

# 人の意思と時間を錯覚により制御する遠隔操作手法

## —第二報：移動ロボットの実機検証—

Teleoperation Method by Illusion of Human Intention and Time  
-Vol. 2: Verification of actual mobile robots-

○ 青木 惇季 ((株)リコー, 九州大学) 正 山科 亮太 ((株)リコー)  
正 倉爪 亮 (九州大学)

Junki AOKI, Ricoh Co., Ltd. and Kyushu University, junki.aoki@jp.ricoh.com

Ryota YAMASHINA, Ricoh Co., Ltd.

Ryo KURAZUME, Kyushu University

This paper presents a novel teleoperation method called “Illusory control” to address the problem of reduced acceptance due to the disagreement between human and robot intentions in shared control. We have reported the simulation results of the teleoperation behavior using Illusory control. This paper describes the improvements of the proposed system and shows the results of experiments using an actual robot and realistic virtual images by CycleGAN.

**Key Words:** Human Robot Interaction, Teleoperation, Shared Control, Illusory Control

### 1 はじめに

近年の労働力不足や在宅勤務の増加を背景に、遠隔地からロボットを操縦する遠隔移動ロボットの活用が盛んである。

遠隔地から移動型ロボットを操縦する際、通常は人間の操縦に加えて、ロボットに搭載したセンサなどにより障害物を検出し、ロボットが自律的に回避、あるいは停止するなどの安全システムが備えられている。人間の操縦とロボットによる自律性を共有しながら移動タスクを効率的に達成するこの仕組みは、Shared controlとして研究されている。しかし、実際にカメラ画像を見ながらロボットを操縦してみると、操縦者が気付かない程度の障害物にロボットが反応し、操縦者は自分が出した指令通りにロボットが移動しない、あるいはロボットが予想外の動きをするなど、強いストレスを感じる場合がある。これはロボットが出す移動指令と人間が出す移動指令が一致していないことにより発生し、操縦者のロボットに対する受容性（システムに対する信頼感）を低下させる要因につながる。

我々はこの問題に対処すべく、Illusory control (IC) という新たな遠隔操作手法を提案してきた [1]。IC のアイデアは、たとえロボットが操作者の思うように動けない状況にあったとしても、操作者にはその様子の映像をフィードバックせずに、操作者の思うように動いているかのように、操作者を騙す、ということである。このアイデアを実現するために、障害物への衝突を気にする必要がない理想的な操作空間を仮想環境上に用意し、操作者には仮想空間の映像を見ながら仮想空間のロボット（以下、仮想ロボット）を操作させ、実空間のロボット（以下、実ロボット）は仮想空間のロボットに追従するように、障害物を避けながら、安全に自律移動を行うというシステムを構築した。この遠隔操作手法を移動ロボットのシステムに実装して被験者実験を行った結果、従来の遠隔操作手法と同等の操作効率を担保しつつ、システムの受容性を向上させる可能性を示せた [2]。

以前の実験では、この遠隔操作手法を仮想ロボット・実ロボットともにシミュレータ上に実装し、実験を行ってきた。本稿では、実ロボットを実機のロボットシステム上に実装するにあたって改善を行った点と動作結果について述べる。

### 2 システムと動作検証

システムのコンセプトのアップデートを Fig. 1 に示す。仮想ロボットと実ロボットとで、制御対象を切り替えながら遠隔操作の移動タスクを行う点が大きなアップデート点である。このアップデートの理由となった問題と解決策について 2.1 節で述べる。また、今回のアップデートを実現したうえで、明らかになった問題と解決策について 2.2 節で述べる。

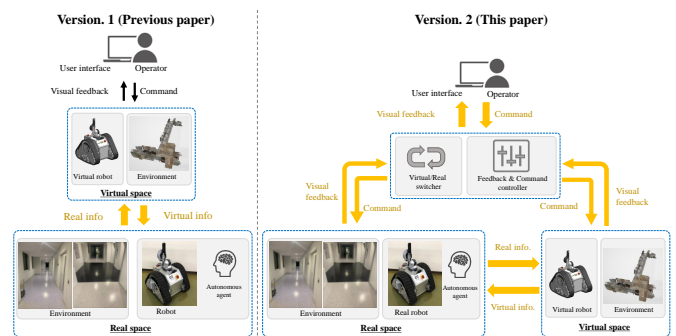


Fig.1 Update of the system concept

#### 2.1 実機への実装にあたっての問題点と解決策

本システムの問題は、操作者の臨機応変な判断を必要とする場面に対処できないことである。操作者は仮想ロボットを操作しており、実ロボットはそれに追従するように動作する、という構成のため、例えば、実ロボットの目の前に人が現れたときに、即座に停止して人の通過を待つか、迂回するか、などの状況に応じた判断を実ロボットに反映できない。これに対し、仮想ロボットを操作する（操作者を騙す）期間は、必要最小限しながら、仮想ロボットと実ロボットとで、制御対象を切り替えながら遠隔操作を行う構成に変更した。構成の違いは Fig. 1 を参照されたい。

まず、操作者は、実ロボットのカメラ映像を見て、実ロボットを制御対象として操作を開始する。実ロボットは操作者からの操作指令を受け、Robot operating system (ROS) の Base local planner により将来の軌道を計算する。計算された未来の軌道が障害物に到達するかどうかを判断し、到達する場合は制御対象を実ロボットから仮想ロボットに切り換える。実ロボットの位置情報をもとに、仮想ロボットを同じ位置に移動させ、操作者に見せる映像を仮想空間に切り替え、制御対象も仮想ロボットに切り替わる。

操作者が仮想ロボットを操作している間、実ロボットは仮想ロボットの位置情報をサブゴールとして自律的に移動する。仮想ロボットの位置に実空間では障害物がある場合、仮想ロボットの将来の軌道を計算し、軌道上のコストを求め、コストが一定以下となる地点をサブゴールとして設定する。ここでは、自律移動技術として、ROS の Navigation stack を利用した。

ロボットシステムは、仮想ロボットと実ロボットそれぞれの位置情報を取得し、それぞれの姿勢の差が閾値以下になると、操作

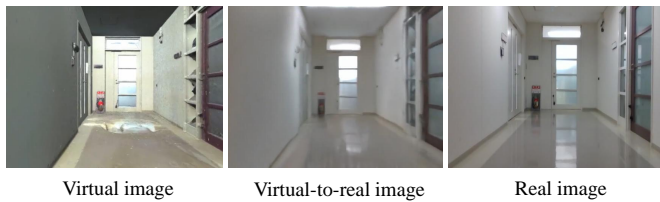


Fig.2 The raw image of the virtual space (left), the result of transforming the image of the virtual space to resemble the real space using CycleGAN (center), and the raw image of the real space (right).

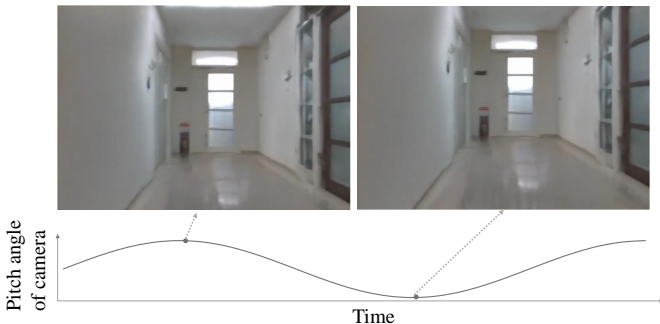


Fig.3 Visual effect of vertical vibration

者へのフィードバック画像を仮想ロボットから実ロボットへ切り替え、制御対象を仮想ロボットから実ロボットへ切り替える。

## 2.2 実機実装したうえでの新たな問題点と解決策

上記までを説明した上で、提案手法には2つの問題点がある。まず、仮想空間と実空間の見た目のギャップ問題である。スキャンした点群情報からメッシングを行うと、モデルの正しく構築されず、色調が仮想空間と実空間とで異なる (Fig. 2 の左と右)。そのため、制御対象を実ロボットから仮想ロボットに切り替えた場合、視覚的にフィードバックされる環境情報の見た目が大きく異なるため、操作者に違和感を与えると予想される。理想的には、操作者が仮想ロボットと実ロボットのどちらを操作しているのか分からないほど、視覚的な見た目が近いことが望ましい。

次に、仮想空間と実空間の距離のギャップ問題である。このシステムの問題点は、仮想ロボットと実ロボットの位置が徐々に離れていくことである。この問題を解決する方法として、操作者を強制的に停止させることが考えられる。しかし、この場合、操作者は減速によりロボットを思い通りに操作できないように感じ、強いストレスを感じる可能性がある。

この2つの課題に対して、以下のように対応した。

### 2.2.1 仮想空間と実空間の見た目のギャップ問題

1つ目の問題点に対処するため、仮想空間の視覚情報の質感を実空間の質感に近づけることにした。本システムでは、CycleGAN [3] を使用した。画像変換の結果は、Fig. 2 の中央の画像である。これにより、シミュレータ上の画像をより実世界の画像に近づけることができ、制御対象が実ロボットから仮想ロボットに移行する際の違和感を軽減できることを狙っている。

### 2.2.2 仮想空間と実空間の距離のギャップ問題

2つ目の問題点に対しては、バーチャルとリアルロボットの姿勢の差が時間とともに小さくなるように無意識に誘導することにした。具体的には、仮想ロボットを徐々に減速させるが、その減速を操作者が感じないように視覚的效果を施す。

まず、現在の仮想ロボットと実ロボットとの距離が大きくなり、制御対象が仮想ロボットである時間が経過すると、仮想ロボットの速度は操作者の入力速度に比べて徐々に遅くなる。しかし、単純にロボットの速度を落とすだけでは、前述のように操作者にストレスを与えてしまう可能性がある。そこで、Fig. 3 のオブティカルフローの可視化結果に示すように、ロボットのカメラ映像を上下に緩やかに振動させることで視覚的な動きを作り出す方法を用いて、速度の減速を感じさせないことができるかを検証した。

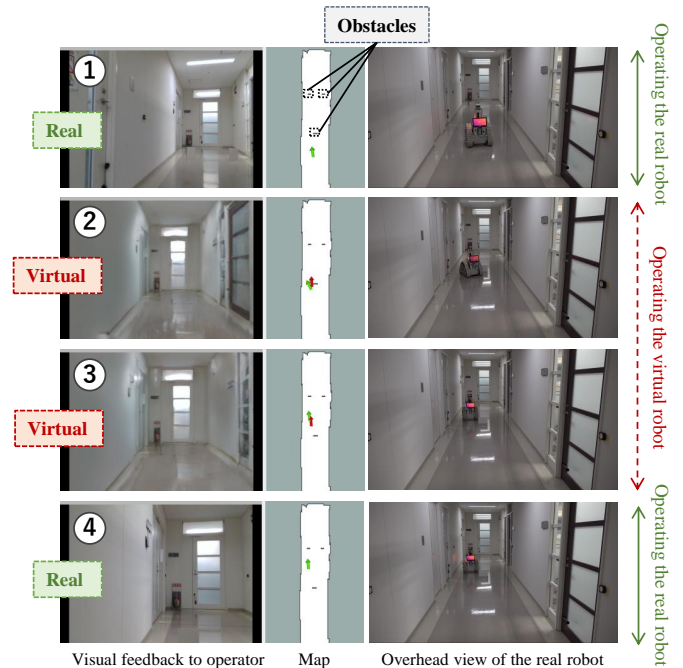


Fig.4 Verification results of the proposed system. The green and red arrows indicate the real and the virtual robot's pose, respectively.

## 2.3 動作検証

以上の改善点を踏まえ、実機システムに実装した動作結果を Fig. 4 に示す。緑の矢印は実ロボットの姿勢であり、赤の矢印は仮想ロボットの姿勢である。障害物に近づいたときに、操作対象が仮想ロボットへと切り替わった様子、双方のロボットの位置が近くなった際に、操作対象が実ロボットへと切り替わったことがわかる。また、CycleGAN による画像変換の効果により、仮想空間の見た目は実空間の見た目に近づいていることがわかる。また、仮想空間を操作している最中に次第に仮想ロボットの動作が遅くなっており、画像が上下にゆっくりと振動する視覚効果も動作を確認できた。

## 3 結論

ロボットが操作者の思うように動けない状況にあったとしても、操作者にはその様子の映像をフィードバックせずに、操作者の思うように動いているかのように、操作者を騙す、というコンセプトのもとに実装した IC の改善点について述べた。仮想ロボットと実ロボットとで、制御対象を切り替えながら遠隔操作の移動タスクを行う点が大きなアップデート点である。

また、仮想空間と実空間の見た目のギャップ問題を解決するために、CycleGAN を用いた Virtual-to-real の画像変換技術を実装し、仮想空間と実空間の距離のギャップ問題を解決するために、視覚効果を用いてロボットの減速を操作者に感じさせない手法をした。今後は、従来の遠隔操作手法と比較する被験者実験を行い、提案システムの有用性を検証する予定である。

## 参考文献

- [1] 青木 惇季, 山科 亮太, 倉爪 亮, Illusory Control: 人の意思と時間を錯覚により制御する遠隔操作手法, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, vol. 2021, 2A1-M01, 2021.
- [2] Junki Aoki, Ryota Yamashina, Ryo Kurazume, "Teleoperation Method by Illusion of Human Intention and Time," 2021 30th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN), pp. 482-487, 2021.
- [3] Jun-Yan Zhu et al., "Unpaired image-to-image translation using cycle-consistent adversarial networks," 2017 IEEE International Conference on Computer Vision (ICCV), pp.2242 - 2251, 2017.