

脳・神経系汎用シミュレータ GENESIS の GPU 実装による高速化

岩佐 歩¹, 中山 智章¹, 本多 武尊^{2,3}, 山崎 匡², 西野 哲朗¹

¹ 電気通信大学, ² 理化学研究所脳科学総合研究センター, ³ 日本学術振興会特別研究員
a.iwasa@gmail.com

1 はじめに

近年, 脳研究における研究手法の 1 つとして, コンピュータシミュレーションが重要な役割を果たしている. そして, そのツールとして GENESIS[1] という脳・神経系の汎用シミュレータが広く用いられている.

一方脳研究では, 脳の構造の複雑さゆえ多数の神経細胞を考慮した大規模なシミュレーションが必要となり, 膨大な計算時間を要することが多い. そのため, 大規模な計算機を使用することなしにシミュレーションの高速化を実現できれば, これらの研究に寄与することができる.

そこで本研究では, GPGPU による GENESIS の並列化手法を提案し, 従来の GENESIS との比較検証を行う.

2 GENESIS

GENESIS による神経回路のシミュレーションは, element という要素を組み合わせることで構成される. element には様々なタイプがある. それら element は object のインスタンスであり, 各々特定の計算を行う.

代表的な object として, 神経細胞モデルの細胞膜を構成する compartment がある. compartment の element は, 各々細胞膜の 1 区画として図 1 の等価回路に基づいて動作し, シミュレーションの 1 ステップ毎に式 1 の微分方程式を解く. なお, 式 1 の各パラメータは図 1 と対応している.

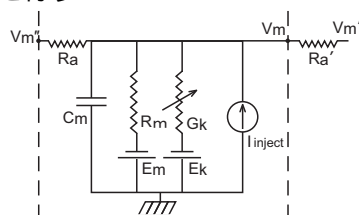


図 1: 細胞膜等価回路 [1]

$$C_m \frac{dV_m}{dt} = \frac{(E_m - V_m)}{R_m} + \sum_k [(E_k - V_m)G_k] + \frac{(V'_m - V_m)}{R'_a} + \frac{(V''_m - V_m)}{R_a} + I_{inject} \quad (1)$$

compartment をはじめとする多くの object の element は, 計算を行う際に他の element の情報を必要とする. 情報の授受を必要とする element 同士は, シミュレーションの開始前にメッセージを送受信することで接続関係を確立する. メッセージには複数のタイプがあり, タイプによって授受される情報が異なる. 接続関係が確立されると, element はシミュレーションのステップが進んで状態が更新されるたびに情報の授受を行う.

3 考案手法

本研究では, GPU を用いて object 毎に element の計算を並列に行うことで, シミュレーションを高速に行うことを目指す. GPU で並列計算を行うためには, 計算に必要なデータを予め主記憶から GPU のデバイスメモリに転送しておく必要があるが, それによって element 間の接続関係が失われてしまう事が問題となる.

そこで本研究では, element 間の接続関係を表すデータを予め GPU で扱う事ができるテーブルに変換する. そのため, まず各 element に固有の ID を割り当てる. 続いて, 各

element が受け取ったメッセージを参照し, メッセージの送信元 element の ID を格納したテーブル (以下, source table) と, メッセージのタイプを表す整数値を格納したテーブル (以下, type table) を作成する. 図 2 に示す 6 つの compartment element から構成される神経細胞モデルを例とすると, source table と type table はそれぞれ表 1, 表 2 のようになる. ここで, 図 2 中の括弧内の数字は各 element の ID を表す. また, RAXIAL と AXIAL はメッセージのタイプであり, 表 2 の type table 中ではそれぞれ整数値 1, 2 で表されている.

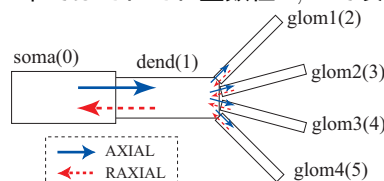


図 2: メッセージの授受

表 1: source table

0	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2					
3					
4					
5					

表 2: type table

0	1	2	3	4	5
1	2	2	2	2	2
	1				
	1				
	1				
	1				

source table と type table を各 object 毎に作成した後, それらのテーブルを GPU のデバイスメモリに転送する. これによって GPU でも element 間の情報の授受を実現でき, 並列計算が可能になる.

4 結果

これまでに compartment, hh_channel, synchan, spikegen, randomspike, MgBlock という 6 種類の object を対象として, 考案手法による GPU 実装を行った. これらは, 神経回路のシミュレーションを構築する際に必要となることが多い重要な object である.

GPU 実装を行った GENESIS (以後, GPU GENESIS) と従来の GENESIS の実行時間を比較するため, 神経回路モデル [2] を用いてシミュレーションを行った. その結果, GPU GENESIS は従来の GENESIS と比較して約 43 倍高速にシミュレーションを実行することができた. (CPU: Intel Core i7 975 Extreme Edition, GPU: NVIDIA GeForce GTX480)

5 考察

以上より, 本研究の考案手法が汎用的な神経回路シミュレーションに対して有用であることが示唆された. 今後, さらに多くの object に対して考案手法を適用することで, 汎用性をより高めることができると考えられる.

参考文献

- [1] James M. Bower and David Beeman: "The Book of GENESIS", <http://www.genesis-sim.org/GENESIS/iBoG/iBoGpdf/index.html>, 2003.
- [2] Honda T, Yamazaki T, Tanaka S, Nagao S, Nishino T, 2011, PLoS Comput Biol 7(7): e1002087. doi:10.1371/journal.pcbi.1002087