

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 30 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26240030

研究課題名(和文) 遠隔制御代理ロボットにおける自己投射性と被自己投射性の実現法とその効果の定量化

研究課題名(英文) Realization method and qualitative evaluation of sensations of self-presence and their presence in remotely-controlled surrogate robots

研究代表者

舘 すすむ (Tachi, Susumu)

東京大学・高齢社会総合研究機構・特任研究員(名誉教授)

研究者番号：50236535

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 30,200,000円

研究成果の概要(和文)：操縦者がロボットの身体を自分の身体であると感じる、代理ロボットへの「自己投射性」について、人と代理ロボットの身体の形状や動特性の差異による影響を調べ、差異の整合手法を提案した。また、対面相手にとって、代理ロボットの容姿や仕草を通して操縦者の存在を感じられる「被自己投射性」について、人と代理ロボットの容姿や仕草の差異の影響を調べ、差異の整合手法を提案した。加えて、「自己投射性」と「被自己投射性」が満たされる代理ロボットの設計指針を求めた。

研究成果の概要(英文)：The effect of body differences in structure and dynamics between a human operator and his/her surrogate robot on the operator's sensation of self-presence in the surrogate robot, through which the operator perceives the robot as his/her own body, was studied at first and a method was proposed to compromise it. Next, the effect of body differences in appearance and gesture between a human operator and his/her surrogate robot on his/her presence in the robot, through which people around the surrogate robot feel the presence of the operator in it, was studied and a method was proposed to compromise the difference. Furthermore, a design principle of surrogate robot systems providing both self-presence and their presence is sought.

研究分野：バーチャルリアリティ学

キーワード：バーチャルリアリティ テレイグジスタンス 自己投射性

1. 研究開始当初の背景

災害対応や超高齢化社会など多くの課題を抱える日本において、移動時間を不要とし、操縦者の安全を担保し、高精度な感覚フィードバックにより正確な状況判断を可能とするテレグジスタンス技術の実社会への展開が期待されている。実際の社会的課題において、必ずしも人と同等の形状のロボットが最適解とはならず、状況に応じた形状・自由度・動特性を有する代理ロボットを開発する必要があるが、その際、操縦者自身の身体と異なる形状や動特性を有するロボットに対して、操縦者の「自己投射性」を担保する要件、および遠隔行動の対象となる相手が代理ロボットを通して操縦者の存在を感じる、いわば「被自己投射性」を成立させる要件が未だ明らかにされていない。

2. 研究の目的

従来のテレグジスタンスシステムでは、自己投射性を達成するために人と同等の形状・自由度の代理ロボットが用いられ、人ロボット間の姿勢の追従性が重視されていたが、近年、静的な姿勢のみならず、動的な運動下における身体の動特性の整合性が自己投射性の形成に強く影響することが示唆されつつある。そこで本研究では、操縦者と代理ロボットとが身体的に接続する「自己投射性」、遠隔地の対面相手に代理ロボットを通して操縦者の存在を感じさせる「被自己投射性」の両側面から、操縦者と代理ロボットとの動特性の感覚的整合手法とその効果について明らかにする。

3. 研究の方法

テレグジスタンスの代理ロボットにおいて、操縦者がロボットを自分の身体と感じる「自己投射性」、および、対面相手がロボットを通して操縦者の感情や個性を感じる「被自己投射性」の両側面から、その実現に必要な設計要件を導出するため、下記の研究項目を実施する。

(A) 代理ロボットの「自己投射性」における身体の形状や動特性の差異の影響と、その整合手法、(B) 代理ロボットの「被自己投射性」における容姿や動特性の差異の影響と、その整合手法、(C) 「自己投射性」と「被自己投射性」を両立した代理ロボットの設計と実証

4. 研究成果

(A) 代理ロボットの「自己投射性」における身体の形状や動特性の差異の影響と、その整合手法

(A1)代理ロボットの形状や動特性を自由に設計できるようにするために、VR空間内にバーチャルな代理ロボットを構築した。すなわち、53 自由度を有する人型テレグジスタンスシステム TELESAR V と同等の自由度・形状をもつバーチャル代理ロボットを構築した。操縦者の身体運動を代理ロボットの動き

に反映するため、光学式モーショントラッキング装置およびデータグローブを用いて操縦者の身体運動を計測し、また代理ロボットの一人称視点を操縦者に与えるため、研究代表者らが開発した頭部搭載型ディスプレイ (HMD) を用いた。このバーチャル代理ロボットと実際の TELESAR V との動特性が一致していることを、検証実験により確認した上で、このバーチャル代理ロボットの身体形状や動特性のパラメータを変更することで、以下 (A2)(A3)における検証実験を行うための実験環境を構築した。

(A2)主に手腕の形状が変化した場合において、操縦者の手腕の姿勢と代理ロボットの手腕姿勢をどのようにマッピングするのが効果的かの検証を行った。頭部の位置姿勢を基準とした座標系における手先位置の方向ベクトル、および手先の姿勢ベクトルが操作者・代理ロボット間で一致することが重要であることが実験から確かめられた。頭部と手先の距離に関しては、操縦者の腕に対する代理ロボットの腕のスケールに対してどのように対応付けを行なうべきか明らかでなかったため、代理ロボットの腕のスケールに対する頭部座標系を基準とした手先の位置ベクトルの大きさを変動パラメータとし検証した結果、相似形に拡大縮小した条件が、この VR 環境においても最適であった。これは、研究代表者が、過去に、バーチャル TELESAR を用いて行った実験結果とも同様な結論であった。

(A3)ロボットの動特性を完全に人と一致させることは技術的に困難であり、その差異が操作性の悪化や自己投射性の低下を招くことが知られている。一方、バーチャル環境においては、ロボットの動特性を見かけ上自在に変化させることができるため、まず、人と同等の動特性を有するバーチャル代理ロボットを構築し、最適な条件下での動作実験のパフォーマンスを検証した。これを理想状態とし、現実のロボットの動特性を考慮したパラメータとの比較を行なった結果、視覚的な手先の動きの整合が支配的であり、(A4)における感覚的整合の対象とするべきであることが示唆された。

(A4)(A3)の結果を受けて、自己投射性の成立に支配的な手先の運動において、人の動特性を pseudo haptics を用いてロボットの動特性に合わせることを試みた。すなわち、人の自己受容感覚の知覚特性に基づき動特性を疑似的な力覚として提示することで、操縦者の知覚上の身体感覚を、ロボットの動特性に近付けることを試みた。

(B) 代理ロボットの「被自己投射性」における容姿や動特性の差異の影響と、その整合手法

(B1)バーチャル空間内において代理ロボットの容姿を「人間の容姿に類似した状態」、「人を抽象的に模した状態(現行の TELESAR V

と同等)」と「機構そのままの状態」とし、その動特性を、特に頭部の運動において「細かな動きまで伝わる状態」「大まかな動きのみ伝わる状態」「一部の自由度が失われた状態」「静止した状態」のように変化させた。これを対面相手となる被験者が 3 次元 HMD を通じて観察した際の、操縦者の個性の認識率を「被自己投射性」の達成度として評価した。結果、容姿を向上することよりも、動特性を向上することが「被自己投射性」の向上に有効であることが示唆された。

(B2) (B1)において、操縦者の容姿や行動は記録されたものであったが、本項目では、それをリアルタイムにインタラクティブに行った。結果、操縦者の運動を忠実に伝えることで被自己投射性が成立し、対面者がバーチャル代理ロボットを通して操縦者の存在を感じることができ、自然なコミュニケーションが成立し、それによって操縦者自身の自己投射性も向上することが分かった。

(B3) (B2)で生じる自己投射性と被自己投射性の相互作用は、鏡を用いて操縦者が自分の身体 (= 代理ロボットの身体) を観測させることにより、操縦者自身が感じる被自己投射性から操縦者自身の自己投射性への相互作用としても発生しうる。この現象を観察することで、人が自分の身体をどう認識するか、という身体性の形成過程の解明に対する工学的なアプローチが可能となる。本検証実験においては、VR 空間内にバーチャルミラーを設置する状況と、TELESAR V を用いて現実のミラーを用いる状況の 2 つの状況において観察を行い身体認識の形成の機序の解明を試みた。また、VR 実験環境を用いて、代理ロボットの操縦者がロボットの姿をバーチャルミラーで観察する実験状況を作り、その際の主観的印象を生理計測指標で客観化することで、自己投射性と被自己投射性の相互作用による身体認識の変容を調べた。

(C) 「自己投射性」と「被自己投射性」を両立した代理ロボットの設計と実証

(A)(B)においては VR 環境において検証を行ってきたが、これらの知見が実際の代理ロボットの設計において有用であることを実証するため、これまでの結果に基づいて TELESAR V の代理ロボットを改変して、実稼働可能な“自己投射性と被自己投射性を両立した代理ロボット”を構築した。また建設関連企業などとの共同研究を行い、実際の遠隔操縦型の作業機械に本手法を導入し、多自由度の上半身運動が忠実に再現される身体性の有用性を実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 10 件)

Yasuyuki Inoue, Fumihito Kato, MHD Yamen Saraiji, Charith Fernando, Susumu Tachi: Observation of Mirror

Reflection and Voluntary Self-Touch Enhance Self-Recognition for a Telexistence Robot, Proceedings of the IEEE Virtual Reality 2017, Los Angeles, California, pp.345 -346 (2017.3), 査読有

舘瞳: 20 年後のトレイグジスタンス, 日本バーチャルリアリティ学会誌, Vol.21, No.3.34-37 (2016. 9), 査読有

MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa, Susumu Tachi: Development of Mutual Telexistence System using Virtual Projection of Operator's Egocentric Body Images, Proceedings of the 25th International Conference on Artificial Reality and Telexistence (ICAT), Kyoto, Japan, pp. 125-132, (2015.10), 査読有

MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi: Mutual Hand Representation for Telexistence Robots using Projected Virtual Hands, Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH'15), Singapore, pp. 221-222, (2015.3), 査読有

Hirohiko Hayakawa, Charith Lasantha Fernando, Mhd Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa and Susumu Tachi : Telexistence Drone: Design of a Flight Telexistence System for Immersive Aerial Sports Experience, Proceedings of the 6th Augmented Human International Conference (AH'15), Singapore, pp. 171-172 (2015.3), 査読有

Takura Yanagi, Charith Lasantha Fernando, MHD Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi, Norimasa Kishi, Transparent Cockpit using Telexistence, Proceedings of IEEE Virtual Reality 2015 Conference, Arles, France, pp. 311-312, (2015.3), 査読有

MHD Yamen Saraiji, Yusuke Mizushina, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi: Enforced Telexistence, Proceedings of SIGGRAPH 2014, pp. 49 (2014.12), 査読有

MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Yusuke Mizushina, Youichi Kamiyama, Kouta Minamizawa, and Susumu Tachi : Enforced telexistence: teleoperating using photorealistic virtual body and haptic feedback, Proceedings of SIGGRAPH 2014, Shenzhen, pp. 7 (2014.12), 査読有

Susumu Tachi, Masahiko Inami and Yuji Uema: The Transparent Cockpit, IEEE Spectrum vol. 51, Issue 11, pp.52-56,

(2014.11), 査読有
Masahiro Furukawa, Kouta Minamizawa,
and Susumu Tachi: Voluntary
Self-tapping Induces
Self-localization Shift, Proceedings
of the 23rd IEEE International
Symposium on Robot and Human
Interactive Communication (RO-MAN)
2014, Edinburgh, pp. 1075-1082
(2014.8), 査読有

〔学会発表〕(計9件)

Anthony Steed, Doron Friedman, Greg
Welch, Mel Slater, Susumu Tachi:
Instantaneous Beaming to Distance
Places -A Possible and Desirable
Future?, IEEE Virtual Reality 2017
Panel, Los Angeles, USA (2017.3)

早川裕彦, MHD Yamen Saraji, Charith
Fernando, 南澤孝太, 舘暲: テレイグジ
スタンスの研究(第87報) 空中におけ
る身体拡張感のための飛行型テレイグジ
スタンスシステムの提案, 日本バー
チャルリアリティ学会 第21回大会,
14E-04, つくば国際会議場(茨城県つく
ば市)(2016.9)

MHD Yamen Saraji, Charith Fernando,
Kouta Minamizawa, Susumu Tachi: Study
on Telexistence LXXXV Layered
Presence: Expanding Visual Presence
using Simultaneously Operated
Telexistence Avatars, 日本バーチャル
リアリティ学会 第21回大会, 11F-04,
つくば国際会議場(茨城県つくば市)
(2016.9)

舘暲: 「知の統合」と「知の統合学」をめ
ざして, 日本学術会議公開シンポジウム
総合工学シンポジウム2016(招待講演),
日本学術会議講堂(東京都港区)(2016.7)

MHD Yamen Saraji, Charith Lasantha
FERNANDO, 南澤孝太, 舘暲: テレイグジ
スタンスの研究(第84報) ヴァーチャ
ル・ハンズの投影を用いたテレイグジ
スタンス・ロボットののための相互伝送,
日本機械学会 ロボティクス・メカトロ
ニクス講演会2015(Robomec2015), 1A1-L06,
京都市勧業館みやこめっせ(京都府京都
市)(2015.5)

早川 裕彦, サライジ ムハマドヤメン,
フェルナンド チャリス, 南澤孝太, 舘
暲: テレイグジスタンスの研究(第82報)
没入型空中スポーツ体験のための飛行
型テレイグジスタンスシステムの設計,
日本機械学会 ロボティクス・メカトロ
ニクス講演会2015(Robomec2015), 2A2-F10,
京都市勧業館みやこめっせ(京都府京都
市)(2015.5)

MHD Yamen Saraji, Charith Lasantha
Fernando, 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲:
テレイグジスタンスの研究(第79報)-

バーチャルボディを介した遠隔環境との
インタラクション, 日本バーチャルリア
リティ学会第19回大会, 11E-5, 名古屋
大学東山キャンパス(愛知県名古屋市)
(2014.9)

MHD Yamen SARAJI, Charith Lasantha
FERNANDO, 古川正紘, 南澤孝太, 舘暲:
テレイグジスタンスの研究(第77報)-
実環境内でのバーチャルな身体を用いた
触覚伝送-, 日本機械学会 ロボティク
ス・メカトロニクス講演会
2014(Robomec2014), 2A2-M05, 富山市総
合体育館(富山県富山市)(2014.5)

古川正紘, MHD Yamen SARAJI, Charith
Lasantha FERNANDO, 南澤孝太, 舘暲: テ
レイグジスタンスの研究(第76報)-巨
人化体験のための視覚伝送系の設計と実
時間映像伝送系の実装-, 日本機械学会
ロボティクス・メカトロニクス講演会
2014(Robomec2014), 2A2-M04 富山市総
合体育館(富山県富山市)(2014.5)

〔図書〕(計1件)

Susumu Tachi: Virtual Realities,
Springer, ISBN 978-3-319-17042-8
(2015)

〔その他〕

ホームページ <http://tachilab.org/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

舘暲 (TACHI Susumu)
東京大学・高齢社会総合研究機構・
特任研究員(名誉教授)
研究者番号: 50236535

(2) 研究分担者

南澤孝太 (MINAMIZAWA Kouta)
慶應義塾大学・大学院メディアデザイン
研究科 准教授
研究者番号: 10585623

(3) 連携研究者

古川正紘 (FURUKAWA Masahiro)
大阪大学・大学院情報科学研究科
助教
研究者番号: 40621652

フェルナンド チャリス (FERNANDO Charith)
慶應義塾大学・大学院メディアデザイン
研究科 特任講師
研究者番号: 00726523

井上康之 (INOUE Yasuyuki)
東京大学・高齢社会総合研究機構・
特任研究員
研究者番号: 00644436