

画像認識プロセッサ Visconti4による 車両周辺の高精度認識技術

High-Accuracy Vehicle Periphery Recognition Technologies Using TMPV7608XBG Image Recognition Processor

西山 学

工藤 義秀

■ NISHIYAMA Manabu

■ KUDO Yoshihide

自動車の安全運転支援や自動運転では、車両周辺の歩行者や他の車両などをきちんと画像認識できるかで安全性や質が左右される。認識精度はアルゴリズムによって決まるため、高精度な手法や広範な対象に適用できる頑健な手法が求められている。

今回東芝は、パターン認識に必要な新たな画像特徴量を開発し、夜間の歩行者検出性能を向上させた。また、単眼カメラで得られる時系列画像から3次元情報を取得する手法を開発し、路上落下物など見た目の規則性がない障害物検出を可能にした。最新の画像認識プロセッサ Visconti4は、これらのアルゴリズムを高速かつ低消費電力で実現している。

In the field of driver assistance and automated driving systems for vehicles, technology using camera images to appropriately recognize the peripheral conditions including pedestrians and other vehicles is essential to improve the safety and quality of driving. As recognition accuracy depends on the image recognition algorithm, demand has been growing for accurate algorithms as well as robust algorithms applicable to a wide range of targets.

In response to these circumstances, Toshiba has developed a novel image feature descriptor necessary for pattern recognition, which makes it possible to improve the performance of nighttime pedestrian detection. We have also developed a three-dimensional (3D) reconstruction technique to detect arbitrary obstacles, such as objects that have fallen on the road, using 3D information inferred from time-series monocular camera images. The TMPV7608XBG, an advanced image recognition processor, provides such techniques with dedicated image processing accelerators that achieve real-time image processing with low power consumption.

1 まえがき

人間の運転行動では、周囲の状況を把握する“認識”と、把握した状況から自らの行動を決める“判断”，そして決めた行動を実行する“操作”の三つのフェーズが繰り返されている。この中でも認識は、自車両周辺の歩行者や他車両などの移動物体、及びガードレールや建造物などの静止障害物を把握するフェーズであり、運転の安全性や質を左右する。実際、わが国で自動車の運転者が第一当事者となった交通事故のうち、脇見運転や安全確認不足など認識ミスによるものが全体の約2/3を占めるというデータもある⁽¹⁾。

こうした背景もあり、自動車の運転サポートに向けた技術開発では、機械による認識の補助が検討されている。例えば、全周囲モニタやバックモニタは、視覚情報の取得を機械で補助する。近年量産車両に搭載されている緊急時自動ブレーキは、危険な状況を機械で認識し安全運転支援を実現する。更に、近い将来の実用化に向けて各社が開発している自動運転では、認識の全てを機械で実現しようとしている。

人間は主に視覚情報によって認識を行っており、機械による認識も視覚情報を用いる画像認識が多くの事例で利用されている。緊急時自動ブレーキの歩行者検出やアダプティブクルーズコントロールの車線維持は画像認識によって実現されているものが多い。自動運転では、障害物検出の確実性を向上

させるため、距離情報を取得できるレーザ照射による測距装置(LIDAR: Light Detection and Ranging)の利用が増加すると予想されるが、障害物の種類判別や標識の読取りといった用途に画像認識も継続して使われると考えられている。

画像認識の精度はアルゴリズムで大きく変化する。また、アルゴリズムは、時刻や天候によって見た目が変動することに対する頑健性も左右する。欧州の新車安全評価テストEuro NCAP (European New Car Assessment Program)では、2016年から歩行者に対する緊急時自動ブレーキの動作性能が、更に2018年からは夜間の性能が評価されるため、高精度で頑健な認識アルゴリズムに対する要求が高い。

ここでは、車両周辺の高精度な認識手法と認識対象を拡大する手法、そしてこれらのアルゴリズムを量産車両で実行するための新しい画像認識プロセッサ Visconti4⁽²⁾について述べる。

2 車両周辺の状況把握のための画像認識技術

安全運転支援や自動運転では安全確保のために、他の車両や、歩行者、自転車、バイク、建造物、ガードレールなど自車両と衝突するおそれがある物体の認識が必要である。更に走行レーンや、信号、標識など交通規則に関する情報の取得も、ルールに従った走行を実現するために欠かせない。これらの検出や位置の計測、カテゴリーの推定が画像認識に求められる。

これらの認識対象は、歩行者や標識のように、事前に対象のサンプルを大量に収集できるものと、路上に落ちた障害物や路肩の樹木のように、見た目の規則性がなくサンプルの収集が難しいものとに分類できる。以下では、前者のための手法であるパターン認識と、後者に利用可能な3次元再構成について述べる。

2.1 パターン認識による対象の検出とカテゴリーの推定

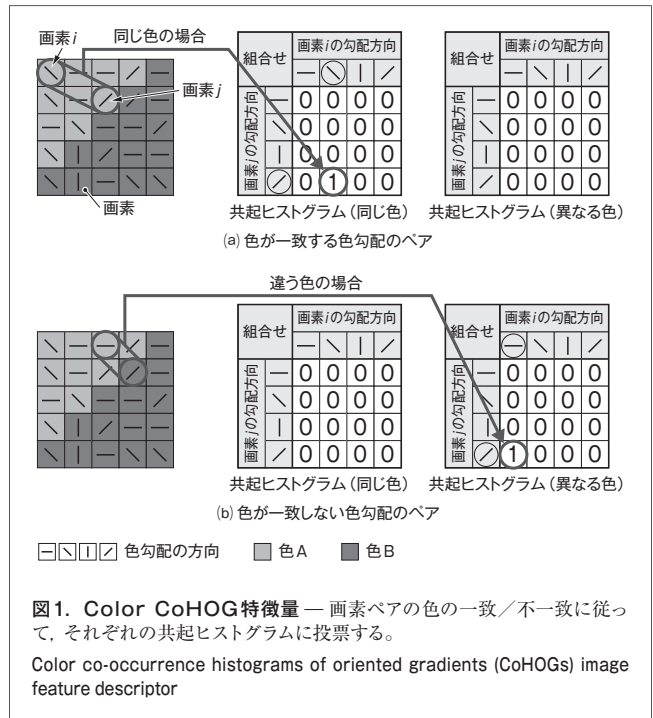
パターン認識では、画像の一部を切り出して画像の特徴を記述する特徴量ベクトルを算出し、線形SVM (Support Vector Machine) などの識別器に入力して切り出した画像のカテゴリーを推定する。例えば、歩行者とそれ以外の対象を二つのカテゴリーに分け、それらを推定する識別器を学習させれば歩行者検出に、また、標識の種類ごとにカテゴリーを設定すれば標識の認識に使える。

東芝はこれまで、歩行者検出に有効なHOG (Histograms of Oriented Gradients) 特徴量⁽³⁾を拡張したCoHOG (Co-occurrence HOG) 特徴量⁽⁴⁾を開発し、高精度な認識を実現してきた。HOG特徴量は各画素の輝度勾配方向のヒストグラムから特徴量ベクトルを求める。CoHOG特徴量では、近隣の2画素による輝度勾配方向の組合せから共起ヒストグラムを求め特徴量ベクトルとするため、HOG特徴量に比べて形状情報を詳細に記述でき、認識精度が向上する。

2018年のEuro NCAPでは、夜間の歩行者に対する緊急時自動ブレーキの性能が評価されるようになる。夜間画像では日中よりも情報量が減少し歩行者の検出精度が低下するため、より多くの情報量を持った画像特徴量が求められる。そこで、カラー複合共起特徴量⁽⁵⁾と総称される新たな画像特徴量を開発した。これは従来のグレースケール画像ではなくカラー画像を入力として、色の分布や相対的な変化、テクスチャ情報などを特徴量化したもので、異なる四つの算出手法で特徴量ベクトルを求める。その一つであるColor CoHOG特徴量では、CoHOG特徴量と同様に注目画素と近隣の画素による勾配方向の組合せから共起ヒストグラムを算出する。これに加えて図1のように、画素のペアに対し、色が類似している場合のヒストグラム、色が異なる場合のヒストグラムに分けて投票を行う点が従来と異なる。これにより、Color CoHOG特徴量は形状やテクスチャだけでなく、色の相対的な変化も含めた画像の特徴を表現できる。

また、別の特徴量算出手法である色ヒストグラムは、色情報そのものを特徴量にしており、各画素の色を17に量子化してヒストグラムを求める。更にヒストグラム中の二つの頻度値による組合せの積を特徴量ベクトルにして情報量を増やしている。このように、算出方法によって色の分布や相対的な変化、テクスチャ情報などを異なる組合せで混合させて、より詳細に画像の特徴を表現できるようにしている。

カラー複合共起特徴量の性能を検証するため、夜間画像に対し歩行者検出を行った結果を図2に、従来のCoHOG特徴



量との認識性能比較を図3に示す。カラー複合共起特徴量では従来よりも情報量が増えたことにより、同一のデータセットで認識性能が向上することが確認できた。

2.2 3次元再構成による障害物の検出

パターン認識は大量のサンプル収集が必要なため、路上の落下物など、対象の見た目に規則性がなく、サンプル収集が困難な対象の検出には適さない。

そこで、自車両周辺の3次元的な形状の情報から路上の障害物を検出するというアプローチを採用する。3次元情報を使って一定以上の高さの物体を検出し、障害物とする。3次元情報を得る具体的な方法として、ステレオ視による視差画像を解析する手法や、LIDARなどの距離センサを使う方法などがある。当社は簡易な装置構成で実現できる手法として、単眼カメラの時系列画像から3次元再構成技術を使って距離デー

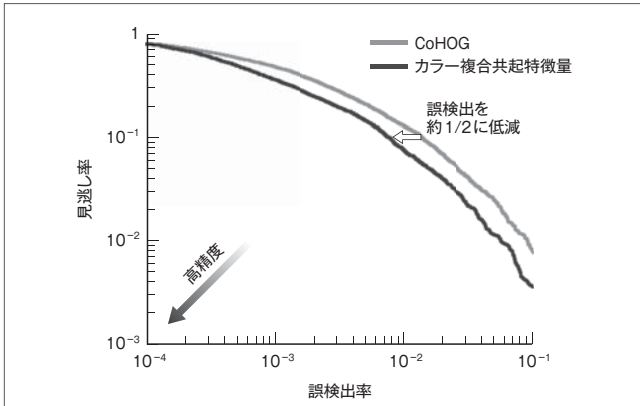


図3. 画像特徴量による夜間歩行者検出性能の比較 — カラー複合共起特徴量はCoHOGに比べて、より確実に夜間の歩行者を検出できる。
Comparison of nighttime pedestrian detection capability

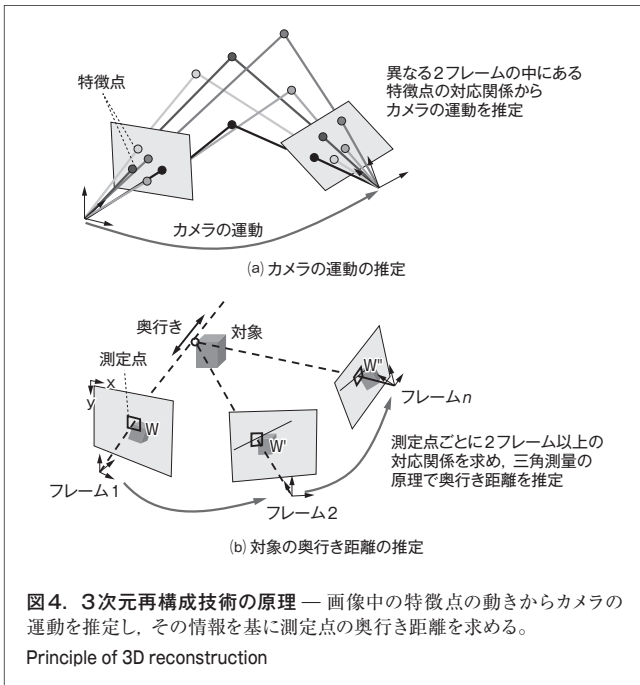


図4. 3次元再構成技術の原理 — 画像中の特徴点の動きからカメラの運動を推定し、その情報を基に測定点の奥行き距離を求める。
Principle of 3D reconstruction

タを取得する独自の手法を開発した。

3次元再構成技術の原理を図4に示す。まず、画像から特徴点を抽出し、異なる時刻の画像から抽出された特徴点とのマッチングを行う。次に、対応した特徴点の位置関係からカメラ運動を推定する。このとき、隣接する2フレームの中にある特徴点の動きだけからカメラ運動の推定を続けると、誤差の累積により精度が低下するため、3フレーム以上の特徴点マッチング結果を用いて運動の推定結果を補正するバンドル調整⁽⁶⁾と呼ばれる処理を行い、カメラ運動の推定精度を保っている。

カメラの3次元的な運動を推定できれば、三角測量の原理で奥行き距離を求められる。画像中の奥行き距離を測定したい位置に測定点を配置し、フレーム間で測定点周辺の画像パターンと類似度が高い位置を探索し対応関係を求める。原理

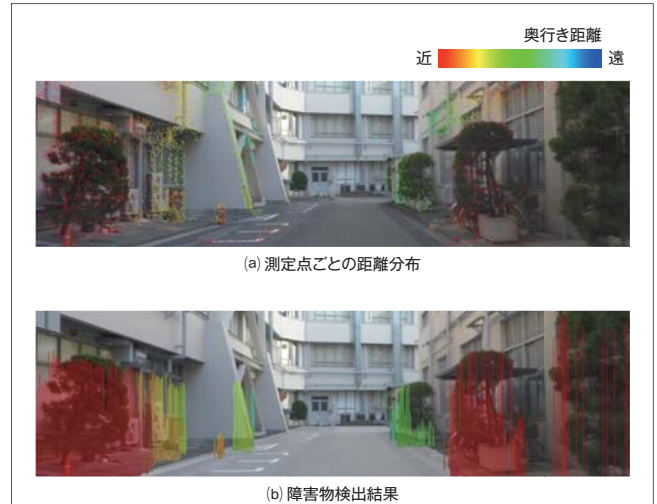


図5. 3次元再構成結果からの障害物検出 — 路面から一定値以上の高さの測定点を障害物として検出した。
Results of obstacle detection using 3D reconstruction

上、2フレーム間の対応関係から奥行き距離を推定できるが、精度を向上させるため、より多くのフレーム間での対応関係から奥行き距離を推定する。複数のフレーム間で画像パターンの類似度が高い位置を探索する場合、探索空間内の類似度分布をそのまま保持するとメモリ量が膨大になるため、類似度分布の形状を特定の関数で近似しそのパラメータを保持することで、必要メモリ量を大幅に削減した⁽⁷⁾。

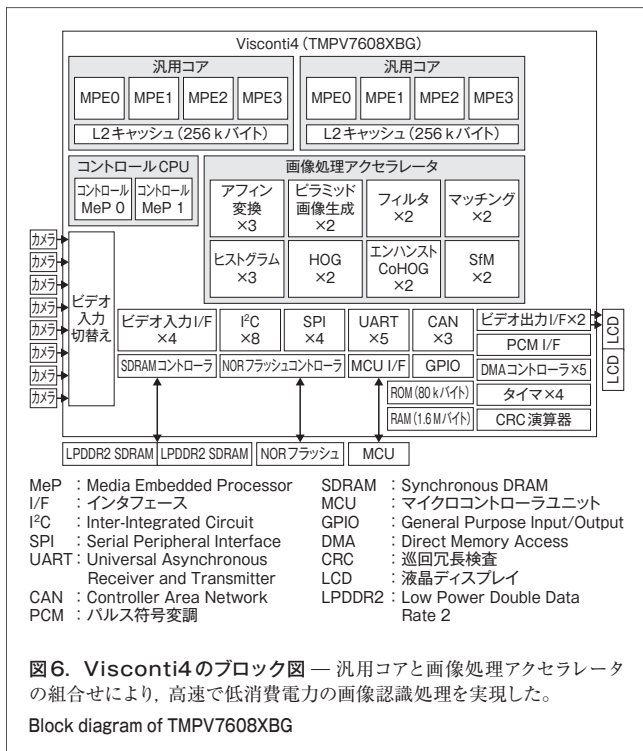
このようにすることで、時系列画像から画像中の奥行き距離分布を求めることができる。結果として得られた3次元点群から平面フィッティングで路面を求め、路面から一定以上の高さの領域に対して障害物検出を行った結果を図5に示す。事前のサンプル収集が難しい建造物や樹木の検出が実現できた。

3 画像認識プロセッサ Visconti4

量産車両で画像認識を実現するプロセッサは、高温環境下で動作するよう自己の発熱を抑えるために低消費電力であることが求められる。また、パターン認識の特徴量計算や3次元再構成の対応点探索は処理量が多いため、高い演算性能も必要である。

高い演算性能と低消費電力の両立という課題に対し、当社は画像認識プロセッサ Viscontiファミリーを開発し、車載向けに提供してきた。Viscontiファミリーは、2003年にエンジニアリングサンプルをリリースしたViscontiに始まり、画像処理アクセラレータを拡充した2011年のVisconti2、ARM^(®)コアを追加した2013年のVisconti3と性能向上が行われている。現在の最新製品は2014年にリリースされたVisconti4 (TMPV7608X-BG)である。

Visconti4のブロック図を図6に示す。Viscontiファミリー



は画素を並列処理するためのSIMD (Single Instruction, Multiple Data) コプロセッサを備えた独自の汎用コアMPE (Media Processing Engine) を搭載している。更に、画像変形やパターン認識などの典型的な処理を高速に処理するための画像処理アクセラレータを搭載しており、複数の演算処理装置が混在した構成となっている。

Visconti4では新たに、エンハンストCoHOGアクセラレータ、SfM (Structure from Motion) アクセラレータ、及びピラミッド画像生成アクセラレータを搭載した。従来のVisconti2やVisconti3では、CoHOG特徴量と線形SVMを高速に演算できるHOGアクセラレータを搭載していた⁽⁸⁾が、Visconti4ではエンハンストCoHOGアクセラレータによって、2.1節のカラー複合共起特徴量によるパターン認識処理を高速に計算できる。SfMアクセラレータは2.2節の3次元再構成を高速処理するために搭載された。これらの機能強化により、Visconti4はパターン認識性能を従来製品に比べて向上させ、3次元再構成機能によって検出対象の拡大を実現している。また、従来製品で使用頻度が高かった、画像縮小によるピラミッド画像生成用のアクセラレータを新たに追加した。汎用コアや他の画像処理アクセラレータについても、個数の追加や機能追加を行うことで演算性能を向上させた。

Visconti4では、MPEのクロック周波数を266 MHzに抑えて消費電力を低減し、高い演算能力やデータアクセス性能が必要な処理はアクセラレータで処理することで、最大1.9 TOPS (Tera Operations per Second: Tera=10¹²) という高い処理性能を、MPEと画像処理アクセラレータの合計で3.4 Wとい

う低消費電力で実現した⁽⁹⁾。

4 あとがき

安全運転支援や自動運転に必要な画像認識技術として、パターン認識技術と3次元再構成技術を新たに開発した。更に、それらを高速に低消費電力で処理できる画像認識プロセッサVisconti4の機能を述べた。

今後も、性能向上に向けたアルゴリズムの検討と、車載向けプロセッサとして効率的に実現する方法の両面から開発を行い、安全運転支援や自動運転の新たなニーズに対するソリューション提案に貢献していく。

文献

- (1) 交通事故総合分析センター. 交通統計 平成25年版. 交通事故総合分析センター, 2014, 224p. <<http://www.itarda.or.jp/materials/publications.php>>. (参照 2015-11-25).
- (2) 東芝. "画像認識プロセッサVisconti™", 半導体 & ストレージ製品. <<http://toshiba.semicon-storage.com/jp/product/automotive/image-recognition.html>>. (参照 2015-11-25).
- (3) Dalal, N.; Triggs, B. "Histograms of oriented gradients for human detection". Proceedings of 2005 IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. San Diego, CA, USA, 2005-06, IEEE, 2005, p.886 - 893.
- (4) Watanabe, T. et al. Co-occurrence Histogram of Oriented Gradients for Human Detection. IPSJ Trans. on Computer Vision and Applications. 2, 2010, p.39 - 47.
- (5) Ito, S.; Kubota, S. "Object Classification Using Heterogeneous Co-occurrence Features". Proceedings of 11th European Conference on Computer Vision (ECCV2010). Crete, Greece, 2010-09, INRIA, Berlin, Springer, 2010, p.701 - 714.
- (6) 岡谷 貴之. バンドルアジャストメント. 情報処理学会, 2009, Vol.2009-CVIM-167 No.37, 16p.
- (7) 関 晃仁 他. 単眼カメラの動画像を用いたリアルタイムで緻密な3次元再構成技術. 東芝レビュー. 68, 5, 2013, p.40 - 43.
- (8) 岡田隆三 他. 安全運転を支援する画像認識プロセッサ Viscontiファミリ. 東芝レビュー. 69, 8, 2014, p.24 - 28.
- (9) Tanabe, J. et al. "A 1.9TOPS and 564GOPS/W Heterogeneous Multicore SoC with Color-Based Object Classification Accelerator for Image-Recognition Applications". 2015 IEEE International Solid-State Circuits Conference, Digest of Technical Papers. San Francisco, CA, USA, 2015-02, IEEE, 2015, p.1 - 3.

・ ARMは、ARM Limited (又はその子会社)のEU又はその他の国における登録商標。



西山 学 NISHIYAMA Manabu

研究開発統括部 研究開発センター インタラクティブメディアラボラトリー研究主務。画像認識技術の研究・開発に従事。日本ロボット学会会員。Interactive Media Lab.



工藤 義秀 KUDO Yoshihide

セミコンダクター&ストレージ社 ミックスドシグナルIC事業部 車載IC応用技術部参事。車載デジタルICの企画・開発に従事。Mixed Signal IC Div.