

Application Brief

電気自動車のパワートレイン効率の向上 TMS320F28P55x マイコンによるモーター制御とバッテリー性能の最適化



Andrew Poirier

はじめに

特にインドと東南アジアで、2 輪車と 3 輪車の EV (電気自動車) プラットフォームの急成長が続いている現状で、設計上の新しい課題が生じています。このような設計上の課題として、EV 範囲の拡大、最終製品コストの削減、消費者への高性能パワートレインの提供を挙げることができます。性能、コスト、航続距離を最適化するには、効率的なトラクション・インバータとバッテリー管理システム (BMS) ソリューションが不可欠です。この記事の主な焦点は、メーカーがこれらの設計課題に対処し、進化する市場要件に対応するために、車載用 TMS320F28P55x マイコン (MCU) がどのように役立つかを検討することです。これらのマイコンの高いリアルタイム性能、高度なアナログ機能および制御機能を、テキサス・インスツルメンツのオープンソフトウェアエコシステム、リファレンスデザイン、および製品サポートと組み合わせることで、メーカーは設計目標を達成し、トラクションインバータや BMS アプリケーションの製造スケジュールを満たすことができます。

パワートレインの効率を強化し、到達範囲の拡大と性能向上を実現

モーター制御向けの効果的なトラクション・インバータ・ソリューション

トラクション・インバータ・システムの電力効率は、EV の航続距離に最大の影響を及ぼします。これらのアプリケーションでは、アクセラレータを搭載したマイコンを利用して CPU の算術演算を支援し、モーター制御の効率と精度を強化することが重要です。この利点は、EV パワートレイン内でより効率的な電力使用を実現することで、トラクション・インバータ・システムに直接的な利点をもたらします。TMS320F28P55x マイコンには、浮動小数点ユニット (FPU)、三角関数算術演算ユニット (TMU)、制御補償器アクセラレータ (CLA) など、複数の CPU アクセラレータが搭載されています。

FPU は、浮動小数点演算に依存する制御アルゴリズムの移植プロセスを簡素化し、固定小数点演算をベースとするマイコンや FPU を使用しないマイコンに比べて、開発労力が大幅に低減されます。さらに、FPU により、追加の浮動小数点レジスタおよび命令を提供することにより、IEEE-754 単精度浮動小数点フォーマット演算を使用するハードウェアをサポートできます。FFT や平方根演算などの複素算術演算は、FPU を使用する場合に完了するサイクル数を大幅に削減します。固定小数点演算マイコン・ソリューションに比べて、所要サイクル数は 2 倍以上になります (を参照表 1)。

表 1. FPU の性能の向上

機能	タイプ	FPU サイクル	FPU64 サイクル	固定サイクル	改善/コメント
複素 FFT	512 pt 1024 pt	24243 53219	43935 98683	63192 141037	2.61x (FPU) / 1.44x (FPU64) と固定小数点 2.65x (FPU) / 1.43x (FPU64) と固定小数点との関係
Real FFT	512 pt 1024 pt	13670 30352	20219 45476	34513 76262	2.52x (FPU) / 1.71x (FPU64) と固定小数点 2.51x (FPU) / 1.68x (FPU64) と固定小数点との関係
平方根	コンパイラ組み込み関数	22	22	64	2.91x (FPU/FPU64) と固定小数点の比較-どちらのモードでも 32 ビット浮動小数点引数を使用します
有限インパルス応答 (FIR)	64 pt	119	280	111	循環アドレッシング・モードを使用する 0.93x (FPU) / 0.40x (FPU64) と固定小数点 FIR アルゴリズムの比較

TMU は、CPU の命令セットをさらに強化することで、C28x CPU と FPU の両方に利点をもたらします。表 2 TMU で利用可能な動作の一覧が含まれます。これらの命令機能により、パーク変換や逆パーク変換、空間ベクトル生成、FFT マグニチュード、位相計算など、三角関数の計算が多忙な一般的に使用される制御アプリケーションのサイクル数が大幅に削減されます。

表 2. TMU がサポートする命令

動作	C での等価演算
2π の乗算	$a = b * 2\pi$
2 分周	$a = b / 2\pi$
分周	$a = b/c$
平方根	$a = \text{sqrt}(b)$
単位あたりの Sin	$a = \sin(b*2\pi)$
単位あたりの CoS	$a = \cos(b*2\pi)$
単位あたりの円弧正接	$a = \text{atan}(b)/2\pi$
アークタンジェント 2 (Arc Tangent 2) とクワドラント操作	ATANPU2 の計算に役立つ演算
対数	$a = \text{LOG}_2(b)$
逆指数 (Inverse Exponent)	$a = 2^{- b }$

CLA は C28x CPU や前述のアクセラレータと並列動作し、低レベルの制御ループを管理することで、CPU の帯域幅を削減します。TMS320F28P55x マイコン上の各種ペリフェラルにアクセスできるため、高速な割り込み応答を可能にし、MCU の割り込みレイテンシと制御ループ遅延を最小限に抑えることができます。に示すように図 1、CLA は CPU に送信される複数の異なるコマンドをパイプライン化するのに役立ち、より厳密な制御ループを実現できます。これらのハードウェアアクセラレータはすべて、HV/EV (ハイブリッド車と EV 電気自動車) とパワートレインの動作におけるマイコンの主要な役割と効率をサポートしているので、EV の航続距離を延長できます。

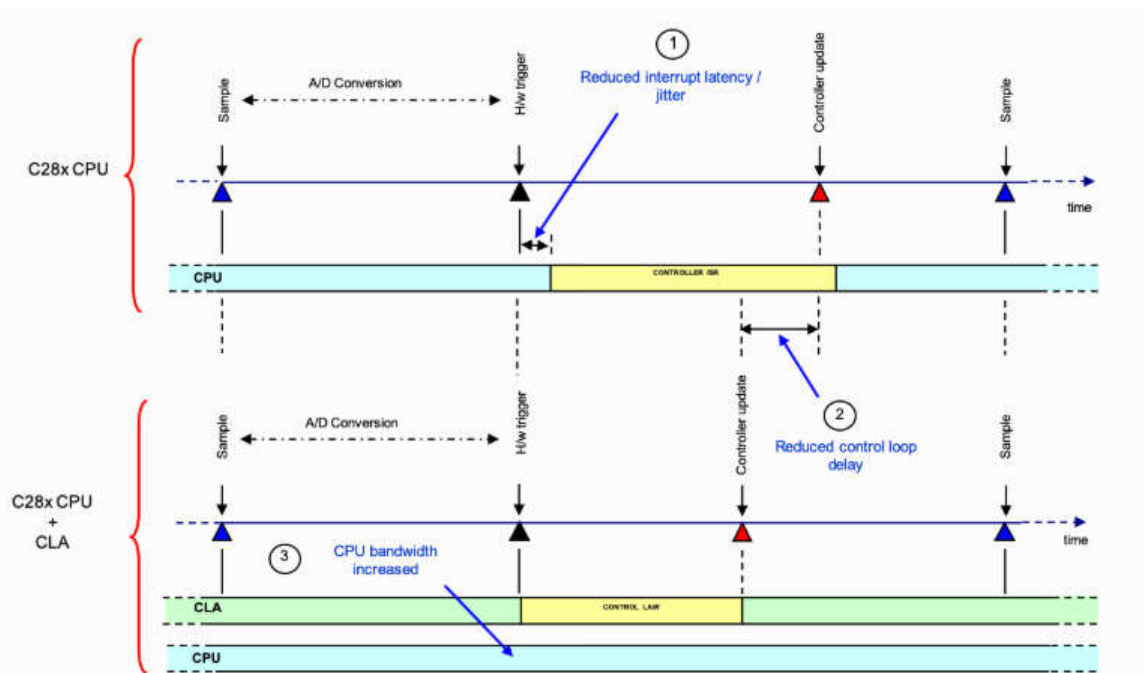


図 1. CLA の利点

これらのデバイスは、センシング・ペリフェラル、高い処理速度、高速動作を特長としており、リアルタイム動作と低レイテンシの制御を実現します。また、高速 ADC と拡張 PWM (ePWM) モジュールにより、これらのデバイスは車載市場の高性能モータ制御およびデジタル電源アプリケーションに理想的です。TMS320F28P55x デバイスには、コンパレータサブシステム (CMPSS) とプログラマブルゲインアンプ (PGA) も内蔵されており、BOM コストを削減でき、これらのマイコンを使用するという最終顧客の利点も得られます。

バッテリー・パック使用の最適化

EV 市場における設計上の重要な課題は、EV の航続距離を向上させることです。BMS は EV 範囲で重要な役割を果たします。BMS は、可能な限り最も効率的な方法で EV パワートレインに電力を供給する必要があるためです。時間の経過とともに設計要件が増大するにつれて、BMS ソフトウェアの改善がより重要になってくる。一方、設計者の皆様は、BMS ソフトウェアの性能と機能を向上させるために、ハードウェア機能を搭載したマイコンを探し求めています。

TMS320F28P55x MCU に固有の統合型ニューラル・ネットワーク処理ユニット (NNPU) であり、特定の機械学習の操作を高速化できます。BMS の文脈では、この形式のエッジ AI は、機械学習ベースの充電状態 (SoC) と健全性状態 (SoH) アルゴリズムに利点をもたらします。さらに、内部セルのパラメータに関する詳細な情報を得て、電気化学インピーダンス分光 (EIS) を利用することが BMS に関心が高まっています。その後、この情報を使用して、バッテリー・パックの SoC および SoH 測定値を非常に正確に取得でき、EV の距離測定の精度を向上させることができます。残りの耐用寿命 (RUL)、SoC、SoH がすべて正確に維持されている場合、EV は元の最大許容範囲付近で動作する可能性が高くなります。

Xin-1 の統合により、小型でコスト効率の優れた設計を実現

X-in-1 との統合は、単一のマイコンが EV パワートレインの複数のコンポーネントを制御するシステム設計手法であり、一般的に普及が進んでいます。X-in-1 の統合は、同じパワートレイン機能を達成するための材質使用量が減るので、これらのシステムの設計者はコストを大幅に削減できます。このトレンドに対応することは非常に重要です。特に、スペースの削減とコストの削減が必須である 2 輪車と 3 輪車の EV アプリケーションで、この戦略は市場規模で展開されると予測されているからです。TMS320F28P55x マイコンに搭載されている前述の CLA は、実質的にはそれほど強力ではないが、MCU 用に追加の CPU として動作できます。これにより、本デバイスは性能を犠牲にすることなく、帯域幅を多く含む制御アルゴリズムをサポートできます。この機能をマイコンに実装すると、コストの大幅な向上、製造の簡素化、ソフトウェア機能の統合を実現して、ワイヤレス (OTA) 更新を容易にする可能性があります。X-in-1 統合は、マイコンからより多くの帯域幅を必要としますが、EV パワートレインのサイズと重量の両方を最小化することができます。

まとめ

長距離対応でコスト効率に優れた高性能のパワートレインシステムを搭載した 2 輪車と 3 輪車のプラットフォームの設計は、プラットフォームの成長が継続する中で非常に重要です。メーカー各社が 2 輪車と 3 輪車のパワートレイン・アプリケーションとして自動車認証取得済みのデバイスへの移行を進めている現状で、安全性と信頼性に優れた高性能ソリューションに対する需要も増加を続けています。TI は 2 輪車と 3 輪車の EV 市場のお客様向けに、豊富なリソースを取り揃えたサポートエコシステムも提供しています。このエコシステムには、TIDM-02017 などのリファレンスデザイン、シミュレーションおよびコード生成用の MathWorks モデルベースの設計、C2000 Microcontrollers Forum と他のプラットフォームによる厳密なカスタマサポートが含まれています。TMS320F28P55x マイコンはスケーラブルな製品であり、高性能、拡張範囲、コスト親和性の高い次世代 BMS とトラクション・インバータの実現に役立ちます。TMS320F28P55x マイコンを多様なハードウェア/ソフトウェアサポートシステムと組み合わせると、メーカーは 2 輪車と 3 輪車の市場で最も迅速かつ高性能のソリューションを実現できます。

商標

すべての商標は、それぞれの所有者に帰属します。

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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黙示保証、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、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ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す。(1) お客様のアプリケーションに適した テキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、その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 テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる テキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所: Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated

重要なお知らせと免責事項

テキサス・インスツルメンツは、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黙示保証、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、明示的または黙示的にかかわらず拒否します。

これらのリソースは、テキサス・インスツルメンツ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す。(1) お客様のアプリケーションに適したテキサス・インスツルメンツ製品の選定、(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、その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テキサス・インスツルメンツ製品を使用するアプリケーションの開発の目的でのみ、テキサス・インスツルメンツ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。テキサス・インスツルメンツ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、テキサス・インスツルメンツおよびその代理人を完全に補償するものとし、テキサス・インスツルメンツは一切の責任を拒否します。

テキサス・インスツルメンツの製品は、[テキサス・インスツルメンツの販売条件](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかるテキサス・インスツルメンツ製品の関連資料などのいずれかを通じて提供する適用可能な条項の下で提供されています。テキサス・インスツルメンツがこれらのリソースを提供することは、適用されるテキサス・インスツルメンツ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。

お客様がいかなる追加条項または代替条項を提案した場合でも、テキサス・インスツルメンツはそれらに異議を唱え、拒否します。

郵送先住所：Texas Instruments, Post Office Box 655303, Dallas, Texas 75265
Copyright © 2025, Texas Instruments Incorporated