

Application Note

**MSPM0 マイコンベースのプロジェクトでのデュアル ホイール制御
設計**

Helic Chi, Rocky Chen

概要

デュアル カラー ホイール制御システムでは、カラー ホイールの位置と SoC 制御信号を高精度で同期させる必要があります。低コストで低消費電力のマイコン MSPM0 には、デュアル カラー ホイール制御システムの制御要件を満たす、広範なペリフェラルが搭載されています。このアプリケーション ノートでは、ソフトウェアの実装方法やシステム性能のテスト方法を含め、MSPM0 をベースとするカラー ホイール位置同期システムの実装について説明します。本書はお客様がシステムのセットアップと評価を迅速に行い、開発サイクルを短縮し、市場投入までの期間を短縮するのに役立ちます。

目次

1 概要	2
1.1 デュアル ホイール プロジェクタ システム	2
1.2 MSPM0 の要件	3
2 MSPM0 でのカラー ホイール制御	5
2.1 ソフトウェアの構造	5
2.2 外部エッジ差キャプチャ	5
2.3 内部位置ループ制御	7
2.4 速度制御出力	7
3 テストと評価方法	8
3.1 テスト システムのセットアップ	8
3.2 性能評価	8
4 まとめ	8
5 参考資料	8

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

1 概要

プロジェクトには、光源テクノロジーが複数あります。その中で、シングル カラー レーザーは、高輝度、広い色範囲、長寿命を実現するプロジェクトの光源テクノロジーです。シングル カラー レーザー テクノロジーでは、青色レーザーを使用して蛍光材料を励起し、最初に赤、緑、青の色を取得します。レーザーは蛍光輪を通して 3 色のレーザーを励起し、分散ホイールの同期処理を経て DMD に投射されます。

投影光学系では、蛍光ホイールの色励起、分散ホイールの色処理、DMD チップの反射制御がすべて同期的に実行されます。したがって、MSPM0 は外部同期信号に従ってカラー ホイールの同期回転を制御する必要があります。

1.1 デュアル ホイール プロジェクタシステム

デュアル カラー ホイール プロジェクタシステムでは、DLPC は DMD とカラー ホイール同期信号の両方を制御します。MSPM0 は、FW/DW 同期信号によって制御され、モータードライバの速度信号を制御することで、カラー ホイールの回転位置を同期制御します。システムには 2 種類のカラー ホイールがあります。1 つは蛍光ホイール、もう 1 つは分散ホイールです。

図 1-1 に、デュアル カラー ホイール プロジェクタシステムにおける MSPM0 の簡単な図を示します。

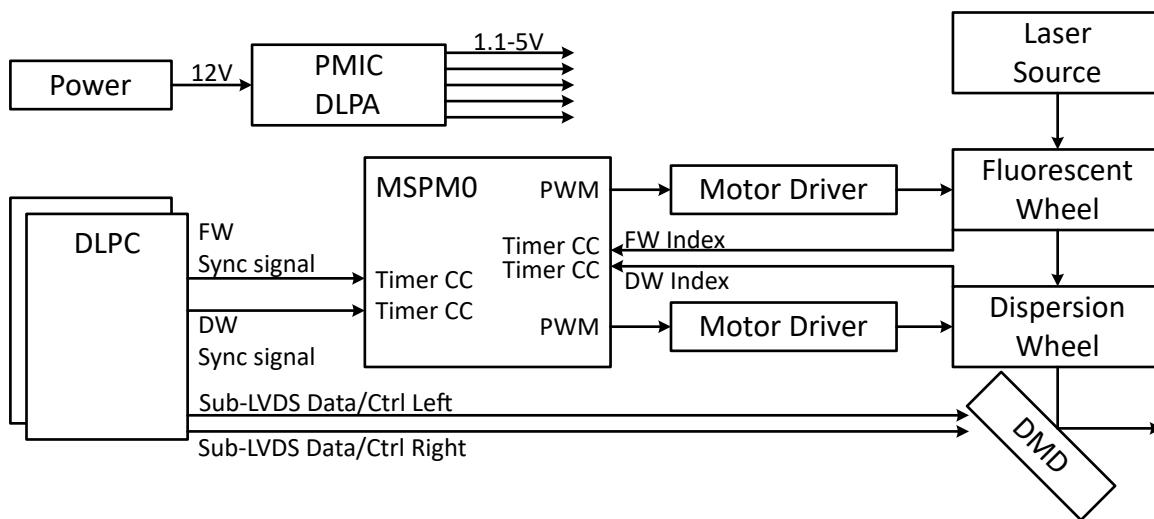


図 1-1. デュアル ホイール プロジェクタシステムの図

1.2 MSPM0 の要件

プロジェクト デュアル ホイール制御アプリケーションでは、MSPM0 は速度制御信号を **MCF8316** に出力することでカラー ホイールの位置同期を制御します。

図 1-2 は、ホイール制御アプリケーションにおける MSPM0 の制御図です。MSPM0 は同じ方式を使用して 2 つのホイールを制御します。FW および DW インデックスはカラー ホイール位置のフィードバック信号であり、ホイールが設定位置まで回転すると、位置検出モジュールがパルス出力をトリガします。FW および DW 同期信号は DLPC からの入力同期信号で、これもパルス信号です。MSPM0 のタイマは、ハードウェア キャプチャ機能を使用して、2 つのパルス信号のエッジ位置誤差を計算できます。PWM 速度信号は、位相ループ キャリブレーション アルゴリズム モジュールによって制御され、カラー ホイールの速度を制御することで、FW/DW インデックス パルス エッジと FW/DW 同期パルス エッジの位相差が固定されるようにします。

オプションで、MSPM0 はタイマのキャプチャ機能によって、同期信号と MCF8316 のフィードバック PWM 信号のデューティおよび周期情報をキャプチャできます。

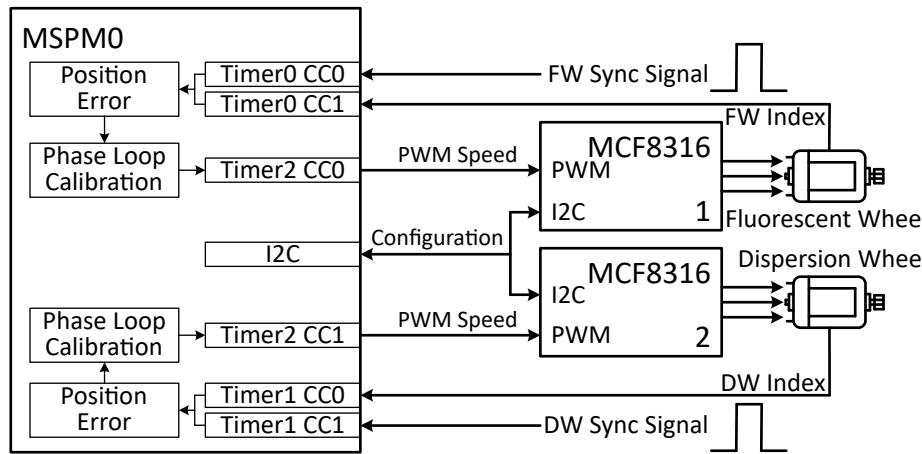


図 1-2. MSPM0 ホイール制御図

上記の要件に基づき、ホイール制御アプリケーションでは、2 つのカラー ホイールを制御するために少なくとも 3 つのタイマが必要です。表 1-1 に、デュアル ホイール制御 MSPM0 のリソース要件を示します。

表 1-1. デュアル ホイール制御 MSPM0 のリソース要件

機能	ペリフェラル	説明
MCF8316 構成	I2C バス	MCF8316 は、同じ I2C バスを共有するために、異なるアドレスに構成する必要があります
エッジ差のキャプチャ	Timer0 CC0 および CC1	各カラー ホイールには、2 つのキャプチャ チャネルを備えたタイマが必要です
	Timer1 CC0 および CC1	
速度制御	Timer2 CC0 および CC1	2 つの MCF8316 で、2 つの比較チャネルを備えた 1 つのタイマを使用して PWM を出力できます
位相ループのキャリブレーション	CPU と MATHACL	キャリブレーション ループのアルゴリズム
信号入力フィルタ	COMP	任意で、アナログ位置信号をデジタル信号に変換します
周期およびデューティのキャプチャ	Timer3 CC0 および CC1	オプションで、カラー ホイールの速度、制御信号とデューティの速度をキャプチャします
タスク スケジューラ	Systick	定期的なキャリブレーション タスク

注

エッジ キャプチャ機能では、入力信号がアナログ信号の場合、MSPM0 の内部コンパレータを信号チェーンに追加してアナログ信号をデジタル信号に変換できます。MSPM0 内部コンパレータには、ロジック レベル制御に使用できるリファレンス 8 ビット DAC が内蔵されています。また、ヒステリシスとフィルタ機能をアナログ信号フィルタに使用し、安定したデジタル信号をタイマに出力することができます。

2 MSPM0 でのカラー ホイール制御

このセクションでは、ソフトウェア構造とペリフェラルの構成について説明します。これには、タイマの比較とキャプチャ モードの構成、コンパレータ フィルタの構成、MATHACL を使用したキャリブレーション計算の高速化などが含まれます。

2.1 ソフトウェアの構造

図 1-2 に、MSPM0 の内部ソフトウェア構造を示します。デュアル ホイール制御アプリケーションには、外部エッジ差キャプチャ (Timer0 CC0 および CC1 モジュール)、内部位置ループ制御 (位相ループ キャリブレーション モジュール)、および速度制御出力機能 (Timer2 CC0) の 3 つのソフトウェア モジュールが必要です。

また、同期信号周期キャプチャやインデックス信号周期キャプチャなどのオプションのソフトウェア モジュールもあります。これら 2 つのオプション機能は、どちらも外部 PWM 信号周期キャプチャとして使用され、カラー ホイールのフィードバック情報を SoC に提供します。要件があり、かつユーザーが使用していない追加のタイマリソースが MSPM0 にある場合、これらの機能をシステムに追加して、SoC のフィードバックまたはシステム情報のキャプチャ機能として使用できます。

2.2 外部エッジ差キャプチャ

MSPM0 は、1 つのタイマの 2 つのキャプチャチャネルを使用して、外部パルス幅をキャプチャできます。キャプチャ動作を構成することで、MSPM0 で 2 つのパルス信号のエッジ差を簡単にキャプチャできます。

キャプチャ動作をさまざまな方法で設定することで、外部信号のエッジ差をキャプチャする方法は数多くあります。これは方法の一例です。

まず、2 つの信号のエッジ間の時間間隔をキャプチャする必要があるデュアル ホイール制御アプリケーションのシステム要件を確認します。たとえば、M0 は、図 1-2 に示す同期信号の立ち下がりエッジとインデックスの立ち上がりエッジとの時間差をキャプチャする必要があります。

ユーザーは、2 つの入力信号エッジでタイマの動作を制御するために、タイマのレジスタを構成する必要があります。表 2-1 は、必要なタイマ構成設定と関連するレジスタの説明です。ここで、CC0 入力はインデックスの入力キャプチャチャネルとして構成され、CC1 入力は同期信号の入力キャプチャチャネルとして構成されています。タイマのカウンタはダウンカウント モードであり、同期信号の立ち上がりエッジでリロードされます。

表 2-1. エッジ差キャプチャのタイマ構成

構成	登録	説明
Syscfg - タイマ カウント モード	CTRCTL.REPEAT	エッジ差を連続的に検出するには、反復モードを有効にします
Syscfg - タイマ周期	LOAD	最大検出周期を制御します。カラー ホイール速度が 100Hz、周期が 10ms の場合、ロード値を 12ms より大きく設定します
Syscfg - CC0 キャプチャ条件	CCCTL_01.CCOND	CC0 入力の立ち上がりエッジによってトリガされるように CC0 キャプチャ条件を設定します
Syscfg - CC1 キャプチャ条件	CCCTL_01.CCOND	CC1 入力の立ち下がりエッジによってトリガされるように CC1 キャプチャ条件を設定します
CC1 ロード条件	CCCTL_01.LCOND	CC1 入力の立ち上がりエッジでトリガされるように、CC1 / カウンタのロード条件を設定します
カウンタ ロード制御	CTRCTL.CLC	

エッジ差キャプチャのタイマを有効にすると、M0 は CC0 および CC1 の割り込みで CC0 および CC1 の値を読み取ることができます。CC0 と CC1 の値の差がエッジ差の値になります。キャプチャプロセス全体はタイマのキャプチャハードウェアに基づいており、エッジ差がソフトウェアの実行速度の影響を受けることはありません。次に、キャプチャした差の値をキャリブレーション モジュールに入力し、制御アルゴリズムを実行します。

注

さまざまな CC 入力信号のエッジ キャプチャ要件と波形に基づいて、MSPM0 のタイマを使用してハードウェア エッジ差キャプチャ機能を設定するための多くの構成があります。同時に、インデックスおよび同期信号は、固定の順序で CC0 および CC1 へ入力するように制限されおらず、MSPM0 の高度なタイマは、キャプチャ入力として CC2 と CC3 もサポートしています。詳細については、MSPM0 デバイスのデータシートとテクニカル リファレンスマニュアルを参照してください。

注

MSPM0-SDK driverlib [タイマのサンプル コード](#)に基づいて、キャプチャ モードを複数のキャプチャに設定することで、タイマをエッジ差キャプチャ機能に簡単に変更できます。

2.2.1 コンパレータ付き入力フィルタ

インデックスまたは同期信号としてアナログ信号を使用するアプリケーションでは、タイマはアナログ信号をフィルタリングしないため、アナログ信号はタイマの CC 入力に直接入力するように設計されていません。またはタイマのキャプチャ機能で出力が不安定になり、カラー ホイールの制御が不安定になります。

MSPM0 の内蔵 COMP (コンパレータ ペリフェラル) を使用することで、MSPM0 は入力アナログ信号を単純にフィルタリングできます。

また、COMP に組み込まれた 8 ビット DAC もあるため、MSPM0 はリファレンス電圧を設定することもでき、アプリケーションでカスタマイズ可能な変換スレッショルドを使用してアナログ信号をデジタル信号に簡単に変換できます。

COMP のヒステリシス機能については、目的のヒステリシス電圧値を設定することで、COMP が入力アナログ信号をフィルタリングし、安定したデジタル信号をキャプチャおよびキャリブレーション モジュールに出力できるため、小さな外乱なしに制御システム全体を動作させることができます。

表 2-2 に、カラー ホイール制御アプリケーションで適用できる COMP の主な機能を示します。

表 2-2. カラー ホイール制御アプリケーションの COMP 機能

構成	登録	説明
Syscfg - 入力チャネル	CTL0.IPSEL	アナログ信号入力用の正入力チャネルを有効にします
Syscfg - リファレンス電圧ジェネレータ	CTL2.REFSRC	VDDA を DAC へのリファレンス ソースとして選択し、DAC 出力をコンパレータのリファレンスとして印加します
Syscfg - ヒステリシス	CTL1.HYST	コンパレータのヒステリシス設定
Syscfg - 出力フィルタ	CTL1.FLTENCTL1.FLTDLY	出力フィルタを有効にします

注

MSPM0-SDK driverlib の [COMP のサンプル コード](#)に基づいて、syscfg にリファレンス機能としてフィルタ、ヒステリシス、8 ビット DAC を追加することで、タイマをエッジ差キャプチャ機能に簡単に変更できます。

2.3 内部位置ループ制御

MSPM0 の CPU 上では位置ループ制御アルゴリズムが実行されています。図 2-1 に、MSPM0 PID ループ制御のブロック図を示します。カラー ホイール アプリケーションでは、MSPM0 は PI 制御を使用して、タイマによってキャプチャされた入力エッジの差に基づいてデューティ誤差を計算およびキャリブレーションします。出力は、MCF8316 の PWM 速度制御信号のデューティのオフセットです。

位相オフセットが必要な場合は、図 2-1 の位相設定にこのオフセットを必ず追加してください。

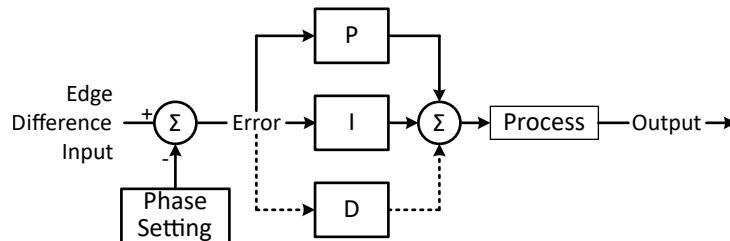


図 2-1. MSPM0 PID 制御のブロック図

注

制御ループの P、I パラメータは、経験と出力パラメータの形式に基づいて、ユーザーが調整する必要があります。

2.4 速度制御出力

フロントエンド アナログ モータドライバでは、MSPM0 からモータードライバへの速度制御出力として PWM を使用します。通常、モータードライバの速度参照値は PWM のデューティサイクルです。

カラー ホイールの中心速度は固定構成では一定ですが、SoC からの同期信号は、画像レンダリング周波数とこれら 2 つの非同期クロックシステムに応じて変化します。したがって、M0 は中心回転速度を中心にして、カラー ホイールの位置をリアルタイムで調整するためにモーターを制御する必要があります。そのため、この速度制御解析に基づいて、内部位置ループ制御の速度オフセット出力が、PWM のカラー ホイールのデューティサイクルの一定の中心速度に加算されます。

対象の MSPM0 デバイスで 32 ビット タイマが利用可能な場合、32 ビット タイマはタイマ入力クロック周波数分周なしで高精度 PWM を出力でき、全体的な制御の精度に重要な役割を果たします。

注

ユーザーは、MSPM0-SDK driverlib [PWM のサンプル](#)に基づいて、PWM 出力機能を設定できます。

3 テストと評価方法

3.1 テストシステムのセットアップ

ユーザーは、利用可能なハードウェアとプロジェクト要件に基づいて、カスタマイズされたテストシステムをセットアップできます。ただし、一部の重要なコンポーネントは常に必須です。システム図 [図 1-1](#) と以下のリストを確認してください。

- MSPM0 の同期信号を入力するための PWM ジェネレータ。DLPC がこの PWM ソースですが、開発フェーズでは MSPM0 または信号ジェネレータで問題ありません。
- MSPM0 EVM、[LP-MSPM0G3507](#) を推奨します。
- モータードライバ。たとえば、[MCF8316](#) です。型番はモーターのタイプによって異なります。
- 位置センサを搭載したカラー ホイール モーター。位置センサの出力信号は重要であり、MSPM0 の PWM キャプチャ機能を構成する方法と位置キャプチャの精度を決定します。

次のステップでは、MSPM0 ソフトウェア プロジェクトをセットアップします。[MSPM0 でのカラー ホイール制御](#) により、カラー ホイール制御アプリケーションにおける MSPM0 ソフトウェア構造を導入します。

MSPM0 の出力 PWM 周波数とデューティサイクル精度を高めるには、MSPM0 G シリーズ デバイスを選択し、MCLK を 80MHz に設定します。

3.2 性能評価

各モジュールの実装を完了してモジュールをカスケード接続したら、次のステップはループ制御パラメータを調整し、内部位置ループ制御の性能を最適化し、モーター位置フィードバック信号 (インデックス) のエッジと SOC 同期信号 (同期) のエッジの位相差が安定していることを確認します。

推奨される位相安定化テスト方法の 1 つは、オシロスコープを使用して、アフターグローが有効な状態で 2 つの信号のエッジ差を監視することです。カラー ホイール アプリケーションは、同期信号をリファレンス信号として使用して、カラー ホイール位置 (インデックス信号) のトラッキング安定性をテストします。したがって、TI では、同期のエッジをオシロスコープのトリガとして設定し、同期に対するカラー ホイール位置 (インデックス信号) のトラッキング性能と安定性を観測することを推奨します。

4 まとめ

このアプリケーション ノートでは、MSPM0 を使用してレーザー プロジェクタ システムでデュアル ホイール制御システムをセットアップする方法を紹介します。最初に、カラー ホイール システムのアーキテクチャおよび機能要件を簡単に紹介します。次に、本書では、MSPM0 を使用してシステム制御ループを構築する方法を紹介し、最後にシステムの設定方法と性能評価方法について説明します。

5 参考資料

- テキサス インスツルメンツ、『[MSPM0 G シリーズ 80MHz マイコン技術参考マニュアル](#)』、技術参考マニュアル。
- テキサス インスツルメンツ、『[混合信号マイコン CAN-FD インターフェイスを搭載した MSPM0G350x](#)』、データシート。
- テキサス インスツルメンツ、『[MCF8316A センサレス フィールド オリエンテッド コントロール \(FOC\)、内蔵 FET BLDC ドライバ](#)』、データシート。
- テキサス インスツルメンツ、『[MSPM0G3507 LaunchPad 開発キット ユーザー ガイド](#)』、EVM ユーザー ガイド。
- テキサス・インスツルメンツ、[DLP コントローラとドライバ](#)、製品選択ページ。

重要なお知らせと免責事項

TI は、技術データと信頼性データ (データシートを含みます)、設計リソース (リファレンス デザインを含みます)、アプリケーションや設計に関する各種アドバイス、Web ツール、安全性情報、その他のリソースを、欠陥が存在する可能性のある「現状のまま」提供しており、商品性および特定目的に対する適合性の默示保証、第三者の知的財産権の非侵害保証を含むいかなる保証も、明示的または默示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、TI 製品を使用する設計の経験を積んだ開発者への提供を意図したもので、(1) お客様のアプリケーションに適した TI 製品の選定、(2) お客様のアプリケーションの設計、検証、試験、(3) お客様のアプリケーションに該当する各種規格や、他のあらゆる安全性、セキュリティ、規制、または他の要件への確実な適合に関する責任を、お客様のみが単独で負うものとします。

上記の各種リソースは、予告なく変更される可能性があります。これらのリソースは、リソースで説明されている TI 製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、TI はその使用をお客様に許諾します。これらのリソースに関して、他の目的で複製することや掲載することは禁止されています。TI や第三者の知的財産権のライセンスが付与されている訳ではありません。お客様は、これらのリソースを自身で使用した結果発生するあらゆる申し立て、損害、費用、損失、責任について、TI およびその代理人を完全に補償するものとし、TI は一切の責任を拒否します。

TI の製品は、[TI の販売条件](#)、[TI の総合的な品質ガイドライン](#)、[ti.com](#) または TI 製品などに関連して提供される他の適用条件に従い提供されます。TI がこれらのリソースを提供することは、適用される TI の保証または他の保証の放棄の拡大や変更を意味するものではありません。TI がカスタム、またはカスタマー仕様として明示的に指定していない限り、TI の製品は標準的なカタログに掲載される汎用機器です。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案する場合も、TI はそれらに異議を唱え、拒否します。

Copyright © 2026, Texas Instruments Incorporated

最終更新日：2025 年 10 月