

機関番号：82108

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2009～2010

課題番号：21681015

研究課題名(和文) セルオートマトンに基づく大規模パラレル有機演算素子の研究

研究課題名(英文) Realization of massively parallel organic processor based on the cellular automaton

研究代表者

BANDYOPADHYAY Anirban (BANDYOPADHYAY ANIRBAN)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計測センター・研究員

研究者番号：40469763

研究成果の概要(和文)：本研究の目的はナノブレインを開発することである。ナノブレインとは、脳の動作原理を模して大規模並列計算を行うコンピュータである。ナノブレインを用いて、現代社会における以下三つの大きな課題を解決したいと考えている。①環境中にあるエネルギーを利用することで、ほぼ電力消費無しで動作する機械制御系の実現。②脳機能を付加することで、様々な環境変化に対応できるロボットの実現。③これまでのコンピュータでは有限時間内に解くことのできない問題を計算する大規模計算機の実現。

研究成果の概要(英文)：The objective of the project was to develop nano brain, which is a massively parallel computer based on the working principles of human brain. Our vision with nano brain is to resolve three bottlenecks of human civilization. First, nearly powerless machine control harvesting available energy in the environment, second, providing robots a brain that will enable them to survive in a changing environment, third, enable enormous computational power to our conventional information processors to resolve problems that are considered impossible to solve within a finite time.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	12,200,000	3,660,000	15,860,000
2010年度	7,900,000	2,370,000	10,270,000
年度			
年度			
年度			
総計	20,100,000	6,030,000	26,130,000

研究分野：Molecular machine, parallel computing, living cell, microtubule

科研費の分科・細目：molecular computer

キーワード：intractable problem, molecular machines, cellular automaton, microtubule

1. 研究開始当初の背景

Several companies and Govt. research agencies across the globe are trying to develop molecular machines that will replace the existing drugs. Also at the same time since information is increasing exponentially, we need to shift the computing paradigm. The world did not

know how to do that and we have done that effectively through this project.

2. 研究の目的

Our purpose was to provide a conceptual solution to the problem. And at the same time provide a fundamental basis to the new computing paradigm. In addition, we

also planned to create a new language to communicate with the cell so that we could put our molecular machine within the cell and communicate with it

3. 研究の方法

We have grown organic molecular layer and realized computing on the layer massively parallel manner. Secondly, we have extracted microtubule from the brain and studied single microtubule for the first time in the world.

本プロジェクトの一年目ではプロジェクトの基礎となる部分を構築した。具体的には、小さな有機分子を用いたニューラルネットワークを世界で始めて実現し、脳の演算プロセスを説明するために分子配列を利用することが有用であることを実証した (APL-2009)。しかし、ニューロンネットワークをエンコードするために必要不可欠な分子内の原子配列等の情報が不足していた。そこで、この点に重きをおいて実験を進め、そのパラメータを特定した (PCCP-2010, cover article)。これらの実験結果を基に、ナノブレイン開発最終目標までのロードマップを作成した (IJNMC-2009)。ここには、上記三つの課題解決のための方法が系統的に書かれている。

これら得られた結果の中で最も大切なことは、我々のプロトコルを用いることで、ニューロンネットワークを模した分子を自在にデザインできることである。特にエンコードするプログラミングを必要としないので、これは人工知能分野において革命をもたらすだろう。これは、通常のプログラミングと異なり、意志決定は環境の変化にしたがって変化するためである。

本プロジェクトの二年目では、脳の様に動作する分子回路を世界で始めて実現した (Nature Physics 2010)。この発見により、ナノブレインの基礎部分を構築することができた。分子回路はこれまでのコンピュータでは解くことのできない問題を解くことができる。また、電力消費が革命的に小さい。通常のコンピュータ回路では多くて7から8個

の選択枝の中を行き来して処理を行うが、分子回路では天文学的に大きい10の24乗もの選択枝の間を行き来して処理を行う。さらに、本回路は神経細胞の様に自己修復機能を有している。セルオートマトンの分野において我々の論文は大きなブレイクスルーだと考えられている、なぜなら本システムでは大規模化を考えた際大きな問題が無いからである。我々の発見前は、ただ一つの細胞配列しか存在せず、回路化に関するコンセプトは無かった。我々はこの分子配列コンピュータを用いていくつかの問題を解いた。演算時間は6分間であるが、現在のスーパーコンピュータではこの問題を有限時間内に解くことはできない。

二年目で得られた成果は非常に多面的である。コンピュータ、ロボット、人工知能の分野において大きなパラダイムシフトをもたらすだろう。我々はフォンノイマンの夢をその40年後に達成したといえる。

4. 研究成果

We have published our paper in the journal Nature Physics and filed a Japanese Patent on the microtubule research. The patent has been selected for the international patent and will be filed in couple of countries soon.

Here are some of the press news coverage across the globe and the pictures that appeared in the press that explored the news.

<http://www.nanowerk.com/spotlight/spotid=15971.php>

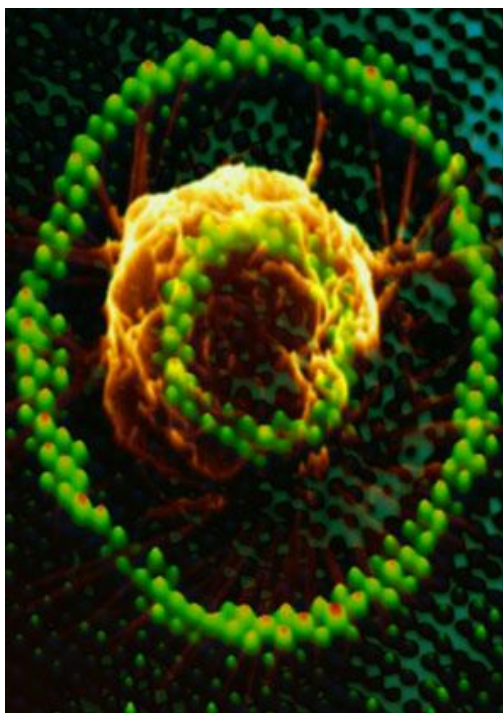
http://www.natureasia.com/asia-materials/highlight.php?id=708&utm_source=NPG+Asia+Materials&utm_content=Research+Highlights

http://www.msnbc.msn.com/id/36788441/ns/technology_and_science-innovation/

<http://www.gizmag.com/organic-molecular-computer/15041/>

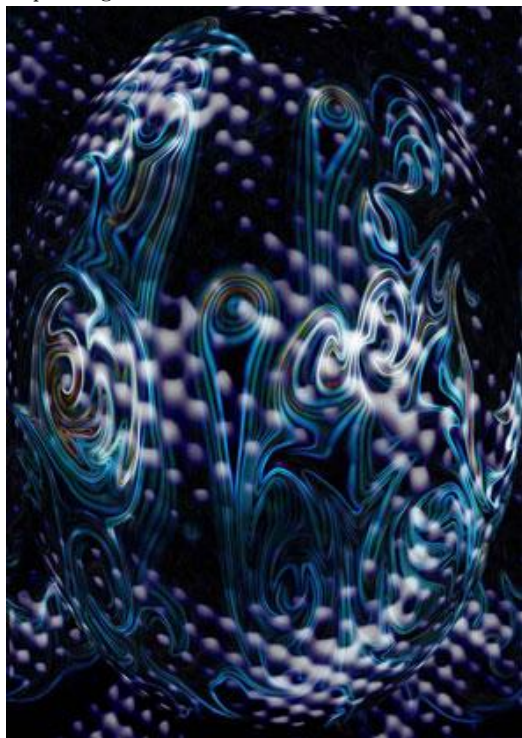
<http://www.nano.org.uk/news/index.php?article=528>

http://www.spacedaily.com/reports/Brain_Like_Computing_On_An_Organic_Molecular_Layer_999.html



[r_Layer_999.html](http://www.spacedaily.com/reports/Brain_Like_Computing_On_An_Organic_Molecular_Layer_999.html)

This is STM image of cancer cell evolution computing



This is STM image of molecules computing diffusion.

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 8 件)

1. Computational myths and mysteries that have grown around microtubule in the last half a century and their possible verification S. Sahu, S. Ghosh, D. Fujita, A. Bandyopadhyay *Journal of Computational and Theoretical Nanoscience (Special Issue)* 8, 1-7 (2011), also selected for cover page 査読有
2. A massively parallel computing on an organic molecular layer, A. Bandyopadhyay, R. Pati, S. Sahu, F. Peper, D. Fujita, *Nature Physics* 6, 369 (2010). 査読有
3. A new approach to extract multiple distinct conformers and co-existing distinct electronic properties of a single molecule by point-contact method A Bandyopadhyay, S Sahu, D Fujita, Y Wakayama, *PCCP*, 12, 2033 (2010) (cover page) 査読有
4. Molecular Implementations of Cellular Automata S. Sahu, H. Oono, S. Ghosh, A. Bandyopadhyay, D. Fujita, F. Peper, T. Isokawa, and R. Pati; *ACRI 2010, LNCS 6350, 650* (2010), Springer Verlach 査読有
5. Investigating Universal Computability of Conventional Cellular Automata Problems on an Organic Molecular Matrix, Anirban Bandyopadhyay, Rishi Bhartiya, Satyajit Sahu and Daisuke Fujita, *Proceedings in Information and Communications Technology, Natural Computing, Springer Japan*, 2, 1-12 (2010) 査読有
6. Smallest artificial molecular neural-net for collective and emergent information processing, A Bandyopadhyay, S. Sahu, D. Fujita, *Appl. Phys. Lett.* 95, 113702 (2009) 査読有
7. Architecture of a massive parallel processing nano brain operating 100 billion molecular neurons simultaneously, A. Bandyopadhyay, D. Fujita, R. Pati, *Int. J. Nanotech. and Mol. Comp.* 1, 50-80 (2009) 査読有
8. Remarkable potential of pattern based computing on an organic

molecular layer using the concept of cellular automata S. Sahu, A. Bandyopadhyay, D. Fujita, IEEE PID 107, 2403 (2009) 査読有

[学会発表] (計 12 件)

1. Electromagnetic energy of cells and microtubule: how microtubule research will revolutionize the human technologies, 1-3 July 2011. Prague, Czech Republic.
2. Quantum aspects of microtubule: Direct experimental evidence for the existence of quantum states in microtubule, Towards a science of consciousness May 2-8 (2011), Sweden.
3. Practical computing with organic molecules Design and synthesis of a 3D nano brain, International symposium for Young Organic Chemists, Tsukuba, Japan March 1-3, (2011)
4. Remarkable electronic properties of a single Microtubule Google Mountain view campus, workshop on quantum biology 22 October 2010. San Francisco, USA.
5. Cellular Automaton based massively parallel computing on organic molecular layer, 21-24 Sept 2010, ACRI-2010, Ascoli Piceno, Italy
6. Practical realization of nano brain: computing on organic monolayer, 25-27 May 2010, UC-2010, Japan
7. Nano brain and consciousness: a special emphasis on microtubule, Towards a Science of Consciousness, April 12-17 (2010), University of Arizona USA
8. Design and synthesis of nano brain for Robotics 11-14/1/2010, ACCMS-VO-4 2010, Sendai, Japan
9. Design and Synthesis of a 3D Nano Brain for Robotics with a special emphasize on Brain like computing, The conference was organised to put business and technology fields together, NBS 5-6/12/2009, Cairo, Egypt
10. Realization of Neumann's emergent computing on an organic molecular layer with a special emphasize on Computing with molecules in the Gold Monolayers, 7-11/9/2009 UC-2009, Ponta

Delgada, Portugal.

11. How can we program a nano-brain so that it can run complex jobs without human intervention? Computing like brain, Mind and Consciousness in the Machine Consciousness, 11-14/6/2009, Hong Kong. The conference was part of Asia Consciousness festival running for a month.
12. Computing on an organic molecular layer and computability issues, 14th May 2009, IWNC-2009, Kobe, Japan

Apart from these 12 lectures in the international conferences on the research project, there are several lectures given in the universities and also in the research institutes. One example is the university of Arizona here is the link to get to view the talk.

<http://streaming.biocom.arizona.edu/categories/?id=143>

Here is the Google tech talk

<http://www.youtube.com/watch?v=VQngptkPYE8>

[図書] (計 1 件)

Theoretical and technological advancements in nanotechnology and molecular computation: Interdisciplinary gains, An advanced architecture of a massively parallel processing nano brain operating 100 billion molecular neurons simultaneously, 2011, 43-73, IGI Global, Anirban Bandyopadhyay, Subrata Ghosh, Daisuke Fujita, Ranjit Pati, Satyajit Sahu

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: Satyajit Sahu, Anirban Bandyopadhyay and Daisuke Fujita

発明者: Satyajit Sahu and Anirban Bandyopadhyay

権利者: 独立行政法人物質・材料研究機構

種類: 特許

番号: **2010-096217-JP**

出願年月日: April 17 2010

国内外の別: 国内

[その他]

ホームページ等 www.anirbanlab.co.nr

6. 研究組織

(1) 研究代表者

BANDYOPADHYAY Anirban (BANDYOPADHYAY
ANIRBAN)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計
測センター・研究員

研究者番号：40469763

(2) 研究分担者

Satyajit Sahu (SATYAJIT SAHU)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計
測センター・研究員

(3) 連携研究者

Subrata Ghosh (SUBRATA GHOSH)

独立行政法人物質・材料研究機構・ナノ計
測センター・研究員