

科学研究費助成事業（科学研究費補助金）研究成果報告書

平成25年6月7日現在

機関番号：12605

研究種目：基盤研究（C）

研究期間：2010～2012

課題番号：22500149

 研究課題名（和文） 一様単純演算の多数回の組合せに基づくトラッキング手法
 とハードウェア実現法の研究

 研究課題名（英文） Research of the tracking algorithm based on a large number of uniform
 simple operation, and the hardware realization method

研究代表者

北澤 仁志（KITAZAWA HITOSHI）

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号：60345329

研究成果の概要（和文）：本研究では動画の解析のため、大きな動きに対応でき、かつ、移動物体の各部の詳細な動きが分かるようなトラッキング手法の確立、および、これを実時間で実行するハードウェアの実現を目指した。その結果、形状の恒常性や連続性などの形状特徴を考慮することによるトラッキングおよびテンプレートサーチの高性能化が実現できることを明らかにした。また、コスト行列上でのマッチング位置の制約によって形状が考慮できることを示した。更に、ハードウェアでの高速処理に適したブロック類似度の計算方法を提案し、FPGAによりトラッキングを高速に処理するためのハードウェアのアーキテクチャについて特許を出願した。

研究成果の概要（英文）：

This research aimed to establish a tracking algorithm which can respond to a big motion and a detailed motion of each part of a moving object can be analyzed. Moreover, it is also aimed to realize a hardware which performs this in real time for the analysis of video. As a result, a highly efficient tracking algorithm was realized by taking into consideration the structure features such as the constancy of moving objects and the continuity. Furthermore, the calculation method of block feature similarity by the high-speed parallel processing hardware was proposed, and it applied for the patent.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
2010年度	1,800,000	540,000	2,340,000
2011年度	1,100,000	330,000	1,430,000
2012年度	500,000	150,000	650,000
年度			
年度			
総計	3,400,000	1,020,000	4,420,000

研究分野：画像情報工学

科研費の分科・細目：情報学・知能情報処理・知能ロボティクス

キーワード：画像情報処理・1次割当問題

1. 研究開始当初の背景

(1) 動画から移動物体を抽出する手法として背景差分法があるが、背景差分は各ピクセルが背景か物体かを区別するだけで、移動物体各部の詳細な動きを辿るものではなく、行

動の解析には不十分であった。そのため近年は、KLTやSIFTなどの特徴点を求め、特徴点のフレーム間の対応から得られるオプティカルフローを用いる方法が広く研究されている。しかしながら、物体移動に伴う照明

条件や視線方向の変化、背景や物体の隠蔽や再出現、3次元的な回転や動きなどにより、複数のフレームにわたって適切な“対応点”が得られることは少なく、行動の識別などに十分な機能が実現されるには至っていない。提案者らはピクセルでなく小領域（＝ブロック）の対応を用いれば上記の問題が軽減できること、ブロック間の対応はほぼ排他的になり1次割当問題として解くことができること、複数のフレームを同時に扱うことで物体同士の隠蔽や再出現があっても途切れることなく軌跡の追跡が継続できることを示した。

(2) 人が物体を見る場合には、RGB制約だけでなく、“形状制約”に強く影響されていると考えられる。例えば図1に示すように箱の一部分Aが光源の光を鏡面反射した場合、前のフレームには類似したRGB値を持つところは無いが、Aの部分に他の物体が重なったり、箱に穴があいたとは考えない。Aの部分も箱の一部分であり、RGB値が異なるのは照明条件の変化のためと推測する。これは、“形状は急激に変化しない”との仮定が大きく影響していると考えられる。更に、最初に物体を把握するのはRGB値に基づくが、一旦形状を把握した後はむしろ形状を保つ方に重きが置かれると推測される。形状が急激に変化しないという条件も1次割当問題に帰着させることができる。RGB制約に関する割当問題と形状制約に関する割当問題の双方を解くことでRGB値に対しても形状に対しても矛盾の無いブロックレベルのオプティカルフローを求めることができる。2つの割当問題を解く方法としては、RGB制約と形状制約を交互に繰返し解く方法と、両方を結合した1つの割当問題として解く方法が考えられる。



図1. 形状情報の必要性

(3) 前述した繰返し手法は行列のサイズ数千～数万程度の大規模行列による1次割当問題を多数回解く必要があり、多くの処理時間を要する。そこで、saving-regretと呼ばれる近似解法を適用する。これは、現在フレームの各ブロックに対して最もコストの小さい過去フレームのブロックを選び、次に2番目に

小さいコストとの差を求める。これは最小コストのブロックが選ばなかったときの損失を表し、これが大きい順に対応を決定する。この計算は単純な大小比較と減算しか用いていない。また、全ブロックの並列処理が可能で極めて高い並列度を持つことから、人の目を超える高速処理を実現できる可能性がある。本研究ではFPGAボードで試験回路を実現し、並列度やデータ転送速度と実効速度との関係を明らかにする。なお、厳密解と近似解の相異は2～3%であること、この値は詳細トラッキングの精度には殆ど影響しないことをソフトウェア・シミュレーションで確認している。

2. 研究の目的

動画像の解析では移動物体の抽出・追跡が基本技術となる。特に、移動物体の各部の詳細な動きが分かれば、人物の行動解析、ロボットビジョン、ITSなど種々の応用に有効であるが、まだ高精度で実時間処理が可能な手法は実現されていない。本研究ではブロックや特徴点がフレーム間でほぼ排他的に対応することに着目して、排他的割当に基づく詳細な移動物体追跡手法を実現する。また、色情報に基づく対応と形状情報に基づく対応を繰返し解くことで環境変動に頑健な追跡アルゴリズムを実現する。この手法は多大な計算量を要するが、一様で単純な演算を多数回繰返すことで近似的に計算でき、これを高速に実行するハードウェアの実現を目指す。

3. 研究の方法

(1) まずRGB制約と形状制約を考慮する1次割当問題について、繰返し解法での収束条件と必要な繰返し回数を明らかにする。また、1つに統合した割当問題として解く方法を試行し、解の品質や計算時間などの得失を明らかにする。実シーンの解析を通して性能や問題点を明らかにする。

(2) 次に、提案手法が比較的簡単な回路で近似計算でき、かつ、高い並列度を持つことを利用して、FPGAによるハードウェアを実現する。この中で、FPGAの規模、ホストPCとボード間の転送速度を考慮して、並列度と実行時間の関係、ハードウェア規模に対応した最適な並列度を求める。

(3) 移動カメラ画像に適用し、性能や改善点を明らかにする。

4. 研究成果

(1) 形状を考慮した詳細トラッキングに関し、カメラ入力から導かれるRGB制約と、物体の形状に基づくtop-down的な形状制約の両方を満たすブロック間の最適対応を求め

るため、図2のHSVヒストグラムに基づく割当問題と、図3の前フレームからの形状の変化を最小化する割当問題の2つを繰り返して解く方法を提案した(論文③, 学会発表⑦)。

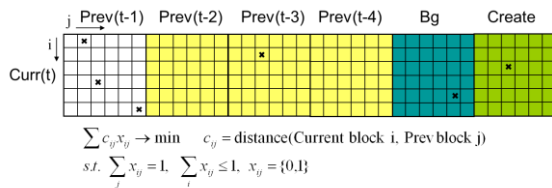


図2. 1次割当問題による可視特徴のブロック間対応検出

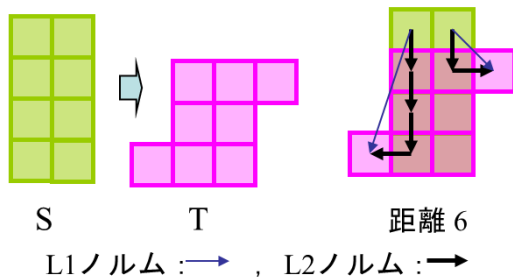


図3. 1次割当による形状制約の最適対応解法

(2) 可視特徴制約と形状制約の両方を満たすブロック間の最適対応を求めることにより、図4のように激しい日照変動や手振れのもとでも頑健なトラッキングが実現できることを示した。2つの制約を同時に満たす解を求める問題はNP-hardであるため、GAを用いて近似解を求めた(論文②)。

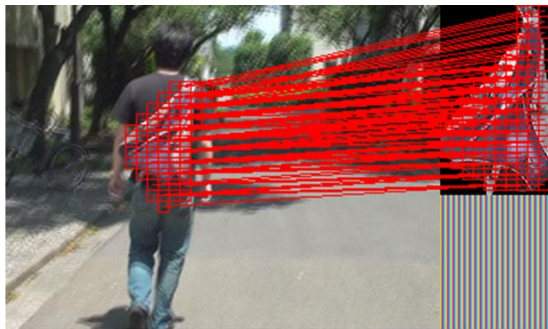


図4 激しい環境変動下でのトラッキング

(3) 形状の制約としてブロック間の相対距離の変化量の上限を定めたり、形状の連続性を扱うため、線形計画問題に置き換え、厳密な形状条件の下での解を求める方法を提案し、連続条件が形状の恒常性に大きな影響を与えていることを明らかにした(学会発表③)。

(4) 形状の恒常性や連続性などの形状特徴を考慮することによる頑健なトラッキングを実現した(論文①)。

(5) 物体の形状が急激に変化しないなら、図5に示すように、コスト行列上のマッチング位置はほぼ直線となることを見出した。またこれを用いた高速で頑健なトラッキングの実験を進めた。

視点回転

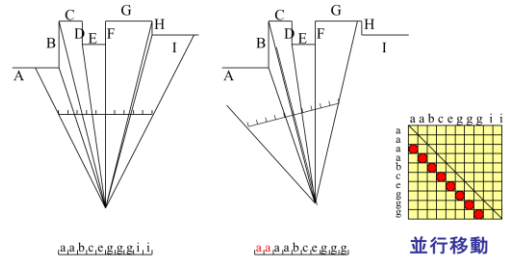


図5 マッチング位置制約に基づく形状恒常性の考慮

(6) 高速処理ハードウェアの実現方法に關し、各ブロックを8×8ピクセルの固定形状とすると、HSVヒストグラムおよびHOG特徴量を用いた、ハード化に適したブロック間類似度計算手法を明らかにした(学会発表⑤)。

(7) 形状が急激に変化しない仮定があればコスト最小化の制約は、ハードウェアで実現し易いように緩和しても良いことを示し、saving-regret 近似とコストの絶対値を組合せて、単独手法より適切な解を得る方法を提案した(学会発表⑥)。

(8) ハードウェア構成法として、図6のように、類似度計算の専用回路とプロセッサ型の制御回路を用いた構成法を考案した。SIMD型の並列処理ハードウェアでは、隣接モジュールとの通信に多くの配線資源が必要になるが、本研究では図7,8のように、この資源を少量に留め、かつ、メモリアクセスの競合を避ける“同期シフトデータ伝送”を提案した。演算器の性能とデータ量から導かれる条件を満たせば、モジュール間を直接接続する場合に比べて性能は低下しない(特許出願)。

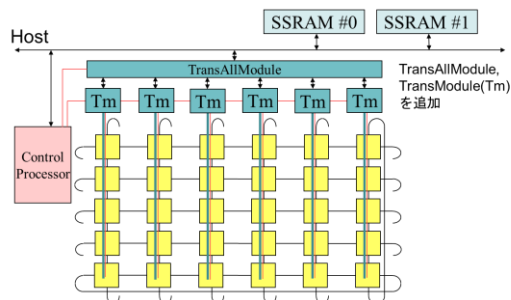


図6 SIMD型並列トラッキングハードウェアの構成

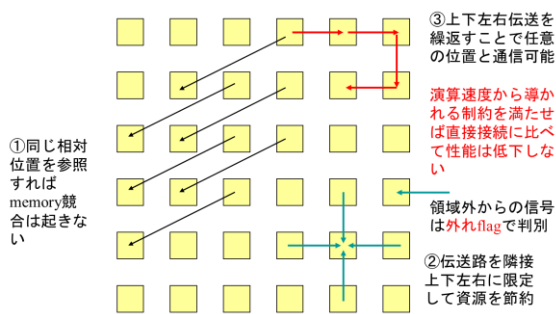


図7 同期シフトデータ転送の原理

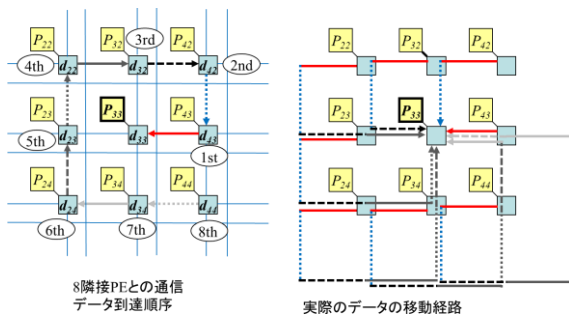


図8 同期シフトデータ転送の例

(9) 1次割当問題の Saving-Regret 近似と同期シフトデータ伝送に基づくトラッキングハードウェアを FPGA 上に実現し、100frame/sec 近い速度が得られることを確認した (学会発表④)。

(10) ハードウェアでの高速処理に適したブロック特徴量を各種試行した結果、HSV および HOG 特徴量の荷重和、および、コスト行列に形状情報を取入れた“HOG-Context”を提案した (学会発表①, ②)。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 3 件)

① Zhu Li, Yoichi Tomioka, and Hitoshi Kitazawa, Extraction and Tracking Moving Objects in Detail Considering Visual Feature Constraint and Structure Constraint, IEICE Trans. on Information and Systems, 査読有, Vol.E96-D, No.5, 2013, pp.1171-1181

② Zhu Li, Kojiro Tomotsune, Yoichi Tomioka, and Hitoshi Kitazawa, Template Matching Method based on Visual Feature Constraint and Structure Constraint, IEICE Trans. on Information and Systems, 査読有, Vol.E95-D, No.8, 2012, pp.2105-2115.

③ Zhu Li, Kenichi Yabuta and Hitoshi Kitazawa, Exclusive Block Matching for Moving Object Extraction and Tracking, IEICE Trans. on Information and Systems, 査読有, Vol.E93-D,

No.5, 2010, pp. 1263-1271

[学会発表] (計 7 件)

① 露木明宣, 富岡洋一, 北澤仁志, 排他的ブロックマッチングのハード実行に適したブロック特徴量, 2013年電子情報通信学会総合大会, 2013年03月19日~03月22日, 岐阜大学.

② 露木明宣, 富岡洋一, 北澤仁志, ハードウェア構成に適した HOG 特徴量計算手法と回路構成, 第 11 回情報科学技術フォーラム, 2012年09月04日~2012年09月06日, 法政大学.

③ 友常浩二郎, 李竹, 富岡洋一, 北澤仁志, 厳密な形状条件を考慮した テンプレートマッチング, 電子情報通信学会東京支部学生研究発表会, 2012年3月3日, 東海大学.

④ 内苑孝俊, 大作一矢, 露木明宣, Zhu Li, 富岡洋一, 北澤仁志, 同期シフトデータ伝送による2次元アレイ型トラッキングハードウェア, 電子情報通信学会 VLSI 設計技術研究会, 2012年1月25日, 慶応大学.

⑤ 大作一矢, 富岡洋一, 北澤仁志, ブロックフロー抽出のための類似度計算ハードウェア, 情報処理学会 第73回全国大会, 2011年3月4日, 東京工業大学.

⑥ 内苑孝俊, 富岡洋一, 北澤仁志, 1次割当問題の近似計算に基づくブロックフロー計算ハードウェア, 情報処理学会 第73回全国大会, 2011年3月4日, 東京工業大学.

⑦ Zhu Li, Yoichi Tomioka and Hitoshi Kitazawa, Motion Estimation based on Iterative Color Matching and Structure Matching, IEEE 2010 Asia Pacific Conference on Circuits and Systems, 8 Dec. 2010, Kuala Lumpur, Malaysia.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: データ処理装置

発明者: 北澤仁志, 富岡洋一

権利者: 東京農工大学

種類: 特許

番号: 特願 2012-155823

出願年月日: 2012年07月11日

国内外の別: 国内

[その他]

<http://www.ktlab.ei.tuat.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

北澤 仁志 (KITAZAWA HITOSHI)

東京農工大学・大学院工学研究院・教授

研究者番号: 60345329