

論文審査の結果の要旨

氏名 石橋 和也

本論文は6章から構成されており、全章を通じて連想記憶型フィードフォワードネットワークの性質が議論されている。第1章は背景知識と連想記憶型フィードフォワードネットワークの導入にあてられている。第2章は議論の対象であるネットワークの詳細な構成について記述している。第3章は連想記憶型フィードフォワードネットワークの重要なパラメータであるパターン占有率が0.5の場合の解析結果について述べられている。第4章では、一般のパターン占有率の場合の解析結果についてのべ、特にスパースなネットワークにおける性能の向上について議論している。第5章では、埋め込む連想記憶の各パターン間に相関がある場合の解析結果について述べられている。第6章は論文のまとめと、今後の発展性について議論している。

本論文は連想記憶型フィードフォワードネットワークのパケット伝播における性質を解析した論文である。その研究目的は、「多く」の情報を「正確に」伝達することを目的とする神経ネットワークの研究にある。神経系は情報処理を目的とする器官であるが、一般に個々の神経細胞の挙動はノイズの影響を受けやすいと考えられている。そこで、正確な情報伝達をすることのできるネットワークとして注目を受けているのが **synfire chain** と呼ばれるフィードフォワードネットワークである。**synfire chain** は各層に多数のニューロンを配置したネットワークであり、その冗長性ゆえに再現性の高い信号伝播を可能とする。その一方、従来の **synfire chain** はほぼ全細胞が同時に発火するモードしか情報を伝播するモードは存在せず、情報量の観点から効率がよいとは考えられなかった。そこで、本論文では連想記憶の手法を用いることで、一つのフィードフォワードネットワークにおいて複数の伝播モードを実現することを目標とした。

第2章では、本論文で扱うネットワークの詳細を記述した。本論文では各神経細胞に **Leaky Integrate-and-Fire (LIF)** ニューロンモデルを用いた。**LIF** ニューロンモデルは膜電位を内部変数として持つ、シンプルでかつ生物学的にもっともらしいモデルである。本論文ではホワイトなノイズを受ける **LIF** ニューロン集団の挙動を **Fokker-Planck** 方程式で記述することに成功した。これにより、巨視的変数だけを用いた見通しのよい議論が可能となった。また、各層の細胞の中から、発火すべき細胞を選び出し、それら間を **Hebb** 学習則を用いて接続することにより各記憶パターンをネットワークに埋め込んだ。この時の、全体の細胞に対する発火すべき細胞の割合をパターン占有率と呼ぶ。

第3章では、パターン占有率が0.5、すなわち半分の細胞が各記憶パターンで発火するときについて議論を行った。この時、期待した通り、各記憶パターンが再現性よく同期して発火することを解析の結果明らかにした。その一方、複数の記憶パターンを同時

もしくは連続して活性化した場合は、通常の同期した発火タイミングがずれを生じることを明らかにした。

第4章では、パターン占有率が 0.5 以外のネットワークにおける挙動を解析した。パターン占有率が 0.5 より小さい場合は、第3章で見られたような発火タイミングのずれは伝播中に小さくなり最終的に消えることを明らかにした。それに対してパターン占有率が 0.5 より大きい場合では伝播中にタイミングのずれは大きくなっていくことが明らかになった。さらに、多くの記憶パターンを埋め込むと、各記憶パターンの伝播は不安定になる。その不安定さはパターン占有率に依存し、パターン占有率が小さいとより多くのパターンが埋め込めることを明らかにした。これらの結果は、小さなパターン占有率のネットワークが同期発火を安定伝播する能力において優れていることを示唆する。

第5章では各記憶パターンの間に相関が生じた場合には、一つの記憶パターンの入力しかない場合であってもそのパターンは同期しては伝播しないことが明らかになった。このことから相関のある記憶パターンは信号の同期伝播には不向きであることが示唆された。

以上のように、本論文は、連想記憶型フィードフォワードネットワークを解析することにより、高い再現性と多くの情報伝達を同時に実現するネットワークの基礎的研究を行った。

なお、本論文の主論文2報は、濱口航介、岡田真人との共同研究であるが、論文提出者が主体となって解析を行ったもので、論文提出者の寄与が十分であると判断する。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。