

画像処理を用いたリアルタイム交通流計測システム

Real-Time Traffic Monitoring System Using Image Processing

技術本部 塘中哲也*¹ 宮本一正*²
見持圭一*¹ 斎藤真由美*³
神戸造船所 浦田秀夫*⁴

都市高速道路において渋滞情報を正確に把握し、入口規制等で交通流を最適化することが求められており、そのためには交通情報を遅れなく的確に把握する計測システムが必要である。そこで監視カメラの画像から道路上を走行する車両を識別し、走行速度や通行台数、空間占有率を計測する交通流計測システムを開発した。パイプライン方式と並列処理方式を融合したリアルタイム動画画像処理システムにより、車両前面の水平エッジを利用する台数計測処理とテンプレートマッチングによる車両追跡処理を60msごとに実行できる。2時間の画像を対象とした実験の結果、計測精度として通過台数誤差5%以内、速度標準偏差10%以内を得た。

Accurate traffic information is required to restrict the traffic flow at highway entrances in order to relieve traffic jams and to reduce traffic accidents in city areas. This paper presents a traffic monitoring system which extracts various traffic information, such as the number and speed of passing vehicles and the spatial occupancy of vehicles, from highway images taken by a road-side ITV camera. The system detects vehicle presence in specified lanes using the y-axis projection of horizontal edge of a vehicle image and tracks the vehicle by a template-matching algorithm. Our real-time image processing board is used for the detection and tracking of moving vehicles every 60 msec. Experiments using a 2 hour daytime image shows that the vehicle count error is within 5% and the deviation of vehicle speed is within 10%.

1. ま え が き

高度道路交通システム (ITS : Intelligent Transport Systems) は、最先端の情報通信技術等を用いて人と道路と車両とを結合するシステムとして構築することにより、安全運転の支援、交通管理の最適化、道路管理の効率化などを図るものである。この中で、物流における環境問題、安全性等の多面的立場から、交通流の最適制御がその要素技術として再認識されてきている。また、都市高速道路においては、渋滞状況を正確に把握し、入口規制等で交通流を最適化したいというニーズがある。そのためには、交通情報を遅れなく的確に把握する交通流計測システムが必要である。

従来の交通流計測システムは超音波センサを用いた車両検知信号を基に、基本的な交通流データとして、次の量を算出している。

- 交通量 : 単位時間の車両通過台数
- 平均速度 : 単位時間に通過した車両の速度の平均値
- 時間占有率 : 単位時間内に道路上の一地点が車両によって占有された時間の割合

これに対して、テレビカメラからの空間的情報入力の画像処理による、複数レーンに対する交通流データ計測、渋滞状況が分かる空間占有率 (単位距離中で車両によって占有されている距離の割合)、事故発生等の突発事象の検知、状況自動監視が可能な総合的かつ高度化した交通流計測システムが注目されている。

こうした動向の技術的背景として、カメラやコンピュータの高性能低価格化と画像認識アルゴリズム研究の進展がある。すなわち、テレビカメラで撮影した動画を高速に処理するコンピュータシステムの開発や、天候気象等の環境変化や交通状況の変化に柔軟に対応可能なロバストな画像認識アルゴリズムの研究により、基本的な交通流データのほかに、先に述べた従来以上の木目細かい交通情報の計測の可能性が生まれてきている。

本報ではこれらを実現するキー技術として、高速動画画像処理が

可能となる並列処理アーキテクチャ、並列処理ソフトウェア、及び各種画像変動外乱に対応可能な画像処理ソフトウェアについて説明し、現状での具体的画像データを用いた性能評価について報告する。

2. システム構成

画像処理による交通流計測を実現するため、次の3台の計算機を接続したシステムを構築した。

- 画像処理機
- データ交換機
- データ処理機

システムの全体構成を図1に示す。

画像処理機は、カメラインタフェースから入力される動画をリアルタイムで処理し、通過する車両の台数、個々の速度、空間占有率を計測する。計測結果を順次データ交換機に送信すると同時に、入力動画画像と計測結果を重ね合わせた映像をモニタへ出力し表示させる。

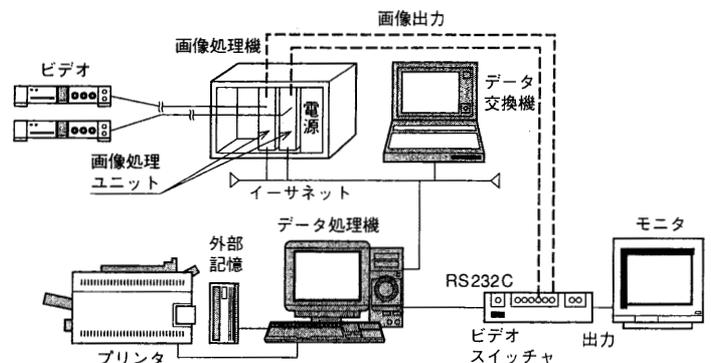


図1 システム構成 交通流計測のシステム構成を示す。
System configuration

*1 高砂研究所電子技術研究室

*2 エレクトロニクス技術部システム
技術開発センター主務

*3 エレクトロニクス技術部システム
技術開発センター

*4 電子・宇宙技術部料金システム開発課

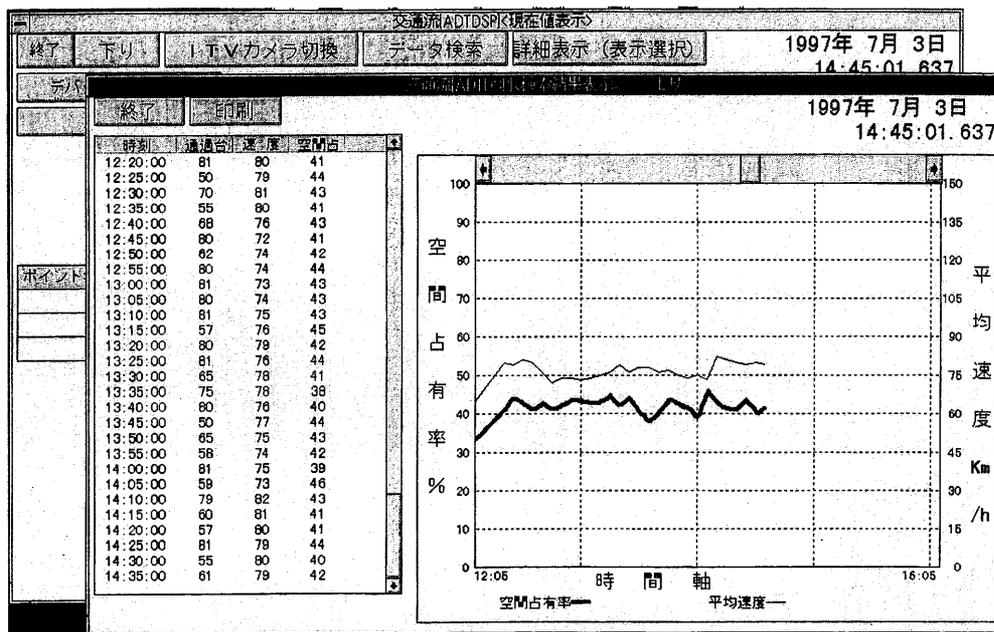


図2 データ処理機の結果画面例 データ処理機が通過台数及び速度計測結果を5 minごとに集計し、平均速度と空間占有率を表示している。
Example of result data display

データ交換機は、計測結果を保管する。画像処理機から受信した計測結果を保管のための形式に変換し、ハードディスクに記録する。

データ処理機は、計測結果のデータベース機能を提供する。データ交換機に記録された計測結果を一定時間ごとに取込み、データベースを更新する。オペレータは、このデータベースを用い計測結果を様々な角度から調べることができ、交通流の現状や変動の傾向を的確に把握することができる。これを基にしてオペレータは交通流の状況を予測し、高速道路の入口規制等の判断を下し適切に交通流を制御するといったことが可能となる。

図2にデータ処理機の表示例を示す。本例では、過去75 minの計測結果について5 minごとに集計し、平均速度及び空間占有率を算出している。

3. 画像処理機

3.1 リアルタイム動画像処理

監視カメラの画像から道路上を走行している車両を識別するためには、時々刻々変化する画像に対する処理をリアルタイムで実行する動画像処理が必要である。

動画像処理装置に求められる演算としては、(1)入力画像と背景画像から画像が変化する領域やその相関値の算出、(2)連続する2枚の画像を使った移動ベクトルの算出、(3)それぞれの結果を基に移動物体を含む領域の決定や速度の算出、等が挙げられる。

これまでの画像処理装置は、専用の画像処理LSIをパイプライン状に接続したもので、主に画像フィルタ(平滑化やエッジ強調)等の単純な前処理の高速化に適している⁽¹⁾。しかし移動物体の検出やその移動速度を求めるような複雑な処理は、画像をはん用プロセッサに転送して処理させる以外に方法がなかった。このためリアルタイム性確保が不可能であった。

従来、はん用プロセッサに行わせた演算に対し、特殊なLSIを開発すれば速度の問題は解決できそうだが、コストも高く、演算内容が固定化されてしまう。そこでソフトウェアで処理内容が変更でき、かつ高性能な動画像処理装置の開発が求められていた。

3.2 ハードウェア

3.2.1 特徴

画像処理機のハードウェアの特徴は、従来のパイプライン方式と複数のDSP(Digital Signal Processor)による並列処理方式を統合した点にある。これにより単純な前処理は専用のハードウェアで高速処理し、より複雑でソフトウェア処理が必要となる部分は、演算負荷を複数DSPに分散させ並列処理することにより処理時間を短縮できる。

3.2.2 構成

画像処理機は、カメラ、はん用CPUボードと今回開発した動画像処理ボードから構成される(図3参照)。動画像処理ボードはベースボードと種々のモジュールから構成される。基本システムでは様々なニーズに適用できるように、並列DSPモジュール、空間フィルタモジュール、画像入出力モジュールの3つのモジュールを1枚のベースボードに搭載して利用した。ベースボードを追加すれば多数のモジュールを用いた大規模な動画像処理システムの構築も可能である。

(1) 画像入出力モジュール

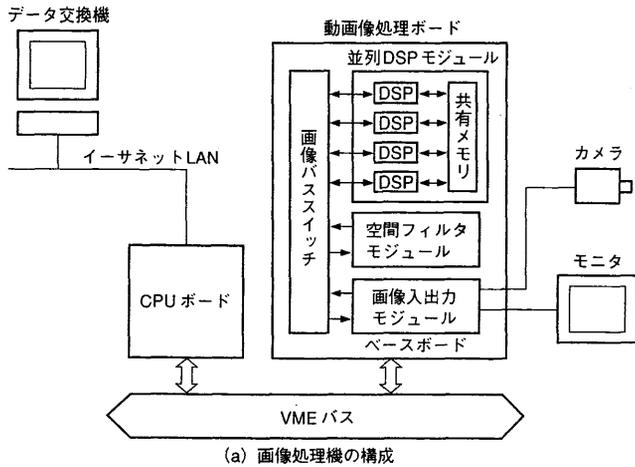
ビデオ入出力インタフェースと画像メモリから構成される。ビデオ信号に合わせて1sに30フレームの画像を順次640×480画素のデジタルデータとして画像メモリに取込むと同時に、処理時間に合わせて他のモジュールに出力する。

(2) 空間フィルタモジュール

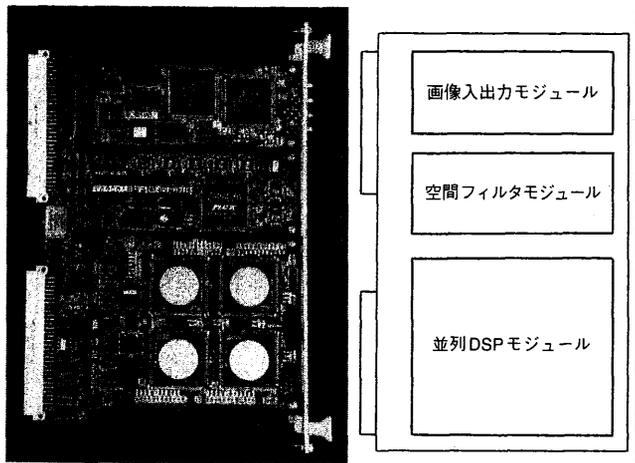
他のモジュールから入力される画像に対し順次空間フィルタ演算を行い出力する。フィルタのサイズは従来の3×3画素に対し最大7×7画素と約5倍の大きさである。また動作周波数は40MHzで、640×480画素の画像1フレームの空間フィルタ処理を1/30sに4回以上実行することができる。

(3) 並列DSPモジュール

4つのDSPと共有メモリから構成され、動画像処理を協調して行う。DSPの計算速度は1台当り120FLOPSと高速で、4台で480MFLOPSとなる。共有メモリとDSP間の転送速度は160Mbyte/sで、これは1フレームを640×480画素として1sに



(a) 画像処理機の構成



(b) 動画処理ボード (基本構成)

図3 画像処理機の構成 並列 DSP モジュール, 空間フィルタモジュール, 画像入出力モジュールを搭載した動画処理ボードと CPU ボードから構成される。
Image processing system

520 フレーム分に相当する。また入力 4, 出力 4 の画像ポートが 4 つの DSP に直接接続されており, 各ポート 40 Mbyte/s で転送が可能である。

(4) ベースボード

ベースボードはシステムの核となるボードで, 最大 4 つの画像モジュールまで搭載することができる。画像モジュール間を接続するための画像バススイッチを備えており, 任意の画像モジュール間で 40 Mbyte/s の高速画像転送が可能である。さらに接続はソフトウェアにより制御でき, 処理アルゴリズムに応じてシステム構成を動的に変更できる。

3.3 ソフトウェア

3.3.1 画像タスクライブラリ

動画処理のアプリケーションを効率的に開発するための画像タスクライブラリを開発した (図4 参照)。これまでシステムの性能を最大限発揮させるには DSP や画像モジュール間の通信や同期処理のためにソフトウェアによる低レベルの実行制御が不可欠であった。そこで開発したライブラリでは, 基本的な画像処理アルゴリズムをタスクとしてまとめ, タスク間の実行制御を行うタスクスケジューラを用意した。これによりタスクの組合せを指定するだけで一連の動画処理アプリケーションを構築することができる。

画像タスクライブラリでは, パイプライン処理に適したパイプラインタスクとそれ以外の非パイプラインタスクの 2 種類を開発

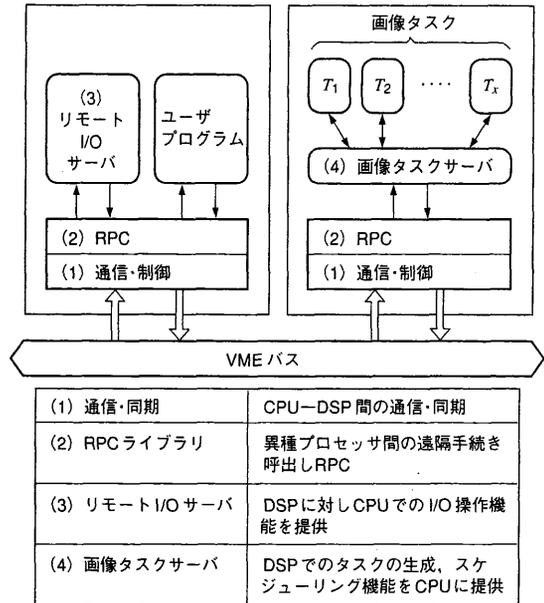


図4 並列画像処理ソフトウェアの構成 画像タスクを組合せて動画処理アプリケーションの効率的な開発が可能。CPU と DSP 間で RPC が利用可能である。
Structure of software library for real-time vision system

した。パイプラインタスクは, 画像ポートから直接データを DSP に取込みながら処理を行い, 結果を直接画像ポートに出力するタスクである。空間フィルタモジュールなどの他のハードウェアモジュールと DSP を組合せてパイプラインを構成することが可能である。非パイプラインタスクは, いったん共有メモリ上に取込まれた画像に対し処理を行う。複数の DSP に異なる領域を処理させることにより, 処理時間を短縮することができる。

3.3.2 RPC ライブラリ

アプリケーションによっては, DSP と CPU 間で複雑な制御が必要になる場合がある。そこで CPU が DSP のサブルーチンを直接呼出したり, またその逆を行うための RCP (Remote Procedure Call) ライブラリを開発した。

タスクの生成やスケジューラの起動を行う画像タスクサーバや DSP から CPU の I/O をアクセスするためのリモート I/O サーバを RPC を利用して実装している。

4. 計測処理アルゴリズム

画像処理による交通流計測の特徴は, アクティブな照明ができない屋外シーンの撮像であるため, 太陽光外乱, 気象条件による光外乱や車両通過によるカメラぶれ等の影響を受けやすいこと, 出現事象のシナリオが予知不可能なことである。したがって, これらの種々の状況変化に対してロバストな画像処理手法を開発する必要がある。空間的情報の連続的の入力により従来の計測手法では困難であった各種特徴量の計測の可能性が期待できる。ここでは, 車両台数及び速度計測について基本アルゴリズムを前記画像処理機に実装し性能を評価した。

4.1 台数計測処理

車両を検知し台数を計測するアルゴリズムを以下に示す。

- (1) 画像中に台数計測用の車両検出領域を設定する (図5 下部の長方形枠)。
- (2) 車両前面は水平エッジが多いことを利用して領域内を微分フィルタをかけて車両を抽出する。

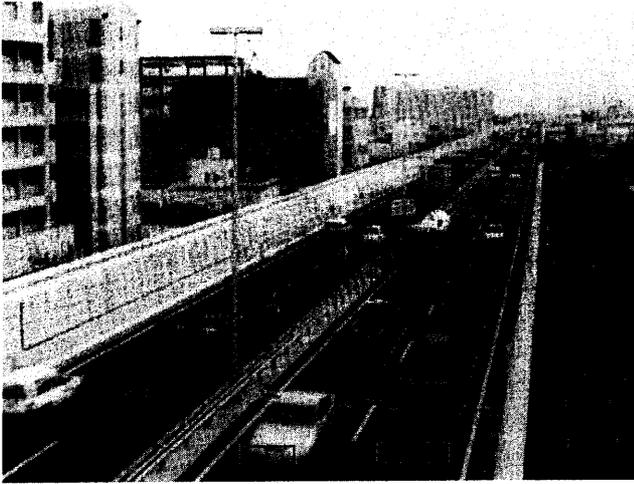


図5 検知, 追跡領域 走行車線, 追越し車線に設定した車両検知領域と追跡領域を示す。追越し車線の検知領域において車両を検知している。
Region of detection and tracking of moving vehicles

(3) 領域内の車両検知あり・検知なしの時系列データから車両台数を計測する。

図5に台数計測の検知領域において車両を検知した画像を示す。

4.2 速度計測処理

車両を検知・追跡し速度を計測するアルゴリズムを以下に示す。

- (1) 車両を検知する領域と追跡する領域を設定する(追跡領域は図5中央部の台形枠, 検知領域はその最上部に設定)。
- (2) 台数計測と同様のアルゴリズムを用いて車両を検知する。
- (3) 検知した領域をメモリに記憶する(テンプレート登録)。
- (4) 最新画像に対して, 車両の運動方向を考慮した探索範囲内においてテンプレートマッチング処理により車両追跡を行う。
- (5) 追跡開始位置と終了位置から走行距離を計算し, 追跡に要したフレーム数を用いて車両速度を算出する。

4.3 処理結果例

計測中の3時刻 t , $t+\Delta t$, $t+2\Delta t$ での画像処理結果をそれぞれ図6に示す。

図6(a)は, 追越し車線において速度計測の車両検知領域で乗用車を検知したところであり, 車両前面部を矩(く)形枠で囲っている。走行車線では別の乗用車を追跡中であり, 車両前面部の追跡用テンプレート領域を矩形枠で囲っている。

図6(b)は, 図6(a)の追越し車線で検知した車両を追跡中であることと, 走行車線での追跡を終了し, その速度結果とを表示している。図6(c)は, 走行車線での乗用車の台数計測を終了し, 通過台数を1台インクリメントして表示している。

2hの画像を対象とした実験の結果, 車両通過台数は誤差5%以内, 速度標準偏差10%以内を得た。

5. ま と め

都市高速道路における交通流の最適制御を行うには, 交通情報を的確に把握し計測するシステムが必要である。本報では監視カメラの画像から道路上を走行する車両を識別し, 走行速度や通行台数, 空間占有率を計測する交通流計測システムについて述べた。パイプライン方式と並列処理方式を融合したリアルタイム動画処理装置により, 車両前面の水平エッジを利用する台数計測処理とテンプレートマッチングによる車両追跡処理を実現した。

現在, 車両分離アルゴリズムを強化し計測精度の向上を図って



(a)時刻 t での処理画面



(b)時刻 $t+\Delta t$ での処理画面



(c)時刻 $t+2\Delta t$ での処理画面

図6 計測結果表示画面 検知, 追跡した車両を矩形枠で囲み通過車両台数と車両速度を車線ごとに表示している。
Result of traffic measuring

いる。今後は異常走行車の発見による危険予知, 車種の判別, 事故等の突発事象の検知等のニーズに取組むとともに, 本システムの実用化を進める。

参考文献

- (1) 飯田ほか, 高速画像処理装置の開発と応用, 三菱重工技報 Vol.27 No.1 (1990) p.76~80