

審査の結果の要旨

Qualitative-modeling-based digital silicon neuronal network models (定性的モデリングアプローチに基づいたデジタルシリコン神経ネットワークモデル)

氏 名 名波 拓哉

本論文は、定性的モデリングアプローチに基づいたデジタルシリコン神経ネットワークを構築するための基礎技術と、その応用について述べている。シリコン神経ネットワークは、脳神経系の電気生理学的活動を模倣する電子回路システムであり、高エネルギー効率、自律性、ロバスト性、知的情報処理など脳神経系の優れた特性を引き継ぐことのできる新しい情報処理システムの基盤技術として期待されている。近年、半導体プロセスの微細化が物理的な限界に迫り、計算機システムの性能向上のためには情報処理アーキテクチャの改革が必須であるが、シリコン神経ネットワークは、人工ニューラルネットワークと異なる、脳神経系をよりよく模倣した新しいアーキテクチャとして注目を集めつつある。

第一章は、シリコン神経ネットワークの背景、概要、先行研究などについて述べるとともに、シリコン神経ネットワークの主要な構成要素であるシリコンニューロンのモデルとして用いられる様々なスパイクニューロンモデルをレビューしている。

第二章は、FPGAを用いて効率的に実装できるシリコンニューロンモデルの構築とその調整手法とについて述べている。シリコンニューロンは脳神経系における神経細胞に対応する主要な構成要素であるが、先行研究で開発された、神経細胞の電気生理学的活動の背後にある数学的構造を解析し、それを回路実装に適した方程式で記述する定性的なシリコンニューロンモデルを拡張し、大脳皮質や視床に存在する様々な神経細胞の活動を再現できるモデルを構築している。このモデルによって目的の神経活動を実現するためには多数のパラメータの値を適切に設定する必要があるが、これは高次元空間の探索問題である。これに対し、差分進化法を用いたモデルパラメータ値ベクトルの自動探索手法を考案し、より少ない消費回路リソースで様々な神経活動を再現する手法を開発している。

第三章は、第二章で構築されたシリコンニューロンモデルを用いたシリコン神経ネットワーク上での、教師なし学習によるパターン認識について述べてい

る。相互抑制結合をもつ一層のフィードフォワードネットワークにおいて非対称性STDP学習を行うことによって、ランダムな神経スパイク時空間パターンの中に繰り返し出現する特定の時空間パターンを検出することができることが知られているが、このネットワークをシリコン神経ネットワークで実現した場合にシリコンニューロンモデルの特性とパターン認識の性能との関係を解析している。サブパラメータを、差分進化法を用いて最適化しながら、シリコンニューロンモデルの早いダイナミクスを様々に変化させて比較することで、神経スパイク生成直後に長い静止期間を持つ場合に、高い精度でパターンの検出を行えることをシミュレーションにより示している。また、シリコンニューロンモデルに遅いダイナミクスを加えることで、入力データの平均発火周波数の変化にロバストに対応できることを示している。

第四章では、第二章で構築されたシリコンニューロンモデルを用いてショウジョウバエの聴覚器官であるジョンストン器官のモデルを構築している。ジョンストン器官は、2つの神経細胞がイオンの密閉された空間に格納されているなどの解剖学的構造や入出力特性は、神経生理学実験によって調べられているが、その背後にある情報処理機構は明らかになっていない。構築したモデルは、ジョンストン器官の各細胞のダイナミクスを仮定し、細胞間の相互の抑制といった、生物学実験結果から推測される特性を、生物学的に妥当な形で説明している。

第五章では、本論文の成果を要約している。

以上これを要するに、本研究はシリコン神経ネットワークについて、コンパクトでありながら多様な神経活動を実現可能なシリコンニューロンモデルを構築するとともに、これを応用した教師なしパターン認識ネットワーク及びショウジョウバエ聴覚器官モデルを構築したものであり、電子工学上寄与するところが少なくない。

よって本論文は博士(工学)の学位請求論文として合格と認められる。