



AD/ADASの タイミング要求を 実現するために必要な 8つのステップ

自動運転（AD）やADASシステムは、数多くのECUで実現されており、イベントチェーン（ECU/CPU/CPUコア間の信号間のデータ受け渡し）などの処理時間（タイミング）を考慮する必要があります。

AD/ADASシステムでは、タイミングに関して非常に高い信頼性が要求されますが、タイミング検証は容易ではありません。本資料では、タイミングに関して高い信頼性を効率よく実現するための方法を説明します。

ステップ1

タイミングとパフォーマンスの重要性の理解

自動車には膨大な数のECUが搭載されていますが、それらにはエラーがないことはもちろん、正しいタイミングで実行される必要があります。

AD（自動運転）とADAS（運転アシスト）は、システムの複雑化が避けられません。例えば、車は常に自動的に安全運転状態を確保する必要があり、車線変更などの障害物に対して正確かつ迅速に対応しなければいけません。

このような機能は、ネットワークを介したアクチュエータ（ブレーキ、ステアリング、モータ制御）に接続された多数のセンサー（カメラ、レーザー、ライダー）と広範な計算アルゴリズムで実現されます。それらは高いCPU性能と計算、十分なスピードが必要です。

車全体だけでなく、個々のECUも同じです。適切な動作にはタイミングとパフォーマンスが関係しています。動作が適切かどうかは、正しいタイミングかどうかの問題となります。

- ✓ 開発プロセスにおいて、タイミングとパフォーマンスの検証を他と同等の高い優先順位とする。
- ✓ 機能動作とリアルタイム動作（タイミング）を総合的に把握することで、時間のかかるトラブルシューティングを回避。
- ✓ シミュレーションを行うことで、タイミングとパフォーマンスの問題を早期に解決。

1

2

3

4

5

6

7

8



リアルタイム要求の明確化

車両システム全体のリアルタイム要求は、機能の性質、物理的な境界条件および使用方法に起因します。リアルタイム要求は、優先度が低く見られがちで、その重要性に気づいた頃には開発プロセスが進みすぎていて対応が困難になるケースもあります。リアルタイム要求への非準拠が、プロジェクト全体に影響を及ぼすと言って差し支えないでしょう。

リアルタイム要求の例として、イベントへの応答時間、周期コントローラの開始から終了までのジッター、アルゴリズムの最大実行時間などが挙げられます。このような明確なリアルタイム要求があると、システムの正当性を機能的な面と時間的な面で検証できます。どちらも欠かすことができません。リアルタイム要求に形式的かつ明確な仕様があれば、誤解も生じません。

- ✓ 仕様にはっきりとしたリアルタイム要求を組み込むことで、時間とコストのかかる手戻りを回避。
- ✓ サプライヤを通して、関連するプロジェクトのステータスごとにリアルタイム要件の実現を要求。
- ✓ 要求分析から実装まで、リアルタイム要求のトレーサビリティを確保。



ステップ3

イベントチェーンの設定

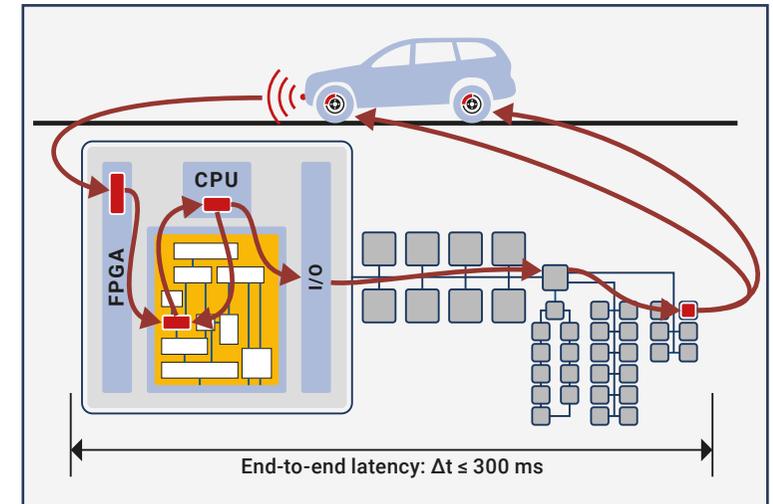
AD/ADASシステムでは、データはさまざまな処理ステップを経てセンサーからアクチュエータに伝搬されます。イベントチェーンは、複雑でタイミングが重要なデータフローとそのリアルタイム要求をシンプルかつ明快に指定するための方法です。

このようなリアルタイム要求の例として、複数センサーからのデータにおけるデータエイジ（各データ取得時刻）の最大偏差などが挙げられます。障害の発生、センサーによる検知から回避操作開始までの最大レイテンシも同様です。

タイムクリティカルなイベントチェーンは、現在のADASシステムでは10-50以上の種類また、自動運転では何千という種類までさまざまです。これらのタイミング検証は非常に困難です。

- ✓ イベントチェーンにフォーカスして開発を効率化。
- ✓ プロジェクトの各段階で明確かつテスト、検証済みのリアルタイム要求を使用することで、システムの品質向上。
- ✓ エンドツーエンドのイベントチェーン分析を使用することで、要求分析から実装の検証プロセスを単純化。

センサーが障害物を発見後にアクチュエーター（ブレーキ）を動作させる例



センサー信号⇒FPGA⇒CPU⇒RTOSタスクでの処理⇒
I/O⇒CAN⇒別ECU⇒アクチュエーター

1

2

3

4

5

6

7

8

アーキテクチャ設計

堅牢なアーキテクチャかどうかプロジェクトの成功を左右します。アーキテクチャ設計において誤った選択をすると、開発コストと単価（BOM）が増える可能性があります。適切なネットワークポロジの選択は、ECUの数やパフォーマンスあるいはECUへの機能ブロックのマッピングと同様に重要です。アーキテクチャ再設計により、コストが倍になることもあります。

開発費の増加を防ぐためには、アーキテクチャ設計ステップで適切な設計基準を考慮する必要があります。AD/ADASシステムにおいては、信頼性、保守性、セキュリティに加えてタイミングとパフォーマンスも併せた考慮が必要です。

タイミングとパフォーマンスの面では、イベントチェーンに注力したアーキテクチャ設計方法を一貫して利用することで、必要な手順を正しく効率的に実行できます。具体的には、各アーキテクチャレベルでタイミングとパフォーマンスを計画し、リアルタイム要求を作成、指定、チェックし、アーキテクチャの最適化を行います。検証した要求は、その後のアーキテクチャレベル、実装、およびテストに使用します。このようにしてリスクを排除していきます。

あるいは、以下のアーキテクチャから始めることも可能です：

- 要求分析
- 機能的なネットワーク
- ロジカルなアーキテクチャ
- OEMとTier-1の観点からみたシステムアーキテクチャ
- ソフトウェアアーキテクチャ

一般的には、早く始めるほど、再設計がの可能性が低くなります。

- ✓ イベントチェーンを重視することで、アーキテクチャ設計の複雑さを理解。
- ✓ まれに起きるエラーのない堅牢なアーキテクチャを設計。
- ✓ SoC/マイクロプロセッサのリソース使用率を最適化することで、コストを削減。
- ✓ 最初から機能拡張を考慮。
- ✓ タイミングに関するより良いアーキテクチャ設計による、競合に対する優位性を確立。

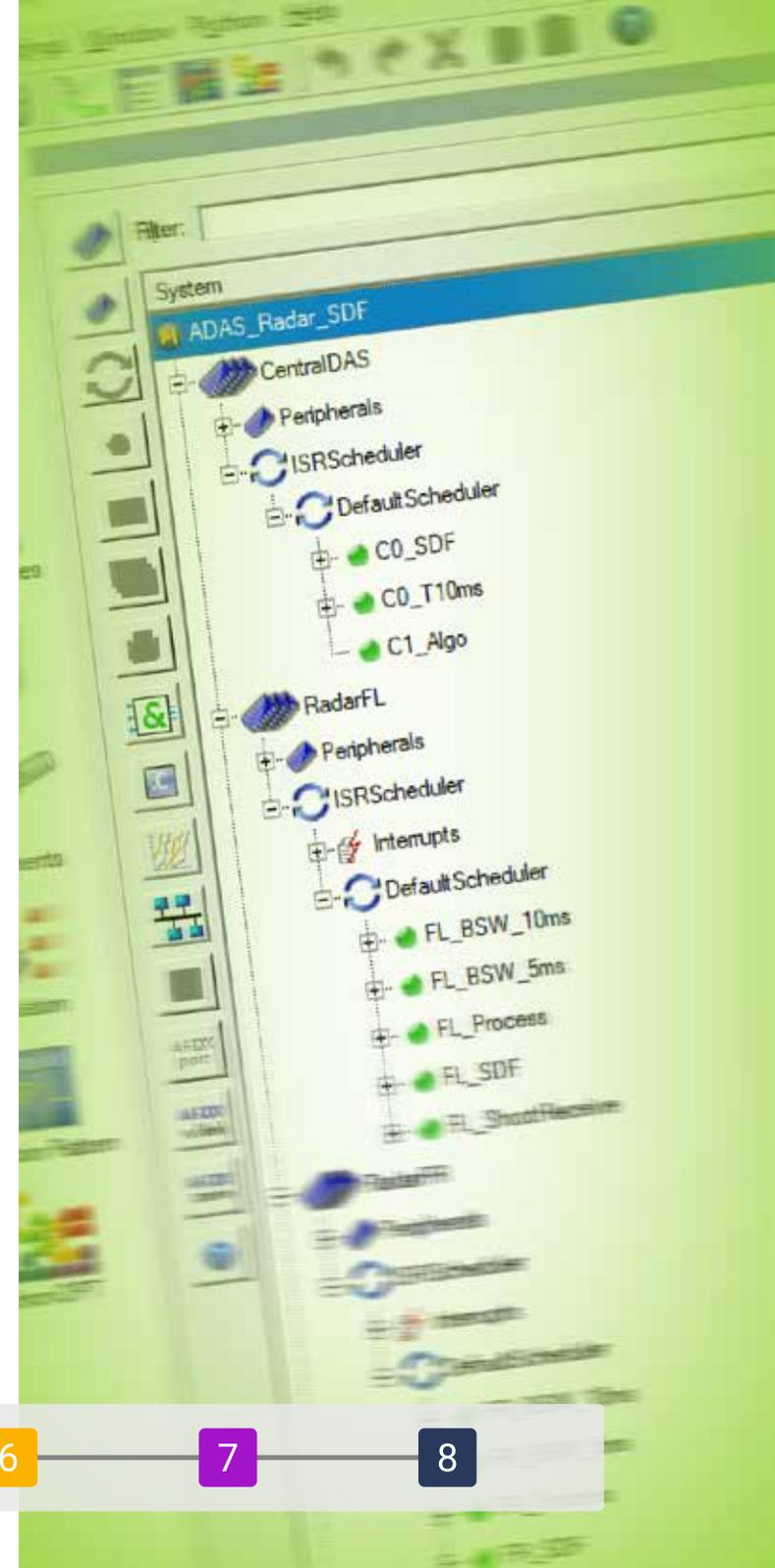
ステップ5

シミュレーションによる要求検証

シミュレーションは、アーキテクチャの時間的振る舞いを理解し、リアルタイム要求を自動的にチェックし、事実に基づいた設計と実装を決定するための効率的な方法です。複雑なシステムでは、論理アーキテクチャレベルあるいはシステムアーキテクチャの設計時まで、事前にシミュレーションを行うべきです。

シミュレーションのメリットは、実装段階で更に大きなものになります。仮想検証は、部分的にしか実装されていないソフトウェアにおいても、ソフトウェアのリリースごとの動作変化や新たに実装されたアプリケーションがシステム全体に及ぼす影響を検出します。リアルタイムエラーは、発生した時点ですぐに検出および排除することができます。

- ✓ 実機では検出が非常に難しい、まれにしか発生しないエラーをシミュレーションで検出。
- ✓ エラーの根本的な原因を可視化、分析、理解することで、リアルタイムエラーを効率的に解決。
- ✓ シミュレーションにより、実機では不可能なテストのカバレッジ率を達成。



1

2

3

4

5

6

7

8

ステップ6

サプライヤと認識を一致

タイミングとパフォーマンスに関しては、OEMとサプライヤーは同じ立場です。品質と開発期間、および単価（BOM）と開発コストをバランス良く保つ必要があります。タイミングとパフォーマンス面でOEMとサプライヤが上手く協力し合うことは、コストを削減できるだけでなく、プロジェクトの成功の鍵にもなります。

イベントチェーンの定義や機能に関するリアルタイム要求の正式な仕様書を作成することで、明確で分かりやすい、テスト可能なシステムプロパティを作ることができます。つまり、全てのステークホルダーが同じ理解を共有することが必要となります。タイミングやイベントチェーンの要求定義には10社以上のソフトウェアサプライヤーが携わることが多く、現代の開発プロジェクトにおいては理解の共有がますます重要となります。

各社がそれぞれの見方を持っているため、プロジェクト後期の段階で問題が発生することがよくあります。イベントチェーンを明確に可視化することで、理解しやすく、かつ問題の本質に集中できるようになります。

- ✓ タイミングモデル、イベントチェーン、リアルタイム要求をOEMとサプライヤー間の効率的なコミュニケーション媒体として利用。
- ✓ リアルタイム要求に関し、サプライヤから定期的にレポートを取得。
- ✓ リアルタイム要求、イベントチェーンなどの重要なテーマについて、サプライヤーの理解度や検証手法を確認。

1

2

3

4

5

6

7

8



ステップ7



OEM開発ソフトウェア

OEMでも一部ソフトウェアを開発しており、他社との差別化や再利用することでコスト削減が可能です。

この自社開発ソフトウェアコンポーネントも、他のサプライヤーのコンポーネントと同じように結合が必要です。前ページで述べたメリットを活用するために、リアルタイム要求およびリソース要件（計算時間とメモリ）は、インテグレーターとの調整が必要です。

- ✓ 早い段階でサプライヤーとインテグレーターとの間でコミュニケーションを開始し、適宜調整を行う。
- ✓ 全てのソフトウェアベンダがリアルタイム動作とリソース消費情報を提供することで、効果的なアーキテクチャ設計を行う。
- ✓ シミュレーションを行うことで、タイミングとパフォーマンスの問題を早期に解決。
- ✓ OEM開発ソフトウェアコンポーネントのリアルタイム要件を継続的に監視。

1

2

3

4

5

6

7

8





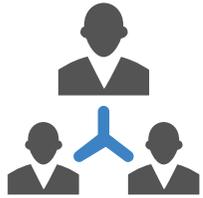
実験用PCから実ECUに

今日では、AD/ADAS環境における複雑な機能はPC上で開発され、このPCを搭載したプロトタイプ車両でテストされています。自動運転では、このようなプロトタイプが初期段階で使用されます。

しかしながら、PCのパフォーマンス、つまりリアルタイム動作は、実際のECUハードウェアとは異なります。プロトタイプの開発中に検出されたタイミングやパフォーマンスに関する問題は、機能動作に不可欠なものとして、後の実ECU開発に生かすことが可能です。プロトタイプ開発の段階から、イベントチェーンやリアルタイム要求を確立していくことが重要です。

これらは、アーキテクチャ設計だけでなく、仕様の作成にも必要です。さらに、プロトタイプ開発における重要な問題の発見は、ソフトウェアの一連の開発に直接利用することができます。

- ✓ 事前開発およびプロトタイプ開発の経験を、アーキテクチャ設計と仕様定義にそのまま利用。
- ✓ プロトタイプソフトウェアのコード解析から、イベントチェーンを決定。
- ✓ タイミング測定から、リアルタイム要求の最初のバージョンを作成。
- ✓ トップダウンのアーキテクチャ設計と、実用的なボトムアップアプローチの利点を組み合わせる。



お客様の声

「これまでタイミングとパフォーマンスを検証したのは、開発後期の段階でした。次は、スタート段階から体系的にシミュレーションを行う予定です。」

Bernhard Augustin

AUDI AG, Driver Assistance Systems

「ドメインコントローラーでハイパーバイザを使う場合は、設計段階でタイミング解析を行い、開発段階で継続して検証することをおすすめします。INCHRON社のツールがあれば、効率的に行えます。」

Thomas Bock

Volkswagen AG, Body-Control-Module

「リアルタイム特性のシミュレーションは“最先端”技術であり、次世代の要求ドキュメントに欠かせないものです。」

Andreas Baudisch

AUDI AG, Software Developer

「シミュレーションで（ツール導入前と比べて）12ヶ月も早く不具合を発見でき、根本的な問題を理解し、効率的に修正できました。」

Thomas Jäger

Bosch, Architect ADAS

日本代理店

株式会社ユビキタスAIコーポレーション

sales@ubiquitous-ai.com

<https://www.ubiquitous-ai.com>

| | | | | |
|-----|-----------|-------------------------|-----------------------|--------------------|
| 本 社 | 〒160-0023 | 東京都新宿区西新宿1-21-1 明宝ビル6F | TEL (03) 5908-3451(代) | FAX (03) 5908-3452 |
| 五反田 | 〒141-0031 | 東京都品川区西五反田2-25-2 飯嶋ビル | TEL (03) 3493-7981 | FAX (03) 3493-7993 |
| 大阪 | 〒532-0011 | 大阪府大阪市淀川区西中島6-2-3 1205 | TEL (06) 6304-5700 | FAX (06) 6304-5705 |
| 名古屋 | 〒460-0008 | 愛知県名古屋市中区栄5-19-31 T&Mビル | TEL (052) 262-6451 | FAX (052) 262-6460 |

INCHRON社

INCHRON GmbH (INCHRON社) は、アーキテクチャ設計、自動最適化および組込みシステムにおける動的動作のテスト評価ソリューションを提供するリーディングカンパニーです。アプリケーションの範囲は、シングルコアおよびマルチコアからマルチCPU、分散システムにまで及びます。INCHRON社のメソッドとツールは、開発前、提案段階から開発時に至るまで、世界中の著名なOEMおよびサプライヤーから信頼を得ています。自動車、オートメーション、航空電子機器、防衛、医療、モバイル、M2M/IoTを主な市場とし、アプリケーションの範囲は、要件定義から設計、実装、テストにまで及びます。2003年の会社設立以来、INCHRON社のコンサルティングチームは、180を超えるお客様のプロジェクトの成功に大きく貢献してきました。

INCHRON Tool Suiteは、シミュレーションとワーストケース解析から、自動最適化、計測トレースの可視化と分析までを、強力なツールを独自に組み合わせて1つの環境で提供します。INCHRON社の使命は、世界中のお客様に最新かつ最高の技術とサービスを提供することです。国際的なリサーチプロジェクトのパートナーとして著名な大学や企業と協力しながら、詳細な専門的な知識と技術でAUTOSARコンソーシアムに貢献しています。

INCHRON GmbH

Karl-Liebknecht-Str. 138 – 14482 Potsdam/Germany – Phone +49 331 279-7892-0
info@inchron.com – www.inchron.com