

科学研究費補助金研究成果報告書

平成 24 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究（A）

研究期間：2008～2010

課題番号：20246056

研究課題名（和文） 意識下の超並列処理を意識上の逐次処理で統合する
VLSI 脳モデルシステム研究課題名（英文） A VLSI Brain System Integrating Massively-Parallel Subconscious
Processing With Sequential Conscious Processing in the Mind

研究代表者

柴田 直 (SHIBATA TADASHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：00187402

研究成果の概要（和文）：人間のように柔軟に状況を判断し、即座に適切な行動を決断できるシステムを、最先端の半導体技術で創り出す研究を行った。ものの形や動きの認知といった、我々が無意識の世界で行っている様々な心の情報処理に特化した超並列アーキテクチャのプロセッサ、自己学習のためのプロセッサ等を各種開発、これらの結果を従来のコンピュータが統合して人間のような認知機能を実現した。物体を追跡してその形状を認識、それが人なら何をしているかの行動認識を行えるシステムを作った。

研究成果の概要（英文）：The research aims to develop a human-like intelligent system that can flexibly understand the situation, make a quick decision and take an immediate action against a happening. Several massively-parallel-architecture processors each dedicated to specific subconscious processing in the mind such as perception of images and their motions have been developed. By integrating such primitive information provided from these chips by a conventional sequential processor, we have successfully built a human-like intelligent system that can track moving objects and recognize what they are and, if they are humans, what actions they are taking.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2008 年度	13,500,000	4,050,000	17,550,000
2009 年度	11,800,000	3,540,000	15,340,000
2010 年度	8,400,000	2,520,000	10,920,000
年度			
年度			
総計	33,700,000	10,110,000	43,810,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：電気電子工学 ・ 電子・電気材料工学

キーワード：VLSI、知能システム、ブレインコンピューティング、画像認識 動作認識、分類器、学習アルゴリズム

1. 研究開始当初の背景

現在の VLSI プロセッサシステムは、トランジスタの微細化の進展とともに、リーク電流による消費電力の増大、素子特性バラつきに

よる特性の劣化等々の問題に阻まれ、さらなる高性能化の限界が語られていた。また、たとえこれらの難題を技術的に解決できたと

しても、人間のように、瞬時に状況を判断し、適切な行動を決断できる知能情報処理システムは、まだまだ未知の世界であった。例えば、宇宙空間で自律的に状況を判断して行動を制御するロボットに必要とされる情報処理は、人間のように柔軟で的確な状況判断を、極めて僅かな電力消費で実現する必要があるが、現在の技術ではほとんど不可能である。人々の暮らしの安全・安心、とくに超高齢化社会における介護ロボット等、人間の脳に近い判断のできる超低消費電力システムの開発は、非常に大きな社会的要請であった。

2. 研究の目的

本研究では、脳の神経回路をそのまま電子回路で実現するのではなく、高次の脳機能を専用の VLSI チップ群を開発することで実行させ、人間のように柔軟で的確な判断を瞬時に下せるシステムを作り上げることを目指した。特に、視覚情報処理システムに特化し、静止画像・動画像を柔軟に認識・判断できるシステムを開発することを目標とした。

3. 研究の方法

高次の脳機能をモデル化して VLSI チップ化するため、大脳新皮質の基本構造であるコラムの機能に着目した。各コラムは、それぞれ特定のパターンに tuning されており、目によく似たパターンが入ってきたとき選択的に応答する。このような機能ブロックを階層的に積み上げた、連想脳システムを開発する。特に、静止画の基本パターンや、動きの基本パターンを学習するとともに、学習結果に基づき柔軟な認識の行えるシステムを作り上げる。VLSI 連想脳システムは、独自の細粒度超並列アーキテクチャのプロセッサで実現し、これらの連想結果を、従来のフォン・ノイマン型のプロセッサで統合して人間の知的機能を創り出すことを目的とする。

4. 研究成果

我々が無意識のうちに行っている膨大な心の情報処理をモデル化したチップ群を作り、これらの処理結果を従来の CPU が統合するシステムを作り上げた。個々の成果を以下に示す。

(1) 大規模超並列学習プロセッサ

学習サンプルをすべてオンチップのメモリに保持し、K-means 学習アルゴリズムに従い重心ベクトルを高速に求めるデジタルプロセッサを開発した。このプロセッサの特徴は、クラスター数 K の最適値をシステムが自動的に決定できる点である。さらに、学習サンプル数の増大にも柔軟に対応できるように、2 分岐の階層型システムを構成できるようにした。これと同時に、アナログ CMOS 技術を用いた K-means 学習プロセッサや、アナログの Gaussian Kernel Support Vector Machine (SVM) チップも開発した。この SVM チップはフル結合構成を持った世界で初めてのものであり、 μ 秒オーダーでクラス境界の学習ができる。

(2) 動き特徴抽出 VLSI プロセッサ

画面の中で、動いているものだけから、その画像の特徴（方向性エッジ情報）を自動的に抽出できるデジタルピクセルセンサー方式のプロセッサを開発した。これは大変優れた研究として、IEEE International Symposium on Circuits and Systems において、センサーシステム部門より 2012 年最優秀論文賞を受賞した。

(3) Object Tracking プロセッサ

対象物の形状を認識して、次々と移動先を予測しながら追跡していくシステムを開発した。このシステムは、オンラインの学習機能を備えているため、対象物が途中でさまざまに形を変えてもロバストに追跡できる。ものの陰に隠れても、それを一種の変形として学

習するため対応できる。画面から完全に姿を消しても、再び現れれば再追跡ができる。このシステムに(1)で述べた、アナログ SVM チップの学習機能を付け加えることにより、さらにロバストな追跡が可能となった。

(4) 動作認識システム

Movie を motion field のシーケンスに変換し、微小領域・微小時間のミニビデオシーケンスを motion patch として扱い、Cortex の視覚情報処理を模擬したシステムを開発、Wiseman データベースや KTH のデータベースに対して、大変優れた認識結果を得ることができた。

(5) その他

疑似ガウシアンカーネルを用いた多クラス分類器、効果的にサンプル数を減らせる新たな多クラス classifier アルゴリズム、それに Difference of Gaussian フィルターを高速に実行するアナログ CMOS イメージセンサなどの開発にも成功し、人間のよう柔軟なシステム構築の基礎を確立するとともに、様々な応用のデモンストレーションシステムを構築しその有効性を実証した。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 12 件)

- ① Ruihan Bao and Tadashi Shibata, "A Hardware Friendly Algorithm for Action Recognition Using Spatio-Temporal Motion-Field Patches," Neurocomputing, 査読有、2012 (印刷中)
- ② Renyuan Zhang and Tadashi Shibata, "Fully-Parallel Self-Learning Analog Support Vector Machine Employing Compact Gaussian-Generation Circuits," Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、Vol.51, No.4, 2012 (印刷中)
- ③ Naoya Yamashita and Tadashi Shibata, "Efficient Image-Vector-Generation Processor for Edge-Based Complementary Feature Representations," Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、Vol.51, No.2, 2012, 02BE01-05
- ④ Norihiro Takahashi and Tadashi Shibata, "A Current-Mode Multiple-Resolution Edge-Filtering Complementary Metal Oxide Semiconductor Image Sensor Employing Self-Similitude Processing in Non-Subtraction Configuration," Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、Vol.49, 2010, 04DE01-07
- ⑤ Yitao Ma and Tadashi Shibata, "A Binary-Tree Hierarchical Multiple-Chip Architecture for Real-Time Large-Scale Learning Processor Systems," Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、Vol.49, 2010, 04DE01-08
- ⑥ Jia Hao, and Tadashi Shibata, "An Ego-Motion Detection System Employing Directional-Edge-Based Motion Field," IEICE Transactions on Information and Systems, 査読有、Vol. E93-D, No.1, 2010, pp.94-106
- ⑦ Kyunghee Kang and Tadashi Shibata, "An-on-Chip-Trainable Gaussian-Kernel Analog Support Vector Machine," IEEE Transactions on Circuits and Systems—I: Regular Papers, 査読有、Vol.57, No.7, 2010, pp.1513 -1524

- ⑧ Jun Chen and Tadashi Shibata, "A Neuron-MOS-based VLSI Implementation of Pulse-Coupled Neural Networks for Image Feature Generation," IEEE Transactions on Circuits and Systems—I: Regular Papers, 査読有、 Vol.7, No.6, 2010, pp.1143–1153
- ⑨ Hitoshi Hayakawa and Tadashi Shibata, "Block-matching-based motion field generation utilizing directional edge displacement," Computers and Electrical Engineering, 査読有、 Vol.36, 2010, pp.617-625
- ⑩ Hongbo Zhu and Tadashi Shibata "A Digital-Pixel-Sensor-Based Global Feature Extraction Processor for Real-Time Object Recognition," Japanese Journal of Applied Physics, 査読有、 2009, 04C080-1-7
- ⑪ Norihiro Takahashi, Kazuhide Fujita, and Tadashi Shibata, "A Pixel-Parallel Self-Similitude Processing for Multiple-Resolution Edge-Filtering Analog Image Sensors," IEEE TRANSACTIONS ON CIRCUITS AND SYSTEMS—I: REGULAR PAPERS, 査読有、 Vol.56, 2009, pp.2384-2392
- ⑫ Tadashi Shibata, "Computing based on the physics of nano devices—A beyond-CMOS approach to human-like intelligent systems," Solid-State Electronics, Vol.53, 2009, pp.1227-1241
- ① Shigetaka Morikawa and Tadashi Shibata, "Scene Image Recognition Based on The Sequence of Local Image Vectors Represented by Oriented Edges," 2012 IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing (ICASSP 2012), March 25-30, 2012, Kyoto, Japan
- ② Ruihan Bao and Tadashi Shibata, "Spatio-Temporal Motion Field Descriptors for The Hierarchical Action Recognition System," The IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems 2011 (ICSPCS 2011), December 12-14, 2011, Honolulu Hawaii, USA
- ③ Robert Grou-Szabo and Tadashi Shibata, "A Dominant-Noise Discrimination System For Images Corrupted by Content-Independent Noises Without A Priori References," The IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems 2011 (ICSPCS 2011), December 12-14, 2011, Honolulu Hawaii, USA
- ④ Renyuan Zhang and Tadashi Shibata, "An Analog K-means Learning Processor Employing Fully-Parallel Self-Converging Circuitry," The 14th IEEJ International Analog VLSI Workshop, October 31-November 5, 2011, Bali, Indonesia
- ⑤ Takemasa Komori and Tadashi Shibata, "A CMOS Optical-Flow Image Sensor Based on Speed-Adaptive Multiple-Frame Single-Pixel-Shift Block Matching," The 14th IEEJ International

- Analog VLSI Workshop, October. 31- November 5, 2011, Bali, Indonesia
- ⑥ Wenjun Xia and Tadashi Shibata, "Critical Boundary Vector Concept in Nearest Neighbor Classifiers using K-means Centers for Efficient Template Reduction," International Conference on Neural Computation Theory and Applications 2011 (NCTA 2011), October 24-26, 2011, Paris, France
- ⑦ Hongbo Zhu, Pushe Zhao, and Tadashi Shibata, "Directional-edge-based object tracking employing on-line learning and regeneration of multiple candidate locations," 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2010), May 30-June 2, 2010, Paris, France
- ⑧ Norihiro Takahashi and Tadashi Shibata, "A row-parallel cyclic-line-access edge detection CMOS image sensor employing global thresholding operation," 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2010), May 30-June 2, 2010, Paris, France
- ⑨ Zhouli Sun, Kyunghee Kang, and Tadashi Shibata, "A self-learning multiple-class classifier using multi-dimensional quasi-Gaussian analog circuits," 2010 IEEE International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2010), May 30-June 2, 2010, Paris, France
- ⑩ Tadashi Shibata, "A Brain-Inspired VLSI Architecture for Nano Devices and Circuits," ECS Transactions, 217th ECS Meeting, April 25-30, 2010, Vancouver, Canada
- ⑪ Yuta Okano and Tadashi Shibata, "High-Frame-Rate Dense Motion Vector Field Generation Processor With Simplified Best-Match Searching Circuitries," IEEE Asian Solid-State Circuits Conference (A-SSCC), November 16-18, 2009, Taipei, Taiwan
- ⑫ Mio Nishiyama and Tadashi Shibata, "Normalized Scoring of Hidden Markov Models by On-Line Learning and Its Application to Gesture-Sequence Perception," The IEEE International Conference on Image Processing (ICIP), November 7-11, 2009, Cairo, Egypt
- ⑬ [Invited (Keynote)] Tadashi Shibata, "Bio Inspired Architectures in the Nanoscale Integration Era," 216th ECS Meeting, October 4-9, 2009, Vienna, Austria
- ⑭ Norihiro Takahashi and Tadashi Shibata, "A Non-Subtraction Configuration of Self-Similitude Architecture for Multiple-Resolution Edge-Filtering CMOS Image Sensor," The 19th International Conference on Artificial Neural Networks (ICANN 2009), September 14-17, 2009, Limassol, Cyprus
- ⑮ Ruihan Bao and Tadashi Shibata, "A Gesture Perception Algorithm Using Compact One-Dimensional Representation of Spatio-Temporal Motion-Field Patches," The IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems 2009 (ICSPCS 2009), September 28-30, 2009, Omaha, Nebraska, USA

- ⑩ Robert Grou-Szabo and Tadashi Shibata, "Random-Valued Impulse Noise Detector for Switching Median Filters Using Edge Detectors," The IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems 2009 (ICSPCS 2009), September 28-30, 2009, Omaha, Nebraska, USA
- ⑪ Robert Grou-Szabo and Tadashi Shibata, "Blind Motion-Blur Parameter Estimation Using Edge Detectors," The IEEE International Conference on Signal Processing and Communication Systems 2009 (ICSPCS 2009), September 28-30, 2009, Omaha, Nebraska, USA
- ⑫ [Invited (Plenary)] Tadashi Shibata, "Bio-Inspired Devices, Circuits and Systems", The 35th European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC 2009), September 14-18, 2009, Athens, Greece
- ⑬ Hongbo Zhu and Tadashi Shibata, "A Real-Time Image Recognition System Using a Global Directional-Edge-Feature Extraction VLSI Processor," The 35th European Solid-State Circuits Conference (ESSCIRC 2009), September 14-18, 2009, Athens, Greece
- ⑭ Yudai Fukuoka and Tadashi Shibata, "Block-Matching-Based CMOS Optical Flow Sensor Using Only-Nearest-Neighbor Computation," The 2009 International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2009), May 24-27, 2009, Taipei, Taiwan
- ⑮ Kazuhide Fujita, Kiyoto Ito and Tadashi Shibata, "A Single-Motion-Vector/Cycle-

Generation Optical Flow Processor Employing Directional-Edge Histogram Matching," The 2009 International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2009), May 24-27, 2009, Taipei, Taiwan

- ⑯ Takuki Nakagawa and Tadashi Shibata, "A Real-Time Image Feature Vector Generator Employing Functional Cache Memory for Edge Flags," The 2009 International Symposium on Circuits and Systems (ISCAS 2009), May 24-27, 2009, Taipei, Taiwan

- ⑰ [Invited] Tadashi Shibata, "Implementing Brain-Like Systems Using Nano Functional Devices," The 10th International Conference on Ultimate Integration of Silicon (ULIS 2009), 18-20 March, 2009, Aachen, Germany

[図書] (計 3 件)

- ① 柴田直 (著), (昭晃堂刊)「半導体デバイス入門 - その原理と動作のしくみ - 」, 2011, 194 ページ

[その他]

ホームページ等

<http://www.if.t.u-tokyo.ac.jp>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

柴田 直 (SHIBATA TADASHI)

東京大学・大学院工学系研究科・教授

研究者番号：00187402