

Application Brief

使用模拟多路复用器优化机器人中的传感器集成



简介

现代机器人必须将越来越多用于导航和系统监控的模拟传感器集成到单个 MCU 中。由此产生的 I/O 瓶颈限制了通道数并导致物料清单成本增加，这迫使我们在性能和价格之间做出权衡。本简报介绍了一种工程解决方案：使用 TI 模拟多路复用器扩展 MCU 的模拟输入，在实现传感器密集型设计的同时，满足消费级成本目标。TI.com 上提供了参考设计和评估模块，可加快开发速度。

设计挑战

1. 选择有限的 MCU I/O 容量消费类机器人微控制器以兼顾性能与成本，这通常会导致 GPIO 和 ADC 通道数量受到限制。现代机器人通常需要比可用 MCU 引脚更多的传感器，这会造成基本的设计限制。
2. 物料清单影响升级到更高引脚数的 MCU 以适应额外的传感器级联，导致多种成本增加：
 - 从 48 引脚封装转换到 100 引脚封装时，MCU 成本会增加
 - 电力输送元件需要升级才能满足更高的电流需求
 - 随着额外去耦电容器和上拉/下拉电阻器的加入，无源元件的数量大幅增加
3. PCB 空间和更复杂的 MCU 可从根本上改变 PCB 设计要求：
 - 100 引脚 LQFP 封装 (14mm x 14mm) 占用的电路板面积约为 48 引脚 LQFP (9mm x 9mm) 的两倍
 - 布线复杂性的增加可能需要额外的 PCB 层或费用更高的制造工艺

多路复用器的示例：中层扫地机器人传感器阵列

典型的扫地机器人集成了一系列全面的模拟传感器，这些传感器可实现有效的导航和系统监控。这些传感器协同工作，以全面了解机器人周围的环境和内部的运行状态。

传统方法 (无多路复用器) : 直接 MCU 连接

在直接连接架构中，每个模拟传感器都需要在微控制器上有专用的 ADC 通道。这会导致可用的 I/O 被快速消耗。

- 4 个 IR 接近传感器连接到四个专用 ADC 输入
- 2 个悬崖传感器连接到两个专用 ADC 输入
- 2 个电机电流传感器连接到两个专用 ADC 输入

所需的 ADC 通道总数：8

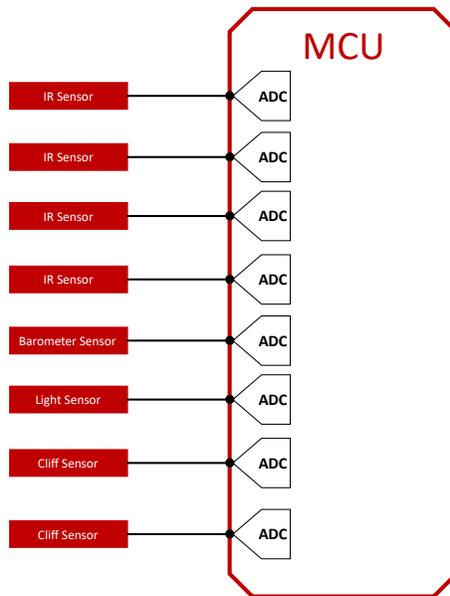


图 1. 在实施多路复用器之前

结果：消耗的是 MCU 的 ADC 资源，因此没有为未来的传感器扩展留出余量。

多路复用器方法：整合信号路径

目标：减少 ADC 通道数，同时保持传感器保真度。

通过插入单个 8:1 多路复用器，整个传感器套件可以通过 MCU 引脚的一小部分进行整合和管理。

- 四个 IR 接近传感器
- 两个悬崖传感器
- 两个电机电流传感器

系统通过单个 8:1 TMUX1308A 多路复用器对所有八个传感器进行布线。然后，此多路复用信号会定向到单个 MCU ADC 输入。整个多路复用器操作受微控制器的三个标准 GPIO 引脚控制。

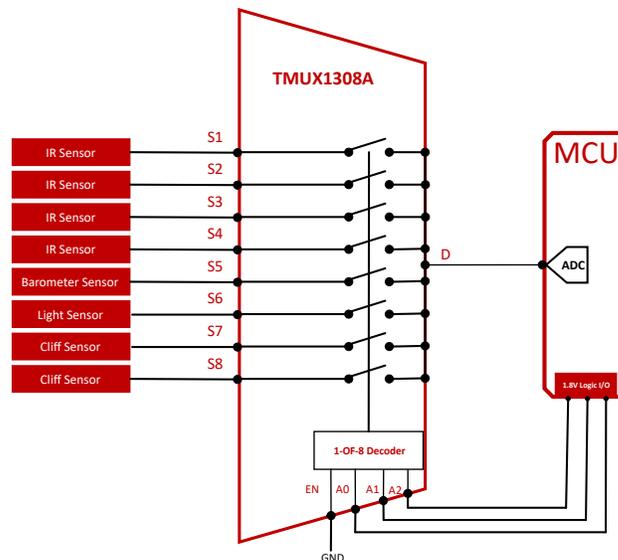


图 2. 在实施多路复用器的情况下

结果：此架构不仅符合原始目标 MCU 的 I/O 预算，还释放了其余 ADC 通道以用于未来的功能扩展。此实施方案可显著节省总体尺寸，将所需的 MCU 输入引脚从八个模拟输入减少到仅一个模拟输入加三个数字控制引脚，从而净减少四个引脚并可能允许使用尺寸更小的 MCU 封装。

机器人应用的关键多路复用器参数

在选择用于机器人的模拟多路复用器时，请重点关注这些直接影响传感器精度、功耗和信号完整性的关键数据表参数。显示的所有值均为典型值；请参阅每个数据表的 *典型特性* 部分，了解详细的性能曲线。

主要设计考虑因素包括使电源电压范围与系统导轨相匹配、验证传感器采样率是否有足够的带宽以及验证导通电阻不会影响高阻抗传感器的测量精度。这些参数的细微改进可显著提升电池寿命、信号完整性和系统可靠性。

参数	典型范围	机器人撞击
电源电压范围	1.8V 至 5.5V (LV) 5.5V 至 100V (HV)	无需在传感器导轨和 MCU 域之间放置电平转换器
电源电流	2 μ A 至 15 μ A (LV) 45 μ A 至 200 μ A (HV) (VDD 时的典型值/最大值)	静态功耗：P = VDD × ICC
导通电阻	30 Ω 至 150 Ω (在指定测试电流下)	信号衰减：Verror = RON/(RON + Rsensor)
源极关断漏电流	±1nA (典型值)，±25nA (最大值)	从未选择的输入到输出的漏电流
漏极关断漏电流	±1nA (典型值)，±50nA (最大值)	从输出到未选择的输入的漏电流
带宽 (-3dB)	1MHz - 500MHz	支持快速 IMU 采样和控制环路
传播延迟	5ns 至 50ns (典型值)	通过开关的信号延迟
先断后合时间	10ns 至 50ns (典型值)	防止通道间出现瞬时短路
电荷注入	2pC - 8pC	对于电容式传感器至关重要
ESD 保护	2kV 至 4kV HBM	保护现场环境中裸露的传感器连接器
最大功耗	250mW 至 500mW	总功耗的热设计限制

**LV 表示低电压，HV 表示高电压

推荐的 TI 器件

表 1. 推荐的 TI 器件

器件型号	通道	VDD 范围 (V)	封装	特性
TMUX1308A TMUX1309A	8:1、单通道 4:1、双通道	1.62V - 5.5V	TSSOP、16 BQB (WQFN)、16	低压、电池短路
TMUX1208 TMUX1209	8:1、单通道 4:1、双通道	1.8V - 5.5V	TSSOP、16 QFN、16	低 RON 和最小封装选项
TMUX4051	8:1、单通道	5V 至 24V	TSSOP、16	高电压、1.8V 兼容控制输入
MUX508	8:1	10V 至 36V	TSSOP、16 SOIC、16	高电压、先断后合
TMUX8108	8:1	10V 至 100V	TSSOP、16	逻辑引脚上的集成下拉电阻器

结语

选择多路复用器会影响机器人的性能、可靠性和功耗。设计人员必须评估电源电压范围、电源电流、带宽、导通电阻、传播延迟和 ESD 保护，以针对特定系统在这些因素之间做出权衡。无论是设计紧凑型无人机、精密机械臂还是自动驾驶车辆，都是如此。对于这些不同的应用，TMUX1308A、TMUX1208 和 TMUX4051 可提供不同的通道配置和性能特性，以满足不同的机器人要求。

商标

所有商标均为其各自所有者所有。

重要通知和免责声明

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、与某特定用途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安全、安保法规或其他要求。

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 产品的相关应用。严禁以其他方式对这些资源进行复制或展示。您无权使用任何其他 TI 知识产权或任何第三方知识产权。对于因您对这些资源的使用而对 TI 及其代表造成的任何索赔、损害、成本、损失和债务，您将全额赔偿，TI 对此概不负责。

TI 提供的产品受 [TI 销售条款](#)、[TI 通用质量指南](#) 或 [ti.com](#) 上其他适用条款或 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。除非德州仪器 (TI) 明确将某产品指定为定制产品或客户特定产品，否则其产品均为按确定价格收入目录的标准通用器件。

TI 反对并拒绝您可能提出的任何其他或不同的条款。

版权所有 © 2026，德州仪器 (TI) 公司

最后更新日期：2025 年 10 月