

Mekre Mesganaw, Manny Soltero

Position Sensing

## 引言

扫地机器人越来越多地用于家庭、办公室和酒店的清洁工作。扫地机器人的优势之一是，使用户做很少的工作即可完成清洁，从而腾出更多时间执行其他任务。为了让扫地机器人智能地执行清洁任务，我们使用了各种传感器来感测扫地机器人的外部环境（用于清洁导航）及其内部状态。使用传感器的机器人提供的部分功能包括：电机换向、滚轮增量编码、碰撞检测、避障、悬崖探测、液位检测、集尘箱放置检测、水箱放置检测和落轮检测。

## 电机换向和滚轮增量编码

扫地机器人具有多个滚轮，这些轮子必须转动，才能使机器人移动。每个滚轮模块通常都有自己的电机，让每个滚轮独立移动。齿轮箱可用于优化电机中的扭矩，从而实现出色的性能、电池寿命和牵引力。

扫地机器人的滚轮通常使用两种类型的电机：有刷电机和无刷直流 (BLDC) 电机。**无刷直流电机可能要求每个滚轮有三个霍尔效应锁存器，以便为该滚轮的电机换向。**但是，有刷电机不需要霍尔传感器进行电机换向。

除了旋转滚轮之外，扫地机器人还需要一种机制来指示滚轮的移动速度和方向，这种机制称为**增量编码**。用于 BLDC 电机换向的霍尔效应锁存器也可重复用于增量编码。

尽管有刷电机不需要霍尔效应锁存器来进行电机换向，但真空电机中的有刷电机通常使用霍尔效应锁存器来实现滚轮增量编码。红外 (IR) 编码器也是有刷电机中进行滚轮转速检测的另一种选择；但是，由于这些光学编码器的性能受灰尘影响，因此不是滚轮增量编码的理想选择。虽然红外编码器可以通过密封来减少灰尘，但密封传感器并不总是能完全防止红外编码器暴露于这些污染物，尤其是因为扫地机器人通常会暴露于污垢和灰尘中。

图 1 显示了一个滚轮编码的实现示例。在此实现方案中，电机上放置了一个磁盘，磁盘与电机一起旋转。磁盘有多组北极和南极。磁盘下方有两个霍尔效应锁存器，每当它们检测到南极到北极或北极到南极之间的转换时，便会更改其输出。观察两个霍尔锁存器相互改变输出的顺序可以确定滚轮转动的方向。转换频率和磁盘上的极数决定了电机的速度。在不需要检测方向的系统

中，只需一个霍尔锁存器即可确定电机速度。通过电机和滚轮之间的传动比，可将电机速度换算为滚轮速度。

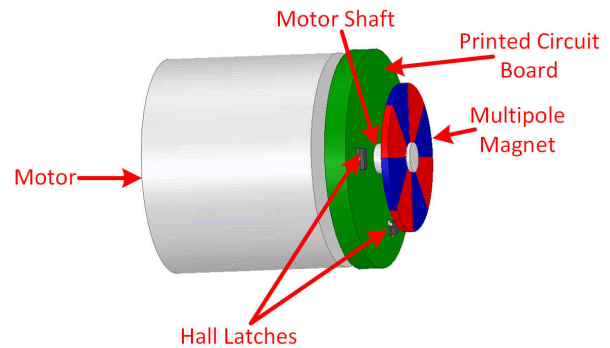


图 1. 滚轮增量编码的实现示例

## 避障和悬崖探测

扫地机器人必须使用一种机制来避开用户不希望扫地机器人接近的障碍物或区域。通常使用磁体方案来避障。在磁体方案中，用户在不希望扫地机器人接近的区域或障碍物周围应用磁条，如图 2 所示。在图 2 中，磁条放置在冰箱周围。具有霍尔效应传感器的扫地机器人会感应到磁条的磁通量密度，从而不会接近该区域。当系统只需要知道它是否靠近障碍物时，霍尔效应开关可用做霍尔效应传感器，而线性霍尔效应传感器可用于获取磁条实际位置的更多信息。

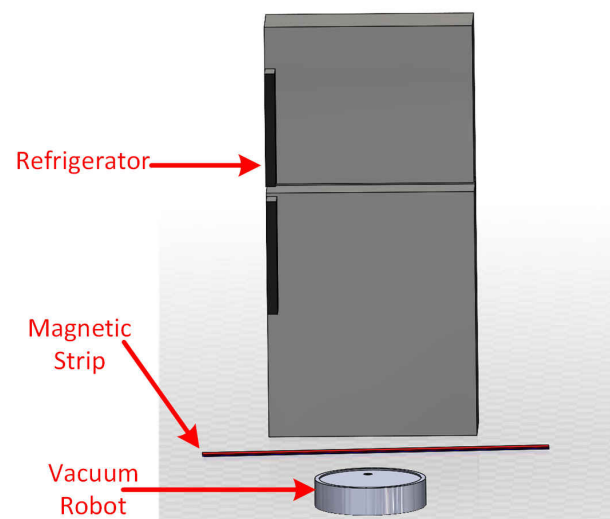


图 2. 在障碍物周围添加磁条以实现避障

还可以使用超声波传感器来实现避障，超声波传感器使用超声波飞行时间原理来计算与附近物体的距离，从而避开这些物体。但是，这种方法的有效性取决于所检测物体的材料，而通过磁体方案避障不受物体材料的影响。超声波传感器还可用于确定地板材料，以便机器人知道如何根据地板材料适当清洁地板表面。激光雷达通常还用于绘制真空区域图。

悬崖探测可确定机器人何时接近悬崖，例如楼梯的顶层，从而防止机器人从楼梯滚落。为了避免悬崖，可以在悬崖前面放置一个磁条，以免扫地机器人接近它。也可以使用 IR 传感器实现悬崖探测，但当直接暴露在脏污环境中时，此实现方案会出现问题。[超声波传感器还可用于悬崖探测，方法是感应传感器到地面的距离增加](#)；但是，悬崖探测的结果取决于悬崖本身材料。

### 碰撞检测

扫地机器人还必须检测何时碰撞到某个物体，以便能够调整导航。为了检测机器人前半部分是否会与周围碰撞，需要使用多个传感器来覆盖整个潜在碰撞点范围内的检测。

可使用多对红外接收器和发送器实现碰撞检测。基于红外的实现方案有若干缺点，包括需要许多对红外发送器和接收器，并且需要一个无干扰环境来实现理想传感，后一项要求很难满足，即使红外发送器和接收器做到了防尘也不行。

更理想的碰撞检测实现方案是使用霍尔器件，此方法不需要红外碰撞检测要求的无干扰环境。在磁式碰撞检测中，磁体可以放置在保险杠的内部，检测这些磁体的线性霍尔效应传感器可以放置在机器人内部更深的位置（如图 3 所示）。每当保险杠碰撞到某个物体时，它会使保险杠区域向内收缩，从而导致相应的磁体更靠近各自的霍尔传感器。霍尔传感器将感应接近传感器的磁体的磁通密度变化，并相应地更改其输出，从而提醒机器人它撞到物体。保险杠具有弹簧，可在碰撞后传感器-磁体距离恢复正常时返回其原始位置。除了能够在脏污的环境中工作外，这种基于霍尔器件的碰撞检测的另一个优势是，需要的传感器与红外碰撞检测方案少。

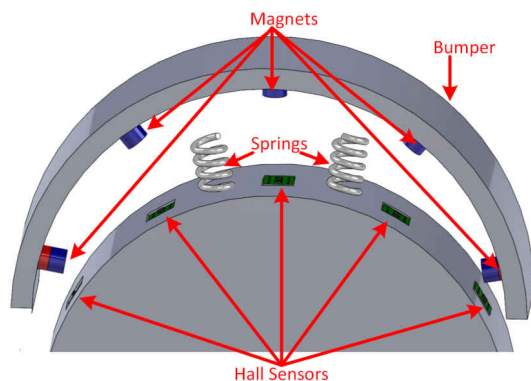


图 3. 磁式碰撞检测的实现示例

### 液位检测

一些扫地机器人也能够拖地。这些机器人有一个水箱，可存储用于拖地的清洁液。传感器可用于确定水箱内清洁液的液位，以便在需要将新液体进入机器人时提醒用户。图 4 显示了[使用霍尔效应传感器的液位检测实现方案](#)。在此实现方案中，一侧的枢轴上连接了一个杆，另一侧连接一个浮子。有一个径向磁体和一个线性 3D 霍尔传感器或两个 1D 霍尔传感器连接到杆上。浮子根据水位改变其垂直位置，这也会导致磁体的放置角度。线性霍尔传感器可感应磁体的角度放置，并将此信息提供给扫地机器人中的微控制器，以转换为相应的水位。德州仪器 (TI) 还具有可用于液位检测的其他传感技术，例如[电容式感应](#)或[超声波传感计量](#)。

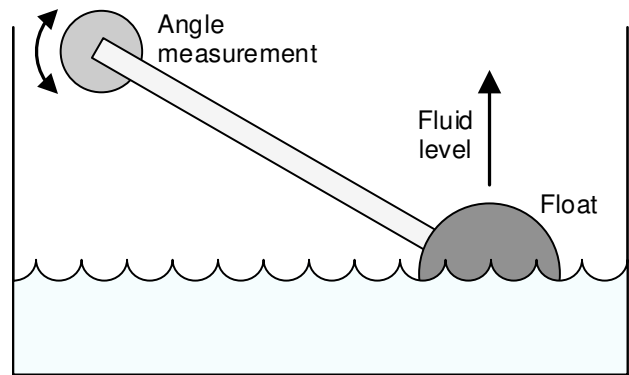


图 4. 基于霍尔器件的液位检测

### 集尘箱和水箱放置检测

与吸尘器类似，扫地机器人具有可拆卸的集尘箱容器，用于存储真空收集的灰尘和其他碎屑。扫地机器人应检查集尘箱是否已安装到位，以确保真空除尘的灰尘有适当的放置位置。可以使用霍尔效应开关将磁体放置在可拆卸的集尘箱容器上，并将霍尔效应开关放置在机器人附近，从而放置集尘箱。当集尘箱正确放置在机器人内时，磁体将靠近霍尔开关，从而使其输出保持低电平。卸下集尘箱后，集尘箱上的磁体不再靠近机器人内的集尘箱传感器，这会导致霍尔开关的输出被置为高电平，从而告诉扫地机器人内部无集尘箱。类似的实现方案也可用于检测拖地机器人中是否正确安装了水箱容器。

### 轮落检测

扫地机器人需要了解何时离地，以便能够停止转动滚轮。为了检测扫地机器人何时离地，滚轮模块使用了一个内部弹簧，当滚轮在地面上时，弹簧会被压缩。内部压缩也会导致开关被按下。当扫地机器人离地时，弹簧会松开，这会导致滚轮掉落并松开开关。如果开关松开，它会通知扫地机器人已离地。可通过微型开关或使用霍尔效应传感器和磁体来实现轮落检测开关。在基于霍尔器件的方法中，磁体可以放置在开关内，而霍尔开关可以放置在附近。如果按下开关，则会使磁体更靠近传感器，从而使传感器将其输出置为低电平。当由于装

置离地而松开开关时，磁体将远离开关，这将导致其输出置为高电平，机器人将知道它已离地。

### 推荐使用的器件

德州仪器 (TI) 具有多个传感器，可在扫地机器人中实现不同的功能。表 1 列出了实现每个功能的推荐器件。

**表 1. 推荐器件和功能**

| 功能                  | 器件   |
|---------------------|--|
| 电机换向和滚轮增量编码         | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">TMAG5110</a> - 用于监测锁存行为的 2D 霍尔效应锁存器</li> <li>• <a href="#">TMAG5111</a> - 只需一个 IC 确定速度和方向的 2D 霍尔效应锁存器</li> <li>• <a href="#">DRV5011</a> - 低电压、小尺寸、1D 霍尔效应锁存器</li> <li>• <a href="#">DRV5013</a> - 高电压霍尔效应 1D 锁存器</li> <li>• <a href="#">DRV5015</a> - 高灵敏度、低电压、1D 霍尔效应锁存器</li> </ul> |
| 避障和悬崖探测             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">DRV5032</a> - 低功耗霍尔效应开关</li> <li>• <a href="#">DRV5033</a> - 高电压、高带宽全极开关</li> <li>• <a href="#">DRV5053</a> - 高电压线性霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">DRV5055</a> - 具有模拟输出的双极比例式线性霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">PGA460</a> - 超声波信号处理器和传感器驱动器</li> </ul>                                  |
| 碰撞检测                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">DRV5053</a> - 高电压线性霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">DRV5055</a> - 具有模拟输出的双极比例式线性霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">DRV5056</a> - 具有模拟输出的单极比例式线性霍尔效应传感器</li> </ul>   |
| 液位检测                | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">TMAG5170</a> - 高精度线性 3D 霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">TMAG5273</a> - 低功耗线性 3D 霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">DRV5055</a> - 具有模拟输出的双极比例式线性霍尔效应传感器</li> <li>• <a href="#">DRV5053</a> - 高电压 1D 线性霍尔效应传感器</li> </ul>  |
| 集尘箱位置检测、水箱位置检测和轮落检测 | <ul style="list-style-type: none"> <li>• <a href="#">TMAG5231</a> - 低功耗、低电压霍尔效应开关</li> <li>• <a href="#">DRV5032</a> - 低功耗霍尔效应开关</li> <li>• <a href="#">DRV5033</a> - 高电压、高带宽全极开关</li> </ul>   |

### 参考文献

- 德州仪器 (TI), [使用霍尔效应传感器的无刷直流电机换向](#) 应用简报
- 德州仪器 (TI), [增量旋转编码器](#) 应用简报
- 德州仪器 (TI), [自动扫地机器人的超声波地板类型和悬崖检测](#) 应用简报
- 德州仪器 (TI), [电容式液位检测传感器参考设计](#)
- 德州仪器 (TI), [中短程超声波应用优化和使用指南：TUSS4470 和 TDC1000](#) 应用手册

## 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 © 2022，德州仪器 (TI) 公司