

内部評価基準に基づく感覚運動融合モデルの自律的形成に関する研究

金沢工業大学大学院 工学研究科 情報工学専攻 博士前期課程

担当者：川崎 邦将

指導教員：長田 茂美 教授

1. 緒言

人への情報提供や人とのコミュニケーションを行う一般家庭向けのパーソナルロボットは、産業用ロボットとは異なり、動作環境を限定することは難しい。そのため、現在の知能ロボットの多くは、ロボットが行動する環境条件や行動そのものが予め設計者によって規定されており、想定されていない環境下では、適切な行動がとれなくなってしまうという問題がある。一方、人をはじめ生物は事前に環境に関する情報を知ることなく、環境および環境変化にも適応的かつ柔軟な行動をとることができる。これは、生物自身がその感覚器官や筋運動の運動器官などの身体性（身体情報）に基づいて、環境変化に頑健な知能システムを自律的に形成しているためだと考えられる。したがって、知能ロボットにおいても、生物と同様に、身体情報のみで環境変化に頑健な知能システムを自律的に形成できれば、上述の問題は解決できる。

本研究では、このような知能ロボット実現のアプローチの一環として、ロボットの環境条件や行動を事前に規定せず、センサやアクチュエータなどの身体情報のみで感覚運動融合モデルを自律的に形成するとともに、ロボット自らの内部評価基準に基づいて自律的な運動生成を実現する手法を提案する。さらに、その手法を実装した実ロボットによる評価実験を行い、提案手法の有効性を実証する。

2. 提案手法

提案手法は、センサ情報やアクチュエータへの運動指令などの身体情報のみに基づいて自律的に形成する感覚運動融合モデルと、その感覚運動融合モデルと内部評価基準に基づいて運動を生成する運動生成モジュールから成る。

2.1. 処理概要

図1に、提案手法における処理の流れを示す。知能ロボットは、1) センサから得られる感覚情報、2) アクチュエータへの運動指令情報、3) 行動指針となる内部評価基準に基づく内部評価の3種類の情報を利用できるものとし、まず、知能ロボットが環境との相互作用を通じて、現時刻

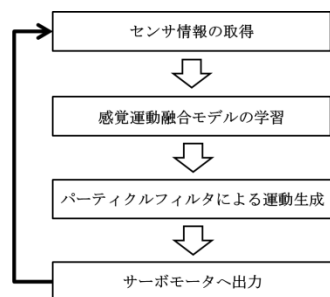


図1. 提案手法における処理の流れ

の感覚と運動指令情報から次時刻の感覚情報を予測する感覚運動融合モデルを深層学習によって自律的に形成する。次に、形成した感覚運動融合モデルからの感覚情報の予測結果と内部評価基準からの内部評価に基づき、パーティクルフィルタを用いて内部評価を高める運動指令を出力し、運動を生成する。これらの処理を繰り返すことで、身体情報だけに基づいた感覚運動融合モデルの自律的形成および内部評価基準を満たす運動生成が実現できる。

2.2. 感覚運動融合モデル

図2に、感覚運動融合モデルの構造を示す。1時刻前のセンサからの感覚情報 s_{t-1} 、サーボモータへの運動指令情報 a_{t-1} と、現時刻の感覚情報 s_t との関係を多層ニューラルネットワークでオンライン学習することにより、現時刻の感覚情報 s_t と運動指令情報 a_t から次時刻の感覚情報 s_{t+1} を予測する感覚運動融合モデルを自律的に形成することができる。

2.3. 運動生成モジュール

図3に、運動生成モジュールの処理の流れを示す。センサからの感覚情報と運動指令情報との関係性を学習した感覚運動融合モデルによる次の状態（感覚情報）の予測値と内部評価基準に基づいて、パーティクルフィルタにより、現在の状態から内部評価値を高める状態に遷移する運動指令情報を生成する。以下に、その処理手順を示す。

- Step.1: 前回の重みを基にパーティクルの位置を更新する。初期状態は一様分布で初期化する。なお、時刻 t での i 番目のパーティクルは、サーボモータへの運動指令情報 a_t を持つ $p_t^{(i)} = (a_{t,0}, \dots, a_{t,i})$ とする。
- Step.2: 各パーティクルの運動指令情報を基に、感覚運動融合モデルで次時刻の感覚情報を予測する。予測した感覚情報から予測内部評価値 $b_{t+1}^{(i)}$ を計算する。
- Step.3: 予測内部評価値から各パーティクルの重みを更新する。
- Step.4: 出力する運動指令情報となる期待値 a'_t を計算する。
- Step.5: 予測内部評価値の最大値 b_{t+1}^{max} が現時刻の内部評価値 b_t よりも高ければ、その運動指令情報 a'_t を出力し、Step.1に戻る。

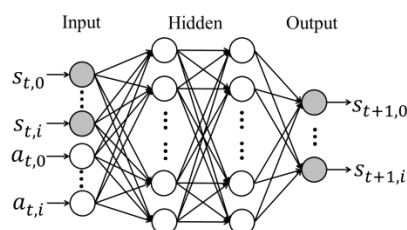


図2. 感覚運動融合モデルの構造

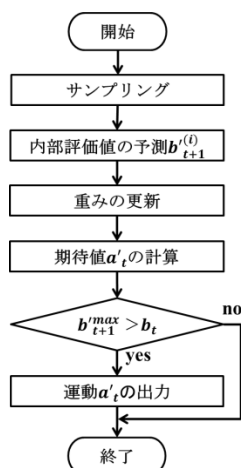


図 3. 運動生成モジュールの処理の流れ

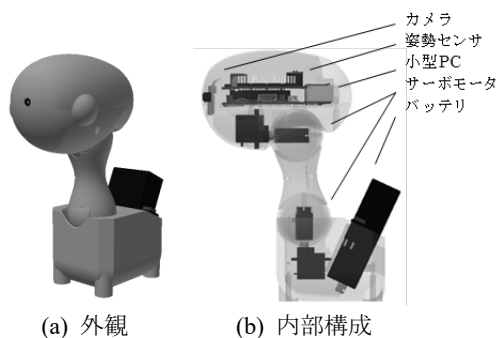


図 4. ロボットの概要

3. 実験

提案手法の有効性を検証するために、姿勢センサとサーボモータを備えた実ロボットを用いて、水平姿勢状態を実現する運動指令情報を決定する姿勢制御問題を扱う。

3.1. ロボットの構成

図 4 に、実験に用いるロボットの概要を示す。ロボットは、卓上で使用するパーソナルロボットを想定して、大きさは最大でも高さ 20[cm]とし、構成は小型 PC (Raspberry Pi 3 model B)、カメラ、姿勢センサ (MPU-9150)、4つのサーボモータ (roll, pitch×2, yaw 軸) を搭載している。実験では、姿勢センサから取得した加速度±8[g]と上部の roll, pitch 軸の 2 つのサーボモータを用いる。サーボモータへの出力は PWM のパルス幅であり、上下限値を 1800, 1000[μs], 指令範囲を±100[μs]とする。

3.2. 方法

ロボットの内部評価基準は、ロボットが水平姿勢状態のときに内部評価値 b が最大となるように、式(1)で規定する。ここで、 b は内部評価値、 $s = (s_x, s_y, s_z)$ は現時刻の加速度、 $k = (k_x, k_y, k_z) = (0, 0, 8)$ は水平姿勢状態の加速度である。

$$b(s, k) = 1.0 - \sqrt{(s_x - k_x)^2 + (s_y - k_y)^2 + (s_z - k_z)^2} \quad (1)$$

この内部評価基準を用いて、ロボットを数分間動作させ、内部評価値を高める姿勢に遷移する運動生成を実行し、水平姿勢状態を実現するサーボモータへの運動生成が可能か、その運動生成がどのように実行されたかを、姿勢センサの加速度および内部評価値の遷移を解析し検証する。

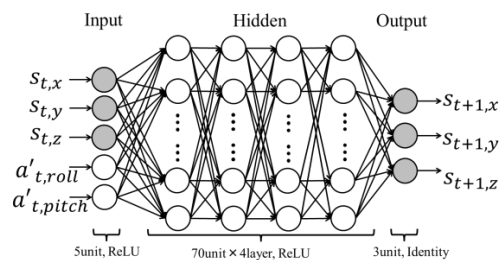


図 5. 実験に用いた感覚運動融合モデルの構造

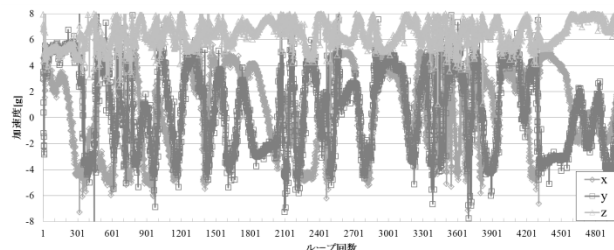


図 6. 実験時の加速度の遷移

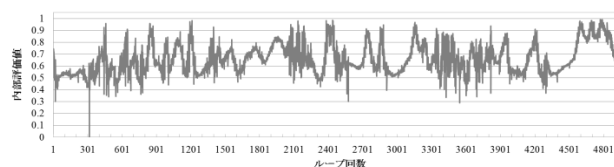


図 7. 実験時の内部評価値の遷移

また、図 5 に実験に用いる感覚運動融合モデルの構造を示す。なお、運動生成に用いるパーティクルは、サーボモータへの指令範囲であるパルス幅±100[μs]に設定する。

3.3. 結果および考察

図 6, 7 に、ロボットを 30 分間 (約 5000 ループ) 動作させたときの加速度と内部評価値の遷移を示す。これらの図は、4600 ループ前後で最も水平姿勢状態に近づき、内部評価値も最も高い値をとることを示している。このことから、ロボットは動作しながら、姿勢センサ情報とサーボモータへの運動指令情報の関係性を自らの感覚運動融合モデルによって学習し、妥当な姿勢センサ情報の予測値を出力するようになり、パーティクルが内部評価値を高くする運動指令値付近に収束した結果、現時刻よりも内部評価値が高くなる姿勢に遷移する運動生成を実現できたことがわかる。しかし、4800 ループを超えると内部評価値が低下し、振動しており、感覚運動融合モデルが内部評価値の高い状態を過学習した影響ではないかと考えられる。

4. 結言

本研究では、身体情報から感覚運動融合モデルを自律的に形成し、内部評価基準に基づき運動生成を実行する手法を提案した。また、提案手法を実ロボットの姿勢制御問題に適用し、その有効性を検証した。今後は、過学習に起因する問題を克服し、評価・改良を図っていく予定である。

参考文献

[1] 長田, 増本, 山川, 木本, “ニューラルネットによる感覚運動融合の階層型モデル”, 日本ロボット学会誌 Vol.12, No.5, pp.675-694, 1994.