



マルチモジュールニューラルネットとその連想特性に関する研究

小澤, 誠一

(Degree)

博士 (工学)

(Date of Degree)

1998-03-11

(Date of Publication)

2007-08-27

(Resource Type)

doctoral thesis

(Report Number)

乙2214

(JaLCD0I)

<https://doi.org/10.11501/3141259>

(URL)

<https://hdl.handle.net/20.500.14094/D2002214>

※ 当コンテンツは神戸大学の学術成果です。無断複製・不正使用等を禁じます。著作権法で認められている範囲内で、適切にご利用ください。



| | | |
|----------------|-------------------------------|-------|
| 氏名・(本籍) | 小 澤 誠 一 お ざわ せい いち | (大阪府) |
| 博士の専攻 分野の名称 | 博 士 (工 学) | |
| 学位記番号 | 博ろ第167号 | |
| 学位授与の要件 | 学位規則第4条第1項該当 | |
| 学位授与の日付 | 平成11年3月11日 | |
| 学位論文題目 | マルチモジュールニューラルネットとその連想特性に関する研究 | |

審 査 委 員 主査 教授 北 村 新 三 教授 赤 澤 堅 造
教授 阿 部 重 夫

論 文 内 容 の 要 旨

人工ニューラルネットの研究は、生物の情報処理メカニズムの解明やモデル化に重点を置いた「生物指向型」の研究と、生物の情報処理メカニズムを参考にした新たな情報処理様式の提案やシステムの高性能化を目指す「応用指向型」の研究とに大別される。工学の分野においては主に後者のアプローチが取られ、これまでパターン認識や制御、予測、信号処理、最適化など数多くの問題に適用されてきた。しかしながら、この応用事例の多くは単一の情報処理系として構成されたものが中心であり、「ネットワークの部位によって異なった情報処理様式をもったニューラルネット」、つまり複数の情報処理系（モジュール）が統合されたマルチモジュールニューラルネットを用いた事例はあまり多くない。複数の階層型ニューラルネットを統合した静的なマルチモジュールニューラルネットを扱った事例はいくらかあるが、基本的に問題空間を分割して解く、いわゆる分割統治型のアプローチであって、モジュール間で行われる相互作用を積極的に利用するものではない。これまでの生物学的知見からも明らかのように、生物においては複数の情報処理系で構成されたニューラルネットによる動的な情報処理が中心である。応用指向型のニューラルネット研究であっても、新たな情報処理様式の提案は生物システムを参考にすることから生まれる。この意味で、複数個の動的な情報処理系で構成されたニューラルネット（動的マルチモジュールニューラルネット）を研究対象とすることは重要でかつ興味深い。そこで、本論文では動的マルチモジュールニューラルネットのモデル化手法を提案し、このモデルで実現される動特性の考察を行うことにした。また、本モデルの実用性を評価するために連想記憶に適用し、様々な記憶パターンに対する連想特性および性能を調べることにした。

まず、第1章では本研究を行うに至った背景と目的について詳しく論じた。

第2章では、まず本モデルにおけるモジュールの情報処理と相互作用の機能について定義し、多様な相互作用を導入するためのクラスを定義した。次に、動的マルチモジュールニューラルネットの情報処理をエネルギー関数で記述する方法について述べ、これからネットワークに漸近安定性を保証す

る動作方程式（ユニットの状態と結合荷重の更新則）を導出する方法について述べた。また、実際に2種類の相互作用が導入された動的マルチモジュールニューラルネットの動作方程式を導出した。さらに、モジュールの最終状態間に一対多の関係が生じる可能性について述べ、これを回避するために導入される自己参照型相互作用について述べた。

第3章では、マルチモジュールモデルに導入された相互作用の役割について調べるため、ポップフィールドモデルに誤差エネルギー（相互作用に対するエネルギー関数）を付加した1モジュールモデルを導入した。そして、この1モジュールモデルと等価な情報処理を行う自己想起型連想記憶モデルを導き、この結合行列を固有値解析することでネットワークの動特性を考察する方法を提案した。この解析手法を用いて動特性を考察した結果、記憶パターン（モジュールの最終状態）が張る空間と直交するノイズ空間において、相互作用を導入することの効果が明確に現れることがわかった。また、このノイズ空間のダイナミクスはネットワークの状態からノイズ成分を除去する役割をもち、連想性能を従来手法に比べて飛躍的に向上させる。このことは、記憶パターンがランダムに選ばれた場合とクラスター構造をもつ場合において確認された。また、ネットワーク全体の情報処理に対する誤差エネルギーの貢献度を変化させることで、記憶パターンへの引き込み領域が拡大縮小することがわかった。これは情報検索の柔軟性を本モデルに与えるものであり、連想記憶モデルとして重要な性質の一つである。

第4章では、マルチモジュールニューラルネットの基本モデルである2モジュールモデルを導出し、モジュール間に相互作用を導入したニューラルネットの基本動特性について調べた。状態空間におけるエネルギー関数の形状や引き込み領域などを調べた結果、モジュールは他方のモジュールの状態に依存して自己の情報処理様式をダイナミックに変化させることがわかった。このときモジュール間には競合が生じており、その競合を解消することで特定の最終状態を導く様子が観測された。記憶パターンの構造に関係なく、2モジュールモデルが優れた連想性能を有することをシミュレーション実験により確認した。また、相互作用に非線形性を加えることで、連想性能がさらに向上することを示した。モジュールの最終状態に一対多の対応関係がある一例として文字パターン対の連想を取り上げ、自己参照型相互作用を取り入れたモデルが正しく動作することを確認した。

第5章では、異なる2種類の自己参照型相互作用（大局的相互作用と局所的相互作用）を導入したマルチモジュールモデルが導出され、その動特性の考察が行われた。第3章で提案した動特性の解析手法をここでも適用するため、マルチモジュールモデルの等価モデルを導出した。等価モデルの結合行列を固有値解析し、動特性の考察を行った結果、2種類の相互作用が同時に導入されることで動特性が改善されることを確認した。また、この動特性の改善がノイズ空間における望ましいダイナミクスの形成に起因することを示した。また、（優れた連想性能）＝（多様な引き込み特性）という観点から、マルチモジュールモデルの連想記憶システムとしての評価が行われた。この結果、貢献度パラメータやモジュール数、さらに導入される相互作用の種類を変更することで、様々な連想特性（引き込み特性）が実現されることをシミュレーション実験により示した。

第6章では、前章までに得られた結果をまとめ、本研究で得られた結論と今後の課題について述べた。

論文試験の結果の要旨

近年人間のもつ知能を機械化する研究が多くなされている。その一つに脳の神経細胞をモデル化しそれをネットワーク状に結合したいわゆる人工ニューラルネットワークが工学的な問題に応用されつつある。この論文は散逸構造形のニューラルネットワークの理論とそれの連想記憶問題への応用に関するものである。

人間などの脳に関する研究の進展により、脳では神経細胞は局所的に役割をもつ細胞群から構成される構造をもっていることが分かりつつある。この知見は人工ニューラルネットワークの構造にそのようなモジュール構造を導入するヒントを与える。しかし、「ネットワークの部位によって異なった情報処理様式をもったニューラルネット」、つまり複数の情報処理系（モジュール）が総合されたマルチモジュールニューラルネットを用いた事例はあまり多くない。そこで、本論文では動的マルチモジュールニューラルネットのモデル化手法を提案し、このモデルで実現される動特性の考察を行っている。さらに提案したモデルの実用性を評価するために連想記憶に適用し、様々な記憶パターンに対する連想特性および性能を調べている。

第1章では本研究を行うに至った背景と目的について詳しく論じている。

第2章では、まず提案モデルにおけるモジュールの情報処理と相互作用の機能について定義し、多様な相互作用を導入するためのクラスを定義している。次に、動的マルチモジュールニューラルネットの情報処理をエネルギー関数で記述する方法について述べ、これからネットワークに漸近安定性を保証する動作方程式（ユニットの状態と結合荷重の更新則）を導出する方法について述べている。また、実際に2種類の相互作用が導入された動的マルチモジュールニューラルネットの動作方程式を導出している。さらに、モジュールの最終状態間に一対多の関係が生じる可能性について述べ、これを回避するために導入される自己参照型相互作用について述べている。

第3章では、マルチモジュールモデルに導入された相互作用の役割を調べるため、ポップフィールドネットに誤差エネルギー（相互作用に対するエネルギー関数）を付加した1モジュールモデルを導出している。そして、この1モジュールモデルと等価な情報処理を行う自己想起型連想記憶モデルを導き、この結合行列を固有値解析することでネットワークの動特性を考察する方法を提案している。この解析手法を用いて動特性を考察した結果、記憶パターン（モジュールの最終状態）が張る空間と直交するノイズ空間において、相互作用を導入することの効果が明確に現れることがわかった。また、このノイズ空間のダイナミクスはネットワークの状態からノイズ成分を除去する役割をもち、連想性能を従来手法に比べて飛躍的に向上させる。このことは、記憶パターンがランダムに選ばれた場合とクラスター構造をもつ場合において確認された。また、ネットワーク全体の情報処理に対する誤差エネルギーの貢献度を変化させることで、記憶パターンへの引き込み領域が拡大縮小することを示している。

第4章では、マルチモジュールニューラルネットの基本モデルである2モジュールモデルを導出し、モジュール間に相互作用を導入したニューラルネットの基本動特性について調べている。状態空間におけるエネルギー関数の形状や引き込み領域などを調べた結果、モジュールは他方のモジュールの状態に依存して自己の情報処理様式をダイナミックに変化させることを示している。このときモジュール間には競合が生じており、その競合を解消することで特定の最終状態を導く様子が観測された。記憶パターンの構造に関係なく、2モジュールモデルが優れた連想性能を有することをシミュレーション実験により確認している。また、相互作用に非線形性を加えることで、連想性能がさらに向上する

ことを示している。さらにモジュールの最終状態に一对多の対応関係がある一例として文字パターン対の連想を取り上げ、自己参照型相互作用を取り入れたモデルが正しく動作することを確認している。

第5章では、異なる2種類の自己参照相互作用（大局的相互作用と局所適相互作用）を導入したマルチモジュールモデルが導出され、その動特性の考察を行っている。第3章で提案した動特性の解析手法をここでも適用するため、マルチモジュールモデルの等価モデルを導出した。等価モデルの結合行列を固有値解析し、2種類の相互作用が同時に導入されることで動特性が改善されることを確認している。また、この動特性の改善がノイズ空間における望ましいダイナミックスの形成に起因することを示している。さらに、（優れた連想性能）＝（多様な引き込み特性の実現）という観点から、マルチモジュールモデルの連想記憶システムとしての評価を行っている。この結果、貢献度パラメータやモジュール数、さらに導入される相互作用の種類を変更することで様々な連想特性（引き込み特性）が実現されることを示している。

第6章は、前章までに得られた結果をまとめ、本研究で得られた結論と今後の課題について述べたものである。

以上、本研究はマルチモジュール構造のニューラルネットワークの特性とその連想記憶への応用について研究したものであり、これはニューラルネットワークの理論と応用において重要な知見を得たものとして価値ある集積であると認める。

よって、本研究者は、博士（工学）の学位を得る資格があると認める。