

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106685

基于 WSN 室内定位的路径损耗模型参数算法研究^{*}

杨艳芳 王 伟 王召巴

(中北大学 信息与通信工程学院 太原 030051)

摘 要: 随着无线通信技术的迅速发展,基于无线传感器网络的室内定位技术被广泛应用于日常生活中,但是室内环境易受到障碍物的干扰,使得信号传输时发生反射、散射等,导致能量损耗,降低测距精度。为提高接收信号强度指示(RSSI)的准确度,通过实验分析距离与 RSSI 之间的关系,选取最佳通信距离为 4 m,将其应用到传播模型当中,提出一种动态的路径损耗参数测距方法,找出待测节点所在的最小邻近区域,利用区域质心测算得到路径损耗参数 n ,采用三边测量定位算法获得待测节点的位置坐标。实验表明,与固定路径损耗参数定位方法相比,动态路径损耗参数定位方法的定位精度提高了 56%,大大减小了测距误差。

关键词: 室内定位;接收信号强度指示;路径损耗参数

中图分类号: TN919 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.5015

Research on path loss model parameter algorithm based on WSN indoor location

Yang Yanfang Wang Wei Wang Zhaoba

(School of Information and Communication Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: With the rapid development of wireless communication technology, indoor positioning technology based on wireless sensor networks is widely used in daily life. However, indoor environment is easily disturbed by obstacles, which causes reflection and scattering during signal transmission, resulting in energy loss and lower ranging accuracy. In order to improve the accuracy of received signal strength indication (RSSI), this paper analyzes the relationship between distance and RSSI through experiments, selects the best communication distance as 4 m, applies it to the propagation model, and proposes a dynamic path loss parameter ranging method, finds out the best neighborhood where the node to be measured is located, calculates the path loss parameter n by using the regional centroid, and obtains the position coordinates of the node to be measured by using trilateration positioning algorithm. Experiments show that compared with the fixed path loss parameter location method, the positioning accuracy of the dynamic path loss parameter location method is improved by 56%, and the ranging error is greatly reduced.

Keywords: indoor positioning; receive signal strength indication; path loss parameter

0 引 言

随着无线通信技术的发展,人们对定位和导航的需求日益提高,全球定位系统(global positioning system, GPS)^[1]为室外环境提供较为准确的位置服务,并广泛应用于军事、交通、测绘等领域。但是与室外环境相比较,室内环境极易受到建筑等大型物体的阻隔干扰,从而导致信号衰减。因此,无法在室内利用 GPS 信号完成定位,基于无线传感器网络(wireless sensor networks, WSN)的室内定位技术很好地弥补了 GPS 用于室外定位的缺点,无线传感

器节点可以被布置在任何场所,其可以分为无需测距定位^[2]和测距定位。其中,无需测距定位算法包括质心定位算法^[3]、DV-HOP 定位算法^[4]、Amorphous 算法^[5]和 APIT 算法^[6]等,通过节点间的连通性估计距离。测距定位算法包括接收信号强度指示(received signal strength indication, RSSI)^[7]、到达角(angle of arrival, AOA)^[8]、到达时间(time of arrival, TOA)^[9]和到达时间差(time difference of arrival, TDOA)^[10]等算法。在这些技术中, RSSI 测距算法是一种低成本、低功耗且易于实现的方法,因此, RSSI 测距被广泛地应用于现实中。

收稿日期:2021-05-13

^{*} 基金项目:山西省重点研发计划项目(201603D121006-1)、中北大学重点实验室开放研究基金项目(DXMBJJ2018-08)资助

Tseng 等^[11]主要研究室内定位中的多径衰减干扰,提出了一种增强型高斯混合模型,从多径衰减信号中识别所需的视线信号,获取准确的 RSSI 值,但仅考虑环境中的一种干扰因素,滤波处理后的 RSSI 值仍存在较大误差。Rouhollah 等^[12]提出将路径损耗指数作为 Shadowing 模型中的随机变量,通过最大似然非线性方程求出路径损耗参数的分布并应用到路径中,提高了定位效果,但计算量较大,不适于推广使用。吕晓磊等^[13]采用 Shadowing 模型,设计一种动态调整 RSSI 室内定位测距参数的改进算法,将 RSSI 测距模型参数的平均值作为待测节点所处环境的 RSSI 测距信号模型参数,从而提高室内定位精度,但操作比较繁琐。

由于室内环境的复杂性,会引起信号的反射、绕射等,发生多径现象^[14],同样也会造成信号衰减,可能会产生异常的 RSSI 值,从而导致室内定位的距离不准确。因此,本文通过动态路径损耗参数的测算方法,提高 RSSI 值的精确度,从而提升定位效果。

1 RSSI 测距

电磁波在空间的传播情况为直射、反射、绕射和散射,室内环境不同,电磁波的传播情况不同。信号传播路径模型的建立主要有经验模型和确定模型^[15],前者通过改变发射端和接收端的距离与位置,测量功率损耗值,得到功率损耗曲线;后者不需要通过实际测量构建,直接由电磁波传播理论对介质的分析得到。RSSI 测距通过接收端与发射端之间传输信号,利用经验传播模型测算信号传播的距离。

在自由空间中,电磁信号直射传播,接收端的接收功率为:

$$P_r(d) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 r^2 L} \quad (1)$$

式中: P_t 表示收发端距离为 d 时的发射功率; $P_r(d)$ 为接收功率; G_t 与 G_r 分别表示收发端的功率增益; λ 为电磁信号波长; L 为路径损耗参数。

在实际中,由于衍射、多径效应和障碍物等因素的影响,常采用对数路径损耗传播模型表示 RSSI 与距离的关系,其表达式如下:

$$P_r(d) = P_r(d_0) + 10n \lg\left(\frac{d}{d_0}\right) + X \quad (2)$$

式中: $P_r(d)$ 和 $P_r(d_0)$ 分别表示距发射端 d 和 d_0 处的接收功率; n 为路径损耗因子,和具体环境有关; X 是均值为 0 的高斯随机变量,忽略不计。 d_0 通常取 1 m, $P_r(d_0)$ 则为接收节点距离发射节点 1 m 处的接收信号强度值,记为 A ,进而传播模型为:

$$RSSI = A - 10n \lg(d) \quad (3)$$

本文采用主控芯片为 CC2530 基于 ZigBee 协议的硬件节点,实际测量 0.2~5.6 m 以 0.2 m 为间隔的 28 个不同距离处的 RSSI 值,卡尔曼滤波处理后测量结果如图 1 所示。

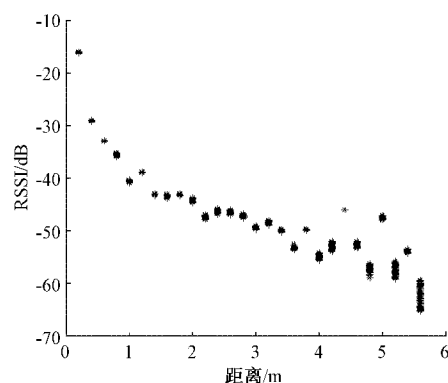


图 1 卡尔曼滤波后 RSSI 值

通过均值滤波处理得到 1 m 处的 RSSI 值为 -41 dB,经线性拟合得到 n 为 1.67,如图 2 所示。从图 2 中可以看到,RSSI 值随距离的增大而减小,衰减越来越缓慢,且距离越大,RSSI 值越不稳定,传播距离为 4 m 时,RSSI 值趋于平缓,因此本文选取 4 m 为最佳通信距离,将其应用到传播模型中。

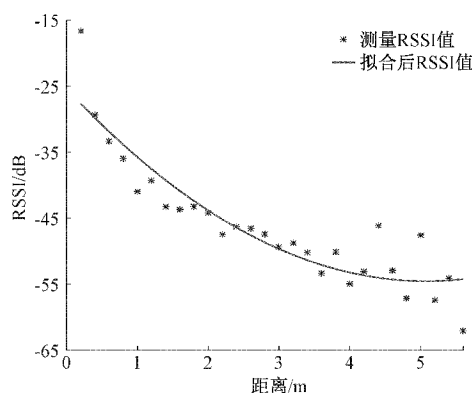


图 2 距离与 RSSI 值的关系

2 动态路径损耗参数定位算法

通过上文分析距离与 RSSI 值之间的关系,可以得到 A 为 -41 dB, n 为 1.67,采用式(3),可以计算得到待测节点与信标节点之间的距离,利用三边定位测量算法^[16]计算得到待测节点的位置坐标。三边定位测量法即测量出待测节点与 3 个信标节点的距离,以信标节点位置为圆心,三圆相交如图 3 所示。

d 表示两节点间的距离,未知节点 S 的位置坐标如式(4)所示,求得 (x, y) 即待测节点的位置坐标。

$$\begin{cases} (x - x_a)^2 + (y - y_a)^2 = d_a^2 \\ (x - x_b)^2 + (y - y_b)^2 = d_b^2 \\ (x - x_c)^2 + (y - y_c)^2 = d_c^2 \end{cases} \quad (4)$$

实际中,在 4 m × 4 m 的实验环境下,放置 5 个信标节点,10 个待测节点,如图 4 所示,圆点表示信标节点,三角形表示待测节点,待测节点实际位置坐标分别为

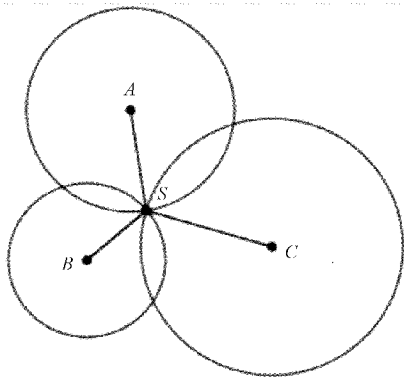


图 3 三边测量法

路径损耗参数 n 表示路径损耗随距离增长的速率,随环境的改变而变化,通过分析路径损耗参数,可以提高 RSSI 值的准确度,在室内可布置多个信标节点,待测节点 P 自身向周围发射信号,接收到 RSSI 值最大的 3 个信标节点 A 、 B 、 C 为最强信标节点,其位置坐标分别为 (a_1, b_1) 、 (a_2, b_2) 、 (a_3, b_3) ,如图 6 所示。

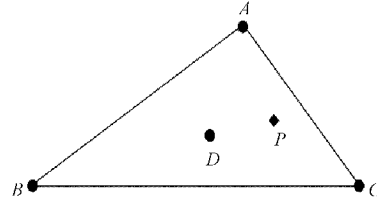


图 6 节点布局模型图

(2.4, 3.6)、(3.2, 1.6)、(1.6, 1.2)、(1.6, 1.6)、(0.4, 1.6)、(2.4, 0.8)、(2.8, 2.4)、(2.4, 1.6)、(1, 2)、(0.8, 3.2)。测量 10 个待测节点的位置坐标,测量误差如图 5 所示,其最大测量误差为 3.63 m,最小误差为 0.39 m,平均测量误差为 1.33 m。

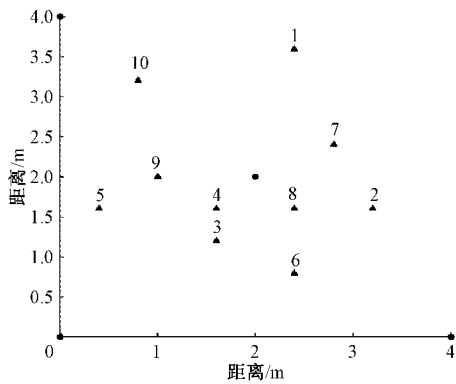


图 4 节点分布图

A 、 B 、 C 所构成的区域为 P 的最小邻近区域,为了得到此区域内的路径损耗参数 n ,找出 $\triangle ABC$ 的质心,放置一个节点 D ,其位置坐标为 $(\frac{a_1+a_2+a_3}{3}, \frac{b_1+b_2+b_3}{3})$,与 A 、 B 、 C 可以互相通信,距离分别为 d_{AD} 、 d_{BD} 和 d_{CD} 。 $\triangle ABC$ 为待测节点 P 所在的非常小的区域,此区域内的路径损耗参数近似相等。

节点 D 发射信号时, A 、 B 、 C 接收到的 RSSI 值分别为 $RSSI_A$ 、 $RSSI_B$ 、 $RSSI_C$,由式(3)得:

$$\begin{cases} RSSI_A = A - 10n_1 \lg d_{AD} \\ RSSI_B = A - 10n_2 \lg d_{BD} \\ RSSI_C = A - 10n_3 \lg d_{CD} \end{cases} \quad (5)$$

式中: A 取 1 m 处的 RSSI 值,分别求得 n_1 、 n_2 和 n_3 。待测节点 P 所在区域的损耗参数为:

$$n = \frac{n_1 + n_2 + n_3}{3} \quad (6)$$

根据待测节点 P 发射信号时,信标节点 A 、 B 、 C 接收到的 RSSI 值,分别计算得到 P 与 A 、 B 、 C 之间的距离,通过三边定位算法得到 P 的位置坐标。

2.2 定位步骤

根据动态路径损耗参数的计算方法,本文定位步骤如下:

- 1) 初始化信标节点设置;
- 2) 待测节点自身向周围发射信号,对信标节点接收到的 RSSI 值进行卡尔曼滤波处理;
- 3) 选取 RSSI 值最大的 3 个信标节点作为参与定位的信标节点;
- 4) 找到 3 个信标节点所构成的三角形的质心处,放置一个节点,根据式(5)~(6)得到待测节点所在区域的损耗参数;
- 5) 分别计算得到待测节点到 3 个信标节点之间的距离,通过三边定位算法得到待测节点的位置;
- 6) 待测节点的位置改变时,重复步骤 2)~5)。

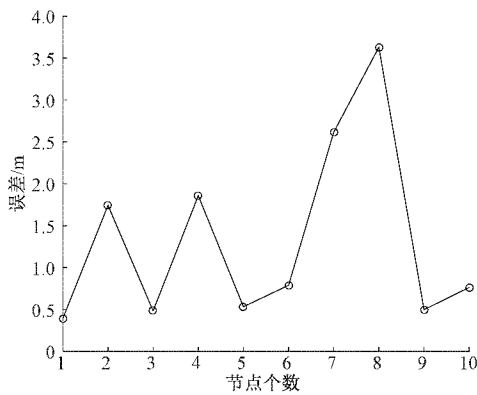


图 5 固定损耗参数定位误差

从图 5 中可以看到,第 2、4、7、8 个节点的定位误差较大,且离质心较远,为了减小测距带来的误差,本文采用质心提出一种动态的路径损耗参数算法,从而提高定位精度。

2.1 参数分析

在室内环境中,信号的反射、折射等会引起信号衰减,

3 实验与结果分析

本文以 CC2530 作为通信模块,检测定位方法的有效性。在 4 m×4 m 的实验环境下,节点分布与采用固定损耗参数测距的节点分布相同,如图 3 所示。测量信标节点接收到的 RSSI 值,经卡尔曼滤波与均值滤波处理,计算得到待测节点与信标节点间的距离,利用三边定位测量算法计算得到待测节点的位置,对比固定损耗参数与动态损耗参数的定位方法,定位结果如图 7 所示。

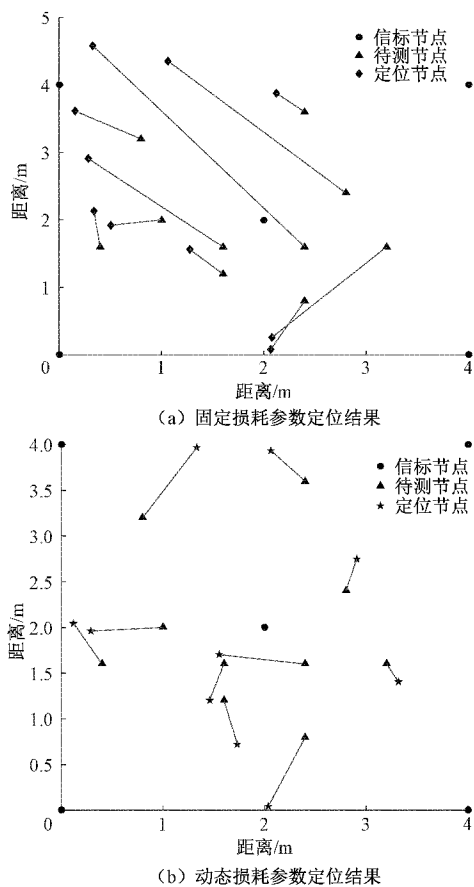


图 7 两种方法的定位结果

从图 7 中可以看到,与固定路径损耗参数定位相比,采用动态路径损耗参数测量待测节点的位置更接近于实际位置,其定位误差如图 8 所示。

从图 8 中可以看到,利用质心测算待测节点所在区域内的路径损耗参数,减小了第 2、4、7、8 个节点的定位误差。与固定路径损耗参数定位方法相比,动态路径损耗参数定位误差变化趋势平缓,定位误差数值如表 1 所示。

表 1 定位误差表

方法	最小误差	最大误差	平均误差
固定路径损耗参数定位	0.39	3.63	1.33
动态路径损耗参数定位	0.22	0.94	0.58

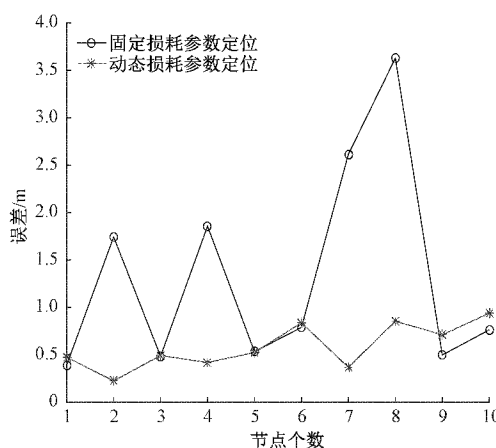


图 8 两种定位方法的误差比较

从表 1 中可以看到,采用固定损耗参数,平均定位误差为 1.33 m;采用动态损耗参数,平均定位误差为 0.58 m,定位精度提高 56%,有利于提升定位效果。

4 结 论

为了减小信号的衰减,提高 RSSI 测距的准确度,本文提出一种动态估算损耗参数的方法。通过实验分析距离与 RSSI 值的关系,距离越大,RSSI 值越小且越不稳定,因此,选取 4 m 作为最佳通信距离应用到传播模型当中,合适的通信距离有利于损耗参数的估计。待测节点自身向周围发射信号,找到待测节点所在的最小邻近区域,利用区域的质心测算得到路径损耗参数 n ,采用三边测量定位算法获得待测节点的位置坐标。实验表明,采用动态损耗参数比采用固定损耗参数的定位精度提高 56%,减小了测距误差,更有利于提升定位效果。

参考文献

- [1] ZHOU J M, ZHAO X M, CHENG X, et al. Vehicle ego-localization based on streetscape image database under blind area of global positioning system [J]. Journal of Shanghai Jiaotong University (Science), 2019, 24(1):122-129.
- [2] 葛文庚,陈萍.一种面向不规则的无线电传播模型下的节点定位算法[J]. 弹箭与制导学报, 2021, 41(2): 15-19.
- [3] 丁良. 基于位置服务的无线自组传感器网络的研究[D]. 南京:南京邮电大学, 2020.
- [4] 宋晓东,孙丽君,陈天飞. DV-Hop 优化算法的性能分析与比较[J]. 电子测量与仪器学报, 2019, 33(5): 125-133.
- [5] 李祝红,杨安东,赵灿明,等. 基于 GA-TS 优化 Amorphous 算法的无线传感网络定位[J]. 电气自动化, 2020, 42(5):105-108.
- [6] 沈利祥. 无线传感器网络中基于 APIT 定位算法的研

- 究[D]. 南京:南京邮电大学,2019.
- [7] TANG J C, HAN J H. An improved received signal strength indicator positioning algorithm based on weighted centroid and adaptive threshold selection[J]. Alexandria Engineering Journal, 2021, 60(4): 3915-3920.
- [8] 陈伟. 蓝牙定位技术的探讨及测试[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(10): 143-146.
- [9] 赵强, 王敬东, 刘云霄, 等. 基于粒子群 TOA 室内定位的系统误差修正[J]. 电子测量技术, 2017, 40(8): 189-192, 197.
- [10] 高健, 陆阳, 李庆巧, 等. 采用三次通信的 TOF 与 TDOA 联合定位算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(3): 66-73.
- [11] TSENG C H, YEN J S. Enhanced Gaussian mixture model of RSSI purification for indoor positioning[J]. Journal of Systems Architecture, 2017, 81: 1-6.
- [12] ROUHOLLAH S, HADI Z. RSS localization using unknown statistical path loss exponent model [J]. IEEE Communications Letters, 2018, 22(9): 1830-1833.
- [13] 吕晓磊, 吴志森. 一种动态调整 RSSI 室内定位测距参数地改进算法[J]. 安徽电子信息职业技术学院学报, 2019, 18(3): 34-38.
- [14] 张东阳. 基于 ZigBee 的无线传感器网络定位技术研究[D]. 吉林: 吉林大学, 2020.
- [15] 周蓉. 基于电磁传播特性的室内定位研究[D]. 南京: 南京邮电大学, 2018.
- [16] 曹子腾, 郭阳, 赵正旭, 等. 室内定位技术研究综述[J]. 计算机技术与发展, 2020, 30(6): 202-206.

作者简介

杨艳芳, 硕士研究生, 主要研究方向为无线传感器网络。

E-mail: 2651919046@qq.com

王伟, 博士, 副教授, 主要研究方向为无线传感器网络。

E-mail: 41695559@qq.com

王召巴, 博士, 教授, 主要研究方向为信号与信息处理、无损检测等。

E-mail: 1474102188@qq.com