用于计算节点收到信标信息时的路径损耗。

$$PL(d) = \overline{PL}(d_0) + 10k \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (4)$$

其中,  $PL(d)$  为经过距离  $d$  后的路径损耗, dB;  $X$  为平均值为 0 的高斯分布随机变数, 其标准差范围为 4 ~ 10。式中  $k$  的范围在 2 至 5 之间。取  $d = 1$  m, 代入式(3), 可得到  $Loss$ , 即  $PL(d_0)$  的值。这样根据上式可得各未知节点接收信标节点信号时的信号强度为

$$RSSI = P + G - PL(d) \quad (5)$$

其中,  $P$  为发射功率,  $G$  为天线增益。

节点到信号源的距离越近, 由 RSSI 值的偏差产生的绝对距离误差越小。信标节点对未知节点位置都有影响力, RSSI 越大的信标节点, 影响力越大, 对节点位置有更大的决定权。信标选择原则: 一个未知节点可能收到多个信标节点的信号, 应当采用 RSSI 值大的前几个信标节点进行定位计算<sup>[9]</sup>。在保证参与定位计算的信标节点数大于 3 个的情况下, 将距离大于某一阈值(视应用环境而定)的信标节点去除, 以免造成定位误差扩大。

#### 1.3 差分修正定位算法

如图 1 所示, 信标节点为  $B_0(x_0, y_0), B_1(x_1, y_1), B_2(x_2, y_2), \dots, B_n(x_n, y_n)$ , 目标节点  $O$ 。  $B_0$  是与目标节点  $O$  最近的信标节点, 令其为差分参考节点, 参考节点  $B_0$  到信标节点  $B_1, B_2, \dots, B_n$  的实际距离分别为  $d_{01}, d_{02}, \dots, d_{0n}$ ; 目标节点  $O$  到信标节点  $B_1, B_2, \dots, B_n$  的差分测量距离分别为  $d_1, d_2, \dots, d_n$ 。

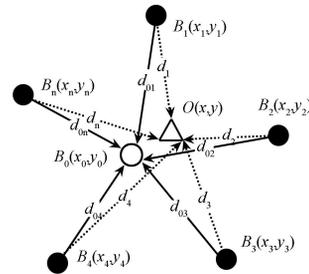


图 1 差分修正定位算法示意图

定义 1 参考节点 RSSI 个体差异修正系数

$$= \frac{d_{0i} - d_{0i}}{d_{0i}} \quad (6)$$

其中,  $d_{0i}$  为参考节点到第  $i$  个信标节点的测量距离,  $d_{0i}$  为参考节点到第  $i$  个信标节点的实际距离,  $n$  为参与定位的信标节点个数。

定义 2 目标节点到第  $i$  个信标节点的距离差分系数

$$i = e^{1 - \frac{d_i}{d_{0i}(1-\epsilon)}} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (7)$$

其中,  $\epsilon$  为比例调整因子,  $d_i$  为目标节点到第  $i$  个信标节点的实测距离,  $n$  为参与定位的信标节点个数。

定义 3 目标节点到第  $i$  个信标节点的距离差分定位方程

$$d_i = d_i - i e^{\epsilon} \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (8)$$

其中,  $d_i$  为目标节点到第  $i$  个信标节点的修正距离, 参考节点测量距离误差  $e_{0i} = d_{0i} - d_{0i}$ ,  $n$  为参与定位的信标节点个数。

将式(8)代入式(1)、(2)即可求得目标节点的差分修正坐标。如果有  $n$  个信标节点参与定位, 则可得到  $C_n^3$  组目标节点坐标值, 利用重心法即可求出最后的目标节点坐标, 如式(9) (10) 所示。

$$x = \frac{\sum_{i,j,k=1}^n \frac{x_{ijk}}{n}, i \quad j \quad k}{n} \tag{9}$$

$$y = \frac{\sum_{i,j,k=1}^n \frac{y_{ijk}}{n}, i \quad j \quad k}{n} \tag{10}$$

其中,  $n$  为参与定位的信标节点个数。

### 2 算法实现过程

信标节点周期性发送自身信息: 节点 ID、自身位置信息。

目标节点在收到信息后, 只记录同一个信标节点的 RSSI 均值。

目标节点在收到超过阈值  $m$  个信标信息后, 对信标节点依其 RSSI 值从大到小排序, 并建立 RSSI 值与节点到信标节点距离的映射。建立 3 个集合。

信标节点集合:

$$\text{Beacon-set} = \{ a_0, a_1, a_2, \dots, a_m \}$$

信标节点位置集合:

$$\text{Position-set} = \{ (x_0, y_0), (x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_m, y_m) \}$$

差分参考节点 (与目标最近的信标节点  $(x_0, y_0)$ ) 到其它信标节点距离集合:  $[\text{Dist-set-real}] = \{ d_{10}, d_{20}, \dots, d_{m0} \}$

差分参考节点到其它信标节点测量距离集合:

$$\text{Dist-set-test} = \{ d_{10}, d_{20}, \dots, d_{m0} \}$$

目标节点到信标节点测量距离集合:  $\text{Dist-set-test-o} = \{ d_1, d_2, \dots, d_m \}$

采用 RSSI 值大的前几个信标节点进行自身定位计算。

a 在 Beacon-set 中依据前述对无线电传播路径损耗模型的分析结论, 优先选择 RSSI 值大的信标节点组合成下面的三角形集合, 这是提高定位精度的关键。

$$\text{Triangle-set} = \{ (a_1, a_2, a_3), (a_1, a_2, a_4), \dots, (a_{m-2}, a_{m-1}, a_m) \}$$

b 利用式(6)、(7)和(8)求出目标节点到信标节点差分修正距离集合:

$$\text{Dist-set-dif-o} = \{ d_1, d_2, \dots, d_m \}$$

©利用式(1)和式(2)求出差分修正目标位置坐标集:

$$[x\text{-set}] = \{ x_{123}, x_{124}, \dots, x_{ijk}, \dots, x_{(n-2)(n-1)n} \}$$
$$i, j, k = 1, 2, \dots, n. \quad i \quad j \quad k$$

$$[y\text{-set}] = \{ y_{123}, y_{124}, \dots, y_{ijk}, \dots, y_{(n-2)(n-1)n} \}$$
$$i, j, k = 1, 2, \dots, n. \quad i \quad j \quad k$$

利用式(9)和式(10)重心法求出目标节点坐标  $(x, y)$ 。

### 3 实验结果

基于 ZigBee 硬件平台对文献[9]提出的加权质心算法和本文提出差分定位算法进行了实验。采用 CC2430 模块设计了节点信标节点和目标节点。CC2430 通信距离约为 60 m, 实验区域为 180 m × 180 m 的空旷区域, RSSI 与距离的关系由式(3)和式(4)决定, 衰减因子  $k = 3.2$ , 参考距离  $d_0 = 1$  m, 信标节点均匀分布于传感区域。信标节点数目有 3 种情况: 16, 25, 36 个信标。在各种信标数目情况下, 在实验区域内随机布置 10 个目标节点, 进行 100 次实验。每次实验采用 RSSI 值最大的 5 个或 6 个信标节点参与定位的差分算法和加权质心算法分别进行定位, 实验结果如表 1 所示。

表 1 定位误差统计表

参与定位方法	参与定位节点数/个	信标总数/个					
		16		25		36	
		平均	最大	平均	最大	平均	最大
加权质心算法	5	8.326	26.232	6.998	18.548	6.883	15.658
差分定位算法	6	7.995	25.673	6.667	17.331	6.547	15.709
差分定位算法	5	5.113	18.994	3.572	17.432	3.334	13.396
差分定位算法	6	3.889	18.332	3.107	15.913	2.479	12.137

### 4 结论

从算法的实现过程和实验结果可以得出如下结论:

算法计算量小, 容易实现, 比较适合计算能力和能量都有限的无线传感器节点使用;

CC2430 模块具有 RSSI 采集功能, 无需增加额外的测距硬件开销, 从而有效降低了节点功耗;

采用差分定位算法有效抑制了 RSSI 随机波动较大的影响, 使定位精度与文献[8]提出的加权质心算法相比有了较大幅度的提高;

差分算法是以三边测量算法为基础的, 故当信标节点密度降低时, 差分定位算法定位精度受到的影响较小;

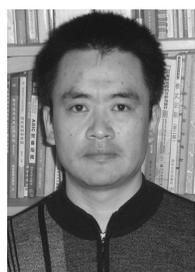
由于差分算法中最后一步中引入了重心法

进行均值计算,故每次定位参与的信标节点增加时,定位精度有明显的改善。

参考信标差分修正方法直接针对 RSSI 测量值的随机性进行修正,抑制 RSSI 随机波动。差分修正定位算法可以推广到 TOA、TDOA 等其它的基于距离的定位算法中使用,也可以作为抑制 RSSI 随机误差的方法与其它定位算法相结合进一步提高定位精度。

#### 参考文献:

- [1] Rabacy J J, Ammer M J, da Silva Jr J L, Patel D, Roundy S. Picoradio Supports ad Hoc Ultra-Low Power Wireless Networking[J]. Computer, 2000, :33(7): 42-48.
- [2] He T, Huang C D, Blum B M, Stankovic J A, Abdelzaher T. Range-Free Localization Schemes in Large Scale Sensor Networks[C]// Proc. of the 9th Annual Int 'l Conf. on Mobile Computing and Networking. San Diego: ACM Press, 2003. 81-95. [http://www.cs.virginia.edu/~th7c/paper/APIT\\_CS-2003-06.Pdf](http://www.cs.virginia.edu/~th7c/paper/APIT_CS-2003-06.Pdf).
- [3] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: an Inbuilding RF-Based User Location and Tracking System[J]. Proc. of the IEEE INFOCOM, 2000. 2. Tel Aviv: IEEE Computer and Communications Societies, 2000: 775-784.
- [4] 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, USA: ACM Press, 1999. 59-68.
- [5] Grod L, Estrin D. Robust Range Estimation Using Acoustic and Muhimodal Sensing[C]// Proceedings of the IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems. Piscataway. USA: IEEE, 2001. 1312-1320.
- [6] Niculescu D, Nath B. Ad Hoc Positioning System (APS) Using AoA[C]// Proceedings of the IEEE INFOCOM. New York, USA: IEEE. 2003. 1734-1743.
- [7] 苏进,万江文,于宁.无线传感器网络相对定位算法研究[J].传感技术学报,2007,20(12):2695-2700.
- [8] 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,2005:138.
- [9] 陈维克等.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.



任维政(1974-),男,讲师,博士研究生,主要研究方向为检测技术与仪器,无线传感器网络技术,renwz123@yahoo.com.cn



邓中亮(1965-),男,教授,博士生导师。北京市青年学科带头人,中国通信学会高级会员、中国工程图学学会计算机艺术委员会委员、中国工业自动化与集成标准化委员会委员。主要研究方向为多媒体通信、通信 IC 设计、智能通信技术。