

令和 2 年 7 月 9 日現在

機関番号：82626

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18071

研究課題名（和文）4D Visual SLAM

研究課題名（英文）4D Visual SLAM

研究代表者

櫻田 健（Sakurada, Ken）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員

研究者番号：70773670

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）：本研究課題では、4D Visual SLAMに必要な変化検出手法や3Dモデリング手法を新たに開発した。それらの成果は2年間でコンピュータビジョンやロボティクスのトップカンファレンスであるCVPRやICRA、ICCVW、ACCV、その他国内会議に採択され世界中で高く評価されている。具体的には、ネガティブサンプルが少量しか入手できないでも変化検出を高精度に行う手法（CVPR2019）や、変化を検出するだけでなくその種類も同時に認識する手法（ICRA2020）も開発した。また、基礎となる3Dモデリング手法も多視点幾何（ACCV2018）と深層学習（ICCVW2019）両方の手法を開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、近い将来実用化される自動運転やAR、サービスロボットに必要な大規模な3Dマップを構築する上で、データ容量や計測効率を大幅に向上させることが可能となる。この利点は、研究室環境のみで行われてきた技術を社会実装する上で極めて重要な要素である。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed methods of change detection and 3D modeling for the 4D Visual SLAM system. The papers of these methods have been accepted by top-tier computer vision and robotics conferences, such as CVPR, ICRA, ICCVW, and ACCV. Concretely, we developed an accurate change detection method that can be applied to the case when only a few negative samples are available (CVPR2019) and one that can not only detect but also classify scene changes (ICRA2020). Moreover, we developed 3D modeling methods based on multi-view geometry (ACCV2018) and convolutional neural networks (ICCVW2019).

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：SLAM 変化検出 深層学習

様式 C-19、F-19-1、Z-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

近年、自動運転用地図の構築やインフラ点検、災害対応、農業の自動化などを目的に、空間モデリング技術の必要性が急速に高まっている。例えば、自動運転用地図を整備するためには、高価な専用車両で日本全域を計測し、さらに、地図を更新する度に再計測しなければならない。そのため、資産の保守点検という観点で生産性が著しく低下する問題が発生している。この問題を解決するためには、将来的に一般車両に搭載されるカメラや LiDAR（レーザセンサ）などを用いて、低コストに空間モデルを更新する必要がある。

この問題を解決するために、画像からシーン変化を検出し、3次元モデルを自動で更新する4Dモデリングの研究が世界中で活発に行われている。申請者も多視点幾何、ベイズ推定、機械学習の枠組みを応用した高精度な変化検出手法を提案しており、国内外で高い評価を得ている。しかし、これまでに提案された手法の多くは豊富な計算資源と時間を必要とし、今後、自動運転車やドローンなどが普及し、広域の大規模データが得られるようになればその計算量は非現実的なものとなる。この問題を解決するためには、低い計算量で画像から環境モデルを更新する新たな枠組みが必要となる。

画像から3次元モデルを構築する手法は Structure from Motion (SfM) または Visual-SLAM (SLAM: Simultaneous Localization and Mapping) と呼ばれる。これらは時に同義として扱われるが、前者は主に未整列画像を、後者は動画などの連続画像を対象とする。既存の4Dモデリング手法の多くは未整列画像を対象とし、その一般性と引き換えに高い計算量を要する。Visual SLAM は画像の連続性を利用して計算量を大幅に削減できるため、高速な変化検出処理と統合することにより、低い計算量で空間モデルを更新することが可能となる。

2. 研究の目的

本研究では、動画像を用いて高速に環境モデルを差分更新する新たな枠組み 4D Visual SLAM を開発する。Visual SLAM には大きく分けて特徴点ベースと直接法の二種類の枠組みがある。いずれも 4D Visual SLAM の考え方を適用できるが、実装の容易さから本研究ではまず特徴点ベースの手法に取り組む。4D Visual SLAM を実現するためには、以下の二つの要素技術が必要となる。

(1) 視点変化にロバストかつ高速なシーン変化検出

シーンを再計測する際、過去と全く同じカメラ視点から撮影することは多くの場面で非現実的であり、変化検出をするためには照明条件だけでなく、カメラ視点の違いにも対処する必要がある。しかし、既存の変化検出手法は密な3次元モデルや、異時刻の画像間で高精度な位置合わせを必要とするため、計算量や撮影条件の観点から3次元モデルを高速に更新する 4D Visual SLAM へ適用することは困難である。

申請者はすでに、深層学習を用いた視点変化にロバストな変化検出手法を開発している。本研究では、この手法をさらに高速化し上記の問題を解決するとともに、動画を用いた3次元モデルの差分更新のために、シーン変化の消失・出現を同時に推定する深層学習モデルへと拡張する。

(2) 動画を用いた3次元モデルの差分更新

動画の連続性を利用して3次元モデルを効率的に更新するためには、過去に計測したモデル内で、シーン変化に影響されることなく現在のカメラ姿勢を推定し、変化領域を削除および追加する必要がある(図1)。

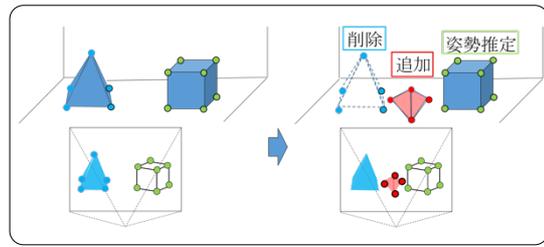


図1, 変化検出と差分更新

そこで、(1)の変化検出結果から、過去のモデルと現在の画像間の違い(消失、出現、共通)を判別し、少ない計算量で空間モデルを更新する。具体的には、1フレーム前のカメラ姿勢に最も近いキーフレームと最新フレーム間で変化検出を行い、共通領域の特徴点のみで過去のモデルに対する現在のカメラ姿勢を推定する。その後、“消失”と判定された領域のモデルを削除、“出現”と判定された領域のモデルを再構成し追加する。

シーンを俯瞰的に撮影する場合は、画像中に占める変化の割合が小さいため、変化を無視してカメラ姿勢を推定できる(図2.①)。しかし、変化領域に近づいて撮影する場合は、過去と現在のフレーム間で共通の特徴量が少なくなり、安定的にカメラ姿勢を推定することが難しくなる(図2.②)。そのため、俯瞰的な状態から逐次的に変化を検出し、変化領域に近づきながら徐々に3次元モデルを更新することでカメラの姿勢推定を安定化させる。

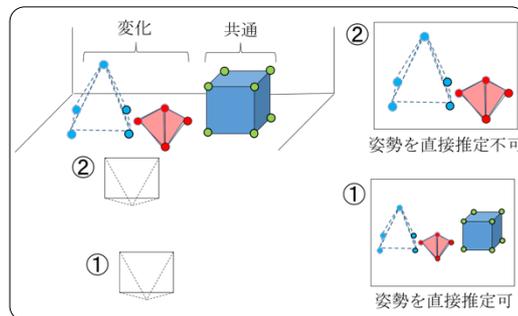


図2, 変化とカメラ姿勢の推定可否

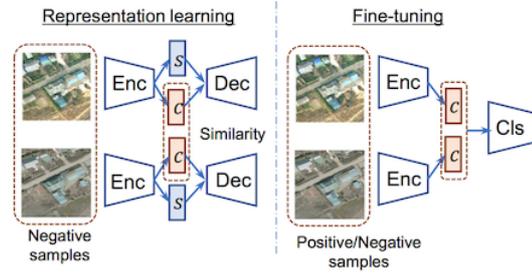
この枠組は、単純に各時刻のデータに対し Visual SLAM を行う場合と比較して、共通領域のみを用いてカメラ姿勢を推定することで、異時刻データ間の位置合わせ精度を向上させ、変化領域のみの更新によって、バンドル調整などの高コストな最適化計算の削減を可能とする。

3. 研究の方法

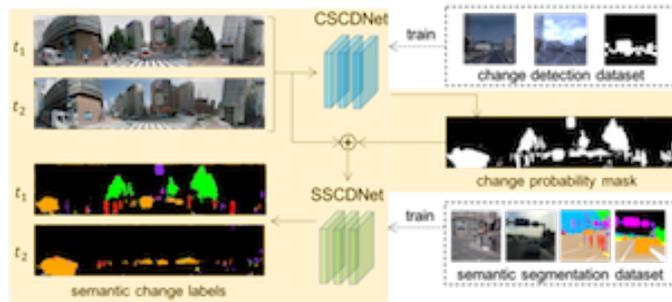
①視点変化にロバストな高速変化検出と、②特徴点ベース Visual SLAM フレームワークの拡張を並行して行う。変化検出は最新フレームと最もカメラ姿勢が近いキーフレーム間で行うため、カメラ視点の違いにロバストな変化検出モデルを構築する。また、Visual SLAM のローカリゼーションモードに高速変化検出とマップ更新プロセスを追加できるようにフレームワークを拡張する。さらに、①と②を用いて③動画を利用した3次元モデル差分更新アルゴリズムの構築と精度検証を行う。

4. 研究成果

4D Visual SLAMの基礎となる変化検出手法を2つ開発した。一つ目は、ポジティブサンプルが得られにくい場合に、Variational Autoencoder (VAE) を用いて大量のネガティブサンプルから表現学習する事で、興味外の変化にロバストな特徴を獲得できる手法を提案した。変化検出の学習ではポジティブサンプルを集めることが難しいため、本提案手法により、変化検出データセット構築のコストを大幅に下げることが可能となった。さらに、本提案手法は変化検出だけでなく、異常検知のようなポジティブサンプルの収集が難しい他のタスクにも応用可能である。

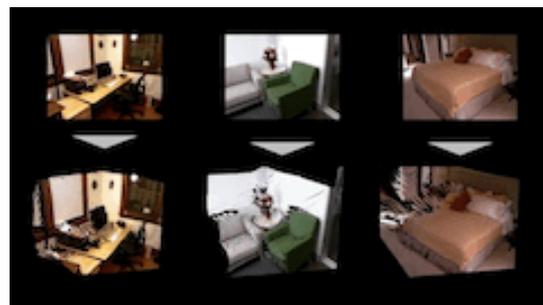
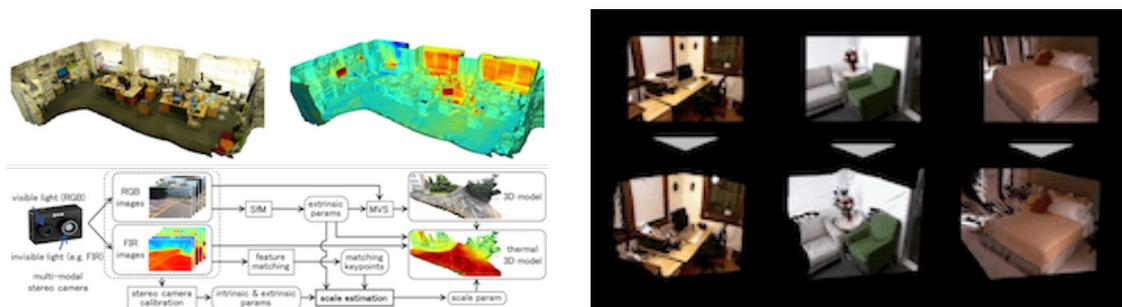


2つ目は、変化検出と分類を同時に行うことが可能な Semantic Change Detection 手法である。自動運転やARのマップを更新するためには、興味のある変化か否かを区別する必要がある。しかし、大規模な Semantic Change Detection 学習データを構築することは困難であるため、これまでにそのような手法は実現されていなかった。そこで、本研究では、一般的な二値の変化検出データセットと、セマンティックセグメンテーションデータセットを利用して Semantic Change Detection を実現する弱教師学習手法を開発した。



両研究とも成果を論文にまとめ、1つ目の手法はコンピュータビジョン系のトップカンファレンスの一つである IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) 2019 に採択され、2つ目の手法はロボティクスのトップカンファレンスである ICRA2020 にされた。

また、基礎となる 3D モデリング手法も多視点幾何と深層学習、両方の手法を開発し、それぞれ ACCV2018 と ICCV2019 に採択された。



5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計10件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件）

1. 発表者名 Ryuhei Hamaguchi, Ken Sakurada, Ryosuke Nakamura
2. 発表標題 Rare Event Detection using Disentangled Representation Learning
3. 学会等名 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Ken Sakurada
2. 発表標題 Silhouette-based Semantic Change Detection
3. 学会等名 第21回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Shinya Sumikura, Ken Sakurada, Nobuo Kawaguchi, Ryosuke Nakamura
2. 発表標題 Scale Estimation of Monocular SfM for a Multi-modal Stereo Camera
3. 学会等名 Asian Conference on Computer Vision (ACCV) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角倉 慎弥, 櫻田 健, 河口 信夫, 中村 良介
2. 発表標題 マルチモーダルステレオカメラにおける単眼SfMのスケール推定精度の評価
3. 学会等名 第21回 画像の認識・理解シンポジウム (MIRU)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 渋谷 樹弥, 角倉 慎弥, 櫻田 健, 河口 信夫
2. 発表標題 グラフフーリエ変換を用いたSfMの安定性評価手法の検討
3. 学会等名 第21回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 角倉 慎弥, 櫻田 健, 河口 信夫, 中村 良介
2. 発表標題 マルチモーダルステレオカメラにおける単眼SfMのスケール推定
3. 学会等名 CVIM研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Ken Sakurada, Mikiya Shibuya, Weimin Wang,
2. 発表標題 Weakly Supervised Silhouette-based Semantic Scene Change Detection
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Masaya Kaneko, Ken Sakurada, Kiyoharu Aizawa
2. 発表標題 TriDepth: Triangular Patch-based Deep Depth Prediction
3. 学会等名 ICCV Deep Learning for Visual SLAM Workshop (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金子真也, 櫻田健, 池畑諭, 相澤清晴
2. 発表標題 深層学習による三次元構造エッジ抽出を用いた単眼奥行き推定
3. 学会等名 画像工学研究会 (IE)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 金子 真也, 櫻田 健, 相澤 清晴
2. 発表標題 深層学習を用いたメッシュ表現に基づく単眼奥行き推定
3. 学会等名 第22回画像の認識・理解シンポジウム(MIRU)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

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