

氏 名	よしだ みつお <b>吉 田 光 男</b>
学位(専攻分野)	博 士 ( 工 学 )
学 位 記 番 号	博 甲 第 4 2 5 号
学位授与の日付	平成 18 年 3 月 24 日
学位授与の要件	学位規程第 3 条第 3 項該当
研 究 科 ・ 専 攻	工芸科学研究科 情報・生産科学専攻
学 位 論 文 題 目	<b>複素数値および四元数値リカレントニューラルネットワーク の安定性解析</b> (主査)
審 査 委 員	教授 森 武宏 教授 大住 晃 教授 黒江康明

### 論文内容の要旨

人工ニューラルネットワークは、その並列処理能力、分散的かつ柔軟な情報の取り扱い能力によって、今や欠かせない情報処理ツールとなっている。人工ニューラルネットワークには階層型と自己回帰型の大別して二つのタイプがあるが、後者はリカレントニューラルネットワークと呼ばれ連想記憶の実現や最適化問題の解法などに効果的に用いられる。これら従来のリカレントニューラルネットワークではその素子の変数やパラメータのとり値は実数値であった。しかし、近年、複素数や四元数変数、パラメータのネットワークが信号処理分野を中心に注目され、研究が開始されている。その殆どはしかし階層型ネットワークに限られ、複素数値リカレントネットワークについてその振舞いを検討したものは非常に乏しいといつてよい。本論文は複素数や四元数の変数とパラメータを持ち、動的非線形システムとしてモデル化されるリカレント型ニューラルネットワークの平衡点解析法を提案するものである。複素リカレントニューラルネットワークに関しては本論文で二つの成果が得られている。一つは、リアプノフ関数を導く複素ニューロンの活性化関数のクラスを定義し、ネットワークの大域的漸近安定性条件を導いたことである。他の一つは、得られた条件を最適化問題の一種である凸計画問題に応用した点である。四元数とは複素数を含む超元数であるが、本論文では四元数リカレントニューラルネットワークのモデルを提案し、このネットワークにエネルギー関数が存在するための条件を導く。さらに、このエネルギー関数を用いて証明される局所的安定性条件を示す。

本論文は全 7 章より成っている。第 1 章の緒言のあと第 2 章で研究の背景をより詳しく述べている。第 3 章はネットワークの数学モデルを連続時間と離散時間の二つのタイプについて定義したものである。また、関連した複素活性化関数のいくつかのクラスを定め、それらとエネルギー関数の存在との関係が示されている。第 4 章では連続時間複素リカレントニューラルネットワークの平衡点の大域的漸近安定性条件が導かれ、その複素凸計画問題の応用法が例示されている。対応する離散時間複素リカレントニューラルネットワークに関する結果が第 5 章でまとめられ、前章の結果との比較がなされている。第 6 章では四元数リカレントニューラルネットワークについてである。三種類のモデルと各モデルに対するエネルギー関数の存在条件が明らかにされている。第 7 章では以上の結果をまとめている。

## 論文審査の結果の要旨

提出された論文は、連想記憶や最適化問題を扱う情報処理技法としてすでに定着したツールであるリカレントニューラルネットワークの定性的な性質を論じたものである。従来のこの種の解析的な研究との決定的な違いは、ネットワークの変数やパラメータの値が複素数値あるいはその一般化である四元数値をとることである。実数値ネットワークを特殊な場合として含むこのようなリカレントネットワークは、上記のような問題への適用可能性を広げるほか、信号処理など新たな適用分野を見出しつつある。本論文は、複素数値あるいは四元数値リカレントニューラルネットワーク応用時の中心課題である平衡点の安定性解析に関するいくつかの新規の定理を導いている。まず、複素リカレントニューラルネットワークについては、複素ニューロン素子の活性化関数のクラスを定め、対応するリアプノフ関数により平衡点の大域的な漸近安定条件を導出している。さらに、この結果を最適解を得るのが一般に困難とされる凸計画問題に適用し、近似最適解がごく簡単に得られることが示されている。申請者はさらに全く並行した結果が離散時間複素リカレントネットワークにも成立することを示し、先に得られた連続時間ネットワークに関する結果との対比を明らかにした。

次に四元数値ネットワークについては、三種類の数学モデルを提案し、各モデルに対するエネルギー関数の存在条件を導いている。この結果はモデルの局所的安定条件の導出を可能にし、新しい連想記憶機構への応用を可能ならしめている。以上のように、本論文で得られた安定性解析の成果は、複素数値あるいは四元数値をとるリカレントニューラルネットワークの適用の可能性について新たな地平を切り拓くものであり、新規性の要求される学位論文にふさわしく、高く評価される。

本論文の基礎となっているのは、下記の公表論文である。

1. 吉田 光男, 森 武宏, 黒江 康明, 「複素リカレントニューラルネットワークの大域的漸近安定性条件とその応用」, 電気学会論文誌 C, vol. 124-C, no. 9, pp. 1847-1852, 2004.
2. M. Yoshida, Y. Kuroe, T. Mori, "On activation functions for complex-valued neural networks: existence of energy functions," Proc. JOINT 13th International Conference on Artificial Neural Networks and 10th International Conference on Neural Information Processing, June 26-29, 2003, Istanbul, TURKEY, O. Kaynak et al. (Eds.), LNCS 2714, pp. 985-992, Springer-Verlag, 2003.
3. M. Yoshida, Y. Kuroe, T. Mori, "Models of Hopfield-type quaternion neural networks and their energy functions," International Journal of Neural Systems, vol. 15, no. 1&2, pp. 129-135, 2005.
4. M. Yoshida, Y. Kuroe, T. Mori, "A model of Hopfield-type quaternion neural networks and its energy function," Proc. 11th International Conference Neural Information Processing,

November 22-25, 2004, Calcutta, INDIA, N. R. Pal et al. (Eds.), LNCS 3316, pp. 110-115, Springer-Verlag, 2004.