

基于改进粒子群算法的新一代 GPS 平面度误差评定

喻 晓, 黄美发, 夏 澎

(桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 为了在全局范围准确评价平面度误差, 根据新一代 GPS 标准, 建立了符合最小区域条件的平面度评定的数学模型. 针对平面度误差评定的特点, 提出了一种基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法对平面度测量数据进行最小区域评定, 给出了该算法的实现方法. 实例结果表明, 此方法可以在新一代 GPS 标准下有效、准确地评价平面度误差.

关键词: 新一代 GPS; 粒子群优化算法; 平面度; 评定; 交叉因子

中图分类号: TH124

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)04-0050-04

Flatness Error Evaluation of the New Generation of GPS Based on an Improved Particle Swarm Optimization

YU Xiao, HUANG Mei-fa, XIA Peng

(School of Machinetrone Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Based on the new generation of GPS, a minimum zone mathematical model for flatness error evaluation was given. According to the characteristics of flatness error evaluation, an improved Particle Swarm Optimization (PSO) based on genetic hybrid gene is proposed to evaluate the mathematical model. Finally an example verifies the feasibility and availability of the method.

Key words: the new generation of GPS; Particle Swarm Optimization (PSO); flatness; evaluation; hybrid genes

1 引言

随着信息技术和网络技术的发展, 及新兴设计、制造技术的出现, 现行的以几何学为基础的第一代产品几何技术规范由于在误差评定模型、数据采集方法等方面存在经验性、随意性等缺点, 已经不能完全适应现代制造业对误差评定的要求. 近年来, 随着以计量学为基础的新一代产品几何技术规范 (Geometrical Product Specification and Verification, GPS) 系列标准的出现, 对形状误差的规范评定提出了新要求.

在形状误差的几种要素中, 平面不仅是组成零件的重要几何要素, 而且还常作为测量的基准面. 平面度误差的大小对产品的质量、使用寿命有着至关重要的影响. 同时, 在平面度误差的评定问题上, 由

于其本质上属于非线性问题, 对其进行评定的算法目前仍然存在问题且在不断的改进之中. 因此, 文中以平面度为例, 依据新一代 GPS 形状误差规范认证标准, 应用一种基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法对平面度测量数据进行最小区域评定. 该算法借鉴了遗传算法中的选择交叉操作, 通过交叉增加粒子多样性, 充分利用群体粒子的优良特性, 跳出局部最优的同时也加快了收敛速度. 实例验证结果表明, 文中方法可以在新一代 GPS 标准下有效、准确地评定平面度误差.

2 基于新一代 GPS 标准的平面度误差评定数学模型

在新一代 GPS 标准体系中, 为了清晰定义几何

收稿日期: 2009-03-16; 修回日期: 2009-05-16

基金项目: 国家自然科学基金项目 (50865003); 广西科学基金项目 (桂科自 0640166)

产品的规范和检验,提出了操作的概念.操作是新一代GPS中为获得几何要素的特征值及特征的几何变动范围(极限值)基本数学工具.操作共有七种:分离、提取、滤波、拟合、集成、构造和评估^[1].其中,拟合操作对形状误差评定的数学模型做出了新的规定.

拟合,即依据特定准则用理想要素逼近非理想要素,其实质是一个目标约束优化的过程.不同的拟合目标分别有不同的拟合目标函数.在新一代GPS中,定义了基于计量数学的各种拟合目标函数,且用 L_p 范数定义了最小二乘、最小区域、单边切比雪夫目标函数的统一数学模型^[1]. L_p 范数的定义为

$$L_p - \text{norm} = \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |r_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \right]_{n \rightarrow \infty} \quad (1)$$

式中, i 为非理想要素上特定点的序号; p 为函数的级数; n 为所采用的非理想要素点的个数; r_i 为对应于从非理想要素到所拟合的理想要素的距离的余量.

最小区域法目标函数的定义是使余量绝对值中的最大值为最小,令式(1)中的 $p = \infty$,即

$$\min(L_\infty - \text{norm}) =$$

$$\min \left\{ \left[\frac{1}{n} \left(\sum_{i=1}^n |r_i|^p \right)^{\frac{1}{p}} \right]_{n \rightarrow \infty, p \rightarrow \infty} \right\} \quad (2)$$

在平面度拟合操作中,由于平面度误差是单一实际平面所允许的变动全量.因此,按最小区域法评定的平面度误差的关键是寻求某一平面,计算被测轮廓上各测量点 $P_i(x_i, y_i, z_i)$ ($i = 1, 2, \dots, n$)到此平面的距离,令各距离中的最大最小值之差为最小,则此距离差即为平面度误差值,如图1所示.

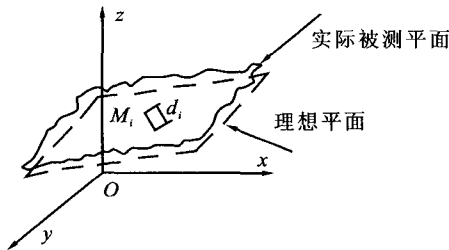


图1 平面度误差评价

设理想平面方程为

$$z = ax + by + c \quad (3)$$

则第 i 个点 (x_i, y_i, z_i) 到此平面的距离为

$$d_i = \frac{ax_i + by_i + c - z_i}{\sqrt{a^2 + b^2 + 1}} \quad (4)$$

平面度误差的最小区域目标函数即为

$$f(a, b, c) = \min[\max(d_i) - \min(d_i)] \quad (5)$$

需要说明的是,当 c 取不同的值时,平面方程即为互相平行的平面族,由于与理想包容平面平行的任一平面都可用来评定平面度误差,因此 c 可取任意值.

3 基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法

3.1 基本粒子群算法

粒子群优化算法(Particle Swarm Optimization, PSO)是由Kennedy和Eberhart于1995年提出的一种基于群体智能理论的全局优化方法,通过群体中粒子间的合作与竞争产生的群体智能指导优化搜索^[2].研究和实践表明,PSO在多维空间函数寻优、动态目标寻优等方面有着收敛速度快、非劣解质量高、鲁棒性好等优点,特别适合工程应用.但同时,PSO也存在早熟收敛、搜索精度不高、后期迭代效率不高^[3]的缺点.

在基本粒子群算法中,每个优化问题被看作是搜索空间中的一个没有体积没有质量的飞行的粒子,所有的粒子都有一个被优化的目标函数决定的适应度值(fitness value),每个粒子还有一个速度决定他们飞行的方向和距离.PSO算法初始化为一群随机粒子,然后粒子们根据对个体和群体的飞行经验的综合分析来动态调整自己的速度,在解空间中进行搜索,通过迭代找到最优解.粒子在每一次迭代中通过跟踪两个“极值”来更新自己:一个是粒子自身目前找到的最优解,即个体极值pbest;另一个是全局极值gbest;即整个种群目前找到的最优解^[1].找到这两个最优解后,粒子根据如下的公式来更新自己的速度和新的位置:

$$v_{ij}^{k+1} = v_{ij}^k + c_1 * r_1 * (pbest_{ij}^k - x_{ij}^k) + c_2 * r_2 * (gbest_j^k - x_{ij}^k) \quad (6)$$

$$x_{ij}^{k+1} = x_{ij}^k + v_{ij}^{k+1} \quad (7)$$

式中,下标 i 代表第 i 个粒子,下标 j 代表速度(或位置)的第 j 维,上标 k 代表迭代代数,如 v_{ij}^k 和 x_{ij}^k 分别是第 i 粒子(P_i)在第 k 次迭代中第 j 维的速度和位置,两者均被限制在一定的范围内; c_1 和 c_2 是学习因子,通常 $c_1, c_2 \in [0, 4]$; r_1 和 r_2 是介于 $[0, 1]$ 之间的随机数;pbest_{ij}^k是粒子 P_i 在第 j 维的个体极值的坐标;gbest_j^k是群体在第 j 维的全局极值的坐标.式(6)和式(7)组成了基本PSO算法公式.

3.2 基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法

基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法

(GHP SO)借鉴了遗传算法中的组合交叉和变异思想,通过采用交叉因子产生出代表新的解集的种群.其交叉方法如下:每一次迭代中,取排序后适应度好的前半粒子直接进入下一代,后半粒子放入粒子选择池中两两配对,产生一个随机交叉位置进行遗传选择和交叉操作,生成和父代同样数目的子代后再和父代做比较,选择适应度好的一半进入下一代,以保持种群的粒子数目不变.这样通过交叉既可以增加粒子多样性,跳出局部最优,还可以加快收敛速度^[4].

该算法具体实现步骤如下:

(1) 初始化粒子群:初始化每个粒子的随机位置和速度,设定粒子的规模为 n ;

(2) 计算适应度值:计算每个粒子的个体适应度值,将第 i 个粒子的当前位置设置为 $pbest$,根据各个粒子的个体极值找出初始种群的最佳位置设置为 $gbest$;

(3) 根据式(1)、式(2)更新每个粒子的速度和位置;

(4) 适应度值排序及交叉:根据每一个粒子的当前位置计算其适应度值,并进行排序;排序后适应度好的前面一半粒子直接进入下一代,后半粒子放入粒子选择池中两两配对,随机产生一个交叉位置,进行和遗传选择和交叉操作,产生相同数目的子代;

(5) 更新适应度值:计算子代的适应度值,与父代的作比较,保留子代与父代的粒子中适应度值好的 $n/2$ 个粒子进入下一代,以保持种群数目不变;

(6) 评估适应度值:如果新粒子的当前适应度值优于其本身经历过的最佳位置 $pbest$,则将其当前位置设为其新的最佳位置;对整个种群中的每个粒子,将其适应度值与全局经历过的最佳位置 $gbest$ 作比较,如果其适应度值优于整个种群的历史最佳位置,就用整个微粒群中适应度值最好的个体作为新的整体最佳位置;

(7) 检查终止条件,判断算法是否达到最大迭代次数或达到最好适应度值.如果达到,则算法结束;否则,跳转返回(3)^[4-6].

4 实例验证与结果讨论

文中使用文献[7]中给出的五组平面度误差的测量数据按照之前提出的数学模型和优化算法进行计算分析,所有数据均采用带有 PC-DMIS 软件的 Brown & Sharpe 坐标测量机测量得到.根据平面度

误差的特性,本文设置算法的基本参数如下:

(1) 粒子规模数 n :一般取 20~40,文中取 $n=20$;

(2) 粒子维数 D :由目标优化函数的自变量个数决定,文中取 $D=3$;

(3) 粒子范围:根据测点的分布范围确定;

(4) 最大速度 v_{max} :由于平面度的误差较小,设 $v_{max}=0.02$;

(5) 最大迭代次数:设为 500 次;

(6) 终止条件:循环达到终止迭代次数或最优度值连续迭代 50 次,计算结果差值小于 0.0000001.

文献[7]分别应用最小二乘法(LSM)、优化方法(OTZ)和线性逼近技术(LAT)对这五组数据数据进行了计算;文献[8]和文献[9]则分别应用了遗传算法(GAM)和基本粒子群算法(PSO)对这些数据进行计算分析.为便于分析比较,将文献[7-8]采用的英寸单位换算成了微米单位.需要说明的是,文献[7]给出实例 1 的计算结果为 $5.08\mu m$,经验算此值有误,文献[8]和文献[9]给出的计算值分别为 $12.01\mu m$ 和 $11.73\mu m$.除了文献[7]中实例 3 的计算结果由于舍入误差计算偏差稍大,其他几组数据用本文提出的数学模型应用基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法(GHP SO)进行计算后均得到了较好的结果.表 1 为以上各算法的计算结果比较.图 2 为计算其中一组数据时 GHP SO 算法的粒子适应度收敛曲线,由图中可以看出,其收敛速度非常快,且收敛过程也比较稳定.

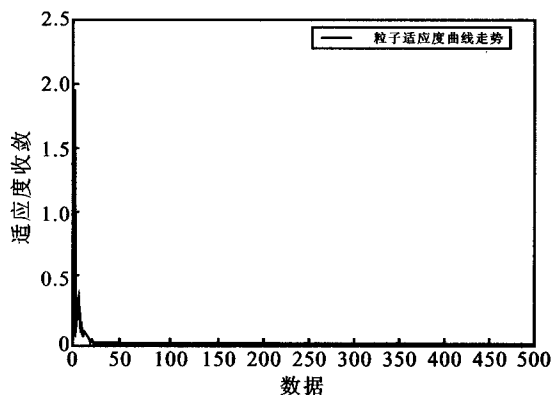


图 2 GHP SO 算法的粒子适应度收敛曲线图

5 结束语

文中根据新一代 GPS 对形状误差的规范评定要求给出了平面度误差评定的数学模型,并将一种基于遗传交叉因子的改进粒子群优化算法应用于平

表 1 GHPSO 算法与其他算法计算结果的比较

单位:μm

算法	第一组数据	第二组数据	第三组数据	第四组数据	第五组数据
LSM ^[7]	5.08	71.12	5.08	83.82	66.04
OTZ ^[7]	5.08	68.58	5.08	81.28	63.50
LAT ^[7]	5.08	68.58	5.08	81.28	63.50
GAM ^[8]	12.01	67.26	5.26	82.12	63.27
PSO ^[9]	11.73	66.44	5.33	81.56	62.76
<i>f</i>	11.63	66.37	5.26	81.33	62.75
GHPSO <i>a</i>	-23.59	-27.46	-31.22	-13.25	92.92
<i>b</i>	-35.39	-59.86	-34.33	-30.08	-64.03

面度误差评定,得到了较好的效果.该改进粒子群算法原理较简单,且计算效率高,相比其他几种全局收敛算法可以更有效、准确地评定平面度误差.同时,将平面度误差的目标函数稍加改变,即可方便地应用于其他形位误差的评定.因此,该方法作为一种误差评定方法,对新一代 GPS 关于规范评定的实际应用具有一定的参考价值.

参考文献:

[1] 蒋向前.新一代 GPS 标准理论与应用[M].北京:高等教育出版社,2007:31-36.
[2] Eberhart R C ,Kennedy J. A new optimizer using particle swarm theory[C]//Proc. of the 6th Int’l Symp. on Micro Machine and Human Science. Nagoya, Japan:1995:39-43.
[3] 胡宏梅,董恩清.基于粒子群算法的码书设计研究[J].微电子学与计算机,2009,26(1):97-100.
[4] 张敏慧.改进的粒子群计算智能算法及其多目标优化的

应用研究[D].杭州:浙江大学,2005.

[5] 吕振肃,候志荣.自适应变异的粒子群优化算法[J].电子学报,2004,33(3):416-419.
[6] 张雯,杨春明,罗雪春.改进的粒子群优化算法[J].微电子学与计算机,2007,24(2):70-72.
[7] Weber T, Motavalli S, Fallahi B, et al. A unified approach to form error evaluation[J]. Precision Engineering, 2002,26(3):269-278.
[8] Cui Changcai, Li Bing, Huang Fugui, et al. Genetic algorithm based form error evaluation[J]. Measurement Science and Technology, 2007,18(7):1818-1824.
[9] 崔长彩,张耕培,傅师伟,等.利用粒子群优化算法的平面度误差评定[J].华侨大学学报,2008,29(4):507-509.

作者简介:

喻晓女,硕士研究生.研究方向为新一代 GPS 关键技术.
黄美发男,博士,教授.研究方向为新一代 GPS 关键技术.

(上接第 49 页)

[5] Johns D A, Martin K. Analog integrated circuit design[M]. New York: John Wiley & Sons, Inc., 1997.
[6] Yin G M, Eynde F O, Sansen W. A high speed CMOS comparator with 8-b resolution[J]. IEEE J. Solid-State Circuits, 1992,27(2):208-211.

作者简介:

李天望男,(1968-),博士,IEEE 会员.研究方向为数模混合电路和射频电路设计.
叶波男,(1971-),博士,IEEE 会员.研究方向为集成电路系统设计.
江金光男,(1969-),博士,博士生导师.研究方向为射频与数模混合集成电路设计.