

doi: 10.7690/bgzd.2013.06.013

基于 Monte Carlo 的测距传感网络定位算法

范传恒¹, 纪志坚¹, 谢广明², 王伟²

(1. 青岛大学自动化工程学院, 山东 青岛 266071; 2. 北京大学工学院, 北京 100871)

摘要: 针对现有蒙特卡罗定位存在的一些应用缺陷, 提出一种基于 ZigBee 传感网测距的蒙特卡罗定位算法。介绍了改进算法的实现步骤, 该方法在定位时获取多个外部信息, 同时将定位样本历史信息应用到位置估计中, 且在 ZigBee 室内测距的特点上加入了改进的高斯滤波算法并与均值滤波进行对比。测试结果表明, 该算法较原有算法取得了明显的改进优势。

关键词: 蒙特卡罗定位; ZigBee 测距; 高斯滤波

中图分类号: TP301.6 **文献标志码:** A

Localization Algorithm of Ranging Sensor Networks Based on Monte Carlo

Fan Chuanheng¹, Ji Zhijian¹, Xie Guangming², Wang Wei²

(1. College of Automation Engineering, Qingdao University, Qingdao 266071, China;

2. College of Engineering, Peking University, Beijing 100871, China)

Abstract: The Monte Carlo localization algorithm based on ZigBee sensor network ranging is proposed to improve Monte Carlo application defect. Introduce the implement steps of improved algorithm. The method acquired many exterior information when in location, then use the location sample history information to position estimation. Add improved Gaussian filter algorithm into ZigBee indoor ranging feature and compare it with mean value. The test results show that the method is significantly improved advantage.

Key words: Monte Carlo localization; ranging by ZigBee; Gaussian filter

0 引言

随着社会经济的快速发展, 人们对社会定位服务的需求不断增加, 尤其是在机场大厅、展厅、仓库、超市、图书馆、地下停车场、矿井等复杂的室内环境中, 常常需要确定移动终端或其持有者、设施与物品在室内的位置信息^[1]。近几年, 许多的研究机构和大学参与了室内定位技术的研究, 开发出了多种定位系统和定位技术, 最近杜克大学研究出了一套 UnLoc(unsupervised indoor localization)定位系统^[2]。诺基亚于年前也开发了自己的室内定位系统。由此可见室内定位正被人们所关注。

目前室内定位技术主要包括: 红外线室内定位技术、超声波定位技术、蓝牙技术、RFID 射频识别技术、无线局域网实时定位、超宽带(UWB)技术和 ZigBee 技术^[3]。ZigBee 技术是一种新兴的短距离、低功耗、低数据传输速率的无线网络技术, 是一种介于无线标记技术和蓝牙之间的技术方案。ZigBee 是建立在 IEEE 802.15.4 标准之上, 确定了可以在不同制造商之间共享的应用纲要。为了促进 ZigBee 技术的发展与应用许多国际著名 SOC 半导体生产

商、技术提供者、代工生产商以及最终使用者成立了一个非牟利业界组织 Zigbee 联盟^[4]。

蒙特卡罗(Monte Carlo)方法, 又称计算机随机模拟方法, 其核心思想是, 当所要求解的问题是某种事件出现的概率, 或者是某个随机变量的期望值时, 它们可以通过某种“试验”的方法, 得到这种事件出现的频率, 或者这个随机变数的平均值, 并用它们作为问题的解。蒙特卡罗方法通过抓住事物运动的几何数量和几何特征, 利用数学方法来加以模拟, 即进行一种数字模拟实验。它是以一个概率模型为基础, 按照这个模型所描绘的过程, 通过模拟实验的结果, 作为问题的近似解^[5-6]。

基于此, 笔者将 ZigBee 无线技术与蒙特卡罗定位算法相结合, 以实现室内移动物体的高精度定位。

1 蒙特卡罗定位

1.1 蒙特卡罗定位算法实现

蒙特卡罗室内定位的原理: 在状态空间中产生一组随机样本 x , 这些样本称为粒子, 通过对这些样本进行观测, 得到一系列观测值信息 M_o , 根据这些观测值计算样本的权值 ω , 并利用这组带有权

收稿日期: 2013-01-27; 修回日期: 2013-03-21

基金项目: 国家自然科学基金面上项目(10972003); 广西车辆零部件先进设计制造重点实验室开放基金重点项目(2012KFZD03)

作者简介: 范传恒(1986—), 男, 山东人, 硕士, 从事物联网研究。

值的随机样本来近似估算状态的后验概率分布 $p(s|o)$, 得到状态估计值。

现今蒙特卡罗的定位算法多用于机器人的室内视觉定位, 即在定位的实现过程中, 通过机器人视觉观测的信息来对样本进行概率更新, 笔者采用 ZigBee 测距作为观测信息, 并设计了各个粒子概率的更新函数。

改进的蒙特卡罗定位实现原理为: 取 $S = \{s_i(x_i, y_i); i=1, 2, 3, \dots, m\}$ 代表随机样本的集合, $Re = \{ref_j(x_j, y_j); j=1, 2, 3, \dots, n\}$ 代表室内环境布置的参考节点的集合, $\tilde{\omega}_T = \{\tilde{\omega}_T^i; i=1, 2, 3, \dots, m; T=0, 1, 2, \dots, t\}$ 集合代表从 0 时刻到 t 时刻随机样本非归一化的权重集合, $\omega_T = \{\omega_T^i; i=1, 2, 3, \dots, m; T=0, 1, 2, \dots, t\}$ 代表随机样本在从 0 时刻到 t 时刻的权重归一化后的集合, $P(s|o_T) = \{p(s_i|o_T); i=1, 2, 3, \dots, m; T=0, 1, 2, \dots, t\}$ 代表 t 时刻所有样本的后验概率集合。则样本 x_i 在 t 时刻的后验概率为:

$$\tilde{\omega}_t^i = \omega_{t-1}^i \times p(s_i | o_{t-1}), \tilde{\omega}_t^i \in \tilde{\omega}_T, \omega_{t-1}^i \in \omega_T, \quad p(s_i | o_{t-1}) \in P(s | o_{t-1}) \quad (1)$$

$$p(s_i | o_t) = \prod_{j=1}^{Re_Cnt} \exp\left(-\frac{(d_o^j - d_{exp}^{ij})^2}{\sigma}\right) \quad p(s_i | o_t) \in P(s | o_T) \quad (2)$$

在式 (2) 中, d_o^j 代表在 t 时刻通过 ZigBee 测距计算后得到的定位点与第 j 个参考点之间的观测距离, 而 d_{exp}^{ij} 代表着在 t 时刻随机样本 s_i 与第 j 个参考点之间的计算距离, σ 为常数, 用于控制权重的收敛速度, Re_Cnt 代表在 t 时刻观测到参考节点的个数。

$$d_{exp}^{ij} = \sqrt{(x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2} \quad (3)$$

在随机样本的初始阶段, 笔者取所有的随机样本权重一致为 $\tilde{\omega}_0^i = 1/m$, 通过式 (1), (2) 可以得出在 t 时刻所有随机样本的非归一化权重与样本的集合 $\langle s_i, \tilde{\omega}_t^i \rangle$, 将 t 时刻的权重进行归一化处理后, 即可得到 t 时刻的归一化权重与样本的集合 $\langle s_i, \omega_t^i \rangle$, 再对所有随机样本进行加权求和, 就会得出估计位置。

传统蒙特卡罗定位概率更新函数如下:

$$filter(x) = \forall s \in S, d(x, s) \leq r \cup \forall s \in T, r < d(x, s) \leq 2r \quad (4)$$

式中: S 为 1 跳锚节点的集合; T 为 2 跳锚节点的集合; s 为锚节点; r 为节点最大射频发送距离; $d(x, s)$ 为粒子与锚节点之间的距离。当粒子满足该滤波函数时, 则 $p(s_i|o_t)=1$, 同时粒子被保留; 若不满足 $p(s_i|o_t)=0$, 同时粒子被删除, 当粒子数目少于某一设定值时需要重采样补充粒子, 最后对保留的粒子加权求和得出估计位置^[7]。可以看出, 传统的定位算法没有对粒子位置进行预估, 也没有对历史信息加以利用。

1.2 蒙特卡罗定位基本步骤

基于 ZigBee 测距蒙特卡罗定位的实现步骤:

1) 初始化, 在区域内撒播随机粒子。

2) 获取观测信息转换为

$$d_o = \{d_o^j; j=1, 2, 3, \dots, Re_Cnt\}$$

3) 按式 (2) 计算粒子后验概率。

4) 按式 (1) 计算粒子权重更新。

5) 粒子权重归一。

t 时刻的粒子权重归一处理方法:

$$\omega_sum = \sum_{i=1}^m \tilde{\omega}_t^i \quad (5)$$

$$\omega_t^i = \frac{\tilde{\omega}_t^i}{\omega_sum} \quad (6)$$

6) 粒子更新。

7) 粒子权重归一。

此处的权重归一方法同步骤 5) 的权重归一方法一致, 不同之处在于此处只对 ω_T 这一权重集合进行权重归一处理。

8) 对粒子加权坐标求和, 得出估计位置。

t 时刻加权计算公式如下:

$$x = \sum_{i=1}^m \omega_t^i \times x_i \quad (7)$$

$$y = \sum_{i=1}^m \omega_t^i \times y_i \quad (8)$$

9) 跳至步骤 3) 循环。

2 ZigBee 测距原理

目前测距技术大致有以下几种: 接收信号强度 (RSSI)、到达时间 (TOA)、时间差 (TDOA) 和到达角度 (AOA), 多跳测距 (DV_HOP), 其中以 RSSI 测距、TDOA 测距和 TOA 测距最为常用^[8]。

笔者使用的是由 IEEE802.15.4 给出的简化之后的 RSSI 测距信道模型,

$$RSSI = -(10 \times n \times \lg d + A) \quad (9)$$

将式 (9) 中的 d 转移到方程的左边, 可推出由信号强度, 得出距离 d 的公式为

$$d = 10^{\frac{A-RSSI}{10 \times n}} \quad (10)$$

式中: n 为信号传播常数, 也称为信号传播指数; d 为距离发送点的距离; A 为 1 m 距离处接收信号的强度^[9]。

2.1 信号采集滤波函数

由于室内环境的复杂性, 无线信号强度经常会因动态障碍物的移动干扰, 信号的多经传输现象而不稳定。为了在室内复杂环境下挺高所获取信号强度的稳定性和精确性, 笔者将高斯滤波算法引入到信号强度的滤波中。

文献[10]经过大量实验验证 ZigBee 某点的信号强度分布可以用高斯正太分布函数表述。

$$f(x(i)) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left[-\frac{(x(i)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (11)$$

式中: $x(i)$ 为单次采集的信号强度; μ 为 n 次的平均值; σ 多次采样的均方差,

$$\mu = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x(i) \quad (12)$$

$$\sigma^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x(i) - \mu)^2 \quad (13)$$

由于单片机实现的限制性, 对模型进行简化,

$$f(x(i)) = \exp\left[-\frac{(x(i)-\mu)^2}{2\sigma^2}\right] \quad (14)$$

笔者取 $0.6 \leq f(x(i)) \leq 1$ 为置信区间, 转化公式得:

$$0 \leq \frac{(x(i)-\mu)^2}{\sigma^2} \leq -2 \ln(0.6) \quad (15)$$

对高斯滤波效果测试, 信号采集在室内进行, 参考节点使用 D 号和 A 号, A 号使用高斯滤波的方法, D 号使用均值滤波的方法, 参考节点距离定位节点的距离为 2 m, 在无移动障碍物的情况下采集 218 组数据值。

由图 1 进行总体比较, 在无扰动的情况下, 2 种方法测出的信号强度差值不大。计算平均值 Gauss=57.587 2, Average=57.793 6, 在参考节点与定位节点之间人为不断走动, 测出的信号比较如图 2 所示。由图可见, 运用高斯滤波能够抑制随机噪声, 在信号采集中能有效消除人员移动带来的干扰。Gauss=57.854 8, Average=61.441 9 用高斯滤波后的信号强度在 56~58 之间的数据占到 55%, 均值滤

波只占到 22%, 由此可见高斯滤波加入到信号采集中有明显的效果。

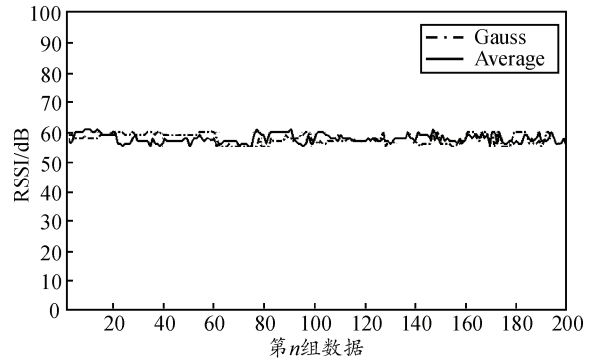


图 1 无扰动下高斯滤波与均值滤波对比

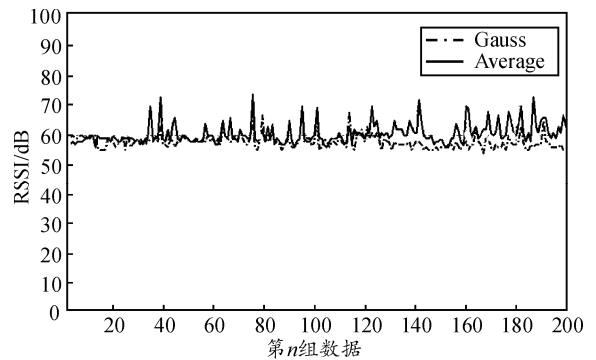


图 2 人为扰动下高斯滤波与均值滤波对比

3 定位效果测试

测试选择室内环境 12 m×9 m 面积, 无人员走动, 无高大障碍物, 4 个参考节点分别布置在室内的 4 个角落, 高度 2 m, 取左上角为坐标系原点, 为避免出现负值坐标, 笔者设定坐标的原点为 (100,100), 显示精度 0.1 m, 4 个节点的坐标分别设置为 1 号(100,100)、2 号(220,100)、3 号(100,190)、4 号(220,190)。

测试为静态测试, 定位点在固定位置不移动。蒙特卡罗定出位置分布和误差收敛情况如图 3、4。

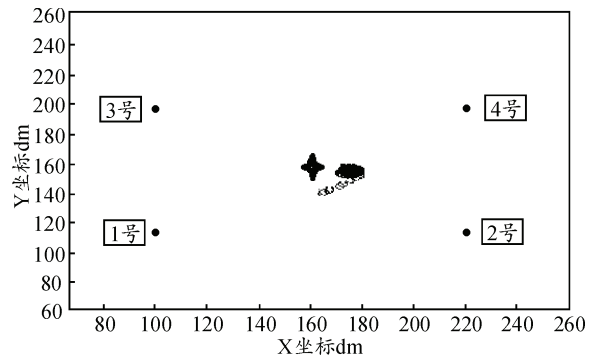


图 3 蒙特卡罗定位分布

星形点为定位的真实位置(160,145), 圆形点为经蒙特卡罗定位算法之后的位置。误差收敛图如图

4 所示。

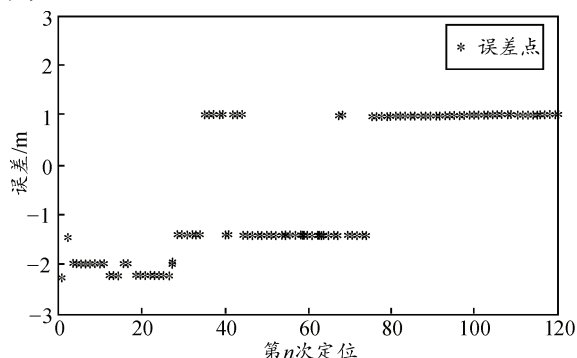


图 4 蒙特卡罗定位误差收敛

图 4 中的“*”点代表误差点,从误差的收敛图中可看出:最大误差在 2 m 左右,在 30 组之后定位的误差稳定在(-1 m, 1 m)之内,具有较好的稳定性,在整个误差收敛过程中,误差最大时为-2.236 m,误差最小时为 1 m。

4 总结

相对于其他的蒙特卡罗定位算法,笔者提出的基于 ZigBee 技术测距与蒙特卡罗相结合的定位算法有着以下明显优势:1) 在外部信息获取上,现有的蒙特卡罗定位方法受摄像头视觉区域范围的限制,基本只能获取一个外部参考点信息,而笔者应用的 ZigBee 技术测距可以同时获取多个参考点信息;2) 笔者对蒙特卡罗定位算法设计的概率函数和重采样过程,充分考虑参考信息的有效应用和粒子的绑架问题。但在大量的室内测试中发现: ZigBee 室内信号强度存在一些不稳定因素,会影响定位的精度和稳定性,例如由于无线信号的多径传输、反

(上接第 47 页)

4 结论

笔者提出了一种新型实时控制光纤网络总体构架,网络拓扑采用星型结构,中心节点分时接收不同接入节点的上行数据,并通过下行转发广播的方式完成数据交换。笔者设计了多点接入协议,确保整个数据帧的实时响应时间在微秒级,符合车载系统对控制信号传输实时性高要求的应用环境。笔者还分析了如何具体设计光纤网络的中心节点,按模块分析了中心节点的发送和接收、数据帧解析和时隙管理模块的设计。测试结果表明:该系统针对车载环境的业务特点,能很好地完成光网的数据帧交换,具有较好的通用性和参考价值。

射等原因致使根据无线信号强度测出的距离存在大误差;因此,下一步将对室内无线信号的处理方法进行改进。

参考文献:

- [1] 李同松. 基于 ZigBee 技术的室内定位系统研究与实现 [D]. 大连: 大连理工大学, 2008.
- [2] Texas Instruments. TMS320LF/LC240xA DSP Controllers Reference Guide-System and Peripherals[M]. Literature Number: SPRU357C, 2006.
- [3] 王鲁佳, 田龙强, 胡超. 无线定位技术综述[J]. 先进技术研究通报, 2010, 4(3).
- [4] 钟永锋, 刘永俊. ZigBee 无线传感器网络[M]. 北京: 北京邮电大学出版社, 2011.
- [5] <http://today.duke.edu/2012/06/unloc>.
- [6] 李长庚, 李新兵. 基于 Monte Carlo 的非测距传感器网络定位算法[J]. 计算机工程, 2008, 34(24).
- [7] Wang Weidong, Zhu Qingxin. School of Computer Science and Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu. "Varying the Sample Number for Monte Carlo Localization in Mobile Sensor Networks" [C]. Second International Multisymposium on Computer and Computational Sciences 2007.
- [8] 张洁颖, 孙懋珩, 王侠. 基于 RSSI 和 LQI 的动态距离估计算法[J]. 电子测量技术, 2007, 30(2).
- [9] IEEEStd. 802.11.4-2003. Standard for telecommunications and information exchange between system-local areamedium access control (MAC) and physical layer (PHY) specifications for low rate wireless per sonalarea networks (WPAN)[Z]. <http://www.ieee802.org/15/pub/TG4.html>.
- [10] 詹杰, 吴伶俐, 唐志军. 无线传感器网络 RSSI 测距方法与精度分析[J]. 电讯技术, 2010, 50(4).

参考文献:

- [1] 邓谦, 董玉华, 李春杰. 基于以太网的智能家居终端设计[J]. 四川兵工学报, 30(10), 31(8): 93.
- [2] 雷承达, 彭芳, 郎为民. EPON 技术原理[J]. 光纤与电缆及其应用技术, 2006(4): 19-23.
- [3] 李精华, 曾丽珍. EPON 上行信道中的动态带宽分配算法研究[J]. 光通信技术, 2006, 30(1).
- [4] 刘钢, 程大章. 基于以太网的无源光网络(EPON)技术及其应用[J]. 智能建筑与城市信息, 2006(3): 7-14.
- [5] 孙俊香. 基于以太网的无源光网络测距技术的研究[J]. 计算机与网络, 2008, 15: 156-158.
- [6] ALTERA Serial Digital Interface Reference Design for Cyclone & Stratix Devices, 2004, <http://www.altera.com/literature/an/an356.pdf>.