

随伴性を持つロボットの振る舞い統合手法

滝本 佑介¹ 長谷川 孔明¹ 今井 倫太¹
Yusuke Takimoto¹ Komei Hasegawa¹ Michita Imai¹

¹ 慶應義塾大学

¹ Keio University

1 はじめに

ロボットが人間と自然なコミュニケーションを行うためには、人間に違和感を感じさせない振る舞いを行う必要がある。そのためには事前に設計された固定の動きをするのではなく、人間の動作などの外界からの刺激に対して即座に反応し、適切な行動をすることが求められる。周囲の変化に対して即座に反応する行動は随伴性行動（または今性のある行動）と呼ばれ、人間は随伴性を持つロボットに積極的に関わろうとする傾向がある [1][2]。本研究では随伴性行動の生成に取り組む (図 1)。

ロボットの随伴性行動として、人間の動作を模倣した動きを取り入れる研究が行われている。Schulz らは目と頭に着目し、人間の生理的な動作を模倣する Humotion フレームワークを提案した [3]。また随伴性行動を生成するモデルとして、Sumioka らは振る舞いの中から適切なものを選択するモデルを提案した [4]。

しかし Humotion フレームワークでは、行動生成モデルが生起する振る舞いを内包する形になっているため複雑で、振る舞いの変更が困難であるという問題点がある。一方で Sumioka らのシステムでは、複雑な随伴性行動を表現するだけの表現力がない。

本研究では、随伴性を持つロボットの設計難易度を下げることが目的として従来の行動生成モデルを整理し、独立に設計された振る舞いを統合することで随伴性行動を生成するアーキテクチャを提案する。また、提案する統合手法が随伴性行動の生成に表現力の点で最低限必要であることを実験により示す。

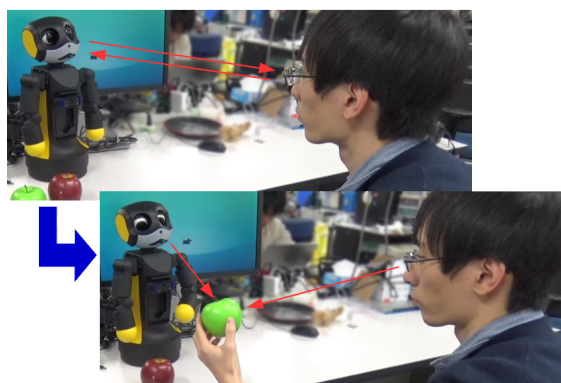


図 1: 随伴性行動を行うロボットの例

2 関連研究

随伴性をもつロボットの研究は複数行われている。Fischer らは、人間と即座にアイコンタクトを行ったり、人間が指し示した物体を注視したりするロボットを開発し随伴性行動の有効性を示した [2]。

Schulz らは前庭動眼反射や滑動性眼球運動、衝動性眼球運動、両眼離反運動といった人間の目と頭における動作の他、まばたきの種類の整理を行い、これらを内包するフレームワークを提案した [3]。

また Sumioka らは、事前に設計された振る舞いや、ロボットが行った行動に対するユーザの反応から学習した随伴性行動を用い、その中から適切な振る舞いを選択することで行動を生成するモデルを提案した [4]。

2.1 行動の生起と衝突

随伴性行動は主に外界からの刺激によって生起する。例として注視と頷きの振る舞いをロボットが行う場合、人間がロボットを見た際にアイコンタクトとして人間を注視したり [2]、人間の発話が終わったタイミングで頷いたり [5] といった設計が存在する。

ロボットの振る舞いは人間の顔の位置や注視対象と言ったセンサ情報や、発話が終了しているという過去の状態を記録したメモリからの情報を元に、任意の時刻において生起する。しかし注視と頷きといったロボットの同じ部位を動かす振る舞いが同時に生起した場合、動かし方が競合し適切な動作を行うことができない。競合を解消し最終的に一つの出力に統合する方法として、動かし方の中から一つのみを選択する方法と、複数個の動かし方を混合する方法という 2 種類の統合手法が既存研究にみられる [3][4]。

2.2 既存研究の問題点

既存研究には選択と混合という 2 つの行動の統合手法がみられる。しかし選択のみを用いているシステム [4] では同一の部位で異なる振る舞いを同時に表現することができない。また、振る舞いを独立したモジュールとして扱っていないモデル [3] には、新しい振る舞いの追加や不要な振る舞いの削除のためにモデルそのものを変更する必要があるという問題点がある。

3 随伴性行動生成アーキテクチャ

本研究では独立に設計された振る舞いを2種類に分類し、選択と混合に相当する2段階で統合を行う随伴性行動の生成アーキテクチャを提案する。提案するアーキテクチャにより柔軟な随伴性行動の設計と、必要に応じた振る舞いの追加、修正、削除が可能になる。図2に構成図を示す。

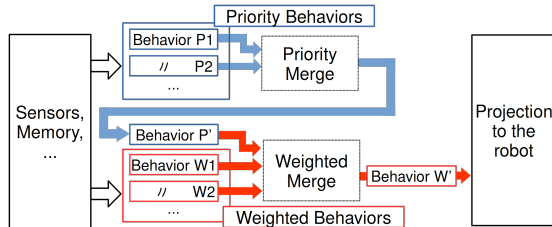


図2: 随伴性行動生成アーキテクチャ

提案するアーキテクチャには優先度付き振る舞い (Priority Behaviors) と重み付き振る舞い (Weighted Behaviors) をそれぞれ必要なだけ登録する。振る舞いは生起する条件、部位ごとの動かし方、動かし方に対応する優先度 p または重み w の3要素を指定することで設計される。各振る舞いはセンサやメモリなどから得られた情報を元に任意の時刻で生起し、競合した動かし方は部位ごとに、選択に相当する優先度付け (Priority Merge) と混合に相当する重み付き平均化 (Weighted Merge) の2段階で1つの振る舞いに統合される。

優先度付け (Priority Merge) は各時刻において生起した、もしくは既に動作中の優先度付き振る舞いが競合した場合に行う。統合は部位ごとに行い、それぞれ優先度 p が最も高い動かし方を選択する。

重み付き平均化 (Weighted Merge) は優先度付けと同様に、重み付き振る舞いが競合した場合に行う。競合した部位ごとに重み w により平均化を行い、最終的に統合された振る舞いを生成する。

4 実験

提案したアーキテクチャは優先度付けと重み付き平均化の2段階で振る舞いを統合するが、いずれか一方の統合では表現不可能な振る舞いの組み合わせが存在し、2段階の統合が必要であることを実験により示す。

提案したアーキテクチャに振る舞いを登録するには動かし方に対応する優先度 p または重み w を指定する必要があるが、いかなる p または w を指定しても期待する振る舞いが表出されない時、統合方法に表現力が不足していると言うことができる。そこで人間が近づいてきた場合にはその人を注視したり、発話が終わったら頷いたりといったセンサ情報と期待される振る舞いのペアを複数個記述し、全てを満たすように各振る舞いの優先度 p と重み w を準ニュートン法であるBFGS法 [6] で最適化した。

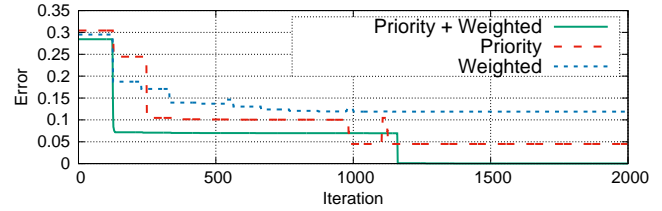


図3: 統合手法ごとの優先度 p と重み w の最適化過程

図3は提案する2段階の統合、優先度付けのみ、重み付き平均化のみの3条件で最適化を行った場合の試行回数と損失の関係である。損失は期待される振る舞いと出力された振る舞いの差分により定義した。

最適化の結果、1段階の統合は優先度付けのみと重み付き平均化のみのどちらの場合においても損失が0に収束せず期待する振る舞いが出力されなかったため、1段階の統合では表現力が不十分であり提案する2段階統合が必要であることが確認できる。

5 まとめ

従来の行動生成モデルを整理し、独立に設計された振る舞いを優先度付けと重み付き平均化の2段階で統合することで随伴性行動を生成するアーキテクチャを提案した。また最低限2段階の統合が随伴性行動の表現に必要なことを実験により示した。提案したアーキテクチャは柔軟な振る舞いの追加、修正、削除が可能であり、随伴性行動を行うロボットの容易な設計に繋がる。

参考文献

- [1] Movellan, J. R.: An infomax controller for real time detection of social contingency, *Proceedings. The 4th International Conference on Development and Learning, IEEE*, pp.19-24 (2005)
- [2] Fischer, K., Lohan, K., Saunders, J., Nehaniv, C., Wrede, B., Rohlfing, K.: The impact of the contingency of robot feedback on HRI, *In Collaboration Technologies and Systems (CTS), 2013 International Conference on. IEEE*, pp.210-217 (2013).
- [3] Schulz, S., Lier, F., Kipp, A., Wachsmuth, S.: Humotion A Human Inspired Gaze Control Framework for Anthropomorphic Robot Heads, *HAI '16 The Fourth International Conference on Human Agent Interaction*, pp.207-214 (2016)
- [4] Sumioka, H., Yoshikawa, Y., Asada, M.: Reproducing interaction contingency toward open-ended development of social actions: case study on joint attention. *IEEE transactions on autonomous mental development*, pp.40-50 (2010)
- [5] Watanabe, T.: Human-entrained embodied interaction and communication technology for advanced media society, *RO-MAN 2007-The 16th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication*, pp.31-36 (2007)
- [6] Broyden, C. G.: The convergence of a class of double-rank minimization algorithms *IMA Journal of Applied Mathematics* 6.1, pp.76-90 (1970)