

リアルタイム処理向き脳型コンピュータの基礎的研究

研究課題番号 11650382

平成11年度～平成12年度科学研究費補助金基盤研究(C)(2)

研究成果報告書

平成13年3月

研究代表者 阿江 忠

(広島大学 工学部 教授)

平成11年度～平成12年度
科学研究費補助金基盤研究(C)(2)
研究成果報告書

研究課題 リアルタイム処理向き脳型コンピュータの基礎的研究

課題番号 11650382

研究組織

研究代表者: 阿江 忠 (広島大学工学部教授)
研究分担者: 角川 裕次 (広島大学工学部助教授)
研究分担者: 酒居 敬一 (広島大学工学部助手)
研究分担者: 荒木 宏行 (広島大学工学部助手)

研究経費

平成11年度 2,000千円
平成12年度 1,600千円
計 3,600千円

はしがき

リアルタイム処理を目的としたブレインウェア (脳機能情報処理) のためのモデルはまだ確立されてはいない。ニューラルネットワークの一般形であるリカレントネットワークはもっともストーリーなモデルではあるが、リアルタイム応用が可能な学習アルゴリズムを見出すことは非常に困難な問題である。そのため、本研究では、ニューラルネット的な振舞いをマクロに捉えたベクトル遷移モデルを導入した。このベクトル遷移の制御をオートマトンのように行うことにより、実用的な学習アルゴリズムを得ることが可能であることを示した。この新しいモデルでは入力ベクトルの時間系列に対し、内部状態も状態ベクトルの系列をなし、かつ、適宜出力を出すシステムを表現することが出来る。このシステムの応用例としては、リアルタイムな環境の中での行動予測のみならず、新しい系列を生成することも出来、知識表現の困難な人工知能的なシステムも構成することが可能となる。このことをモデル論的に示し、かつ、シミュレーションにより、その有効性を示すことが出来た。

基本的課題としては、ベクトル遷移モデルによる脳型コンピュータモデルの生成する系列の進化可能性について論じ、創造性との関連についての基礎研究を試みた。依然基本的には課題が残るが、進化と創造の関係をオートマトン的な見地からまとめることが出来た。

次に、リアルタイム処理向きの脳型コンピュータのアーキテクチャの実現へ向けてのハードウェアの研究を行った。処理ユニットは並列処理を行う VLIW (Very Long Instruction Word) タイプのプロセッサで、照合ユニットは専用ハードウェア化をそれぞれ想定している。それぞれのユニットはシミュレーションにより、動作確認のための基礎資料を得た。

このような脳型コンピュータモデルは、ネットワークのような分散環境において利用する方向にもっていくことが有用であると思われる。このような観点から、分散システムおよび分散ネットワークにおける基礎的問題と応用例についての研究も行った。将来、脳型コンピュータは人間に近いタイプのエージェントモデルとしての応用が期待されよう。

研究発表

(1) 学会誌等

- [1] 碓井大祐、荒木宏行、阿江忠: 構造化ストリングデータにおける知識獲得および生成, 情報処理学会論文誌, vol.40, no.4, pp.1774-1781 (April 1999).
- [2] Tadashi Ae, Hiroyuki Araki, Keiichi Sakai: Automaton-Based Anticipatory System, International Journal of Computing Anticipatory Systems, vol.6, pp.67-74 (2000).
- [3] Tadashi Ae, Hiroyuki Araki, Keiichi Sakai: Structured Vector Addition System — A Simulated Brain Model for Creative Activity —, International Journal of Computing Anticipatory Systems (to appear, 2001).
- [4] Tadashi Ae, Hiroyuki Araki : Circuit and System for Quantum Functional Devices, IEICEJ Trans. on Electronics (to appear. 2001).

(2) 国外発表

- [1] Tadashi Ae, Keiichi Sakai, Hiroyuki Araki, Naoya Honda: Learning-Based System for Real-Time Imaging, Applications of Artificial Neural Networks in Image Processing IV, SPIE Vol.3647, pp.154-163 (1999).
- [2] Tadashi Ae, Hiroyuki Araki, Keiichi Sakai: Structured Brain Computing and its Learning, Computing Anticipatory Systems: CASYS'98-2nd International Conference (edited by Daniel M. Dubois), CP465, American Institute of Physics (1999).
- [3] Tadashi Ae, Hiroyuki Araki, Keiichi Sakai: Automaton-Based Anticipatory System, Abstract Book CASYS'99 (3rd International Conference on Computing Anticipatory Systems), Symposium 1, pp.4-7, Liege, Belgium (August 1999).
- [4] Tadashi Ae: Anticipation on Formal Languages, Advances in Artificial Intelligence and Engineering Cybernetics (edited by George E. Lasker), vol VI, pp.11-15 (December 1999).

- [5] Hirotugu Kakugawa : Unified Access to Various Fonts: VFlib Approach, Invited Talk, m17n2000: Fourth International Symposium on Multilingual Information Processing, Online Proceedings:
http://www.m17n.org/m17n2000_all_but_registration/,
Tsukuba, Japan (March, 2000).
- [6] Tadashi Ae, Hiroyuki Araki, Keiichi Sakai: Structured Vector Addition System — A Simulated Brain Model for Creative Activity —, Abstract Book CASYS'2000 (4th International Conference on Computing Anticipatory Systems), Symposium7, p.6, Liege, Belgium (August 2000).
- [7] Tadashi Ae: Evolution on Formal Language, 12th International Conference on System Research, Information and Cybernetics, Baden-Baden, Germany (August 2000).
- [8] Hirotugu Kakugawa: A Device Independent DVI Interpreter Library for Various Output Devices, TUG 2000 Conference, pp. 101-107, Oxford, UK (August 2000).
- [9] Tadashi Mori, Yoshitsugu Hata, Ryouji Iida, Hirotugu Kakugawa, Tadashi Ae, Hisae Murakami : A Multilingual System using Internet Imaging, Internet Imaging II, Proceedings SPIE, Vol.4311, pp.27-34, San Jose, USA (Jan. 2001)
- [10] Keiichi Sakai, Itaru Fujiwara, Tadashi Ae : Extended VLIW Processor for Real-Time Imaging, Real-Time Imaging V, Proceedings SPIE, Vol.4303 (to appear, 2001)

(3) 国内発表

- [1] 梅田賢司、荒木宏行、阿江忠: ベクトル加算システム上の系列の探索法, 電子情報通信学会技術報告 SS99-62 (Jan.2000)
- [2] 阿江 忠: 進化をめざす脳型コンピュータ・アーキテクチャについて, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究 (平成 11 年度研究会) (Dec. 1999)
- [3] 角川裕次 : 自己安定分散アルゴリズムの自動検証システム, 情報処理学会 ソフトウェア工学研究会 (July 2000).
- [4] 山下悟史, 角川裕次, 阿江忠: 自己安定分散アルゴリズムの可視化システムの開発, 情報処理学会全国大会, 2000 年後期, No. 61, 2Q-04(Sept.2000).

- [5] 川本幸司, 角川裕次, 阿江忠: 拡張独立点集合問題を解く自己安定分散アルゴリズム, 情報処理学会全国大会, 2000年後期, No. 61, 2Q-05(Sept.2000).
- [6] 森正, 畑良継, 飯田亮次, 角川裕次, 阿江忠, 村上久恵: ビットマップ化による多言語語学教材システム, 情報処理学会全国大会, 2000年後期, No. 61, 5S-02(Sept.2000).
- [7] 吉村英明, 角川裕次, 阿江忠: 確率的コーラムシステムに基づいた負荷分散アルゴリズムとその実験的評価, 情報処理学会全国大会, 2000年後期, No. 61, 6J-07(Sept.2000).
- [8] 阿江 忠, 荒木宏行: 脳型計算モデルによる理解可能性と離散計算モデルにおける可解性について, 東北大学電気通信研究所共同プロジェクト研究(平成12年度研究会)(Dec. 2000).
- [9] 角川裕次, 山下雅史 : A Universal Self-Stabilizing Mutual Exclusion Algorithm, 冬のLAシンポジウム, 数理解析研究所講究録 (to appear, 2001).

(4) その他

- [1] 阿江忠: 学習アルゴリズムのハードウェア実現, 脳科学大辞典,10.2節, pp.877-883, 朝倉書店 (April 2000).

1. 脳型コンピュータモデル

リアルタイム処理を目的としたブレインウェア (脳機能情報処理) のためのモデルはまだ確立されてはいない。ニューラルネットワークの一般形であるリカレントネットワークはもっともストレータなモデルではあるが、リアルタイム応用が可能な学習アルゴリズムを見出すことは非常に困難な問題である。そのため、本研究では、ニューラルネット的な振舞いをマクロに捉えたベクトル遷移モデルを導入した。このベクトル遷移の制御をオートマトン的に行うことにより、実用的な学習アルゴリズムを得ることが可能であることを示した。この新しいモデルでは入力ベクトルの時間系列に対し、内部状態も状態ベクトルの系列をなし、かつ、適宜出力を出すシステムを表現することが出来る。このシステムの応用例としては、リアルタイムな環境の中での行動予測のみならず、新しい系列を生成することも出来、知識表現の困難な人工知能的なシステムも構成することが可能となる。このことをモデル論的に示し、かつ、シミュレーションにより、その有効性を示すことが出来た。

研究課題としては、初めに系列データからの知識獲得を行い、その知識にもとづき新しい系列データを生成する試みを行った。このような方向での1つの方法としてはHMM (Hidden Markov Model) を用いる方法が考えられる。しかし、HMMは状態遷移が確率的であるため統計处理的な問題には好都合であるが、状態遷移の選択を陽とすることが可能な問題については、脳を模倣したモデルを用いるのが適切であろうと思われる。

そのための試みとして、状態遷移を陽にベクトルで表現したモデルを提案した。

次に、ベクトル遷移モデルによる脳型コンピュータの生成する系列の進化可能性について論じ、創造性との関連についての基礎研究を試みた。依然基本的な課題は残るが、進化と創造の関係をオートマトン的な見地からまとめることが出来た。

2. リアルタイム処理ハードウェア

リアルタイム処理向きの脳型コンピュータのアーキテクチャの実現へ向けて、ハードウェアの研究を行った。プロセッサとしてはリアルタイム処理向きプロセッサを対象とし、脳型コンピュータでは処理ユニットの部分に相当させる。具体的には並列処理を行う VLIW (Very Long Instruction Word) タイプのプロセッサについて、いくつかの検討を行った。照合ユニットは専用ハードウェア化をそれぞれ想定している。それぞれのユニットはシミュレーションにより、動作確認のための基礎資料を得た。

脳型コンピュータ・アーキテクチャにおいては、外部入力に対する信号処理的な面と同時に、学習のためのアルゴリズムを実行するという面があり、前者は通常のリアルタイム処理と同様に考えればよいが、後者の学習のためのハードウェアについては新しい考察が必要である。本研究では学習のためのハードウェアについても考察を行っている。

3. ネットワーク環境

脳型コンピュータの応用対象としては、ネットワークのような分散環境において利用するのが一つのインパクトになるものと思われる。このような観点から、分散システムおよび分散ネットワークにおける基礎的問題と応用例についての研究も行った。ネットワーク環境は、協調分散よりむしろ情報伝達の不十分さからくる諸問題への対応方法が大きな問題である。分散環境における分散アルゴリズムについての研究課題は今後も研究が必要である。むしろ、ネットワーク環境が通常の意味で利用可能な場合の応用研究も同時に進めていくべきであることは言うまでもない。将来、脳型コンピュータは人間に近いタイプのエージェントモデルとしての応用が期待されよう。

4. むすび

1980年代の人工知能とそれに続くニューラルネットワークの研究は、1990年代に入り人工生命、複雑系など多様な研究分野に推移している。

脳の基本素子をニューロンモデルとし、そのネットワーク化したものを人工的に構成する人工ニューラルネットワークの研究は、依然重要な研究ではあるが、系が相互結合をもち複雑な振舞いをするようになってからは、理論的な解析の進展を待つという状況に至っている。

このような閉塞状態を工学的な見地から打開するべく、当該研究グループはニューラルネットワークに人工知能および記憶ベース推論それぞれの長所を加味したニューラル人工知能システム (NAIS) を 1993 年に提案した。

一方、通産省 (電子総合技術研究所) 松本元氏は、脳の研究分野からの研究方向としてブレインウェア (脳機能情報処理) を提唱し、現在は、科技厅 (理化学研究所) にてブレインウェイという研究を統率されている。

アプローチの方法はまったく別々であったが、記憶 (メモリ) をベースとした脳機能情報処理のアーキテクチャを追及するという意味で共通点があり、氏のブレインウェア (脳機能情報処理) 研究の一貫としても参画させて戴いたことも本研究の基礎として役立っている。

本研究でのタイトルの脳型コンピュータは、ニューラル人工知能システムからのアプローチが脳研究と融合したものである。複合アーキテクチャは、2レベルの階層構造をもつ新しい脳機能情報処理アーキテクチャであり、その学習方法自体新しく用意する必要が生じたため、AST (Abstract State Transition) 学習法を新しい学習法として提案している。AST 学習法は、ニューラルネット学習とオートマトン学習とを融合した学習法である。

本研究は、リアルタイム処理向きの脳型コンピュータの実用化へ向けての第一歩をめざし、モデル、ハードウェア (プロセッサ・アーキテクチャ)、ネットワーク環境の3つの視点からの基礎的研究についての成果をまとめたものである。

今後は、基礎的研究を続けるだけでなく、ネットワーク環境における脳型エージェントとしての発展をめざしたいと考えている。