

氏名	のむらまさき 野村真樹
学位(専攻分野)	博士(情報学)
学位記番号	情博第38号
学位授与の日付	平成13年3月23日
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当
研究科・専攻	情報学研究科数理工学専攻
学位論文題目	Studies of oscillator neural networks modeling the time correlation of neuronal spikes (ニューロンのスパイクタイミングをモデル化した振動子ニューラルネットワークに関する研究)
論文調査委員	(主査) 教授 宗像豊哲 教授 藤坂博一 講師 青柳富誌生

論文内容の要旨

本論文では、脳における記憶のモデル化のために結合振動子系を採用し、連想記憶の動的な性質を神経統計力学の理論と数値計算によって調べている。また、結合振動子モデルを拡張し、同様の手法を用いて概念形成の問題を調べている。

第1章は序論で、連想記憶モデルの背景と過去の主な研究が紹介されており、これまで研究されてきたモデルと現在の生理学実験の知見との隔たりを指摘している。具体的にはニューロン間のパルスタイミングと発火の低頻度性の重要性について言及し、本研究の目的と概要が述べられている。

第2章では、結合振動子系からなるモデルに神経統計力学を適用し系の平衡状態と非平衡状態を理論的に解析することで最大記憶容量と引き込み領域が調べられている。具体的には、周期発火している神経素子を仮定しそれらが相互作用している系に非線形動力学理論を適用し、結合振動子系の時間発展を記述するモデルを導き、閾値を導入することにより非発火状態を実現している。この時間発展方程式を基礎とする自己想起モデルの平衡状態を解析する事により、発火頻度が低くなるにつれ最大記憶容量は発散する事が示されており、数値実験の結果とも一致している。非平衡状態の解析により、最大記憶容量付近でさえ、系は連想記憶を実現する上で十分広い引き込み領域を持つことが示されている。理論解析上、ノイズの時間相関を考慮する必要があることが示され、理論結果と数値実験との比較により1ステップ前の時間相関を考慮すれば理論値と数値実験が良く一致する事が示されている。相互想起のモデルについても考察を行い自己想起モデルと同様の性質を持つことが示されている。ノイズの分散を用いて閾値を自動的に制御することで、引き込み領域が拡大することを理論と数値実験の両面から示している。次に、複数の発火率を持つパターンを同時に埋め込んでも連想記憶が可能であることが示されている。具体的には、2種類の発火率を持つパターンを埋め込んだ場合、一方のパターンが取りうる最大記憶容量は他の発火率を持つパターンの記憶容量に対して線形的に減少する。記憶容量は2種類のパターンそれぞれを想起可能である領域、一方のみ想起可能である領域、どちらも想起できない領域に分けることが可能である事が示されている。また、神経系の切断に対する連想記憶の耐久性が述べられている。神経系を切断しても発火頻度を下げると記憶容量は発散する事が示されている。全結合の場合の最大記憶容量を1として規格化すると発火頻度を下げると最大記憶容量の減少は切断率に対して線形に近づくことが示されている。切断率が高い場合でも引き込み領域は広さを保っていることが示されている。

第3章では、2レベルの階層構造を持ったパターンを導入し、そのパターンを用いて2種類の混合パターンを定義し、混合パターンをターゲットとする連想記憶を行っている。オリジナルパターンの位相情報を保持している混合パターンを用いた連想記憶モデルの平衡状態を神経統計力学と数値実験を用いて調べ、混合パターンの発火率が下ると最大記憶容量が発散することが示されている。位相情報を保持している混合パターンと保持していない混合パターンの非平衡状態を数値実験で比較することにより、両者が持っているパターン想起の信頼度が異なることを示し、この差を用いた概念形成に関して述べている。具体的には、等しい位相パターンに属するパターンはクラスを形成し、位相パターンが異なるパターン間では

クラスが形成されにくい事を示し、クラスを概念と対応づけている。

第4章は結論で、本論文のまとめが述べられている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、低発火頻度の条件下で、ニューロンパルス間の発火タイミングを連想記憶するモデルを構築し、神経統計力学と数値実験を用いてモデルの様々な性質を調べており、得られた主な結果は以下の通りである。

- 1) パルスタイミングは低発火頻度でも連想記憶可能であり、最大記憶容量は発火頻度0の極限では発散している。
- 2) 最大記憶容量付近でも広い引き込み領域を持っている。非平衡状態の解析では、ノイズの時間相関を考慮に入れることが重要である。
- 3) ノイズの分散を用いて自動的に閾値を制御することで引き込み領域を拡大することが可能である。
- 4) 異なる発火頻度を持つパターンを同時に埋め込んでも連想記憶が可能である。
- 5) 発火タイミングという微妙な情報を取り扱っているにも関わらず、神経系の切断に対しても連想記憶能力は耐久性がある。低発火頻度では、全結合の場合の最大記憶容量を1と規格化すると切断に対して最大記憶容量は線形的に減少する。
- 6) 位相情報を用いてシンプルな概念形成のモデルを構築することが可能である。

以上、本論文は情報処理におけるパルスタイミングの重要性、可能性を明示しており、今後の脳神経科学の理論研究に対しても重要な知見を提供している。

よって、本論文は博士(情報学)の学位論文として価値あるものと認める。また、平成13年2月8日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。