



(12) 发明专利申请

(10) 申请公布号 CN 103745098 A

(43) 申请公布日 2014. 04. 23

(21) 申请号 201310732821. X

(22) 申请日 2013. 12. 24

(71) 申请人 西安交通大学

地址 710049 陕西省西安市咸宁路 28 号

(72) 发明人 郭俊杰 李海涛 王金栋 王兴

邱娟

(74) 专利代理机构 西安智大知识产权代理事务

所 61215

代理人 贺建斌

(51) Int. Cl.

G06F 19/00(2011. 01)

B23Q 17/00(2006. 01)

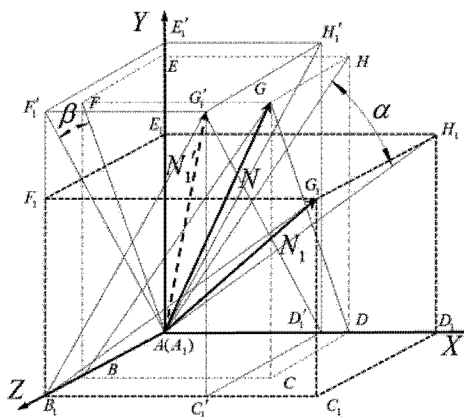
权利要求书1页 说明书3页 附图2页

(54) 发明名称

一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法

(57) 摘要

一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法,通过测量运动轴三个固定的坐标,求取单轴的法向量,再通过与初始基准法向量之间的对比求解出单轴的几何角运动误差,整个求解过程中只需解析几何知识便可完成,算法简单可靠,与单项几何误差测量法相比效率大大提高,与综合几何误差测量法相比,分离算法非常简单。



1. 一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法,其特征在于,包括以下步骤:

1) 测量之前,在数控机床单轴上找任意三个固定点 A、B、C,确定其空间坐标,并求取由这三点所确定平面的空间法向量,定义为基准法向量 N;

2) 测量时,机床单轴运动一段距离后开始第一次采样,三个固定点运动至  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$  位置,确定其空间坐标,并求取由这三点所确定平面的空间法向量,定义为后续法向量  $N_1$ ;

3) 求解其中两项角运动误差,包含以下两个分步:

第一步:将后续法向量  $N_1$  所在斜平面绕 Z 轴逆时针旋转,直至斜平面与基准法向量 N 重合,旋转角  $\alpha$  即为第一个角运动误差;

第二步:后续法向量  $N_1$  经过旋转后变为法向量  $N_1'$ ,将法向量  $N_1'$  所在的斜平面绕 X 轴顺时针旋转直至与基准法向量 N 重合,旋转角  $\beta$  即为第二个角运动误差;

4) 对所有后续采样位置重复步骤 2) 至步骤 3),得到整个单轴的所有位置两项角运动误差的分布。

## 一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法

### 技术领域

[0001] 本发明涉及数控机床误差检测技术领域,特别涉及一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法。

### 背景技术

[0002] 空间物体有六个自由度,分别为 X、Y、Z 方向的直线运动自由度和绕 X、Y、Z 三轴的旋转自由度。那么,数控机床单轴几何误差也就包含六项,分别为 X、Y、Z 方向的三项直线度误差和俯仰角、偏摆角和俯仰角三项角运动误差。对于几何误差,通常有单项几何误差测量法和综合误差测量法两种。单项几何误差测量法即针对六项误差中的某一项误差进行测量,这种方法简单,针对性强,但是对于每一项误差往往采用不同的测量设备,要完成单轴的六项几何误差检测往往耗时很长,效率低下。综合误差测量法对单轴整体误差进行检测,然后采用误差分离算法分离出六项误差。这种方法的优点是操作简单,但是误差分离算法往往比较复杂。

### 发明内容

[0003] 为了克服上述现有技术的缺点,本发明的目的在于提供一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法,可以有效快速分离出三项角运动误差中的任意两项。

[0004] 为达到上述目的,本发明采用了以下技术方案:

[0005] 一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法,包括以下步骤:

[0006] 1) 测量之前,在数控机床单轴上找任意三个固定点 A、B、C,确定其空间坐标,并求取由这三点所确定平面的空间法向量,定义为基准法向量 N;

[0007] 2) 测量时,机床单轴运动一段距离后开始第一次采样,三个固定点运动至  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$  位置,确定其空间坐标,并求取由这三点所确定平面的空间法向量,定义为后续法向量  $N_1$ ;

[0008] 3) 求解其中两项角运动误差,包含以下两个分步:

[0009] 第一步:将后续法向量  $N_1$  所在斜平面绕 Z 轴逆时针旋转,直至斜平面与基准法向量 N 重合,旋转角  $\alpha$  即为第一个角运动误差;

[0010] 第二步:后续法向量  $N_1$  经过旋转后变为法向量  $N_1'$ ,将法向量  $N_1'$  所在的斜平面绕 X 轴顺时针旋转直至与基准法向量 N 重合,旋转角  $\beta$  即为第二个角运动误差;

[0011] 4) 对所有后续采样位置重复步骤 2) 至步骤 3),得到整个单轴的所有位置两项角运动误差的分布。

[0012] 本发明的有益效果体现在:

[0013] 本发明通过测量运动轴三个固定的坐标,求取单轴的法向量,再通过与初始基准法向量之间的对比求解出单轴的三项角运动误差。整个求解过程中只需解析几何知识便可完成,算法简单可靠。与单项几何误差测量法相比效率大大提高,与综合几何误差测量法相比,分离算法非常简单。

## 附图说明

[0014] 图 1 为单轴几何角运动误差分离原理图。

[0015] 图 2 为法向量在各三维面投影图。

## 具体实施方式

[0016] 下面结合附图和实施例对本发明作进一步说明。

[0017] 一种数控机床单轴几何角运动误差分离方法,包括以下步骤:

[0018] 1) 测量之前,在数控机床单轴上找任意三个固定点 A、B、C,确定其空间坐标,并求取由这三点所确定平面的空间法向量,定义为基准法向量  $N=(a, b, c)$ ,其中 a, b, c 分别为法向量 N 的 X, Y, Z 坐标值;

[0019] 2) 测量时,机床运动轴运动一段距离后开始第一次采样,三个固定点运动至  $A_1$ 、 $B_1$ 、 $C_1$ ,确定其空间坐标,并求取由这三点所确定平面的空间法向量,定义为后续法向量  $N_1=(a_1, b_1, c_1)$ ,其中  $a_1, b_1, c_1$  分别为法向量  $N_1$  的 X, Y, Z 坐标值,

[0020] 3) 求解其中两项角运动误差,包含以下两个分步:

[0021] 第一步:如图 1 所示,将后续法向量  $N_1$  所在斜平面  $A_1B_1G_1H_1$  绕 Z 轴逆时针旋转,直至斜平面  $A_1B_1G_1H_1$  和基准法向量 N 所在斜平面 ABGH 重合,斜平面  $A_1B_1G_1H_1$  和斜平面 ABGH 之间的夹角  $\alpha$  即为第一个角运动误差;

[0022] 以逆时针旋转为正,可得下式:

$$[0023] \quad \alpha = \angle E_1A_1H_1 - \angle EAH = \arcsin \frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}} - \arcsin \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

[0024] 经过旋转后,斜平面  $A_1B_1G_1H_1$  旋转至  $A_1B_1G_1' H_1'$  位置,斜平面  $A_1B_1G_1' H_1'$  和斜平面 ABGH 完全重合,后续法向量  $N_1$  旋转至  $N_1'$  位置,  $N_1'$  和 N 处在同一平面内;

[0025] 第二步:将法向量  $N_1'$  所在的斜平面  $A_1D_1' G_1' F_1'$  绕 X 轴顺时针旋转直至与基准法向量 N 所在斜平面 ADGF 重合,斜平面  $A_1D_1' G_1' F_1'$  和斜平面 ADGF 之间的夹角  $\beta$  即为第二个角运动误差;

$$[0026] \quad \beta = \angle EAF - \angle E_1'A_1F_1' = \arcsin \frac{c}{\sqrt{b^2 + c^2}} - \arcsin \frac{c_1'}{\sqrt{b_1'^2 + c_1'^2}}$$

[0027] 式中  $b_1' = \sqrt{a_1^2 + b_1^2}$ ,  $c_1' = c_1$ ,

$$[0028] \quad \text{那么 } \beta = \arcsin \frac{c}{\sqrt{b^2 + c^2}} - \arcsin \frac{c_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}}$$

[0029] 三项角运动误差只需求解其中两项,对于以上结论的进行证明:

[0030] 如图 2 所示,空间法向量与其在 XOY, YOZ, ZOX 平面的投影夹角的正弦值分别为

$$\sin \delta = \frac{c'}{\sqrt{a'^2 + b'^2 + c'^2}}, \quad \sin \theta = \frac{b'}{\sqrt{a'^2 + b'^2 + c'^2}}, \quad \sin \varphi = \frac{a'}{\sqrt{a'^2 + b'^2 + c'^2}}, \quad \text{所以有以下关系}$$

式:

[0031]

$$(\sin \delta)^2 + (\sin \theta)^2 + (\sin \varphi)^2 = 1$$

[0032] 以上四个等式可以看成以  $\delta$ ,  $\theta$ ,  $\varphi$  的方程, 且相互独立, 因此, 已知其中三个等式便可以求出全部未知数。也就是说, 已知法向量和平面 XOY, YOZ, ZOX 夹角中的任意两个, 便可以计算出第三个夹角, 法向量也唯一确定。

[0033] 对于角运动误差分离次序与分离值的讨论:

[0034] 在步骤 3), 法向量先绕 Z 轴旋转, 然后绕 X 轴旋转, 旋转角度分别为:

$$[0035] \quad \alpha = \arcsin \frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2}} - \arcsin \frac{a}{\sqrt{a^2 + b^2}}$$

$$[0036] \quad \beta = \arcsin \frac{c}{\sqrt{b^2 + c^2}} - \arcsin \frac{c_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}}$$

[0037] 倘若先绕 X 轴旋转, 再绕 Z 轴旋转, 旋转角度分别为:

$$[0038] \quad \alpha = \arcsin \frac{c_1}{\sqrt{b_1^2 + c_1^2}} - \arcsin \frac{c}{\sqrt{b^2 + c^2}}$$

$$[0039] \quad \beta = \arcsin \frac{a}{\sqrt{b^2 + a^2}} - \arcsin \frac{a_1}{\sqrt{a_1^2 + b_1^2 + c_1^2}}$$

[0040] 由此可以看出, 旋转次序不同, 旋转角度也就不同。

[0041] 选择不同的旋转轴, 旋转的角度也就不同。误差补偿总矩阵是六项误差矩阵相乘的形式得到的。这就要求误差总矩阵的计算一定要按照误差分离次序进行。

[0042] 4) 对所有后续采样位置重复步骤 2) 至步骤 3), 可以得到整个运动轴的所有位置角运动误差的分布。

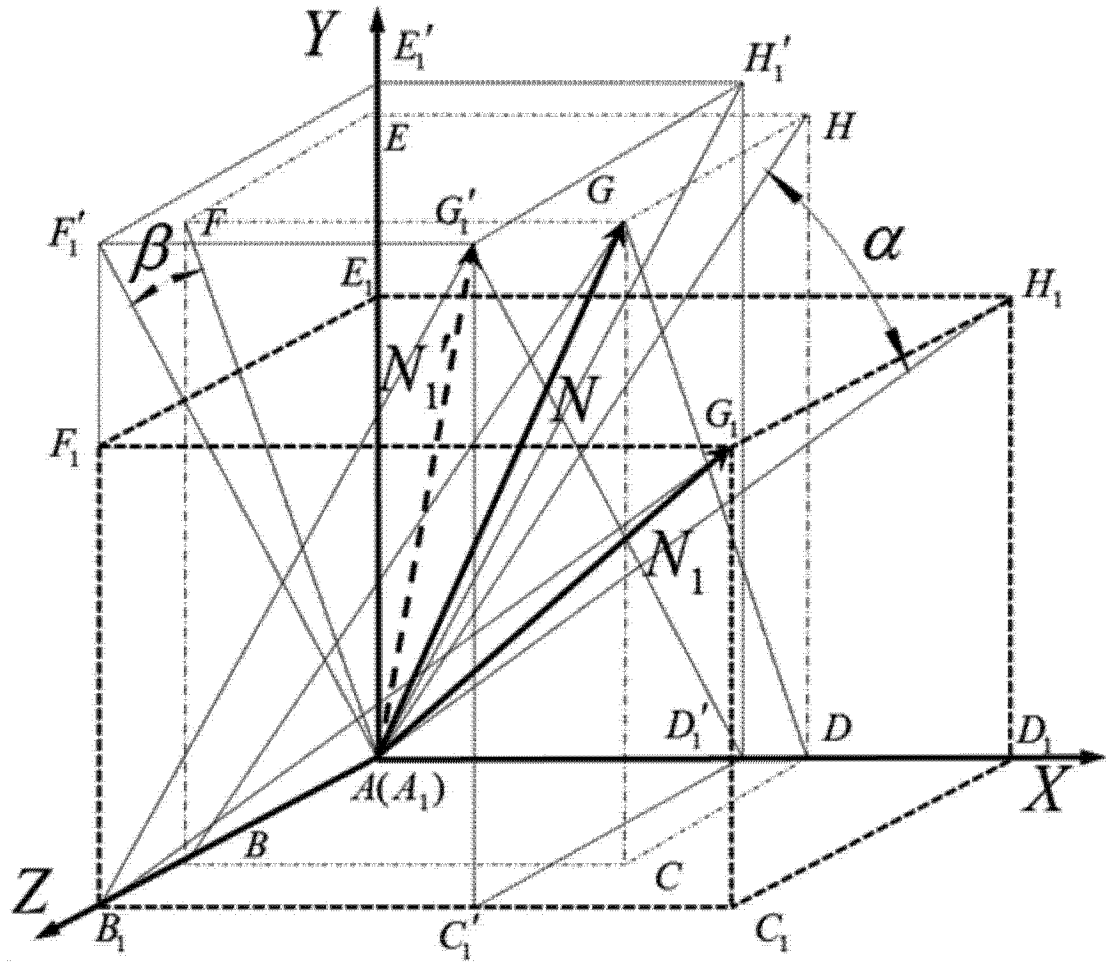


图 1

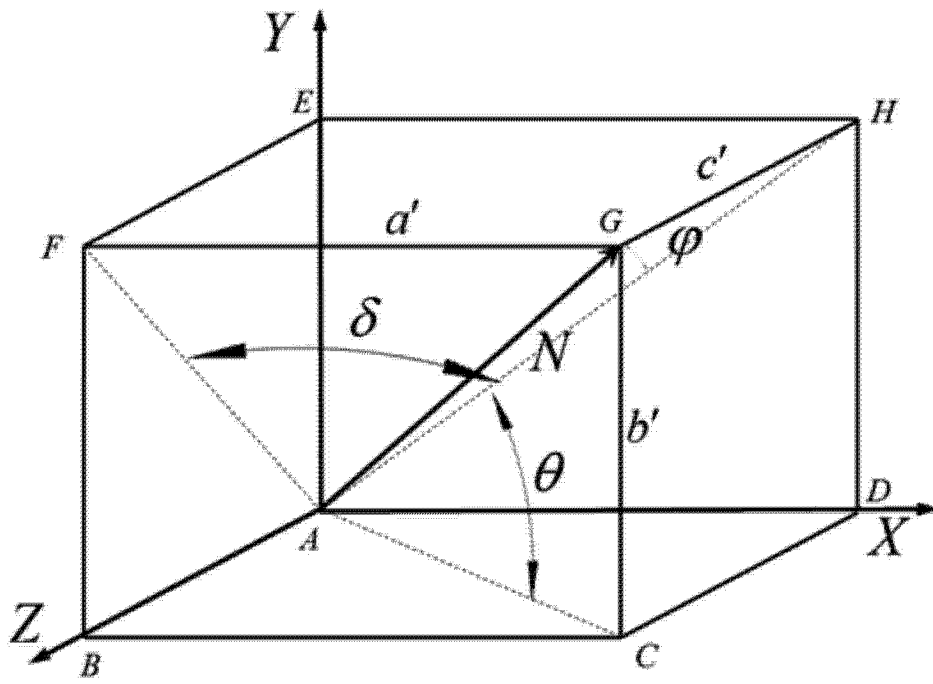


图 2