

Application Note

SPI、QSPI 和 OSPI 汽车、工业和数据中心系统中的模拟多路复用器应用



Caroline Ormond

摘要

数据中心、汽车高级驾驶辅助系统 (ADAS) 和工业自动化市场都是正在迅猛增长的市场，这些领域需要高速、低延迟的通信。串行外设接口 (SPI) 及其变体四路 SPI (QSPI) 和八路 SPI (OSPI) 可通过多条数据线路和时钟数据同步，为这些技术提供高数据速率支持。但是，包含传感器、控制装置和存储器存取网络的多外设系统通常受到 MCU 上可用 GPIO 数量、电路板尺寸以及与 ADC 相关的高成本等因素的限制。

本应用手册探讨了 SPI、QSPI 和 OSPI 的当前行业应用场景，其采用模拟多路复用器解决方案，可消除高密度 SPI 系统对 GPIO 和 ADC 的限制。

内容

1 简介.....2

2 协议概述.....2

3 总结.....6

4 参考资料.....6

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

随着现代系统的数据密集和计算密集程度越来越高，对更快通信速度的需求也在不断增长。**SPI** 因其能够提供连续的数据流、支持更快的数据速率，并允许外设 **IC** 与控制器之间进行全双工通信，已成为许多行业中广受欢迎的协议。虽然标准 **SPI** 通常使用两条数据线，但四路 **SPI** (**QSPI**) 和八路 **SPI** (**OSPI**) 分别使用四条和八条数据线，从而显著提高了数据吞吐量。**SPI** 拥有众多数据中心、汽车和工业系统的市场应用。为了支持高密度和多外设 **SPI** 系统，多路复用器可以通过切换 **SPI** 总线、信号或控制引脚来应对 **GPIO** 引脚和 **ADC** 限制，从而降低复杂性、成本和电路板尺寸。

2 协议概述

SPI

串行外设接口是一种串行通信协议，其架构简单，由主控制器和一个或多个外设组成。

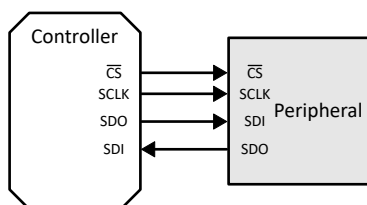


图 2-1. 标准 4 线制 SPI

控制器生成时钟信号 (**SCLK**) 和片选信号 (**CS**) 以启用或禁用特定外设器件。标准 **SPI** 通信使用两条单向数据线路：“发送数据输出 (**SDO**)”和“发送数据输入 (**SDI**)”，使控制器和外设 **IC** 能够同时写入和读取数据，从而支持全双工通信。**3 线制 SPI** 是一种替代方案，仅用一条双向数据线来发送和接收数据。

信号名称	用途
SDO	发送数据输出至目标
SDI	从源接收数据输入
SCLK (串行时钟)	由控制器生成，用于同步数据传输
CS (片选)	拉至低电平时启用通信

与其他协议相比，**SPI** 的主要优势在于更快、更精准的数据传输。数据与时钟信号同步，从而实现具有精准读写时序的高频通信。**SPI** 的连续数据流式传输无需中断或复杂寻址方案，从而降低了延迟。

在数据中心内，由于存储了大量数据，因此需要高速数据访问以及系统监控器来监测环境和电气条件。**SPI** 可用于连接温度、压力和电压传感器。**SPI** 通信可降低传感器与控制器之间的延迟，从而更大幅度地降低系统损坏或故障的潜在风险。它还适用于汽车 **ADAS** 系统，这些系统依靠摄像头、雷达、激光雷达和红外传感器进行实时监测与感应，其中低延迟对于确保快速反应时间至关重要。

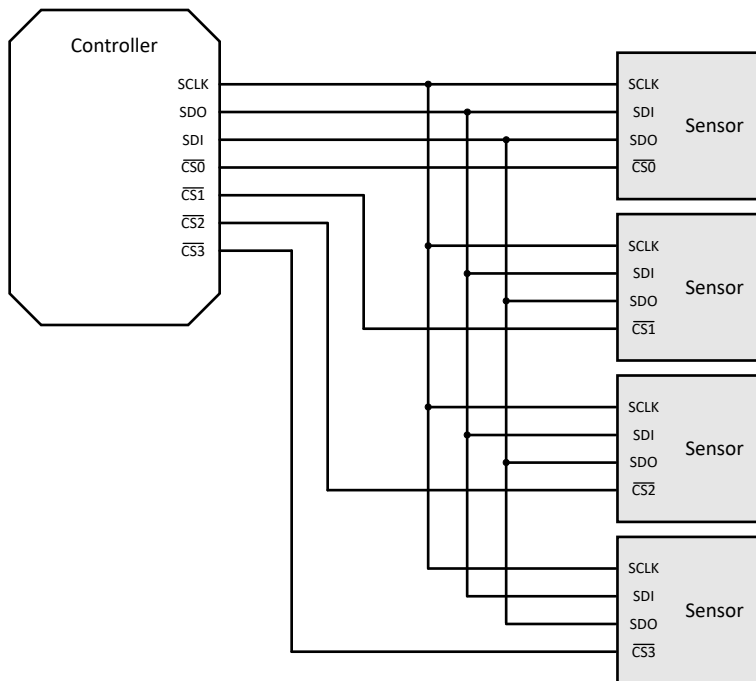


图 2-2. 具有多个外设的标准两线制 SPI 通信

由于每个器件都需要单独的片选线路，SPI 给拥有众多外设且 GPIO 引脚数量有限的高密度系统带来了潜在的挑战。目前的解决方案往往采用 GPIO 扩展器或更大的 MCU，因此会增加 BOM 数量和增大解决方案尺寸。

为解决这一问题，可采用 TMUX1204 (4:1) 等多路复用器，以在多个外设器件之间切换一条片选线路。如下面的图 3 所示，它将四个引脚减少为仅采用一个 GPIO，具有 14 ns 的快速转换时间，以及仅 2.5 mm² 的超小尺寸。对于较大的系统，TMUX1208 (8:1) 具有相同的开关时间和电气特性，但可替换多达八个引脚。

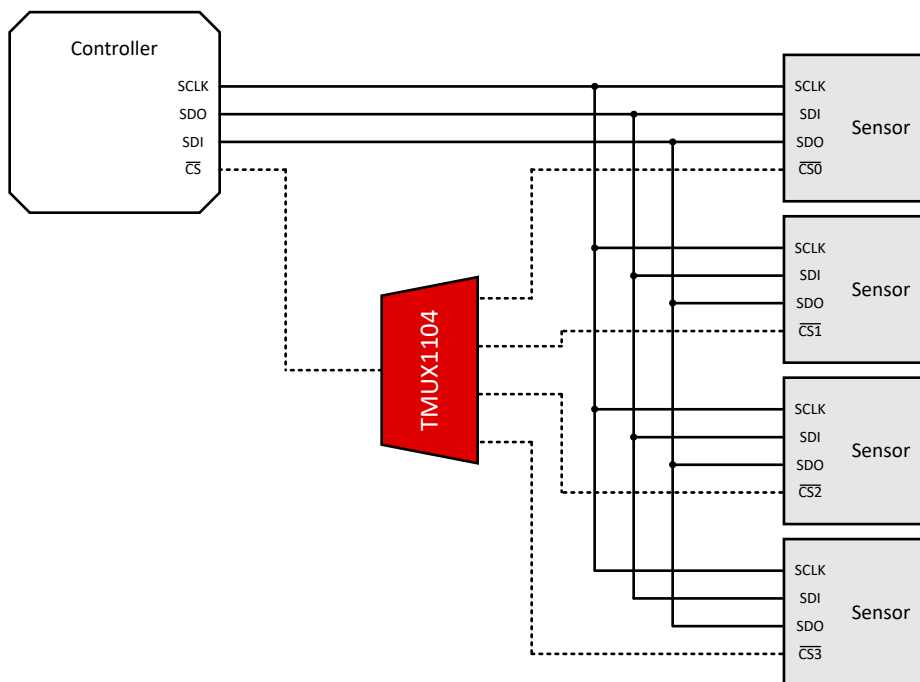


图 2-3. TMUX1104 多路复用片选信号

多路复用器提供的另一种高密度解决方案是，减少工业或数据中心传感器网络系统设计中的 ADC 数量。与电压、压力和温度等传感器通信时，每个信号单独配备 ADC 会导致面积和成本显著增加。多路复用器可以将多个模拟输出切换到一个 ADC，使用 16:1 多路复用器（如精密多路复用器 MUX506）有效代替 16 个单独的 ADC。

精密多路复用器具有低电荷注入和漏电流的额定值，可确保信号完整性。这在数据中心应用的冷却系统和电气监控器中尤为重要，能够确保其正常运行。工业系统同样依赖大量传感器来实现电机控制、工厂自动化和机器人。这些应用需要在封装、制造和设备运行过程中进行压力和电气检测。下面的图 4 展示了一个单线 SPI 系统，其使用 TMUX1104 (4:1) 在三个传感器之间切换，仅用一个 ADC。未使用所有通道时，未使用的引脚可以接地，以避免潜在的噪声或串扰。

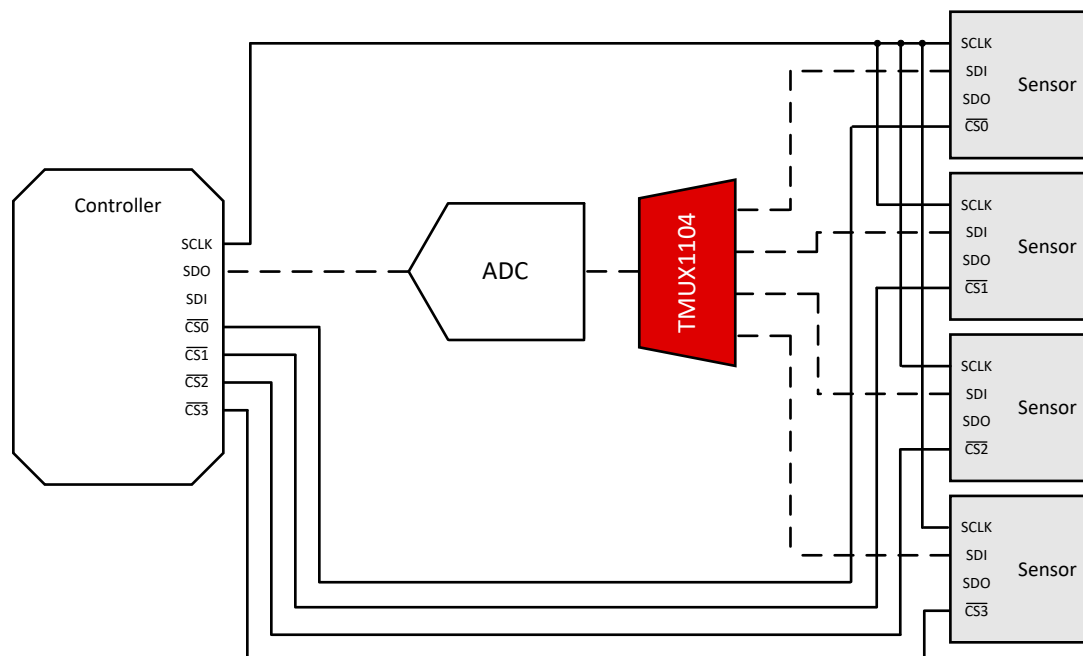


图 2-4. TMUX1104 切换数据线路以减少 ADC

QSPI

四路 SPI 遵循与标准 SPI 非常相似的协议，但可通过四条半双工数据线实现更高的数据速率。额外的数据线允许传输最多四倍的数据量，相当于将 SPI 的数据传输速率提高四倍。QSPI 特别适合数据中心，可用作主处理器与外部闪存存储器（存储 FPGA 固件和 BIOS 系统映像）之间的通信接口。与标准 SPI 相比，QSPI 能够缩短引导时间和加快系统启动。其还在汽车行业中用于实时控制和监测的低延迟应用，例如车载信息娱乐系统和车身模块控制。

尽管 QSPI 提高了系统吞吐量，但也带来了系统限制：它需要额外的 I/O 引脚，因而增加了满足信号路由和引脚要求所需的成本和面积。不过，通过多路复用 SPI 总线，一组 GPIO 引脚即可实现主控制器与多个闪存芯片之间的通信，如下面的图 5 所示。TMUXL27518 (2:1 6 通道) 具有高带宽、低电容和出色的隔离性能，旨在将多媒体卡主机器件扩展到多个外设。其可在发生中断或数据损坏时在主闪存与备用闪存之间进行切换，确保在紧急情况下一致的数据可访问性，同时提供一种兼顾空间与成本效益的解决方案。

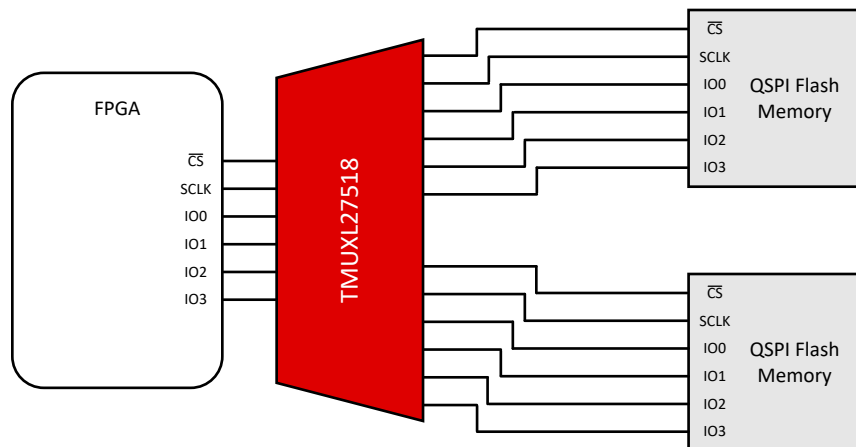


图 2-5. QSPI 闪存存储器之间的多路复用器切换

OSPI

对于需要更高数据吞吐量的应用，八路 SPI 提供八条半双工数据线，将 QSPI 的数据速率翻倍。虽然 OSPI 应用场景与 QSPI 类似，但它通常出现在需要更高吞吐量和更快响应时间的设计中，例如数据中心或高性能计算中心的 MCU 或 FPGA 系统。由于 OSPI 具有高数据速率信号传输，因此在汽车应用中也日益普及。当前的应用包括需要高分辨率图形和快速存储器存取的车载信息娱乐系统，以及用于自动驾驶控制和检测的 ADAS 系统。数据密集型系统备份还利用 OSPI 进行存储体和失效防护引导选择。失效防护保护对于确保数据中心和 ADAS 系统的安全性和可靠性至关重要，这些系统必须在存储器损坏或断电时快速恢复。

与 QSPI 一样，OSPI 引脚要求可能给高密度应用带来挑战。信号多路复用使系统能够在存储器或电源的主要与备用选择之间高效切换，从而减少 GPIO 数量和系统面积，如图 6 所示。与 QSPI 总线多路复用类似，可使用两个 SN3257-Q1 (2:1, 4 通道) 多路复用器在两个 OSPI 存储器之间切换。

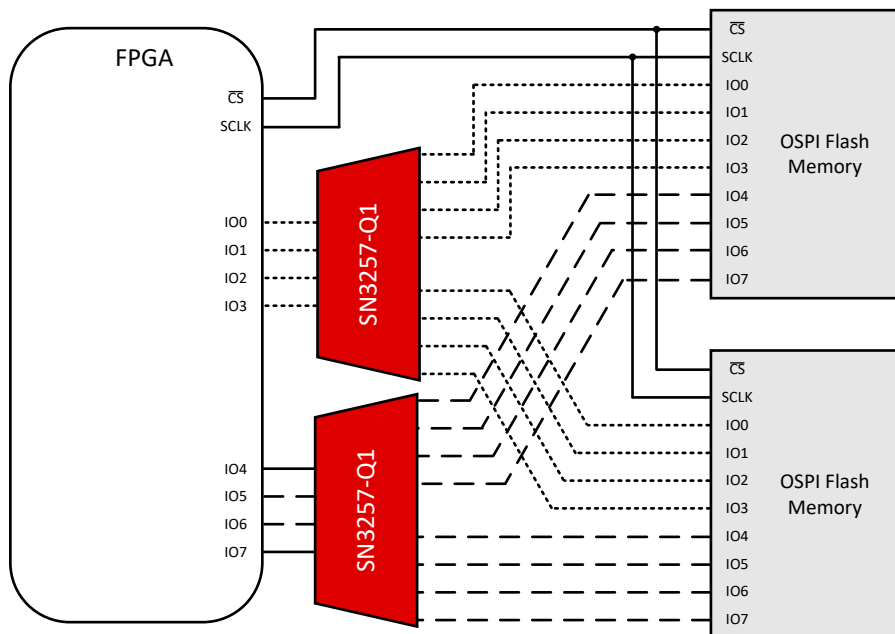


图 2-6. OSPI 闪存存储器之间的多路复用器切换

3 总结

SPI 为各种工业、汽车和数据中心应用的检测、控制和存储器存取系统提供高速、低延迟的通信。虽然 SPI、QSPI 和 OSPI 的典型用途各不相同，但其应用范围往往存在重叠，并根据具体数据速率和系统要求进行选择。多路复用器可以应对 SPI 系统在实现过程中遇到的常见限制，例如 MCU 上的 GPIO 数量有限和 ADC 数量较多。多路复用器通过切换 SPI 信号线，为高密度和高速 SPI 应用提供了一种简单、低成本的紧凑型解决方案。有关具体应用场景的建议，请参阅表 3-1。

表 3-1. 建议的器件

建议的器件	配置	通道计数	协议	应用	电源电压	漏电流 IS(ON)	CON	带宽
TMUX1204	4:1	1	SPI、QSPI、OSPI	具有低功耗和“先断后合”开关功能的片选线路的 I/O 扩展	1.08V - 5.5V	200nA	42pF	125MHz
TMUX1208	8:1	1					85pF	65MHz
TMUX1209	4:1	2					42pF	125MHz
MUX506	16:1	1		具有低漏电流和低电荷注入的 ADC 精密切换	±5V - ±18V 10V - 36V	0.02nA	13.5pF	500MHz
MUX507	8:1	2					8.7pF	
TMUX1104	4:1	1	QSPI、OSPI	具有高带宽的闪存存储器读取	1.08V - 5.5V	0.01nA	35pF	155MHz
TMUX1574	2:1	4			1.5V - 5.5V	0.01nA	7.5pF	2GHz
TS3A27518E	2:1	6			1.65V - 3.6V	30nA	21.5pF	240MHz
TMUXL27518	2:1	6		符合汽车标准的闪存存储器	1.08V - 1.95V	20nA	12pF	600MHz
TS3A27518E-Q1	2:1	6			1.65V - 3.6V	30nA	21.5pF	240MHz
SN3257-Q1	2:1	4			1.5V - 5.5V	30nA	8pF	2GHz
TMUX1208-Q1	8:1	1	SPI	符合汽车标准的 SPI	1.08V - 5.5V	200nA	85pF	65MHz

4 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[从瓶颈到突破：使用 TXB0604/TXB0606L 在数据中心优化 QSPI 性能](#)，应用简报。
- 德州仪器 (TI) 应用简报：[使用多路复用器实现基于 SPI 的闪存扩展](#)。
- 德州仪器 (TI)，[使用 SPI 控制的 MUX 提高通道密度](#)，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[适用于现代汽车的可扩展 16-48 位 GPIO 扩展器](#)，应用手册。
- 德州仪器 (TI)，[OSPI 和 QSPI 串行的吞吐量特性](#)，应用手册。

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