

基于最小二乘法的 RSSI 测距环境参数修正方案^①

杜亚江¹, 高立兵²

¹(兰州交通大学 机电技术研究所, 兰州 730070)

²(甘肃有色冶金职业技术学院, 金昌 737100)

摘 要: 节点定位是无线传感器网络中的重要应用之一。为了抑制 RSSI 测距技术的误差对无线传感器节点定位精度的影响, 通过对 RSSI 测距模型进行分析, 提出了一种基于最小二乘法的 RSSI 测距环境参数修正方案。该方法使用最小二乘法拟合方法对环境参数进行修正, 以消除各种干扰对测量数据的影响, 以提高 RSSI 测距的精度, 为高精确定位打下基础。实验和仿真结果表明, 采用环境参数修正方案后, 明显提高了测距的精度。

关键词: 无线传感器网络; 定位; RSSI 测距; 最小二乘算法

RSSI Parameter Calibration Method Based on the Least Square Algorithm

DU Ya-Jiang¹, GAO Li-Bing²

¹(Mechanical and Electronic Technology Institute, Lanzhou Jiaotong University, Lanzhou 730070, China)

²(Gansu Vocational & Technical College of Nonferrous Metallurgy, Jinchang 737100, China)

Abstract: Localization of nodes is an important application of wireless sensor network. In order to suppress effectively the effects of RSSI error to WSN node localization precision. In this paper, RSSI-based distance estimated model was studied and analyzed, and provide a parameter calibration method based on the least square algorithm. The method uses least square method to amend the data to dispel the influence caused by all kinds of molestation. Thus the positioning accuracy of entire network can be improved. Simulation results show that the proposed calibration method performs well in distance estimate accuracy.

Key words: wireless sensor networks; localization; distance measurement based on RSSI; the least square algorithm

1 引言

无线传感器网络(wireless sensor networks)由部署在监测区域内大量的廉价小型或微型传感器节点组成, 通过无线通信方式形成的一个多跳的自组织的网络系统。随着通信技术、嵌入式计算技术、微处理技术和传感技术的飞速发展与日益成熟, 无线传感器网络开始受到广泛关注, 作为其支撑技术之一的节点定位技术在传感器网络中具有重要作用, 没有节点或事件位置信息的传感器网络有时是毫无意义的^[1,2]。

目前的定位算法主要分两大类, 基于测距算法(range-based)和无需测距算法(range-free)^[3]。基于测距算法通过测量节点间的距离或角度信息, 使用三边测量、三角测量或最大似然估计等定位算法。常用的测

距技术有 RSSI, TOA, TDOA 和 AOA 等^[4];

鉴于 RSSI 测距定位精度不高, 容易受到动态环境因素的影响^[5], 本文通过对无线传播模型进行分析, 并根据采集的数据进行分析与研究, 提出了一种基于最小二乘法的 RSSI 测距环境参数修正方案。

2 算法模型描述

本文在不增加节点硬件设计的情况下, 节点的距离信息是通过 RSSI 的测量得到的。在基于 RSSI 的测距技术的基础上, 提出了一种基于最小二乘法的 RSSI 测距环境参数修正方案。

1.1 基于 RSSI 的测距技术

RSSI 测距技术因成本低廉, 易于实现且能量消耗

① 收稿时间:2011-06-10;收到修改稿时间:2011-07-18

低而著称,并得以广泛的应用。但 RSSI 测距技术测量精度低,如何提高测距精度是使用 RSSI 测距技术的一个亟待解决的关键性问题。

RSSI 通常是随着通信节点间距离增加而 RSSI 值相对降低。一般地,利用 RSSI 来估计节点之间的距离时,已知发射节点的发射功率,然后在接收节点处测量接收功率,计算无线电波的传播损耗,再使用经验或理论的无线电波传播模型将传播损耗转化为距离。

传统的无线信号传播的衰减模型为

$$RSSI(d) = RSSI(d_0) - 10\lambda \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + \xi_\sigma \quad (1)$$

式中: $RSSI(d)$ 为在离发射源距离为 d 处接收到的 RSSI 强度值,单位 dBm;

$RSSI(d_0)$ 为对应 d_0 米处未知节点受到的 RSSI 信号强度值,单位 dBm;

d_0 为参考距离,单位 m; d 为发射端与接收端的距离;

λ 为路径衰减指数,与周围环境和障碍物密切相关;

ξ_σ 表示标准偏差为 σ 的正态随机变量,单位 dBm;

而 σ 取决于具体的多径环境。

理论上,如果环境条件已知,那么路径衰减常数为常量,距离的估计就可以使用接收信号强度计算。但是由于应用 RSSI-RF 信号测距技术时,不一致的衰减关系影响了距离估计的质量,从而导致了应用该技术时误差较大。为了使基于 RSSI 的测距技术可以达到较好的测距精度,可以采取适当的措施对 RSSI 测距造成的误差进行补偿。

1.2 最小二乘法拟合的基本原理

最小二乘法的基本思想是偏差平方和最小。该理论是高斯在 1795 年,在他的星体运动轨道预报工作中提出的^[6]。

1) 最小二乘法的基本原理概括如下:

从整体上考虑近似函数 $P(x)$ 同所给数据点 $(x_i, y_i)(i = 0, 1, \dots, m)$ 误差 $r_i = P(x_i) - y_i(i = 0, 1, \dots, m)$ 的大小,常用的方法是误差向量 r 的 2-范数,即误差平方和 $\sum_{i=0}^m r_i^2$ 的算术平方根。具体的数据拟合方法是:

在取定的函数类 Φ 中,对给定数据 Φ ,求 $P(x) \in \Phi$,使误差 $r_i = P(x_i) - y_i(i = 0, 1, \dots, m)$ 的平方和最小,

即:

$$\begin{aligned} & \sum_{i=0}^m r_i^2 (j = 0, 1, \dots, 2n) \\ & = \sum_{i=0}^m [P(x_i) - y_i]^2 = \min \end{aligned}$$

2) 从几何意义上讲,寻找拟合函数或最小二乘解就是寻求与给定点 $(x_i, y_i)(i = 0, 1, \dots, m)$ 的距离平方和为最小的曲线 $y = P(x)$ 。

最小二乘法拟合的一般方法可以归纳为以下几个步骤:

① 由已知数据画出函数粗略的图形—散点图,确定拟合多项式的次数 n 。

② 列表计算 $\sum_{i=0}^m r_i^j (j = 0, 1, \dots, 2n)$ 和。

$$\sum_{i=0}^m r_i^j y_i (j = 0, 1, \dots, 2n)$$

③ 写出正规方程组,求出 a_0, a_1, \dots, a_n 。

④ 写出拟合多项式 $P_n(x) = \sum_{k=0}^n a_k x^k$, 其中求解 a_k

的矩阵表达式为:

$$\begin{bmatrix} m+1, \sum_{i=0}^m x_i, \dots, \sum_{i=0}^m x_i^n \\ \sum_{i=0}^m x_i, \sum_{i=0}^m x_i^2, \dots, \sum_{i=0}^m x_i^{n+1} \\ \dots, \dots, \dots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n, \sum_{i=0}^m x_i^{n+1}, \dots, \sum_{i=0}^m x_i^{2n} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_n \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=0}^m y_i \\ \sum_{i=0}^m x_i y_i \\ \vdots \\ \sum_{i=0}^m x_i^n y_i \end{bmatrix}$$

3 基于最小二乘法的RSSI测距环境参数分析与修正

3.1 模型参数的校正

由公式(1)可知,如果以 dB 为计量单位,那么 RSSI 值与距离之间的函数关系呈线性,可以通过锚节点间的信息交换,得到多个距离与 RSSI 值之间的对应关系,然后以距离为 x , RSSI 为 y ,进行最小二乘法曲线拟合,找出最合适的直线方程,这样,则 $RSSI(d_0)$ 参数为直线与 y 轴的交点,路径衰减指数为直线的斜率,采用最小二乘拟合方法修正模型参数实验过程如下:

1) 由公式(1)可知,假设能够反映 RSSI 与距离之间关系的最合适的直线方程为:

$$y = a + bx \tag{2}$$

把衰减模型的参数的校正转化成直线方程 a、b 参数的求解。

2) 由最小二乘法拟合的基本原理可知，坐标系上的拟合点到直线的距离平方和应最小，即表达式(2)要取最小值：

$$p = \sum_i [(a + bx_i) - y_i]^2 \tag{3}$$

对式(3)求关于 a、b 的偏导数并令其为零，得

$$\begin{cases} \frac{\partial q}{\partial a} = 2 \sum_i [y_i - (a + bx_i)] = 0 \\ \frac{\partial q}{\partial b} = 2 \sum_i x_i [y_i - (a + bx_i)] = 0 \end{cases} \tag{4}$$

求解方程组(4)，可以得到 a、b 值为：

$$\begin{cases} a = \frac{(\sum y)(\sum x^2) - (\sum x)(\sum xy)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \\ b = \frac{n \sum xy - (\sum x)(\sum y)}{n \sum x^2 - (\sum x)^2} \end{cases}$$

当信标节点周期性地发送一个包含自身位置的信标信息，其余信标节点收到信标信息时，则能够计算出此信标节点与发送信标节点的距离，并记录此信标的 RSSI 值。当信标节点 2 个以上的信标信息时，按照前述方法计算模型参数，并将模型参数添加到自己的信标中。只要该信标节点收到来自其他信标节点的新的信标，就可以随时对其模型参数列表进行更新，因此该系统的模型参数能够有效地反映环境的变化。

3.2 距离估计

通过对无线信号传播的衰减模型评估与参数修正，根据 RSSI 值，得到对位置距离节点的距离估算公式为：

$$d = 10 \frac{RSSI(d_0) - RSSI(d) + \xi_\sigma}{10\lambda} \times d_0 \tag{5}$$

(5)式就是经典的距离 RSSI 与 d 计算关系。公式中 ξ_σ ， λ 与外界环境密切相关。

4 实验与仿真分析

为了验证本修正方案的有效性，本节对数据进行重新采集，分别用修正前与修正后两种方案根据接收到的信息对距离进行估计，从而对两种情况下的估计距离及误差进行分析与比较，并且在 MATLAB 平台上进行了仿真对比分析。

4.1 实验分析与验证

图 1 描述了估计距离与真实距离的关系。从图 1 中可以看出，相对于修正前的方案，采用修正后的网络环境参数后，其估计的距离和真实距离更为接近。

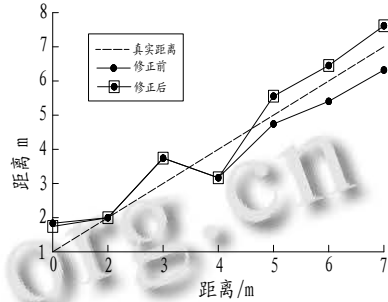


图 1 真实距离与估计距离

图 2 描述基于 RSSI 的无线传感器网络环境参数修正前与修正后的测距误差情况。从图 1 中可以看出，在 1~7m 范围内，其修正前的最大测距误差为 0.7708m，最小测距误差为 0.1315m。使用修正后的方案，其最大测距误差为 0.6637m，最小误差为 0.0226m，明显提高了测距的精度。

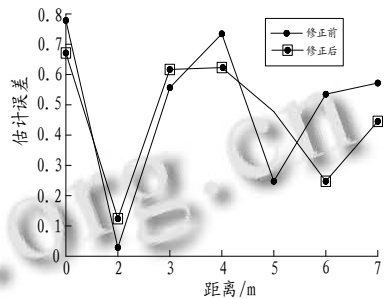


图 2 两种情况下的测距误差

4.2 仿真实验分析

图 3 是在仿真区域内随机部署了 200 个节点，两次运用最小二乘法修正网络环境参数，可以得出：第一次修正前 RSSI 测距如图虚线所示，测距分布间隔（横轴）与 RSSI 接收信号强度（纵轴）之间的衰减比例越小越好，表示测距精度越高。利用最小二乘法第一次修正后的仿真曲线如图 3 实线所示，可以得出最小二乘法其收敛速度快，具有在线跟踪输入参数的特性，能够及时辨识参数模型，并实现在线校正。

第二次修正前 RSSI 测距如图虚线所示，可以得出修正前与第一次修正前的图不一致，这是正常的，因

为 RSSI 测距中一个最重要的环节就是输入参数随外部环境的变化而变化,不容易在一个点固定一个值。这也能说明误差产生的必然性和随机性。

第二次修正后 RSSI 测距如图实线所示,与第一次修正后的仿真图对比,其误差补偿效果进一步得到提高,精度进一步提高。最小二乘算法的特点说明对随机因素产生的误差具有明显的跟踪校正效果。

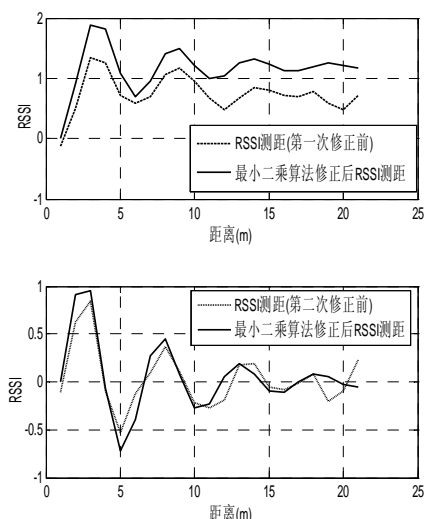


图3 第一、二次环境参数修正前后 RSSI 测距误差对比仿真

5 结论

本文提出一种针对具体应用的无线传感器网络环境参数修正方案,通过信标节点间的相互协作,采用最小二乘拟合方法修正模型参数,取得了良好的定位性能,对环境的变化具有一定的自适应性,适用于复杂环境的传感器网络。实验结果表明,其修正后的方案明显提高了节点距离估计的精度,此修正方案可用于不同环境下基于 RSSI 定位应用中。

参考文献

- 1 Li D, Wong KD, Hu YH, et al. Detection, classification, and tracking of targets. *IEEE Signal Processing Magazine*, 2002, 19(2):17-29.
- 2 陈维克,李文锋,首珩,等.基于 RSSI 的无线传感器网络加权质心定位算法. *武汉理工大学学报*, 2006, 30(2):265-268.
- 3 任维政,徐连明,邓中亮,等.基于 RSSI 的测距差分修正定位算法. *传感技术学报*, 2008, 21(7):1247-1250.
- 4 孙利民,李建中,陈渝,等. *无线传感器网络*. 北京:清华大学出版社, 2005.138.
- 5 金卫民,神显豪.基于 RSSI 的室外无线传感器网络自定位算法. *计算机工程*, 2008, 34(13):89-90.
- 6 王福豹,史龙,任丰原.无线传感器网络中的自身定位系统和算法. *软件学报*, 2005, 16(5):1148-1157.

(上接第 251 页)

索引文件在 1G-3.5G 时 Lucene 查询时间成指数增长出现瓶颈,但将海量数据按不同城市划分到分布式的环境中结合 MapReduce 编程模式后,虽然数据量小的时候 MapReduce 的分布式搜索系统优势不是很明显,但随着数据量的不断增大,系统效率提高了约 66.7%。这不但解决了 Lucene 数据量的瓶颈,而且还提高了搜索响应效率。

5 总结

虽然 Lucene 提供了从索引的建立、处理到查询的开发包,但在查询大索引数据上会出现严重的查询效率瓶颈。将单一的大索引数据文件按照不同城市代码划分到不同的分布式索引服务器上,并结合 MapReduce 的分布式编程思想将大量并发搜索请求由分布式系统处理,以解决大量搜索请求并发时的响应

效率问题。实验数据表明改进后的搜索系统大大提高了查询效率。

参考文献

- 1 Dean R, Ghemawat A. Map Reduce: implied data processing on large cluster. *SDI*, 2004.
- 2 Ghemawat N, Gobioff H, Leung ST. The Google File system. *Operating Systems Principles*, 2003:29-43.
- 3 Doug Cutting. *Scalable Computing with MapReduce*. OS-CON. 2005.
- 4 Borthankur D. *The Hadoop Distributed File System: Architecture and Design*. Apache Software Foundation. 2007.
- 5 Apache. Welcome to Lucene. <http://lucene.apache.org>.
- 6 郑力明,易平.基于 HTMLParser 信息提取的网络爬虫设计. *微计算机信息*, 2009, 25(5-3):123-125.