

获取圆柱面轴线要素的操作算子研究

彭娟¹, 钟艳如¹, 黄美发², 吴白羽¹

(1 桂林电子科技大学 计算机与控制学院, 广西 桂林 541004; 2 桂林电子科技大学 机电工程学院, 广西 桂林 541004)

摘 要: 新一代产品几何技术规范(GPS)中提出的操作及操作算子技术,为实现产品几何误差的数字化计量提供了必要的技术基础.在研究新一代 GPS 基础理论的基础上,分析了获取圆柱面轴线要素的操作算子包括提取、拟合、构造、分离、提取、拟合和集成七个操作,并给出实现操作算子的数学模型.通用实例实现了获取柱面要素轴线的整个数字化过程.该方法为新一代 GPS 中平行度、垂直度、同轴度等的数字化设计与检验提供重要的理论基础.

关键词: 新一代 GPS;操作算子;圆柱面;轴线;操作

中图分类号: TH121

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2010)12-0094-04

Study on the Operator of Obtaining the Cylindrical Axis Factor

PENG Juan¹, ZHONG Yan-ru¹, HUANG Mei-fa², WU Bai-yu¹

(1 School of Computer & Control, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China;

2 School of Mechanical & Electrical Engineering, Guilin University of Electronic Technology, Guilin 541004, China)

Abstract: Operation and operator technologies introduced by new generation Geometrical Product Specification (GPS) provide the necessary knowledge foundation for digitizing measurement of product's geometrical error. Based on research in new generation GPS basic theory, the operator formation for obtaining the cylindrical axis factor is analyzed, which include extraction, association, construction, partition, extraction, association, collection. Moreover, the mathematical model of realization operator is presented. The whole digitizing process of obtaining the cylindrical axis factor is realized through an example. This method provides the important theory foundation for digitizing design and verification of parallelism, perpendicularity, and coaxiality in new generation GPS.

Key words: new generation GPS; operator; axis; cylinder; operation

1 引言

在国际标准体系中,产品几何技术规范(GPS)标准体系是影响最广、最重要的基础标准体系之一,与质量管理(ISO9000)、产品模型数据交换(STEP)等重要标准体系有着密切的联系,是制造业信息化、质量管理、工业自动化系统与集成的基础^[1].为解决现行 GPS 标准体系的不完整性,设计、制造和认证(检验)标准之间基础理论的不统一,设计、制造以及检验工程师之间缺乏共同的技术语言,从而导致测量评估失控引起纠纷的问题和矛盾,新一代 GPS 标

准体系建立了以不确定度为杠杆,以对偶性原理为支撑的新体系结构形式^[2-3].在新一代 GPS 国际标准体系中,为清晰定义几何产品的规范和检验,提出操作及操作算子的概念^[4].

根据几何形体本质特征和方位特征的恒定性,新一代 GPS 将工件的几何形体划分为七种恒定类,分别是平面、圆柱体、回转体、螺旋体、棱柱体、复杂体和球,所有的理想要素都属于七种恒定类中的一种^[5].圆柱体是七大恒定类中一种,圆柱面的轴线要素在获取几何要素特征如平行度、垂直度、同轴度等中起着关键作用.操作算子技术不但应用于工件/要

收稿日期: 2009-11-16; 修回日期: 2010-01-23

基金项目: 国家自然科学基金项目(50865003);广西制造系统与先进制造技术重点实验室项目(K090014);广西研究生科研创新项目(2009105950812M21)

素的几何特征,而且贯穿于各几何特征的规范设计和检验认证全过程,是工件进行规范和认证的基础,是新一代 GPS 数字化技术的核心。

目前,关于操作算子的研究初步理清了新一代 GPS 标准中表面模型和操作算子的概念,对获取圆柱度、直线度、单个基准的操作算子给出了基于传统几何学的图例解释^[6-7]。文中在研究新一代 GPS 基础理论的基础上,分析了获取圆柱面轴线要素的操作算子包括提取、拟合、构造、分离、提取、拟合和集成七个操作,并给出实现操作算子的数学模型。最后,通用实例实现了获取柱面要素轴线的整个数字化过程,证明了新一代 GPS 利用操作及操作算子技术可以规范、准确、高效地获取圆柱面轴线,且可操作性强。

2 新一代 GPS 中的操作算子技术

依据新一代 GPS 标准的综合模型,几何产品的“功能描述——规范设计——检验评定”的一致性表达通过不同规范的操作及操作算子来实现。操作是获取几何要素的特征及其变动范围(极限值)的基本数学工具,操作可分为要素操作和评估操作,其中要素操作包括分离、提取、滤波、拟合、集成、构造六种^[8]。评估操作是确定特征或要素的值及其公称值与极限值,并判定要素几何特征与规范的一致性。

操作算子是一系列要素操作有序的集合。要获取一个几何要素,需要通过“对表面模型”使用一系列操作,针对不同几何要素的一系列操作构成操作算子。不同几何要素的操作算子,其操作采用的顺序和次数不是固定的,它取决于几何要素的类型和功能。通过操作算子,可得到各种要素特征,从而实现对各种要素的规范及认证^[5]。

根据 GPS 的不同阶段,操作算子分为功能操作算子、规范操作算子和认证操作算子^[1]。功能操作算子将产品的功能要求转换为功能规范。规范操作算子对规范表面模型进行操作,将功能规范转换为几何要素的特征规范,即确定几何要素的特征规范值/图样标注;根据几何要素的特征规范确定工件的制造规范并据此生产出实际工件。认证操作算子对认证表面模型进行操作,从被认证的实际工件表面提取数据信息形成认证表面模型,获得测量结果(特征值);将检测评定的测量结果与图样标注的规范值进行“比较”,从而获得产品的合格性认证。

3 获取圆柱面轴线要素的操作算子

通过操作算子,得到各种要素特征,实现对各要

素的认证(检验)。下面利用圆柱轴线获取的操作过程,给出了一个规范与认证过程操作算子的数学模型。

3.1 提取

提取操作策略包括提取方案和提取点数两个方面。提取方案影响提取点的位置分布,提取点数决定提取轮廓对原始轮廓的不失真程度。根据结构形状特征,圆柱面常用的提取方案有鸟笼法、圆周线法、母线法与布点法等,如图 1 所示^[4]。鸟笼法可获得两个方向的谐波成分,多用于获得整个表面信息的场合,圆周线法和母线法只获得单个方向的谐波成分,多用于获取单个方向轮廓信息的场合。圆柱面描述的是整个圆柱表面的形状特征,若精度要求较高时,综合结构和功能特征,该选用鸟笼法提取方案。提取方案确定后,根据奈奎斯特定理、傅里叶变换和精度要求的高低确定提取点数^[8]。

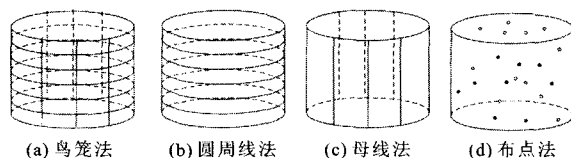


图 1 适用于圆柱面的提取方案

从圆柱类规范表面模型或认证表面模型提取是用来获得离散轮廓点以数字化表达工件轮廓的操作。由于本规范表面模型中只存在圆柱表面模型,就把分离和提取作为一步操作来完成,完成的过程就是在圆柱面上按照提取方案提取一系列的点,若精度要求较高时一般选用鸟笼法提取方案,得到表面模型的数组 $A[i][j]$ (其中 $i = 0, 2, \dots, m-1, m$ 表示圆周线的数量, $j = 0, 1, 2, \dots, n-1, n$ 表示母线的数量),为完成后面的一系列操作做准备。

3.2 拟合

拟合是依据特定规则用理想要素逼近非理想要素的操作。按照特定规则用理想圆柱面逼近非理想圆柱面,以获得理想圆柱面的轴线。根据 ISO 12780-1,优先采用最小二乘法对非理想圆柱面进行拟合,得到理想圆柱面的轴线。如图 2(a) 所示,用一个理想的圆柱面与分离出的非理想圆柱拟合,得到一个理想拟合圆柱。拟合过程如下所述:

假设直线 L 为理想圆柱面的轴线, L 与 XOY 坐标平面交点为 $L_0(x_0, y_0, 0)$, 方向向量为 $S(u, q, 1)$, 则该轴线 L 的方程为:

$$\frac{x-x_0}{u} = \frac{y-y_0}{q} = \frac{z}{1} \quad (1)$$

设非理想圆柱面 S 上点的坐标为 $M_i(x_i, y_i,$

z_i)($i=1,2,3\cdots n$, n 为点的数量), 则点 M_i 到理想轴线 L 的距离 r_i 可表示为:

$$r_i = \frac{\begin{vmatrix} i & j & k \\ x_i - x_0 & y_i - y_0 & z_i \\ u & q & 1 \end{vmatrix}}{\sqrt{u^2 + q^2 + 1}} \quad (2)$$

根据最小二乘原理, 要得到理想圆柱面就应使非理想圆柱面上各点至理想圆柱面轴线距离的平方和为最小, 则此理想圆柱面即为最小二乘圆柱面. 假设圆柱面的半径为 R , 且由式(3) 确定, 则根据最小二乘法的定义, 目标优化函数 $F(x_0, y_0, u, q)$ 为:

$$R = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n r_i \quad (3)$$

$$F(x_0, y_0, u, q) = \sum_{i=1}^n (r_i - R)^2 = \min \quad (4)$$

也就是

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x_0} = 0 & \frac{\partial F}{\partial y_0} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial u} = 0 & \frac{\partial F}{\partial q} = 0 \end{cases} \quad (5)$$

根据上述的数学模型计算出 x_0, y_0, u, q , 带入式(1) 最后得到理想圆柱轴线 L 的方程.

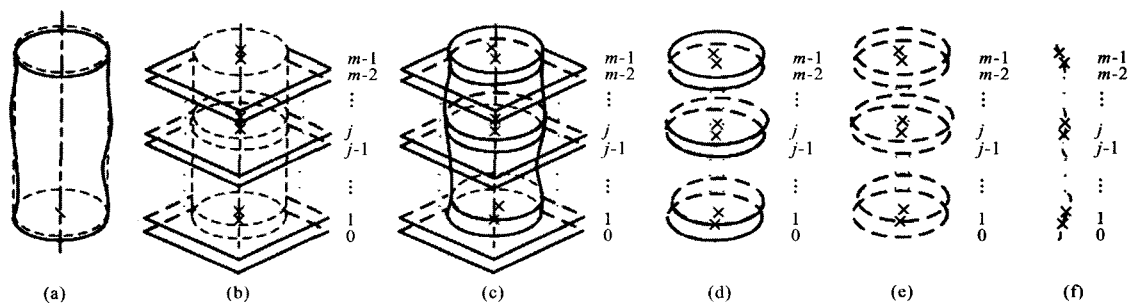


图2 获取圆柱轴线的操作过程

3.3 构造

构造是根据给定的约束条件从理想要素中建立新的理想要素的操作. 如图 2(b) 所示, 根据垂直于拟合理想圆柱轴线的约束条件, 构建出有一定间距的一组平面. 平面的法向量为拟合操作得到的理想轴线 L 的方向向量, 即是 $n(u, q, 1)$, 因此可以得到平面的方程如下:

$$uX + qY + Z + d_0 + id = 0 \quad (6)$$

其中 $i = 0, 2, \cdots, m-1$, m 为构造的平面的数量, d 为两相邻平面间的距离.

3.4 分离及提取

用构造的平面与非理想圆柱面相交, 将其相交线从圆柱上分离出来, 然后以面为单位, 在相交的轮廓线上取点, 以面为单位存储. 如图 2(c) 所示, 分离操作就是将相交轮廓线该操作是要在圆周轮廓上取点通常选用圆周线提取方案, 提取方案确定后, 根据奈奎斯特定理、傅里叶变换和精度要求的高低确定提取点数. 提取点的方法就是以构造平面与理想轴线的交点为中心, 在构造平面与圆柱面相交的轮廓线上, 绕轴 L 取点. 提取的点以面为单位, 假设把提取的点存入数组 $B[i][j]$ (其中 $i = 0, 2, \cdots, m-1$, m 表示截面的数量, $j = 0, 1, 2, \cdots, n-1$, n 表示面上提取的点的数量).

3.5 拟合

以面为单位对提取的点, 根据拟合目标, 采用不同的拟合目标函数进行拟合. 常用的拟合目标函数有最小二乘、最小区域、最大内切、最小外接, 通常使用最小二乘进行拟合. 用理想圆逼近分离出的非理想圆, 以获得其圆心, 并将圆心坐标存入数组 $B[i]$ ($i = 0, 1, 2, \cdots, m-1$, 其中 m 表示面的数量) 中. 设最小二乘法拟合圆圆心坐标为 $B[i](x_{i0}, y_{i0}, z_{i0})$ ($i = 0, 1, 2, \cdots, m-1$, 其中 m 表示面的数量). 第 i 个平面上的点到最小二乘圆圆心的距离 R_{ij} 可表示为:

$$R_{ij} = \sqrt{(x_{ij} - x_{i0})^2 + (y_{ij} - y_{i0})^2 + (z_{ij} - z_{i0})^2} \quad (7)$$

设 R_i 为第 i 个面的最小二乘圆半径, 根据最小二乘法定义, 目标优化函数 $F(x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}, R_i)$ 如下:

$$F(x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}, R_i) = \sum_{j=1}^n (R_{ij} - R_i)^2 = \min \quad (8)$$

也就是

$$\begin{cases} \frac{\partial F}{\partial x_{i0}} = 0 & \frac{\partial F}{\partial y_{i0}} = 0 \\ \frac{\partial F}{\partial z_{i0}} = 0 & \frac{\partial F}{\partial R_i} = 0 \end{cases} \quad (9)$$

对分离得到的 m 个面, 分别用上式进行求解可以得到圆心坐标集 $B[i]$ (其中 $i = 0, 2, \cdots, m-1, m$

表示截面的数量).如图2(d)和(e)所示.

3.6 集成

集成是将功能相一致的多个要素结合在一起的操作.如图2(f)所示,将所有拟合圆的圆心坐标 $B[i](x_{i0}, y_{i0}, z_{i0})$ (其中 $i = 0, 2, \dots, m-1, m$ 表示面的数量) 集成为非理想的轴线,用以体现被测轴线.

4 实例

用DCC GAGE型三坐标测量仪测量一个轴,轴的直径为 $\Phi 10\text{mm}$,长为 20mm .采用鸟笼法在进行提取点.采样截面 $m = 20$,每个截面上等角度间隔提取 $n = 32$ 个采样点.由此,可得到表面模型上提取点的坐标数据数组 $A[i][j](i = 0, 2, \dots, 19, j = 0, 1, 2, \dots, 31)$,提取点的坐标数据从略.

按照式(1)~(5),对数据进行预处理,可得到被测要素非理想圆柱面的最小二乘拟合圆柱面的轴线方程.再结合式(6)构造垂直于理想轴线的截面 $m = 20$.然后,在每个截面上等角度间隔提取 $n = 32$ 个采样点.再按照式(7)~(9),对提取的数据进行预处理,可得到各截面的最小二乘拟合圆的圆心坐标 $B[i](x_{i0}, y_{i0}, z_{i0}) (i = 0, 2, \dots, 19)$.最后,将各个截面轮廓的最小二乘圆的圆心坐标 $B[i](x_{i0}, y_{i0}, z_{i0})$ 结合起来,形成一条集成要素,用以体现圆柱体的轴线.通过MATLAB编程实现算法,经过一系列操作算子,最后获取的圆柱面的轴线要素如图3所示.

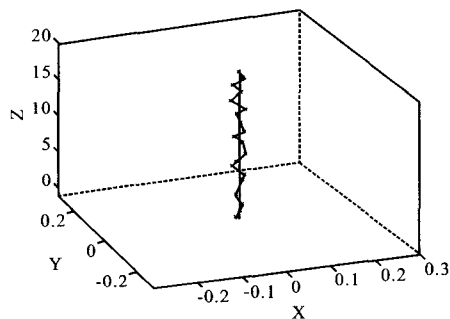


图3 圆柱面的轴线要素

5 结束语

文中研究分析了获取圆柱类规范表面模型轴线要素的操作及操作算子,给出实现各个操作的数学

模型,为表面模型和几何要素特征的数字化描述和传递技术提供基础理论及数学方法.最后,结合实例对获取圆柱轴线的操作算子进行验证.结果表明,新一代GPS利用操作及操作算子技术可以规范、准确、高效地获取圆柱面轴线,且可操作性强.为实现新一代GPS中平行度、垂直度、同轴度等的数字化设计与检验提供重要的理论基础.

参考文献:

- [1] 李柱,徐振高,蒋向前. 互换性与测量技术[M]. 北京: 高等教育出版社,2004:381-415.
- [2] 蒋向前. 现代产品几何量技术规范(GPS)国际标准体系[J]. 机械工程学报,2004,40(12):133-148.
- [3] 赵玉金,钟艳如,黄美发,等. 通用GPS标准矩阵模型的信息编码方法研究[J]. 微电子学与计算机,2009,26(7):45-48.
- [4] ISO. ISO/TS 12180-2:2003(E), Geometrical product specification (GPS) -- Cylindricity -- Part2: Specification operators[S].
- [5] ISO. ISO/TS 17450-1:2005, Geometrical product specification (GPS) -- General concepts -- Part1: Model for geometric specification and verification[S].
- [6] 李惠芬,蒋向前,张玉,等. 直角坐标系下计算圆柱度误差的一种实用算法[J]. 仪器仪表学报,2002,23(4):424-426.
- [7] 庆科维,张琳娜,孙利平,等. 现代产品几何技术规范(GPS)的数字化理论基础[J]. 机械强度,2004,26(6):652-655.
- [8] 胡学龙,张根生,杨义军. 图像角点和边缘提取的相位叠合算法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(9):47-49.

作者简介:

彭娟 女,(1983-),硕士研究生.研究方向为企业信息管理、新一代GPS标准体系、数据库应用.

钟艳如 女,(1965-),教授.研究方向为计算机应用技术、机电系统建模与仿真、国际新一代精度理论体系的基础研究.

黄美发 男,(1962-),教授.研究方向为计算机辅助公差设计、GPS标准体系、制造过程建模.

吴白羽 男,(1985-),硕士研究生.研究方向为产品变形设计、本体建模、语义网.