

指示者を代理するロボットによる遠隔作業指示支援

小山慎哉
筑波大学大学院工学研究科
oyama@esys.tsukuba.ac.jp
Paul Luff
King's College London
Paul.Luff@kcl.ac.uk

葛岡英明
筑波大学機能工学系
kuzuoka@esys.tsukuba.ac.jp
山崎敬一
埼玉大学教養学部
yamakei@post.saitama-u.ac.jp

実物体に対する作業を指示している状況下では、指示者と作業者の間で様々な相互行為がなされており、遠隔地からの作業指示を支援するシステムでは、それらの相互行為を支援するように設計すべきである。また、対面でのコミュニケーションに近い状況を作るためには、指示者が臨場感を持って指示できることや、作業者が指示者の存在感を得られることも重要な要素である。今回、筆者らが開発した遠隔作業指示支援システム“GestureMan”を介して部屋のレイアウトをする実験を行なった結果、指示者を代理するロボットの存在が遠隔地間のコミュニケーションにおいて有効であるという所感を持った。

Supporting the remote instruction by a mobile robot which embodies an instructor

Shin'ya Oyama
Doctoral Program in Engineering
University of Tsukuba
Paul Luff
King's College London

Hideaki Kuzuoka
Institute of Engineering Mechanics and Systems
University of Tsukuba
Keiichi Yamazaki
Department of Liberal Arts
Saitama University

In the remote instruction on physical tasks in the real world, various interactions are performed among the participants. Therefore, when we develop the system to support remote instruction, we should design to support such interactions. Also, to make the situation to be near to face-to-face communication, it is important that the instructor can instruct the operation with the presence and that the operator can feel an existence of the instructor. In this paper, we had the experiments that the participants designed the interior of room with “GestureMan” system that supported the remote instruction. From the result of experiments, we had the feeling that the existence of the robot that embodied an instructor gave a good effect to the communication between the remote sites.

1 はじめに

筆者らは、三次元空間上の物理的作業に対する遠隔指示を、複数の作業員に対して容易に行なうことができるような共同作業支援システムの開発を目指している。

コンピュータの設置や使用方法、または医療処置や工業機器のメンテナンスなど、熟練者が初心者をサポートする場面は社会に多く見受け

られる。ここで、遠隔地からでも初心者をサポートする方法があれば、熟練者がわざわざ現地で教示する必要もなくなり、多くの労力やコストの削減が期待される。しかし、実空間上への指示を効果的に行なうには、作業指示における人間どうしの相互行為がどのように行なわれているかを解析する必要がある。

そこで、筆者らは、作業指示における相互行

為の社会的解析結果に基づき、遠隔作業指示を支援するシステムの開発を行ない、そして実験によりシステムの有効性を検証する。

2 研究の背景

2.1 遠隔作業指示支援システムに必要な要件

本研究で対象となる作業とは、一般的に次のような内容を含む。

- ・ 上下左右前後の三次元的動作がある
- ・ 作業空間を動き回りながら作業を行なう

このような作業を行なう作業に対して、対面で指示者が指示を行なう場面では、以下の1)~3)に挙げる項目が実現されていることが、以前の研究から知られている。

1) 相互観察の支援

共同作業において、人間は他者の視線や体の向き、手の位置など、互いの行動を観察しながら自分の行動を決定している¹⁾。

2) 適切な身体配置の構成

相互観察が実現されている場面では、指示者と作業者は他者の身体や志向を観察できる身体配置を構成している²⁾。

3) ジェスチャー情報の伝達

対面で指示が行なわれる場合、指示者と作業者は身振りや手振りなどのジェスチャー情報によって言葉による表現を補い、意思の疎通を円滑にしている。

また、遠隔地からの指示という状況と考えた場合、以下の4)~6)の項目を考慮する必要があると考えられる。

4) 臨場感の提示

舘・ミンスキーが提唱した Telexistence という概念は、オペレータが高度な臨場感を有し、遠隔に存在するロボットを制御するという意味を含んでいる¹⁵⁾。これは、遠隔から指示を行なう場合も同様であり、遠隔にいるような臨場感を指示者に与えることが重要であると思われる。

5) 存在感の提示

Tele-Embodiment という概念を提唱している Paulos¹⁰⁾によれば、彼は遠隔地間のコミュニケーションにおいて、遠隔地に参与者自身を物理的

実体として提示することができることが重要であると述べている。これから、遠隔地にあっても指示者があたかも作業空間にいるような存在感を作業者に提示することが円滑なコミュニケーションの実現に有効であると考えられる。

6) 時間遅れの解消

参与者は、互いの行動を順次理解することで相互行為を組織化していくため、通信容量等の原因で通信遅延が生じると、理解に混乱をきたすおそれがあり、円滑なコミュニケーションが損なわれる可能性がある¹¹⁾。そのため、重大な時間遅れは避けなければならない。

以上の6つの項目が、筆者らが遠隔指示支援システムを設計する上で考慮している要件である。ただし、筆者らが前提としていることは、作業指示というタスクを対象とする場合は、参与者どうしの単なるコミュニケーションを支援することだけでなく、参与者の志向（どこを向いているか、どこを指しているかなど）を表現し、そしてその志向を他者から観察できるようにすることである⁶⁾。そのことに留意して、6つの要件に基づいたシステム開発を行なった。

2.2 従来の遠隔作業指示支援システム

2.1で述べた要件を満たすシステムとしては、大別して以下のような形態のものが既に提案されている。

(A) 画面を通じて指示を伝えるもの

TeamWorkStation⁴⁾やClearBoard⁵⁾などのように、共有されたデスクトップの画面上に指示者の身体をオーバーレイして指示を伝えるシステムがこれにあたる。この場合、作業がデスクトップ上に限られてしまうので、空間的広がりをもった作業に対しては、システムの能力を十分に発揮することは困難と思われる。

また、SheredView⁷⁾のようなHMDを用いたシステムもこれに含まれるが、これだとHMD上に指示者の指などをオーバーレイできるので、空間上の作業でも指示を伝えることができる。ただし、視野角が狭くてHMD装着者が空間を動き回るのが支障があることや、HMDを長時間使用す

ることによる人体への影響などが問題である。

(B) 実物体に画像を投影するもの

DigitalDesk¹²⁾やAgora¹⁶⁾のように、机や壁面に遠隔地からの画像をビデオプロジェクタで投影して、作業領域を共有するものがこれにあたる。ジェスチャー情報を伝達するには有効であるが、投影する場所が平面でないとい画像がぼやけたりゆがんだりし、また、投影場所とプロジェクタの間に人間が入ると影ができてしまうなどの問題がある。

(C) 指示者を代理する物体を介するもの

PaulosによるPRoP¹⁰⁾や、通産省の研究開発プロジェクトであるHRP³⁾など、ATR知能映像通信研究所が開発したTel-E-Merge⁹⁾など、指示者を代理する物理的実体（多くはロボット型）を遠隔地に置くものがこれにあたる。特に、HRPのようにヒューマノイド型ロボットを介するものは、2.1で述べた要件を十分満たし、遠隔指示に対して有効なシステムであると考えられる。しかし、現時点ではヒューマノイドロボットの応答性の問題から、実時間で人間の動きに追従することは難しく、実際のコミュニケーションを仲介するには問題がある。その一方で、車輪型ロボットによるものは身体表現能力で劣るものの、実時間制御が容易なのでコミュニケーションの仲介において実用的である。

以上のように、遠隔作業指示支援システムを挙げたが、2.1で述べた要件と照らし合わせて考えると、本研究で目的としている三次元空間上の物理的作業に対しては、(C)のように指示者を代理する物体を作業空間に置くアプローチが有効である。そこで、筆者らはこのようなアプローチに基づき、システムの開発を行なった。

3 GestureMan の概要

筆者らが開発した、遠隔作業指示支援システム“GestureMan”の外形を図1、システム構成を図2に示す。GestureManに搭載している各部分について、2.1で述べた要件と照らし合わせながら説明する。

1) GestureLaser

頭部の最上段に、遠隔操作型レーザーポインタであるGestureLaser¹³⁾を搭載している。

GestureLaserは、2つの直交した鏡で反射されたレーザー光線を作業空間に投影する装置で、指示者はモニターを見ながらマウスでレーザーポットを操作することができる。以前に、GestureLaserに簡単な移動機構を装着して行なった実験の結果から、要件1)~3)をある程度満足し、遠隔作業指示支援システムとしての有効性が示唆されている。

2) 3眼カメラとチルト機構

3眼カメラは、GestureLaserのすぐ下に搭載されている。各々が60°の画角を持ち、3眼カメラの映像は指示者側に送信される。指示者側には90インチの3面スクリーンが設置されており、3眼カメラの映像がスクリーンに投影されるので、指示者は作業空間を180°の視野で見渡すことが可能になる。また、チルト機構がカメラ下部にあり、ジョイスティックのボタンで頭部をチルトすることができるので、上下方向にも視野を確保できる。これは要件4)を考慮し、指示者の臨場感を得る手段として採用した。過去に行なった簡単な実験では、広視野の提供によ

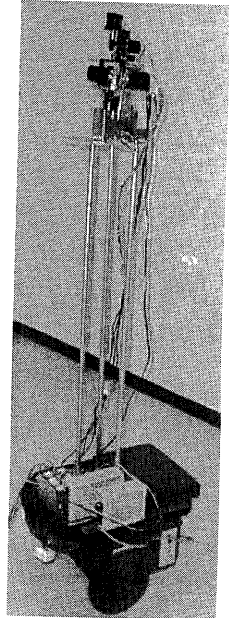


図1 GestureMan

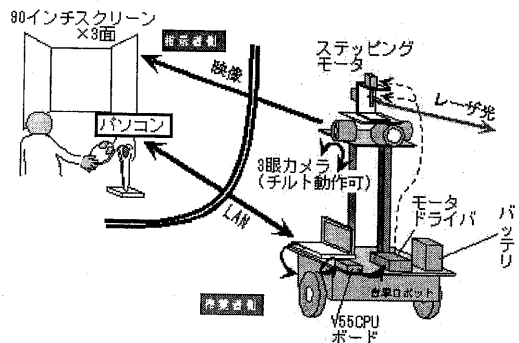


図2 GestureMan のシステム構成図

り作業時間の短縮やコミュニケーションの円滑化に効果的であることが示されている¹⁴⁾。

3) 台車ロボット

GestureManは、ActivMedia社製の台車ロボット“Pioneer2-CE”を用いている。これは要件5)を考慮し、作業者に存在感を与える手段として採用した。なお、台車ロボットには制御用コンピュータが搭載されているので、簡単なコマンドを送ることで、ロボットを操作できる。実際には、ジョイスティックでロボットを操作しており、ジョイスティックを前後に倒すと、台車ロボットが前後に動く。また、ジョイスティックを左右に倒すと、ロボットはその場で回転して向きを変える。動作および回転の速度は、ジョイスティックの傾きで調節できる。

4 実験

筆者らは以前に、マシニングセンタの使用方を教示する実験、およびボール盤の使用方を教示する実験を行ない、GestureManが要件1)~3)をある程度満たしていることを確認した⁸⁾。今回は、作業内容を変更した上で、要件を満たしているかどうか調べた。

4.1 実験の設定

今回行なった作業は、部屋の中や廊下にある家具類を用いて、30分の時間内でリビングルームのデザインをするというものである。実験の様子を図3に示す。

指示者は、中央と左側のスクリーンに映る作業空間の映像を見ながら指示を行なった（右側のスクリーンは用いなかったため、指示者の視野は120°だった）。一方、その部屋の隣で、作業者は指示者と議論しながら部屋のレイアウトを行なった。音声は、無線のマイクおよび音声受信機を被験者が装着してやり取りした。

今までの行なった実験では、指示者が一方的に作業者に指示していたが、今回は指示者と作業者に対立するコンセプトを与え、デザインについて議論が生じやすい設定にした。つまり、指示者には「趣味の良いシンプルなデザイン」を、作業者には「できるだけたくさんの家具を



図3 実験風景 (上)指示者側 (下)作業者側

使うデザイン」を意識してもらおうよう、実験前に被験者へ説明した。なお、指示者にはロボットや GestureLaser の操作について簡単に説明を行ない、簡単な操作練習をさせた。

指示者、作業者とも1人ずつ用意し、全部で5セッション(日本人によるもの2セッション、外国人によるもの3セッション)を行なった。

4.2 実験結果

この実験の解析方法は、各セッションの録画映像を観察し、各人の身体動作や発言が、他者の行動にどのように影響しているかを記述するというものである。今回は、日本人による2セッションについて解析した結果について報告する。なお、今回は隣室どうしでの実験で時間遅延が生じなかったため、要件6)以外について考察する。

1) 相互観察

相互観察ができるようにするには、参加者の志向を認識する必要があるが、作業者が指示者の志向を認識する手だてとしては、レーザースポットや GestureMan の正面カメラがあった。

実験後のインタビューで、「レーザースポットの場所を指示者が見ていると思った」という作

業者の回答があったが、これはレーザースポットが指示者の志向を表現する可能性があることを示している。また、図4のように、議論対象となっている家具を指示者に見せながら議論する場面が多く見受けられたが、これは作業者が正面カメラの向きを指示者の志向として捉えていたためと考えられる。

さらに、作業者が部屋内を動き回りながら部屋のレイアウトを説明した時、指示者も中央と左のスクリーンを見ながら滞りなく議論が進んでいる場面があったが、これは広視野の提供が相互観察を円滑にしている例と思われる。

2) 身体配置

図5のように、作業者が対面指示と同様の身体配置を構成している例が多く見られた。1)で述べたように、指示者の志向の認識が容易であることや、指示者の代理をするロボットを設置したことが、身体配置の構成を容易にしていると考えられる。

3) ジェスチャー表現

「ここ」「これ」という指示語を伴ってレーザーで家具を指し示す場面が数度見受けられたが、手振りを代理するような表現は見られなかった。理由の一つとしては、マウスとジョイスティックの交互の使い分けが不慣れであったことが挙

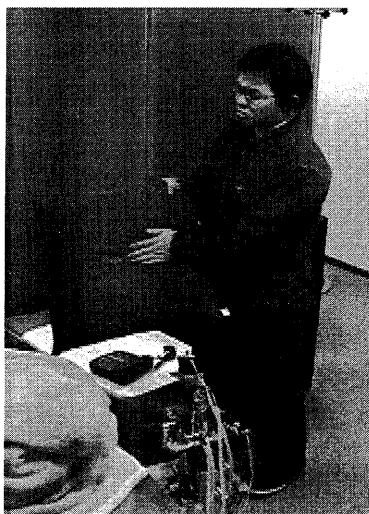


図4 ロボットに作業対象を見せる場面

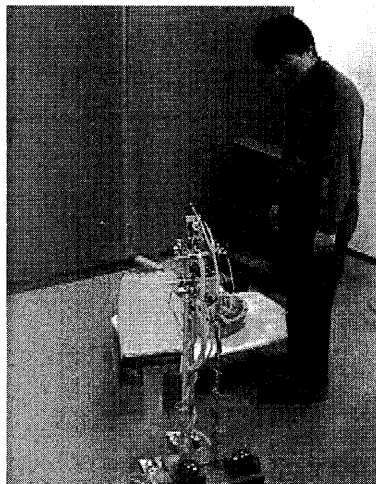


図5 適切な身体配置を構成している例

げられる。

4) 指示者の臨場感

1)で述べたように、広視野を臨場型ディスプレイで提供したことは、相互観察の支援に対して有効であったと考えられる。しかし、作業空間内における自分の位置の認識（自分がどこにいるのか）が困難であることが随所で見受けられた。例えば、指示者がロボットを移動させる時に作業者が声で誘導した場面や、部屋の奥に立って奥行きを示す場面があった。これらのことから、臨場感の提供には問題があったと思われる。

5) 作業者における指示者の存在感

1)や2)で述べたように、作業者はロボットを指示者として意識し、指示者の志向を観察したり適切な身体配置を構成している。このことは、作業者が指示者の存在をある程度感じていることを示していると考えられる。

5 考察と今後の展望

本論文は、解析の途中段階での報告のため、はっきりとした結論を述べるのは困難であるが、以下のようなことが考察できる。

まず、GestureManを通じた参与者間の相互行為において、対面の時に近い程度の相互観察や身体配置が実現されていた。このことから、

GestureMan における指示者の志向表現手段（代理ロボット、レーザーポインタ、カメラ）が一定の成果を得たと思われる。

一方、レーザーポインタは指示者の志向表現に役立ったが、以前の実験で見られたような「ジェスチャー表現能力」は発揮されなかった。前回の実験に参加した指示者は使い分けできていたことから、操作には十分な練習が必要であることが分かる。また、インタフェースを改良し、マスタスレーブ方式による操作など、より直感的な動作による操作方法を構築することも考慮しなければならない（このことは指示者への臨場感の提示にも関わってくる問題である）。

また、大型スクリーンによる広視野の提示は、指示者が作業者を観察するのに有用であったが、自己位置の認識に問題があった。このため、立体画像による距離感の提示や、各種センサによる環境情報の提示など、位置認識の助けとなる情報を提供する必要がある。

今後は、より詳細な解析により問題点を明確にし、様々なタスクに応用しながら遠隔作業指示に有効なシステムを構築していく。

参 考 文 献

- 1) Goodwin, C.: Professional vision, *American Anthropologist* 96, pp.606-633 (1996).
- 2) Goodwin, C.: Pointing as Situated Practice, presented at the Max Planck Workshop on Pointing Gestures (1998).
- 3) Hasunuma, H. et al.: Development of Teleoperation Master System with Kinesthetic Sensation of Presence, *Proc. ICAT'99*, pp.53-59 (1999).
- 4) Ishii, H. and Miyake, N.: Toward an Open Shared Workspace: Computer and Video Fusion Approach of TeamWorkStation, *Comm. ACM*, Vol.34, No.12, pp.37-50 (1991).
- 5) Ishii, H. and Kobayashi, M.: ClearBoard: A Seamless Medium for Shared Drawing and Conversation with Eye Contact, *Proc. CHI'92*, pp.525-532 (1992).
- 6) Kato, H. et al.: Designing a Video-Mediated Collaboration System Based on a Body Metaphor, *Proc. CSCL'97*, pp.142-149 (1997).
- 7) Kuzuoka, H.: Spatial Workspace Collaboration: A SharedView Video Supported System for Remote Collaboration Capability, *Proc. CHI'92*, pp.533-540 (1992).
- 8) Kuzuoka, H., Oyama, S., Yamazaki, K., Suzuki, K., Mitsuishi, M.: GestureMan: A Mobile Robot that Embodies a Remote Instructor's Actions, *Proc. CSCW2000*, pp.155-162 (2000)
- 9) Noma, H., Sugihara, T., and Miyasato, T.: Development of Ground Surface Simulator for Tel-E-Merge System, *Proc. IEEE-Virtual reality 2000 Conference*, pp.217-224 (2000)
- 10) Paulos, E., and Canny, J.: PRoP: Personal Roving Presence, *Proc. CHI'98*, pp.296-303, (1998).
- 11) Ruhleder, K., and Jordan, B.: Meaning-Making Across Remote Sites: How Delays in Transmission Affect Interaction, *Proc. ECSCW'99*, pp.411-429, (1999)
- 12) Wellner, P.: Interacting with the Paper on the DigitalDesk, *Comm. ACM*, Vol.36, No.7, pp.87-96 (1993).
- 13) Yamazaki, K. et al.: GestureLaser and GestureLaser Car: Development of an Embodied Space to Support Remote Instruction, *Proc. ECSCW'99*, pp.239-258 (1999).
- 14) 小山, 葛岡, 山口: 多面スクリーンを用いた遠隔作業指示に関する研究, 第37回計測自動制御学会学術講演会予稿集 Vol. I, pp.323-324 (1998).
- 15) 館: 人工現実感, 日刊工業新聞社, 1992.
- 16) 山下, 葛岡, 山崎: 遠隔共同作業環境における身体配置の再構成, 日本バーチャルリアリティ学会第5回大会論文集, pp.319-322 (2000).