

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 17 日現在

機関番号：12701

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2012～2013

課題番号：24700205

研究課題名(和文)心伝えるロボットを目指した遠隔力感覚通信の研究

研究課題名(英文)Force transmitting system for remote communication robots conveying human feelings

研究代表者

豊田 希 (Toyoda, Nozomi)

横浜国立大学・工学研究院・研究教員

研究者番号：60547222

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円、(間接経費) 660,000円

研究成果の概要(和文)：機械を介した人と人との遠隔通信の実現のために、機械から受け取った力情報を人間がどのように感じるのか、また、どのように影響を受けるのかに着目し、力感覚通信装置を用いて人間の特性計測を行った。初年度は別々の人がそれぞれの装置を操作して、直線教示をする実験を、次年度は一人の人が二台の装置を左右それぞれの手で操作して、物体の認識に関して、実験条件がどのように影響するかを調査し、人間の物体認識の形態を調査する実験を行った。また、別の角度より、心伝えるロボットの実現の可能性を図るためにバルーンジャンプロボットの一号機を作製し、研究初期段階のフィールド調査を行った。

研究成果の概要(英文)：In order to realize remote communication between people using mechanical devices, we performed human behavior measurement experiment, focusing attention on how human feels the force received by devices, and how it influences human behavior. Three categories of experiments had performed. The condition of the first was two people operate a different device each other; the results of line teaching experiments showed the relationship of visual information and length of regenerated lines. The second was performed where one person operates two devices using by both hands; the results of object recognition experiments showed the existence possibility of recognition models: size recognition and position recognition; it might have some influence toward the size of recognition and the last was balloon jumping robots moving stand-alone.

研究分野：総合系・情報学

科研費の分科・細目：情報学、感性情報学・ソフトコンピューティング

キーワード：遠隔力感覚通信 人間計測 直線教示 ラバーハンド錯覚 物体認識 バルーンジャンプロボット

1. 研究開始当初の背景

近年、遠隔通信分野では、インターネット技術の発達により、音声や映像によるコミュニケーションが容易に、かつ充実して行えるようになり、次世代の遠隔コミュニケーション手段として、よりアクティブで心に響く力感覚通信が期待されている。現在、簡易的な感情伝達ツールとして、Intel Research 社において、温度、明るさ、心拍を検出し、熱、光、振動を発生することにより、相手に自分の状態を伝達可能な「Connexus」が研究されており、感情伝達への期待の高まりがみられる。一方で、高度な力感覚提示装置としては、バーチャルリアリティやゲームの分野で関心が高まり、研究が盛んに行なわれているが、その多くは人と環境をつなぐ物であり、一方向からの働きかけにより他方が動くというマスタースレーブ型である。例えば、遠隔微細手術や宇宙空間での船外操作がそれにあたり、Intuitive Surgical 社の遠隔手術ロボット「da Vinci」はすでに実用化のレベルに達している。しかし、本研究で目的としている、**相互に能動的な操作が可能**な人同士のコミュニケーション手段であるマスター型力感覚通信は、国内外でもほとんど研究されていない。

一般的に人間はロボットに対して、人間とは完全に切り離れた存在として接し、利用者は冷たさ、むなしさを感じる。申請者は、このようなロボットに対する考えを払拭するために、力感覚通信装置に注目した。遠隔地の人同士が装置を介して、間接的に握手などをする(図1)ことで、ロボットの先にいる心を持った人を感じられ、これまで物として扱われてきたロボットは、**相手の分身**として存在できるのではないかと考えた。例えば、介護を必要とする人の中には、配偶者の介護しか受け付けられない人がいるが、そのようなケースでは、介護者の生活は制限され、体力面・精神面で体調を崩すケースがよく見受けられる。解決手段としては、ロボットによる介護の代行が考えられる。ロボットの使用方法には様々なパターンがあり、一般的に、ある動作をプログラム化する方法(コマンド型)が主流であるが、様々な要求に完全に対応することは不可能である。さらに、そこには心が無く、利用者の生きがいの低下も懸念される。そこで、ロボットが忠実に遠隔地の介護者の動作を再現し、利用者・介護者間で力感覚による意思疎通できるシステムがあ

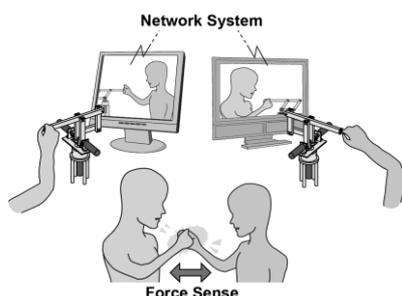


図1 遠隔通信による握手の実現

れば、介護者がどこに居ても通常の支援作業が実現でき、介護者の**場所の制限が解消できる**のではないかと考えた。

使用した力感覚通信システムは、すでに**定量的な評価**により高い目標値追従性を有する制御手法を構築し、力感覚の再現性は非常に高いレベルに達しており、更に**定性的な人間感覚の評価**を加えることで、より高度な人に近い力感覚の実現が可能である。現に、これまでの文字教示の基礎実験では、機械を介して相手の気持ちが通じたという感想を得た。本課題は、将来的にはゲイン調整でパワーアシスト機能を付加できたり、バーチャルリアリティ空間内において、自然界では実現不可能な体験が共有できたりと、応用分野が無限に広がっていく有意義な研究と考えた。

2. 研究の目的

『心伝えるロボットの実現』に向けて、遠隔力感覚通信システムにおいて、各種タスク(図形教示やタッピング等)を通して、定量的(位置と力の再現性)および定性的(被験者アンケート)に性能評価を行うとともに、機械を介して力感覚通信を行った際の機械特性の人の感覚に与える影響や相手の気持ちが伝わるかという抽象的な特性の検証を行う。ロボットを真の人間のパートナーにすべく、身近なタスクによる遠隔力感覚通信を実現し、視覚情報が無い状態で(目をつぶって)**装置を人の分身と感じられるか**を実証したい。また、力感覚とは別の角度からも『心伝えるロボット』とはどのような形であるべきなのかということを考える。

3. 研究の方法

<図形教示実験>力感覚通信を実用化するに当たっては装置からの力の受け方や使用状況によって、操作特性や使用感に影響があるのか調べる必要がある。そこで、視覚情報が上肢運動と密接に関連しているという実験例を手本に、図2のような力感覚通信装置を用いると視覚情報を用いずに力感覚のみで受動的な直線教示が可能なることから、線分の教示長さや描画長さの比較によって、視覚情報が図形認識に及ぼす影響を調べる図形教示実験を行った。視覚情報が有るときよりも無いときの方が線分を短く描画する傾向が得られたので、この結果の原因を精査する

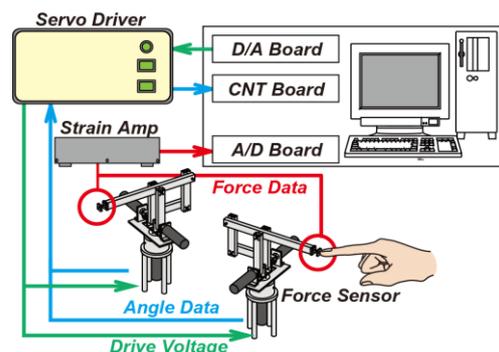


図2 遠隔力感覚通信装置

ために条件を変えて実験を行った。
 <タッピング実験>さらに、遠隔力感覚通信装置を介してその先にある人間を感じられるのか、という点に注目して、心理学の分野で広く行われている『(実験はそうではないが)自分で自分をたたいていると感じるか』というラバーハンド錯覚という現象の再現実験を行う。これはよりシンプルな1自由度の力感覚通信装置二台を一人の被験者が左右の手で操作し、片方の装置に接続された指先の動きと同じように動くもう一台の装置が指先で手の甲を軽くたたきタッピング実験を行い、被験者へのアンケートによって、ラバーハンド錯覚の生起条件や生起の影響因子を調べる。

<物体認識実験>力感覚通信装置は仮想空間内で情報(力および位置)がやり取りされる。この類の実験は通常、片手での操作が一般的であるが、実世界の日常生活では重たい荷物を持つ時など両手を同時に動かす動作も行われるため、本研究ではこれまでほとんど行われていなかった両腕動作時の知覚精度に着目した。通常は二台の装置を別々の人が操作し、遠隔力感覚通信を行うことを目的として使用されるが、今回は図3に示すように一人が単独で、双方の腕で二台の装置を操作して、仮想物体に触る実験を行うこととする。力感覚装置を用いると、人間の特性計測が容易に行える特徴を活かして、両腕全体の動きによる把持動作における、物体幅の知覚精度および再現精度について定量的に調査する。

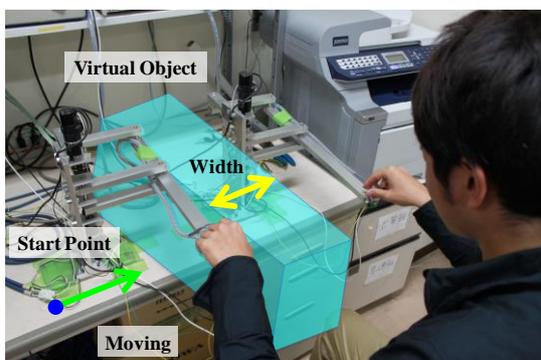


図3 物体認識実験の様子

<バルーンジャンプロボットの一号機の作製>『心伝えるロボット』の研究をする中、一般的な利用を考えると、前述の力感覚通信装置での研究と並行して、ロボットが広く人間の身近な存在になり、心を伝えるためにはどのような形態であるべきかを調査する必要性が高まり、表記のロボット作製に着手した。研究背景は以下のとおりである。超高齢化社会を迎えた我が国において、高齢者介護は社会問題に発展している。要介護者の多くは自宅での生活を希望するものの、核家族化

に伴い、介護者は高齢な配偶者という老々介護が一般的である。他方では、労働者人口が減る中で、多くの女性が結婚や出産を機に離職しており、乳幼児がいる場合は、子どもの世話に一日の大半を費やしている状況があり、このことが仕事と育児の両立を阻む一因と考える。このような背景を受け、豊かな社会を実現するための一助として、介護や育児の手が足りない家庭内において、子どもや高齢者のためのロボットの出現に期待が寄せられている。これまでも数多くの福祉ロボットや生活支援ロボットが研究されてきたが、その大半が主に身体がほとんど動かない高齢者を対象としており、完全に単独で作業を行うために高いタスク遂行性が求められ、非常に重厚長大なロボットとせざるを得なかった。そのため、サイズの問題のみならず、利用者へ与える転倒や誤作動に対する恐怖感の問題からも、一般家庭での人間との共存は難しい状況である。そこで子どもや高齢者とともに家庭内を移動し、生活するためのロボットとして、低コストで小型、軽量のバルーンジャンプロボット(図4)を作製した。そして、設計の妥当性を調べるために高齢者施設および保育施設においてフィールド調査を行う。

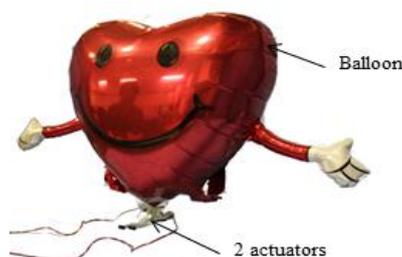


図4 バルーンジャンプロボットの外観

4. 研究成果

遠隔力感覚通信装置を用い、機械を介して人を知るというテーマにおいて、研究を進めてきた。遠隔力感覚通信では複数台の機械をそれぞれ別の人で操作するのが通常だが、本研究では二台の装置を一人の被験者の両手で操作させて、その際、どのような作用があるのかを調べるという利用方法の拡大を図った。

まずはじめに、通常の利用方法(実験者と被験者が別々の装置を操作)において直線教示を行った場合、視覚の有無がどのように再現長さに影響するのかということ調べ、学習条件(能動的および受動的)と視覚情報の有無により再現率(=再現長さ/教示長さ)にどのように影響を及ぼすかを調べた。表1に示すように、学習条件により有意差判定の結果が大きく異なり、受動的な学習においては外乱(装置から受ける抗力)が強く影響し、視覚情報がない(目を閉じる)ときのほうが、ある(目を開ける)ときよりも線を短く再現することが分かった。

表1 力感覚通信装置を用いた直線教示に及ぼす実験条件の関連性

		Haptic Learning	
		Active-type	Passive-type
Visual information during Learning	with	non-sig. $R_{OPEN} = 0.99, R_{CLOSE} = 0.94$ (Experiment IV)	sig. $R_{OPEN} = 0.94, R_{CLOSE} = 0.87$ (Experiment II)
	without	non-sig. $R_{OPEN} = 1.13, R_{CLOSE} = 1.08$ (Experiment III)	sig. $R_{OPEN} = 1.05, R_{CLOSE} = 0.96$ (Experiment I)

Significantly different: non-sig. ; $p > .05$, sig. ; $p < .05$

R_{OPEN} : Mean value of drawing rate R under conditions with visual information during drawing

R_{CLOSE} : Mean value of drawing rate R under conditions without visual information during drawing

続いて、新たな利用方法（被験者が二台の装置を操作）において、単一の人間内で機械を介して左右の手で相互作用を行った際の感覚への影響を調べるために、ラバーハンド錯覚及び物体認識という心理学的な人間計測を行った。力感覚通信装置は仮想空間における物理量の制御が容易であるため、実世界では不可能な実験を各種行うことができた。ラバーハンド錯覚の実験では、左右の装置間距離や刺激の遅延時間を変えて、錯覚生起の閾値を調べ、人間の感覚の不確かさであり、受容性の高さを知ることができた。例えば、刺激遅延時間に関しては、図5のQ.1のレベルが錯覚の生起を図る指標なのだが、遅延時間が200ms以上になると錯覚を感じなくなっている様子がわかり、力間隔通信装置を用いない先行研究の結果ともほぼ一致する結果が得られた。

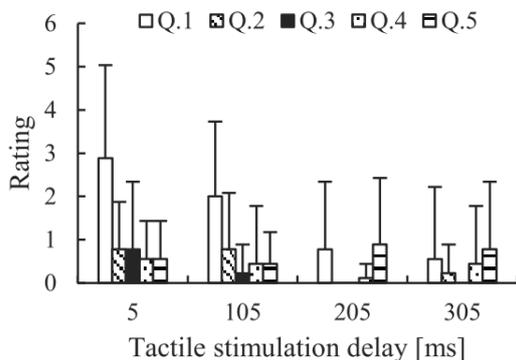


図5 ラバーハンド錯覚実験における刺激遅延の影響

また、物体認識の実験においては、仮想空間における壁を反力の提示により表現したが、内側把持（両腕を肩幅より広げた開始位置から、左右それぞれ身体の中央に向かって

腕を閉じる方向に動かして物体を把持）の場合は、実世界での物体の把持と同様であるため、その壁を左右の手の間にある物体として認識することとなる。一方で、外側把持（身体の中央を開始位置とし、両腕をそれぞれ左右に開いていく方向に動かして物体を把持）や片手操作の場合は、通常は実世界ではあまり行わない行動であるために、それぞれの壁を単独の位置として認識することになる。図の実験結果から、両手内側把持での認識誤差が著しく大きくなっていることがわかり、両手内側把持では他とは異なる認識モデルを使っており、そのモデルは個人または状況に応じて切り替わる可能性が示唆された。

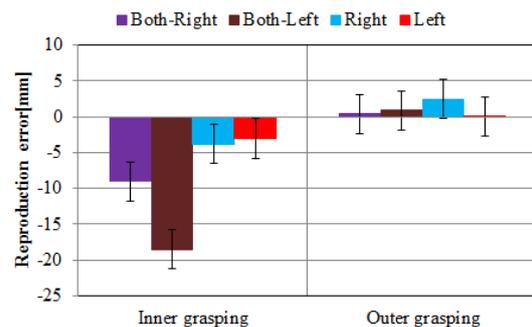


図6 物体認識実験における認識誤差の違い

さらに、心伝えるロボットに対する別のアプローチとして、高齢者や子供を対象として、家庭で手軽に使えるバルーン移動ロボットの一号機を作製し、フィールド調査を行った。高齢者介護施設と保育施設（図7）においてアンケートを実施した。その結果、大きさや色において回答者の種別（2歳児、3歳児、4-5歳児、高齢者）によって大きな違いがみられた。大きさに関しては、提示したロボットが2歳児には体格に対して大きすぎ、4-5

歳児には恐竜などのように、より大きなロボットが求められることが分かった。また、色に関しては、今回の実験で回答いただいた高齢者が全員男性で、提示した赤色のロボットは好みではなかったためと思われる。幼児にしても2歳児はもう少しやわらかいパステル調の色味のほうが好まれるという傾向が明らかになった。本ロボットは移動装置を浮力を持った風船に取り付ける構造であるため、浮力があれば、どのような風船であっても利用可能であることから、利用者に応じた（個人および気分）形状にすることができるため、「着せ替え可能」という非常に魅力的な設計要素が備わったロボットであるといえる。家庭に溶け込むための設計要件が見えたところで、今後は遠隔操作の確立および通信機器との連携を図り、地方の祖父母を見守る『心伝えるロボット』の研究をしていきたい。

今後も力感覚通信およびバルーンジャンプロボットを軸に「心伝えるロボット」の実現に向けて、研究を続けていきたいと考えている。



図7 フィールド調査の様子

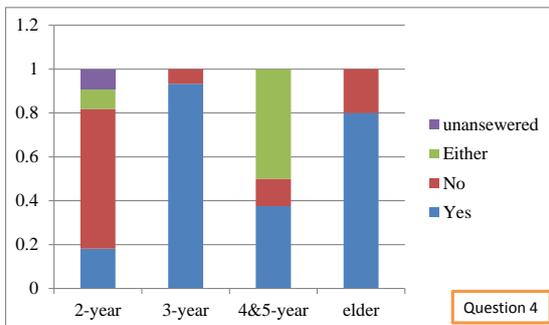


図8 ロボットの大きさによる被験者の回答の違い

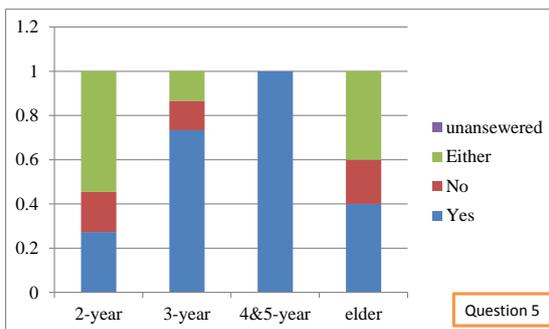


図9 ロボットの色による被験者の回答の違い

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 3 件）

- ① 松永和輝、河村拓実、清政拓、豊田希、藪田哲郎、ハプティックインタフェースを用いた直線教示における教示方法と再現時の視覚情報の影響の考察、電子情報通信学会論文集 D Vol. J96-D, No. 5 (2013), pp.1338-1345, 査読有
- ② 樋渡勇太郎、松永和輝、豊田希、藪田哲郎、ハプティックデバイスを用いた目隠しラバーハンド錯覚における触刺激の遅延の影響に関する研究、電子情報通信学会論文集 D, Vol. J96-D, No. 4 (2013), pp.1085-1088, 査読有
- ③ 松永和輝、清政拓、山本健悟、豊田希、藪田哲郎、ハプティックインタフェースを用いた受動型直線描画教示における視覚情報の影響、電子情報通信学会和文論文誌 D, Vol. J95-D, No. 2, pp.347-350 (2012), 査読有

〔学会発表〕（計 9 件）

- ① Nozomi Toyoda, Mami Nishida, Study on Life-supporting Balloon Walking and Jumping Robots for the Elderly and Children, Proc. of IEEE/SICE International Symposium on System Integration (SII 2013), pp.294-299, 2013.
- ② 鈴木克弥、豊田希、藪田哲郎、ハプティックインタフェースを用いた大きさ・位置認識におけるモデルの違いの検証, 第31回日本ロボット学会学術講演, 2F1-01, 2013.
- ③ 豊田希、西田麻美、朴権永、藪田哲郎、自宅で高齢者とともに生活するバルーンジャンプロボットの研究, LIFE2013, OS1-2-2, 2013.
- ④ 鈴木克弥、豊田希、藪田哲郎、ハプティックインタフェースを用いた仮想物体把持による人間の静的な対象物認識特性の研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会'13, 2A1-H07, 2013.
- ⑤ 豊田希、清政拓、鈴木克弥、松永和輝、藪田哲郎、ハプティックインタフェースを用いた両腕把持動作における物体幅知覚精度, 第18回ロボティクスシンポジウム予稿集 1B1, pp.35-41, 2013.
- ⑥ Nozomi Toyoda, Kazuki Matsunaga, Tetsuro Yabuta, Effects of Visual Information on Teaching of Passive Drawing using a Haptic Interface, Proc. of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (IEEE SMC 2012), pp.2998-3002, 2012.
- ⑦ 樋渡勇太郎、松永和輝、豊田希、藪田哲郎、視覚を用いないラバーハンド錯覚に

関する研究, 日本ロボット学会第 30 回記念学術講演会講演論文, 3L1-8, 2012.

- ⑧ 松永和輝, 河村拓実, 樋渡勇太郎, 豊田希, 藪田哲郎, ハプティックインタフェースを用いた直線描画の学習に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会'12, 1A1-D01, 2012.
- ⑨ 樋渡勇太郎, 松永和輝, 豊田希, 藪田哲郎, 力感覚を用いた錯覚現象に関する研究, ロボティクス・メカトロニクス講演会'12, 2A1-B09, 2012.

〔図書〕 (計 0 件)

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
出願年月日 :
国内外の別 :

○取得状況 (計 0 件)

名称 :
発明者 :
権利者 :
種類 :
番号 :
取得年月日 :
国内外の別 :

〔その他〕

ホームページ等

<http://yabsv.jks.ynu.ac.jp/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

豊田 希 (Toyoda Nozomi)

横浜国立大学・工学研究院・研究教員

研究者番号 : 60547222

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし