

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 30 年 6 月 19 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2017

課題番号：26330297

研究課題名(和文) 情景部品に基づく簡潔・識別的な次世代SLAM技術「部品SLAM」の実現

研究課題名(英文) Part SLAM: A Succinct and Discriminative Method for Scene Matching via Unsupervised Part-based Modeling

研究代表者

田中 完爾 (Tanaka, Kanji)

福井大学・学術研究院工学系部門・准教授

研究者番号：30325899

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：移動ロボットのSLAM(オンライン地図学習)技術の簡潔・識別的な次世代技術「部品SLAM」を実現した。具体的には、研究代表者がこれまで研究開発してきた軽量・精密な圧縮地図生成技術「教師なし情景部品モデル」を、さらに発展させて、圧縮地図表現に基づく新しいSLAM技術を開発した。単眼カメラに基づく汎用的なSLAMシステムを構築し、挑戦的な「クロスシーズン場所認識」問題において、本システムの有効性を検証した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we realized a next generation SLAM (online map learning) technique named "part SLAM". More formally, we are based on a light-weight and high-accuracy compressive map representation "unsupervised scene part model" and developed the new SLAM technique. Furthermore, we developed a versatile SLAM system based on monocular camera and verified efficacy of the developed system in a challenging problem called "cross-season visual place recognition".

研究分野：視覚移動ロボット

キーワード：視覚移動ロボット 自己位置推定 地図作成 情景部品モデル 深層学習 変化検出

## 1. 研究開始当初の背景

移動ロボットの SLAM (オンライン地図学習) 技術の進展により、移動ロボットのセンサデータ群を一つに集約し、大規模な作業環境の地図を高精度に生成することが可能になってきた。それに伴い、圧縮地図表現に基づく大規模地図生成技術が求められている。

## 2. 研究の目的

研究代表者が、これまで研究開発してきた軽量・精密な圧縮地図生成技術をさらに発展させて、簡潔・識別的な次世代 SLAM 技術「部品 SLAM」を実現することを目的とする。

## 3. 研究の方法

申請者がこれまで研究開発してきた、情景部品 (繰り返しパターン) を発見・圧縮・記憶・検索する、部品モデルとデータマイニングの融合技術「教師無し情景部品モデル」を援用し、さらに簡潔なオンライン圧縮地図生成技術を開発することで、上記の「部品 SLAM」を実現する。

## 4. 研究成果

2014年度は、下記の研究開発に取り組んだ。

(1) 教師無し部品発見手法の開発: ロボットの視覚画像を簡潔・識別的に記述する新しい方法を開発した。本方法は、視覚画像を情景部品を用いて記述する。この情景部品は、ロボット自身の視覚経験や Web 上の既知画像群の中から発見する。この部品発見のために、教師無し学習手法である、共通物体発見技術を用いる。その結果として、部品に基づく画像記述子を得る。この画像記述子は、簡潔・識別的な表現となっている。このため、画像検索や画像照合に有効である。この画像検索・画像照合を基盤とし、SLAM システムの開発を行った。福井大学キャンパスにおいて収集した視野画像データセットを対象として、検証実験を行い、本方法の基本的な有効性を検証した。

(2) レーザーレンジファインダ搭載の自律移動ロボットの開発: 自律移動ロボットにレーザーレンジファインダを搭載し、福井大学の総合研究棟において、地図生成実験を行い、地図データセットを取得した。このデータセットは、本研究の SLAM システムの検証実験に使用する。

(3) シーン解析手法の開発: シーン画像から部品を教師無しで発見する方法を開発した。この部品発見方法は、上記1の研究開発とは異なり、視覚経験や Web 画像群などの外

部の知識ベースを前提としない。したがって、上記1の方法と相補的に用いることができる。各々の部品は、地図検索のクエリとして使用する。全ての部品からの検索結果を統合する。この統合には、情報検索分野の教師無しランク融合手法を援用した。検証実験により、提案法の有効性を検証した。

2015年度は、下記の研究開発に取り組んだ。

(1) クロスシーズン場所認識の開発: 季節の変化など、シーンの外観が大きく変化する状況下において、頑健にシーンマッチングを行う方法を開発した。具体的には、積雪や視点の変化により、記憶シーンと質問シーンとの間で相違が生じるという課題に取り組んだ。解決策として、シーンから情景部品を発見し、記述する方法を開発した。そのために、前年度に開発した部品発見手法を利用した。

(2) 部品照合手法の開発: シーンを部品群により表現した上で、シーン間の類似度を算出する方法を検討した。主に、2つの方法を開発した。一つは、各部品を独立な検索質問とみなして、部品ごとに記憶画像群を検索し、各記憶画像の順位 (ランク) を求め、融合する方法である。もう一つは、部品ごとに記憶画像群を検索し、各記憶画像までの距離 (非類似度) を求め、融合する方法である。それぞれの方法を、ロボットの主要な国際会議である icra2015 および iros2015 にて発表した。

(3) マップマッチング SLAM の開発: ロボットの視野画像列を一つに統合し、大規模な屋内環境地図をリアルタイムに生成する手法を開発した。具体的には、ロボットの視野画像列からビジュアルオドメトリに基づいて、走行経路推定を行う方法を開発した。また、走行に伴う累積誤差をリセットする手段として、再訪問地点を認識するための画像検索手法を開発した。その際、認識誤りに対処するために、幾何情報と外観情報を手掛かりとして用いて、高信頼度な再訪問候補を選択するための方法を検討した。

2016年度は、下記の研究課題に取り組んだ。

(1) 大域的な視点不確かさの下での変化検出: 物体配置変化など、シーンの外観が部分的に変化する状況下において、頑健に変化検出を行う方法を開発した。

(2) ガイド付きサンプリングに基づく逐次的なループクロージング: ループクロージング問題に対し、ガイド付きサンプリング法 (ICRA2006 論文) を利用した効率的な解法を提案した。

(3) 三次元地図検索: 3次元レーザスキャナにより作成した高精度の3次元地図のための高速・頑健な地図検索システムを開発した。

(4) 逐次的なループクロージング検証のた

めの複数仮説に基づく仮説検証アプローチ：地図作成タスクの重要な構成部品であるループクローリング問題のための新しい方法を開発した。

(5) 移動物体検出のための圧縮変化検索：自動車ロボットによる視覚画像と地図との比較に基づく移動物体検出法を開発した。

(6) 長期視覚 SLAM のための DCNN ランドマークのデータマイニング：深層ニューラルネットワークに基づく視覚ランドマークをシーン内から自動発見するための新しいデータマイニング法を開発した。

(7) 格子地図生成と局所地図記述子の融合による高速・簡潔な地図検索：2次元レーザスキャナに基づく格子地図検索のための新しい方法を開発した。

(8) 視野重複度の小さい画像群からの自己位置推定：視野重複度が小さい挑戦的な自己位置推定タスク「クロスビュー場所認識」を研究することを提案した。そのために、視野重複度に基づくタスク難度の定量化、および深層畳込みニューラルネットワークを用いた認識アルゴリズムの実装・評価を行った。

2017年度は、下記の研究課題に取り組んだ。

(1) 長期間に渡る場所認識のためのアンサンブル学習問題：季節の移り変わりなど、外観が大きく変化する環境における場所認識問題を研究した。本問題を、複数の深層畳込みニューラルネットワーク(DCN)からなるアンサンブル学習問題として定式化した。本問題では、環境変化の事前に学習済みのアンサンブルを事前知識として用いて、環境変化の事後において場所認識のための新しいアンサンブルの転移学習を行う。実証実験により、提案法の有効性を検証した。

(2) DCN に基づく場所認識・変化検出のための場所分割問題：DCN に基づく場所認識・変化検出では、ロボットの作業環境が「場所」と呼ばれる連続領域へ事前に分割されていることを前提にしている。本研究では、この場所分割を自動化し、場所認識・変化検出のための最適な場所分割法を開発した。

(3) 自己位置推定と変化検出の同時実行：変化検出のための新しい頑健な方法を開発した。従来法のように、高精度な視点情報を所与とするのではなく、視点不確かさに頑健な変化検出法を開発した。具体的に、前年度までに開発した「不変地図座標系」を利用して、シーン間の類似度および変化箇所を計算することで、高速に、類似検索(自己位置推定)および変化検出を行う方法を開発した。

(4) 情景部品モデルに基づく高速な環境変化検出：シーン中から教師あり学習および教師なし学習の方法により、情景部品を検出し、環境変化検出を行う方法を開発した。情景部品の検出・記述には、それぞれ、異なるタイプの DCN を組み合わせ利用した。

## 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4件)

(1)

Kanji Tanaka:

Incremental Loop Closure Verification by Guided Sampling. JACIII 21(1): 59-66 (2017) 査読有

(2)

Kanji Tanaka, Yuuto Chokushi, Masatoshi Ando:

Mining Visual Phrases for Visual Robot Localization. JACIII 20(1): 57-65 (2016) 査読有

(3)

Kanji Tanaka, Shogo Hanada:

Unsupervised Part-Based Scene Modeling for Map Matching. JACIII 19(4): 523-531 (2015) 査読有

(4)

Kanji Tanaka, Masatoshi Ando, Yousuke Inagaki:

Bag-of-Bounding-Boxes: An Unsupervised Approach for Object-Level View Image Retrieval. JACIII 18(5): 784-791 (2014) 査読有

[学会発表](計17件)

(1)

Enfu Liu, Kanji Tanaka, Xiaoxiao Fei:

Grammar-based map parsing for view invariant map descriptor. IPIN 2017: 1-8 査読有

(2)

Xiaoxiao Fei, Kanji Tanaka, Kouya Inamoto, Guoqing Hao:

Unsupervised place discovery for visual place classification. MVA 2017: 109-112 査読有

(3)

Kanji Tanaka:

Self-localization from images with small overlap. IROS 2016: 4497-4504 査読有

(4)

Taisho Tsukamoto, Kanji Tanaka:

Mining DCNN landmarks for long-term visual SLAM. ROBIO 2016: 570-576 査読有

( 5 )

Enfu Liu, Kanji Tanaka:  
Combining Grid Mapping with local map descriptor for fast succinct map retrieval. ROBIO 2016: 1709-1714 査読有

( 6 )

Kanji Tanaka:  
Local map descriptor for compressive change retrieval. ROBIO 2016: 2151-2158 査読有

( 7 )

Yoshiki Takahashi, Kanji Tanaka:  
Map retrieval in 3D using view-dependent local map descriptor. SII 2016: 180-185 査読有

( 8 )

Kanji Tanaka:  
Multi-model hypothesize-and-verify approach for incremental loop closure verification. SII 2016: 762-767 査読有

( 9 )

Tomoya Murase, Kanji Tanaka:  
Compressive change retrieval for moving object detection. SII 2016: 780-785 査読有

( 10 )

Masatoshi Ando, Yuuto Chokushi, Kanji Tanaka, Kentaro Yanagihara:  
Leveraging image-based prior in cross-season place recognition. ICRA 2015: 5455-5461 査読有

( 11 )

Kanji Tanaka:  
Unsupervised part-based scene modeling for visual robot localization. ICRA 2015: 6359-6365 査読有

( 12 )

Kanji Tanaka:  
Cross-season place recognition using NBNN scene descriptor. IROS 2015: 729-735 査読有

( 13 )

Naotoshi Sugegaya, Kanji Tanaka, Kentaro Yanagihara:  
Scene retrieval by unsupervised salient part discovery. MVA 2015: 85-88 査読有

( 14 )

Taisho Tsukamoto, Kanji Tanaka:  
Leveraging image based prior for visual place recognition. MVA 2015: 194-197 査

読有

( 15 )

Taisho Tsukamoto, Enfu Liu, Kanji Tanaka, Naotoshi Sugegaya:  
Mining visual experience for fast cross-view UAV localization. SII 2015: 375-380 査読有

Enfu Liu, Kanji Tanaka:  
Use of viewpoint planning for fast succinct map matching. SII 2015: 714-719 査読有

Kanji Tanaka, Yuuto Chokushi, Masatoshi Ando:  
Mining visual phrases for long-term visual SLAM. IROS 2014: 136-142 査読有

〔図書〕(計 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
出願年月日:  
国内外の別:

取得状況(計 件)

名称:  
発明者:  
権利者:  
種類:  
番号:  
取得年月日:  
国内外の別:

〔その他〕  
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田中 完爾 (tanaka kanji)  
福井大学・学術研究院工学系部門・准教授

研究者番号: 30325899

(2) 研究分担者

( )

研究者番号:

(3)連携研究者 ( )

研究者番号：

(4)研究協力者 ( )