

論文審査の結果の要旨

氏名 ジュレイド マディーナ

本論文は、計算制約タイプ（メモリーより CPU パワーの必要な）の科学計算を行う上で有用な計算機アーキテクチャーを新しく提案し、具体的に設計するものである。

第 1 章では、”計算制約タイプのコンピュータモデル（例えば、分子動力学や QCD）を定義し、なぜソフトウェア技術だけでは、これらのモデルのパフォーマンスがあげられないかを説明している。その上で、ハードウェア技術（新しいプロセッサのデザインなど）の重要性を説き、プロセッサのエネルギー消費量の問題を指摘している。通常のプロセッサ・コアを大量にひとつのチップに乗せると、非常にエネルギーを消費する。それで新しいプロセッサ設計のアイデアが必要となってくる。こうした研究の背景を説明した上で、本論文の構成と貢献がまとめられている。

第 2 章では、チップ上のプロセッサ・コア間でデータを効率よく移動するために、ここで新しく 3 つの提案が行われた。

1) 4 個の低速振幅 (low swing) リンクの発案。これは、容量結合型のトランスミッターと新しい 4 つのセンスアンプおよび新しい解析技術からなり、これまでの技術にくらべて約 2 倍以上エネルギー効率が良い。

2) 容量結合型で、協調シグナル型のクロスバー・デザインをした。これはオンチップ・ワイヤーの密度が高くてアスペクト比も高い場合に、威力を発揮できる初めてのデザインである。

3) 拡張されたマンハッタン型のトポロジーを使った、オンチップのバッファを介さない”ホットポテト”・ルーティングを用いる。これはパケット通信のレイテンシとエネルギー消費量との単純なトレードオフを可能にするもので、他の一般に使われるネットワークトポロジーより遥かに高いパフォーマンスを発揮する。

第 3 章では、いくつかの分子動力学のコードにおける浮動小数点の特徴を解析する。その結果、主要な計算には、同じように大きな値をとる内積計算が数多く含まれていることが分かった。このような場合には、浮動小数点の内積を計算するプロセッサを直接作ってしまうのが効果的である。そのために通常の掛け算よりも、より複雑なアルゴリズムが採用されている。それが解説されている。

第 4 章では、2、3 章で開発された計算制約型の科学モデルのための効率の良いプロセッサのデザイン全体が示され、分子動力学のシミュレーションにおいて効率が計算されている。

第 5 章では、今後の方向性と結果について議論し、技術、方法論の詳細が Appendix に記載されている。

以上のように論文提出者の研究は、計算制約型の科学モデルのシミュレーションにおけるハードウェアの開発の重要性を指摘し、新しいチップデザインを具体的に提案することで、今後計算生物学などの分野において重要な寄与をなすものと考えられる。したがって、本審査会は博士(学術)の学位を与えるのにふさわしいものと認定する。