

論文の内容の要旨

論文題目 局所相関演算に基づく大量の運動情報を用いた
運動視処理の研究

氏 名 森田 俊彦

第1章 序論

本研究は、環境安定性の高い実用的な視覚処理の実現を目指したものである。様々な環境条件下で安定に動作する視覚処理を実現するためには、画像に含まれる膨大な情報を余すことなく扱う必要があり、本質的に多くの処理量が必要となる。過去の、特に計算機性能が低かった時代の視覚研究では、処理量を早急に減らそうとするあまり、必要な情報をも切り捨ててしまい、その結果安定性を失うことが多かった。安定性獲得のためには処理量を節約すべきでなく、逆に、処理量をかければ、比較的単純なアルゴリズムであっても高い機能と安定性を実現することが可能である。処理量の壁を取り払うためには、並列ハードウェアの活用が有効であり、ハードウェアとアルゴリズムを同時にかつ統一的に扱う視点が重要である。本研究では、視覚処理ハードウェアによって供給される大量の前処理結果を活用することによって、様々な状況下で安定に動作する高度な視覚処理を、特に「動き」を扱う運動視に関して実現することを目的とする。

視覚の機能は、形態視と運動視とに大別できる。形態視は、静止画に含まれる形や色の情報から、主として物体が何であるかを認識する視覚機能である。これに対して本研究で扱う運動視は、動画像に含まれる動きの情報を処理する視覚機能である。運動視には、(1) 移動体検知、(2) 移動体追尾、(3) 運動立体視の3つの機能がある。(1) と (2) は動く物体を見つけて追いかける2次元的な処理機能であり、(3) は動きから立体感を得る3次元処理である。本研究では、運動情報を抽出するための基本演算として局所相関演算に着目し、まず、第2章で、局所相関演算を高速に

実行する専用 LSI の設計と実現を行う。次に第 3 章では、局所運動情報から (1) 移動体検知と (2) 移動体追尾を行うアルゴリズムを構築する。第 4 章では、(3) 運動立体視の機能に関して、局所運動情報から物体の 3 次元的な運動と形状とを復元するアルゴリズムを示す。最後に第 5 章では、実社会応用への運動視処理の適用を図る。

第 2 章 局所相関演算プロセッサ ACP の設計と実現

本章では、大量の運動情報を高速に抽出する運動視用の視覚処理プロセッサを実現することを目的とする。運動情報を抽出する基本演算として局所相関演算に着目し、これを高速に実行する専用 LSI、局所相関演算プロセッサ ACP (Advanced Correlation Processor) を設計・実現する。

運動視においては、局所的な動きを抽出する処理と、移動物体全体あるいは画面全体の動きを求める統合処理とが必要となる。両者を一定の回路規模で処理するため、前回の相関演算結果に新たな相関演算結果を累積する累積相関法を提案する。累積相関法によれば、様々な大きさ・配置の局所画像に対する相関演算が可能となり、柔軟な運動情報の抽出が可能となる。

ACP の相関演算回路アーキテクチャとして、メモリ直結型 2 次元シストリックアレイアーキテクチャを提案する。これは 64 の要素演算器を 2 次元に配置しパイプライン動作させるアーキテクチャであり、特に画像メモリを直結し同期動作させる点に特徴がある。逆に、ホスト CPU からのコマンド入出力については完全非同期化を図ることで、スループットの高いプロセッサシステムを実現し、33ms 間に 640 回の相関演算を実行できる高い性能を示した。

ACP をさらに発展させ、CPU を内蔵した ACP II を設計し、33ms 間に 2390 回の相関演算を実行できる極めて高い性能を実現した。ACP II には正規化相関処理も搭載し、予め記憶した画像パターンとの高速照合を可能とした。

局所相関演算は並列動作に適した演算であり、汎用 CPU や DSP で処理するより専用プロセッサを用いた方が演算効率が高い。事実、ACP は汎用 CPU に対して 16.4 倍、ACP II は 26.6 倍の性能を示した。33ms 間に 2390 回の相関演算を実行できるプロセッサは他に類をみない。

第 3 章 局所相関演算に基づく移動体の検知と追尾

本章では、局所相関演算に基づく大量の運動情報を用いて移動物体を検知・追尾するアルゴリズムを示す。実応用場面として、侵入者を検知・追尾する侵入監視システムを想定し、ノイズに左右されない安定な検知、広い奥行き範囲での検知、対象の変形等に左右されない安定な追尾、動カメラによる追尾、自動ズームなど、実場面で要求される高い機能と安定性の実現を目指す。

移動体を検知・追尾するアルゴリズムとして、背景差分法、フレーム間差分法、あるいは勾配法に基づく運動情報を用いる方法などが提案されているが、前述の機能と安定性を全て実現したものはない。本研究では、移動体の検知から追尾に至る一連の処理を局所相関演算を用いて統一的に実現し、前章の ACP 上で動作させることで処理量の壁を取り払いながら、大量の局所運動情報を積分的に活用することによって、目的とする機能と安定性を実現する。

まず、画面全体に渡って稠密に求めた局所運動に基づく移動体検知法と、その局所運動を局所相関演算に基づいて抽出する基本オペレータ (ゼロ比較法) とを提案し、昼夜に渡る安定な移動

体検知を実現した。ゼロ比較法は移動する直線パターンを抽出できるため、画像に含まれる全ての運動情報を抽出することが可能である。次に、予備追跡を行って動きの等速性を調べるアルゴリズムを提案し、波や木の葉などの自然界のノイズに反応し難い移動体検知法を確立した。移動体追尾については、移動物体の占める領域を局所運動に基づいて動的に決定する適応追尾法を提案し、変形・拡縮・部分的隠れに強い安定な追尾法を実現した。さらに、カメラのパン・チルト・ズームによって生じる背景運動を補償して、カメラを連動させた追尾処理を実現し、特にズーム中の追尾を可能とした。

一連のアルゴリズムを ACP 上に実装し、実シーンに適用できる高い安定性を有することを確認した。必要な処理をできる限り省略せずに実行した結果、一周期当り 8810 回もの局所相関演算が必要になったが、ハードウェア (ACP) との整合性を考えてアルゴリズムを構成した結果、6 フレーム周期の実時間処理を可能とし、実用性の高い運動視処理を実現した。動カメラによる実時間追尾と自動ズーム機能を有しながら、実場面に適用できる高い安定性をも備えた移動物体の検知・追尾処理を実現した例は本研究が初めてである。

第 4 章 逐次型因子分解法による運動と形状の 3 次元復元

本章では、運動立体視の機能に着目し、多数の画像特徴を局所相関演算によって追跡した上で、行列の因子分解を利用して物体 (あるいはカメラの) 運動と物体形状とを 3 次元的に復元する手法を示す。本手法は、多数の特徴点追跡結果を用いることから、前処理の計算量は多い。しかし、一度追跡結果が得られれば、運動や形状に対する知識や条件を必要とせず、極めて安定な復元結果を得ることができることから、処理量を厭わないことで安定性を獲得する一例と言える。

本研究では、Tomasi らによって考案されたバッチ型の因子分解法を逐次形式に改良した逐次型因子分解法を提案する。逐次型因子分解法は、あるフレームでの入力画像を得ると即座にその時点での 3 次元復元結果を得ることができる。過去の観測結果を共分散型行列に保持することで、フレーム毎の更新を容易にした。共分散型行列の大きさは特徴点数にのみ依存し、時間経過によって増大することがない。因子分解法で必要となる特異値分解演算を、上位の特異値のみを算出する再帰演算で置き換えることで、フレーム毎に 3 次元情報を更新することに成功した。

逐次型因子分解法を、ACP による特徴点追尾処理と組み合わせることによって、実時間 (33ms 周期) での安定な 3 次元復元が可能であることを確認した。

第 5 章 実社会応用への運動視処理の適用

本章では、運動視処理を実社会応用に適用することを目的とする。運動視の応用が期待される分野として、監視分野と道路交通分野がある。監視分野について、まず侵入監視システムと災害監視システムへの適用を図る。侵入監視システムは、侵入禁止区域内への人や車両の侵入を自動的に検知し、その挙動を追尾・観察するシステムである。具体応用として、浄水場監視システムと埠頭監視システムを取り上げ、3 章で示した移動体検知・追尾アルゴリズムを適用した結果を示す。災害監視システムは、土砂の 2 次崩落を自動検知するものである。3 章の移動体検知アルゴリズムを適用し、評価実験を行った結果を示す。一方、道路交通の分野に関して、交通監視シ

システムと車種判別システムへの適用結果を示す。交通監視システムは、通過車両を検知し、正規化相関演算によってナンバープレートの文字を認識するシステムである。車種判別システムは、通過車両を検知した後、車長と前輪径から乗用車・普通貨物車・大型貨物車の3種を識別するシステムである。

以上の適用結果は、運動視処理の応用範囲が広く、実社会ニーズに応える上で、その研究意義が高いことを示している。

第6章 結論

本研究では、局所相関演算に基づく大量の運動情報を用いることで、様々な状況下で安定に動作する高度な運動視処理を実現した。また、本処理に基づく実用システムを構築し、実社会応用への適用を達成した。

本研究は、最新の半導体技術の元で最適なプロセッサ設計を行えば、過去多くの視覚処理研究者を悩まし続けてきた処理量の壁を取り払うことが可能であり、そうすることが従来達成し得なかった高い機能と安定性の実現に結び付くことを示したものである。本アプローチが、高度で実用的な視覚処理の実現に向けた一助となることを期待したい。