

複数カメラを用いたヒューマン・ロボット・インタラクションの分析

Analysis of Human-Robot Interaction using Multiple Cameras

○山口裕之(岐阜大) 寺田和憲(岐阜大) 伊藤昭(岐阜大)

Hiroyuki YAMAGUCHI, Gifu University, guchi@elf.info.gifu-u.ac.jp

Kazunori TERADA, Gifu University

Akira ITO, Gifu University

Human sometimes attributes intentions toward inanimate beings. Attributing intentions toward robots enables human to explain and predict its behavior and leads to smooth communication. Thus, the mechanism that triggers intention attribution must be revealed. The present study examined the effect of reactive movements performed by a moving chair on the intention attribution and the effect of reactive movements of the chair on human behavior. The result indicated that reactive movements of the chair effected both mental state attribution and human behavior.

Key Words: Human-robot interaction, Human head tracking, Intention attribution

1. はじめに

人間は無生物に対しても意図性を感じることもある。対象を意図的だと感じる利点は、人間が行うような複雑な振舞いを理解する際に、心的な目的(意図)を帰属することで振舞いの理解と予測が容易になることである[1][2]。人間がロボットに対しても意図性を感じることができれば、ロボットの振舞いが理解されやすくなり、コミュニケーションが容易になると考えられる。そこで、コミュニケーション可能なロボットを設計するために、人間がロボットのどのような振舞いに対して意図性を感じるかを知る必要がある。

意図性を知覚させる要因として、随伴性[3]、目的指向性[4]、合理性[5]などが報告されている。これらの要因を調べる実験では、被験者に対してディスプレイ上で動く単純な図形の運動を見せ、質問紙によって意図性を評価させる方法が一般的である。しかし、これらの実験のように一方的に二次元の動きを見せられる場合と物理的な実体としてのロボットと身体的なインタラクションをする場合では意図性の知覚に異なった要因が寄与する可能性がある。例えば、Bassili[3]らは随伴性を意図性知覚の要因として挙げているが、これはディスプレイ上の2体の図形の運動を被験者がどう感じるかを調べたものであって、ロボットと人間のインタラクションの中で発生する、相手の動きに合わせて自分も動くといった、対象との直接的な随伴行動とは異なる。

そこで、本研究ではロボットと人間の直接的なインタラクションの中で人間がロボットの振舞いをどのように理解するかについて調べることを目的とする。また、ロボットの時間的随伴行動が人間の振舞いにどのような影響を与えるかを調べることを目的とする。

本実験では3台のカメラによって構成された実時間頭部追跡装置を用い、被験者の動作に合わせてロボットを動作させた。実時間頭部追跡装置を用いることによって、WoZ方式に見られる恣意的な操作というデメリットを克服でき、また実験者の主観に頼らない定量的な行動分析が可能になる。また、本手法では頭部モデルを用いて追跡を行うため、あらかじめ被験者にマーカーなどを付ける必要がない。そのために、実験の目的を意識させることなく被験者の動作軌跡を取得可能である。本実験では時間的随伴行動による意図性の知覚への影響を調べるために、実験後のアンケートによって、ロボットに対し意図性を帰属したか調べた。同時に目的帰属が行われているかの指標として、ロボットである椅子への着座予想を調べた。また、動作軌跡から求められる情報の

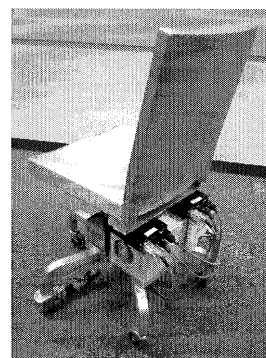


Fig.1 Experimental device.

違いを見ることによって、ロボットの時間的随伴行動が人間の振舞いに与える影響を調べた。

実験の結果、時間的随伴行動による直接的な意図帰属への影響は見られなかったが、着座予想の増加という形で目的帰属の誘発が見られた。また動作軌跡を分析した結果、ロボットの動作に合わせて被験者が動作を変移させるようになることが分かった。

2. 実験

本実験では、ロボットが人間と反動的に振舞うことが人間の心的姿勢に与える影響について調査した。さらに、ロボットの振舞いによって人間の行動にどのような違いが現れるかを調査した。

2.1 実験装置・環境

本実験では、ロボットとして駆動輪を有する椅子を使用した(図1)。この椅子は二つの駆動輪を持つ。使用したモータは maxon A-max 32、電源は 24V である。駆動輪はコンピュータの RS-232C ポートに接続されたモータドライバ(maxon mip 20)によって左右独立に制御される。無線 LAN を搭載しており、別室のコンピュータから遠隔操作することができる。

図2は実験に使用した環境の概略図である。実験室の広さは約 6m × 5.5m であり、室内には椅子のみ設置した。実験室には室外のコンピュータに接続された3台の可動式カメラを設置し、実験の様子を監視すると同時に実時間頭部追跡装置として環境内の人間を追跡することができる。本実験では、カメラに SONY EVI-D100、追跡処理用コンピュータに Core2 Quad Q6600 を使

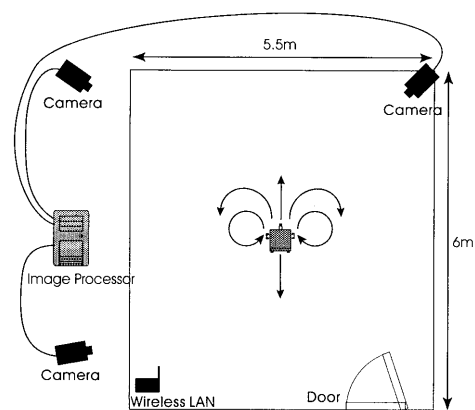


Fig.2 Experimental environment.

用した。

実時間頭部追跡は、Condensation[6]を用いた実時間頭部追跡手法[7]を用いて行った。ここで、カメラキャリブレーションとして、複数のズーム設定における内部パラメータと、探索部での基本設定における外部パラメータをZhangの手法[8]を用いて求めておいた。さらに、投影面からのパン・チルト回転中心のずれと回転軸の傾きを、既知な3次元位置の複数回転角における投影位置を用いて、非線形最小二乗法により求めておいた。Condensationのサンプル数は500とした。本システムの動作速度は、毎秒30フレームであった。

2.2 実験手順

被験者は入室後感じた通りに行動するよう指示された。また、実験室内にある装置には触れないよう指示された。それ以外の事項、例えば実験の目的や部屋の中に何があるかについては一切知らされなかった。

実験は以下の2条件で行った。

反応条件

椅子は被験者の動きに反応して動作を生成した。具体的には、「被験者の動作」を頭部追跡の結果より算出した移動速度を用いて以下のように定義し、その動作開始に合わせて椅子の動作を開始した。

- 速度が50[cm/sec]を越えたとき、動作開始
- 速度が20[cm/sec]を下回ったとき、動作終了

周期(統制)条件

椅子は被験者の動きに関係なく5秒間隔で動作を生成した。

椅子の動作要素は6種類であり、前進、後退、回転等の単純なもので持続時間は1秒または2秒である。(表1)。なお、vrは右駆動輪による移動速度、vlは左駆動輪による移動速度を示す。動作系列はこれらの動作要素から事前にランダムに生成され、どちらの条件においても同一の動作系列を提示した。

実験は被験者が入室してから2分経過した時点で終了した。被験者は19歳から24歳までの男性8人、女性2人の計10人である。どの被験者もこれまでに実験装置に接した経験がなく、今回の実験が実験装置を見る初めての機会である。被験者を反応条件と周期条件それぞれ5人ずつに分けて実験を行った。

実験終了後、被験者が椅子に対して意図性を帰属したかについてアンケートを行った。また、もし「装置に触れないで下さい」と指示されていないか椅子に座ったと思うか、という着座予想を二肢択一方式によってアンケートを行った。

Table 1 Action units.

Action	vr [cm/sec]	vl [cm/sec]	duration [sec]
forward	30	30	1 or 2
backward	-30	-30	1 or 2
turn right	0	30	1 or 2
turn left	30	0	1 or 2
rotate right	-30	30	1 or 2
rotate left	30	-30	1 or 2

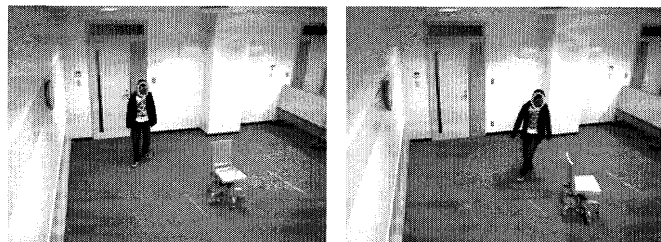


Fig.3 An example of experiment scene.

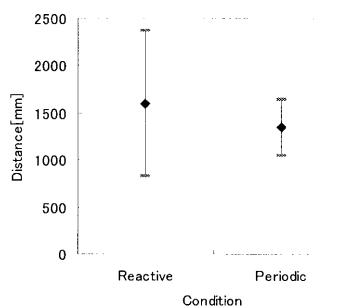


Fig.4 Distance between subjects and chair.

2.3 結果

図3に実験中の様子を示す。実験終了後に行ったアンケートの結果、反応条件の被験者は5人中4人が椅子に対し意図性を帰属した。また周期条件の被験者も5人中4人が椅子に対し意図性を帰属した。

椅子への着座予想のアンケートの結果、反応条件の被験者は5人中4人が座ると答え、周期条件の被験者は5人中2人が座ると答えた。

2.4 動作分析

反応的な振舞いが人間の行動に与える影響を調べるために、頭部追跡による位置情報を用いて分析を行った。分析に用いる位置情報は、実験時に実時間で追跡した値ではなく、より正確な情報となるように新たに追跡した値を用いた。このとき、Condensationのサンプル数を実験時の10倍である5000とし、実験後に撮影した被験者の顔画像より計算した肌色分布で追跡を行った。

まず、抽象化を行わないデータにおける影響を調べた。追跡結果より求めた、各条件での実験中の被験者と椅子との距離の平均を図4に示す。この図を見ると、反応条件での分散が大きく、条件間ではっきりとした差は見られない。また、各条件での被験者の平均速度、平均加速度を図5に示す。この結果からも、条件間

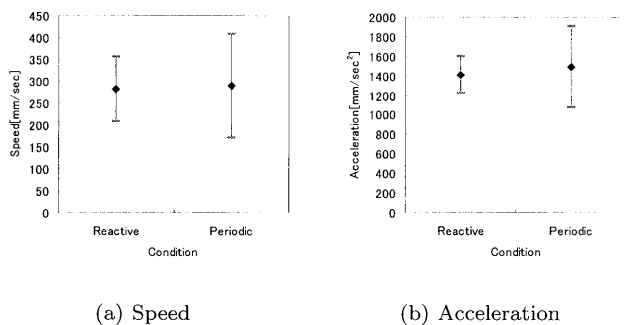


Fig.5 Subjects' moving speed and acceleration.

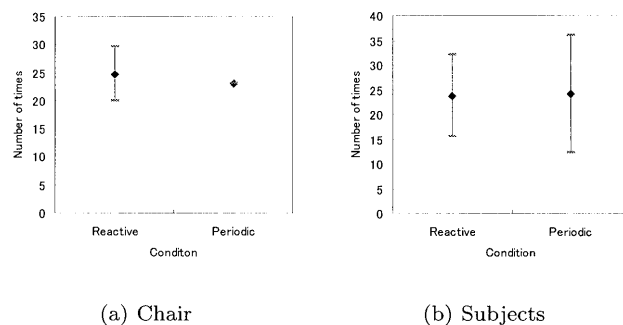


Fig.7 Number of action.

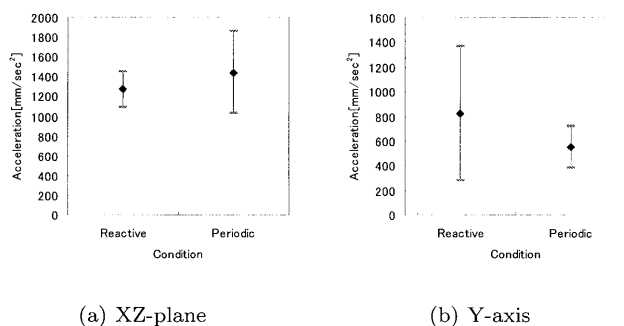


Fig.6 Subjects' moving acceleration.

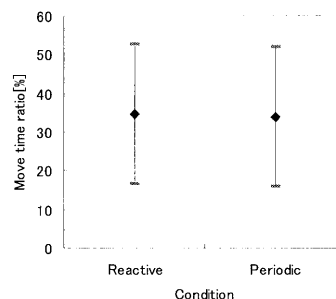


Fig.8 Action time ratio.

に差は見られないが、加速度を床に平行な面である X-Z 平面と垂直な方向である Y 軸方向で分けて計算した図 (図 6) を見ると、分散が大きいままであるが、X-Z 平面では周期条件での加速度が大きく、Y 軸方向では反応条件での加速度が大きい傾向があるように見える。これは、椅子の反応的動作によって「しゃがんで椅子の機構を観察する」や「床を強く踏むなどして、椅子の反応を見る」等の椅子の様子を伺う動作を誘発し、その分移動動作が減少しているためであると考えられる。

次に、反応的動作が「被験者の動作」に与える影響を調べた。各条件での被験者が前述の定義における「動作状態」となった回数及び椅子が動作した回数を図 7 に示す。この図より、反応条件における椅子の動作回数は、固定回数である周期条件とほぼ同じであることが分かる。同様に、被験者の動作回数もほぼ同じであることが分かる。また、2 分間の実験の内被験者が動作を行っていた時間を図 8 に示す。この結果からは条件間での動作時間の違いは確認できない。

最後に、「被験者の動作」へのより直接的な影響として、「椅子が動いたため停止する」や「椅子が止まったため停止する」などの椅子の動作によって影響を受けた被験者の動作を検出し、その影響を調べた。上記の 2 例を動作遮断として以下のように定義する。

- 椅子が動作を開始してから 1 秒以内に、被験者の動作が終了
- 椅子が停止してから 1 秒以内に、被験者が動作が終了

同様に動作遮断の逆、つまり椅子の動作によって誘発された被験者の動作を動作励起とし、以下のように定義する。

- 椅子が動作を開始してから 1 秒以内に、被験者が動作開始
- 椅子が停止してから 1 秒以内に、被験者が動作開始

椅子の動作開始、動作終了をそれぞれ 1 アクション、つまり 1 回の動作で 2 アクションとした時の、1 アクションあたりの動作遮断回数および動作励起回数を図 9 に示す。この結果を見ると、反応条件において動作遮断回数、動作励起回数の両方が多くなって

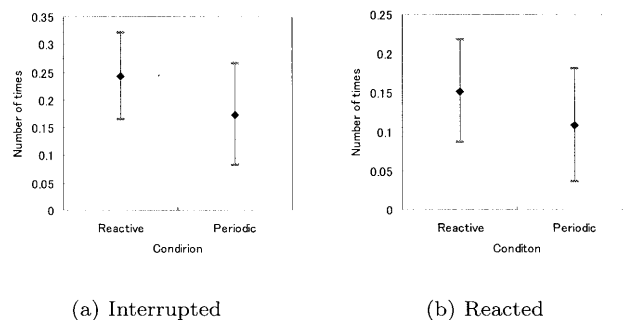


Fig.9 Subjects' reactive action ratio.

いる。これらは、反応条件の被験者が椅子からの注目を感じ、その動作に対してより反応していることを示している。

3. 考察

今回の実験では、条件間で被験者の椅子への意図性の帰属に違いが見られなかった。これは周期条件においても意図性を帰属する被験者が多かったからである。この原因としては、被験者数が少ないことによる偏りが第一に考えられるが、その他にも実験時間を 2 分とした事が考えられる。先行実験 [9] では、着座ありの最長 3 分間のインタラクションを行っていたが、本実験では着座させないために物に触れないよう指示し、全員 2 分間のインタラクションを行った。しかし、2 分間の実験では椅子の動作原理を完全には理解できず、偶然被験者の動きに同調した時などに、意図性を付与した可能性が考えられる。

またその他の原因としては、椅子の初期の動作内容の影響が考えられる。椅子の動作はランダムであるが、実験を通して一意に決定されている。最初の数回の動作時は被験者が入口付近にいる可能性が高いため、入口付近に対してなんらかの意図性を付与し

やすい動作を生成していた可能性がある。実験時間が短いこともあり、第一印象として意図性を付与するとそれが最終的な判断にも大きく影響すると考えられる。これは「最初自分に背を向けるように動いた」と報告した被験者がいたことから十分可能性がある。

しかし、着座予想では反応条件の方が多くの被験者が着座すると答えた。椅子は座るという明示的な機能を持っていることから、着座は目的帰属が行われていることの一つの指標となると考えられる。このことは、アンケートによる直接的な意図性帰属の計測では表れない、時間的随伴行動による意図性の知覚への微妙な影響が検出されたものではないかと考えられる。

一方、被験者の動作分析の結果、椅子の反応的振舞いによって、被験者の動作が一部影響を受けることが分かる。特に、動作遮断や動作励起への影響が見られた。この理由としては、動作遮断や動作励起という反射的な動作がより根源的・生得的な動作に近いことが考えられる。それに対し影響が見られなかった椅子との平均距離や平均速度等は、個人が元々持っている積極性による差が大きいため相対的に影響が小さいのではないかと考えられる。

また、先行研究において椅子の反応的振舞いが人間の活発な動作を誘発することが示されているが、今回の実験では、動作遮断と動作励起が誘発されるだけで、動作回数全体への影響は見られなかった。これは、頭部の位置を基準にした今回の手法では、手や足を振ったり、足だけ出して椅子の動きを探るような頭部以外の部位のみによる探索動作を検出できなかったためであると考えられる。

4. まとめ

本研究では、複数カメラを用いた人間とロボットとのインタラクションとその分析を行った。実験は、実時間頭部追跡装置を用いて恣意的な操作を完全に排除し、被験者の動作に合わせてロボットを動作させる反応条件と、一定時間毎にロボットを動作させる周期条件の2条件で行った。その結果、反応的な動作が被験者の目的帰属を誘発することが分かった。また、頭部追跡の結果を用いてインタラクション時の動作分析を行った結果、人間の動作、特にそのタイミングがロボットの反応的な振舞いによって影響を受けることが分かった。

本実験の結果、ロボットの振舞いは人間の心的状態と行動の双方に影響を与えており、この2つの間には何らかの関係があると考えられる。そして、心的状態と行動との関係を明らかにすることによって行動から心的状態の推定が可能になると考えられる。

参考文献

- [1] Daniel C. Dennett. *The Intentional Stance*. Cambridge, Mass, Bradford Books/MIT Press, 1987.
- [2] Simon Baron-Cohen. *Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind*. The MIT Press, 1995.
- [3] John N. Bassili. Temporal and spatial contingencies in the perception of social events. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 33, No. 6, pp. 680–685, 1976.
- [4] Winand H Ditttrich and Stephen E G Lea. Visual perception of intentional motion. *Perception*, Vol. 23, No. 3, pp. 253–268, 1994.
- [5] György Gergely, Zoltán Nádasdy, Gergely Csibra, and Szilvia Bíró. Taking the intentional stance at 12 months of age. *Cognition*, Vol. 56, No. 2, pp. 165–193, Aug 1995.
- [6] Michael Isard and Andrew Blake. Condensation – conditional density propagation for visual tracking. *International Journal of Computer Vision*, Vol. 29, No. 1, pp. 5–28, 1998.
- [7] 山口裕之, 寺田和憲, 伊藤昭. 複数アクティブカメラによる人物頭部追跡及び個人識別. 第25回日本ロボット学会学術講演会, 2007.
- [8] Zhengyou Zhang. A flexible new technique for camera calibration. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 22, No. 11, pp. 1330–1334, 2000.
- [9] Kazunori Terada, Takashi Shamoto, Haiying Mei, and Akira Ito. Reactive movements of non-humanoid robots cause intention attribution in humans. In *IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems 2007 (IROS 2007)*, 2007.