

題目 Constructive Research of Active Perception by Cognitive Experiment and Simulation Using Neural Networks.

(ニューラルネットワークを用いた認知実験とシミュレーションによるアクティブパーセプションの構成論的研究)

氏名 OGAI, Yuta

(大海 悠太)

1 Introduction

生態心理学者 E. S. Reed は著書 “*Encountering The World*” の中で、生物を機械メタファーによって理解しようとする伝統的な心理学に対して、自律的なエージェントの問題を無視していると批判した [2]。そして、生態学からの代案として、生物は環境の中でアフォードされた行動を調整しながら動きまわるという描像を提案した。このような描像を、本論文では生態学的世界観と呼ぶことにする。

その生態学的世界観の生物は、中央処理装置を持っておらず、行動と知覚が密接に関係しあうことで活動する。そのような行動と知覚のカップリングのことをアクティブパーセプションと呼ぶ。アクティブパーセプションは五感全てで見られるが、本論文ではその中からアクティブタッチについて考えていく。アクティブタッチの研究は様々な研究が一括りに扱われているが、その種類は 1) 静的な身体の特長、2) 時間的変化のある感覚入力、3) 入出力の関係、4) 高次の認知機能、という 4 つに分類、整理できる。この分類の 2) 時間的変化、と 3) 入出力の関係、というものは力学系の考え方と相性がよい。本研究では力学系で表わされるリカレント型ニューラルネットワーク (RNN) を用いて、行動と知覚が密接に関係しあっているようなシステムを構築する。

生態学的世界観に基づいて生物を理解するためには、その分離不可分な行動と知覚をそのまま構成し、その挙動を観察したり、操作したりして試みる必要があるのではないかと考える。このような、システムを実際に構成して試みる、それを操作し挙動を見ることで理解を試みる手法のことを構成論的アプローチという。この構成論的アプローチの分野では、センサーモーターカップリング (SMC) という、センサー入力とモーター出力を結合させたエージェントの研究が盛んに行なわれている。本研究では SMC の持つこの結合として RNN を用い、その RNN を進化させてシステムに適応させ、シミュレーションと心理実験による 2 種類のアクティブタッチの研究を行う。

2 Microslip as Simulated Artificial Mind

コーヒーを作ろうとする際などに、コップをちょっと触って触り直す、スプーンをとろうとしてコーヒーパウダーの方に手を動かしてしまう、というように日常の行動の中にも小さなスリップ現象が見られる。これをマイクロスリップという。E. S. Reed らは被験者のコーヒーを作る様子からこの現象を観察し、躊躇、軌道の変化、接触、手の形の変化、という 4 つのタイプに分類した。

本章の研究では、このマイクロスリップのコンピュータシミュレーションによるアプローチを提案し、そのモデルを解析する。このモデルでは、エージェントが運動を切り替えながらフィールドの上の 2 つのオブジェクトに接近し選択する。エージェントは RNN (図 1) によって動作し、そのネットワークは進化的アルゴリズムによって進化されたものである。エージェントの挙動を解析した結果、その運動モジュールの関係はヘテラルキーな構造をしており、その運動選択は複雑なベイシアン構造になっていることが分かった。このような結果から、実際のマイクロスリップに関して議論と提案を行なった。

3 Active Touch Feeling Evolved by Interactive Evolutionary Computation

近年、触覚ディスプレイの技術の発達により被験者にコンピュータから触覚刺激を与えて実験を行うことが可能になってきた [1]。この触覚ディスプレイを用いた研究では今のところ単純な振動数と振幅の関数のみを用いている。しかし、人間の神経回路は単純な関数の構造ではないため、もっと複雑な関数を用いたダイナミクスを入力として用いる必要があると考える。そこで本章の研究では、内部の関数として RNN を用いて、手の運動から計算した触覚刺激を触覚ディスプレイを通して人間に与えることによってアクティブタッチの研究を試みる。

実験装置の概略を図 2 に示す。以下の 1~3 を 1/60 秒毎に行なうことでリアルタイムなアクティブタッチの環境を構築する。

1. 手の甲に付けた 3 次元磁気式位置計測システムのセンサーによって、手の速度と加速度を計測し PC に送る。
2. PC 内で RNN(図 3) に手の速度と加速度を入力し、100 回 RNN を計算させ、その RNN の出力の平均から ICPF 触覚ディスプレイに与える振動の電位を決める。
3. 出力電位をアンプで増幅し、触覚ディスプレイによって指に振動刺激を与える。

人間の皮膚には触覚受容器がいくつかあるが、テクスチャーの認識 (振動刺激) に対して、低周波数領域ではマイスナー小体 (FA I)、高周波数領域ではパチニ小体 (FA II) が対応しているものと考えられている。そこで本章の研究ではこの 2 つの受容器を刺激するように、 $f_1(30\text{Hz})$ と $f_2(180\text{Hz})$ の 2 つの振動を重ね合わせた電圧を触覚ディスプレイに与える。

また、RNN の重みは対話型進化計算法によって進化的に作り出している。進化は以下の 1~4 を繰り返すことで行う。

1. 目的となる触感をオノマトペとして被験者に提示し、乱数から作った RNN の重みに正規分布乱数を足して 2 つの RNN の重みを作る。
2. 2 つの RNN の重みについて触感を試し、目的のオノマトペに近い方を選ぶ。触感が確認できたら途中で止めてもよい。
3. 選んだ RNN の重みに正規分布乱数を足して少し異なるものを作り、元の重みと合わせて 2 つの重みを再提示する。
4. 2 に戻るのを繰り返し、目的の触感が得られるまで繰り返す。

このようにして 2 種類のオノマトペ (“うねうね”、“ざらざら”) から RNN の重みを作り、二重盲検法によって自分の作った 2 種類の RNN の判別と、自分の作ったものと人の作ったものの判別、さらに、自分の作った RNN について自分で動かした場合と手の運動をサイン波でエミュレートした場合の判別をさせた。また、ノイズを触覚ディスプレイの出力に加えた時の、ノイズが判別可能かどうかの閾値を測定した。さらに、2 種類のオノマトペを用いた文章を被験者に書かせ、言語学的に解析を試みた。

以上の実験から、触感は単純な振動の組み合わせで構成されてはいないということが示唆された。また、“うねうね”の方が“ざらざら”よりも判別しやすい、ノイズの閾値が低い、作成した文章の中に物の動きや話者の視点の移動を伴うものが多い、という違いが見られた。この違いは、“うねうね”の方が“ざらざら”よりもアクティブパーセプションの度合いが高いということを示していると考えている。

4 General Discussion

この 2 種類の研究では、それぞれエージェント (被験者を含む) と環境との間で不安定性が見られ、その不安定性とアクティブパーセプションは関係しているのではないと言える。マイクロスリップのシミュレーションでは進化させた RNN を数多く計算をすることで、その不安定性を見出したが、触覚ディスプレイを用

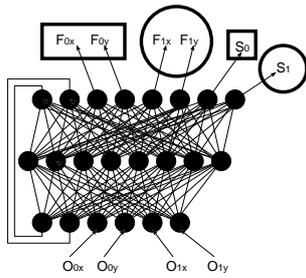


図 1: 2 章の研究で用いた RNN

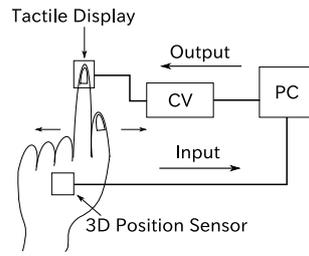


図 2: 3 章の研究で用いた実験装置の概略

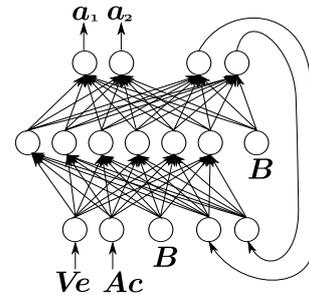


図 3: 3 章の研究で用いた RNN

いた研究の場合、実際の人にそれほど数多くの試行をさせることはできない。そこで、触覚ディスプレイの研究で進化させた RNN も環境をエミュレートしてコンピュータ上で計算することで、進化させた RNN の不安定性について調べることができるのではないかと考える。

また、そのアクティブパーセプションをエージェントと環境の間にあるインターフェースとして捉えることができる。そのようなインターフェースという考え方を利用して、メディアアート作品を作成することもできる。そのインターフェースは人間と RNN との間などにあり、相互に関係することで、適応的で、時に予測不可能な関係を構築することができる。さらに、そのメディアアート作品で見られた RNN の応用可能性から、新しい RNN の進化手法を提案する。

参考文献

- [1] M. Konyo, S. Tadokoro, T. Takamori, and K Oguro. Artificial tactile feel display using soft gel actuators. In *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pages 3416–3421, 2000.
- [2] E. S. Reed. *ENCOUNTERING THE WORLD: Toward an Ecological Psychology*. Oxford University Press, Inc., 1996.