

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成 25 年 5 月 29 日現在

機関番号：144401

研究種目：若手研究（B）

研究期間：2011～2012

課題番号：23700145

研究課題名（和文） 人称視点選択可能な遠隔協調作業システムの開発

研究課題名（英文） Development of remote collaboration system with multi person view

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、Procams(Projector Camera Systems)を、壁や柱や天井などに複数個設置し、人称視点を指示者が選択可能な遠隔協調作業用システムを設計・開発・評価した。その過程で、視野共有システムを用いた時の **Fat finger problem** の解決手法として身体動作画像の拡大縮小表現手法を提案し、評価した。その結果、小さな対象に対する指示に対して作業時間が短縮されることや、指示者が指示をしやすと感じることが分かった。

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 deploy projector camera system (Procams) to certain type remote collaboration that a real object and places are instruction targets. As we investigate existed researches, we find out that "Fat finger problem" cause delay of completion and derogation of usability. To solve the problem, we propose to use scalable embodiment image as instruction image. Lastly, we conducted the user study to examine the effectively of the proposal method. As a result, gesture image with scaling function make task completion time shorter and provide good usability to remote expert when the remote expert indicate small parts.

交付決定額

（金額単位：円）

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	3,400,000	1,020,000	4,420,000

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：テーブルトップ、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

物理的にお互いの声や視界が及ばない離れた2地点間で通信により音声や映像をやり取りし、遠隔地の指示者が現場の作業者に何らかの作業を行わせることを遠隔協調作業という。特に、申請者は従来から可搬性が高い装着型の作業端末を使用し、実空間の物体や場所を対象とした遠隔協調作業の研究に従

事していた。具体的には、複数人の現場作業間で情報の共有・伝達の齟齬の発生をできるだけ少なくする現場の作業者向けのインタフェースを設計・提案し評価を行った。その過程で、複数の作業者に対して同時に三次元方向を提示可能な光路を可視化したレーザーポインタの設計・開発・評価や、複数人の現場作業による遠隔協調作業で一人称インタ

フェースである HMD と比べた場合の実世界投影型インタフェースの優位性の研究成果を得た。これらの研究成果は、指示者と作業者の視差が大きい俯瞰視点から指示を行う遠隔協調作業への適応を想定しており、作業者と視差が少ない 1 人称視点から遠隔協調作業ではなかった。1 人称視点で指示を行った場合は、作業者と指示者の身体を中心軸や移動の進行方向などの身体性は一致しているため、作業者の正面空間での小型部品の組立などの細かな作業指示は得意とするものの、作業者周辺の状況把握については作業者と同程度にしかできなかった。一方で天井や高所などの 3 人称視点いわゆる俯瞰視点からの指示の場合、作業者・部品・作業対象などの空間的位置関係を広域で把握できるため、場所の移動や部品存在箇所の指示は容易であった。しかしながら、前述の小型部品の組み立てなどでは作業者自身の身体によるオクルージョンと視差の大きさによる身体性の不一致で 1 人称視点の場合に比べスムーズに作業を行えなかった。そこで、本研究では、遠隔の指示者と現場作業者間の実空間の物体や場所を作業対象とした遠隔協調作業において、一人称視点による遠隔指示によって指示者と作業者の身体性の問題の発生をできるだけ少なくし、さらに俯瞰視点（三人称視点）による遠隔指示によって指示者が現場の様子を広範囲で把握可能な人称視点選択機能を有する遠隔協調作業用システムを設計・提案し評価する予定であった。

2. 研究の目的

上述の様なシステムを実現するインタフェースとして、プロジェクタとカメラを組み合わせた Procams(Projector Camera Systems)を採用した。この Procams は、内蔵するカメラによって単なる映像だけでなくコンピュータビジョンの技術を用いて周辺の三次元情報などの周辺環境を計測し、その計測した周辺環境に基づき内蔵のプロジェクタから実世界へ AR(Augmented Reality)情報を重畳投影し、ユーザに情報提供できる。この Procams デバイスを、壁や柱や天井などの環境中に同時に複数個設置したり、身体に装着したり、さらに状況に応じてハンドヘルドでの運用も想定している。これによって、作業状況に応じた Procams を選択して指示を行うことで、指示者は現場の映像や指示方法の人称視点を変更可能になり、作業者・作業場所・部品などの空間的配置を広範囲に認識しつつ、また、身体性も一致したまま作業指示を行える。

具体的には身体性の一致した 1 人称視点の遠隔協調作業を実現する場合は、小型の Procams を指示者の胸の前と同様に現場の作業者の胸の前に取り付けることで、この 2

つの Procams 間で指示者と作業者の上下左右と身体の回転の中心軸の身体性が一致した遠隔協調作業が可能になる。細かな部品組み立て作業などにおいて、作業側側の Procams のカメラによって作業場所・作業者の腕・作業者周囲の環境などが含まれた映像を撮影する。この映像を遠隔の指示者側のプロジェクタから指示者前方の空間に投影し、指示者側で遠隔の現場の作業環境を仮想的に再現する。そして、指示者の前方の机に投影された二次元仮想作業環境で指示している様子を、指示者側の Procams のカメラで撮影し、この映像を現場に送り返し、さらに作業者の Procams から投影する。これにより、指示者の腕や指差しを作業現場に重畳表示することで、指示者と作業者が同軸の身体性を維持した一人称視点の遠隔協調作業が可能となる。この時、単純に指示者側のカメラ映像を送り返し現場に投影すると、投影した映像が再度撮影されることで合わせ鏡の様に腕や作業環境が何重にも投影されてしまう。これを防ぐために指示者側で、画像処理によって腕の部分のみを選択的に切り出し、現場作業環境に投影し、映像が何重にも投影される現象を回避する。また、指示者側の設備は Procams デバイス 1 個でも実現できるため、環境側に特別な設備を必要としない点が特徴である。次に、現場作業者は、複数個の予備の Procams を持ち歩き必要に応じて壁・柱・天井などの環境にアドホックで取り付け、これによって俯瞰視点による作業指示を実現する。取り付ける場所の決定に関しては作業者や指示者の人間の意志によって設置する方法と、把握できていない場所をシステムが判断し、システムが設置場所を指定する方法を想定している。

3. 研究の方法

そこで、このような身体性を拡張したり、一人称視点を共有する従来の研究を精密にサーベイした。その結果、このような視野共有システムでの作業向けシステムは多く研究されているものの、一方で指示者向けシステムはあまり研究されてなかった。そこで検討の結果、遠隔協調作業に用いる 1 人称視点と俯瞰視点の機能を有する視野共有システムを用いた時の指や腕自体の大きさで指示対象を正確に指し示せない Fat finger problem に注目し、その問題の解決手法とし

て身体動作画像の拡大縮小表現手法を提案・実装・評価した。

本研究で実装したシステムは、遠隔地の指示者の使用する指示者インタフェースと、現場作業者の使用する作業者インタフェースから構成される。指示者インタフェースの構成を図 1 に示す。指示者は作業内容に合わせて

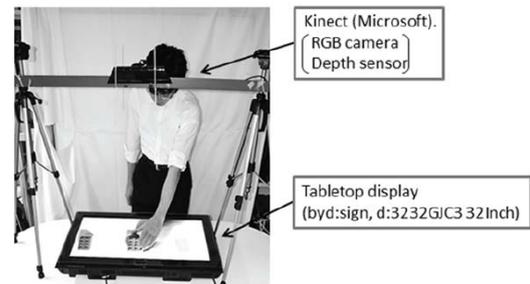
移動することを想定していないため、この指示者インタフェースは環境に設置して使用する。このインタフェースは、指示者に作業現場の様子を伝えるテーブルトップディスプレイと、指示者の身振り手振りを検出するセンサとして可視光および三次元深度カメラを内蔵する Kinect から構成される。可視光カメラおよび三次元深度カメラはテーブルトップディスプレイを俯瞰する位置に設置する。

指示者のジェスチャや指差し等の身体動作を指示者インタフェースの可視光カメラで撮影し、指示画像として作業員インタフェースへ送信する。そして、作業員インタフェースで指示画像を受信し、プロジェクタが投影する箇所との位置関係を考慮し、台形補正を行った後に、指示画像を手元の作業対象に対して重畳表示することで実物体に対して作業を行う。

しかしここで、指示者インタフェースのテーブルトップ上部にとりつけられた可視光カメラから撮影された映像には、テーブルトップディスプレイに表示される作業環境の映像も含まれるため、作業員に提示する際には作業環境中に投影された作業環境が幾重にも表示され、合わせ鏡のように腕や現場作業映像が幾重に投影されてしまう。そのため、作業員が表示された映像と実世界を同時に閲覧してしまい、提示された情報の閲覧が困難になる場合が考えられる。そこで本システムでは、三次元深度センサの情報を用いて、可視光カメラで撮影した映像から指示者の腕だけを切り出し、指示者の腕のみを作業員側に表示する。

このような指示者の腕を作業環境に重畳表示させるシステムでは、指示者の腕と作業対象の大きさの違いや、画像の解像度等により細かい指示が行い難いことが考えられる。そこで、本章では提案システムを用いて細かい対象の指示を実現する手法について述べる。具体的には、まず、指示者の細かい箇所に対して行う指示や、作業環境の細かい状況の把握を行う場合に、指示者側のディスプレイに表示する作業環境の画像を拡大して表示する(図2)。これにより指示者は拡大された作業環境を閲覧でき、作業環境の細部を把握することが可能となる。指示者は拡大表示された画像の上でジェスチャや指差しを行う。そして、指示者の腕を抽出し、指示画像とする。指示画像を作業環境に投影する際には、テーブルトップディスプレイ上に表示された作業環境の拡大画像が、元の作業環境の縮尺になるように縮小し、作業環境に対して画像を投影する。そのため、作業員側には縮小された指示者の腕が表示される(図3)。このように作業環境中に指示者の腕を縮小して表示することで、指差しなどの動作におい

て的確な箇所を現場作業員に伝達可能であると考えられる。この手法によって、作業環境中の実物体に対して細かい指示を行うことが可能となり、小さな部品を取り扱う場合などは作業時間の短縮に繋がる。



Instructor interface

図1：指示者インタフェース

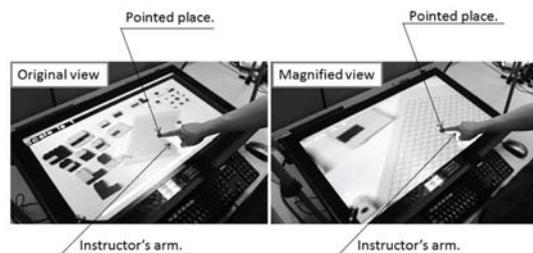


図2：指示者インタフェースのテーブルトップディスプレイ (左：等倍、右：拡大)

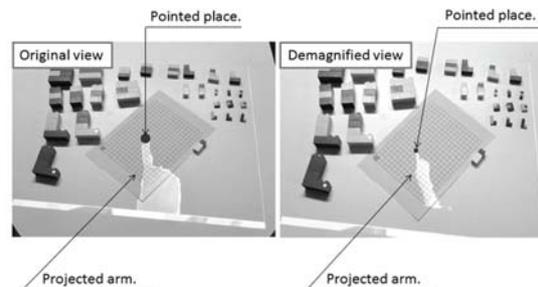


図3：作業環境に投影された指示者の腕部 (左：等倍、右縮小)

4. 研究成果

本研究では、2011年度では上記のような遠隔協調作業のための視野共有システムを実装した。2012年度では、身体動作画像の拡大縮小表現手法を遠隔協調作業システム導入した場合の評価実験を行った。その結果、その結果、作業完了までの時間で「拡大縮小表現あり」が「拡大縮小表現なし」よりも短かった。これは、本実験で行ったブロッククラスタを指定の場所に配置するタスクにおいて、身体画像の拡大縮小表現手法が作業時間の短縮という面で有効であることを示している。本実験で行ったタスクは、配置するブロッククラスタの選択(「選択」)、選択したブロッククラスタを方眼用紙上に配

置する角度の指定（「回転」）、選択したブロッククラスタを方眼用紙上の配置する箇所を指定（「指定」）、およびブロッククラスタを置いた後に正しい場所に置かれているか確認（「確認」）の4つの動作に分けられる。本実験では多くの指示者が「指定」と「確認」を行う際に提案手法を用いていた。「指定」の動作に着目すると、「指定」の動作はさらに、ブロッククラスタのいずれかの角を指定する動作と、指定されたブロッククラスタの角を合わせる方眼用紙上の格子点を指定する動作に分けられる。ブロッククラスタのいずれかの角を指定する動作の際には、指示者が提案手法を用いずに指示を行うことも多くあったが、方眼用紙上の格子点を指定する動作の際には、ほとんどの指示者が提案手法を用いて指示を行っていた。ブロッククラスタの角を指定する際に提案手法を用いていない理由として、右上や左下など大まかな箇所を指定することで作業者に意図が伝わることを考えられる。しかし、方眼用紙上の格子点を指定する際には、方眼用紙のマス目と指示者の指の太さが同程度であることから、ディスプレイに表示された作業環境の画像を拡大しない場合に、指示者が指定したい点を正確に指差しできないと考えられる。また、作業者は提案手法を用いない場合には、作業環境に投影される指示者の指が複数の格子点と重なり、どの格子点を指し示しているのかが分からない場面が存在したと考えられる。そのため、指定された作業者が思った点にブロッククラスタを置き、その後正しい配置箇所に置き直す必要があり、その時間が作業完了までの時間の差に影響したものと考えられる。また、「確認」の動作では、ブロッククラスタを配置し終えた後に、正しい箇所にブロッククラスタが配置されているか指示者が確かめる必要がある。「拡大縮小表現なし」ではディスプレイに表示された作業環境の画像を注視するか、作業者との会話によって確認を行っていた。音声による確認をする場合には、ブロッククラスタのどの角が、方眼用紙上のどの格子点にあるかを説明するために、「この行からこちら向きに～本、この列からこちら向きに～本」といったように説明し、指示者と作業者が両者とも方眼用紙上の線の本数を数えなければならず、作業時間が増加したと考えられる。「拡大縮小表現あり」では指示者が作業環境を拡大して見ることでブロッククラスタが配置してある箇所を正確に見ることができる。また、ブロッククラスタの配置箇所が間違っていた場合でも、正しい場所を指差しにより素早く指定することが可能であったと考えられる。以上のことから、本研究の提案手法は、方眼用紙の格子間隔である11mm程度で部品配置するような指示がある作業に対して、作

業時間の短縮に有効であることが分かる。また、タスク内で使用した2cmと4cmのブロッククラスタはそのサイズのネジやジョイントを想定しており、このタスクは現実的にもあり得る設定だと考えている。また、アンケート結果に着目すると、どの項目でも「提案手法あり」が「提案手法なし」に比べ評価が高かった。これは、作業完了時間の結果から示される通り、細かな箇所へ指示が容易になったため、高い評価を得たと考えられる。各ブロックの大きさの違いに着目すると、いずれの間も小中大の順に評価が高かった。これは、「指定」の作業でブロッククラスタの角を指定する際や、「確認」の作業で、方眼用紙上の格子点に正しく配置されているかを確かめるために、作業環境を拡大して閲覧することで、作業環境の状況を把握しやすくなったと考えられる。この点からも、提案手法によって、2cmから4cmの物体に対して指示者が指示しやすいと感じていることが分かった。これらの内容を研究成果として、雑誌論文・学会発表・図書を通じて公表した。（雑誌論文①学会発表①②③図書①）

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2件）

- ① 上村 敬志, 酒田 信親, 西田 正吾: "身体動作画像の拡大縮小表現を利用したテーブルトップ遠隔指示システム", 日本VR学会論文誌, 査読有, Vol.17, No.3, 2012, 171-179
- ② 松田 大輝, 上村 敬志, 酒田 信親, 西田 正吾: "小型プロジェクトと深度センサを用いたウェアラブル足入力インタフェース", 日本 VR 学会論文誌, Vol. 17, No. 3, 2012, 161-169

〔学会発表〕（計9件）

- ① 小川達也, 酒田信親, 西田正吾: コミュニケーション促進を目的としたビデオ会話支援システム, UWW2012, 舞子(2012年12月)
- ② 松田大輝, 酒田信親, 西田正吾: フロアインタラクションシステムに向けた手足を用いたウェアラブル入力インタフェース, UWW2012, 舞子(2012年12月)
- ③ 上羽優貴, 酒田信親, 西田正吾: 領域指定に基づく実物体3次元インタラクティブモデリング, UWW2012, 舞子(2012年12月)
- ④ Takahiko Suzuki, Nobuchika Sakata, Daiki Matsuda and Shogo Nishida: "A Study of Laptop with Projector Camera System for Collaboration", The Sixth

International Conference on
Collaboration Technologies
(Collabtech2012), pp.139-144, Sapporo,
Japan August 2012 (PDF)

- ⑤ Daiki Matsuda, Keiji Uemura, Nobuchika Sakata, and Shogo Nishida: "Toe Input using a Mobile Projector and Kinect Sensor", International Symposium on Wearable Computers (ISWC2012), pp. 48-51, Newcastle, UK, June 2012.
- ⑥ 上羽優貴, 梶原康弘, 上村 敬志, 酒田信親, 西田 正吾: "ClippingLight: 投影式ビューファインダとひねりズームを組み合わせた手軽で素早い撮影手法", インタラクシオン 2012, pp. 81-88 東京 (2012年3月)
- ⑦ 上村啓志, 酒田信親, 西田 正吾: "テーブルトップを用いた複数指示者による遠隔協調作業のためのインタラクシオン手法の検討", 第 35 回複合現実感研究会, 稚内 (2011年10月)
- ⑧ Daiki Matsuda, Keiji Uemura, Nobuchika Sakata, Shogo Nishida: "Toe Input with Mobile Projector and Depth Camera", In Proc of ISMAR2011, pp. 281-282, Basel in Switzerland, October 2011.
- ⑨ 松田大輝, 上村啓志, 酒田信親, 西田 正吾: "小型プロジェクタと深度センサを用いたウェアラブル足入力インタフェース", 第 16 回日本バーチャルリアリティ学会大会抄録集 (DVD proceeding), 函館 (2011年9月)

[図書] (計3件)

- ① 酒田信親, "次世代ヒューマンインタフェース開発の最前線" 第3編 第8章 第7節「小型プロジェクタと震度センサを用いたウェアラブル足入力インタフェースの開発」(ISBN 978-4-86469-063-8) 2012年5月発行
- ② 酒田信親, 永嶋涼平, 西田正吾, 月刊ディスプレイ 2012年12月号, "タッチパネルを用いたAR空間での遠距離操作 —スマートフォンとARの未来—" pp. 58-64 (ISSN1341-3961)
- ③ 蔵田武志, 牧田孝嗣, 酒田信親, 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ション型AR" pp. 35-42 (ISSN0915-6755)

[その他]

ホームページ等

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

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: