第30卷 第5期 华侨大学学报(自然科学版) Vol.30 No.5
2009年9月 Journal of Huaqiao University (Natural Science) Sep. 2009

文章编号: 1000-5013(2009)05-0506-03

一种基于区域搜索的平面度误差评定方法

田树耀, 黄富贵, 张 彬

(华侨大学 机电及自动化学院, 福建 泉州 362021)

摘要: 以给定平面度误差的评定为例,分析最小二乘法和最小包容区域法的算法模型,并提出一种基于区域搜索的评定平面度误差的方法. 在三坐标测量机上,对被测平面进行采样点坐标数据提取,分别用基于搜索逼近法的最小二乘法和最小包容区域法实现给定平面度误差的评定. 结果表明,基于搜索逼近法的最小包容区域法与最小二乘法相比,其评定结果精度提高了5.97%,且符合最小条件.

关键词: 平面度误差; 评定; 最小区域法; 最小二乘法; 区域搜索

中图分类号: TG 801 **文献标识码**: A

我国颁布的国家标准GB/T 1958-2004《产品几何量技术规范(GPS)——形状和位置公差检测规定》中规定,平面度误差是包容实际平面或实际平面任何一个指定范围,且距离为最小的两理想平行平面之间的区域,即平面度误差的评定结果必须符合最小条件. 目前,平面度误差的评定常用的方法有两种:一种是近似评定法,如三点法、对角线法和最小二乘法等;另一种是最小区域法. 为了得到平面度误差的精确最小域解,很多学者提出了各种不同的算法. 如Cherahi等[1]提出了对平面度误差算法,通过对点集进行旋转平移,得到平面度误差. Lee[2]提出了凸壳边的算法(Convex Hull Edne Method,CONHEM),对凸壳第i条边把三维的凸壳投影到垂直此边的平面上,求出二维凸壳的最小宽度T_i,对所有边都进行处理后的平面度误差即为最小T_i. 这个算法的时间复杂度为$O(n^2\log n)$(n为测点数). 薛小强[3]根据平面度最小域误差的一个等价量——点集的宽度与自身的Minkowski差的凸壳内半径,提出了一种计算平面度误差的精确几何算法. 张之江等[4]提出了有序判别法. 本文在区域搜索的基础上,提出一种平面度误差评定方法.

1 最小二乘法

最小二乘法[5]的基本原理是,测量结果的最可信赖值应在残余误差平方和最小的条件下求出. 对于平面度误差的最小二乘法评定,关键在于根据测量采样点的数据拟合出最小二乘平面. (x_i, y_i, z_i), $i = 1, 2, \cdots, n$为被测实际平面的测量采样点数据. 设规范化最小二乘平面方程为

$$z = Ax + By + C,$$

其中, A, B, C为待求系数,残余误差为

$$\varepsilon_i = z_i - (Ax_i + By_i + C), \quad i = 1, 2, \cdots, n,$$

而最小二乘法的目标函数为

$$J(A, B, C) = \sum_{i=1}^{n} \varepsilon_i^2,$$

其约束条件为

$$J(A, B, C) \to \min.$$

要满足约束条件,必须有

收稿日期: 2008-02-13

通信作者: 黄富贵(1966-),男,教授,主要从事误差理论及精密测量的研究. E-mail: hmm@163.com.

基金项目: 国务院侨办科研基金资助项目(03QZR03)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

$$\frac{\partial I}{\partial A} = 0, \quad \frac{\partial I}{\partial B} = 0, \quad \frac{\partial I}{\partial C} = 0. \tag{1}$$

从而求得 A, B, C,得到被测平面度误差的最小二乘法评定结果为

$$\delta = \max\left\{\frac{Ax_i + By_i + C - z_i}{\sqrt{A^2 + B^2 + 1}}\right\} - \min\left\{\frac{Ax_i + By_i + C - z_i}{\sqrt{A^2 + B^2 + 1}}\right\}. \tag{2}$$

将测量采样点数据代入式(2),可得平面度误差的最小二乘评定结果为 13.4 μm.

2　最小包容区域评定方法

对于给定平面度误差评定而言,最小包容区域是指包容实际平面,且具有最小宽度的两平行平面之间的区域. 因此,平面度误差的最小包容区域评定方法[6]的关键,在于如何根据被测实际平面的提取平面(即采样点),获得满足最小包容区域的理想平面.

下面以给定平面度误差的评定为例,介绍基于搜索逼近的最小包容区域评定法的原理与实现方法.

设(x_i, y_i, z_i), $i = 1, 2, \cdots, n$ 为给定平面内的采样点坐标值, $Ax + By + Cz + D = 0$ 为最小二乘法确定的理想平面. 其中, A, B, C 可根据式(1)求得,满足最小包容区域的理想平面可以利用搜索逼近法求得. 搜索逼近法的基本思路是,以最小二乘平面为搜索起始平面,以搜索起始平面的法向量为基准,以法向量角度的变化为搜索步长,通过平面法向量的转动达到平面的转动,在一定的搜索范围内搜索满足最小包容区域的理想平面. 然后,由此理想平面为基准计算平面度误差的评定结果.

搜索逼近法搜索最小包容区域的理想平面的程序框图,如图 1 所示. 首先根据导入采样点坐标数据,计算最小二乘平面 $Ax + By + Cz + D = 0$,其中 A, B, C 为待求系数,得到待搜索平面的平面方程为

$$A_1 x + B_1 y + C_1 z + D = 0,$$

其中 A_1, B_1, C_1 为搜索平面的法向量系数.

$$\begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A_1 \\ B_1 \\ C_1 \end{bmatrix}. \tag{3}$$

通过平面旋转公式可知,平面旋转只是系数 A_1, B_1 的变化. 设最小二乘平面 A 的搜索步长,则有

$$A_1 = A + j \times i,$$

其中, $j = -m, -m+1, \cdots, -1, 0, 1, \cdots, m-1, m$; l 是最小二乘平面 B 的搜索步长,有

$$B_1 = B + l \times j,$$

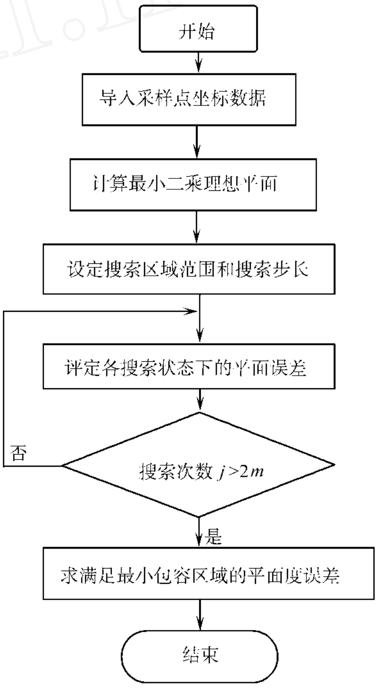

图 1　搜索法的程序框图

Fig. 1　Flow chart of search method

其中, $j = -m, -m+1, \cdots, -1, 0, 1, \cdots, m-1, m$, j 决定搜索范围的大小. 计算对应于的每次搜索的法向量的平面度误差, 记为$|\Delta_-|_j$. 当整个设定的搜索区域全部搜索完后,得到满足最小包容区域的平面度误差值为

$$\Delta_- = \min\{|\Delta_-|_j\}. \tag{4}$$

对应于 $\min\{|\Delta_-|_j\}$的平面即为满足最小包容区域的理想平面.

3　测量实验

为了比较最小二乘法与最小包容区域法的平面度误差评定精度,对给定平面度误差进行测量与评定. 被测平面的数据点采样是在 GLOBAL FX777 型三坐标测量机上自动扫描完成的,采样间隔为 5 mm ×5 mm,被测平面大小为 100 mm ×100 mm,采样点的坐标数据以. TXT 格式的文件导出. 为了计

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

算方便通过坐标转换,把原数据变换成以初始点为坐标原点的数据.

按上述原理并利用 MATLAB 6.5 软件编程,分别用最小二乘法和最小包容区域法评定被测平面的平面度误差大小. 搜索逼近法的初始理想平面用最小二乘平面代替,搜索的范围以最小二乘初始理想平面上、下平移,对应的参数:$i=1.0\times10^{-8}$,$l=1.0\times10^{-8}$,$m=1\,000$. 测量实物照片如图 2 所示. 结果表明,最小二乘法的评定结果为 13.4 μm,而基于区域搜索的最小区域法的评定结果为 12.6 μm. 从评定结果可以看出,平面度误差的最小包容区域法评定精度比最小二乘法高且符合最小条件.

图 2 平面度误差测量实物照片

Fig. 2 A picture of measured flatness error

4 结束语

基于区域搜索的最小区域法是建立在最小二乘法的基础上,以最小二乘法所求平面为理想平面,通过旋转平面的法向量来旋转平面,求得满足最小条件的平面度误差. 该方法适宜于精度要求较高的平面误差评定场合,值得推广.

参考文献:

[1] CHERAHI S H, LIN H S, MOTAVALLI S. Straightness and flatness tolerance evaluation: An optimization approach[J]. Precision Engineering, 1996, 18(1): 30-37.

[2] LEE M K. A new convex-hull based approach to evaluating flatness tolerance [J]. Computer-Aided Design, 1997, 29(12): 861-868.

[3] 薛小强. 平面度误差的精确最小域解[J]. 机械设计与制造工程, 2002, 31(5): 82-83.

[4] 张之江, 于瀛洁, 张善钟. 平面度误差最小区域新算法——有序判别法[J]. 计量学报, 1998, 19(1): 15-21.

[5] 费业泰. 误差理论与数据处理[M]. 北京: 机械工业出版社, 2004.

[6] 黄富贵, 崔长彩. 直线度误差的最小二乘法与最小包容区域法评定精度之比较[J]. 光学精密工程, 2007, 15(6): 889-893.

An Evaluation Method for Flatness Error Based on Region Searching

TIAN Shu-yao, HUANG Fu-gui, ZHANG Bin

(College of Mechanical Engineering and Automation, Huaqiao University, Quanzhou 362021, China)

Abstract: The algorithm models in least square method and minimum zone method are analyzed, in which the evaluation of the given flatness error is taken as an example, also and a method based on region searching to evaluate flatness error is proposed. The data extraction for the coordinates of the fitting nodes in the measured flatness on coordinate measuring machine is accomplished and the evaluation for the given flatness error is implemented by the least square method and minimum zone method based on searching approximation respectively. The results have shown that the evaluation precision of the minimum zone method based on searching approximation is 5.97 % higher than that of least square method which conforms to the smallest condition.

Keywords: flatness error; evaluation; minimum zone method; least square method; region searching

(责任编辑: 陈志贤 英文审校: 郑亚青)

© 1994-2010 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net