

エンターテインメントロボットのための行動進化ソフトウェアの開発 モジュール境界の動的学習

1. 背景

現状のエンターテインメントロボットは、設計時に定められた行動パターンを再生するため、ユーザーがそのパターンに気付けば飽きてしまうという問題点がある。行動パターンの数を増やし複雑化する事で対処する方法もあるが、これは本質的な解決ではない。あるいは、強化学習などの機械学習の仕組みを利用して行動パターンを時間発展させる方法もありえるが、行動パターンを保持するモジュール構造やそれを規定する評価関数が静的であるという問題点がある。モジュール構造自体が静的である事が、システムの挙動が静的であることの原因となっているため、モジュール構造を動的に変化させる事を試みたい。しかし、モジュールの境界と機能を同時に学習するという事は、ニワトリが先か卵が先かといったような問題であるため、困難がある。しかし、モジュール構造の動的学習というテーマは、まだ研究が始まったばかりであり、様々なアプローチを持って研究されるべきテーマである。

2. 目的

本プロジェクトでは、飽きないエンターテインメントロボットを構築するため、行動パターンを保持するモジュールの構造自体が学習によって変化するという特徴を持ったシステムの構築を目指した。

3. 開発の内容

本プロジェクトでは、SONY 製エンターテインメントロボット AIBO 向けのソフトウェアを開発した。行動パターンとして、AIBO のセンサーデータと四肢の関節角度の時系列データ(以降時系列データとする)を複数用意し、時系列データを学習するニューラルネットワークに与える。与えた時系列データ間の相関関係に応じて、ニューラルネットワークのモジュール構造(モジュール境界)が変化するように構成し、その結果によって AIBO を駆動するようにした。システム構成を図1に示す。

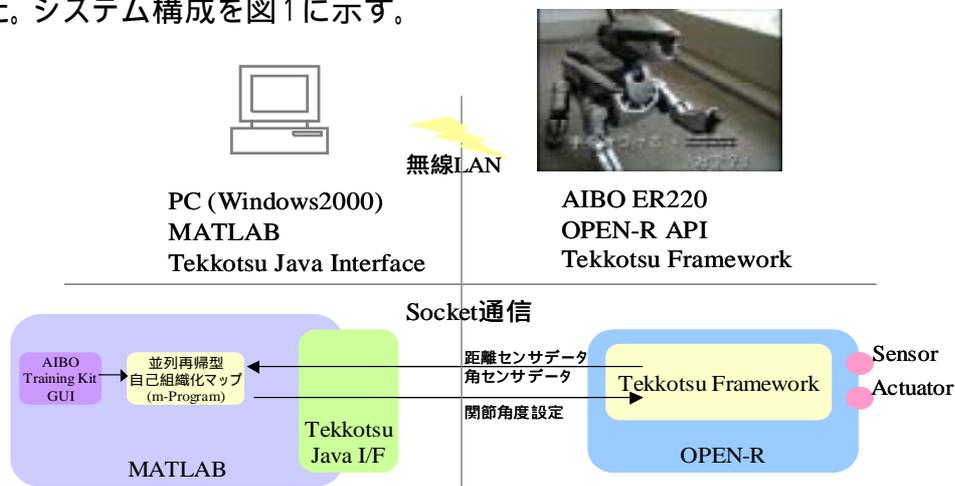


図 1 システム構成

AIBO ER220 に無線 LAN カードをインストールし、ソケット通信を利用したりリモートブレイク方式で駆動させる。PC 側では MATLAB を稼働させ、MATLAB 上で時系列データの選択提示、学習、予測出力を行う。Socket 通信には、Socket 通信を行うための Java クラスを用意し、MATLAB から呼び出して使う。AIBO 側には、AIBO を駆動させるためのフレームワークである、OPEN-R 及び Tekkotsu Framework をインストールした。

時系列データを学習・予測するニューラルネットワークとして、新しい自己組織化マップのモデルを開発した(並列再帰型自己組織化マップ)。基礎となった、自己組織化マップ(SOM)は競合型ニューラルネットワークの一種で、位相マップの構築などに使われる。また、自己組織化マップを時系列データに対して分類できるように拡張したモデルとして、Recursive SOM がある。本プロジェクトでは、Recursive SOM を拡張して、並列再帰型自己組織化マップを開発した。拡張のポイントは、複数の時系列データに対応した複数のマップを用意し、時系列データ間の相関関係をマップ間の相互想起の強度に対応させるようにした点にある。この拡張により、時系列データ間の相関関係の強弱によって、マップ上に構成された時系列データ表現の境界が変化し、予想外の出力を行う可能性を持つようになる。並列再帰型自己組織化マップの概要を図2に示す。

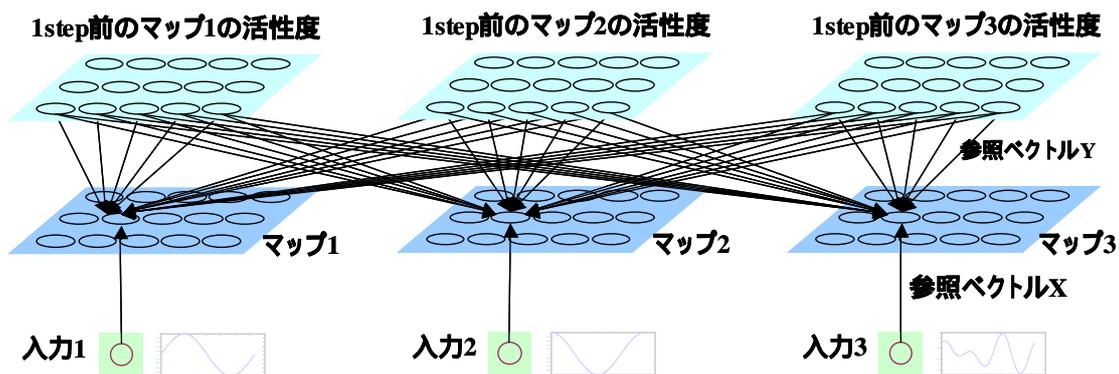


図 2 並列再帰型自己組織化マップの構造

実験の方法は次のとおりである。角センサー、距離センサーと関節角度の軌道パターン(時系列データ)を予め用意し、並列再帰型自己組織化マップに入力して学習させた。関節角度は、四肢の関節(elevator,rotator,knee)を対象とした。学習後、AIBO のセンサーデータを並列再帰型自己組織化マップに入力し、関節角度に関する時系列データを予測出力させ、AIBO の関節角度をセットして駆動させた。実験は、次の手順で行った。

1. 「お座り」の状態を基本とし、「お座り」の状態の時に手を近づける(距離センサーの値が小さい)と「お手」(左前脚を上げる)をし、「お座り」の状態の時に頭を撫でる(角センサーが ON になる)と「立ち」の状態に移行し、「立ち」の状態の時に手を近づけると「お座り」の状態に移行するように学習させた。実際に AIBO を稼働させたところ、このとおりの動作をすることが確認できた。

2. 1に続き、手を近づけると「お手」をする軌道パターンの学習の際、「お手」に関係する左前脚と距離センサー以外の軌道パターンを左前脚と距離センサーに対して無相関なデータを学習させた。実際に AIBO を稼働させたところ、「立ち」の状態の際に、手を近づけた際、立ったまま「お手」をしたり、「お座り」に移行したりすることが確認された。

図3に訓練パターンを示す。

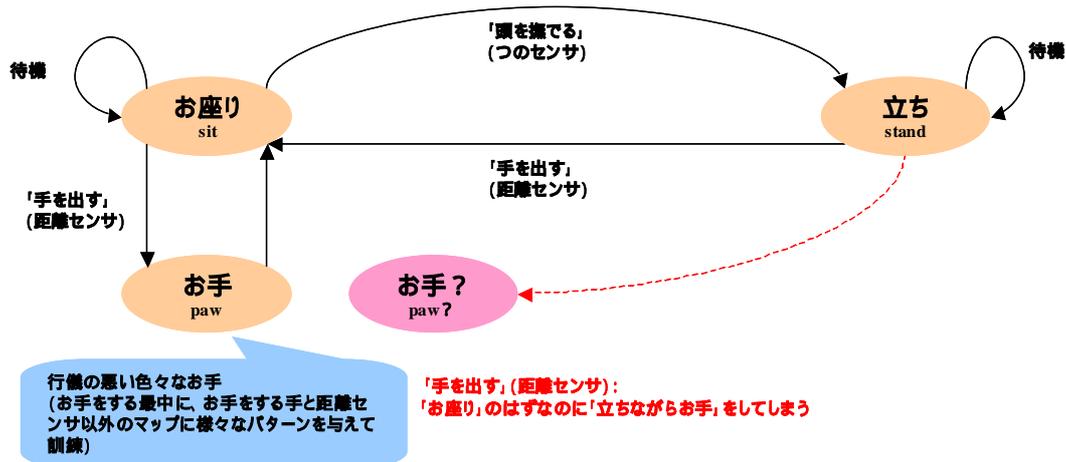


図3 訓練パターン

「立ち」状態の時に手を出すと、本来ならば「お座り」の状態に戻るところが、「立ちながらお手」という予想外の行動が生まれた。これは、次のように説明ができる。最初の学習においては、「お手」は全ての関節角度と全てのセンサーの軌道パターンに相関があることから、全ての並列再帰型自己組織化マップ間に対応関係が作られた。これは「お手」モジュールが全ての並列再帰型自己組織化マップにまたがっている事を意味する。しかし、次の学習で、距離センサーと右前脚のみの軌道パターンの相関が学習されたことで、「お手」モジュールは距離センサーと左前脚に対応する並列再帰型自己組織化マップのみに限定された(図4参照)。つまり、動的にモジュールの範囲が変わったと言える。あるいは、各並列再帰型自己組織化マップを1モジュールとみなすと、モジュール間の対応関係が動的に変化したとも言える。このようにモジュール構成の動的な変化をエンターテインメントロボットに導入した場合、予想外の行動を生成する可能性を持つことができ、より新しいエンターテインメント性をもたらすことができるだろう。

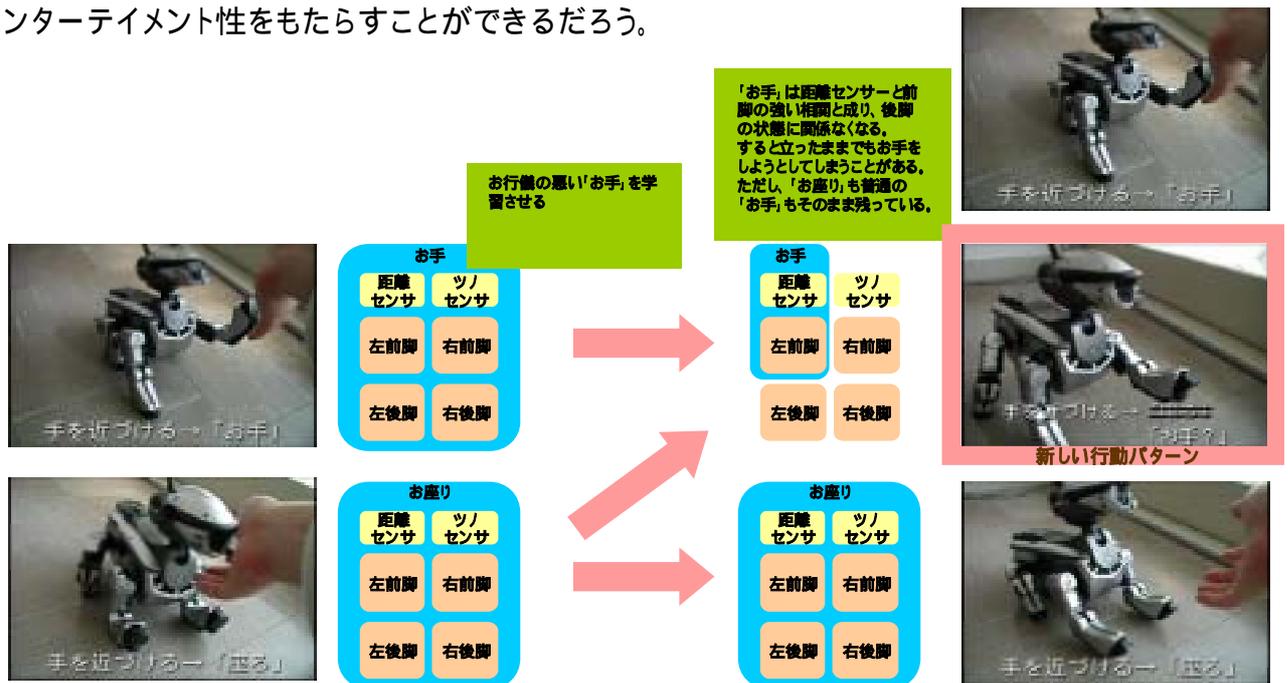


図4 新しい行動パターンとモジュール構造の変化

4. 従来 of 技術

関連技術としては、既に発売されている AIBO 用のソフトウェアがある。専門の開発者が時間とコストをかけてエンターテインメント用に作りこんでいるため、本プロジェクトのアーキテクチャを拡張しても同程度に到達するのは容易ではない。しかし、志向している方向が異なり、むしろ本プロジェクトで提案された問題意識やアーキテクチャ、あるいはその類似形態が、既存のエンターテインメントロボット用ソフトウェアに取り込まれるべきである。

5. 期待される効果

この種の研究開発において困難なことは、専門の開発者が時間とコストをかけて作りこんだソフトウェアと比較した際、見劣りがすることである。また、動的な学習システムにおいて、面白い現象が確認された、となれば、それを作りこんで再現することも簡単である。しかし、だからといって、システムの内部構造が変わりながらも、機能が維持され且つ変化するシステムについての研究が無価値であるわけではない。人工知能研究は、フレーム問題と自己言及による矛盾を明確にしたことが成果であり、かつその事によって、停滞しているとされている。しかし、フレーム問題と自己言及を接続し、システムの構造自体の変化を積極的に促すシステムを構築していく事で、新しいシステムアーキテクチャが考案されていだろう。本プロジェクトでは、時系列データ間の相関関係に依存したモジュール境界の切り分けを行ったが、これはあくまでもア priori に与えられた特徴による切り分けである。そのため、本プロジェクトのモデルは、上述したようなフレーム問題と自己言及の接続とは異なる。しかし、開発者は今後、モジュール間の同型性のほつれと修復過程によって、モジュール自体の構造が変化しつつも機能が維持かつ生成するモデルを提案していく予定である。

6. 普及(または活用)の見通し

本プロジェクトで提出した問題意識に基づいた、エンターテインメントロボット用ソフトウェアの開発の発生を期待したい。すぐに成果を出すことは難しいが、エンターテインメント分野でのトライアルは様々な発見があるだろう。

7. 開発者名

開発者: 太田 宏之 (神戸大学大学院自然科学研究科 atom@metaplant.com)