

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 6 月 10 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2019～2023

課題番号：19H01096

研究課題名（和文）半透明／金属光沢物体のハンドリングと全品検査のための3.5D計測点群処理

研究課題名（英文）3.5D measurements and point cloud processing for handling and inspection of transparent and shiny objects

研究代表者

橋本 浩一（Hashimoto, Koichi）

東北大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：80228410

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、食品、薬品、化粧品などの半透明または金属光沢を有する物体を対象とした、「3D形状プラスアルファ」の計測と点群処理手法を開発した。LT行列（プロジェクタのすべての点からカメラのすべてのピクセルまでの反射特性行列）をスパースセンシングにより効率よく求め、照射パターンの縦横分解により並列処理アルゴリズムを開発し、GPUによる高速計算性能を確認した。さらに、半透明物体と金属光沢物体のハンドリングを実施した。レンズ、金属ネジ、金属ブロックのバラ積みピッキングを実施し、十分な性能を検証し、透明のプラスチック製品に関して表面キズや欠けの検出性能を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

半透明または金属光沢を有する物体に光をあけると、いくつかの反射や透過を繰り返し、物体表面だけではなく別な場所も輝度が高くなる。このように複雑な反射特性を持つため、表面形状を計測するためには高度な計算処理が必要となる。開発した照射パターン縦横分解は、パターンプロジェクションによる3次元計測に新たな科学的解釈を与えるとともに、並列処理の実装に適した計算アルゴリズムを与えた。さらに、GPU（グラフィックスプロセッシングユニット）実装による非常に高速な性能を達成した。ロボットによるハンドリングを実施することで精度検証を行い、プラスチック製品品質検査を実施して表面キズや欠けが検出可能であることを実証した。

研究成果の概要（英文）：In this study, we developed a "3D shape plus extra" measurement and point cloud processing method for translucent or metallic shiny objects such as food, medicine, cosmetics, etc. The LT matrix (reflection characteristic matrix from all points of the projector to all pixels of the camera) was efficiently obtained by sparse sensing. We also developed a parallel processing algorithm based on the vertical and horizontal decomposition of irradiation patterns, and confirmed the high-speed computing performance on GPUs. In addition, handling of translucent and metallic luster objects was conducted. Picking of lenses, metal screws, and metal blocks in bulk was conducted to verify sufficient performance, and the detection performance of surface flaws and chips was confirmed for transparent plastic products.

研究分野：ロボティクス

キーワード：3次元計測 マニピュレーション プロジェクタ 透明物体 光沢物体 全品検査

1. 研究開始当初の背景

工場生産現場において、ロボット導入による知能化が進んでおり、ハンドリング対象となる対象のセンシング・認識技術の確立が喫緊の課題となっている。このようなシーンのセンシングのための3Dロボットビジョンシステムとしてプロジェクタ・カメラシステムが実用化されつつあり、産業ロボットに適用できるような高速で高精度な製品が販売されている。しかし、既存の3次元計測システムでは、プラスチックやガラスのような半透明な部品や、ネジや金属ブロックのような光沢を有する部品の計測は依然困難な課題である。また、実際の生産現場でのビジョン応用を考えると、単に三次元形状を計測するだけではなく複雑な光学現象(屈折、反射、散乱、吸収など)を計測して品質管理に利用できることが望ましい。

近年、プロジェクタ・カメラシステムにおいてLight Transport Matrix (LT行列)のスパース推定を行うことにより、半透明物体や金属物体を3次元計測する手法が提案された。このLT行列は単に3次元形状を計測するだけでなく、先に述べたような複雑な光学現象をモデル化することができるため、材質などを含む「3D形状プラスアルファ」の情報となっている。本研究ではこれを3.5Dと呼ぶ。

2. 研究の目的

LT行列の推定によって3.5Dの情報を取得できる可能性があるが、LT行列はプロジェクタピクセル数とカメラピクセル数の積のサイズを有するため、この計測には膨大な時間を要する。既存手法のスパース推定を用いたアプローチでも生産現場で必要となるタクトタイムでの推定は難しい。本研究は計測に用いる照射パターンを動的に変更するフィードバックプロジェクションというアプローチで、3.5D計測とシーンの特性(物体の配置や材質など)を統合して同時推定し、必要な情報を効率よく計測することを目指す。

さらに、3.5Dの計測データは膨大であるため、既存の3次元データ処理技術だけで前述の手法を構成することは困難であることが予想される。深層学習を応用する手法とも組み合わせ、適切な3.5D特徴量を設計することによって、シーンの認識と計測を一体化した手法の実現を目指す。さらに、プロジェクタパターンの工夫や並列処理アルゴリズムの開発により、飛躍的な高速化を目指す。

3. 研究の方法

スパース推定を用いてLT行列の計測を行う場合、シーンの事前知識なくすべてのLT行列の要素の推定が必要である。これがLT行列計測のボトルネックになっていること、そして現実的な産業用ロボットビジョン応用では、連続的な繰り返しにおいてシーンが大きく変化しないという特徴から、LT行列の変化分のみを推定するというアプローチを着想した。また、このLT行列の変化分は計測システムの構成や計測シーンに大きく依存するため、具体的に陽なモデルで記述することが難しい。そこで、3.5Dでの光線の挙動を3次元点群のように順不同な情報であるとして捉え、点群深層学習における順不同なデータをニューラルネットワークで扱うための手法を適用することでLT行列の変化分のモデル化を行うことを検討する。さらに、プロジェクタパターンを縦横に分解することでエピソード拘束の推定やそれからの3次元推定が並列処理できることに着目し、GPU(グラフィクスプロセッシングユニット)による実装を試みる。

4. 研究成果

(1) LT行列の計測

本研究の基礎技術として、高速なLT行列推定手法の開発を行った。プロジェクタの1画素から照射された光線はシーンでの反射を経てカメラで観測され、この光の伝搬を記述したものがLT行列である。現実的なシーンにおいては一本の照射された光線はカメラの一部の画素のみで観測されるため、LT行列はスパースである(ゼロが多い)という性質を持つ。したがって、LT行列推定にはスパース推定が有効であり、これを実現するための手法としてADMM(Alternating Direction Method of Multiplier)を用いたL1最小化が用いられる。

ADMMでのL1最小化によるLT行列推定において、Sherman-Morrison-Woodbury公式(SWM formula)を用いることで逆行列の計算をインプリットを行う高速化を適用した。さらにLT行列のスパース性には構造があり、ある程度の行数をまとめて同時に推定してもスパース性を保つという発見から、複数行の同時推定手法を提案した(図1)。

また、LT行列計測の際に白飛びや黒つぶれが問題となることを指摘し、これらを考慮したL1最小化問題の定式化とADMMを応用した数値解法を提案した。

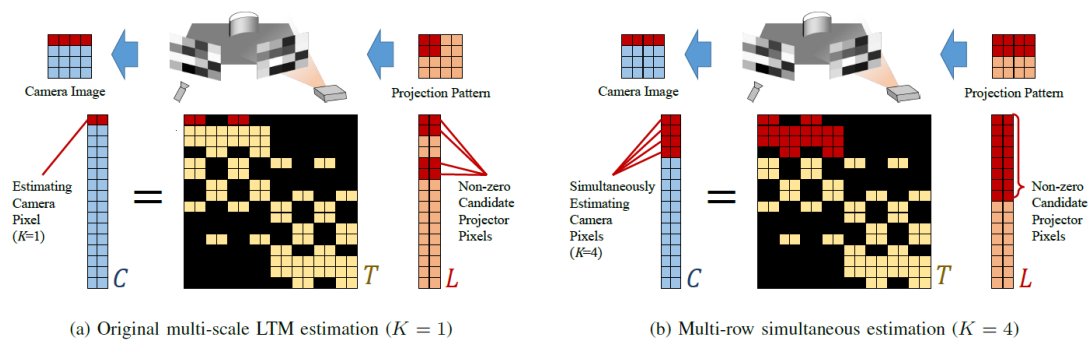


図 1 LT 行列の複数行同時推定による高速化手法．LT 行列のスパース性の持つ構造を利用し，複数行を同時に推定する手法を提案した [1]．

(2) シーン認識とロボットビジョン応用

LT 行列推定によって得られた三次元点群を産業用ロボットビジョンに応用し，金造光沢を有する物体のばら積みピッキングを行った．これは本研究において開発した手法による高速化を適用することで高速な LT 行列推定による 3 次元計測が実現したため，現実的な時間でロボットによるピッキングで検証できた例である．

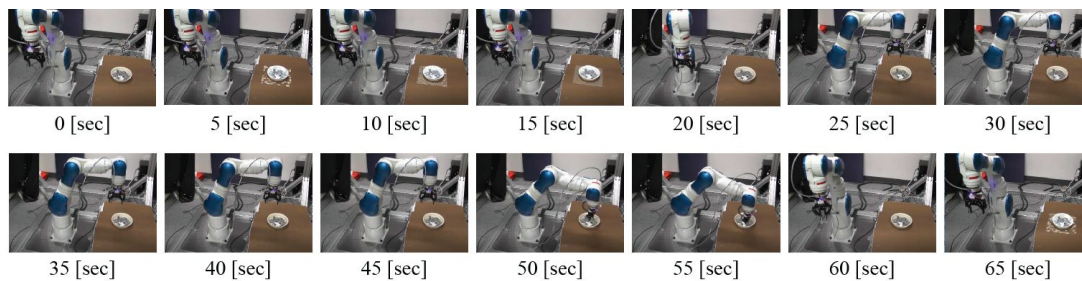


図 2 LT 行列の推定による三次元計測法をロボットビジョンに応用し，金属部品のピッキングに用いた [5]．

また，点群深層学習を用いたシーン理解についても研究を行い，シーン中の複数物体の検出及び位置姿勢推定を行うための手法を開発した．これは世界的にも点群深層学習による物体検出手法が提案され始めた時期での成果である．この研究において設計した，自己の特徴量と行列積による「点間での相互相関によって重み付けした特徴抽出」は，のちに提案された Attention 機構の構造を先取りするものであり，今日の点群深層学習でしばしば用いられるネットワーク構造とも通じる成果が得られている．

点群深層学習による物体検出や位置・姿勢推定には，真値となる物体の位置・姿勢が紐づけられた 3 次元点群シーンを大量に準備してデータセットを構築し，それを用いる必要がある．このような合成データによる学習は様々な分野（画像やロボット動作など）でも行われているが，3 次元点群の場合にはセンサデータを模したシミュレーションが行いやすいため，シミュレーションによるデータセット構築が特に有効である．位置・姿勢推定タスクを想定した汎用的なシミュレーターを開発しオープンソースで公開することで，研究コミュニティへの貢献を実施した．

上記の他，高速な 3 次元特徴点検出や点群深層学習を用いた人物動作認識，点群処理による人物行動予測など，本研究で得られた知見を応用した 3 次元点群処理に関する研究成果が得られている．

さらに，半透明物体と金属光沢物体のハンドリングを実施した．例としてレンズ，金属ネジ，金属ブロックのバラ積みピッキングを実施し，十分な性能を検証した．また，一部透明のプラスチック製品に関して品質検査の予備実験を実施し，表面キズや欠けの検出性能を確認した．

(3) LT 行列推定の高速化と GPU 実装

金属物体や半透明物体の 3 次元計測が求められているが，ロボットビジョンの分野では未だ困難な問題である．LTM スパース推定とエピポラ幾何拘束を利用することで，このような複雑な照明物体を高精度に計測できる新しい 3 次元計測手法を開発した．計算コストとロバスト性の観点からこの方法は実用的である．直観的な LTM 推定は非常に時間がかかるため，計算コストや投影数・キャプチャ数の削減手法を開発した．また，黒つぶれや白飛びのような非線形なプロジェクタ・カメラ系の挙動に対してロバストな LTM スパース推定法を開発した．

さらに，アクティブステレオ法における 3 次元計測精度を向上させるために，ユークリッド空

間上の誤差に基づく非線形最適化によってキャリブレーションパラメータを修正する方法を提案した。最適化におけるコスト関数は、ターゲット上の特徴点のユークリッド座標に基づいて計算された幾何学的制約を用いる。提案手法の精度を実験によって検証し、その結果、測定領域の一部においてのみ測定精度が向上することが確認された。また、特徴点の空間分布と測定領域の関係を調べることで、分布が測定精度に影響することが示唆された。

プロジェクタ投影パターンを互いに異なる行方向縞パターンを含む複数の第1投影パターンと、それに直交する列方向縞パターンを含む複数の第2投影パターンに分解して、計測対象物に投影してカメラ画像を計測することにより、第1投影パターンの各投影時における複数の第1撮影画像と前記複数の第2投影画像の各投影時における複数の第2撮影画像を取得する。これを第1ステップとする。前記撮影画像の複数の撮影画素の各々に対応する、前記投影画像の投影画素を特定する。これを第2ステップとする。第2ステップの結果に基づいて前記計測対象物の3次元形状を特定する過程を第3ステップとする。前記第2ステップでは、撮影画素の各々について第1撮影画像と行方向縞パターンとに基づいて対応画素行を特定し、第2撮影画像と第2投影画像の列方向縞パターンとに基づいて対応画素列を特定し、行および列の交点に相当する投影画素のうちエピポーラ拘束を満たす投影画素から当該撮影画素に対応する投影画素を特定することができる3次元形状計測方法を開発した。これにより行推定と列推定の計算を並列化することができ、GPU（グラフィックスプロセッシングユニット）による実装が可能となり、大幅な高速化を実現した。成果は特許として公開されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計28件（うち査読付論文 28件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Narita Shotaro, Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Vision-Based Finger Tapping Detection Without Fingertip Observation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 484 ~ 493
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2021.p0484	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 Ueda Shun, Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 MetamorHockey: A Projection-based Virtual Air Hockey Platform Featuring Transformable Mallet Shapes	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Special Interest Group on Computer Graphics and Interactive Techniques Conference Emerging Technologies, SIGGRAPH 2021	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) 10.1145/3450550.3465341	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 Suzuki Yoshiyuki, Yamaguchi Akihiko, Nojiri Seita, Watanabe Tetsuyou, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Vibration Control for Pivoting by Robot Hand Equipped with CAVS and FingerVision	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings - 2021 5th IEEE International Conference on Robotic Computing, IRC 2021	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) 10.1109/IRC52146.2021.00010	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 Yashima Ryota, Yamaguchi Akihiko, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Sample-Efficient Multimodal Dynamics Modeling for Risk-Sensitive Reinforcement Learning	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 2022 8th International Conference on Mechatronics and Robotics Engineering (ICMRE)	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) 10.1109/ICMRE54455.2022.9734091	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 Arai Shogo, Pettersson Andreas Lennart, Hashimoto Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Fast Prediction of a Worker's Reaching Motion Without a Skeleton Model (F-PREMO)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 90340 ~ 90350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.2992068	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 Arai Shogo, Fukuchi Nobuaki, Hashimoto Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 FAst Detection Algorithm for 3D Keypoints (FADA-3K)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 189556 ~ 189564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3025534	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 CHIBA Naoya, HASHIMOTO Koichi	4. 巻 86
2. 論文標題 Sparse Estimation under Saturated Condition for 3D Measurement and Its Application for Bin-Picking Robot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society for Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 106 ~ 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.86.106	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 Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Interactive Stickies: Low-latency projection mapping for dynamic interaction with projected images on a movable surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies, SIGGRAPH 2020	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) 10.1145/3388534.3407291	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 Oshiro Wakana, Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Perception of Motion-Adaptive Color Images Displayed by a High-Speed DMD Projector	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 2019 26TH IEEE CONFERENCE ON VIRTUAL REALITY AND 3D USER INTERFACES (VR)	6. 最初と最後の頁 1790 - 1793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/VR.2019.8797850	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 Kagami Shingo, Higuchi Kotone, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Puppeteered rain	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACM SIGGRAPH 2019 Posters, SIGGRAPH 2019	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) 10.1145/3306214.3338603	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 Owoyemi Joshua, Chiba Naoya, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Discriminative Recognition of Point Cloud Gesture Classes through One-Shot Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBOT 2019	6. 最初と最後の頁 2304 - 2309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBOT.2019.8961778	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 Chiba Naoya, Li Mingyu, Imakura Akira, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Bin-picking of Randomly Piled Shiny Industrial Objects Using Light Transport Matrix Estimation*	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBOT 2019	6. 最初と最後の頁 7 - 13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBOT.2019.8961622	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 Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 25
2. 論文標題 Animated Stickies: Fast Video Projection Mapping onto a Markerless Plane through a Direct Closed-Loop Alignment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics	6. 最初と最後の頁 3094 - 3104
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TVCG.2019.2932248	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 Chiba Naoya, Imakura Akira, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Fast ADMM l1 minimization by applying SMW formula and multi-row simultaneous estimation for Light Transport Matrix acquisition*	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBOT 2019	6. 最初と最後の頁 14 - 21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBOT49542.2019.8961736	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 Arai Shogo, Pettersson Andreas Lennart, Hashimoto Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 Fast Prediction of a Worker 's Reaching Motion Without a Skeleton Model (F-PREMO)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 90340 - 90350
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.2992068	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 Arai Shogo, Fukuchi Nobuaki, Hashimoto Koichi	4. 巻 8
2. 論文標題 FAst Detection Algorithm for 3D Keypoints (FADA-3K)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 189556 - 189564
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2020.3025534	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 Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Interactive Stickies: Low-latency projection mapping for dynamic interaction with projected images on a movable surface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 ACM SIGGRAPH 2020 Emerging Technologies, SIGGRAPH 2020	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) 10.1145/3388534.3407291	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 CHIBA Naoya, HASHIMOTO Koichi	4. 巻 86
2. 論文標題 Sparse Estimation under Saturated Condition for 3D Measurement and Its Application for Bin-Picking Robot	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Japan Society for Precision Engineering	6. 最初と最後の頁 106 ~ 112
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2493/jjspe.86.106	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 TODA Yukihiro, CHIBA Naoya, HASHIMOTO Koichi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Point cloud deep learning for multiple object pose estimation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)	6. 最初と最後の頁 2P2 ~ H06
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmermd.2019.2P2-H06	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 CHIBA Naoya, TODA Yukihiro, HASHIMOTO Koichi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Development of Simulator for Object Pose Estimation by Using of Pointcloud Deep Learning	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)	6. 最初と最後の頁 2P1 ~ I03
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmermd.2019.2P1-I03	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 CHIBA Naoya, ITO Hidechika, HASHIMOTO Koichi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Fast and Robust 3D Measurement by Light Transport Matrix Estimation	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)	6. 最初と最後の頁 1P2 ~ L10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmermd.2020.1P2-L10	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 ITO Hidechika, HASHIMOTO Koichi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Study on the calibration method using the geometric errors on active stereo method	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Proceedings of JSME annual Conference on Robotics and Mechatronics (Robomec)	6. 最初と最後の頁 1P2 ~ L12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1299/jsmermd.2020.1P2-L12	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 Nishida Ryo, Kanamori Ryo, Onishi Masaki, Noda Itsuki, Hashimoto Koichi	4. 巻 10
2. 論文標題 Simulation Analysis on Benefits of Introducing Meeting Points Into On-Demand Shared Mobility Services	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Access	6. 最初と最後の頁 124114 ~ 124129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ACCESS.2022.3224728	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 Fukuda Shunya, Graduate School of Information Sciences, Tohoku University 6-6-01 Aramaki Aza Aoba, Aoba-ku, Sendai 980-8579, Japan, Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 34
2. 論文標題 Evaluation of Perceptual Difference in Dynamic Projection Mapping with and without Movement of the Target Surface	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1141 ~ 1151
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2022.p1141	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 Tanonwong Matus, Chiba Naoya, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Recognition of Human Relationships Using Interactions and Gazes through Video Analysis in Surveillance Footage	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 2023 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, ROBIO 2023	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) 10.1109/ROBIO58561.2023.10354720	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 Nishida Ryo, Tanigaki Yuki, Onishi Masaki, Hashimoto Koichi	4. 巻 2678
2. 論文標題 Multi-Objective Deep Reinforcement Learning for Crowd Route Guidance Optimization	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board	6. 最初と最後の頁 617 ~ 633
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1177/03611981231190635	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 Kagami Shingo, Hashimoto Koichi	4. 巻 56
2. 論文標題 Homography Estimation Using Marker Projection Control: A Case of Calibration-Free Projection Mapping	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IFAC-PapersOnLine	6. 最初と最後の頁 2951 ~ 2956
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ifacol.2023.10.1418	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 Ye Ziqing, Yang Haichuan, Chiba Naoya, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Comparative Study of Hybridization and Parameter Tuning Improvement Methods for EAs in WFLOP	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 ACM International Conference Proceeding Series	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) 10.1145/3638209.3638219	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 -

〔学会発表〕 計4件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 千葉直也、今倉暁、橋本浩一
2. 発表標題 SMW公式を用いたADMM-L1最小化問題の高速解法
3. 学会等名 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 千葉直也、橋本浩一
2. 発表標題 LTM計測のための白飛びと黒つぶれに対応したスパース推定
3. 学会等名 第22回 画像の認識・理解シンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 戸田幸宏、千葉直也、橋本浩一
2. 発表標題 点群深層学習を用いた3次元物体の位置・姿勢推定
3. 学会等名 電子情報通信学会パターン認識・メディア理解研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 西田遼、谷垣勇輝、大西正輝、橋本浩一
2. 発表標題 群集誘導戦略最適化に向けた多目的深層強化学習に関する研究
3. 学会等名 2022年度人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計0件

〔取得〕 計1件

産業財産権の名称 3次元形状計測方法及び3次元形状計測装置	発明者 伊東秀謹、鏡慎吾、 橋本浩一、鈴木大 地、十都善行、稲垣	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特開2023-083632	取得年 2023年	国内・外国の別 国内

〔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
---------	---------