

災害対応ロボットにおける RGB-D カメラ情報を用いたスイッチの位置・姿勢の推定 Estimating Position and Orientation of Switches Using Information Obtained by RGB-D Camera Attached to the Disaster Response Robot

神田 琢也[†] 大谷 淳[‡] 小方 博之[§] 橋本 健二^{*} 内藤 博[‡] 松澤 貴司[‡] 高西 淳夫[‡]

Takuya Kanda[†] Jun Ohya[‡] Hiroyuki Ogata[§] Kenji Hashimoto^{*}

Hiroshi Naito[‡] Takashi Matsuzawa[‡] Atsuo Takanishi[‡]

1. はじめに

近年、大地震等の自然災害や原子力発電所事故などの人為災害が多発している。災害発生後、これらの現場で復旧作業を行う必要があるが、人が立ち入って復旧作業を行うことが困難・不可能、あるいは危険な現場が多く存在する。そこで、災害現場で人に代わり復旧作業を行う、災害対応ロボットの需要が増大している。筆者ではその需要に応える一環として、極限環境で作業可能な脚型災害対応ロボット WAREC-1[1]の開発を行っている。

災害対応ロボットに求められる作業機能の一つに装置のスイッチの切り換え操作がある。これは米国で開催された災害対応ロボットの競技会である Darpa Robotics Challenge (以下、DRC) [2]でタスクとして与えられたり、産業競争力懇親会(COCN)の「災害対応ロボットセンター設立構想」[3]で必要な作業の一つとして挙げられている。

WAREC-1 によるスイッチの切り換え操作は現状ではオペレータが遠隔操作でロボットをマニュアル制御することによって実現している。また DRC においても多くのロボットがオペレータによる遠隔操作でスイッチの切り換え動作を実現している。

このような遠隔操作による制御ではオペレータとロボットの間で通信を行う必要がある。しかし、災害現場などにおいては、必ずしも良好な通信が行えるとは限らず、作業の継続が困難となってしまう。また、DRC においても、タスク中にオペレータとロボットの通信を断続的に遮断することによって通信が良好でない環境を模した課題がある。災害対応ロボットはオペレータとの通信が困難な状況においても作業を継続する必要があるため、センサ情報を用いて自律的に作業を行えるようにすることは重要である。

そこで本稿では WAREC-1 に搭載されている RGB-D センサの情報を用いて自律的にスイッチを検出し、切り換え動作を行うために必要となるスイッチの位置情報と姿勢情報の算出を行う。スイッチの中でも円形の押しボタン式スイッチとタクトイルスイッチに焦点を当て、手法の提案を行う。

2. 提案手法

センシング情報に基づいた自律的なスイッチの切り替え作業に必要なスイッチの位置情報と姿勢情報の算出を行うために、RGB-D カメラから得られる RGB 画像情報と深度画像情報を用いる。

[†] 早稲田大学 先進理工学研究科 生命理工学専攻

[‡] 早稲田大学 創造理工学部 総合機械工学科

[§] 成蹊大学 理工学部 システムデザイン学科

^{*} 明治大学 理工学部 機械情報工学科

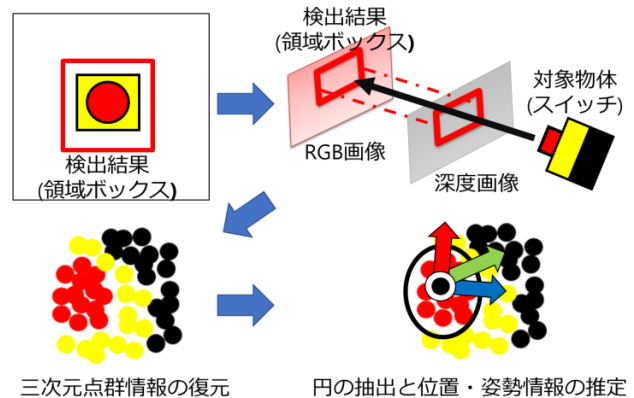


図 1 提案手法概観

提案手法の概観を図 1 に示す。初めに、WAREC-1 の胴体部に搭載されている RGB-D カメラである KINECT V2 を用いてスイッチの RGB 画像情報と深度画像情報を取得する。次に、得られた RGB 画像情報に対して深層学習を用いた物体検出方法のひとつである YOLOv3[4]を用いて画像内におけるスイッチの領域ボックスを取得する。その後、領域ボックスの位置情報と深度画像情報を照合することによって、対象物体のみの深度情報を取得する。得られた深度情報から対象物体の 3 次元点群情報を復元し、3 次元点群情報に対して円検出を行いスイッチの操作部を検出したのち、法線検出を行うことでスイッチの姿勢を算出する。

2.1 KINECT V2 を用いた RGB-D 情報の取得

スイッチの位置情報と姿勢情報の計算を行うために RGB 情報を使ってスイッチを認識し、認識された領域の深度情報を用いてスイッチの位置・姿勢情報の算出を行うために RGB 画像と RGB 画像に対応した深度情報を KINECT V2 を用いて取得する。

2.2 YOLOv3 を用いたスイッチの検出

災害現場ではスイッチ形状などの情報が事前に得られない可能性があり、汎用的なスイッチの検出能力が求められる。そこで、深層学習を用いた物体検出方法のひとつである YOLOv3 を用いて KINECT V2 より取得される RGB 画像情報内に存在するスイッチを検出し画像内のスイッチがあると推定される領域を矩形で出力する。

あらかじめインターネットを用いて押しボタン式、タクトイル式のスイッチ画像を収集して学習データとし、YOLOv3 の学習を行った。

2.3 三次元復元

実世界においてどの位置にロボットのハンドを移動させればスイッチの切り替えが行えるかの提示を行うためスイッチの三次元点群を取得する必要がある。YOLOv3 によりスイッチが存在すると推定された領域の三次元点群の作成を行うため、KINECT V2 により取得された深度画像内における YOLOv3 で検出されたスイッチの領域部分の抽出を行い、スイッチの深度情報を取得する。次に、取得された深度情報から実世界における三次元位置座標の情報を有する三次元点群情報の作成を行う。

2.4 三次元点群処理を用いたスイッチの位置・姿勢の推定

ここでは 2.3 までの処理で作成された対象スイッチの三次元点群情報に対して処理を行い、スイッチの位置と姿勢の算出を行う。

2.4.1 外れ値処理

2.2 の YOLOv3 によって算出された領域にはスイッチ以外の背景や他の物体の情報も含んでおり、これらを除く必要がある。領域ボックス内の点群において、他の点群と比較して大きく距離が外れているものを対象スイッチの三次元点群情報ではないと判断し、事前に除去を行う。

2.4.2 ノイズ除去

取得された三次元点群情報に対して平滑化を行い、RGB-D センサが深度情報を取得した際のノイズを軽減する。

2.4.3 RANSAC を用いた円の検出

Point Cloud Library にある標準円を Random Sample Consensus (RANSAC)[6]を用いて当てはめを行うことでスイッチの領域ボックス内の三次元点群から円を抽出する。抽出された三次元点群の円の中心位置を算出し、スイッチの操作部の位置とする。また得られた円の面に対する法線方向を算出し、スイッチの姿勢情報とする。

3. 実験結果・考察

提案手法の有効性の評価を行うためにロボットシミュレーション環境である gazebo[5]内でスイッチのモデルを生成し、その位置と姿勢の推定を行った。

本実験ではオムロン製の押しボタン式のスイッチボックスである A22E_M_02B [7]の 3D モデルを対象とし、提案手法の有効性の検証を行った。実験条件としては KINECT V2 の前方 60~100[cm]、角度-45~45[°]に対象となるスイッチを設置し、その位置と姿勢の推定を行った。

図 2 に本稿の提案手法によるスイッチの位置情報と姿勢情報の推定結果を示す。(a)が gazebo 内で生成した A22E_M_02B の 3D モデルであり、(b)は提案手法を適用して検出された位置情報と姿勢情報を抽出した結果である。(b)における黒点がスイッチ操作部の位置情報として推定されたものであり、矢印が姿勢情報として抽出されたものである。位置情報の推定結果である黒点とスイッチ操作部の位置が重なり、姿勢情報の推定結果である矢印とスイッチの姿勢が重なっており、提案手法の有効性が示せたと考えられる。

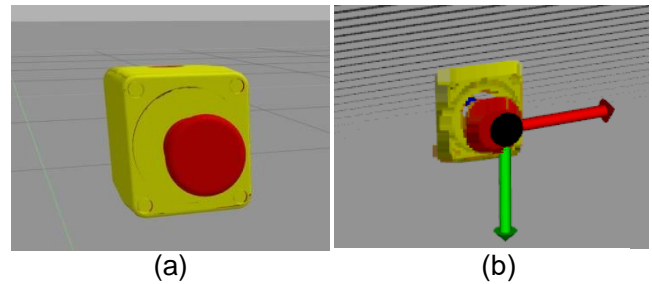


図 2 スwitchの位置情報と姿勢情報の推定結果

4. おわりに

本稿では、RGB-D カメラから取得される情報に基づいて災害対応ロボット WAREC-1 の自律的なスイッチ切り換え操作に必要な情報であるスイッチの位置情報と姿勢情報の推定方法の提案を行った。また提案手法をシミュレーション環境下で検証を行い、その有効性を確認した。

本稿で検証を行ったスイッチの種類は押しボタン式スイッチ、タクトイルスイッチのみに適用しており、今後はトグルスイッチやロータリスイッチなど対象となるスイッチの種類を拡大する予定である。

本稿はシミュレーション環境下での有効性の検証を行ったため、現実の環境と比較してノイズや外れ値による影響が低いため、ノイズや外れ値が多く存在するような環境においても検証を行う。

また、本稿の検証は対象となるスイッチの RGB 画像情報と深度画像情報のいずれもが取得できる環境を想定している。災害時は、明かりがつかず、RGB 画像情報を取得できない場合や、煙や粉じんによって深度情報を取得できない環境が想定される。そのため、今後は災害時において RGB 画像情報や深度情報のいずれかが十分に取得できない環境においても、スイッチの位置・姿勢情報の検出方法を模索する必要があると考えている。

参考文献

- [1] Kenji Hashimoto et al., "WAREC-1 - a Four-Limbed Robot Having High Locomotion Ability with Versatility in Locomotion Styles," 2017 IEEE International Symposium on Safety, Security and Rescue Robotics (SSRR2017), pp. 172-178 (2017)
- [2] Adam Norton, et al., "Analysis of human-robot interaction at the DARPA Robotics Challenge Finals.," The International Journal of Robotics Research, Vol. 36, Issue 5-7, pp. 483-513 (2017).
- [3] 産業競争力懇談会(COCN), "産業競争力懇談会 2013 年度 プロジェクト 最終報告書 災害対応ロボットセンター設立構想", <http://www.cocn.jp/report/thema60-L.pdf>, 2013, (最終閲覧日 2019 年 6 月 17 日)
- [4] Joseph Redmon, Ali Farhadi "YOLOv3: An Incremental Improvement." arXiv:1804.02767, 2018
- [5] Gazebo, <http://gazebo.org/>, (最終閲覧日 2019 年 6 月 20 日)
- [6] Rahul Raguram et al., "USAC: A Universal Framework for Random Sample Consensus", IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, pp. 2022-2038 (2013).
- [7] OMRON Corporation, A22E-M-02B CAD drawing Download, http://download.ia.omron.com/download/page/A22E_M_02B/OEI/A22E_M_02B, (最終閲覧日 2019 年 6 月 18 日)