

Scott Bryson

## 引言

对于任何机构而言，若能监控移动物体的位置并反馈至微控制器，均可提高机械精度，增加功能用途，并改善质量。根据所跟踪运动和系统反馈形式，有多种检测器件可供选择。

为此而使用霍尔效应传感器时，位置编码就是一种无接触解决方案，几乎能在各种环境中检测自由移动物体的运动。

尤其重要的是，3D 霍尔效应传感器功能独特，可提供完整磁场的相关信息，能够检测所有 3D 运动的绝对位置。因此，这些器件在许多位置检测应用中都发挥了重要作用，例如操纵杆、自动化系统中的线性位置模块和换挡器等。

## 自由空间中的磁体

以 3D 霍尔效应传感器为例，该传感器可以检测和监控在其周围自由空间中移动的任何磁体。根据磁场在磁极下的分布具有对称性，可以快速推导出能够产生相同输入条件的多个位置。因此，该功能需要仔细规划，以便可靠确定绝对位置。

所有偶极磁体均可用于此目的，在传感器周围手动定位磁体所需的力会沿每条轴线变化。然而，所面临的挑战却是确保磁通密度的变化可用于区分磁体的运动。

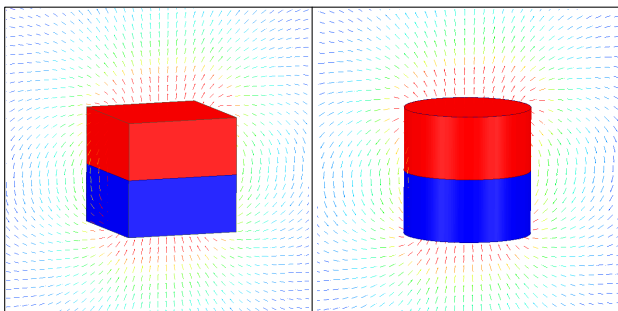


图 1. 磁场示例

仔细观察矢量线之后，发现有两个相对位置似乎能解决这一难题。将传感器置于极化轴线中心，无论与磁体之间的距离如何，都可为传感器提供易于识别的单向输入。同样，与磁极边界共面放置也会产生相同的效果。在该位置，无论传感器的距离如何，矢量都将与磁体表面平行。

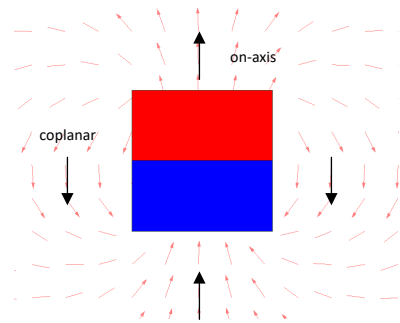


图 2. 单向矢量位置

这两个位置易于与传感器对齐，因而能为演示此概念提供简单方法。

对于传感器沿圆柱形磁体轴线方向布置的情形，可以通过检查输入场的幅值强度并根据方程式 1 计算出距离，进而确定磁体接近度

$$B(z) = \frac{B_r}{2} \left( \frac{z+T}{\sqrt{r^2 + (z+T)^2}} - \frac{z}{\sqrt{r^2 + z^2}} \right) \quad (1)$$

类似地，还可使用块状磁体并根据方程式 2 来确定接近度

$$B(z) = \frac{B_r}{\pi} \left[ \tan^{-1} \left( \frac{WL}{2z\sqrt{4z^2 + W^2 + L^2}} \right) - \tan^{-1} \left( \frac{WL}{2(T+z)\sqrt{4(T+z)^2 + W^2 + L^2}} \right) \right] \quad (2)$$

其中：

- $B_r$  = 磁体的剩磁
- $W$  = 块状磁体的宽度
- $L$  = 块状磁体的长度
- $T$  = 磁体的厚度
- $z$  = 磁体表面与极化轴线之间的距离。
- $r$  = 圆柱形磁体的半径

现在，根据这些计算结果，可以确定磁体极化后的矢量线上任何位置的磁通密度。这种关系可用于跟踪磁体远离或靠近传感器时的位置。但要求磁极应始终朝向传感器。如果磁体与传感器的  $z$  轴对齐，该方向通常也是一维传感器可能采用的方向。在多数情况下，需要增加第二自由度。以固定距离绕传感器旋转磁体，可使磁通

密度保持不变，但矢量的指向会改变。使用 3D 霍尔效应传感器进行测量时，将磁体置于传感器虚球面上任何位置，且磁极径向朝内，都将产生幅值恒定的矢量。

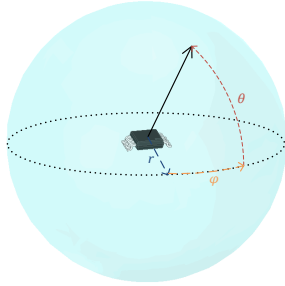


图 3. 绕传感器的恒定半径

磁通密度的总幅值如方程式 3 所示

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2 + B_z^2} \quad (3)$$

根据公式 1 和 3 进行反向计算，可确定距离传感器的半径  $r$ 。还可以使用  $B$  磁场的 X、Y 和 Z 分量的相对幅值来确定  $\phi$  和  $\theta$ ，从而完成如图 3 所示球面几何体中的位置计算。也可根据需要将其转换为笛卡尔坐标基准。

演示该运动时，请考虑 TMAG5170 轨道附件所示的轨道操纵杆。其中，磁体可安装在滑动螺柱上，然后通过转动该螺柱来调整传感器的范围。滑块会引导磁体在  $\theta$  方向上沿弯曲臂上下移动。此外，弯曲臂还可在  $\phi$  方向上绕传感器 360° 旋转。



图 4. TMAG5170 轨道附件

例如，可在磁体绕传感器旋转时捕获数据，并生成绕传感器的磁体位置图。图 5 为 3D 图，展示了在磁体绕传感器移动时基于输入磁通密度所捕获的采样位置。由于塑料的机械挠性和组装公差，半径可能略微改变。考虑这些变化之后，可以从输出数据中提取磁体位置，从而获得大多数运动的位置跟踪。

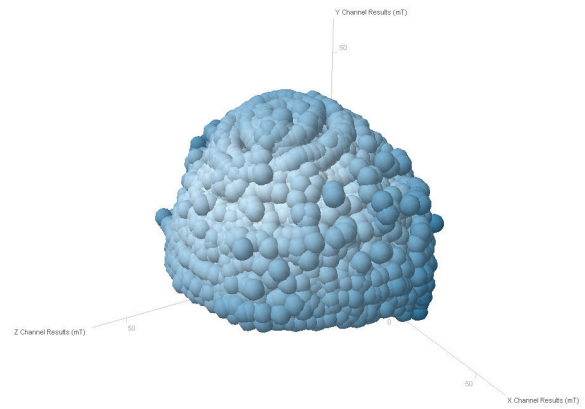


图 5. 轨道附件示例数据

此附件旨在连接到 TMAG5170EVM。轨道设计文件中提供了 3D 设计文件。

### 操纵杆

霍尔效应传感器同样适用于操纵杆功能。在枢轴末端安装磁体，可设计出 4 位操纵杆，如图 6 所示。在每个位置安装 DRV5032 等霍尔效应开关，可实现该控制的简单设计，能够检测磁体的倾斜度。

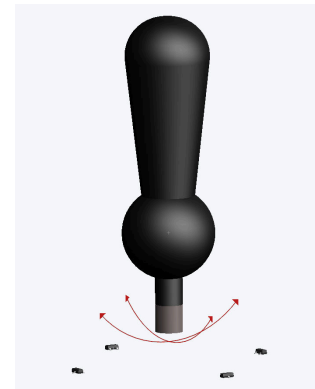


图 6. 四向操纵杆

如果仔细放置，每个传感器仅在磁体朝向其所在方向倾斜时才会获得足够的输入磁通密度。这样，每个操纵杆位置仅与一个传感器相关。与机电系统相比，这种方法的突出优势是霍尔效应传感器为无接触型，可减少机械故障点总数。

该配置的缺点则是位置信息本质上为二进制数。无论各位置是打开还是关闭，都无法确定倾斜度。若要保留 4 向操纵杆，同时增加幅值，可将所有 DRV5032 开关更换为 DRV5055 器件开关。DRV5055 能够根据磁场输入的幅值产生线性输出。更换之后，每个传感器都能产生可变输出，可用于确定操纵杆在四个方向中的任意方向上的摇摆距离。

单个 TMAG5170 可以同时确定倾斜度和角度，可进一步扩展该概念。如果将磁体改为球形，则其可用作机械

枢轴，从而充分减小总体设计尺寸。请参阅[拇指切换操纵杆分解图](#)中的示例。

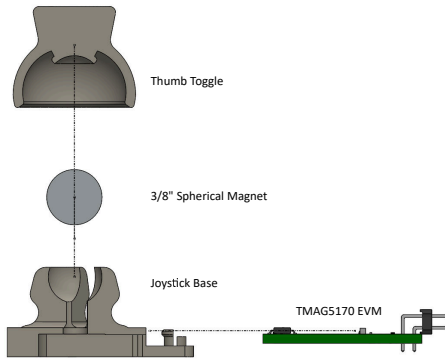


图 7. 拇指切换操纵杆分解图

磁极向下指向传感器时，磁场的指向完全为 z 轴方向。然后，当磁体朝任何方向倾斜时，所产生的矢量都具有 x 和 y 分量。仅根据 X 和 Y 分量来计算幅值，就可确定倾斜度。

$$|B| = \sqrt{B_x^2 + B_y^2} \quad (4)$$

此外，可将 x 和 y 分量作为输入，使用反正切函数来计算角度。

$$\theta = \tan^{-1}\left(\frac{B_y}{B_x}\right) \quad (5)$$

该磁体越倾斜，这些轴产生的幅值就越大。最终结果是：机构就可快速轻松确定倾斜幅值和角度。

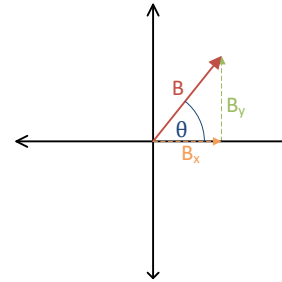


图 8. B 场幅值和角度

此附件旨在连接到 TMAG5170 EVM。3D 设计文件见[游戏手柄设计文件](#)。

有关使用线性霍尔效应传感器及一维或 3D 位置传感器来测量绝对位置的更多详细信息和指南，请参阅表 1 和表 2。

表 1. 备选器件建议

| 器件                  | 特征  | 设计注意事项   |
|---------------------|---|--|
| DRV5055(DRV5055-Q1) | 具有模拟输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的商用（汽车类）单轴双极性线性霍尔效应传感器。    | 模拟输出受电气噪声影响，计算需要 MCU 计算。单轴灵敏度限制了在自由空间内跟踪运动的能力。                       |
| DRV5056(DRV5056-Q1) | 具有模拟输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的商用（汽车类）单轴单极性线性霍尔效应传感器。    | 模拟输出受电气噪声影响，需要 MCU 计算。单轴上的正值灵敏度在很大程度上限制了在自由空间中跟踪运动的能力。               |
| DRV5057(DRV5057-Q1) | 具有 PWM 输出、采用 SOT-23 和 TO-92 封装的商用（汽车类）单轴双极性线性霍尔效应传感器。 | PWM 输出需要转换，但不易受到耦合噪声的影响。单轴灵敏度限制了在自由空间内跟踪运动的能力。                       |
| DRV5032             | 采用 SOT-23、TO-92 或 X2SON 封装的单极或双极单轴霍尔效应开关。             | 霍尔效应开关可用于离散位置跟踪，例如 4 向操纵杆功能。该器件是一款低功耗霍尔效应传感器，非常适合电池供电应用。             |
| TMAG5170-Q1         | 具有 SPI 接口、采用 8 引脚 DGK 封装的汽车级线性 3D 霍尔效应位置传感器。          | 高磁矢量灵敏度。该器件能够跟踪各种磁体位置，但仍需要仔细规划，确保所有输入条件都映射到特定位置。                     |
| TMAG5170D-Q1        | 具有 SPI 接口、采用 16 引脚 TSSOP 封装的汽车级双芯片线性 3D 霍尔效应位置传感器。    | 是一种双器件设计，能够检测所有磁场分量，并集成角度计算和磁场归一化。专为功能安全而开发，并提供资源来支持高达 ASIL D 级别的设计。 |
| TMAG5273            | 具有 I2C 接口、采用 6 引脚 SOT-23 封装的线性 3D 霍尔效应位置传感器。          | 与 TMAG5170 类似，但可在 I2C 上运行，具有更宽泛的灵敏度公差规格。                             |

表 2. 相关技术资源

| 名称                                       | 说明                               |
|--|----------------------------------|
| <a href="#">线性霍尔效应传感器阵列设计</a>            | 指导如何设计可用于跟踪长路径运动的传感器阵列。          |
| <a href="#">线性霍尔效应传感器简介：实现非接触式精确位置检测</a> | 论述线性输出和开关输出霍尔效应传感器之间的差异。         |
| <a href="#">霍尔效应传感器是什么？</a>              | 介绍霍尔效应以及传感器如何用于制造磁传感器。           |
| <a href="#">使用多轴霍尔效应传感器进行角度测量</a>        | 使用 3D 霍尔效应传感器监控绝对角度位置的指南。        |
| <a href="#">TMAG5170 EVM</a>             | GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。 |
| <a href="#">TMAG5170DEVM</a>             | GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。 |

**表 2. 相关技术资源 (continued)**

| 名称                               | 说明                                |
|----------------------------------|-----------------------------------|
| <a href="#">TMAG5273EVM</a>      | GUI 和附加装置采用精确的三维线性霍尔效应传感器进行角度测量。  |
| <a href="#">TI 高精度实验室 - 磁传感器</a> | 一个实用的视频系列，介绍霍尔效应传感器及其在各种应用中的使用方式。 |

## 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