

機関番号：14401

研究種目：若手研究 (B)

研究期間：2008～2010

課題番号：20700111

研究課題名 (和文) 実世界志向インタフェースによる遠隔協調作業

研究課題名 (英文) Remote Collaboration with Real World Base Interface

研究代表者

酒田 信親 (SAKATA NOBUCHIKA)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教

研究者番号：40452411

研究成果の概要 (和文)：物理的にお互いの声や視界が及ばない離れた多地点間で通信により音声や映像をやり取りし、指示者が遠隔地の作業者に作業を行わせることを遠隔協調作業という。本研究では、この遠隔協調作業において複数の現場作業員間で情報の共有・伝達の齟齬の発生を少なくする作業員向けの出力インタフェースを設計・提案し評価した。さらに、装着者の行動や状況に応じて入力する装着型 (ウェアラブル) 入力インタフェースを設計・提案し評価した。

研究成果の概要 (英文)：A local worker and a remote instructor cannot be communicated each other by own vision and voice directly. Work conducted by a local worker under the instructions of a remote instructor via tele-communication technology is called remote collaboration. In this project, we propose, develop and evaluate local worker's interface to compensate discrepancies of information sharing and conveyance. Also, we propose, develop and evaluate remote instructor's interface operated along to wearers' behavior and situation.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008年度	1,400,000	420,000	1,820,000
2009年度	900,000	270,000	1,170,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
総計	3,200,000	960,000	4,160,000

研究分野：総合領域

科研費の分科・細目：情報学・メディア情報学・データベース

キーワード：ウェアラブル機器、拡張現実感、遠隔協調作業、プロジェクション

1. 研究開始当初の背景

申請者は、従来から可搬性が高い装着型の作業端末を使った遠隔協調作業の研究に従事していた。これまでの研究成果として、遠隔協調作業に用いる作業員側・指示者側の端末の実装と改良を行った。具体的には、アクティブカメラレーザである WACL (Wearable Active Camera with Laser pointer) と、詳細情報を提示するディスプレイとして CWD

(Chest-Worn Display) を作業員へ装着し、新しい頭部非装着型作業員端末を提案・開発した。この提案端末のユーザビリティテストをおこなった結果、CWD は HMD と比べ作業効率の点で遜色なく、WACL の付加ディスプレイとして CWD は HMD (Head Mounted Display) より装着感の点で優れており、さらに、WACL で実世界に投影されたレーザポインタは、実世界の作業箇所と

CWD と HMD に表示されるバーチャルな作業箇所を効率的に対応付け作業効率やユーザビリティを向上させることが分かった。しかし、申請者を含め装着型端末を用いた遠隔協調作業のこれまでの研究は、指示者1人に対し作業者1人の遠隔協調作業に焦点を当て研究をおこなっており、指示者1人に対し作業者が複数人という一対多の遠隔協調作業は想定をしていなかった。もし、一対多の円滑な遠隔協調作業を実現できれば、一対一の遠隔協調作業に比べ、複数人の現場作業者を要する協調作業、例えば、重量物の運搬や作業者間でタイミングを合わせる必要がある作業なども時間や説明のコストをかけずに実現できる可能性がある。しかし、既存の多くの研究は、指示者1人、作業者1人の一対一の遠隔協調作業を想定したものがほとんどであった。具体的には従来、遠隔協調作業システムで作業者が使用する装着型の出力インタフェースは、HMD や腕に取り付けたディスプレイなどに代表される装着者への情報提示を主としたインタフェースを用いて作業を行っていた。しかし、複数人の現場作業者が同時に作業する必要がある遠隔協調作業を想定する場合、このような一人用の情報提示インタフェースを用いると、装着者本人には直接的に情報を伝達できるが、装着者以外の人間には、情報を直接伝達することは難しい。そのため、指示者と複数人の現場作業者との間で、作業情報の共有や伝達に齟齬が発生し、円滑に協調して作業を行えないことが予想される。一方、作業者が現場で使用する入力インタフェースに関しては、従来のウェアラブルコンピュータの研究では、身体に取り付けたキーボードやマウスや音声入力、またはそれに準ずるものが多く提案・研究されていた。しかし、いずれもポインタやキー入力を効率的に行うことを想定しており、装着者の明示的な多量の入力を必要とするウェアラブルインタフェースであり、遠隔協調作業向けの入力インタフェースは世界的に研究されてはいなかった。

2. 研究の目的

本研究では、遠隔協調作業において複数の現場作業間で情報共有の障害や情報の共有・伝達の齟齬の発生をできるだけ少なくする作業者向けの出力インタフェースを設計・提案し評価する。さらに、装着者の多量の明示的な入力を必要とせず、装着者の行動や状況に基づいて暗黙のうちに入力可能な遠隔協調作業向けウェアラブル入力インタフェースを設計・提案し評価する。具体的には、出力インタフェースとして、プロジェクタに代表される実世界投影型情報提示デバイスを現場作業者に装着させる。実世界投影型情報提示デバイスは、HMD のような一人

用デバイスと異なり装着した本人だけでなく周囲の人間も情報を閲覧可能な特徴がある。この特徴を利用すると、作業者間での情報の共有・伝達の齟齬の発生を効果的に防ぐ遠隔協調作業出力インタフェースを実現できると考えている。また、現場作業者の身体にセンサを取り付け作業者の運動や把持している物体の外観や作業者の位置・姿勢を入力とし、この入力に応じた作業情報を自律的に作業者へ選択・提示するインタフェースを目指す。このインタフェースにより、作業者は作業を中断することなく作業情報を取得できるし、さらに指示者のサポートの必然性を軽減することができ、円滑な遠隔協調作業を実現する。

3. 研究の方法

このように、本研究では、複数人の現場作業者を要する遠隔協調作業において多人数閲覧可能な出力インタフェースを備え、さらに作業者の動作や周辺環境の情報を入力とし、これに応じたインタフェースを備え装着型実世界志向インタフェースを設計・提案し評価する。本研究で対象とする遠隔協調作業は、装着者は場所を移動し、環境側の情報サポートや作業者人数分の機器の台数が期待できない状態を想定している。具体的には、事件・事故が想定されていない場所や端末の習熟度が十分でない作業者しかいない状況であっても、行動や周辺環境に基づいた入力と複数人数が同時閲覧可能な出力を備えた実世界志向インタフェースによって遠隔協調作業を行えば、想定外のリスクに対応でき、社会の安全・安心に寄与できると考えている。想定した研究成果としては、プロジェクタに代表される実世界への投影情報を用いた場合の複数人の中での情報共有の利点と限界、実世界の人間の行動や周囲の環境情報に基づいた入力インタフェースの利点と限界や、さらに、これら実世界志向インタフェースを導入した場合の人間同士または機械と人間のインタラクションの変化の定量・定性的評価が挙げられる。この研究成果を元に、テレコミュニケーションにおいて人間が他人へ伝聞的に情報を伝える場合の問題点や解決法の指針、また、同時に同一情報を複数人に効率的に与える方法の見通しが明らかになると考えられる。

まず、実世界投影型情報提示インタフェースの設計指針を明確にするため、遠隔地からの指示を作業者に伝えるための既存の小型プロジェクタと遠隔地の指示者が作業現場を観察するための広視野の魚眼カメラを用いたコンセプトプロトタイプを構築した。このプロトタイプを用いたユーザテストでは、複数人の現場作業者を要する遠隔協調作業において、HMD やハンドヘルドデバイスなど

の一人用閲覧インタフェースと比べ、実世界投影型情報提示インタフェースは、実作業空間に情報を投影し重畳して表示することで装着者だけでなく周囲の人間も情報を閲覧可能になり、作業員間として全体での作業情報の共有・伝達に齟齬が発生しづらいことを確認できた。また、このユーザテストを通じて、実世界投影型デバイスを装着型にする際に結像に必要な投射距離、協調作業に適した投影の画角や解像度等、さらに遠隔地に作業現場の情報を伝えるカメラの画角や解像度等の仕様明細を決定した。この結果より実世界投影型出力インタフェースとして小型のLED プロジェクタを使用することが当時としては妥当なことが明らかになった。そしてLED プロジェクタによって、作業情報として単純なポインタ、静止画、動画、文字などを作業現場に投影することを目的として、各々の作業情報で遂行可能な遠隔協調作業の種類と限界を検討した。

また、このユーザテストのビデオログから、装着者のどの行動や周辺環境情報が、入力インタフェースのトリガーとして適しているかを観察的手法により明らかにした。その結果、装着者の位置・姿勢、「ねじを回す」「金槌を使う」といった特徴的な動作、または装着者が把持している物体の外観情報を入力インタフェースのトリガーの候補とするのが適切である可能性が示唆された。

次に、ビデオログの観察結果より候補となった入力に適している装着者の行動や環境情報が、どのようなセンサやアルゴリズムを用いると機械的な検出が可能であるかを検討し、具体的なセンサやセンサの取り付け位置などの仕様明細を決定した。その結果、過去の研究から装着した魚眼カメラの映像の画像処理による結果と両手首やヘッドフォンに取り付けた加速度センサである程度の検出が可能であると判断した。しかし、身体の加速度に基づいた行動推定では、装着者の位置姿勢や行動に対して十分な精度を確保できない可能性があった。この場合、三次元磁気センサなどの絶対位置計測デバイスの導入を検討が示唆された。

これらの検討の結果、当時で現実的に構築可能な図1のような実世界志向インタフェースを導入した遠隔協調作業システムを実装し、複数人の作業員による遠隔協調作業を最終

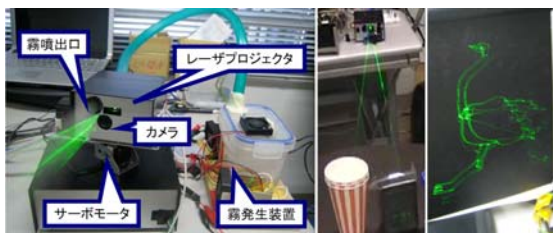


図1:光路可視可能な遠隔協調作業端末

の評価実験として行った。ここで、比較対象として、既存の HMD や CWD やハンドヘルドディスプレイに代表される一人称デバイスをベースとした出力インタフェースとポインタリングやキー入力をベースとした入力インタフェースを備えた既存の典型的な遠隔協調作業システムを用意し比較した。この2つのシステム間で、作業効率やユーザ間インタラクションの違いを計測した。

4. 研究成果

本研究では、遠隔協調作業において複数人の現場作業員間で情報の共有・伝達の齟齬の発生をできるだけ少なくする作業員向けの出力インタフェースを設計・提案し評価することを最終目標としている。さらに、装着者の多量の明示的な入力を必要としない、装着者の行動や状況に基づいて暗黙のうちに入力可能な遠隔協調作業向けウェアラブル入力インタフェースを設計・提案し評価した。

2008 度は、複数人の現場作業員間で情報の共有・伝達の齟齬の発生をできるだけ少なくする作業員向けの実世界投影型出力インタフェースを設計・評価した(雑誌論文③)。従来から、指示者がレーザーポインタを遠隔操作し、実物体や場所を指し示す方法があった。この方法はデバイスの小型軽量化が可能であり、ユビキタスシステムやウェアラブルシステムで、作業対象の指定に利用されていた。しかし、この方法では指示者側からレーザーポットは見えるものの、物体やデバイスの配置によってはレーザーポットが他の物体や指示対象物体そのものの陰に隠れて作業員側から見えなくなる問題があった。そこで、小型の端末で遠隔から物体を指し示すために用いる手法として、レーザーポインタの光路を可視化し志向表現を持たせて作業員に提示することで指し棒と似た効果の3次元方向指示を実現した。本年度の研究成果として、レーザーポットが見えなくともその位置を推定させる手法を提案し評価し、その有効性を確認した。また、この手法を用いたレーザープロジェクタと魚眼カメラによる遠隔協調作業端末を構築した(学会発表⑩⑪⑫⑬⑭)。

2009 度は、複数人の現場作業員間で情報の共有・伝達の齟齬の発生をできるだけ少なくする作業員向けのレーザーの光路を可視化したレーザープロジェクタと魚眼カメラによる遠隔協調作業端末を評価した(雑誌論文②)(学会発表①)。この評価の目的は、指示者側からレーザーの着光点は見えるものの、物体やデバイスの配置によってはレーザーポットが他の物体や指示対象物体そのものの陰に隠れて作業員側から見えなくなる問題があり、それを解決するためにレーザーの光路を可視化し志向表現を持たせて作業員に提示することで指し棒と似た効果の3次元方

向指示の有効性を検証した。実験の結果、作業場所の同定、作業物体の選定において複数人の作業員間での共有意識や認識を著しく効果的に構築することが可能になることが確認された(学会発表⑥)。さらに、プロジェクションデバイスの特徴である様々な場所に情報を投影可能であることによって、前述の複数人の作業員間での共有意識や認識を著しく効果的に構築することが可能になることを利用し、様々なシステムを構築した。(学会発表⑧⑨⑩)。

2010年度はこの遠隔協調作業用端末をさらなるユーザビリティテストによって、作業全体の効率化における役割を、観察的評価を用いて確認し、さらに作業員の行動や状況を解析することでそれに合わせた作業情報を提示するシステムを構築し評価した。さらにこれらがプロジェクションデバイスを用いたARによって実現されるその特性と利点をまとめた結果を公表した(雑誌論文①)。さらに、これらの結果を国際学会で数件の発表を行った。(学会発表①②③④⑤)

5. 主な発表論文等

[雑誌論文] (計3件)

- ①蔵田武志, 酒田信親, 牧田孝嗣, "特集: 拡張現実感 (AR) ARのインタフェース", 情報処理学会会誌「情報処理」, 査読有り, Vol. 51 No. 4, pp. 425-430, April 2010.
- ②岡本周, 酒田信親, 西田正吾: "光路を可視化したレーザポインタによる実物体指示", 日本VR学会論文誌, 査読有り, Vol. 13, No. 4, pp. 421-428 (2008)
- ③川本海, 蔵田武志, 酒田信親, 大隈隆史, 葛岡英明: "光センサと加速度計を組み込んだテーブルトップインタフェース用タグの位置・回転計測手法", 日本VR学会論文誌, 査読有り, Vol. 13, No. 2, pp. 207-216 (2008)

[学会発表] (計15件)

- ①Yasuhiro Kajiwara, Keisuke Tajimi, Keiji Uemura, Nobuchika Sakata and Shogo Nishida: "ClippingLight: A Method for Easy Snapshots with Projection Viewfinder and Tilt-Based Zoom Control", In Proc of Augmented Human, Tokyo in Japan, 2011. 3. 12.
- ②Keisuke Tajimi, Keiji Uemura, Nobuchika Sakata and Shogo Nishida: "Stabilization Method for Floor Projection with a Hip-Mounted Projector", In Proc of ICAT2010, pp. 77-83, Adelaide in Australia, 2010. 12. 2.

- ③Keisuke Tajimi, Nobuchika Sakata, Keiji Uemura and Shogo Nishida: "Remote Collaboration Using Real-world Projection Interface", In Proc of SMC2010, pp. 3008-3013, Istanbul, 2010. 10. 13.

- ④Keiji Uemura, Nobuchika Sakata, Shogo Nishida: "Annotation view management technique with wearable projection for working in real world", In Proc of KJMR2010 (PowerPoint slide), pp. 174-181, Gyeongju in Korea, April 2010.

- ⑤Keisuke Tajimi, Nobuchika Sakata, Shogo Nishida: "Study of Floor projection with wearable projector", In Proc of KJMR2010 (PowerPoint slide), pp. 164-173, Gyeongju in Korea, 2010. 4. 23.

- ⑥Takahiko Suzuki, Nobuchika Sakata, Shogo Nishida: "ProCams for Laptop --- New human-computer interaction design comprising projector and camera for use with laptops", ASIAGRAPH2009, pp. 96-99, in Tokyo, 2009. 10. 22,

- ⑦岡本周, 酒田信親, 西田正吾: 遠隔協調作業支援端末VLLPを用いた複数対象へのポインタリング, 日本バーチャルリアリティ学会第14回大会抄録集 (DVD proceeding), (2009年9月11日)

- ⑧Keisuke Tajimi, Teppei Konishi, Nobuchika Sakata and Shogo Nishida: "Stabilization Method for a Hip-mounted Projector Using an Inertial Sensor.", In Advances in Wearable Computing 2009. 13th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2009) (ISBN 978-3-85403-248-9), pp. 37-44, in Linz Oesterreich (2009. 9. 7),

- ⑨Teppei Konishi, Keisuke Tajimi, Nobuchika Sakata and Shogo Nishida: "Projection Stabilizing Method for Palm-top Display with Wearable Projector.", In Advances in Wearable Computing 2009. 13th IEEE International Symposium on Wearable Computers (ISWC2009) (ISBN 978-3-85403-248-9), pp. 13-20, in Linz Oesterreich (2009. 9. 7),

- ⑩Nobuchika Sakata, Teppei Konishi and Shogo Nishida: "Mobile Interfaces Using Body Worn Projector and Camera.", HCI International 2009, in San Diego United states (2009. 6. 22).

- ⑪Nobuchika Sakata, Shu Okamoto and Shogo

Nishida: Applications of Visible Light Path Laser Projector, HCI International 2009, in San Diego United states (2009. 6. 22).

⑫Xiong Gao, Shu Okamoto, Teppei Konishi, Nobuchika Sakata, Shogo Nishida: "Remote collaboration demanding multiple field workers using real-world projection interface", The 3rd International Workshop on Ubiquitous Virtual Reality (IWUVR09) in Adelaide, Australia (2009. 1. 16)

⑬岡本周, 酒田信親, 西田 正吾: 光路を可視化したレーザポインタを用いた遠隔協調作業用小型端末, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会抄録集 (DVD proceeding), pp. 276-279 (2008. 9. 24)

⑭Nobuchika Sakata, Syu Okamoto, Shogo Nishida: "A visible light path laser pointer with directional mists", In CD Proc. The first Korea-Japan workshop on Mixed Reality (KJMR08) in JEJU, S. Korea (2008. 5. 21)

[図書] (計 2 件)

①蔵田武志, 牧田孝嗣, 酒田信親, 日本工業出版, 画像ラボ 9 月号、第 22 巻第 2 号, "AR とインタフェース: ビューマネジメントとプロジェクト型 AR" pp. 35-42 (ISSN0915-6755) (2010)

②岡本 周、酒田信親、西田 正吾、日本工業出版, 画像ラボ 9 月号、第 20 巻第 9 号, "レーザポインタの光路の可視化", pp. 23-28 (ISSN0915-6755) (2009)

[その他]

ホームページ等

<http://www.nishilab.sys.es.osaka-u.ac.jp/people/sakata/research.php>

① 司会: 酒田信親 (大阪大), パネリスト: 池田 聖 (奈良先端大), 石川智也 (産総研), 一刈良介 (立命館大), 内山英昭 (慶應義塾大), パネル討論: ARブームの次を見据え, 研究社会は何に挑戦すべきか?, 日本バーチャルリアリティ学会第 15 回大会抄録集 (DVD proceeding), (2010 年 9 月 16 日)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

酒田 信親 (SAKATA NOBUCHIKA)

大阪大学・大学院基礎工学研究科・助教
研究者番号: 40452411

(2) 研究分担者 ()

研究者番号:

(3) 連携研究者 ()

研究者番号: