

## 摘要

在大多数情况下，扫地机器人可通过开关信号检测碰撞。由于工作环境恶劣，开关不仅成本高昂，还会产生较大的碰撞噪声，并且只能通过开关安装方向大致确定碰撞的方向。本文档介绍并验证了通过 3D 线性霍尔传感器检测碰撞的解决方案，该解决方案不仅价格低廉，而且通过使用灵活的连接实现低噪声，并可得到相对准确的碰撞角度值。

## 内容

|                                |   |
|--------------------------------|---|
| 1 引言.....                      | 2 |
| 2 扫地机器人中的传统碰撞检测方法.....         | 2 |
| 3 不同类型的霍尔效应传感器.....            | 3 |
| 4 使用 3D 霍尔传感器检测扫地机器人的碰撞角度..... | 4 |
| 5 误差源分析.....                   | 6 |
| 6 功能演示测试.....                  | 8 |

## 插图清单

|  |    |
|--|----|
| 图 2-1. 打开扫地机器人.....                        | 2  |
| 图 3-1. 3D 霍尔传感器轴.....                      | 3  |
| 图 4-1. 安装的霍尔传感器和磁体的结构.....                 | 4  |
| 图 4-2. 碰撞后磁体位置轨迹.....                      | 4  |
| 图 4-3. 霍尔传感器的角度计算和输出数据波形.....              | 5  |
| 图 4-4. 弹簧安装.....                           | 5  |
| 图 5-1. 由于安装错误产生的磁体位置轨迹.....                | 6  |
| 图 5-2. 从 0° 到大约 180° 碰撞角内的霍尔传感器输出原始数据..... | 6  |
| 图 5-3. 霍尔传感器的原始数据和滤波数据波形.....              | 7  |
| 图 5-4. 添加阈值后的磁体位置轨迹.....                   | 7  |
| 图 5-5. 机器人移动时的碰撞力.....                     | 8  |
| 图 6-1. TMAG5170EVM 电路板和机器人碰撞角度检测演示.....    | 8  |
| 图 6-2. 固件流程图.....                          | 9  |
| 图 6-3. 曲线拟合图.....                          | 9  |
| 图 6-4. 演示中的霍尔传感器输出误差.....                  | 10 |

## 商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

## 1 引言

近年来，扫地机器人的市场发展迅猛，越来越多的人选择购买扫地机器人来替代人工清扫。扫地机器人等自主系统包含许多传感器来检测其工作环境，从而能够检测行走路径上的障碍物、地面上是否有坑洼，或是否与其他物体发生了碰撞。

因为地板上有许多障碍物，所以对于从高端到低端扫地机器人而言，碰撞检测都是一项基本且必要的功能。尽管扫地机器人有许多传感器来检测其环境，但有时碰撞是不可避免的。如果发生碰撞，机器人不得继续前进，而是在判断碰撞方向后转向另一个方向。

碰撞检测很有必要的，有助于扫地机器人调整和勘测可行进的方向。碰撞产生的噪声会很烦人，噪音的来源不仅是机器人撞击另一个物体的声音，还包括机器人的机械底盘产生的声音。

## 2 扫地机器人中的传统碰撞检测方法

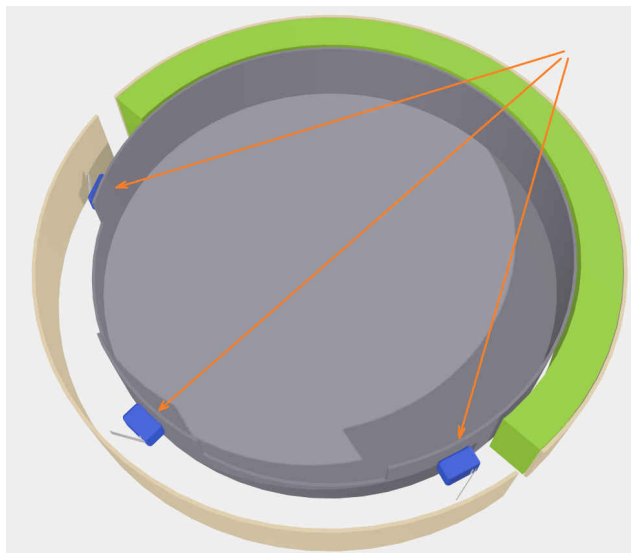


图 2-1. 打开扫地机器人

检测碰撞的传统方法是使用开关、机械开关或红外接收器和发送器对，如图 2-1 所示。为确保开关信号可靠工作，作为底盘一部分的碰撞外壳应能充分压缩，以便完全连接和释放开关接触器。由于存在上述机械限制，发生碰撞时的碰撞噪声是不可避免的。

在大多数情况下，该机制并不像上图所示那样简单。这些系统往往更加复杂和定制化，从而导致生产成本更高。扫地机器人必须克服的另一个挑战是恶劣的工作环境。清洁产品必须在可能存在各种污染物的区域正常工作。这些污染物包括但不限于灰尘颗粒、油、污水，甚至是果汁或酱汁等液体。为了使系统能够检测碰撞的方向，设计中采用了多个开关或传感器来检测不同的方向。使用多个传感器会导致材料和制造成本的增加。

### 3 不同类型的霍尔效应传感器

TI 提供几种不同类型的霍尔效应传感器：锁存器、开关、单轴线性传感器和 3D 线性传感器。因为线性传感器使用模拟电压或数字值来表示磁场强度，所以它们可以提供详细的磁性数据。电压或数字表示会随着器件所遇到的场的变化而变化。使用这些值，可以轻松计算从霍尔传感器到磁体的距离。这使得线性霍尔效应传感器非常适合接近检测应用。与单轴传感器不同，3 轴或 3D 线性传感器可以使用来自所有 3 个方向的磁场数据来计算角度和幅度。3D 线性霍尔效应传感器的三轴灵敏度定义如图 3-1 所示。

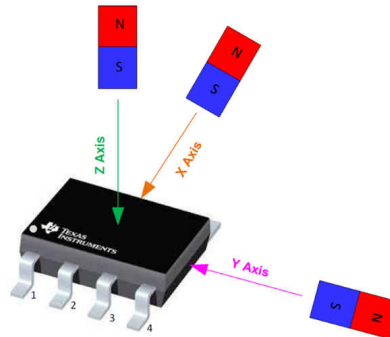


图 3-1. 3D 霍尔传感器轴

在撰写本文时，TI 提供了两种类型的 3D 线性霍尔传感器，一种具有 I2C 接口 (TMAG5273)，另一种具有 SPI 接口 (TMAG5170)。这些 3D 霍尔传感器中的每一个都提供了多个磁场范围选项，可让不同的使用案例和不同的环境受益。例如，如果将传感器放置在大电流电缆附近，或者放置在运行的电机旁边，这些其他器件会产生强磁场。使用不同的磁场范围选项会产生更好的 SNR (信噪比)。

与机械或 IR 开关相比，霍尔效应传感器更可靠，并且受温度、湿度、灰尘或水等环境变化的影响最小。

## 4 使用 3D 霍尔传感器检测扫地机器人的碰撞角度

如果系统将磁体的运动与缓冲器的运动相关联，当缓冲器与物体碰撞时，可使用 3D 霍尔效应传感器推断碰撞角度。如图 4-1 所示，磁体安装在连接到缓冲器的框架上。由于连接了框架，当缓冲器移动时，磁体会随之移动。虽然在图像中，磁体和霍尔传感器放置中心轴上，但因为框架上任意点的运动都是相同的，所以磁体和霍尔传感器可以放置在框架上的任意位置。

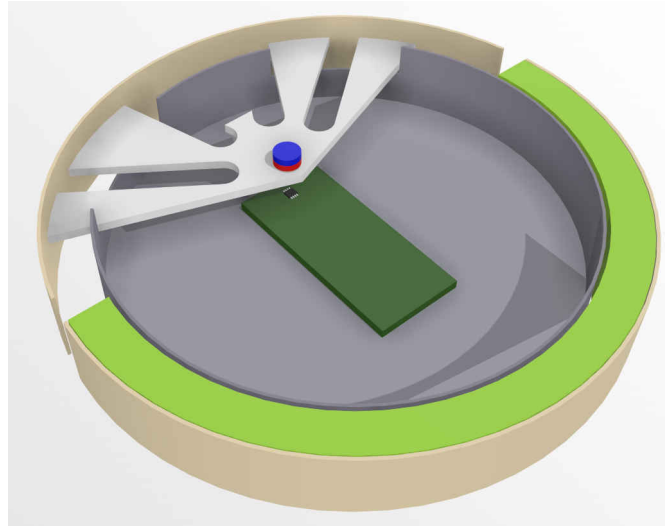


图 4-1. 安装的霍尔传感器和磁体的结构

当从  $0^{\circ}$ ~ $180^{\circ}$  发生碰撞时，霍尔传感器上的磁体位置会沿着 3D 空间路径中的类似路径移动，如图 4-2 上的黄色轨迹所示。如果将 TMAG5170 等 3D 线性霍尔传感器放置在磁体下方，则图 4-3 会显示此事件收集的波形。请注意，波形形状取决于霍尔传感器、安装设置、方向和磁体方向。

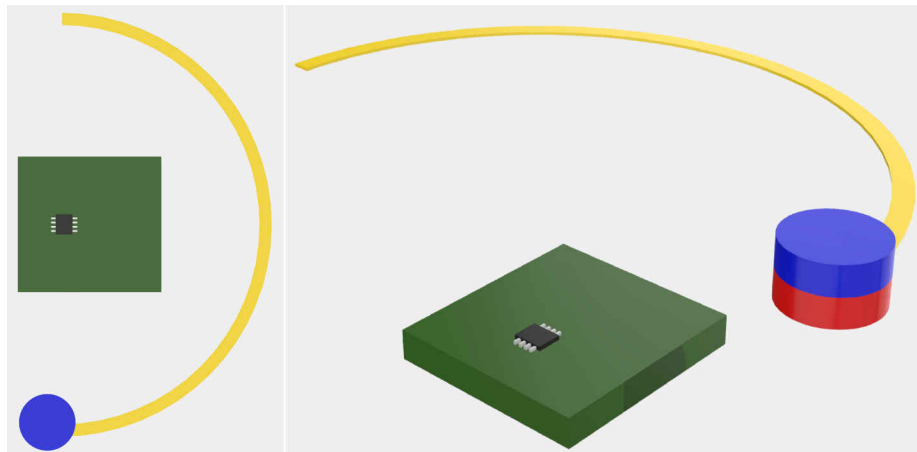


图 4-2. 碰撞后磁体位置轨迹

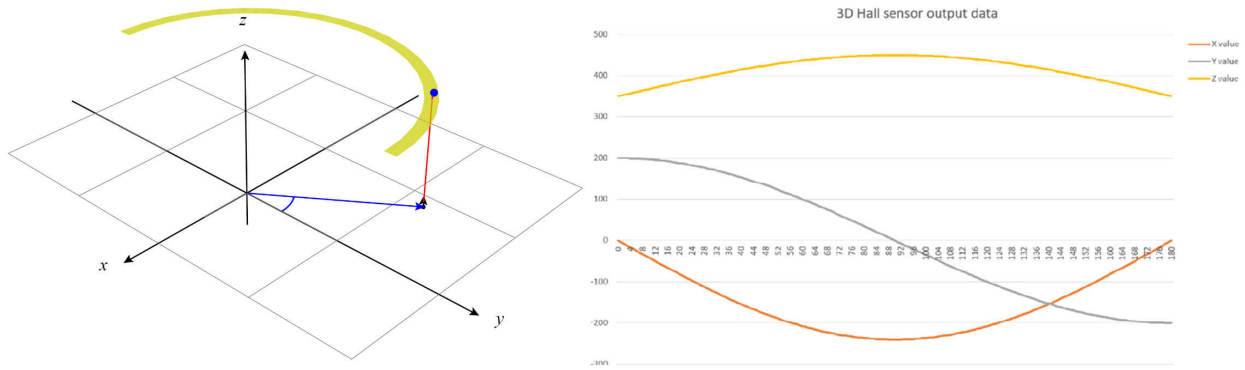


图 4-3. 霍尔传感器的角度计算和输出数据波形

缓冲器通过弹簧与扫地机器人的主结构相连。如图 4-4 所示，磁体框架下方的红色圆柱表示弹簧。弹簧功能用于在发生碰撞后使磁体返回其静止位置。除了弹簧外，底盘还应具有另一个有助于支撑磁性框架的结构。

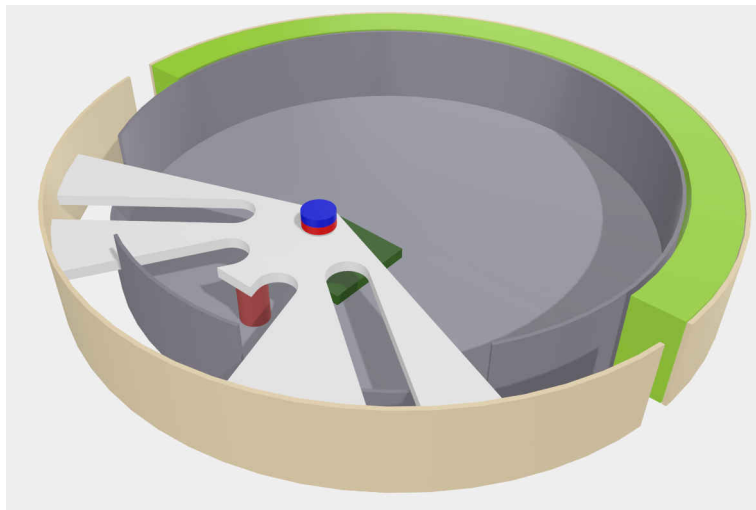


图 4-4. 弹簧安装

## 5 误差源分析

- 霍尔传感器电路板的安装位置错误和方向错误。例如，霍尔传感器不直接位于磁体下方，其轴与缓冲器的中心轴不重合。安装错误会导致磁体运动轨迹如图 5-1 所示。在本例中，测得的角度应在  $0^\circ$  至大约  $180^\circ$  范围内，但由于发生移位，结果为  $5^\circ$  至大约  $195^\circ$ ，更大的移位会导致角度为  $-15^\circ$  至大约  $195^\circ$ 。

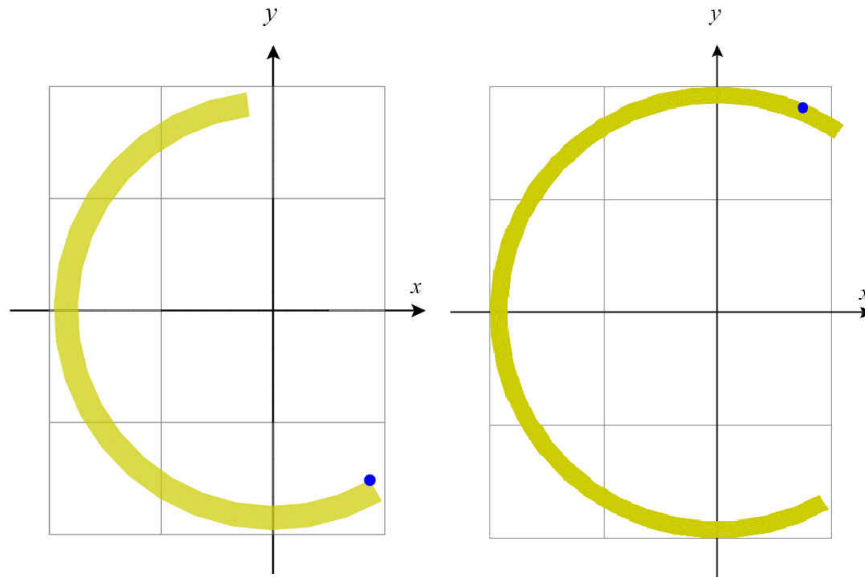


图 5-1. 由于安装错误产生的磁体位置轨迹

- 磁体底部与霍尔传感器封装不平行。这种轻微偏移也会在磁体和传感器 IC 之间产生一个角度，从而产生如图 5-1 所示的误差。这个偏移的磁体还会导致输出数据的波形不像图 4-3 中所示的数据波形那样平滑和对称。图 5-2 显示了当磁体与霍尔传感器不平行时的测量数据。

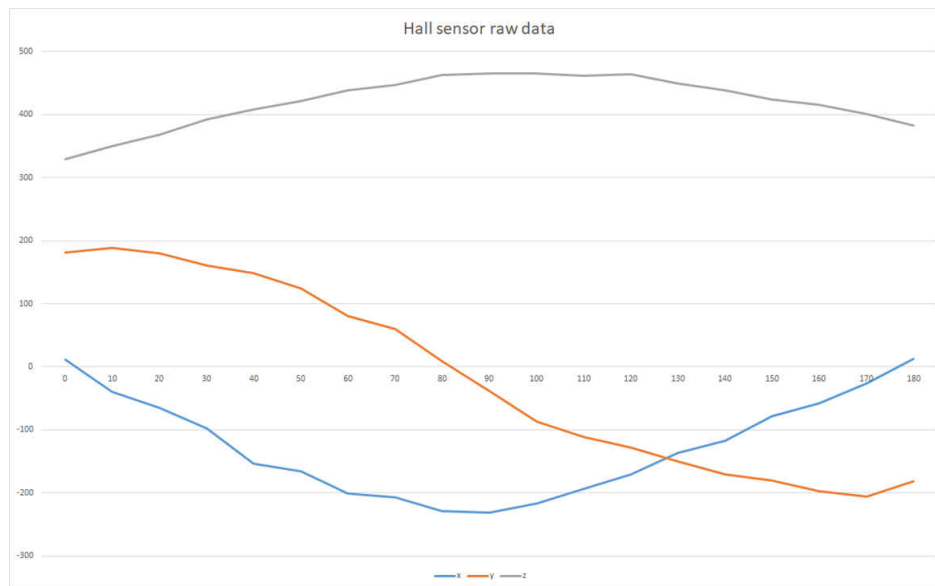


图 5-2. 从  $0^\circ$  到大约  $180^\circ$  碰撞角内的霍尔传感器输出原始数据

- 低 SNR 时，传感器 SNR 取决于磁体和传感器之间的距离、磁体强度以及霍尔传感器范围设置。TMAG5170 提供两种不同的灵敏度，每种灵敏度有三种可配置的范围设置。这些选项的范围为  $\pm 25\text{mT}$  至  $\pm 300\text{mT}$ 。
- 弹簧横向变形不均。
- 机器人运动速度、方向和弹簧强度以及表面材料的影响。

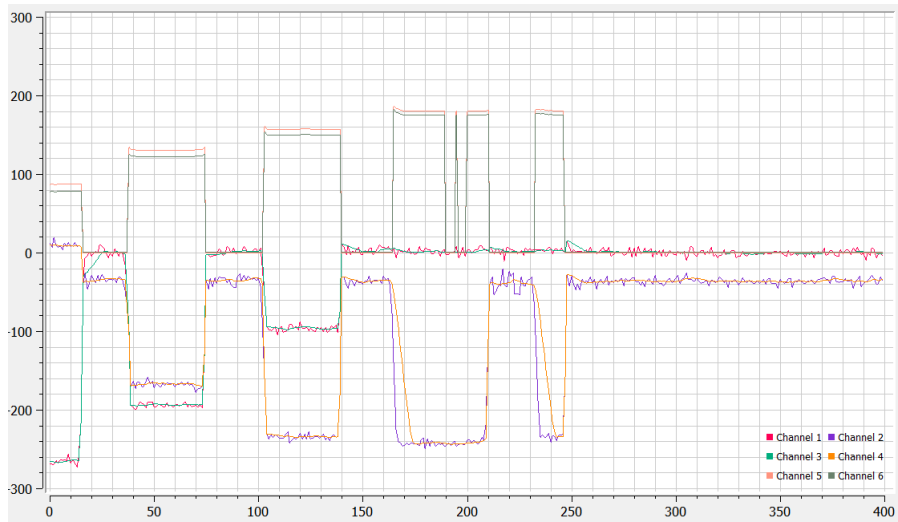


图 5-3. 霍尔传感器的原始数据和滤波数据波形

在使用满量程数据的统计曲线拟合计算之后，可以得到大规模生产中的大多数一般机械误差。可以在研发设计阶段减少测量误差，以确保系统所需的精度。二阶曲线拟合公式主要可减少误差并有助于满足误差要求。公式的源数据应为 X 轴和 Y 轴的原始角度数据，而不是使用 X 轴和 Y 轴的原始磁性数据。应首先计算原始反正切角，因为如果直接使用原始 X 和 Y 磁性数据，碰撞深度将与曲线拟合角度相关。

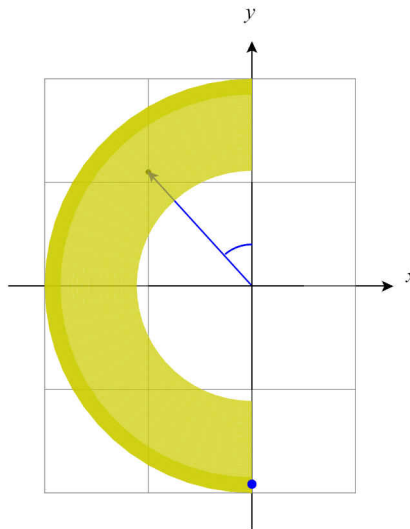


图 5-4. 添加阈值后的磁体位置轨迹

设置数据阈值以设置计算点。这有助于滤除移动机器人产生的噪声。碰撞后的磁点轨迹如图 5-4 所示。

机器人移动导致的误差主要归因于机器人的速度、移动方向、弹簧强度和缓冲器表面材料。由于撞击的方向不是朝向缓冲器弧形的中心部分，因此在使用霍尔传感器输出数据时，这种碰撞会导致测量角度和实际碰撞角度之间的误差相对较大。如图 5-5 所示，通过使用一个公式，可以对机器人的速度和方向原始角度数据进行补偿。

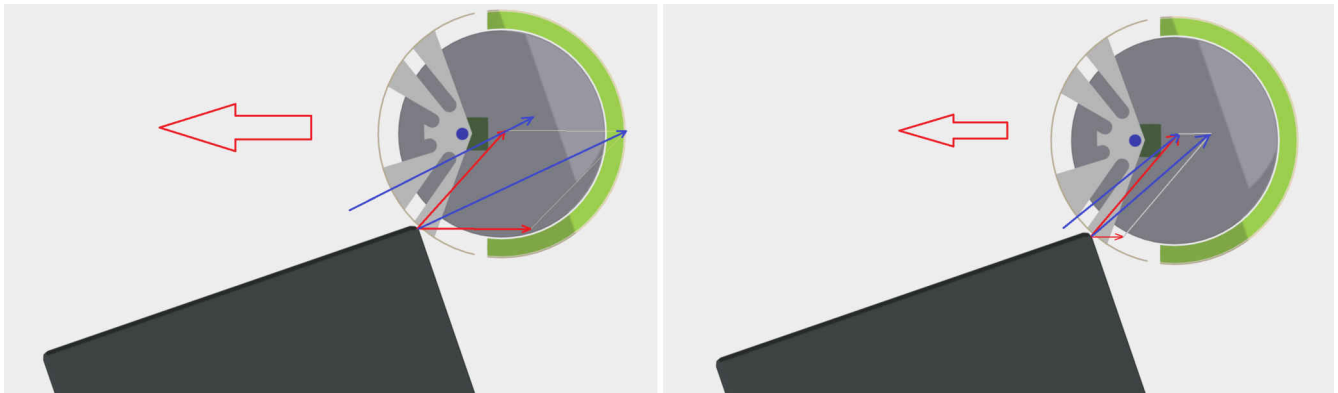


图 5-5. 机器人移动时的碰撞力

## 6 功能演示测试

该演示是使用 TMAG5170UEVM 和 TI M0+EVM 电路板创建。机械实现如图 6-1 所示。

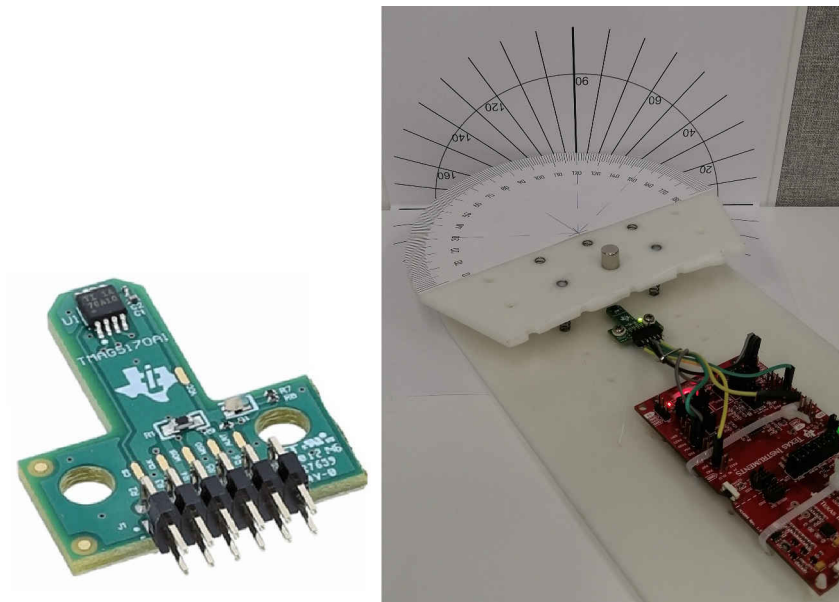


图 6-1. TMAG5170EVM 电路板和机器人碰撞角度检测演示



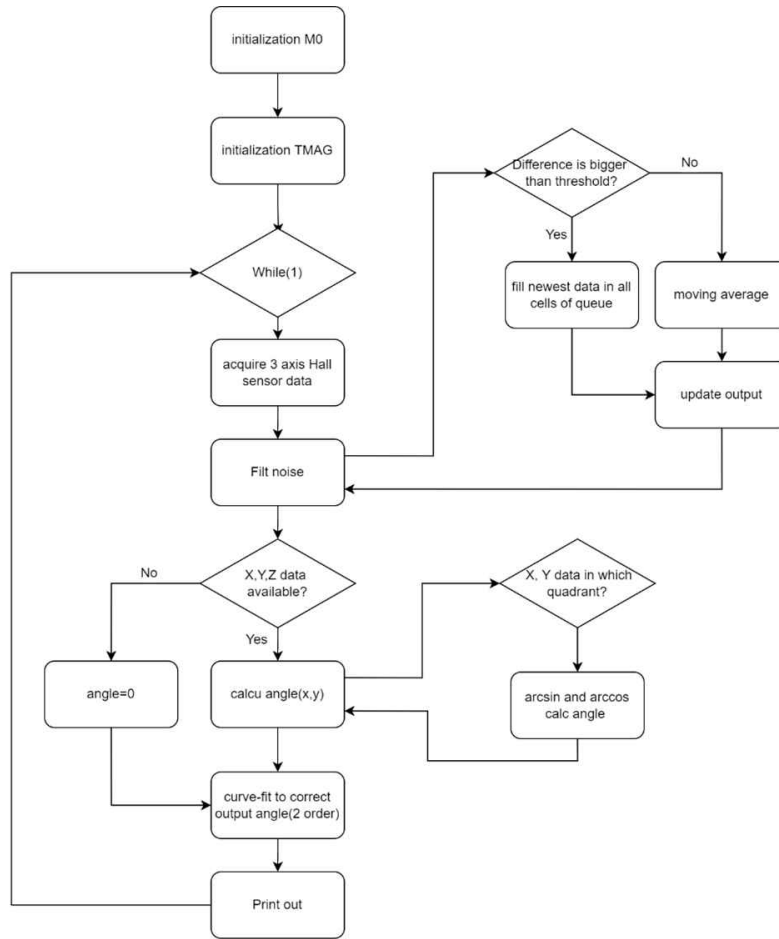


图 6-2. 固件流程图

二阶曲线拟合图和误差比较

实施二阶曲线拟合公式后，测量误差从最大值  $-11^\circ$  降至  $\pm 3^\circ$ 。

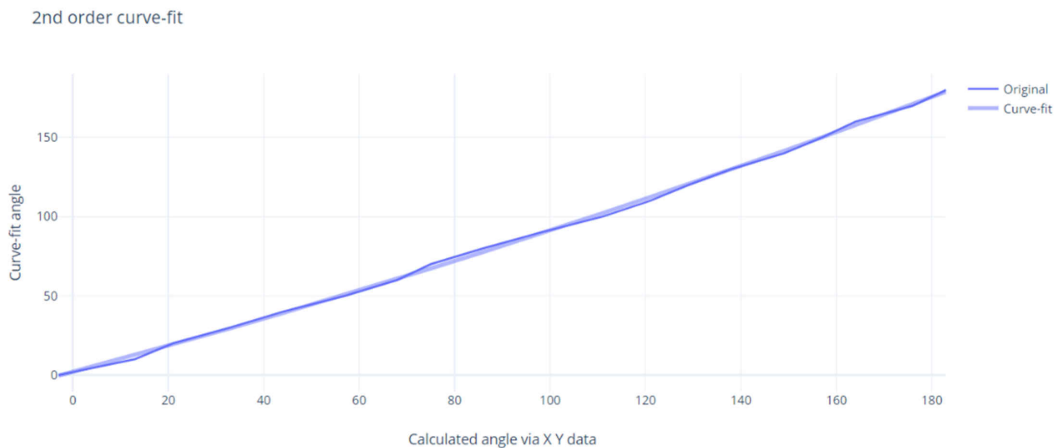


图 6-3. 曲线拟合图



图 6-4. 演示中的霍尔传感器输出误差

## 重要声明和免责声明

TI“按原样”提供技术和可靠性数据（包括数据表）、设计资源（包括参考设计）、应用或其他设计建议、网络工具、安全信息和其他资源，不保证没有瑕疵且不做任何明示或暗示的担保，包括但不限于对适销性、某特定用途方面的适用性或不侵犯任何第三方知识产权的暗示担保。

这些资源可供使用 TI 产品进行设计的熟练开发人员使用。您将自行承担以下全部责任：(1) 针对您的应用选择合适的 TI 产品，(2) 设计、验证并测试您的应用，(3) 确保您的应用满足相应标准以及任何其他功能安全、信息安全、监管或其他要求。

这些资源如有变更，恕不另行通知。TI 授权您仅可将这些资源用于研发本资源所述的 TI 产品的应用。严禁对这些资源进行其他复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。您应全额赔偿因在这些资源的使用中对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 的销售条款](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款/TI 产品随附的其他适用条款的约束。TI 提供这些资源并不会扩展或以其他方式更改 TI 针对 TI 产品发布的适用的担保或担保免责声明。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

邮寄地址：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265

Copyright © 2023，德州仪器 (TI) 公司