

人-ロボット多体間の相互意図伝達による文脈適応的な身体模倣の実現

Implementation of Context-Adaptive Physical Imitation between Humans and Robots

兼古 哲也*¹ 棟方 渚*¹ 小野 哲雄*¹
Tetsuya Kaneko Nagisa Munekata Tetsuo Ono

*¹北海道大学情報科学研究科複合情報学専攻混沌系工学研究室
Graduate School of Information Science and Technology, Hokkaido University

In this paper we propose a model of context-adaptive imitation between multi-human and multi-robot. In this model, first, a humanoid robot extracts human's intention from his/her behaviors, utterances, and situations. Secondly, the robot communicates this intention not only to other robots through a network, but also to humans through the robot's body expressions. Thirdly, the robot who received the intention generates context-adaptive behaviors according to the situation. We implemented this robot system for a guided task for visitors using the architecture of situated modules. We discuss the validity and availability of the proposed model using the case-study of the guided task by the implemented robot system.

1. はじめに

「人間社会に適応するロボットを創りたい」という強い思いを持つロボット研究者は多く、近年様々な形態のロボットが開発されるようになってきた。その過程で、人間の知能や発達のモデルを構築し、ロボットに適用することでより人間社会に適応するようなロボットの設計が目指されてきた [1]。しかし、従来の人工知能では限定的な空間でしかその能力を発揮することができなかった。そのため、我々が持つ何気ない知能や賢さ、人間の身体性に関心が寄せられ始めている。そのような背景を受け、近年ロボティクスでは ASIMO や wakamaru をはじめとした腕や頭部等の物理的身体を持ち、人間のように実空間を移動するコミュニケーションロボットの研究が盛んに行われている [2]。ロボットが擬人化した身体を持つ意義として、人間社会への適応が挙げられる。Brooks はロボットが人間型の身体を持つことで、人間のためにデザインされた環境を共有しながら人間をサポートし、豊かな非言語情報による自然で円滑な対話を可能にすると述べている [3]。

また、坂本らは、人とロボットの三者関係によってバランス理論が成立することを示し、ロボットが社会的存在として一人の人間だけではなく人間関係にも影響を与える可能性を示唆した [4]。つまり、ロボットの振る舞いを人間社会に適応するようにデザインする必要がある、ロボットが環境に適した社会性や社会的スキルを身につけることが望ましいと言える。

そこで、社会的なメディアであるロボットの設計において従来のメディアとは違ったアプローチをとる必要があるだろう。従来のメディアデザインでは人間工学や認知工学に基づいて人工物を人間に適応させることを主目的としていた。しかし、我々は人とロボットが友好的な関係を築く上で、ロボットが人間に対して一方的に適応する図式だけでは不十分であると考えられる。植田らは相互適応学習を通じて二者がスムーズな関係を成立させることを示した実験から、人と人工物（ペット）もお互いが適応し合う形で、共発達が進む可能性についても言及している [5]。このことから、二者間の相互適応現象は Human-Agent Interaction 技術を考える上でも重要になって

くると考えられる。

また、駒込らは相互適応から得られる適応的な知識や方法論を共有した、ロボットによる集合知の実現を目指し、ミームを用いた伝搬モデルを示した [6]。しかしこのモデルではロボットから人への伝搬モデル以外は定義されておらず、本研究の目的である人ロボット多体間模倣には不十分である。

人は模倣を行うとき、相手の意図を自分なりに推測して行動をしている。我々は人間のこの特性に着目し、駒込らの研究を参考に、模倣の媒体をミームからインテンションに置き換えてシステムを構築した。ミームではなくインテンションを用いたのは、このシステムの使用例として文脈適応的な模倣を用いたタスク実行を想定しているため、媒体が明確な表現をできるものである必要があったからである。

もちろんロボットにはインテンションを推測する機能はないが、それを補完するのが今回研究を行ったシステムである。そしてこのシステムを実装することにより、人間同士が模倣を行っている際にやり取りしているインテンションをロボットも受け取ることが可能となり、人間同士の模倣を拡張する形で人のロボット多体間模倣の実現できると考えた。

2. インテンションと模倣

本章では、我々の提案するロボットシステムの核心である模倣の伝搬、及びその媒体として定義したインテンションについて論じる。

人はロボットの行動にインテンションを見だしそれを模倣することはあり得るのか。人間同士に限っていえば日常的なコミュニケーションにおける模倣は、人の模倣能力が大きな役割を果たしているが、必ずしも意識的に模倣しているとは限らない。例えば、挨拶の仕方や敬語の使い方などのコミュニケーションスキルをはじめ、他者の鼻歌や口癖がいつの間にか自分自身にうつってしまっていることにもふと気づいた経験がある人も多いだろう。このような無自覚な模倣については過去の研究から直接的対話による人—ロボットの同調動作が確認されている [7]。

では、人が人以外のモノの意図を理解して模倣することがあり得るのだろうか。例えば、人はペットや動物の物まねをする。しかし、それらは動物の身体動作の形態を模倣したのであって、そ

連絡先: 兼古 哲也, kaneko@complex.ist.hokudai.ac.jp, 棟方 渚, munekata@complex.ist.hokudai.ac.jp, 小野 哲雄, tono@complex.ist.hokudai.ac.jp

の動作の意図までを汲み取ってはいないと考えられる。Meltzoff は生後 18 ヶ月の幼児が単純な構造のアームロボットの動作の意図を理解し模倣するかどうかを検証する実験を行った。その結果、模倣対象が人だと行為の意図を理解し模倣するが、アームロボットだと模倣しないことが分かった [8]。しかし、コミュニケーションロボットはより擬人化された身体を有している。そのため、ロボットの外観が表現している情報量が増えることで、人はロボットの意図を理解し、模倣すると考える。

2.1 模倣

ロボットに模倣をさせようという試みは多々あるが、現在までに人ロボット多体間の模倣を実現した例は存在しない。本研究では人同士の多体間模倣が成り立っている状況にロボットも一構成員として参加させるというアプローチで実現を目指した。

ロボットにおける模倣の分類については國吉らが認知心理学等の知見をもとに機能構成図の提案を行っている。國吉らはこの中で被模倣者の行為のどの範囲に注目し再現しているかの違いにより模倣を分類している [9]。

一般に模倣とは多様な定義が存在するが、我々は國吉らの研究を参考にして以下のように定義する。

表層模倣

リアルタイムで身体動作データを取得し、そのデータをロボットに送ることにより模倣動作を直接的に実現することができる。本論文ではこのような模倣を表層模倣と呼ぶ。一般に模倣はここで述べられているほど単純なメカニズムではない。

関係模倣

人間とロボット間の模倣を考えたとき、自由度の違いという問題がある。自由度に違いがある場合表層模倣は不可能であり、情報を解釈した上でロボットシステムへ情報を送る必要がある。本論文ではこのような模倣を関係模倣とよぶ。

文脈模倣

人間の行動や周囲の状況からインテンションを推測することで、人間の動きではなく行動を模倣することができる。本論文ではこれを文脈模倣とよぶ。

本来は表層模倣から順を追って実装していくべきであるが、本論文では表層模倣、関係模倣は特に論じず文脈模倣についてのみ詳述する。

2.2 インテンション

本論文ではインテンションとは模倣の媒介を行う媒体であると定義している。人間の意図をどのように表すかについては多様な研究がなされているが、本研究ではロボットで利用することを前提として人間の意図のうち明文化可能な物だけとした。英文法に例えると、SVO の三つないし、SVOO の四つの変数に分解可能な人間の意思であると定義している。このように定義することで明文化できない様な人間の思考についてはロボットに扱わせる必要がなくなりシステムが簡略化できるとともにインテンションの誤認識率の低下が期待できる。

2.3 模倣の伝達

人間同士での多体間での模倣の伝搬は日常的に行われているが、その輪の中にロボットを参加させるのは甚だ困難である。

人間は何故そのようなことが可能なのであろうか。それは人間が五感からの情報をもとに相手のインテンションを推測す

る回路を持っており、そのインテンションに沿った行動を行えるからである。

そこで我々はロボットにもインテンションを処理する回路を備えさせることによって、人間同士での多体間での模倣の伝搬の輪の中に参加させられるのではないかと考え、実装を目指した。

3. モデルとシステム

本章では今回構築したシステム及びモデルについて解説する。

3.1 模倣の伝達モデル

本節では本システムにおける模倣の伝達を 3 つの部分に分けて以下の流れで述べる。

人からロボットへ

まず対象の人間の動作や発声等のビヘイビアをセンサーシステムから取り込む。そのビヘイビアはどのようなシチュエーションのもとで行われたかを判断する。ビヘイビアとシチュエーションの組み合わせから、人間のインテンションの推測を行う。このような過程でインテンションの伝達はなされる。

ロボットからロボットへ

ロボットと人間では身体性に多くの違いがある。中でも意思の疎通においてはそれが顕著であり、ロボット同士であれば TCP/IP などを用いることで齟齬の生じ得ない伝達が可能である。以上の理由からロボット間のインテンションの伝達はビヘイビアを観察する方式をとらず、通信によって直接インテンションを送信することによってなされる。この仕組みによって人間では難しい、複数の個体を一斉に同じインテンションで作業に従事させることができる。

ロボットから人へ

ロボットはあらかじめ何らかのインテンションを持っているとする。ロボットは現在のシチュエーションのもとで、そのインテンションを表現するにはどのようなビヘイビアを選択すべきか判断する。人間はそのロボットのビヘイビアを観察することによってインテンションを推測する。

3.2 Imitation System by Intermediate Intention

つづいてこのモデルに基づき構築した Imitation System by Intermediate Intention (I3 System) を示す。

この I3 System を実装することにより、ロボットもインテンションに対する I/O を持つことができる。I3 System は大きく分けて三つに分かれている (図 1)。

3.2.1 Sensor System

Motion Capture System では人間の Behavior を受け取り、ロボットの利用可能な形の Behavior に変換している。

このシステムの大部分は KINECT センサーによって実現されている。KINECT センサーの Skeleton Capture によって各関節の三次元座標を得ることができるので、それを各関節を結ぶベクトル間の極座標に変換している。現在は動作のみを扱っているが人間の発話等もこの部分で扱う。

Imitation System by Intermediate Intention

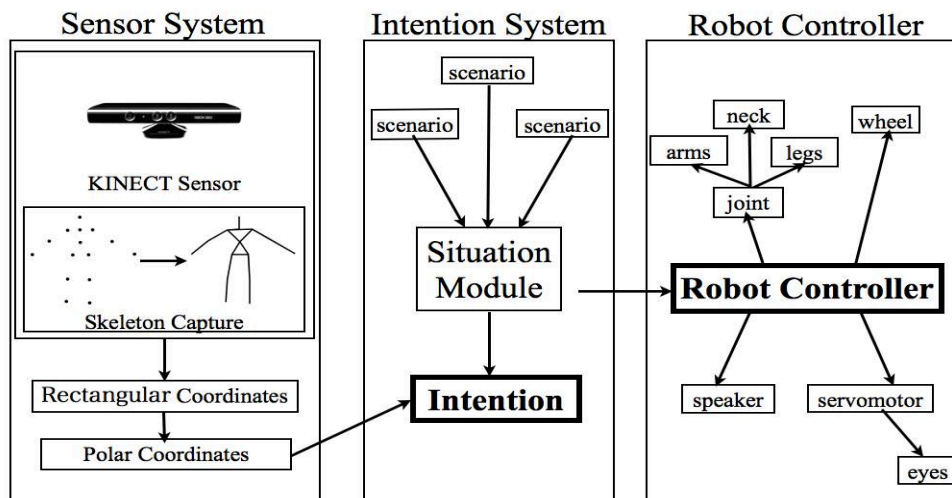


図 1: Overview of I3 System

3.2.2 Intention System

Intention System においてはシチュエーションおよび Motion Capture System から得たビヘイビアをもとに行為者のインテンションを推測し, Robot Controller に送信する. 本システムではシチュエーションおよびビヘイビアが与えられれば行為者のインテンションは推測が可能であると考え, 自動的に推測するのが困難であるシチュエーションを今回は以下の様な仕組みで実装した

Situation Module

このモジュールでは現在のシチュエーションを特定する役割を担っている.

シナリオとは被模倣者のビヘイビアと周辺環境からインテンションを導出, 及びインテンションから模倣者のビヘイビアを導出するためのベイジアンネットワークである. インテンションとシナリオを特定することで実際の動作を実行できる. シナリオの具体例としては積載, 前進, 指差し確認など具体的な行動である.

シチュエーションとはシナリオの集合である. 各種入力やシナリオからの出力に基づきベイジアンネットワークを用いてシナリオを遷移させることで, そのシチュエーション下で起こりうるタスクを実行できる. シチュエーションの具体例は運搬作業, 受付作業などの抽象的で前述したシナリオを内包する物である.

シチュエーションモジュールとは複数のシチュエーションの集合であり, 各種入力や出力に基づきベイジアンネットワークを用いてシチュエーションを遷移させることでよりダイナミックなモードの変更が可能となり, 文脈適応的でありながらも作り込みのように違和感のない行動をとらせることができる.

現在のところはこのようないわゆる大局的な文脈をロボットに理解させるのは困難であり, このレイヤーのみ人間によって選択されている. しかし人間がシチュエーションを定めることによってロボットが自立的に状況に即した稼働が可能になるということは十分に実用的であると言える.

3.2.3 Robot Controller

Robot Controller では Intention System で生成されたインテンションを入力とし, ロボットに行為者のインテンションにそった行動をさせる. インテンションをビヘイビアに変換するにはシチュエーションモジュールによって決定したシナリオのベイジアンネットワークによって決定される.

3.3 ベイジアンネットワークの役割

本システムではシチュエーションモジュールの一部に, ベイジアンネットワークを使用している. 使用目的は入力不完全な状態でのシチュエーションの推定機能の強化および, 柔軟性の獲得である.

例えばシナリオが「一号室へ案内する」という状態で「人が来た」という入力を受け取った場合, 「左に案内する」という出力を得る. しかし「左の道は通行不能」という入力を事前に受け取った場合はロボットは「右に案内する」という異なった出力を得る. 更に, 入力にある程度の欠損があってもベイジアンネットワークの特性として出力を選択することができる.

4. 適用例

我々は I3 System の適用例として以下の様な物を考えている

4.1 例 1

4.1.1 概要

この例では I3 System の最も基本であるインテンションに従った文脈模倣ができていないか検証する.

4.1.2 実験の流れ

被験者はフロアに到着すると実験協力者から道案内を受ける. 案内に従って歩いていくと, 途中出会ったロボットも案内をしてくれる. それらのロボットはインテンションに基づいて, それぞれの位置に応じたビヘイビアを行っており, 我々はこれを文脈適応的な物であると考えている.

4.1.3 内部状態

はじめに二台のロボットはセンサー経由で実験協力者が被験者に身振りを交えて道順を案内する様子を観察し、ビヘイビアを取り出す。Situation Moduleの現在の内部状態に基づきインテンションが推測される。二台のロボットは被験者がやってきたという入力を受け取ると、それに応じてSituation Moduleで内部状態の遷移が行われる。そして、それぞれのSituation Moduleの内部状態に従ってインテンションからビヘイビアを作り出す。そのビヘイビアを実行することで実験協力者を文脈模倣し、現在位置に応じた案内を行う。

4.2 例2

4.2.1 概要

この例ではインテンションの優先順位の判断ができるかと、ロボットが一台いなくなるという文脈の変化に適応できるかを検証する。

4.2.2 実験の流れ

適用例1を実行している最中、ロボットAが荷物を運ぶのに苦労している老人を認識する。ロボットAはその老人を介助するために離脱し、ロボットBはフォローに回る。

ロボットAにおいては実験協力者の視点から見て優先順位の判断を行い、違うタスクに移行することが文脈適応的である。ロボットBにおいてはロボットAの離脱に対応してタスクを修正することが文脈適応的である。

4.2.3 内部状態

適用例1を実行している最中、ロボットAが荷物を運ぶのに苦労している老人を認識する。その情報を入力によってロボットAのSituation Moduleの内部情報は遷移し、老人のインテンションの方が優先度が高いと判断し、介助作業というシチュエーションを選択する。そしてロボットAは老人のインテンションを推測し作業を始める。ロボットBはロボットAが離脱したという情報を受け、Situation Moduleの内部情報は遷移し、単機での案内というSituationを選択する。そのロボットはシチュエーションにしたがって単機で案内が可能な地点に移動し案内を継続する。

4.3 例3

4.3.1 概要

この例ではインテンションの発信源が消失しても文脈模倣を継続できるかを検証する。

4.3.2 実験の流れ

適用例2の状況中、実験協力者もいなくなる。ロボットBは案内を継続すべきだと判断して一人で案内を継続する。ロボットBは実験協力者の案内を続けたいというインテンションを推測して、状況が変化してもタスクを継続することが文脈適応的である。

4.3.3 内部状態

適用例2を実行している最中、実験協力者は別の用事で去ってしまう。ロボットBは実験協力者が離脱したという情報を受け、Situation Moduleの内部情報は遷移し、文脈模倣を継続すると判断して実験協力者がもともといた位置に移動し実験協力者がとっていた行動をとる。

5. おわりに

本稿において、我々はロボットに人口ロボット多体間での文脈適応的な模倣を行う能力を獲得させることを目指してシステムの開発を行った。このシステムを用いることでシチュエーションが適切に判断されている場合においては文脈適応的な模倣

が可能であるという例を示した。今後の研究でシチュエーションの推定機能が向上することによって、より汎用性の向上が見込まれる結果となった。今後の課題としては前述のシチュエーション推定機能の強化、シチュエーション数の増加、入力として扱える情報の増加等が上げられる。

参考文献

- [1] 瀬名秀明, 他, 知能の謎, けいはんな社会的知能発生研究会(編), (社) 講談社, 東京, 2004.
- [2] 井上博允, 金出武雄, 安西祐一郎, 瀬名秀明, ロボット学創成, (社) 岩波書店, 東京, 2004.
- [3] R. A. Brooks, ROBOT, Penguin Press Science, 2003.
- [4] D. Sakamoto, T. Ono, "Impact Evaluation of the Robots' Sociability on the Impression Formation between Humans", Journal of Human Interface Society, Vol.8, No.3, pp.61-70, 2006.
- [5] K. Ueda, T. Komatsu, "Constitution theory of co-development", Origin of intelligent emergence, eds. H. Suzuki, pp.179-203, Ohm-sha, 2006.
- [6] Daisuke Komagome, Michio Suzuki, Tetsuo Ono and Seiji Yamada, "RobotMeme A Proposal of Human-Robot Mimetic Mutual Adaptation", 16th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication.
- [7] Takayuki Kanda, Masayuki Kamasima, Michita Imai, Tetsuo Ono, Daisuke Sakamoto, Hiroshi Ishiguro, Yui-tirou Anzai, "Embodied cooperative behavior for a humanoid robot that communicate with humans", Journal of Robotics Society of Japan, Vol.23, No.7, pp.898-909, (2005).
- [8] Meltzoff, A., N.: Understanding the Intentions of Others: Re-Enactment of Intended Acts by 18-Month-Old Children, In Developmental Psychology, Vol.31, No.5, pp.838-850, (1995).
- [9] Yasuo Kuniyoshi, "Robot imitation and developmental constructivist", Journal of the Society of Biomechanisms, Vol.29, No.1, pp.20-25, (2005). In Japanese