

安全運転を支援する車載画像処理システム

Image Processing System Specific to Automotive Domain

佐々木 一人 河本 新二

■ SASAKI Kazuhito

■ KAWAMOTO Shinji

ITS (高度道路交通システム) が実現しようとしている目的に、安全運転の支援と運転の快適性の向上がある。これらを実現するために様々な技術が適用されつつあるが、近年画像処理技術を適用する試みがなされ、いくつかは実用化されてきている。

東芝は車載画像処理システムに適用できる画像処理アルゴリズムを開発し、車載環境条件でそのアルゴリズムが実行できる車載画像処理用 CPU を併せて製品化した。一方、画像処理を行ううえで重要なコンポーネントとなるカメラについても、ダイナミックレンジを拡大する技術研究を行い、その方式を確立することができた。

The purpose of intelligent transport systems (ITS) is to support safe and comfortable driving. Various technologies have been applied to realize this purpose. In recent years, image-processing technology has reached the practical stage as one of these technologies.

Toshiba has developed an image-processing algorithm and image-processing LSI designed for automotive use. We have also established a technique for dynamic range expansion in cameras for automobiles, which are essential input equipment for image processing.

1 まえがき

車両を運転するときに、人は安全性を確認するために五感のうち視覚と聴覚を働かせる。その中でも、特に視覚からは多くの情報を取り入れている。東芝は、ITSにおいて、その視覚を補助するための、人間の目に似た特性を持つセンサ、あるいは人間の目に代わるセンサのような車載画像処理システムを開発し、提供することに取り組んできた。

既に、視覚を補助する技術としては、レーダや超音波センサが実用化されている。レーダシステムでは先行車などの障害物検出が実用化されているが、走行車線を示す白線は画像でしか検出できないため、障害物が車線内に存在するのかわからないかの判断には、カメラから入力した画像での検出処理が必要となってくる。また、画像を使用すれば、走行車線情報だけでなく障害物の情報も同時に得ることができる。

このように画像処理は視覚を補助するための有効な手段であり、以下に当社の代表的な車載画像処理アルゴリズムである前方の障害物検出、後方からの追越車両の検出について述べる。

一方、これらの画像処理アルゴリズムは、処理データが多く、従来は高性能パソコン(PC)では実現できるが、車載には適用できないという課題があった。これらの課題を解決するために、当社は1W以下の低消費電力であるが高性能で汎用性が高く、かつ厳しい車載条件を満足する画像処理用 CPU “Visconti™”を開発した。

また、車載画像処理システムをより信頼性の高いシステムにするためには、入力画像を供給するカメラについても改善の要求がある。例えば、通常のカメラでは、明るいところと暗いところが存在する画面では、明るいところに絞りが合うと暗いところは画像がつぶれてしまい満足な監視ができなくなる。当社はこの問題にも研究課題として取り組み、高感度 CMOS (相補型金属酸化膜半導体) センサと組み合わせたダイナミックレンジ拡大の技術を開発した。

2 車載画像処理アルゴリズム

交通事故の原因別分類によると、割合の大きい原因として追突、出会い頭、進路変更が挙げられる。追突と出会い頭は自車両の“前方の車両などの障害物”との事故、また、進路変更は自車両の“後側方からの追越車両”との事故である。

安全運転を支援する車載の画像処理アルゴリズムとして、これら事故原因の割合の大きい自車両の“前方”と“後側方”の障害物、車両などの検出に取り組んできた。

2.1 前方障害物の検出

まず、二つのカメラ入力を用いた平面投影ステレオ法による前方障害物検出について述べる⁽¹⁾。

ステレオ視は、対象物の高さや位置を直接求めることができるため、非常に有効な手段であるが、左右画像間の対応点探索は計算量が多く、低価格なプロセッサでは処理時間がかかり、リアルタイム性を欠くという問題がある。システム

のコストを抑えるためには、計算量の少ないアルゴリズムを開発し、低価格なプロセッサに実装することが必須である。前方障害物の検出においては、画像中のある領域が障害物であるかを判定するためには、その領域の高さが道路面と同じであるか否かを比較すればよく、画像全体の三次元形状を算出する必要はない。この点に着目して開発し、少ない計算量で障害物を検出したアルゴリズムが“平面投影ステレオ法”である。この方式は、左画像中に存在するすべての点が道路面と同じ高さを持つと仮定し、左画像を右画像へ逆投影する。この逆投影画像と実際の右画像との間の差を求め、その差分値が大きい領域を障害物である領域とする。図1にその画像処理例を示す。(a)は左カメラ撮影画像、(b)は右カメラ撮影画像、(c)は左カメラの変換画像、(d)は左カメラの変換画像と右カメラ撮影画像間との差分値を示したものである。

この方式は実際には、画像のアフィン変換と差分処理によって実現できるため、従来の対応点探索に基づくステレオ法に比べ、計算量が非常に少ないという利点がある。

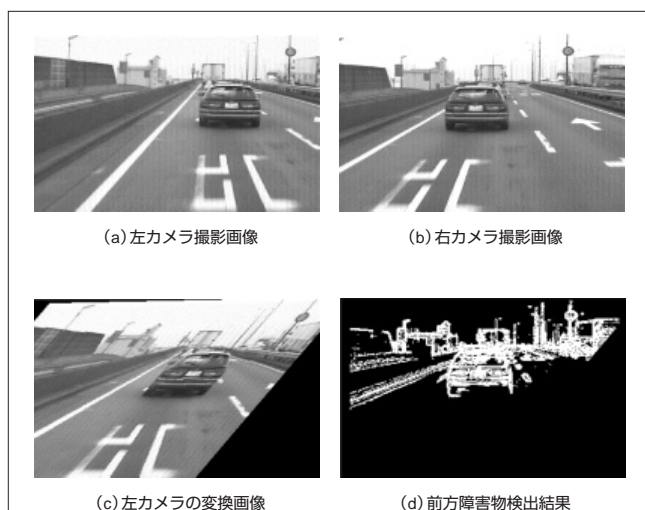


図1. 平面投影ステレオ法による先行車両検出方法 — 左画像を右画像へ逆投影し、実際の右画像との差分を求めることにより障害物を検出する。
Front obstacle detection using stereo camera

2.2 前方先行車両の検出

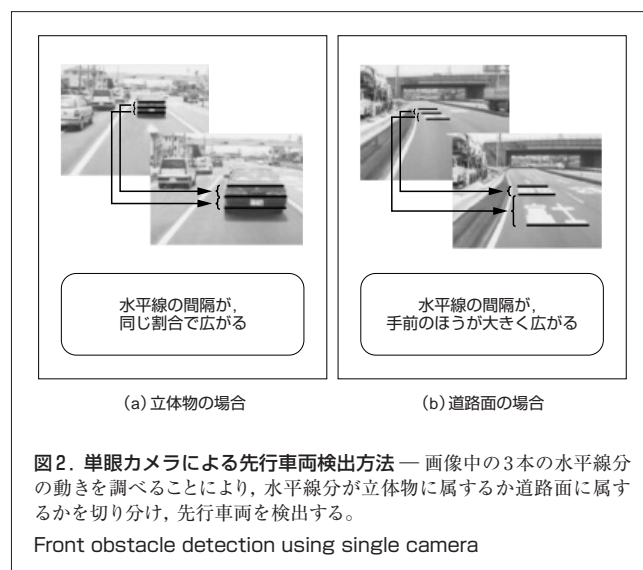
次に、単眼カメラ入力による先行車両検出について述べる⁽²⁾。

前項においてはステレオ画像による方式であったが、この方式では単眼画像によるものである。単眼画像の入力の場合、ステレオ画像に比べキャリブレーションが容易であり、カメラが一つであるという直接的なコストメリットと、サイズが小さくなるという実装優位性があり、全体的なコストを更に低減したものとなる。この方式の原理を以下に示す。

先行車両を後方から観測した場合、その中にはバンパーやナンバープレート、リアウィンドウの縁などの水平線分が存

在するのがわかる。そこで前方の画像の中から水平線分を検出し、検出できた水平線分を画像中で追跡し、その線分の動きの情報を取得する。動きの情報が得られたすべての水平線分から、画像中の横方向の位置がほぼ等しい縦方向に並んだ3本の水平線分を選択し、それらの動きが、道路面を仮定した場合に観測される動きであるのか、又は、障害物を仮定した場合に観測される動きであるのか、どちらに類似しているかを調べることにより、3本の水平線分が先行車両に属するか、道路面に属するかを定めるものである。

その原理について図2により説明する。3本の水平線分が先行車両に属している場合(立体の場合)を(a)に、道路面に属している場合を(b)に示す。(a)において、奥側の画像における3本の水平線分の間隔比率は、手前側の画像(ある時間経過した画像)においても同じである。一方(b)において、奥側の画像における3本の水平線分の間隔比率は、手前側の画像においては変わってくる。この違いを用いて、画像の中から前方に先行車両が存在するかを検出する。



2.3 後側方追越し車両の検出

サイドミラーにカメラを設置し、隣接車線後方の画像を入力し、2.2節に示した方式を適用することで、隣接車線の後方から接近する車両を検出することができる⁽²⁾。このような後側方での車両検出では、以下の二つの理由により、画像に映る面積が小さい車両を検出する必要がある。

- (1) 自車側方の車線を監視エリアとしたいため、広角レンズが用いられることが多いこと
- (2) 追越し車両は相対速度が速いため、検出してから警告までの時間を十分に確保するためには、遠方から検出しなければならないこと

画像に映る面積が小さい車両では検出できる水平線分が

少ないため、3本の水平線分の組が取りづらい。よってこのような条件下では、3本の水平線ではなく2本の水平線の動きを調べることにより、その水平線分が後方から接近する車両に属するものか、あるいは道路面に属するものかを区別し、車両であることを識別する。

3 車載画像処理用CPU

前述した画像処理アルゴリズムを高速で動作させるための、専用の画像処理CPU Visconti™を開発した。

Visconti™は、車載用途で開発されたため、動作温度が厳しい車載条件を満足しており、かつ150MHzのクロックで動作するという高性能を確保できた。仕様を表1に示す。

表1. Visconti™の仕様

Specifications of Visconti™

項目	仕様
プロセス	0.13 μm CMOS 6層
動作周波数	150 MHz
パッケージ	PBGA456 ボール (鉛フリー)
動作温度	-40 ~ +85 °C
電源電圧	3.3 V, 1.5 V
消費電力	約 1 W

PBGA : Plastic Ball Grid Array

Visconti™の構成は、同一のメディア処理モジュールを3個内蔵し、各々独立に動作する。各メディアモジュールは、RISC (縮小命令セットコンピュータ) コア、8ビット×8並列SIMD (Single Instruction Multiple Data) 型の積和命令を実行できるVLIW (Very Long Instruction Word) コプロセッサ、キャッシュ、RAMなどで構成される。メディア処理モジュールのほかには、3系統入力できるキャプチャユニット、VGA (Video Graphics Array) 出力のビデオアウトユニット、画像処理での座標変換を行うための座標変換ユニット、他のプロセッサとのI/F (InterFace) を行うPIO (Parallel Input Output) ユニット、ROM、RAMのコントローラから成る。

これまで前述のようなアルゴリズムは車載用途では実現できなかったが、Visconti™によって図3に示すコンパクトなボードに実装することが可能となった。

三つのコアを並列に用いて複雑な処理をさせることもできるし、それぞれ独立して動作させて、例えば、先行車両検出プログラムと後側方監視プログラムを右車線用、左車線用と2種用意し合計三つの異なるシステムで同時に処理することも可能である。

Visconti™から出力した3コア独立動作の画面例を図4に示す。

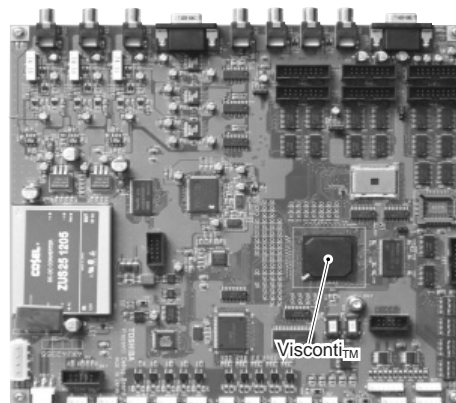


図3. 画像処理評価ボード— 車載画像処理用CPU Visconti™を実装したボードである。

Evaluation board for image processing

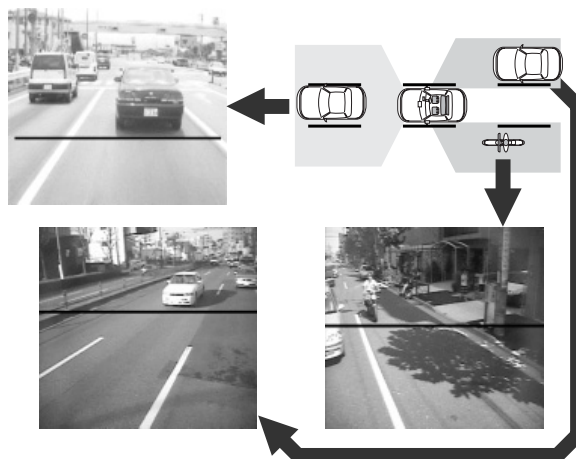


図4. 車載画像処理の画面例— 先行車両検出プログラムと左右の後側方監視プログラムを実装した、実画像での処理事例である。

Examples of image-processing display in vehicle detection using single camera

4 適応型広ダイナミックレンジカメラ⁽³⁾

車載画像処理システムにおいて信頼性を高めるうえで、カメラからの入力画像のダイナミックレンジを広げることは重要な項目である。ダイナミックレンジを広げる方法としては、次の二つの方法がある。

- (1) 異なる露光時間の画像を合成する。
- (2) 光電変換部に対数特性を持たせる。

当社が開発した手法は、(1)の技術を用いて被写体の画像状態を認識し、認識結果を基に低感度画像 (高速シャッタ画像) と高感度画像 (低速シャッタ画像) の露光時間を適応的に制御する手法である。更に、カメラのイメージセンサにCMOSイメージセンサを採用した。CMOSイメージセンサは、画像

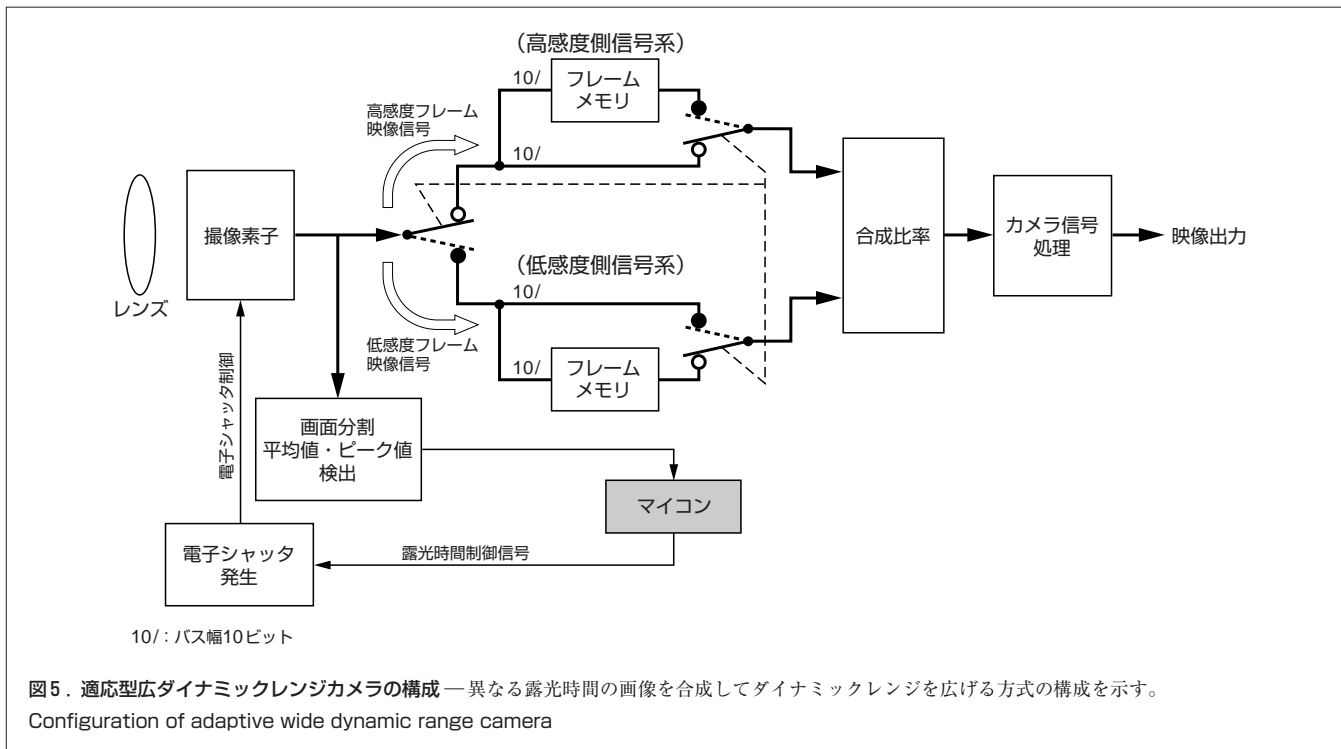


図5. 適応型広ダイナミックレンジカメラの構成 —異なる露光時間の画像を合成してダイナミックレンジを広げる方式の構成を示す。
Configuration of adaptive wide dynamic range camera

の中に照度の強い光源がある場合に、光源の上下が筋状に白くなるスミアが発生しない特長がある。これらにより、車載の画像認識で課題となっていた輝度差のある被写体画像も最適化して撮影できるようになった。

適応型広ダイナミックレンジカメラの構成を図5に示す。

5 あとがき

以上のように、車載機における画像処理において核となる画像処理アルゴリズムでは、計算量を抑えながら目的とする処理結果が得られる効率的なアルゴリズムを開発し、また、ハードウェアでは、このアルゴリズムを実装する Visconti™ を製品化することができた。そして、画像の入力という側面からは、動画に対応した適応型広ダイナミックレンジカメラ技術を確立することができ、人間の目に似た特性のセンサとなる画像処理システムを構築できるようになった。当社が培ってきた画像処理技術とカメラ技術を車載用途に適用することにより、安全性と快適性を向上させ、交通事故の低減に寄与していきたい。

文献

- (1) 小野口一則,ほか. ITSにおける視覚の利用法. コンピュータビジョンとイメージメディア. 136-8, 2003, p.51-58.
- (2) 古川賢治,ほか. 車載用画像処理LSIを用いた車両周辺監視システム. 第9回画像センシングシンポジウム講演論文集. 2003, p.227-232.
- (3) 丸山栄一,ほか. 適応型CMOS広ダイナミックレンジカメラ. 映像情報メディア学会技術報告. 26, 50, 2002, p.5-8.



佐々木 一人 SASAKI Kazuhito

自動車事業統括部 自動車システム開発センター マルチメディアプラットフォーム開発担当参事。車載向け画像処理システムの企画, 技術支援業務に従事。

Automotive Systems Development Center



河本 新二 KAWAMOTO Shinji

自動車事業統括部 自動車システム開発センター マルチメディアプラットフォーム開発担当参事。車載向け画像処理システムの企画, 技術支援業務に従事。

Automotive Systems Development Center