

基于改进遗传算法的开放式鲁棒融合定位方法

刘军搏, 王建辉, 王大鸣, 崔维嘉
(解放军信息工程大学 信息工程学院, 郑州 450002)

摘要: 针对现有蜂窝网定位技术在实际应用中没有完整的定位测量参数就无法完成定位的缺点, 提出了一种开放式的鲁棒融合定位新方法。该方法以信息融合技术为理论基础, 融合异质异构的定位信息进行定位, 在保证定位精度的前提下提高了定位算法的鲁棒性。仿真结果验证了该方法的有效性、开放性和鲁棒性。

关键词: 无线定位; 遗传算法; 信息融合; 鲁棒性; 到达时间

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1001-3695(2012)11-4309-03

doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2012.11.079

Open method of robust fusion location based on improved genetic algorithm

LIU Jun-bo, WANG Jian-hui, WANG Da-ming, CUI Wei-jia
(Information Engineering Institute, PLA Information Engineering University, Zhengzhou 450002, China)

Abstract: For the shortcomings of the existing cellular network location technology in practical applications can't finish location without full parameters, this paper proposed an open robust fusion location method. Based on the information fusion technology, it worked by integrating the location information of different properties, then structured and improved the robustness of the positioning algorithm at the premise of high accuracy. The simulation results demonstrate the effectiveness, openness and robustness of this method.

Key words: wireless location; genetic algorithm; information fusion; robust; TOA (time of arrival)

0 引言

近年来,蜂窝网定位技术引起了各国的广泛关注,得到了深入地研究与迅速地发展。在美国联邦通信委员会(FCC)公布E-911定位规范^[1]之后,欧洲和日本也相继提出了相应的蜂窝网定位要求,这表明提供E-911定位服务将是今后蜂窝网络必备的基本功能。无线蜂窝网络所提供的定位功能不仅能有效地应用于抢险救灾、紧急救援,还能广泛地应用于移动黄页查询、车辆导航和智能交通系统、移动终端盗打防范、基于位置的计费以及网络管理和网络规划等诸多领域,是移动运营商的主要增值业务之一。

目前,蜂窝网定位技术种类比较多,根据定位参数的不同,可以分为小区标示号(Cell ID)定位法、GPS辅助定位法、信号到达角度定位法(AOA)、信号到达时间定位法和信号到达功率定位法等几种。其中Cell ID定位法和GPS辅助定位法已经在现有的商用网络中得到了应用,但Cell ID定位法是根据驻留基站的位置近似移动台的位置,因此定位精度较低;GPS辅助定位法在室外环境下定位精度较高,但要求移动台装备GPS定位设备,且仅支持移动台发起的定位应用,因此实际应用范围较窄。基于信号到达角度和传输时延的定位方法是蜂窝网定位技术的研究热点,并由此派生出两步最小二乘(CHAN)^[2]、EKF^[3]、UKF^[4]、粒子滤波^[5,6]等不同的定位算法。但是这些定位算法尚未在现有的商用网络中应用,面临的问题

主要有三个:

a)定位参数的可测性问题^[7]。现有定位算法对定位参数的要求较为苛刻,以定位精度最高的信号到达时间(TOA)定位为例,该方法要求至少四个基站同时测得移动台的上行信号才能实施定位。由于移动台功耗和移动通信系统容量的限制,现有的移动通信技术普遍使用了功率控制技术,在实际无线环境中同时获得四个基站的TOA测量非常困难。

b)定位参数的NLOS误差问题。以时延定位为例,Korea Telecom在IS-95网络中的测量结果表明NLOS误差平均达到589m,Nokia公司的现场测量结果表明,在GSM网络环境中的平均NLOS误差达到500~700m^[5,6,8]。与越来越小的蜂窝网小区半径相比,NLOS误差已经成为制约蜂窝网定位技术发展最为关键的因素。

c)定位算法的鲁棒性问题。当定位参数不能满足定位所需条件时,定位算法直接失效,不能完成对移动台位置的估计。

总之,现有定位算法对定位参数的完整性和准确性要求较为苛刻,但是根据已测到定位参数所提供的信息量大小,研究相应的数据融合方法,在理论上仍然可以对移动台位置作出不同精度水平的估计。

基于以上分析,本文的研究以定位技术的实际应用为出发点,以信息融合思想为理论基础,对现有的定位方法从基本定位思想和定位策略上作了改进,提出一种全新的基于信息融合的开放性鲁棒蜂窝网定位方法。该方法在兼顾定位精度的同

收稿日期: 2012-03-12; 修回日期: 2012-04-24

作者简介: 刘军搏(1985-),男,江苏连云港人,硕士研究生,主要研究方向为蜂窝网定位(donotover@163.com);王建辉(1981-),男,河南南阳人,讲师,博士,主要研究方向为无线通信与定位;王大鸣(1971-),男,辽宁大连人,副教授,博士,主要研究方向为无线通信与定位;崔维嘉(1976-),男,辽宁丹东人,讲师,博士,主要研究方向为无线通信与定位。

时,根据定位测量和定位先验知识所提供的信息量,最大程度地对移动台的位置进行估计,其优点主要体现在以下两个方面:

a)开放性。已有算法大多使用某一种或几种定位参数进行定位,如传统使用一种参数的 TOA、TDOA 和 AOA 定位算法,或者 AOA/TOA、AOA/TDOA 等混合定位算法。在本算法的理论框架下,任意一种传统的定位测量参数,以及基站的 Cell ID、基站的扇区朝向,甚至小区道路楼宇位置等先验地理信息都可以作为方法的定位参数。

b)鲁棒性。本文方法不存在定位失败的问题,根据定位参数的信息量大小,对移动台位置作出估计,估计结果的精度取决于信息量的大小。即使在最苛刻的定位环境下,方法仍然可以采用 Cell ID 进行定位,而不会无法完成对移动台位置的估计,这将增强定位技术的鲁棒性,以便于在实际中应用。

1 融合定位方法思想

现有的定位算法主要以方程组求解为数学基础,在几何图形上体现为求解不同曲线之间的交点。常见的移动台定位,如 CHAN、UKF、粒子滤波、遗传算法,可以理解为对定位恰定方程组的求解过程。下面以 AOA/TOA 混合定位为例进行说明,如图 1 所示,假设基站 1(BS1)位置坐标为(0,0),移动台真实位置坐标为(500,500),AOA 和 TOA 的测量值分别为 θ_1 和 τ_1 ,则移动台的位置估计可以通过求解如式(1)所示方程组完成。

$$\begin{cases} \tau_1 = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta_1 = \arctan(\frac{y}{x}) \end{cases} \quad (1)$$

对于此类的定位算法,如果增加额外的测量参数,如图 1 所示的基站 2 同时测量到移动台的信号,假设基站 2 所得到 AOA 和 TOA 的测量值分别为 θ_2 和 τ_2 ,则式(1)变成了超定方程组,导致现有的定位算法不能适用。此时如果融合基站 1 和 2 的测量值进行定位,只能分别对移动台位置进行求解,然后对得到移动台坐标在决策层进行融合。如果 BS1 的无线环境较 BS2 好,则 BS2 的定位结果会影响 BS1 较为精确的定位结果。由此可见,从信息融合的角度进行分析,传统的定位算法存在两个方面的问题:a)传统定位算法是封闭的,只能在其定位模型的框架下使用特定的定位参数,对于蜂窝网中其他有益于提高定位精度的信息量无法进行处理;b)传统定位算法的鲁棒性较差,在实际中经常遇到算法所需的某个参数无法测量的情况,则式(1)由恰定方程组变成了欠定方程组,导致定位算法无法进行解算。

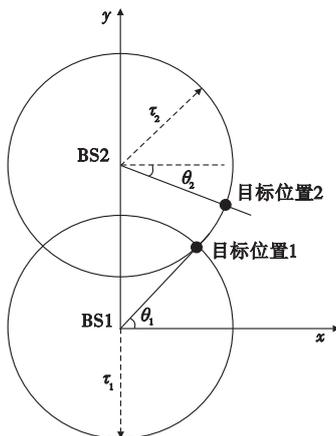


图1 传统定位算法的融合定位原理

传统定位算法以线与线之间的交叉确定目标的位置,本文以定位测量参数置信度为基础,提出了一种基于位置可行区域融合的定位方法。该方法的主要思路是:将传统测量参数确定的线,在参数置信度的基础上,扩展为区域(即目标位置的可行区域),从而将线交叉变化为区域交叉,以求解不等式组的方法估计移动台位置。如图 2 所示,以 TOA/AOA 为例,TOA 时延测量可以确定移动台位于以定位台为中心的圆上,如果考虑 TOA 的测量误差,则认为移动台位于以定位台为中心的圆环区域;同理,由 AOA 可以确定移动台位于以定位台为起点的扇形区域,两个区域的交集即为目标的位置可行区域,在数学表达上体现为求解如式(2)所示的不等式组。在此基础上融合其他传感器的测量参数,可以逐步缩小移动台位置可行区域。从单次测量来看,本方法降低了定位的精度,但是如果获得足够多的测量数据,则移动台的位置可行区域将划分为不同概率的子区域,同时融合其他不同性质的定位信息量,移动台位置的估计将逐步精确,最终达到 FCC 对蜂窝网定位精度的要求。

$$\begin{cases} \tau_1 - \Delta\tau \leq \sqrt{x^2 + y^2} \leq \tau_1 + \Delta\tau \\ \theta_1 - \Delta\theta \leq \arctan(\frac{y}{x}) \leq \theta_1 + \Delta\theta \end{cases} \quad (2)$$

2 基于改进遗传算法的开放式鲁棒融合定位方法

针对上述思路,下面介绍一种基于改进遗传算法的蜂窝网融合定位方法。遗传算法的规则是:确定一个适应值条件,根据适应值在染色体存在的空间范围内通过选择,杂交和变异使更适应的染色体个体繁衍的概率更大,而最不适应的个体不繁衍;然后合并双亲的染色体(杂交),对合并后的染色体应用随机变异来模拟繁衍(变异)。

这里用染色体矢量中的各分量代表待定坐标,采用离散适应值、浮点数编码,在确定的坐标范围内进行搜索。遗传算法的流程如下:

- a) 设定迭代次数,初始化染色体群。
- b) 计算每一个染色体的适应值。
- c) 根据适应值进行遗传、变异。
- d) 是否为最大迭代次数。如果是,将所有染色体结果进行平均得出定位结果;反之,进入步骤 a)。

这里重点讨论遗传算法适应度的确定。本算法适应度的取值为

$$\text{eval}(X_i) = \sum_{k=1}^s \lambda_k \delta_k \quad (3)$$

其中:s 为观测到特征参数的维数; λ_k 为第 k 个特征参数的置信度系数,取 0~1 之间的常数。系数 λ_k 的取值反映了定位参数测量中所含误差的大小,主要依据两个方面的因素进行取值:a)定位参数测量设备的测量精度等先验信息;b)测量样本值的统计特性。例如测量样本点的标准差较大时,可认为测量值的测量精度较低,置信度系数可以取较小值。 δ_k 定义为位置区域适应度,如果染色体位于第 k 个特征参数的位置可行区域,则 $\delta_k = 1$;否则 $\delta_k = 0$ 。

理论上说来新的个体具有与双亲一样的适应度,但是变异会导致适应度发生变化。然后循环会周而复始,搜索出最符合适应值条件的定位可行区域,此时染色体的中心位置即为最终的定位结果。以图 2 为例进行说明,此处使用参数 TOA 和 AOA 进行定位,则 $s = 2$,根据设备的先验性能认为 TOA 测量

的精度高于 AOA 测量,即 TOA 的置信度系数 λ_1 大于 AOA 的置信度系数 λ_2 ,分别取 $\lambda_1 = 0.8, \lambda_2 = 0.5$ 。根据以上假设可以得出,如果染色体位于 TOA 确定的环形区域,则其适应度为 0.8;如果染色体位于 AOA 确定的扇形区域,则其适应度为 0.5;如果染色体位于环形和扇形的交叉区域,则其适应度为 1.3。如果还有其他信息量提供的定位信息,则染色体的适应度取值根据位置可行区域进行累加,最终遗传算法将搜索适应度最大的染色体所在的可行区域为最终定位结果。

3 方法的仿真分析

本文仿真以 TOA 和 AOA 测量为基础,兼顾基站覆盖距离和扇区朝向信息,分别仿真验证了定位方法的有效性、开放性和鲁棒性。

1) 仿真 A——有效性

仿真环境如图 3 所示,基站 BS1 和 BS2 位置坐标分别为 (0,0) 和 (0,1000),覆盖区域呈 120° 扇形,覆盖角度分别为 θ_1 和 θ_2 ,手机真实位置为 (395.7,515.7)。使用恰定方程组仿真本文定位方法的有效性,假设 BS1 的 TOA 测量服从高斯分布,其均值为 650 m,标准差为 100 m,AOA 测量服从 (45°,60°) 之间的均匀分布。仿真中使用的采样点个数为 1 000 点,遗传算法的种群规模为 300,总进化代数设为 100,交叉概率为 0.8,变异概率为 0.1。改进遗传算法的定位结果如图 4 所示,将遗传算法种群内的所有搜索结果进行平均得出最终的位置结果为 (418.1,533.3),定位误差的平均标准偏差为 28.5 m。

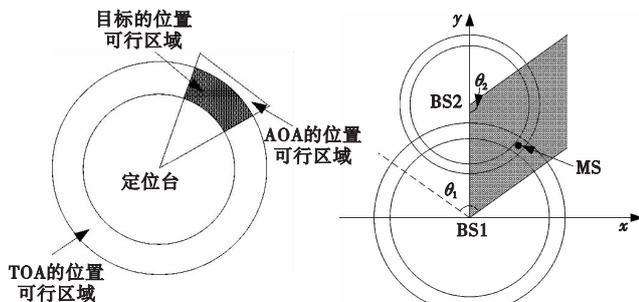


图2 融合定位方法原理示意

图3 融合定位仿真环境示意

2) 仿真 B——开放性

使用超定方程组仿真本文定位方法的开放性。在仿真 A 的基础上,假设 BS2 的 TOA 测量服从均值为 625 m、标准差为 100 m 的高斯分布。对比仿真 A,进行 10 000 次定位仿真,增添该测量信息后定位精度的提高如图 5 所示。

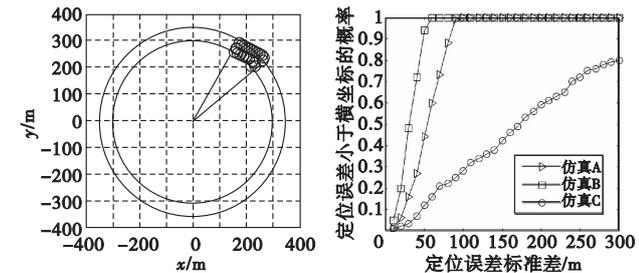


图4 TOA/AOA融合定位结果

图5 融合定位结果统计对比

3) 仿真 C——鲁棒性

使用欠定方程组仿真本文定位方法的鲁棒性。在仿真 A 的基础上,只使用 TOA 测量以及 BS1 和 BS2 的扇区朝向信息进行定位,定位结果和仿真 A 进行对比,进行 10 000 次定位仿真,定位结果的统计对比如图 5 所示。

4) 仿真分析

图 5 表示融合定位结果,横轴表示定位误差标准差,纵轴表示定位误差小于横坐标的概率。由图 5 可见,仿真 B 的结果好于仿真 A 的结果,仿真 C 的结果虽然最差,但仍然给出了具有一定精度的仿真结果。

本文方法将遗传算法的连续适应度改进为可以根据不同位置区域进行叠加的离散适应度,融合了尽可能多的定位信息量参于定位,在增强了方法鲁棒性的同时,提高了定位精度。传统定位算法的定位原理是封闭的,只能使用特定的定位参数;而所提方法的定位原理是开放式的,可以将不同的异质定位信息映射到相应的位置可行区域,增加了定位结果的信息量。由于实际无线环境复杂性和可测性的影响,传统定位算法不可避免地会遇到测量参数不足的情况,因为方法是“硬性”的,此时无法给出定位结果;而本文方法是“柔性”的,使用的定位信息较多,且完全没有任何定位信息量的概率很小,在测量参数不足或误差较大时,所提方法只是降低了移动台定位结果的精度,而不是无法给出定位结果。

4 结束语

本文提出了一种多参数融合定位方法,在定位参数不足时,保证定位算法给出移动台位置的定位结果;在定位参数冗余时,提高定位结果的精度。该定位方法将不同的异质定位信息统一到同一坐标系下的位置可行区域,为引入信息融合理论指导蜂窝网定位技术奠定了基础,也为进一步研究基于多传感器定位信息、GIS 地图信息、先验环境信息以及基站架设信息等新的蜂窝网定位技术创造了条件。

参考文献:

- [1] REED J H. An overview of the challenges and progress in meeting the E-911 requirement for location service [J]. IEEE Communications Magazine, 1998, 36(4): 30-37.
- [2] 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.
- [3] HAMMES U, WOLSZTYNSKI E, ZOUBIR A M. Robust tracking and geo location for wireless networks in NLOS environments [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2009, 3(5): 889-901.
- [4] ZHANG Li-qiang, CHENG Qiang, WANG Ying-ge. A novel distributed sensor positioning system using the dual of target tracking [J]. IEEE Trans on Computer, 2008, 57(2): 246-260.
- [5] MARAN S, GIFFORD W M, WYMEERSCH H. NLOS identification and mitigation for localization based on UWB experimental data [J]. IEEE Journal on Selected Areas in Communications, 2010, 28(7): 1026-1035.
- [6] HUERTA J M, VIDAL J, GIREMUS A, et al. Joint particle filter and UKF position tracking in severe non-line-of-sight situations [J]. IEEE Journal of Selected Topics in Signal Processing, 2009, 3(5): 874-888.
- [7] SUWANSANTISUK W, WIN M Z. Multipath aided rapid acquisition: optimal search strategies [J]. IEEE Trans on Information Theory, 2007, 53(1): 174-193.
- [8] HAMMES U, ZOUBIR A M. Robust mobile terminal tracking in NLOS environments based on data association [J]. IEEE Trans on Signal Processing, 2010, 58(11): 5874-5882.