

Application Note

基于 **MSPM0 MCU** 的投影仪双轮控制设计

Helic Chi, Rocky Chen

摘要

双色轮控制系统需要精确同步色轮位置和 SoC 控制信号。低成本、低功耗微控制器 **MSPM0** 提供了广泛的外设来满足双色轮控制系统的控制要求。本应用手册为基于 **MSPM0** 实现色轮位置同步系统提供了指南，包括实现软件的方法和系统性能测试方法。本文档可帮助客户快速设置和评估系统、缩短开发周期并加快产品上市时间。

内容

1 简介	2
1.1 双轮投影仪系统	2
1.2 MSPM0 要求	3
2 MSPM0 中的色轮控制	4
2.1 软件结构	4
2.2 外部边沿差捕获	4
2.3 内部位置环路控制	6
2.4 速度控制输出	6
3 测试和评估方法	7
3.1 测试系统设置	7
3.2 性能评估	7
4 总结	7
5 参考资料	7

商标

所有商标均为其各自所有者的财产。

1 简介

投影仪采用多种光源技术。其中，单色激光是一种具有高亮度、宽色域和长使用寿命的投影仪光源技术。单色激光技术采用蓝色激光来激发荧光材料，首先获得红、绿、蓝三种颜色。激光通过荧光轮激发三色激光，然后通过色散轮的同步处理投射到 DMD 上。

在投影光学系统中，荧光轮的色彩激发、色散轮的颜色处理以及 DMD 芯片的反射器控制都同步进行。因此，需要 MSPM0 根据外部同步信号控制色轮的同步旋转。

1.1 双轮投影仪系统

在双色轮投影仪系统中，DLPC 控制 DMD 和色轮同步信号。MSPM0 由 FW/DW 同步信号控制，并控制电机驱动器速度信号，从而同步控制色轮旋转位置。系统中有两个色轮：一个是荧光轮，另一个是色散轮。

图 1-1 是双色轮投影仪系统中 MSPM0 的简单示意图。

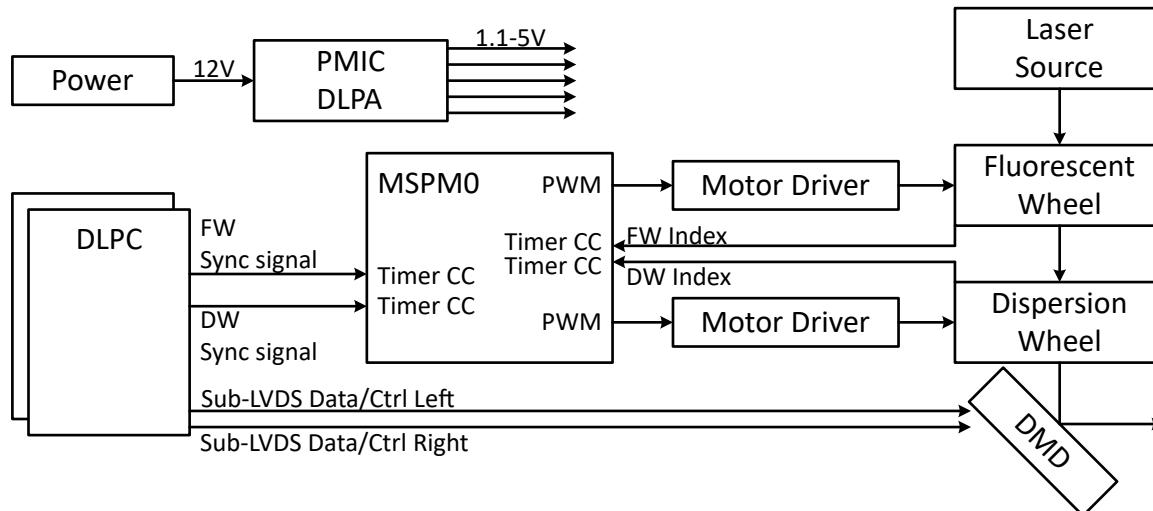


图 1-1. 双轮投影仪系统图

1.2 MSPM0 要求

在投影仪双轮控制应用中，MSPM0 通过向 **MCF8316** 输出速度控制信号来控制色轮的位置同步。

图 1-2 是色轮控制应用中 MSPM0 的控制图。MSPM0 使用相同的方法来控制两个色轮。FW 和 DW 索引是色轮位置反馈信号，当色轮旋转到设定位置时，位置检测模块会触发脉冲输出。FW 和 DW 同步信号是 DLPC 的输入同步信号，这也是一个脉冲信号。MSPM0 的计时器可以使用硬件捕获特性来计算两个脉冲信号的边沿位置误差。PWM 速度信号通过相位环路校准算法模块进行控制，从而控制色轮的速度，以确保 FW/DW 索引脉冲边沿和 FW/DW 同步脉冲边沿之间的相位差是固定的。

或者，MSPM0 可以通过计时器的捕获功能来捕获同步信号和 MCF8316 的反馈 PWM 信号的占空比和周期信息。

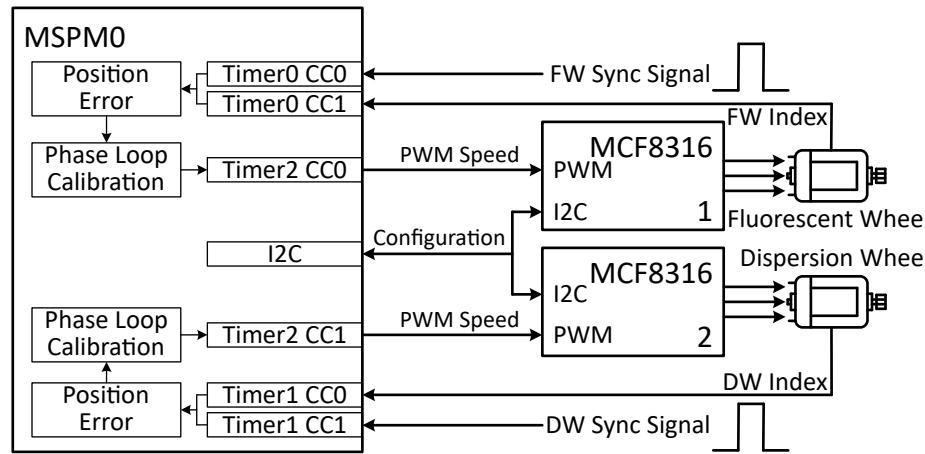


图 1-2. MSPM0 色轮控制图

根据上述要求，色轮控制应用至少需要三个计时器来控制两个色轮。表 1-1 是双轮控制 MSPM0 资源要求。

表 1-1. 双轮控制 MSPM0 资源要求

功能	外设	说明
MCF8316 配置	I2C 总线	MCF8316 需要配置为不同的地址以共享同一条 I2C 总线
边沿差捕获	Timer0 CC0 和 CC1	每个色轮都需要一个具有两个捕获通道的计时器
	Timer1 CC0 和 CC1	
速度控制	Timer2 CC0 和 CC1	两个 MCF8316 器件可以使用一个计时器和两个比较通道来输出 PWM
相位环路校准	CPU 和 MATHACL	校准环路算法
信号输入滤波器	COMP	可选，将模拟位置信号转换为数字信号
周期和占空比捕获	Timer3 CC0 和 CC1	可选，捕获色轮速度、控制信号速度和占空比
任务调度器	Systick	定期校准任务

备注

对于边沿捕获功能，如果输入信号是模拟信号，则可以向信号链添加 MSPM0 内部比较器，以将模拟信号转换为数字信号。MSPM0 内部比较器具有内置基准 8 位 DAC，可用于逻辑电平控制，还可将迟滞和滤波器功能用于模拟信号滤波器，并向计时器输出稳定的数字信号。

2 MSPM0 中的色轮控制

本节介绍软件结构和外设配置，包括计时器比较和捕获模式配置、比较器滤波器配置，以及使用 MATHACL 来加速校准计算。

2.1 软件结构

图 1-2 显示了 MSPM0 内部软件结构。双轮控制应用中有三个必要的软件模块：外部边沿差捕获 (Timer0 CC0 和 CC1 模块)、内部位置环路控制 (相位环路校准模块) 和速度控制输出功能 (Timer2 CC0)。

此外，还有可选的软件模块，例如同步信号周期捕获和索引信号周期捕获。这两个可选功能都用作外部 PWM 信号周期捕获，以向 SoC 提供色轮反馈信息。如果有要求，并且 MSPM0 中有额外的计时器资源且用户未使用，则可以将这些函数添加到系统中，并用作 SoC 的反馈或系统信息捕获功能。

2.2 外部边沿差捕获

MSPM0 可以使用一个计时器的两个捕获通道来捕获外部脉冲宽度。通过配置捕获操作，MSPM0 可以轻松捕获两个脉冲信号的边沿差。

通过以不同的方式配置捕获操作，可采用多种方法来捕获外部信号边沿差。以下是一个方法示例。

首先，确认双轮控制应用的系统要求，即需要捕获两个信号边沿之间的时间间隔。例如，M0 必须捕获同步信号的下降沿和索引的上升沿之间的时间差，如图 1-2 所示。

用户必须配置计时器的寄存器以控制两个输入信号边沿上的计时器操作。表 2-1 是必要的计时器配置和相关的寄存器说明。这里，CC0 输入被配置为索引的输入捕获通道，CC1 输入被配置为同步信号的输入捕获通道。计时器的计数器处于向下计数模式，并在同步信号的上升沿重新加载。

表 2-1. 边沿差捕获计时器配置

配置	寄存器	说明
Syscfg - 计时器计数模式	CTRCTL.REPEAT	启用重复模式以连续检测边沿差
Syscfg - 计时器周期	LOAD	控制最大检测周期，如果色轮速度为 100Hz 且周期为 10ms，则将负载值设置为大于 12ms
Syscfg - CC0 捕获条件	CCCTL_01.CCOND	将 CC0 捕获条件设置为由 CC0 输入上升沿触发
Syscfg - CC1 捕获条件	CCCTL_01.CCOND	将 CC1 捕获条件设置为由 CC1 输入下降沿触发
CC1 负载条件	CCCTL_01.LCOND	将 CC1/计数器负载条件设置为由 CC1 输入上升沿触发
计数器负载控制	CTRCTL.CLC	

启用边沿差捕获计时器后，M0 可以在 CC0 和 CC1 中断中读取 CC0 和 CC1 的值，CC0 和 CC1 之间的差值即为边沿差值。整个捕获过程基于计时器的捕获硬件，边沿差不会受到软件执行速度的影响。然后，将捕获的差值输入校准模块以运行控制算法。

备注

根据不同的 CC 输入信号边沿捕获要求和波形，可使用 MSPM0 的计时器以多种配置实现硬件边沿差捕获功能。同时，索引和同步信号不限于以固定顺序输入到 CC0 和 CC1，并且 MSPM0 中的高级计时器也支持 CC2 和 CC3 作为捕获输入。有关详细信息，请参阅 MSPM0 器件的数据表和技术参考手册。

备注

用户可以根据 MSPM0-SDK driverlib 计时器示例代码，通过将捕获模式设置为多点捕获，轻松将计时器修改为边沿差捕获功能。

2.2.1 带比较器的输入滤波器

对于使用模拟信号作为索引或同步信号的应用，由于计时器不过滤模拟信号，因此模拟信号不适用于直接输入到计时器的 CC 输入。或者，计时器的捕获功能输出不稳定的输出，导致色轮控制不稳定。

通过使用 MSPM0 的内置 COMP (比较器外设)，MSPM0 可以轻松过滤输入模拟信号。

此外，还有一个集成在 COMP 中的 8 位 DAC，MSPM0 还可以设置基准电压，有助于应用通过可定制的转换阈值轻松将模拟信号转换为数字信号。

对于 COMP 的磁滞功能，设置所需的磁滞电压值，COMP 可以对输入模拟信号进行滤波，并输出稳定的捕获数字信号和校准模块，这可以使整个控制系统保持运行而不产生小干扰。

表 2-2 展示了 COMP 可用于色轮控制应用的主要特性。

表 2-2. 色轮控制应用中的 COMP 特性

配置	寄存器	说明
Syscfg - 输入通道	CTL0.IPSEL	为 nanlog 信号输入启用正输入通道
Syscfg - 基准电压发生器	CTL2.REFSRC	选择 VDDA 作为 DAC 的基准源，DAC 输出用作比较器的基准
Syscfg - 磁滞	CTL1.HYST	比较器的磁滞设置
Syscfg - 输出滤波器	CTL1.FLTENCTL1.FLTDLY	启用输出滤波器

备注

用户可以根据 MSPM0-SDK driverlib [comp 示例代码](#)，通过添加滤波器、磁滞和 8 位 DAC 作为 syscfg 中的基准功能，轻松将计时器修改为边沿差捕获功能。

2.3 内部位置环路控制

位置环路控制算法在 MSPM0 的 CPU 上运行。图 2-1 是 MSPM0 PID 环路控制方框图。在色轮应用中，MSPM0 使用 PI 控制根据计时器捕获的输入边沿差值计算和校准占空比误差。输出是 MCF8316 的 PWM 速度控制信号的占空比的偏移。

如果需要相位偏移，请确保将该偏移添加到图 2-1 中的相位设置中。

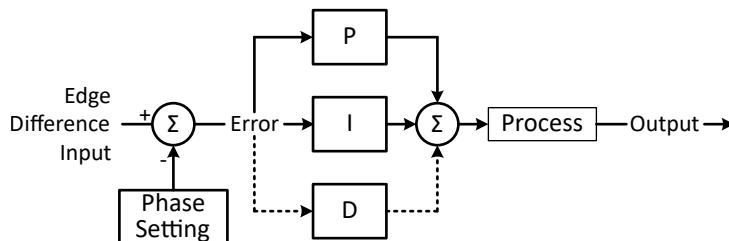


图 2-1. MSPM0 PID 控制的方框图

备注

控制环路的 P、I 参数需要由用户根据经验和输出参数的形式进行调整。

2.4 速度控制输出

对于前端模拟电机驱动器，PWM 用作从 MSPM0 到电机驱动器的速度控制输出。通常，电机驱动器的速度基准是 PWM 的占空比。

色轮的中心速度在固定配置下是恒定的，但来自 SoC 的同步信号会根据图像渲染频率和这两个异步时钟系统而变化。因此，M0 需要控制电机以围绕中心转速实时调整色轮的位置。因此，根据此速度控制分析，来自 [内部位置环路控制](#) 的速度偏移输出会添加至 PWM 色轮占空比的恒定中心速度。

如果目标 MSPM0 器件上提供了 32 位计时器，则 32 位计时器可以在没有计时器输入时钟分频的情况下输出高精度 PWM，这在整体控制精度方面发挥着重要作用。

备注

用户可以根据 MSPM0-SDK driverlib [PWM 示例](#) 设置 PWM 输出功能。

3 测试和评估方法

3.1 测试系统设置

用户可以根据可用的硬件和项目要求设置自定义的测试系统。但是，通过检查下面列出的系统图图 1-1 发现，仍然需要一些关键元件。

- PWM 发生器，用于为 MSPM0 输入同步信号。DLPC 是该 PWM 源，但在开发阶段，MSPM0 或信号发生器可以正常工作。
- 建议使用 **MSPM0 EVM LP-MSPM0G3507**。
- 电机驱动器。例如 **MCF8316**，器件型号取决于电机类型。
- 带位置传感器的色轮电机。位置传感器的输出信号至关重要，它决定了如何配置 MSPM0 的 PWM 捕获功能以及位置捕获精度。

下一步是设置 MSPM0 软件工程。[MSPM0 中的色轮控制](#) 介绍了色轮控制应用中的 MSPM0 软件结构。

要提高 MSPM0 输出 PWM 频率和占空比精度，请选择 MSPM0 G 系列器件并将 MCLK 设置为 80MHz。

3.2 性能评估

完成每个模块的实现和模块级联后，下一步是调整环路控制参数，以及优化内部位置环路控制性能，以确保电机位置反馈信号（索引）边沿和 SOC 同步信号（同步）边沿之间的相位差稳定。

一种推荐的相位稳定测试方法是在开启余晖功能的情况下，使用示波器来监测两个信号的边沿差。色轮应用使用同步信号作为参考信号，以测试色轮位置 - 索引信号的跟踪稳定性。因此，TI 建议将同步的边沿设置为示波器的触发器，以观测色轮位置 - 索引信号相对于同步信号的跟踪性能和稳定性。

4 总结

本应用手册介绍了一种使用 MSPM0 在激光投影仪系统中设置双轮控制系统的方法。首先，简要介绍色轮系统的架构和功能要求；然后，本文档介绍了如何使用 MSPM0 构建系统控制环路；最后，提供了系统设置方法和性能评估方法。

5 参考资料

- 德州仪器 (TI)，[MSPM0 G 系列 80MHz 微控制器技术参考手册](#)技术参考手册。
- 德州仪器 (TI)，[MSPM0G350x 具有 CAN-FD 接口的混合信号微控制器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI)，[MCF8316A 无传感器磁场定向控制 \(FOC\) 集成式 FET BLDC 驱动器数据表](#)。
- 德州仪器 (TI)，[MSPM0G3507 LaunchPad 开发套件用户指南](#) EVM 用户指南。
- 德州仪器 (TI)，[DLP 控制器和驱动器产品选择页面](#)。

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出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