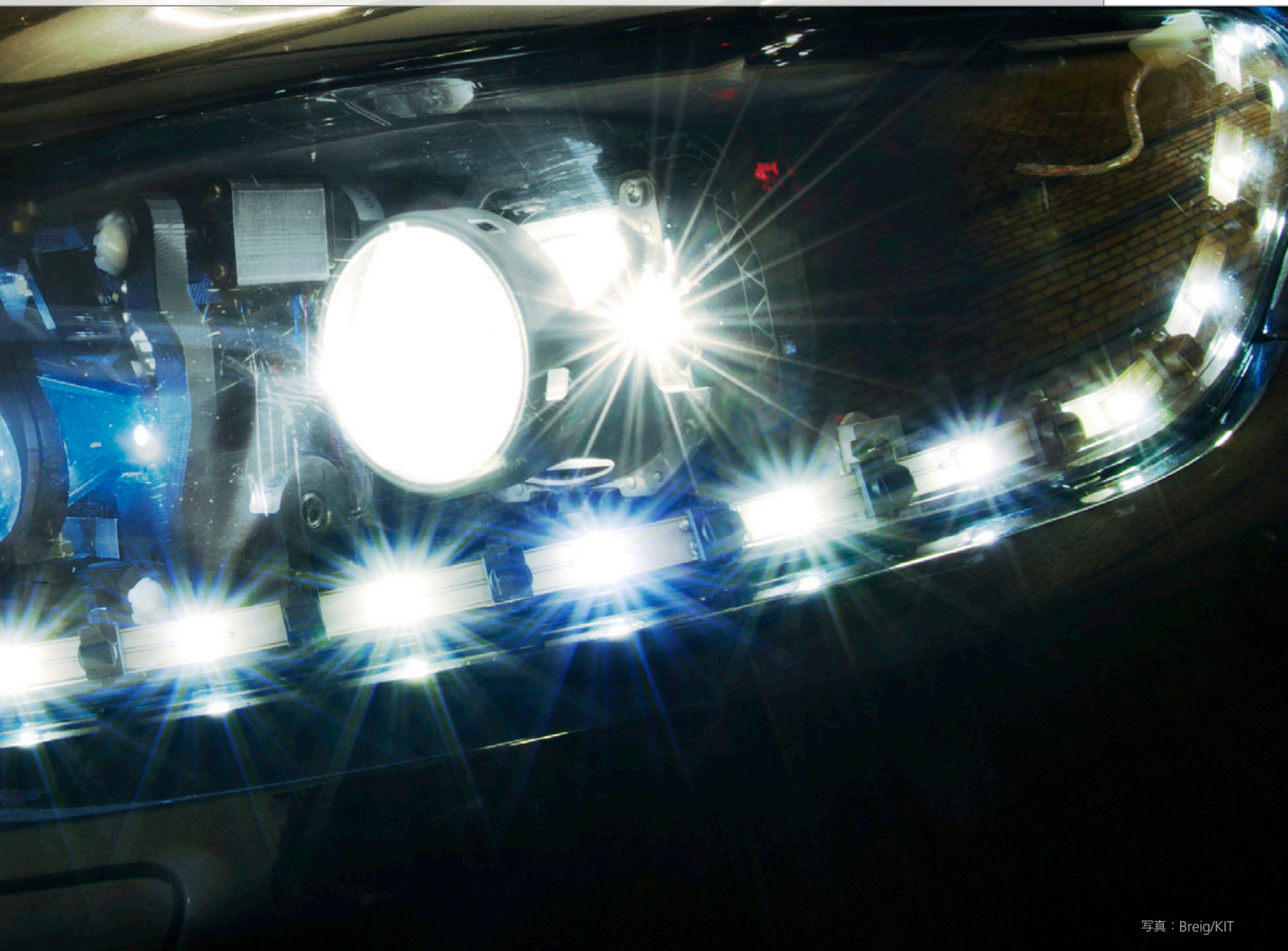


革新的な車両ライトシステムの開発と
プロトタイプの実装

Spotlight on Hazards

この革新的な照明機能は、衝突の危険性がある道路上の対象を検出する画像センサと、それらの対象をスポット照明する専用のヘッドライトを使用することにより、夜間運転時のドライバーの安全性と快適性を高めます。フィールドテストの結果、マーキングライトは夜間走行に新たな可能性をもたらすことが分かりました。



写真：Breig/KIT

開発の動機：夜間の高い交通事故率

事故率の高さはドイツ連邦統計局の最新のデータベースの数字からも明らかです。2010年の事故発生件数は過去11年間で最悪でした。ドイツ国内で240万件の交通事故が報告され、これは前年比で4.2%増となります。事故件数は増えたものの、幸いなことに、交通事故による死者数は過去60年間で最低レベルまで減少しました。昨年はドイツ国内の道路で3,648名が死亡しましたが、これは前年比で12%減となります。事故記録を詳細に調査し、事故発生の原因、時間帯、場所についてデータを再構成すると、夜間に交通事故に巻き込まれる確率が極めて高いことが明らかになりました。また、ドライバーにとって高速道路が最も危険な場所であると一般に考えられていますが、実際には、郊外路の方が危険性が高いことも判明しました。ドイツの場合、市街制限区域外の道路では、車両の走行速度が高い

インテリジェントな照明システムによってスポット照明（マーキング）された衝突の可能性のある道路上の対象（歩行者）



写真：Hörter/KIT



複数の画像処理ステップによりスポット照明する対象を検出

ことに加えて道路照明が不十分であることが多く、歩行者、自転車、野生動物と接触する可能性も高いため、悲惨な事故が発生しやすい傾向にあります。

衝突コース上の危険対象

上記の事実は、夜間の事故多発をそのまま見過ごす理由にはなりません。むしろ、最終目標である「事故の発生しない運転」を実現するまで、夜間走行の安全性を高める技術革新に向けて、科学および産業界は地道な努力を怠ってはなりません。そのような革新技術の1つが「マーキングライト」で、「危険検出ライト」とも呼ばれます。この新しい照明システムは、特に「事故のホットスポット」とも呼ばれる夕暮れ、夜間、夜明け時の郊外路において、明確な効果を示します。このシステムは、車両との衝突コース上に存在すると判断された対象を、専用に設計した光源を使用してスポット照明、すなわち「マーキング」することにより、ドライバーがより早期に対象を認識して反応できるよう支援します。ここで採用されたマーキングストラテジは、マーキングフェーズと対象をスポット照明する定常フェーズを周期的に切り換えるこ

とにより、衝突前の認識距離を最大限に延長し、衝突の回避を可能にします。

主要技術要素

この新しいアイデアを実装しようとする場合、「実際に運転できる」テスト車両の開発が極めて高度なメカトロニクスプロジェクトになることは明らかです。機械、電子、コンピュータサイエンス分野のエンジニアの活発な意見交換と相互開発の結果、最終的に複雑なメカトロニクステストセットアップが完成し、これを Audi Q7 に組み込みました。プロトタイピングプラットフォームとして dSPACE MicroAutoBox を選択し、その多様なアナログおよびデジタル入出力、CAN、FlexRay インターフェースと優れた計算処理能力を使用して、特別に設定した RapidPro ユニットとの強力な連携を構築しました。なお、RapidPro はエンジンルーム内の厳しい環境下に置かれました。このような構成により、MicroAutoBox に仕様の異なるコントローラモデルを非常に短時間で簡単に書き込むことが可能となりました。RapidPro ユニットは、入力信号（ほとんどの場合 TTL レベルの信号）をより大電

力の出力信号に変換し、ライトアクチュエータに供給します。

セントラルシンクロナイザとしてのリアルタイムデータベース

まず、内蔵センサ（赤外線カメラ、CMOSカメラ、慣性計測プラットフォーム、CAN接続等）が提供する膨大なデータを管理する必要がありました。この問題を処理するために、リアルタイムデータベースを開発しました。これは、さまざまなタイミングで届く各種センサ信号を共通のタイムベースに同期するだけでなく、テストドライブの結果をラボでいつでも再現できるように信号を記録します。標準化の必要から、このリアルタイムデータベースを Linux で動作する外部の高性能コンピュータ上に構築しました。このコンピュータは CAN ネットワークを介して MicroAutoBox とも通信します。

人工知能と組み合わせた画像処理

画像のプリプロセス処理、対象の検出／分類／追尾と、その後に関連される警告ストラテジの因果連鎖において、画像処理は複雑な課題でした。なぜならば、入力



写真：Breig/KIT

「開発の最も初期の段階から dSPACE は親身になって支援してくれました。おかげで dSPACE 製品の最適な組み合わせを迅速に見つけ出すことができ、プロジェクトですぐに使えるようになりました」

Marko H. Hörter 氏、KIT

データ（マーキングすべき対象の外見や姿勢）は非常に多様な形態をとる可能性があるからです。

画像プリプロセス処理は、後続の処理ステップに可能な限り一様なデータ基盤を提供することを目的とします。得られたグレースケール画像（10ビット分解能）は、適応的の二重しきい値フィルタを用いてバイナリ画像（1ビット分解能）に変換されます。これにより、画像は2つの領域（前景と背景）に分割されます。この段階で、さらに評価を行うべき対象の候補が前景内に含まれている必要があります。

検出部は重要な役割を担います。すなわち、事前にパラメータ化された形状プールの中のいずれかの形状と一致する画像セグメント（プロブ）を、プリプロセス処理後の画像から見つけ出します。さらに、単純でリアルタイム処理可能なフィルタ（高さ×幅、画素数、画像内の位置等）を使用して、後続の分類機構へ渡す候補画像セグメントの数を最小限に絞り込みます。しかし、検出された画像セグメント内に対象（歩行者、自転車、鹿等）の候補が存在するかどうかを分類機構で判別可能とするには、事前に学習したデータセットと

対象を数値演算で比較できるように、この画像セグメントの技術的表現を変換する必要があります。元の画像セグメントを階調画像に変換し、これを小さな方形セグメントに分割することにより、機械が十分な信頼性で解釈できるように画像情報を表現することができます。

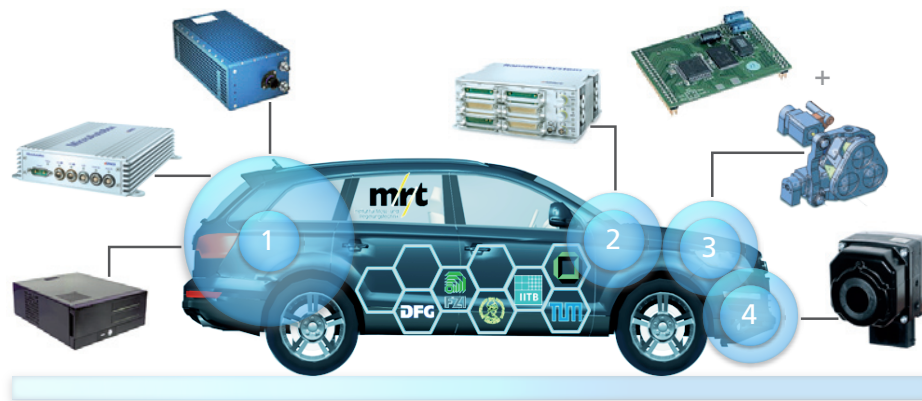
独立した対象追尾を実行するための 性能的余裕

MicroAutoBox は豊富なハードウェアリソースを備えているため、ベイジアン最小分散推定量を使用して時々刻々の対象を追尾するなど、CPU 負荷の高い演算の実行を無理なく採用することができました。プロセスを最適化することにより、初期には未知である対象の大きさ（人体の大きさ等）を推定して、対象と車両間の距離をより正確に推測するために、複数のフィルタインスタンスをパラレルに実行することも可能でした。さらに、MATLAB®/Simulink® のモデリング機能を駆使して、カメラ（2次元）、車両（3次元）、ライトアクチュエータ（極座標）間の座標系変換を簡単に分かりやすく実装することができ、従って、センサからライトによる対

象マーキングに至る機能チェーン全体を最終的に表現することができました。

共通言語による相互作用

既存の車両ネットワークだけでなく、すべての分散コンポーネントも CAN バス経由で互いに通信するため、MicroAutoBox の利用可能な CAN チャンネルをすべて使用しました。各ライトアクチュエータ（それぞれ専用のマイクロコントローラを持ち、それぞれが CAN 経由で通信）、現在の走行速度、慣性計測プラットフォームの位置または角速度、さらには Linux で動作する高性能コンピュータの周期的に更新されるアイテムリストからの情報も含むすべてのメッセージは、MicroAutoBox 通信ノードへ送られます。これらのメッセージは、MicroAutoBox で確実に処理されて適切な通信相手へ渡されます。MATLAB/Simulink の通信ブロックが提供する非常に高度な技術的機能と直感的モデリングにより、モジュラー型的设计が保証されるため、プロジェクトにおける技術的条件の変化に対してシステム全体を柔軟に適応させることができました。



Audi Q7 テスト車に搭載された技術的コンポーネント：1) 画像処理、MicroAutoBox、慣性計測プラットフォーム、2) シグナルコンディショニング (RapidPro)、3) ライトアクチュエータ、4) FIR カメラシステム

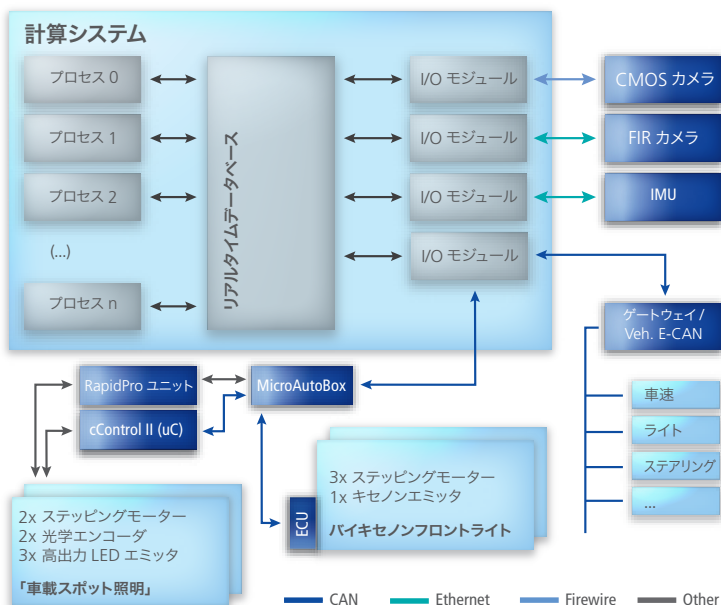
ラボでのシステム試験

システム全体の開発を通して、貴重な作業時間を効率的に活用するために、ラボでのシステムテストは非常に重要な役割を果たしました。これらのテストには、どのライトアクチュエータ部品を制御する必要があるかを判別する作業と、オフラインで制御対象に適したコントローラを探し

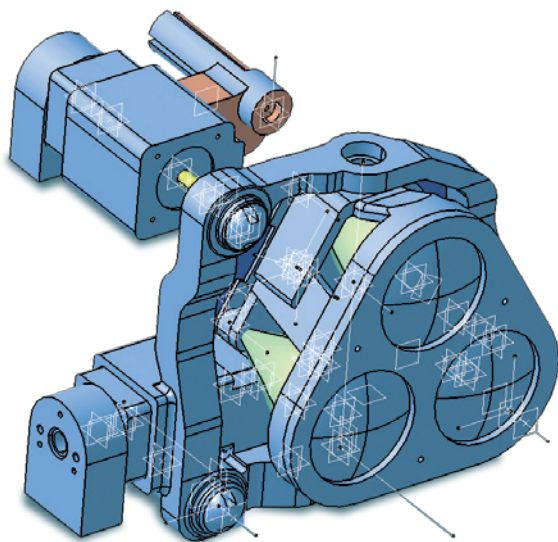
てパラメータ化する作業が含まれています。加えて、リアルタイムデータベースの記録容量に十分な余裕があるため、テストドライブ全体を、すべての関連する情報と一緒に、ラボで再現することができました。これにより、各種コンポーネントインターフェースの調整が大幅に簡略化されました。

テストドライバーによるシステム評価

照明技術分野での研究の常として、新しい照明アプリケーションの有用性と利点は、最終的なフィールドテストを行わなければ評価できません。フィールドテストでは、どのような計測器よりも高感度で鋭敏な人間の感覚に評価が委ねられます。本プロジェクトには 35 名のボランティアが



対象認識、解析、アクチュエータ用システムのプロトタイプセットアップ



フロントライトに組み込むマーキングライト用アクチュエータの機械的セットアップ

参加し、プファルツの森を通る一般の高速道路を閉鎖したうえで、新技术を満載したテスト車の運転を楽しみました。認識距離と最適なマーキングストラテジを判定するために、計測機器を使用しました。第1の変数である認識距離は、テストドライバーが道路内のテスト対象に気付いた時のテスト対象までの距離です。第2の変数はマーキングストラテジに関連し、周期的なマーキングフェーズと、車両前方の対象がスポット照明される定常フェーズの比率を表します。

フィールドテストの結果

テストドライバーがステアリングホイールを操作した時にシステムに入力されるすべてのデータの統計解析から、平均的な認識距離は、すべてのテスト対象に対して最大 35 m の向上を示しました。70 km/h の巡航速度において、これは、すべてのテスト対象に対して、ドライバーの反応時間

が平均で 2 秒近く短縮されたことを意味します。

マーキングライト

フィールドテストは重大な技術的問題もなく完了し、すべてのサブコンポーネントはサービスを安定して実行しました。ボランティアテストドライバーのほとんどは、この新しい照明システムを高く評価し、将来的に量産されることを強く望みました。カールスルーエ技術研究所 (KIT) が実装したテストベッドは、道路交通の現場で使用されるセンサ動作と照明による対象マーキングを、学術レベルで明確に実証できた初めてのケースと言えます。当初のアイデアはついに体験可能な形となって実現したのです。■

Marko H. Hörter
カールスルーエ技術研究所 (KIT)
ドイツ

まとめ

- 体験可能な完結したシステムを技術的に実現
- 互換性の高いインターフェースにより、容易にシステムを統合
- リアルタイム要件を分散化により達成

Marko H. Hörter 氏 (MBE)

同氏は、カールスルーエ技術研究所 (KIT) および Institute of Measurement and Control Technology (MRT, Prof. C. Stiller) の研究アシスタントとして、照明に基づく運転支援システムの分野で体験可能な完結したシステムの開発に携わりました。



「dSPACE MicroAutoBox は大量かつ多様な信号の処理に極めて高い柔軟性と信頼性の高い計算処理能力を提供してくれます」

Marko H. Hörter 氏, KIT