

平成 26 年 5 月 26 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23500201

研究課題名(和文)多眼ステレオ法を用いた高精度シーンフローの並列計算法に関する研究

研究課題名(英文)Parallel computation of high-accuracy scene flow based on multiview stereo

研究代表者

阿部 亨 (ABE, TORU)

東北大学・サイバーサイエンスセンター・准教授

研究者番号：80222652

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,900,000円、(間接経費) 1,170,000円

研究成果の概要(和文)：シーンフローは、複数の異なる位置から撮影した時系列画像を用い、実空間での対象の動きを3次元のベクトル場として推定・表現したものである。近年、CG、VR、運動解析など様々な分野での利用を目的として、高精度なシーンフローを高速に求める手法の実現が強く求められている。本研究では、高精度なシーンフローを高速に求める手法の検討を行い、その成果として、ボクセルベースの多眼ステレオ法を用いてシーンフローを高精度に推定する手法、および、本シーンフロー推定手法をPCクラスタ上で効果的に並列計算する手法を開発した。また、複数のアプリケーションへ、今回開発した手法の適用を図り、その有効性を実証した。

研究成果の概要(英文)：Scene flow is 3D vector field representation of target object's motion in a real space, which can be estimated from a set of image sequences taken at different viewpoints. Recently, high-speed methods for estimating accurate scene flow are needed in widely various applications such as CG, VR, motion analysis, etc. Our research addresses this issue. As an indication of our progress, we have developed a scene flow estimation method with voxel based multiview stereo and a parallel method for performing this scene flow estimation on a PC cluster machine. Furthermore, we demonstrate the effectiveness of our developed methods through the experiments on several applications.

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・知覚情報処理・知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス 画像情報処理 多眼ステレオ シーンフロー 並列計算 ボクセルベースの手法

1. 研究開始当初の背景

シーンフローは、複数の異なる位置から撮影した時系列画像を用い、実空間での対象の動きを3次元のベクトル場として推定・表現したものである。近年、CG、VR、運動解析など様々な分野において、シーンフローを利用した手法の研究・開発が進められている。しかし、一般に、シーンフローは、複数の時系列画像の情報を基に求められるため、その計算には膨大なデータ処理が必要となる。従って、シーンフローを利用した高度な各種アプリケーションの実用化を図るために、シーンフローの利用法だけでなく、高精度なシーンフローを高速に求める手法自体の実現が強く望まれている。

シーンフロー計算の高速化に関しては、GPU (Graphics Processing Unit) 等のハードウェアを用いたアプローチが種々提案されている。しかし、高精細なシーンフローを得ようとするれば、用いる時系列画像の数や解像度、空間に対する分解能を増す必要があり、それらデータの増加に、1台のPE (Processing Element, CPUあるいはGPU等)で対応することは困難である。そのため、複数のPEを用いた並列処理により、この問題の解決を図るアプローチの重要性が益々高まってきている。

2. 研究の目的

本研究代表者らは、異なる位置から撮影した複数の画像を用い、対象の3次元形状を高精度・高速に求めるボクセルベースの多眼ステレオ法の研究を進めている。本研究では、これを時系列画像へ拡張し、「ボクセルベースの多眼ステレオ法に基づく高精度なシーンフロー推定法」、および、「提案するシーンフロー推定法をPCクラスタ上で効果的に並列計算する手法」を開発することを目指している。さらに、提案・開発されたシーンフロー推定法を複数のアプリケーションへ適用し、実用性の観点から、その効果の検証することも目的としている。

3. 研究の方法

ボクセルベースの多眼ステレオ法では、対象が存在する3次元空間にボクセルの集合を仮想的に設定し、各ボクセル  $P_i$  が対象の表面に対応するか否かの判定を行い、対象表面に対応するボクセル (境界ボクセル) を決定することで、対象の3次元形状を求めている。時系列画像の各フレームの画像集合に対してボクセルベースの多眼ステレオ法を順次適用し、フレーム  $t$  で決定された境界ボクセルを  $t+1$  で決定された境界ボクセルと対応付けることにより、物体表面上の点の3次元運動であるシーンフローを得ることができる。

各フレーム  $t$  において、境界ボクセルの判定を行うためには、ボクセル  $P_i(t)$  を各画像  $I_n(t)$  に投影した箇所  $p_{in}$  の輝度の一致度  $C_i$  から  $P_i$  が物体表面に対応する確からしさ  $E_i$  を

求めている。例えば、図1に示すように、物体表面に対応するボクセル  $P_a$  の場合、各  $p_{an}$  には、3次元空間の同一の箇所が投影されるため  $C_a$  が高くなり、 $E_a$  も大きな値となる。一方、物体表面に対応しない  $P_b$  の場合、各  $p_{bn}$  には、3次元空間の異なる箇所が投影されるため  $C_b$  が低くなり、 $E_b$  は小さな値となる。しかし、図2に示すように、一部の  $I_n(t)$  で遮蔽が生じる  $P_c$  では、単に  $C_c$  を計算し  $E_c$  を求めるだけでは、判定が正しく行われない場合がある。この問題を解決するためには、例えば  $P_c$  の場合、図3に示すように、 $P_c$  と各カメラの視点  $O_n$  を通る直線が通過するボクセルの状態を参照することで、各  $I_n(t)$  での  $P_c$  の遮蔽の有無を推定し、 $C_c$  から  $E_c$  を求める計算に反映する必要がある。本研究代表者らの提案手法では、各  $P_i$  において、他のボクセル  $P_j$  の  $E_j$  を参照し、 $E_i$  を更新する処理を反復することで、物体表面ボクセルの判定精度の向上を実現している。この反復更新の処理は、ボクセルベースの多眼ステレオ法における処理全体の中でも大きな比率を占めるため、高速化が強く望まれる部分となっている。

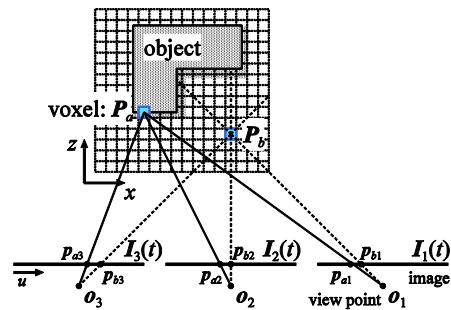


図1 境界ボクセルの判定

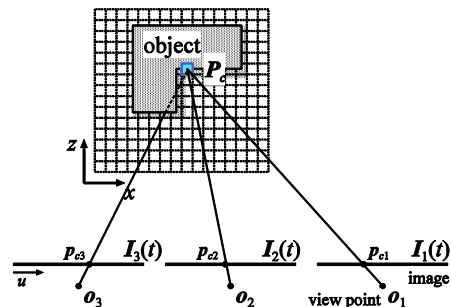


図2 一部の画像で遮蔽が生じるボクセル

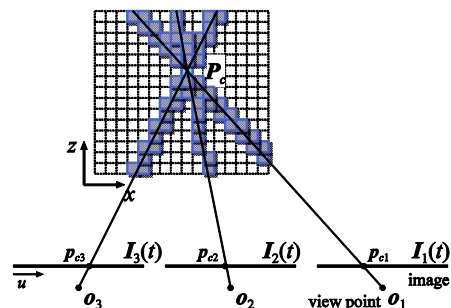


図3 他のボクセルの状態の参照

ボクセルベースの多眼ステレオ法に対しては、パイプライン処理や GPU 等を用いた並列化・高速化法が種々提案されている。しかし、詳細なシーンフローを得るために、対象とするボクセルの集合が大規模なものとなる場合、ボクセルの集合をいくつかに分割し、それぞれを各 PE に割り当てるボクセル単位の並列処理が必要となり、従来提案されている並列化・高速化法とは異なる検討が必要となる。本研究代表者は、ボクセル同士の依存関係を考慮し、ボクセルの状態を参照する際に生じる通信量が削減されるよう各 PE へ処理を割り当てることで、効率的に並列処理を行う手法を提案している。この成果を発展させ、高精度なシーンフローを高速に求める手法を実現するために、本研究では、以下の事項に関する検討を進めた。

- (1) カメラ配置から推定したボクセル同士の依存関係に基づき、PE 間の通信量が低減されるようボクセル空間を分割し各 PE へ割り当てる手法の開発
- (2) 各 PE での処理量を均等にするために、各 PE へのボクセルの割り当てを動的に制御する効果的な負荷分散手法（適応型動的負荷分散法）の開発
- (3) 実際のアプリケーションを対象とした提案手法の効果の検証

#### 4. 研究成果

- (1) 任意のカメラ配置に対応した空間分割法の開発

まず、カメラ視点が直線上に配置された場合を対象に、視点が配置された直線を通る平面でボクセル空間を複数の部分空間に分割し内部のボクセルを各 PE へ割り当てる手法 Gradient-dependent Domain Division (GDD) を開発した。視点を直線  $L$  上に配置すると、あるボクセル  $P_i$  が状態を参照する他のボクセル  $P_j$  は、 $P_i$  と  $L$  を通る平面上に存在する。GDD は、この性質を利用することで、PE 間の通信量を抑えるよう、ボクセル空間を分割し各 PE へ割り当てることができる。ボクセル空間を単に水平方向に分割する Horizontal Domain Division (HDD) と GDD を使い、各 PE へ処理を割り当てた結果を図 4 に示す。この結果から分かるように、GDD を用いた場合は、HDD を用いた場合に比べ、PE 間の通信量を削減できるため効率的な並列処理が可能となり、全体の処理時間が短縮できている。

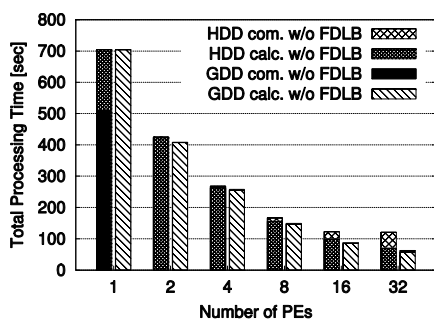


図 4 通信時間と処理時間 (HDD, GDD)

GDD を用いると、カメラ視点が直線上に配置された場合、HDD を用いたよりも PE 間の通信量が少ないボクセル空間分割を実現できる。しかし、視点が直線上に位置しない配置では、GDD を用いても、状態を相互に参照するボクセルを同一の部分空間に収めることができず、PE 間の通信量削減の効果が低下する。そこで、視点の集合を対に分け、視点对毎に GDD を適用しボクセル空間を部分空間することで、任意の視点配置でも PE 間の通信量を増加させることなく効率的な並列処理を実現できる手法 Viewpoint-pair based GDD (VGDD) を開発した。4 つの視点を円周上に配置した場合について、GDD と VGDD を適用し並列処理を行った結果を図 5 に示す。この結果から分かるように、視点が円周上に配置されると、GDD を適用しても PE 間の通信量を削減することができず、PE 数が増えると処理時間が増加するケースが生じている。これに対し、VGDD を適用すると、このような視点配置でも通信量の増加を抑えることができ、全体の処理時間が短縮できている。

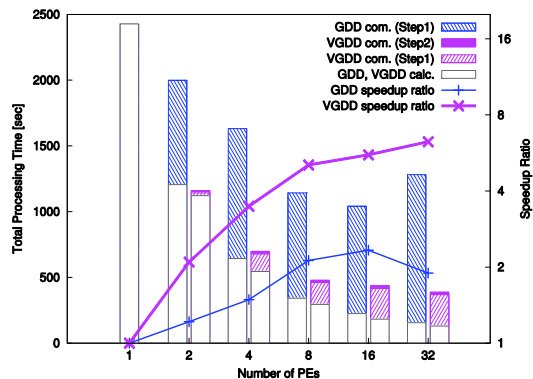


図 5 通信・処理時間、高速化率 (GDD, VGDD)

- (2) 効果予測に基づく適応型動的負荷分散法の開発

ボクセル空間を複数の部分空間に分割し、それぞれを各 PE に割り当て並列処理を行う場合、部分空間毎に必要な処理量が異なるため、負荷の偏りが PE で生じ並列処理の効率が低下する。一方、各 PE への処理の割り当てを均一化するため、動的に負荷の分散を行う場合は、処理のオーバーヘッド（ボクセルのデータを移動するための通信処理等の増加）が発生する。

そこで、本研究では、負荷分散の効果（並列処理効率の向上）と処理のオーバーヘッドをシステムのパラメータ（各 PE の処理速度、PE 間の通信速度等）から事前に推定し、効果がオーバーヘッドを上回る場合にのみ負荷分散を行う適応型動的負荷分散法（Flexible Dynamic Load Balancing: FDLB）を開発した。図 4 に結果を示した実験と同様の条件で FDLB を適用した結果を図 6 に示す。この結果から分かるように、FDLB を適用することで、通信量の増加等オーバーヘッドが生じるものの、並列処理効率の向上がそれを上回るため、全体の処理時間が短縮できている。

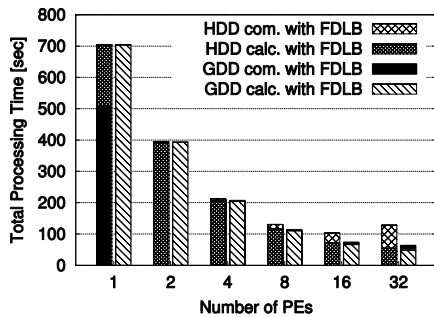


図6 FDLBの効果(HDD, GDD)

(3) 実際のアプリケーションを対象とした効果検証

実際のアプリケーションへ提案・開発した手法を適用し、その効果の検証実験を行った。具体的には、映像を用いた人物動作認識へのシーンフローの導入、マルチカメラを用いた監視システムへのシーンフローの導入、現実空間-仮想空間連携システムへのシーンフローの導入を行った。いずれの検証実験においても、提案・開発した手法により十分な精度のシーンフローを十分な速度で提供できることが確認され、本手法が実用に耐え得ることが実証できた。

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 5 件)

Toru Abe, Adrian Agusta, Yuto Mitsuhashi, and Takuo Suganuma, A QoS control method for camera network based people detection systems, Proc. 9th Int. Conf. Comput. Vision Theor. Appl., 査読有, 2014, pp.242-248.  
DOI:10.5220/0004845202420248

Takuya Kawamura, Toru Abe, and Takuo Suganuma, A design of state acquisition function using range image sensor for 3D symbiotic space, Proc. 2013 Eighth Int. Conf. Broadband Wirel. Comput., Commun. Appl., 査読有, 2013, pp.622-627.  
DOI:10.1109/BWCCA.2013.110

Toru Abe, Masaru Fukushi, and Daisuke Ueda, Primitive human action recognition based on partitioned silhouette block matching, Proc. 9th Int. Symposium Visual Comput. (Advances in Visual Computing, G. Bebis et al. Eds. LNCS 8034), 査読有, 2013, pp.308-317.  
DOI:10.1007/978-3-642-41939-3\_30

Masaru Fukushi, Naoki Sekiguchi, and Toru Abe, Parallelization of voxel based multiview stereo for arbitrarily configured viewpoints, Proc. 2012 IEEE Int. Conf. Image Process., 査読有, 2012,

pp.1701-1704.

DOI:10.1109/ICIP.2012.6467206

Masaru Fukushi, Naoki Sekiguchi, and Toru Abe, A parallelization method for multiview stereo, Proc. The 12th IAPR Conf. Mach. Vision Appl., 査読有, 2011, pp.385-388.

<http://www.mva-org.jp/Proceedings/2011CD/papers/11-02.pdf>

〔学会発表〕(計 15 件)

伊藤 寛祥, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 3次元共生空間におけるHMDを用いた空間提示手法の提案, 情報処理学会第76回全国大会, 2014年3月11日, vol.4, pp.85-86, 東京電機大学.

菅原 勝也, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, シーンフローに基づく物体分割手法, 情報処理学会第76回全国大会, 2014年3月11日, vol.2, pp.223-224, 東京電機大学.

三橋 優人, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 人込みの中での人物と物体のインタラクションの開始・終了検出, 情報処理学会第76回全国大会, 2014年3月11日, vol.2, pp.87-88, 東京電機大学.

菅原 勝也, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 深度情報の重ね合わせに基づく距離画像センサの移動軌跡推定, 第12回情報科学技術フォーラム, 2013年9月6日, vol.3, pp.121-122, 鳥取大学.

福土 将, 関口 直紀, 阿部 亨, 任意視点の多眼ステレオ法に対する並列化手法, 電子情報通信学会 機能集積情報システム研究会, 2013年3月15日, FIIS-13-349, pp.1-6, 宮崎大学.

川村 拓弥, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 3次元共生空間における距離画像センサによる状態獲得機能の設計, 第4回先進的情報通信工学研究会/ITRC セミナー/INI 仙台 2013 冬, 2013年3月15日, 東北大学.

森 瞬, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 共生型3次元仮想空間における共生感提供機能の空間提示手法の高度化について, 情報処理学会第75回全国大会, 2013年3月6日, vol.4, pp.493-494, 東北大学.

川村 拓弥, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 共生型3次元仮想空間における距離画像センサを用いた共生感提供機能の設計, 情報処理学会第75回全国大会, 2013年3月6日, vol.4, pp.491-492, 東北大学.

Adrian Agusta, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 映像を用いた人物位置検出システムの出力品質制御法, 情報処理学会第75回全国大会, 2013年3月6日, vol.3, pp.31-32, 東北大学.

Adrian Agusta, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, 映像による人物位置検出システムにおける出力品質の制御方法, 第3回先進的

情報通信工学研究会/ITRC セミナー/INI  
仙台 2012 秋, 2012 年 12 月 25 日, 東北  
大学.

Adrian Agusta, 阿部 亨, 菅沼 拓夫,  
マルチカメラに基づく人物位置検出シ  
ステムを対象とした出力情報の品質制  
御手法, 第 11 回情報科学技術フォーラ  
ム, 2012 年 9 月 4 日, vol.4, pp.405-406,  
法政大学.

能登谷 恭平, 阿部 亨, 菅沼 拓夫, シ  
ルエットとオプティカルフローを用い  
たテンプレートマッチングによる動作  
認識, 2012 年電子情報通信学会総合大  
会, 2012 年 3 月 21 日, p.D-12-53, 岡山  
大学.

Adrian Agusta, 阿部 亨, 菅沼 拓夫,  
マルチカメラによる人の位置検出シス  
テムの制御手法, 2012 年電子情報通信  
学会総合大会, 2012 年 3 月 20 日,  
p.B-7-56, 岡山大学.

阿部 亨, 福土 将, 関口 直紀, 菅沼  
拓夫, 多様なカメラ配置に対応した多  
眼ステレオ法の並列処理, 第 1 回先進的  
情報通信工学研究会/ITRC セミナー/INI  
仙台 2011 秋, 2011 年 12 月 26 日, 東北  
大学.

福土 将, 関口 直紀, 阿部 亨, 多様な  
カメラ配置の多眼ステレオ法に対応可  
能な並列処理手法, 第 10 回情報科学技  
術フォーラム, 2011 年 9 月 9 日, vol.3,  
pp.393-394, 函館大学.

〔その他〕

ホームページ等

<http://www.ci.isc.tohoku.ac.jp>

## 6. 研究組織

### (1) 研究代表者

阿部 亨 (ABE, TORU)  
東北大学・サイバーサイエンスセンター・  
准教授  
研究者番号: 80222652

### (2) 研究分担者

福土 将 (FUKUSHI, MASARU)  
山口大学・理工学研究科・准教授  
研究者番号: 50345659