解 説

高速ビジョンと自動車応用

High Speed Vision and Application for Vehicle System

西 内 秀 和* *日産自動車株式会社

Hidekazu Nishiuchi* *Nissan Motor Co., Ltd.

1. は じ め に

最近の新聞・雑誌などで自動運転のニュースを見る機会が増えている。すでに渋滞走行と、長時間の巡航走行の二つのシーンで、アクセル、ブレーキ、ステアリングのすべてを自動的に制御し、道路と交通状況を把握し、ステアリングを正確に制御して人間が運転している感覚に近い自然な走行を実現する自動運転技術搭載車両も量産されている。

このような車両搭載システムの発展は、自動車の三つのプロセスである認知・判断・操作の知能化により実現され、すべてのプロセスを人間が行う従来の運転に対し、AVM（ア라운드ビューモニタ）（図1）などの視界支援や、MOD（移動物検知）（図2）などの車両警報といった認知支援から始まり、エマージェンシーブレーキなどの操作支援、そしてすべてのプロセスを車が行う自動運転へと進んでいる。

本稿では、これらすべての運転支援システムに共通で使われる認知プロセスについてフォーカスし、高速ビジョンを適用した日産自動車の認識技術の知能化への取り組みを紹介する。

2. 高速ビジョンの自動車応用（アイデア）

2.1 自動運転用センサ

自動運転の実用化に向け車載センサに求められる機能・性能は大きく変化しうる。例えば、自動運転には現行不可欠とも言える道路の車線の認識。これがかすれていたり、逆光や影の光環境によって標識が認識できないといったことのないよう頑健に認識する車載センサ技術の高精度化が求められている（図3）。

2.2 高速ビジョンの適用

日産自動車では、この課題解決を目的とし高速ビジョンの時間分解能を活用した研究開発を行ってきた。高速ビジョンの数ミリ秒でサンプリングされる動画像を使うと、人の目では見分けられないわずかな画像間の変化が観測できる。

図1 アラウンドビューモニタ [1]

カメラが周辺の移動物を検知すると、画面への表示と音声でドライバーに知らせます

図2 移動物検知 [2]

図3 センサ課題

そこで我々はこのわずかな変化情報に着目し、パルス光の投光により周囲の光環境の変化に強く、影に影響されない道路区画白線が撮影可能なビジョンセンサや、様々な光環境下でも安定して数百メートル遠方の標識を撮像できるビジョンセンサの試作評価を行った。

2.3 高速ビジョンセンサによる同期検波

車両走行環境における光環境の変化は、構造物の影や反射、天候の変化などにより、入射する太陽光が変化することによって生じる。そこで、本手法では、図4に示すように、投光器より太陽光に対して微弱ながら、カメラの撮像タイミングに同期した強度変調光を照射し、同期検波の原理を用いて変調光の微弱な変動成分を抽出、抽出した光のみの画像を生成することで、太陽などの外来光による照度変化に頑健な画像を得る [3] こととした。

同期検波処理は通信分野で使用される、高利得の特定周

原稿受付 2017 年 7 月 18 日

キーワード: High Speed Vision, Vehicle Systems

*〒 243-0123 神奈川県厚木市森の里青山 1-1

*Atsugi-shi, Kanagawa

図 4 同期検波による照射光抽出イメージ

図 5 同期検波処理原理

波数域のフィルタリング手法である。図 5 に示すように、同期検波演算は、積演算と、ローパスフィルタで構成される。

まず、観測された信号 $A \sin(\omega_0 t)$ と、参照信号として変調周波数 $\sin(\omega_r t)$ との積を取ることで、 $\omega_0 + \omega_r$ および、 $\omega_0 - \omega_r$ へ周波数変換を行う。その後、積演算結果をローパスフィルタに通すことで、DC 成分を抽出する。観測信号の周波数が、参照信号の周波数と異なる場合、DC 成分は、一致する場合は、 $A/2$ として出力されるため、参照信号の周波数一致した成分のみを観測信号から抽出することができる。

3. 投光式高速ビジョンセンサ

3.1 システム構成

投光式高速ビジョンセンサは、高速撮像カメラ、投光器、演算処理ユニットの三つからなる。投光器は、カメラの撮像タイミングに同期し、演算処理ユニットで生成された参照信号変調パターンに基づき発光する。カメラで撮像された画像は、演算処理ユニット上で同期検波処理され、投光器からの変調光のみを抽出した画像が生成される。図 6 にシステムの概要図を示す。

3.2 投光器からの変調光照射

投光器では、カメラの撮像タイミングに同期して、時間的に強度変調をした光を照射する。

本システムでは発光の立ち上り、立ち下り時間の短い LED を発光素子に用い、正弦波状に発光強度変調を実現するために、図 7 に示すように、ON-OFF 時間を高精度に制御しパルス幅変調 (PWM) を用いて、発光量の制御を行った。

3.3 同期検波処理

演算処理ユニットでは、カメラで撮像した画像の、1 ピクセルずつに対して同期検波処理を行う。図 5 に示した同期検波の原理のとおり、演算は、乗算とローパスフィルタ (LPF) によって構成されており、本手法では、LPF を IIR

図 6 投稿式高速ビジョンセンサ構成

図 7 PWM 方式による変調光照射

(無限インパルス応答) フィルタで構成している。

実装では、FPGA (Field Programmable Gate Array) を用いて、逐次パイプライン処理を、ハードウェア上に実装し、リアルタイムでの処理を可能とした。

4. 道路区画白線検知適用例

4.1 トラック実験車への車載配置

投光式高速ビジョンセンサの車載環境における評価を行うため、大型トラック (UD トラックス: Quon) を用いたトラック実験車を構築した。

図 8 に示すように、投光式高速ビジョンセンサは、キャビンの横、地上高 3 [m] の位置に鉛直下向きに設置した。路面において、2 [m] × 3 [m] の撮像範囲を確保し、隊列走行システムで使用されている従来カメラシステムと同様の仕様となるように設定している。

また、図 9 に防水ケース内のカメラと投光器の配置図を示す。2 [m] × 3 [m] の撮像範囲全域に変調光を照射するため、カメラの両側に投光器を設置した。なお、投光する光の波長は、近赤外線を用いた。

4.2 実験条件

車載した投光式高速ビジョンセンサを評価する実験条件を図 10 に示す。

実験は、大きな照度変化が起こる環境を再現するために、停車車両を用いて道路区画白線に影をかけ、日なたから影、また影から日なたと大きく照度変化があるシーンを構築して行った。トラック実験車は、走行しながら路面を撮像するため、短時間に 2 回の大きな照度変化のある道路区画白線を撮影することができる。

4.3 実験結果

図 11 は約 80,000 [lux] の環境照度下で 50 [km/h] の車速

図 8 投稿式高速ビジョンセンサ搭載

図 9 投稿式高速ビジョンセンサ配置

図 10 実験シーン（道路区画白線の一部に影が落ちる）

で走行し、影が差した道路区画白線を、投光式高速ビジョンセンサで撮像し、輝度画像と同期検波による照射光抽出画像を比較したものである。

輝度画像では、日影部分での道路区画白線の輝度値に近く、一部が欠けたように撮像されているのに対し、照射光抽出画像では、影部分においても、日なたと同様な輝度で道路区画白線が撮像できていることが確認できた。

また、図 12 は、図 11 の道路区画白線上のある横 1 列の画素列で、日なたにある、ある画素の輝度値を 100 として、パーセント表示したものである。

グラフからも輝度画像では、日影部分における道路区画白線の輝度パーセンテージが 10% まで低下してしまうのに対し、照射光抽出画像では、影部分、日なた部分の区別なく、道路区画白線の輝度パーセンテージをほぼ 100% で一定に保てていることが確認できた。

図 11 道路区画白線の撮像結果（日なた／影）

図 12 道路区画白線の輝度比較（日なた／影）

5. 標識認識適用例

5.1 標識認識実験車両および実験条件

次に投稿式高速ビジョンセンサを搭載し、様々な光環境下でも安定して数百メートル遠方の標識を検知する実験を行った。まず遠距離化を行うため、高速高感度 CMOS イメージャを実装した試作機の開発を行い、高感度化を重視し、再帰反射型の道路標識について距離 200 [m] で実証実験を実施した。試作した試験機を図 13 に示す。試験機は、高速 CMOS イメージャおよび高速画像処理を実装するため、各画素で並列動作可能なデジタル集積回路 FPGA（フィールドプログラマブルロジックゲートアレイ）および光源の発光量を時間的に変化させながら点滅させ、被写体から CMOS イメージャで撮像した際の反射強度を観測したときの時間的な輝度変化を高速フレームレートで一時記録し高速画像処理に適用可能な DDR3 メモリを搭載した基板試作と、高速画像処理によるイメージセンシング方

図 13 試作装置と実験車

図 14 標識認識評価シーン

図 15 標識認識評価結果

式をデジタル集積回路へ実装試作し、検知距離の評価を行った。

5.2 実験条件

距離 100 [m] 離れた二つの道路標識に対して、メータ読み車速 80 [km/h] (実際の走行速度は車輪速計測誤差の影響で、75 [km/h] 程度) で調整し、220 [m] 区間を一定速走行で評価した (図 14)。照度条件は 1 万ルクスでおよび夜間 (0 ルクス) で、夜間実験においては標識手前に対向車 (ヘッドライトハイビームの眩惑条件) を設け人工灯に対する悪い光環境を再現した。

5.3 実験結果

車速 80 [km/h] 走行時の 220 [m] 手前地点のイメージング結果を図 15 に示す。

図 15 に基づき、車速の有無にかかわらず、道路標識の映像取得ができたことが分かった。また、背景および夜間・対向車ハイビーム (肉眼では眩惑する) においても、アクティブビジョンにおいては反射振幅を観測している道路標識以外に出力応答はないため、太陽光や人工光の影響がない標識検知実験結果が得られた。

6. ま と め

本報告では、運転支援システムの高度化に向けた、高速ビジョンを適用した日産自動車の認識技術の知能化への取り組みを紹介した。特に頑健に認識することを目的に、高速ビジョンセンサの時間分解能に着目し、カメラの撮像タイミングに同期して強度変調光を照射し、二次元画像の各画素で同期検波処理を行うことで、照射光成分のみを抽出し、画像を生成する、投光式高速ビジョンセンサについて紹介した。

また、高照度下における、撮像素子の輝度感度非線形性に起因する照射光抽出画像の課題とその対策を述べた。

さらに、屋外日照環境において部分的に影のある道路区画白線を撮像、輝度画像に対し、投光式高速ビジョンセンサの照射光抽出画像では、日影・日なたの区別なく、本来の道路区画白線の輝度で撮像できていることを確認した。

参 考 文 献

- [1] 日産自動車 車両搭載技術 アラウンドビューモニタ, <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/avm.html>
- [2] 日産自動車 車両搭載技術 移動物検知, <http://www.nissan-global.com/JP/TECHNOLOGY/OVERVIEW/mod.html>
- [3] 西内秀和, 中村光範, 三ツ石広喜, 佐藤宏, Throngnumchai Kraisoron: “高速撮像による外来光除去技術”, ViEW ビジョン技術の実利用ワークショップ講演論文集, pp.229-231, 2009.
- [4] O. Yusuke, I. Makoto and A. Kunihiro: “High-Performance Photo Detector for Correlative Feeble Lighting Using Pixel-Parallel Sensing,” IEEE Sensors Journal, vol.3, no.5, pp.640-645, 2003.
- [5] A. Nemecek, K. Oberhauser and H. Zimmermann: “Distance Measurement Sensor with PIN-Photodiode and Bridge Circuit,” IEEE Sensors Journal, vol.6, no.2, pp.391-397, 2006.
- [6] G. Zach, A. Nemecek and H. Zimmermann: “Smart Distance Measurement Line Sensor with Background Light Suppression and On-Chip Phase Generation,” Proc. SPIE, vol.7055, 70550P-1-70550P-10, 2008.

西内秀和 (Hidekazu Nishiuchi)

1990 年より富士通にて、画像認識システムの開発に携わる。2001 年より日産自動車勤務。先進運転システムなどの周囲環境センサシステムの研究に従事。最先端のセンサデバイスを活用したセンシング方式の研究に興味を持ち、車両制御システムなどへの適用を行っている。2009 年精密工学会主催の ViEW (Vision Engineering Workshop) にて最優秀論文賞を受賞。自動車技術学会会員。