

自者と他者の双方向行動調節による 社会的インタラクションのモデル化

Modeling of social interaction by interactive action adjustment of human and robot

横山 絢美*¹ 岡田 浩之*¹ 大森 隆司*¹ 石川 悟*² 長田 悠吾*³
Ayami Yokoyama Hiroyuki Okada Takashi Oomori Satoru Ishikawa Yugo Nagata

*¹ 玉川大学大学院 *² 北星学園大学 *³ 東京大学大学院
Tamagawa University Hokusei Gakuen University Tokyo University

In everyday life, people are influenced action by other, and also affect on other people. This bidirectional affection process realizes social interaction. This process can be represented in a computational manner in which both of agent have informal model of others predict effect of action by themselves mentally acting on the models, and try to guide internal state of others to desirable states in real world. We call this process an active intentional model of social interaction. Through this study, we aim understanding of cognitive level human behavior by discussing computational framework of the proposed model.

1. はじめに

我々は、日常生活において自分の意思を伝える事で他者を自己の状況に合わせるように変化させ、また他者からの働きかけに対しては柔軟かつ適切な行動を取りながら、常に化する様々な状況に対応している。このように、他者からの働きかけに応え、自らも他者に対して働きかけをするような社会的インタラクションを取ることで、我々は他者との円滑なコミュニケーションを実現している。

図1に、人間とロボットが円滑なコミュニケーションを行う場面を示した。このようなインタラクション場面では、ロボットは人間の意図を読んで行動し、人間もロボットの意図を読んで行動する、といった双方向の意図の推定を含むサイクルが必要であると考え。我々は他者の持つ意図を直接観測して知ることは出来ない。しかし、この意図は人の状態や行動を支配する重要なパラメータであり、私たちは相手の意図を理解すること無しに、観察できる状態や行動の変化からだけでは、他者からの働きかけに対して適切な応答をとることが出来ない。

図1のように、ロボットから人間、人間からロボットという流れでお互いに意図を読み合い、振り舞い合うことは円滑なコミュニケーションの実現に必須であると考え。我々人間は、このような相互に他者の意図を理解する事を日常的に行なっているが、それをロボットが実現するためには、まずその計算モデルを作り、ロボットに実装し、検証していく必要がある。

例えば、人と人が廊下ですれ違う場面を考えた時、我々は他者の行動を観察し、それに応じて自己の行動を決定する。このようにして、他者の一連の行動を観察することで自己の行動を決定するためには、他者はどのような振り舞いをするのだろうと他者の意図を推定する事が必要である。さらに別の状況では、自分は避けずにまっすぐ進むといった行動を明示的に取ることによって相手に避けてもらい、すれ違うという場合もあるだろう。これは自らが相手に対して間接的に働きかけ、相互に意図を理解する典型例である。一般に、このような社会的コミュニケーション場面では、その要素に相手の意図推定が必ず含まれている。

このような「円滑にコミュニケーションを行うロボット」を実現するためには、様々な要素技術が必要になるが、中でもロボット自身が何を目標としていて、それを実現するためにはど

のような方法で取り組むべきかという計画段階において、ロボットが相手の意図を理解する機能が必要不可欠となる。

従来の認知的コミュニケーション研究では、相手の意図を推定する際に、他者の状況や行動に応じて自己の行動を決定するといった、他者から自己へ一方に他者の意図を推定する研究が行われてきた。しかし、これでは他者の意図に応じた行動決定は可能であるが、さらに自分の意思を伝えて他者を自己の目的に合うように行動させるような「社会的振り舞い」の実現は難しい。

そこで、本研究では自己の意図を伝え、他者の意図に影響を与え、それに応じた状態や行動の変化を他者に引き起こさせる事を目的とする。そのため、ロボットと人のインタラクション場面での意図理解に基づいた能動的認知コミュニケーションに必要なメカニズムはどのようなものであるか、その行動決定過程の計算論的モデル化を目指す。

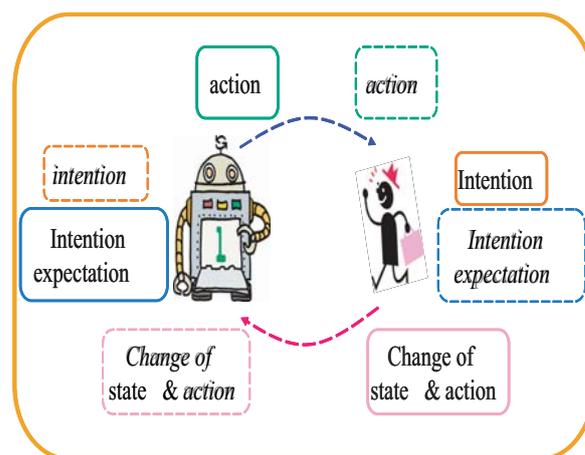


図1: Bidirectional interaction between robot and human

2. 意図推定に基づく行動決定

2.1 他者の行動観察に基づく意図理解

他者の行動を観察し、その意図を理解するとはどういうことなのか。意図とは、ある目標を達成するために組み立てた行動

計画の流れとして捉えることが出来る。そして、この行動計画は目の前にある1つ1つの小さな目標の系列から成り立っている。本論文では、意図の理解を「他者の行動のある大きな(最終的な)目標を達成するための局所的な(サブ)目標の系列の推定」と定義する。しかし、現実には他者の持つ目標系列の全てを推定する事は困難である。そこで、本稿では局所的な(サブ)目標の系列の1つについて他者の目標を推定することをもって意図推定と考える。

一般に他者の状態や行動を観測する事によって得られる情報は、他者が現在どのような状況にいて、どういった行動を取っているというような「状態変化と行動履歴」のみである。一方、先にも述べた通り、意図とは目に見えない他者の内部状態であり、外からの直接観測は出来ない。にもかかわらず、意図は我々の行動を支配する重要なパラメータであり、人は他者の目標推定を日頃から、特に意識することなく、ごく自然に行っている。

では、これを可能にしているメカニズムはどのようなものか。本研究では他者の目標を推定する際に、他者の行動観察から得た情報を自己が目標を達成するために用いる行動決定手法と照らし合わせ、他者の立場にたって「もし自分であればどう行動する」というように置き換えることで可能になると考える。

2.2 受動的な意図理解

人と人のコミュニケーションの場合、人は他者の行動や発話、ジェスチャー等の情報を観察し、自己の持っている経験と照らし合わせる事で他者の意図を推定し、円滑なコミュニケーションを図っている。このような場面をロボットが人間の意図を推定する場面に置き換えて考えた場合、ロボットも人同士のコミュニケーションと同様に、人間の行動を観察することで人の意図を理解し、それに応じた行動を取ることが必要である。

ここで人間は「このような行動を取るといった事は、こういった意図を持っているはずである」というような知識(意図モデル)をあらかじめ持っているため、他者の意図を理解する事が可能であると考えられる。ところが、一般にロボットは人間の状態を観察することは出来ても人間のように意図モデルのようなものを持っていないため、人間の目標、つまり意図を知ることは出来ない。すなわち、ロボットに他者の持つ意図の推定を実現させるためには、意図推定過程の計算モデルを構築することが必要になる。

他者を観察することでその意図を理解する手法は従来から多く研究されている。例えば、協調タスクにおける他者の行動戦略の認識と学習の計算論的モデル化[長田 06]、対話を通じた言語情報と視覚情報を確率的に統合して、相手の意図を読み取る研究[川路 03]、ユーザの視線運動から思考過程を判断し、その意図を解釈する研究[崎田 03]、などがある。

しかし、これらの研究は相手の行動のみの観察と統計的分類に基づいて意図を理解している。よって他者の意図を理解するためには、他者が何か行動を起こすまで待たなければならない。本研究ではこのように他者が何か行動を起こすまで待って、その出てきた行動を観察して意図を一方に理解する仕組みを受動的な意図理解と呼ぶ。

2.3 受動的な意図理解に基づく行動決定の定式化

本節では、受動的な他者の意図の推定過程と行動決定のモデル化を行う。ここで、他者の目標を推定するために環境中から得られる情報(知識)は状態と行動のみである。よって、以下ではこの状態を s 、行動を a とし、達成したい目標(ゴール)を G と表す。これら3つの情報はそれぞれ自己と他者が別々に持っているものである。よって、これらの情報に添え字を付け、それが s であれば自己(self)とし、 o であれば他者(other)のものとする。

さらに、他者がある状態 s にいて行動 a を取る時、目標 G を目指している確率を $P(G | s_o, a_o)$ と表現する。したがって、現在状態においてこの確率が最大であるような目標 G 、すなわち $\operatorname{argmax}_G P(G | s_o, a_o)$ を計算することで、他者の目標は何である

かと推定する事ができる((1)式)。次に、この推定した \tilde{G}_o と自己の状態 s_s 、他者の状態 s_o を合わせて「他者が”あの目標”を狙っているのだから、それとは異なる”別の目標”を自己の目標にしよう」と自分が目指す目標 G_s を決定する((2)式)。このようにして、自己の目標 G_s を定める事が出来れば、後は現在の自己の状態 s_s において目標 G_s に向かうための最良の行動 a_s を決定する事ができる((3)式)。

$$\tilde{G}_o = \operatorname{argmax}_G P(G | s_o, a_o) \quad (1)$$

$$G_s = f(s_s, s_o, \tilde{G}_o) \quad (2)$$

$$a_s = \operatorname{argmax}_a P(a | s_s, G_s) \quad (3)$$

3. 双方向の行動決定モデル

3.1 能動的な意図理解

受動的意図理解では他者の行動観察をベースとしているため、他者の意図を読むためには他者が何か行動を起こすまで待つ必要がある。そして、この行動は自分と他者とのインタラクションにおいてその直前に起こることが多く、結果として他者の意図もその直前にならなければ分からない。ここでもし、自らが早期に何らかの働きかけを他者に向けて起こすことで、他者の反応を早く引き出すことが出来るなら、その反応を観察する事で他者の意図をより早く読むことが出来るだろう。本研究では、このように自らが相手よりも先に行動を起こして意図を理解する仕組みを能動的な意図理解として提案する。

では、他者に対して能動的に働きかけることで他者の意図を理解する仕組みはどのようなものか。その認知コミュニケーションモデルを図2に示す。人間は意図(Intention)を持っているが、これは外から観測することのできない内部状態である。しかし、観測できないにもかかわらずこの意図というのは人間の状態や行動を支配している。そして、この状態や行動は観測することが出来る。そこで、ロボットは先に自分から、人間に対して何かしらの行動を起こすことで相手の意図に働きかける((1)action)。この働きかけは人間の意図に影響を与え((2)),人間の状態や行動の変化を引き起こさせる((3)observation)。そこでロボットは、この引き出した情報を観察し、自分の持っている「このような意図を持っていればこういった行動を示す」というような意図モデルと照らし合わせることで人間の意図を推定し((4)),その推定した意図に基づいて自分の意図を定め、あらかじめ持っている人間の「このような意図ではこういった行動を取る」といった行動予測モデルと照らし合わせることで、余裕を持って行動を決定することが可能となる((5))。そしてまた、ロボットは人間に対して行動を示し、人間に対して働きかけをする。以上のようなサイクルを繰り返すことで、最終的には人間の意図が変化し、それによって人間の状態や行動にも変化が起こる。よって、このような能動的インタラクションでは、こちらからの働きかけ次第で他者が早期に意思を決定出来るように誘導することも可能となる。

本来、能動的意図理解というのは、相手の意図を反映した行動を引き出すための自己の行動であるが、それ自体が結果的に相手を誘導することとなる。

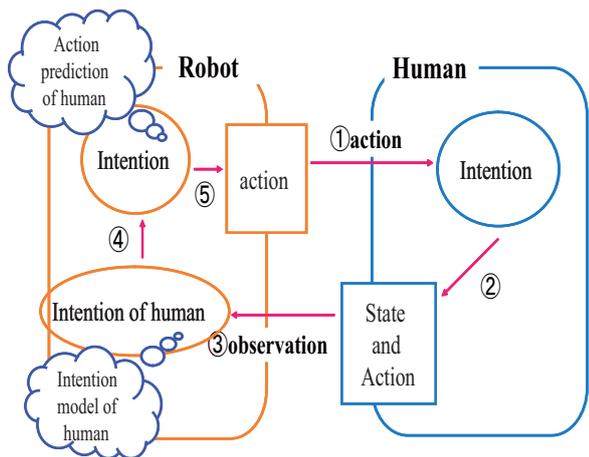


図 2: Conceptual diagram of active intention understanding

3.2 能動的な意図誘導のための行動決定の定式化

能動的な意図理解では、相手よりも先に自分ら行動を起こすため、まず初めに現在の状態 s_t から何を自己の目標 G_s とするのかという事を決定する ((4) 式). すると、この決定した自己の目標 G_s を達成するため、他者に目指して欲しい目標 \tilde{G}_o が定まる ((5) 式). ここで、他者は受動的に相手の意図を理解するものを想定する. そこで、他者に対して自己の目標 G_s は何であるという事を明示的に示すように自己の行動 a_s を決定する. そうすると、他者がこちら側の意図を推定し、異なる目標を目指してくれる. つまり、自己の行動 a_s は、他者がこちら側の目標 G_s を推定する際の情報源であり、自己の行動 a_s の取り方は他者の内部における計算過程 (1) 式に影響を与える事ができる. よって、自己の行動 a_s を決定する場合には、自己の目標 G_s を達成するために最適な行動を取るのではなく、自分は「 \tilde{G}_o ではなく G_s を目指している」ということがはっきりと分かるような行動を取る必要がある. 以上の事をふまえ、自己の行動 a_s を決定する (6) 式においては、現在状態 s_t で行動 a_s を取った時に、目指している目標が G_s である確率と \tilde{G}_o である確率の差 $P(G_s|s_t, a_s) - P(\tilde{G}_o|s_t, a_s)$ が最大になるような a_s を決定する.

$$G_s = \operatorname{argmax}_G P(G|s_t, a_s) \quad (4)$$

$$\tilde{G}_o = g(s_o, s_t, G_s) \quad (5)$$

$$a_s = \operatorname{argmax}_a (P(G_s|s_t, a_s) - P(\tilde{G}_o|s_t, a_s)) \quad (6)$$

4. 計算機シミュレーション

4.1 タスク設定

このモデルの動作を検証するために、Hunter Game による計算機シミュレーションを実験中である. タスクは、2 体のハンターが互いに別々の獲物を獲得するというハンター課題である [長田 06]. シミュレーション環境は図 3 のようなグリッド上のトラス空間で、環境中には 2 体のハンター (図中 (HunterA と HunterB)) と区別可能な獲物 2 体 (図中 (Prey1 と Prey2)) が存在する. ここで、あるハンターにとって、もう一方のハンターがこの環境中の「他者」である. ハンターは上下左右に他者の行動を観察しながら進み (1 マス/1step), 獲物はランダムに環境中を上下左右に進む (1 マス/1step). ハンターは獲物と同一マスで重なることで、獲物を捕まえることができる.

このシミュレーションでは Task1, Task2 を設定する. Task1 は、1 体のハンターがもう一方のハンター、つまり「他者」がどこにいて、どのような行動を取っているだろうというように、他者の行動を観察し、その得た情報から他者は Prey 1 と Prey2 のどちらを狙っているのだろうと推定する. そして、自分はこの推定した獲物とは別の獲物を狙うことで他者との円滑なコミュニケーションを実現しようとする. ここで、我々はこの円滑さを互いに別々の獲物を捕獲するまでに要したステップ数によって評価する. つまり、ステップ数が少なければ、ハンターは互いに異なる獲物を選択し、それぞれの目指す目標に向かってスムーズに進むことが可能であったと判断できる. また、Task1 において自己は、他者の行動を観察することで他者の獲物を推定し、その情報を基に自己の獲物を決定し、その獲物を目指さすというような受動的立場を取っている.

一方、Task2 では、他者の行動を観察するよりも先に、まず自己はどの獲物を捕獲したい. という事を明示する行動を取り、他者に対して明示的に自己の目標を示すことで、他者が別の獲物を狙うように誘導する. よって、Task2 ではより早くこちらの意図を理解し、自己の狙うべき獲物を決定する事ができ、より円滑なコミュニケーションが実現出来る事が期待出来る.

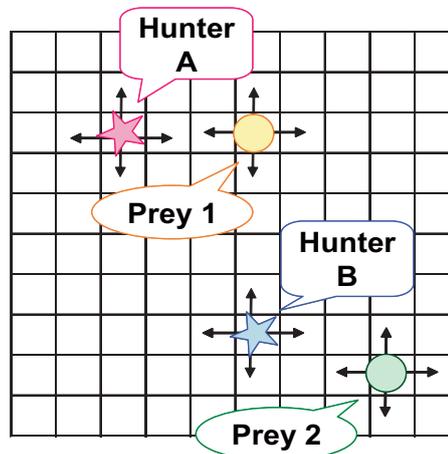


図 3: Hunter Task

5. まとめ

他者の意図理解には、従来から多く研究されている相手の行動観察をベースとした受動的なもの、本稿で提案した、相手よりも先に行動を起こすことで相手の反応を見るといった能動的なものの 2 通りの手法があると考えられる. 我々は日常生活において、自分の意思を上手く他者に伝え、他者を自己の目的に合うように誘導したり、他者からの働きかけに対しては、柔軟かつ適切な行動を取る事で、常に化する様々な状況に対応している.

このような、自己と他者が互いに働きかける双方向の社会的インタラクション場面は、お互いに他者のモデルを持ち、それに対して心的な働きかけをすることで他者の状態を自己の目的に合うように誘導しようとする計算過程として表すことが出来る. 我々はこれを能動的な他者意図理解とし、これにより円滑なコミュニケーションが実現できると考える. そして、このような、認知レベルでの人間の理解を目指して、この能動的な他者意図理解の計算論的な枠組みを提案し、その実現性について議論した.

本稿では人とロボットのインタラクションを廊下でのすれ違いや Hunter Game のような協調的な場面に限定して定式化および計算機シミュレーションを行った。今後の課題としては人とロボットが競合的な目標を持つ場合や、複数のエージェント間での複雑なコミュニケーションの定式化が挙げられる。

現在、この提案モデルは計算機シミュレーションで評価・検証中であり、より詳細なシミュレーションの結果については講演会で報告する。

参考文献

- [Tohyama03] Tohyama S, Omori T, Oka N, Morikawa K: Identification and learning of other's action strategies in cooperative task, Proc. of 8-th International Conference on Artificial Life and Robotics, p40-43(2003).
- [長田 06] 長田悠吾, 石川悟, 大森隆司, 森川幸治: 他者意図の推定に基づく協調行動の計算モデル化, 第 20 回人工知能学会全国大会, 1B4-2(2006).
- [河又 06] 河又輝泰, 高橋泰岳, 田村豊武, 浅田稔: 自己の状態価値に基づく他者意図推定, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2P1-B07(2006).
- [川路 03] 川路友博, 岡田慧, 稲邑哲也, 稲葉雅幸, 井上博充: 対話を通じた言語情報と視覚情報の確率的統合による意図解釈, 第 21 回日本ロボット学会学術講演会, 2A18(2003).
- [崎田 03] 崎田健二, 小川原光一, 高松淳, 木村浩, 池内克史: 視線を利用した人間とロボットの協調作業, 第 21 回日本ロボット学会学術講演会 (2003).
- [小林 05] 小林一樹, 山田誠二: ユーザにロボットの機能を気づかせるインタラクション設計, 第 19 回人工知能学会全国大会, 3B2-02(2005).
- [Baron-Cohen95] Baron-Cohen, S.: Mindblindness: An Essay on Autism and Theory of Mind, MIT Press (1995).
- [M.F.Vargas87] Marjorie Fink Vargas, 石丸正訳: “非言語(ノンバーバル)コミュニケーション”, 新潮選書 (1987).
- [小林 94] 小林, 原, 内田, 大野: “アクティブ・ヒューマンインタフェース・ロボット(AHI)のための顔ロボットの研究? 顔ロボットの機構と 6 基本表情の表出”, 日本ロボット学会誌, Vol.12, No.1, pp155-163 (1994).
- [畠山 02] 畠山誠, 西田豊明: ロボットによる身体動作表現を用いたコミュニケーションの実現”, 第 16 回人工知能学会全国大会 (2002).
- [畑田 03] 畑田寛久, 畠山誠, 西田豊明: ロボットと人とのコミュニケーションの誘進的確立, 第 17 回人工知能学会全国大会, 1D1-06(2003).