



© RABus/2gether

Zukunft Mobility
A COMPANY OF IPG

Christoph Funda and Paul Schmidl,
Zukunft Mobility GmbH

自動運転機能を検証するHILシステムの設計

ZF Friedrichshafen AG社のコンピテンスセンタであるZukunft Mobility GmbHは、ドライバアシスト、integrated vehicle safety、自動運転の分野に特化した会社で、自動運転機能を検証するためのHILシステムを構築しました。テストシステム開発チームのChristoph Funda氏とPaul Schmidl氏から、このHILシステムをベースにした自動運転シャトルバスの閉ループシミュレーションのプロトタイプについて、教えていただきました。

ZFグループは自動運転のシャトルバスプロジェクトを始められましたね。どういったものか、詳しく教えてください。

Funda氏: このプロジェクトでは、SAEのレベル4までの電動シャトルの開発を検討しています。ドライバレス、電動化、フレキシブルなモビリティを提供することで、都心部の負担を持続的に軽減したいと考えています。私たちは、グリーンで効率的、快適で手頃な価格のモビリティを実現することで、これまでのモビリティに革命を起こす必要があると考えています。このコンセプトは、2023年未までドイツのマンハイムとフリードリヒスハーフェンの2都市でテストする予定です。マンハイムでは都市内の複合的な道路利用に焦点を当て、フリードリヒスハーフェンでは都市間輸送に焦点を当ててテストを行います。

このプロジェクトのどの業務を担当されているのか教えてください。

Funda氏: テストシステムの開発チームは、NI社の技術をベースにしたHIL (Hardware-in-the-Loop) プロトタイプシステムを設計しています。このシステムは、環境センサシステムと自動運転の領域でZF社の制御ユニットを検証することを目的としています。そして、これらのプロトタイプを再現します。その後、制御ユニットとそのソフトウェアは、6週間から8週間のソフトウェアサイクルでHIL工程でのリグレッションテストにより検証され、製品リリースの許可を得ることができます。このプロセスでは、ZF Friedrichshafen社の同僚が作成したセンサデータセットを使用しています。これは、IPG Automotive社のセンサデータセットをベースにしています。このデータセットの特徴は、約21個という膨大な数のセンサを使用しても、20Gbps以上の非常に高いデータレートを実現していることです。このデータセットは、SAEレベル4/5の要件を満たす高度な自動運転車両のための、まさにアプリケーション指向のセンサ構成を可能にします。

カメラ、レーダ、ライダのモデルでは、どのような点を考慮されましたか？

Funda氏: カメラ、レーダ、ライダのモデルは、さまざまな品質基準、要件、限度条件を満たす必要があります。これらのモデル

は、実際のセンサの特性とシミュレーションツールチェーンから導き出されたもので、かなり大掛かりなプロジェクトとなりました。さらに、センサモデルに必要なインターフェースに適合させる必要がありました。そのため、モデルは閉ループシミュレーションを可能にするように設計しました。

SIL (Software-in-the-Loop) と同じモデルを使うことで、どのようなメリットがあると思われますか？

Funda氏: Vモデルのテスト結果を再現して比較できることは大きなメリットです。さらに、開発期間を短縮し、比較的高価なHILテストから、より安価なSoftware-in-the-Loopテストに移行することができます。これらのテストはスケールアップが容易であるため、より低コストで実施することができます。

使用されているHILのセットアップは既存の技術を利用しているのですか？それとも新しいことを導入しようとしているのですか？もう少し説明してください。

Funda氏: 既存の技術と新しいことの両方です。実績のあるNIの技術をベースに、NI社やIPG Automotiveと密接に協力して、適切な最適化を行い、新たな可能性を追求しています。さらに、必要なデータレートを実現するために、Linux RTのような新しいOSや、40Gイーサネットカードのようなハードウェアとソフトウェアのプロトタイプも使用しています。

ところで、センサの数がとても多いですが、HILシステムでリアルタイム性を確保できたのでしょうか？

Schmidl氏: SILのシミュレーションで広範囲な解析を行った結果、HILシミュレーションでもセンサモデルのリアルタイム性能出るといって評価することができました。SILシミュレーションを出発点として、単一のセンサでCPUとGPUの性能テストを行い、続いて複数のセンサを使ったテストを行いました。その結果をもとに、高性能なシミュレーションPCに必要なハードウェア要件を導き出しました。

Funda氏: 普通に考えると、リアルタイム

性を保証することはとても難しいことです。リアルタイム性は、Object SensorのようなCPU負荷の高いセンサモデルの場合、シミュレーション環境に存在するオブジェクトの数や、センサの解像度に大きく依存します。また、ライダやレーダ用のRSIセンサなど、GPUを多用するセンサでは、受信した反射光の数も大きな役割を果たします。ということは、ここではシナリオが決定的に重要になります。

Schmidl氏が先ほど言ったコンセプトでは、IPG Automotiveと緊密に連携しながら、SILシミュレーションの測定値からHILシミュレーションのリアルタイム性に関する結論を導き出すことができました。今回のアプローチでは、少なくともオーバーランやリアルタイム違反につながるHILの時間を節約することができました。そして、必要に応じてHIL上でリアルタイムにシミュレーションできるように、シナリオを簡略化することができたのです。

どのように計算量の多いセンサモデルのシミュレーションを高速で実行しているのでしょうか？

Schmidl氏: 採用したカメラモデルとライダモデルの解像度が特に高かったため、1つのGPUインスタンスだけでは計算できませんでした。GPUインスタンスに対応するCPUプロセスでは、点群やカメラフレームを十分高速に処理することができませんでした。CPUのクロック周波数を上げることで動作が改善されました。センサモデルを定義された数のサブモデルに分割することで、GPUインスタンスのCPUプロセスが1ミリ秒以下で大量のデータを処理できるようになり、システムのリアルタイム性が保証されました。ある最大値までは、説明した分割プロセスによってシミュレーションを高速化することができます。

御社はこのテーマで、NI社とIPG Automotiveと共同でワークショップを開催されていましたよね。ワークショップの目的は何だったのでしょうか？

Funda氏: ワークショップでは、HILシステム上で閉ループシミュレーションの適切なアーキテクチャを構築し、その後、小型パッケージで直接テストしてコンセプトを実証する



ことを目指しました。このワークショップでは、性能測定を行い、例えばカメラデータの遅延を調べました。カメラのデータは、データレートが最も大きいため、最も重要です。グラフィックスカードからネットワークインターフェースコントローラを経由してHILにデータを転送する必要があり、その結果CPUにさらなる遅延とボトルネックが発生します。将来的に必要であれば、例えばダイレクトメモリアクセスのような他の技術に切り替えることも可能です。最後に、NI社のHILシステムをWindows/PharlabからLinux RTに切り替えるにあたり、短期的にはCarMakerのベータ版で前述のアーキテクチャとシミュレーション全体をテストするスケジュールを作成しました。Pharlabではフルセンサセットをリアルタイムに適用できなかったため、この移行は必要でした。

次のステップは、測定データに基づく研究とシミュレーション研究を行い、システムの品質要件を満たしているかどうかを判断することです。

それはどのようなものになるのでしょうか？

Funda氏: 今は、主にシックスシグマの手

法による測定値でHILシステムを検証しています。また、測定データをオープンループシミュレーションに再投入するために、FAU Erlangen-Nurnberg社のIT担当の7名と共同で離散イベントシミュレーションを新たに立ち上げています。そこから、ストリーミングチェーンのリアルタイム性について信頼性が高いという結論を出したいと考えています。そのためには、拡張入力モデリングのために得られた測定データを、少なくとも経験的な分布を得られるように処理します。しかし、シミュレーションで外れ値を発生させるためには、理論的な分布を得ることが最適です。また、開発時にはこの手法を用いて、バッファやキューのサイズを設計します。我々の目標は、テスト対象のシステムに対するHILのインターフェースにおいて、リアルタイム性と正しいタイミングを、与えられた許容範囲内で保証することです。

今回は、御社の取り組みを詳しく教えてください。いただき、どうもありがとうございました。