

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 22 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500371

研究課題名(和文)統合的な視覚計算論と国際標準仕様に従う数理モデル開発

研究課題名(英文)Development of a unified computational theory for vision and simulation environment following an international standard

研究代表者

佐藤 俊治 (SATO, Shunji)

電気通信大学・その他の研究科・准教授

研究者番号：50333844

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：様々な視覚モデルを結合・挿入・変更・共有することができるソフトウェア基盤を作成した。構築したソフトウェアは、OpenRTM-aistと呼ばれるロボット構築用ミドルウェアを基盤としており、本研究では、視覚や脳のモデルをシミュレーションするための機能を新たに追加した。また、MIT Saliency Benchmark と呼ばれるベンチマークで1位の評価値を得た視覚モデルを構築できた。

研究成果の概要(英文)：A software platform for simulating various visual models has been developed so that the platform enables connection, interpolation, revision and sharing of various visual models. This software bases on OpenRTM-aist which is an open source robotic technology middle-ware. In this research, new software libraries and functions were developed and added into the original OpenRTM-aist. On the new platform for vision and brain simulation, a novel visual model won the best score by MIT Saliency Benchmark.

研究分野：視覚計算理論

キーワード：視覚理論 脳理論 数理モデル シミュレーション OpenRTM-aist

1. 研究開始当初の背景

(1) ヒトの視覚系は文字や物体を認識したり、眼球を動かすことで特定の部分に注意を向けたり、両眼視による物体の3次元情報を推定したりするなど、様々な機能を含んでいる。このようなヒトの視覚系の仕組みを理解し、その結果を画像工学へと応用しようとする研究はこれまでも精力的につづけられているが、前述のように視覚系は多くの機能を持つ高度な複合体であり、さらに個々の機能は膨大な脳細胞によって実現されているため、これまでは断片的な実験や数理的な知見の蓄積に留まってきた。なお数理的に記述された視覚系細胞や機能は、視覚数理モデルと呼ばれる。

(2) 断片的ではなく、全体を数理的に記述し、理解することができれば視覚系のシミュレーションが可能になる。すなわち、断片的な視覚数理モデルをつなぎ合わせてコンピュータ上でシミュレーションすることができるシステムが存在すれば、今後も次々と提案される数理モデルを取り入れることができ、最終的には視覚系全体をシミュレーションすることが可能となるだろう。

しかしながら研究開始当初は、画像処理レベルの視覚数理モデルをつなぎ合わせる適切なソフトウェア環境が存在しなかった。

2. 研究の目的

上記1.の背景は「ヒトの視覚系は、多種多様な画像処理アルゴリズムの集合体である」という概念が根底にある。そこで次の研究目的を定めた。

(1) アルゴリズム自体の解明（新たな数理モデルの構築）を行う。特に画像の動きや奥行の計算など、中・低次の視覚機能を記述する新たな視覚計算論や視覚モデルを構築する。

(2) これら視覚モデルを既存モデルと組み合わせることができるソフトウェア環境を構築する。ただし今後の発展を鑑みて、数理シミュレーションの世界標準規格に沿ったソフトウェアであることを要件の一つとする。

3. 研究の方法

(1) 多数の数理モデルを結合させるためには、それを可能にするソフトウェア基盤の開発はもちろんのこと、数学的にも統一された方法で数理モデルを記述することが望ましい。本研究では、画像の微分幾何を数学的基盤としたモデルを構築する（図1）。

(2) 既存のソフトウェア環境の長所や短所を精査し、目的の達成に必要な要件をまとめる。特に、ヒトの情報処理は視覚だけではなく、運動制御など（歩行や発話などを含む）の情報処理も行っていることを考慮し、視覚以外の数理モデルもつなぎ合わせることができ

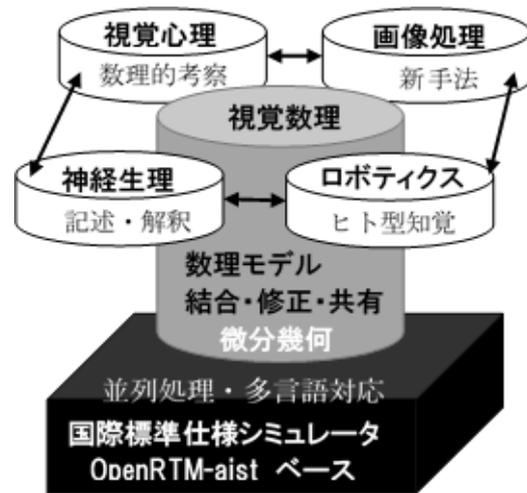


図1. 本研究の目的と必要とされる要件。視覚心理、神経生理、画像工学などの知見を有機的に結合したり、数理モデルの結合・修正・共有を可能とするソフトウェアの開発を行う。

るソフトウェア環境に必要な要件をまとめる。今後の発展性を考慮し、モデル間通信やモデル記述方法を独自の形式や方法とせず、国際標準化されてくる規格に従うようにする。

4. 研究成果

(1) 網羅的な既存ソフトウェアの調査結果として、ロボット構築に用いられるOpenRTM-aistを基盤として、脳の数理モデル構築用に拡張することとした。具体的には次の拡張を行った：(i) 視覚数理モデル間でデータを授受するための共通データインターフェース；Timed_cvMatを定義し、(ii) OpenCV（画像処理ライブラリのデファクトスタンダード）で提供されている数十種類の画像処理関数を、OpenRTM-aist上で実行できるソフトウェアを開発した（これをOpenCV-RTCと名付けた）。また、(iii) 数理モデルを同期的に実行するための仕組みとして新たに、Stepwise Execution Contextと呼ぶソフトウェアライブラリを作成した。

これら(i), (ii), (iii)の新しいフォーマットや機能群は、OpenRTM-aistの拡張である。すなわち並列処理や多言語対応、モデル記述方法の統一化など、OpenRTM-aistが持つ利点をそのまま継承しているため、「2. 研究の目的(2)」の要件を満たしている。さらに、OpenRTM-aistはロボット構築用に開発されたものであるため、制御系の記述に適していることから、「3. 研究の方法(2)」に示した要件も満たしている。

構築した新しいソフトウェア群を、次のURLで公開した；<http://hi-brain.org/>

(2) 既存モデルの応用が比較的容易に行えることを示した。たとえば視覚系モデルでは網膜細胞による複雑な情報処理を無視する場



図 2. (上) 逆光状態で撮影された網膜モデルへの入力画像. (下) 網膜モデルの出力と、顔画像検出結果. 網膜細胞による画像処理の結果、局所的なゲインコントロールが行われ、人が見た画像と近い画像が得られる. また、網膜モデルの出力を顔検出モデルへの入力とすることができる. 実際、上段の画像に対しては顔検出に失敗するが、下段の画像に対しては検出に成功する.

合が多い. 一方、前述の OpenCV には網膜モデル (Retina model) が含まれているため、我々が開発した OpenCV-RTC を用いることで容易に網膜モデルを実行することができる. さらに顔検出などの高次視覚情報処理モデルと網膜モデルを結合させることもできる (図 2).

(3) 既存数理モデルを複数結合させることにより、学術的な新規性が高い新たな数理モデルを構築できることを示した.

具体的には、ヒトの視線位置を予測する新たなモデルの構築である. 視線位置を予測する数理モデルはこれまでも数多く提案されており、それぞれのモデルは異なる計算原理に従って動作する.

そこで本研究では構築したソフトウェア環境上でこれら複数の数理モデルを並列的に結合させることで、新たな数理モデル (Mixture of Saliency Model) を構築し、その性能の評価を定量的に行った. その結果、2014 年 8 月 8 日の時点で総合評価 1 位を得ることができた (表 1).

(4) 微分幾何に基づく数理モデルとして、両眼立体視の新たなモデル構築を行い、認知心理学実験と無矛盾な結果を得ることができた. これまでの両眼立体視モデルは、「左右両眼像の空間的ずれが計算できる」という仮定の下で構築されてきた. しかしこの仮定の

表 1 MIT Saliency Benchmark による総合評価 (ROC×Sim÷EMD). 提案モデルは、2014 年 8 月 8 日付で世界最高評価値を得た.

Model Name	Total Measure	
	ROC*Sim/ EMD ranking	score
Baseline: Humans		
Mixture of Saliency Models [AINI 2014]	1	0.1423
Ensembles of Deep Networks (eDN)	2	0.1393
Boolean Map based Saliency (BMS)	3	0.1358
CovSal	4	0.1300
Judd Model	5	0.1286
Fast and Efficient Saliency	6	0.1188
Graph-Based Visual Saliency (GBVS)	7	0.1130
Region Contrast (RC)	8	0.1090
Multi-Resolution AIM (MR-AIM)	9	0.1081
MKL-based model	10	0.1053
CWS model	11	0.0978
Baseline: Center	12	0.0945
Random Center	13	0.0913
Surround Saliency		
Saliency for Image Manipulation	14	0.0822
RARE2012	15	0.0821
AIM	16	0.0768
IttiKoch2	17	0.0708
LMF	18	0.0690
Region saliency based on global context	19	0.0659
Visual Conspicuity (VICO)	20	0.0651
NARFI saliency	21	0.0649
Image Signature	22	0.0648
Weighted Maximum Phase Alignment Model (WMAP)	23	0.0637
Adaptive Whitening Saliency Model (AWS)	24	0.0607
Context-Aware saliency	25	0.0590
Quantum-Cuts (QCUT)	26	0.0550
Self-resemblance by LARK	27	0.0518
Murray model (Chromatic Induction Wavelet Model)	28	0.0508
Baseline: Permutation Control	29	0.0506
Torralba saliency	30	0.0497
SUN saliency	31	0.0452
IttiKoch	32	0.0380
Baseline: Chance	33	0.0259
Achanta	34	0.0226

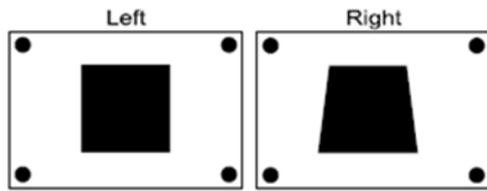


図 3 左右像の空間的ずれである両眼視差が、左右の辺以外では計算できない図形の例。ヒトはこのような図形を提示された場合、四角形の対角線を手前に山折り、もしくは奥側に谷折りにしたような立体図形を知覚する。

下では、図 3 にあるように、単一色で構成された面のずれを計算することは原理的に不可能である。それでもヒトはこのような画像を提示された際には、ガウス曲率が 0 となる特殊な面を知覚することが心理物理実験によって示されている。本研究ではこの実験結果を再現・説明する新たな数理モデルの構築に成功した。

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 1 件)

- ① Shunji Satoh, Computational identity between digital image inpainting and filling-in process at the blind spot, *Neural Compt. Applic.*, 査読有, vol. 21, no. 4, 2012 (accepted in 2011, published in 2012), DOI: 10.1007/s00521-011-0646-y

[学会発表] (計 15 件)

- ① 韓雪花, 佐藤俊治, 中村大樹, 占部一輝, *Neuroinformatics* 的観点から構築された新規 Saliency map モデル, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2015 年 1 月 22 日.
- ② 中村大樹, 佐藤俊治, 韓雪花, 占部一輝, 視覚脳科学研究を目的とした RT ミドルウェアの応用と結果, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門, 東京, 2014 年 12 月 15 日.
- ③ Xuehua Han, Shunji Satoh, Daiki Nakamura, Kazuki Urabe, Unifying Computational Models for Visual Attention Yields Better Scores than State-of-the-art Models, *Advances in Neuroinformatics*, Wako, 27 Nov 2014. DOI : 10.14931/aini2014.rii.6/RII-6
- ④ 中村大樹, 佐藤俊治, MT 細胞の電気生理実験結果に関する計算論的再考察, 電子情報通信学会ニューロコンピューティング研究会, 東京, 2014 年 3 月 17 日.
- ⑤ 広瀬正人, 佐藤俊治, 複素関数による両眼性細胞の数理モデル化と画像処理へ

の応用, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2014 年 1 月 22 日.

- ⑥ 皆川保裕, 占部一輝, 佐藤俊治, 知久健, 川口仁, 長瀬雅之, RT ミドルウェアをベースとした視覚研究用プラットフォームの開発, 計測自動制御学会第 14 回計測自動制御学会・システムインテグレーション部門講演, 2013 年 12 月 18 日.
- ⑦ Eiichi Mitsukura, Shunji Satoh, Computational Study of Depth Perception for an Ambiguous Image Region: How Can We Estimate the Depth of Black or White Paper?, *International Conference on Neural Information Processing*, 査読有, vol. LNCS- 8228, 225-232, Korea, 6 Nov 2013 DOI: 10.1007/978-3-642-42051-1_29
- ⑧ Daiki Nakamura, Shunji Satoh, A novel computational theory of MT neurons : Do MT neurons actually prefer their 'preferred speeds'? , *Neuro2013*, Kobe, 21 June, 2013.
- ⑨ 二枚田匠, 佐藤俊治, 視覚運動情報の計算過程を記述する画像処理モデル, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2013 年 1 月 24 日.
- ⑩ 北川大平, 占部一輝, 佐藤俊治, 視覚数理モデル構築のためのプラットフォーム開発, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2013 年 1 月 24 日
- ⑪ 飯野希, 中村大樹, 佐藤俊治, 速度知覚のパターン依存症に関する計算論的考察, 日本視覚学会冬季大会, 東京, 2013 年 1 月 24 日
- ⑫ Akira Egashira, Shunji Satoh, Hidetsugu Irie and Tsutomu Yoshinaga , Parallel Numerical Simulation of Visual Neurons for Analysis of Optical Illusion, *The Third International Conference on Networking and Computing*, 査読有, Okinawa, 6 Dec 2012 DOI : 10.1109/ICNC.2012.27
- ⑬ 佐藤俊治, 視覚を数理的に理解して画像処理アルゴリズムを作る, 情報処理学会北陸支部研究講演会, 招待講演, 福井, 2012 年 11 月 30 日.
- ⑭ Kazuki Urabe, Shunji Satoh, Collaborative software platform for Computational brain research based on OpenRTM, *The 6th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems*, 査読有, Kobe, 21 Nov 2012. DOI: 10.1109/SCIS-ISIS.2012.6505257
- ⑮ Shunji Satoh, Engineering and scientific approaches on vision science to develop novel algorithm and to solve paradox between physiology and

perception , Mathematical Sciences
based on Modeling, Analysis and
Simulation Seminar , 招待講演 ,
Kawasaki, 19 July 2012.

〔図書〕 (計 1 件)

- ① 梶谷誠 (監修), 佐藤俊治 (第 1 章), 他,
ユニーク&エキサイティングサイエンス,
近代科学社, 2013 年.

〔産業財産権〕

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

〔その他〕

学術賞など

- ① RT ミドルウェアコンテスト 2014 奨励
賞 日本ロボット工業会賞 (学会発表②
に対する受賞 1 件目)
- ② RT ミドルウェアコンテスト 2014 奨励
賞 ベストサポート賞 (学会発表②に対
する受賞 2 件目)
- ③ The best score for the total score of
MIT Saliency Benchmarking, 2014/8/8.

ウェブページ

<http://hi-brain.org>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

佐藤 俊治 (SATO, Shunji)
電気通信大学大学院・情報システム学研究
科・准教授
研究者番号 : 50333844

(2) 研究分担者

(なし)

(3) 連携研究者

(なし)