

解説



## リアルワールドコンピューティング研究計画

## 5. RWC におけるニューラルシステムの研究開発†

古谷 立美†

## 梗概

RWC プログラムにおけるニューラルシステム研究の概要を示す。ニューラルシステムは、生体のもつ柔軟な情報処理能力を参考に、柔軟な情報処理を実現しようとする試みである。ここでは、ニューラルモデルなど理論に近い部分から、ハードウェア化、超並列マシンとの統合まで幅広く研究が行われる。本稿の最後では、研究の一例として、つくば研究センタにおける取組みを紹介する。

## 1. はじめに

RWC プログラムでは、柔軟な情報処理実現のために理論、応用（新機能）の両面からさまざまなアプローチが試みられる予定である。その中でニューラルシステムは、特に選び出した切り口として、大研究項目に位置づけて集中的に研究していこうとしている。ニューラルシステムに着目した理由は、柔軟な情報処理の理想型と考えられる脳という存在証明があることと、この分野の研究が近年急速に進展してきたことがあげられる。また、最近では、遺伝的アルゴリズムや人工生命といった新しい方向への展開もみられ、情報処理の新しいパラダイムとなる可能性を感じさせる。

本プログラムでは、ニューラルシステムをニューラルネットワークだけに限定せず、“生物がもっている情報処理機能を模した情報処理”といった広義にとらえ新しい動きや研究成果を取り入れながら柔軟に研究を推進していく予定である。

2. 研究計画の概要<sup>1)</sup>

## 2.1 研究の枠組

計算機は急速な進歩をとげてきたが柔軟な処理という点では生物に及ばない。神経細胞の処理速度はシリコン論理ゲートに比べて5桁から6桁遅いにもかかわらず、脳は最速のデジタルコンピュータよりもはるかに速く処理を行う場合がある。柔軟な情報処理の実現には、生体の中で行われているいろいろな情報処理がヒントになると思われる。脳を模したニューラルネットワークはその代表的なもので、特定の情報処理を高速に処理し、知的な振舞いを実現することが期待される。ニューラルネットワークによる情報処理が注目されるのは、多数の単純な処理ユニットが互いに密な情報交換を行いつつ、「協調と競合」の原理にしたがって処理を行っている点である。従来型コンピュータのプログラムに相当する機能は結合強度で表現されるため、システムが学習や適応を行う際には、従来の数値的最適化手法を用いることが可能となる。このような特徴から、ニューラルシステムは柔軟な情報処理のプラットフォームとなり得ると考えられる。

ニューラルネットワークに関しては、今までにいろいろなものが提案されてきており、パターン処理、最適化問題における近似解法、制約充足処理などに適していることが示されている。しかし、それらの試みは小規模なアプリケーションに限定されたものであり、使用されるニューラルモデルも単純で、学習方法もほとんどの場合、バックプロパゲーションであった。柔軟な情報処理の実現は、過去のアプリケーションと比較してより難しいものであり、われわれは、新たなニューラルモデル、学習方法、自己組織化などといった、ニューラルネットワークの新たな可能性について探

† Neural Systems in RWC Program by Tatsumi FURUYA (RWCP Tsukuba Research Center).

† 新情報処理開発機構つくば研究センター 超並列ニューロ部

求しなければならない。

近年、ニューラルネットのほかにも生物の情報処理機構を利用しようというさまざまな動きがある。遺伝的アルゴリズムは、生命の進化過程を最適化問題に適用するもので、さまざまな領域への利用が進んでいる。さらに、最近では人工生命が一つの研究領域を作りつつあり、新しい展開が期待されている。

ニューラルネットに代表される生体を模した情報処理では、多数の微小要素の相互作用が処理の基本となる。現在これらの処理は、従来型のコンピュータ上に構築され、シミュレーションが行われているが、非常に大きな処理時間がかかることがよく知られている。この問題は当面汎用超並列コンピュータにより解決されるであろうが、将来は専用のアーキテクチャが要求される可能性は高い。

本プログラムの目標は、実世界領域で動作する柔らかな情報処理システムを実現するために大規模ニューラルネットワークなど生体機能を模した情報処理の可能性を探求し、新たなモデルに基づいたハードウェアおよびソフトウェアからなるニューラルシステムを構築することである。ニューラルモデルの開発は本プログラムの重要なテーマの一つである。そのモデルは、外界との相互作用により知識を学習したり自分自身の構造を適応的に変化させることが可能なものでなければならない。また、ハードウェアシステムは、そこで開発されたモデルを高速処理することが望まれる。特に最終段階では、柔らかな情報処理を実現するため、ニューラルシステムと超並列システムが統合される予定である。

## 2.2 研究課題

### (1) ニューラルモデル

ニューラルシステムの研究では、柔らかな情報システムを実現するための新たなニューラルモデルを開発しようとしている。柔らかな情報システムは、実世界との相互作用により適応的に自己の構造を変化させる大規模ニューラルネットワークにより実現される。ネットワークは実時間環境において、教師あり学習あるいは自己組織化により動的に成長する。しかし、成長に際してすでに存在している知識を忘れないようにしなければならない。これらの要求を満足するため、以下に示す

ような各領域の研究が必要である。

#### (i) ニューロンユニットモデル

より高度で知的な機能を実現するためのニューロンモデルの開発。

#### (ii) モジュール化と階層化

実世界で利用される大規模ニューラルネットワークが、外部環境との相互作用を通して、自律的にモジュール化や階層化がなされなければならない。モジュール化、構造化および機能分化のための分散学習法や学習制御法を開発する必要がある。

#### (iii) 学習と自己組織化

リアルワールドコンピューティングにおいては、実時間学習が非常に重要である。既存の知識を破壊することなく新たな知識を追加でき、かつ一貫性を保ちながら既存の知識の削除を行えるような学習方式を開発することが重要である。また、大規模ニューラルネットワークの多くは、再帰ループをもっており、リカレントネットワークに対する学習や自己組織化の機構を構築することが重要である。

#### (iv) 連想記憶

連想はニューラルネットワークにより創出される基礎的な機能の一つである。空間パターンや時間パターンなど、いろいろな情報が分散記憶され、ベストマッチの原理で想起が行われる。これら連想機能の原理を理論的に解明するとともに、その機能を実現するための工学的機構が開発される必要がある。

### (2) その他の生体機能

ニューラルネットワーク以外にも、人工生命、遺伝的アルゴリズム、免疫システムといった生体機能を模した情報処理が提案されてきている。これらも、生体のもつ適応性を情報処理に利用する際に、よいヒントを提供すると思われる。さらには、生体のもつアナログ的な非線形力学に着目し、カオスなどアナログコンピューティングの原理について研究することも有効と考えられる。

### (3) ニューラルシステムのハードウェア

ニューラルシステムのハードウェアは、外部環境との相互作用により構造を適応的に変化させるようなモジュール化された大規模ニューラルネットワークをサポートしなければならない。現在のところ、そのようなニューラルシステムは100万ユニットのニューラルネットワークをサポート

トし、10 TCUPS (TeraConnections Updates Per Second) の速度で動作する必要があると考えられている。しかし現時点ではニューラルネットワークモデルが明確にされていないこと、将来において他のさまざまな新しいモデルが発表されるであろうことが予想されるため、すぐにハードウェアの開発に入ることは得策ではないと考えている。当面は、さまざまなアーキテクチャに関する基礎研究を実施していく予定である。

ニューラルシステムのハードウェアとしては、デジタル処理チップからアナログ処理チップまでさまざまな提案されているが、ニューラルネットワークの機能をニューロンユニットモデルを使わずにハードウェアロジックで工学的手法で実現することも研究しておく必要がある。

#### (4) ニューラルシステムのソフトウェア

ニューラルシステムの研究開発においては、以下のようなさまざまなソフトウェアシステムが必要となる。

##### (i) シミュレーションシステム

大規模ニューラルネットワークのための柔軟性のある汎用ニューラルシミュレータが強力なツールとなるであろう。このようなシミュレータに対して求められる要件には、マシン独立性、拡張性、解析ツール、便利なユーザインタフェース、高速性、豊富なユーティリティルーチンなどがある。

##### (ii) ニューラルネットワーク言語

ニューラルネットワーク処理は、高水準言語によって記述されるべきである。このような言語の設計には、曖昧情報の表現、ベストマッチ操作の記述、論理プログラムとの統合などが重要となる。また、シミュレータとの統合やニューラルネットワークをハードウェアにマッピングするための機構、資源のスケジューリングなども考慮する必要がある。

#### (5) 超並列システムとの統合

ニューラルシステムは、複数のニューラルハードウェアから構築される可能性が高い。しかし、いずれにせよニューラルシステムは、パターン認識、連想記憶、最適組合せの探求、および他の特殊な機能といった専用目的のためのプロセッサのひとつとなると予想される。このことは、ニューラルシステムが他のシステムと結合あるいは統合

されなければならないことを意味する。結合形態は、密結合から疎結合までさまざまなものが考えられる。たとえば、ニューラルネットワークが連想メモリとして超並列システムの要素プロセッサに結合されるものや、最適化問題のような専門的な仕事をニューラルシステムに担当させるようなものは容易に思いつく。しかし、それらは、単なる組合せ的なものであり、より融合的なアーキテクチャの開発が期待される。

### 3. 個別研究の課題

現在、ニューラルシステム関連の研究は、つくば研究センタ、内外の分散研、大学、研究所でそれぞれ一つの研究テーマを立て、研究を開始あるいは開始しつつある段階である。現時点ではまだ全貌を紹介できないため以下に、RWC つくば研究センタで進めようとしている“適応し進化する計算機”の研究を紹介する。研究の目的は、本プログラムが目指す、より人間に近い計算機の実現である。もう少し具体的に言うと、曖昧であったり、いつも変化していたりしてあらかじめ予測のつかない環境に置かれても、外界とのインタラクションを基に自己組織的にプログラムやアーキテクチャを適応、進化させ、適切な判断や行動が行えるようになる計算機の研究開発である。このような計算機は、ロボットの制御、人間に近いヒューマンインタフェース、エキスパートシステムなどに重要なものとなることが予想される。現在はまだ研究の初期で、このような計算機実現の可能性をさまざまな方面から探っている段階であるが、リカレントニューラルネット、遺伝的アルゴリズムの基礎研究のほか、次のような要素研究に着手している。

(i) セルフプログラミングネット<sup>2)</sup>: 適応と進化が可能なプログラムの一つの形として、強化学習で構造を動的に変えられるモジュールをノードとするネットワークを提案している。ノードは学習可能なニューラルネットと、遺伝的アルゴリズムで進化する有限オートマトンからなり、外部との結合や内部の結合も強化学習で変化するようにになっている。ここでは、プログラムは、ノード内のネットワーク構造やノード間の結合形態として分散表現される。

(ii) 先読み計算機<sup>3)</sup>: 構造と処理が固定の、

核となるプログラムと、予測処理を行いながら進化する多数のプログラムの相互作用を通して環境に適応していくメカニズムの研究。核となるプログラムは解法のアルゴリズムがあらかじめ分かっている良設定問題を扱い、進化プログラムは不良設定問題を扱う。これらの性質の異なる2種類のプログラムを相互作用させ、進化の高速化を図る。

#### 4. おわりに

ニューラルシステム関連の研究計画の概要を示した。研究開発は、5年間ずつの2段階に分かれる。第1の開発段階では、新規の理論、モデル、およびハードウェアの要素研究を中心に展開する。第2段階は、第1段階の成果に基づき、理論およびモデルが精製され、そのハードウェアへの実装法も研究される。それらの成果は、理論、モデル、ハードウェアとも最終システムとして統合化される。最終ハードウェアシステムは超並列システムと統合される予定である。統合の機構は、最終システムのアーキテクチャにおいて重要な点となるであろう。

生体を模した情報処理は、まだ研究の途についたばかりで、初歩的段階にある。しかし、現在多

くの研究者が参入してきており、生理学研究の急速な進展とも相まって今後新しい展開が起こることを予感させる。本ニューラルシステム研究も、そのような、まだ見えぬ可能性に賭けている部分が多い。今後、新しいブレイクスルーができて、研究計画の大幅な変更が起こることを期待している。

#### 参考文献

- 1) 通産省機械情報局：リアルワールドコンピューティング基本計画書(1992)。
- 2) Furuya et al.: Self Programming Network (SPN): A Computational Model for Adaptive Evolutionary Computers, IJCNN '93.
- 3) Sato et al.: Artificial Thought Model for Realizing Flexible Information Processing, IJCNN '93.

(平成5年7月14日受付)



古谷 立美 (正会員)

昭和22年生。昭和48年成蹊大学大学院修士課程修了。同年、電子技術総合研究所入所。平成5年新情報処理開発機構へ出向。工学博士。

IEEE 会員。

