

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：13401

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17K00361

研究課題名（和文）ドメイン変化へ逐次適応する次世代型SLAM「クロスドメイン地図学習」の実現

研究課題名（英文）The realization of next-generation SLAM technique with incremental adaptation to changing domains: cross-domain map learning

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） 3,500,000円

研究成果の概要（和文）：パーソナルロボットやパトロールロボットなどの長期間に渡り活動することのできるロボットの実現に向けて、ドメイン（天候・地形・季節）の変化に頑健な、新しいSLAM（自己位置と地図の同時推定）技術を研究開発した。具体的には、機械学習分野において急速に進展しているドメイン適応技術を、SLAM分野に応用することを目的とし、新たな実世界情報処理技術の研究開発・性能検証を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

パーソナルロボットやパトロールロボットなどの長期間に渡り活動することのできるロボットの実現に向けて、ドメイン（天候・地形・季節）の変化に頑健な、新しいSLAM（自己位置と地図の同時推定）技術を研究開発した。具体的には、機械学習分野において急速に進展しているドメイン適応技術を、SLAM分野に応用することを目的とし、新たな実世界情報処理技術の研究開発・性能検証を行った。本研究の成果は、審査の厳しい国際会議プロシーディングなど専門誌に採択された。

研究成果の概要（英文）：We researched and developed a new domain-invariant SLAM (simultaneous localization of self-position and map) technology that is robust against changes in domains (weather, terrain, season) toward the realization of robots that can operate for a long period of time. Specifically, we conducted research and development and performance verification of new real-world information processing technology with the aim of applying domain adaptation technology, which is rapidly advancing in the machine learning field, to the SLAM field.

研究分野：SLAM

キーワード：移動ロボット SLAM ドメイン適応 変化検出 自己位置推定 地図生成

1. 研究開始当初の背景

パーソナルロボットやパトロールロボットなどの長期間に渡り活動することのできるロボットの実現に向けて、ドメイン(天候・地形・季節)の変化に頑健な、新しい SLAM (自己位置と地図の同時推定)技術が望まれる。

2. 研究の目的

機械学習分野において急速に進展しているドメイン適応技術を、SLAM 分野に応用することを目的とし、新たな実世界情報処理技術の研究開発・性能検証を行った。

3. 研究の方法

本研究では、パーソナルロボットやパトロールロボットなど長期間に渡り活動するロボットの実現に向けて、ドメイン(天候・季節・地形)の変化に頑健な、新しい SLAM 技術を研究開発した。具体的に、機械学習分野で急速に進展しているドメイン適応技術と SLAM 技術との融合領域を推進した。具体的に、下記の(1)~(10)の研究成果を得た。

(1) グローバルな視点の不確実性の下での変化検出

本研究は、長期的な地図学習の新しい視点からの変化検出の問題に取り組んだ。特に、我々は、大規模な地図へのスケーラビリティ、および、視点のグローバルな不確実性(つまり、GPS が拒否された状況)の下で機能するアプローチの設計に焦点を当てた。具体的に、コンパクトな bag-of-words (BoW) シーンモデルを利用する方法を開発し、下記の貢献を行った。

ビューシーケンスマップから2種類の事前情報(プライア)を抽出し、変化検出に使用する。さらに、静止物体の相対的な動きと異常な自己運動の検出を予測するために、モーションプライアと呼ばれる新しいタイプのプライアを提案した。提案されたプライアは、静止しているオブジェクトと静止していないオブジェクトを区別するのに役立つ。

最近開発された Bag-of-Local-Convolutional-Features (BoLCF) シーンモデルを使用することにより、ビューシーケンスマップから適切な参照画像の小さな集合(例:要素数 10)が効率的に取得された。変化検出は、空間 Bag-of-Words (SBoW) シーンモデルを使用し、変化物体を見つけるために、これらの参照画像に対するシーン検索として再定式化した。公開 Malaga データセットの非常に動的なシーンにおいて、個々の手法および手法の組み合わせを評価し、有効性を検証した。

(2) 場所固有の変化分類器の教師なし場所検出

本研究では、ロボットのビュー画像から変化を予測するために場所固有の変化分類器(サポートベクターマシン(SVM)など)をトレーニングすることを目的とした、ロボットによる地図学習応用の教師あり変化検出の問題に対処した。未解決課題として、ロボットのワークスペースを場所(SVM など)に分割して、変更分類器の全体的なパフォーマンスを最大化する問題を定式化した。本問題は、鶏が先か卵が先かという問題である。すなわち、もし、十分に訓練された変更分類器があれば、ロボットのワークスペースを場所に分割するのは容易であるが、実際には、変化分類器の訓練には、場所固有の訓練データセットが必要になる、という問題である。この問題を解決するために、教師なし場所発見と呼ぶ新しい方法を提案した。さらに、畳み込み特徴ベースの視覚的な場所認識を利用した解法を提示し、2つの場所固有の変化分類器、すなわち、nuisance と anomaly の予測子に適用することで、アプローチを検証した。

(3) 多数の場所固有の圧縮変化分類器を管理するためのゼロショット学習

最近の大規模な地図のメンテナンスや長期的な地図の学習の進歩に伴い、移動ロボットが撮影した視覚画像から大規模な地図の変化を検出する作業は、ますます重要性を増している。変化検出のための以前のアプローチは、通常、画像差分に基づいており、上記のコンテキストで非常に多数のマップされた画像を記憶する必要があった。そこで、本研究は、変化分類器学習の最近の効率的なパラダイムに従い、特に場所固有の変化分類器のコレクションを採用する。我々の変化分類器学習アルゴリズムは、ゼロショット学習(ZSL)に基づいており、外部知識ベース(EKB)からマイニングされたトレーニング例によって場所固有の変化分類器を表す。提案されたアルゴリズムは下記の利点をもつ。まず、(分類器自体ではなく)トレーニング例のみを記憶する必要がある。これは、bag-of-words (BoW) の形式でさらに圧縮できる。次に、これらの分類器に対応するいくつかのトレーニング例を簡単に追加または削除することで、最新のマップを分類

器に組み込むことができる。第 3 に、BoW 語彙を他の関連タスクシナリオ (BoW ベースの自己ローカリゼーションなど) と共有できる。この場合、語彙は一般に、豊富で継続的に成長し、ドメインに適応する知識ベースとして設計される。我々の貢献では、提案されたアルゴリズムは、多数の場所固有のオブジェクトレベルの変化分類器で構成される実用的な長期の季節を超えた変化検出システムに適用・評価された。

(4) 視覚的場所分類器の長期アンサンブル学習

本研究は、長期地図学習という新しい観点から、季節を超えた (クロスドメインの) 視覚的場所分類 (VPC) の問題に取り組んだ。本研究の目標は、非常に大量のトレーニングデータを記憶することによりロボットの利用可能な長期記憶を無駄にすることを回避することになった。そのために、小さな一定のコストで、あるシーズンから次のシーズンに効率的に転移学習を可能にする枠組みを研究した。一般化能力と特殊化能力の間の適切なトレードオフを実現するために、畳み込みニューラルネットワーク (DCN) 分類器のアンサンブルを採用し、前シーズンの DCN 分類器を唯一の事前知識として、スケジューリングのタスク (いつどの分類器を再トレーニングするか) を検討した。スケジューリングを再トレーニングするための統一されたフレームワークを提示し、実際の実装戦略について検討した。さらに、VPC のパフォーマンスを最大化するために、ロボットのワークスペースを場所に分割して、均一な分割を使用するのではなく、教師なしで場所クラスを定義するタスクに対処した。公開 NCLT データセットを使用した実験において、DCN 分類器アンサンブルの再トレーニングスケジューリングが重要であり、計画されたスケジューリングを使用することでパフォーマンスが大幅に向上することが明らかになった。

(5) クロスドメイン変化検出のための生成的敵対的ネットワークの使用

本研究は、画像画像間変換という新しい観点から、クロスドメイン変化検出の問題に取り組んだ。一般に、変化検出は、特定のクエリ画像と異なる時間に撮影された同じシーンの参照画像との間の興味深い変化を識別することを目的とする。この問題は、オブジェクトの外観の違いとトレーニング例の数が限られているため、クエリ画像と参照画像に異なるドメイン (時刻、天気、季節など) が含まれる場合に困難な問題になる。そこで本研究では、生成的敵対的ネットワーク (GAN) を活用することにより、上記の問題に対処した。我々のアイデアは、限られた量のトレーニングデータを使用して、参照画像をクエリドメイン画像と区別できない仮想画像にマッピングする GAN ベースの画像トランスレータをトレーニングすることである。これにより、クロスドメイン変化検出タスクをドメイン内の画像比較として扱うことができる。これにより、ドメイン内の一般的な変化検出器に関する大量の文献を活用できる。さらに、仮想画像の空間上でより適切な参照画像をマイニングする方法として、視覚的な場所認識の使用も検討した。実験により、提案されたアプローチの有効性を検証した。

(6) ループクロージャと変化物体の同時検出

大規模な非定常環境でのループクロージャ検出 (loop closure detection: LCD) は、ロボットによる視覚的同時ローカリゼーションおよびマッピング (vSLAM) における重要な課題である。計算と知覚の複雑さを軽減するために、本研究では、vSLAM システムに画像変化検出 (ICD) を実行する機能を研究開発した。ICD の以前のアプリケーションとは異なり、タイムクリティカルな vSLAM アプリケーションは、オフラインのバックグラウンドモデリング段階を想定したり、メンテナンスの多いバックグラウンドモデルに依存したりすることはできない。この問題に対処するために、バックグラウンドモデリングを必要としない新しいメンテナンスフリーの ICD フレームワークを導入した。具体的には、LCD を最小限の追加コストで ICD のメインプロセスとして再利用できることを示した。これらのコンセプトに基づいて、LCD と ICD を同時に使用できる新しい vSLAM コンポーネントを開発した。挑戦的なクロスシーズン LCD シナリオに基づく ICD 実験において、提案法の有効性を検証した。

(7) 深層交差点分類のための一人称および三人称ビューの使用

道路トポロジーに関して交通シーンを分類することを目的として、単眼の車載パッシブビジョンを使用して交差点分類の問題を研究した。入力データのタイプに応じて、既存のアプローチを 2 つの大きなカテゴリに分類した。すなわち、(a) 交差点を通過するときに自己中心的なビューシーケンスを使用する一人称ビジョン (FPV) アプローチ、および、(b) 交差点に入る直前に単一のビューを使用するサードパーソンビジョン (TPV) アプローチである。FPV と TPV のアプローチには、それぞれ長所と短所がある。したがって、我々はそれらを統合された深層学習フレームワークに結合した。実験結果は、提案された FPV-TPV スキームが以前の方法よりも優れており、最小限の FPV / TPV 測定のみを必要とすることを示した。

(8) 再帰的知識蒸留による長期車両ローカリゼーション

季節を超えた視覚的な場所の認識 (CS-VPR) のための現在の最先端のフレームワークのほとんどは、単一の特定の季節へのドメイン適応 (DA) に焦点をおいている。長期的な CS-VPR の観点からは、このようなフレームワークは、連続する複数のドメイン (たとえば、春-夏-秋-冬-...) にうまく対応できない。そこで本研究では、長期シーケンシャルマルチドメイン CS-VPR (SMD-VPR) で一定のコストの再トレーニングを可能にする、新しい長期アンサンブル学習 (LEL) フレームワークを開発した。少数の一定数の深層畳み込みニューラルネットワーク (CNN) であり、小さな一定の時間/空間コストで毎シーズンの CNN アンサンブルを再トレーニングできる。我々は、前シーズンのすべての知識を現在の CNN アンサンブルに再帰的に圧縮する、マルチティーチャー、マルチスチューデントの知識蒸留 (MTMS-KD) としてタスクを組み立てる。さらに、教

師と生徒の割り当て (TSA) の問題に対処して、適切な一般化と専門化のトレードオフを実現する。SMD-VPR タスクの実験結果は、提案されたアプローチの有効性を検証する。

(9) ディープ 3D ニューラルコードを使用したスケーラブルな変更検索

オンボード 3D 画像システムからの画像変化検出 (ICD) のための新しいスケーラブルなフレームワークを提示した。既存の ICD システムは、特定のクエリ画像を個々の参照画像の座標に合わせるために必要な時間によって制約される。不変座標系 (ICS) を利用して、時間のかかる画像の位置合わせをオフラインの前処理手順に置き換える。我々の主な貢献は、従来の画像比較ベースの ICD タスクを画像検索 (IR) タスクのセットアップに拡張することである。3D ICD システムの各コンポーネント、つまり (1) 画像モデリング、(2) 画像の位置合わせ、(3) 画像の差分を、bag-of-words (BoW) IR パラダイムからの非常に効率的なバリエーションに置き換える。さらに、教師なしシャムネットワークと自動的に収集されたトレーニングデータを使用して、教師なしの方法でディープ 3D 特徴抽出器をトレーニングする。公開データセットを使用して、挑戦的なクロスシーズン ICD タスクの実験を実施し、それによって提案されたアプローチの有効性を検証する。

(10) 再帰的オートエンコーダを使用した場所固有の背景モデリング

車載単眼視覚システムを使用して場所固有の背景モデルに関して車両の前の変化した物体を検出する画像変化検出 (ICD) は、インテリジェント車両 (IV) の基本的な問題である。最近の大規模な IV アプリケーションの観点から、すべての可能な場所に対して場所固有の背景モデルをトレーニングすることは、空間/時間効率の観点から非現実的である可能性がある。これらの問題に対処するために、AE ベースの異常検出 (AD) と AE ベースの画像圧縮 (IC) の利点を組み合わせた新しいオートエンコーダ (AE) ベースの効率的な ICD フレームワークを提案した。場所固有の AE の最小セットをトレーニングし、検出精度を維持するための単一の統一された尺度として AE 再構成エラーを使用する方法を提案した。背景画像の大規模なコレクションを AE セットに再帰的に要約する効率的なインクリメンタル再帰 AE (rAE) トレーニングフレームワークを提案した。挑戦的なクロスシーズン ICD タスクに関する実験の結果は、提案されたアプローチの有効性を検証した。

4. 研究成果

本研究では、主に、下記のシステムを実現した。

- (1) グローバルな視点の不確実性の下での変化検出
- (2) 場所固有の変化分類器の教師なし場所検出
- (3) 多数の場所固有の圧縮変化分類器を管理するためのゼロショット学習
- (4) 視覚的場所分類器の長期アンサンブル学習
- (5) クロスドメイン変化検出のための生成的敵対的ネットワークの使用
- (6) ループクロージャと変化物体の同時検出
- (7) 深層交差点分類のための一人称および三人称ビューの使用
- (8) 再帰的知識蒸留による長期車両ローカリゼーション
- (9) ディープ 3D ニューラルコードを使用したスケーラブルな変更検索
- (10) 再帰的オートエンコーダを使用した場所固有の背景モデリング

本研究の成果は、審査の厳しい国際会議プロシーディングなど専門誌に採択された

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計23件（うち査読付論文 18件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Koji Takeda, Kanji Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Boosting Self-localization with Graph Convolutional Neural Networks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the 16th International Joint Conference on Computer Vision, Imaging and Computer Graphics Theory and Applications	6. 最初と最後の頁 861-868
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.5220/0010212908610868	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 -

1. 著者名 Takuma Sugimoto, Yamaguchi Kousuke, Zhongshan Bao, Minying Ye, Hiroki Tomoe, Tanaka Kanji	4. 巻 1
2. 論文標題 Fault-Diagnosing Monocular-SLAM for Scale-Aware Change Detection	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE/SICE International Symposium on System Integration	6. 最初と最後の頁 276-283
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IEEECONF49454.2021.9382715	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 -

1. 著者名 Tanaka Kanji	4. 巻 1
2. 論文標題 Diagnosing Deep Self-localization Network for Domain-shift Localization	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE/SICE International Symposium on System Integration	6. 最初と最後の頁 298-303
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IEEECONF49454.2021.9382702	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 -

1. 著者名 Kurauchi Kanya, Tanaka Kanji	4. 巻 1
2. 論文標題 Deep Next-Best-View Planner for Cross-Season Visual Route Classification	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 25th International Conference on Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 497-502
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/ICPR48806.2021.9412043	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 -

1. 著者名 Tanaka Kanji	4. 巻 1
2. 論文標題 Self-Supervised Map-Segmentation by Mining Minimal-Map-Segments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the 2020 IEEE Intelligent Vehicles Symposium	6. 最初と最後の頁 637-644
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IV47402.2020.9304724	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 -

1. 著者名 Kanji Tanaka	4. 巻 23
2. 論文標題 Scalable Change Detection Using Place-Specific Compressive Change Classifiers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JACIII	6. 最初と最後の頁 705-714
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takuma Sugimoto, Kanji Tanaka, Kousuke Yamaguchi	4. 巻 31
2. 論文標題 Cross-Domain Change Object Detection Using Generative Adversarial Networks	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Robotics Mechatronics	6. 最初と最後の頁 221-230
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kousuke Yamaguchi, Kanji Tanaka, Takuma Sugimoto, Rino Ide, Koji Takeda	4. 巻 1
2. 論文標題 Recursive Background Modeling with Place-specific Autoencoders for Large-scale Image Change Detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)	6. 最初と最後の頁 2046-2051
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ITSC.2019.8917088	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Koji Takeda, Kanji Tanaka	4. 巻 1
2. 論文標題 Deep Intersection Classification Using First and Third Person Views	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)	6. 最初と最後の頁 454-459
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IVS.2019.8813859	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Ryohei Yamamoto, Kanji Tanaka, Koji Takeda	4. 巻 1
2. 論文標題 Invariant Spatial Information for Loop-Closure Detection	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 16th International Conference on Machine Vision Applications (MVA)	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/MVA.2019.8757889	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kojima Yusuke, Tanaka Kanji, Yang Naiming, Hirota Yuji, Yamaguchi Kousuke	4. 巻 1
2. 論文標題 From Comparison to Retrieval: Scalable Change Retrieval from Discriminatively Learned Deep Three-dimensional Neural Codes	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)	6. 最初と最後の頁 789-795
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ITSC.2019.8917170	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Hiroki Tomoe, Tanaka Kanji	4. 巻 1
2. 論文標題 Long-Term Knowledge Distillation of Visual Place Classifiers	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proc. 2019 IEEE Intelligent Transportation Systems Conference (ITSC)	6. 最初と最後の頁 541-546
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ITSC.2019.8917199	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Yang Naiming, Tanaka Kanji, Fang Yichu, Fei Xiaoxiao, Inagami Kazunori, Ishikawa Yuuki	4. 巻 1
2. 論文標題 Long-Term Vehicle Localization Using Compressed Visual Experiences	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Transportation Systems	6. 最初と最後の頁 2203-2208
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Yoshiki, Tanaka Kanji, Yang Naiming	4. 巻 1
2. 論文標題 Scalable Change Detection from 3D Point Cloud Maps: Invariant Map Coordinate for Joint Viewpoint-Change Localization	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. IEEE Int. Conf. Intelligent Transportation Systems	6. 最初と最後の頁 1115-1121
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Kanji Tanaka	4. 巻 22
2. 論文標題 Deformable Map Matching to Handle Uncertain Loop-Less Maps	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 915-923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Inagami Kazunori, Tanaka Kanji, Fei Xiaoxiao	4. 巻 1
2. 論文標題 An Unsupervised Approach to Place-Specific Change Classification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. 2018 57th Annual Conference of the Society of Instrument and Control Engineers of Japan	6. 最初と最後の頁 1734-1739
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Xiaoxiao Fei, Kanji Tanaka, Yichu Fang, Akitaka Takayama	4. 巻 22
2. 論文標題 Long-Term Ensemble Learning for Cross-Season Visual Place Classification	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Computational Intelligence and Intelligent Informatics	6. 最初と最後の頁 514-522
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Sugimoto Takuma, Tanaka Kanji, Yamaguchi Kousuke	4. 巻 1
2. 論文標題 Leveraging Object Proposals for Object-Level Change Detection	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proc. 2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium	6. 最初と最後の頁 397-402
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Tomoya Murase, Kanji Tanaka, and Akitaka Takayama	4. 巻 1
2. 論文標題 Change Detection with Global Viewpoint Localization	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. IAPR 4th Asian Conference on Pattern Recognition	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 高橋佳希 , 田中完爾	4. 巻 1
2. 論文標題 大規模3次元点群地図からのスケラブルな環境変化検出	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 第60回自動制御連合講演会 予稿集	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11511/jacc.60.0_1503	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Fei Xiaoxiao, Tanaka Kanji, Inamoto Kouya, Hao Guoqing	4. 巻 1
2. 論文標題 Unsupervised Place Discovery for Visual Place Classification	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. Fifteenth IAPR International Conference on Machine Vision Applications	6. 最初と最後の頁 109-112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.23919/MVA.2017.7986802	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Takahashi Yoshiki, Tanaka Kanji, Fang Yichu	4. 巻 1
2. 論文標題 Cross-season Vehicle Localization Using Bag of Local 3D Features	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. IEEE 20th International Conference on Intelligent Transportation Systems	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ITSC.2017.8317606	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Liu Enfu, Tanaka Kanji, Fei Xiaoxiao	4. 巻 1
2. 論文標題 Grammar-based Map Parsing for View Invariant Map Descriptor	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proc. International Conference on Indoor Positioning and Indoor Navigation conference	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/IPIN.2017.8115884	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------