

doi: 10.7690/bgzdh.2014.12.015

基于 ZigBee 的 RSSI 测距模型

赵莉, 李亚, 陈国绍

(西安工业大学计算机科学与工程学院, 西安 710021)

摘要: 针对现有国内外定位技术的不足, 设计一种基于 RSSI 测距的定位方法。通过对室内无线信号的传播特性和室内测距模型进行相关研究工作, 分析环境对 RSSI 的影响, 在确定传播损耗模型后, 根据实测数据筛选并计算得到满足实际环境的参数值。测验结果表明: 该模型较为准确地反映了 RSSI 与距离的关系, 为测距技术在无线定位系统的应用奠定了基础。

关键词: RSSI; 无线信号; 测距模型; 定位系统

中图分类号: TP302.7 **文献标志码:** A

Distance Measurement Model of RSSI Based on ZigBee

Zhao Li, Li Ya, Chen Guoshao

(School of Computer Science & Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

Abstract: Aiming at the shortcomings of the domestic and foreign positioning technology, design a localization method based on RSSI. Studied on the propagation characteristics of indoor wireless signal and distance measurement model, analyzed the influence of environment on the RSSI. Decided to use the propagation loss model, and calculated parameter values to meet the actual environment based on the measured data. The test result shows that model can more accurately reflect the relationship between the RSSI and the distance, it also laid the foundation on application of wireless location system.

Keywords: RSSI; wireless signal; distance measurement model; location system

0 引言

无线传感器网络广泛应用于工业、农业、军事、环境、医疗等传统领域, 正成为我们生活中不可缺少的一部分。作为无线传感器网络应用的关键技术, 基于无线传感器网络的定位技术研究是非常有意义和具有挑战性的。

目前国内外定位技术众多, 主要的定位技术包括基于测距的定位技术和非基于测距的定位技术。基于测距的定位技术需要知道参考节点的准确位置信息, 根据待定位节点与参考节点之间估算出的距离信息估算出待定位节点的位置; 该类定位方法的定位精确度主要依赖于距离测量的准确性以及定位算法的优劣^[1]。非基于测距的定位技术不需要估算节点间的距离信息, 但仍需要参考节点的辅助, 通过无需测距的定位技术估计待定位节点的位置。该类定位技术主要通过节点之间的连通关系估算节点的位置, 需要不断查询节点间连通关系, 通信量较大, 定位精度相对较低^[1]。笔者在综合考虑应用需求以及硬件性能的基础上, 最终选择基于 RSSI 测距的定位方法进行定位系统的设计。

1 RSSI 室内测距原理

信号从发射机发出后, 无线信号所带的能量将

逐渐衰减^[2]。笔者利用无线信号的衰减规律来测量参考节点与移动节点之间的距离。基于 RSSI 的测距技术是利用无线信号随距离增大而有规律地衰减的原理来测量节点间距离的, 接收信号强度 RSSI 与传输距离之间有一定关系。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^[3]。

传感器节点配有无线电广播设备, 所以基于 RSSI 的测距技术对硬件要求低, 通过接收信号的强度、发射功率建立测距模型来估计发射节点到接收节点的距离^[4]。基于 RSSI 的测距技术的精度有限, 虽然每个节点的发射功率是固定的, 但是实际环境中存在多径、绕射、障碍物等不稳定因素对无线信号的传输产生影响, 且衰减因子随环境变化而变化, 难以估计信道模型的参数, 因此需要在不同环境建立不同的测距模型, 使模型更加适合室内环境, 提高预测精确度^[5]。

2 RSSI 室内测距模型

在传播的过程中, 信号强度随着距离变化而发生改变, 根据信号的变化可以得出信号强度的衰减与距离的关系。目前, 无线信号传输中普遍采用的模型——传播损耗模型^[6]:

收稿日期: 2014-06-27; 修回日期: 2014-07-28

作者简介: 赵莉(1972—), 女, 辽宁人, 硕士, 教授, 从事软件工程、数据仓库、数据挖掘研究。

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

式中： $PL(d)$ 表示节点相距 d 时接收到的信号强度，单位为 dBm，一般取 $d_0=1$ m； n 是路径损耗指数，表明路径损耗随距离增长的速率，它的值依赖于环境和建筑物的类型，属于经验值； ε 表示误差项，是遮蔽因子。在实际应用中，笔者不考虑遮蔽因子，采用简化的距离耗模型：

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

简化为

$$RSSI = A - 10n \lg(d) \quad (3)$$

其中 $RSSI = PL(d)$ ， $A = PL(d_0)$ 。

根据公式 (3)，可以求出 2 个节点之间的距离

$$d = d_0 \times 10^{\frac{A-RSSI}{10n}} \quad (4)$$

为了让模型能够尽量真实反映出当前室内环境中的传播特性，保证 RSSI 测距的精度，需要对 $A(A=PL(d_0))$ 和 n 进行测量计算并优化，得到适合该室内环境的参数值。

3 室内测距实验

硬件平台：测试实验均采用 DTK 公司的 ZigBee 模块与 433 M 的无线收发模块组成的节点，该节点配备有 STC 公司的 89C52RC 处理器芯片，Chipcon 的 CC1101 通信模块，可方便加载各种传感器模块。其中 CC1101 内置了 RSS 检测模块，可从 RSSI 状态寄存器中读取接收信号强度指示 (RSSI) 值。

本次测试实验是在学校实验楼进行，由移动节点发射信号，接收节点检测 RSSI 值，记录节点接收信号强度并作统计，测量完成 60 次为一个周期，之后改变节点间的测试距离，继续测试。笔者主要对信号随距离衰减特性方面进行分析，从测得的数据中选取比较稳定的数据，取平均值后作为该位置的 RSSI 值，研究 RSSI 随距离的变化并建立测距模型。这样融合了中值滤波和算术平均滤波技术，利于分析信号随距离变化的情况^[7]。研究发现相同的无线信号强度在不同的传感器节点中测量的值也不尽相同，因此实验中采用同一设备进行测量^[8]。

3.1 室内环境节点置于地面

节点置于地面 ($h=0$) 时，参考节点与移动节点之间的距离 $d=1$ m 时，多次测量接收到的 RSSI 值，由于受地面以及室内物体对信号传播的影响，测得的 RSSI 并不是稳定不变的，而是围绕着实际值波

动。测量得到的值是波动的曲线，如图 1 所示。

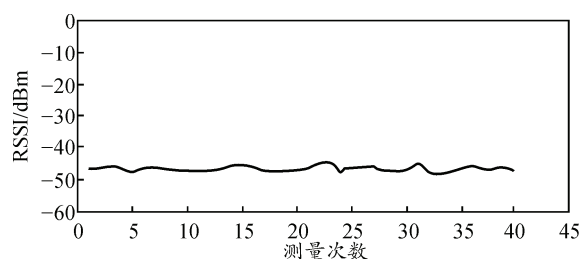


图 1 $h=0$ m, $d=1$ m 时 RSSI 波动

随着距离增大，RSSI 值的不断变化，测试实验从 0.4 m 开始，每增加 0.2 m 采集 60 次 RSSI 值，为了减少偶然因素对实验造成的误差，取其中比较稳定的 40 个数据取平均均值作为最后的 RSSI 值，RSSI 随距离变化曲线图如图 2 所示。

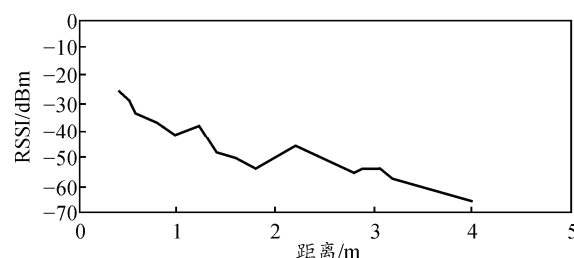


图 2 $h=0$ m 时，RSSI 随距离变化曲线

3.2 室内环境节点离地面 1.2 m

参考节点布置在离地面 1.2 m ($h=1.2$ m)，参考节点与移动节点之间距离 $d=1$ m 时，多次对 RSSI 进行测量，采集到的 RSSI 数据信息如图 3 所示。

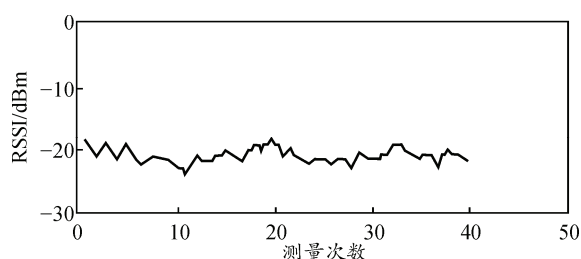


图 3 $h=1.2$ m, $d=1$ m 时测得 RSSI 值波动

将节点部署在离地面高 1.2 m ($h=1.2$ m) 处，每增加 0.5 m 测量一次 RSSI 值，测得 RSSI 随着距离变化的曲线图如图 4 所示。

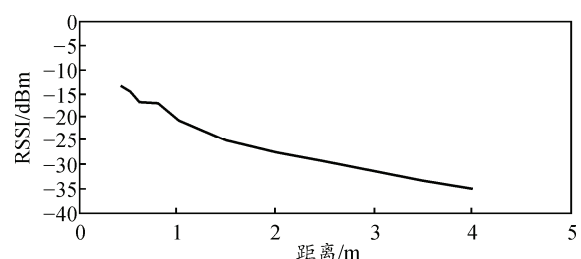


图 4 $h=1.2$ m 时，RSSI 随距离变化曲线

4 实验结果分析

4.1 室内信号特性研究

对比图 1 和图 3 可以看出：2 个节点相距 1 m 时测得的 RSSI 值是不稳定的，但它总是围绕着实际值波动。图 2 可以看出收发节点布置在地面时，由于地面的反射以及物体阻挡、等影响，信号衰减得快，测得 RSSI 值小，即干扰较强，检测到的信号较弱，不利于测距模型的建立。

当节点位于地面时，RSSI 衰减较快，最终 RSSI 值变化趋于平缓，体现出了距离与信号的对数关系。图 4 可以看出节点位于 1.2 m 时，减小了地面反射以及物体的阻挡的影响后，测得信号强度大，信号衰减得慢。可以看出信号波动较小，距离越近信号强度越强，随着距离的增加信号强度成线性衰减，且衰减缓慢，能更准确地反映信号强度与距离的关系，利于测距模型的建立。

研究过程中发现：室内物品摆放位置的变化、人员的走动以及噪声都会对信号的稳定传播产生一定的影响，而这些影响是不可避免的；因此，需要根据环境情况增加节点的数量，合理布置节点位置，减小环境因素的影响，对采集的数据进行筛选，选取符合实际环境的 RSSI 值建立模型^[9]。

4.2 测距模型参数的确定

根据测得的数据建立测距模型，在后续的研究中只需通过对参数 A, n 进行优化。

$$RSSI = A - 10n \lg(d) \quad (5)$$

其中 $RSSI = PL(d)$, $A = PL(d_0)$ 。

4.2.1 平均值法优化模型参数

节点相距 1 m 时，测量 N 次接收到的 RSSI 值并取平均值，得

$$\bar{A} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N PL(d_0)_i \quad (6)$$

则节点相距 d 时的 n 是路径损耗指数为

$$n_i = \frac{A - RSSI_i}{10 \lg d} \quad (7)$$

n_i 为路径损耗指数， $RSSI_i$ 为第 i 次测量得到的信号强度值，取 n 的平均值得

$$\bar{n} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N n_i \quad (8)$$

节点间的距离为

$$d = d_0 \times 10^{\left(\frac{\bar{A} - RSSI_i}{10\bar{n}}\right)} \quad (9)$$

4.2.2 最小二乘法优化模型参数

根据多次采集 RSSI 和滤波处理，得到 $\overline{RSSI_{d_i}}$ 与距离 d_i 对应的数据，得

$$\overline{RSSI_{d_i}} = A - 10n \lg d_i \quad (10)$$

$$\text{则有} \quad \mathbf{HX} = \mathbf{B} \quad (11)$$

其中

$$\mathbf{H} = \begin{bmatrix} 1 & -10 \lg d_1 \\ 1 & -10 \lg d_2 \\ \vdots & \vdots \\ 1 & -10 \lg d_i \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} \overline{RSSI_{d_1}} \\ \overline{RSSI_{d_2}} \\ \vdots \\ \overline{RSSI_{d_i}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{X} = \begin{bmatrix} A \\ n \end{bmatrix}.$$

根据最小二乘法原理，求出参数 \mathbf{X} 估计值^[10]

$$\hat{\mathbf{X}} = (\mathbf{H}^T \mathbf{H})^{-1} \mathbf{H}^T \mathbf{B} \quad (12)$$

可以计算出模型参数估计值 \hat{A} 、 \hat{n} 。

在实验室内，将节点置于离地面 1.2 m 处，固定好参考节点，然后移动发射节点，从 0.5 m 开始，每隔 0.5 m 进行一次测试，在相同的距离处采集 60 次 RSSI 值，取其中比较稳定的 40 个数据取平均值作为该位置接收信号的实测值。绘制成如图 5 所示的曲线图。

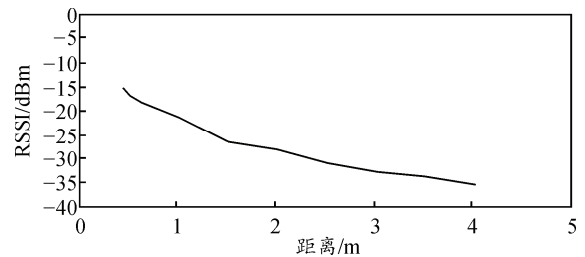


图 5 多次采集 RSSI 并滤波后 RSSI 与距离的关系

根据测得的数据采用平均值法计算得： $A = -21.5$ dBm, $n = 2.325$ ，代入公式 (4) 可得

$$d = 10^{\frac{-21.5 - RSSI}{23.25}} \quad (13)$$

根据测距模型进行测距实验，测距结果如表 1。

表 1 测距实验结果

实际距离/m	RSSI/dBm	测得距离/m	误差/m
1.5	27.0	1.724 2	0.224 2
2.0	30.0	2.320 5	0.320 5
2.5	32.0	2.828 8	0.328 8
3.0	33.5	3.281 7	0.281 7
3.5	35.0	3.807 1	0.307 1
4.0	36.5	4.421 8	0.421 8

根据测得的数据采用最小二乘法计算得：

$A = -22.5$ dBm, $n = 2.175$ ，代入公式 (4) 可得

$$d = 10^{\frac{-22.5 - \overline{RSSI_{d_i}}}{21.75}} \quad (14)$$

根据测距模型，进行测距实验，测距结果如表 2 所示。

表 2 测距实验结果

实际距离/m	RSSI/dBm	测得距离/m	误差/m
1.5	27.0	1.609 9	0.109 9
2.0	30.0	2.212 1	0.212 1
2.5	32.0	2.734 0	0.234 0
3.0	33.5	3.204 1	0.204 1
3.5	35.0	3.755 8	0.255 8
4.0	36.5	4.402 5	0.402 5

从测试结果可以看出：RSSI 测距在室内的近距离测距误差控制在 0.5 m 内，将所采集数据的滤波后再使用有效提高了数据的准确性；对比 2 种参数优化方法可知采用最小二乘法参数优化后的 RSSI 与传播距离的关系更加准确，误差更小，可以满足大多数无线传感器网络节点定位的需求，但是远距离的测距误差较大。利用 RSSI 测距时，RSSI 越稳定，测距的精度就越高。

5 结束语

无线信号的传播过程受到各种环境因素的干扰，特别是室内环境^[11]。这些干扰将直接影响最终定位的精度，因此需要采取措施减小环境因素对信号传播得干扰，提高信号传输的稳定性^[12]。在硬件方面，笔者采用 CC2530 与 CC1101 组成的通信模块对信号强度进行检测，提高信号的抗干扰能力。采用该模块测得的 RSSI 值比较稳定，测得信号较强，提高了 RSSI 值的准确性。同时，笔者建立办公楼室内环境下测距模型，并优化测距模型的参数，提高了测距模型距离估算的精度。此外，该模块可

(上接第 51 页)

经过参数学习得到完备数据高危 {0.82, 0.73, 0.56, 0.76, 0.68}、中危 {0.11, 0.16, 0.28, 0.14, 0.20}、低危 {0.07, 0.11, 0.16, 0.10, 0.12}，组成完备数据集

$\begin{bmatrix} 0.82 & 0.73 & 0.56 & 0.76 & 0.68 \\ 0.11 & 0.16 & 0.28 & 0.14 & 0.20 \\ 0.07 & 0.11 & 0.16 & 0.10 & 0.12 \end{bmatrix}$ ；根据算法计算中间层

数据概率，得到 $\begin{bmatrix} 0.86 & 0.72 \\ 0.09 & 0.18 \\ 0.05 & 0.10 \end{bmatrix}$ ；计算事件层事件的概

率，得到 $\begin{bmatrix} 0.85 \\ 0.10 \\ 0.05 \end{bmatrix}$ 。

根据最终数据得到该人群的威胁度为高威胁。

5 结束语

针对基于视频图像分析与判定群体性事件的特点，笔者建立了事件判断贝叶斯网络模型，并分析演示了利用贝叶斯网络对监控现场群体性事件判定

扩展性强，只需增加相应传感器模块即可实现多种数据的采集，使设备应用范围更加广泛。

参考文献：

- [1] 高守伟, 吴灿阳. ZigBee 技术实践教程[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2009: 391-395.
- [2] 徐平平, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 电子工业出版社, 2013: 286-310.
- [3] 方震, 赵湛, 郭鹏. 基于 RSSI 测距分析[J]. 传感技术学报, 2007, 20(11): 2526-2530.
- [4] 王小强, 欧阳骏, 黄宁淋. ZigBee 无线传感器网络设计与实现[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012: 180-214.
- [5] 赵森严. 无线传感器网络中基于 RSSI 改进质心定位算法[J]. 黄山学院学报, 2013, 15(5): 13-16.
- [6] 李明亮, 蒙洋, 康辉英. 例说 ZigBee[M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2013: 12-75.
- [7] 马梁, 彭保. 一种基于 RSSI 的无线传感网络安全定位算法[J]. 兵工自动化, 2012, 31(3): 44-46.
- [8] 赵昭, 陈小惠. 无线传感器网络中基于 RSSI 的改进定位算法[J]. 传感技术学报, 2009, 22(3): 391-394.
- [9] 朱明辉, 张会清. 基于 RSSI 的室内测距模型的研究[J]. 传感器与微系统, 2010, 29(8): 244-248.
- [10] 杜亚江, 高立兵. 基于最小二乘法的 RSSI 测距环境参数修正方案[J]. 计算机系统应用, 2012, 21(2): 221-224.
- [11] 周艳, 李海成. 基于 RSSI 无线传感器网络空间定位算法[J]. 通信学报, 2009, 30(6): 75-79.
- [12] 白飞, 喻晓峰, 杨岳磊. ZigBee 网络的节能技术研究[J]. 兵工自动化, 2008, 27(10): 78-80.

的一般过程，说明贝叶斯网络对于群体性事件判定的可行性与有效性。这种将贝叶斯网络和 CV 算法结合的新型监控事件判定方法具有建模相对简单、对 CV 算法依赖性低、计算复杂度低、检测精度高、鲁棒性强和移植性强等特点，对建立完善、可靠、环境适应性强的智能视频监控系统具有重要意义。

参考文献：

- [1] 王圣男, 郁梅, 蒋刚毅. 智能交通系统中基于视频图像处理的车检测与跟踪方法综述[J]. 计算机应用研究, 2004(9): 9-14.
- [2] 邱靖邦. 面向智能视频监控的事件检测建模及优化[D]. 上海: 上海交通大学, 2010: 20-21.
- [3] 曹明. 面向智能视频监控的事件检测建模及优化[D]. 上海: 上海交通大学, 2010: 31-33.
- [4] 张一. 智能视频监控中的目标识别与异常行为建模与分析[D]. 上海交通大学, 2009: 133-134.
- [5] 杨超, 单长华, 陈泽东, 等. 基于贝叶斯网络的后勤装备维修合同商保障风险识别与评估[J]. 四川兵工学报, 2013, 34(1): 61-64.