

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 10 日現在

機関番号：10101

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2014～2015

課題番号：26540058

研究課題名(和文)複数ロボットの共同注視を用いた注意誘導システムの研究

研究課題名(英文)Study for Attentional Guidance Caused by Joint Attention of Two Robots

研究代表者

小野 哲雄 (ONO, Tetsuo)

北海道大学・情報科学研究科・教授

研究者番号：40343389

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人と複数のロボットが形成する「集団」における共同注視や共同注意のメカニズムの解明、および、コミュニケーションにおけるその効果について実験を通して検証を行った。実験の結果、ロボット2体が同調的な身体動作により対話を行った後、人を同時に共同注視した場合、3者間に共同注意が成立し、ロボットはその人の視線を容易に誘導することができ、さらに、その人を「コミュニケーションの場」へ引き込むことが可能であることが明らかとなった。本研究の成果は、近い将来、人とロボットが共生する社会を形成する際に有益な知見となるであろう。

研究成果の概要(英文)：In this study, we experimentally investigated the effects of the emergence of joint attention in social interaction consisting of two robots and one person. The results of the experiments showed that when two robots turned their eyes to the person after they communicated with each other using synchronous behaviors, a direction of the person's eyes was guided by their eyes and heads movements. Moreover, as the joint attention among them would emerge there, the person became easily involved in their communication. The findings of this research will be beneficial to construct a society of human-robot symbiosis in the near future.

研究分野：ヒューマンエージェントインタラクション

キーワード：社会性 共同注意 ロボット

1. 研究開始当初の背景

共同注意や共同注視に関する研究は、これまでもさまざまな分野で数多く行われてきた (Baron-Cohen 1995 他)。人とロボットのインタクシオンにおける共同注意の研究に限っても、発達心理学の観点から行われた研究 (Breazeal 2000, Kozima 2001) や、大人のコミュニケーションにおける共同注意に焦点を当てた我々の研究 (Imai & Ono 2001) などがあげられる。これらの研究では、母子間 (養育者と子ども) の相互作用に基づく、2 者間のインタラクションにおける共同注意が扱われてきたが、3 者以上の「集団」を対象とした研究はほとんど見られない。

本研究では、「集団」における共同注視や共同注意のメカニズムの解明、および、コミュニケーションにおけるその効果について実験を通して検証を行った。つまり、本研究では、集団における「視線」と「コミュニケーションの場」に注目し、その際の集団のダイナミクスについて調査を行った。

2. 研究の目的

近年、「コミュニケーションの場」の研究の重要性が認識されつつある。本研究における「集団」とは、ロボットを含む 3 者以上によって構成される「コミュニケーションの場」を意味する。我々の予備的な実験の結果、人は 2 体のロボットに共同注視されることにより、容易に視線を誘導されるようになり、さらにロボットの発話を積極的に解釈しようと試みるなど、「コミュニケーションの場」へ認知的に引き込まれることが確認された。本研究ではさらに、予備的な実験の結果を踏まえ、共同注視を用いた人とロボットのインタラクションのモデル化およびロボットシステムの構築を行った。さらに、本提案モデルとロボットシステムの評価実験を行った。

3. 研究の方法

本研究ではまず、(1)人とロボットの「集団」における共同注視や共同注意のメカニズムの解明を目指した実験を行い、次に、(2)この実験結果に基づきモデル化を行い、これらのメカニズムを用いたシステムの構築を行い、さらに、(3)このシステムの評価実験を行った。この(1)~(3)の順に、研究の方法を説明する。

(1)本研究ではまず、ロボットを用いた遠隔操作による実験 (Wizard of Oz 法) により、「集団」における共同注視や共同注意のメカニズムを解明する実験を行った。具体的には、ヒューマノイドロボット 2 体が実験参加者を共同注視した場合としない場合に条件を分け、それぞれの場合の被験者の振る舞いについて調査を行った。

(2) (1)の実験結果を基礎として、人とロボットの「集団」における共同注視や共同注意のメカニズムを用いた、人の注意を誘導するシステムの構築を行った。この注意誘導シ

テムは、共同注視を実現するために必要な、環境の物体などの探索処理部と、ロボット 2 体の対話構成部から構成される。探索処理部では、画像処理ライブラリを用いて SURF 特徴量により、注視対象の物体検出を行い、さらに測域センサを用いることにより 2 体のロボット間の距離を計算し、共同注視を実現した。また、対話構成部では、「心の理論」のモデルを基に対話モデルを設計し、ロボットが実際に行っている探索行動の過程を言語と動作により表出することにより、2 体の共同注視の過程を人が理解することが可能なシステムを実現した。

(3) (2)で構築した、人の注意を誘導するシステムを用いた評価実験を行い、このシステムが研究の目的を実現しているかどうか調査を行った。

4. 研究成果

本研究の成果を、第 3 節の記述に対応させて、(1)人とロボットの「集団」における共同注視・共同注意のメカニズムの解明、(2)人の注意を誘導するシステムの構築、(3)構築したシステムの評価の 3 つに分けて以下に説明する。

(1) 人とロボットの「集団」における共同注視・共同注意のメカニズムの解明：

本実験は、ヒューマノイドロボット 2 体と実験参加者 1 名により行われた。実験の概要を図 1 に示す。まず、(a)ロボット 2 体がジェスチャを交えながら、人間には理解できない人工言語で対話を行っている。その後、(b)条件 1-A では、ロボット 2 体が「同時に」実験参加者を一度、共同注視した後、(c)ある特定のオブジェクトを見る動作を行った (図 1 の左から右の手続きに対応)。一方、条件 1-B では、(a)の手続きは同じであったが、(b)ではロボット 2 体が実験参加者を共同注視することなく、そのまま(c)の手続きへと移行した。実験の実際の様子を図 2 に示す。

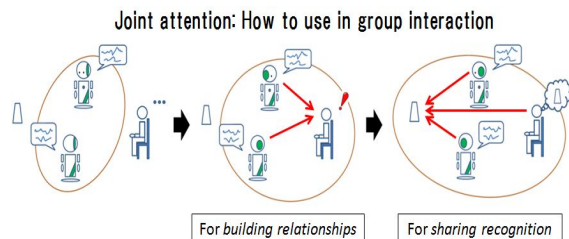


図 1 実験の概要 (条件 1-A: 左から右)

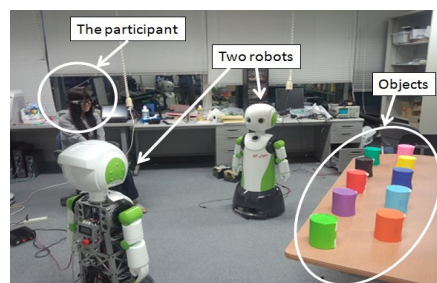


図 2 実験の実際の様子

本実験では、実験参加者にアイマークレコーダを装着してもらい、実験時の視線の動きを記録した。その結果、ロボット2体に共同注視された、条件1-Aの実験参加者は、その後、ロボットの視線を正確に追従し、ロボットが見たオブジェクトに正確に視線を向けていた(図3)。一方、ロボット2体に共同注視されなかった、条件1-Bの実験参加者は、その後、ロボットの視線を追従する人数が少なく、その人数は条件1-Aとの間に統計的に有意な差が確認された($p < .05$)。

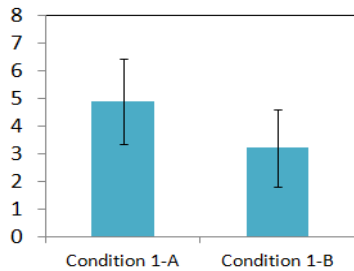


図3 ロボットの視線を追従した人数

さらに、ロボット2体が「同時に」実験参加者を共同注視するのが重要なのか、もしくは同時ではなくても同じ効果が得られるのかを実験で確認した。実験の結果、「同時に」共同注視する条件(Synchronization条件)の方が、同時ではない条件(Asynchronization条件)よりも正確に対象のオブジェクトを同定することができた($p < .01$, 図4)。

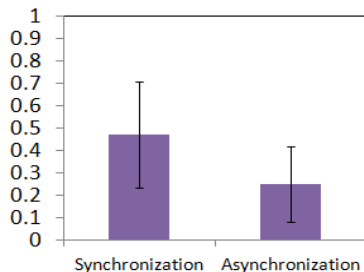


図4 共同注視が「同時」の条件と「同時ではない」条件の正解率の差

これらの実験結果から、実験参加者はロボット2体に同時に共同注視されることにより、容易に視線を誘導されるようになり、さらに実験の観察結果から、実験参加者はロボットの発言を積極的に解釈しようと試みるなど、「コミュニケーションの場」へ認知的に引き込まれることが確認された。これらの実験で得られた成果を用いて、人の注意を誘導するロボットシステムの構築を目指した。

(2) 人の注意を誘導するシステムの構築：

この注意誘導システムは、すでに述べたように、共同注視を実現するために必要な、環境の物体などの探索処理部と、ロボット2体の対話構成部から構成される。

まず、探索処理部の処理の概要を図5に示す。探索処理部では始めに、ロボットに備え

付けられたカメラを用いて、環境の中から注視対象を探す処理を行う。注視対象が発見できると、画像処理によりその対象までの距離を算出し、また測域センサを用いて対面するロボットまでの距離も計算する。これらの計算結果を用いて、2体のロボットにより共同注視を実現する。

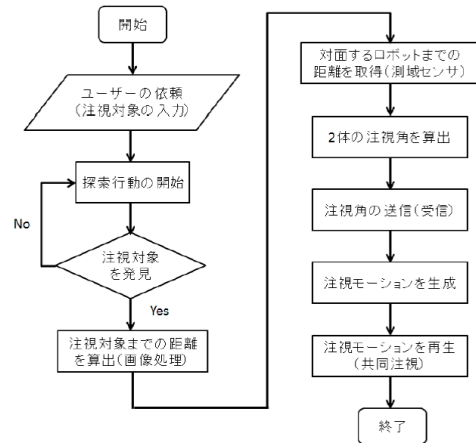


図5 ロボット2体が共同注視を実現するまでの処理の流れ

より具体的には、探索処理部では画像処理ライブラリ OpneCV を利用した SURF 特徴量の比較、およびロボットの両眼カメラを並行に設定することでステレオ視差を活用し(図6)、物体の検出を行っている。さらに、ロボットの足元に搭載されている測域センサを用いて、ロボットの周辺の環境(物体までの距離)を取得する(図7)。加えて、サーボ値を入力することによりモーションを生成するモジュールを実装することにより、最終的な目的である注視行動を自動生成するシステムを実現することができた。

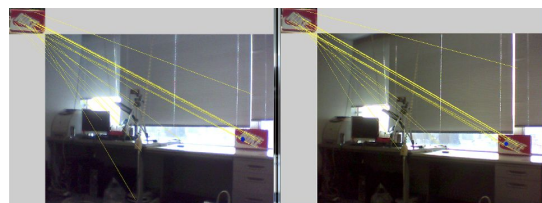


図6 両眼カメラの画像を用いた物体認識

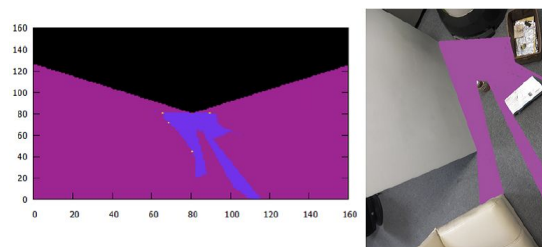


図7 測域センサを用いた環境の認識の例

これらの機構を用いて、2体のロボットは共同注視を実現する。図8に、注視対象と2体のロボットの関係、およびステレオ視差と測域センサを用いたデータの計算結果の利用方法をまとめる。

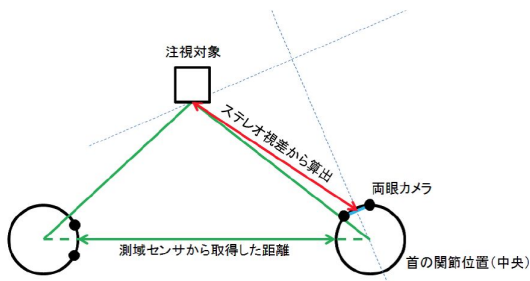


図8 ロボット2体と注視対象の距離と角度

次に、対話構成部について簡潔に説明する。対話構成部で扱う対話パターンには、バロン・コーエンの「心の理論」(Theory of Mind Mechanism)を参考にして、本研究で拡張したモデルに基づき設計した。「心の理論」は、1対1の共同注意における認知機構の処理を、複数の検出器を想定し、説明したものである。これら認知機構の検出器の刺激となる情報を、ロボットが行動として表出することで、2体のロボットの共同注視の過程を実験参加者に刺激として提示することができる。

具体的に、バロン・コーエンの「心の理論」における検出器の機能とともに説明する。まず、EDDは相手の視線がどこに向いているかを知覚する検出器であり、ロボットの探索行動が人のEDDを刺激する。次に、IDは相手の意図を推測する検出器であり、ロボットがもう一方のロボットへ対象物の注視を確認する動作がIDを刺激する。また、SAMはEDDとIDの出力を統合して相手を理解する検出器である。これは相手のロボットの反応から、相手が物体を見つけたかどうかを理解することに対応する。TOMMはSAMの出力を受けて、自分の中で他者の内部状態を推論する機構である。本モデルでは、2体のロボットでこの推論結果が同一になったとき、共同注意が成立するものと定義する。

図9に、構築した対話構成部を用いた対話の事例を示す。2体のロボットが環境から注視対象を発見し、それが共有される過程が対話により示されている。

(3)構築したシステムの評価：

(2)で説明した、人の注意を誘導するシステムを用いて評価実験を行い、このシステムが研究の目的を実現しているかどうか調査を行った。研究の目的を繰り返すと、人は2体のロボットに同時に共同注視されることにより、容易に視線を誘導されるようになり、さらにロボットの発話を積極的に解釈しようと試みるなど、「コミュニケーションの場」へ認知的に引き込まれることを確認することであった。

観察実験の対話	
(実験開始：ロボットA, ロボットBが対面)	
(被験者が話しかける)	
例：こんにちは	(ロボットA, Bが被験者を共同注視)
例：おすすめを教えてください	
(ロボットA, Bがテーブル側を注視…探索行動の開始)	
ロボットB： うーん	
ロボットB： どれがいいかな？	
ロボットA： うーん	
ロボットB： 君はいいもの見つけた？	
ロボットA： えーっと	
ロボットA： 君は見つけた？	
ロボットB： うん	
ロボットB： あれはどうかな？	
ロボットA： そうしようか	
(ロボットA, Bがうなづく)	
ロボットB： うん	
ロボットA： うん	
(ロボットA, Bが被験者を共同注視)	
ロボットA： えっとね	
(ロボットA, Bが箱を共同注視)	
ロボットB： あれがおすすめだよ	
(被験者がおすすめされたオブジェクトを取りに行く)	
(実験終了)	

図9 対話構成部を用いた対話の事例

構築したシステムを評価するために、第4節(1)と同様の実験環境において観察実験を行なった。本観察実験では、より自然な環境で実験参加者にインタラクションを行ってもらうため、実験参加者はアイマークレコーダのような計測機器を装着することなく、外部に設置したカメラによる記録と、実験後のアンケート調査のみ実施した。

第4節(1)の実験では、同時に共同注視する条件と同時ではない条件を設定し、比較を行った。この実験結果を受け、本観察実験では2体のロボットの「動作の重なり具合」(Overlapping)が実験参加者の「コミュニケーションの場」への認知的引き込みにどのような影響を与えるかを調査する。

実験は、実験参加者がロボット2体に対して「お勧めを教えてください」との依頼によりインタラクションが開始される。その後、図9のようなロボット同士の対話およびロボットから実験参加者への発話(出力)がなされる。観察実験では2条件の比較を行う。ロボット2体が実験参加者を同時に共同注視して発話を行う前までに、2体が身体動作をオーバーラップさせながら対話を行う条件(条件1)と、オーバーラップを行わずに対話を行う条件(条件2)である。つまり、「同時に」共同注視する前に、ロボットがどのような動作をしていると実験参加者の視線誘導が容易になり、「コミュニケーションの場」へ引き込みことが可能になるかを調査した。

実験の結果、ロボット2体が身体動作をオーバーラップさせながら対話を行った後(条件1)、実験参加者を同時に共同注視すると、その後、実験参加者の視線を容易に誘導することができることが明らかとなった。さらに、

アンケート調査の結果から、条件1の実験参加者はロボット2体の対話を自然なもののみなし、ロボットが創る「コミュニケーションの場」へと引き込まれている様子が観察された。たとえば、アンケート調査の「ロボット2体の活発さ」(図10)や「ロボット2体の一体感」(図11)に関する質問項目で、条件1と条件2の間に統計的に有意な差があり、オーバーラップの効果が明らかとなった。

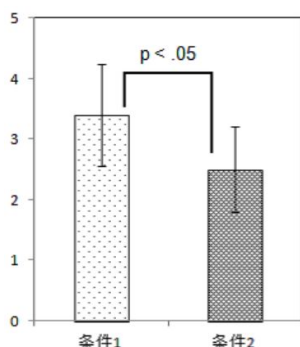


図10 「ロボット2体の活発さ」に関する質問項目の結果の比較

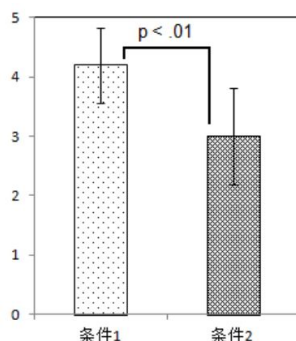


図11 「ロボット2体の一体感」に関する質問項目の結果の比較

(4) 全体的な考察

第1節で述べたように、本研究では、「集団」における共同注視や共同注意のメカニズムの解明、および、コミュニケーションにおけるその効果について実験を通して検証を行った。つまり、本研究では、集団における「視線」と「コミュニケーションの場」に注目し、その際の集団のダイナミクスについて実験をとおして調査を行った。実験の結果、ロボット2体が同調的な身体動作により対話を行った後、人を同時に共同注視した場合、その人の視線を容易に誘導することができ、さらに、その人を「コミュニケーションの場」へ引き込むことが可能であることが明らかとなった。本研究の成果は、近い将来、人とロボットが共生する社会を形成する際に有益な知見となるであろう。

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)

[学会発表](計 8 件)

一條剛志, 棟方渚, 小野哲雄, 複数ロボットの対話活性度を用いた注意誘導システムの研究, HAI シンポジウム 2015, 2015年12月5日~12月6日, 東京大学(東京都).

佐賀圭美, 棟方渚, 小野哲雄, MoMot: 子供の身体上を這ってしつけを支援するロボット, HAI シンポジウム 2015, 2015年12月5日~12月6日, 東京大学(東京都).

川崎賢人, 棟方渚, 小野哲雄, ロボットと幼児の初期的インタラクションにおける仲介者の役割: 幼児の性格特性に応じたロボットのターンテイキング行動選択の効果, HAI シンポジウム 2015, 2015年12月5日~12月6日, 東京大学(東京都).

Nagisa Munekata, Megumi Tsujimoto, Tetsuo Ono, Robot Behavior Control System based on User's Attitude using SCL, The 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN 2015), 2015年8月31日~9月4日, 神戸国際会議場(神戸市).

辻本愛, 棟方渚, 小野哲雄, 異なる性格特性を有するロボットの行動決定が3者間対話に与える影響, HAI シンポジウム 2014, 2014年12月13日~14日, 岐阜大学(岐阜市).

Tamami Saga, Nagisa Munekata, Tetsuo Ono, Daily Support Robots that Move on Me, SIGGRAPH Asia 2014, Emerging Technologies, 2014年12月3日~6日, Shenzhen (China).

Takashi Ichijo, Nagisa Munekata, Tetsuo Ono, Unification of Demonstrative Pronouns in a Small Group Guided by a Robot, 2nd International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2014), 2014年10月28日~10月31日, 筑波大学(つくば市).

Tamami Saga, Nagisa Munekata, Tetsuo Ono, Daily Support Robots that Move on the Body, 2nd International Conference on Human-Agent Interaction (HAI 2014), 2014年10月28日~10月31日, 筑波大学(つくば市).

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小野 哲雄 (ONO, Tetsuo)

北海道大学・大学院情報科学研究科・教授
研究者番号: 40343389