

博士論文審査報告書

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

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

2007年 3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を出力する。しかし、エネルギーが局所的な最小値になるとそれから変化しないため、最適解を出力することができない。そこで、近年この問題を解決する手段として、ニューラルネットワークにカオスを用いる方法が研究されている。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系と考えられる。本論文では、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が提案された。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を結合することにより、複数のネットワークからなる系のメカニズム解明を第1の目的としている。

また、これまでのニューラルネットワークの多くはシミュレーションによってのみ評価されており、具体的な応用まで発展させた研究例は少ない。そこで、脳科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、それをロボットに適用することを第2の目的としている。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、これらはある刺激に対する応答を一意的に定めているため、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、過去の経験に基づいて行動を変化させる機能が求められている。もし人間に近い記憶モデルを導入することができれば、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よって認識結果を変化させ、最適な行動を生成することが可能となる。本論文は、このような試みを理論および実システム構築の両面から行ったものである。

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について述べ、第2章では、脳生理学や心理学において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説明している。

次に、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ている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が詳細に述べられている。提案されたモデルでカオス生成の源泉として用いられているロジスティックマップは、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ため、分岐パラメータを調和振動子の位置によって変調すると、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することができる。この系では、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外力とが影響し合うため、周期的・準周期的・カオス的・間欠性カオス

的といった様々なタイプの振舞いや、カオス的な挙動を伴う共振現象およびうなり現象が生じるという興味深い結果が得られている。

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について述べている。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提案している。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、ネットワーク同士が結合されていないと、各ネットワークは自身が保存しているパターンのみを想起する。しかし、ネットワークを結合すると、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るという新しい挙動を発見した。

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ている。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、想起は保存している記憶を思い出す過程である。まず、人間は目を覚まし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、意識の向かなかった刺激はコード化せず、記憶として保存することはない。著者はこの現象をモデル化するため、複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できる自己組織化マップを導入した。これにより、最も意識の向いた刺激の情報をコード化できることを示した。

さらに、ヒトの記憶は気分と大きな関係があり、ある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。また、ヒトは覚醒度が高すぎたり低すぎたりすると適当な行動をすることができないが、中程度の覚醒は最適な行動を導くと言われている。著者は、第4章で提案されたカオスニューラルネットワークの組の一方である Network A に不快記憶、他方の Network B に快記憶を保存し、Network B から Network A への結合の強さを気分の快度、Network A から Network B への結合の強さを情動の覚醒度によって決定することを提案している。その結果、覚醒度が中程度のときは気分に従って記憶を想起するが、覚醒度が高すぎたり低すぎたりするときは気分に従った想起ができなくなるという現実に近い想起モデルが構築できた。このモデルでは、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、情動の覚醒度によって変化させることにより、覚醒度が中程度のとき最も速く刺激を認識することも可能となっている。

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、評価実験を行っている。

WE-4RII は、視覚、聴覚、触覚、嗅覚の 4 感覚器を有しており、ある刺激が入力されると心理モデルに従って情動を変化させ、59 自由度からなる上半身を用いて様々な行動を出力することができる。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 に適用したところ、まずコード化モデルにより、ロボットへの入力刺激の情報と、ロボットが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が確認された。また、想起モデルにより、ロボットが快い気分のおときは入力された刺激に関連した快記憶を、不快な気分のお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おときの気分に従った異なる反応をすることが確認された。

最後に、第 7 章では、結論として以上の成果をまとめ、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ている。

以上のように、本論文では、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からな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 章にて報告している。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おときの気分に従って反応を変化させることが可能となり、脳科学的な視点からニューラルネットワークをヒューマノイドロボットへ応用することに成功した。

本研究は、脳科学、心理学、ロボット工学を融合することにより、ニューラルネットワークの他分野への応用の可能性を示すとともに、ヒトの心理モデルの解明、ロボットのコミュニケーション機能の向上に貢献した。特に、ニューラルネットワークの応用に関しては、今後どの分野のどのような問題に応用可能なのか明確にすることで、各問題に最適でかつ汎用的な応用方法を確立できるものと期待される。さらに、記憶モデルを発展させることにより、アルツハイマー型認知症などといった記憶障害のメカニズムの解明も期待できる。このように、本論文は上記 3 分野をはじめ、生理学、生体工学など関連分野に大きく寄与するものであり、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認められる。

2007 年 2 月

(主査)	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	高西淳夫
	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	橋本周司
	早稲田大学教授	工学博士（早稲田大学）	梅津光生
		医学博士（東京女子医科大学）	
	早稲田大学教授	博士（工学）（早稲田大学）	藤江正克