

基于距离区间概率加权的RSSI测距方法

王缓缓, 宫娜娜

(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】接收信号强度(RSSI)易受环境干扰而出现多值,使得“RSSI-距离”的一一映射关系被破坏,导致单纯采用RSSI值和距离映射进行测距时存在较大误差。针对该问题,提出基于距离区间概率加权的测距方法,建立RSSI和距离区间之间的映射关系,并求出RSSI值出现在该区间中每个距离点下的概率,再以概率为权值对区间中的所有距离进行加权求和,将得到的结果作为该RSSI值对应的距离。仿真结果表明,和曲线拟合法及区间测距法相比,该方法在测距精度上均有不同程度的提高。

关键词 距离区间; 映射; 测量点; 概率; 测距; 接收信号强度

中图分类号 TN911

文献标志码 A

doi:10.3969/j.issn.1001-0548.2013.06.010

RSSI Ranging Method Based on the Weighted Distance Interval Probability

WANG Huan-huan and GONG Na-na

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

Abstract Vulnerability to environmental interference makes RSSI multiple figures, which leads to the destruction of the one-to-one map between the “RSSI-Distance”, and a larger error in the distance mapping which solely uses the point-to-point mapping between the RSSI and the distance. To solve this problem, a ranging method based on weighted distance interval probability is proposed: establishing the mapping relation between RSSI and distance interval, calculating the probability of the occurrence of RSSI in each point of the interval distance, and then weighted summing with probabilities of all intervals. The results is then used as the distance corresponding to the RSSI. The simulation results show that this method provides a higher ranging precision in different degrees compared with the method of curve fitting and interval ranging method.

Key words distance interval; mapping; measurement points; probability; ranging; received signal strength indication

无线传感器网络(wireless sensor network, WSN)是当前国际上倍受关注的前沿热点研究问题,在军事、工业、农业、环境监控和抢险救灾等领域有着广泛的应用前景^[1]。在许多应用中,节点的位置信息至关重要,没有位置信息的监测消息是毫无意义的。由于节点的位置是随机的,节点自身无法事先知道自己的位置,只有通过一定的方法在部署完毕后重新确定节点的位置信息,这就是无线传感器网络中的节点定位问题。根据定位过程中是否测量节点间的距离,无线传感器网络定位算法主要分为基于测距的定位和无需测距的定位^[2],基于测距的定位由于定位精度高得到了更广泛的应用。目前,测

距方法主要有基于接收信号强度指示(received signal strength indication, RSSI)^[3]、基于到达时间(TOA)^[4]、基于到达时间差(TDOA)^[5]和基于到达角度(AOA)^[6]。其中,基于RSSI的测距技术无需额外的硬件,利用对接收信号强度的判断即可估算出发节点间的距离,是无线传感器网络中常用的测距方法。但是无线信号在传播中易受环境干扰,反射、多径传播、非视距、天线增益等问题都会对测距结果产生很大的影响,如何提高其测距精度是研究基于RSSI测距的一个热点问题。

在采用RSSI进行测距的方法中,大都是利用相关的模型建立RSSI和距离之间的关系曲线,得到

收稿日期: 2012-11-16; 修回日期: 2013-06-18

基金项目: 河南省科技攻关项目(112102310582); 河南省教育厅科学技术研究重点项目(12B510020)

作者简介: 王缓缓(1979-),女,主要从事无线传感器网络定位技术方面的研究。

RSSI和距离之间的函数关系式^[7-11], 或者是采用一定的方法建立RSSI和距离之间的映射关系数据库^[12-13], 在实际测距阶段再将测得的RSSI值代入相应的关系式或映射关系数据库得到其对应的距离。上述方法所建立的RSSI和距离之间的映射均是一一映射的关系, 然而, 无线电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, 会存在某一距离点下测得的RSSI值有多个, 同一RSSI值会对应多个位置点的现象, 这些现象使得RSSI和距离之间的对应关系被破坏, 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。

为了解决RSSI易受环境干扰出现突变的问题, 通常采用的方法是通过高斯模型选取高概率发生区的RSSI值, 剔除一些小概率、大干扰事件对整体测量的影响^[14-17], 以此来增加测距信息的准确性, 但这并不能有效地解决RSSI的多值问题。

本文在对RSSI值出现的规律进行统计和分析的基础上, 针对RSSI易受环境干扰会出现多值这一问题, 提出基于距离区间概率加权的RSSI测距方法。在离线测量阶段先建立RSSI和距离区间之间的映射关系, 同时求出RSSI值出现在该区间中每个距离点下的概率, 再以概率为权值对区间中的所有距离进行加权求和, 将得到的结果作为该能量值对应的距离, 最终建立能量和距离之间的映射关系。尽管在该方法中, 最终所建立的能量和距离的关系也是一一映射关系, 但对距离的估计是通过对距离区间进行加权平均得到的, 比较充分地考虑了RSSI波动影响的距离估计信息, 避免了常规方法中直接使用“RSSI-距离”一一映射的关系进行测距计算易受环境影响造成定位误差过大的问题, 在一定程度上可以减小测距误差。仿真结果表明, 和单纯采用RSSI和距离一一映射进行测距的曲线拟合法相比, 本文的方法在RSSI测距精度上有很程度的提高。

1 RSSI的统计规律

众多的理论推导和经验公式都表明, 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。为了全面地了解RSSI值出现的规律, 进行了2种不同场景下的测距实验。实验采用Crossbow公司生产的型号为CC2430节点, 节点距地面1 m, 移动节点与固定节点从相距0.5 m的位置开始测量,

每隔0.5 m为一个测量点, 每个测量点分别测100次, 然后对所测数据取平均, 实验分别在空旷的广场和室内走廊内进行, 每个场景下各取两个不同的方向分别进行测试。所得数据随距离变化曲线分别如图1a~图1d所示。

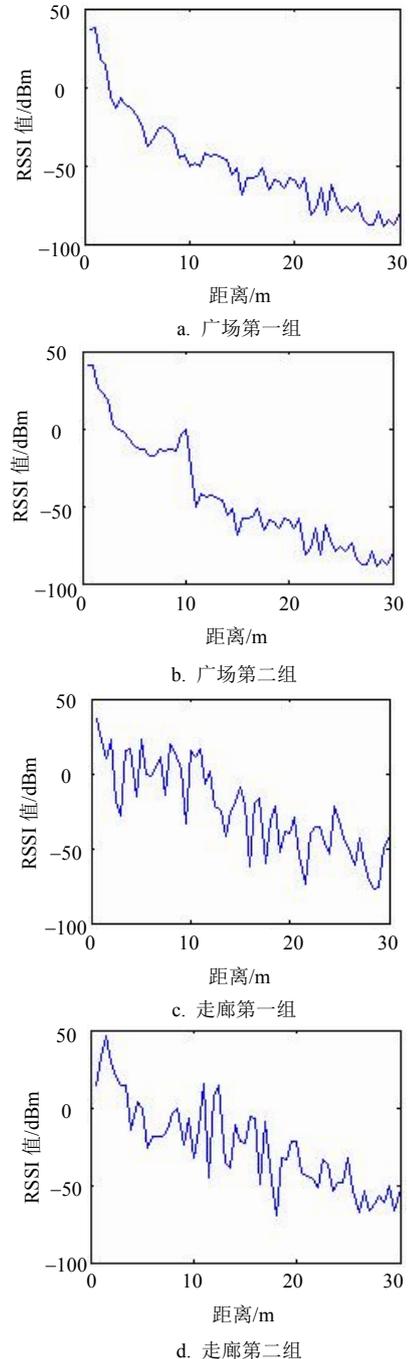


图1 实测信号强度和距离的关系

从图1测量数据中可以看出, RSSI值随距离的变化曲线有一定的规律可循, 无论是在空旷的广场, 还是在复杂的室内走廊, 随着距离的增加, RSSI值整体呈减小趋势。但由于无线信号在传播过程中受到干扰, 导致RSSI和距离之间的变化曲线并不是平滑的, 而是呈不规则的锯齿状。正是由于曲线的不

规则的锯齿状存在，使得RSSI值和距离之间不再是一一对应的关系，而是一个RSSI值对应了多个距离，即RSSI和距离之间是一对多的关系。

对比图1中的4组曲线图，可以发现在室内走廊环境下所得的曲线图变化得更加剧烈，即锯齿状更加明显。这是因为在室内环境中，无线信号在传播过程中的路径并不单一，而是众多路径反射信号的合成，各个路径来的反射波到达时间不同，相位也就不同。不同相位的多个信号在接收端迭加，如果信号方向相同则迭加加强；如果信号方向不同则迭加减弱。接收信号的幅度急剧变化，即产生了快衰落，这种衰落是由多种路径引起的，所以称为多径衰落。因此，环境越复杂，多径衰落越多，RSSI和距离的变化曲线的锯齿状越明显，RSSI的距离多值问题越严重。

将同一个RSSI值对应的所有距离列出，不是一一对应的关系，强度大的值对应的距离范围小，强度小的值对应的范围大。从在广场和走廊的场景下所测数据中选取RSSI值为-25 dBm和-49 dBm分别进行统计，结果分别如图2a~图2d所示。对比图2中的4组数据可以发现，同一个RSSI值，在两种不同的环境下对应的距离也不一样，相对空旷的广场环境障碍较少，对应的距离值较少；室内走廊环境障碍物较多，环境相对较为复杂，对应的距离值较多。

由以上分析可知，在采用RSSI进行测距的过程中，RSSI和距离之间的映射不是一一对应的关系。某一距离下的测得RSSI会有很多值，即一个距离对应着一个RSSI范围；反过来，同一RSSI测量值可能出现的距离也有很多值，即一个RSSI值对应着一个距离区间，所以，在文献[18]中提出RSSI和距离区间映射的测距方法，在离线测量阶段建立RSSI和距离区间映射的数据库来减小环境干扰对RSSI测距精度的影响，在线测量阶段用实时测得的RSSI值查询数据库，得到其对应的距离区间，并取距离区间的中点作为移动节点的估计位置。在该方法中，取距离区间的中点是把区间中的所有位置点进行均等考虑的，但在实际的测量中，RSSI值出现在区间中的每个位置点的概率并不相同，这种取区间中点的方法会产生一定的测距误差。因此，在线检测阶段，当获取了一个RSSI值后，它到底处于其在数据库中所对应的距离区间的哪个位置，或者处于每个位置的概率大小如何，是本文重点要考虑的问题。

在基于RSSI的定位技术中，这一问题可以看成是RSSI值的模式识别问题，取数据库中与该RSSI值

最匹配的位置作为移动节点的位置。根据在数据库中的保存形式，基于RSSI匹配的定位技术可分为基于决策技术定位和基于概率定位。基于概率技术的定位使用离线测量阶段采集的数据，构建接收信号强度在不同位置上的概率分布模型，如高斯模型，在线定位时使用目标接收的信号强度，采用贝叶斯公式计算目标位置的后验概率，从而实现定位^[19-22]。基于概率的定位方法具有较好的抗干扰性能和较高的定位准确度。

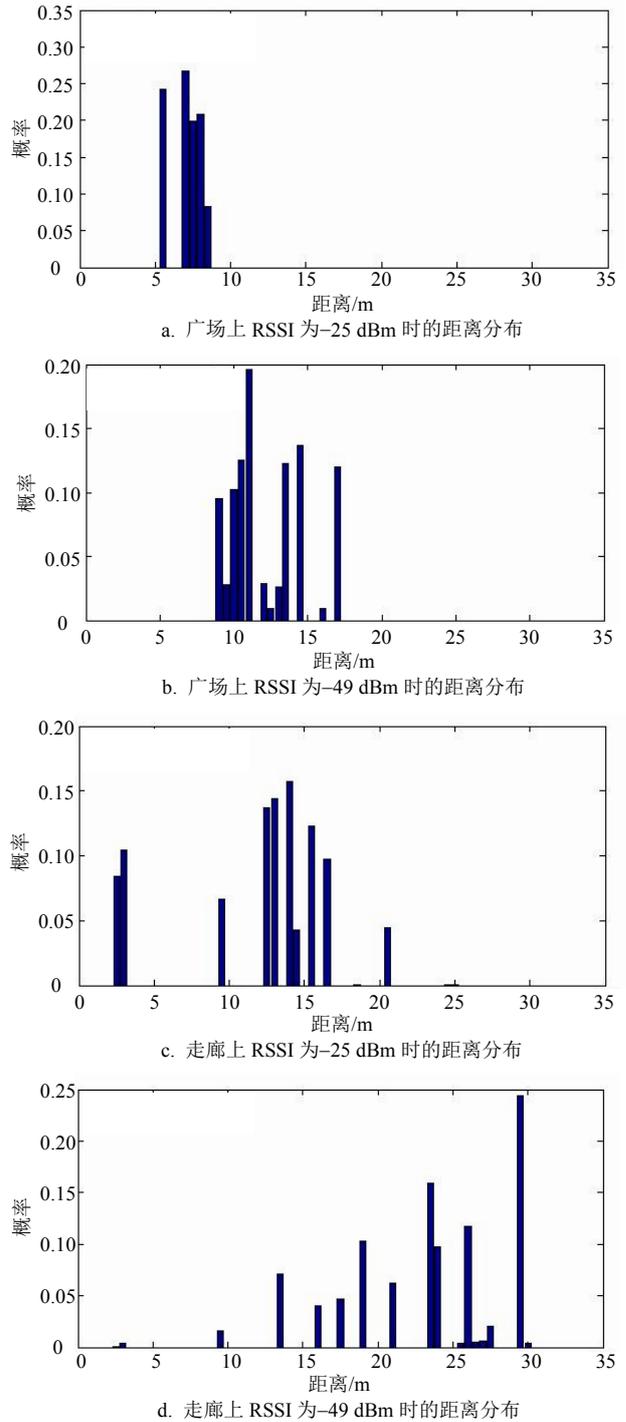


图2 统计测量值和距离的多值对应关系

对大量统计数据进行分析发现, RSSI值对应于距离区间中的哪个距离点也是一个概率问题, 其本质为最大似然估计^[23]。基于此, 本文提出将基于概率的定位技术应用到基于RSSI的测距方法中, 求出RSSI出现在距离区间中每个距离下的概率, 根据概率的大小来判断RSSI出现在距离区间中某个特定距离测量点的可能性, 给出现的可能性较小的距离以较小的权值, 给出现的可能性较大的距离以较大的权值, 最后取这些距离值的加权平均作为该RSSI最终对应的距离值。

2 基于距离区间概率加权的测距原理

2.1 贝叶斯规则

根据前面对RSSI规律统计结果, 做如下定义。

D 表示所有测量点的集合, $D=\{d_1, d_2, \dots, d_i\}$;

R_k 表示RSSI的测量值, k 取不同的值, RSSI值的大小也不一样;

$P(d_i/R_k)$ 为RSSI测量值为 R_k 时移动节点位于测量点 d_i 的概率;

$P(d_i)$ 为移动节点位于测量点 d_i 的先验概率;

$P(R_k/d_i)$ 表示在测量点 d_i 处测得的RSSI测量值为 R_k 的概率;

$P(R_k)$ 表示在所测的所有RSSI值中, 测量值为 R_k 的概率。

根据以上定义, 结合概率论中的贝叶斯规则, 有下式成立:

$$P(d_i/R_k) = \frac{P(R_k/d_i)P(d_i)}{P(R_k)} = \frac{P(R_k/d_i)P(d_i)}{\sum_{d_i \in D} P(R_k/d_i)P(d_i)} \quad (1)$$

式中, $P(d_i)$ 可由历史数据或经验给出, 在没有先验知识的情况下, $P(d_i)$ 可假设为均匀分布; $P(R_k/d_i)$ 为似然函数, 需要在离线训练阶段计算; $P(R_k)$ 与具体测量点无关, 在求相对概率大小的情况下可认为等于常数, 因此, 由式(1)可得下式成立:

$$P(d_i/R_k) \propto P(R_k/d_i) \quad (2)$$

2.2 概率 $P(d_i/R_k)$ 的求取

研究表明, 在某一距离下的RSSI值出现规律满足高斯分布, 因此似然函数 $P(R_k/d_i)$ 可由高斯概率分布函数求得^[22]:

$$P(R_k/d_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} e^{-\frac{(R_k - \hat{\mu})^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

式中, μ 和 σ 分别为在测量点 d_i 处多次测量信号的

均值和标准差。设测得的信号个数为 N , 则有:

$$\hat{\mu} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N R_i \quad (4)$$

$$\hat{\sigma}^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{i=1}^N (R_i - \hat{\mu})^2 \quad (5)$$

式中, R_i 为在测量点 d_i 处测得的第 i 个信号的RSSI值。

已知似然函数 $P(R_k/d_i)$, 再由式(2)就可以比较出RSSI值位于区间中每个测量点的概率 $P(d_i/R_k)$, 从而确定该RSSI值对应的距离点。

3 算法实现步骤

基于RSSI的测距方法实质上是一种模式匹配方法, 通过比较节点接收到的信号强度和数据库中存储的测量距离点的信号强度, 找到移动节点可能出现的位置, 一般分为离线测量和在线检测两个阶段。离线测量阶段通过大量的数据测试建立相应的数据库, 导出最终的测距模型, 在线检测阶段, 将获取的信号模式输入到测距模型中, 所得的输出即为该信号模式所对应的距离估计值。

3.1 离线测量阶段

1) 建立能量和距离区间的映射。

在节点的通信半径内选取 n 个测量距离点, 针对每个测量位置, 记录固定节点收到的来自移动节点的信号强度, 建立测量位置的RSSI值数据库。在每个测量点采集到的RSSI值记为 $\langle d_i, \text{RSSI} \rangle$, 其中 d_i 为在该测量点下移动节点和固定节点之间的距离, RSSI_i 表示在该测量点下测得的所有不同的信号强度值的集合, 若不同的RSSI值个数为 m , 则 $\text{RSSI}_i = \{R_{i1}, R_{i2}, \dots, R_{im}\}$ 。

将所有测量距离点下测得的RSSI值放在一起, 挑出其中不同的RSSI值, 并从数据库 $\langle d_i, \text{RSSI} \rangle$ 中找出每个不同的RSSI值所出现的距离, 并将其一一列出, 即可建立某个能量值和其出现的距离区间的数据库, 记为 $\langle R_k, D_k \rangle$, 其中 R_k 为某个特定的RSSI值, D_k 表示能量值 R_k 所存在的所有测量距离点的集合, 记为 $D_k = \{d_i\}$, i 的取值和个数根据 R_k 的不同而不同。

2) 概率的求取。

根据第2节中所述的方法, 采用式(2)~式(5)求出RSSI测量值为 R_k 时节点位于各个测量点的概率 $P(d_i/R_k)$ 。由此, 能量值和距离区间的数据库 $\langle R_k, D_k \rangle$ 中的 D_k 可扩展为 $D_k = \{d_1(P_{k1}), d_2(P_{k2}), \dots, d_n(P_{kn})\}$, 其中 P_{ki} 为 R_k 值出现在距离点 d_i 下的概率, 数据库 $\langle R_k, D_k \rangle$ 可更新为:

$$R_k \sim \{d_1(P_{k1}), d_2(P_{k2}), \dots, d_n(P_{kn})\} \quad (6)$$

这样,一个能量值对应了一个距离区间,同时,还标出了该能量值出现在区间中每个距离点下的概率。

3) 距离的导出。

以其对应的概率为权值,对式(6)中的距离区间中的每个距离进行加权求和,最终得到RSSI值为 R_k 对应的映射距离为:

$$d = \frac{\sum_{i=1}^n P_{ki} d_i}{\sum_{i=1}^n P_{ki}} \quad (7)$$

将所得的 d 值作为该能量值对应的距离建立“能量-距离”的映射关系数据库。

3.2 在线检测阶段

实际测距时,移动节点在未知位置处发出探测信号,固定节点记录若干个RSSI值,并将每个RSSI值和上节中建立的“能量-距离”数据库中的能量值进行比较,找到和其相等或者差值最小的能量所对应的距离,再取这若干个距离的平均值作为移动节点的最终位置。

4 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。

4.1 场景设置

离线测量阶段,发射节点从0.5 m开始,以0.5 m的步长远离接收节点,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。

在线检测阶段,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。

4.2 测距结果分析

为了验证本文提出的基于概率加权的测距方法的性能,将该方法和文献[12]中的曲线拟合法以及文献[19]提出的RSSI和区间映射的方法在相同的条件下进行了仿真测距比较。图3给出了离线测量阶段统计数据包个数为2 000,在线检测阶段接收数据包个数为10的条件下3种方法的测距误差曲线。

从图中可以看出,随着距离的增加,本文的方法和距离区间测距方法误差都呈增大趋势,且均远远小于曲线拟合法的测距误差,在30 m的范围内测距误差不超过2.5 m。

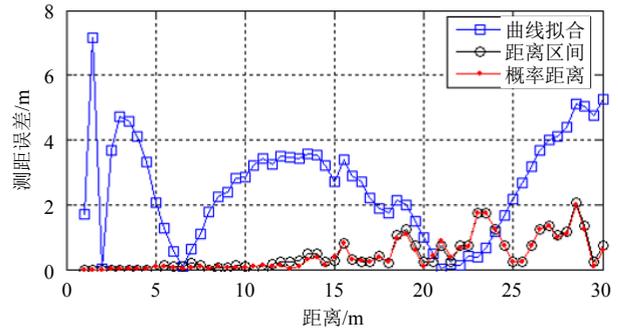


图3 3种方法的测距误差比较

表1 3种方法的平均测距误差

噪声均方差(σ)	RSSI曲线拟合法	距离区间测距法	概率加权测距法
2	2.611 7	0.636 4	0.621 9
4	2.591 0	0.552 1	0.546 5
6	2.557 6	0.531 8	0.510 5
8	2.568 3	0.488 6	0.464 2
10	2.578 6	0.437 9	0.416 4
12	2.538 8	0.506 1	0.471 9
14	2.626 8	0.520 4	0.499 1
16	2.638 5	0.484 7	0.486 4

环境的变化会对RSSI的测距结果产生一定的影响,表1给出3种方法在1 m~30 m范围内的平均测距误差随着噪声方差 σ 改变而改变的结果。由表中数据可以看出,区间测距法和概率加权法的平均测距误差远远小于RSSI曲线拟合法。为了比较本文的方法和区间测距方法,图4单独列出了本文的方法和区间测距方法的平均测距误差随噪声方差 σ 的变化曲线图,由图4可以明显看出,在不同的噪声方差下,概率加权测距法的平均测距误差均小于区间测距法。

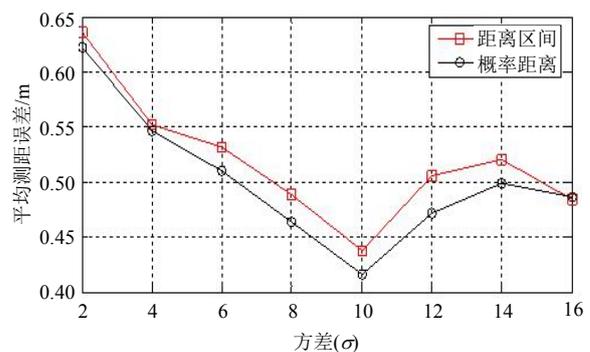


图4 平均测距误差随 σ 改变的曲线

在本文所述的方法中,离线测量阶段在每个距离点下需要统计大量的RSSI值才能统计出RSSI出现的固有规律,统计的数据包个数越多,其测距误差越小。离线阶段建立数据库时统计数据包个数分别为500、2 000、10 000、20 000,实时测距阶段接收数据包均为10时的平均测距误差依次为0.199 7 m、0.191 9 m、0.190 6 m、0.190 5 m,测距误差比较结果如图5所示。图5和所得平均误差数据均表明,建

立数据库时, 统计数据包的个数越多, 后续测距误差越小。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6所示。从图6可以看出, 测距时接收数据包个数越多, 测距误差越小。

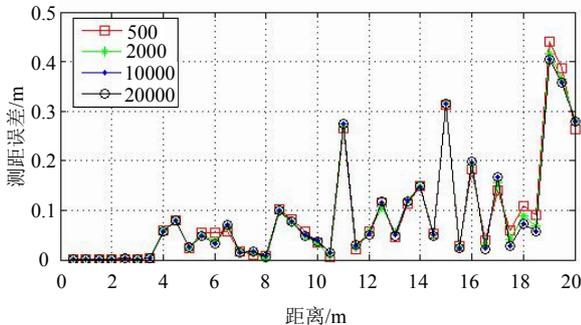


图5 离线阶段统计不同数量的数据包测距结果

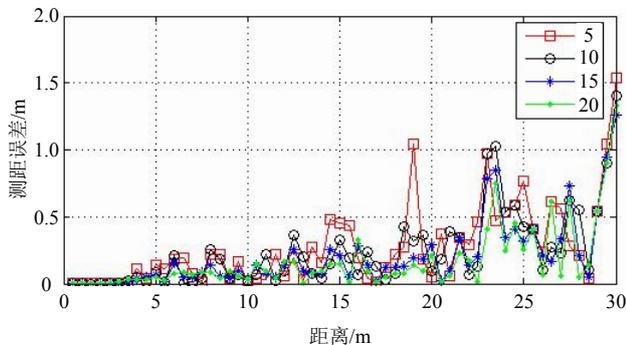


图6 在线阶段接收不同数量数据包测距结果

由以上分析可知, 离线测量阶段统计数据包及在线检测阶段接收数据包的个数都会对测距精度产生一定的影响, 数据包个数越多, 测距精度越高。但统计数据包数量过大, 会大大增加离线测量阶段的工作量; 接收数据包个数越多, 在线检测阶段所需运算量及通信开销也越大。因此在使用该算法时可以通过实验分析, 应综合考虑测距精度、运算量、通信开销及工作量等因素, 选定合适的统计数据包数量及接收数据包个数。

5 结论

本文提出了一种基于概率加权的RSSI测距方法, 通过对RSSI所出现的距离区间中的所有距离点进行概率加权求和来导出该RSSI值所对应的距离, 较好地考虑了由于易受环境干扰而存在的RSSI和距离映射的多值问题, 减小了RSSI值波动产生的负面影响, 其测距误差远远小于采用曲线拟合的方法, 同时, 和距离区间测距的方法相比, 其测距精度也有一定程度的提高, 对于基于测距的无线传感器网络定位技术而言, 有一定的应用价值。但是, 采用

该方法进行测距时所需的工作量及相应的运算量较大, 如何在进一步提高其测距精度的基础上, 减少相应的工作量和运算开销是下一步重点要研究的问题。

参考文献

- [1] 朱登科. 基于RSSI的无线传感器网络测距和定位技术研究[D]. 长沙: 国防科技大学, 2010.
ZHU Deng-ke. Research of the ranging and localization technology based on RSSI[D]. Changsha National University of Defense Technology, 2010.
- [2] WANG Jing, GHOSH R K, DAS S K. A survey on sensor localization[J]. J Control Theory Appl, 2010, 8(1): 2-11.
- [3] 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.
- [4] ZHU Gui-bin, ZHANG Hai-cheng, YE Jiu-zhi, et al. An anchor-free position algorithm for evenly deployed wireless sensor networks[C]//2011 Third International Conference on Measuring Technology and Mechatronics Automation. Shanghai: IEEE Computer Society, 2011: 379-382.
- [5] 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.
- [6] BRIDA P, MACHAJ J, BENIKOVSKY J, et al. A new complex angle of arrival location method for ad hoc networks[C]//2010 7th Workshop on Positioning Navigation and Communication (WPNC). Dresden: IEEE Press, 2010: 284-290.
- [7] FANG Zhen, ZHAO Zhan, GENG Dao-qu, et al. RSSI variability characterization and calibration method in wireless sensor network[C]//2010 IEEE International Conference on Information and Automation. Harbin: IEEE press, 2010:1532-1537.
- [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, 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.
- [9] 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.
- [10] AWAD A, FRUNZKE T, DRESSLER F. Adaptive distance estimation and localization in WSN using RSSI measures [C]//10th Euromicro Conference on Digital System Design Architectures, Methods and Tools. Lubeck: IEEE Computer Society, 2007: 471-478.
- [11] LI Jian, LIU He-ping. A new weighted centroid localization algorithm in coal mine wireless sensor networks[C]//2011

- 3rd International Conference on Computer Research and Development. Shanghai: IEEE Press, 2011:106-109.
- [12] 孙佩刚, 赵海, 罗玎玎, 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.
- [13] 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.
- [14] HUANG Wei, ZHANG Zhen-hua, WANG Ri-bin, et al. An adaptive distance correction localization algorithm based on RSSI for WSNs[J]. Lecture Notes in Electrical Engineering, 2012, 143(1): 369-378.
- [15] 李丽, 周彦伟, 吴振强. 无线网络定位技术研究[J]. 计算机技术与发展, 2011, 21(10): 59-62.
LI Li, ZHOU Yan-wei, WU Zhen-qiang. Research of the wireless network location technology[J]. Computer Technology and Development, 2008, 28(4): 841-855.
- [16] 蒋文涛, 李连, 孙利民. 无线传感器网络中一种基于栅格划分的概率定位算法[J]. 计算机应用, 2008, 28(4): 841-855.
JIANG Wen-tao, LI Lian, SUN Li-min. Grid division-based probabilistic localization algorithm for WSN[J]. Computer Applications, 2008, 28(4): 841-855.
- [17] 马春龙, 张启英. 基于高斯函数及分批估计融合理论的无线网络定位算法[J]. 长春工业大学学报(自然科学版), 2012, 33(1): 59-63.
MA Chun-long, ZHANG Qi-ying. Wireless network positioning algorithm based on Gauss function and batch estimation fusion[J]. Journal of Changchun University of Technology(Natural Science Edition), 2012, 33(1): 59-63.
- [18] 王缓缓, 胡爱娜. RSSI和距离区间映射的测距方法[J]. 电子科技大学学报, 2012, 41(4): 522-526.
WANG Huan-huan, HU Ai-na. Ranging method based on the mapping between RSSI and distance scope[J]. Journal of University of Electronic science and Technology, 2012, 41(4): 522-526.
- [19] 赵方, 罗海勇, 林权, 等. 基于核函数及马尔科夫链的节点定位算法[J]. 通信学报, 2010, 31(11): 195-204.
ZHAO Fang, LUO Hai-yong, LIN Quan, et al. Node localization algorithm based on kernel function and Markov chains[J]. Journal on Communication, 2010, 31(11): 195-204.
- [20] 徐昌庆, 徐建良, 楼财义, 等. 无线传感器网络中基于概率加权的多目标定位方法: 中国, 200910045004.0[P]. 2009-06-24.
XU Chang-qing, XU Jian-liang, LOU Cai-yi, et al. Multi-targeting localization method based on probability-weighted for WSN: China, 200910045004.0[P]. 2009-06-24.
- [21] 任重远, 陈佳品, 李振波, 等. 一种基于无线传感器网络的RF定位算法研究[J]. 传感器与微系统, 2012, 31(7): 52-54.
REN Zhong-yuan, CHEN Jia-pin, LI Zhen-bo, et al. Research on a RF localization algorithm based on wireless sensor networks[J]. Transducer and Microsystem Technologies, 2012, 31(7): 52-54.
- [22] 田增山, 罗磊, 何维, 等. 一种分布式无线传感器网络节点定位算法[J]. 传感技术学报, 2009, 22(3): 387-390.
TIAN Zeng-shan, LUO Lei, HE Wei, et al. A distributed node location algorithm of wireless sensor network[J]. Chinese Journal of Sensors and Actuators, 2009, 22(3): 387-390.
- [23] 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 税红