

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 4 月 16 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18701

研究課題名（和文）意思介入と知覚誘導を利用した心地よいアバターロボットのインターフェース

研究課題名（英文）Comfortable avatar robot interface using intentional intervention and perceptual illusion

研究代表者

倉爪 亮（Kurazume, Ryo）

九州大学・システム情報科学研究所・教授

研究者番号：70272672

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ロボットが思い通りに動いていないことを操縦者に感じさせない技術の開発、操縦者の指令自体をロボットの動きに合わせる技術の開発に対して研究を実施した。に対しては、仮想空間でロボットから見た画像を操縦者に提示することで、操縦者はあたかもロボットが意のままに動いていると錯覚するシステムを構築した。またでは実際にはロボットの意図通りに指令を出しているにも関わらず、操縦者が自分の意志でロボットを操縦しているように錯覚させるシステムについて検討した。実ロボットと仮想ロボットを用いた実験システムを構築し、数名の操作者による遠隔操縦実験と心理評価実験を行って開発手法の有効性を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遠隔地からロボットを操縦する際、通常は人間の操縦に加えて、ロボットには搭載センサにより障害物の自動回避、停止などの安全システムが備えられている。しかし、実際にロボットを操縦してみると、ロボットは操縦者が気付かない障害物に反応し、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ことから強いストレスを感じる場合がある。本研究では、ロボットは操縦者に悟られないように自動で障害物を回避しつつ、操縦者はその回避行動にまったく気づかず、自分の意のままにロボットが動いていると錯覚させる、意思介入と知覚誘導を利用した心地よいアバターロボットのインターフェースを開発した。

研究成果の概要（英文）：In this study, two research topics, (1) the development of technology to prevent the operator from feeling that the robot is not moving as desired, and (2) the development of technology to match the operator's commands themselves to the robot's movements, were studied. For (1), we constructed a system in which an image seen from the robot in a virtual space is presented to the operator, so that the operator is under the illusion that the robot is moving as he or she intends. In (2), we studied a system that gives the operator the illusion that he is controlling the robot at his will, even though he is actually giving the robot commands as intended. We constructed an experimental system using a real robot and a virtual robot, and conducted remote control experiments and psychological evaluation experiments by several operators to confirm the effectiveness of the developed method.

研究分野：ロボット工学

キーワード：遠隔操縦 アバターロボット ヒューマンロボットインターフェース

1. 研究開始当初の背景

近年の労働力不足や接触機会の低減を背景に、遠隔地からロボットを操縦するアバターロボットの活用が盛んである(図 1)。アバターロボットでは、カメラやマイクなどのインターフェースを搭載した移動可能なコミュニケーションロボットや、例えば障害者や時間的に余裕のある人が、遠隔地にあるロボットを操縦し、接客や片づけなどの労働作業を行う実証実験も実店舗で進められている。

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、自動で回避、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。この仕組みは、例えばコミュニケーションロボット Double (図 1 左) などでも実用化されている。

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、ロボットは操縦者が気付かない障害物に反応し、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(図 2)。また障害物があれば警告を出すシステムでも、最終的には人間が操縦して回避する必要がある、操縦者にとっては負担となる。

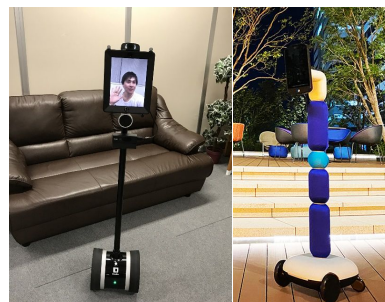


図 1 コミュニケーションロボット(Double, Avatorin)

2. 研究の目的

本研究では、移動型ロボットの遠隔操縦時の違和感、ストレスを低減する手法について検討する。移動型ロボットの遠隔操縦時には、上述のように、移動ロボットの自律性に起因する操縦者の違和感、ストレスの発生が問題となる。理想的には、ロボットは操縦者が気付かない障害物を(操縦者に悟られないように)自動で回避しつつ、操縦者はその回避行動にまったく気づかず、自分の意のままにロボットが動いていると信じて疑わないのが最も望ましい。しかしロボットに自律性を持たせる限り、実際にはこれは不可能である。なぜなら、この違和感は、ロボットに自律性を持たせ、操縦者のコマンドとロボットの挙動が一致しない場合には必ず生じるからである。

人が違和感を覚えるのは、上述したように、自分の指令通りにロボットが動いていないと認識したときである。これを避けるには、ロボットが思い通りに動いていないことを操縦者に感じさせないか、操縦者の指令自体を(操縦者が気付かないように)ロボットの動きに合わせるか、のいずれかである。両者ともに一見不可能なようにも思えるが、近年の XR 技術を用いれば実現できる可能性がある。

そこで本研究では、これら、を工学的に実現する方法について検討する。



図 2 遠隔操縦時の違和感

3. 研究の方法

本研究では、移動型ロボットの遠隔操縦時の違和感を低減するために、以下の 2 つの手法について取り組んだ。

研究項目 ロボットが思い通りに動いていないことを操縦者に感じさせない技術の開発

研究項目 操縦者の指令自体を(操縦者が気付かないように)ロボットの動きに合わせる技術の開発

4. 研究成果

本研究では、上述した研究項目の 2 つの研究項目に対して研究を実施した。まず、研究項目に対しては、実世界を仮想空間で再現したサイバーフィジカルシステムを構築し、仮想空間でロボットから見た画像を操縦者に提示することで、操縦者はあたかもロボットが意のままに動いていると錯覚するシステムを構築した。また研究項目では、操縦者の思考を視覚的錯覚を利用して誘導し、実際には仮想ロボットは操縦者の意図通りには移動していないにも関わらず、あたかも操縦者の意志通りに移動しているように錯覚させるシステムについて検討した。

具体的には、令和 3 年度は、研究項目に対して、遠隔操縦される移動ロボットに対するサイバーフィジカルシステムを構築した。本システムは、実ロボットの動作や搭載したカメラからの視野を仮想世界で再現した仮想ロボットシステムであり、実ロボットが操作者の意図から離れた動きをした場合、仮想ロボットからの視点に切り替わり、ロボットが思い通りに動いていない

ことを操縦者に感じさせない。特に仮想画像を実世界の画像に近づけるため、GAN を用いた画像生成技術を適用し、実世界と仮想世界の切り替わりを認識しにくいシステムを開発した(図3)。

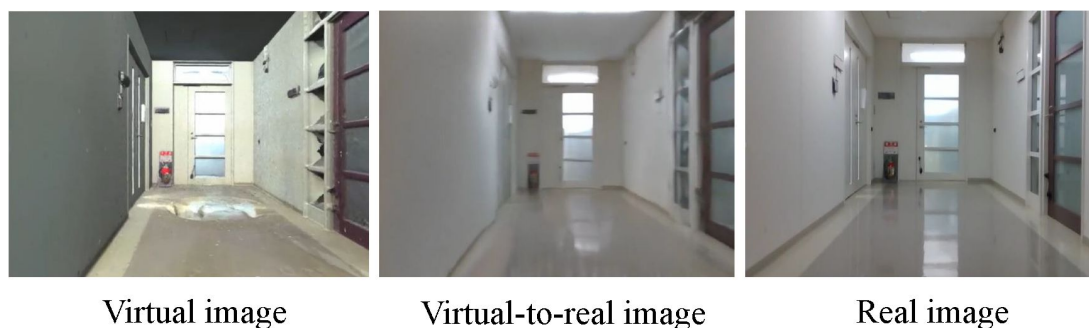


図3 GAN を用いた仮想画像生成

また、令和4年度は、クローラ型ロボットの遠隔操縦システムを実機により構築し、実証実験を行った(図4)。研究項目 については、仮想ロボットから見える仮想空間をレーザスキャナを用いて精巧に構築し、操縦者が仮想世界と現実世界の区別が知覚できなくすることで、意のままに操縦している仮想ロボットを現実ロボットと錯覚させるシステムを構築した(図5)。研究項目 については、操縦者に提示する画像を揺動させる、移動速度を徐々に変化させるなど、実際には静止、あるいは徐行している仮想ロボットがあたかも移動しているように錯覚させ、操作者の時間感覚を錯覚させることで、仮想ロボットの現実ロボットの位置の乖離を補正する技術を開発した(図6)。

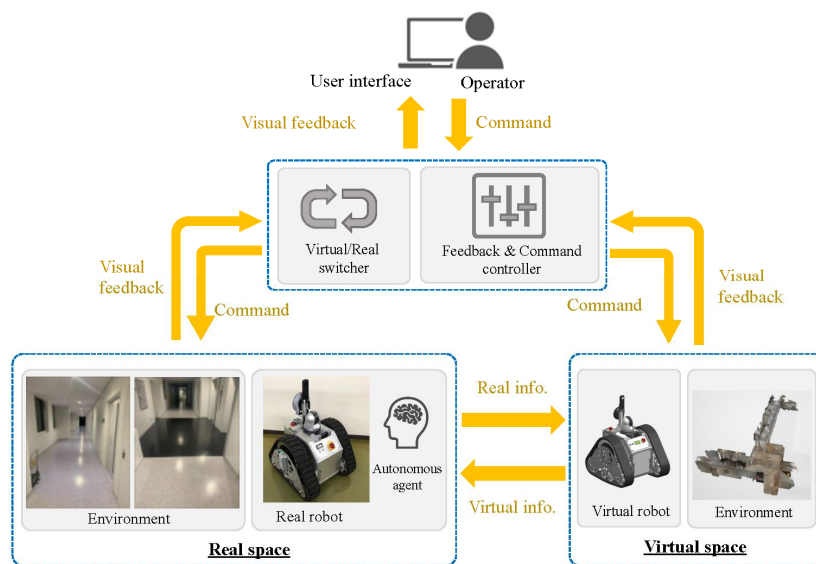


図4 クローラ型ロボットの遠隔操縦システム

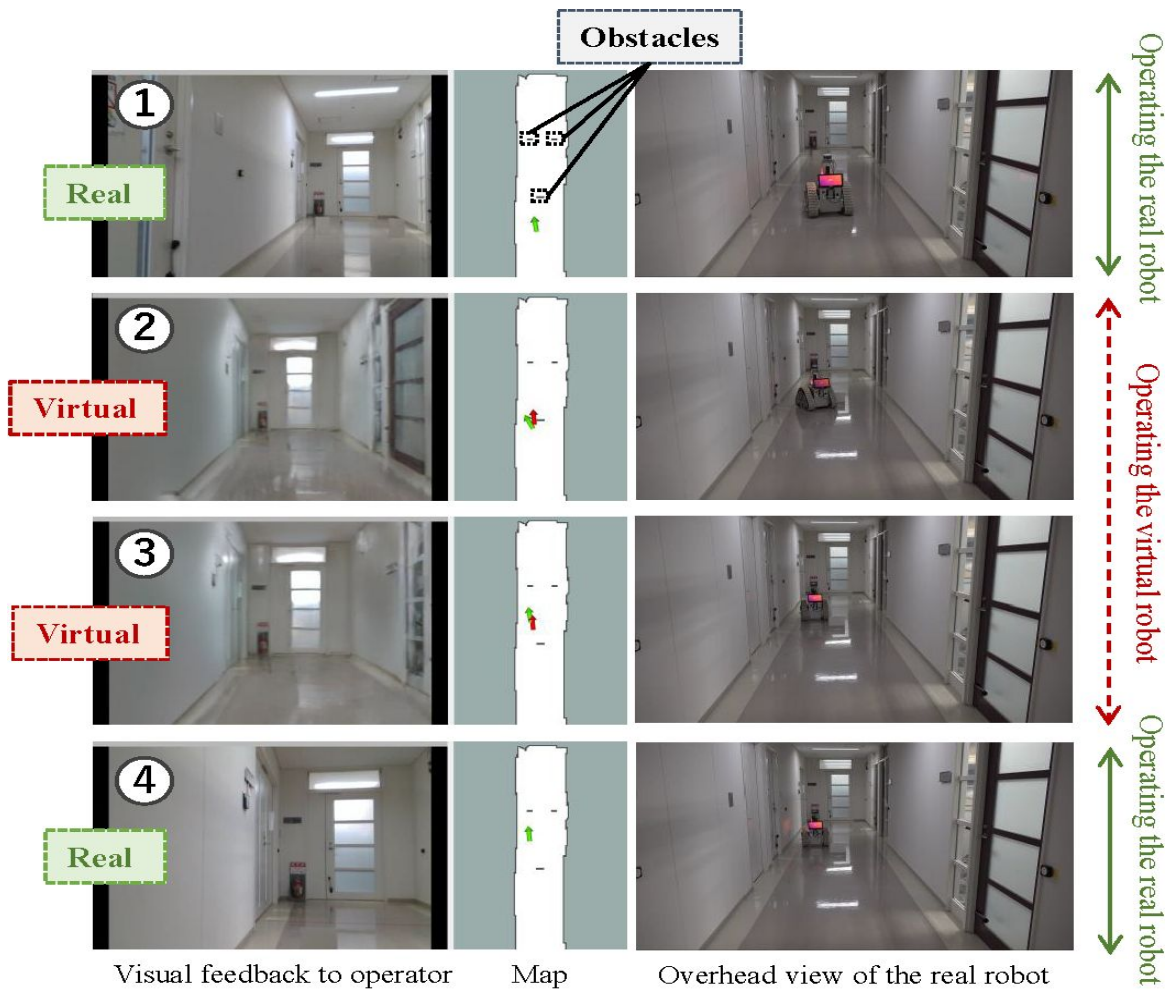


図5 現実空間と仮想空間の切り替えによる遠隔操縦時の違和感の低減

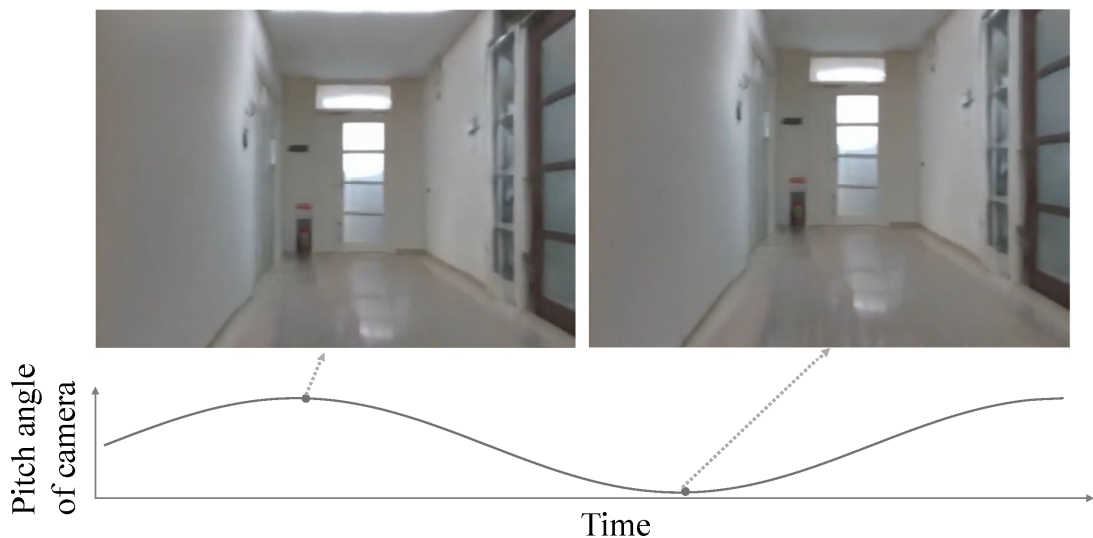


図6 仮想画像の揺動による操作者の時間感覚の錯覚

開発した技術をもとに、クローラ型ロボットの遠隔操縦実験を行った。実験では、提案技術を用いない通常の遠隔操縦、提案技術のうち研究項目のみを用いた場合、研究項目、ともに用いた場合について、9名の操作者による遠隔操縦実験と心理評価実験を行った。その結果、図7に示すように、研究項目、を用いることで、通常の遠隔操縦に比べて移動に必要な時間、および操縦者の快適性が有意に向上することを確認し、開発手法の有効性が確認できた。

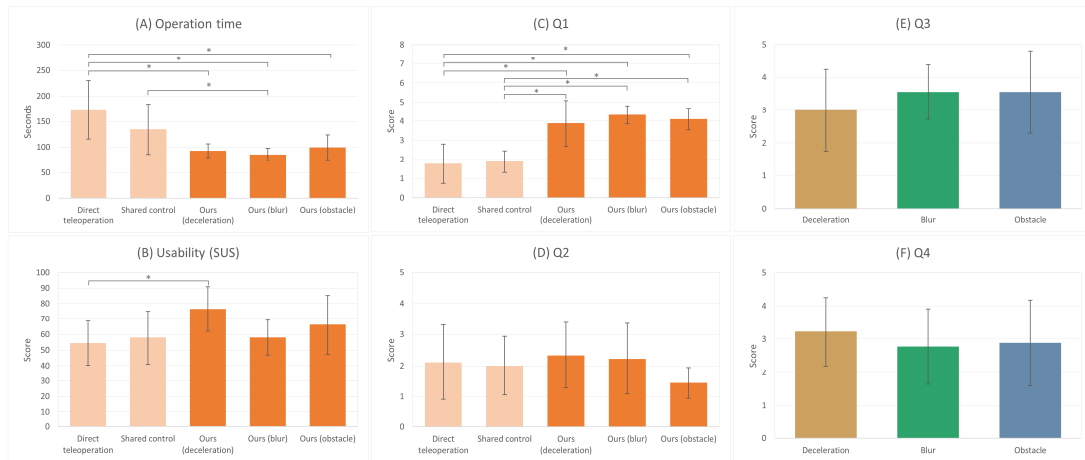


図7 遠隔操縦実験

Q1: ロボットが自分の意思の通りに動いたか Q2: ロボットが障害物に衝突しないように注意したか Q3: 操作者の時間感覚の錯覚によりロボットが自分の意思の通りに動いたか Q4: 操作者の時間感覚の錯覚により遠隔操縦しにくくなったか

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 Aoki Junki, Sasaki Fumihito, Yamashina Ryota, Kurazume Ryo	4. 巻 164
2. 論文標題 Teleoperation by seamless transitions in real and virtual world environments	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Robotics and Autonomous Systems	6. 最初と最後の頁 104405 ~ 104405
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.robot.2023.104405	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3件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 青木 惇季, 佐々木 史紘, 山科 亮太, 倉爪 亮
2. 発表標題 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-
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 青木 惇季, 山科 亮太, 倉爪 亮
2. 発表標題 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
3. 学会等名 日本機械学会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 Aoki Junki, Yamashina Ryota, Kurazume Ryo
2. 発表標題 Teleoperation Method by Illusion of Human Intention and Time
3. 学会等名 2021 30th IEEE International Conference on Robot & Human Interactive Communication (RO-MAN) (国際学会)
4. 発表年 2021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
---------	---------