

Research on Distance Measurement Based on RSSI of ZigBee*

ZHANG Jianwu*, ZHANG Lu, YING Ying, GAO Feng

(College of Communication Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou Zhejiang 310018, China)

Abstract: Distance measurement based on RSSI, featuring low communication overhead and low complexity, is widely applied in the range-based localization of the Wireless Sensor Networks. We first analyze the theory of distance measurement based on RSSI and the influence of environment on RSSI, and then we propose three experimental data processing methods. After using the ZigBee-based hardware platform to test the measurement error of the three methods, we draw the conclusion that the measurement error of Gauss model is 2 meters within 20 meters without consideration of circumstances effects.

Key words: wireless sensor networks; node localization; distance measure based on RSSI; Gauss model
EEACC: 6150P; 7320C

基于 ZigBee 的 RSSI 测距研究*

章坚武*, 张璐, 应瑛, 高锋

(杭州电子科技大学通信工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 基于 RSSI 的测距技术是一项低成本和低复杂度的距离测量技术, 被广泛的应用于无线传感器网络基于距离的定位技术中。本文在对 RSSI 测距的原理以及环境对 RSSI 的影响进行详细分析和研究的基础上, 提出了三种实验数据处理方式, 并在基于 ZigBee 的硬件平台上进行实验, 得到了三种数据处理方式的测距精度。实验结果表明, 在消除环境因素的影响后, 高斯模型数据处理方式的测距精度最高——在 20 m 的近距离测距时, 精度在 2 m 以内。

关键词: 无线传感器网络; 节点定位; RSSI 测距; 高斯模型

中图分类号: TN98

文献标识码: A

文章编号: 1004-1699(2009)02-0285-04

传感器节点定位技术是无线传感器网络多数应用的支撑技术, 而基于距离的定位技术是通过测量节点间距离来实现的, 因此研究无线传感器网络节点间的距离测量是十分必要的。基于 RSSI 的测距是无线传感器网络定位技术中较常采用的方法^[1]。目前已有一些相关的研究, 如文献[1]利用加权和均值法来消除环境因素对 RSSI 测量的影响, 在 15 m 内测距精度可达到 2 m。文献[2]分别对 RSSI 和 LQI 的两条衰落曲线计算估计距离, 并动态地进行优化处理得到最终的距离估计值。而本文的目标是在充分研究现有的基于 RSSI 的测距技术的基础上, 利用已有的硬件设备和 ZigBee 标准, 对提出的三种数据处理方式进行比较, 并得出它们的测距误差。最后结果显示高斯模型的测距误差最小, 统计均值模型的测距误差较大, 而基于固定节点间距离

的校正模型的测距误差鉴于上述两者之间。

1 RSSI 测距原理

无线信号传输中普遍采用的理论模型——Shadowing 模型^[4]由式(1)给出:

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

式中, d 为接收端与发射端之间的距离(m); d_0 为参考距离(m), 一般取 1 m; $P_r(d)$ 是接收端的接收信号功率(dBm); $P_r(d_0)$ 是参考距离 d_0 点对应的接收信号功率(dBm); X_{dBm} 是一个平均值为 0 的高斯随机变量(dBm), 反映了当距离一定时, 接收信号功率的变化; n 为路径损耗指数, 是一个与环境相关的值。

在实际应用中, 我们采用简化的 Shadowing 模型^[4], 由式(2)给出:

基金项目: 浙江省自然科学基金人才项目资助(R105473)

收稿日期: 2008-07-29 修改日期: 2008-12-08

$$\overline{p_r(d)_{dBm}} = [p_r(d_0)]_{dBm} - 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

并且通常取 $d_0 = 1 \text{ m}$, 从而得到实际应用中的 RSSI 测距公式, 由式(3) 给出:

$$[RSSI]_{dBm} = [p_r(d)]_{dBm} = A - 10n \lg d \quad (3)$$

上式中, A 为信号传输 1 m 远处接收信号的功率 (dBm)。

相关文献^[2] 研究表明, RSSI 和无线信号传输距离之间有确定关系, RSSI 的测量具有重复性和互换性, 在应用环境下 RSSI 适度的变化有规律可循。但在实际应用环境中, 多径、绕射、障碍物等不稳定因素都会对无线信号的传输产生影响, 所以在解决好环境因素的影响后, RSSI 可以进行室内和室外的测距及定位。此外, 部分文献^[3] 还列出了一些实测值, 可以作为算法仿真的参考值。

2 三种校正模型

利用 RSSI 测距时, 要避免 RSSI 的不稳定性, 使 RSSI 值更精确地体现无线信号的传输距离。在这一小节中, 我们提出了三种处理 RSSI 数据的校正模型: 统计均值模型、基于固定节点间距离的校正模型和高斯模型, 并在下一小节中通过 ZigBee 实验平台, 实验比较各校正模型对测距精度的贡献。

2.1 统计均值模型

统计均值模型是指未知节点采集一组 (m 个) RSSI 值然后求这些数据的均值, 如式(4) 所示:

$$RSSI = \frac{1}{m} \sum_{i=1}^m RSSI_i \quad (4)$$

该模型可以通过调节 m 值来平衡实时性与精确性。当 m 很大时, 可以有效解决定位数据的随机性, 但通信成本会相应增加。该模型在处理大扰动时效果不是很好。

2.2 基于固定节点间距离的校正模型

我们在计算未知节点与固定已知节点间的距离时, 以固定已知节点对之间的距离和测量的 RSSI 值为参考, 把固定已知节点之间的距离和信号强度信息考虑进来对被测 RSSI 值进行校正, 从而提高测距精度。

如图 1 所示, 假设 $RSSI_1$ 为未知节点 A 接收到固定已知节点 B_1 信号的 RSSI 平均值 (dBm)。 $RSSI_2$ 表示固定已知节点 B_1 接收到固定已知节点 B_2 信号的 RSSI 平均值 (dBm)。 P_1 表示未知节点 A 接收到节点 B_1 的信号强度平均值 (mW)。 P_2 表示 B_1 接收到 B_2 的信号强度平均值 (mW), 转换关系如式(5) 所示:

$$P_1 = 10^{RSSI_1/10}, P_2 = 10^{RSSI_2/10} \quad (5)$$

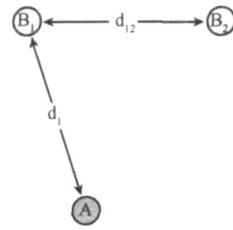


图 1 基于固定节点间距离的校正模型的测量

d_{12} 表示固定已知节点 B_1 和 B_2 之间的距离, d_1 表示未知节点 A 到 B_1 的距离。根据式(6) ——式(2) 的另一种表达方式,

$$\frac{p_r(d_0)}{p_r(d)} = \left[\frac{d}{d_0}\right]^n \quad (6)$$

我们可以得出:

$$\frac{P_{12}}{P_1} = \left[\frac{d_1}{d_{12}}\right]^n \Rightarrow d_1 = \left[\frac{P_{12}}{P_1}\right]^{\frac{1}{n}} \times d_{12} \quad (7)$$

2.3 高斯模型

高斯模型数据处理原则 一个未知节点在同一位置可能收到 n 个 RSSI 值, 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。

将未知节点在同一位置时接收到的 RSSI 测量值记录到对应的 RSSI 值数组 `Beacon_val[]` 中, 运用高斯分布函数处理这些 RSSI 值:

$$F(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \quad (8)$$

$$m = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (9)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - m)^2 \quad (10)$$

$$0.6 \leq \frac{1}{\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-m)^2}{2\sigma^2}} \leq 1 \quad (11)$$

根据实际经验, 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; 当高斯分布函数值小于或等于 0.6 时, 认为对应的 RSSI 值是小概率随机事件。通过式(9)^[5] 与式(10)^[5] 可以求出均值 m 与方差 σ^2 。再利用式(11)^[5] 可以确定出 RSSI 的选值范围, 然后节点按照此范围从 `Beacon_val[]` 中选值, 并存放数组 `Beacon_val_gauss[n]` 中。最终的 RSSI 优化值由式(12) 求得, 其中 n 为经过高斯公式筛选后入选的 RSSI 的个数。

$$RSSI = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n Beacon_val_gauss[i] \quad (12)$$

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,对于如室内定位墙壁对 RSSI 的能量反射等长时间干扰问题其效果将有所下降。

3 RSSI 测距实验

实验是在一片空旷的草坪上进行的,依据文献 [3],我们选取式 (3) 中的 $n = 3.5, A = -35 \text{ dBm}$ 。选择基于 ZigBee 的硬件平台作为无线通信平台,使用 TI 公司的无线收发芯片 CC2430 完成固定节点和待测节点间的通信以及 RSSI 的采集。该芯片兼容 IEEE802.15.4 规范^[6],其输出功率可编程,可通过软件设置 8 个功率输出级,其中,0 dBm 为芯片的默认输出功率。

CC2430 芯片在 MAC 层的数据成帧、冗余校验等方面完全兼容 IEEE 802.15.4 规范。从 CC2430 接收的 MAC 帧中读出的 RSSI 值是芯片寄存器 RSSI_VAL 的值,需对该值进行修正,才能将其转换为接收节点 RF 管脚的功率值。运算公式如式 (13)^[7]:

$$P = \text{RSSI_VAL} + \text{RSSI_OFFSET}[\text{dBm}] \quad (13)$$

其中, RSSI_OFFSET 是经验值,通常取 -45 dBm。

在实验中,我们随机选取四个节点 (P_0, P_1, P_2, P_3),其中三个为无线信号发射节点 (P_1, P_2, P_3),一个为无线信号接收节点 (P_0)。发射接收节点使用的都是鞭状全向天线,节点摆放在地面上。

为了避免天线的非全向性带来的测量误差,我们使用如图 2 所示的节点安置方法。

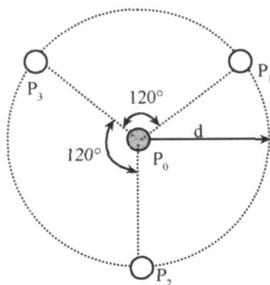


图 2 节点放置位置

测量范围定为 $[0 \sim 40] \text{ m}$,从距离 P_0 为 0.5 m 处开始测量,每隔 0.5 m 测量 100 组数据。在一次数据测量中,三个发射节点依次发送 1 个数据包给接收节点,接收节点将接收到的 3 个数据包按照式 (13) 转换为相应的 RSSI 值并求平均值,将求得的平均值作为一次消除天线非全向性后的测量 RSSI 值。

4 实验结果

借助 MATLAB,对以上提出的三种模型进行性能比较:在统计均值模型中,我们取 $m = 100$;在基于固定节点间距离的校正模型中,我们额外加入一个固定已知节点,并精确地测量出该节点与 P_0 之间的固定距离和 RSSI 值,作为该模型公式的参数;在高斯模型中,我们选取 0.6 为临界点。

根据上一小节在各个测试点所测得的数据,分别利用上述三种模型计算得到了相应的测距误差,如图 3 所示。

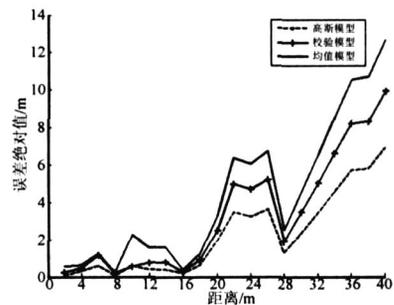


图 3 三种模型的误差绝对值比较

从图 3 中,可以得出统计均值模型所产生的测距误差最大,测量距离在 20 m 以内的最大测距误差为 3.2 m,约为测量距离的 16%;而高斯模型测距在 20 m 以内的误差最小,最大的测距误差为 1.96 m,约为测量距离的 9.8%。测量距离在 20 m 和 30 m 之间时,统计均值模型的测距误差最大为 6.73 m,约为测量距离的 22.4%;高斯模型的测距误差最小,最大的测距误差为 3.62 m,约为测量距离的 12.1%。基于固定节点间距离的校正模型的测距精度介于统计均值模型和高斯模型之间。具体的比较结果如表 1 所示。

表 1 三种模型结果比较

距离模型	0 ~ 10 m		10 ~ 20 m		20 ~ 30 m		30 ~ 40 m	
	最大偏差 / m	最大偏差 百分比/ %	最大偏差 / m	最大偏差 百分比/ %	最大偏差 / m	最大偏差 百分比/ %	最大偏差 / m	最大偏差 百分比/ %
均值模型	2.22	22.0 %	3.24	16.2 %	6.73	25.9 %	12.685	31.7 %
校验模型	1.16	19.3 %	2.485	12.42 %	5.23	20.10 %	9.946	24.87 %
高斯模型	0.6086	6.1 %	1.964	9.82 %	3.618	13.92 %	6.984	17.46 %

从测试结果分析来看,测距范围在 20 m 以内,三种模型的测量误差最大百分比为 16.2%,测距范围在 30 m 以内,三种模式的测量误差百分比为 25.9%。可见在 20 m 以内的测距精度还是可以的,而其中高斯

模型的测距误差最小,精度可达2 m以内。

5 结论

本文对基于 ZigBee 的 RSSI 测距的原理及环境对 RSSI 的影响进行了全面的分析,将在实验基础上得到的 RSSI 数据采用了三种方法进行校正,最后得出高斯模型数据处理方法的测距精度最高——在 20 m 的近距离测距时,精度在 2 m 以内,可以满足大多数无线传感器网络节点定位的需求。

参考文献:

- [1] 方震,赵湛,郭鹏,张玉国. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报,2007,20(11):2526-2530.
- [2] 张洁颖,王侠等. 基于 RSSI 和 LQI 的动态距离估计算法[J]. 电子测量技术,2007,30(2):142-145.
- [3] 陈红阳. 基于测距技术的无线传感器网络定位技术研究[D]. 西南交通大学硕士学位论文,2006.
- [4] Shamir A. 无线电传播传播简介:专用术语,室内传播和路径损耗及实例[J]. 今日电子,2002:26-30.
- [5] Li J, Li J, Cuo L, et al. Power-Efficient Node Localization Algorithm in Wireless Sensor Networks[C]// APWeb 2006 International Workshops, Harbin, China. 2006,3842:420-430.
- [6] TI/Chipcon. CC2430 PRELIMINARY Data Sheet (rev. 1.03) SWRS036A [DB/OL]:163-221.
- [7] 孙佩刚,赵海,罗玎玎,张希元,朱剑. 无线传感器网络链路通信质量测量研究[J]. 通信学报,2007(10):14-22.



章坚武(1961-),男,杭州电子科技大学,教授,博士后,杭州电子科技大学通信与信息系统研究所所长,全国考委第三届专业委员会电子电工与信息类专业委员会委员,中国电子学会高级会员,浙江省通信学会常务理事,浙江省科技厅“十一五”重大专项咨询专家,主要研究方向移动通信与个人通信,无线通信网络,jwzhang@hdu.edu.cn



应瑛(1985-),女,浙江苍南人,在读研究生,主要研究方向无线网络定位等。



张璐(1984-),女,浙江乐清人,在读研究生,主要研究方向无线通信等。



高锋(1981-),男,河北唐山人,在读研究生,主要研究方向无线传感网络,移动终端设备。