

様 式 C - 1 9、F - 1 9 - 1、Z - 1 9 (共通)

科学研究費助成事業 研究成果報告書



令和 2 年 6 月 1 6 日現在

機関番号：13701

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2019

課題番号：18K18427

研究課題名（和文）低コストな医療福祉用AGVのための全天球カメラと進化計算を用いた画像センシング

研究課題名（英文）Image sensing using an omnidirectional camera and evolutionary computation for a low-cost medical and welfare AGV

研究代表者

佐藤 惇哉（SATO, JUNYA）

岐阜大学・工学部・助教

研究者番号：20799944

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）：医療福祉分野でロボットを用いた自動化を進めるために，本研究では無人搬送機（AGV）に注目した．AGVを安全に走行させるためには，常に周囲の人や物を認識する必要がある．従来は複数のカメラやセンサの取り付けが必要であるが，高コストの原因となる．そこで，本研究では1台の全天球カメラのみを使用することで，低コスト化を図る．1年目では，自動走行のために必要な自己位置推定に関する先行研究の調査を行い，既存技術の改良を行った．2年目では，全天球カメラで撮影された歪みが大きい画像に対し，深層学習を活用することで人や物が正確に検出可能かを調査した．

研究成果の学術的意義や社会的意義

日本では高齢者人口が急速に増加しているが，介護や介助といった医療福祉関係の人手不足が問題視されている．この問題に注目し，ロボットによる自動化という観点で研究を進めることは社会的に意義がある．また，この問題を解決するために，近年登場した安価で容易に入手可能な全天球カメラを活用し，低コスト化を図ることは学術的に意義があることである．

研究成果の概要（英文）：To promote automation using robots in the medical and welfare field, this study focused on automatic guided vehicle (AGV). It is always necessary to be aware of people and objects around the AGV to drive it safely. Conventionally, multiple cameras and sensors have been required to be installed, however, this has led to high costs. Therefore, this study aims to reduce the cost by using only one omnidirectional camera. In the first year, we surveyed previous researches on self-position estimation, which is necessary for automated driving, and improved existing technologies. In the second year, we investigated whether people and objects can be accurately detected by using deep learning for highly distorted images taken with the omnidirectional camera.

研究分野：コンピュータビジョン

キーワード：コンピュータビジョン パターン認識 画像処理 進化計算 人工知能

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1．研究開始当初の背景

高齢社会の日本では、介護職員の不足が問題となっている。この問題を解決するためには人が行っている作業をロボット等を活用して自動化する必要がある。ものづくりをしている工場内では多くの作業が自動化されているが、介護現場では自動化は進んでいない。この原因は複数挙げられるが、代表的なものとして、ロボットが高コストであることが挙げられる。介護現場に様々なロボットを導入していくためには十分な性能を持つ低コストなロボットを開発することが必要である。

2．研究の目的

本研究では無人搬送機（AGV）に注目し、低コストかつ実環境に対応可能な AGV 開発に取り組むことにした。AGV を安全に走行させるためには、周囲の状況を認識する必要がある。そのために、複数のセンサやカメラが必要となるが、これが高コストのひとつの原因となる。そこで、本研究では一台の全天球カメラのみ使用することで低コスト化を図る。全天球カメラは周囲 360 度の画像を撮影することが可能である。しかし、画像に大きな歪みが発生するため、従来のコンピュータビジョンの技術を適用しても、正確に人や物を認識できない可能性がある。そこで、本研究では初めに AGV の自動走行に必要な技術の収集と理解をし、その後、アルゴリズムの改良と拡張をしながら本研究の目的達成を目指すこととした。

3．研究の方法

本研究で取り組んだことを以下に示す。

1. Visual odometry に関する従来手法の調査
2. 従来手法の改良と定量的な性能比較
3. 全天球カメラを用いた物体認識に関する調査

ロボットや自動車を正しく走行させるために、画像から自己位置を推定する研究がある。この技術は visual odometry や SLAM と呼ばれる。はじめに我々はこの技術の調査を行い、基本的なアルゴリズムの理解をした。次に、この技術の問題点を調査し、独自のアルゴリズムを導入して改良をした。その後、研究者向けに一般公開されている動画データセットを使用して、定量的な評価を行った。このデータセットは我々が注目している全天球カメラで撮影されたものではなく、レンズに大きな歪みが無いカメラが使用されている。そこで、全天球カメラで周囲の人や物を認識できるかも調査した。

4．研究成果

Visual odometry に関する従来研究を調査した後、研究者向けに公開されている動画データセットを使用してアルゴリズムの性能評価をした。その結果、高い性能が得られないことが分かった。原因を調査した所、自己位置の推定に使用している情報にノイズが含まれていることが分かった。図 1 にノイズの例を示す。この図の上半分は t フレーム目で下半分は $t+1$ フレーム目の画像である。この画像は走行する車両に取り付けられたカメラで撮影されているため、フレームが進むと風景も変化する。自己位置推定のためには隣り合うフレーム間で、風景がどのように変化したかセンシングし続ける必要がある。そこで、従来技術は FAST と呼ばれるアルゴリズムを適用している。このアルゴリズムを使用することで、画像から追跡に有効な特徴点を抽出することができる。そして、Lucas-Kanade 法を用いて特徴点の追跡をしている。しかし、外乱等の影響で、図 1 の赤い 2 つの丸で示されているように追跡に失敗する特徴点が存在する。これが性能が低くなる原因と予想し、独自に追跡に失敗した特徴点を削除する手法を構築した。



図 1 2 フレーム間における特徴点の追跡結果

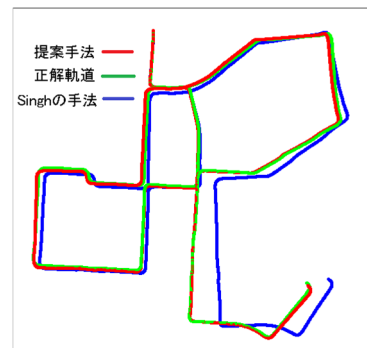


図 2 実験結果

実験結果を図2に示す。これは図1の動画シーケンスを用いて、従来手法と提案手法で自己位置推定した結果を示している。この結果から、提案手法の方が正しく推定していることが分かる。1フレーム当りの平均誤差は、従来手法は16.0[m/frame]に対して提案手法は3.0[m/frame]であり、高精度化に成功した。また、処理時間も従来手法は0.83[s/frame]に対して提案手法は0.64[s/frame]に高速化できた。この成果は国内学会で発表済みである。

上記の研究は全天球カメラが持つ大きな歪みが考慮されていない。そこで、次に全天球カメラを使った研究を行った。実環境におけるAGV走行を考慮した場合、人や物との衝突を回避する必要がある。したがって、全天球カメラから人や物を認識する必要がある。近年、深層学習の発展により画像から人や物を高精度かつ高速に認識できる。そこで、深層学習を活用することにした。深層学習を用いた画像認識は大量の画像を用いて学習されている。基本的に歪みが大きくないカメラで撮影された画像を用いて学習されているため、全天球カメラでも適用可能かを調査する必要がある。そこで、次にこれを調査した。実験に使用したカメラを図3に示す。このカメラで撮影した画像を図4に示す。カメラには2つの魚眼レンズが背中を合わせるように付いており、撮影すると2枚の画像が得られる。これらの画像からパノラマ画像を作成すると図5のようなになる。既に述べたように、全天球カメラには大きな歪みがあることが確認できる。次に、この画像に対してYOLOv3と呼ばれる深層学習を用いた人物認識を行うと図6のような結果が得られる。この深層学習モデルは歪みが大きくないカメラで撮影された画像を使って学習されているが、歪みが大きい全天球カメラで撮影された画像でも、人や物を認識していることが示されている。この結果から、深層学習は本研究に有効であることが分かった。次に研究すべきこととしては、全天球カメラを用いた自己位置推定アルゴリズムの構築である。その後、物体認識アルゴリズムと統合する。

動画像中の人や物の位置と姿勢は変化するため、その変化に柔軟に対応する必要がある。具体的には平行移動や拡大・縮小、回転といったアフィン変換が挙げられる。この変化にロバストな物体センシングをするために、進化計算を用いたテンプレートマッチングの研究を行った。進化計算は複数のパラメータを同時に最適化できる利点があるため、テンプレートマッチングと組み合わせることで、従来よりも効率的なマッチングが可能である。図7にターゲット画像を示



図3 使用した全天球カメラ



図4 撮影された画像



図5 パノラマ画像

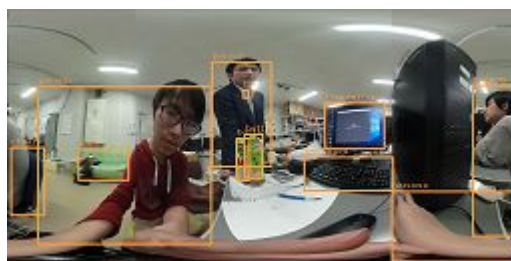


図6 深層学習による物体検出結果



図7 ターゲット画像と正解領域



図8 テンプレート

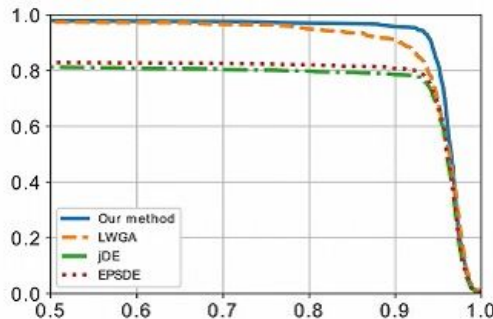


図9 先行研究との評価結果



図10 提案手法による検出結果例

す．例えば，この画像中の赤く囲われた領域内を正確に検出したいとする．この領域を図8に示されたテンプレートを手掛かりとして検出する問題を考える．アフィン変換のためには6つのパラメータを見つけ出す必要があるが，探索空間が大きく解の候補総数が多いため，正解領域に該当するパラメータの組み合わせを見つけることは困難である．そこで，差分進化（DE）と呼ばれる進化計算に注目し，これを改良することで従来研究よりも高精度にマッチングさせることに取り組んだ．進化計算には様々な手法が存在するが，その中でもDEはアルゴリズムがシンプルであり，性能も高く，多くのコンペティションで優秀な成績を収めている．この理由から，DEに注目した．しかし，探索空間を探索する個体集団の多様性が失われ，局所解に収束してしまう問題がある．そこで，提案手法で個体集団を始めに2等分し，exploitationグループとexplorationグループを作成した．exploitationグループは局所的な探索をし，explorationグループは大域的な探索をさせる．また，現在の探索までに得られた目的関数値に応じて両グループサイズを線形的に増減させることで，より効率的な探索が可能とした．図9に先行研究との評価結果を示す．提案手法は他の手法よりも高い性能を発揮していることが分かる．図10は提案手法による検出結果例である．テンプレートと一致する正解領域が正しく推定されたことが示されている．

この研究を発展させ，8自由度のperspective template matchingにも取り組んだ．アフィン変換は2次元空間における幾何学変換であるが，現実世界の物体は3次元空間で変化する．3次元空間で変化する物体をセンシングすることは，AGVと人の衝突を防ぐシステム構築のためにも重要である．探索空間はさらに大きくなるため，より無駄の無い探索をする必要がある．そのために，提案手法では上述したexploitationグループとexplorationグループを適応的に作り変えるアルゴリズムを導入した．これまでに得られたベスト解の位置が変わるたびに，その位置に応じたグループの作り換えを行うことで，より無駄の無い探索が可能となる．これにより，従来よりも高いマッチング性能を達成した．図11に，提案手法によるマッチング結果例を示す．赤い正解領域と完全一致する領域が推定されていることが分かる．

上述したように，進化計算と画像技術を組み合わせることで様々なアプリケーションを開発できる．本研究目的である医療福祉用AGVの開発とは直接的には関係はないが，進化計算の汎用



図11 8自由度のperspective template matchingの例

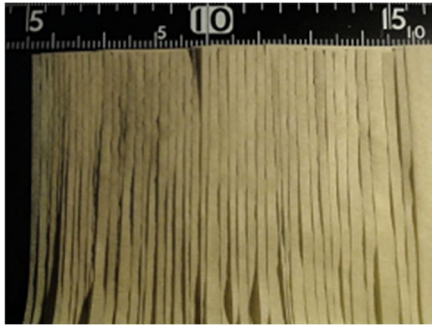


図 12 脂取り紙の対象画像の例

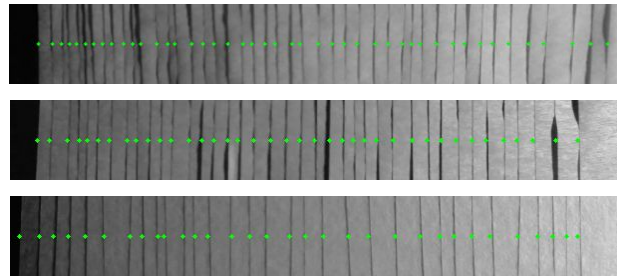


図 13 提案手法によるカウント例

性や発展性を確認するために、カメラを用いた脂取り紙の非接触カウントアルゴリズムの構築に取り組んだ。脂取り紙は薄いため、手で枚数を数えると皺がつく可能性がある。また、ゴミが付着する危険もある。そこで、画像を用いた非接触カウントの観点からアルゴリズムを構築することとした。脂取り紙の見た目にはバリエーションがあり、それらに柔軟に対応する必要がある。そのためには画像処理に使用される複数のパラメータを製品毎に変更する必要があるが、最適なパラメータを手動で見つけ出し、逐次手動入力するのは時間と労力がかかる。そこで、上述した進化計算を応用することで、これを自動化する。対象画像の例を図 12 に示す。この画像から枚数をカウントするためには、紙と紙の境界線を画像処理により抽出できれば良い。しかし、画像全体の明るさにムラがあり、境界線付近にノイズとなる影が存在する。これらの問題に対応するために、遺伝的アルゴリズム (GA) を使用した。紙の境界線抽出に必要な画像処理パラメータを GA で全て並列的に最適化することで、自動取得することが可能である。図 13 に、提案手法によるカウント結果例を示す。全てカウントに成功していることが確認できる。

人間の作業をロボットで自動化するという観点から、intelligent power module (IPM) と呼ばれる部品を基板に自動挿入するロボットの開発にも取り組んだ。IPM には変形しやすい複数のピンがあり、微小な力を加えながらピン幅と基盤の穴の幅と合わせて挿入する必要がある。この微細な手の動きをロボットで再現するために、図 14 のようなパラレルリンクロボットを使用した。また、IPM を把持・挿入するためのグリッパは 3D プリンタで作成した。IPM を壊さずに挿入作業を実行するためには、力の強さを常にセンシングする必要がある。そこで、ハンドには 6 軸力覚センサが設置されている。IPM を基盤の穴に位置合わせするためには 3 次元的位置合わせが必要である。そのために、IPM の正面と側面を捉えることができるように二台のカメラを設置した (図 16)。これらのカメラから得た画像に対して画像処理を適用し、ピン先の基盤の穴の座標をリアルタイム追跡する。両者の距離を最小化するようにロボットを制御することで、最終的に挿入をすることができる。100 回の挿入実験を実施したところ、成功率は 100% であった。平均の挿入時間は 29 秒であり、人間の手作業による挿入時間よりは遅かった。しかし、ロボットの人件費に対するコストの低さと 24 時間の稼働を考えると、本手法によるシステムは有効である。



図 14 パラレルリンクロボット



図 15 グリッパ

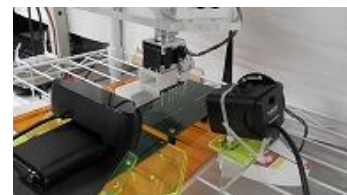


図 16 設置されたカメラ

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Junya Sato, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito, Takuya Akashi	4. 巻 14
2. 論文標題 Vision-based Facial Oil Blotting Paper Counting	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 899-907
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.22880	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 Junya Sato, Takuya Akashi, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito	4. 巻 14
2. 論文標題 Affine Template Matching by Differential Evolution with Adaptive Two-Part Search	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 615-622
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.22844	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 Junya Sato, Yoshiaki Ichikawa, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito, Hidehiko Yamamoto, Motoharu Fujihara, Satoshi Kawaguchi, Takehiko Suzuki, Jin Izawa	4. 巻 9
2. 論文標題 Development of an Intelligent Power Module Inserter	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Journal of Industry Applications	6. 最初と最後の頁 140-148
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1541/ieejjia.9.140	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 Junya Sato, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito, Takuya Akashi	4. 巻 15
2. 論文標題 Perspective Template Matching by Differential Evolution Introducing the Group Remaking	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEJ Transactions on Electrical and Electronic Engineering	6. 最初と最後の頁 918-927
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/tee.23134	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11件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 6件）

1. 発表者名 Shinji Kondo, Takayoshi Yamada, Junya Sato, Kazuaki Ito, Hidehiko Yamamoto
2. 発表標題 Development of an Opposed Type Master Device using a Parallel Link Robot and Study on Teleoperation
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yoshiaki Ichikawa, Takayoshi Yamada, Junya Sato, Kazuaki Ito, Hidehiko Yamamoto, Motoharu Fujihara, Satoshi Kawaguchi, Takehiko Suzuki, Jin Izawa
2. 発表標題 IPM Insertion Using Force Sense and Visual Feedback Control
3. 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Junya Sato, Toru Koide, Yuki Kisi, Takayoshi Yamada, Kazuaki Sibata, Kazuaki Ito, Takuya Akashi
2. 発表標題 Basic Study on Facial Oil Blotting Paper Counting Using a Webcam
3. 学会等名 The 2018 12th France-Japan and 10th Europe-Asia Congress on Mechatronics (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 松尾健斗, 佐藤惇哉, 山田貴孝, 伊藤和晃, 山本秀彦
2. 発表標題 CNNによるバラ積みされたベアリングの底面検出
3. 学会等名 日本機械学会東海支部 TOKAI ENGINEERING COMPLEX 2019 (TEC19) 第68期総会・講演会
4. 発表年 2019年

1 . 発表者名 Hanana Furukawa, Junya Sato, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito, Shinichi Ito
2 . 発表標題 Grasping Position Detection Using Template Matching and Differential Evolution for Bulk Bolts
3 . 学会等名 IEEE 45th Annual Conference of the Industrial Electronics Society (IECON) (国際学会)
4 . 発表年 2019年

1 . 発表者名 Ryota Yamada, Junya Sato, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito, Kentaro Kitamura
2 . 発表標題 Automatic Path Generation by Genetic Algorithm for Efficient Smoothing
3 . 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 Takumi Imanishi, Junya Sato, Takayoshi Yamada, Kazuaki Ito, Kentaro Kitamura
2 . 発表標題 Image Segmentation for an Industrial Object with Paste-like Material
3 . 学会等名 IEEJ International Workshop on Sensing, Actuation, Motion Control, and Optimization (SAMCON) (国際学会)
4 . 発表年 2020年

1 . 発表者名 山田貴孝, 岸祐樹, 佐藤惇哉, 伊藤和晃, 山本秀彦
2 . 発表標題 摩擦なし二次元包み込み把持の安定性解析
3 . 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 (ROBOMECH)
4 . 発表年 2019年

1．発表者名 高田峻佑，山田貴孝，佐藤惇哉，伊藤和晃，山本秀彦
2．発表標題 4指12自由度ハンドによる治具の自動組み立ての研究-密着状態の治具の認識と整列作業-
3．学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMECH）
4．発表年 2019年

1．発表者名 山田涼太，山田貴孝，伊藤和晃，佐藤惇哉
2．発表標題 ロボットアームを用いた刷毛塗り作業の自動化の基礎研究
3．学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会（ROBOMECH）
4．発表年 2019年

1．発表者名 近藤勇太，佐藤惇哉，山田貴孝，伊藤和晃
2．発表標題 特徴点の削除によるVisual Odometryの精度改善と高速化
3．学会等名 第25回画像センシングシンポジウム（SSII）
4．発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

岐阜大学工学部機械工学科佐藤惇哉
<https://sites.google.com/site/junyasatocv/home>

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