

无线网络定位技术研究

李丽^{1,3}, 周彦伟², 吴振强³

(1. 北京理工大学 计算机科学技术学院, 北京 100081;

2. 陕西师范大学 教师专业能力发展中心, 陕西 西安 710062;

3. 陕西师范大学 计算机科学学院, 陕西 西安 710062)

摘要:无线网络技术的发展和覆盖率的增加,使得人们在随时随地使用无线网络资源时,对基于位置的信息需求越来越多,这推动了无线定位技术的研究进展。文中通过分析对数-常态分布模型,提出用高斯滤波法优选节点的RSSI值,并通过实地采集数据,得到了在特定环境下的路径损耗指数值,以减小由于RSSI值的影响产生的误差。结合加权质心法进行节点定位,加权因子由RSSI测距法得的距离决定。加权质心算法具有较高的精度,整个定位过程中节点间无需额外的通信开销,具有广泛的实用性。

关键词:节点定位;RSSI;高斯滤波;加权质心

中图分类号:TP393

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2011)10-0059-04

Research of the Wireless Network Location Technology

LI Li^{1,3}, ZHOU Yan-wei², WU Zhen-qiang³

(1. College of Computer Science and Technology, Beijing Institute of Technology, Beijing 100081, China;

2. Center for Teacher Professional Ability Development, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China;

3. College of Computer Science, Shaanxi Normal University, Xi'an 710062, China)

Abstract: With the development of the wireless network technology and the increment of the wireless network coverage, people demand more and more location information when they access to network resources anywhere, this promotes the progress of wireless location technology. Analyzes the log-normal distribution model and proposes Gaussian filtering method which is used to select RSSI value of the preferred node. Also obtain the path loss index values in specific environment. This can reduce the error affected by the RSSI value. Use the distance based on the RSSI to locate the unknown node. The weighting factors is determined by the distance obtained from the RSSI. The weighted centroid algorithm has high accuracy and wide range of practicality, nodes do not demand additional communication spending.

Key words: node localization; RSSI; Gaussian filter; weighted centroid

0 引言

随着无线技术的广泛推广,越来越多的用户可以随时随地访问网络资源,人们对基于位置信息服务的需求增多,无线定位技术得到越来越多的研究者的关注。

目前,无线网中的定位技术可分为基于终端的定位技术和基于网络的定位技术^[1]。基于终端的定位技术主要指移动终端根据基站和定位服务器提供的信息计算出自己所处的位置,如全球卫星定位技术。基于

网络的定位技术是指定位网络根据测量数据计算出移动终端所处的位置,如基于方向的定位技术和基于信号强度的定位技术。

基于终端的定位精确度低且需要定位服务器等外部设备。基于信号强度的定位技术是一项低成本和低复杂度的距离测量技术,被广泛应用于无线网基于网络的定位中。但由于信号强度易受环境的影响,难以准确描述信号强度和距离的变化规律,影响定位的精确性。文中在使用基于信号强度的测距技术^[2]时,针对以上问题,提出用高斯滤波法优化信号强度值,并结合加入加权因子的质心法进行最终的定位。

1 基于RSSI的测距

基于接收信号强度(receive signal strength, RSS)的测距是一种廉价的测距技术,也是文中测距算法的

收稿日期:2011-03-25;修回日期:2011-06-26

基金项目:国家高技术研究发展(863)计划(2007AA01Z438200);国家级大学生创新性实验计划项目(091071811)

作者简介:李丽(1990-),女,内蒙古扎兰屯人,专业为信息管理与信息系统;吴振强,博士,副教授,研究方向为信息与网络安全。

基础。已知发射信号强度,接收节点根据收到的信号强度,计算信号在传播过程中的损耗,使用理论或经验的信号传播模型将传播损耗转化为距离。由于无线信号对于复杂环境的适应能力较弱,这种方法的精确度不高。但是其借助的硬件设备较少,而且很多无线通信模块都可以直接提供 RSSI 值。因此,基于 RSSI 的测距方法还是被广泛应用^[3]。

文献[4]利用 RSSI 测距时,用的是线性插值法,虽然减小了测距的复杂性,但是由于天气情况、障碍物、人员流动等的影响,同一地点在不同时刻收到的信号强度是变化的^[5],由于信号强度的波动性,在用基于差值算法测距时,很难精确地得到 RSSI 对应的距离。大多利用 RSSI 测距的算法中,都侧重于定位算法的设计,没有对 RSSI 值进行处理^[6]。

对定位算法性能评价指标主要有定位精度,功耗和代价,网络规模等几个部分^[7]。考虑以上因素,在采集 RSSI 数据时,用高斯滤波法筛选 RSSI 值,尽量减小由于信号传播的波动性造成的测距误差,确定 RSSI 与距离的对应关系后,再利用加权质心法进行定位。其流程为:(a)采集信号强度值;(b)根据 RSSI 值计算距离;(c)根据距离、参考点坐标和定位算法对位置进行计算。该算法由两部分组成:一是通过 RSSI 测距;二是根据距离以及参考节点位置利用定位算法计算未知节点位置。

1.1 优化 RSSI 值

节点到信号源的距离越近,由 RSSI 值的波动产生的距离误差越小。而当距离逐渐增大时,由于障碍物,多径传播等影响,由 RSSI 波动造成的绝对距离误差将会很大。

在实际中,某一时间段内接收节点可以收到 n 个 RSSI 值,由于各种因子的影响,导致这些 RSSI 值具有很大的波动性,在利用 RSSI 值计算距离之前,先进行滤波处理,得到一个比较准确的值,然后再进行计算。

在自然现象和社会现象中,大量随机变量都服从或近似服从正态分布,如测量误差、身高等。基于此原则采用高斯模型对 RSSI 进行滤波处理。

在高概率发生区,选择概率大于 0.6(0.6 是根据经验取的)的范围。经过高斯滤波后, RSSI 的取值范围为 $[0.15R + L, 3.09R + L]$ 。其中:

$$R = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n \left(\text{RSSI}_i - \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{RSSI}_i \right)^2$$

$$L = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \text{RSSI}_i$$

R 为 RSSI 的标准差, L 为 RSSI 的平均值。

把该范围内的 RSSI 值全部取出,再求几何平均值,即可得到某一接收点一段时间内最终的 RSSI 值。

经过处理后,得到室内环境中 RSSI 值与距离的对应关系在平面坐标中是一条分段的直线。

1.2 模型分析

无线电传播路径损耗对于 RSSI 定位算法的定位精度有很大影响。常用的传播路径损耗有:自由空间传播模型;对数距离路径损耗模型;对数-常态分布模型等。应用最多的是自由空间传播模型和对数-常态分布模型。自由空间传播模型如下:

$$\text{Loss} = 32.44 + 10 \times K \times \log_{10}(d) + 10 \times K \times \log_{10}(f) \quad (1)$$

式中: d 为距信源的距离,单位 km; f 为频率,单位 MHz; K 为与环境有关的路径损耗指数。

在实际应用环境中,由于多径、绕射、障碍物等因素,自由空间传播模型中路径损耗与理论值相比有些变化。下述对数-常态分布模型将更加合理,式(2)可用于计算未知节点收到信标节点的信号强度值。

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 \times K \times \log_{10}(d/d_0) + X_{\&} \quad (2)$$

式中: d_0 为参考距离,由测量决定, d 为接收节点距发射结点的距离, $PL(d_0)$ 为距离为 d_0 时接收到的信号强度, $PL(d)$ 为距离为 d 时接收到的信号强度,单位 dB; $X_{\&}$ 为服从 $(0, \&^2)$ 高斯分布的随机变量,其范围为 4 ~ 10。式中 K 为与环境有关的路径损耗指数,其范围为 2 ~ 5。由于环境等的影响,在使用 K 和 $X_{\&}$ 参数进行计算时,使用不同的值,产生的误差很大,为了能够尽量真实反映当前环境中的传播特性,保证测距的精度,要对它们优化,以适应特定环境。文献[8]给出了 K 的参考值,其中在户外有遮蔽的城市空间为 2.7 至 5 之间,在室内视距情况下为 1.6 至 1.8 之间。由于 $X_{\&}$ 是平均值为 0 的变量,没有实际意义,将忽略它的影响。采用公式(2)的简化式:

$$PL(d) = PL(d_0) + 10 \times K \times \log_{10}(d/d_0) \quad (3)$$

利用公式(3),可求出未知节点接收到信号强度为 $PL(d)$ 时,其距信标节点的距离为:

$$d = 10^{(PL(d) - PL(d_0))/(10 \times K)} \quad (4)$$

2 定位算法数学模型

先介绍三边测距定位算法^[9,10]。若 A, B, C 三点为已知节点,坐标分别为 $(X_a, Y_a), (X_b, Y_b), (X_c, Y_c)$, D 为待测节点,坐标为 (X_d, Y_d) ,若利用高斯滤波测得待测节点 D 接收到已知节点 A, B, C 的 RSSI 值,根据公式(4),可得到 D 点到 A, B, C 点的距离分别为 R_a, R_b, R_c ,理想情况下, D 点在以 A, B, C 三点为圆心,半径分别为 R_a, R_b, R_c 三圆的交点上,由几何关系可得到:

$$(X_a - X_d)^2 + (Y_a - Y_d)^2 = R_a^2 \quad (5)$$

$$(X_b - X_d)^2 + (Y_b - Y_d)^2 = R_b^2 \quad (6)$$

$$(X_c - X_d)^2 + (Y_c - Y_d)^2 = R_c^2 \quad (7)$$

由式(5),(6),(7)可求得待测节点坐标。

由于在实际的环境中,信号传播具有波动性,三个圆不会交与一点,实际情况如图 1,三圆交于 M, E, N 三点。满足以下公式:

$$\begin{aligned} (X_m - X_a)^2 + (Y_m - Y_a)^2 &\leq R_a^2 \\ (X_m - X_c)^2 + (Y_m - Y_c)^2 &= R_c^2 \\ (X_m - X_b)^2 + (Y_m - Y_b)^2 &= R_b^2 \end{aligned} \quad (8)$$

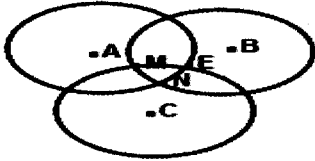


图 1 三圆交与一个区域

通过公式(8)可求出点 M 的坐标 (X_m, Y_m) ,同理可求出点 N, E 的坐标。若无解则说明三个圆无交点。利用三角形质心算法^[11]得到未知节点 D 的估计坐标为:

$$\begin{aligned} X_d &= (X_m + X_n + X_e)/3 \\ Y_d &= (Y_m + Y_n + Y_e)/3 \end{aligned}$$

为了提高定位精度,选取 RSSI 值排在前四位的已知节点,每次取四个节点中的三个即三个圆便可对待测节点进行一次坐标估计,这样可产生待测节点 D 的四次坐标估计分别为 $D_1(X_{d1}, Y_{d1}), D_2(X_{d2}, Y_{d2}), D_3(X_{d3}, Y_{d3}), D_4(X_{d4}, Y_{d4})$,再求均值,即可得到点 D 的坐标。

在选择三个已知节点进行定位的过程中,对每组参与定位的点要排除图 2 出现的情况,在图 2 中,通过求交点会出现无解。

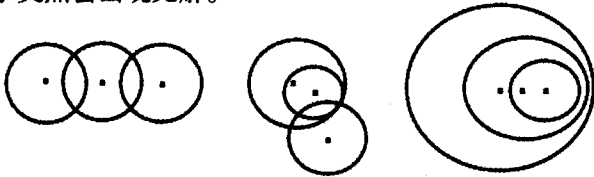


图 2 三圆不相交的情况

由于在用 RSSI 值测距的过程中,距离越近,测距精度越高,为更进一步提高定位精度,采用加权的思想,即在每组定位坐标中引入加权因子。加权因子为参与每次定位的三个圆的半径(待测节点到已知节点的距离)和的倒数,若选用的已知节点为 $A(X_a, Y_a), B(X_b, Y_b), C(X_c, Y_c), F(X_f, Y_f)$ 。待测节点收到各已知节点的 RSSI 值后,利用公式(4)可得到距各已知节点的距离分别为 R_a, R_b, R_c, R_f ,通过 A, B, C 点得到 D 点的坐标估计值为 $D_1(X_{d1}, Y_{d1})$,通过 A, B, F 点得到的为 $D_2(X_{d2}, Y_{d2})$,通过 A, C, F 点得到的为 $D_3(X_{d3}, Y_{d3})$,通过

B, C, F 点得到的为 $D_4(X_{d4}, Y_{d4})$,最后利用加权算法可得到 D 点的坐标。设:

$$\&_1 = 1/(R_a + R_b + R_c)$$

$$\&_2 = 1/(R_a + R_b + R_f)$$

$$\&_3 = 1/(R_a + R_c + R_f)$$

$$\&_4 = 1/(R_b + R_c + R_f)$$

则 D 点的坐标为:

$$\begin{aligned} X_d &= (X_{d1}/\&_1 + X_{d2}/\&_2 + X_{d3}/\&_3 + X_{d4}/\&_4) / \\ &\quad (1/\&_1 + 1/\&_2 + 1/\&_3 + 1/\&_4) \\ Y_d &= (Y_{d1}/\&_1 + Y_{d2}/\&_2 + Y_{d3}/\&_3 + Y_{d4}/\&_4) / \\ &\quad (1/\&_1 + 1/\&_2 + 1/\&_3 + 1/\&_4) \end{aligned}$$

3 算法过程

该算法的具体过程为:

(1) 确定已知节点的坐标,已知节点周期性的发送无线信号。

(2) 未知节点 D 接收来自已知节点 $(P_1, P_2 \dots P_r)$ 的信息时,对收到的 RSSI 进行优化。建立三个集合,已知节点集合:Beacon_set = $(P_1, P_2 \dots P_r)$;未知节点到已知节点的距离集合:Distance_set = $(d_1, d_2 \dots d_r)$,且 $d_1 < d_2 < d_3 < \dots < d_r$;已知节点位置集合:Position_set = $\{(X_1, Y_1), (X_2, Y_2) \dots (X_r, Y_r)\}$ 。

(3) 选取 RSSI 值大的前四个已知节点进行计算,采用公式(4)计算未知节点到已知节点的距离估计值。若出现图 2 中的情况,则用后面 RSSI 值大的节点替换前一个节点,直到满足定位要求(图 1 中所示)为止。

(4) 在 Beacon_set 中先选择 RSSI 值大的已知节点组成三角形集合:Triangle_set = $\{(P_1, P_2, P_3), (P_1, P_3, P_4) \dots (P_1, P_2, P_5)\}$,对 Triangle_set 中的任一个三角形根据式(8)算出三个交点的坐标,最后由加权质心算法,并取均值可得到未知节点的坐标。

4 实验与分析

在 Windows 平台上,用 C++语言^[12]实现算法和三点定位算法。实验环境包括笔记本电脑一台,装有 wpa_supplicant^[13],用于接收信号强度,AP 三个,USB 接口 TPLINK 无线网卡一块。wpa_supplicant 获得周围的无线信号强度后,根据筛选出的 RSSI 值定位。

由于本实验是在实验室进行的,为了减小环境的影响产生的误差,决定在实验室采集数据,用以确定路径损耗指数 K 的值。

用实验室中的一个 AP 作为已知节点 A_0 , N 个移动节点 $A_1, A_2 \dots A_n$,两两节点间的距离为 $L = 3$ 米,笔记本电脑沿着点 $A_1, A_2 \dots A_n$ 移动($n = 7$)。并事先测量得到每个移动点到 A_0 的距离(d_i)。在相同时间间隔内

可得到在每个点处的 RSSI 的平均值 $RSSI_i$, 这样得到一组数据 $(RSSI_i, d_i)$, $i = 1, 2, \dots, n$ 。取 $d_0 = 1$ 米, $PL(d_0) = -42$, 将 N 个 $(RSSI_i, d_i)$ 值代入公式(3) 计算 K 的值, 得到 $K = 1.8$ 。

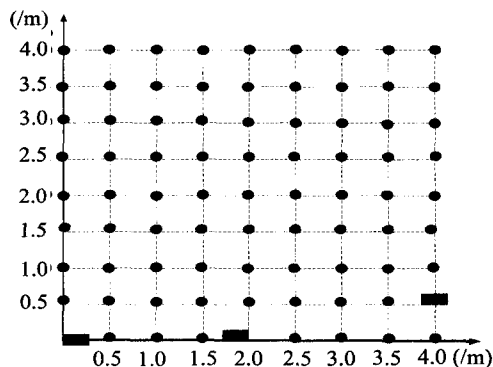


图 3 实验环境中的坐标模型

实验环境中三个 AP 的初始分布如图 3 中的三个黑方框, 坐标分别为 $(0,0)$, $(1.8,0)$, $(0.6,4)$ 。由于定位算法中需要 4 个已知节点, 但实验室只有 3 个 AP, 因此本实验进行完了在初始坐标处的实验后, 再移动点 $(0,0)$ 处的 AP 到 $(0,0.5)$, $(0,1)$, $(0,1.5)$ 处, 再进行实验。

如图 3 所示, 每次实验中笔记本电脑在每个黑实心位置处进行 20 次测量后, 得到节点在该位置处的平均定位误差, 用所提出的算法和用三点定位法得到的未知节点的平均定位误差如图 4 所示。

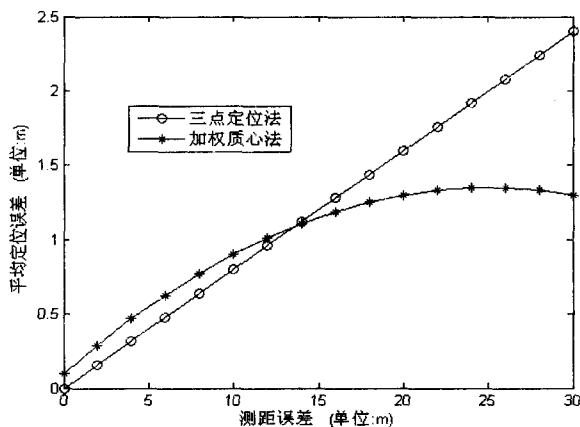


图 4 平均定位误差

实验结果表明, 在 78 个测量位置中, 用文中算法得到的最大平均定位误差为 1.2 米, 最小平均定位误差为 0.18 米。用两种算法, 得到的定位误差累计概率分布如图 5 所示, 该图显示, 文中定位算法的定位误差小于 1 米的概率大约为 85%, 比三点定位的要高。

5 结束语

在对 RSSI 特性分析的基础上, 提出了基于 RSSI 并结合加权质心法的定位算法。该方法既对 RSSI 值

进行了过滤, 又确定了实际环境中的损耗指数并在算法中加入了加权因子。实验结果表明, 该方法在定位精度和稳定性方面有较大的提高。

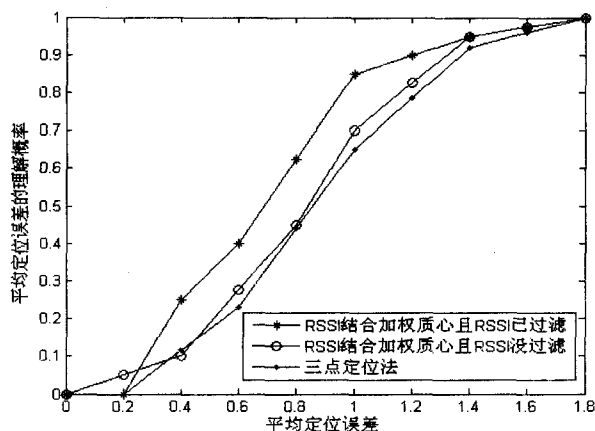


图 5 平均定位误差累积概率分布

参考文献:

- [1] 贾青, 刘乃安, 朱明华. 无线局域网定位技术研究[J]. 无线通信技术, 2004(3): 33-37.
- [2] 董梅, 杨曾, 张健, 等. 基于信号强度的无线局域网定位技术[J]. 计算机应用, 2004, 24(12): 49-52.
- [3] Hirokazu M, Kazuhiko H, Noriyuki M, et al. Indoor Localization for Mobile Node Based on RSSI[C]//11th International Conference on Knowledge-Based Intelligent Information and Engineering Systems. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag, 2007: 1065-1072.
- [4] 徐兰芳, 范小峰, 习爱民. 基于无线局域网的三点定位模型[J]. 计算机仿真, 2008, 25(12): 158-161.
- [5] 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.
- [6] 陈丹琪, 李伟, 王小英, 等. 一种理论和经验模型相结合的 RSSI 定位算法[J]. 黑龙江大学自然科学学报, 2009, 26(3): 361-362.
- [7] 胡文鹏. 一种基于 RSSI 的无线传感器网络定位算法的设计与实现[D]. 长春: 吉林大学, 2009.
- [8] Pahlavan K, Levesque A. Wireless Information Networks[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc, 1995.
- [9] 孙利民, 李健中, 陈渝, 等. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [10] 朱俊. 无线传感器网络定位算法的研究与实现[D]. 南京: 南京理工大学, 2005.
- [11] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less Low Cost Outdoor Location for Very Small Devices[J]. IEEE Personal Communications Magazine, 2000, 7(5): 28-34.
- [12] 谭浩强. C++程序设计[M]. 北京: 清华大学出版社, 2004.
- [13] Malinen J. Linux WPA/WPA2/IEEE 802.1X Supplicant[EB/OL]. 2009-02-15[2010-10-15]. http://hostap.epitest.fi/wpa_supplicant/.