

令和元年5月13日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16H02854

研究課題名(和文)人間=人間接続型テレプレゼンスによる行動支援の研究

研究課題名(英文)Research on Human-Human telepresence

研究代表者

暦本 純一 (Rekimoto, Jun)

東京大学・大学院情報学環・学際情報学府・教授

研究者番号：20463896

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,730,000円

研究成果の概要(和文)：空間の制約を超えて共同作業を行うことへの支援は多くの波及効果を生む重要な社会基盤技術である。従来からテレプレゼンス・テレイグジスタンスという名称で主に遠隔ロボットと人間の接続に関して多くの研究が行われてきた。本課題ではこれに加えて、人間が他の人間と状況や感覚を共有し遠隔共同作業を行うための基盤技術、人間=人間接続型テレプレゼンスを確立する。具体的には、熟練者が現場の作業員と状況共有し現場の状況を把握して作業教示を行う、トップアスリートの運動技能など通常の人間が体験できないような特殊体験を没入的に共有する、自己の姿を外部から観測する体外離脱視点を提供し技能習得を促進する、などの研究を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

空間の制約を超えて共同作業を行うことへの支援は多くの波及効果を生む重要な社会基盤技術である。本課題では、頭部装着型、および肩掛け型のウェアラブルシステム等を構築し、遠隔の熟練者が現場の作業員と状況を共有し現場の状況を把握して作業教示を行う、トップアスリートの運動技能など通常の人間が体験できないような特殊体験を没入的に共有する、自己の姿を外部から観測する体外離脱視点を提供し技能習得を促進するシステムを構築した。これにより、遠隔者間での共同作業や技術伝承が可能になり、人間の能力をより良く活用できる社会構築に貢献する。

研究成果の概要(英文)：Support for collaborative work beyond space constraints is an important social infrastructure technology that produces many spillover effects. Conventionally, much research has been conducted mainly on the connection between a remote robot and a person under the name of telepresence / teleexistence. In addition to this, in this project, we will establish a human-human connected telepresence, a fundamental technology that enables humans to share situations and feelings with other humans and perform remote collaboration. Examples include a figure of one's own who immerses in sharing special experiences that ordinary human beings can not experience such as top athlete's motor skills, by the skilled person sharing the situation with the on-site worker and grasping the on-site situation and teaching work, or promote the acquisition of skills by providing an external perspective to observe.

研究分野：人間拡張

キーワード：人間拡張 テレプレゼンス ヒューマンコンピュータインタラクション 遠隔作業支援

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19、CK - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

空間の制約を超えて作業を行うことへの支援は多くの波及効果を生む重要な社会基盤技術である。従来、テレプレゼンスあるいはレイグジスタンスという名称で多くの研究がなされてきた。これらの研究は、典型的にはヒューマノイド型のロボットを人間の「スレーブ」として位置づけ、利用者の動作を忠実に伝送再現したヒューマノイドに装備された画像や音響などのセンサー情報を利用者側に伝達することで、利用者があたかも遠隔地にいるような没入感と遠隔作業能力の提供を試みていた。

しかし、これらのアプローチにはいくつかの課題がある。ヒューマノイドロボットの、現実世界における移動能力を人間と同等にするには多くの困難さがあり、ロボットを人間の遠隔代理者とすること自体がまだ達成されていない工学的課題である。この結果、多くのテレプレゼンス研究ではロボットが実際には環境内を自由に動き回るまでに至っておらず、その結果、たとえば災害救助や遠隔検査などの具体的な実証的研究が未だ充分には行われていなかった。

また、現場の人間の能力を遠隔地より支援するためには、代理の遠隔ロボットによる手法だけでは不十分である。現場の人間と状況を共有し、作業を協調的に行う構成が必要である。

2. 研究の目的

1. の「研究開始当初の背景」に鑑みると、ロボットとテレプレゼンス的接続をするだけでなく、人間が他の人間と感覚を共有し遠隔共同作業を行うことは新たな可能性を生むと考える。たとえば熟練者が現場の作業員と状況を共有し現場の状況を把握して作業教示を行う、トップアスリートなどの通常の間人が体験できないような特殊体験を多くの人間が没入的に共有するなどの応用が考えられる。すなわち、単にロボットの遠隔操縦にとどまらず、現場の人間と、遠隔地からその人間に接続する他者の能力を結合できる可能性がある。これを本研究課題では**人間=人間接続型テレプレゼンス**と呼び、必要な技術要素を確立し応用可能性を実証することを本研究課題の目的とした。

人間を、多様な能力を持つ他の人間と接続し、両者の体験を共有し能力の遠隔伝送を可能にする技術を確立するために、視覚、聴覚、触覚を取得し伝送するための装着型コンピュータを開発する。これにより、人々の活動において、他の専門家からの支援や指導を得ることできるようになる。人が新しいスキルを取得するメカニズムとしても有効で、学習速度と品質を改善するための環境を構築することができる。研究成果は、遠隔作業支援、遠隔教育、遠隔リハビリテーションなどに適用可能で、全人的体験を放送する体験放送型メディアやエンターテインメントなどの応用に供することも可能である。

3. 研究の方法

研究目的を達成するために、以下の三つの研究項目を立て、それを実現評価する方法で研究を実施した。

3.1 人間=人間接続型テレプレゼンスに適合した装着型装置の形状・機能の策定

現場で何らかの作業をする利用者と、その利用者に遠隔地から接続し、支援等を行う遠隔者との関係があるとする。その際に、現場での利用者が装着すべきセンサーやカメラなどの形状を策定する。装着容易性や利用者の状況を的確に把握できるためのセンサーの配置などが課題となる。また、遠隔操作では頭部搭載ディスプレイ用いる場合が多かったが、装着の煩雑さや、利用者が現実の事物を確認する場合などに問題があった。これらの課題に関する解決策を提案する。

3.2 ロボットを利用したテレプレゼンスにおける人間の存在感や実在感の提供

遠隔制御ロボットに対して、それを制御している人間の存在感や実在感を提供することで、遠隔制御ロボットの付近にいる人間との関係を自然にすることができる。従来、平面ディスプレイに制御している人間の顔を表示する「テレプレゼンスロボット」があったが、見ている方向からは必ずしも顔が正しく見えないという課題があった。これらを解決する。

3.3 上記の研究の効果を検証するための実証実験

上記の提案手段に基づき、より現実的な環境での人間=人間接続型テレプレゼンスの実証実験を行う。

4. 研究成果

4.1 人間=人間接続型テレプレゼンスに適合した装着型装置の形状・機能の策定

肩掛け型ウェアラブルシステムの実現・評価

遠隔地の利用者の感覚を共有し、種々の共同作業を行うための人間=人間接続型テレプレゼンスシステム JackIn Neck の開発を行った。我々が以前より研究開発を行った、人間の頭部に搭載する人間=人間接続システム、JackIn Head を改良したものである。頭に装着する JackIn Head では、作業者への装着負担や、行動に伴う画像ブレが課題となっていた。JackIn Neck は、頭部ではなく肩に搭載する形状に変更し、装着者の負担を軽減した。装着する重量が肩に自然に伝わることで、行動中の画像ブレが少ないことが長所となる。さらに、着脱も頭部搭載型と比較して簡便になった。また、着脱が容易であるという性質から、作業現場で JackIn Neck を複数人で貸し借りするなども可能となり、より実証的な利用形態が可能となった（図1）。



図1：肩掛け型テレプレゼンスシステムによる人間=人間接続

ウェアラブルドームディスプレイの実現・評価

仮想テレポーション、テレプレゼンス、VR などのための装着型ディスプレイで、HMD(頭部搭載型ディスプレイ)で課題となっていた、視野の狭さ、VR 酔いなどの問題を解決している。また、設置型のドームディスプレイや JackIn Deck のような壁面型の VR 装置と異なり、ドーム型であっても実空間を歩き回ることができる（図2）。



図2：ウェアラブルドームディスプレイによる情報提示

CompoundDome のもう一つの特徴は、スクリーンの透過性を自由に制御できることである。ドームスクリーンには細かなドットの印刷がなされており、ドットは、プロジェクターの RGB の波長を反射するインクで印刷されている。このため、プロジェクターの映像を投影すると、映像はドットによって反射し、映像のみが見える。一方、映像を投影しない（映像中に黒い領域を

つくる)と、ドットの間からドームスクリーンの外の現実空間が見える。この原理により、映像コンテンツと外部の視野を自由に切り替えることができる。たとえば VR コンテンツを鑑賞しながら歩行する場合に、足元の部分は現実の足が見えるように透過性を制御することができる。

4.2 ロボットを利用したテレプレゼンスにおける人間の存在感や実在感の提供

球体型ディスプレイによる遠隔接続

本研究では、球体型ディスプレイに遠隔者の顔を表示することで、より自然な存在感を提示することを目的としている。観察者の視点位置に整合した映像を提示することで動体視差を再現する VR の提示技術である Fishtank-VR の技術を応用しており、球体ディスプレイの前にいる人間の位置を計測することで、利用者の視点から見て自然な映像になるように映像を変形させている。それを実現するために、遠隔者の顔は単なる二次元画像ではなく、デプスカメラによって撮影された距離情報を同時に計測した RGBD(深度つき RGB)画像情報を採用している(図3)。



図3：球形ディスプレイによる遠隔者の提示

このディスプレイは、デスクトップ上で遠隔会議などに利用するだけでなく、ロボットに搭載して遠隔地を自由に移動できるようになっている。従来のテレプレゼンスロボットでは顔が平面ディスプレイに表示されるため、正面以外の位置では遠隔者の顔が見にくいという問題があった。本研究では、球体ディスプレイを用いることでその問題を解決している。

遠隔代理人の存在感を示す球形ディスプレイ

遠隔ロボットでは、周辺状況を把握するために魚眼カメラや全周囲カメラが用いられることが多い。これらのカメラによって、利用者は現場の状況をより容易に把握したり、見回したりすることができる。一方、この「見回す」などの行為は全周囲カメラの外観には影響を与えないので、遠隔ロボットの付近にいる人間にとって、遠隔ロボットに接続している人間が、現場のどこに着目しているかを把握することができない。

そこで、全周囲カメラの周辺に LED を配し、低解像度の球形ディスプレイとする。この構成により、利用者がどこに着目しているか(視線情報に相当)を提示することができる。また、利用者の瞬きや表情などの非言語情報も、LED の点滅により表現することができる(図4)：

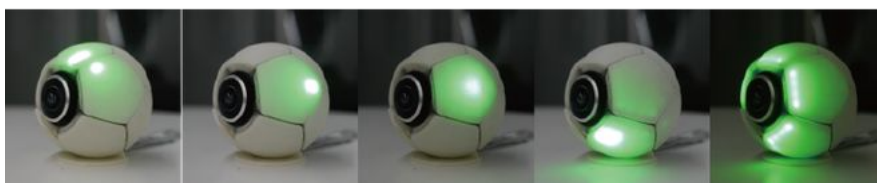


図4：遠隔者の視線方向を伝達する全周囲カメラ

4.3 上記の研究の効果を検証するための実証実験

上記で研究開発を行った構成を用いて、人間と遠隔地の人間が接続するための種々の実証実験を行った(一部は民間企業との共同研究)：

- 遠隔自律ロボットに存在感提示機能を装備した球形のカメラを装着し、品川区にてロボット自律配達の実験を行った。これにより、ロボットを遠隔地から操作する利用者の存在感を伝達することが可能であることが確認できた。
- 遠隔地の人間との接続のため、凸版ミュージアムと実験室との接続、沖縄美ら海水族館と東京都との接続実験、福島県双葉町との接続実験、国際学会開催地(米国 SIGGRAPH 2016 及び 米国 Augmented-Human 2017)と日本との接続実験等を行い、画像品質や遅延時間などを検証し、遠隔地との人間=人間接続が可能であることを確認した。

5 . 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 2 件)

1. 松田暁, 味八木崇, 暦本純一, 伸縮機構と全周囲映像を用いた身長可変型テレプレゼンスロボットの提案. ヒューマンインタフェース学会論文誌 Vol.20, No.3, 2018.
2. Michinari Kono, Takumi Takahashi, Hiromi Nakamura, Takashi Miyaki, and Jun Rekimoto. 2018. Design Guideline for Developing Safe Systems that Apply Electricity to the Human Body. ACM Trans. Comput.Hum. Interact. 25, 3, Article 19 (June 2018), 36 pages.

〔学会発表〕(計 33 件, 学会発表は全て査読有り)

1. Akira Matsuda, Jun Rekimoto, ScalableBody: A Telepresence Robot Supporting Socially Acceptable Interactions and Human Augmentation Through Vertical Actuation, UIST ' 16 Adjunct, 2016. DOI:10.1145/2984751.2985718
2. Akira Matsuda and Jun Rekimoto, ScalableBody : A Telepresence Robot Supporting Socially Acceptable Interactions and Human Augmentation through Vertical Actuation, AUI ' 16, 2016.
3. Kana Misawa, Jun Rekimoto. Who Am I Touching?: User Study of Remote Handshaking with a Telepresence Face, ACM HAI ' 16., 2016
4. Takashi Miyaki, Jun Rekimoto. LiDARMAN: reprogramming reality with egocentric laser depth scanning, SIGGRAPH ' 16: ACM SIGGRAPH 2016 Emerging Technologies.
5. 小宮山 凌平, 味八木 崇, 暦本 純一, JackIn Space: 一人称・三人称映像間の連続的な遷移を可能にするテレプレゼンスシステム. インタラクシオン 2016.
6. 門村 亜珠沙, 松田 暁, 暦本 純一. CASPER: 高齢者のための空気砲を用いた遠隔エクササイズシステム. インタラクシオン 2016 (インタラクティブ発表).
7. Azusa Kadomura, Akira Matsuda, and Jun Rekimoto, CASPER: A Haptic Enhanced Telepresence Exercise System for Elderly People. Augmented Human 2016.
8. Michinari Kono, Takashi Miyaki and Jun Rekimoto, JackIn Airsoft: Localization and View Sharing for Strategic Sports, ACM VRST ' 17, 2017
9. Albrecht Schmidt, Stefan Schneegass, Kai Kunze, Jun Rekimoto, Woontack Woo, Workshop on Amplification and Augmentation of Human Perception, CHI EA ' 17: Proceedings of the 2017 CHI Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems, pp. 668-673, 2017
10. Akira Matsuda, Takashi Miyaki and Jun Rekimoto, ScalableBody: A Telepresence Robot Supporting Face Position Matching using Vertical Actuator, Augmented Human 2017
11. Ryohei Komiya, Takashi Miyaki and Jun Rekimoto, JackIn Space: Designing a Seamless Transition Between First and Third Person View for Effective Telepresence Collaborations, Augmented Human 2017
12. Michinari Kono, Hiromi Nakamura and Jun Rekimoto, Intentiō: Power Distribution through a Potentialized Human Body, Augmented Human 2017
13. N. Hamanishi and J. Rekimoto. Body Cursor: Supporting Sports Training with the Out-of-Body Sense. In. CHI WS ' 17. ACM, 2017
14. Naoki Kimura, Michinari Kono, Jun Rekimoto, Using Deep-Neural-Network to Extend Videos for Head-Mounted Display Experiences, ACM VRST 2018 (Poster)
15. Michinari Kono, Takashi Miyaki, Jun Rekimoto, In-Pulse: Inducing Fear and Pain in Virtual Experiences, ACM VRST 2018
16. Akira Matsuda, Kazunori Nozawa, and Jun Rekimoto. JackIn Neck: A Neckband Wearable Telepresence System Designed for High Comfortability, ACM ISS 2018.
17. 丸山 英梨子, 暦本 純一, CompoundDome: スクリーンを部分的に透過することにより現実世界とインタラクシオンを可能にする装着型ドーム装置, 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関する研究会 WISS2018.
18. 松田 暁, 加藤 淳, 尾形 正泰, 濱崎 雅弘, 後藤 真孝, 暦本 純一, 同期的共同作業における空間的指示を補助するカーソル拡張型コミュニケーション手法, 日本ソフトウェア科学会インタラクティブシステムとソフトウェアに関する研究会 WISS2018 (Demo).
19. Jun Rekimoto, Keishiro Uragaki, Kenjiro Yamada, Behind-the-mask: a face-through head-mounted display, AVI 2018.
20. Keisuke Shiro, Atsushi Okada, Takashi Miyaki, and Jun Rekimoto, OmniGaze: A Display-covered Omnidirectional Camera for Conveying Remote User ' s Presence, ACM HAI ' 18
21. Eriko Maruyama and Jun Rekimoto. CompoundDome: A wearable dome device that enables

- interaction with the real world by controlling the transparency of the screen, AH 2019
22. Eriko Maruyama, Jun Rekimoto, CompoundDome:A wearable dome device that enables interaction with the real world by partially transmitting the screen, , IEEE VR 2019 Workshop on Human Augmentation and its Applications,2019.
 23. Jun Rekimoto, Human Augmentation and the future of Human-Computer Interactions, CHIUXID, 5th International ACM In-Cooperation HCI and UX Conference (2019) [Keynote]
 24. 暦本純一, テクノロジーにより拡張する人間: ヒューマンオーグメンテーションの未来, 東京広告協会特別講演会, 2018.6.20 [招待講演]
 25. 暦本純一, IoT から IoA へ、人類を拡張するネットワーク, かがわ情報化推進協議会 近未来情報化講演会招待講演, 2018.6.4 [招待講演]
 26. 暦本純一, IoA (Internet of Abilities) 実現への挑戦、放送の未来、NHK 技研公開 2018 基調講演,2018.5.24 [招待講演]
 27. Jun Rekimoto, IoA: Internet of Abilities and the future of Human Augmentation, TaiCHI 2017 Keynote [Keynote]
 28. Jun Rekimoto, Augmenting Humanity for the AI Era, Keynote, New Context Conferense SF, 2017 [Keynote]
 29. 暦本純一 空間の拡張、人間の拡張, ArchFuture 2017 [招待講演]
 30. Jun Rekimoto, Human Augmentaion, Innovation City Forum, 2017 [招待講演]
 31. Jun Rekimoto, Living AR, SingularityU Japan Summit, 2017. [招待講演]
 32. Jun Rekimoto, Internet of Abilities: Human Augmentation, and beyond IEEE 3DUI 2017. [Keynote]
 33. Jun Rekimoto, Human Augmentation and the Age of Internet-of-Abilities, keynote talk at The ACM Symposium on Virtual Reality Software and Technology (ACM VRST 2016), Nov 2-4, 2016, Munich, Germany. [Keynote]

〔図書〕(計 1 件)

Nigel Daves, Marc Langheinrich, Pattie Maes, Jun Rekimoto, Augmenting Humans, IEEE Pervasive Computing, vol.17, no.02, 2018. [論文誌特集号]

〔産業財産権〕

なし

〔その他〕

ホームページ等

本研究課題に関連するプロジェクトホームページ:

- 1 . OmniGaze: A display-covered omnidirectional camera for remote presence: <https://lab.rekimoto.org/projects/omnigaze/>
- 2 . JackIn Neck: A Neckband Wearable Telepresence System Designed for High Comfortability https://lab.rekimoto.org/projects/jack_in_neck/
- 3 . CompoundDome:スクリーンを部分的に透過することにより現実世界とインタラクションを可能にする装着型ドーム装置 <https://lab.rekimoto.org/projects/compounddome/>
- 4 . JackIn Airsoft: Localization and View Sharing for Strategic Sports <https://lab.rekimoto.org/projects/jackinairsoft/>
- 5 . JackIn: 360 1st person video SIGGRAPH 2016 E-TECH https://www.youtube.com/watch?v=GNbTavdw_eY

6 . 研究組織

(1)研究分担者

なし

(2)研究協力者

研究協力者氏名: 味八木 崇

ローマ字氏名: MIYAKI Takashi

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。