

智能文化算法在移动台定位技术中的应用研究

乔梁

(广东金融学院 计算机系, 广东 广州 510520)

摘 要:非线性优化问题一直是无线定位技术研究的难点. 而文化算法作为一种新型的智能算法在解决非线性优化问题方面有其独特的优势. 针对定位系统和文化算法的特点, 提出一种将 Chan 算法与文化算法相结合的算法. 利用该算法解决 TDOA 定位估计中遇到的非线性最优化问题. 仿真结果表明: 该算法性能稳定, 与传统算法以及其他智能算法相比, 定位精确度较高, 收敛速度较快.

关键词:文化算法; TDOA 定位; chan 算法; 最大似然估计

中图分类号: TN929.5 **文献标志码:** A **文章编号:** 1007-2683(2012)01-0074-04

Application Research of Cultural Algorithms in Mobile Station Location Technology

QIAO Liang

(Department of Computer Guangdong University of Finance, Guangzhou 510520, China)

Abstract: Nonlinear optimization problem has been a difficult study existing among location technology. Culture algorithm as a new type of smart algorithm has its unique advantages to solve nonlinear optimization problem. According to the characteristic of the location system and the culture algorithm, an algorithm that combines Chan algorithm with culture algorithm is proposed to solve nonlinear optimization problems in TDOA-based location. The simulation results show that, compared with the traditional method and other intelligent algorithms, this algorithm has a more stable performance, higher location accuracy, and faster convergence.

Key words: culture algorithm; TDOA-based location; Chan algorithm; maximum likelihood estimation

0 引 言

随着移动通信技术的发展,移动用户数量迅猛增加,相应地对用户定位服务的需求也不断增加. 国外对于直接利用移动台进行定位与跟踪已研究多年. 1999 年美国联邦通信委员会(FCC)颁布了新的 E-911 法规,要求从 2001 年 10 月 1 日起必须对发出紧急呼叫的移动台提供定位精确度在 50m 内、准确率达到 67% 的位置服务. 政府的强制性要求和巨

大的市场利益驱动,进一步刺激和推动了移动台定位这一新技术的研究^[1-4].

采用信号到达时间差测量的方式,通过测量从发射机传到多个接收机的信号传播时间可以确定移动用户的位置. 但是求解移动终端位置的双曲线方程组中会遇到非线性问题. 求解非线性问题的主要算法有 FOY 提出的最基本的迭代估计算法,它具有简单、适用环境范围广等优点,但是这种算法需要迭代初值,如果初值选择不好会很容易导致算法不收敛^[5-8]. 文[5]提出了一种两步加权 LS 方法. 但是

这种方法由于引入了测量参数的平方项,当测量误差较大时,噪声的二次项不可忽视,其性能会恶化. 本文将 Chan 算法与文化算法相结合. 利用文化算法解空间搜索能力较强的特点,将其应用于定位过程中非线性方程的求解. 并通过实际仿真验证了其正确性及可行性.

1 定位系统 TDOA 数学模型的建立

到达时间差(time differences of arrival, TDOA) 定位方法是一种比较精确的信源定位方法. 它通过处理 3 个(或 3 个以上) 测量站测量到的信号到达时间数据对辐射源进行定位.

设 (x, y) 为移动台的待估计位置, (X_i, Y_i) 为第 i 个测量站的已知位置, 待测移动台和第 i 个测量站之间的距离为

$$R_i = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} \quad (1)$$

令 $R_{i,1}$ 表示移动台与测量站 i 和测量站 1(主测量站) 的测量距离差, $R_{i,1}^0$ 表示移动台与测量站 i 和测量站 1 的实际距离差, 则

$$R_{i,1} = cd_{i,1} = R_{i,1}^0 + cn_{i,1} = R_i - R_1 + cn_{i,1} = \sqrt{(X_i - x)^2 + (Y_i - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} + cn_{i,1} \quad i=2, \dots, M \quad (2)$$

其中: c 为电磁波的传播速度; $d_{i,1}$ 为 TDOA 测量值. 设 $n_{i,1}$ 表示测量时引入的独立同分布方差为 σ^2 的高斯白噪声. 记

$$R = [R_2, R_3, \dots, R_M]^T_{(M-1) \times 1} \quad R_1 = [R_1, R_1, \dots, R_1]^T_{(M-1) \times 1} \\ \Delta R = [R_{21}, R_{31}, \dots, R_{M1}]^T_{(M-1) \times 1} \quad n = [n_{21}, n_{31}, \dots, n_{M1}]^T_{(M-1) \times 1} \quad (3)$$

可得:

$$\Delta R = R - R_1 + cn = \begin{bmatrix} \sqrt{(X_2 - x)^2 + (Y_2 - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \\ \sqrt{(X_3 - x)^2 + (Y_3 - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \\ \vdots \\ \sqrt{(X_M - x)^2 + (Y_M - y)^2} - \sqrt{(X_1 - x)^2 + (Y_1 - y)^2} \end{bmatrix} + cn \quad (4)$$

由于 $R_{i,1}$ 服从均值为 $R_i - R_1$, 方差为 $c^2 \sigma^2$ 的高斯分布, 测量值互相独立, 所以似然函数为

$$\prod_{i=1}^{M-1} \left\{ \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \exp \left[-\frac{(\Delta R_i - R_i + R_1)^2}{2c^2 \sigma^2} \right] \right\} = \left(\frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma}} \right)^{M-1} \exp \left[-\frac{(\Delta R - R + R_1)^T (\Delta R - R + R_1)}{2c^2 \sigma^2} \right] \quad (5)$$

求使似然函数最大的坐标值, 相当于求

$$\{x, y\} = \arg \{ \min [(\Delta R - R + R_1)^T (\Delta R - R + R_1)] \} \quad (6)$$

从方程(6) 可以看出, 要解出坐标值, 要求非线性函数的最小值, 因此, 可以将 TDOA 定位坐标的最优估计问题转变为用文化算法在整个潜在解空间进行搜索, 从而最终确定移动台的待估计坐标值.

2 TDOA 定位算法的设计与实现

2.1 文化算法简介

文化被看作存储信息的载体, 这种信息在社会群体之间和群体内部广泛地传递, 并能被社会所有成员继承, 从而有效地指导成员的行为解决问题. 文化算法的提出是为进化计算系统中随时间增长不断累积经验的个体成分的进化建立模型. 图 1 说明了文化算法的基本框架.

如图 1 所示, 种群空间与信仰空间是两个相对独立的进化过程, 两个空间通过一组由接受函数 $\text{accept}()$ 和影响函数 $\text{influence}()$ 组成的通信协议联系在一起. 种群空间的个体在进化过程中, 形成个体经验, 通过 $\text{accept}()$ 函数将个体经验传递到信仰空间. 信仰空间将个体经验根据一定行为规则进行比较优化, 形成种群经验. 信仰空间根据现有的种群经验和新个体经验用 $\text{update}()$ 函数进行更新. 而 $\text{influence}()$ 函数能够利用信仰空间中待解决问题的经验知识来指导种群空间的进化, 以使种群空间得到更高的进化效率. 在一个文化体系中, 规范知识(normative knowledge) 和形势知识(situational knowledge) 被认为是最主要的. 规范知识为个体提供行为准则和指导原则, 而形势知识为个体提供学习榜样. 它们都可以为种群的进化提供指导信息. $\text{objective}()$ 函数是适应度函数, 用来评价种群空间中个体适应值的. $\text{generate}()$ 函数根据个体行为规则和父辈个体参数生成下一代个体, $\text{select}()$ 函数根据规则从新生成个体中选择一部分个体作为下代个体的父辈.

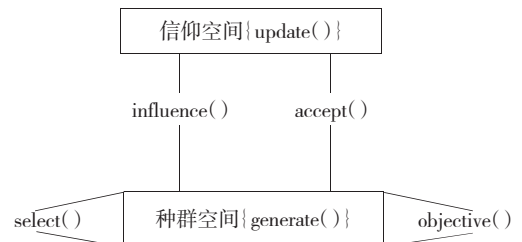


图 1 文化算法基本框架

2.2 文化算法实现过程及原理

文化算法具体实现过程如下:

第一步: 假设搜索半径为 r , 如果 Chan 算法搜索到的一个局部最优解为 (x_c, y_c) , 那么文化算法的搜索区间可以被确定为 $[x_c - r/4, x_c + r/4]$, $[y_c - r/4, y_c + r/4]$. 大量实验结果分析表明, 将种群数取为 40 比较合理, 同时采用实数编码方式来产生初始种群.

第二步: 根据 TDOA 模型, 适应度函数的表达式为

$$f(z_i) = \frac{1}{(\Delta R - R + R_1)^T (\Delta R - R + R_1) + z_i} \quad (7)$$

式中 Z_i 表示待求解的移动台坐标 (x, y) .

第三步: 信仰空间采用 $\langle S, N \rangle$ 结构对, 其中形势知识 $S = \{s_1^t, s_2^t, \dots, s_m^t\}$ 表示最优个体集合. 规范知识 $N = \langle X_1, \dots, X_n \rangle$ 表示每个变量的取值区间信息. s_i^t 表示第 t 代种群中第 i 个最优个体; m 为最优个体集合的规模; N 中的 X_i 表示为 $\langle l, L, U \rangle$; n 为变量数目. $I = [l, u] = \{x \mid l \leq x \leq u\}$, 下限 l 和上限 u 的初始化值是根据问题所给定的变量取值范围来确定的; L_j 和 U_j 分别表示变量 j 的下限 l 和上限 u 所对应的评价值, 均初始化为 $+\infty$.

第四步: 接受函数选取的能够直接影响当前信仰空间知识经验的优秀个体数目由下式确定.

$$n = p \cdot \text{popsize} + \left\lceil \frac{h(1-p) \cdot \text{popsize}}{a} \right\rceil \quad (8)$$

其中: a 为代数; $p=0.2$ 为根据需要而定的接受概率; $\text{popsize}=40$ 为种群中的个体数; h 为扩大倍数, $h=1$ 表示适应度函数值在最近的 a 代中变好或不变, $h=2$ 表示适应度函数值在最近的 a 代中结果变差.

这样选取的优秀个体的数目可以保证, 随着叠代次数的增加, 每代产生的适应值如果比前面的更好(或更差), 则选取优秀个体的数目将会自动减少(或增加); 如果产生的适应值不变, 则优秀个体的数目也保持不变.

第五步: 根据如下规则, 取当前最优个体 s^t 利用更新函数 $\text{update}()$ 对信仰空间中的形势知识 S 进行更新.

$$s^{t+1} = \begin{cases} X_{\text{best}}^t & f(X_{\text{best}}^t) < f(s^t) \\ s^t & \text{其他} \end{cases} \quad (9)$$

其中 x_{best}^t 表示第 t 代最优个体.

根据如下规则, 对规范知识进行更新:

$$l_i^{t+1} = \begin{cases} x_{j,i} & x_{j,i} \leq l_i^t \text{ 或 } f(x_j) < L_i^t \\ l_i^t & \text{其他} \end{cases}$$

$$L_i^{t+1} = \begin{cases} f(x_j) & x_{j,i} \leq l_i^t \text{ 或 } f(x_j) < L_i^t \\ L_i^t & \text{其他} \end{cases}$$

$$u_i^{t+1} = \begin{cases} x_{k,i} & x_{k,i} \geq u_i^t \text{ 或 } f(x_k) < U_i^t \\ u_i^t & \text{其他} \end{cases} \quad (10)$$

$$U_i^{t+1} = \begin{cases} f(x_k) & x_{k,i} \geq u_i^t \text{ 或 } f(x_k) < U_i^t \\ U_i^t & \text{其他} \end{cases}$$

式中: L_i^t 表示第 t 代变量 j 的下限 l_i^t 所对应的评价值; U_i^t 表示第 t 代变量 j 的上限 u_i^t 所对应的评价值.

第六步: 按照如下定义, 使用规范知识调整变量变化步长, 同时使用形势知识调整其前进方向.

$$x_{j,i}^{t+1} = \begin{cases} x_{j,i}^t + \text{size}(I_i) N(0,1) & x_{j,i}^t < s_i^t \\ x_{j,i}^t - \text{size}(I_i) N(0,1) & x_{j,i}^t > s_i^t \\ x_{j,i}^t + \text{size}(I_i) N(0,1) & x_{j,i}^t = s_i^t \end{cases}$$

式中: $N(0,1)$ 为随机数, 它服从标准正态分布; $\text{size}(I_i)$ 表示在信仰空间中规范知识指出的变量 i 可调整区间的长度.

第七步: 按照如下规则确定中止条件:

1) 若在连续 5 代之内最佳的适应度值变化小于 0.0001, 则算法终止. 2) 若条件 1) 不满足, 则算法执行到最大进化代数 60 时自动终止.

3 计算机仿真结果及分析

仿真场景设计: 假设有 5 个测量站, 其坐标分别为 $(0,0)$, $(3\sqrt{3},3)$, $(3\sqrt{3},-3)$, $(0,-5)$, $(-3\sqrt{3},-3)$; 源点坐标为 $(1,3)$, $c\sigma$ 单位为 km. 搜索半径为 4 km. 种群规模为 40, 接受概率 $p=0.2$. 最大迭代次数取 50 次. 独立运算 10 000 次. 评价指标为均方误差 MSE, 即 $E[(x-x_0)^2 + (y-y_0)^2]$. 图 2 为在不同背景噪声条件下 $(10\log(c\sigma)/\text{db})$, 文 [5] 中讨论的算法(记作算法 A)、文 [6] 中讨论的算法(记作算法 B)、文献 [7] 中讨论的算法(记作算法 C)和本文中讨论的文化算法(记作算法 D) 分别进行估计所得到的性能曲线.

从图 2 中可以看出, 与 A、B、C 3 种算法相比本文算法有比较好的定位效果. 在相同的条件下, D 算法的均方误差要明显地小于 A、B 两种算法的均方误差. 虽然 D 算法与 C 算法的定位精度大致相同, 但是在高噪声条件下 D 算法仍然略优于 C 算法. 产生以上现象的原因主要有两条, 一是在 D 算法中, 在采用 ML 法进行定位估计时没有做人为的近似, 所以不会像 A 算法那样, 在噪声变大的时候, 性能

会变得很差. 二是在 D 算法中, 在种群初始化过程中引入 Chan 算法进行初始解的计算, 同时引入了信仰空间对种群的进化进行指导, 因此避免了不良数据对定位估计的影响, 所以 D 算法的寻优能力要高于 B 算法和 C 算法.

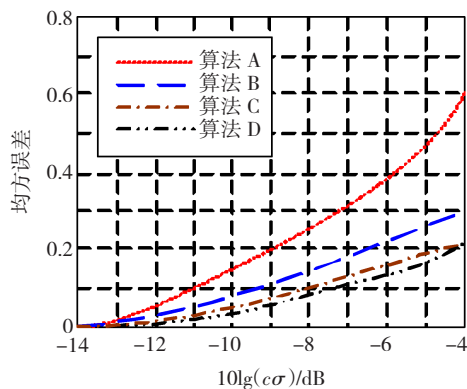


图 2 A、B、C、D 算法性能比较曲线

图 3 给出了 B、D 两种算法在 -4dB 条件下的均方误差和迭代次数的关系曲线. 从图中的曲线可以看出, 在求解位置坐标的过程中, 无论在收敛速度上还是在定位效果上, 与 Chan 算法相结合的文化算法 D 都要明显地优于算法 B. 虽然在仿真中最大迭代次数取 60 代, 但是在不到 20 代的时候, D 算法就得到了比较稳定的结果.

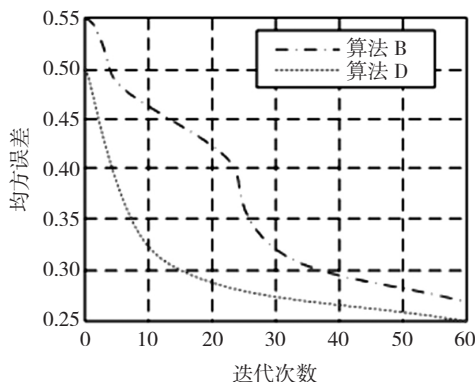


图 3 B、D 算法的收敛性能曲线

4 结 语

论文详细描述了移动台定位系统 TDOA 双曲线数学模型以及文化定位算法. 将一种全新的智能文化算法应用于移动用户无线定位之中. 仿真实验表明, 该算法表现稳定, 定位精确度高, 尤其是在噪声较大的情况下, 与其它方法相比具有更高的精度以及更快的收敛速度.

参 考 文 献:

- [1] FLEMMING B F, Improving Spectral Capacity and Wireless Network Coverage by Cognitive Radio Technology and Relay Nodes in Cellular Systems [J]. Wireless Pers Commun, 2008, 45: 355 - 368.
- [2] YASSER Albagory, MOAWAD Dessouky, HAMDY Sharshar. A Novel Wormy Cellular Structure for High Altitude Platforms Mobile Communications [J]. Wireless Pers Commun, 2008, 47: 161 - 169.
- [3] FOY W. Position/Location Solutions by Taylor Series Estimation [J]. IEEE Journal of Aerospace and Electronic Systems, 1976, 12(2): 187 - 194.
- [4] SCHAU H C. Passive Source Localization Employing Intersecting Spherical Surfaces from Time of Arrival Difference [J]. IEEE Trans. on Acoustics Speech and Signal Processing, 1987, 35(8): 1223 - 1230.
- [5] 李立春, 冉崇森, 魏峰. 利用改进遗传算法解决 TDOA 定位估计中的非线性优化问题 [J]. 系统工程电子技术, 2003, 25(8): 971 - 973.
- [6] 刘纯青. 蜂窝网无线定位新算法的研究与仿真 [D]. 哈尔滨: 哈尔滨工程大学: 信息与通信工程学院, 2005: 88 - 89.
- [7] REYNOLDS R G. An Introduction to Cultural Algorithms [C] // Proceedings of the Third Annual Conference on Evolutionary Programming, San Diego, California, February 24 - 26, 1994: 131 - 135.

(编辑: 温泽宇)