

Technical White Paper

リアルタイム制御の処理を高速化: 実証済みのマイコンから次世代のマイコンまで



概要

このホワイト・ペーパーでは、リアルタイム制御システムに特化したハードウェア・アクセラレータの重要性についてみていきます。この資料は、リアルタイム制御ループの処理フェーズの役割を中心に、高性能マイコン (MCU) に内蔵されている各種ハードウェア・アクセラレータの役割を説明しています。これらのアクセラレータは、システムの全体的なレイテンシの短縮に役立ちます。拡張された浮動小数点機能や統合された三角法および制御補償器アクセラレータ、通信を最適化するためのさまざまな手法について説明します。

最後に、高度なリアルタイム制御アプリケーション向けにカスタマイズされた 2 つのマイコン製品のラインアップを紹介します。C2000™ リアルタイム・マイコン製品ラインアップは専用の制御システム設計向けで、Arm® ベースの AM26x マイコン製品ラインアップは Arm を中心とするエコシステム内で多様な処理機能を実現します。

目次

1 はじめに.....	2
2 浮動小数点ユニット.....	2
3 三角関数演算ユニット (TMU).....	3
4 制御補償器アクセラレータ (CLA).....	3
5 ビタビ、複素算術演算、および CRC ユニット.....	3
6 産業用通信サブシステム.....	3
7 リアルタイム制御のニーズに最適なマイコンを見つける.....	4

図の一覧

図 1-1. リアルタイム制御ループの主な機能ブロック.....	2
----------------------------------	---

1 はじめに

リアルタイム制御システムは、多数の重要なアプリケーションの中核として機能します。これらのシステムはセンシング、処理、アクチュエータ駆動の微妙なバランスを調整するものであり、極めて重要です。

電気自動車のトラクション・インバータについて考えてみましょう。このインバータの主な機能は、バッテリーの DC 電力を、モーターが使用する 3 相 AC 電力に変換することです。ここでは、ミリ秒単位で確実な動作が求められます。インバータは路面状況、負荷の要求、ドライバーの入力などの変数に常に対応し、滑らかでエネルギー効率の高いドライブを実現します。同様に、産業用ロボットも反復作業で高精度を達成するようにプログラムされています。回転角度であっても、力の印加であっても、その速度と精度は非常に重要です。わずかな偏差でさえ、欠陥品につながる可能性があります。リアルタイム制御システムのおかげで、ロボットのモーターも自動車のモーターも、24 時間、安全かつシームレスに動作します。

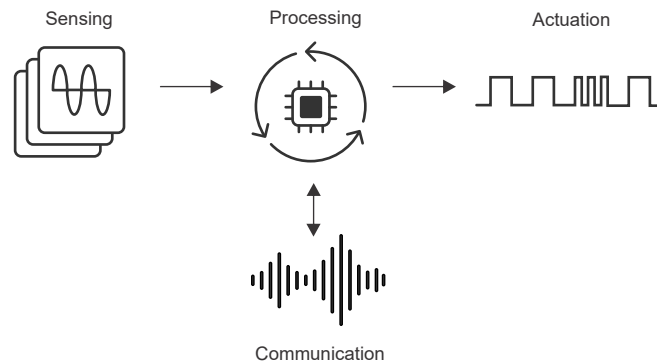


図 1-1. リアルタイム制御ループの主な機能ブロック

すべてのリアルタイム制御システムは以下のものを含まれます。

1. **センシング**: デバイスは、EV バッテリーの温度センサからロボット・アームの位置センサまで、一貫してリアルタイム・データをキャプチャします。
2. **処理機能**: 洗練されたアルゴリズムがこの生データを解釈します。リアルタイム要件を考慮すると、このフェーズでの速度と精度は非常に重要です。
3. **アクチュエータ駆動**: システムはコマンドを受信し、処理されたデータに基づいて具体的な動作を実行します。

多軸ドライブ、産業用ロボット、電気自動車、ソーラー・インバータなどのような用途であっても、リアルタイム制御システムを設計する場合、主な目的はレイテンシを最小化して最適な性能を得ることです。専用のハードウェア・アクセラレータを搭載した高性能マイコンにより、これを可能にしてくれます。これらのアクセラレータは、複雑な制御アルゴリズムを効率的に処理できるように特別に設計されています。以下のセクションでは、リアルタイム制御ループの処理フェーズに注目し、システム・レイテンシを最小化するうえで、アルゴリズムの開発やハードウェア・アクセラレータが果たす役割について説明します。最後に、これらのアプリケーション向けにテキサス・インスツルメンツが開発した優れたマイコン製品シリーズの概要を説明します。

2 浮動小数点ユニット

多くのリアルタイム制御システムの設計では、最初にシミュレーション・ツールを使用し、浮動小数点演算を使用して制御アルゴリズムを開発します。浮動小数点演算はダイナミック・レンジが広いいため、固定小数点演算よりもコードを開発しやすくなります。たとえば、スケールリングとサチュレーションはもはや問題とはなりません。また、浮動小数点演算を使用して開発された制御アルゴリズムは、値がオーバーフローやアンダーフロー時に数値行を丸めることがないため、より確実です。

リアルタイム制御向けの高性能マイコンは、32 ビット固定小数点と 32 ビット (または 64 ビット) 浮動小数点の数学演算をハードウェアでサポートする超高速 CPU を搭載しています。これにより、制御アルゴリズムをデバイスに簡単に移植でき、さまざまな並列処理が可能になります。

3 三角関数演算ユニット (TMU)

制御アルゴリズム内では、ある数学演算が特に重要となります。パーク変換、逆パーク変換、空間ベクトル生成、直接直交ゼロ変換、逆直接直交ゼロ変換、FFT 振幅、位相計算などの演算は基本的です。なぜでしょうか？これらの演算は、信号変調やデータ変換、システム分析で重要な役割を演じ、未加工のセンサ・データを実行可能な知見に変換するのに役立つからです。さらに、正弦、余弦、アークタンジェント、除算、平方根のようなその他の基本的な演算は、これらの数学的操作の基盤を形成します。ただし、これらの演算は繰り返しが多いため、マイコンの CPU で実行すると、システムの応答が遅くなる可能性があります。

これらの演算がボトルネックにならないようにするには、拡張浮動小数点機能を使用することが大変重要です。効果的なアプローチの 1 つは、拡張命令セットを使用してこれらの機能を最適化することです。三角関数命令と算術命令を自動的に生成できる、適切に設計されたコンパイラも不可欠です。これにより、コンパイラは標準のランタイム・サポート・ライブラリ・コールのみに依存するのではなく、これらの最適化された命令を利用して計算を高速化できるようになります。

4 制御補償器アクセラレータ (CLA)

多くの複雑なリアルタイム制御アプリケーションは、内蔵された制御補償器アクセラレータによる、さらに高いレベルの処理性能を必要とします。たとえば、標準的な電源デジタル・コントローラは、入力データをキャプチャするアナログ / デジタル・コンバータ (ADC)、制御補償アルゴリズムを計算する数学エンジン (例えば、PID、2 極 / 2 零点、および 3 極 / 3 零点デジタル補償器など)、計算された波形を出力する PWM チャネルで構成されます。高性能マイコンはこれらの機能を単一のデバイスに統合してレイテンシを最小化 (およびシステムの複雑さとコストを低減) し、サンプルから出力までの遅延を明確に小さくします。

32 ビット浮動小数点数学集約型演算が標準でサポートされているため、CPU よりも高い性能と効率で低レベルの制御ループを管理できます。また、A/D コンバータや PWM モジュールなどのメモリや制御ペリフェラルに直接アクセスすると、レイテンシの最小化にも役立ちます。この種の内蔵型制御補償器アクセラレータは、CPU を介さずにペリフェラルのトリガに応答可能です。アクセラレータはハードウェア同期に割り込みを使用せず、コンテキスト・スイッチの実行も一切必要ないため、効率が向上します。このやり方ではジッタが排除され、実行時間が確定します。これらのアクセラレータの詳細なベンチマークと詳しい情報については、アプリケーション・ノート『C2000™ マイコン・ファミリの計算性能の向上』を参照してください。

5 ビタビ、複素算術演算、および CRC ユニット

システムの複雑さが増大するにつれて、デバイスと制御ユニットの間での信頼性の高い高速通信の重要性も高まります。これは単にデータ交換だけでなく、状況の変化にタイムリーかつ正確に対応するためです。充電ステーションと同期する電気自動車から、データを中継する産業用ロボットまで、通信プロトコルの品質はシステム性能に直接的な影響を及ぼします。

ビタビ・デコードや複素 FFT、複素フィルタ、巡回冗長性検査 (CRC) 向けの密結合固定小数点アクセラレータを搭載した高性能マイコンの通信性能は大幅に向上します。このアクセラレータは、フィルタリングやスペクトル解析など汎用の信号処理にも使用でき、システムの機能と値を拡張できます。

6 産業用通信サブシステム

もう 1 つのオプションは、専用の産業用通信サブシステムとともにプログラマブル・リアルタイム・ユニットを使用することです。このオプションにより多彩な機能が実現し、特にディタミニスティック通信を必要とするシステムで、リアルタイム処理と産業用プロトコルの統合を容易にします。デュアル・コア・アーキテクチャと専用 RAM により、迅速な並列データ処理が可能になり、遅延が最小限に抑えられます。独立したコアが同時に動作し異なるタスクを管理できるため、通信フローを最適化し、優先度の高いタスクを遅延なく確実に実行できます。このサブシステムは設計上、広範な産業用通信プロトコルとシームレスに接続でき、柔軟性と幅広いアプリケーションの可能性を提供します。

7 リアルタイム制御のニーズに最適なマイコンを見つける

リアルタイム制御システムが進化してますます複雑になり、その要件が拡大する中で、適切なマイコンの選定はこれまで以上に重要になっています。リアルタイム制御技術の開発において 25 年以上の経験を持つテキサス・インスツルメンツは、これらの高度な要求を満たすようにカスタマイズされた、2 つの優れたマイコン製品シリーズを自信をもってご提案させていただきます。

独自のアーキテクチャをベースとする [テキサス・インスツルメンツ](#) の **C2000** リアルタイム・マイコン製品ラインアップは、厳しいリアルタイム制御アプリケーションに携わる方々に対し、最も制御システムに特化したデザインを提供します。これらのデバイスは、モーター・ドライブや再生可能エネルギー・システムなど、要求の厳しい分野向けに特別にカスタマイズされています。これらの製品は、高分解能 PWM、ADC、この記事でご説明している多数のハードウェア・アクセラレータなど、高度なオンチップ・コンポーネントを搭載しています。これらのカスタマイズされた機能すべてを備えた **C2000** マイコンは、精度を必要とする高性能制御プロジェクト向けの最高のオプションです。

これに対し、プロジェクトで堅牢なリアルタイム制御と多様なワークロードを扱う能力の両方が必要な場合、テキサス・インスツルメンツの **Arm**® ベース **AM26x** マイコン製品ラインアップは非常に優れた性能を発揮します。この製品ラインアップは、広く使用されている **Arm Cortex-R** アーキテクチャをベースとしており、(内蔵の **C2000** の制御機能を活用した) 制御能力が優れているだけでなく、データ分析から複雑な通信プロトコルまで、多様なタスクの管理も問題なく対応できます。**AM26x** マイコン・ファミリーは、拡張セキュリティ・モジュールや特化型通信インターフェイスの他、最大で **SIL 3** または **ASIL-D** に対応する機能安全まで包括的な機能セットを取り揃え、幅広い処理能力と **Arm** を中心とするエコシステム内でのシームレスな統合を求める専門家にとって最適な選択肢となっています。

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、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す。(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、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、

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](#)、または [ti.com](https://www.ti.com) やかかる TI 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。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。

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、TI 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 © 2023, Texas Instruments Incorporated