

博士論文概要

論文題目

ニューラルネットワークを用いた
記憶モデルの構築とヒューマノイド
ロボットへの応用に関する研究

Construction of a Memory Model Using Neural
Networks and its Application to a Humanoid Robot

申請者

氏名

伊藤	加寿子
Kazuko	Itoh

専攻・研究指導
(課程内のみ)

生命理工学専攻 バイオ・ロボティクス研究

2006年 11月

相互結合型ニューラルネットワークの代表的なモデルとして **Hopfield Model** が挙げられる。ここでは、時間の経過とともに減少するエネルギー関数が定義されており、エネルギーが最小値になったとき最適解が出力される。しかし、エネルギーが局所的な最小値になるとそこから変化することができず、最適解を出力することができなくなってしまう。そこで、近年この問題を解決するため、ニューラルネットワークにカオスを用いる方法が多く研究されている。また、ヒトの脳は複数のニューラルネットワークが結合しているような系をしていると考えられているが、1つのニューラルネットワークの研究は行われているものの、複数のニューラルネットワークを結合させた研究はほとんど皆無である。

そこで、本研究では、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するニューラルネットワークを構築した。そして、このようなニューラルネットワークを2組作成し、同じ位置のニューロン同士が結合している新しいタイプのネットワークを提案することにより、複数のネットワークが結合している系のメカニズムの解明を目的とした。

さらに、これまで構築されてきたニューラルネットワークはシミュレーションによって評価されており、その応用まで発展させた研究例はほとんど見られない。そこで、本研究では、神経回路学的な視点からニューラルネットワークの応用を推進するため、新しく提案したネットワークを用いてヒトの記憶モデルを構築し、これをロボットに適用することを第2の目的とした。現在、人間との共同生活や共同作業を目的としたパーソナルロボットの開発が盛んに行われているが、未だある刺激に対する認識が一意的で、決められた行動しか出力することができない。しかし、パーソナルロボットには、人間とコミュニケーションをとり、人間と同様に過去の経験に基づいて自ら行動を変化させていくことが求められている。記憶モデルを導入することにより、ロボットが自分自身の記憶を参照し、同一刺激に対してもそのときの気分に従って認識結果を変化させ、行動を多様化することが可能となる。

本論文は、以下に示す7章から構成されている。まず、第1章では、序論として本研究の研究背景と目的、その意義について述べ、第2章では、脳生理学や心理学で研究されてきたヒトの脳とニューラルネットワーク、および記憶のメカニズムについて述べた。

次に、第3章から第4章にかけて、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するニューラルネットワークモデルを提案した。第3章では、ニューラルネットワークのニューロンモデルとして、カオス的な力によって駆動する1つの調和振動子と、カオス的な力によって結合した2つの調和振動子のモデルを示し、それぞれにおいて調和振動子がどのような振舞いをするかシミュレーションを用いて説明した。カ

オス的な力は、分岐パラメータによって周期的にもカオス的にも変化するが、本研究では、1つの調和振動子においては、分岐パラメータをその調和振動子の位置によって変調し、2つの調和振動子においては、それぞれの分岐パラメータを他方の調和振動子の位置によって変調することにより、調和振動子自身がカオス的な力の力学的性質をコントロールできるものとした。ここで、調和振動子の外力がカオス的に変化すると、周期的な振動をしようとする調和振動子と、カオス的な振動をしようとする外力とが影響し合い、これまで見られなかった振舞いが発現するものと考えられる。シミュレーションの結果、1つの調和振動子においては、カオス的な振動を伴う共振現象、2つの調和振動子においては、カオス的な振動を伴ううなり現象という新しいタイプの振舞いが確認された。

第4章では、第3章で提案したモデルをニューロンにもつニューラルネットワークを示した。つまり、ニューロンの内部状態が調和振動子の運動方程式に従って変化し、ニューロン同士がカオス的な力で相互作用するニューラルネットワークである。さらに、このようなニューラルネットワークを2組 (Network A・B) 作成し、それらの同じ位置のニューロン同士が結合している新しいタイプのネットワークを構築した。ここで、それぞれのネットワークに異なるパターンを保存させた場合、ネットワークが結合されていないと、それぞれ自分自身が保存しているパターンしか想起することはできない。しかし、ネットワークを結合すると、自分自身が保存しているパターンに加えて、他方のネットワークが保存しているパターンも想起可能となった。

続いて、第5章では、自己組織化マップと上記のカオスニューラルネットワークを用いた記憶モデルについて述べた。ヒトの記憶は、コード化、保存、想起という3つの過程に分けられる。コード化は外部刺激の情報を取り込める信号に変換し、記憶として取り込む過程、保存はコード化された記憶を維持している過程、想起は保存していた記憶を思い出す過程である。まず、人間は目が覚めて刺激を受容できる状態になると、無制限に刺激を知覚するが、意識が向かなければ入力された刺激のコード化は行わず、記憶として保存することはない。自己組織化マップは、多数の多次元ベクトルを特徴の類似したベクトルごとにネットワーク上にマッピングすることが可能であるため、最も意識の向いた刺激の情報を正規化し、自己組織化マップへ入力することによりコード化を実現した。

また、ヒトの記憶は、気分の影響を受けるとされている。その1つが気分適合性で、ある一定の気分はその気分と一致する記憶を呼び起こす傾向があることをいう。第4章で提案したカオスニューラルネットワークでは、Network B から Network A への結合を強くすると、Network A において、自分自身が保存しているパターンの想起回数は減少する反面、Network B が保存しているパターンの想起回数は増加する。そこで、Network A に不快記憶、Network B に快記憶を保存し、Network B から Network A への結合定数を気分の快成分によって変化させ

ることにより、気分適合性に従った想起を可能とした。

さらに、人間は覚醒度が高すぎたり低すぎたりすると適当な行動ができず、中程度の覚醒が最適な遂行を導くと言われている。そこで、情動の覚醒成分によって、ある刺激を認識するまでの時間、つまりニューラルネットワークの計算に要する時間を変化させた。また、覚醒度が中程度のときは気分適合性に従って刺激を認識するが、覚醒度が高すぎたり低すぎたりするときは、Network A から Network B への結合定数を変化させることで、気分と一致した認識ができない場合も現れるようにした。

第 6 章では、第 5 章で構築した記憶モデルを情動表出ヒューマノイドロボット WE-4RII(Waseda Eye No.4 Refined II)へ適用し、評価実験を行った。WE-4RII は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚の 4 感覚器を有しており、入力された刺激に対して心理モデルに従って情動を変化させ、59 自由度（顔：22，首：4，肺：1，体幹：2，腕：18，ハンド：12）を用いて様々な行動を出力することができる。この心理モデルでは、快度・覚醒度・確信度からなる 3 次元の心理空間内に、ロボットの心理状態を表す情動ベクトルが定義されている。これは情動方程式により数式化されており、快度・覚醒度からなる気分、ロボットが自律的に行動を出力するための欲求、ロボットの行動の対象を明確にする意識等の影響を受け決定される。

本研究では、新しく構築した記憶モデルをこの心理モデルに統合し、WE-4RII に適用することにより、ロボットが刺激をどのように認識するか評価を行った。その結果、まずコード化モデルにより、ロボットの入力刺激の情報と、その刺激を受けたときの気分がパターン化され、記憶として保存されることを確認した。また、想起モデルにより、ロボットがある刺激に対して快い気分のときはその刺激に関連した快記憶を、不快な気分のときは不快記憶を想起する、つまり、同一刺激に対してそのときの気分に従って認識結果を変化させることを確認した。

最後に、第 7 章では、結論として以上の研究成果をまとめ、今後の展望として保存する記憶数の検討、およびニューラルネットワークのさらなる応用の可能性について述べた。

以上のように、第 3 章から第 4 章において 2 組のカオスニューラルネットワークが結合している新しいネットワークを提案し、それぞれに保存されている記憶がネットワーク間で伝達されることを確認した。また、自己組織化マップと新しいカオスニューラルネットワークを用いて第 5 章のような記憶モデルを構築し、情動表出ヒューマノイドロボット WE-4RII に適用した結果を第 6 章にて報告した。これにより、ロボットが自分自身の記憶を参照し、同一刺激に対してもそのときの気分に従って認識結果を変化させることを可能とし、神経回路学的な視点からニューラルネットワークのヒューマノイドロボットへの応用を実現した。

研 究 業 績

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者 (申請者含む)
1. 論文 ○	Mechanical Design of Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII	Proceedings of the 16 th CISM-IFTToMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, pp.255-262	2006年 6月	伊藤加寿子 三輪洋靖 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
○	Mechanisms and Functions for a Humanoid Robot to Express Human-like Emotions	Proceedings of the 2006 IEEE International Conference on Robotics and Automation, pp.4390-4392	2006年 5月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
○	Behavior Generation of Humanoid Robots Depending on Mood	Intelligent Autonomous Systems 9, pp.965-972	2006年 3月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
○	Behavior Model of Humanoid Robots based on Operant Conditioning	Proceedings of the 2005 IEEE-RAS International Conference on Humanoid, pp.220-225	2005年 12月	伊藤加寿子 三輪洋靖 松本宗道 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
○	New Memory Model for Humanoid Robots –Introduction of Co-Associative Memory Using Mutually Coupled Chaotic Neural Networks–	Proceedings of the International Joint Conference on Neural Networks 2005, pp.2790-2795	2005年 7月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 Massimiliano Zecca 高信英明 Paolo Dario 高西淳夫
○	Application of Neural Network to Humanoid Robots –Development of Co-Associative Memory Model	Neural Networks, Vol.18, No.5-6, pp.666-673	2004年 6/7月	伊藤加寿子 三輪洋靖 高信英明 高西淳夫

研 究 業 績

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者 (申請者含む)
1. 論文 (続き) ○	Various Emotional Expressions with Emotion Expression Humanoid Robot WE-4RII	Proceedings of the 1 st IEEE Technical Exhibition Based Conference on Robotics and Automation, pp.35-36	2004 年 11 月	伊藤加寿子 三輪洋靖 松本宗道 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
○	A New Memory Model for Humanoid Robots –Introduction of Associative Memory Using Chaotic Neural Network–	Proceedings of the 2004 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp125-130	2004 年 9 月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 高信英明 高西淳夫
○	Mechanical Design and Motion Control of Emotion Expression Humanoid Robot WE-4R	Proceedings of the 15 th CISM-IFTOMM Symposium on Robot Design, Dynamics and Control, ROM04-14	2004 年 4 月	伊藤加寿子 三輪洋靖 高信英明 高西淳夫
○	The Virtual Attractor in Mutually Coupled Networks	Journal of the Korean Physical Society, Vol.40, No.6, pp.1018-1022	2002 年 6 月	伊藤加寿子 清水敏寛
○	Cooperative Phenomena between the Chaotic Force and the Harmonic Oscillator	Proceedings of the 2000 International Symposium on Nonlinear Theory and its Applications, pp.645-648	2000 年 9 月	伊藤加寿子 清水敏寛
○	New Type of Feed-Back Mechanism with Bifurcation Parameter Modulation 他 9 件	AIP Conference Proceedings #519 STATISTICAL PHYSICS, pp.649-651	2000 年 5 月	伊藤加寿子 清水敏寛
2. 講演	ヒューマノイドロボットの心理モデルの構築 –自己組織化マップを用いたコード化モデルの導入–	第 24 回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 3D35	岡山 2006 年 9 月	伊藤加寿子 今西一剛 難波伸広 齊藤稔 Massimiliano Zecca 三輪洋靖 高信英明 高西淳夫
	ヒューマノイドロボットの心理モデルの構築	第 17 回感情と情動の研究会	京都 2005 年 11 月	伊藤加寿子 高西淳夫

研 究 業 績

種類別	題名	発表・発行掲載誌名	発表・発行年月	連名者 (申請者含む)
2. 講演 (続き)	ヒューマノイドロボットの心理モデルの構築 -相互結合したカオスニューラルネットワークを用いた相互連想記憶の導入-	第23回日本ロボット学会学術講演会予稿集, 2E13	東京 2005年 9月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 齊藤稔 武田大樹 今西一剛 高信英明 高西淳夫
	他 11 件			
3. その他 (論文) ○	Development of a Bioinstrumentation System in the Interaction between a Human and a Robot	Proceedings of the 2006 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems, pp.2620-2625	2006年 10月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
○	Development of Face Robot to Express the Individual Face by optimizing the Facial Features	Proceedings of the 2005 IEEE-RAS International Conference on Humanoid Robots, pp.412-417	2005年 12月	伊藤加寿子 三輪洋靖 大西啓允 今西一剛 林宏樹 高西淳夫
○	Development of Face Robot to Express the Facial Features	Proceeding of the 2004 IEEE International Workshop on Robot and Human Interactive Communication, pp.347-352	2004年 9月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 今西一剛 武田大樹 齊藤稔 林宏樹 庄司道彦 高西淳夫
	他 1 件			
(講演)	ヒューマノイドロボットと人間とのインタラクションにおけるロボット評価システムの開発	ロボティクス・メカトロニクス講演会'06 講演論文集, 2P1-A15	東京 2006年 5月	伊藤加寿子 三輪洋靖 忽滑谷裕子 齊藤稔 Massimiliano Zecca 高信英明 Stefano Roccella Maria Chiara Carrozza Paolo Dario 高西淳夫
	他 6 件			