

## 論文内容の要旨

博士論文題目 Generating UAV/UUV Motion for Object Manipulation  
(物体操作のための UAV/UUV の動作生成)

氏 名 白倉 尚貴

### (論文内容の要旨)

移動ロボットの研究において完全な自律行動は一つの目標といえるが、センシングノイズや予期せぬ障害物など不確実性が多い実環境においては、技術的にいまだ実現困難な課題が多い。そのため、より直近の目標として人による遠隔操作を含めた半自動システムについても議論されている。近年普及し始めた Unmanned Aerial Vehicle (UAV) や Unmanned Underwater Vehicle (UUV) は、空中または水中で人に代わって物体操作などの作業を行うことができる移動ロボットとして活躍が期待されている。しかしながら、これらのロボットは6自由度を同時に制御する必要があるため、完全な手動操作でロボット自体の制御と物体操作を同時に操作することは困難であり、制御の自動化や手動操作の簡略化が必要とされる。

本論文では、6自由度の制御を必要とする UAV や UUV について、より簡易な指令のみで目的の物体操作タスクを達成するための動作生成の手法について検討する。UAV 単体の制御については、オープンソースのコントローラにより目標位置の指定による自律制御や、姿勢制御のみの自動化など半自動操縦による操作の簡略化がすでに実現されている。しかしながら、既存のコントローラでサポートされているのは UAV 単体の制御のみであり、環境との接触や力制御を必要とする動作はサポートされていない。そこで、そのような物体操作の一例として、UAV による押し動作の際に簡易な指令を用いて動作生成を行う手法について提案する。

UUV については、目標までのナビゲーションなど移動ロボット特有の問題を含めた物体操作タスクを通して、制御指令の簡略化による効果を検証した。水面の浮遊物を UUV によって回収するというシンプルな物体操作タスクを例に、UAV との連携によって簡易な操作で作業を達成可能なコントローラ及び GUI を提案した。

本論文における提案の有効性評価のため、動力学シミュレータ及び UAV と UUV の実機を用いた実験を行った。UAV による押し動作については、動力学シミュレーションにより設計通りの動作を確認した。UUV による浮遊物回収については、シミュレータを使用した被験者実験により、提案手法による作業負荷の軽減及び作業効率とユーザビリティの向上を確認した。

(論文審査結果の要旨)

本研究では、物体操作のための移動ロボットの動作生成について、遠隔での操作を容易にするために、簡易な指令のみで制御を行うためのシステムについて提案している。移動ロボットのナビゲーション及び物体操作タスクについて簡易な指令による操作の実現可能性、および、指令の簡易化による効果について、移動ロボットの中でも移動空間の自由度が高く、操作の難易度が高い Unmanned Aerial Vehicle (UAV) や Unmanned Underwater Vehicle (UUV) の例を通して検証している。本論文の主な成果は、以下に要約される。

1. 移動ロボットによる物体操作タスクの一例として、UAV による押し動作を行った。UAV によって箱を押して動かすというタスクを設定し、UAV の姿勢やプロペラの回転数などの非直感的で複雑な指令ではなく、目標の移動場所という簡易な指令のみで押し動作を達成するために、UAV による押し動作の物理モデルを構築し、コントローラを再設計した。シミュレーション環境において、目標の移動場所を指定することで、操作対象の質量が変化しても正確に押し動作が達成可能なことを確認した。
2. 移動ロボットのナビゲーションも含めた物体操作タスクの一例として、UUV によって水面を浮遊する物体に接近し、回収するシステムを構築した。UAV によって取得した空中からの視点上で、操作者が回収目標を指定するという一貫した簡易な指令のみで、目標の回収対象へのナビゲーションから回収にいたるまでの一連の動作を達成した。実験用プールにおける実機を用いた回収実験では、回収率約 88.23% を達成し、提案システムの実用性を確認した。
3. UUV による浮遊物回収システムについて、指令の簡易化による効果を検証するために、被験者実験を行った。ユーザビリティ、作業効率、作業負荷などの複数の観点において、提案手法及び、手動操作、先行研究で示される視点の提供方法との比較を通して、指令の簡易化によって作業効率を維持しつつ、作業負荷およびユーザビリティの向上する効果が期待できることを確認した。

以上のように、UAV および UUV を用いた 2 つの物体操作タスクの例において、目標の位置および操作対象の指定という一貫した簡易な指令のみで目的の物体操作タスクを達成可能なことを確認し、さらに指令の簡易化による効果の検証が行われている。本論文で手案されるシステムおよび手法は、簡易な指令による物体操作のための移動ロボットの動作生成を実現するだけでなく、その効果についてもユーザビリティや作業効率、作業負荷などの複数の指標により検証されており、情報科学へ貢献するところが少ない。よって本論文は、博士（工学）の学位論文としての価値があるものと認める。