

Cell B.E. クラスタによる大規模な神経回路網モデルのシミュレーション A Simulation of a Large-Scale Neural Network by a Cell B.E. Cluster

五十嵐 潤 (PY)

Jun Igarashi (PY)

九州工業大学 大学院 生命体工学研究科 脳情報専攻

igarashi@brain.kyutech.ac.jp

Abstract Simulating the brain requires super computing power. I constructed a Cell B.E. cluster that consisted of 12 PLAYSTATION3s, and aimed to simulate a large-scale neural network. As a result, the Cell B.E. cluster enabled to simulate the neural network consisting of 100 thousands of 19 compartment neuron model 73 times faster than a personal computer.

Keywords Cell Broadband Engine, Large-Scale Neural Network, Hippocampus, HPC.

1. はじめに

近年の電子計算機の性能の指数関数的発達を受け、計算機シミュレーションによる脳の研究が盛んである。特に、最近では、神経細胞の複雑な形態や、多種のイオンチャネル電流を考慮した、詳細な神経細胞モデルのシミュレーションが行われている。詳細な神経細胞モデルから構成される神経回路網のシミュレーションには、莫大な演算リソースが必要となる。大型計算機を用いて計算する方法があるが、誰もが、いつでも、自由に使用することは難しい。一般の研究者が自由に使える高い能力を持つ計算機が望まれる。

市販のゲーム機、PLAYSTATION3 (PS3) に搭載される Cell Broadband Engine (Cell B.E.) は、9つのコアを持ち、一般のCPUに比べ高い浮動小数点演算性能を持つことで、注目されている。PS3にLinuxをインストールすることで、Cell B.E.のプログラミング環境を構築でき、科学技術計算に用いることができる。また、PS3を複数台連結することで、さらに高い演算能力を持つCell B.E.クラスタを構築できる。本研究では、PS3を12台つなげたCell B.E.クラスタを構築し、19コンパートメントの錐体細胞モデル10万個からなる、大規模な神経回路網のシミュレーションを試みた。

2. 方法

2.1 Cell B.E. クラスタの構成

Cell B.E.クラスタは12台のPS3で構成され、PS3間はギガビットイーサネットで接続された(図1左)。Linux環境において、ユーザーはCell B.E.のひとつのPPEコアと6つのSPEコアを使用可能で(図1中央)、各SPEコアは4要素のSIMD演算(ベクトル演算)を行う(図1右)。このCell B.E.クラスタの3重の並列構造を用いて、神経細胞の膜電位、イオンチャネル電

流、カルシウム濃度、シナプスコンダクタンスを並列に計算した。Cell B.E.クラスタと、性能比較に用いた比較対象機の詳細について表に示す。

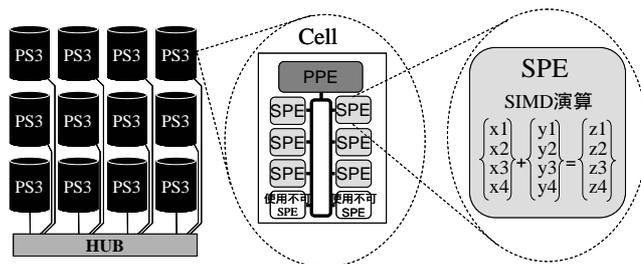


図1 Cell B.E. クラスタの3重の並列構造

	Cell B.E. クラスタ	比較対象機
計算機	PS3 × 12 台	Core2 搭載 PC
CPU: クロック周波数	Cell B.E.: 3.2GHz (PPE × 1, SPE × 6)	Core2 Duo: 2.66GHz (1 コア使用)
メモリ	XDR 200 MB	DDR2 2GB
OS	Fedora Core 6	CentOS 5
コンパイラ	IBM XLC 8.2	Intel Compiler 10.1
ライブラリ	Cell SDK 2.1 MPICH2-1.0.7	なし

表 使用機器と計算環境

2.2 神経回路網モデル

神経回路網を構成する神経細胞モデルとして、Traub et al. (1991)の海馬 CA3 錐体細胞の19コンパートメントモデルを用いた[1]。1台のPS3で、8,352個の錐体細胞を計算させ、クラスタ最大構成である12台のPS3を用いたとき、100,224個の錐体細胞を計算した。1つの錐体細胞は、ランダムに選ばれた1200個の錐体細胞に対して興奮性のリカレント結合を形成した。シナプスコンダクタンスは、0.01 mS/cm²とし、結合は第3コンパートメントに形成した。シナプス後電流には、上昇相、下降相の時定数がともに2msのAMPAチャネル電流を用いた。細胞体コンパートメントに、-0.1 nA、もしくは0.5 nAの直流電流刺激を加え、神経回路網全体の錐体細胞の平均発火周波数が0.1Hz程度になるようにした。数値計算法には、4次のルンゲクッタ法を用い、計算刻み幅は0.05 msとした。神経回路網の1秒分のシミュレーションを行い、計算時間を測定した。

2.3 Cell B.E.の浮動小数点数計算精度

Hodgkin-Huxley型神経細胞モデルの数値計算精度は、単精度で十分であることが示唆されている[2]。Cell B.E.で単精度の計算をした場合と、一般のCPUで倍精度の計算をした場合を比較した(図2)。CA3錐体細胞モデルのバースト発火の形状(図2a)や、刺激電流量によって変化する発火パターン(図2a,b)がCell B.E.で再現された。本研究では、以降の計算で単精度を用いた。

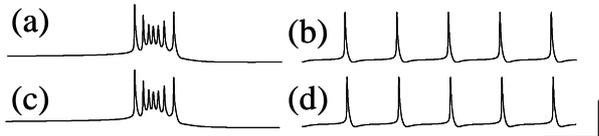


図2 Cell B.E.単精度計算(a,b)と一般CPU倍精度計算(c,d)の比較。左の列は0.1 nA、右の列は0.5 nAの直流電流で刺激。スケールバーは50 ms, 50 mV。

3. 結果

3.1 ひとつの Cell B.E.による神経回路網の計算

ひとつの Cell B.E.の性能を調べるため、PS3 一台で8352 個の錐体細胞からなる神経回路網のシミュレーションを行った。Cell B.E.は、Core 2 搭載の PC で同等の計算を行ったときに比べて、1/6.14 の時間で計算を行った(図 3)。このとき、Cell B.E.の計算時間の内訳を調べると、膜電位、イオンチャネル電流、カルシウム濃度の計算が 99.06%、発火情報の転送が 0.08%、シナプス後電流計算が 0.86%の割合を占めた。

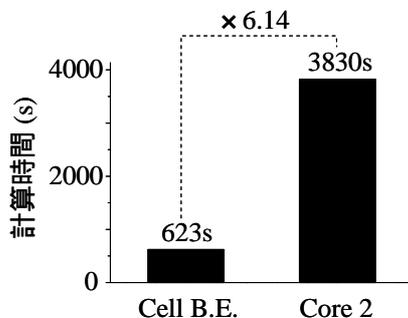


図 3 Cell B.E. と Core2 との計算時間の比較

3.2 Cell B.E.クラスタのノード数と計算時間の関係

次に、Cell B.E.クラスタでノード数を変え、計算時間を調べた(図 4)。ノード数が増えるごとに、錐体

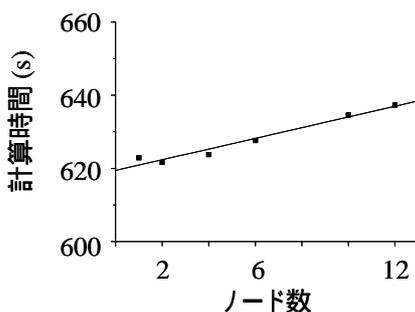


図 4 Cell B.E.クラスタのノード数と計算時間

細胞は 8352 個ずつ増加するが、計算時間は 1.5 秒程度(0.25%)しか増加しなかった。ノード数の増加にあわせて、Cell B.E.の計算性能はスケールした。

3.3 Cell B.E.クラスタによる大規模神経回路網の計算

Cell B.E.クラスタのノード数を 12 として、100,224 個の錐体細胞からなる神経回路網モデルの計算を行い、Core2 搭載 PC との計算時間を比較した。図 5 で示すように、Cell B.E. クラスタは Core2 搭載 PC に比べ、1/72.9 の時間で計算を行うことができた。

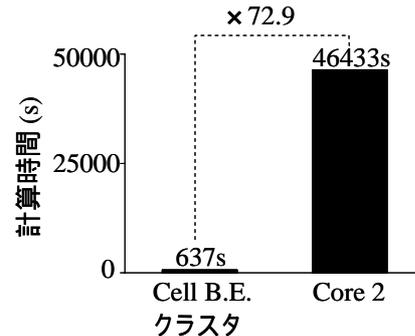


図 5 Cell B.E.クラスタでの大規模神経回路網の計算

4. まとめと考察

本研究では、Cell B.E.クラスタによる大規模な神経回路網の計算の有効性を調べ、最終的に、約 10 万個の 19 コンパートメント錐体細胞モデルからなる神経回路網の計算を高速に実行できることを示した。本研究の神経回路網の計算において、発火情報の転送時間の割合は非常に小さく、計算全体の律速要因とならなかった。そのため、ノード数の増加に応じて、計算性能はほぼスケールした。本研究の結果をから、ノード数は 12 以上でも性能がスケールすることが予測される。例えば、ノード数が 48 で、錐体細胞数が約 40 万個の場合でも、計算時間は 1 割増し程度の 680 秒と予測される。現実のラットの海馬 CA3 の細胞数は、推定 2,30 万個といわれており、48 ノードの Cell B.E. クラスタならば、その規模の神経回路網モデルのシミュレーションを行うことが可能であろう。

5. 謝辞

本研究の一部は、(財)北九州産業学術推進機構半導体技術センターの援助を受けて行われた。

参考文献

- [1] R.D. Traub et al. (1991) "A model of a CA3 hippocampal pyramidal neuron incorporating voltage-clamp data on intrinsic conductances." J Neurophysiol., **66**, 635-650.
- [2] 平田隆幸, 黒岩丈介, 浅井竜哉 (2004) "Hodgkin - Huxleyモデルの数値シミュレーション-脳機能の解明に向けて-" 福井大学工学部研究報告 **52**, 161-167.