

基于 RSSI 测距的无线传感器网络定位算法

吴君钦, 卢 陶

(江西理工大学 信息工程学院, 江西 赣州 341000)

摘 要: 提出了一种采用最小二乘法对环境参数进行拟合的方法, 获得损耗模型, 同时对所测得的 RSSI 数据进行高斯处理并优选信标节点, 最后对目标节点采用改进后的三边测量定位算法进行节点定位. 实验结果表明, 本算法定位受环境因素影响减小, 比传统 RSSI 定位算法精度更高, 可应用于无线传感器网络中.

关键词: RSSI 测距; 最小二乘法; 高斯处理; 节点定位; 无线传感器网络

中图分类号: TP212

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2014)05-0049-04

Localization Algorithm for Wireless Sensor Networks Based on RSSI

WU Jun-qin, LU Tao

(School of Information Engineering, Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: We propose a least square method to obtain environmental parameters and choose appropriate Gauss model for processing the measured RSSI data, then using the improved trilateration localization algorithm to locate the target node. Experimental results show that the algorithm reduces positioning influenced by environmental factors, while have higher accuracy than traditional RSSI location algorithm, can be widely used ZigBee positioning system.

Key words: distance measurement based on RSSI; least square methods; Gauss model; localization; wireless sensor networks

1 引言

无线传感器网络中的节点定位在实际应用环境中扮演了一个很重要的角色, 节点收集到的正确位置信息对实现目标的定位和跟踪有着重要的帮助. 根据定位中是否要测量节点间的实际距离, 可以把定位算法分为基于测距的定位算法和与距离无关的定位算法^[1], 前者的测距精度要高于后者. 现常用的测距方式有 GPS、红外线、超声波和 RSSI^[2]等, GPS 和红外线测距方式需要增加额外的硬件成本, 误差也相对比较大, 不适合无线网络低成本低功耗的要求, 超声波定位精度比较高, 但是需要增加较大硬件成本, 同时受环境影响比较大, 综合比较, 基于 RSSI 的测距方式更符合要求. 常用的定位算法有三角测量、三边测量和最大似然估计^[3]等定位算法, 本文在研究基于 RSSI 测距技术和三边测量定位技术的基

础上提出了一种改进后的三边测量定位算法, 并引入了校正的思想, 进一步提高了定位精度.

2 RSSI 测距模型

2.1 RSSI 测距原理

一般情况下, 接收信号的平均功率随着距离的增加而呈现衰减性, 无线传输中普遍采用的理论模型是 shadowing 模型, 可用式(1)表示^[4],

$$P_r = P_r(d_0) - 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (1)$$

式中, P_r 表示无线信号的接受功率(单位是 dBm); $P_r(d_0)$ 表示参考距离为 d_0 的无线信号在接受端的接受功率(单位是 dBm), d 表示收发单元之间的距离(m), d_0 是参考距离(m), n 表示与环境相关的路径散逸指数, X 是均值为 0 的高斯随机变量(dBm).

在实际应用过程中, 一般采用简化后的

收稿日期: 2013-07-18; 修回日期: 2013-09-11

基金项目: 国家自然科学基金项目(11062002)

shadowing 模型:

$$P_r = P_r(d_0) - 10n\lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

参考距离 d_0 常取值 1 m, 所以式(2) 可转化成式(3):

$$\text{RSSI}(\text{dBm}) = P_r = A - 10n\lg(d) \quad (3)$$

式中, A 可以看成信号传输距离 1 m 远时接受信号的功率(dBm), n 为与环境有关的路径散逸指数, d 为信号传输距离。

2.2 环境参数修正

由式(3) 可以看出, 接受信号强度和信号传输距离之间有一定函数的关系(与常数 A 和 n 有关), 在无线信号传输的实际过程中, 很容易受到环境因素的干扰, 比如室内和室外的环境变化很大, 环境干扰有很大的差异, 如果对于不同地区都采用同一种环境参数值, 将对测距结果造成很大的计算误差, 因此对于不同地区, 不同环境下的环境参数要进行修正, 本文采用了最小二乘法在封闭的实验环境下对测得的数据进行一次函数拟合, 以式(3) 中的 $\lg d$ 为 x , P_r (即 RSSI 值) 为 y , 经过函数拟合后可得到该区域网络的环境参数 A 和 n , 然后就可以对测得的 RSSI 值进行距离换算, 测得的数据在 MATLAB 平台上拟合后如图 1 所示, 拟合后的曲线公式如式(4) 所示:

$$\text{RSSI}(\text{dBm}) = -47 - 28\lg d \quad (4)$$

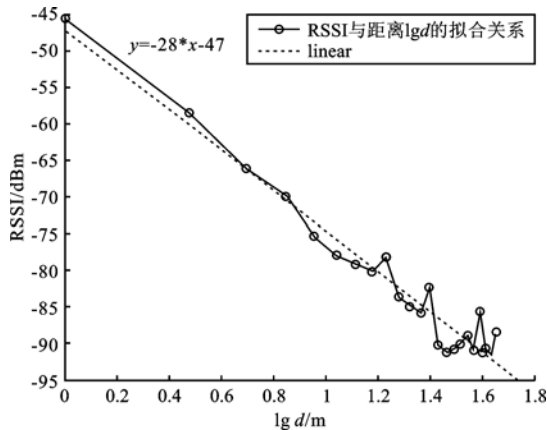


图 1 环境参数拟合曲线

图 1 表明 RSSI 测量值与距离 d 之间存在确定的函数关系, $A = -47$ dBm, $n = 2.8$, 这是本次测试环境的参数值, 如果环境发生改变, A 值和 n 值需要重新标定, 才可继续测距。

2.3 校正的测距模型

在利用 RSSI 测距时, 由于干扰的存在, RSSI 值会不够稳定, 为了使 RSSI 值更精确的体现无线

信号的传输距离, 常用的处理 RSSI 数据的校正模型有统计均值模型, 即对未知节点采集一组 (m 个) RSSI 值再求均值, 如式(5) 所示:

$$\text{RSSI} = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m \text{RSSI}_i \quad (5)$$

该校正模型可以通过增加采集次数(提高 m 值) 来提高精确性, 当 m 值很大时, 可以有效解决信号的随机性, 但由此会增加通信成本, 同时对于处理大扰动效果不是很好。

而高斯模型很好解决了这个问题, 高斯模型处理数据的原理是: 一个未知节点在同一个位置上收到的 RSSI 值中必然存在小概率事件, 如果把小概率事件也计入到测距计算中, 测量结果一定会有比较大的误差, 所以本文通过高斯模型选择高概率发生区的 RSSI 值, 再对其求几何平均, 这种做法减少了一些小概率事件和大干扰事件对整体测量的影响, 减小了测距误差, 从而提高了定位准确性。

我们首先将未知节点收到的 RSSI 记录值存入 $B_val[]$ 中, 并用高斯校正模型进行处理:

$$F(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (6)$$

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (7)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - m)^2 \quad (8)$$

$$0.6 \leq \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \leq 1 \quad (9)$$

根据实际经验, 我们选取临界值为 0.6, 当高斯函数分布值大于 0.6 且小于 1 时, 认定 RSSI 值为大概率值, 高斯函数分布值小于 0.6 时, 认定对应 RSSI 值为小概率值。通过式(7) 和式(8) 计算出所测得的 RSSI 值的均值 m 和方差 σ^2 , 再把 m 值和 σ^2 值代入式(9), 可以确定 RSSI 值的取值范围, 然后根据这范围在 $B_val[]$ 中选值, 放入新数组 $B_val_gauss[]$ 中, 其中 N 为经过高斯处理后统计的 RSSI 值个数, 最后对其求均值, 即为校正后的 RSSI 值。

$$\text{RSSI} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N B_val_gauss[i] \quad (10)$$

高斯校正模型较好解决了 RSSI 在实际测量中易受外界干扰, 稳定性差等问题, 提高了测距精度。

3 定位优化算法

3.1 三边测量法数学模型

三边测量定位算法, 已知三个信标节点就能确

定一个未知节点的位置,理想条件下其示意图如图2所示,以信标节点为圆心的三个圆交于同一点。

先假设A、B、C三个节点为信标节点,坐标分别为 (x_A, y_A) , (x_B, y_B) , (x_C, y_C) , M为未知节点,坐标为 (x, y) ,信标节点A、B、C到未知节点M的距离分别为 d_A, d_B, d_C ,存在下列公式:

$$\sqrt{(x - x_A)^2 + (y - y_A)^2} = d_A \quad (11)$$

$$\sqrt{(x - x_B)^2 + (y - y_B)^2} = d_B \quad (12)$$

$$\sqrt{(x - x_C)^2 + (y - y_C)^2} = d_C \quad (13)$$

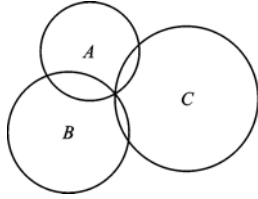


图2 三边测量法定位示意图

由于在实际的环境下,随着干扰的影响,信号会产生绕射、反射和折射等,基于RSSI值测距会存在一定的误差,以致图2中的三个圆很可能不会交于同一点,实际情形如图3所示。

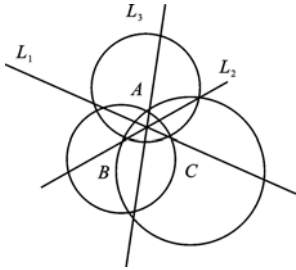


图3 三边测量法定位实际情形

我们对式(11)、(12)、(13)平方后两两相减,可以得到

$$L_1: 2(x_B - x_A)x + 2(y_B - y_A)y = d_A^2 - d_B^2 - x_A^2 + x_B^2 - y_A^2 + y_B^2,$$

$$L_2: 2(x_C - x_B)x + 2(y_C - y_B)y = d_B^2 - d_C^2 - x_B^2 + x_C^2 - y_B^2 + y_C^2,$$

$$L_3: 2(x_C - x_A)x + 2(y_C - y_A)y = d_A^2 - d_C^2 - x_A^2 + x_C^2 - y_A^2 + y_C^2. \quad (14)$$

上述三条直线的交点,是方程组(14)的解,可以作为未知节点M的估计坐标,如果方程组无解,则表示三直线无交点。

3.2 定位改进算法

本文的定位改进算法的思想是:首先用高斯模型处理测得的RSSI值,优选信标节点,再在三边测量的基础上,增加一个已优选的信标节点参与定位^[5],通过质心求和求得未知节点,最后通过定位校

正模型对未知节点坐标校正。

具体方法是先将未知节点测得的RSSI值转化为 d 值,再将 d 值从小到大的排序,优先取出排在前四位的4个信标节点,每次用已取出的信标节点中的任意3个信标节点对未知节点进行一次坐标估计,将产生4次未知节点M的坐标估计值,假设其坐标为 $M_1(x_1, y_1), M_2(x_2, y_2), M_3(x_3, y_3), M_4(x_4, y_4)$,最后对4个坐标值求质心,可求出未知节点M的坐标为

$$\begin{aligned} x &= \frac{x_1 + x_2 + x_3 + x_4}{4} \\ y &= \frac{y_1 + y_2 + y_3 + y_4}{4} \end{aligned} \quad (15)$$

在上述方法中,有可能遇到一种情况,在利用三边测量定位算法时,参与定位的三个信标节点组成3个圆中两两交点组成的三条直线没有交点(即方程组没有解),如果遇到这种情况,要进行排除,用优选信标节点数组中后面的节点替换前一个信标节点,直到能满足要求为止。

3.3 算法校正模型

为了进一步提高算法定位精度,本文采用了校正的思想:对于一个已知坐标值的信标节点,用改进后的三边测量算法对其求计算值,再用计算值和坐标值进行比较,能得出该信标节点的坐标误差,最后利用坐标误差对未知节点的测量坐标进行校正,通过该校正方法可以减小各种不利因素对定位结果的干扰。

假设信标节点的坐标误差为 (e_{xi}, e_{yi}) ,其值可以用式(17)表示:

$$\begin{aligned} e_{xi} &= x_i - x_{ci} \\ e_{yi} &= y_i - y_{ci} \end{aligned} \quad (16)$$

式中, x_i, y_i 分别表示第 i 个信标节点的 x 和 y 实际值; x_{ci}, y_{ci} 分别表示第 i 个信标节点 x 和 y 计算值,因为信标节点的坐标误差 (e_{xi}, e_{yi}) 仅表示所在定位区域该点的定位误差,为更好表示几个信标节点组成区域的定位误差,我们对信标节点的坐标误差求均值,如式(18)所示:

$$\begin{aligned} \bar{e}_x &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 e_{xi} \\ \bar{e}_y &= \frac{1}{4} \sum_{i=1}^4 e_{yi} \end{aligned} \quad (17)$$

式中, e_{xi}, e_{yi} 分别是第 i 个信标节点 x 方向和 y 方向的坐标误差, $(\bar{e}_x, \bar{e}_y)$ 是4个信标节点所组成区域的定位误差,所以,最终未知节点最终坐标可以表示为

$$\begin{aligned} x' &= x + \bar{e}_x \\ y' &= y + \bar{e}_y \end{aligned} \quad (18)$$

式中, x, y 分别是上述改进后的三边测量法求得的未知节点 M 的 x 坐标值和 y 坐标值, $(\bar{e}_x, \bar{e}_y)$ 是 4 个信标节点所组成区域的定位误差, (x', y') 是校正后的未知节点的最终坐标。

4 实验结果分析

采用 ZigBee 硬件平台^[6] 作为无线通信平台对本算法进行试验, ZigBee 模块作为未知节点和信标节点, 完成无线信号的收发功能, 模块芯片使用 CC2431, 并借助 MATLAB 对算法进行性能仿真。

本次实验主要分为两个环节, 第一个环节是在相同环境下, 比较均值模型和高斯模型对所测得的 RSSI 的数据校正性能, 第二个环节是比较改进后的三边测距算法和传统的三边测距算法的定位性能。

第一个环节: 测距实验设置在一个空旷的操场上, 天线选择全向天线, 4 个节点 P0, P1, P2, P3 为发射节点, 均匀分布在圆的边界处, 接收节点放置在圆心处, 从 0 m 到 45 m 每间隔 5 m, 4 个节点依次发送 25 个数据包到接收节点, 接收节点将收到的 100 个数据包分别用上述的统计均值方式和高斯方式处理数据包并转换为 RSSI 值, 求得的 RSSI 值作为无线收发节点在该距离下的 RSSI 值, 并用式(4)求得测得的 r 值, 再计算出两种方式下的测距误差。

可以得出, 高斯模型所产生的测距误差要小于均值模型产生的测距误差, 当测量距离在 20 m 以内, 均值模型的最大测距误差是 2.64 m, 约为测量距离的 13%, 而高斯模型的最大测距误差是 1.94 m, 约为测量距离的 9.7%; 当测量距离在 20 m 到 40 m 之间时, 均值模型的最大测距误差是 8.93 m, 约为测量距离的 22.3%, 而高斯模型的最大测距误差是 5.75 m, 约为测量距离的 14.3%, 从测试结果分析可得, 高斯模型的测距误差要低于均值模型, 性能更好。

第二个环节: 定位效果验证, 实验区域是以 (0, 0) 为圆心, 50 m 为半径的一个圆, 圆心处放一个信标节点, 圆形区域的边界上均匀放置其他信标节点, 取四个未知节点分别放在圆心区域不同位置上, 分别采用三边测量法和改进后的三边测量法进行定位, 定位结果如表 1 所示。

由表 1 可知, 改进后的三边定位算法比原定位算法的定位误差明显下降, 定位精度得到了改善, 如果想进一步提高精度, 可以考虑引入加权因子, 值得

我们下一步进行研究。

表 1 不同未知节点算法误差比较

算法	真实坐标/ m	计算坐标/ m	误差/ m
三边测量算法	(19, 22)	(21.439 4, 24.745 8)	3.672 9
改进后的三边测量算法	(19, 22)	(19.719 2, 22.862 7)	1.123 1
三边测量算法	(44, 15)	(42.700 5, 13.056 1)	2.343
改进后的三边测量算法	(44, 15)	(44.691 9, 15.856 6)	1.101 1
三边测量算法	(20, 12)	(22.090 4, 13.997 6)	2.891 4
改进后的三边测量算法	(20, 12)	(21.131 1, 13.141 0)	1.606 6
三边测量算法	(17, 6)	(18.547 6, 7.165 9)	1.937 6
改进后的三边测量算法	(17, 6)	(17.549 9, 6.380 7)	0.668 8

5 结束语

本文在基于 RSSI 测距三边定位模型分析的基础上, 提出了采用高斯模型处理测得的 RSSI 值来降低随机干扰, 再通过改进后的三边测量算法对未知节点定位, 并最后通过误差校正模型校正定位坐标, 定位的稳定性和精度都有一定程度提高。本算法运算效率较高, 同时不需额外增加硬件, 能较好的适应无线传感器网络低成本和低功耗的要求, 具有较高的实用性。

参考文献:

- [1] Niculescu D, Nath B. DV based positioning in adhoc networks[J]. Journal of Telecommunication Systems, 2003, 22(1/4): 267-280.
- [2] Kazuya T, Tetsushi I. Decision experiment of attenuation constant during location estimation in RSSI[C]//Proceedings of 9th International Conference on Parallel and Distributed Computing, Applications and Technologies. Dunedin, New Zealand, 2008: 431-436.
- [3] Alireza N, Jacek I. A testbed for localizing wireless LAN devices using received signal strength[C]//Proceeding of 6th Annual Communication Networks and Services Research Conference(CNSR 2008). Halifax, Canada, 2008: 481-487.
- [4] Viani F, Lizzi L, Rocca P, et al. Object tracking through RSSI measurements in wireless sensor networks[J]. Electronics Letters, 2008, 44(10): 653-654.
- [5] 文举, 金建勋, 袁海. 一种无线传感器网络四边测距定位算法[J]. 传感器与微系统, 2008, 27(5): 108-110.
- [6] Zhang J, Zhang L. Research on distance measurement based on RSSI of ZigBee[C]//Proc Computing, Communication, Control, and Management. China: Shandong, 2009: 210-212.

(下转第 57 页)

tronic Design Automation)软件对多组数据进行测试仿真,均得到正确结果。

以 Rijndael 中 8-8 的 S 盒替换操作的查表动作为例^[6], 32 bit 数据要完成 8-8 的 S 盒查找表变换需要 $3(\text{SHIFT}) + 3(\text{AND}) + 4(\text{ADD}) + 4(\text{LOAD}) + 3(\text{SHIFT}) + 3(\text{OR}) = 20$ 条指令。依此类推,实现 8-32、4-4、6-4 的 S 盒替换^[7]也需要较多的指令才能完成。使用本文指令扩展以后的微处理器实现相同 S 盒替换只需要一条指令,性能提升至少 20 倍。

为了得出 S 盒替换模块用 ASIC 实现以后的电路性能,本文使用 $0.18\ \mu\text{m}$ 及 6 层金属工艺通过 EDA 软件综合,得出的电路最大延时为 $2.76\ \text{ns}$,工作频率可以达到 333 MHz,电路面积为 143 693 (门),而著名的 OpenRISC1200 开源处理器使用相同的工艺主频运行在 300 MHz,默认配置为 100 万门^[8],可见本文设计的 S 盒替换模块完全能够实际应用微处理器中。

6 结束语

本文在通用微处理器增加 S 盒替换模块、设计专用指令,实现了通用微处理器进行 S 盒替换的操作,具有良好的编程性而且具有较高的性能。在以后研究中,可以设计其他专用指令,使通用微处理器可以实现完整的密码运算。

参考文献:

- [1] 高娜娜,王沁,李占才.基于 AES 和 DES 算法的可重构 S 盒硬件实现[J].小型微型计算机系统,2006,27(3):446-449.
- [2] 张琰. RISC 结构专用指令密码处理器研究与设计[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2008.
- [3] 杨晓辉.面向分组密码处理的可重构设计技术研究[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2007.
- [4] 韩维维.高级加密标准 S 盒的 ASIC 实现[J].计算机工程与设计,2008,29(9):2222-2223.
- [5] 戴紫彬.面向分组密码处理的协处理器体系结构研究与设计实现[D]. 郑州:解放军信息工程大学,2007.
- [6] 杨宏志,韩文报,赵龙.适于硬件实现的 s 盒构造方法[J].计算机应用,2010,30(3):674-676.
- [7] 孟涛,戴紫彬.可重构 S 盒运算单元的设计与实现[J].电子技术应用,2007,33(5):139-141.
- [8] 倪继利,陈曦,李挥. CPU 源代码分析与芯片设计及 Linux 移植[M]. 北京:电子工业出版社出版社,2009.

作者简介:

郭怡惠 男,(1988—),硕士研究生.研究方向为密码 SoC 设计.

李森森 男,(1988—),硕士研究生.研究方向为密码 SoC 验证.

戴紫彬 男,(1966—),教授,博士生导师.研究方向为密码通信微系统设计.

张立朝 男,(1979—),讲师.研究方向为网络安全技术.

(上接第 52 页)

作者简介:

吴君钦 男,(1966—),副教授.研究方向为无线通信、嵌入式系统.

卢陶 男,(1989—),硕士研究生.研究方向为嵌入式系统.