

无线传感器网络在室内定位中的应用研究

吴彬¹ 李俊娥²

(武汉大学教育技术与教室管理中心 武汉 430072)¹ (武汉大学计算机学院 武汉 430072)²

摘要 室内定位受到地板、墙壁、人员走动等因素的影响,易产生多径现象,使信号严重衰减,从而导致基于接收信号强度(RSSI)算法难以获得较高定位精度。为了提高室内环境下的无线传感器定位精度,针对室内特有的特点,利用RSSI和质心定位算法优点,提出一种组合的室内传感器节点定位方法。首先利用预先布置好的信标节点,读取目标节点的RSSI值,然后把RSSI值作为质心定位算法的权值,通过质心算法得到目标节点坐标,最后进行测试实验。结果表明,组合算法具有计算量小、定位精度高等优点,能够很好地满足室内环境定位要求。

关键词 接收信号强度,室内定位,无线传感器网络,质心定位算法

中图分类号 TP395 **文献标识码** A

Application of Wireless Sensor Network in Indoor Localization

WU Bin¹ LI Jun-e²

(Educational Technology and Classroom Management Center, Wuhan University, Wuhan 430072, China)¹

(Computer College, Wuhan University, Wuhan 430072, China)²

Abstract Indoor positioning is affected by the floor, wall, personnel ambulate, and is prone to multipath phenomenon to make case signal attenuate, so that the received signal strength (RSSI) algorithm can't obtain high positioning accuracy. In order to improve positioning precision in the indoor environment, the paper used RSSI and centroid localization algorithm advantages to get a combination indoor sensor node localization method. Firstly, the destination node RSSI value was read by beacon nodes, and then the RSSI values were used as the weights of centroid localization algorithm, through the centroid algorithm the target node localization was obtained, and lastly, the test was carried out. The results show that the proposed algorithm has less calculation and high positioning precision, and it can well meet the requirements of indoor positioning.

Keywords Received signal strength, Indoor localization, Wireless sensor network, Centroid localization algorithm

1 引言

近年来,人们对室内位置信息服务的需求与日俱增,传统GPS和蜂窝网定位技术无法满足室内定位的要求,无线传感器网络正好弥补了传统定位技术的弊端,在会展中心、智能大厦、体育场馆等领域得到了广泛应用^[1]。在室内定位技术中,定位算法性能好坏直接关系到传感器网络节点的位置信息准确性^[2]。

目前,无线传感器定位技术主要有测距和免测距两类定位^[3]。基于免测距的无线传感器节点定位包括凸规划定位算法、质心定位算法和DV-Hop算法^[4],这些算法无需额外的硬件支持,成本低,但定位精度无法满足室内定位精度的要求。目前测距的定位算法主要包括到达时间(TOA)、接收信号强度(RSSI)和到达角度(AOA)等^[5]。TOA算法需要GPS辅助设备,无法应用于室内环境。AOA算法只有在视距信号占支配地位的情况下才可靠,受到接收角度、温度、障碍物的影响,同样不适应于的室内环境传感器节点定位。基于RSSI

测距的定位算法具有功耗低、传输距离远、节点硬件体积小等优点,是复杂室内环境定位的最好选择^[6]。但在实际应用中,由于室内地板、墙壁、人员走动等多种因素的影响,易产生多径现象,使得用于定位的信号产生复杂的衰减,导致基于RSSI定位算法的定位精度下降^[7]。因此提高室内环境下的无线传感器定位精度是一个具有现实意义的问题^[8]。

为了进一步提高室内定位精度,针对室内定位的特点,将RSSI和质心定位算法融合在一起,提出一种组合的传感器节点定位方法。该方法不需添加任何附加设备条件,首先用预先布置好的信标节点,读取目标节点的RSSI值,然后把RSSI值作为质心算法的权值,最后通过质心算法得到目标节点坐标。实验结果表明,本研究提出的室内定位算法具有环境干扰鲁棒性强、节点定位精度高等优点,可以很好地满足室内空间的定位需求。

2 RSSI和质心算法的室内定位方法

2.1 算法工作原理

在室内的复杂应用环境下,需要无线传感器节点具有较

到稿日期:2012-07-21 返修日期:2012-12-01 本文受国家自然科学基金(1035639)资助。

吴彬(1973-),女,硕士生,实验师,主要研究方向为计算机软件与理论,E-mail:bin_wu01@163.com;李俊娥(1964-),女,博士,教授,主要研究方向为网络体系结构、性能评价与优化、服务质量(QoS)、网络安全、智能电网通信。

高的定位精度,且硬件成本低、定位过程通信开销小、功耗低,因此,在不增加节点硬件成本的前提下,本研究以接收信号强度算法和质心定位算法为基础,将两者融合,进行优势互补,然后将其应用于室内无线传感网络定位中,以获得更高的精度。首先利用节点接收的 RSSI 值作为质心的权,并进行加权计算,然后通过质心定位算法确定目标节点二维坐标位置。

2.2 RSSI 特性分析

在实际应用中, RSSI 总会受到很多因素的干扰,因此在研究定位算法之前,将研究各种因素对 RSSI 测量值的影响。传感器节点电子器件和焊接工艺之间的差异,使各传感器节点之间不一致,因此对于相同配置传感点,它们 RSSI 特性的差异有时比较大,同时天线方位指向对 RSSI 值的影响也较大。

2.2.1 收发传感器节点对 RSSI 的影响

在实验天线方位相同的情况下,接收节点为同一个,6 个不同发射节点,发射和接收节点间距为 1m,节点发射功率为 0dBm,连续发送 10 个数据包,发射和接收节点之间的 RSSI 值变化如图 1 所示。从图 1 可知,不同接收节点的 RSSI 值之间的差异很大,说明传感器节点本身对 RSSI 有影响。

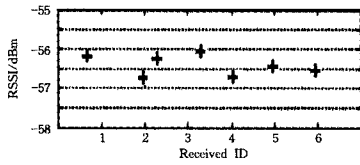


图 1 不同节点的 RSSI 值

2.2.2 天线的不同方位指向对 RSSI 的影响

由于主要是测试天线的不同方位指向对 RSSI 的影响,因此接收天线指向均为垂直向上,发射天线分别以水平和竖直方向放置,具体如图 2 所示。从发射天线的 0°、90°、180°、270° 4 个方向接收 10 个数据包,测量 RSSI 值并计算其均值,得到的结果如图 3 所示。从图 3 可知,当天线处于垂直指向时, RSSI 受到天线的不同方位指向较小,值相对比较稳定。

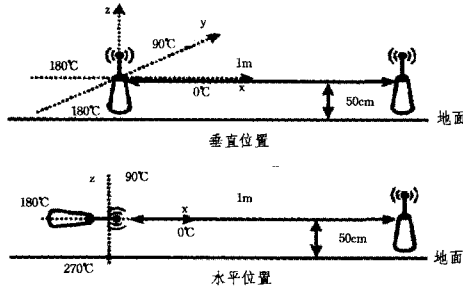


图 2 接收和发射天线放置位置

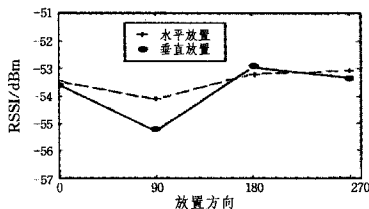


图 3 天线的不同放置和 RSSI 的关系

2.3 RSSI 测距模型

无线电传播路径损耗是基于 RSSI 的传感器定位算法的基础,目前常用的传播路径损耗模型主要有:对数距离路径损耗模型、自由空间传播模型和对数常态分布模型等^[9]。针对

室内环境的特点,路径损耗模型选择自由空间传播模型。自由空间传播模型的第一部分是路径损耗模型,在测量距离为 d 时,传感器节点接收到的平均能量为 $p_r(d)$ 。 d_0 表示一个接近中心的距离,则 $p_r(d)$ 可以描述为:

$$\frac{p_r(d)}{p_r(d_0)} = \left(\frac{d}{d_0}\right)^\beta \quad (1)$$

式中, $p_r(d_0)$ 表示 d_0 的平均值, β 表示路径衰减因子,其值与测量场地的障碍物数量相关。

一般情况下,路径损耗模型的计量单位为 dB,则可以对式(1)进行变形,路径损耗模型的表达式变为:

$$\left[\frac{p_r(d)}{p_r(d_0)}\right] = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) \quad (2)$$

自由空间传播模型的第二部分表示:当距离一定时,传感器节点接收能量的变化,其是一个对数正态随机变量,因此一个完整的自由空间传播模型表达为:

$$\left[\frac{p_r(d)}{p_r(d_0)}\right] = -10\beta \log\left(\frac{d}{d_0}\right) + X_{dB} \quad (3)$$

式中, X_{dB} 是一个均值为零的高斯分布变量。

2.4 RSSI 相似度定位算法

为提高室内复杂环境下定位的稳定性、降低环境差异对定位精度的影响,利用节点的 RSSI 值改进定位算法。根据式(3),每一个目标传感器节点接收信标节点信号时的 RSSI 信号强度为:

$$RSSI = P_0 - 10n \lg d \quad (4)$$

式中, d 为待测节点距信标节点的距离, P_0 为距信标节点 1m 处的接收功率。

SSI 能够在一定程度上反映两个节点周围环境的近似程度。如果两个节点在空间上很接近,则其环境基本相似,会有相同的邻居节点,接收到的邻居节点的 RSSI 值也会比较接近。由于 P_0 受到众多因素的影响,如果直接采用式(4)计算无线传感器节点间的距离来进行定位,那么与实际误差比较大,不能满足室内环境传感器节点的定位要求。

2.5 质心定位算法

在无线传感器网络中,共分布着 n 个信标传感器节点,分析表示为: $(R_1, R_2, \dots, R_n)$, 这些信标节点以一定时间间隔向周围传感器节点发送信息,那么传感器节点定位的时间 t 为:

$$t = T \times (S + 1 - \epsilon) \quad (5)$$

式中, ϵ 为 0 到 1 之间的随机数, S 表示信息的个数^[10]。

在 t 内,每隔 T 时间信标节点就会向其相邻传感器节点发送一个包含位置信息和自身 ID 的数据包,目标传感器节点不断记录每个信标传感器节点发来的数据包数目,在 1 个 t 时间结束后,就会对每个信标节点通信成功率进行计算,计算公式如下:

$$CM_i = \frac{N_{receive}(i, t)}{N_{send}(i, t)} \times 100\% \quad (6)$$

式中, $N_{receive}$ 表示在 t 时间内,目标传感器节点接收到来自信标节点 R_i 的数据包数; $N_{receive}(i, t)$ 通过信标节点数据包 ID 获得; N_{send} 为在 t 时间内,信标传感器节点 R_i 总发送的分组数。

设 CM_{th} 为目标传感器节点通信成功率的阈值,如果 $CM_i > CM_{th}$ 时,那么就表示该传感器节点包含在信标节点 R_i 的通信范围内,可以与信标节点 R_i 连通。设 n 个信标节点坐标为: $\{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_n, y_n)\}$, 这些传感器节点就组成

了一个含有 $n-1$ 个边的多边形,那么该多边形的质心即为目标传感器节点 D 的坐标估计值:

$$(x_{est}, y_{est}) = (\frac{x_1 + x_2 + \dots + x_n}{n}, \frac{y_1 + y_2 + \dots + y_n}{n}) \quad (7)$$

2.6 RSSI 和质心算法相结合的定位步骤

Step1 在无线传感器网络中,信标节点定期向周围节点广播发送信息,该信息包括信标节点自身位置信息和 ID 两部分。

Step2 目标传感器节点收到信息后,对信标节点的 RSSI 值进行记录,只记录同一个信标节点信息。对于一个信标点,目标传感器节点接收到多个 RSSI 值后,就会计算 RSSI 值的平均值,将该值作为这个传感器节点的 RSSI 值。

Step3 目标传感器节点收到信标节点信息的数量超过阈值 k 后,就停止接收新的信息。根据 RSSI 值大小,目标节点对其进行排序建立 3 个集合。3 个集合具体如下:

信标节点到目标传感器节点的距离映射集合: $D_set = (d_1, d_2, \dots, d_k), d_1 < d_2 < \dots < d_k$; 信标节点集合: $B_set = (a_1, a_2, \dots, a_k)$; 信标节点位置集合: $P_set = \{(x_1, y_1), (x_2, y_2), \dots, (x_k, y_k)\}$ 。

Step4 通过式(4)计算目标传感器节点的 RSSI 值,然后将 RSSI 值转换为距离 d ,根据距离 d ,从大到小分为 3 组,即: $\{d_1, d_2, d_3\}, \{d_4, d_5, d_6\}, \{d_7, d_8, d_9\}$ 。

Step5 根据得到的 3 组距离,采用式(8)计算 3 个定位点坐标,3 个定位点形成一个三角形。

$$\begin{cases} x_{est} = \frac{1}{n} \times (\frac{x_1}{RSSI(1)} + \frac{x_2}{RSSI(2)} + \dots + \frac{x_n}{RSSI(n)}) \\ y_{est} = \frac{1}{n} \times (\frac{y_1}{RSSI(1)} + \frac{y_2}{RSSI(2)} + \dots + \frac{y_n}{RSSI(n)}) \end{cases} \quad (8)$$

Step6 将定位点形成的三角形质心作为目标传感器节点的位置坐标 (x_m, y_m) 。

Step7 通过式(9)计算目标传感器节点的定位误差。

$$ERROR = \sqrt{(x_m - x)^2 + (y_m - y)^2} \quad (9)$$

式中, (x, y) 为目标传感器节点的真实坐标。

3 实验验证和分析

3.1 实验环境

为验证本研究传感器室内定位算法的性能,进行了仿真测试实验。实验节点以 Zigbee 芯片 CC2430 为核心,设计信标点、目标节点。实验环境为学院大楼的室内大厅,节点程序采用 C 语言设计开发。

3.2 无障碍物室内环境定位

采用单一质心定位算法和 RSSI 算法进行对比实验。各个算法累积置信概率如图 4 所示。累积置信概率是指定位误差在 N 米内的测试点数占测试点总数的百分比。

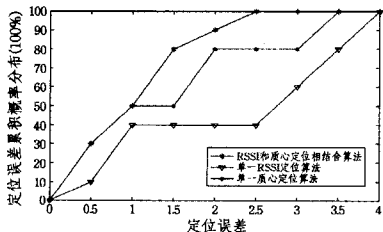


图4 各算法的累积置信概率对比

从图4的对比结果可知,总体趋势而言,本研究提出的定位算法累积置信概率最大,在1m内,本研究算法和单一RSSI

算法的累积置信概率相差不大,但是随着定位距离的增加,本研究定位算法的累积置信概率更优。对比结果说明,本研究定位算法可以有效克服室内环境中的干扰,提高室内定位的精度。

3.3 有障碍物室内环境定位

为检验本研究提出的定位算法的鲁棒性和自适应性,在定位区域放置桌、椅等障碍物,且多个人在定位区域中不停地走动。在定位区域中选择10个位置进行测试实验,且每个位置进行10次估计后,计算每一种算法在该位置的平均定位误差(ALE),测试结果具体如图5所示。

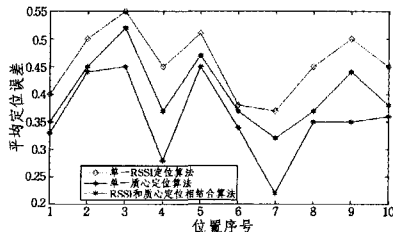


图5 各算法的平均定位误差(ALE)对比

从图5的对比结果可知,本研究提出的定位算法平均定位误差(ALE)最低,具有更好的定位性能和更强的抗干扰能力。此外,本研究提出的无线传感器节点定位算法计算简单,容易实现,复杂度低,同时由于CC2430模块具有RSSI采集功能,这样就不需要增加任何硬件成本就能够有效地降低功耗,因此,以本研究定位算法为核心的无线传感器节点定位系统可以满足室内环境的定位要求。

结束语 针对当前室内传感器节点定位算法的定位精度不高的难题,分析RSSI定位算法和质心定位算法的优点,将两者相结合并应用于室内无线传感网络的定位中。该方法通过使用无线Zigbee芯片CC2430模块提供的RSSI信息测量RSSI值,无需增加额外硬件设备,且节点定位精度相当高,在复杂室内环境定位中有着广泛的应用前景。

参考文献

- [1] 孙利民,李建中,陈渝,等. 无线传感器网络[M]. 北京:清华大学出版社,2005
- [2] Su K F, Ou C H, Jiau H C. Localization with Mobile Anchor Points in Wireless Sensor Networks[J]. IEEE Transactions on Vehicular Technology, 2005, 54(3): 1187-1197
- [3] 孙佩刚,等. 智能空间中RSSI定位问题研究[J]. 电子学报, 2007, 35(7): 1240-1245
- [4] 杨凤,史浩山,朱灵波,等. 一种基于测距的无线传感器网络智能定位算法[J]. 传感技术学报, 2008, 27(1): 135-140
- [5] 李静,刘据. 用卡尔曼滤波器消除TOA中NLOS误差的三种方法[J]. 通信学报, 2005, 26(1): 130-135, 141
- [6] 陈维克,李文锋,首晰,等. 基于RSSI的无线传感器网络加权质心定位算法[J]. 武汉理工大学学报, 2006, 30(2): 265-268
- [7] 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[J]. 软件学报, 2005, 16(5): 857-868
- [8] Bulusu N, Heidemann J, Estrin D. GPS-less low cost outdoor localization for very small device[J]. IEEE Personal Communications, 2000, 7(5): 28-34
- [9] 任维政,徐连明,邓中亮,等. 基于RSSI的测距差分修正定位算法[J]. 传感技术学报, 2008, 21(7): 1247-1250
- [10] 朱浩,顾宗海,刘岩,等. 一种基于交点质心求解的RSSI定位算法及其优化[J]. 郑州大学学报, 2010, 31(6): 43-46
- [11] 夏英,王磊,刘兆宏. 基于无线局域网接收信号强度分析的混合室内定位方法[J]. 重庆邮电大学学报:自然科学版, 2012, 24(2): 217-221