

一种用于室内人员定位的 RSSI 定位算法

石为人,熊志广,许磊

SHI Wei-ren, XIONG Zhi-guang, XU Lei

重庆大学 自动化学院, 重庆 400044

Department of Automation, Chongqing University, Chongqing 400044, China

E-mail: xizhgu-1234@163.com

SHI Wei-ren, XIONG Zhi-guang, XU Lei. In-building RSSI-based user localization algorithm. Computer Engineering and Applications, 2010, 46(17): 232-235.

Abstract: This paper describes the deployment of a wireless sensor network for monitoring human motion and position in an indoor environment. An RSSI based localization algorithm is implemented, which uses an in-building radio propagation model and a compensating model to provide accurate indoor location information. The performance of the network protocols and localization algorithm is evaluated using simulated and real experimental data.

Key words: wireless sensor networks; in-building localization; receive signal strength indicator; space compensated model

摘要: 采用基于比较接收信号强度(RSSI)的测距技术,利用中值策略从锚节点多组测量值中选取最合适的 RSSI 值用于定位计算。针对算法用于室内人员定位的具体需求,采用室内环境下的无线信号传播模型,提出目标节点空间补偿模型,解决了因目标节点与锚节点处于不同平面导致定位误差较大的问题。最后验证改进算法的定位性能有较大提高。

关键词: 无线传感器网络;室内定位;接收信号的强度指示(RSSI);空间补偿模型

DOI: 10.3778/j.issn.1002-8331.2010.17.066 文章编号: 1002-8331(2010)17-0232-04 文献标识码: A 中图分类号: TP393.05

1 引言

在区域监测、人员跟踪等无线传感器网络的应用领域,位置信息至关重要,事件发生的位置、人员位置均是传感器网络应用中的重要信息。随着移动通信、无线传感器网络技术的发展,室内环境下基于位置的服务越来越受到人们的关注,室内人员定位成为一个非常活跃的研究领域。

定位算法从定位手段上分为两大类:基于测距算法(range-based)和无需测距算法(range-free)^[1];根据部署场合分为室内定位和室外定位。基于测距算法通过测量节点间的距离或角度,使用三边测量、三角测量或最大似然估计定位法计算节点位置^[2-3]。无需测距定位算法则不需要距离和角度信息,算法根据网络连通性等信息来实现节点定位^[4-5]。基于测距的定位算法需要测量节点间的距离,RSSI是测距的基本方法,但RSSI测距易受环境影响^[6-7],文中采取中值策略使测距的结果更加准确。三边定位算法适用于二维平面,在用于人员定位时,目标节点与锚节点处于不同平面,会造成较大定位误差。提出一种空间补偿模型,较好地解决了这个问题。

2 RSSI 测距技术

2.1 RSSI 测距原理

无线信号的接收信号强度和信号传输距离的关系可以用

式(1)表示,其中RSSI是接收信号强度, d 是收发节点之间的距离, n 是信号传播因子。

$$RSSI = -(A + 10 \cdot n \lg d) \quad (1)$$

由式(1)中可以看出,常数 A 和 n 的值决定了接收信号强度和信号传输距离的关系。射频参数 A 和 n 用于描述网络操作环境。射频参数 A 被定义为用dBm表示的距发射器1m时接收到信号平均能量的绝对值。如平均接收能量为-40dBm,那么参数 A 被定为40。射频参数 n 指出了信号能量随着到收发器距离增加而衰减的速率,其数值的大小取决于无线信号传播的环境。接收信号强度的衰减 d^n 与成比例,在理想环境下,信号的长期衰落服从对数正态分布^[8]。

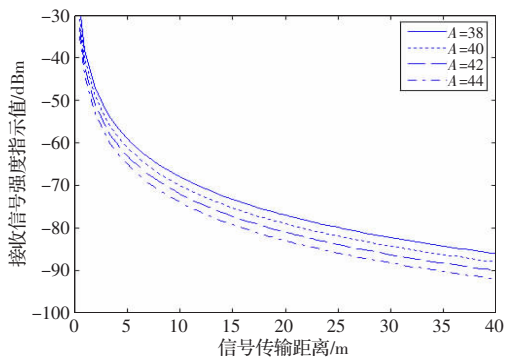
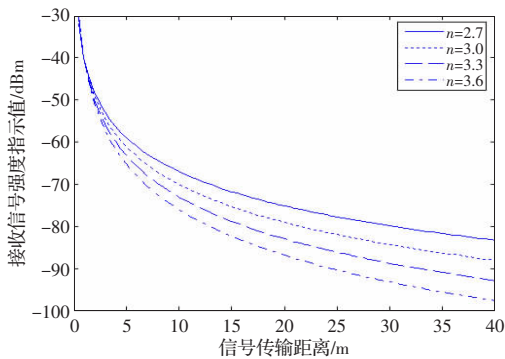
下面分析这两个常数对接收信号强度和信号传输距离关系的影响。先假定 n 不变, A 变化,则接收信号强度和信号传输距离的关系如图1所示。可以看出无线信号在传播过程的近距离信号衰减较为厉害,远距离时信号呈缓慢线性衰减。当发射信号功率增加时,增加的传播距离近似为发射信号功率增加量与曲线在平缓阶段斜率的比值。

当 A 不变, n 变化时,RSSI与信号传输距离之间的关系如图2所示。当 n 取值越小时,信号在传播过程中衰减就越小,信号就可以传播较远的距离。传播因子的值主要取决于无线信号在空气中的衰减、反射、多径效应等干扰,在室内环境下还受地面

基金项目:国家高技术研究发展计划(863)(the National High-Tech Research and Development Plan of China under Grant No.2006AA780201-2)。

作者简介:石为人(1948-),男,教授,博士生导师,主要研究方向为信息控制与智能系统、无线传感器网络及其应用、嵌入式系统等;熊志广,硕士研究生,主要研究方向为无线传感器网络、信息控制等;许磊,博士研究生,主要研究方向为无线传感器网络。

收稿日期:2009-01-16 修回日期:2009-03-27

图1 n 不变, A 变化时 RSSI 与传播距离曲线图图2 A 不变, n 变化时 RSSI 与传播距离曲线图

及墙壁等障碍物的反射、折射等干扰。干扰越小,传播因子 n 的值越小,信号传播距离越远,无线信号的传播曲线越接近于理论曲线,基于 RSSI 的测距就会越精确。

2.2 RSSI 取值策略

无线传感器网络中的锚节点可以侦听目标节点发出的多组 Blast 包,从而得到相应的 RSSI 值。RSSI 取值有 3 种策略,分别是多数投票策略、均值策略和中值策略。

多数投票策略是在测量的多个 RSSI 值中,随机选择一个,比较此 RSSI 值与剩余 RSSI 值,得到与自己差距在允许范围内的 RSSI 值的个数,如果个数超过所有测量值数目的一半,则判定自己的测量值为可用的,否则为不可用。多数投票策略的精确率较高,但是计算量比较大,会消耗节点的大量资源,不适宜用在资源有限的无线传感器网络中。

均值策略是计算测得的所有 RSSI 值的平均值,以平均值作为测量结果。由于 RSSI 值受环境影响较大,测量值中可能存在错误值,这些错误值偏离正确值较大时会使得均值可信度降低,这样会导致错误的结果。

中值策略很大程度上避免了偏离正确值较大的错误值对测量精度的影响。中值策略采用测量值的中值作为测量结果,这样即使有偏离正确值较大的错误值时,它仍然能得到较为正确的测量结果。

这 3 种策略都不需要增加额外的通信量。表 1 比较了 3 种策略的检测精度、结果错误的概率及时间复杂度。

表 1 取值策略比较表

取值策略	精度	错误率	时间复杂度
多数投票	较高	低	$O(n)$
均值	较高	较低	$O(n)$
中值	高	低	$O(n \log n)$

从表 1 中可以看出,中值策略精度高,计算量较小,是一种

适用于无线传感器网络的较好方法,用这种策略取锚节点测量的 RSSI 值较为准确。

3 室内人员定位算法

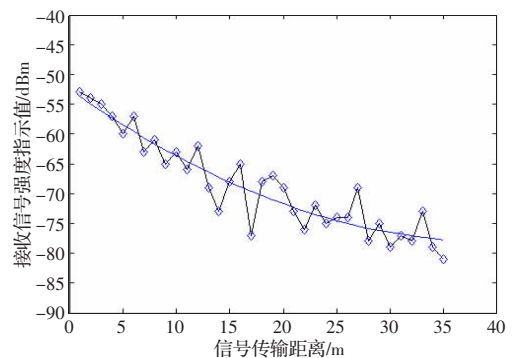
3.1 室内环境信号衰减模型

RSSI 值受周围环境的影响较大,具有时变特性,会偏离式(1)所示的模型,根据接收信号强度估计出的距离 d 有较大误差^[9-10]。通过大量数据分析,采用了一个噪声模型^[11],即环境衰减因素模型,从而有效地补偿环境影响带来的误差,如式(2)。

$$RSSI = -(A + 10n \lg d) - EAF \quad (2)$$

上式中 EAF (dBm) 为环境影响因素,它的值取决于室内环境,是靠大量的数据累积的经验值。 EAF (dBm) 是一个随机变量,但为了增强实用性,将其固定为一个值。通过大量比较在验证环境下测得的 RSSI 值与理想状态下的 RSSI 值,得到试验环境 EAF (dBm) 的大概值为 11.9 dBm, A 取值 45, n 取值 3.5。

A 、 n 及 EAF (dBm) 的值确定后,重新对 RSSI 值进行采样,并用最小二乘法对采样值进行拟合。结果如图 3 所示。

图3 A 、 n 及 EAF (dBm) 的值确定后, RSSI 的采样值

由图 3 曲线的变化趋势可以看出,尽管模型中参数的取值受到环境因素的影响,但接收信号强度与信号传输距离存在一定的变化关系。到达节点的信号强度与信号传输距离呈现出较为明显地衰减变化趋势,但并非一条平滑的曲线。这表明利用 RSSI 进行定位,存在着一定程度的误差;当传输距离较近时,功率衰减较快,而传输距离越远,衰减越慢;当传输距离接近 20 m 时,信号功率对传输距离的变化表现不再明显。因此,基于 RSSI 的定位技术,当传输距离越近,定位越准确,传输距离越远,定位误差越大。

需要指出的是,标定的 A 、 n 、 EAF (dBm) 的值是验证环境对应的参数,如果环境改变的话, A 、 n 、 EAF (dBm) 的值都需要重新标定,才可精确测量 RSSI 值。

3.2 空间补偿模型

获得测距数值后,室内的定位精度仍然受到一些因素的影响。如图 4 所示, d_1 、 d_2 、 d_3 是测量得到的目标节点到锚节点的

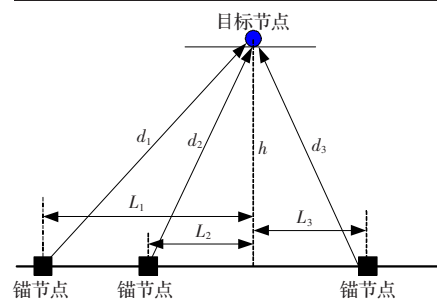


图4 定位相关因素

距离。而三边定位算法是在二维平面内工作的,直接用 d_1 、 d_2 、 d_3 进行定位计算会造成较大定位误差,因此应使用 L_1 、 L_2 、 L_3 计算目标节点位置。 L_1 、 L_2 、 L_3 的值同目标节点高度 h 有关, h 也随着人员身高等因素变化。图 5 给出了定位误差随 h 变化的关系。

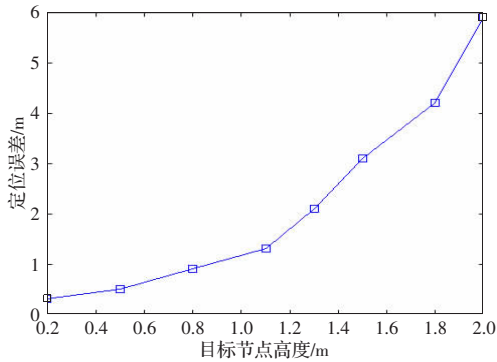


图5 定位误差同 h 的关系图

为了解决上述问题,抽象出 d 、 l 与 h 的关系如图 6 所示。将目标节点的高度设置为 1 m(可根据实际应用调整)。实际测量的距离是 d ,而三边定位算法需用目标节点在参考节点平面内的坐标,所以要把 d 对应的 RSSI 值转换为与 l 对应的 RSSI 值。

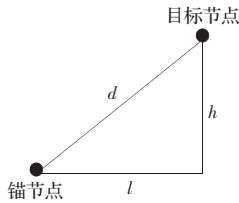


图6 锚节点与目标节点方位图

如图 6,令 $d=al+b$,则

$$RSSI = -[10\lg(al+b) + A] \tag{3}$$

令 $f(n) = 10\lg(1 + \frac{b}{al})$,则

$$RSSI + 10\lg a + f(n) = -[10\lg l + A] \tag{4}$$

令 $d = a(l + \frac{b}{a})$,采取分段拟合的方法,则 d 与 l 关系如下式:

$$d = \begin{cases} 0.9053(l + 0.5200), & l \in [1, 5] \\ 0.9904(l + 0.1436), & l \in [6, 10] \\ 0.9913(l + 0.2700), & l \in [11, 20] \\ 0.9992(l + 0.0400), & l > 20 \end{cases} \tag{5}$$

由式(5)可得表 2。

表 2 目标节点高度补偿表

$f(n)$	$10\lg a$	d	$RSSI/\text{dBm}$	l	$10\lg a + f(n)$
1.338 8n	0.432 1n	1.4~5.0	>-55	1.0~5.0	0.691 7n
0.153 5n	0.041 9n	6.2~10.2	-65~-56	6.0~10.0	0.111 5n
0.043 7n	0.037 9n	11.0~20.0	-66~-75	11.0~20.0	0.005 8n
0.008 7n	0.003 5n	>20.0	<-76	>20.0	0.005 2n

由表 2 及式(4)可以看出,当 RSSI 值处于不同范围时,其值加上一个补偿值 $10\lg a + f(n)$,能更精确估计出目标节点在锚节点平面内与锚节点之间的距离。加上补偿值后定位误差随 h 变化的关系如图 7 所示。

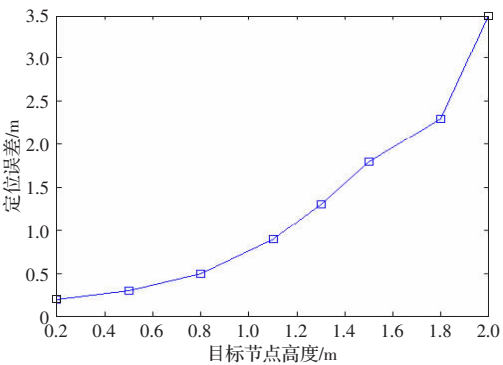


图7 改进后定位误差同 h 的关系图

3.3 定位算法

通过中值策略取得 RSSI 值,依据式(2)可得到目标节点到 3 个锚节点的直线距离,通过空间补偿模型转换为同一平面内目标节点到 3 个锚节点的距离,如图 8 所示。转换后,3 个锚节点的位置 $P_1(x_1, y_1)$ 、 $P_2(x_2, y_2)$ 、 $P_3(x_3, y_3)$,锚节点到目标节点的距离分别是 r_1 、 r_2 、 r_3 。则目标节点的坐标计算如下式:

$$\begin{cases} (x-x_1)^2 + (y-y_1)^2 = r_1^2 \\ (x-x_2)^2 + (y-y_2)^2 = r_2^2 \\ (x-x_3)^2 + (y-y_3)^2 = r_3^2 \end{cases} \tag{6}$$

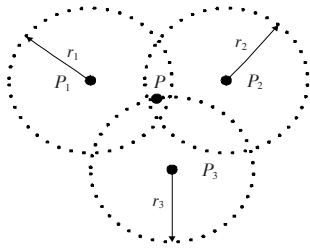


图8 三边测量定位

由式(6)可以计算出目标节点位置 (x, y) 为:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 2(x_1-x_3) & 2(y_1-y_3) \\ 2(x_2-x_3) & 2(y_2-y_3) \end{bmatrix}^{-1} \begin{bmatrix} x_1^2-x_3^2+y_1^2-y_3^2-r_1^2+r_3^2 \\ x_2^2-x_3^2+y_2^2-y_3^2-r_2^2+r_3^2 \end{bmatrix} \tag{7}$$

4 算法性能评估

为了验证改进算法的性能,进行了一系列实验。图 9 为实验环境示意图。实验以 TI 的无线传感器网络节点 CC2430DB 为硬件平台,采用了 11 个锚节点,1 个目标节点。锚节点放置在地板上,其位置如图 9 所示。经测试,得到两种不同定位算法的定位结果,如表 3 所示。

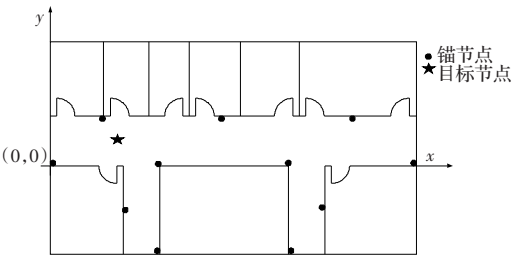


图9 验证环境示意图

表 3 两种定位算法的定位结果表

目标节点实际 位置(X, Y)/m	未改进定位 算法(X, Y)/m	改进后的定位 算法(X, Y)/m
1.0, 0.5	3.0, 1.0	1.5, 1.0
5.0, 2.0	8.0, 0.5	6.5, 1.5
10.0, 3.0	6.0, 1.5	9.0, 2.5
15.0, 1.0	12.0, 2.0	14.0, 1.0

由表 3 可以看出,改进后的定位算法定位误差在 3 m 范围内,而未改进算法定位误差为 5 m。

5 结论

介绍了一种基于 RSSI 测距的室内人员定位算法。采用包含环境衰减因素的无线信号传播模型,较好地解决了室内环境对 RSSI 值的影响。对锚节点测量的多组 RSSI 值,采取中值策略选取最合适的 RSSI 值。针对目标节点与锚节点处于不同高度的问题,设计了空间补偿模型,缩小了因目标节点与锚节点处于不同平面对定位精度造成的影响。最后,验证改进后的算法性能明显提高,定位误差在 3 m 范围内。采用的环境衰减因素模型中的各个参数在新的环境下需要重新标定,因此工作量较大。在以后的工作中,可以多测试几种室内环境下的模型参数,进而总结出一套可以在室内环境下直接使用的模型参数。

参考文献:

- [1] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range-free localization schemes in large scale sensor networks[C]//Proceedings of the 9th Annual International Conference on Mobile Computing and Networking (MobiCom), San Diego, CA, USA, 2003: 81-95.
- [2] Rudafshani M, Datta S. Localization in wireless sensor networks[C]//Information Processing in Sensor Networks (IPSN), 2007: 51-60.
- [3] Yedavalli K, Krishnamachari B, Ravula S, et al. Ecolocation: A tech-

nique for rf based localization in wireless sensor networks[C]//Proceedings of Information Processing in Sensor Networks (IPSN), Los Angeles, CA, 2005.

- [4] He T, Huang C, Blum B M, et al. Range free localization schemes for large scale sensor networks[C]//Proc 9th Annual Int'l Conf on Mobile Computing and Networking (MobiCom), San Diego, CA, 2003: 81-95.
- [5] Bulusu B, Heidemann J, Estrin D. GPS less low cost outdoor localization for very small devices[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34.
- [6] Lymberopoulos D, Lindsey Q, Savvides A. An empirical analysis of radio strength variability in IEEE 802.15.4 networks using monopole antennas[R]. ENALAB Technical Report, 2005.
- [7] Cho H, Kang M, Park J, et al. Performance analysis of location estimation algorithm in ZigBee networks using received signal strength[C]//Proceedings of the 21st International Conference on Advanced Information Networking and Applications Workshops, 2007.
- [8] Whitehouse K. The design of Calamari: An Ad hoc localization system for sensor networks[D]. Berkeley: University of California, 2002.
- [9] Seidel S Y, Rappaport T S. 914 MHz path loss prediction models for indoor wireless communications in multifloored buildings[J]. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 1992, 40(2): 207-217.
- [10] Klingbeil L, Wark T. A wireless sensor network for real-time indoor localization and motion monitoring[C]//Information Processing in Sensor Networks (IPSN 08, to appear), 2008.
- [11] Bahl P, Padmanabhan V N. RADAR: An in-building RF-based user location and tracking system[C]//Proceedings of the IEEE INFOCOM 2000. New York: IEEE Computer and Communications Society, 2000: 775-784.
- [12] Meissner M, Hoffmann U, Strasser W. Enabling classification and shading for 3D texture mapping based volume rendering using OpenGL and extensions[C]//Proceedings on Visualization'99, 1999: 207-526.
- [13] Kruger J, Westermann R. Acceleration techniques for GPU-based volume rendering[C]//IEEE Visualization 2003, Seattle, Washington, USA, 2003: 287-292.
- [14] Kaufman A, Mueller K. Overview of volume rendering[M]//Hansen C D, Johnson C R. The Visualization Handbook, 2005: 127-174.
- [15] P_ster H. Hardware-accelerated volume rendering[M]//Hansen C D, Johnson C R. The Visualization Handbook, 2005: 229-258.
- [16] Cullip T J, Neumann U. Accelerating volume reconstruction with 3D texture mapping hardware, Technical Report TR.93.027[R]. Department of Computer Science at the University of North Carolina, Chapel Hill, 1993.
- [17] Engel K, Kraus M, Ertl T. High-quality pre-integrated volume rendering using hardware accelerated pixel shading[C]//2001 Euro- graphic/SIGGRAPH Workshop on Graphics Hardware, 2001: 9-16.
- [18] Hadwiger M, Sigg C, Scharsach H, et al. Real-time ray-casting and advanced shading of discrete isosurfaces[C]//Proceedings of Eurographics, 2005.
- [19] Kniss J, Premoze S, Hansen C, et al. A model for volume lighting and modeling[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2003, 9(2): 150-162.
- [10] Behrens U, Ratering R. Adding shadows to a texture-based volume renderer[C]//1998 Symposium on Volume Visualization, 1998: 39-46.
- [11] Kniss J, Kindlmann G, Hansen C. Multi-dimensional transfer functions for interactive volume rendering[J]. IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, 2002, 8(3).
- [12] Debevec P, Reinhard E, Ward G, et al. High dynamic range imaging[C]//SIGGRAPH Course Program, Course 13, 2004.
- [13] Reinhard E, Stark M, Shirley P, et al. Photographic tone reproduction for digital images[J]. ACM Transactions on Graphics, 2002, 21(3): 267-276.

(上接 190 页)

- [2] Meissner M, Hoffmann U, Strasser W. Enabling classification and shading for 3D texture mapping based volume rendering using OpenGL and extensions[C]//Proceedings on Visualization'99, 1999: 207-526.
- [3] Kruger J, Westermann R. Acceleration techniques for GPU-based volume rendering[C]//IEEE Visualization 2003, Seattle, Washington, USA, 2003: 287-292.
- [4] Kaufman A, Mueller K. Overview of volume rendering[M]//Hansen C D, Johnson C R. The Visualization Handbook, 2005: 127-174.
- [5] P_ster H. Hardware-accelerated volume rendering[M]//Hansen C D, Johnson C R. The Visualization Handbook, 2005: 229-258.
- [6] Cullip T J, Neumann U. Accelerating volume reconstruction with 3D texture mapping hardware, Technical Report TR.93.027[R]. Department of Computer Science at the University of North Carolina, Chapel Hill, 1993.
- [7] Engel K, Kraus M, Ertl T. High-quality pre-integrated volume rendering using hardware accelerated pixel shading[C]//2001 Euro-