

一种改进的室内无线定位算法

邹 杰, 李珊君, 陈晓明

(四川大学电气信息学院通信工程系, 成都 610065)

摘 要: 为提高室内无线定位精度并降低算法复杂度, 提出一种改进的室内无线定位算法, 包含2种分支算法。以视距路径数为标准, 将室内无线环境划分为非视距污染较轻和较重2种环境。对污染较轻的环境, 采用改进的Fang-Taylor级联算法; 对污染较重环境, 采用新的迭代定位算法。仿真实验结果表明, 该算法能达到甚至超过同类算法的定位精度, 且适应多种室内无线环境, 提高对环境的鲁棒性。
关键词: 室内无线定位; 超宽带; Fang-Taylor级联算法; Chan-Taylor级联算法; 迭代定位

Improved Indoor Wireless Localization Algorithm

ZOU Jie, LI Shan-jun, CHEN Xiao-ming

(Department of Communication Engineering, School of Electrical Engineering and Information, Sichuan University, Chengdu 610065, China)

【Abstract】 In order to improve indoor wireless localization, and reduce complexity, this paper presents an improved indoor wireless localization algorithm. It includes two algorithms. It divides the complex indoor wireless environment into small degree of Non-line of Sight(NLOS) pollution and serious NLOS pollution environment, which takes the number of lines of sight as standard. An improved Fang-Taylor cascaded algorithm is proposed to achieve localization in the indoor wireless environment which contains less NLOS pollution. On the other hand, it uses a new iterative localization algorithm. Simulation results indicate that this integrated indoor wireless localization algorithm can achieve the location accuracy of the similar algorithms and even better than them. Moreover, it can adapt to the ever-changing indoor wireless environment, and improves the robustness of the algorithm.

【Key words】 indoor wireless localization; Ultra-wide Band(UWB); Fang-Taylor cascaded algorithm; Chan-Taylor cascaded algorithm; iterative localization

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.14.024

1 概述

当今世界无线通信技术高速发展, 如果在通信的同时能够确定移动节点的位置, 不但可以作为一种服务业务, 还可以为网络路由、检测管理等带来诸多好处。传统的室内无线定位系统都有其各自的适用环境, 很难在抗干扰性、成本和环境适应性等方面做好平衡, 这是因为它们使用的技术有其固有的缺点, 所以近几年人们越来越多地关注于超宽带(Ultra-wide Band, UWB)技术。超宽带是在时域发射极窄的脉冲, 相应地在频域产生频带很宽、功率谱密度极低的信号。因其具有高带宽、低功耗、抗多径能力强、时间分辨率高、穿透力强等优点, 所以非常适合应用于室内无线定位。针对室内无线定位问题, 本文提出一种改进的室内无线定位算法。

2 问题描述

早期无线定位技术的研究和应用主要针对室外环境, 开展研究最多的是蜂窝移动通信中的定位问题。对于室内环境, 虽然信道模型、干扰因素等很多方面与室外环境存在差别, 但是基本思想和方法是相通的。因此, 目前室内无线定位中许多技术多是对原有定位技术的改进, 甚至直接应用。基于测距的定位算法常用的测距技术有RSSI、TOA、TDOA、AOA^[1]。其中基于接收信号时间的定位方法最适合室内无线定位且能发挥UWB信号的优势, 所以该种改进算法前期采用TDOA测距技术。

欲直接采用TDOA测距技术得到定位结果必须求解非线性方程组, 但求解非线性方程组较为困难且不可能得到绝对准确的定位结果, 其定位精度较差。在无线定位过程中, 如

果有多个参考节点参与定位时, 可以利用冗余信息提高定位精度。目前, 已经出现解决该类问题的经典算法有Fang算法^[2]、Chan算法^[3]以及Taylor展开法^[4]等。

对于无线定位问题, 目前经典定位算法都建立在视距(Light Of Sight, LOS)环境下, 主要解决由仪器测量精度等引起的误差问题, 对于Non-line of Sight(NLOS)误差无能为力, 而NLOS引起的误差巨大。同时, 室内环境中NLOS路径大量存在, UWB信号的自身特点也不能很好地解决该问题, 因此, 对基于UWB的室内无线定位而言, NLOS问题也是一个亟待解决的重要问题。

3 算法基本思想与策略

室内无线定位算法涉及的基本思想及策略繁多, 如下为本文提出的改进算法所依赖的关键技术及方法。

(1) TDOA 测距技术

在室内无线定位问题中, TDOA并非用待定位节点与参考节点的时间测量值直接定位, 而是通过多个参考节点测得的时间之差来定位的, 如此就不需要待定位节点与参考节点的时钟同步, 仅需要参考节点之间的时钟同步。

设有 N 个参考节点, 分别是 $BS_1, BS_2, \dots, BS_n$, 以 BS_1 为服务节点, 测得 BS_1 与 $BS_2, BS_3, \dots, BS_n$ 之间的TDOA值分别为 $\tau_{21}, \tau_{31}, \dots, \tau_{n1}$, 则 $N-1$ 个距离差值如式(1)所示:

$$r_{i1} = \tau_{i1} \times c \quad i = 2, 3, \dots, n \quad (1)$$

作者简介: 邹 杰(1987—), 男, 硕士研究生, 主研方向: 信号与信息处理; 李珊君, 副教授; 陈晓明, 硕士研究生

收稿日期: 2011-01-13 **E-mail:** ZouJie_SCU@163.com

其中, c 为电磁波传播速度, 约为 3×10^8 m/s。

设 (x_i, y_i) 为已知第 i 个参考节点的位置, 其中, (x_1, y_1) 为服务节点 BS_1 的位置。待定位节点的位置为 (x, y) , 可得如式(2)所示方程组:

$$\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2} = r_{i1} \quad i=2, 3, \dots, n \quad (2)$$

(2)经典算法简述

Fang 算法是一种 TDOA 算法, 它利用 3 个基站并通过双曲线的线性近似获得对待定位节点的位置估计。具体算法详见文献[2]。

Chan 算法也是一种 TDOA 算法, 它是 LOS 环境下最大似然(ML)估计的近似实现方法, 在参数误差很小时能够达到克拉美罗下界(Cramer-Rao Lower Bound, CRLB)。特点是计算量小, 在噪声服从高斯分布的环境中具有很高的定位精度, 但在 NLOS 环境下, 其定位性能大大降低。具体算法详见文献[3]。

最为经典的 Taylor 展开法的主要原理是: 首先需要有待定位节点位置的初始估计值, 将非线性方程组在初始值处进行 Taylor 级数展开, 省略二阶以上因式, 将非线性方程组转化为线性方程组, 再用加权最小二乘估计求解初始值与真实位置间的偏差, 进而修正初始值, 然后将修正后的初始值作为下一次计算的初始值, 如此迭代计算, 直到计算结果满足要求的定位精度为止。具体算法详见文献[4]。

(3)NLOS 鉴别

要解决 NLOS 下的无线定位问题, 就要依靠 NLOS 路径自身的特点进行 NLOS 鉴别, 目前较为经典的是 Wylie 法^[5]和残差鉴别法^[6]。本文改进算法在进行 NLOS 鉴别时, 选择后者, 即残差鉴别法。残差鉴别法基于 TDOA 测距技术, 基于式(2)定义 TDOA 残差为:

$$e = \sum_{i=2}^n ((\sqrt{(x_i - x)^2 + (y_i - y)^2} - \sqrt{(x_1 - x)^2 + (y_1 - y)^2}) - r_{i1})^2 \quad (3)$$

4 改进算法及其仿真分析

4.1 算法描述

在无线定位过程中, 要使用 Taylor 展开法, 就必须先要得到较为精确的初始值, 在蜂窝移动通信系统中, 这个值可以根据小区基站的位置给出, 而在室内定位中, 这个值本身就是未知的。要解决这个问题, 可以将 2 个算法级联, 用第一个算法得到的估计位置作为 Taylor 展开法的初始值。该类思想已有文献[6]提出的 Chan-Taylor 级联算法, 但是在 NLOS 环境下, Chan-Taylor 级联算法的性能与得到较精确初始值的 Taylor 展开法的性能相比, 没有明显提高。因此, 本文提出一种改进的室内无线定位算法。

算法根据 NLOS 路径的残差鉴别对待定位室内环境进行划分, 划分为 NLOS 污染较轻室内环境和 NLOS 污染较重室内环境。在 NLOS 污染较轻环境中采用小巧、简单、计算量小且能获取较高精度估计值的 Fang 算法作为 Taylor 展开法的前级算法, 即 Fang-Taylor 级联算法; 在 NLOS 污染较重室内环境中提出一种迭代定位算法用以减弱 NLOS 对定位结果的影响。算法的具体描述如图 1 所示。

在如图 1 所示的改进算法中, 首先基于 TDOA 测距技术进行数据测量, 然后利用残差鉴别法对待定位室内环境进行划分, 当 LOS 路径数 ≥ 3 时认为室内 NLOS 污染较轻, 此时采用 Fang-Taylor 级联算法求得定位结果。在这种情况下, 设置门限 ε , 并利用式(3)计算残差 e , 当 $e > \varepsilon$ 时, 丢弃 TDOA 测量数据, 重新测量; 反之, 说明 TDOA 测量数据较为精确,

能够代入后级 Taylor 展开法进行最终定位。当 LOS 路径数 < 3 时认为室内 NLOS 污染较重, 此时设置迭代算法的迭代步长为 λ 、迭代次数为 n , 并根据先验信息得到 λ 的变化范围 $(0, \gamma)$, 最终迭代更新的 TDOA 数据为 $R = R_{TDOA} - nm$, 其中, R_{TDOA} 表示基于 TDOA 测距技术得到的原始距离值。

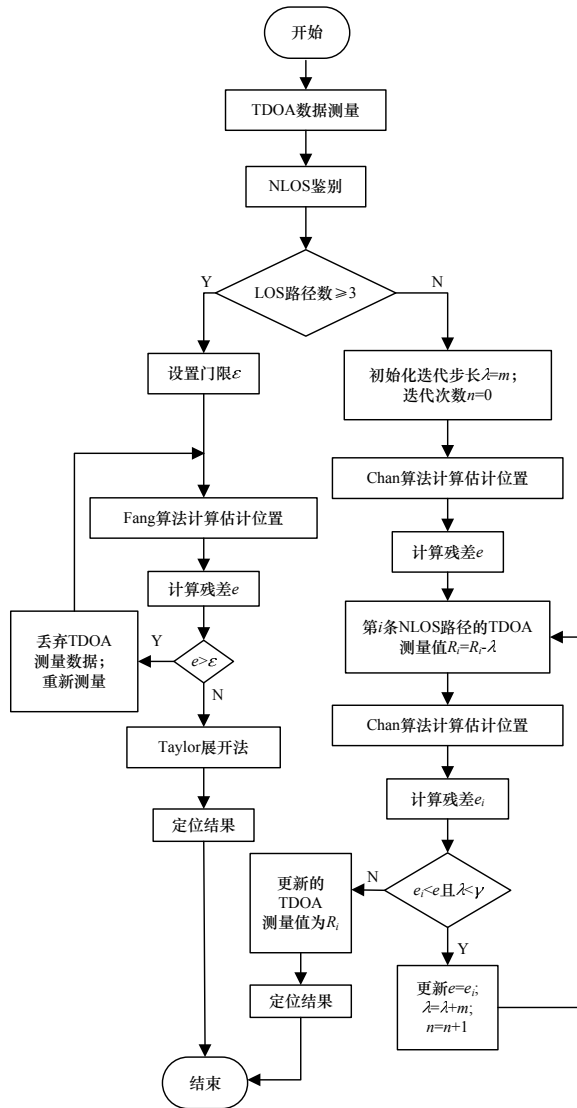


图1 改进的定位算法流程

4.2 实验仿真

4.2.1 NLOS 污染较轻环境下算法仿真实验

实验仿真使用 Matlab 软件, 仿真信道模型为 IEEE802.15.4a 工作小组提出的信道模型, 在 $10 \text{ m} \times 10 \text{ m}$ 的范围内随机生成待定位节点的位置。按照文献[6], UWB 信号在室内环境传播时, LOS 路径测量值的测量误差服从 $N(0, 0.15^2)$ 的高斯分布。为了使仿真结果更能反映现实, 仿真次数设为 10 000。

在室内 NLOS 污染较轻的环境下, 门限 ε 的设置能够影响该改进算法的性能, 通过仿真实验可以得到如表 1 所示的门限与丢弃率的对应关系。

表1 门限设置与 TDOA 测量数据丢弃率的对应关系

门限 ε	丢弃率/(%)	门限 ε	丢弃率/(%)
180	2.18	70	14.56
150	4.04	50	18.90
130	4.60	20	31.09
90	8.89		

由表 1 可知, 随着门限 ε 设置值的减小, TDOA 测量数据丢弃率增大。经大量仿真分析可知, 当 $\varepsilon=130$ 时改进的 Fang-Taylor 级联算法与 Chan-Taylor 级联算法性能相当, 此时 TDOA 测量数据丢弃率为 4.6%。当然, 在 $\varepsilon < 130$ 时算法精度更高, 计算更为简单, 其性能将会超过 Chan-Taylor 级联算法, 但考虑到 TDOA 测量数据丢弃率不宜过大, 因此, 将 $\varepsilon=130$ 设为最优门限值。

此时, 改进算法的性能如图 2 所示(限于篇幅, 选取部分实验数据罗列)。

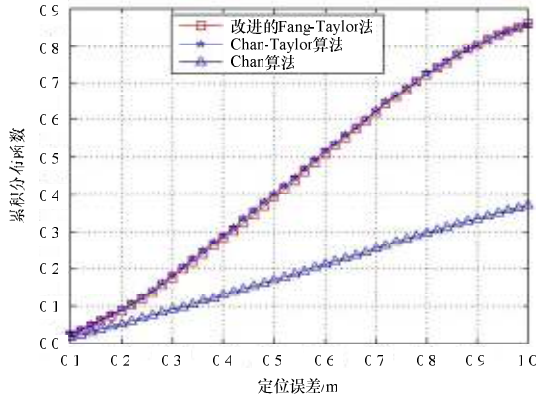


图 2 含 2 条 NLOS 路径环境下各算法性能的比较

4.2.2 NLOS 污染较重环境下算法仿真实验

实验仿真平台如 4.2.1 节所述。假设迭代步长初始化为 $\lambda=m=0.05$, $\gamma=2$, 除服务几点外其余都为 NLOS 路径。由实验仿真得出如表 2 所示本文迭代算法与经典 Chan 算法的均方根误差。

表 2 迭代算法与 Chan 算法的均方根误差

NLOS 路径数	迭代算法	Chan 算法
4 条 NLOS 路径	3.013 30	5.198 8
3 条 NLOS 路径	2.986 30	4.206 5
2 条 NLOS 路径	2.893 39	3.131 3

对表 2 进行直观分析可知, 在室内 NLOS 污染较重环境下, 本文提出的迭代算法对 NLOS 路径数量不敏感, 在 NLOS 路径为 4 条时能有效提高定位精度, 但该算法的性能不能随着 NLOS 污染的减轻而进一步提高。迭代算法性能如图 3 所示。

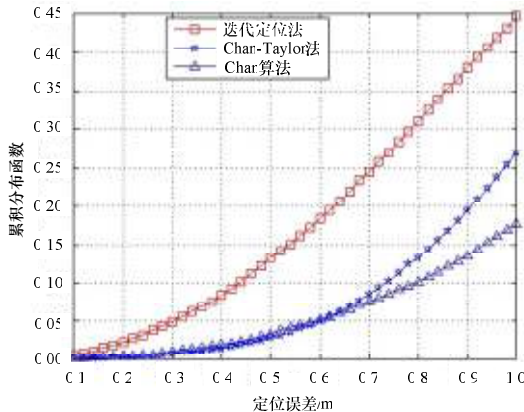


图 3 4 条 NLOS 路径时迭代算法与同类算法性能的比较

4.3 仿真分析

在不同环境中对 3 种经典定位算法进行仿真, 经比较和分析发现以下特点: (1)参与定位的参考节点数量越多, 越有利于提高定位精度, 而性价比最好的数量是 5 个, 以此作为以后仿真时参考节点的数量。(2)在视距路径条件下, Fang 算法最简单, 但不能利用冗余信息提高定位精度; Chan 算法有明确的解析式, 算法较简单, 能很好地利用冗余信息得到较好的定位结果; Taylor 算法也能利用冗余信息, 定位精度是三者中最好的, 但由于是迭代算法, 计算量较大, 且算法收敛性和定位精度与初始值的选取有关。而在存在非视距路径的情况下, 3 种算法都会产生较大的误差。本文算法对室内无线环境进行划分, 针对不同的环境采用分支算法, 在空间上能提高算法对环境的鲁棒性。并且 Fang-Taylor 算法较之已有 Chan-Taylor 算法更为小巧、简单。

图 2、图 3 表明在 NLOS 污染环境较轻的室内环境下, Fang-Taylor 级联算法能在很小的 TDOA 测量数据丢弃率(4.6%)下达到 Chan-Taylor 级联算法的性能。实验结果表明在 NLOS 污染环境较重的室内环境下, 迭代算法的性能明显高于同类无线定位算法。综合上述 2 点, 本文算法能在一定程度上提高定位精度, 并改善了算法对不同环境的适用性。

5 结束语

本文提出一种改进的室内无线定位算法, 并利用 Matlab 仿真软件进行建模分析。实验结果表明, 该算法在 NLOS 污染较轻的室内无线环境下达到已有同类算法的定位精度; 而且适用于 NLOS 污染较重的室内无线环境, 提高了算法对环境的鲁棒性。本文算法基于低速率的 IEEE802.15.4a 信道模型, 而未来趋势则是高速的无线通信与无线定位技术相结合。因此, 后期可针对高速 UWB 技术的无线定位技术及其应用进行相关研究。

参考文献

- [1] 戴佩华, 薛小平, 邵玉华. 基于垂直平分线的区域定位算法[J]. 计算机工程, 2009, 35(2): 105-108.
- [2] Fang B T. Simple Solutions for Hyperbolic and Related Position Fixes[J]. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1990, 26(5): 748-753.
- [3] Chan Y T, Ho K C. A Simple and Efficient Estimator for Hyperbolic Location[J]. IEEE Trans. on Signal Processing, 1994, 42(8): 1905-1915.
- [4] Foy W H. Position Location Solutions by Taylor Series Estimation[J]. IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems, 1976, 12(2): 105-110.
- [5] Wylie M R, Holtzman J. The Non-line of Sight Problem in Mobile Location Estimation[C]//Proc. of IEEE International Conference on Universal Personal Communications. Cambridge, USA: IEEE Press, 1996.
- [6] Li Cong, Zhuang Weihua. Non-lin-of-sight Error Mitigation in TDOA Mobile Location[C]//Proc. of IEEE Global Telecommunications Conference. San Antonio, USA: IEEE Press, 2001.

编辑 任吉慧