

三维定位误差计算软件原型系统开发*

张 强, 吴玉光*

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

摘要: 针对现有定位误差计算模型的建立过程缺少自动化机制,且其计算方法过于复杂、通用化程度较低等问题,提出了利用机构杆组分析法建立三维定位误差计算模型来求解定位误差的新方法。首先对工件-夹具系统等价机构中含有的杆组类型进行拆分,利用C++函数重载机制编写各个构件的位置计算子程序,并把工序系统的尺寸、公差等信息初始化为计算子程序中的输入参数,再将拆分出的构件根据工件-夹具装配关系加以组合,最终调用位置计算子程序以完成定位误差的计算。最后,通过实例对该方法进行了定位误差求解的验证,将计算结果与极值法求得的结果进行了比较。研究表明,利用杆组分析法求解定位误差,其计算精度有所提高,验证了该方法的可行性。

关键词: 夹具; 定位误差; 杆组法; 机构表示模型; 位置计算子程序

中图分类号: TH161+.22; TH39; TG701

文献标识码: A

文章编号: 1001-4551(2013)05-0557-05

Development of prototype system of calculation software in 3D location error

ZHANG Qiang, WU Yu-guang

(College of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In order to solve the problems such as lack of the automatic mechanism of establishing the calculating model, complicated calculating method, low generalization and so on, a new method was presented to calculate the fixture location error of the model using the mechanism rod group analysis. Firstly, the rod groups in the equivalent mechanism of the work-fixture system were classified. The location calculating subroutines of the mechanisms were programmed by C++ function heavy-load mechanism, and the information such as the size and tolerance of the working procedure system were initialized as the input parameters of the calculating subroutines. Then, the divided mechanisms were combined according to the assembling relation of the work-fixture system. Finally, the location error was calculated by calling the subroutines. Some instances were utilized to verify the location error and the result was compared with the one from extremum method at the end of this article. The results show that the calculating precision of the location error has been improved, and it is available to solve the location error with the mechanism rod group analysis.

Key words: fixture; location error; assur-group method; mechanism representation model; location calculating subroutine

0 引 言

在机械加工中,夹具的设计质量在保证加工精度、提高生产率、降低生产成本等方面有着重要作用,而夹具定位误差是评价夹具设计质量的重要指标,所以夹具定位误差分析是夹具设计中的一个重要环节。定位误

差计算是一项繁琐的工作,许多学者对定位误差的计算提出了一些方法,如利用微分分析方法^[1]、尺寸链模型的极值法^[2]、利用接触运动学模型的矩阵计算方法^[3-4]、利用几何关系的图形解析法^[5]和合成法以及概率计算方法等^[6]。

现有的各种定位误差计算方法大多是基于工件和

收稿日期: 2012-12-13

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(50875069)

作者简介: 张 强(1985-),男,河北石家庄人,主要从事设计自动化与CAD技术方面的研究. E-mail: zhangqiang1210@126.com

通信联系人: 吴玉光,男,教授,硕士生导师. E-mail: ygwu@hdu.edu.cn

的一半。两定位基准之间距离公差等价子机构为和滑块5铰接在一起z向滑块,滑块的运动范围为 $\varnothing 15H8$ 和 $\varnothing 56H7$ 两孔的孔距公差 $(-0.25 \sim 0.05)$ mm。

2 原型系统总体结构

三维定位误差计算软件原型系统应为定位误差的计算提供一种自动化计算机制,减少夹具设计人员的工作量,缩短夹具设计周期。根据机构组成原理,本研究将各类等价机构拆分为原动件、杆组和机架,通过C++函数重载机制编写位置计算子程序,再根据装配信息将工件—夹具系统的等价机构用相应的构件加以组合表示,采用面向对象的思想分析计算定位误差。该系统按功能共分为4个主要模块:原动件随机位置序列模块、杆组位置计算子程序模块、定位误差计算模块和表示等价机构的图形库,原型系统结构图如图3所示。

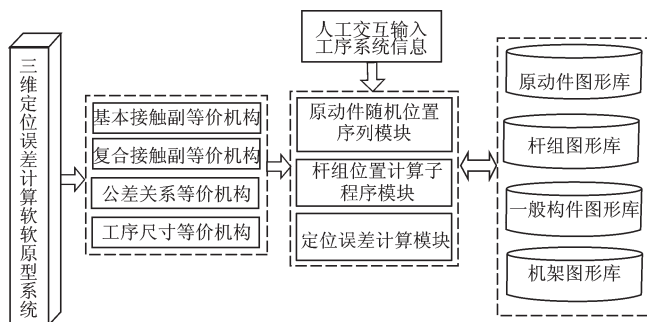


图3 原型系统结构图

2.1 原动件随机位置序列模块

当一批工件采用调整法加工时,工件—夹具系统等价机构模型可以看作是一个具有多自由度、多原动件且具有确定运动的复杂连杆机构,该机构中原动件的运动规律与工序系统中误差源的概率分布规律相同,原动件的运动范围为工序系统中相应的尺寸、几何公差的大小。为了最大限度地模拟出实际加工过程中工件的误差变化,本研究根据蒙特卡洛模拟理论^[8],用Box Muller方法在相应公差范围内生成服从正态分布运动规律的原动件随机位置序列。

2.2 杆组位置计算子程序模块

本节介绍了各个杆组的位置输入输出关系子程序的编写,首先定义杆组的数据结构类型如下:

```
typedef struct componet
{
    //杆组中3个运动副
    Point MotionPair_L;
    Point MotionPair_M;
    Point MotionPair_R;
    //杆组中两杆长
    double BarLength_L;
    double BarLength_R;
```

```
//杆组中两杆的角位置
double AngularPosition_L;
double AnglarPostion_R;
//模式系数
int Coefficient;
} Link_Group; //杆组的数据结构类型定义
```

以上是杆组的类型定义,先用工序系统尺寸和公差等信息初始化杆组中相应的成员变量,子程序的输出为杆组的位置,该位置由原动件的随机位置序列来确定。

工件—夹具系统等价机构模型中的杆组类型可以穷举,本研究利用C++函数重载机制编写每个杆组类型相应的位置计算子程序,这样在人机交互指定杆组类型时,就可以调用相应的子程序完成等价机构的位置分析计算。

2.3 定位误差计算模块

工件—夹具系统等价机构具有运动唯一性,所以在某一时刻得到每个原动件的一个位置后,最终可以得到目标构件的一个确切位置,定位误差的计算是将目标杆件当做一个随机变量来处理,当原动件在其运动范围内生成足够多的随机数后,就可得到目标构件足够多的位置^[9],接下来通过计算目标构件位置样本的各阶中心矩以及样本中位置的分布规律,算出位置变化量,因为原动件的位置序列为在其公差范围内产生的随机数,目标构件位置样本分布规律也为正态分布,样本标准差为 σ ,其位置变化量为 6σ ,即所求定位误差。

2.4 等价机构图形库模块

利用人机交互的方法在Pro/E中生成等价机构的目的是为了在机构生成过程中自动调用位置计算子程序,实现子程序之间的数据传递和交换,从而计算出由于机构原动件的位置、角度等随机误差变量所引起的目标构件位置变化量的方法,最终求得夹具定位误差。

工件—夹具系统等价机构的表示是利用Pro/E所提供的用户自定义特征(UDF)功能实现的,等价机构中所含有的构件类型是有限的,首先在Pro/E中建立所有构件的模型,建立的模型中包含几何特征、参考基准、可变尺寸等信息。同类型的构件是由工序系统尺寸、公差等信息来确定其参数的,本研究通过Pro/E提供的二次开发工具Pro/Toolkit^[10-11]调用gph文件并根据工序系统中的信息参数化gph文件,来生成等价机构中所需的衍生件,图形库的完备性问题得到了解决。

UDF是作为一个特征组来对待的,其数据库区对象是ProGroup;其数据则是另外一个数据库区对象,即ProUdfdata。当将该等价机构表示为一个自定义特征后系统先为其生成一个数据区对象,然后再通过Pro/Toolkit中相应的函数来填充其数据区对象,根据手工构建过

程中输入的提示信息,选取相应的参照基准,即可生成该类型的杆组。

3 系统平台及实例介绍

3.1 软件开发平台

本研究利用Pro/E所提供的UDF功能和Pro/E提供的二次开发工具Pro/Toolkit及VC++6.0集成开发环境开发了一个三维定位误差计算软件。UDF是将若干个特征融合为一个自定义特征,有利于等价机构的快速生成,而Pro/Toolkit库函数丰富,功能极其强大,基本可以完成Pro/E所拥有的所有功能。利用Pro/Toolkit访问UDF,可以快速生成各种衍生形式的等价机构模型。

软件的总体结构如下:

(1)首先将文献[7]中提出的工件—夹具系统等价机构模型拆分为原动件、杆组和一般构件;

(2)将拆分出的构件手工建立UDF库,以方便等价机构在Pro/E中的表示;

(3)根据接触面和定位元件的类型人机交互选择相应的构件;

(4)根据工序系统的尺寸、误差等信息对所选的构件进行参数化,参数化的过程实际上也是向该构件的位置计算子程序传递数据的过程,并按照提示信息将构件放置在三维模型上;

(5)反复进行步骤(3),(4),直到等价机构表示完成,最终完成定位误差的计算。

杆组类型选择界面如图4所示。



图4 杆组类型选择界面

3.2 实例介绍

本研究在Pro/E软件中建立第1节实例所述的等价机构模型并求解其定位误差。首先研究者启动定位误差计算软件,以长圆柱销与 $\varnothing 15H8$ 圆孔定位副等价机构的建立过程为例,该等价机构中含有两个原动件,一个II级杆组和两个一般构件,从下拉式菜单中选取“杆组类型”菜单项,弹出杆组类型选择对话框,根据长圆柱销与长圆孔定位时等价机构中含有的杆组类型,选取杆组类型一,并根据等价机构中两个铰链之间的距离初始该类型的杆组,本例为长圆柱销与 $\varnothing 15H8$ 圆孔定位副等价机构中两个机架之间的距离。接下来根据两个

机架间的距离(30 mm)对该杆组进行参数化,参数化的过程实际上也是向该杆组所对应子程序模块传递实参的过程,参数输入完毕后,点击“生成机构”按钮,根据提示信息选取相应的参照基准,参照基准选择完成之后,提示组创建成功信息,此时杆组放置到三维模型上。

接下来要生成的是复合接触副长圆柱销与长圆孔等价机构中的原动件,研究者点击“原动件类型”子菜单,本例中选择“原动件类型四”,在基于杆组法的定位误差求解方法中,原动件在程序中是作为一个随机变量来进行处理的,首先要确定该原动件的位置运动范围,本例中该原动件的运动范围为孔销公差值之和的一半,研究者点击“生成机构”按钮,根据提示信息选取相应的参照基准,参照基准选取完毕,原动件放置到了三维模型上。

根据原动件的运动范围,本研究采用蒙特卡罗模拟方法生成在该范围内的随机数,当长圆柱销与 $\varnothing 15H8$ 圆孔定位副等价机构中另一个原动件参数化并生成之后,将两个原动件对应的随机数作为实参传递给杆组位置计算子程序struct Component GroupPsn(struct Point J, struct Point K),为方便阐述,本研究以图2为例进行说明,因为该杆组的两个铰链分别和原动件1,2相连接,原动件1,2给定一个位置之后,该构件的位置计算子程序中就可以得到该构件的一个具体位置,而原动件的运动是采用蒙特卡洛模拟的方法在公差范围内产生的一组符合正态分布规律的随机数,所以可以得到该构件一系列的位置,也就可以求得和该杆组相连的滑块3在夹具坐标系中的位置序列,且该序列也是一组符合正态分布规律的随机数,其他子机构的生成方法同上,工件夹具系统等价机构在三维模型上的表示如图5所示。

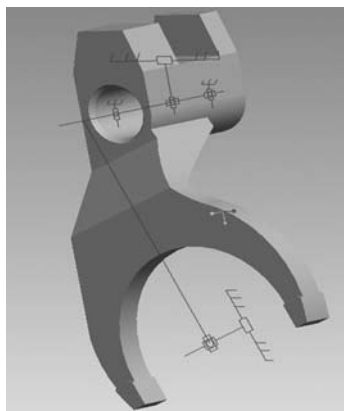


图5 等价机构的三维表示

等价机构表示完成之后,说明工序系统的全部尺寸、误差信息已经包含在各个子机构的位置计算子程序中,接下来点击“定位误差”菜单项,弹出定位误差计算对话框,当点击“计算”按钮,对该组随机数进行统计计算后,可得滑块3相对于滑块4导轨的距离变化量 6σ ,计算结果如图6所示。

图6 计算结果对话框

本研究用极值法求得槽底面到 $\varnothing 15H8$ 圆孔中心线的尺寸误差为0.030 5,两种方法计算的定位误差值都小于加工要求的公差值(0.4 mm)的1/3~1/5。槽侧面与 $\varnothing 15H8$ 孔轴线的垂直度误差为0.013 63,两种方法计算的定位误差值都小于加工要求的公差值(0.08 mm)的1/3~1/5。实验结果说明该定位方案可以满足加工要求。

4 结束语

根据包含工序系统全部尺寸、误差信息的等价机构模型,本研究提出了一种利用机构杆组分析求解定位误差的方法,在人机交互生成等价机构过程中,调用位置计算子程序,从而计算出由于机构原动件的位置、角度等随机误差变量所引起的目标构件位置变化量的方法。通过样本统计分析,以确定目标构件的位置变化量,即夹具定位误差。

研究表明,利用杆组分析法求解定位误差,其计算精度有所提高。且该方法中的原动件范围容易确定,且子机构之间的输入、输出关系明确,通过函数重载实现位置计算子程序的组合,可以很方便地计算出由于夹具定位所引起的误差。

(上接第551页)

6 结束语

针对长光栅动态特性试验缺乏必要手段问题,本研究采用比对测量原理,以精度为20 nm的激光干涉仪为基准,进行了长光栅动态特性检测方案的设计,研制出了长光栅传感器动态特性试验台。精度分析结果表明:试验系统的综合不确定度为0.124 μm ,即满足对精度为0.5 μm 的光栅进行检测的精度要求。

该设计的创新之处在于采用气浮导轨以及双通道同步数据采集技术,实现了对长光栅动态特性的检测,为长光栅动态检测提供了新的途径。

参考文献:

- [1] 高潮,杨世雄,顾庆祥. 高精度长光栅动态检测的新方法[J]. 重庆大学学报:自然科学版,1995,18(3): 101-105.
- [2] 费斌,徐文雄,蒋庄德,等. 计量圆光栅动态精度的检测技术[J]. 仪器仪表学报,1996,17(5): 525-529.
- [3] 吴元艳. 精密传动链动态精度检测与分析系统的研制[D]. 南京:南京理工大学电光学院,2008.

下一步笔者将根据夹具与工件的三维夹具装配模型参数信息实现工件—夹具系统等价机构的自动生成,以及子机构位置计算子程序的通用化。

参考文献:

- [1] 马成习. 微分法在定位误差计算中的应用[J]. 工艺与检测,2008(4):130-132.
- [2] 杨一帆,庄仲禹. 应用尺寸链原理计算夹具定位误差[J]. 机械研究与应用,1994(4):16-19.
- [3] WU Y, RONG Y, MA W, et al. Automated modular fixture planning: accuracy, clamping, and accessibility analysis. [J]. **Robotics & Computer-Integrated Manufacturing**, 1998,14(1):16-26.
- [4] 秦国华,吴竹溪,张卫红. 夹具定位方案的数学建模及其优化设计[J]. 中国机械工程,2006,17(23):2425-2429.
- [5] 刘让贤,郭紫贵,凡进军. 基于图形法的机床夹具定位误差计算[J]. 装备制造技术,2007(5):34-35.
- [6] 郭春生,张树人. 夹具定位误差分析的概率法[J]. 长春光学精密机械学院学报,1985(2):81-86.
- [7] 吴玉光,李春光. 夹具定位误差分析的机构学建模方法[J]. 中国机械工程,2011,22(13):1513-1518.
- [8] 徐钟济. 蒙特卡罗方法[M]. 上海:上海科学技术出版社,1985.
- [9] 宁龙,吴玉光. 基于ADAMS的夹具定位误差分析方法[J]. 制造业自动化,2012,34(1):86-89.
- [10] 高占习,荆瑞,武吉梅. 基于Pro/E的切纸机推纸部件运动仿真与分析[J]. 轻工机械,2011,29(2):41-44.
- [11] Parametric Technology Corporation. Pro / TOOLKIT User'S Guide[K]. Parametric Technology Corporation,2001.

[编辑:张翔]

- [4] 李庆祥,王东升,李玉和. 高现代精密仪器设计[M]. 2版. 北京:清华大学出版社,2004.
- [5] 黄小明. 基于误差分解与溯源的动态精度实验、系统设计[D]. 合肥:合肥工业大学仪器科学与光电工程学院,2009.
- [6] 曹向群,黄维实,金彤. 光栅计量技术[M]. 杭州:浙江大学出版社,1992.
- [7] 吴玉斌,朱勤. 基于虚拟仪器的光栅尺误差动态检测[J]. 光电技术应用,2005,20(4):35-37.
- [8] 祝耀昌. 可靠性试验及其发展综述[J]. 航天器环境工程,2007,24(5):261-269.
- [9] 张斌. 精密工程中免形状测量的关键技术研究[D]. 北京:北京工业大学机械工程与应用电子技术学院,1999.
- [10] 张国雄. 三坐标测量机[M]. 天津:天津大学出版社,2004.
- [11] 朱高峰,张艳蕾. 基于FPGA的可重构数控系统[J]. 轻工机械,2011,29(1):40-42.
- [12] 陈烛夜. 双通道并行多路数据采集卡的研究[D]. 苏州:苏州大学物理科学与技术学院,2007.

[编辑:张翔]