

研究論文

人型入力デバイスを用いた遠隔姿勢指示支援システム

田山 友紀^{1,a)} 萩野 実咲^{1,b)} 岡田 謙一^{2,c)}

受付日 2014年7月15日, 採録日 2014年12月1日

概要: 遠隔地にいる人とコミュニケーションをとる手法はいくつか存在するが, 近年はスマートフォンなどのデバイスの普及により手軽に情報を伝達することが可能となった. しかし, それらのツールだけで人の姿勢といった複雑な情報を遠隔地の人に指示するのは困難である. たとえば, 病院から自宅にいる患者にリハビリテーションポーズの遠隔指示をする必要がある. このとき, 体の形を効率良く指示するにあたって重要なのは, 指示者が容易に指示できること, および指示を受けた被指示者の姿勢が正しいか指示者および被指示者が判断できることである. そこで我々は, 人型入力デバイス QUMARION を用いた遠隔姿勢指示支援システムを提案する. 指示者は QUMARION を手で操作するため直感的に指示を出すことができる. また, 被指示者の姿勢を Kinect を用いてトラッキングし, QUMARION と Kinect 双方から得られたデータを比較することで被指示者の姿勢がリアルタイムに分析される. 評価実験を行った結果, 様々な姿勢をスムーズに指示することができ, 被指示者へも正しく伝達できることを確認した. 本システムによって指示者は遠隔地にいる人にも正確で容易な指示を行えることと同時に, 被指示者の高い習熟度が期待される.

キーワード: 遠隔, コミュニケーション, インタフェース, 姿勢指示

Remote Pose Instruction Support System Using a Humanoid Input Device

YUKI TAYAMA^{1,a)} MISAKI HAGINO^{1,b)} KEN-ICHI OKADA^{2,c)}

Received: July 15, 2014, Accepted: December 1, 2014

Abstract: Recently, by the spread of devices like smartphones, communication with people in remote places have become much easier. However, conveyance of complex information, such as the form and poses of the body, is not easy with these devices. One example of a situation where conveyance of body poses becomes necessary is when a physical therapist working at a hospital wants to instruct rehabilitation poses to a patient at home. The easiness of giving instructions and the easiness of understanding instructions are the key points in effective communication. In this study, we propose a system that uses a humanoid input device to instruct poses to a person in a remote area. The instructor uses QUMARION, a humanoid device, to instruct a pose. Kinect is used to track the student's pose, and the data gained from both devices are analysed and compared in real-time. The evaluation showed that using our system enables smooth instructions, and the students can perform poses accurately.

Keywords: remote, communication, interface, pose instruction

¹ 慶應義塾大学大学院理工学研究科
Graduate School of Science and Technology, Keio University,
Yokohama, Kanagawa 223-0061, Japan

² 慶應義塾大学理工学部
Faculty of Science and Technology, Keio University, Yokohama, Kanagawa 223-0061, Japan

a) tayama@mos.ics.keio.ac.jp

b) misaki@mos.ics.keio.ac.jp

c) okada@z2.keio.ac.jp

1. はじめに

コミュニケーションでは, 言葉だけではなく身振りや手振りといった視覚情報も重要な役割を果たす. しかし指示する側である指示者と指示される側である被指示者が, お互いの声が聞こえず姿が見えない2地点にいる場合はコミュニケーションをとるのが難しい. 音声情報のみを伝達

する電話や、音声と映像の情報を伝達できるビデオチャットといったものをはじめ、様々な技術が近年発達してきている。しかし、実映像を用いるビデオチャットのような技術に関しては近年プライバシーの問題が浮上している。さらに、体操やリハビリテーションのように指示どおりの正確な姿勢をとる必要がある行動において、既存の伝達手法では伝えきれない場合がある。たとえば、病院でリハビリテーション指導を受けるときは理学療法士と患者が対面環境にあり、目の前で指示する姿勢を見せることができる。また、間違っていた場合は直接患者の体に触れて腕の角度を正す、といった直感的な指示が可能であるが、両者が遠隔地にいる場合このような直感的な指示はできない。患者も直接指導を受けることができなくなるため、指示映像を見るだけでは自身の姿勢が正しいのかどうか判断しにくい。加えて、「あれ」や「それ」といった指示語が使えないため、直感的にコミュニケーションをとることは困難である。人間同士の会話において周囲の環境から得られる情報は重要であり [1], 「腕をここまで挙げて」といえるのは、同一環境で指示語の内容を共有できるからこそである。そこで視覚情報を用いて、指示語が表す対象物の情報も合わせて伝達する研究も行われている [2], [3]。しかし、環境の共有が難しい遠隔コミュニケーションにおいては、指示者の意図を直感的に伝えるための媒介が存在しないため、お互いの意思疎通に問題が生じる場合が多く存在する。

このような背景から本研究では、人型入力デバイスを用いた遠隔姿勢指示支援システムを提案した。本提案システムにより指示者はデバイスを直感的に手で操作し指示を出すことが可能となる。デバイスから得られたデータはリアルタイムで被指示者に送信される。また、被指示者の状況もセンサを使ってトラッキングされ、指示者と共有される。双方のデータはシステムによって自動的に比較検討され、比較結果は被指示者に瞬時に提示される。この機能により、被指示者は自身が指示どおりの姿勢になっているのかどうか確認することができる。以下、2章では関連研究と問題点について述べ、3章ではその問題点を解決するためのシステム要件について述べ、4章で本研究における実装について述べる。そして5章では評価実験について記述し、最後6章を本研究のまとめとする。

2. 関連研究

2.1 入力インタフェース

近年、視線やジェスチャを用いた NUI (ナチュラルユーザインタフェース) をよく耳にするようになった。一番の特徴としてあげられるのは、人間にとってより自然な動作でコンピュータを操作することが可能であるため、スムーズに入力を行うことができる点である。岡田ら [4] はハンドジェスチャによってコンピュータを操作する手法を作成した。しかし現段階では認識可能なジェスチャの種類がま

だ少なく、複雑な指示を入力するには不適切である。

一方で、TUI (タンジブルユーザインタフェース) も研究されている。実体のあるデバイスに物理的に直接触れて感知することが可能なインタフェースであり、直感性に優れている。Sekiguchi ら [5] の RobotPHONE は、ネットワークを介して2人のユーザをつなぐ。ユーザの持つぬいぐるみの関節を動かして操作すると、もう一方のユーザが持つ同形のぬいぐるみも同様に動く。人や物のポーズを伝達するには今までの手法よりも優れていると考えられるが、しかしながらぬいぐるみでは可動範囲が狭いために、人間の姿勢や動作を伝えるには不十分である。

2.2 姿勢指示の手法

姿勢を指示する例としてあげられるのが、リハビリテーション指導などである。医療などに関する専門知識や、特定のノウハウを持った指示者が被指示者に直接目の前で指導にあたるのが理想ではあるが、遠隔地にいたりして直接指導が難しい場合が多く存在する。そのため、システムを介して姿勢指示支援を行う必要があるが、指示者にとって分かりやすく指示を出すことができ、被指示者が容易に学習できることが重要となる。

山海ら [6] は、ロボットスーツ HAL 福祉用を使用したテレリハビリテーションシステムをプロトタイプとして作成した。このシステムではロボットスーツ HAL を2台利用することによって歩行リハビリテーション訓練を支援する。しかしこのシステムでは HAL という特殊な装置が必要であり、デバイスのコストがかかりすぎてしまう。また、デバイスは医師の指示どおりに動くだけであり、患者の動きに対するフィードバックは行われず、さらに、このシステムの使用は下半身の動きに限定されてしまっているため、体の他の部位のリハビリテーションには使えず、利用できる場面が少なく汎用性が低い。

筋野ら [7] の研究ではダンス指導を目的としたシステムを作成した。指示者および被指示者は Kinect を用いて動作をトラッキングし骨格情報を取得するため、ボディマーカやモーションキャプチャのカメラといったデバイスは必要としない。しかし、このシステムではあらかじめ指示者のモーションデータを取得し記録しておき、被指示者が使用する際にデータを参照する形となっている。事前に指示者のモーションデータを記録する時間と手間がかかると同時に、指示者が被指示者の様子を見ながら指導することができない。

ほかにも手の遠隔リハビリテーション用システム [8] や AR を用いた動作トレーニング手法 [9] など研究されているが、汎用性やリアルタイムに効果的なフィードバックを行うといった問題をすべて一度に解決できていない。

3. 遠隔姿勢指示支援システムの要件

今回提案するシステムでは指示者と被指示者が異なる空間、つまり遠隔地にいることとする。使用用途としては、1つ1つの姿勢を正確に指示する必要があるリハビリテーションの姿勢指導などを想定する。

遠隔地にいる人へ体の姿勢を指示するにあたって重要となるのが、指示者にとって指示が伝えやすいこと、および被指示者が指示を正しく受け取り正しい姿勢がとれることである。しかし既存の入力手法では体の形を伝達するのが困難である。そこで、指示者が直感的かつ意図したとおりに姿勢に関する指示を正確に出せることが第1の要件となる。さらに、指示を受ける被指示者にも高い学習効果を提供する必要がある。そのために不可欠となるのが被指示者に対するフィードバックである。よって、精度の高いフィードバックを提示することが第2の要件となる。

3.1 直感的な入力手法

遠隔地にいる人へ姿勢を正確に伝達するには、指示者の伝達のしやすさが重要である。指示者が自身の映像を録画しそれを被指示者に送る手法も存在するが、この手法では姿勢をとる場所を確保できることが条件となる。たとえば、病院内の狭いオフィスから被指示者へ指示を出そうと思っても、十分な場所が確保できず、狭い中では正確な姿勢がとれない。また、自身の姿勢をキャプチャする設備を設置する必要もあり、けっして楽な手法とはいえない。さらに、直感的な指示を可能にするには直接被指示者の体に触れているような感覚を提供できると、より指示を出しやすくなる。

そこで、指示者が直接動く必要がなく、直感的に姿勢に関するデータを入力できる手法が必要である。狭いスペースでも容易に操作でき、正確な情報伝達が可能であることが求められる。環境を問わず姿勢指導をすることが可能となることで、指示者は指導に集中することができる。

3.2 被指示者の姿勢に関するフィードバック

フィードバックがあるかないかは学習効果に大きな影響を与える [10]。フィードバックが細かければ細かいほど、より正しい姿勢へ修正することができるため、学習効果が高くなる。リハビリテーションの場合、正確な姿勢をとらないとリハビリテーションの効果が得られないため、フィードバックを被指示者に分かりやすく提示することは非常に重要である。既存の姿勢伝達手法では、姿勢が正しいかどうかの判断はあくまでも指示者の目視に委ねられている。しかし目視だけでは体の部位すべてに目が行き届かないため、正確な指示が行えず間違った姿勢をそのまま学習してしまう可能性が高い。

そこで、指示者からの指示を妨げずにフィードバックを

提示する機能が必要であると考えた。効果的なフィードバックを実現するには、まず被指示者の姿勢を正確に把握する必要がある。そして把握した被指示者の姿勢データを指示者によって入力された指示データと照らし合わせることで、人間の目視より高い精度で姿勢の判定を行い間違っている部分の見落としを防ぐことができる。被指示者の姿勢データをデバイスを用いて取得することで、数値をもとにした正確な判定が行えるようになる。よって被指示者に分かりやすくフィードバックを提示することが可能となり、より効果的な学習が期待できる。

4. 人型入力デバイスを用いた遠隔姿勢指示支援システム

3章で述べたシステムの必要要件である、指示者が直感的な指示出しができること、および被指示者に姿勢に関する修正点の分かりやすさ提示できることの2点をふまえたシステムを構築した。

4.1 システム構成

図1に本システムの全体構成を示す。システム使用時には、指示者と被指示者が遠隔地にいて直接コミュニケーションをとれない環境にいることを想定する。本研究は、Windows上でVisual Studio 2010を用いて実装されている。また、プログラミング言語はVisual C++を使用した。姿勢のトラッキングを行うプログラムにはMicrosoft社によって公開されているSkeleton Basics-D2D C++を採用した。

本研究で、指示者は図2に示す人型入力デバイスQUMARION [11]を使用することとした。指示者はQUMARIONを使用することで、指示者の環境を問わず指示を行うことを可能とした。このデバイスは体長約30cmであり、机の上で楽に操作することができる。さらに、指示者は実際にデバイスを触りながら操作するため直感的に

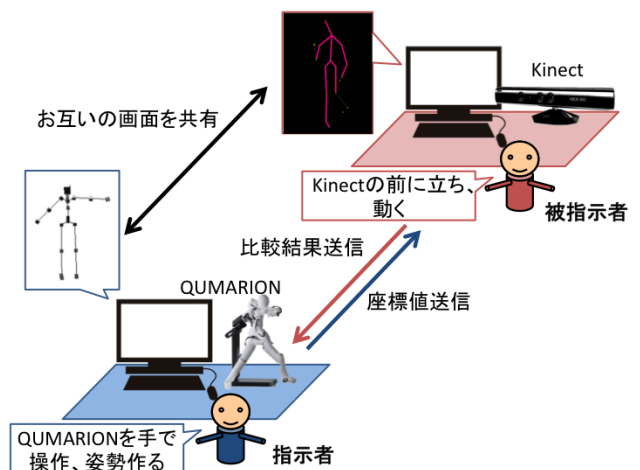


図1 システム構成

Fig. 1 System overview.

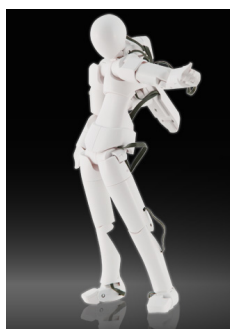


図 2 人型入力デバイス QUMARION [11]

Fig. 2 Humand input device QUMARION.

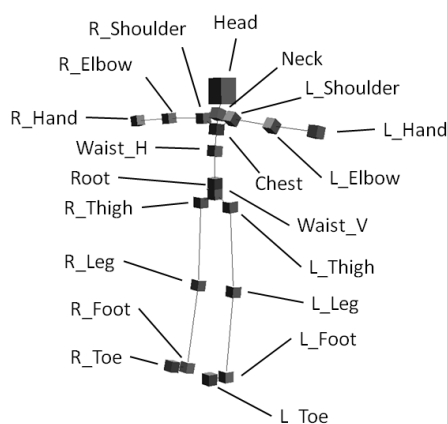


図 3 QUMARION で取得可能な関節

Fig. 3 Joint names of QUMARION.

指示を出ることができる。また、デバイスにセンサが組み込まれていることによって座標値に誤差が生じることはなく、正確な指示を行うことが可能である。QUMARION において検出可能な関節は図 3 に示すとおりであり、関節それぞれに三次元角度センサが内蔵されている。また、被指示者は Kinect を用いて姿勢のトラッキングを行う。QUMARION 同様、図 4 のように Kinect にも検出可能な関節点がある。Kinect の精度についてはいくつもの研究がなされており、一般的に測定誤差は 5cm 以内と発表されている [12]。本システムの利用用途として考えられるリハビリテーション指導などでは大まかな形を伝えるのが重要であり、ミリ単位の精度は必要としないため精度は十分であると考える。

指示者は QUMARION を操作することで指示を出す。それぞれの関節の座標値はリアルタイムに取得され、座標値に基づいたアバタが描画される。被指示者は QUMARION のアバタを見ながら Kinect の前に立ち自身の骨格情報をトラッキングさせる。Kinect のトラッキングデータをもとに被指示者の様子もアバタとして表示される。双方のアバタおよび関節の座標データは共有され、それらと比較することで、判定結果が得られる。そして、この判定結果をもとに被指示者は自身の姿勢を修正することができる。

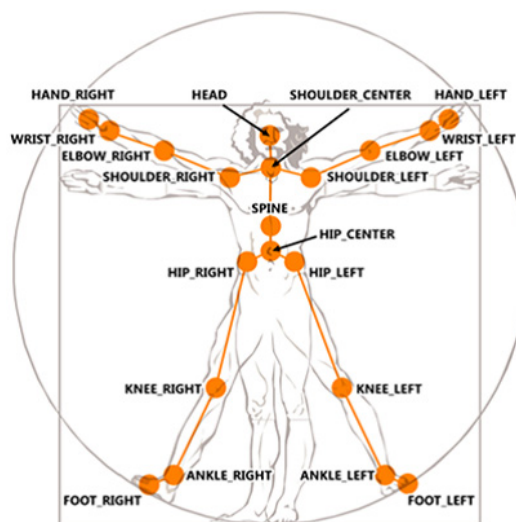


図 4 Kinect で取得可能な関節 [13]

Fig. 4 Joint names that can be tracked by Kinect.

4.2 指示情報および被指示者情報の取得

指示者は QUMARION を手で操作することで、被指示者へ伝えたいポーズを作成し、指示を送る。内蔵されている角度センサから得た情報をもとに実際の座標値を算出した後、各関節点の座標値を中心として立方体を描画する。これらの関節どうしを線で結ぶことで人型アバタを完成させ、画面上に表示する。

被指示者とデータを共有するため、指示者の画面に表示されたアバタ画像をキャプチャし、ソケット通信を通じて送信する。被指示者側では受信したファイルをそのまま画面に表示させ、被指示者はその画像を見ながら姿勢をとる。また、同時に QUMARION の各関節における座標値も送信する。

一方で、被指示者は Kinect を使用して自身の様子をトラッキングする。Kinect は、デバイスの前に立つ人間を検出した時点から自動的に関節点の座標値を計算し始める。取得した座標値をもとに人型アバタを表示する。さらに、取得したトラッキングデータを指示者から送られてきた QUMARION のデータと比較し、姿勢の判定を行う。

被指示者の画面に表示されたアバタ画像はキャプチャされ、指示者へ送信される。また、それと同時に判定結果も指示者へ送信される。

4.3 姿勢の判定

姿勢の判定は、被指示者のコンピュータに QUMARION より取得した座標値と Kinect より取得した座標値が格納された後、それらと比較することで行われる。今回座標値を比較するためのパラメータとしては角度を用いた。角度を用いることで、手足の長さの違いなどの個人差を気にせず平等に比較することを可能とした。

ある関節 B において隣接関節 A と C が存在する場合、

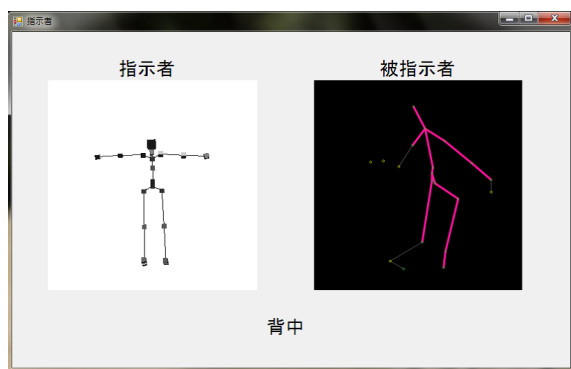


図 5 表示画面

Fig. 5 User display.

点 A と点 B の 2 点を通る直線 AB と、点 B と点 C を通る直線 BC の式を求める。次に、直線 AB と直線 BC の 2 直線がなす角度を計算する。これを xy 平面, yz 平面, xz 平面においてそれぞれ行い、1 つの関節につき合計 3 つの角度を得る。足先や指先のように隣接関節が 1 つしか存在しない場合は、角度を 0 とする。

角度計算を QUMARION と Kinect の関節点すべてに行った後、それぞれ対応する関節点の角度を比較する。このとき、差異が 15 度以内であれば一致、それ以上であれば不一致と判定することにした。角度が一致しなかった関節はリストにして保持した。15 度とした理由の 1 つとして、お辞儀があげられる。一般的に会釈をするには体を 15 度傾け、敬礼をするには 30 度傾けるといわれている [14]。このことから、体の形に 15 度の差が生じると違う姿勢をとっていると目視で判断することができる。本システムの利用用途の 1 つとして考えられるリハビリテーション指導では、姿勢の形を伝達し姿勢の形の一致判定を正しく行うことを目的としている。15 度という閾値はこの目的を達成するにあたって十分であると考えられる。また、Kinect による測定誤差が生じたとしても角度の誤差は最大でも 10 度である。

4.4 表示インターフェース

判定結果を得た後、結果は指示者と被指示者の画面上に QUMARION と Kinect の様子とあわせて表示する。図 5 にその表示画面の一例を示す。表示画面は指示者と被指示者で同一のものとした。左側に指示者が操作する QUMARION のアバタ、右側に被指示者の様子を表示する。画面下部には被指示者のどの関節が指示と異なっているのかを文字で示す。これら 3 点の情報はすべてリアルタイムで更新していく。表示インターフェースの設計において実映像ではなくアバタを採用した理由としてはプライバシーの問題があげられる。ビデオチャットのような実映像にはプライベートな情報が含まれやすく、すべての人に安心して気軽に利用してもらうには対策が必要である。特に遠隔リハビリテーションのように、患者が自宅でビデオチャットを用

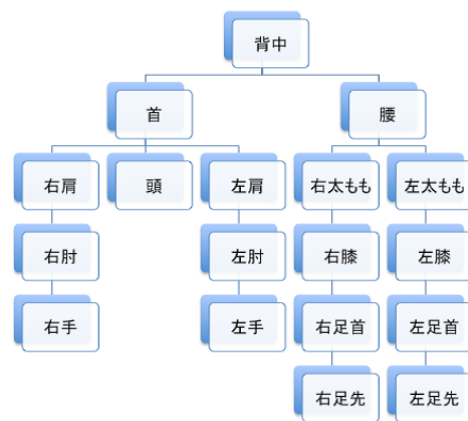


図 6 関節の親子関係

Fig. 6 Relationship of joints.

いる場合、背景にプライベートな情報が含まれる可能性が高い。一方で、自宅で行う遠隔リハビリテーションは病院で教わったリハビリテーション姿勢の復習となる場合が多いため、姿勢の大まかな指導ができれば十分である。よって、本研究では人の姿勢のみを表現するに最適であるアバタを利用することで、使用者のプライバシーの保護と姿勢の大まかな指導の両方を可能とした。

文字の結果表示では、位置が異なっている関節のリストをそのまますべて表示するのではなく、一部の関節のみを表示することとした。これは、姿勢がまったく一致していない場合に全関節が羅列されるのを防ぐためである。表示する関節名選定のため、図 6 のように体の中心部分である「背中」の関節をルートとした関節の親子関係を構築した。背中より上を上半身、下を下半身と見なし別々に走査していく。親関節が一致していれば子関節の走査をし、一致していなければその親関節名のみを表示する。これにより、姿勢がまったく一致していなかった場合は「背中」のみを表示し、背中と下半身は一致しているが首が一致しない場合は「首」を表示するようになる。この親子関係を用いて表示する関節名を選定することで、体の中心部からおおまかな姿勢をまず正すことができる。その後子関節名が表示されていくことで、手先や足先といった細部の姿勢修正を行うことが可能となる。図 5 では背中の関節が一致していなかったが、すべての関節が一致すると画面下部の表示文字は「完璧！」と変化する。

指示者、被指示者ともに画面上で特に操作をする必要はないため、指示をすること、指示を受けることだけに集中できる環境を実現した。

5. 評価実験

5.1 目的

遠隔姿勢指示の際、被指示者は指示者によって揭示された情報をもとに自身が姿勢をとり、学習をする。そのため、

指示者が掲示した指示が被指示者に正確かつ分かりやすく伝わっているかが大きな要素となる．そこで本実験では遠隔姿勢指示において本提案手法を用いることで，どの程度正確に指示を伝えることができ，被指示者の学習に貢献したかを検証する．

5.2 方法

今回実施した評価実験の概要について述べる．

- 被験者

大学生・大学院生 24 人

- 比較対象

従来手法である音声通話と提案手法を比較することとした．音声通話を採用した理由としては，自宅で遠隔医療を受ける際にプライバシー保護は重要であり，現在一般的に普及している遠隔コミュニケーション技術でプライバシーを確実に守ることができるのが音声通話であるからである．また，音声を利用すると机の前に座りながらも指示を出せるため，提案手法との比較に適している．

- 実験方法

被験者を 2 グループに分け，一方のグループには本提案システムを，もう一方のグループには従来手法の 1 つである音声通話を使用してもらう．それぞれのグループの実験方法の違いを表 1 に示す．それぞれのグループの中でペアを作り，1 人は指示者役，もう 1 人は被指示者役とする．指示者役の指示者役と被指示者役は，お互いが見えず直接声の届かない別々の部屋へと案内した．

音声通話を使用するグループでは音声のみを用いて指示を出す．被指示者の姿勢は Kinect でトラッキングし骨格データをもとにしたアバタとして表示されるが，自動判定システムは使用しないこととした．よって画面上には Kinect のアバタのみが表示される．指示者は Kinect のアバタを見て，被指示者の姿勢が一致していると考えたら次の姿勢の指示へと移った．このときの被指示者の姿勢の正誤は，実験者によって判定された．

一方で，提案システムを使用するグループでは QUMARION を用いて指示を出す．被指示者の姿勢は Kinect でトラッキングし骨格データをもとにしたアバタとして表示し，自動判定システムを使用する．よっ

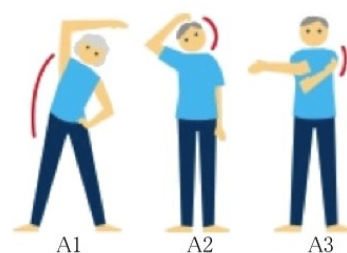
て画面上には QUMARION と Kinect 両方のアバタが表示される．Kinect を用いてトラッキングされた被指示者の姿勢の正誤は自動判定される．被指示者の姿勢がシステムによって正解と判断された時点で，指示者は次の姿勢の指示へと移った．このときの被指示者の姿勢の正誤は実験者によって判定された．つまり，次の姿勢へ移るタイミングの決定方法はグループによって異なったが，姿勢の正答率に関する判断はどちらも実験者による目視で測定した．

- タスク

タスクは 3 種類用意した．1 つ目のタスクとしてストレッチ体操，2 つ目のタスクとしてモデルのポーズ，3 つ目のタスクとして空手の型を採用した．指示者や被指示者の知識や経験の偏りに関係なくデータを取得するため，このような 3 種類の系統の違う姿勢を使用することにした．別々の部屋に案内した後，指示者に図 7 に示すようなイラストを渡した．これらのイラストは，それぞれのタスクの一部を抜粋したものである．

指示者役の人にはこれらのタスクを指示してもらい，

A) ストレッチ体操



B) モデルのポーズ



C) 空手の型

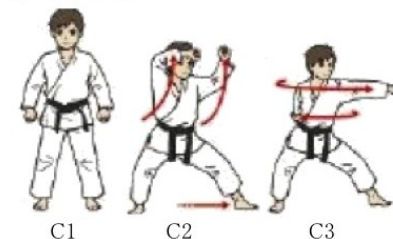


図 7 実験で使った 3 種類のタスクの一例

Fig. 7 Samples of illustrations used for each task during the experiment.

表 1 実験方法詳細

Table 1 Details of experiment method.

	音声通話	提案手法
指示手法	音声	QUMARION
自動判定	なし	あり
画面表示	Kinect のみ	QUMARION と Kinect

被指示者は指示されたとおりに合計 20 個の姿勢をとる。このとき、被指示者がとった各姿勢の正答率、およびその一連の姿勢をとるのに要した平均時間を両グループで計測し比較する。

● 評価項目

ー 被指示者の姿勢の正答率

今回の被験者は全員健常者であったため、受け取った指示をそのまま実践することが可能な状態にあり、被指示者に伝達された指示はそのまま姿勢作りに反映されたと考えられる。よって、この正答率を計測することで指示が被指示者へ正しく伝達されていたか、および被指示者が正しく姿勢をとることができたか、の両方を評価した。

ー 指示伝達所要時間

ー 使用感に関するアンケート

5.3 結果・考察

まず、正答率について注目する。被指示者姿勢の正答率に関する実験結果を表 2 に示す。提案手法は音声通話に比べて、タスク 1 においては 4.7 ポイント、タスク 2 においては 27.8 ポイント、タスク 3 においては 52.4 ポイント上昇した。この正答率の高さは、システムによる姿勢の自動判定が貢献したといえる。システムが正しいと判断するまで姿勢を修正し続けたため、より正しい姿勢に近づくことができた。

次に、所要時間について着目する。平均所要時間に関する結果を表 3 に示す。提案手法を用いた場合、音声通話に比べて 3 つのタスクのうち 2 つのタスクにおいて所要時間が長くなった。原因は主に 2 つ考えられる。

1 つ目の原因として考えられるのが、左右対称の姿勢がタスク 1 やタスク 2 では連続して指示されたという点である。音声通話の場合、どの指示者も再度改めて指示を出すのではなく「今のを逆に」という指示を出していただけた場合がほとんどであり、所要時間が大幅に短縮されていた。たとえば、図 7 中の姿勢 B1 では姿勢完成までの平均所要

時間が 1 分 12 秒であったのに対して、直後に B1 と左右対称の関係にある姿勢 B2 の指示を行った場合は平均所要時間 13 秒と圧倒的に短かった。また、タスク 3 においても連続してはいないものの、「さっきやったように」という言葉から指示が始まっている場合が多く、後半の姿勢の所要時間が前半より短くなっていた。

さらに 2 つ目の原因として考えられるのが、音声通話の場合姿勢が正しいかどうかの判断が指示者に委ねられていたという点である。被指示者の Kinect の画像を見て姿勢が正しいと思ったら指示者は次の姿勢指示へ移る。システムによる判断では各関節の角度を細かく精査したのに対して、指示者の目視による判断では形が大まかに合っていれば次に進む場合が多く見受けられた。実験中には「そうそう、そんな感じ」といった声が聞こえたり、姿勢の細部まで気にせずとりあえず次の姿勢指示へ移ろうという指示者も多かった。

最後に、アンケート結果は表 4 と表 5 に示すとおりになった。アンケート項目は 1 から 5 の 5 段階評価で回答してもらい、1 が悪く、5 が良い結果を示す。

表 4 を見ると、音声指示の手法はすべての項目において評価が低い結果となったことが分かる。コメント欄には「指示者の言語能力や被指示者の想像力に左右されてしまう」といった意見も述べられていた。実際に、実験中に指示者の説明を聞くだけでは伝わりきっていなかった姿勢が、徐々に正しい姿勢に近づいたところで「あ、これか!」と被指示者が想像力を働かせて姿勢が完成したときもあった。また、ほかにも「これはなんていえばいいんだろう」といった声も実験中に聞こえ、使用者にとって音声通話は分かりにくかったことがうかがえた。一方で、提案手法使用者に対するアンケートではどの項目でも高い評価を得ることができ、音声指示よりも使用しやすかったことが分か

表 4 音声通話使用者に対するアンケート結果

Table 4 Questionnaire for participants using telephone.

対象	項目	回答
指示者	意図した指示を出しやすかった	1.5
	指示手法は音声で十分だった	1.0
被指示者	指示は分かりやすかった	1.8
	指示手法は音声で十分だった	1.3

表 5 提案手法使用者に対するアンケート結果

Table 5 Questionnaire for participants using our system.

対象	項目	回答
指示者	画面は分かりやすかった	4.2
	意図した指示を出しやすかった	4.0
	姿勢自動判定は役立った	4.2
被指示者	画面は分かりやすかった	4.0
	指示は分かりやすかった	4.2
	姿勢自動判定は役立った	4.3

表 2 正答率に関する実験結果

Table 2 Results regarding accuracy.

	音声通話	提案手法
タスク 1	78.6%	83.3%
タスク 2	63.9%	91.7%
タスク 3	23.8%	76.2%

表 3 平均所要時間に関する実験結果

Table 3 Results regarding average time.

	音声通話	提案手法
タスク 1	4 分 04 秒	5 分 28 秒
タスク 2	4 分 39 秒	4 分 14 秒
タスク 3	6 分 02 秒	13 分 32 秒

る。コメント欄には「指示者は姿勢をどう表現すればいいか悩む必要がなく、楽でよかった」という意見も述べられていた。

よってこれらの実験結果をまとめると、提案手法では自動判定システムを使用することで姿勢の微調整に時間がかかってしまったものの、より正しい姿勢をとることができたといえる。また、指示手法として QUMARION を使用することでより伝達しやすく被指示者に分かりやすい指示が行えることが示せた。

6. おわりに

お互いの声が聞こえず姿が見えない遠隔地にいる 2 人の人がコミュニケーションをとるのは難しい。特に姿勢を指示する、といった複雑な情報伝達が必要なコミュニケーションにおいてはその伝達方法が要となる。しかし従来の音声のみの方法や映像をそのまま表示するだけの手法では、指示者は直感的に被指示者の姿勢の間違いを正すことができず、さらには被指示者も自身のとっている姿勢が正しいのか判断しにくいといった問題点があった。姿勢を指示する例としてあげられるリハビリテーションの姿勢指導では、1つ1つの姿勢に意味があり、それらを正確に被指示者が習熟し実践することではじめてリハビリテーションの効果が得られる。そのため、姿勢の指示を支援する手法が必要である。

そこで本研究では、人型入力デバイス QUMARION を用いた遠隔姿勢指示支援システムを提案した。人型入力デバイスを用いることで指示者は実際にデバイスを触り、直感的な指示を出すことが可能となる。被指示者の姿勢情報は Kinect を用いて収集し、その情報をもとにデータを比較し姿勢を自動で判定する機能も実装した。これらの情報収集、座標値比較、姿勢の判定はすべてリアルタイムで行われるため、被指示者へ姿勢の修正に関する的確なフィードバックを実現できた。また、評価実験より指示者にとって伝えやすく、被指示者にも正確に姿勢を伝達可能であることを確認し、従来手法の 1 つである音声通話と比べると効率の良い学習につながることを示せた。以上のことから、指示者の容易かつ直感的な指示を支援することができ、被指示者の正確かつ効率の良い習熟につながると期待する。

謝辞 この研究の一部は文部科学省科学研究費補助金 (C) 課題番号 26330229 (2014 年) の支援により行われた。

参考文献

- [1] Heath, C., Luff, P., Kuzuoka, H., Yamazaki, K. and Oyama, S.: Creating Coherent Environments for Collaboration, *Proc. ECSCW'2001*, pp.119-38 (2001).
- [2] 吉崎充敏, 中村明生, 久野義徳: ユーザと環境に適應する指示物体認識のための視覚音声システム, 日本ロボット学会誌, Vol.22, No.7, pp.901-910 (2004).
- [3] ザリヤナモハマドハナフィア, 山崎千寿, 中村明生, 久野義徳: 視覚によるサービスロボットのための簡略化発話の理解, 電子情報通信学会論文誌, Vol.J88-D-2, No.3, pp.605-618 (2005).
- [4] 岡田隆三, 風間 久, 鈴木孝子: PC 向けユーザインタフェース「ハンドジェスチャリモコン」, 映像情報メディア学会誌, Vol.64, No.12, pp.1812-1815 (2010).
- [5] Sekiguchi, D., Inami, M. and Tachi, S.: RobotPHONE: RUI for Interpersonal Communication, *Proc. CHI '01 Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*, pp.277-278, ACM (2001).
- [6] 山海嘉之, 桜井 尊: 福祉ロボットにおけるテレロボティクス, 日本ロボット学会誌, Vol.30, No.6, pp.595-598 (2012).
- [7] 筋野正太, 森谷友昭, 高橋時市郎: NPR 機能を付加したダンスの動作解析・指導システム, 情報科学技術フォーラム講演論文集, Vol.11, No.3, pp.353-354 (2012).
- [8] Chiri, A., Cortese, M., de Almeida Riberio, P.R., Cempini, M., Vitiello, N., Soekadar, S.R. and Carrozza, M.C.: A Telerehabilitation System for Hand Functional Training, *Converging Clinical and Engineering Research on Neurorehabilitation Biosystems & Biorobotics*, Vol.1, pp.1019-1023 (2013).
- [9] Anderson, F., Grossman, T., Matejka, J. and Fitzmaurice, G.: YouMove: enhancing movement training with an augmented reality mirror, *Proc. UIST '13*, pp.311-320, ACM (2013).
- [10] Locke, E. and Latham, G.: *A theory of goal setting and task performance*, Prentice Hall (1990).
- [11] CELSYS: QUMARION, CELSYS (online), available from <http://www.clip-studio.com/quma/> (accessed 2014-06-26).
- [12] 伊藤大生, 田村 仁, 高塚崇文, 大川 涼, ミンナイダビデ: RGB-D カメラによって得た頭部情報の三次元モデル化手法, 全国大会講演論文集, Vol.2012, No.1, pp.245-247 (2012).
- [13] 川西裕幸: Kinect for Windows SDK プログラミング入門, ITpro (online), 入手先 (<http://itpro.nikkeibp.co.jp/article/COLUMN/20120410/390410/>) (参照 2014-06-26).
- [14] わかりやすい面接: おじぎの方法とコツ, わかりやすい面接 (online), 入手先 (<http://www.easy-mensetsu.com/manner/02ojigi.html>) (参照 2014-06-26).



田山 友紀 (学生会員)

2014 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学院理工学研究科修士課程在学中。グループワーク支援の研究に従事。



萩野 実咲 (学生会員)

2013 年慶應義塾大学理工学部情報工学科卒業。現在、同大学院理工学研究科修士課程在学中。グループワーク支援の研究に従事。



岡田 謙一 (フェロー)

慶應義塾大学理工学部情報工学科主任教授，工学博士．専門は CSCW，グループウェア，HCI．学会誌編集主査，論文誌編集主査，GN 研究会主査，日本 VR 学会理事等を歴任．現在，情報処理学会理事，電子情報通信学会

HB/KB 幹事長．本学会論文賞 (1996, 2001, 2008 年)，本学会 40 周年記念論文賞，IEEE SAINT '04, ICAT '07 最優秀論文賞等を受賞．情報処理学会フェロー，IEEE，ACM，電子情報通信学会，人工知能学会各会員．