

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：22604

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K12046

研究課題名（和文）固視微動を模擬するカメラ運動に基づく奥行きと画像の超解像復元

研究課題名（英文）Super-resolution Restoration of Depth and Image Based on Camera Motion Simulating Fixational Eye Movement

研究代表者

田川 憲男 (Tagawa, Norio)

東京都立大学・システムデザイン研究科・教授

研究者番号：00244418

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、固視微動による奥行き知覚の計算論的な検討を行った。連続する2枚の画像間に生じるオプティカルフローが有するカメラ運動と奥行情報を、観測量である画像輝度値から高精度に抽出するアルゴリズムとして、オプティカルフローを陽に検出するかしないかの二通りの方式で検討した。オプティカルフローを陽に検出する方式では、従来法ではカメラ運動の推定精度が不十分であることに着目し、最尤推定よりも精度の高いアルゴリズムの構築を行った。オプティカルフローを陽に検出しない直接法の枠組みでは、変分ベイズ法に基づく多重解像度処理アルゴリズムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、固視微動の奥行き知覚への貢献を計算論的に明らかにするものである。固視微動のメカニズムやその機能は、未だ十分に解明されておらず、学術的に意義深いものと考えられる。一方で、応用面からは、カメラを不規則に動かしながら対象を撮影することで、3次元情報の抽出が可能であり、簡潔なハードウェアとして有効な技術となり得る。本研究を更に進めることで、連続画像の有する豊富な情報を十分に活用した撮像系が実現可能であり、少ない画素でも高精細な画像を得ることが可能となると期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we conducted a computational study of depth perception by fixative tremor. There are two methods for extracting the camera motion and depth information of the optical flow generated between two consecutive images, whether or not the optical flow is explicitly detected. Both of these were examined. Focusing on the fact that the estimation accuracy of camera motion is insufficient in the method of explicitly detecting optical flow, we constructed an algorithm with higher accuracy than maximum likelihood estimation. In the framework of the direct method that does not explicitly detect optical flow, we constructed a multi-resolution processing algorithm based on the variational Bayes method.

研究分野：コンピュータビジョン、超音波工学

キーワード：固視微動 奥行き復元 オプティカルフロー

1. 研究開始当初の背景

高解像画像の獲得のための一つの方式として、動画像からのサブピクセル位置合わせに基づく方法が広く研究されている。3次元シーンを撮影した動画像を用いる場合、サブピクセル位置合わせは対応する3次元奥行に依存して定まるため、正確な奥行情報を得ておく必要がある。一方で、人間の視覚系が有する不随意の不規則眼球運動である固視微動は、視細胞の静的対象に対する反応抑制を補償する機構であるとともに、視細胞の数を越える解像度でのシーン認識、すなわち奥行やテクスチャ、反射率、物体輪郭等の認識機能を有している可能性がある。

固視微動はその大きさの小さい順に、トレモア、ドリフト、マイクロサッカードと呼ばれる三つの形態からなる。これらはそれぞれが固有の機能を持つことが期待される。固視微動の信号処理的な機構に関する研究はまだ十分ではなく、人間の視覚機能の解明には必須の課題である。

そこで我々は、特に奥行とテクスチャの認識に注目して固視微動の計算モデルを解明し、その高解像画像生成への寄与を検討するに至った。

2. 研究の目的

本研究では、固視微動による奥行知覚の計算アルゴリズムを構築するとともに、それに基づく動画像からの高解像画像生成手法を提案する。固視微動の三つの形態を効果的・効率的に活かす奥行復元方法の検討に際して、テクスチャの高精度推定も併せて考慮する。

3. 研究の方法

- (1) 連続する2枚の画像からの奥行復元アルゴリズムの高性能化の検討
- (2) マイクロサッカード(瞬間的で大きな眼球運動)に対する処理の検討
- (3) ドリフトとマイクロサッカードも組み入れた奥行き復元理論の検討
- (4) オプティカルフローからの高精度なカメラ運動推定の検討

4. 研究成果

(1) 運動からの形状復元(SFM: shape from motion)において固視微動を動きと想定する場合、画像間の動きは小さいため、我々はこれまで、動き前後での輝度値不変性を一次近似で解く輝度勾配法をベースとしてきた。しかし、その解の精度は不十分であった。そこで、一次近似解を使った反復レジストレーションによって、精度の向上を試みた。しかしながら、期待した結果は得られず、少なくとも動きの小さい場合は、反復的なレジストレーションの効果は少ないことがわかった。そこで、特に小さな動きに相当するトレモアを模擬する微小カメラ運動に対し、多重解像度ベイジアンネットワークの手法を構築して、その性能を確認した。人工画像を用いた数値解析を実施したところ、理論構築の際に想定している条件を満たしていれば完全な動作が可能であることがわかった。さらに、これまでは多重解像度処理におけるカメラ運動推定結果の情報伝搬の際、伝搬させる分散をモンテカルロ的に求めていた。そこで、変分ベイズ推定としてアルゴリズムを再構築した。このアルゴリズムの性能評価までを実施する予定であったが、現在、プログラム作成の段階でとどまっている。

(2) 輝度値ベースでの対応付けではエイリアス問題(似た輝度パターンをもつ位置との偽対応の発生)が避けられないため、特徴点对応を基礎とするのが自然である。今回はその一例として、人の姿勢の3次元復元を取り上げ、OpenPoseと呼ばれる人関節検出アルゴリズムを活用し、関節点を特徴点(キーポイント)とする奥行復元を試行した。OpenPoseによれば、関節の区別が可能であるため、一人の人の復元であれば関節位置の画像(視点)間での対応付けは不要(既に完了している)だが、複数人を対象とする場合は「人の対応付け」が必要になる。今回は、そのためのアルゴリズムをいくつか提案し、それらの性能評価を行った。その結果、複数の視点ペアのそれぞれに対して、可能な対応付けによって3次元座標を復元したのち、視点ペア間の整合性を3次元座標の一致性によって判断する方法が安定(人と視点との配置関係に影響を受けにくい)ことを明らかにした。

(3) テクスチャを有する対象に対する陰影からの形状復元(SFS: shape from shading)手法の最近の進展を、論文調査を中心に進めた。その結果、任意の光源環境を扱うことができ、影の発生も考慮可能な手法がいくつか提案されていることが確認できた。ただし、多重解像度処理やその情報伝搬処理等ははまだ実現できていないことも把握できた。このことを踏まえ、固視微動カメラからの復元問題にSFSを導入するアルゴリズムの検討を進めた。具体的には、マイクロサッカードのタイミングでテクスチャと奥行きを共に多重解像度処理により復元するものである。残念ながら、アルゴリズムによる具体化が行えなかったため、今後の課題とする。

(4) 動きからの奥行復元は、剛体運動等の仮定を用いずにオプティカルフローを検出した後、その結果を解析してカメラ運動と奥行を求める二段階法、当初から剛体形状(例えば局所的な平面)を仮定し、その制約のもとでオプティカルフローを検出する直接法の二つが、従来より議論されている。二段階法は、当該研究者が以前扱っていた課題であり、その際の成果として、制約なしのオプティカルフローが一般に大きな誤差を伴うことを想定し、その影響を抑えたカメラ運動

の計算法として、重み付き最小二乗法を提案した。この手法は、本課題における局外母数に相当する奥行の知識を、カメラ運動推定の偏りを引き起こすことなく組み込むことが可能であり、適切な重みを用いることで最尤推定よりも分散の少ない解を得ることができる。今回は、この重みの決定法について検討し、画像上でオプティカルフローの値が類似している領域を検出し、その領域内で観測方程式を平均化することに対応する重みを用いることで、従来よりも精度の高いカメラ運動復元が可能であることがわかった。

以上、本研究では当初の計画であった高解像画像の生成までには至らず、主に動画からの奥行復元(カメラ運動の推定を含む)の高精度化の検討に留まってしまった。その理由の一つとして、近年、自由エネルギー原理に基づく脳活動の統一理論の研究が注目を集めており、当該研究者がこれまでに扱ってきた SFM アルゴリズムがこの理論に即していることが挙げられる。この統一理論の具体化として、変分ベイズも基づく手法の構築に着目してそのアルゴリズム実現を目指した。現在、このアルゴリズムの性能評価の準備を進めており、今年度中にはその成果を公表する計画である。また、固視微動からの奥行復元の時系列処理としての実現をこの理論の中で構築する予定である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Norio Tagawa	4. 巻 -
2. 論文標題 Stereoscopic Calculation Model Based on Fixational Eye Movements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Pattern Recognition, IntechOpen	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5772/intechopen.97404	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Shuji Tanikawa, Norio Tagawa
2. 発表標題 Player Tracking using Multi-viewpoint Images in Basketball Analysis
3. 学会等名 Int. Conf. on Computer Vision Theory and Applications（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 増田瑞樹, 田川憲男
2. 発表標題 多視点映像からの関節情報を用いたテニス選手の動き解析
3. 学会等名 電子情報通信学会東京支部学生研究発表会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 斎藤友博, 田川憲男
2. 発表標題 多視点画像で検出される関節位置に基づく複数人の3次元姿勢の復元
3. 学会等名 映像情報メディア学会 メディア工学研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 千ヶ崎聖斗, 田川憲男
2. 発表標題 画像における2次元関節情報に基づく陸上競技ランナーの3次元姿勢推定
3. 学会等名 映像情報メディア学会冬季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 熊倉湧太, 田良島周平, 田川憲男
2. 発表標題 グループ行動認識モデルへの時間情報埋め込みに関する考察
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 斎藤友博, 田良島周平, 田川憲男
2. 発表標題 複数カメラ複数人物追跡におけるトラックレット外観特徴抽出方法に関する検討
3. 学会等名 映像情報メディア学会メディア工学研究会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

東京都立大学 教員紹介
<https://www.tmu.ac.jp/stafflist/data/ta/593.html>
 東京都立大学・田川研究室HP
<https://www.comp.sd.tmu.ac.jp/t-lab/tagawalab/home/Welcome.html>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------