

差別化に貢献するマイコンの統合を Jacinto™ 7 プロセッサで実現



Mahmut Ciftci

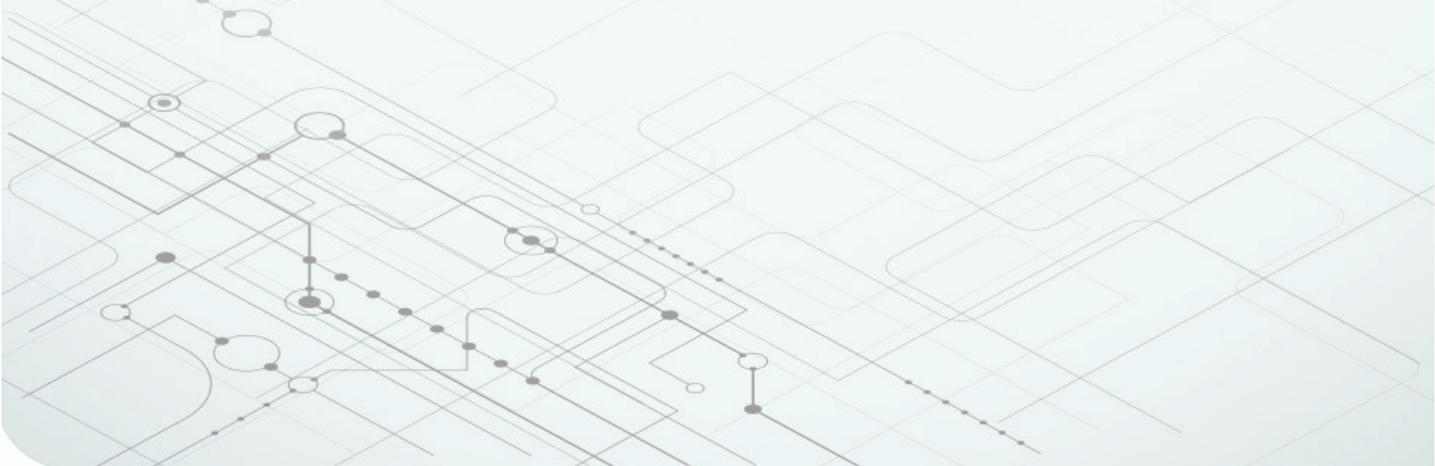
システム・アーキテクト、
Jacinto プロセッサ

Yashwant Dutt

エンジニアリング・マネージャ、
Jacinto プロセッサ

Sujith Shivalingappa

エンジニアリング・マネージャ、
Jacinto プロセッサ



この10年間で自動車のアーキテクチャは大きく変化し、コンシューマが希望するエンターテインメント、コネクティビティ、機能安全機能の一層の充実をはかってきました。最近では自動運転が注目されているため、自動車は変革の中心的位置づけに変化してきており、テクノロジーの進歩を具体化する最前線に位置付けられています。その結果、システムの複雑度、半導体の使用量、コストがいずれも大幅に増大または増加しています。

現在、1台の標準的な自動車はさまざまな機能を管理するために、数百個の電子制御ユニット (ECU) を搭載しています。たいていの場合、これらの ECU はシンプルなマイコンを使用しています。ただし、先進運転支援システム (ADAS) や車載ゲートウェイ・システムなど、より複雑なシステムは、車載マイコンに加えて、より強力なアプリケーション・プロセッサを複数必要としており、各プロセッサは特定のシステム機能を実行します。このホワイト・ペーパーは、車載システムが採用している車載マイコンの役割について説明するほか、Jacinto™ 7 プロセッサのシリコン・アーキテクチャを取り扱います。これらのプロセッサは、車載マイコンをアプリケーション・プロセッサに統合した製品です。

車載システム内の各種車載マイコン

複雑な車載組込みシステムは、コンピューティングの役割をアプリケーション・プロセッサと車載マイコン (「ウェークアップ・マイコン」とも呼びます) に分割しています。図 1 に、この種のシステムのブロック図を示します。この中で、アプリケーション・プロセッサはシングルコアまたはマルチコアのプロセッサであり、単一または複数の高水準オペレーティング・システムをホストすると同時に、複数のディスプレイの駆動、アプリケーション・ソフトウェアとミドルウェアの取り扱い、スループットの高いデータの管理、グラフィックとカメラとビジョンに関する複雑な処理を担当します。

一方、マイコンは ECU が実施する活動全般を担当します。アプリケーション・プロセッサの動作を監視し、その計算結果を評価します。また、マイコンは他のセンサ入力の処理、車載ネットワークとの通信の管理 (使用する手段は、CAN [Controller

Area Network]、LIN [Local Interconnect Network]、イーサネット)、他のハウスキーピング (維持管理) 活動の実施、ウェークアップ機能とスタンバイ機能のサポートも担当します。機能安全の使用事例にもよりますが、車載マイコンは機能安全の要件を管理することもあります。

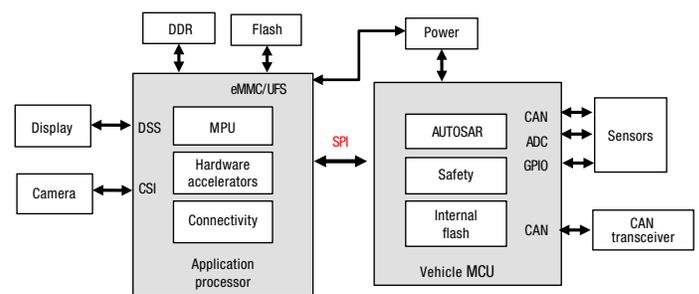


図 1. 複雑な車載システムを示す、一般化したブロック図。

標準的な車載マイコンは、以下の機能をサポートしています。

- CAN、LIN、イーサネット経由で、車載ネットワーク内にある他のノードとの通信を実施する多様なコネクティビティ・インターフェイス
- 多様な入出力インターフェイス (例は、汎用入出力 [GPIO]、A/D コンバータ [ADC]、シリアル・ペリフェラル・インターフェイス [SPI]、I2C) の活用により、各種センサとペリフェラルの監視と制御を実施
- データとプログラムを格納するための高速メモリ (組込み / 外部メモリ)

- 低消費電力のスタンバイ・モード
- 車載ネットワークのメッセージに応答する高速ブート (CAN の応答時間は 50 ~ 100ms 以内、など)
- ASIL (Automotive Safety Integrity Level、車載セーフティ・インテグリティ・レベル)-D 安全性のサポート。必要な場合は、システムの安全性目標を達成
- AUTOSAR (Automotive Open System Architecture) 対応のスタックとアプリケーション

システムの複雑度と機能セットが増大または増加するにつれて、車載マイコンの要件も以下のように増大します。

- 複雑なソフトウェアのコンピューティング・ニーズに対応できるように、演算能力を強化
- より複雑なソフトウェアを取り扱えるように、組み込みフラッシュのサイズが増加
- (データと命令の両方に関して) 大規模なソフトウェアを格納できるように、高速メモリの必要量が増加
- 複数のネットワークをサポートするための複数のイーサネット・ポート
- 多数の入出力インターフェイス (CAN、LIN、ADC)
- サイバーセキュリティ要件の増大

このように要件が増加または増大した結果、車載マイコンのコストも増加し、それに伴って部品表 (BOM) コストも増加します。

図 1 に示した分割アーキテクチャに対応するためのソフトウェア開発も課題になります。アプリケーション・プロセッサと車載マイコンは、互いに異なるアーキテクチャを基礎にしているため、それぞれが独自の対応 SDK (ソフトウェア開発キット) を使用します。ソフトウェアの開発と検証を、2 種類の異なるソフトウェア環境で実施する必要があるため、ソフトウェアの開発と検証に関する複雑度と労力も増大します。

また、分割アーキテクチャが原因で、機能安全とセキュリティ・システムの要件を満たすための能力も複雑になります。アプリケーション・プロセッサおよびマイコンという両方のコンポーネントの要件に対処する必要がある場合、これら両方を管理する作業も課題になります。さらに、ASIL-D 安全性要件を満たすシステムの場合、機能安全の要件を満たすために、プロセッサ間通信 (IPC) に関して CPU の高い処理能力が必要になります。(特に、データの量が多い場合)

Jacinto DRA8xx と TDA4xx の各システム・オン・チップ (SoC) は、Jacinto 7 プロセッサ・ファミリの一部であり、車載マイコンをアプリケーション・プロセッサに統合した斬新なアーキテクチャを採用しています。このアーキテクチャは、常に増大を続けるシステム要件に対処すると同時に、システムの BOM (部品表) コストの最適化、ソフトウェア開発の統合、機能安全とセキュリティに関するサポートの簡略化に貢献します。

Jacinto 7 プロセッサでマイコンを統合

Jacinto 7 車載アプリケーション・プロセッサ・プラットフォームは、ADAS、車載ゲートウェイ、コックピットの各システム向けの革新的な各種機能を搭載しています。特に、車載マイコンの統合という特長があります。図 2 に、Jacinto 7 SoC のアーキテクチャ概要を示します。アプリケーション・プロセッサは 2 つの独立したドメイン - メイン・ドメインと MCU ドメイン - に分離されています。メイン・ドメインは、マイクロプロセッシング・ユニットや GPU (グラフィックス処理ユニット) など高性能の計算コア、マルチメディア・アクセラレータ、DSP (デジタル信号プロセッサ) などのビジョン・ハードウェア・アクセラレータを実装しています。また、メイン・ドメインは、必要な入出力インターフェイスのほか、ビデオ・インターフェイス (キャプチャとディスプレイなど) も搭載しています。

マイコン・ドメインは、通常は外部の車載マイコンにオフローディングしている機能を代わりに処理することになります。メイン・ドメインとマイコン・ドメインは互いに分離されており、それぞれが独立した電圧、電力、クロック、リセット機能を使用しています。ハードウェア・ファイアウォールを採用した結果、これら 2 つの領域の間で「干渉からの自由」(freedom from interference、FFI) を保証できます。

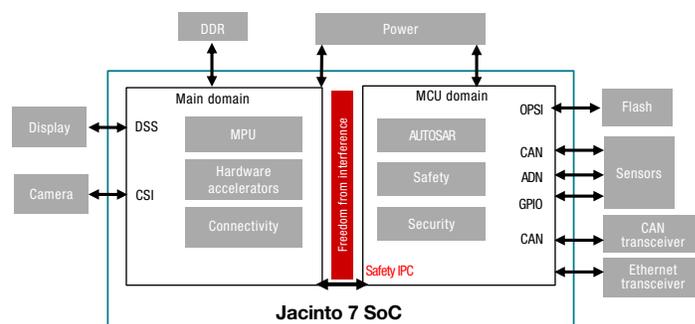


図 2. Jacinto 7 SoC をベースとするシステム・アーキテクチャ

Jacinto 7 SoC のマイコン・ドメインの搭載機能:

- プロセッシング・コアマイコン・ドメインは、デュアル Arm® Cortex®-R5F プロセッサをベースにしています。各コアは、ロック・ステップ・モードまたは分岐モードに構成することができます。各 Cortex-R5F コアは最大 1GHz で動作することができ、スタンドアロンの車載マイコンに比べると、非常に高い処理性能を発揮します。
- ペリフェラルと各種 I/O インターフェイスマイコン・サブシステムは、包括的な一連の I/O 機能を搭載しており、以下のような車載の使用事例をサポートできます。
 - CAN FD (CAN-Flexible Data Rate) の複数インスタンス
 - イーサネット
 - GPIO、SPI、I2C、パルス幅変調 (PWM) の複数インスタンス
 - 複数のマルチチャンネル ADC
- 機能安全 Jacinto 7 SoC のマイコン・ドメインは、ASIL-D までの各種システムをサポートする設計を採用しています。以下の各機能ユニットはマイコン・ドメインに統合済みなので、より高い安全性レートを実現できます。
 - 内蔵セルフ・テスト (BIST)
 - すべてのメモリを対象にするエラー訂正コード (ECC)
 - 複数のエラー信号モジュール
 - 巡回冗長検査 (CRC)
 - 複数のウォッチドッグ・タイマ
 - デュアル・クロック・コンパレータと温度センサ

詳細については、TI の『[車載設計の機能安全に関する Jacinto™ 7 プロセッサ機能の利用](#)』ホワイト・ペーパーをご覧ください。

- セキュリティ Jacinto 7 アーキテクチャのマイコン・ドメインは、SoC 全体のセキュリティ・マスターです。マイコン・ドメインは、デバイスの管理 / セキュリティ・コントローラを 1 個搭載しており、このコントローラは以下の機能を実現します。
 - 一意の鍵を使用してセキュア・ブートを実現。
 - 暗号化アクセラレータ: RSA-4K (Rivest, Shamir and Adelman-4K)。真性乱数生成器 / 決定論的乱数生成器。SHA 2-512 (Secure Hash Algorithm 2-512)。AES-256 (Advanced Encryption Standard-256)。
 - ハードウェア・セキュリティ・モジュール・サービス。
 - メモリとペリフェラルを対象にするファイアウォール。

電源

スタンバイ時の低消費電力は、車載マイコンが実現する主な特長の 1 つです。Jacinto 7 SoC は、マイコン・ドメインに対して独立した電力を供給する方法で、スタンバイ時の低消費電力を実現します。代表的なシナリオでは、マイコン・ドメインは通常は電源オフであり、CAN 動作が発生している場合のみウェークアップします。受信した CAN メッセージによっては、SoC はシステム全体の電源投入を開始するか、電源オフ・モードへの再移行を実施します。

フラッシュ

Jacinto 7 SoC は、内蔵フラッシュをサポートしていません。代わりに、Octal SPI (OSPI) や Hyperflash のような外部 NOR フラッシュを使用して、ブート・イメージや他のイメージを格納します。マイコン・ドメインは、ECC サポートの内部 RAM を搭載しており、AUTOSAR スタックまたは他のソフトウェアを実行します。さらに、追加のプログラムやデータを格納するための空間として、大容量の外部 DDR メモリにアクセスすることもできます。XIP (Execute in place、インプレース実行) は OSPI 上でサポートしており、ウェークアップ時間を短縮できます。また、XIP 内のイメージは、実行を開始する前に認証されます。

ブートと早期の CAN 応答

マイコンを統合した Jacinto 7 プロセッサで、早期の CAN 応答に対応する高速ブート時間を実現できます。マイコン・ドメインは、フル SoC のブート・マスターとして動作し、50ms ~ 100ms という要件を満たすように、CAN スタックを起動して実行することができます。

Jacinto 7 のマイコン統合と 従来の外部車載マイコンの比較

表 1 で、Jacinto 7 プラットフォームのマイコン・ドメインの特長と、従来の外部マイコンを比較します。

機能	Jacinto 7 のマイコン	外部マイコン
プロセッシング・コア	より高い性能を実現。従来の外部マイコンに比べて、複数のコアはより速い速度で動作	低性能
I/O サポート	CAN、ADC、SPI、GPIO、PWM、イーサネット	CAN、ADC、SPI、GPIO、PWM、イーサネット
機能安全	ASIL-D までの各種規格に対応。重要度が異なるアプリケーションを組み合わせる場合の安全性サポートを簡略化	ASIL-D までの各種規格に対応。最新の機能安全要件に対応するまでにラグが生じる可能性あり
セキュリティ	最新のセキュリティをサポート	最新のセキュリティ要件に対応するまでにラグが生じる可能性あり
電力	低消費電力の要件を満たすことが可能	小さいスタンバイ電流
システム BOM コスト	外部マイコンの不要化を通じて、システムの BOM (部品表) コストの大幅な削減を実現。プリント基板 (PCB) の面積を節減	フラッシュ・サイズや機能安全の要件などによっては、コストの大幅な増加を招く可能性あり。
ブート	CAN 応答に関する 50ms ~ 100ms というブート時間要件を満たす	CAN 応答に関する 50ms ~ 100ms というブート時間要件を満たす
ソフトウェア開発	アプリケーション・プロセッサを通じた統合型ソフトウェア開発	複数の個別 SDK
フラッシュ	外部フラッシュ (OSPI、Hyperflash)	内部フラッシュ。必要なフラッシュのサイズが増加するにつれて、マイコンのコストが大幅に増加。
通信	内部 IPC を通じて、より高速、より安全な通信を実現	外部インターフェイス、SPI など。

表 1: マイコンを統合した Jacinto 7 プロセッサの特長と、従来の外部マイコンとの比較

Jacinto 7 のソフトウェア・アーキテクチャ

DRA8xx と TDA4xx の各 SoC 向け開発を含め、Jacinto 7 のソフトウェア開発は、アプリケーション・プロセッサ向けと車載マイコン向けの両方を統合しています。Jacinto 7 の単一プラットフォーム SDK を使用すると、メイン・ドメインとマイコン・ドメインの両方を対象にするソフトウェア開発を実現できます。

図 3 と 4 に、ゲートウェイと ADAS それぞれの使用事例に対応するサンプル・ソフトウェアのアーキテクチャを示します。これらのサンプル内で、マイコン・ドメインは以下の機能を実行します。

- システムのブートとデバイスの管理
 - AUTOSAR リアルタイム・オペレーティング・システム、スタック、アプリケーション
 - 診断機能
 - 機能安全とセキュリティの各種サービス
- メイン・ドメインは以下の機能を実行します。
- 高水準のオペレーティング・システム
 - アダプティブな (適応型) AUTOSAR アプリケーションや顧客開発アプリケーションなどの各種アプリケーション
 - ミドルウェアとコネクティビティ
 - ビジョン・アルゴリズムとマルチメディア・アルゴリズム

機能安全に対応する高性能 IPC (プロセッサ間通信) は、次の 2 者の間の通信を管理します。メイン・ドメインとマイコン・ドメイン

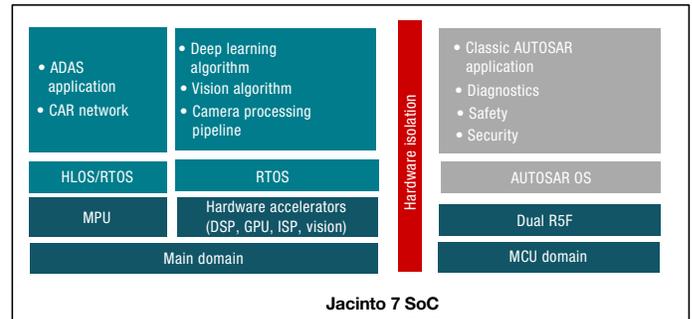


図 4. ADAS 向けの Jacinto 7 ソフトウェア・アーキテクチャ

まとめ

車載マイコンを Jacinto 7 プラットフォームに統合した結果、従来の外部マイコンに比べて、以下のような利点を実現できます。

- フレキシブルで高性能なマイコン
- システム BOM (部品表) コストの削減
- 統合型のソフトウェア開発
- 機能安全とセキュリティのサポートを簡略化

さらに、Jacinto 7 ファミリの製品全体で共通して車載マイコンを統合した結果、さまざまな最終製品にまたがるスケーラビリティを実現でき、ソフトウェアとハードウェアを再利用することができます。

Jacinto 7 プロセッサの詳細については、<https://www.tij.co.jp/ja-jp/processors/automotive-processors/featured-platform.html> をご覧ください。

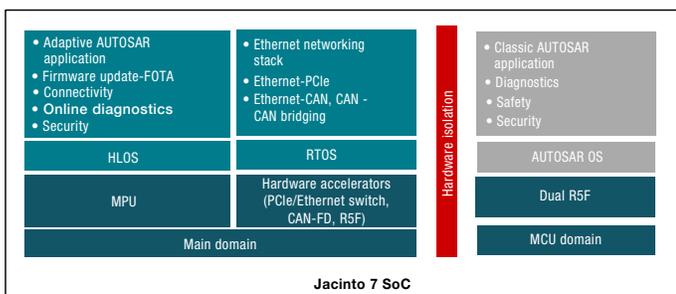


図 3. 標準的なゲートウェイ・システム向けの Jacinto 7 ソフトウェア・アーキテクチャ

重要なお知らせ:ここに記載されているテキサス・インスツルメンツ社および子会社の製品およびサービスの購入には、TI の販売に関する標準の使用許諾契約への同意が必要です。お客様には、ご注文の前に、TI 製品とサービスに関する完全な最新情報のご入手をお勧め致します。TI は、アプリケーションに対する援助、お客様のアプリケーションまたは製品の設計、ソフトウェアのパフォーマンス、または特許の侵害に対して一切責任を負いません。ここに記載されている他の会社の製品またはサービスに関する情報は、TI による同意、保証、または承認を意図するものではありません。

その他の商標および登録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

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が適用される各種規格や、その他のあらゆる安全性、セキュリティ、またはその他の要件を満たしていることを確実にする責任を、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 (www.tij.co.jp/ja-jp/legal/termsofsale.html)、または 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。

Copyright © 2020, Texas Instruments Incorporated

日本語版 日本テキサス・インスツルメンツ株式会社