

改进的精密三点法 ——在线测量直线度方法的再探讨*

林 雪 梁建成 李圣怡

(国防科技大学机械电子工程与仪器系 长沙 410073)

摘 要 在原精密三点法的基础上,对插值方法进行了改进,对随机误差采用了相应的数据处理方法,使得分离结果更加接近真实值,并有效地去除了随机误差的影响,得到了采样值加密的曲线,文中给出了改进的精密三点法的算法和流程图。从仿真和实验结果来看,该方法是具有可行性和可靠性的。

关键词 直线度;误差分离;三传感器法

分类号 TH161.1

精密三点法是在两点法测直线度的基础上,使用了三个传感器,利用了三个传感器之间间隔的不相等,进行插值,加密采样点。作为一种新的直线度测量方法,该方法有其先进性,但同时也存在着不足。

1 原精密三点法的基本原理

原来的精密三点法测量原理如下:

设三个传感器之间的间隔分别为 l_1 和 l_2 , 那么各个传感器的值应为

$$D_a(x) = Y(x) - X(x) \quad (1)$$

$$D_b(x) = Y(x) - X(x - l_1) \quad (2)$$

$$D_c(x) = Y(x) - X(x - l_1 - l_2) \quad (3)$$

其中, $Y(x)$ 为传感器导轨误差, $X(x)$ 为工件直线度误差, $D_a(x)$, $D_b(x)$, $D_c(x)$ 分别为三个传感器的采样值。

设传感器采样的步长为 Δl , $m_1 = l_1 / \Delta l$, $m_2 = l_2 / \Delta l$, 则方程组离散化为

$$D_a(k) = Y(k) - X(k) \quad (4)$$

$$D_b(k) = Y(k) - X(k - m_1) \quad (5)$$

$$D_c(k) = Y(k) - X(k - m_1 - m_2) \quad (6)$$

由式(4)、(5)得

$$X(k) = X(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k) \quad (7)$$

由式(4)、(6)得

* 1994年7月27日收稿

$$X_1(k) = X_1(k - m_1 - m_2) + D_c(k - m_1 - m_2) - D_a(k) \quad (8)$$

由上述两式可以分别得出两条曲线 $X(k)$ 和 $X_1(k)$, 两条曲线应在 m_1 和 (m_1+m_2) 的公倍数点处重合。设在 $m_1 \cdot (m_1+m_2)$ 处两曲线的值分别为 $X(m_1 \cdot (m_1+m_2))$, $X_1(m_1 \cdot (m_1+m_2))$, 两者之间的差值为

$$d = X(m_1 \cdot (m_1 + m_2)) - X_1(m_1 \cdot (m_1 + m_2))$$

假设两曲线各点之间的差值成线性, 于是可以利用 d 和 $X_1(k)$ 的值对 $X(k)$ 作线性插入, 其公式如下:

$$X(m_1 + m_2) = X_1(m_1 + m_2) + (1/m_1) \cdot d$$

$$X(2 \cdot (m_1 + m_2)) = X_1(2(m_1 + m_2)) + (2/m_1) \cdot d$$

.....

$$X((m_1 - 1) \cdot (m_1 + m_2)) = X_1((m_1 - 1) \cdot (m_1 + m_2)) + ((m_1 - 1)/m_1) \cdot d$$

共计 $m_1 - 1$ 个点,

将 $X(m_1 + m_2)$, $X(2 \cdot (m_1 + m_2))$, ..., $X((m_1 - 1) \cdot (m_1 + m_2))$ 作为初始值, 代入下式

$$X(k) = X(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k)$$

便可求得各插值点的数值。

经过插值, $X(k)$ 曲线上的点数便变为了原来的 m_1 倍, 然后再消除初值位置误差和累积误差, 便可得到所需的加密了测量点数的直线度误差测量曲线。

2 原方法的正确性分析

在上述推导方法中, 我们可以看出, 假设的前提条件是两曲线各对应点之间的差值与各点的位置呈线性分布, 而实际上是否真的呈线性呢?

显而易见, 当不存在随机噪声和其他误差, 只有传感器的初始安装位置误差时, 两曲线各对应点之间的差值与各点的位置的确呈线性分布; 一旦加入了随机噪声干扰, 便打乱了线性分布的曲线。这一点, 从仿真实验中可以看出。

图 1 为未加入随机噪声的误差值。图 2 为用精密三点法分离得到的误差值。

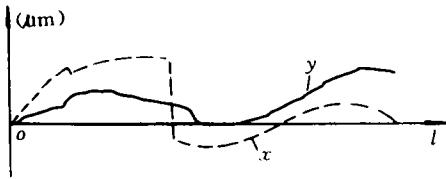


图 1



图 2

图 3 为加入随机噪声后用精密三点法分离得到的结果。

和原有曲线相比, 有很大的变形, 这便是由于两曲线对应点差值的线性受到随机误差破坏而造成的。

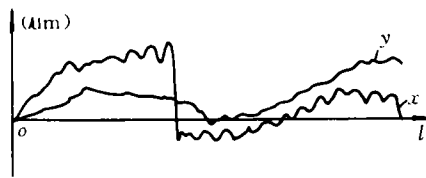


图 3

所以, 为了得到逼真的曲线, 我们必须从恢复两曲线对应点差值的线性入手, 改进精密三点法的数据分离方法。

3 改进的精密三点法

从上面的分析中可以看出, 如果没有随机噪声干扰, 两曲线对应点差值应该呈线性。所以, 我们可以先将各重合点的差值算出, 用最小二乘法拟合, 令其呈线性。通过比较拟合差值与实际差值, 在拟合出来的直线最稳定的段落上, 寻找插值点, (为了叙述方便, 下文假设找到的插值点为第 $m_1+m_2, 2(m_1+m_2), \dots, m_1 \cdot (m_1+m_2)$ 点), 进而推算出加密的曲线, 消除初始偏差, 得到的曲线大致形状已很接近于实际曲线, 只是有一些小毛刺, 经过平滑处理便可消除。

基于以上分析, 我们对该方法作如下改进。

传感器的关系式可以写为:

$$D_a(k) = Y(k) - X(k) + R_1(k)$$

$$D_b(k) = Y(k) - X(k - m_1) + R_2(k)$$

$$D_c(k) = Y(k) - X(k - m_1 - m_2) + R_3(k)$$

式中 $R_1(k), R_2(k), R_3(k)$ 为随机噪声。我们仍设 $X_c(0), X_{1c}(0) = 0$

$$X_c(k) = X_c(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k), k = m_1, 2 \cdot m_1, \dots, n$$

$$X_{1c}(k) = X_{1c}(k - m_1 - m_2) + D_c(k - m_1 - m_2) - D_a(k),$$

$$k = m_1 + m_2, 2 \cdot (m_1 + m_2), \dots, n$$

$$D(k) = X_c(k) - X_{1c}(k), k = 0, m_1 \cdot (m_1 + m_2), 2 \cdot m_1 \cdot (m_1 + m_2), \dots, n$$

对 $D(k)$ 进行最小二乘法直线度拟合得直线 $D_1(k)$, 便可通过下列公式得到各基准点的值。

$$X_c(m_1 + m_2) = X_{1c}(m_1 + m_2) + D_1(m_1 + m_2)$$

$$X_c(2 \cdot (m_1 + m_2)) = X_{1c}(2 \cdot (m_1 + m_2)) + D_1(2 \cdot (m_1 + m_2))$$

.....

$$X_c(m_1 \cdot (m_1 + m_2)) = X_{1c}(m_1 \cdot (m_1 + m_2)) + D_1(m_1 \cdot (m_1 + m_2))$$

将 $X_c(m_1 + m_2), X_c(2 \cdot (m_1 + m_2)), \dots, X_c(m_1 \cdot (m_1 + m_2))$ 代入下式

$$X_c(k) = X_c(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k)$$

便可求得各插值点的数值。

例如对于 $X_c(m_1 + m_2)$, 在 $m_1 + m_2$ 以后的点, 可以代入

$$X_c(k) = X_c(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k)$$

式中 $k = 2 \cdot m_1 + m_2, 3 \cdot m_1 + m_2, 4 \cdot m_1 + m_2, \dots, (k \leq n)$

而对于 $m_1 + m_2$ 以前的点, 可以代入

$$X_c(k - m_1) = X_c(k) - D_b(k - m_1) + D_a(k)$$

式中 $k = m_1 + m_2, m_2, m_2 - m_1, (k = n)$

对于 $X_c(2 \cdot (m_1 + m_2)), X_c(3 \cdot (m_1 + m_2)), \dots, X_c(m_1 \cdot (m_1 + m_2))$, 也可以此类推。

设 $X_i(k)$ 是消除了初始偏差的曲线,

$$X_i(k) = X_i(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k) + \delta_1$$

将 $X_i(k)$ 代入 $X_c(k)$

$$X_r(k) - X_r(k - m_1) = X_c(k) - X_c(k - m_1) - \delta_1$$

则由(4)式可得

$$X_r(m_1) - X_r(0) = X_c(m_1) - X_c(0) - \delta_1$$

$$X_r(2 \cdot m_1) - X_r(m_1) = X_c(2 \cdot m_1) - X_c(m_1) - \delta_1$$

.....

$$X_r(n) - X_r(n - m_1) = X_c(n) - X_c(n - m_1) - \delta_1$$

在这里, n 为 $m_1 \cdot (m_1 + m_2)$ 的整数倍。各式相加可得,

$$X_r(n) - X_r(0) = X_c(n) - X_c(0) - (n/m_1) \cdot \delta_1$$

令 $X_r(n) = X_r(0) = 0$, 即以测量曲线的第 0 点和第 n 点的连线作为横坐标轴。于是可得,

$$\delta_1 = X_c(n) \cdot m_1/n$$

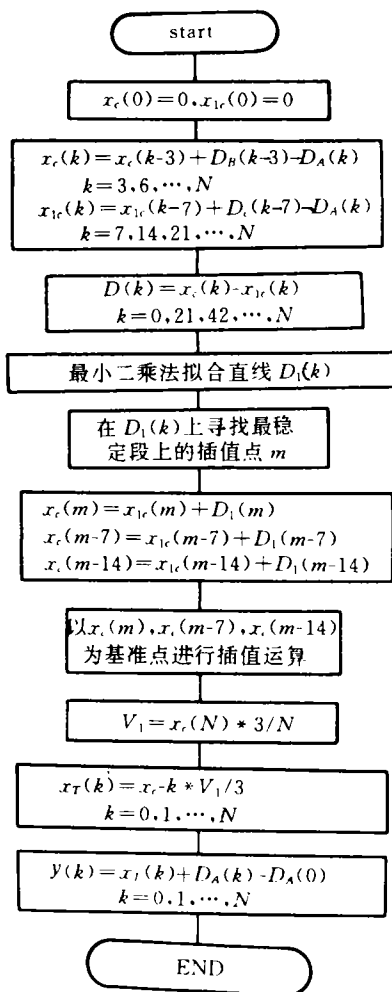


图 4

再将 δ_1 代入下式

$$X(k) = X(k - m_1) + D_b(k - m_1) - D_a(k) - \delta_1, \quad k = m_1, 2 \cdot m_1, 3 \cdot m_1, \dots, n$$

式中 $X(0) = 0$, 于是便可得到消除了初台偏差的 $X(k)$ 曲线。

$$Y(k) = X(k) + D_a(k) - D_a(0), \quad k = 0, 1, 2, \dots, n$$

然后, 对误差曲线进行平滑处理, 便可得到光滑曲线。

该方法的流程图如下

4 仿真结果

在仿真实验中, 我们设 $m_1 = 3, m_2 = 4$

设 $X(k), Y(k)$ 的值仍如图 1 所示。

加入随机噪声后, 用改进的精密三点法的分离结果如图 5 所示。



图 5

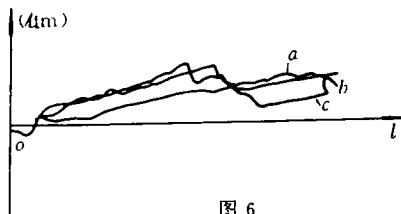


图 6

可以看出, 分离结果同原有曲线几乎相同, 由此证明改进的精密三点法是有效的。

5 实验结果

在实际实验中, 我们仍设置 $m_1 = 3, m_2 = 4$, 测得的三传感器的曲线如图 6 所示。

图 7 为用改进的精密三点法获得的实验结果。

从仿真和实际实验中可以看出, 改进的精密三点法是具有可行性的。

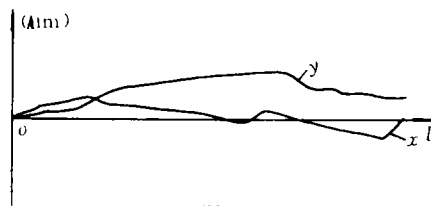


图 7

参 考 文 献

- 1 李圣怡, 谭捷, 潘培元. 精密三点法——在线测量精密机床直线度的新方法. 国防科技大学学报, 1993, 15(3)
- 2 Koichi Tozawa, Hisayshi Suto, Masanor O-hori. A New Method for Measurement of the Straightness of Machine tools and Machined Work. J of Mechanical, July 1982, 104: 507
- 3 H Tanasaka, H Sato. Extensive Analysis and Development of Straightness Measurement by Sequential-Two-Points Methods. Transaction of the ASME 176 August, 1986. 108

The Improved FSTRP—Studying the Method for On-line Measurement of the Straightness Again

Lin Xue Liang Janchengd Li Shengyi
(Department of Mechantronics Engineering
and Instrumentation,NUDT,Changsha, 410073)

Abstract

In this paper, we chang the method of inserting sampling points based on the old FSTRP, and adopt corresponding methods of data processing for the random error. These improvements make the separation results more exact, and get rid of the random error efficiently, aquir the curved line which has mors sampling points. This paper gives the algorithm and flow diagram of improved FSTRP. In accordance with the results of computer simulation and experiment, this method is feasible and reliable.

Key words straightness; error separating; three-sensor method

国家“863”高技术资助课题——“柔性制造环境下 基于质量控制的状态监控系统”通过鉴定

1994年9月23日,在武汉华中理工大学召开“第三届中国计算机集成制造系统研讨会(CIMS'94—CHINA)”期间,国防科技大学机械电子工程与仪器系研制完成的“柔性制造环境下基于质量控制的状态监控系统”课题通过鉴定。

鉴定委员会由中科院院士、华中理工大学校长杨叔子教授,国家八六三高技术CIMS主题质量控制网点负责人、西安交通大学林志航教授等人主持了此次鉴定会。会议听取了课题组作的研制报告、技术报告、测试结果报告、资料审查报告,并进行了认真的讨论与评审。

课题组结合制造单元和对之进行监控的现状与发展趋势,历时三年,自行设计、研制了满足柔性加工环境的设备与过程状态监控系统,该系统为一通用化、模块化、可扩展与可重新组合式的结构,是一分布式多传感器融合的多参数、多模型集中控制与综合处理、决策系统。其主要特点是:①开放式的体系结构;②建立了柔性多变过程与复杂大系统缺乏先验故障知识与先验故障模式样本时的状态监测与诊断决策模型;③实现了柔性制造系统的运行状态信息数据采集、信息交换与处理、状态类别智能决策与综合评判等功能。

该成果在系统结构、状态辨识模型与方法等方面有创新突破。其成果在国内处于领先地位,达到国际先进水平。

(天 颢)