

組込みシステムを対象とした並列実装及びコードの生成と移植に関する研究

メタデータ	言語: Japanese 出版者: 公開日: 2023-05-31 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 津山, 雅彦 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/10291/00023140

「博士学位請求論文」審査報告書

審査委員 (主査) 理工学部 専任准教授

氏名 宮本 龍介

(副査) 理工学部 専任教授

氏名 井口 幸洋

(副査) 理工学部 専任教授

氏名 堤 利幸

1 論文提出者 津山 雅彦

2 論文題名 組込みシステムを対象とした並列実装及びコードの生成と移植に関する研究
(英文題) A Study on Parallel Implementation and Transcoder for Embedded System

3 論文の構成

本論文は6章構成となっている。第1章は序論であり、研究背景および社会的な要求と本研究の関わりについてまとめている。第2章では、本論文において対象とする課題の1つである画像処理に関する物体検出についての関連研究について、その技術の発展の流れから手法の詳細まで説明している。第3章では、本論文におけるもう1つの研究対象であるマシンコード生成において利用する模倣学習手法について詳述している。第4章では、色情報のみを用いた人検出器の NVIDIA Jetson Xavier 上への実装について述べている。第5章では、C++ AMP を用いた色情報のみを用いた Informed-Filters に基づく人検出の並列実装について述べている。第6章では、Neural Programmer-Interpreters を用いた RISC-V 命令セット向けのマシンコード生成手法について提案を行い、第7章では Neural Programmer-Interpreters を用いたコード移植器の構築における問題点およびその解決方法について論じている。最後に第8章で本論文を纏めている。

4 論文の概要

組込みシステムを対象としたプログラムの高速化は重要な課題であるが、デジタル半導体の動作周波数向上速度の鈍化や1つのチップあるいはパッケージに含まれるプロセッサのコア数の増大を鑑みると、並列実装が重要な技術となる。並列実装をサポートするツ-

ルや自動並列化コンパイラも存在するが、現状ではプロセッサアーキテクチャとプログラミングの両方に精通したエンジニアの技量に頼った実装が主流である。しかし、優れたエンジニアの数には限りがあるため、将来的には適切な自動化技術の導入が不可欠であることは間違いない。この点に着目し、本論文では画像処理に基づく物体検出を対象とした複数の枠組みによる並列実装を通じた並列処理における重要な点の明確化およびバイナリコードの生成における機械学習技術の導入による自動化処理の実現に向けた研究を行った。

並列実装に関する研究においては、運動中の人物のバイタル情報をリアルタイムに取得することを目指した Image-Assisted Routing において利用することを目的とし、ドローンに搭載されたカメラによって得られる画像を入力とした、色情報のみを用いた Informed-Filters に基づく人検出手法を実装対象としている。1 つめの実装は、CUDA を用いた並列実装であり、ドローンにも搭載可能な Jetson Xavier ボードを利用した、リアルタイムシステムの実装を行った。このシステムでは、ボードに接続されたカメラから入力される画像に対して、ボードに実装された計算資源のみを用いて検出処理を連続的に実時間で行うことが可能である。次に、ドローンから画像を無線通信によってリアルタイムに伝送し、得られた画像に対して実時間検出処理を行うシステムの実装を行った。この実装においては、DJI SDK の制約から C++ AMP を用いた並列実装を行い、ドローンと連携して動作可能なシステムの構築を行った。

次に、Neural Programmer-Interpreters を用いたコード生成および移植に関する研究を行っている。コード生成については、RISC-V 命令セットを対象とし、乗算器が存在せず乗算命令が直接実行できない環境において必要となる、複数の命令から構成されるソフト乗算を学習によって獲得する方法の研究を行った。ソフト乗算の模倣学習による学習には大規模な演算が必要となり、現実的な時間で学習を実行可能とするために、4 つのサブタスクに分割を行った。この結果、幾つかの乗算の手続きを見本として示すことで、2 つの 64 ビットのオペランドからなる乗算をランダムに選択したデータセットに対し、100%の精度で実行可能な学習結果を得ることができた。コード移植に対しては、RISC-V のマシンコードを入力とし、x86-64 のマシンコードを出力とする学習器の訓練を、同様の条件で行った。実験の結果、オペランドの表現には誤りを含んでいるものの、命令列そのものは適切に学習可能であることが示された。

5 論文の特質

本論文では、実デバイスを用いた実証実験も行っているアプリケーションである、マルチホップネットワークによるリアルタイムバイタルセンシングにおいて、画像情報を用いたネットワークの動的構成変更の鍵となる物体検出を対象とした並列実装に取り組んでいる。その結果、ドローンに搭載可能なシステムおよび DJI SDK と連携してドローンから得られる映像をリアルタイムに処理可能なシステムという 2 つの実装を実現している。こうすることにより、ユーザーの要求に応じたシステム構成が可能となり、対象となるアプリケーションにおける方式設計の柔軟性を高めることができる。また、C++ AMP という利用例の少ないフレームワークを用いて、実アプリケーションにおいて動作する並列実装を行いその詳細を示したことは、並列処理フレームワークの有効性を比較検討する上で重要な

資料となる。

次に、機械学習をコード生成、特にマシンコード生成に利用しようという試みに取り組んでいるが、これは他に類を見ないものである。コード生成には、近年話題となっている ChatGPT のような自然言語による仕様の表現からプログラムを生成するというタスクもあるが、マシンコードの生成もそれと同様に重要なタスクである。何故なら、マシンコードがアーキテクチャに対して最適であるか否かによってその実行速度やメモリ効率は大幅に変動するからである。にも関わらず、コンパイラの最適化における組み合わせ問題の解決や並列処理における熟練したエンジニアの知見を、機械学習によってコード生成プログラムに取り込むことはできていない。このような実用上重要な問題に対し、模倣学習を利用したアプローチの可能性を示したことは大いに意義がある。模倣学習を利用することの大きな利点は、あるアーキテクチャ上で動作しているプログラムを見本として与えることで他のアーキテクチャ上で動作可能なマシンコードを生成できる可能性があることである。これが可能となれば、容易に異なるアーキテクチャに対して実行可能なバイナリマシンコードを移植できることとなり、ソフトウェア開発に対する貢献が非常に大きいものとなる。本論文の結果では、異なるアーキテクチャに対する移植については、高精度な移植が可能であったのは命令列の出力のみであったが、この研究領域における先駆的な試みであることが大きな特質である。

6 論文の評価

Jetson Xavier を用いた色特徴を用いた Informed-Filters に基づく人検出のリアルタイム実装は IEEE の国際会議である International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS) において Student Best Paper Award を受賞したものであり、外部からも高く評価されている。C++ AMP を用いた並列実装においては、精度評価を行う対象となるデータセットに適切な手法である深層学習に基づく小物体検出手法との比較を行い、処理速度だけでなくその検出精度も最先端の手法を上回るものであることを数値実験により示している。実装に関する研究の多くが精度を犠牲にして速度向上を達成していることと比較すると、この成果は極めて高く評価できるものである。Neural Programmer-Interpreters を用いた、模倣学習によるマシンコードの生成およびトランスコーダの学習については、着想そのものが独創的であり、プログラミングやシステム実装と機械学習を融合する新たな取り組みとして高く評価できる。ソフト乗算の学習については、100%の精度を達成するという高い汎化性能を示しており、より実用的なタスクへの適用およびその精度評価が期待できる成果となっている。トランスコーダの学習に関しても、RISC アーキテクチャの CPU である RISC-V の命令列を見本とし、CISC アーキテクチャの CPU である x86-64 の命令列の出力を学習するという命令の数からオペランドの表現まで異なるという極めて困難なタスクに対し、命令列に関しては高精度に出力可能なトランスコーダを構築できることを示したことは大きな成果である。

7 論文の判定

本学位請求論文は、理工学研究科において必要な研究指導を受けたうえ提出されたもの

であり、本学学位規程の手続きに従い、審査委員全員による所定の審査及び最終試験に合格したので、博士（理学）の学位を授与するに値するものと判定する。

以 上

主査氏名（自署）