

## データセットが、自動運転車へのサーマルイメージングシステムの搭載を促進

アート・スタウト

サーマル（遠赤外線）センサのデータセットは、暗闇や霧や眩しい太陽光のなかで、より安全かつ効率的に機能するADASや無人車両システムを構築する能力を、自動車コミュニティに提供する。

先進運転支援システム（ADAS：Advanced Driver Assistance System）は、アダプティブ・クルーズ・コントロール（ACC：Adaptive Cruise Control）、車線逸脱警報（LDW：Lane Departure Warning）、自動駐車、衝突警告・回避などの機能を通して、車両の安全性を向上させる（図1）。自動車メーカーはADASの進歩を、SAE（Society of Automotive Engineers）の自動運転レベル4（特定の場所でシステムがすべてを操作）や5（完全自動運転）を達成するための拠り所としている。しかし、ADASを実現するセンサ群（一般的には、可視光カメラ、ライダー [lidar：light detection and ranging、光検出と測距]、レーダセンサ）は、暗闇、霧、埃、眩しい太陽光に弱いという欠点がある。これらの欠点が、SAEレベル5を満たす完全自動運転車（AV：Autonomous Vehicle）の開発を遅らせる要因となっている。

ADASやAVシステムをめぐる最近の事故は、現行のセンサ群に加えて、画像認識に基づくデータ処理を実行する畳み込みニューラルネットワークの性能を改善し、冗長性を持たせることの必要性を指し示している。夜間運転警告システム用に50万台を超える車両にすでに実装されている手頃な価格のサーマルセンサを搭載することにより、メーカーは車両の安全性を高める

ことができる。

サーマル（遠赤外線）または長波長赤外線（LWIR：longwave infrared）カメラや物体検知器は、暗闇や、霧が発生しているほとんどの条件下で、歩行者、

車両、動物、自転車を検知して分類することができ、眩しい太陽光の影響を受けない。ADASのセンサ群にサーマルカメラを追加することにより、状況認識が高まり、ADASまたはAVシス

応用分野	可視光	サーマル	レーダ	ライダー	超音波
道路標識認識	×				
アダプティブ・クルーズ・コントロール（適応走行制御）			×		
車線逸脱警報	×				
フロントクロストラフィックアラート（前方交差車両検知）		×	×		
エマージェンシーブレーキアシスト（緊急ブレーキ支援）	×	×	×	×	
歩行者／動物の検知	×	×		×	
歩行者／動物の分類	×	×			
ナイトビジョン		×			
死角検知		×	×		×
後方衝突警告			×		
駐車支援	×				×
マッピング／ロケーション				×	
リアクロストラフィックアラート（後方交差車両検知）		×	×		×
リアAEB（衝突被害軽減ブレーキ）					×
衝突回避	×	×	×	×	
サラウンドビュー	×	×			

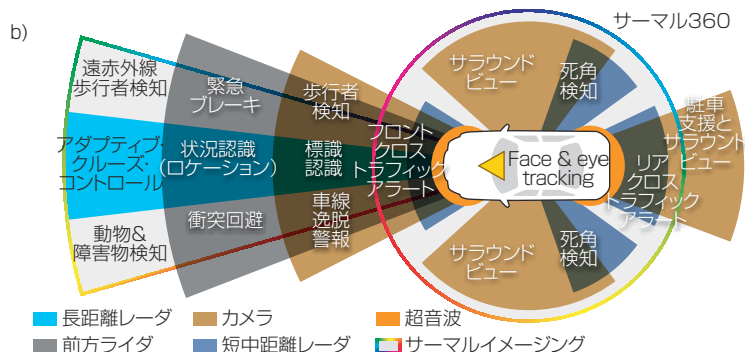


図1 先進運転支援システム（ADAS）と完全自動運転車（AV）システムは、動く車両(b)に配置されたさまざまな光電子センサ(a)に依存して、搭乗者の安全を確保する。

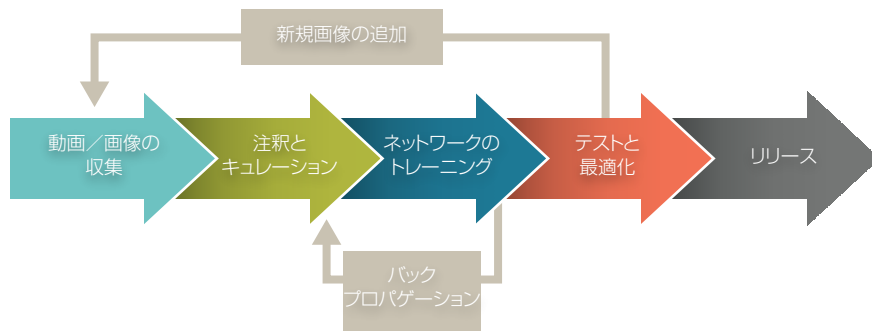


図2 ADASおよびAVのアルゴリズム改良に、イメージングデータセットがどのように使われるかを示す、ディープラーニングのワークフロー。

テムの堅牢性と信頼性と安全性が高まる。しかし、センサを追加すると生成されるデータが増加し、ADASやAVの開発者は、その処理の問題に悩まされることになる。

## ADAS センサ群の概要

ADASをSAEのレベル4または5で、高い信頼性で動作させるには、1) センサそのもの、2) コンピューティング能力、3) インテリジェンスを実現するアルゴリズムという3つの重要な技術が必要である。車両の周囲に関する動的データを提供するセンサ群(カメラ、ライダ、レーダなど)は、膨大な量のデータを生成し、高性能な画像処理を実行するための十分なコンピューティング能力が必要となる。GPU(Graphics Processing Unit)が、演算の大部分を実行し、堅牢なソフトウェアアルゴリズムが、意思決定に使われる処理済みデータを提供するために不可欠である。最もよく使われるディープラーニングフレームワークは、TensorFlowとCaffeで、最もよく使われる畳み込みニューラルネットワーク(CNN: Convolutional Neural Network)としては、Inception、MobilNet、VGG、Resnetがある。

ADASやAVのプロトタイプが路上に出て、走行距離を累積していくにつれて、現行のセンサ技術の限界がより

顕著になり、痛ましい事故も発生している。2018年3月18日、米ウーバー社(Uber)の自動運転車が、夜間に歩行者をはねて死亡させた。別の事故では、米テスラ社(Tesla)の「Model S」がオートパイロットシステムで走行中に、眩しい太陽光の下で道路を横切る白色のトレーラーを認識できず、トラックに衝突した。

これらはコーナーケース(境界ギリギリの特殊なケース)ではなく、サーマルイメージは、視界を妨げる光を受ける場合や夜間など、見通しの悪い運転条件下での状況認識を高めるための重要なセンサソリューションとして、ますますみなされるようになっている。

## ディープラーニング

CNNは、ADASの「頭脳」として機能する。CNNが独特なのは、プログラムされるのではない点だ。画像処理の場合は、大量の画像データセットを使用して、CNNをトレーニングする必要がある。こうしたCNNは、パターン認識、自然言語処理、言語認識などのリアルタイムシステムにも用いられる。

COCOやImageNetといった注釈付き可視画像の大規模なトレーニングデータセットが利用可能になると、ディープラーニングは、瞬く間に実現技術になった。サーマルイメージングの搭

載に関心を寄せる自動車業界の開発者らにとっての課題は、サーマルイメージングデータセットがないことである。CNNをトレーニングして、遠赤外(far-IR)帯域に対応する分類子を作成するには、数千または数万のサーマルイメージからなるデータセットが必要である。

歩行者・動物検知車載システムに組み込まれるサーマルイメージャをすでに提供している米フリアーシステムズ社(FLIR Systems)は、ADASおよびAVの開発者らを支援するために、無償のサーマルイメージングトレーニングデータセットとカメラ開発キットを作成した。この初歩的なトレーニングデータセットは、約1万4000枚の注釈付き画像で5種類のオブジェクト(自動車、人間、自転車、その他の車両、犬)を網羅する。

加えて、合成画像ツールが、ADASを対象とするトレーニングデータセットの作成に広く使われるようになっていく。生成された合成オブジェクトは、任意の環境に配置して、任意の視点から見るができる。これにより、幅広い環境と動的な運転状況を網羅する、かなり豊富なデータセットの生成が大幅に加速化される。

このようなサーマルイメージングツールにより、開発者は、霧、雨、雪などの環境条件と、実際のサーマルイメージャ出力を正確に模倣するさまざまなレベルの電子ノイズを導入することができる。この技術は、CNN用の多様なトレーニングデータセットの作成に必要な時間とリソースを1ケタ改善することを約束するものである。

## サーマルイメージによるCNNのトレーニング

データセット内のサーマルイメージは、.zipの画像ファイル、H.264動画、.SEQ

ファイルなど、複数のソースに基づく。データセット全体をロックして、標準化されたトレーニングデータセットまたはテストデータセットとして使用することができる。各データセットから、画像数やクラス別注釈数などの統計情報が生成される(図2)。

ADASの開発者はCNNの性能を、期待される結果に対して定量的に測定する。CNNの性能を評価するための標準的な測定基準は、データベースクエリ評価に似ているが、CNN用に改変されたものである。例えば、CNN性能を適合率と再現率の両方で評価するMS-COCO (Microsoft Common Object in Context)の評価基準は、業界標準となっている。

フリアー社はこれらの基準を採用し、各対象オブジェクトの誤警報と検知漏れに関するターゲットを絞った具体的な情報を提供することによって、適合率と再現率の性能とともに改良した。これにより、CNNのトレーニングに必要なデータセットをさらに深く理解して、その性能を強化し、改善することができる。また、CNNモデルを実行するための(CPUとGPUの両方の)演算リソースとメモリリソースの要件を収集するとともに、CNNモデルが処理可能な毎秒フレーム数を見積もっている。

## サーマルイメージングを備えたADAS

ライダーは距離、レーダは距離と速度の両方の情報を提供するが、それによって得られる分解能やポイントクラウド密度は、オブジェクトの分類には十分でないため、可視光カメラがADASソリューションには必須で、その高い空間分解能、低い遅延、ディープラーニングによって、車両周囲の物体の識別が可能である。しかし、夜間や霧の

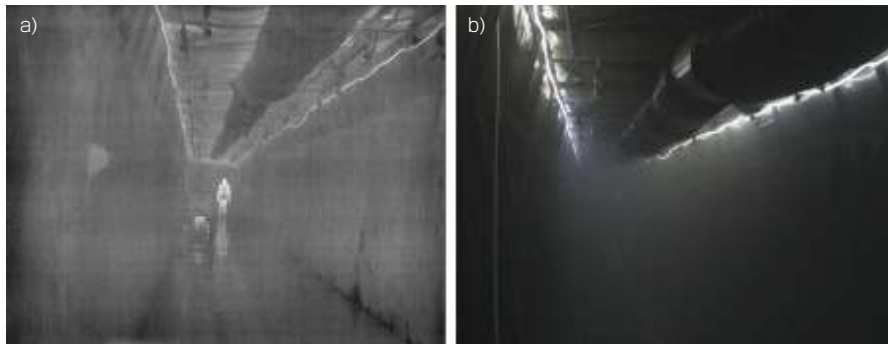


図3 フリアー社の640×512サーマルカメラ「Boson」(a)と、ソニーの可視光カメラ「IMX226」(b)でそれぞれ撮影した、霧チャンパ内の画像。

なかではどうだろうか。低光量や見通しの悪い運転条件下で、高い画質をAVの頭脳に供給することが、ADAS開発者にとっての主要な課題である。

サーマルカメラは、夜間や、埃、煙、霧、小雨などの悪天候下でのADASの性能を向上させる。具体的には、LWIRサーマルセンサは完全にパッシブで、それが可視光センサ、ライダー、レーダと比べた場合の主要な利点である。

目標反射率や大気効果は、特に動作範囲の限界において、センサ性能に可変性をもたらす可能性がある。可視光カメラセンサは、物体で反射してセンサが受信する太陽、街灯、ヘッドライトからの光に依存する。ライダーセンサは、レーザー光エネルギーを放射し、光源の飛行時間を測定することによって、反射エネルギーを処理する。レーダは、無線信号を放射して、帰還信号を処理する。

サーマルイメージングは、すべての物体が熱エネルギーを放射するという事実を利用するので、光源に依存しない。パッシブセンシングが、サーマルセンサの可視光センサに勝るメリットで、薄霧や中程度の霧では、サーマルカメラの視程は可視光カメラの4倍以上にもものぼる(図3)。つまりサーマルセンサは、ADASおよびAVシステムの安全性に不可欠な機能を提供する。

## 何よりも安全が第一

米州知事幹線道路安全協会(GHSA: Governors Highway Safety Association)によると、米国における歩行者死亡事故件数は近年、他のすべての交通死亡事故よりもはるかに高いペースで増加しており、交通死亡事故に占める割合は過去33年で最高になっているという。特に夜間は危険性が高く、米国の2016年の歩行者死亡事故5987件のうち、75%は夜間に発生している<sup>(1)</sup>。

遠赤外線またはLWIRイメージングは、あらゆる運転条件下で信頼性の高い歩行者、動物、車両検知を達成するための、ADASおよびAVシステムスイートの重要な要素である。サーマルカメラセンサのコストと性能は、急速に改善されており、自動車市場の規模の大きさから、カメラハードウェアの費用対効果はますます高くなる見込みである。フリアー社が力を入れて取り組むトレーニングデータセット開発により、ADASの開発者は遠赤外線イメージングを非常に低コストですばやく評価できるようになるだろう。

### 参考文献

(1) See [www.ghsa.org/resources/spotlight-pedestrians18](http://www.ghsa.org/resources/spotlight-pedestrians18).

### 著者紹介

アート・スタウトは、米フリアーシステムズ社(FLIR Systems)の事業開発ディレクター。URL:[www.flir.com](http://www.flir.com) e-mail:[art.stout@flir.com](mailto:art.stout@flir.com)