

令和 3 年 6 月 23 日現在

機関番号：33919

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2020

課題番号：16H02880

研究課題名(和文) 潜在的相互作用の知覚に基づく遠隔操作視覚支援モニタリングシステム

研究課題名(英文) Visual support system for remote operation based on the perception of potential interactions

研究代表者

関山 浩介 (SEKIYAMA, Kosuke)

名城大学・理工学部・教授

研究者番号：40293675

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 9,700,000円

研究成果の概要(和文)：本課題は、より直感的な操作感でロボットに対する操作指示を行うための認知・制御・インターフェースの統合システムを開発した。操作者はスマートグラスを装備し、指差し動作などの簡単な指示で双腕移動マニピュレータによるFetchタスクを遂行させることができる。ロボットは片腕にカメラを搭載し、一方のグリッパで把持制御を行う双腕協調制御を実装した。Symbolic Task Planning の一つであるFast DownwardとBehavior Treeを用いたリアクティブなタスク修正をオンライン実行するアーキテクチャを構築し、複数ロボットを含めたオンデマンド協調システムを構築した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

日常生活にロボットが浸透する際、人とロボットがより親和的に相互作用する認知システム、制御システム、インターフェースの統合実装は今後重要なテーマとなると考えられる。人とロボットがサイバーフィジカル領域で拡張された身体性を実現するための基礎技術を構築した。

研究成果の概要(英文)：We have developed an integrated system of cognition, control, and interface for intuitive operation to the robot with a more intuitive operation feeling. The operator is equipped with smart glasses and can perform Fetch tasks with a dual-arm mobile manipulator with simple instructions such as pointing. The robot has a camera mounted on one arm and implements dual-arm cooperative control in which grip control is performed by one gripper. We built an architecture that executes reactive motion planning using Fast Downward and Behavior Tree, which are one of the Symbolic Task Planning, and built an on-demand cooperative system of multiple robots.

研究分野：自律分散システム、知能ロボット

キーワード：知能ロボット 行動計画 インターフェース

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

(1)ロボットの知能化技術が進む一方で、建設や災害復旧現場などのリスクの高いタスク環境では、ロボットの応用は遠隔操作が前提となっている。一般に作業ロボットは、搭載カメラからの映像で作業環境と作業対象の映像を操作者に提示するが、主客的視座では周辺状況の認識が不十分な場合が多い。遠隔操作支援では、外部カメラやモニタリングロボットを導入し俯瞰情報を提供する試みがなされていたが、その視座は固定的であり、視点の動的変化が必要な作業環境では十分に対応できていなかった。

(2)人ロボット協働環境が様々な分野で模索されており、より人に直感的なインターフェースとして、スマートグラスの開発が進められていたが、まだ人とロボットがサイバーフィジカル空間で繋がる臨場感には乏しい。このようなインターフェースを活用した人の直感的操作により、環境に設置した人工マーカに依存せず、人とロボットが異なる視点からの対象物への認知共有を実現し、ロボットへのタスク指示が行える統合システムは実現されていない。

(3)複数ロボットの協調においては、あらかじめ決められたタスクにおいてロボット間の協調制御が実現されているが、オンデマンドな協調形態形成についての研究事例は少ない。

### 2. 研究の目的

本課題では、人にとってより直感的な操作感でロボットに対する操作指示を行うための認知・制御・インターフェースの統合実装を行う。

(1)地上ロボット、屋内ドローンによる自律モニタリングのための最適視点選択手法を構築する。遠隔操作において操作者からの視点では見え難いタスク環境で、自律移動モニタリングロボットが視覚支援を行う。また、屋内ドローンにより、構図バランスの最適視点選択を短時間で自律探索する技術を開発する。

(2)スマートグラスによる直感的で臨場感を伴うジェスチャー指示によるロボットへの操作指示を行うためのインターフェース開発を進め、人工マーカを用いず人とロボットが異なる視点から操作対象を共有するための認知共有アルゴリズムを開発する。これにより、ロボットへのジェスチャーによる fetch task を実現する。

(3)複数ロボットによるタスク遂行の自律性を高め、単一ロボットではタスク遂行に限界がある場合に、オンデマンドでロボット間の協調が生成される行動計画アーキテクチャを構築する。

### 3. 研究の方法

(1)ロボット制御の実装：実験用地上ロボットとして、双腕移動マニピュレータ(Kuka Youbot)を用いる。ロボットの片腕にはカメラを搭載し、もう片方のアームにはグリッパによる把持制御を行う。カメラは YOLO による画像認識によって把持対象をリアルタイムにトラッキングしつつ、対象物へのアプローチと画像認識用のアーム姿勢と把持動作の双腕協調制御を実装する。ランダムに床面や段差に配置したペットボトル等の物体を連続して Pick & Place する安定動作を実現する。また、ORB-SLAM によるビジュアル SLAM を構築し、ドローンの屋内環境における位置制御を実装することで、ロボットの環境認識と基本的制御動作を整える。

(2)操作者が直接ロボットやタスク環境を視認できない操作環境から、遠隔操作による YouBot の Peg-in-Hole のタスクを行う。同時に、カメラを搭載した別の自律移動ロボットにより、タスク進行状況に応じて適切な視点選択を行いつつロボットの作業状況をモニタリングし、操作者への視覚支援を行う。モニタリングロボットによる視覚支援の遠隔操作への効果を検証する。

(3)人がロボットの操作をより直感的に行うために、スマートグラスを導入する。人とロボットの視点の異なる対象物体の認知共有を図る場合、視点の相違から対象物の見え方が異なる問題が発生する。これに対し、周辺物体配置状況のレイアウトをグラフ構造で表現し、サブグラフマッチングと呼ばれる全体グラフから部分グラフを探索するアルゴリズムを適用する。これにより、コンテキストから対象を絞り込み、類似物体が多い環境や視点からの見え方が大きく異なる対象物の認知共有精度を高める。

(4)上記の技術を統合実装し、スマートグラスを介したジェスチャー指示による fetch task を遂行する。タスク環境を段階的に複雑にし、これに対応するための symbolic planner を構築する。Behavior Tree により、タスク遂行のための条件をロボットが整えていき、必要に応じて他のロボットの視覚支援を要請し、オンデマンドの協調形態を実現する。人とロボット、ロボット間の協調システムの全体システムを構築する。

### 4. 研究成果

(1)双腕移動マニピュレータの把持姿勢の制御には、冗長マニピュレータの多目的最適化手法として Projected Gradient を適用した。評価関数は、周辺物体との障害物回避、物体認識における把持アームによるオクルージョン回避、把持対象との距離を用いて、安定した自律的 pick & place 動作を実現した。画像認識は YOLO を用いて研究室内ぶ物体約 5 万枚の写真から学習し、20 種類程度の識別を可能と、ロボットに実装した。ロボットのカメラ画像から取得した映像から ORB-

SLAM を構築し，屋内環境におけるロボットの自己位置推定精度が 15cm 程度以内まで可能とした．屋内ドローンの位置情報も 3 次元 SLAM を構築し，屋内で GPS を用いずに安定したホバリング制御が可能とした．ドローンは被写体のレイアウトを混合ガウス分布で表現し，これを参照構図に対する混合ガウス分布の分離度を KL 情報量で評価し，その最小化を Particle Swarm Optimization を用いて 3 次元探索させる．時間的制限のため環境全域を探索することができないため，非探索領域をガウス過程により補間し，最適視点選択の効率化を実現した．

(2) スマートグラスは EPSON MOVERIO を用いて，ユーザの視野に入る対象物に YOLO による物体認識結果が表示される．See-Through display 上にリアルタイムに物体認識結果が表示される．操作者が対象物を指差し動作をすると，ターゲットが選択され，操作者とロボット間での認知共有がサブグラフマッチングにより行われる．共有されたターゲットを双腕移動ロボットが把持し，操作者まで届ける fetch-task を実現した．図 1 統合システムのシステム構成図である．図 2 は，実験映像のスナップショットであり，左の列がスマートグラスからの映像で，対象物を指差すとターゲットがロボットと認知共有される．真中の列はロボットのカメラからの映像であり，このカメラ画像を基に対象物を把持する．対象物を把持した後は，ユーザーのカメラ視点を共有し，把持物体を届けている．右列は実験の俯瞰映像である．AR マーカーはスマートカメラの座標とロボットの SLAM 座標の変換にのみ用いており，認識に人工マーカは用いていない．本実験は研究室内だけでなく，予備成果を元にメッセナゴヤ 2019 に出展し，3 日間の実演デモを行い，成功を収めた．現在より高性能なスマートグラスである HoloLens2 により，より臨場感のある AR オブジェクト生成を用いたシステム拡張を行なっている．

(3) ユーザからの指示がより複雑な動作計画を要する場合や，環境に部分的不確実性がありロボット単独で遂行することが困難な状況もある．これに対応する問題クラスは Low Entropy Planning と呼ばれる．本課題終盤では，この問題に対し，Symbolic Task Planning の一つである Fast Downward と Behavior Tree を用いたリアクティブなタスク修正をオンライン実行するアーキテクチャを構築し，複数ロボットを含めたオンデマンド協調システムを構築した．

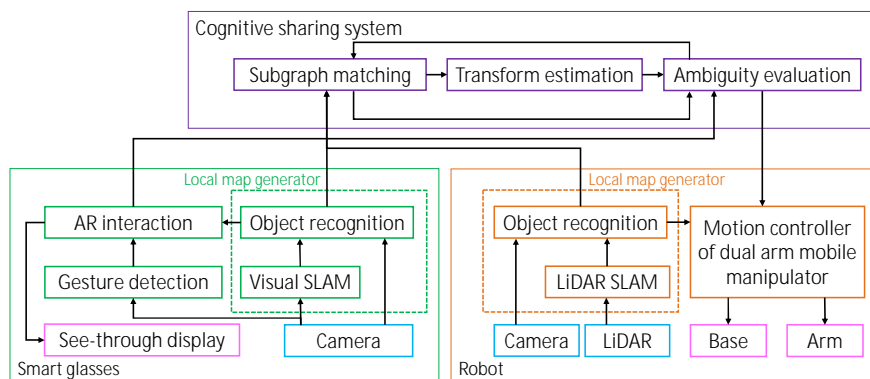


図 1 スマートグラスを介した人口ロボット認知共有システム

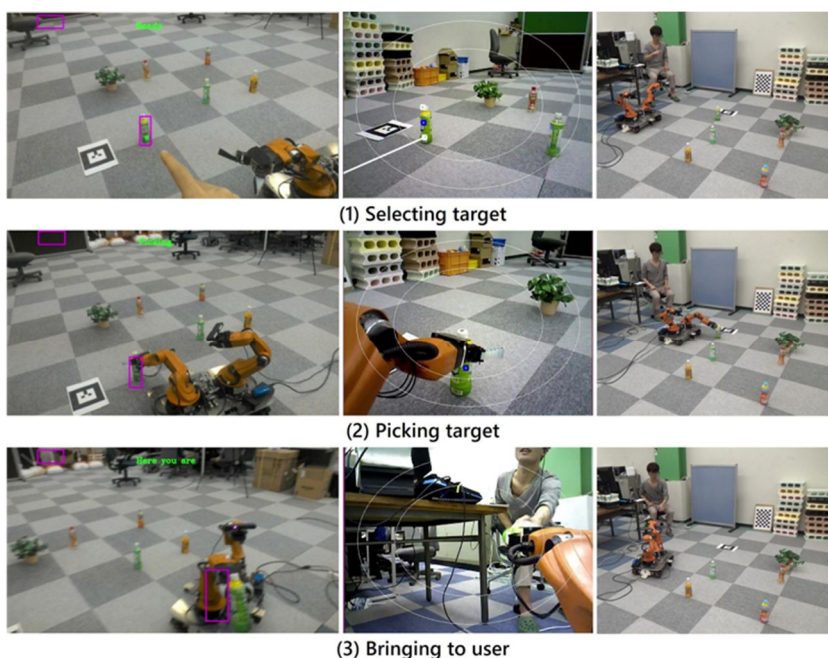


図 2 スマートグラスを介した Fetch-Task

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Shota Samejima; Khusniddin Fozilov; Kosuke Sekiyama	4. 巻 Vol.5, No.6
2. 論文標題 Visual Support System for Remote Control by Adaptive ROI Selection of Monitoring Robot	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 ROBOMECH Journal	6. 最初と最後の頁 1-21
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1186/s40648-018-0103-0	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 -

〔学会発表〕 計20件（うち招待講演 3件/うち国際学会 6件）

1. 発表者名 横松大政, 関山浩介
2. 発表標題 PSOとガウス過程を用いた屋内ドローンの最適視点選択
3. 学会等名 HAIシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Taishi Suzuki; Kosuke Sekiyama,
2. 発表標題 A coordinated control system for dual-arm mobile manipulator balancing grasping and viewpoint selection
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Fozilov TreesKhusniddin, 関山浩介
2. 発表標題 Behavior Treeに基づいた自律性評価
3. 学会等名 第32回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上遼, 関山浩介
2. 発表標題 ユーザとロボットをシームレスにつなぐスマートグラスインタフェース
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上遼, 関山浩介
2. 発表標題 ユーザの身体性を拡張する認知共有システムを用いたロボットナビゲーション
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 横松大政, 関山浩介
2. 発表標題 PSOとガウス過程を用いた屋内ドローンの最適視点選択
3. 学会等名 HAIシンポジウム2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川瀬晴義, 関山浩介
2. 発表標題 BehavioTree を用いたリアルタイム行動計画-計画遂行における失敗の自己認識-
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 関山浩介
2. 発表標題 東洋的AIとしての創発システム論
3. 学会等名 第25回創発システムシンポジウム(基調講演)(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 蘭凱, 関山浩介
2. 発表標題 写真の余白を考慮した構図評価を用いた自律撮影ロボット
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 鈴木太志, 関山浩介
2. 発表標題 オクルージョンとフレームアウトを回避する移動台車ロボットの双腕制御
3. 学会等名 第37回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Lan Kai, Kosuke Sekiyama
2. 発表標題 Autonomous Robot Photographer System Based on Aesthetic Composition Evaluation Using Yohaku
3. 学会等名 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC2019)(国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Taishi Suzuki, Kosuke Sekiyama
2. 発表標題 A Coordinated Control System for Dual-Arm Mobile Manipulator Balancing Grasping and Viewpoint Selection
3. 学会等名 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 フジロウ フスニッデン, 関山浩介
2. 発表標題 Behavior Treeに基づいた自律性評価
3. 学会等名 第32回自律分散シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 井上遼, 鈴木幹也, 関山浩介
2. 発表標題 ユーザとロボットをシームレスにつなぐスマートグラスインタフェース
3. 学会等名 第25回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 関山浩介, 井上 遼
2. 発表標題 UAVによる地上ロボットの周辺環境認識に基づくローカライゼーション
3. 学会等名 第24回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kosuke Sekiyama
2. 発表標題 Visual Cognitive Sharing and Cognitive Support for Human-Robot Cooperation
3. 学会等名 The 1st International Conference on Informatics and Computational Science (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 鮫島正太, 関山浩介
2. 発表標題 モニタリングロボットの適応的ROI選択による遠隔操作の視覚支援システム
3. 学会等名 第34回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 鮫島正太, 関山浩介
2. 発表標題 関係性認識による適応的 ROI 選択に基づくマルチロボット遠隔操作視覚支援システム
3. 学会等名 第29回自律分散システム・シンポジウム
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kosuke Sekiyama
2. 発表標題 Cognitive Sharing and Viewpoint Selection in Cooperative Monitoring Robots
3. 学会等名 The 9th International Conference on Intelligent Robotics and Applications (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年



1. 発表者名 Shouta Samejima, Kosuke Sekiyama
2. 発表標題 Multi-robot visual support system by adaptive ROI selection based on gestalt perception
3. 学会等名 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2016) (国際学会)
4. 発表年 2016年

〔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
---------	---------