

RSSI和距离区间映射的测距方法

王缓缓, 胡爱娜

(黄河科技学院物联网传感技术及其应用郑州市重点实验室 郑州 450006)

【摘要】无线传感器网络中传统的测距方法是建立接收信号能量(RSSI)和距离之间一对一的映射,没有很好地考虑RSSI随机变化较大的问题,测距误差较大。该文提出了建立RSSI和距离区间之间一对多的映射关系的测距方法。在离线阶段,建立RSSI和距离区间之间的映射关系数据库;在线测量阶段,用测得的若干个RSSI值查询数据库,将得到的若干个距离区间进行加权求和得到一个新的距离区间,再取该区间的质心进行测距。仿真结果表明,该方法具有较高的测距精度。

关键词 数据库; 距离区间; 误差; 映射; 测距; RSSI

中图分类号 TN911

文献标识码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2012.04.008

Ranging Method Based on the Mapping Between RSSI and Distance Scope

WANG Huan-huan and HU Ai-na

(Key Laboratory of sensor technology and application of IOT, Huanghe Science and Technology College of China Zhengzhou 450006)

Abstract Traditional ranging methods are to create an one-to-one mapping between received signal strength indicator (RSSI) and distance in wireless sensor networks. In this paper, a ranging method based on one-to-many mapping between RSSI and distance scope is proposed. At off-line stage, a database of the mapping between RSSI and distance scope is created; at on-line stage, by using RSSI values to query the database, some distance scopes are obtained and weighted to generate a new distance scope. At last, the distance between the transmitter and the receiver can be attained through the center of the distance scope. Simulation results show that the scheme provides high ranging precision.

Key words database; distance scope; errors; mapping; ranging; RSSI

节点位置信息是研究无线传感器网络技术和应用的基础和核心之一。目前,无线传感器网络中的自身定位方法分为基于测距和无须测距两类^[1],由于基于测距的定位机制精度高而得到了越来越广泛的应用。典型的测距技术有TOA^[2]、TDOA^[3]、AOA^[4]和RSSI^[5]等,其中基于RSSI的测距技术提供了最廉价的方法,在无线传感器网络定位技术中较常采用。但反射、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,如何能够提高测距精度是研究基于RSSI测距的一个比较有意义的问题。

目前已有的RSSI测距,方法大部分是通过采集大量的实验数据,利用大尺度路径衰减模型得到RSSI值和距离 d 之间的关系曲线^[6-10],或者是建立二者之间的映射数据库^[11-12]。该映射关系是点对点的——映射的关系。然而,电磁波在实际的传播过程

中,会存在反射、绕射及衍射现象,使得RSSI值随机变化较大。因此建立RSSI和距离间的点对点的对应关系存在较大误差,在后续的定位过程中需通过多次求精以提高其精确度,运算量及通信开销会大大增加。本文在提出建立RSSI值和该RSSI值的距离区间的映射关系数据库基础上,再对通过查询数据库所得的距离区间的加权求和进行测距。由于该映射是一对多的映射关系,很好地考虑了RSSI值由于外界干扰而产生的不稳定性,误差较小。仿真结果表明该方法具有较高的测距精度。

1 准备工作

为保证测距结果的准确性,需进行如下准备。

1.1 选择合适的发射功率

对于发射功率可调的发射端而言,采用最大发射功率可能适用于远距离通信,但当发射者和接收

者之间的距离较小时, 发射端和接收端RSSI值的变化比较微小, 很难识别, 然而, 对于小范围的区域, 短距离的测量对某些应用而言又是非常重要的。因此, 在以RSSI作为距离测量的方法中, 发射功率必须控制得恰到好处。在每一种发射功率的模式下分别做实验, 测得大量数据, 分析每种发射功率下RSSI随距离变化的曲线, 综合考虑RSSI随距离变化的波动、能量消耗和通信半径等因素, 选择最合适的发射功率, 以确保后续的测距误差能达到最小。

1.2 优选RSSI测量值

研究表明, 在某个距离下的RSSI值满足高斯分布, 分布密度最大的地方是测量值和真实值最接近的地方^[13]。其分布密度函数为:

$$f(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

式中, μ 和 σ 分别为多次测量信号的均值和标准差。设测得的信号个数为 n , 则有:

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \mu)^2 \quad (3)$$

式中, X_i 为第 i 个信号的RSSI值。

因此, 可以将实测的RSSI数据分别代入式(2)和式(3), 求得参数 μ 和 σ , 然后再将测得的每一个RSSI值代入式(1), 即可得到每一个RSSI值对应的分布密度函数 $f(x)$ 。当 $0.5 \leq f(x) \leq 1$ 时, 认为是大概率事件, 其对应的RSSI值可以保留。通过该办法可以滤除大部分错误数据, 从而减少一些小概率、大干扰事件对整体测量的影响, 使测距误差有一定改善。

2 测距模型

2.1 距离和RSSI范围之间映射关系的建立

将每一个距离下RSSI值通过优选后, 即可建立某一距离和该距离下的RSSI有效范围的映射关系。为了便于说明, 做如下定义:

d_i ——某一距离, $i=1,2,\dots,n$;

$RSSI_i$ ——在距离 d_i 时优选后的RSSI值集合;

R_j ——集合 $RSSI_i$ 中的元素。

其中, n 的取值根据测距范围和实验步长确定; 由于某个距离下的有效RSSI值的个数不同, 故而 j 的取值根据集合 $RSSI_i$ 的不同而不同。由此, 距离和RSSI范围之间映射关系可表示为:

$$d_i \rightarrow RSSI_i \quad (4)$$

2.2 RSSI值和距离区间之间映射关系的建立

每个RSSI值对应一个距离范围, 强度大的值对应的范围小, 强度小的值对应的范围大。基于此, 分别找到每个集合 $RSSI_i$ 中所有元素 R_j 对应的所有距离, 即可将上述映射关系翻转, 建立RSSI值和该RSSI值出现的距离区间之间的映射关系。定义 D_i 为某一RSSI值对应的距离区间集合, d_i 为 D_i 中的元素, 则该映射关系可表示为:

$$R_j \rightarrow D_i \quad (5)$$

在 $n=5$ 时, 某种环境中距离和RSSI范围之间的映射关系为:

$$\begin{cases} d_1 \rightarrow \{R_1, R_2, R_3\} \\ d_2 \rightarrow \{R_2, R_3, R_4, R_5\} \\ d_3 \rightarrow \{R_2, R_4, R_5, R_6, R_7\} \\ d_4 \rightarrow \{R_4, R_5, R_6\} \\ d_5 \rightarrow \{R_5, R_6, R_7, R_8\} \end{cases} \quad (6)$$

将上述映射关系翻转, 则在该场景下RSSI值和距离区间的映射关系为:

$$\begin{cases} R_1 \rightarrow D_1 = \{d_1\} \\ R_2 \rightarrow D_2 = \{d_1, d_2, d_3\} \\ R_3 \rightarrow D_3 = \{d_1, d_2\} \\ R_4 \rightarrow D_4 = \{d_2, d_3, d_4\} \\ R_5 \rightarrow D_5 = \{d_2, d_3, d_4, d_5\} \\ R_6 \rightarrow D_6 = \{d_3, d_4, d_5\} \\ R_7 \rightarrow D_7 = \{d_3, d_5\} \\ R_8 \rightarrow D_8 = \{d_5\} \end{cases} \quad (7)$$

该映射关系即可作为测距所需数据库。显然, RSSI值和距离之间的映射关系不再是一一对应的关系, 而是一个RSSI值对应一个距离区间, 可以最大限度地减少RSSI值波动引起的负面影响。

2.3 距离的计算

在某一未知距离下, 接收端收到来自发射端的 k 个RSSI值。假设该 k 个数据中共有 $m(m \leq k)$ 个不同的RSSI值, 用 R_i 表示, 其中 $i=1,2,\dots,m$, 每个 R_i 值重复出现的次数用 x_i 表示, 则 $x_1+x_2+x_3+\dots+x_m=k$ 。

将每一个 R_i 值分别代入已建立的 $R_i \rightarrow D_i$ 映射关系数据库, 即可求得 m 个不同的距离区间 D_i 。用 $d_{i\min}$ 表示第 i 个区间 D_i 中元素的最小值; 用 $d_{i\max}$ 表示最大值。分别对 m 个区间的最小值和最大值进行加权求和, 其各自的权重为该区间对应的 R_i 出现的次数, 可以得到一个新的距离区间, 该区间的最小值 d_{\min} 和最大值 d_{\max} 分别为:

$$\begin{cases} d_{\min} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i d_{i\min}}{k} \\ d_{\max} = \frac{\sum_{i=1}^m x_i d_{i\max}}{k} \end{cases} \quad (8)$$

取该区间的质心位置为发射端所处的位置, 则发射端和接收端之间的距离为:

$$d = \frac{d_{\min} + d_{\max}}{2} \quad (9)$$

假定接收10个RSSI值分别为 $\{R_3, R_4, R_4, R_7, R_3, R_7, R_5, R_5, R_3, R_5\}$, R_3 、 R_4 、 R_5 和 R_7 重复出现的次数分别为3、2、3、2。查询已建立的数据库式(7), 可得到4个不同的距离区间 D_3 、 D_4 、 D_5 、 D_7 , 依据式(8)和式(9), 得到发射端和接收端之间的距离为:

$$d = \frac{3d_1 + 8d_2 + 2d_3 + 2d_4 + 5d_5}{20} \quad (10)$$

3 仿真实验

本文采用MATLAB数学仿真软件, 对提出的测距方法性能进行研究。

3.1 场景设置

在离线阶段, 发射端距接收端30 m, 并以间隔0.5 m的步长向接收端靠近, 同时加上高斯随机噪声, 在每一步中接收端分别统计一定数量的数据包建立该场景下RSSI值和距离区间的映射关系数据库。

在相同的噪声环境中, 在30 m的范围内每隔0.5 m进行一次测距实验。每一步中分别接收少量的数据包, 查询该场景下的映射关系数据库, 求得测量距离。

3.2 测距结果分析

在离线阶段的每一步中统计了2 000个数据包, 建立的RSSI和距离区间之间的映射关系数据库如下:

0.3→{28,28.5,29,29.5,30}
 0.4→{22,22.5,23,23.5,24,24.5,25,25.5,26,26.5,27,27.5,28,28.5,29}
 0.5→{18,18.5,19,19.5,20,20.5,21,21.5,22,22.5}
 0.6→{15,15.5,16,16.5,17,17.5,18,18.5}
 0.7→{13,13.5,14,14.5,15,15.5}
 0.8→{11.5,12,12.5,13,13.5}
 0.9→{10.5,11,11.5,12}
 1→{9.5,10,10.5}
 1.1→{8.5,9,9.5}
 1.2→{8,8.5,9}
 1.3→{7.5,8}

1.4→{7,7.5}
 1.5→{6.5,7}
 1.6→{6,6.5}
 1.7→{5.5,6}
 1.8→{5.5,6}
 1.9→{5,5.5}
 2.0→{5}
 2.1→{4.5,5}
 2.2→{4.5}
 2.3→{4.5}
 2.4→{4,4.5}
 2.5→{4}
 2.6→{4}
 2.7→{3.5}
 2.8→{3.5}
 2.9→{3.5}
 3→{3,3.5}
 3.1→{3}
 3.2→{3}
 3.2→{3}
 3.3→{3,3.5}
 3.4→{3}
 3.5→{3}
 3.6→{3}
 3.8→{3,2.5}
 3.9→{2.5}
 4.0→{2.5}
 4.1→{2.5}
 4.2→{2,2.5}
 4.3→{2,2.5}
 4.7→{2}
 4.8→{2}
 4.9→{2}
 5.0→{2}
 5.1→{2,1.5}
 5.2→{2}
 5.3→{2,1.5}
 6.2→{1.5}
 6.3→{1.5}
 6.4→{1.5}
 6.5→{1.5}
 6.6→{1.5}
 6.7→{1.5}
 6.8→{1.5}

- 6.9→{1.5,1}
- 7.0→{1.5}
- 7.1→{1.5,1}
- 9.3→{1}
- 9.4→{1.5,1}
- 9.5→{1}
- 9.6→{1}
- 9.7→{1}
- 9.8→{1}
- 9.9→{1}
- 10→{1,0.5}
- 10.1→{1,0.5}
- 10.2→{1,0.5}
- 10.3→{1}
- 10.4→{1}
- 10.5→{1}
- 10.6→{1}
- 10.7→{1,0.5}

“→”左边对应的是某个RSSI值, 右边是该RSSI对应的距离区间。映射关系数据库会随着统计数据包个数的不同而不同, 相应的测距结果也会有所变化。离线阶段统计数据包个数分别为500、2 000、10 000, 实时测距阶段接收数据包均为10时的测距误差比较结果如图1所示。由图1可以看出, 建立数据库时, 统计数据包的个数越多, 后续测距误差越小, 但当统计的数据包个数达到一定值后, 增加数据包个数对测距误差的改善并不明显(如图中数据包个数为2 000和10 000时), 反而会增大算法的运算量。

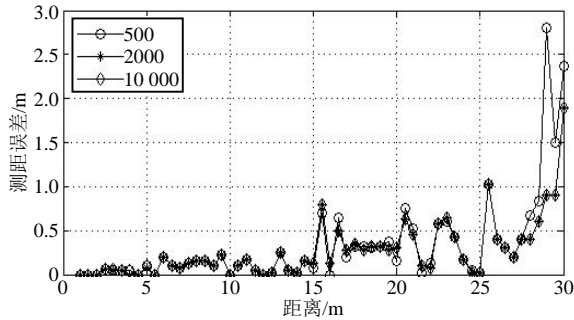


图1 离线阶段统计不同数量数据包测距结果比较

离线阶段统计数据包个数为2 000, 实时测距阶段接收数据包个数分别为5、10、15、20时的测距误差如图2所示。从图中可以看出, 测距时接收数据包个数越多, 测距误差越小, 但接收数据包个数越多, 所需运算量及通信开销越大。因此在使用该算法时可以通过实验分析, 并结合实际情况选定合适的统

计数数据包数量及接收数据包个数。

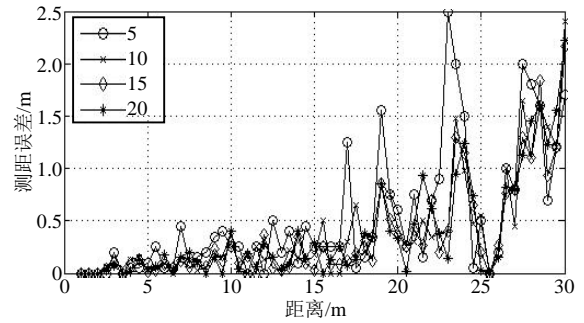


图2 实时阶段接收不同个数数据包测距结果比较

为了验证本文提出的测距方法的性能, 将该方法与采用RSSI值进行曲线拟合的方法进行了比较。表1给出了在统计数据包个数取2 000, 测距接收数据包个数为10的条件下, 两种方法的测距结果。两种方法的测距误差曲线如图3所示。由图可以看出, 随着距离的增加, 所提出的测距方法的测距误差呈增大趋势。在20 m的范围内, 本文的测距方法测距误差不超过1 m, 和曲线拟合法相比有较高的测距精度; 在20~30 m的范围内, 本文的测距方法误差不超过2 m, 和曲线拟合方法测距误差相当。因此, 在20 m的范围内, 本文的测距方法和传统曲线拟合方法相比, 表现出较好的性能, 测距误差较小。

表1 两种方法的测距结果

实际距离/m	本文测距方法		曲线拟合法	
	测得距离/m	误差/m	测得距离/m	误差/m
2	2	0	2.216 7	0.216 7
3	3	0	6.538 8	3.538 8
4	3.925	0.075	2.897 9	1.102 1
5	5	0	2.541 9	2.458 1
6	6.15	0.15	5.986 1	0.013 9
7	7.025	0.025	8.412 8	1.412 8
8	7.95	0.05	10.054 1	2.054 1
9	8.75	0.25	10.782 4	1.782 4
10	10.125	0.125	11.406 8	1.406 8
11	11.175	0.175	11.703	0.703
12	12.475	0.475	12.098 2	0.098 2
13	12.85	0.15	12.273 4	0.726 6
14	13.95	0.05	12.860 3	1.139 7
15	14.35	0.65	13.034 7	1.965 3
16	16.15	0.15	14.439 6	1.560 4
17	17.025	0.025	15.191 3	1.808 7
18	18	0	16.298 9	1.701 1
19	19.05	0.05	17.339 8	1.660 2
20	19.55	0.45	17.926 3	2.073 7
21	21.5	0.5	20.203 9	0.796 1
22	22.5	0.5	21.505 8	0.494 2
23	23.45	0.45	22.685 3	0.314 7
24	25	1	24.586 7	0.586 7
25	25.15	0.15	24.743 2	0.256 8
26	26.825	0.825	26.919 6	0.919 6
27	26.725	0.275	26.742 5	0.257 5
28	27.725	0.275	28.017 4	0.017 4
29	30.175	1.175	30.826 6	1.826 6
30	29.55	0.45	30.194 3	0.194 3

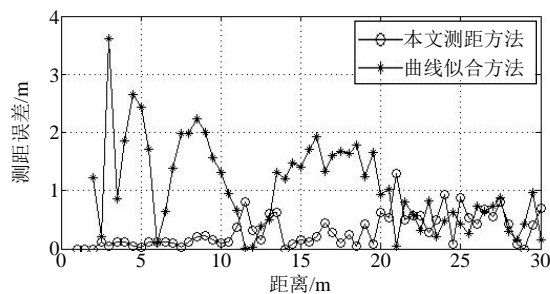


图3 两种方法测距误差曲线

4 结论

本文提出了通过建立RSSI和距离区间之间的映射数据库,能最大限度地减小RSSI值波动产生的负面影响,和传统的采用曲线拟合的方法相比,在20 m的范围内大大减小了测距误差,具有较高的测距精度。同时,该方法不受环境限制,只需建立特定场景下的映射数据库,就可以实现该场景下的精确测距,对于无线传感器网络中基于测距的定位算法有较高的应用价值。

参考文献

- [1] WANG Jing, GHOSH R K, DAS S K. A survey on sensor localization[J]. *J Control Theory Appl*, 2010, 8(1): 2-11.
- [2] ZHU Gui-bin, ZHANG Hai-cheng, YE Jiu-zhi, et al. An anchor-free position algorithm for evenly deployed wireless sensor networks[C]//*Proceedings of the 3th International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation*. Shanghai: IEEE Computer Society, 2011: 379-382.
- [3] MARTIN-ESCALONA I, BARCELO-ARROYO F. Impact of geometry on the accuracy of the passive-TDOA algorithm[C]//*IEEE 19th International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications*. Cannes: IEEE Press, 2008: 1-6.
- [4] BRIDA P, MACHAJ J, BENIKOVSKY J, et al. A new complex angle of arrival location method for ad hoc networks[C]//*Proceedings of the 7th Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC)*. Dresden: IEEE Press, 2010: 284-290.
- [5] CHUNG W Y, LEE B G, YANG C S. 3D virtual viewer on mobile device for wireless sensor network based-RSSI indoor tracking system[J]. *Sensors and Actuators B: Chemical*, 2009, 140(1): 35-42.
- [6] FANG Zhen, ZHAO Zhan, GENG Dao-qu, et al. RSSI variability characterization and calibration method in wireless sensor network[C]//*IEEE International Conference on Information and Automation*. Harbin: IEEE Press, 2010: 1532-1537.
- [7] 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, 3(22): 391-394.
ZHAO Zhao, CHEN Xiao-hui. An improved localization algorithm based on RSSI in WSN[J]. *Chinese Journal of Sensors and Actuators*, 2009, 3(22): 391-394.
- [8] 王晖. 基于RSSI的无线传感器网络室内定位算法研究与实现[D]. 北京: 北京邮电大学电子工程学院, 2010.
WANG Hui. Design and implementation of indoor localization algorithm based on RSSI in WSN[D]. Beijing: School of Electronic Engineering, Beijing University of Posts and Telecommunications, 2010.
- [9] AWAD A, FRUNZKE T, DRESSLER F. Adaptive distance estimation and localization in WSN using RSSI measures[C]//*Proceedings of the 10th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools*. Lubeck: IEEE Computer Society, 2007: 471-478.
- [10] LI Jian, LIU He-ping. A new weighted centroid localization algorithm in coal Mine wireless sensor networks [C]//*Proceedings of the 3rd International Conference on Computer Research and Development*. Shanghai: IEEE Press, 2011: 106-109.
- [11] 孙佩刚, 赵海, 罗玘玘, 等. 智能空间中RSSI定位问题研究[J]. *电子学报*, 2007, 35(7): 1240-1245.
SUN Pei-gang, ZHAO Hai, LUO Ding-ding, et al. Research on RSSI-based location in smart space[J]. *Acta Electronica Sinica*, 2007, 35(7): 1240-1245.
- [12] 陈丹琪, 万里冰, 袁静, 等. 基于快速查表的RSSI定位算法[J]. *微计算机信息*, 2009, 25(15): 245-247.
CHEN Dan-qi, WAN Li-bing, YUAN Jing, et al. A kind of RSSI localization method based on hash table[J]. *Microcomputer Information*, 2009, 25(15): 245-247.
- [13] ZHAN Jie, LIU Hong-li, TAN jian. Research on ranging accuracy based on RSSI of wireless sensor network[J]. *Telecommunication Engineering*, 2010, 50(4): 83-87.

编辑 张俊