

基于自适应粒子群算法的目标定位方法研究

姚金杰, 韩 焱

(中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 山西 太原 030051)

摘 要: 针对现有定位求解算法复杂和标准粒子群算法易陷入局部最优的缺点, 提出了一种基于自适应粒子群算法的目标定位方法. 该方法在迭代过程中指数更新惯性权重, 择优选择粒子, 并根据种群适应度方差值自适应地调整变异概率的大小, 增强算法跳出局部最优的能力. 仿真结果表明该方法能有效地提高目标的定位精度, 在随机噪声干扰方差为 0.5 的条件下, 定位均方误差不超过 0.8 m.

关键词: 目标定位; 粒子群算法; 自适应变异; 时差测量

中图分类号: TP873; TP391.9

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)01-0088-04

Research on Target Localization Based on Adaptive Particle Swarm Optimization Algorithm

YAO Jin-jie, HAN Yan

(National Key Laboratory of Electronic Testing Technology, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A new method of target localization based on adaptive particle swarm optimization algorithm is proposed in view of the shortcoming of the existing localization algorithm and standard particle swarm optimizer algorithm, which has a complex calculation and is easy to be trapped in local optimum. The method has improved the inertia weight of the standard particle swarm optimizer algorithm, selected the particle swarm, and added adaptive mutation operation in iteration process to enhance its ability to break away from local optimum, which the mutation probability is adaptively adjusted by variance of the population's fitness. The simulation results indicate that it could carry on the localization effectively through adopting the adaptive particle swarm optimization algorithm, when the variance of random noise interference is 0.5, the localization RMSE is below 0.8 m.

Key words: target localization; particle swarm algorithm; adaptive mutation; time difference measurement

1 引言

时差定位是通过测量信号从目标到多个基站的时间差来确定目标的位置. 多个时差测量值构成双曲线方程组呈非线性, 现有的 Chan、Taylor 等求解算法推导复杂, 且要求已知参数过多, 不利于工程实现.

文献[1]提出了粒子群算法(PSO)是一种基于种群搜索策略的随机优化算法, 具有原理简单、参数少、收敛速度快、易于程序实现等特点, 但由于缺乏

局部区域精细搜索能力, 算法在搜索后期会出现收敛停滞现象. 针对此问题, 目前已提出改进惯性权重、变异粒子群^[2]等改进方法, 本文则提出了一种基于自适应粒子群算法的目标定位方法. 仿真结果表明, 算法性能稳定, 能得到较高的定位精度.

2 目标定位原理

假设四个监测基站以一定形状分布在三维空间中, 如图 1 所示.

$P(x, y, z)$ 为目标的待估计位置, $A_i(x_i, y_i, z_i)$

收稿日期: 2009-11-28; 修回日期: 2010-03-01

基金项目: 山西省研究生优秀创新项目(20093079); 电子测试技术国防科技重点实验室基金(9140C1204040908); 中北大学校青年科学基金项目(高精度无线电测距技术研究)

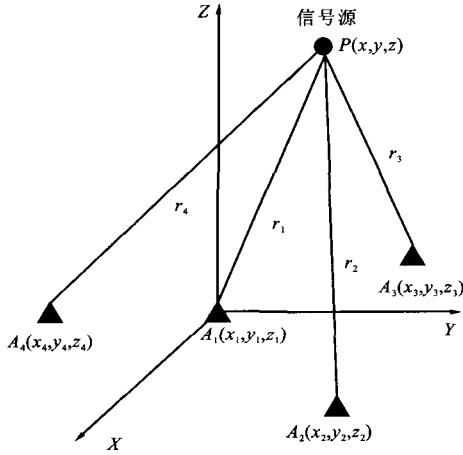


图1 目标定位示意图

为第 i 个监测基站的已知位置. 监测基站 A_i 到目标的距离为 r_i , $r_{i,1}^0$ 表示目标与监测基站 A_i ($i \neq 1$) 与监测基站 A_1 之间的距离差, 测量值记作 $r_{i,1}$ ^[3], 则

目标定位的数学模型为

$$\begin{cases} r_1^2 = (x - x_1)^2 + (y - y_1)^2 + (z - z_1)^2 \\ r_i^2 = (x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 \\ r_{i,1} = r_i - r_1 + cn_i = c\tau_{i,1} \end{cases} \quad (i = 2, 3, 4)$$

式中, c 为信号传播的速度; $\tau_{i,1}$ 是时差的测量值; $n_{i,1}$ 是测量时引入的噪声, 为独立分布的方差为 σ^2 的高斯白噪声^[4]. 上式表明进行目标定位就是求解该非线性方程组的解.

3 自适应粒子群优化算法

3.1 标准粒子群算法

设在一个 D 维的目标搜索空间中, 由 m 个粒子组成一个种群, 第 i 个粒子的位置用向量 $\mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{iD}]$ 表示, 飞行速度用 $\mathbf{v}_i = [v_{i1}, v_{i2}, \dots, v_{iD}]$ 表示, 第 i 个粒子搜索到的最优位置为 $\mathbf{p}_i = [p_{i1}, p_{i2}, \dots, p_{iD}]$, 整个粒子群迄今为止搜索到的最优位置表示为 $\mathbf{p}_g = [p_{g1}, p_{g2}, \dots, p_{gD}]$, 粒子根据以下公式来更新其速度和位置:

$$\mathbf{v}_i(n+1) = \omega \mathbf{v}_i(n) + c_1 r_1 (\mathbf{p}_i - \mathbf{x}_i(n)) + c_2 r_2 (\mathbf{p}_g - \mathbf{x}_i(n)) \quad (1)$$

$$\mathbf{x}_i(n+1) = \mathbf{x}_i(n) + \mathbf{v}_i(n) \quad (2)$$

式(1)与式(2)中, $i = 1, 2, \dots, m$, c_1, c_2 是学习因子, 为非负常数; r_1, r_2 是均匀分布在 $(0, 1)$ 区间的随机数; ω 为惯性权重. 粒子通过不断的学习更新, 最终找到的 $\mathbf{p}_g$ 就是全局最优的解, 即目标的位置. 粒子群算法的主要优点是收敛速度快, 便于工程实现, 特别是在算法的早期, 但算法后期存在搜索精度

较低, 易陷入局部最优等缺点^[5].

3.2 自适应粒子群算法

针对标准粒子群优化算法的不足, 本文主要从惯性权重更新、粒子选择和自适应变异三方面进行了改进:

(1) 惯性权重的改进

惯性权重 ω 描述了粒子上一代速度对当前速度的影响, 其取值大小决定了 PSO 的全局与局部寻优能力. ω 越大, 全局搜索能力越强, 局部搜索能力越弱, 反之, 则局部搜索能力增强, 而全局搜索能力减弱^[6]. 在空间目标定位中, 由于其数学模型为非线性方程组, 是难于优化的复杂函数, 因此, 提出了一个指数变化的惯性权重来平衡全局和局部搜索能力:

$$\omega = \omega_{\max} + (\omega_{\max} - \omega_{\min}) \times \exp\left(-20 \times \frac{t^6}{N_{\max}^6}\right) \quad (3)$$

式中, ω 为惯性权重, $\omega_{\max}$ 为最大惯性权重, $\omega_{\min}$ 为最小惯性权重, t 为迭代变量, $N_{\max}$ 为最大迭代次数.

(2) 粒子选择的优化

将自然选择机理应用于粒子的择优选择中, 其基本思想是每次迭代过程中将整个粒子群按适应值排序, 用群体中最好的一半粒子的速度和位置替换最差的一半粒子的位置和速度, 同时保留原来每个个体所记忆的历史最优值.

(3) 自适应变异操作

自适应变异操作的引入是为了在算法陷入局部最优时使各粒子朝新的方向搜索, 何时进行变异操作应该根据群体适应度方差来决定^[7], 即

$$p_m = (p_{\max} - p_{\min}) \left(\frac{\sigma^2}{N} \right) + (p_{\min} - p_{\max}) \left(\frac{2\sigma^2}{N} \right) + p_{\max} \quad (4)$$

式中, p_m 为群体全局极值的变异概率, σ^2 为群体适应度方差, $p_{\max}$ 为变异概率的最大值, $p_{\min}$ 为变异概率的最小值. 由式(4)可知, 当群体适应度方差值越小, 即各粒子越靠近时, 全局极值的变异概率越大; 反之, 当适应度方差值越大, 即群体还保持较高的多样性时, 全局极值的变异概率越小. 算法根据群体中粒子的位置状态自适应地调整变异操作, 达到跳出局部最优极值.

基于自适应粒子群算法的目标定位方法主要步骤如下:

Step1: 参数设置, 并随机初始化粒子群;

Step2: 评价各微粒的适应度, 将当前最优个体和全局最优个体分别存储在 $\mathbf{p}_{\text{Best}}$ 和 $\mathbf{g}_{\text{Best}}$ 中;

- Step3:计算惯性权重;
- Step4:更新粒子的速度和位移;
- Step5:适应值排序,用群体中最好的一半粒子替换最差的一半粒子的位置和速度;
- Step6:更新粒子个体极值和全局极值;
- Step7:计算群体适应度方差 σ^2 ;
- Step8:计算变异概率 p_m ;
- Step9:产生随机数 $r \in [0,1]$,如果 $r < p_m$,按式(5)进行变异;

$$g_{Best} = g_{Best} (1 + 0.5\eta) \tag{5}$$

式中, η 是服从 Gauss(0,1)分布的随机变量, g_{Best} 为全局最优个体,及目标位置.

- Step10:判断算法收敛准则是否满足,如果满足执行下步;否则转向 Step3;
- Step11:输出全局最优个体,运行结束.

4 计算机仿真及分析

在目标定位的计算机仿真中,四个接收基站以菱形分布,其中主站坐标为(0,0,0),辅站坐标为(-12 990,7 500,200),(0,15 000,150)和(12 900,7 500,100),目标理想运动轨迹为抛物线模型,如下式所示:

$$\begin{cases} x = x_0 + v_x t \\ y = y_0 + v_y t \\ z = z_0 + v_z t - 0.5gt^2 \end{cases} \tag{6}$$

式中, x_0, y_0, z_0 为起点坐标, v_x, v_y, v_z 分别为目标运动速度在三维方向上的分量, g 为重力加速度.加入的随机噪声干扰方差 $\sigma = 0.5$.

粒子群算法的参数选取如下:粒子更新速率为 $v_{max} = 1.8$,学习因子 c_1 和 c_2 为 2,最大加权因子 ω_{max} 为 0.9,最小加权因子 ω_{min} 为 0.4,粒子群的种群大小为 20,总的迭代次数为 300.

根据第 2 节中介绍的目标定位原理,利用自适应粒子群算法对获取的时差数据进行目标定位,结果如图 2 中预测轨迹所示.

从图 2 中可以看出,估计的目标运动曲线与理想运动曲线基本一致,对其进行均方误差分析结果如图 3 所示.

从图 3 中可以看出,在随机噪声干扰方差为 0.5 的条件下,提出的自适应 PSO 的定位均方误差 RMSE 在 0.8 m 以内.为了进一步分析该算法与标准 PSO、改进惯性权重 PSO 和变异 PSO 的差别,对其作平均适应度分析,结果如图 4 所示.

从图 4 可以看出,自适应 PSO 的收敛速度最

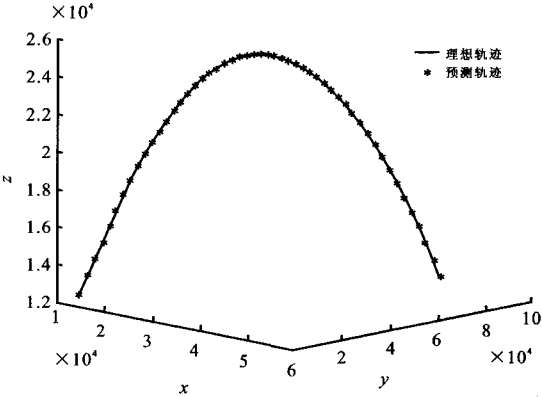


图 2 基于自适应粒子群算法的目标定位

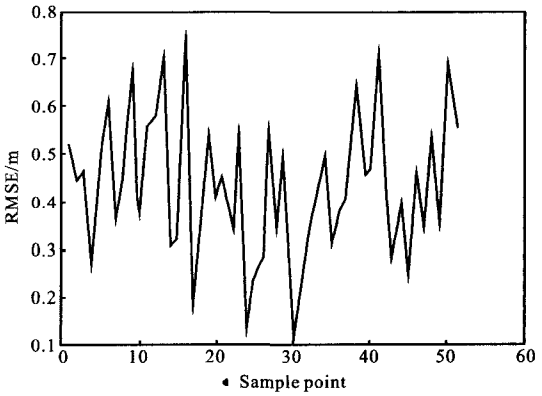


图 3 目标定位的均方误差 RMSE 曲线

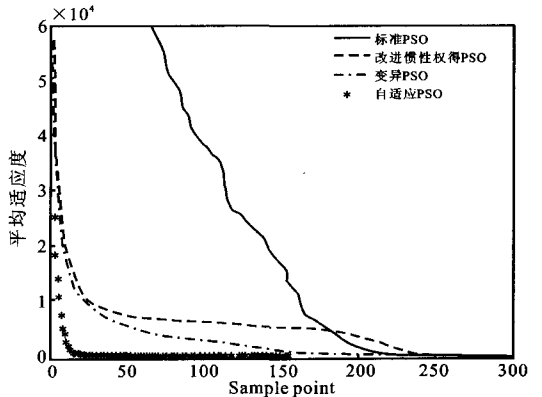


图 4 平均适应度随迭代次数变化关系曲线

快,变异 PSO 次之,改进权重 PSO 略慢于变异 PSO,标准 PSO 算法的收敛速度最慢.进一步从误差均值、误差方差、计算量方面进行比较分析,如表 1 所示.

表 1 目标定位求解算法指标比较

定位算法	误差均值	误差方差	计算量/s
标准 PSO	0.483 1	0.034 9	16.977 161
改进权重 PSO	0.465 9	0.027 1	17.915 667
变异 PSO	0.439 8	0.049 9	16.742 188
自适应 PSO	0.432 5	0.023 3	9.634 291

从表 1 可以看出,提出的自适应粒子群算法均方误差均值最小,方差最小,计算量比标准 PSO 减少近一半,整体性能更好,更容易在短时间内达到较高的定位精度。

5 结束语

采用自适应粒子群算法可以有效地解决空间目标的定位问题,且不容易陷入局部最优导致无法得到最优解。因此,利用自适应粒子群算法对空间目标进行定位,能有效地获取目标的空间位置。该方法对无线网络定位、移动通信定位等具有一定的应用价值。

参考文献:

- [1] 蔡昭权,黄翰. 自适应变异综合学习粒子群优化算法[J]. 计算机工程,2009,35(7):170—171.
- [2] 熊琴,李陶深. 一种基于遗传粒子群算法的选播路由算法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(9):75—77.

- [3] Yun Sukhyun, Lee Jaehun, Chung Wooyong, et al. A soft computing approach to localization in wireless sensor networks[J]. Expert Systems with Applications, 2009(36):7552—7561.
- [4] 唐勇,王兴春. 基于粒子群优化算法的空中目标定位[J]. 指挥控制与仿真,2007,29(4):31—32.
- [5] 孙向军,赵斯强,严宗睿. 基于粒子群优化的反潜搜索研究[J]. 微电子学与计算机,2008,25(10):91—93.
- [6] 刘伟,周育人. 一种改进惯性权重的 PSO 算法[J]. 计算机工程与应用,2009,45(7):46—48.
- [7] 李如琪,周媛媛. 自适应变异粒子群算法在输电网规划中的应用[J]. 广东电力,2008,21(12):18—22.

作者简介:

姚金杰 男,(1982—),博士研究生. 研究方向为多维信号处理、无线通信技术。

韩焱 男,(1957—),教授,博士生导师. 研究方向为电子信息工程,信号与信息处理等。

(上接第 87 页)

果信息服务,对于扩大广东测绘成果信息的应用范围,增强人们对测绘成果的认知和保护意识,促进测绘成果的信息化、网络化具有重要意义。

参考文献:

- [1] 湛永松,卢兆明,袁国杰. 基于 WebGIS 的分布式城市应急决策支持模型[J]. 微电子学与计算机,2008,25(10):51—53.
- [2] 张少柏,王志坚,徐碧云. 基于 J2EE 和 ArcIMS 的分布式 WebGIS 研究与应用[J]. 微电子学与计算机,2005,22(2):139—147.
- [3] 黎华,王重华,张勇. 基于 J2EE 和 ArcGIS 平台的 Web-GIS 的设计与实现[J]. 计算机工程与设计,2006,27(6):966—969.

- [4] 孙钊,陈君帆. 基于 GIS 的旱作节水农业项目管理系统设计与实现[J]. 微电子学与计算机,2005,22(2):117—120,123.
- [5] 贺奋琴,何政伟,尹建忠. 基于 ArcGIS 的土地资源信息系统的设计与实现[J]. 云南大学学报:自然科学版,2003,25(4):340—343.

作者简介:

陈云华 女,(1977—),博士研究生,讲师. 研究方向为智能与软计算。

曾碧 女,(1963—),教授. 研究方向为人工智能与机器视觉。

曾洪周 男,(1976—),硕士,高级工程师. 研究方向为地理信息系统。