

課題名 (タイトル) :

大規模全視覚系モデルの構築を目的としたモデル統合環境の構築と評価

利用者氏名 : ○臼井 支朗<sup>\*,\*\*</sup>, 稲垣 圭一郎<sup>\*</sup>, 観音 隆幸<sup>\*\*</sup>, 楨村 浩司<sup>\*\*</sup>, Nilton L. Kamiji<sup>\*\*</sup>, 鈴木康哲<sup>\*\*A</sup>

所属 : \* 社会知創成事業 次世代計算科学研究開発プログラム

次世代生命体統合シミュレーション研究推進グループ 脳神経系研究開発チーム

\*\*和光研究所 脳科学総合研究センター 神経情報基盤センター

A 株式会社 数理システム

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

視覚系は、外界像の入力系である眼球(眼球運動系や眼光学系)、網膜、皮質中枢系で構成される多階層複雑系として捉えられる。こうした複雑なシステムを 1 つの大規模な数理モデルとして記述することは容易ではない。一方で各部位の数理モデルについては、機能的なものから詳細なものまで幅広く研究されていることから、大規模な視覚系数理モデルを構築するうえでは、これらのモデルを有機的に統合することが有効な手段の 1 つである。こうした観点から、我々は視覚系を構成する各部位を個別にモデル化(一部、既存モデルの再利用も含む)したうえで、それらを統合し 1 つの大規模数理モデルとして稼働させることを目的としている。本年度は、視覚系を構成する各部位の数理モデル化と更なる並列化ならびにそれらの統合を進めた。さらに、モデル統合を行うライブラリの京への実装に先立ち、同ライブラリを RICC へ実装・最適化し評価した。なお、本課題の一部は、次世代計算科学研究開発プログラム 脳神経系研究開発チームの研究に寄与するものである。

2. 具体的な利用内容、計算方法

視覚系の各部位の数理モデルは、Conductance Spike Neuron レベル、イオン電流レベルなどで記述する。なお、視覚系を構成する各サブモデルの概要および並列実装は以下のとおりである。(1)眼球運動系は、コンダクタンススペースの細胞モデルで記述し、物体注視時に生じる微小眼球運動ならびに視野上の物体を反射的に捉える急速眼球運動の再現を可能とした。(2)眼光学系は、眼球形状の特性、瞳孔系の特性などを反映するように構築し、

1000x1000 pixel からなる詳細な網膜像の生成を可能とした。(3)網膜は、視細胞、双極細胞(水平細胞含む)、ならびに神経節細胞で構成した。視細胞については、約 3600 万個の細胞から構成される視細胞層モデルを構築し、それらのうち 150 万の錐体細胞で Cone Mosaic と呼ばれる L 型、M 型、S 型の錐体細胞配置による応答を再現した。双極細胞については、150 万の細胞からなる双極細胞層モデルを構築した。なお、双極細胞応答は生理学的な知見に基づいて Parallel Conductance Model により記述した。神経節細胞は、イオン電流モデルで記述した 40 万の細胞により構成した。

各視覚系サブモデルの並列化は、MPI と OpenMP の Hybrid 並列(数理モデルの仕様によって一部 MPI のみの Flat 並列で対応)で実現し、富士通コンパイラで翻訳したのち並列実行する。なお、モデル間の接続には理研 NI チームで開発しているモデル統合ライブラリ(Platonic)を用いる。シミュレーション時には、Agent による管理のもと、接続した複数のモデルを同時並列実行することで視覚系としての一連のシミュレーションを行う。

3. 結果

本開発により、眼球運動、眼光学、網膜、皮質・中枢の各数理モデルにおいて富士通コンパイラでの翻訳ならびに RICC での実行が可能となった。それぞれの視覚系サブモデルの並列化状況は、眼球運動モデル: 16 並列、眼光学モデル: 400 並列、網膜視細胞モデル: 1024 並列、網膜双極細胞・神経節細胞モデル: 1024 並列である。統合モデルシミュレーション時の Platonic によるモデル連結部分の実行コストを評価したところ、眼球運動モデルのように小規模なモデルでは、その比重が大き

くなるが、眼光学や網膜のように大規模なモデルにおいては、その比重が小さくなることを確認した。こうした結果から、モデル統合ライブラリ **Platonic** が、サブモデル統合による大規模モデル構築およびシミュレーションに有効であることを示した。また、**RICC** での評価ののち、各視覚系サブモデルならびにモデル統合ライブラリを京へ実装し、高並列動作することも確認した。

#### 4. まとめ

視覚系を構成する各部位の数理モデル化ならびに富士通製ライブラリおよびコンパイラを利用して並列シミュレーションを行った。また、モデル統合ライブラリを **MPMD** に対応させることで **RICC** でのモデル統合を可能とするとともに、京での並列実行への移植も可能とした。

平成 24 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

1. 観音隆幸, 稲垣圭一郎, 榎村浩司, カミジニュートンリュウジ, 臼井支朗: PLATO: サブモデルを統合する大規模脳数理モデル構築プラットフォーム, 電子情報通信学会技術研究報告, 112, 108, NC2012-2, 7-12
2. K.Inagaki, S.Usui, Model on visualization and analysis for peripheral drift illusion, *Advances in Cognitive Neurodynamics (III)*, in press.
3. 稲垣圭一郎, 臼井支朗, 微小跳躍眼球運動を制御する神経機構について, 日本神経回路学会誌, 日本神経回路学会誌), vol. 19, no.3, 135-144, 2012.