

課題名 (タイトル) :

視覚・眼球運動系の多階層神経回路シミュレーション

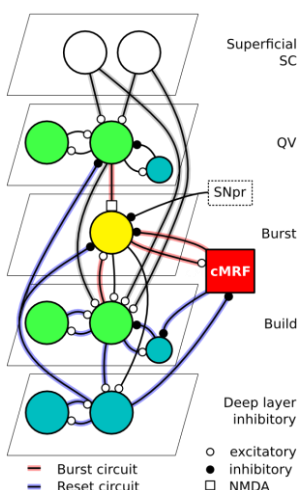
Sub Theme1 :

Multi-scale neural simulation of visual-oculomotor systems

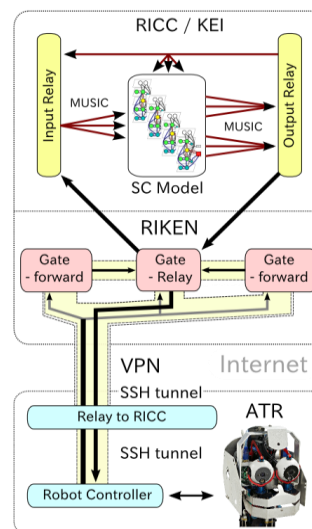
Name: ○Shin Ishii, Jan Moren

Laboratory: Brain and Neural Systems Team, Integrated Simulation of Living Matter Group,
Computational Science Research Program, RIKEN Research Cluster for Innovation

1. Our overall goal is a system-scale spiking neuron-level model of the early mammalian visual system. This system comprises the retina, the superior colliculus and the brainstem eye motoneuron systems. In primates it is primarily engaged in generating saccades and fast attention processing. We want to eventually embody the model in the physical world.



With a system-scale model that encompasses the entire visual-perception loop, from the retinal input to motoneuron output, we can close the perception action loop. That will enable us to compare model output with that of behaving animal models. It also lets us take whole-system dynamics into account when modeling individual areas; as individual areas never operate in isolation, it is important to consider the behavior of related areas. Such added considerations help us restrict the model design to make it stronger.



Modeling at multiple scales – here, both at system level and neuron level – we can use data from neurophysiology as well as anatomy and behavioral data to restrict our model.

We cooperate with the Laboratory for Neuroinformatics at RIKEN where they are developing a spiking neuron-level model of the retina. Our current work focus on the superior colliculus, the next step in the processing chain; and we have done work on the brainstem horizontal and vertical gaze motoneuron systems at OIST in Okinawa.

We are also working with Advanced Telecommunications Research (ATR) in Kyoto. We have embodied our model using their CB-i humanoid robot and the RICC cluster. The robot in Kyoto is connected with our model running at RICC, and we generate real-world saccades in response to visual stimuli presented to the robot.

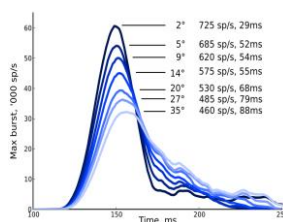
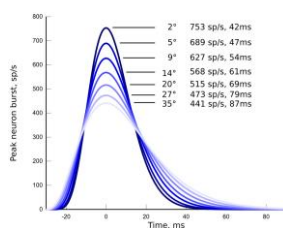
2. Our modeling has been performed using NEST and PyNEST on RICC and on K. The robot-related experiments have in addition used

MUSIC as well as our own software for near real-time communication between the CB-i robot at ATR and RICC at RIKEN.

3. We have previously developed a model of the intermediate superior colliculus. We use a conductance-based leaky-integrate and fire neuron model (by Brette and Gerstner) and have augmented it with a NMDA-receptor synaptic input to generate membrane potential-dependent bursting in accordance with physiological data. The neuron model uses measured superior colliculus neuron parameters mostly from the rat (Saito and Isa; Isa).

Our model uses on the order of 100k neurons in five major layers connected according to currently known neurophysiology, augmented by a simple integrator model of the central Mesencephalic Reticular Formation.

The model can generate correct bursting output to the brainstem motor systems to get the correct eye movement profile for different saccade distances – the “main sequence” – and it generates the lower peak speed and longer saccade duration for oblique saccades, needed to generate straight saccades.



Left: Monkey superior colliculus neuron output as function of saccade angle. Parameterized data from Goossens and van Opstal (2008)

Right: Output from our model for the same saccade angles. Averages of ten simulations.

Our model is also able to account for the

characteristic and significant spread of buildup neuron activity shortly before and during a saccade. There are a number of conflicting theories of the functional significance of this spread (and it may be that the function differ by animal model). We hypothesize that the spreading activation acts as an activity monitor and triggers a reset of the saccadic system once it has finished. In this formulation the direction of the spread is not seen as significant, but only the amount of activity.

Our current focus has been on embodying the model using a full-size humanoid robot called CB-i, developed at Advanced Telecommunications Research (ATR) at Keihanna in Kyoto. As the saccade-generation system is largely open-loop in nature, it can cope with relatively high latencies while retaining its essential behavioral characteristics. Thus, the model is running at RICC at RIKEN, and is connected to the CB-i system in Kyoto over the internet.

The system consists of three main parts: The robot, the controller and relay at ATR; the model, the input and output relay nodes interconnected with the MUSIC real-time neural simulator communication tool; and the Relay application running on the RICC frontend.

The Relay starts everything and communicates with the model relay nodes on one end and with the ATR robot control system on the other using normal net sockets wrapped in a VPN connection and SSH tunnels. The control system picks out and send a saccade target to the Relay system that in turn forwards it to the input relay that generates the appropriate model input. The output spikes are distance-mapped by the output relay and sent on to the robot control via the Relay application, where they are translated into eye movements.

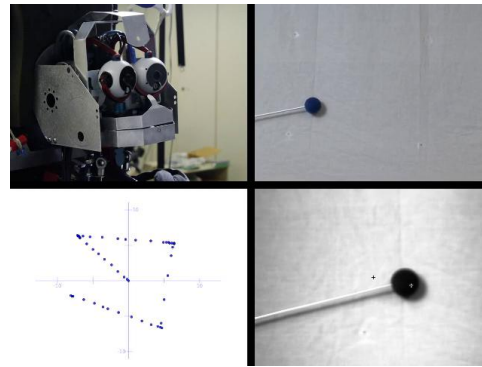
We have managed to run the model on 256-384 cores

on the RICC, with full on-line sensory-motor feedback through the CB-i robot at ATR. In order to do this we have developed a reduced-scale two-sided interconnected model of the superior colliculus that is able to generate outputs for both left- and rightward saccades as well as purely vertical saccades that require the simultaneous coactivation and mutual coregulation of both collicula. In addition we have implemented an image processing and saliency detection layer on the robot side. The output from that subsystem is sent to the RICC and transformed into the correct corresponding input to the double-sided CS model.

4. The model of the intermediate superior colliculus is complete. We are able to create the correct system-level behavior using a model built at the spiking neuron level, using neurophysiological data to guide connection patterns and model neuron parameters.

Using a reduced-scale two-sided collicular model we can generate physically embodied bi-directional saccades and purely vertical saccades in about 1/2 of real time using 256 computing nodes. The round-trip feedback latency between ATR in Kyoto and RIKEN in Wako-shi is around 110-140ms.

This runs in continuous mode and is able to autonomously generate sequences of saccades in response to salient input stimuli. The speed and latency is close enough to real time that meaningful behavioral experiments are feasible using this set-up. We believe that latency can be greatly improved through further software optimizations and by co-locating robot and cluster in physical proximity. Increased speed should also be possible by tailoring the cluster software for real-time use, but the extent to which this is possible has not been determined.



Above: A frame of a running CB-i and RICC simulation. Clockwise from top left: The robot head; external camera view; robot camera view; gaze position over time.

5. The project is winding down, and as we have achieved most of the simulation modeling and the real-time robotics results we aimed for, we foresee no more work on the system at this time. As noted above, there are several outstanding questions around improving the real-time behavior on RICC that would be interesting areas for development. Also, it would take a substantial amount of work to improve the current system from a proof-of-concept to something that is practically useful for other projects. This would be worthwhile work, but not something we are able to do at this time.

課題名 (タイトル) :

視覚・眼球運動系の多階層神経回路シミュレーション

サブテーマ 2 :

神経細胞形態形成の多階層シミュレーション

利用者氏名 : ○石井 信*, 行縄 直人**, 本田 直樹**, 佐々木 徹***, 後藤 記一****

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

**京都大学 大学院情報学研究科

***株式会社アプリアリ・マイクロシステムズ

****株式会社ヒューリンクス

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

我々は神経細胞の形態変化メカニズムの理解のために、細胞骨格系分子の重合・脱重合、細胞骨格が生む力場、細胞膜の張力、構造変化関連分子の反応拡散等を包含する神経細胞シミュレータ NeuroMorphoKit を開発している。本年度の RICC の利用では、昨年度までの利用で判明した、細胞骨格系に関する確率的反応（以降、F-actin kinetics と呼ぶ）の並列計算におけるボトルネック解消を主な目的とした。F-actin kinetics 部分は、反応物質の空間濃度分布を管理する 1 つプロセス（マスタープロセス）と、多数のフィラメントを分散管理するプロセス（ワーカープロセス）からなっている。ワーカープロセスは、自分が管理を担当しているフィラメントに対して周辺の反応物質の濃度に応じて重合反応等を進める。複数のワーカープロセスを並列に動作させることで全系での重合反応等の処理時間を減少させる構造になっている。ただし、反応物質の濃度が負にならないように調整する必要があるため、フィラメントの重合反応が 1 分子分進むたびにマスタープロセスと通信を行い、マスタープロセスが管理している物質濃度テーブルを参照・修正し濃度が負になるような反応は起きないように制御している。この通信の通信回数は非常に多く、この通信が障害となって並列化効率が上がっていなかった。

2. 具体的な利用内容、計算方法

今回の改良では前述の F-actin kinetics 計算にお

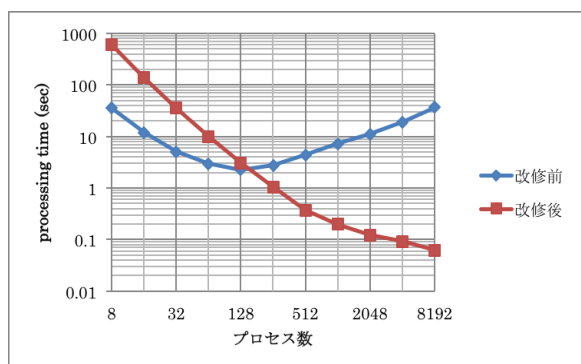
ける通信の通信回数を減らし、MPI の集団通信が使用できる構造への変更を行った。具体的には、各ワーカープロセスにはプロセスローカルに反応物質の増減を表すテーブルを持たせ、各シミュレーションステップの開始時点で 0 に初期化する。続いて各ワーカープロセスはアクチンフィラメントの周辺の反応物質の濃度から反応速度を算出し、シミュレーションの刻み時間に応じた量の重合反応・脱重合反応をすすめる。そして、その結果起こる反応物質の濃度の増減をローカルの濃度増減テーブルに記録する。1 シミュレーションステップ終了後、すべてのワーカープロセスが持っている濃度増減テーブルを MPI_Reduce 関数でマスタープロセス上に集計しグローバルな濃度テーブルを更新する。

3. 結果

改良後のコードを用い、F-actin kinetics 部分の実行時間のプロセス数依存性を調査した。測定条件は、

- 総初期フィラメント数約 122 万本
- Simulation time step : 1.0 (ms)
- Simulation time : 5.0 (ms)

である。改良前のコードは、128 並列まで性能伸びているが、それ以降増加に転じた。一方、改良後のコードは、本条件において最大 1024 並列まで並列化の効果がみられるようになった。次いで、本コードの性能評価を京コンピュータで実施した。京においても RICC と同様の結果が得られ、最大 8192 並列までの並列化の効果が見られた（下図）。



4. まとめ

神経細胞形態形成に関するシミュレータ NeuroMorphoKit の F-actin kinetics 計算における並列化方法を改良し、高並列実行環境でその有効性を確かめた。

5. 今後の計画・展望

今回は、本シミュレータの計算時間で最も支配的となる F-actin kinetics 計算の並列化性能の改善を行ったが、現状では、反応拡散、膜変形計算を含めた錬成計算における並列化性能が高並列環境では不十分である。そのため、今後は各計算部位の並列化性能のチューニングを進め、システム全体のパフォーマンスの最適化を実施したい。

課題名 (タイトル) :

視覚・眼球運動系の多階層神経回路シミュレーション

サブテーマ 3 :

視覚・眼球運動系の多階層神経回路シミュレーション

利用者氏名 : ○石井 信*, 市川 一寿**, 荒川 貴道***

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

**東京大学医科学研究所腫瘍数理分野

***株式会社爆発研究所

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
神経細胞のシグナル伝達経路におけるタンパク質等の物質の振舞い、および膜電位伝搬を時空間的にシミュレーションすることで、細胞の状態の予測することを目的とし、deterministic な計算と stochastic な計算の両面から細胞シグナル伝達を細胞全体、及び細胞局所においてシミュレーションを行っている。このようなシミュレーションは並列化による高速化が不可欠であり、A-Cell の並列化の向上を図った。本研究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仕事の一環として行われた。
2. 具体的な利用内容、計算方法
コンパートメント数を増やして領域分割し並列化した。通信の隠ぺいを図ることが並列化効率のポイントになるところである。
3. 結果
Deterministic な計算において 1 2 8 並列計算において 99.99%の並列化率を記録した。
4. まとめ
Deterministic な計算において前記の成果を得ることができ、当初の目標を達成した。
5. 今後の計画・展望
本年度夏をもって利用を中止しており、今後の計画は現時点ではない。

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】

Morén J, Shibata T, Doya K (2013) The Mechanism of Saccade Motor Pattern Generation Investigated by a Large-Scale Spiking Neuron Model of the Superior Colliculus. PLoS ONE 8(2): e57134.

【その他】

Accessible explanation of the project, the paper and the robot simulation results for non-specialists, in English:
<http://janneinosaka.blogspot.com/2013/02/our-saccade-model-paper-explained.html>