

車載画像処理用システム LSI による 衝突防止システム

Automobile Collision Avoidance System Utilizing System LSI for Images

宮本 幸昌

MIYAMOTO Yukimasa

谷口 恭弘

TANIGUCHI Yasuhiro

宮森 高

MIYAMORI Takashi

自動車の一部高級車種で実用化が始まった衝突事故防止安全装置が注目を集めている。しかし、現在実用化されている装置は、カメラ画像とレーダ波などを組み合わせて機能を実現しているため、価格が数十万円と非常に高価である。

東芝では、装置のコストを下げるためにカメラ画像のみを用いたシステムの実現を目指し、画像処理アルゴリズムを効率よく実行するプロセッサと、画像入出力回路やメモリ制御回路などを集積した車載画像処理用システム LSI を開発した。このシステム LSI を使用して、低コストな衝突防止システムを提供することが可能となった。

Collision avoidance systems, which have already been installed in some luxury automobiles, are currently attracting attention. Such systems are very expensive, however, costing several hundred thousand yen (several thousand dollars), because their design combines a camera with a radar wave system and other components.

With the aim of realizing a system that uses only a camera in order to lower the price, Toshiba has developed a new LSI incorporating a memory controller, image input and output circuits, and processors for image processing. This has made it possible to realize an inexpensive collision avoidance system using one camera.

1 まえがき

自動車にレーダやカメラを取り付け、そこから得られる情報を基にコンピュータが運転を補助する技術が注目されている。例えば、衝突防止システムでは、図1のように車両の周囲を観測して、衝突の可能性がある場合には運転者へ警告を発したり、運転者に代わってブレーキやハンドルを操作したりして衝突回避を補助する。従来のシートベルトやエアバッグなどの安全装置は、事故が発生した後に働くものであるが、この衝突防止システムは、事故を未然に防止することができるため、自動車の安全性を飛躍的に向上させる可能性がある。

衝突防止システムは、既に一部の車で実用化が始まっているが、現在のシステムは、カメラとレーダを合わせて使用しているために高価なものになっており、高級車のオプションとして採用されているにすぎない。衝突事故は、交通事故の中でも大きな被害をもたらすものである。安全装置という意味からも、大衆車を含め多くの車両に搭載されるべきものであり、システムの低コスト化が強く求められている。

ここでは、追突防止システムのコストアップの原因であるレーダを使用せずにカメラ画像のみを使用した衝突防止システムと、このシステムを実現するために開発した画像処理用システム LSI について述べる。

2 画像処理のみで実現するための問題点

カメラから得られる画像データのみを用いて、前方の障害物と衝突する危険性を検出するためには、画像中から衝突する可能性のある対象物を検出し、その対象物までの距離の時間的な変化を測定する必要がある。このような画像処理のアルゴリズムはいくつか提案されているが、もっとも要求性能が低いアルゴリズムでも、現在のパソコン(PC)に使われているマイクロプロセッサで動作周波数 1 GHz 以上のものが必要となる。この処理能力を持つプロセッサの消費電力は、数十 W にもなる。また、自動車に搭載される装置は、極寒の吹雪や真夏の炎天下でも安定して動作する必要があり、高い信頼性が要求される。このため、PC のような常温での動作

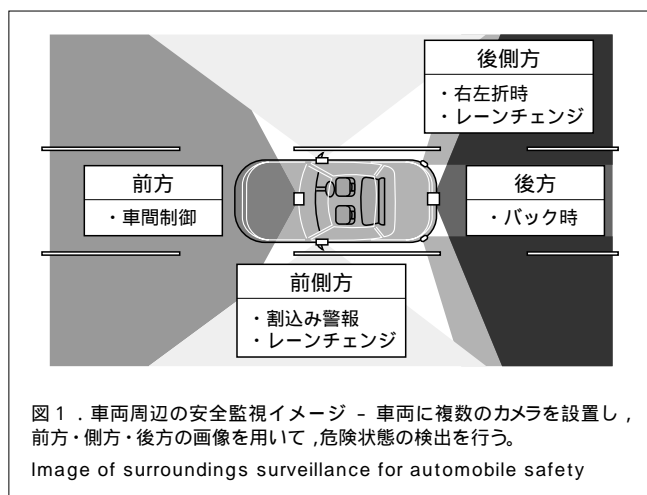


図1. 車両周辺の安全監視イメージ - 車両に複数のカメラを設置し、前方・側方・後方の画像を用いて、危険状態の検出を行う。

Image of surroundings surveillance for automobile safety

環境を想定したシステムを利用することは困難であり、より広い動作温度範囲を保証したシステムが必要である。

3 画像処理による実現手段

画像処理のみによるシステムを実現するための手段として考えられる専用ハードウェア、システムLSI、PCシステムの3種類の比較を表1に示す。

表1. 実現手段による比較
Comparison of realization methods

項目	専用ハードウェア	システムLSI	PCシステム
生産コスト			×
消費電力			×
温度範囲			
柔軟性	×		
開発コスト	×		

: 優れる : 許容できる × : 劣る

表1のように、衝突防止システムに最適化された専用ハードウェアならば、すべての機能を特定の画像処理に最適化して実現できるように、生産コストや消費電力の面からは最適となるが、特定の画像処理以外には使用できないため、柔軟性に欠けるというデメリットがある。

一方、汎用的なPCシステムを使用すると、充実した開発環境や豊富な画像処理ライブラリを利用することができるが、前述のとおり、車載の要求する動作温度範囲、消費電力や高い信頼性を満足することが難しい。また、画像入出力回路などの周辺回路を別のLSIとして実現する必要があり、高コストになるという問題もある。

両者の中間的なアプローチになるが、画像処理に特化したプロセッサを搭載したシステムLSIが考えられる。このようなLSIは、プログラムの変更により多くの画像処理に柔軟に対応可能である。また、画像入出力回路を含む周辺部品を1チップに集積できる。カスタマイズされたプロセッサは画像処理を効率よく行えるため、消費電力を抑え、動作温度範囲も広げることができる。東芝は、このアプローチによって車載システムの要求を満たすことができると考え、車載画像処理用システムLSIの開発に着手した。

4 システムLSIによる実現

4.1 衝突防止システムの画像処理の特徴

衝突防止システムの画像処理は、①入力された時系列画像データに対して白線検出を行って、障害物検出の対象域を決定する処理、②左右カメラから得られる画像のずれか

ら障害物を検出する処理、及び③検出された障害物の位置の時間的な変化から衝突の危険性を判定する処理、によって構成されている。また、これら一連の処理は、画像が入力されるたびに実時間で実行される必要がある。

これら一連の処理の中で、特に演算量が多く性能に影響を及ぼすものとしては、次の処理がある。

- (1) フィルタ処理や差分抽出などの連続領域に対する同一演算処理
- (2) 処理領域が不連続となる線形変換処理(拡大・縮小・回転・ひずみ変換)など

この処理をいかに高速化するかシステム実現の鍵となる。

4.2 システムLSIのアーキテクチャ概要

システムLSIの内部ブロック図を図2に示す。プロセッサには当社の組込み用コンフィギュラブルプロセッサ MeP (Media embedded Processor)¹⁾を使用している。MePは、小型、低消費電力で、かつ拡張性に優れたプロセッサである。当社独自の命令セットを持つ32ビット5段パイプラインのRISC(縮小命令セットコンピュータ)プロセッサコア(MePコア)に、画像処理向けのSIMD(Single Instruction Multiple Data)コプロセッサ拡張やDMA(Direct Memory Access)コントローラ、グローバルバスインタフェース(I/F)ユニットを含めたモジュールをMePモジュールと呼ぶ。システムLSIは、このMePモジュールを三つ内蔵したマルチプロセッサ構成となっている。また、MePコアにはキャッシュメモリに加えて、高速アクセスが可能なローカルメモリを内蔵している。DMAコントローラと組み合わせて使用することで、演算処理に使用するデータに高速でアクセスすることが

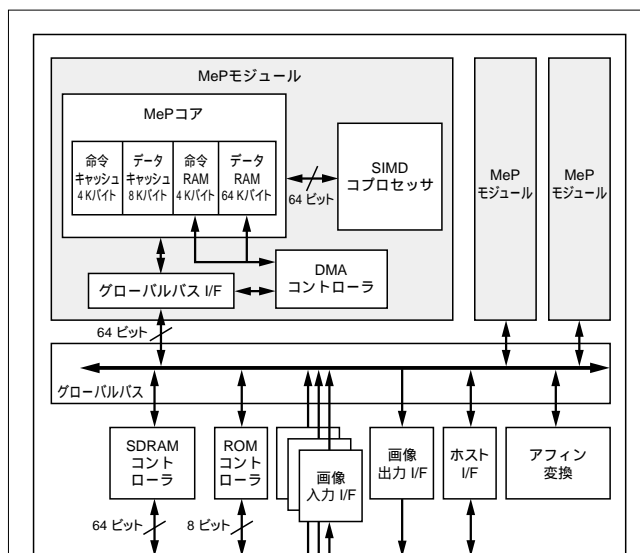


図2. システムLSI内部のブロック図 - 一つのバス上に入出力I/F、メモリコントローラ、アフィン変換器、プロセッサを集積したシンプルな対称型マルチプロセッサアーキテクチャをとる。

Block diagram of system LSI

できる。MePモジュールの構成は、LSI設計時にターゲットとなる用途に応じて柔軟に変更でき、今回の画像処理に最適なプロセッサを実現できる。

システムLSIには更に、画像の線形変換処理を高速に行うためのアフィン変換モジュールを搭載しており、プロセッサでの処理の高速化の難しい部分をハードウェアで実現している。このほかに画像入出力I/F、メモリコントローラ、ホストI/Fなどの周辺回路を集積している。システムLSIが搭載する入出力I/Fを表2に示す。

表2．システムLSIの入出力I/F
System LSI interface list

I/F	内容
画像入力	・ NTSC方式、白黒1024階調中256階調選択、3系統
画像出力	・ 1600万色中256色表示、VGA、1系統
メモリ	・ ブート用フラッシュROM 2 Mバイト ・ メインメモリ用SDRAM 32 Mバイト
ホスト	・ リード/ライトハンドシェイク方式、8ビットパラレル

NTSC : National Television System Committee
VGA : Video Graphic Array SDRAM : Synchronous DRAM

画像処理において、消費電力を抑えつつ処理性能を満足させるためには、演算処理の並列化と実行効率の向上を両立させる必要がある。

4.1節で述べた演算量が多い処理については、次のような解決策で対応した。

(1) フィルタ処理や差分抽出などの連続領域に対する同一演算処理 演算器を複数個並べて、一度に複数の画素に対して処理を行うSIMD方式の並列化技術によって高速化した。今回は、8ビット・8並列、16ビット・4並列、32ビット・2並列の3種類を実行可能なSIMD型演算器を採用した。また、並列で演算処理する場合には、多くのデータに高速でアクセスする必要があるために、MePコアに内蔵したローカルメモリを使用した。これにより、メモリアクセスネックを解消する構成となった。

(2) 線形変換処理などの不連続領域に対する演算処理
すべての画素について処理が行われるわけではないので、SIMD方式では高速化できない。このために、専用のハードウェアモジュールによって処理性能を向上させた。SIMD方式とは異なり、演算処理は必要なものに対して一つずつ逐次的に行うが、パイプライン化によりスループットを向上させている。また、アクセスされるメモリのアドレスを予測することが難しいので、キャッシュメモリを専用ハードウェアモジュールに内蔵した。

更に、画像処理アルゴリズムレベルでの並列化を行い、対象領域決定と衝突危険判定などを、複数のプロセッサ(MePモジュール)で並列に処理させる。

4.3 システムLSIの諸元

4.2節で述べたアーキテクチャを採用したシステムLSIの開発を行った⁽²⁾。このシステムLSIの諸元を表3に、チップ写真を図3に示す。

マルチプロセッサ、SIMD型演算器、線形変換処理用ハードウェアモジュールなどを使用して、汎用マイクロプロセッサで1GHz以上の処理能力を150MHz動作で実現した。動作周波数を低くすることによって、動作時消費電力を約1Wに抑えることができ、車載の温度条件を満たすことができた。

表3．システムLSIの諸元
Specifications of system LSI

項目	仕様
プロセス	0.13 μm 6層銅配線
チップサイズ	6.98 mm角
パッケージ	456ピンPBGA
動作周囲温度	-40 ~ 85
動作周波数	150 MHz
消費電力	1.5 V動作時 約1 W
回路規模	約2,100万トランジスタ

PBGA : Plastic Ball Grid Array

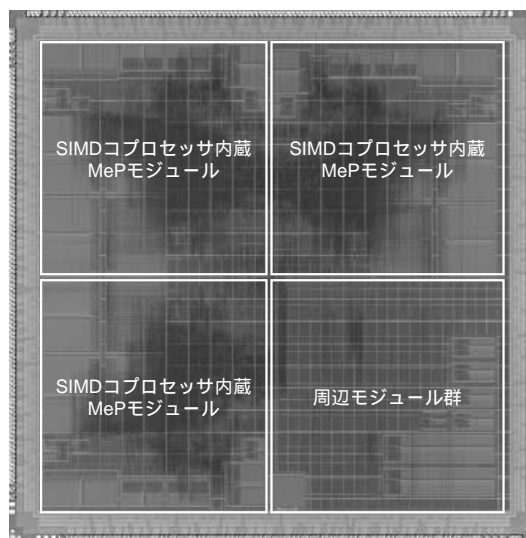


図3．システムLSIチップ - 大きく四つの領域に分割され、うち三つがプロセッサによって占められる。残り一つにプロセッサを除くモジュールのすべてが集積されている。

Photograph of system LSI

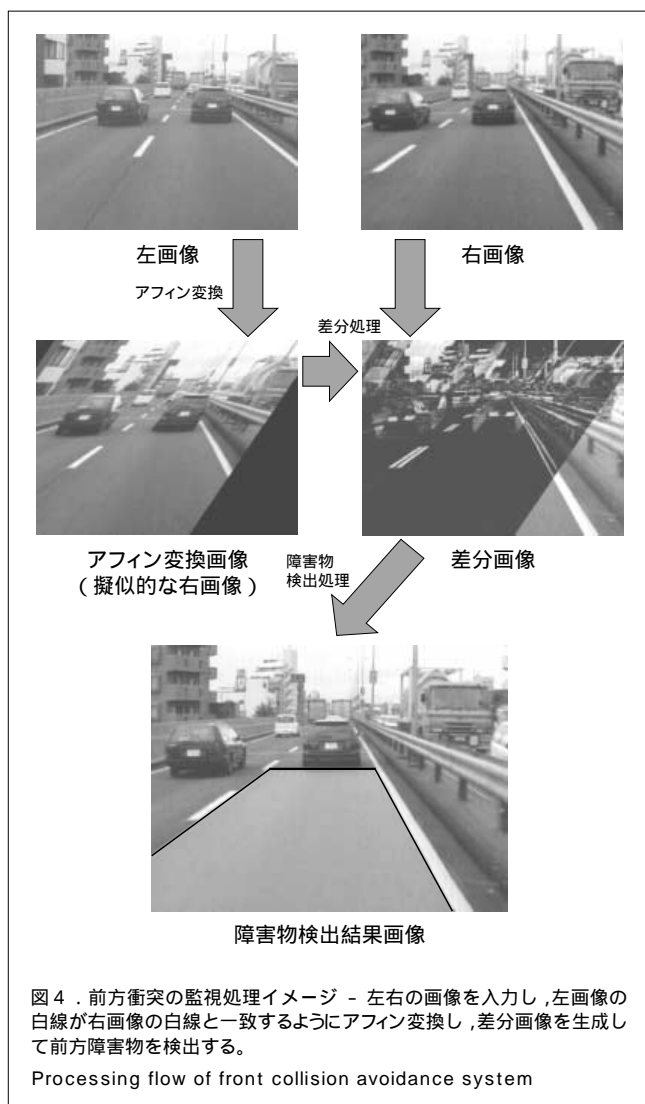
5 システムLSIを用いた衝突防止システムの実現

開発したシステムLSIを用いて評価用基板を作製し、自動車の前方障害物を検出するアプリケーションプログラムを実装したシステムを試作した。

前方障害物を検出するアプリケーションプログラムの実行例を図4に示す。前方障害物検出のアルゴリズムは、車両がほぼ一定の平面(道路面)上を走行しているという仮定に基づいて各種の処理を行っている。

具体的には、まず車両前方の画像をステレオカメラを用いて左右別々の画像として入力し、このうち左の画像で観測されている映像がすべて道路面上に描かれていると仮定して、左画像を右カメラで観測した場合の画像にアフィン変換(線形変換)することによって擬似画像を生成する。

次に、左画像をアフィン変換して求めた擬似的な右画像と、実際に右カメラから得られた右画像の差分画像を生成し、その差分値が大きい部分が道路面の仮定を満たしていない領域、すなわち障害物領域であるとして検出する。最後に、検出された障害物領域の位置を正確に求めて、その位置の時間的な変化を元に衝突の可能性を検証する。また、障害物検出を画面全体に対して常に行うことは効率が悪いうえに、周辺の建物などを障害物として検出してしまいう可能性がある



ため、事前に自車が走行している車線を検出して、その車線内でのみ障害物検出を行う。

最終的に、画像処理によって得られた障害物の位置情報は、車速やハンドル舵角(だかく)などの車両情報と統合利用され、衝突の危険性があると判断された場合には運転者に警告を与えたり、場合によっては自動的に制動をかけることによって衝突事故の回避を図ることになる。

6 あとがき

車載画像処理用システム LSI の開発により、カメラのみを用いた衝突防止システムを実現した。このシステムにより、自動車の衝突防止システムを低コストで実現できると考えられる。

また、このシステム LSI は画像処理プログラムを変更することで、衝突防止システム以外に、車内の顔認識システムなどにも適用できる。更に、自動車以外の分野の画像処理にも応用が可能である。システム LSI 技術と画像処理アルゴリズム技術を活用して、今後、更なる新しいソリューションを提案していく考えである。

文献

- (1) 松井正貴 . システムオンチップの普及と MeP . 東芝レビュー . 58 , 5 , 2003 , p.2 - 8 .
- (2) Tanabe, J., et al. "Visconti: Multi-VLIW Image Recognition Processor based on Configurable Processor". Proceedings of the IEEE 2003 Custom Integrated Circuits Conference. San Jose, 2003-09, IEEE. p.185 - 188.
- (3) 古川賢司,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 . 横浜, 2003-06, 画像センシング技術研究会 . p.227 - 232 .



宮本 幸昌 MIYAMOTO Yukimasa

研究開発センター コンピュータ・ネットワークラボラトリー研究主務。計算機のハードウェアアーキテクチャの研究・開発に従事。情報処理学会会員。
Computer & Network Systems Lab.



谷口 恭弘 TANIGUCHI Yasuhiro, D.Eng.

研究開発センター マルチメディアラボラトリー研究主務、工博。車載向け、ロボット向け画像処理アルゴリズムの開発に従事。電子情報通信学会、ロボット学会会員。
Multimedia Lab.



宮森 高 MIYAMORI Takashi

セミコンダクター社 SoC 研究開発センター デジタルメディア SoC 技術開発部主査。コンフィギュラブルプロセッサ MeP とその応用 LSI の開発に従事。
SoC Research & Development Center