

自己身体モデルの投影に基づく模倣行為中における他者の発見

横矢 龍之介[†] 尾形 哲也[‡] 谷 淳^{*} 駒谷 和範[‡] 奥乃 博[‡]

[†] 京都大学工学部情報学科 [‡] 京都大学大学院情報学研究科知能情報学専攻 ^{*} 理化学研究所脳科学総合研究センター

1. はじめに

生物などの個体が実環境に適応するためには、これを取り巻く環境変化を効果的に予測することが必要不可欠である。このためには、学習等により環境のダイナミクスをモデル化する必要があるが、実環境は極めて多様な動的特性を有するため、その全てを個体内部にバラバラに保持することは効率的ではない。

個体は元々、自らの内部にその行為生成の為にダイナミクスモデルを有している。牧野ら [2] も指摘しているように、もし外部環境が、個体自身の内部モデルに類似した特性を部分的にでも有しているならば、このモデルを環境に投影して予測に再利用することで、効率的に多様な環境モデルを保持できると期待される。外部環境から、個体自身のモデルと同等な特性を有している別個体を発見した場合に、それが「自分と似ている」他者として認識され、ひいてはコミュニケーションへと繋がっていくのではないかと考えられる。

ところで我々人間は、幼児期において主に親とのコミュニケーションを通じて、自己と他者の認識を獲得する。その過程における模倣行為や、玩具や対象物を媒介にした自己-対象-他者の三項関係が、他者理解の能力を示すものであると言われている。幼児期における初期の模倣行為に関しては、幼児を親が真似する逆模倣によって成り立っているといった報告も成されている [1]。

本稿では環境理解モデルの構築を目的として、人型ロボットによる他者発見のモデルを紹介する。人間の幼児期における初期模倣と自己-対象-他者の三項関係に着目し、物体操作とその模倣をタスクとして設定する。本モデルでは、ロボットにある物体操作モデルを獲得させた後、それを再利用して別の主体による物体操作を予測することで、その操作主体(他者)の位置を推定する。

2. 学習モデル

我々は、谷ら [3] によって提唱された Recurrent Neural Network with Parametric Bias (RNNPB) をロボットの自己モデルとして学習に用いる。RNNPB は再帰結合を持つため非線形な時系列パターンを学習することができ、パラメータ値を変更することで1つのRNNPBに複数のパターンを埋めこむことができる。また、汎化能力を有するといった利点がある。

自己モデルを他者に投影する際に、主観的情報 I_s と客観的情報 I_o のデータ変換が必要となる。そこで、RNNPBの入出力部分にデータ変換用の階層型ニューラルネットを付加することで、自己モデルの投影を行う(図1参照)。

以下、RNNPB 単体を「自己モデル」、データ変換用のニューラルネットの入力部及び出力部の組を「変換モジュール」と呼び、自己モデルに変換モジュールを付加したものを「投影モデル」と呼ぶことにする。

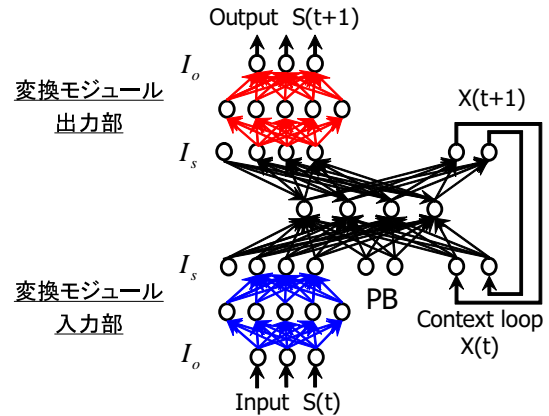


図 1: 投影モデル

3. 他者発見システム

3.1 ヒューマノイドロボット Robovie-III

本研究のテストベッドとして、ATR 製の Robovie に改造を加えた Robovie-III を用いる。頭部にモーター 3 自由度、腕部にモーター 4 自由度を有する。センサーとして、頭部に CCD カメラを搭載している。

3.2 データ取得システム

特徴抽出部では、画像データから、物体と机の色の差を利用して物体の青色・赤色部重心位置 (x, y) (次元 $\times 2$) を推定する。物体の重心位置は、カメラ画像での座標系を用いる。上記のカメラデータ及びモーターデータ(腕のポテンシオメータ値 2 次元)を、各データの最小値・最大値により正規化を行う。これらの各特徴量を同期させ、自己モデル及び投影モデルへの入力信号として 20 ステップ (400ms/step) の 6 次元ベクトルを得る。

3.3 他者発見手法

本手法は学習・観察・他者発見の 3 フェーズからなり、概要は以下の通りである(図2参照)。

1. 学習(自己モデルの構成)

ロボット自ら能動的に物体操作を行うことでデータを取得し、自己モデルの重みを学習させる。ここで、自己の動作と物体の挙動を結び付ける。

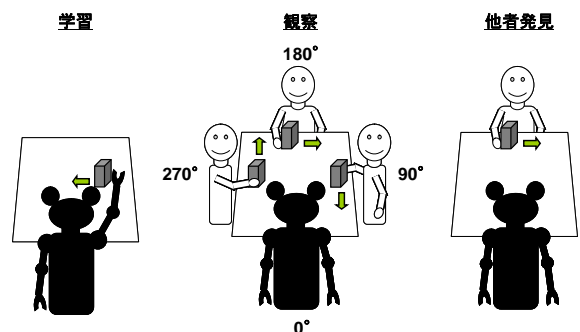


図 2: 他者発見プロセス

Detection of others through imitation by projecting self-body-model: Ryunosuke Yokoya, Tetsuya Ogata, Jun Tani, Kazunori Komatani, and Hiroshi G. Okuno

2. 観察 (変換モジュールの構成)

他者による模倣行為をロボットが観察し、データを取得する。ただし他者の動きではなく、操作対象である物体の挙動のみに着目する。投影モデル中の自己モデルの重みを固定し、観察した物体の挙動を予測できるよう変換モジュールの重みのみを学習させる。ここで自己モデルに入力するPB値は、学習時に得られた同一操作に対応するPB値である。他者の複数の位置における物体操作をロボットが観察することで、それぞれの位置に対する変換モジュールを構成する。

3. 他者発見 (変換モジュールの選択)

ある位置で他者が行う模倣行為をロボットが観察し、データを取得する。得られたデータを投影モデルに入力することで物体の挙動の予測を行い、よりよく予測を行う変換モジュールを選択することで他者の位置を推定する。

4. 他者発見実験

4.1 実験タスク

卓上物体の移動をタスクとする。操作対象とする物体は、上部を青色と赤色の二色に分けた箱型物体である。ロボットによる操作は、自身の左腕を用いて行う(図3参照)。表1の操作1~6を学習時に、操作1を観察時及び他者発見時に用いる。

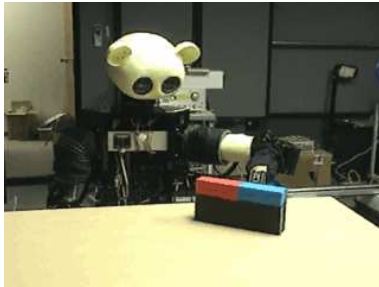


図3: 実験風景

表1: 物体操作

	移動方向
操作1	左→右
2	右回転
3	左回転(右押し)
4	左回転(左引き)
5	右回転+左→右
6	手前→奥

4.2 実験方法

まず、表1の操作1~6の6パターンについて、意図する物体操作となるようプログラムしたモーションをロボットが生成し、データを取得する。取得されたデータから自己モデル(入出力層数:6, 中間層数:25, コンテキスト層数:15, PB層数:2)を20万回学習させる。

次に、人間がロボットの位置から反時計回りに 0° 、 90° 、 180° 、 270° の、4種類の位置において操作1を行う。その様子をロボットが観察し、各位置についての変換モジュール(入出力層数:4, 中間層数:4) M_0 、 M_{90} 、 M_{180} 、 M_{270} の4種類をそれぞれ10万回学習させる。ただし、変換を行うデータは画像データ4次元のみである。

最後に、上記4種類の位置で人間が操作1を行い、観察時に構成したモジュールのうち、よりよく動作予測を行うものを選択することで人間の位置を推定する。

4.3 実験結果

変換モジュール M_0 、 M_{90} 、 M_{180} 、 M_{270} を用いた投影モデルによる出力値の平均二乗誤差をそれぞれ e_0 、 e_{90} 、 e_{180} 、 e_{270} とする。他者発見フェーズにおいて得られたデータについて、それぞれ式(1)により L_i を計算し、その値が最大となる方向を人間の位置として選択する。

$$L_i = \frac{\frac{1}{e_i}}{\frac{1}{e_0} + \frac{1}{e_{90}} + \frac{1}{e_{180}} + \frac{1}{e_{270}}} \quad (i = 0, 90, 180, 270) \quad (1)$$

位置 0° 、 90° 、 180° 、 270° のデータそれぞれについて得られた L_i の値を図4に示す。図4より、人間の位置が正しく推定されていることが確認できる。

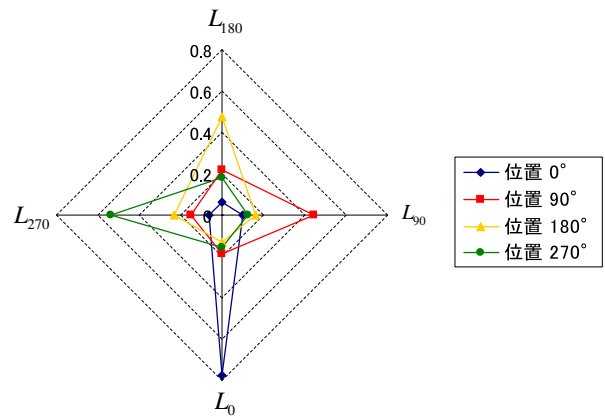


図4: 実験結果

4.4 考察

他者の内部モデルを獲得する際にRNNPBを用いて一から学習した場合、学習させるパラメータ(重み)の数は1100となる。一方、本手法で自己モデルを投影した場合は、変換モジュールのパラメータ数64の学習で済むことになる。以上より、自己モデルを利用して他者の動作を予測することで、学習のコストが削減されていると言える。

5. おわりに

本稿では、ロボットの自己モデル(RNNPB)を利用して他者による物体操作を予測し、主観的情報と客観的情報の変換モジュールを学習させることで、自己と同等のモデルを有する他者を発見する手法を提案した。

謝辞 本研究は科研費若手研究A(No. 17680017) 栢森情報科学振興財団設立10周年記念特別研究助成、理研の支援を受けた。

参考文献

- [1] Susan Jones. Infants learn to imitate by being imitated. In *Proc. IEEE/RSJ International Conference on Development and Learning (ICDL-2006)*, 2006.
- [2] T. Makino and K. Aihara. Self-observation principle for estimating the other's internal state. In *Mathematical Engineering Technical Reports METR 2003-36*, the University of Tokyo, 2003.
- [3] Jun Tani and Masato Ito. Self-organization of behavioral primitives as multiple attractor dynamics: A robot experiment. In *IEEE Trans. on Systems, Man, and Cybernetics Part A: Systems and Humans*, Vol.33, No.4, pp. 481-488, 2003.