霍尔电流传感器线性度检测方法

摘要

线性度是衡量传感器好坏的一项重要指标。在规定的工作条件下，霍尔传感器输入输出之间应该呈现线性关系，由于选择的参考标准不同，对于线性度计算结果也各异，故本文对霍尔传感器线性度测试方法与计算方法做了基本介绍。

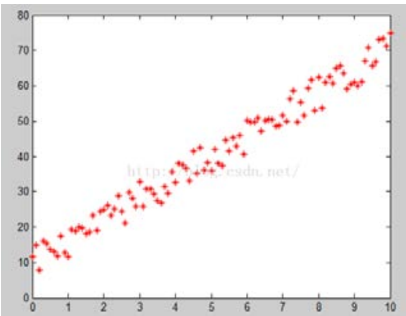
一. 测试方法介绍

1.1 线性度基础知识

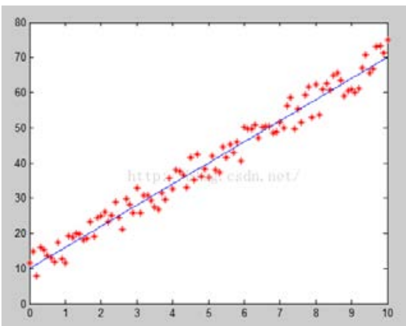
线性度是描述传感器静态特性的一个重要指标，以被测输入量处于稳定状态为前提。在规定条件下，传感器校准曲线与拟合直线间的最大偏差（ΔY_{max}）与满量程输出（Y）的百分比，称为线性度（线性度又称为“非线性误差”），该值越小，表明线性特性越好。以上说到了“拟合直线”的概念，拟合直线是一条通过一定方法绘制出来的直线，求拟合直线的方法有：端基法、最小二乘法等等。

1.2 引入二乘法拟合曲线概念

我们做了 m 次实验，得到一组数据$(x^{(1)},y^{(1)}),(x^{(2)},y^{(2)}),(x^{(m)},y^{(m)})$,我们希望知道 x 和 y 之间的函数关系。所以我们将其描绘在 XOY 直角坐标系下，得到如下云点图：



然后，我们发现，x 和 y 可能是线性关系，因为我们可以用一条直线大致的将所有的样本点串连起来，如下图：



所以我们可以猜测并引入第一个公式：$h_\theta(x) = \theta_0 + \theta_1 x$

这看起来是一个很简单的问题，θ_0和θ_1是两个未知数，我们只需要随意找出两个样本点 $(x^{(1)}, y^{(1)}), (x^{(2)}, y^{(2)})$，列出方程组：

$$y_1 = \theta_0 + \theta_1 x^{(1)}$$

$$y_2 = \theta_0 + \theta_1 x^{(2)}$$

两个未知数，两个方程，就可以求解出θ_0和θ_1的值。

然而，这里是不对的，或者说是不准确的。因为$h_\theta(x) = \theta_0 + \theta_1 x$ 这个函数关系，是我们猜测的，并不一定客观正确，既然是猜测的，就存在误差。所以我们需要修正这个函数关系：

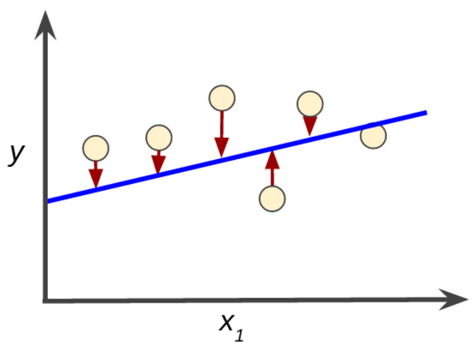
$$h_\theta(x) = \theta_0 + \theta_1 x + e_i$$

上式变形后得：

$e_i = h_\theta(x) - \theta_0 - \theta_1 x$

这里,我们引入了误差量e_i， 在这里，e_i 为函数值

所以，我们要找到一个函数，来匹配我们在实验中获得的样本值。需要调整θ_0和θ_1的值，来使得这个函数和实验中获得的数据更加匹配。所以，θ_0和θ_1才是曲线拟合过程中的自变量。



1.2 最小二乘法

最小二乘法的核心就是定义一个损失函数，公式： 目标函数 = ∑（观测值 − 理论值）^{2}

观测值就是我们的多组样本，理论值就是我们的假设拟合函数。目标函数也就是损失函数(损失函数（loss function）或代价函数（cost function）是将随机事件或其有关随机变量的取值映射为非负实数以表示该随机事件的“风险”或“损失”的函数。在应用中，损失函数通常作为学习准则与优化问题相联系，即通过最小化损失函数求解和评估模型)，我们的目标是得到使目标函数最小化时候的拟合函数的模型。回到上述例子，我们有 m 个只有一个特征的样本:

$$(x^{(1)}, y^{(1)}), (x^{(2)}, y^{(2)}),(x^{(m)}, y^{(m)})$$

样本采用下面的拟合函数：

$$h_\theta(x) = \theta_0 + \theta_1 x$$

这样我们的样本有一个特征 x，对应的拟合函数有两个参数θ_0和θ_1需要求出。

我们的目标函数为：

$J(\theta_0,\theta_1)=\sum_{i=1}^{m}(y^{(i)}-h_\theta x^{(i)})^2=\sum_{i=1}^{m}(y^{(i)}-\theta_0-\theta_1 x^{(i)})^2$

使$J(\theta_0,\theta_1)$最小，求出使$J(\theta_0,\theta_1)$最小时的θ_0和θ_1，这样拟合函数就得出了。

对θ_0和θ_1求偏导，令偏导数为 0，得到一个关于θ_0和θ_1的二元方程组。求解二元方程组，就可以得到θ_0和θ_1的值。

$J(\theta_0,\theta_1)$对θ_0求导，得到如下方程：

$\sum_{i=1}^{m}(y^{(i)}-\theta_0-\theta_1 x^{(i)})=0$ ①

$J(\theta_0,\theta_1)$对θ_1求导，得到如下方程：

$\sum_{i=1}^{m}(y^{(i)}-\theta_0-\theta_1 x^{(i)})x^{(i)}=0$ ②

① 和② 和组成一个二元一次方程组，容易求出θ_0和θ_1的值：

$$\theta_0=\frac{\sum_{i=1}^{m}(x^{(i)})^2\sum_{i=1}^{m}y^{(i)}-\sum_{i=1}^{m}x^{(i)}\sum_{i=1}^{m}x^{(i)}y^{(i)}}{m\sum_{i=1}^{m}(x^{(i)})^2-\left(\sum_{i=1}^{m}x^{(i)}\right)^2}$$

$$\theta_1=\frac{m\sum_{i=1}^{m}x^{(i)}y^{(i)}-\sum_{i=1}^{m}x^{(i)}\sum_{i=1}^{m}y^{(i)}}{m\sum_{i=1}^{m}(x^{(i)})^2-\left(\sum_{i=1}^{m}x^{(i)}\right)^2}$$

二. 霍尔电流传感器线性度计算

2.1 线性度误差计算

利用最小二乘法进行线性回归方程拟合，得到关于电流与增益的拟合曲线：

$\Delta V_{Gain}=ar\times IP+b$

得到ar与b后，得到每个 IP 点上拟合的增益ΔV_{Gain}，

根据公式

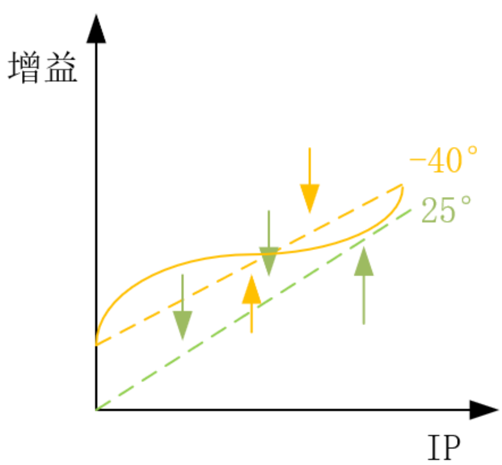
$$\frac{\Delta V_{Gain}实测-\Delta V_{Gain}拟合}{\Delta V_{Gain}拟合Max}\times 100\%,$$

得到每个 IP 点的线性度误差，其中

$$\Delta V_{Gain}拟合Max = ar \times IP_{max} + b$$

2.2 线性度温漂误差计算

计算线性度温漂误差需要引入温漂误差概念，从如下图所示，举例，橙色曲线实线是-40℃实测数据的大致曲线，橙色虚线是拟合直线，绿色虚线是 25℃下拟合直线，首先可以计算出-40℃下的线性度误差数据，根据最小二乘法的概念，线性回归方程的作用是是将-40℃下的数据向拟合直线收敛，所以温漂误差可以等效为-40℃下的拟合直线和 25℃下拟合直线的漂移误差。



据此概念，不难求得，每个 IP 点下，线性度温漂误差公式为

$$\frac{\Delta V_{Gain}拟合（-40℃）-\Delta V_{Gain}拟合（25℃）}{\Delta V_{Gain}拟合Max（25℃）}\times 100\%$$

同理，可推导至其他温度点。