

令和元年6月24日現在

機関番号：14403

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K00273

研究課題名(和文) 肩乗り型ロボットを利用した同方向型遠隔作業指導支援法の研究

研究課題名(英文) Research on codirectional remote support method using a robot on a shoulder.

研究代表者

篠沢 一彦 (Shinozawa, Kazuhiko)

大阪教育大学・教育学部・教授

研究者番号：80395160

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,500,000円

研究成果の概要(和文)：TEROOSを用いた遠隔作業を支援できる同方向型遠隔支援システムを構築した。被支援者がロボットを装着し作業支援を受けるため、被支援者の作業を妨げず、また、人とロボットが同方向となるコミュニケーションであるため、遠隔支援者は、支援発話時に方向を含む指示の認知的負荷が少ない。しかし、遠隔支援時の障害がいくつかあり、本研究では、ロボットの操作と遠隔支援発話の両立の困難さ、また、遠隔支援における発話の長文化について、解決する機能を実装した。実現したシステムは、支援時の映像や音声や指示した物体の画像、さらに、ロボットの操作記録が残せることで、支援内容の分析などに利用できる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

遠隔支援時の操作負担を軽減した同方向型遠隔支援の基盤システムと、同方向型遠隔支援におけるインタラクション記録の基盤を構築した。同方向型遠隔支援は、支援発話時の方向を含む指示の認知的負荷が少なく、被支援者に遠隔の距離感を緩和する効果が見られる。また、遠隔支援者の指示物の記録、支援者の発話タイミングなどを記録できるシステムは、従来になく、遠隔支援時の内容の分析、たとえば、遠隔支援者の発問間隔と被支援者の学習意欲への関係のモデル化などへの利用が期待できる。

研究成果の概要(英文)：A codirectional remote support system that can support remote work using TEROOS is constructed. This system's remote supporter through the robot does not disturb the work of the supported person because the robot is mounted on his/her shoulder and they can receive work support without any hand restrained device. The communication direction between the supported person and the supporter through the robot is codirectional, so there is little cognitive load of instructions including directions when supporting speech. This research focuses on the difficulty of performing both robot control and remote support speech and that the supporter's explanation is prolonged, and some functions to solve them were implemented. The realized system can be used for analysis of the contents of support, etc., because the video and audio at the time of support, the image of the instructed object, and the operation record of the robot can be recorded.

研究分野：コミュニケーションロボット

キーワード：CSCW 肩乗り型ロボット

1. 研究開始当初の背景

臨床医師やカウンセラーと連携し健診結果から健康行動を促進するロボット発話ルール化や購買行動を促進するルール化の研究が行われ、ロボットによるアドバイスが購買行動を変化させる効果が明らかになってきている。これらは、コミュニケーションロボットをつかった街中での案内サービスや高齢者の外出支援への応用が進んでいる。一方、ロボットが人の作業を支援する場合においては、作業スペースを奪わない対面型でないコミュニケーション(同方向コミュニケーション)を可能とするロボットが求められ、その支援方法の確立が必要であり、装着可能で対面を前提としない遠隔操作型肩乗り型ロボット [1] が開発されている。このロボットを利用した買い物支援実験では、装着者が不慣れな買い物を遠隔から支援すること、さらに、遠隔支援者がロボットを介して店の接客者とやりとりを行い、装着者の買い物の支援を円滑に進められることが確認されている。一方、遠隔支援者が装着者の作業支援を行う場合の検討は十分でなく、遠隔支援者のロボット操作の負担や装着者の状況理解が問題となり、効率的な支援の実現に至っていない。

2. 研究の目的

本研究では、TEROOS を用いて作業者を遠隔から効果的かつ効率的に支援する方法の基盤の確立をねらう。方法を確立するための精緻なデータを取得するため、室内で工作や組み立て時の作業指導を考え、経験の少ない教師などが生徒や学生などに指導を行う状況に特化し、遠隔支援を円滑に行うためのシステムの改良と、支援対話のデータの記録を進める。

3. 研究の方法

(1) TEROOS を用いた同方向型遠隔支援システム

装着型ロボット端末として TEROOS を改良し、遠隔支援者のロボットの操作と装着者や周囲の人の対話を同時に記録するシステムを開発する。多くの場所から遠隔支援ができるように、支援側は Web ブラウザを利用するシステムとし、HTML5 と javascript を用いて構築する。また、音声通信は、ファイヤウォールを超えることができる linphone¹を利用する。遠隔支援者とロボットが共に、異なるファイヤウォール内の場合には、クラウドに中継サーバを設置することで解決を行う。円滑な遠隔操作や音声対話を実現するには、ロボット操作や画像、音声の遅延が少ないことが求められる。ここでは、画像の転送に、mjpeg_streamer を用いる。

遠隔支援は、ロボットのカメラの映像と音声通話を頼りに行われる。支援者は、カメラの向きを変えながら、支援に適切と考える物体を探し、発話を組み立てる。これらの一連の映像と音声、ロボット操作を記録することで、遠隔支援の障害などの発見、さらには、遠隔支援者の支援の振り返りなどへも利用が可能となる。ここでは、mjpeg_streamer から送信される映像と、ロボットに搭載したマイクで集音される音声データを、動画ファイルに保存するとともに、同 PC にて、ロボットの操作コマンドを時刻付きで同時に記録する。ロボットのカメラ映像は、映像配信とロボットの追尾機能の両方に用いるため、gstreamer²を用いた映像分配機構を導入する。この記録したデータは、ELAN³などのアノテーションツールをつかって解析することが可能となる。

(2) 遠隔支援者のロボット操作性改善

遠隔支援者は、ロボットの操作と、支援発話を同時に行うことが求められる。Web ブラウザのユーザインタフェースを用いたロボット操作は、ロボットの頭の向きをマウスで指定するため同時に行うことが難しく、支援内容を変えてしまう弊害や、ロボットの操作を行わず、支援時の対話が円滑に行われないなどの問題がある。支援者の頭部の向きとロボットの頭部の動きを連動させ、ロボット頭部のカメラの映像を支援者の視野に写す仕組みを Head Mount Display(HMD)を用いて実現し、支援者の負担軽減を行なう。被支援者に装着したロボットの映像は、装着者の移動に伴う揺れが大きく、酔いに似た症状を引き起こす。この症状は、装着者の並進移動時に大

¹<http://www.linphone.org>

²<http://gstreamer.freedesktop.org>

³<https://tla.mpi.nl/tools/tla-tools/elan/>

きくなり、回転時に小さいため、並進移動を位置向き計測記録システムによって捉え、支援者へ伝送される画像にマスクをかける処理を行い、症状の緩和を行なう。

(3) 遠隔支援者の指示発話支援

同方向型遠隔作業支援において、「右」や「左」などの指示はお互いの方向が一致しているため理解しやすいが、「あれ」「これ」のような指示代名詞はロボットが方向を直接提示することができないため、支援者の発話が長くなり多くのやりとりが発生する。遠隔支援者が指示する対象をロボット装着者に明確に伝えるために、ロボット頭部にレーザモジュールを取り付け、PC から ON/OFF の制御が可能なシステムを、Trinket M0 を用いて実現する。支援者が、レーザを照射したい物体をカメラの画像上で指定（クリック）することでレーザが ON になり、物体にレーザが照射されるようにする。しかし、装着者の動きによって、レーザ照射点が移動し支援者がレーザを照射したい物体から外れる。クリックした画像部分を OpenCV⁴ の trackerKCF を用いて追尾することで、レーザ照射点が物体から外れることを緩和する。さらに、レーザモジュールとカメラの光軸を完全に一致させる、また、厳密に平行にすることは難しいため、追尾中にレーザ照射が外れることが生じる。ここでは、カメラの光軸に対するレーザモジュールの光軸の位置と向きを予め調べ、カメラからの距離によって追尾する画像を捉えるカメラ画像中の位置を修正することで、レーザを指定した物体に照射させる方法を用いる。

(4) 装着者の表情識別

支援時の装着者の表情は、指示や支援内容の理解度合いなどを知ることにより有用である。ロボットに装備するカメラは、小さい部品が詳細に見えるように、画角を狭角にする。このため、遠隔指導時に指導者が装着者の表情を見るためには、ロボットの頭部の向きを変える必要がある。しかし、通信上の遅延が生じるため、頻繁にロボットの頭部の角度を大きく変更することは避けることが望ましい。そこで、ロボットの頭部側面に表情を識別するカメラを装備した場合の装着者の横顔から表情を識別することを試みる。

(5) 人の位置向き計測記録システム

装着者が移動しながら作業をする場合に、その位置や向きを遠隔支援者が把握することが難しいため、作業実験室に安価な 3D センサ (Kinect v2) を用いて、ロボット装着者や周囲の人の位置と向きを推定する位置向き計測記録システムを構築する。

3D センサは、計測された物体の断片の 3 次元位置が、カメラで得られる画像のように、2 次元配列の点群（距離画像）として得られる。計測点は人物と限らないため、距離画像の中で床面から 850~1800mm の点群で各点間の距離が 100mm 以内であるものを人物の候補となる塊とし、その重心を人物（装着者）の位置とする。また、抽出された塊を構成する点の位置座標について、分散共分散行列を求め、その固有値と固有ベクトルを求める。固有値の絶対値がもっとも小さいものに対応する固有ベクトルを人物の前後方向を表す体傾直線の方向ベクトルとする。体傾直線は、人物の重心を通り、固有値の絶対値がもっとも小さい固有ベクトルを方向ベクトルとする直線となる。この体傾直線では、人物の前面を決定することができないため、あらかじめ前面の方向が決まる場所を作業実験室内に設け、その場所から計測を開始し、各計測時刻間で人物の前面の変化は、90 度以内であると仮定した上で前面を推定する方法を用いる。

4. 研究成果

(1) TEROOS を用いた同方向型遠隔支援システム

同方向型遠隔支援システムで利用した肩乗り型ロボットを図 1(a) に示す。装着者は、このロボットを肩に取り付けて作業を行う。ロボットは、目玉の左右と上下で 2 自由度、まぶたの開閉で 1 自由度、頭部の上下左右、傾げで 3 自由度の合計 6 自由度を有する。マイクとスピーカを有し、さらに頭部のカメラの映像が遠隔の支援者に送られ、装着者と対話ができる。対話時の

⁴<http://opencv.org>

映像と音声は、動画ファイルとして記録される。遠隔支援者は、web ブラウザでロボットへ接続し、ロボットから送信される映像上をクリックすることで、ロボットの向きを変更することができる。また、ロボット側の linphone は自動着信状態にしておき、遠隔支援者からコールすることで、音声通話が開始される。



図 1: 同方向型遠隔支援システム



図 2: 肩乗り型ロボットを装着した様子

(2) 遠隔支援者のロボット操作性改善

ロボットの操作を遠隔支援者の頭部の動きによって行えるよう、スマートフォン (iphone) を利用して安価な HMD を構成した。HMD はスマートフォンを頭部に固定する形とし、スマートフォンに内蔵されている加速度センサと地磁気センサで傾きや向きを計測する。その傾きに応じてロボットの頭部を動かすことで、ロボットの頭部の向きと遠隔支援者の頭部の向きを一致させる。また、遠隔支援者側に HMD がない場合も想定し、Web ブラウザによるロボット操作と、HMD による操作が混在できるシステムとした。これによって、遠隔支援者はロボットの頭部の操作を簡易にでき、発話や支援内容に集中することができるとともに、システムは遠隔支援者の頭部の動きを記録することができる。

一方、ロボット装着者が歩行して移動するときに、遠隔支援者の HMD 中の映像が大きく揺れることで、遠隔支援者に「酔い」が生じる。この映像によって引き起こされる「酔い」は映像を静止させることで緩和できる。しかし、遠隔支援者は HMD の映像や音声を元に支援を行うため、リアルタイムな映像は重要であり、画像を静止画にするなどは避けなければならない。この「酔

い」は、装着者の上下動の影響が大きく、回転時の映像変化の影響は少ないため、上下動が多い移動時の映像にのみ加工を行い、「酔い」を抑制した。具体的には、開発した位置向き計測記録システムを用いて、ロボット装着者の位置を計測し、ロボット装着者の移動速度が、5[cm/s]以上になったときに、映像の周囲をマスクする機能を、mjpeg_streamer に実装した。移動時に画像がマスクされた場合においても、遠隔支援者は中心の映像を見ることができ、「酔い」を軽減しながら支援を行うことが可能になった。

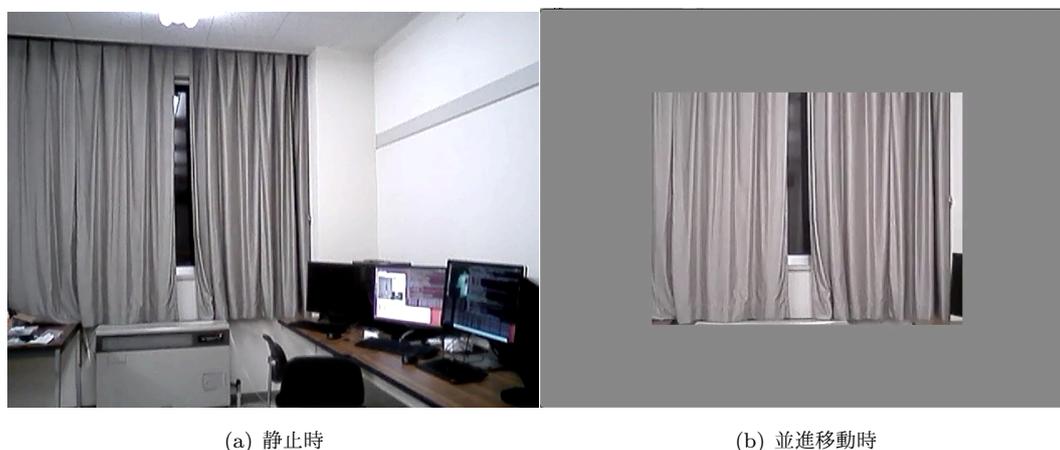


図 3: HMD 画像

(3) 遠隔支援者の指示発話支援

遠隔支援者が指示する対象をロボット装着者に明確に伝えるために、ポインタシステムを実装した。実装されたポインタシステムの有無を比較する遠隔支援実験を行ったところ、ポインタを利用した区間は指示代名詞が多く現れ、ポインタを利用した発話時間はポインタを利用しない区間よりも短くなったことが確認できた(図4(a), 4(b))。また、実験後のアンケートから、ロボット装着者にとって、ポインタシステムを利用した遠隔支援は、ポインタシステムを利用しない支援よりも説明がわかりやすいことが確認できた。このポインタシステムを用いることで支援する側の負荷が軽減でき、より実用的な記録ができると思われる。

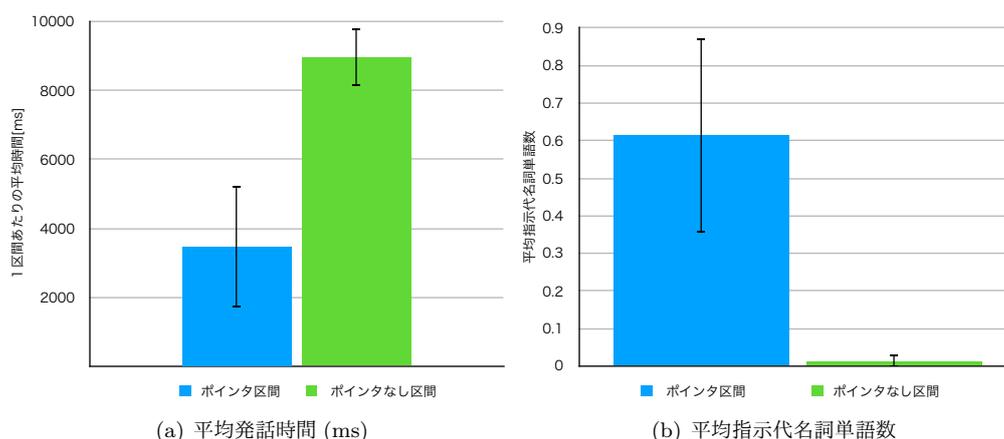


図 4: ポインタシステムの有無の比較

(4) 装着者の表情識別

指導時の装着者の表情は、指示や支援内容の理解度合いなどを知ることにより有用であるため、ロボットの頭部側面からのカメラで表情を識別することを試みた。この場合、側面カメラには、ロ

ロボット装着者の横顔が撮影されるため、横顔から表情を識別することになる。装着者の表情の中で笑顔は、支援時に有効な手がかりとなりうるため笑顔に注目する。正面顔から笑顔を認識する研究や実用化は多くされているが、横顔に関する研究は検討されていないため、画像特徴量をLBPとし、Adaboostを用いた識別器を構成する手法を提案した(学会発表①)。被験者3名で識別実験を行なった結果を表1に示す。この表から、適合率70.9%,再現率89.8%であることがわかる。汎用性を高めるためには学習データを増やすことが必要であるが、横顔からの表情識別の可能性は大きいと考える。

表 1: 横顔笑顔識別器の平均識別結果

		識別結果	
		笑い	Not 笑い
正解	笑い	10756	1223
	Not 笑い	4423	13504

(5) 人の位置向き計測記録システム

研究方法で述べた位置向き計測記録システムを実装した。決められた開始地点から自由に移動し、指示された向きを向く実験を大学生6名で行い、8方向の適合率が94.7%となったことを確認した。この位置向き計測記録システムを用いることで、装着者の移動と向きを時刻と共に計測することが可能となった。

参考文献

- [1] Tadakazu Kashiwabara, Hirotaka Osawa, Kazuhiko Shinozawa, and Michita Imai. TEROOS: a wearable avatar to enhance joint activities. In *Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pages 2001–2004, 2012.

5. 主な発表論文等

[学会発表](計1件)

- ① 岡山 将也, 篠澤 一彦, 肩乗り型デバイスを用いた横顔笑顔認識による環境状況記録 電子情報通信学会 CNR 研究会 信学技報, vol. 118, no. 460, CNR2018-40, pp. 15-19, 2019年2月

[その他] ホームページ: <http://www.osaka-kyoiku.ac.jp/~gijutsu/shinozawa/terooos1719>