


学位論文の要旨

専攻名	工学専攻	ふりがな氏名	まつき としたか 松木 俊貴	
学位論文題目	カオスニューラルネットワークの自律探索学習と Edge of Chaos における探索と活用			
<p>近年, Neural Network (NN)が大量のデータに基づいて学習する深層学習の技術により, NN が画像認識をはじめ様々な処理能力を高水準に獲得できることが示され, 幅広い分野で深層学習を取り入れた研究が行われるようになった. また, 明示的な教師ではなく, 環境の中で乱数による探索を行い, 得られた経験に基づいて学習する強化学習と深層学習とを組み合わせた深層強化学習の研究も盛んに行われている. しかし, これらに代表されるような学習システムは, 入力に対して写像された出力を生成するような静的システムであり, 学習の開始や終了, 環境での探索のスケジューリングなどの規範を他から与えられた他律的システムである.</p> <p>他律的なシステムではなく, 多様な環境下で絶え間なく自己を改善し維持し続けることのできる自律的なシステムを人工的に作り上げることは非常に難しい. その一方で, 生物は環境に対し巧みに適応し自律的に自己を維持していく能力を持つ. このような能力は生物が持つ環境適応性によって支えられている. すなわち生物は, 系統進化によって遺伝的に環境に適応し, さらに能動的に環境と相互作用して学習することができる. 生物は新しい環境や状況の中で多様な行動を行うことで, 試行錯誤しながら探索的に学習する. そのような行動の多様性の源は, 生命現象の持つカオスによるゆらぎにあると考えられる. 自律的な適応システムを人工的に実現するためには, 動的なシステムがその内的状態に依存する多様な自律出力によって環境のダイナミクスの中で探索的に活動し, 環境から得られた応答に基づいて自身のダイナミクスを適応させ続けるようなシステムを構築する必要があると考えられる.</p> <p>そこで本研究では, 学習を行うモデルとして, 制御パラメータによって内部のカオス性を調整することができる Reservoir Network (RN)を用い, RN がその内的カオスダイナミクスに駆動される自律的探索によって学習するカオス探索学習を行うことができるかどうかを, 二つの学習アルゴリズムを通じて検証した. さらに, カオス探索学習の学習性能とネットワークのカオス性の強さとの関係について調べた.</p> <p>第一に, 逐次的な報酬と探索に基づき学習を行う Reward Modulated Hebbian Learning (RMHL) を用いて検証を行なった. その結果, RN が RMHL を使ったカオス探索学習により記憶タスクを学習できることが示された. また, 学習の進行とともに RN のカオス性が低下して探索的なモードから活用的なモードに自律的に移行できることを確認し, 一方で環境に変化があった際には, 他律的な調整がないにもかかわらず自律的に探索を再開できることを示した. 加えて, カオス探索学習により記憶依存非線形計算と記憶非依存非線形計算を同時に実行する機能を獲得できることを示した. 次に, ネットワークのカオス性を制御するパラメータを変化させながら, 最大リアプノフ指数と学習性能の関係を調べて, 今回のモデルを用いたカオス探索学習においてネットワークダイナミクスが Edge of Chaos 付近にあるときに探索と活</p>				

用が適切に調整されることを示した。さらに、学習時のネットワーク状態のヤコビ行列やリアプノフスペクトルを計算し、ネットワークのダイナミクスを詳細に検証し、RNの状態の変動性がどのように変化していくのかを、ヤコビ行列の固有値分布とリアプノフスペクトルの変化の観点から観察した。

第二に、遅延報酬と探索に基づき学習することができる強化学習を通じ、RNがカオス探索学習できることを確認した。システムの内的カオスにより探索を行い強化学習によって学習を行う枠組みは、カオスベース強化学習として研究されてきた。カオスベース強化学習では、これまで Actor-Critic による学習が用いられてきたが、本研究では Q-learning を用い、Q-learning がカオスベース強化学習に適用可能であることを、簡単な格子状環境のゴールタスクを通じて示した。また、学習途中で環境に変化があった際に、自律的な探索の再開が起これることを確認した。さらに、RNのカオス性と学習性能との関係を調べ、ネットワークダイナミクスが Edge of Chaos 付近である時に学習性能が向上することを示した。

本研究では、RNによるカオス探索と学習した処理の活用が Edge of Chaos で適切にバランスされることを示した。この知見がどれほどのタスク普遍性を持つかについてはまだ明らかではないが、内部ダイナミクスによる探索学習では、システム自体のカオスによる不規則性まで含めた学習を実現できる可能性がある。また、深層学習の技術を取り入れることにより複雑なタスクがカオス探索学習によって学習できることが考えられる。

【1986 文字】

学位論文審査結果の要旨

専攻	工学専攻	氏名	松木 俊貴
論文題目	カオスニューラルネットワークの自律探索学習と Edge of Chaos における探索と活用		
主査	柴田 克成		
審査委員	松尾 孝美		
審査委員	秋田 昌憲		
審査委員	末谷 大道		
審査委員			
審査結果の要旨 (1000 字以内)			
<p>申請者は、未知環境に置かれても自ら探索を制御し、学習する枠組みとしてカオスダイナミクスを生成するニューラルネットワークを用いた学習に注目し、時系列パターンの認識・生成が得意なリザバネットを中心にカオス性と学習性能の関係を探った。</p> <p>まず、逐次報酬と探索に基づく Reward Modulated Hebbian Learning (RMHL) という学習において、外部乱数を一切加えることなく、リザバが生成するカオスダイナミクスによる探索だけで学習ができることを示した。さらにその際、学習すると探索が弱まり、環境が変わると自律的に探索を再開して学習することを示した。そして、Edge of Chaos と呼ばれるカオスと非カオスの境界周辺のダイナミクスにおいて学習性能が大きく向上することを示した。またその際の内部ダイナミクスを解析し、学習によるアトラクタの形成と環境変化による崩壊を視覚的に示すとともに、学習時のヤコビ行列のスペクトル半径が学習開始時や環境変化時には1より少し大きく、学習が進むと1周辺の値へと小さくなっていく様子を示した。</p> <p>さらに、強化学習としてよく使われる Q 学習についても同様に、外部乱数に基づく確率的探索を行わなくても内部のカオスダイナミクスによって学習できることを示し、さらに、この場合も Edge of Chaos 近くダイナミクスにおいて学習性能が向上することを示し、自律探索学習における Edge of Chaos の有用性を示した。</p> <p>本審査およびオンラインにて実施した公聴会での審査において、予備審査での指摘事項に関して、本研究の位置付けの明確化、タスクの時間スケールに対する柔軟性も示し、論文および要旨の体裁の不備も適切に修正されていることを確認した。今後、従来研究へのより一層の理解に基づく深い議論を期待する旨のコメントもあった。また、本審査、公聴会とも、発表の内容やスライド、喋りも適切であり、研究の意義や応用面から技術的なものまでの幅広い質問に対して的確に回答することができた。</p> <p>以上より、審査委員一同、申請者が今後一人で研究を進めていく能力を有することを確認した上で、学位論文審査、最終試験ともに合格として学位授与に相当すると判定した。</p>			