

氏名	王古玥				
学位の種類	博士(工学)				
学位記番号	博甲第8994号				
学位授与年月日	平成31年3月25日				
学位授与の要件	学位規則第4条第1項該当				
審査研究科	システム情報工学研究科				
学位論文題目	ストリーム指向プログラムのための並列性抽出 アルゴリズムに関する研究				
主査	筑波大学	教授	学術博士	和田 耕一	
副査	筑波大学	教授	工学博士	丸山 勉	
副査	筑波大学	教授	博士(工学)	安永 守利	
副査	筑波大学	准教授	博士(工学)	阿部 洋丈	
副査	筑波大学	准教授	博士(工学)	山際 伸一	

## 論文の要旨

本研究では、ストリーム指向プログラムの構成を解析し、カーネル関数間の依存関係に基づいて並列性を抽出することで、効率良い並列実行パターンを生成するアルゴリズムの提案とその性能評価を行っている。

本論文ではまず、IoT(Internet of Things)の進展に伴い、温度等の環境データ、画像や音声などのデータがストリームデータとして継続的、かつ大量に生成されるようになり、ストリームデータを効率良く処理できるプログラムを極力容易に開発できる技術の必要性が高まっていることについて述べている。

高性能演算に関して、GPU(Graphic Processing Unit)など、潜在的に高い性能を持つ演算チップが一般的に利用可能になっている。しかし、GPUの性能を引き出すためには、プログラマは、GPUの構成や並列計算のコンセプトを理解する必要があり、高性能なストリーム指向プログラムの開発は容易ではない。特に、GPU上で実行されるカーネル関数群に関して、現実の並列環境に適合する実行パターンを見出すのは極めて困難である。本論文では、このような背景について詳述し、ストリーム指向プログラム開発におけるプログラマビリティ向上は大きな課題であることが述べられている。

論文では、複数のカーネル関数から構成される処理フローから、空間的並列性ととも時間的並列性を抽出できるPEA-ST(Parallelism Extraction Algorithm with Spanning Tree)を提案し、その詳細について述べている。また、処理フローにおけるフィードバックやフィードフォワードに対して効率良い通信を生成する方式、および負荷分散等の最適化について述べている。

提案されたアルゴリズムの有効性について検証するため、アプリケーションを用いた性能評価を行い、結果と考察を示している。評価の結果、PEA-STを用いることにより、処理フローから適切な並列

性を抽出することができ、また複数のGPUを有するシステム上で高い並列実行性能が得られることを示し、効率良いストリーム指向プログラムの開発におけるプログラマの負担を軽減できることを明らかにしている。

## 審 査 の 要 旨

### 【批評】

本論文では、ストリームデータを効率良く処理できるプログラム開発の負担軽減を目的として、複数のカーネル関数で構成された静的な処理フローから、カーネル間の空間的、および時間的な並列性を抽出できる新たなアルゴリズム PEA-ST を提案している。また、複数のアプリケーションに本アルゴリズムを適用することで性能評価を行っている。

提案された並列性抽出アルゴリズムは、処理フロー中のカーネル間の接続関係に基づいて spanning tree を求め、頂点間の依存関係から並列性を抽出するとともにカーネルの実行順序を決定している。直接依存関係がないカーネルは並列実行により、依存関係があるカーネルはパイプライン実行を行うことにより実行スループットを向上させる方式を提案しており、高い新規性が認められる。また、カーネル間でフィードフォワードやフィードバックがある処理フローに対して通信を最適化する方式の提案、負荷分散についても提案しており、実環境を考慮した最適化手法として評価できる。

性能評価では、複数のアプリケーションに対して提案アルゴリズムを適用し、様々な GPU ノード数で実行した測定結果を示すとともに、本アルゴリズムの有効性について論じている。評価の結果、実行環境の並列度に応じて、適切な並列性が抽出できることを明らかにしている。また、通信の最適化、負荷分散も性能向上に有効であることを示している。

以上より、本研究は、ストリーム指向プログラムの効率良い開発環境の進展に寄与する研究として高く評価できる。

### 【最終試験の結果】

平成 31 年 2 月 8 日、システム情報工学研究科において、学位論文審査委員の全員出席のもと、著者に論文について説明を求め、関連事項につき質疑応答を行った。その結果、学位論文審査委員全員によって、合格と判定された。

### 【結論】

上記の学位論文審査ならびに最終試験の結果に基づき、著者は博士（工学）の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。