

文章编号 1004-924X(2002)01-0036-05

基于实数编码遗传算法的平面度评定

崔长彩,车仁生,罗小川,叶东

(哈尔滨工业大学 自动化测试与控制系,黑龙江 哈尔滨 150001)

摘要:将基于实数编码的遗传算法应用于平面度的评定。根据尺寸和公差的数学定义,建立完全符合最小区域条件的平面度评定的数学模型,并在此基础上给出遗传算法的适应度函数。随后详细地介绍了算法的实现步骤,在基于实数编码的基础上,遗传选择操作采用一种正比选择策略——转轮法,遗传交叉操作采用简单算术交叉法,而遗传变异操作是随机均匀实数变异操作。最后对文献[5]的实验数据进行了评定,仿真结果表明该算法不仅合理,而且效率高、精度高,优于其它算法。

关键词:平面度测量;实数编码;遗传算法

中图分类号: TG806 **文献标识码:** A

1 引言

由于新技术、新工艺和新型仪器的出现,尤其是自动化技术、智能化技术以及网络化技术的日益普及和完善,传统测试仪器在一些领域已经显得力不从心了。坐标测量机作为一种高精度的测试仪器适应了时代的要求,在先进制造技术和科学研究中具有极广泛的应用。它通过对被测对象进行采样获得一定数量的点,然后由软件按一定评定准则,计算被测对象的几何参数。随着数值计算算法的发展,从评定准则上看,测量机软件已经从目前多数测量机只有按照最小二乘法进行评定的软件,向同时具有按照最小二乘法、最小区域等准则进行评定的软件发展^[1,12]。因此对数据处理和优化算法的研究始终是测试领域中一个重要的问题。近年来人工智能技术获得长足的发展,在各个领域获得成功的应用^[2-4]。形位误差的进化算法,将人工智能应用于工程检测领域,不仅解决了传统优化处理算法存在的不足,又适应了新要求^[5]。遗传算法与工程应用的结合充分体现了遗传算法的特点:遗传算法运算的是解集的编码,而不是解集本身;遗传算法的搜索始于解的一个种群,而不是单个解;遗传算法只是用报

酬信息(适值函数),而不使用导数或其他辅助信息;遗传算法采用概率的,而不是确定的状态转移规则^[6]。但是,文献[5]在算法的实现和比对过程中又存在不足,主要体现在染色体个体的编码方式上。

本文提出一个改进的算法,基于实数编码遗传算法的平面度评定方法。首先给出评定的数学模型和评价的适应值函数,接着给出具体的实现步骤,然后应用实例进行了仿真和结果对比,最后在分析仿真结果的基础上给出结论。

2 平面度评价模型和适应度函数的确定

根据尺寸和公差原理的数学定义^[7],平面度公差是包含实际被测要素的两个平行平面之间的距离,平面度公差带可用公式表示为:

$$|T \cdot (P - A)| \leq \frac{t}{2}, \quad (1)$$

其中,

T = 定义平面度的两个平行平面的方向向量

P = 所有测量点

A = 平面度公差带中平面的位置向量

t = 平面度公差(两平行平面之间的距离)

收稿日期:2001-03-23;修订日期:2001-08-06

基金项目:国家自然科学基金资助项目(No. 5975025)

如果两个平行平面表示为 Π_1 和 Π_2 ,公差带中平面表示为 Π ,则平面度公差带如图 1 所示。

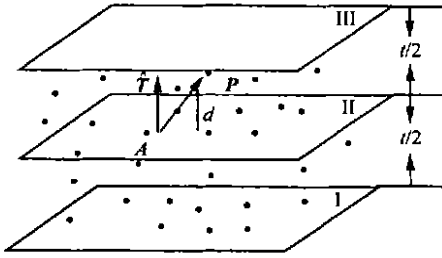


图 1 平面公差带定义

Fig. 1 Definition of flatness zone.

根据平面度定义和公式(1),平面度评价就是寻求一个平面使得各个测量点 $P(x, y, z)$ 到该平面的最大距离为最小,从而判断该距离是否满足规定的公差值。设平面的方程为: $z = Mx + Ny + G$,则第 i 个点 (x_i, y_i, z_i) 的距离 d_i 可表示为:

$$d_i = \frac{|Mx_i + Ny_i - z_i + G|}{\sqrt{M^2 + N^2 + 1}}, \quad (2)$$

$$d_{ji} = \frac{|(M_0 + \nabla m_j^t)x_i + (N_0 + \nabla n_j^t)y_i - z_i + (G_0 + \nabla g_j^t)|}{\sqrt{(M_0 + \nabla m_j^t)^2 + (N_0 + \nabla n_j^t)^2 + 1}} = d_{ji}(\tilde{M}, \bar{N}, \bar{G}), \quad (3)$$

而定义目标函数为: $\text{object}(\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t) = \min \max d_{ji}(\tilde{M}, \bar{N}, \bar{G})$

适应值函数为:

$$\text{fitness}(\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t) = \text{object}(\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)^{-1}, \quad (4)$$

3 遗传算法的实现步骤^[6-8]

(1) 基因表达:采用实数编码形式,每个基因对应一个变量。二进制形式,即采用 0 和 1 编码方式是最初的编码方式,也是常被采用的方式。但是在尺寸和公差评定这一类问题中,问题解是实数,是连续域里的优化问题,如果采用二进制编码,不仅繁琐而且在进制转化过程中必然存在精度损失,而采用实数编码,不仅在形式是更接近自然形式,即基因型(编码)与表现型(搜索空间)相同,而且简化计算,从而使算法高效、高精度^[9-10]。由问题的各个变量组成解向量作为一个染色体 $v_i = (\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)$ 。

(2) 初始化种群:设种群大小为 POP - SIZE,

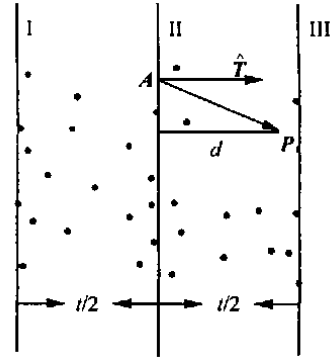


图 2 平面公差带侧视图

Fig. 2 Side view of flatness zone.

平面度评定问题转化为,寻找使 $\max d_i \min$ 的平面参数 (M, N, G) ,并判断 $\min \max d_i \leq t/2$ 是否成立。设参数初值为 (M_0, N_0, G_0) ,参数变量为 $(\nabla m, \nabla n, \nabla g)$ 并把它作为优化变量,则遗传进化过程中第 t 世代的第 i 个个体(染色体)可表示为 $(\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)$,这里采用一个基因对应一个参数变量的形式(见 3(1))。从而根据公式(2)的另一种表示形式为:

在区间 $(-k_j, k_j)$ (j 是基因数,这里 $j = 1, 2, 3$) 中随机选择 POP - SIZE 个染色体 $v_i (i = 1, 2, 3, \dots, \text{POP - SIZE})$ 的各个基因值。 k_j 是根据具体问题确定的值。

(3) 评价染色体:参数初值 (M_0, N_0, G_0) 根据最小二乘法确定。由公式(4)适应度函数来评价各染色体的优劣。如果不满足要求,进行以下遗传操作。

(4) 选择:采用转轮法,它是一种正比选择策略,能够根据与适值成正比的概率选出新的种群。转轮法由以下 4 步构成:

对各个染色体 v_k 计算适值 $\text{eval}(v_k)$: $\text{eval}(v_k) = \text{fitness}(\nabla m_k^t, \nabla n_k^t, \nabla g_k^t); k = 1, 2, \dots, \text{POP - SIZE}$

计算种群中所有染色体的适值和: $F = \sum_{k=1}^{\text{POP - SIZE}} \text{eval}(v_k)$

对各染色体 v_k , 计算选择概率 p_k : $p_k = \text{eval}(v_k) / F; k = 1, 2, \dots, \text{POP - SIZE}$

对各染色体 v_k , 计算累积概率 q_k : $q_k = \sum_{i=1}^k p_i$

$p_i; k = 1, 2, \dots, \text{POP-SIZE}$

选择过程就是旋转转轮 POP-SIZE 次,每次选出一个染色体来构造新的种群。

(5)交叉:采用算术交叉法。随机地选择两个染色体 v_i 和 v_j 进行交叉,设 $v_i = (\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)$, $v_j = (\nabla m_j^t, \nabla n_j^t, \nabla g_j^t)$ ($i, j = 1, 2, \dots, \text{POP-SIZE}$),再随机地选择交叉的基因,设 ∇g_i^t 和 ∇g_j^t 交叉,则生成的新染色体可表示为: $v_i = (\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)$, $v_j = (\nabla m_j^t, \nabla n_j^t, \nabla g_j^t)$ 。

其中,

$$\nabla g_i^t = r \nabla g_i^t + (1 - r) \nabla g_j^t$$

$$\nabla g_j^t = (1 - r) \nabla g_i^t + r \nabla g_j^t$$

(6)变异:变异以等于变异率的概率改变一个或几个基因。在采用二进制时,是根据所确定的变异概率和变异方法,对每个个体选择遗传子座值用与其相对立的遗传因子加以替代,而在本文

中由于采用实数编码,拟采用新的随机数替换要参加变异的遗传因子。若设 v_i 的其中一个基因 ∇n_i^t 被选来变异,在区间 $(-k, k)$ 随机生成一个数 ∇n_i^t 。替换原来的基因 ∇n_i^t 。则 $v_i = (\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)$ 变为 $v_i = (\nabla m_i^t, \nabla n_i^t, \nabla g_i^t)$ 。

(7)评价新种群:根据公式(4),计算每个染色体的适应度值,判断是否满足要求,如果满足则终止,否则重复步骤(4) - (6),直到满足要求。

4 实例仿真和结果分析

仍然采用文献[11]中的数据对所提算法进行仿真。如表 1 所示,测量点沿 X 轴和 Y 轴每隔 10cm 均匀分布,其中 X 轴 10 个测点, Y 轴 7 个测点,整个平面共 70 个测点。评定算法运行条件如下:种群由 30 个个体组成,采用实数编码机制;交叉率为 0.06,变异率为 0.65;且终止条件为最大世代 100。

表 1 平面度误差原始测量数据

Table 1 Original measurement data of flatness error

(unit: μm)

Data of y-axis	Data of x-axis									
	0	1	20	30	40	50	60	70	80	90
0	10.71	4.30	- 2.69	- 8.67	- 13.63	- 18.26	- 22.04	- 25.43	- 28.58	- 31.71
10	8.81	1.90	- 5.000	- 11.01	- 16.19	- 20.70	- 24.50	- 28.11	- 30.99	- 33.68
20	6.31	- 0.82	- 7.77	- 14.03	- 19.10	- 23.86	- 27.90	- 31.66	- 34.67	- 37.13
30	4.01	- 3.17	- 10.22	- 16.65	- 21.86	- 26.55	- 30.64	- 34.52	- 37.59	- 39.62
40	1.91	- 5.24	- 12.29	- 18.53	- 24.09	- 28.91	- 33.22	- 37.05	- 39.99	- 41.96
50	0.80	- 6.65	- 13.93	- 20.56	- 26.03	- 31.11	- 35.53	- 39.16	- 41.96	- 43.41
60	0.00	- 7.38	- 14.66	- 21.10	- 26.53	- 31.42	- 35.87	- 39.24	- 42.08	- 43.93

根据文献[5],用最小二乘法对该平面的平面度误差进行评定,所得平面度误差是 $9.21\mu\text{m}$,而该文献给出的平面度误差是 $8.76\mu\text{m}$ 。应用本文提出的优化算法得到一组平面方程系数: $M = -0.4877$, $N = -0.2126$, $G = 8.3320$,所得到的平面度误差是 $7.81\mu\text{m}$,比前两种方法得到的值都要小。图 3 和图 4 给出采用最小二乘法与原始数据的比对。图 5 和图 6 给出采用文中的改进算法与最小二乘法和原始数据的比对。

5 结 论

根据实例仿真和精度比对,文中提出的基于实数编码的遗传算法能够解决平面度误差评定这

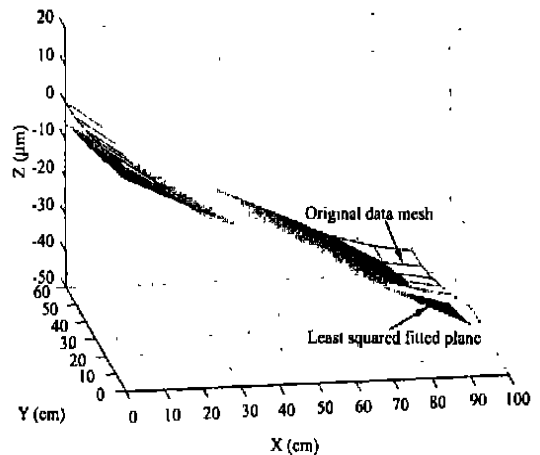


图 3 最小二乘拟合平面与原始数据的比对

Fig. 3 Comparison of the least squared fitted plane with the original data.

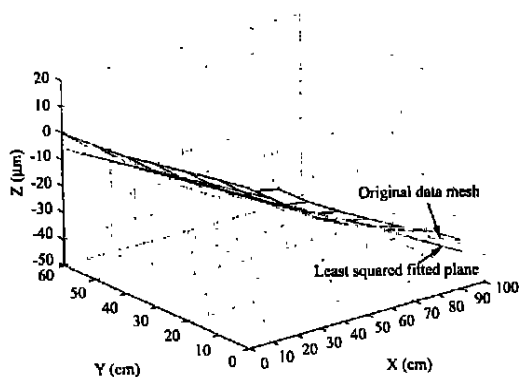


图 4 沿平行于拟合平面方向的视图

Fig. 4 Side view of figure 3 along the direction parallel to the fitted plane.

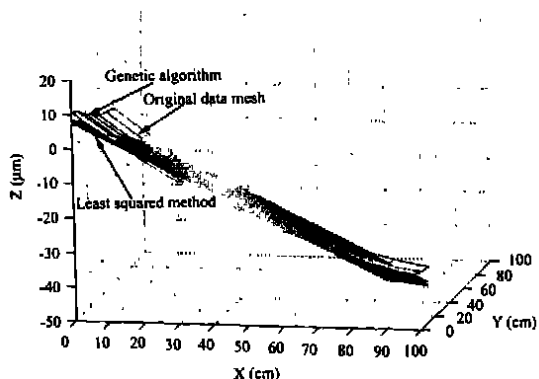


图 5 实数编码遗传算法和最小二乘法评定结果与原始数据比对

Fig. 5 Comparison of the results of the real-coded genetic algorithm, least squared method and original data.

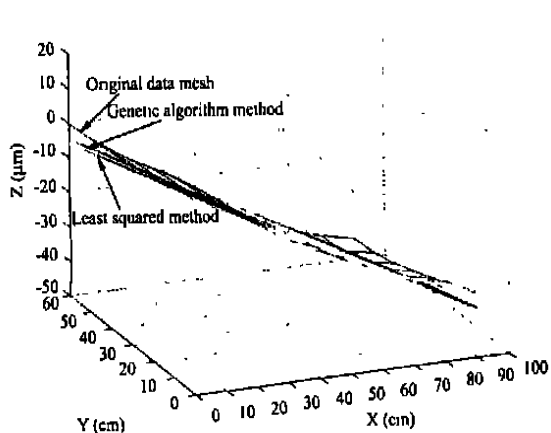


图 6 图 5 的另一个视图

Fig. 6 Another view of figure 5.

类问题。算法的评价函数符合公差规定的最小区域条件,它在以初值为核心的解空间中对优良解进行迭代搜索,能够获得全局最优解。算法精度高,稳定性好,而且易于实现。因此这一技术对突破传统的以最小二乘法为核心的近似形位公差检测和评定具有重要意义,为长期以来探索符合最小区域条件的检测方法提供了一个思路,也为自动化技术、智能化技术以及网络化技术的集成提供了条件。

参考文献:

- [1] 张国雄. 三坐标测量机的发展趋势[J]. 中国机械工程, 2000, 11(1-2): 222 - 227.
- [2] Cook D F, Ragsdale C T, Major R L. Combining a neural network with a genetic algorithm for process parameter optimization[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2000, (13): 391 - 396.
- [3] Srinivasan D, Cheu R L, Poh Y P, Ng Albert Kim Chwee. Automated fault detection in power distribution networks using a hybrid fuzzy-genetic algorithm approach[J]. *Engineering Applications of Artificial Intelligence*, 2000, (13): 407 - 418.
- [4] Lazzarini B, Marcelloni F. A genetic algorithm for generating optimal assembly plans[J]. *Artificial Intelligence in Engineering*, 2000, (14): 319 - 329.
- [5] 刘永超, 陈明. 形位公差的进化算法[J]. 计量学报, 2001, 22(1): 18 - 22.
- [6] 玄光南, 程润伟. 遗传算法与工程设计[M]. 北京: 科学出版社, 2000.
- [7] American National Standard Institute. Mathematical Definition of Dimensional and Tolerancing Principles[S]. *ANSI Standard Y14.5.1 M. The American Society of Mechanical Engineers*, 1994. 36.
- [8] 李士勇. 模糊控制、智能控制和神经控制[M]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学出版社, 1998.
- [9] Blanco A, Delgado M, Pegalajar M C. A real-coded genetic algorithm for training recurrent neural networks[J]. *Neural Networks*, 2001, (14): 93 - 105.
- [10] 戴晓晖, 李敏强, 寇纪淞. 遗传算法理论研究综述[J]. 控制与决策, 2000, 15(3): 263 - 268.
- [11] Huang S T, Fan K C, Wu J H. A new minimum zone method for evaluating flatness error[J]. *Precision Engineering*,

1993,15(1):25-32.

[12]刘得军,车仁生,罗小川,等.坐标测量机的新发展[J].光学精密工程,2000,8(5):497-502.

Flatness evaluation based on real-coded genetic algorithm

CUI Chang-cai, CHE Ren-sheng, LUO Xiao-chuan, YE Dong

(Department of Automatic Measurement and Control, Harbin Institute of Technology, Harbin 150001, China)

Abstract : A real-coded genetic algorithm is proposed to solve the form evaluation of planes. According to the mathematical definition of dimensional and tolerancing principles, a mathematical model of flatness evaluation in accordance with the minimum zone condition is presented and the fitness function of genetic algorithm is given. Then the implementation steps of the algorithm are dwelt on. Based on the real-coded method, the genetic operation is composed of roulette wheel selection, real-valued simple crossover and uniform mutation. Finally the data in literature^[5] are verified by the proposed approach. The results show that the algorithm is superior to others in terms of efficiency and quality of solution in the field of dimension and tolerance evaluation.

Key words : flatness measurement ; real-coding ; genetic algorithm

作者简介: 崔长彩(1972-),女,山东胶南人,哈尔滨工业大学自动化测试与控制系博士研究生,主要研究方向为智能仪器和虚拟仪器的研究与开发;
车仁生(1939-),男,哈尔滨人,哈尔滨工业大学自动化测试与控制系教授,博士生导师,主要从事仿生计量仪器,智能仪器与虚拟仪器,计算机辅助测试和集成质量系统方面的研究工作。

中国光学与应用光学文摘

《中国光学与应用光学文摘》(双月刊)是由中科院文献情报中心、中科院光学情报网和中科院长春光学精密机械与物理研究所联合主办,经国家科委批准的国家一级检索期刊。该刊主要收集我国科研人员在国内外期刊中发表的有关光学、光电子学以及光学在各领域的应用等方面的论文,国内召开的有关会议论文和国内有关部门的学位论文。该刊1985年创刊,现全部以文摘形式报道国内光学领域的最新研究成果与进展。每期报道文献800篇。

2002年《中国光学与应用光学文摘》仍通过邮局发行,邮发代号:12-140,定价9.00元/期,订阅本刊的新老订户可去邮局订阅该刊,在邮局漏订或想补订该刊的订户,可随时与《中国光学与应用光学文摘》编辑部联系,银行汇款与邮局汇款皆可。

单 位:中科院长春光学精密机械与物理研究所《中国光学与应用光学文摘》编辑部

邮 编:130021

银 行:中行吉林省分行营业部

帐 户:04单位438部

帐 号:01471908091001

地 址:吉林省长春市工农大路61号

联系人:杨妹清

电 话:(0431)5684692 转 2438

E-mail:xxfw@ciomp.ac.cn