

各時刻の人口分布から各時刻間の移動人数を推定

入力: 各時刻・各エリアの人口

時刻 1	時刻 2	時刻 3
10 20	20 10	0 10
20 30	20 30	40 30

出力: 各時刻間における各エリア間の移動人数

時刻 1 と 2 の間	時刻 2 と 3 の間
← 10人	↓ 20人

群衆の移動の向きを考慮した移動サービスへの活用

2つの時刻の人口からその間の人口を補間

入力: 時刻 1・3 における人口

時刻 1	時刻 2	時刻 3
8 0 0	?	0 0 0
0 0 0		0 0 0
0 0 0		4 0 4

出力: 時刻 2・3 における人口

時刻 2
2 0 0
3 3 0
0 0 0

人口データの時間粒度が粗い場合に活用

Probabilistic Models and Algorithms for Aggregated Location Data



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:16



2022年度研究会推薦博士論文速報

[データベースシステム研究会]



赤木 康紀

(日本電信電話 (株) 研究員)

邦訳：集計された位置情報データのための確率モデルとアルゴリズム

■キーワード

集計された位置情報データ / データマイニング / Collective Graphical Model

【背景】 集計された位置情報データの重要性の高まり

【問題】 このようなデータに対するデータマイニング技術は未発達

【貢献】 確率モデルに基づく高精度・高速な手法を提案

GPSやWi-Fi, さまざまなセンサ技術の発展により, 人間の位置情報の重要性が高まりさまざまな状況で用いられるようになってきている。しかし, 個人の位置情報はプライバシーへの配慮などから, 利用することや公開することが難しい。その代わりとして, 集計された位置情報データが注目を集めている。集計された位置情報データとは, 複数の個人の位置情報を集め, 空間における集団としての位置や動きとしてまとめたものである。たとえば, モバイル空間統計は, 携帯電話の利用データから計算された地域ごと・時刻ごとの人口データであり, 日本で実際に販売されている。

集計された位置情報データは有用ではあるが, 集計の過程で情報が失われるため, 意図した応用先に直接利用することが難しいことがある。たとえば, 各時刻・エリアごとの人口データからは, エリア間の移動の様子(エリアAからエリアBへ何人移動したか, など)を知ることは難しく, 移動の様子が重要になる応用先での活用は難しい。別の例として, 集計の際の時間粒度が粗い場合は, 細かい時間粒度での位置情報を知ることが難しく, 時刻が重要になるサービスでの活用が難しくなる。このような背景から, 集計された位置情報データからより詳細な情報を抽出するデータマイニング技術は, 当該データの活用可能性を広げ, 社会にインパクトをより大きく与えられる。

本研究では, 集計されたデータを扱うための確率的生成モデルであるCollective Graphical Model (以下CGM) に基づき, 集計された位置情報データに関するさ

さまざまなタスクを解くための新たな推定手法を提案した。具体的な研究内容は大きく2つに分けられる。

(1) 人間の移動の特徴をモデルに組み込んだ人流推定手法に関する研究

この研究では、時刻・エリアごとの人口データから各時刻間でのエリア間の移動人数を推定するタスクに取り組んだ。既存研究ではCGMに基づいてこのタスクを解く手法が提案されていたが、近接したエリア間の移動しか推定できないという欠点があった。また、素朴にこの手法を遠く離れたエリア間の移動に拡張すると、推定精度の低下および計算コストの増大に悩まされることになる。そこで、本研究では、人間の移動の特徴をモデルに陽に組み込むことでモデルの自由度を適切に保ち、高精度な推定を可能にする手法を提案した。さらに、モデルの特殊な構造を活かした近似を用いることで、計算コストを大幅に小さくすることに成功した。

(2) スターリングの近似・連続緩和を用いないMAP推定法に関する研究

CGMにおけるMAP推定は、集計された位置情報データにおけるさまざまなタスクを実現するために重要な操作である。既存研究では目的関数にスターリングの近似・連続緩和を適用することで問題を連続の凸計画問題に近似する手法が提案されていた。しかし、この手法には (i) スターリングの近似の適用により、出力される解の事後確率が小さくなってしまふ、(ii) 整数値の解が得られない、という問題点があった。そこで、本研究では、パスグラフ上のCGMに対して、離散DC (Difference of Convex) アルゴリズムと最小凸費用流アルゴリズムを組み合わせ

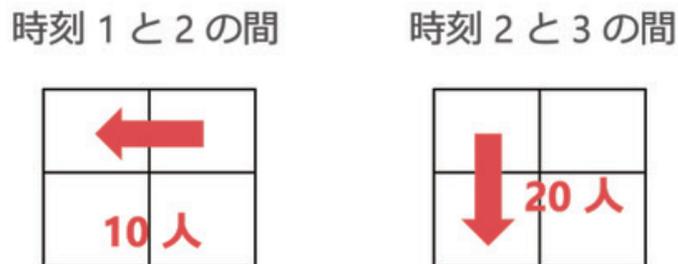
た新たなMAP推定手法を提案した。提案手法は、事後確率が高い整数解を高速に出力することができる。

各時刻の人口分布から各時刻間の移動人数を推定

入力: 各時刻・各エリアの人口

時刻 1		時刻 2		時刻 3	
10	20	20	10	0	10
20	30	20	30	40	30

出力: 各時刻間における各エリア間の移動人数



活用先: 群衆の移動の向きを考慮した移動サービス・マーケティング

(2023年5月30日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（工学）

大学：筑波大学

推薦文【コンピュータサイエンス領域】 データベースシステム研究会

本論文では、GPS等の個人の位置情報を集団レベルに集計した時系列位置情報データの活用を目的に、新たな確率モデルやアルゴリズムを提案している。具体的には、(1) 人間の移動特徴を考慮したモデルによる人流推定手法や、(2) Stirlingの近似や連続緩和を用いない最大事後確率推定に基づく高精度な未知量推定手法を提案し、その有効性を示している。Machine Learning, IJCAI, AAI, NeurIPSに関連論文が採択される等、国際的に高く評価されている博士論文として推薦する。

研究生活 博士号をとることは自分の中での1つ大きなTo Doだったので、無事取得することができて今はほっとしています。

私は修士課程を卒業した後に企業の研究者として就職し、その業務の中で見つけた研究テーマをもとに博士号を取得しました。指導教員は修士課程のときの先生ではありませんでしたが、快く指導を引き受けてくださり、熱心に指導していただきま

した。私は修士課程のときにあまり結果を出せなかったのですが、そのような人間でも研究が好きな気持ちさえあれば（たとえ遠回りになったとしても）博士号をとることができるのだ、ということをお伝えしたいです。

会社で働きながら博士課程に通うと、会社の業務と博士の研究を同時に行うことになるため非常に忙しくなります。その代わりに、会社から給与が出るために経済的に安定した状態で研究を行うことができます。人によってどちらが適しているかは異なるため、選択肢をしっかりと吟味して自分に適したルートを辿ることをおすすめします。



Towards Practical Node Classification for Attributed Graphs: Improving Effectiveness/Scalability and Benchmarking Graph Neural Network-based Methods



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:19



2022年度研究会推薦博士論文速報

【データベースシステム研究会】



前川 政司

(Megagon Labs, Inc. Research Associate)

邦訳：実践的な属性付きグラフにおけるノード分類に向けた精度とスケーラビリティの向上およびグラフ深層学習手法の実証研究

■キーワード

グラフ深層学習／ノード分類問題／人工グラフ生成

【背景】 ウェブや人間関係を分析できるグラフ深層学習が重要

【問題】 実問題の解決には、精度・効率性・評価基盤が不足

【貢献】 精度・効率性向上と人工データによる評価基盤を提案

私の研究では、ウェブや人間関係の分析に使われるグラフ深層学習を扱いました。ここでのグラフとは、モノとモノの繋がりを示すデータの表現を意味します（図が示すのは人間関係を表すグラフ）。このグラフに対して、近年注目を集めている深層学習を適用する技術のことをグラフ深層学習と呼びます。グラフ深層学習は一つひとつの頂点（図では人）とその周りの情報を用いて、頂点の興味関心や友達推薦を可能にします。しかし、現状の手法を実世界の問題解決に利用するためには、1) 複雑な設定では低精度になる、2) 大規模グラフへの適用が困難である、3) 検証が限られた条件下だけ行われている、といった課題が残されています。私の博士研究では、これら3つの課題に対してそれぞれ解決策を提案し、グラフ深層学習の研究段階から応用利用までのギャップを小さくすることに取り組みました。

1つ目として、複雑な設定で高精度な手法を提案しました。実世界のグラフは繋がりが（例：人間関係）だけでなく、頂点それぞれの情報（例：年齢やSNSでの投稿内容）も含んでおり、それらは予測したい内容（例：興味関心）と複雑な関係を持っています。そこで提案手法では、繋がりの情報と頂点それぞれの情報を同時に考慮した上で、それらの間の複雑な関係を掴むために非線形関数を式に組み込むことで高精度化を達成しました。

2つ目は効率性の向上のための取り組みであり、大規模グラフ（例：1億個の頂点）を扱うことのできない既存手法の本質的な部分を抜き出すことで、精度を維持したまま高速に処理可能にする技術を提案しました。コアとなる考え方は、多くの既存手法が採用していたグラフ畳込み処理の順番を効率的に実行できるように見直すことです。実験では、処理順番の変更が大幅に高速化を実現したことを示し、また精度にはほとんど影響を与えないことを示しました。

3つ目は、グラフ深層学習手法の良し悪しを明らかにするための評価基盤の開発を行いました。既存研究では限られた種類の数個のグラフのみを用いて新手法を評価していましたが、これではその数個のグラフに特化した手法のみが注目されてしまいます。主要な原因は、評価用のグラフ作成が非常に高コストであることです（例：SNSで数百万人～数億人の興味を人手で調べることは非現実的）。そこで、まず高機能な人工グラフ生成器を提案しました。それは実世界のグラフが持つ特徴を維持しながら、利用者の指示に沿うように多種多様な人工グラフを生成可能です。これによって、多種多様な条件での実験を可能にし、既存手法の強み弱みを明らかにしました。このグラフ深層学習用の評価基盤は、多くの研究者・開発者が利用できるようにオープンソースで提供しています。

これら3つの取り組みをとおして、グラフ深層学習が実世界の課題解決に利用可能にするための基礎的な技術と評価基盤を開発しました。ますます注目を集めているグラフ深層学習の進歩の一助に、本研究がなることを願っています。



■Webサイト／動画／アプリなどのURL

グラフ深層学習のすゝめ (DEIM2023にて行われたチュートリアル動画)

<https://www.youtube.com/watch?v=7rgXi3Xp6NI>

(2023年5月15日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

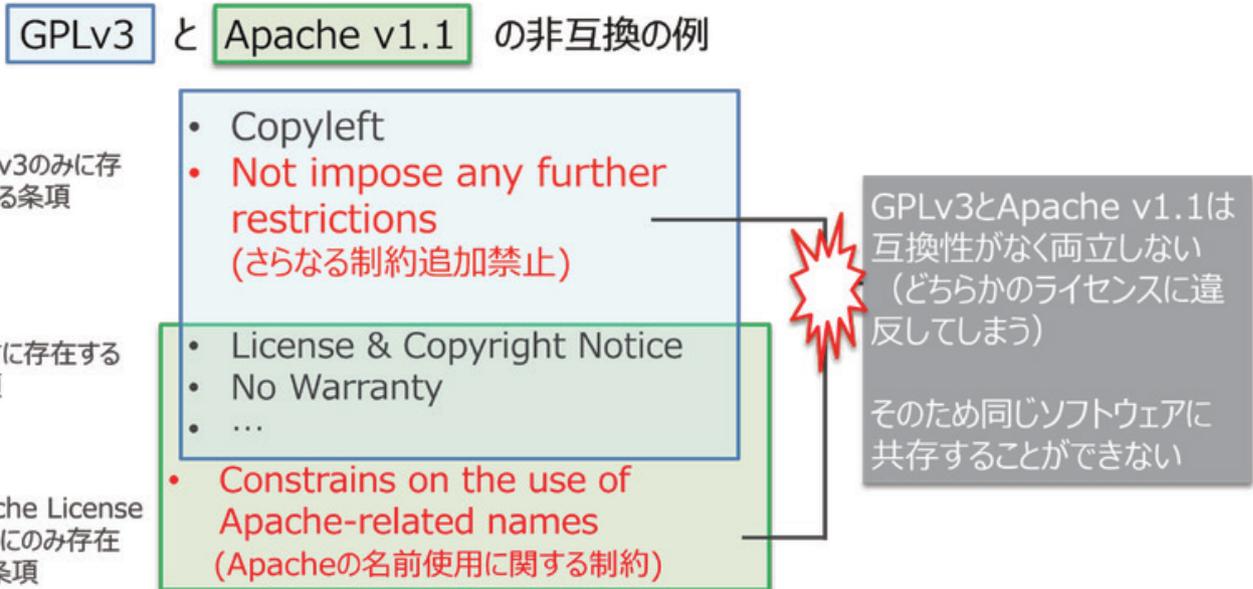
学位種別：博士 (情報科学)

大学：大阪大学

推薦文【コンピュータサイエンス領域】データベースシステム研究会

ウェブや人間関係の分析が可能なグラフ深層学習手法は、研究段階では注目を集めている。しかし、実用化に向けては課題が残されている。本博士論文では、まず基礎的な課題である高精度・高速化に取り組み、さらに適切な評価のための評価フレームワークを開発した。これにより、実用化に向けた既存研究の課題を明らかにした。

研究生活 博士課程では、いろいろな場所（海外の大学・研究所）に自ら足を運ぶことを強くお勧めします。ビデオ会議やチャットが主流化したからこそ、実際に行くことの重要性は増していると思います。メリットは、研究の幅の拡張、英語力向上、共同研究創出などさまざまありますが、ここではキャリア理解について話します。私の場合、香港や欧州での学生と意見交換する中で多くのことを学びました。国内外の大学や企業、研究機関の特徴を知り、初めて自分が向きたい方向や博士課程で為すべきことが明らかになったと思っています。訪問するチャンスは歩いていても落ちてはいないので、大学の留学補助システムを調べることや学会発表の前後に近くの大学に訪問できないか尋ねることをお勧めします。具体的には、指導教員／先輩／共同研究者に相談してみるとよいと思います。すべては自分から動くことから始めてみてください。



コンテナ開発におけるOSSの法的リスク特定自動化に関する研究



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:20



2022年度研究会推薦博士論文速報

[ソフトウェア工学研究会]



東 裕之輔

((株) 日本総合研究所)

■キーワード

OSSライセンス違反/コンテナ/機械学習

【背景】 複数のOSSを利用する場合、OSSライセンス間の互換性に注意しなければならない

【問題】 ライセンス条項間の互換性の検証は、OSSパッケージの構成が確定しないと実施できない

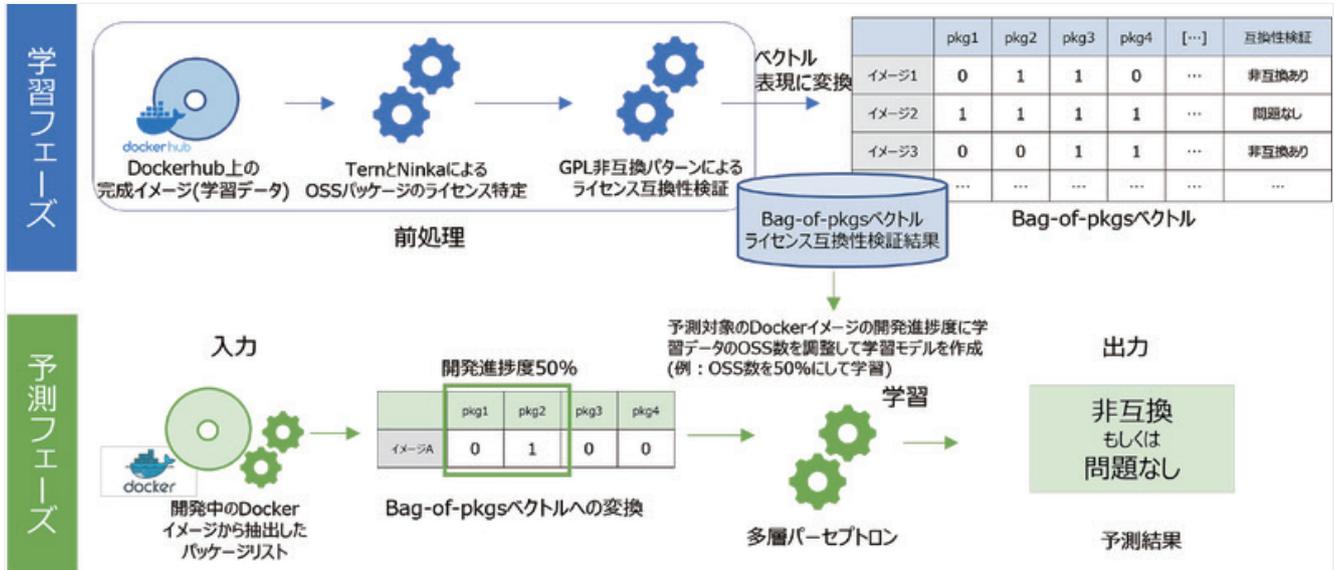
【貢献】 互換性のないライセンスのOSSの混入を開発早期に検知できるよう、少ないパッケージでライセンスの互換性を予測する技術を開発した

現在のシステム開発において、開発量削減のためにOSSを活用することは、もはや常識になりつつある。ただし、OSSを再利用するにはOSSライセンスの遵守が義務付けられている。ライセンスに違反すれば最悪の場合、訴訟問題に発展する可能性がある。そのため、OSSのライセンスに違反しないように注意を払いながら開発を行う必要があるが、多数のOSSを利用する現在のシステム開発では、その確認作業にかかるコストは大きい。特に、近年、急速に普及しているDockerやKubernetesのようなコンテナ仮想化環境で用いられるDockerイメージにも、多くのOSSが含まれている。2020年4月にLinux Foundationが発表した、コンテナのOSSライセンスに関するホワイトペーパー¹⁾には、コンテナを利用する際、Dockerイメージに含まれるすべてのOSSのライセンスの遵守が必要であると記されている。

Dockerイメージのような、1つのファイルに複数のOSSが組み込まれる場面においては、ライセンスの条項間の両立性（以下、互換性）を確認する必要がある²⁾。ライセンスの互換性とは、異なるライセンスの組合せによっては、条項同士が矛盾し、どちらかのライセンスに違反せざるを得ない状況のことを指す。そこで、まず、Dockerイメージ共有サービスであるDocker HubにアップロードされているイメージのOSSライセンス違反の調査を行ったところ、58.9%³⁾にライセンス違反

の疑いがあることが分かった。開発工程の中でライセンス違反が見つかった場合、リリースまでにそのOSSの構成変更が必要となる。現実問題として、ライセンスの違反が見つかったとしても手戻りコストが大きく、そのままリリースせざるを得ない状況が発生していると考えられる。

そこで、本研究では、ライセンス違反の対応にかかる手戻りコストを極小化するため、機械学習アルゴリズムであるMLP（多層パーセプトロン）を用いて、開発途中のDockerイメージにインストールされているOSSの組合せからライセンス違反の結果を予測する。ライセンス違反は、より開発早期に発見できる方が、OSSの構成変更にかかるコストが小さい。しかしながら、開発早期ではDockerイメージ内に含まれるOSSの数が少ないため、単に既存のDockerイメージ内のOSSの組合せを学習しただけでは十分な予測精度は得られなかった。そこで、開発早期での予測精度を向上させるため、既存のDockerイメージ内のOSSの数を、予測対象のイメージの開発進捗具合と合うように調整した上で学習するように工夫した。実験の結果、開発早期であっても十分な予測精度を達成することができた。



参考文献

1) Dockerコンテナ：オープンソース ライセンスの考慮事項は何か， Linux Foudation

<https://www.linuxfoundation.jp/blog/2020/04/docker-containers-what-are-the-open-source-licensing-considerations/>

2) 両立しない自由ソフトウェア・ライセンス， GNU Operating System

<https://www.gnu.org/licenses/license-list.ja.html#GPLIncompatibleLicenses>

3) Higashi, Y., Fukui, K., Kashiwa, Y. and Ohira, M. : A Preliminary Analysis of GPL-Related License Violations in Docker Images, 2022 IEEE International Conference on Software Analysis, Evolution and Reengineering (SANER), Honolulu, HI, USA, pp.444-448 (2022).

(2023年5月28日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（工学）

大学：和歌山大学

推薦文【コンピュータサイエンス領域】ソフトウェア工学研究会

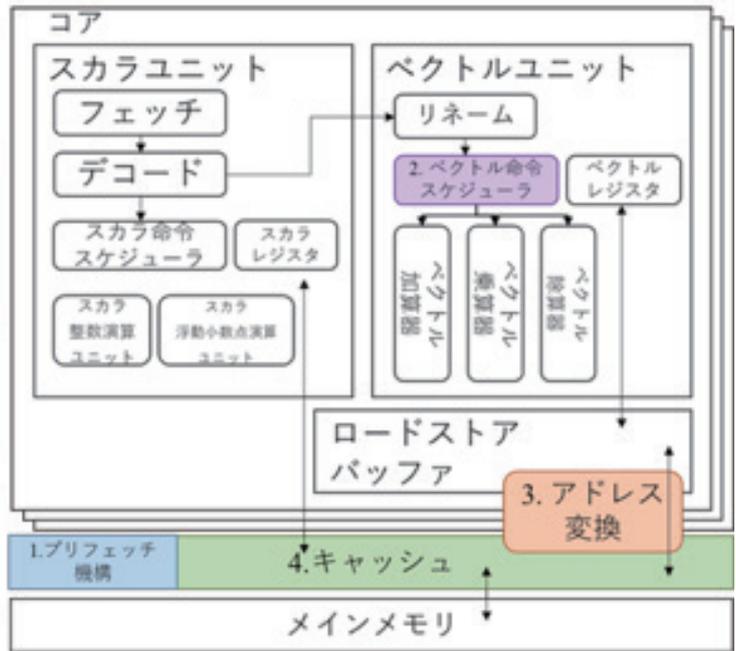
ソフトウェアリリース時に課題となるオープンソースソフトウェア（OSS）ライセンスの問題に取り組んでいる。特に近年普及しているコンテナイメージに着目し、機械学習により早期にライセンス違反を検知する技術を実現している。コンテナのOSSライセンス問題への取り組みは限られ、社会的・学術的に顕著な価値がある。

研究生生活 OSSは、基本的に無料で利用できるため、初学者がプログラミングやシステム開発を勉強する上でも非常に役立ちます。実際に手を動かして、その技術に直接触れることで開発力が身に付きます。しかしながら、ビジネスとして責任を持ってシステム開発を行う場合、ただ開発するだけではなく、そのシステムを利用することで発生するさまざまなリスクを管理することも必要になります。そのリス

クの代表的なものとしてセキュリティが挙げられますが、OSSライセンス違反もその1つです。私は、社会人博士という形で、業務と並行して研究を行いました。業務との両立は非常に大変でしたが、本研究を通じて、コンプライアンスの重要性や、単にシステムを設計・開発するだけではなく、リリース後も継続してその価値を発揮し続けられるよう意識するなど、システムエンジニアとしてより大きな視点を持つことができたと考えています。



1. 間接メモリアクセスのためのプリフェッチ機構
 - 依存関係を持つ命令を待機することによるレイテンシの解決策
2. 命令レイテンシに応じたベクトル命令発行機構
 - 命令が発行されるまでのレイテンシの解決策
3. アドレス変換高速化のための重複削減手法
 - アドレス変換にかかるレイテンシの解決策
4. キャッシュミス削減のためのスキュー型キャッシュ機構
 - メモリアクセスにかかるレイテンシの解決策



Latency-tolerant Vector Processor Architectures



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:22



2022年度研究会推薦博士論文速報
[システム・アーキテクチャ研究会]

高屋敷 光

((株) フィックスターズ ソフトウェアエンジニア)

邦訳：レイテンシ耐性を持つベクトルプロセッサアーキテクチャに関する研究

■キーワード

コンピュータアーキテクチャ/ベクトルプロセッサ/スーパーコンピュータ

【背景】 高い実効性能を実現するベクトルプロセッサの要求

【問題】 プロセッサの性能向上ボトルネックの変化

【貢献】 レイテンシについて着目し解決策を提案

我々はコンピュータに囲まれて生活している。高度な計算向けの大規模なスーパーコンピュータから、スマートフォンなど身近な組み込みコンピュータに至るまでさまざまな機器に搭載されている。その中でも本研究は、特にスーパーコンピュータに着目している。スーパーコンピュータは気象予報やAIの研究、宇宙のシミュレーションなど、大規模科学技術計算に使用されるコンピュータである。これらの技術の発展による各種アプリケーションの高度化や多様化に伴い、より高性能なスーパーコンピュータが求められている。

ベクトルプロセッサはスーパーコンピュータに用いられ、1つの命令で複数のデータ要素を一度に処理するベクトル命令に特化したプロセッサである。ベクトル命令によりハードウェアがデータを連続的に処理することができるため、高度な並列処理を可能としている。

本研究ではこのベクトルプロセッサにおいてさらに高い性能を実現するために、ベクトル命令のレイテンシに注目した研究を行った。本研究におけるベクトル命令のレイテンシとは「あるベクトル命令を開始（フェッチ）してから完了（コミット）するまでの時間」と定義している。このレイテンシはプロセッサ内の演算器などのハードウェア資源を利用するための待機時間や、プロセッサに接続されている外部メモリからデータを取得するためにかかる時間などに大きく影響を受ける。また、ベクトル命令同士は依存関係を持つため、ある命令の完了が遅れると次の命令も完了が遅れてしまい、全体の性能に影響を及ぼす。

そこで本研究では、レイテンシを隠ぺいする方針とレイテンシを削減する方針の2つについて、それぞれ2つ、合計4つの提案を行った。

1つ目は、ベクトル命令の間接メモリアクセスのためのプリフェッチ機構である。間接メモリアクセスは最終的に欲しいデータの位置情報をメモリアクセスにより求める必要がある。複数のメモリアクセスの完了を順番に待つ必要がありレイテンシが増大するため、性能低下の要因となる。そこで、メインメモリよりも高速に

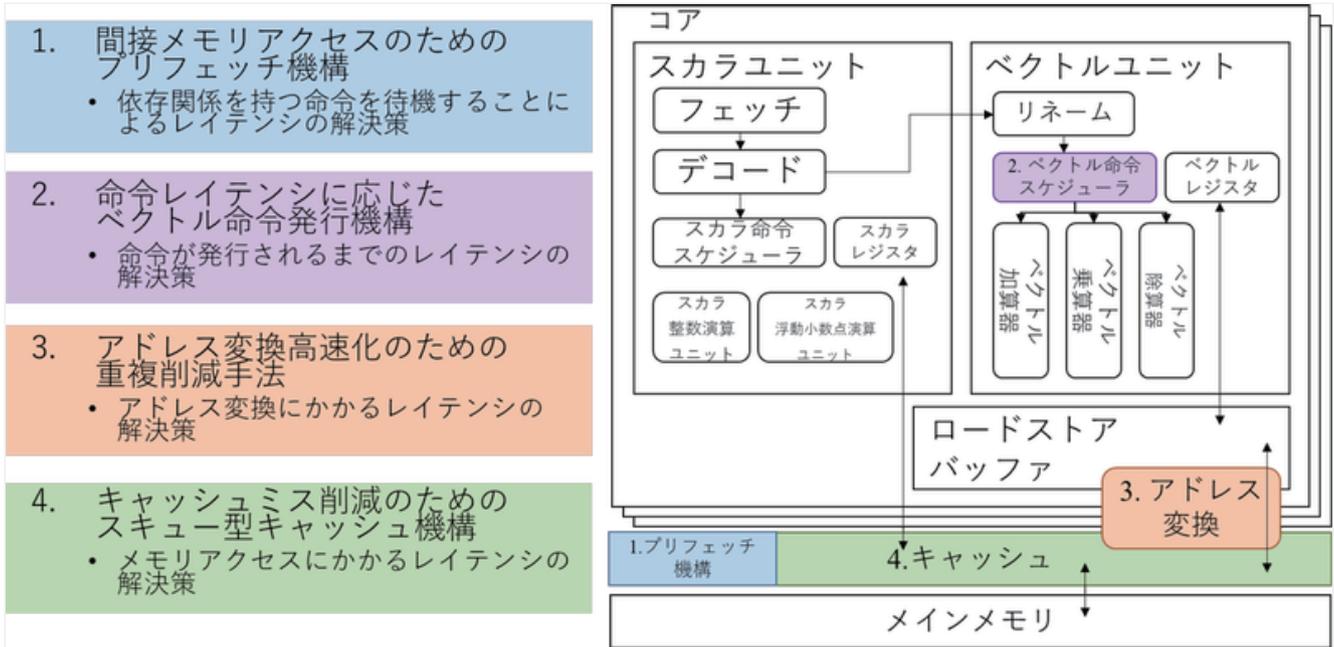
アクセスが可能なキャッシュへ、間接メモリアクセス先のデータを前もって読み込んでおくことでレイテンシを隠ぺいした。

2つ目は、命令レイテンシに応じたベクトル命令発行機構である。ベクトル命令のレイテンシは命令ごとに異なるため、よりレイテンシの長い命令を先に発行することでレイテンシを隠ぺいした。

3つ目は、ベクトル命令の仮想アドレス変換高速化のための重複排除手法である。ベクトル命令は1命令で複数の要素を扱うため、仮想アドレスから物理アドレスに変換する場合も複数のアドレス変換が必要になる。そのため、変換先アドレスが重複する場合を除くことで、変換にかかる時間を減らしてレイテンシを削減した。

最後の1つは、キャッシュミス削減のためのスキュー型キャッシュ機構である。ベクトル命令により多数のデータ要素に一度にアクセスするので、キャッシュ内資源の競合が起こる場合がある。すると、容量に空きがあってもデータを保存できない場合がある。そこでスキュー型と呼ばれる特殊なキャッシュを用いることで、メモリアクセスにかかるレイテンシを削減した。

本研究ではベクトルプロセッサのレイテンシについて注目することで、ベクトルプロセッサの性能向上を実現できることを示した。



(2023年5月30日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（情報科学）

大学：東北大学

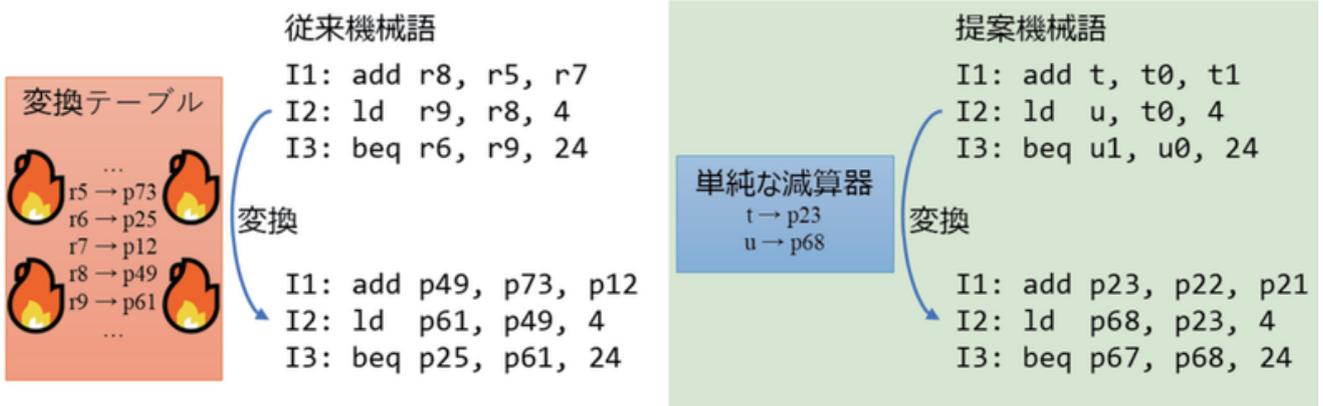
正会員

推薦文 [コンピュータサイエンス領域] システム・アーキテクチャ研究会

ベクトルプロセッサは高いコア性能・メモリ性能による効率的なプログラム実行を可能とし、スーパーコンピュータによる科学技術分野の計算に利用されています。本論文では、レイテンシ耐性に着目したベクトルプロセッサの新しい構成方法を提案しており、未来のスーパーコンピュータに向けたさらなる効率化が期待されます。

研究生活 研究を始めるまでは人々がどのように考え、体系化し、理論を作っているのか、想像もつかないまま勉強していた。しかし、研究をとおしてこれまで研究者たちがいかに悩みながら今日の技術を積み上げてきたのか、その一端を覗き見ることができたと思う。一方で、こんなことすら人類はまだ分かっていないのかという絶望感を感じ、それを乗り越えようとする研究者たちの熱意に揉まれたのは非常に良い経験であった。私は企業に就職して研究から離れるが、博士課程で学び得た内容は社会人として企業で務める上で必要なスキルや考え方に通じるものがあり、進学してよかったと思う。

最後に本研究を進めるにあたりご指導いただいた、小林広明先生、小松一彦先生、佐藤雅之先生ならびに多大なご支援をいただきました研究室の皆様に、この場を借りて感謝申し上げます。



距離指定型コンピュータアーキテクチャの研究

♡ 1

情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:24



2022年度研究会推薦博士論文速報

[システム・アーキテクチャ研究会]

小泉 透

(名古屋工業大学 情報工学科 助教)

■キーワード

計算機アーキテクチャ/命令セットアーキテクチャ/最適化コンパイラ

【背景】 高性能CPUではアウトオブオーダー実行が使われている**【問題】** アウトオブオーダー実行に必要なリネーム処理は非効率**【貢献】** リネーム不要な命令セットの実用性を実証

パーソナルコンピュータやスマートフォンなどは計算機であり、その中にはCPUと呼ばれるプロセッサが含まれています。プログラムをなるべく高速に動かせるよう、CPUには種々の高速化技術が使われています。その中でも効果が高く、今日広く用いられているものに、アウトオブオーダー実行があります。アウトオブオーダー実行とは「機械語命令を、プログラムで指定されたのとは異なる順番で実行する」というものです。ただし、このようなことをしてプログラムで指定されたのと異なる動作をしては困ります。したがって、アウトオブオーダー実行をするためには、そのような「おかしいこと」が起こらないように、余分な処理が必要となります。そのような処理の1つが、レジスタリネームと呼ばれる処理です。

レジスタリネームは、機械語命令で指定された論理レジスタ番号を、プロセッサ

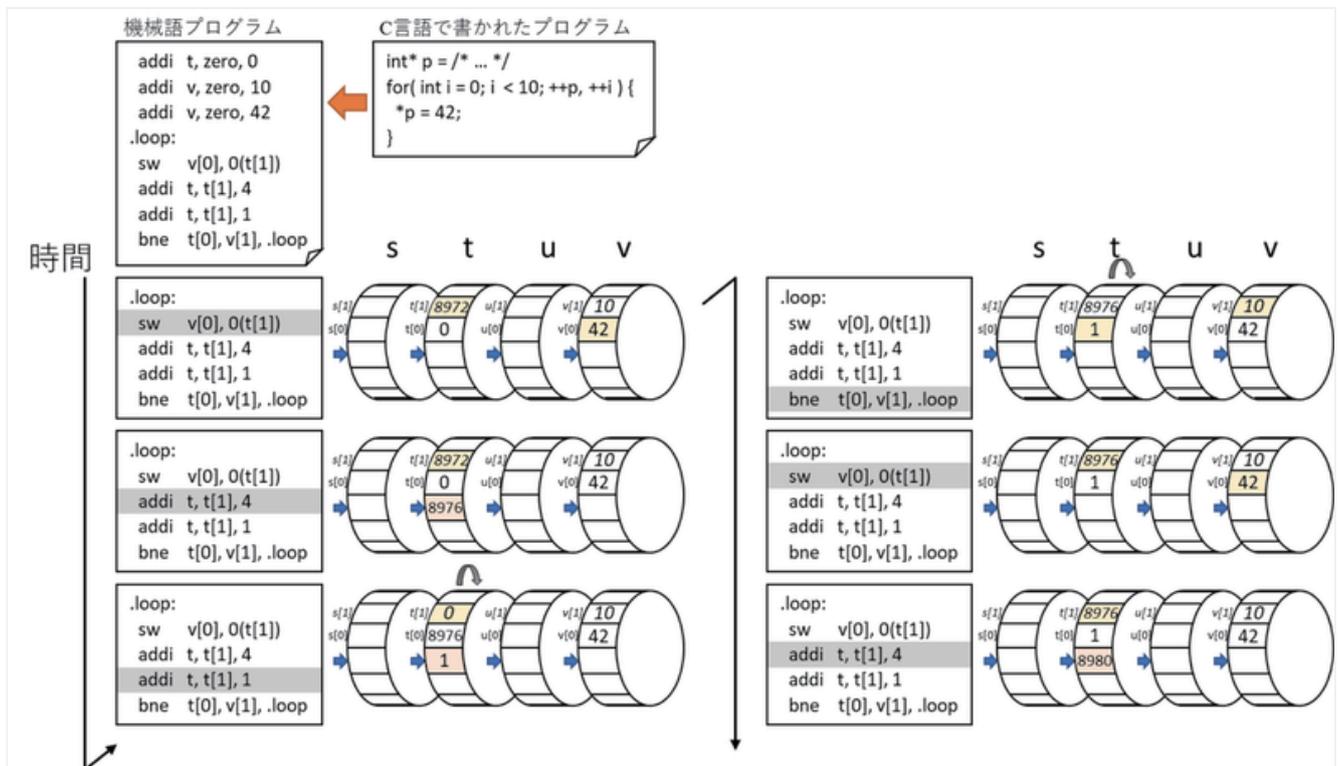
内部で使用する物理レジスタ番号に変換する処理です。現代の高性能CPUでは、1ナノ秒未満の1クロックサイクルの間に、4~8命令程度を同時に処理しています。1命令にたとえば3個の論理レジスタ番号が含まれているとすれば、12~24個もの変換を1クロックサイクルに行う必要があることとなります。これを実現するための変換テーブルは、回路が非常に複雑なものとなり、また大きな電力を消費してプロセッサが発熱する原因となります。

本研究は、レジスタリネームなしにアウトオブオーダー実行できるコンピュータアーキテクチャに関する研究です。特に、命令セットを大胆に変更することで、プロセッサからレジスタリネームのいらなくなる未来を切り拓こうとしています。命令セットの変更点は、レジスタの指定に論理レジスタ番号ではなく「距離」を用いるというものです。この「距離」としては、「レジスタを読みたい命令とレジスタに書いた命令の間の命令数」と「レジスタを読みたい命令とレジスタに書いた命令の間に、当該レジスタに書き込んだ回数」の2つの方式を検討しています。どちらの方式も、単純な引き算により物理レジスタ番号への変換を行うことができ、複雑な回路を持つ変換テーブルは不要です。これらの方式を採用した命令セットを総称して、距離指定型命令セットと呼んでいます。

本研究では、距離指定型命令セットでプログラムが書けることを示すため、具体的に命令セットを構成し、また最適化コンパイラアルゴリズムを開発しています。このコンパイラを用いてベンチマークプログラムをコンパイルし、その機械語プロ

プログラムの実行速度をシミュレーションにより評価したところ、従来型命令セットとほぼ同等かわずかに上回るという結果を得ました。また、プログラムを実行するのに必要な消費エネルギーを評価し、距離指定型命令セットで書かれた機械語プログラムを実行する方が、従来型命令セットで書かれた機械語プログラムを実行するよりも省エネルギーであるという結果を得ました。

論文では、これらの結果から、新時代の命令セットアーキテクチャとして、距離指定型命令セットアーキテクチャを提案しました。また、分岐予測器や並列計算機といった方面への発展を期待し、論文を締めくくっています。



(2023年6月1日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（情報理工学）

大学：東京大学

正会員

推薦文【コンピュータサイエンス領域】 システム・アーキテクチャ研究会

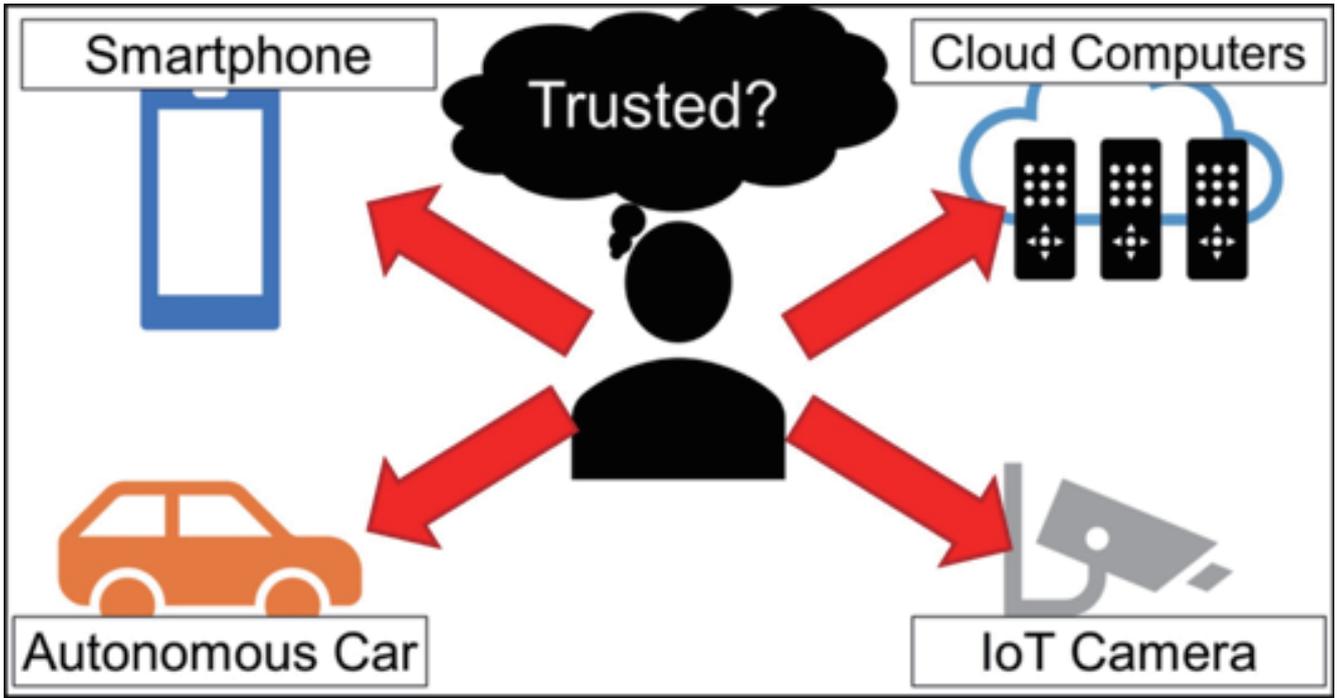
本論文は距離指定型という新しい命令形式の導入により、コンピュータの成長戦略を新たに創出するものです。土台となるSTRAIGHTアーキテクチャの詳細な解析の後、汎化・改良した新しいアーキテクチャが提案されます。命令セットからコンパイラまでを一から開発し、提案アーキテクチャの実用性・優位性・将来性を示しています。

研究生活 プログラミングというものに触れて以来、どのようにすれば高速なプログラムが書けるのかに強い興味を抱いてきました。自然な流れとして機械語やプロセッサの仕組みに心を惹かれ、それらを取り扱う研究室に配属されることとなり

ました。この道に進んだのも、今思えば「君も自分だけの命令セットを作ってみよう！」と言われたことがきっかけだったのかもしれませんが、大学では化学を勉強していましたが、典型的な進路選択に縛られず、学士入学で情報系の学科に入学しなおしたのは良い選択でした。

もともと本を読んだりウェブサイトを訪れたりして知識を得ることが好きでした。博士課程では3年間という時間をほぼフルに使って、人類の最先端の知見に触れ、またそれを自分で生み出していく研究を行うことができました。何にも邪魔されず納得のいくまで考え、研究室のメンバと議論をできる機会はかけがえのないものであり、3年間をかける価値のあるものと考えます。





Studies on Evaluation Platforms for DRAM/NVMM Heterogeneous and Secure Computing Memory Systems



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:25



2022年度研究会推薦博士論文速報

[システム・アーキテクチャ研究会]



大森 侑

((株) フィックスターズ エンジニア)

邦訳：DRAMとNVMMによるヘテロジニアスメモリシステムおよびセキュアコンピューティングメモリシステム評価環境の研究

■キーワード

セキュリティ/秘密計算/IoT

【背景】 秘密計算技術をどう使えば効率的か明らかになっていない

【問題】 秘密計算の実験を行うための実用的なツールがない

【貢献】 高速・柔軟なオープンソースの実験ツール開発

クラウドコンピューティングやIoTの普及に伴い、「計算の安全性」が注目されている。たとえば、AIは一般的に「モデル」に基づいて「入力」を処理（生成・認識・認証）する。もしモデルがコピーされるとAIがコピーされるし、モデルは学習時にセンシティブな情報を取り込んでいるかもしれない。入力は個人情報や生体情報、あるいは機密データの場合がある。よってAIのデータは「信頼できる」機器で扱うべきだが、すべての機器が信頼できるとは限らない。クラウド実行の場合、データは第三者（クラウドプロバイダ）が管理する機器に転送される。認証や自動運転の場合、データはメーカーから見て第三者（各ユーザ）の持つスマホやセンサに転送される。仮に、これらの第三者が「一人でも」悪意を持っていたら、AIのデータは流出する。

「第三者を信頼せず安全に計算する」手法は、大きく分けて2つある。データを暗号化したまま計算する（準同型暗号など）か、自分しか読み書きできない状態で計算する（信頼実行環境）か、である。本研究は、IoTのエッジ側（センサなどの小型機器）で十分に実行可能な、信頼実行環境TEE（Trusted Execution Environment）を対象としている。

信頼実行環境TEEは、厳密なセキュリティの反面で機能制限が大きい。特に、メモリやSSDを「安全に」使えないのでデータを記憶できない。この課題点は「不揮

発性メインメモリNVMM (Non-Volatile Main Memory) 」と「メモリ保護エンジンMPE (Memory Protection Engine) 」という新規技術で解決できる。しかし、TEE+NVMM+MPEの組合せには、以下の課題点がある

1. NVMMもMPEも新たな技術であるため、効率的な使い方が不明。研究は盛んだが、実用途では予想外の挙動をしたり、不便だったりするかもしれない。
2. NVMMとMPEは研究段階であり、今ある実製品で評価しても将来的に大きく変わるかもしれない。
3. さまざまなNVMMとMPEを実験できる既存ツールでは、TEE+NVMM+MPEの三種を組み合わせた実験ができない。また、評価時間と評価精度にトレードオフがある（高速な実験は精度が粗く、精度の高い実験は遅い）。

本研究では、TEE+NVMM+MPEのさまざまな組合せを効率的に実験できるようなツールを開発した。近年、世界中で注目されているRISC-VのKeystone TEEをベースに、NVMMとMPEを拡張実装した。本研究の成果は、以下のようにまとめられる。

1. そもそも実製品ではTEE+NVMMの評価が行えないが、本研究によってTEE+NVMMの組合せを実験できる。
2. TEE+NVMM+MPEの組合せを評価可能とした。MPEは広く公開された実装が

ないため、論文を元に設計・実装・検証した。

3. 既存ツールの評価時間・精度のトレードオフを解決した。
4. すべての実装を、オープンソースとして公開した。すべての研究者は、市販の必要な機材を用意すれば、自由に実験・拡張できる。

以上のように、本研究によって、既存ツールでは不可能、もしくは非効率であった「TEE+NVMM+MPE」の実験を効率良く、かつ柔軟に行えるようになった。本研究は「第三者を信頼せず安全に計算する」研究に必要なツールを、世界で初めて実現させた研究である。



■Webサイト／動画／アプリなどのURL

<https://github.com/uyiromo/freedom>

<https://github.com/uyiromo/OpenMPE>

(2023年5月24日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（工学）

大学：早稲田大学

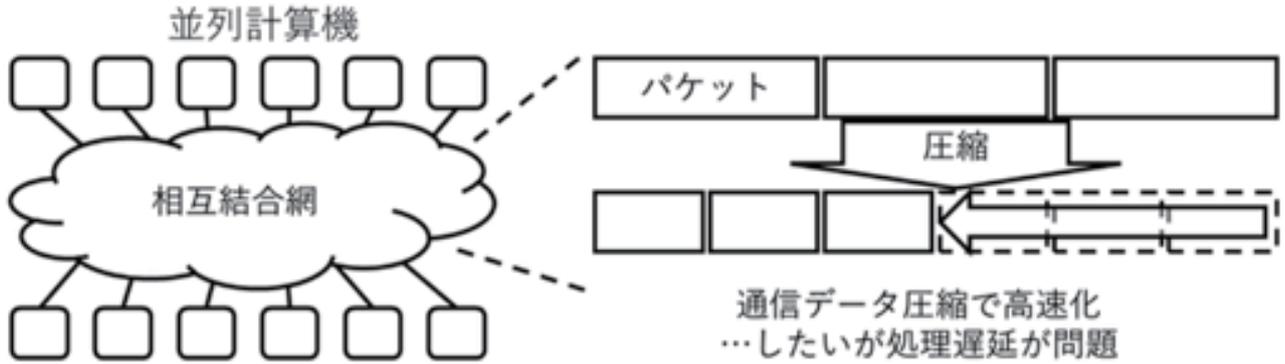
推薦文 [コンピュータサイエンス領域] システム・アーキテクチャ研究会

本博士論文では、将来の安心・安全なコンピュータシステムの開発・評価環境を提案している。これにより、急な電源遮断があってもデータを失わずそのまますぐにプログラム実行を再開するコンピュータや、他人の手の届くところにあってもデータの盗難や改ざんを防ぐコンピュータの開発が可能となる。

研究生活 「博士」というといわゆる“意識が高い”イメージがあるかもしれませんが、自分は「Dr.やPh.Dを一生名乗れるとカッコいい」という俗な理由で進学しました。テーマも、研究室配属のときに「なんとなく低レイヤがやりたい」と伝えたら「今年から始めるテーマと一緒にやらない？」と先生に誘われて「楽しそう！」と思って始めました。プログラミング経験も学部授業+αくらいで、バイトも競プロもやっていませんでした。

研究はやったもん勝ち・楽しんだもん勝ちです。ビジネスではないので、失敗が当

たり前で、失敗からまたテーマが生まれます。興味がある分野があれば、気後れせず先生などに相談してみるのがオススメです。詳しい話が聞けたり、高価な機材を使わせてもらえたりします。自分は1台100万円くらいのボードを専有してました。今やネットに情報が溢れているので、情報を検索できれば後は研究を通して自然に身に付くのでぜひ「とりあえず」やってみてください。



圧縮処理遅延の影響を最小限に抑える手法を提案

Techniques for Low-latency and High-bandwidth Interconnection Networks by Communication Data Compression

♡ 1

情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:27



2022年度研究会推薦博士論文速報

[システム・アーキテクチャ研究会]



丹羽 直也

(東京農工大学工学研究院 助教)

邦訳：通信データ圧縮による低遅延・広帯域の相互結合網技術

■キーワード

通信データ圧縮／相互結合網／並列計算機

【背景】 並列計算機における相互結合網の性能面での重要性の増大

【問題】 通信データ圧縮による相互結合網の帯域幅増大は遅延も増大させる

【貢献】 遅延隠蔽などにより遅延の影響が性能に及ばない手法を提案

学術や産業など多方面からより強力な並列計算能力への需要ある。たとえば数値計算を用いたシミュレーションの類が代表例であり、HPC (High-Performance Computing) はそのような要求に答えるための専用の並列計算機を構築する領域である。大規模な並列計算機では数多くのコンピュータ (計算機) を集積して強力な並列計算能力を獲得しているが、将来的な性能向上を考えると計算を行うプロセッサやそのコア同士をつなげる相互結合網がボトルネックになることが予想される。なぜなら、システム全体の計算性能の指数関数的な上昇に比べ、通信用リンク帯域の伸びは緩やかだからである。そのため、並列計算機の性能を継続的に向上させるためには、低遅延を犠牲にすることなく相互結合網の帯域を広げる技術が必要である。

本研究では相互結合網の帯域を広げる方法として、通信データの圧縮に注目した。しかし、通信データ圧縮は圧縮や伸長の処理遅延を伴うため、そのまま使用すると通信遅延が増大する。並列計算において通信遅延が大きくなることは、計算の待ちを生じさせアプリケーション全体の実行時間を増加させてしまう。通信データ圧縮を利用して相互結合網とそれを用いた並列計算機の性能を向上させるためには、この遅延増加の影響を回避することが必要である。

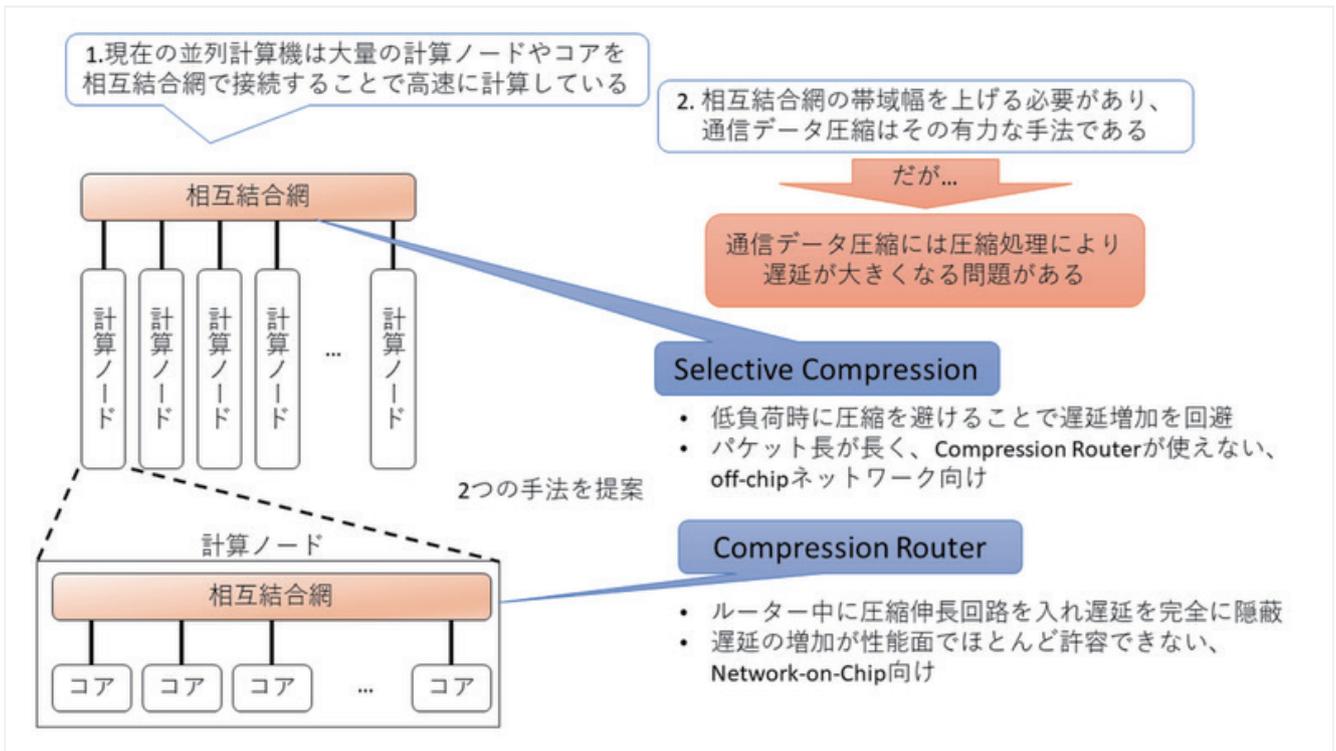
本研究では、通信データ圧縮の遅延が性能に与える影響を緩和する低遅延・高帯域の相互結合網の技術を2つ提案した。大規模な並列計算機の相互結合網は、Network-on-Chipのようにプロセッサコア、キャッシュ、メモリなどを結ぶ短距離ネットワークと、計算ノード間を結ぶ長距離ネットワークに大別され、伝送するデータの特性やネットワークの物理的な大きさなどの差異により、設計上の制約が異なっている。

本研究では、遅延に敏感で、パケット長が短く、短距離のネットワーク向けに、圧縮・伸張の遅延をルータパイプラインに隠蔽する「Compression Router」を提案した。Compression Routerは、ルータ内部に圧縮・伸長機能を組み込むことで、ルーティング処理中にパケットのペイロードを圧縮・伸張する技術である。この技術により、アプリケーションのパフォーマンスが最大で31%向上した。

一方、パケット長が長く、物理的な規模が大きい長距離ネットワークでは、同様のアプローチをとることが困難なため、高負荷時のみ通信データ圧縮を有効にする「Selective Compression」を提案した。Selective Compressionは各計算ノードでネットワークの混雑状況を検知し、一定以上の混雑の場合のみパケット圧縮を行う。この技術により、低負荷時に低遅延を維持しながら、最大39%のスループット向上を達成した。

本研究で提案するこれらの手法は、通信データ圧縮の欠点である遅延の影響を回

避しつつ、高帯域の相互結合網を構築することを可能にするものである。また、大規模並列計算機システムに存在する特性の異なる2種類のネットワークに適用可能である。



(2023年5月30日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（工学）

大学：慶應義塾大学

正会員

推薦文 [コンピュータサイエンス領域] システム・アーキテクチャ研究会

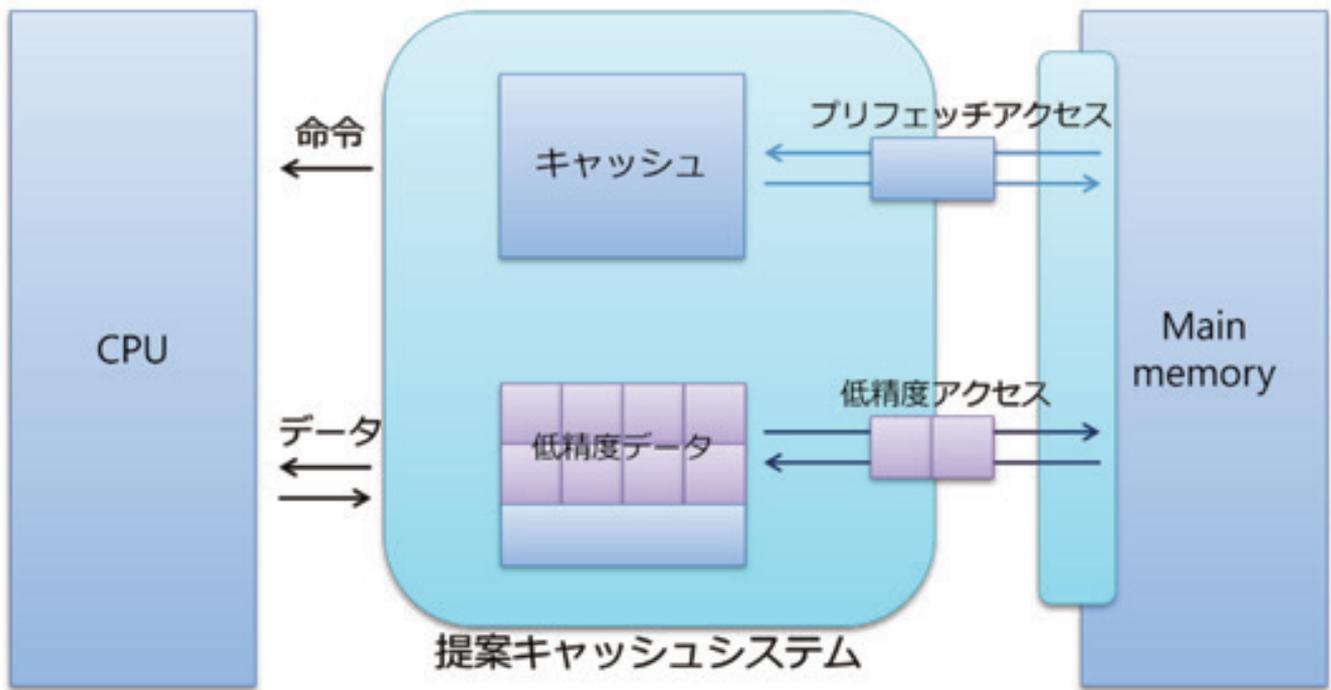
マルチコア、メニーコアで用いられるチップ内のネットワーク、データセンタなどで用いられるコンピュータ間のネットワークのそれぞれに対して、ルータ、ネットワークインタフェースのそれぞれを拡張し、転送中にデータを圧縮、伸長を行うことでネットワークのバンド幅を広げ、転送遅延を削減する手法を提案した。

研究生活 博士課程での研究テーマは学士や修士からの延長で、HPCの高速化を通信ネットワークに改良を加えることで実現する手法を提案するものとなっている。元をたどれば、高校生のときからプログラミングをとおしてスーパーコンピュータへのあこがれというのがあり、より高性能な計算機を構築するにはどうすればよいのだろうか、という点に興味を持ち続けてきた。

博士課程の期間はCOVID-19の影響により大学や学会での物理的な対人接触が少なく、良く言えば研究に取り組みやすいが、孤独による精神への悪影響も大きかった。博士課程やCOVID-19に限定されることではないが、孤独を打ち消したり研究を進めたりするために、人との連絡や相談、議論などにおいて自分から動くことの

重要性というのを強く感じた。博士に進学するかにかかわらず、自律的に物事を動かしていく姿勢を持ち続けることは疲労を伴うものではあるが実を得るためには重要である。





プリフェッチと近似計算に基づく高性能キャッシュシステム

♡ 1

情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:29



2022年度研究会推薦博士論文速報
[システム・アーキテクチャ研究会]



中村 朋生

■キーワード

コンピュータアーキテクチャ/キャッシュメモリ/近似計算

【背景】 コンピューティング能力の需要拡大

【問題】 メモリアクセス速度が処理のボトルネック

【貢献】 高性能キャッシュシステムによるメモリアクセス速度の隠蔽

半導体技術の進歩により、現在のプロセッサは大規模で高速な処理を行うことが

できる。しかし、プロセッサを構成する各要素の動作速度と比較して、メモリからデータや命令を取得する速度（メモリアクセスレイテンシ）は数百倍と大きい。そのため、メモリアクセス処理がプログラムの実行速度のボトルネックとなりやすく、このメモリアクセスレイテンシを削減・隠蔽することが重要である。

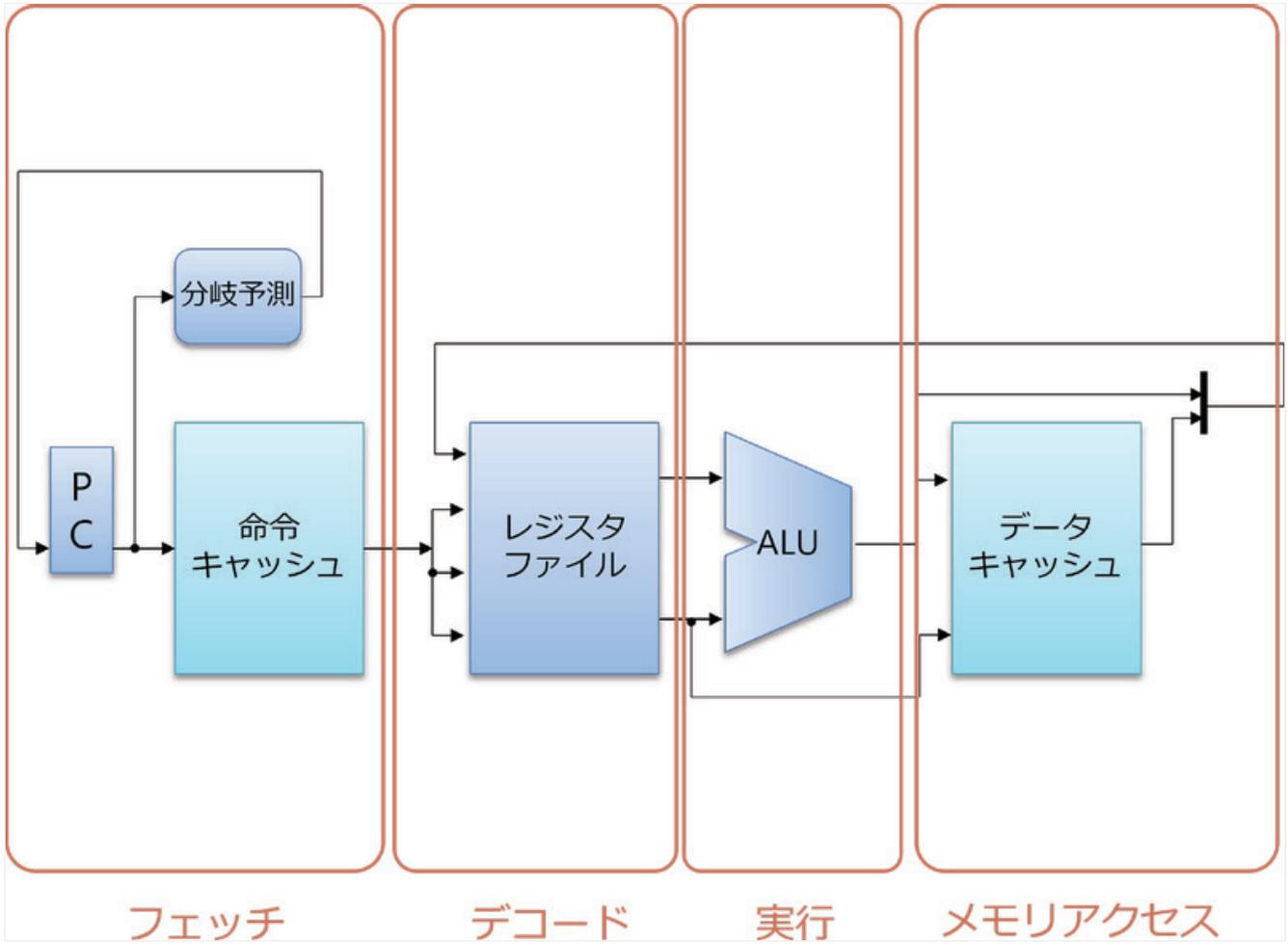
メモリアクセスレイテンシを隠蔽する鍵は、プロセッサ内のメモリアクセスを管理するキャッシュシステムである。このキャッシュシステムがプロセッサ内で果たす役割は 1.命令供給 と 2.データ供給 の2つである (図)。これら命令供給とデータ供給は、扱うメモリ量やアクセス傾向といった異なる性質を持つ。本研究では、キャッシュシステムを向上させる有力なアプローチとしてそれぞれの性質に応じてプリフェッチと近似計算といった2つの技術に着目した (サムネ画像)。

プリフェッチは、未来にアクセスされるデータ・命令を予測し、あらかじめキャッシュメモリに挿入する技術である。プロセッサからのアクセスを待たずにキャッシュに挿入することができるため、主記憶へのメモリアクセスレイテンシを隠蔽でき得る。近似計算は、演算やデータに不確かな値を許容することで、処理速度向上や消費電力削減を達成する技術である。近似計算によってメモリ上のデータを非可逆圧縮することで、実効データサイズが縮小され、キャッシュの実効的な容量と実効メモリバンド幅を拡大することができる。

命令供給に対して効果の高いプリフェッチについて分析を行った結果、命令キャ

キャッシュミスをより有効に削減するためには、アドレスが正確に予測できることに加えて、十分早いタイミングのプリフェッチが重要であることが分かった。この分析に基づき、高い予測精度と早いタイミングでの予測を両立するD-JOLTプリフェッチャを提案した。D-JOLTは関数呼び出し情報を用いて予測を行う。どの程度直近の関数呼び出し情報を利用するかに応じて、予測精度を犠牲にした早いタイミングによる予測を、より高精度だが遅いタイミングによる予測で補う構成をとる。シミュレーション評価により、高い性能向上を示した。

データ供給に対して効果の高い近似計算に着目し、対象となるプログラムの性質を分析した結果、プログラム中の時間的・空間的な繰り返し構造を利用することで、計算精度を段階的に制御し、出力に対して必要十分な出力結果を得られうるとの洞察を得た。この分析に基づき、近似計算を制御する2つの近似計算フレームワーク、Stochastic Iterative Approximation (SIA)、Stepwise Multi-Precision Approximation (SMA) を提案した。SIAは、オーバーヘッドを削減する拡張分岐命令とキャッシュミスレイテンシを削減する拡張ロード命令の導入により、計算精度を段階的にかつ動的に制御することができる。SMAは、複数精度でのデータのロードと演算を行うSIMD拡張命令の導入によって、段階的な近似処理を実現する。シミュレーション評価により、実行中での計算精度切り替え、およびに必要な出力品質にすることによる実行速度の向上を示した。



(2023年5月30日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（情報理工学）

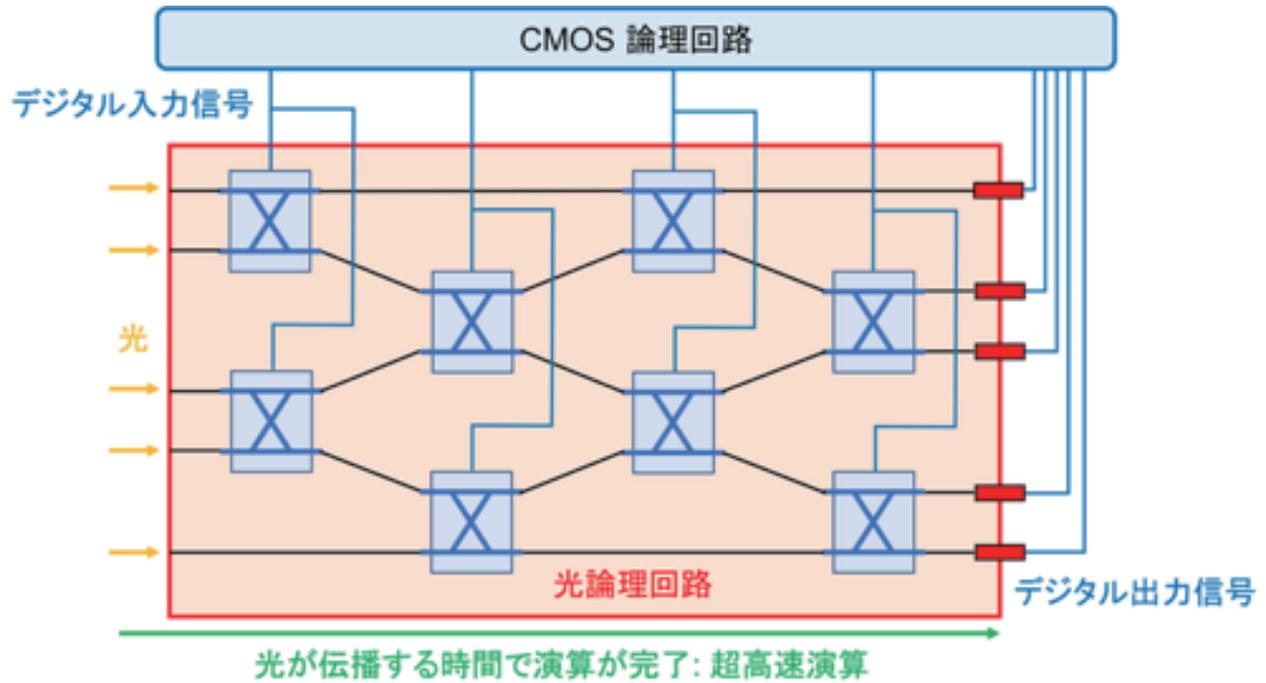
大学：東京大学

正会員

推薦文【コンピュータサイエンス領域】 システム・アーキテクチャ研究会

これからのプロセッサを支えるキャッシュシステムを、命令プリフェッチと近似計算支援の面から明らかにしています。提案されている高性能プリフェッチ技術は世界的なコンペティションで評価されたものです。また柔軟な近似計算を可能とする実行機構とキャッシュについて新しい技術を提案しています。

研究生活 学部時代の講義や勉強を通じてコンピュータの仕組みに興味を持ち、研究室配属されてからはコンピュータアーキテクチャについて研究をするようになっていきました。研究室に入った直後は右も左も分かりませんでした。日々のミーティングや学会活動などの研究生活を通じて専門的な知識を身に付けることができました。吸収するだけの勉学とは異なり、新たな知識をアウトプットする生みの苦しさに悩まされることも多々ありましたが、博士課程という立場で自分の研究課題に責任を持ちつつ、人を先導して課題に向き合う力がついたように感じます。目標に対して課題を整理し、論理的な分析を着実に進めて目標に近づく課題解決能力を育むにあたって、博士課程という環境は代えがたいもののように思えます。



Studies on Synthesis Methods for Efficient Optical Logic Circuits



情報処理学会・学会誌「情報処理」

2023年8月15日 09:30



2022年度研究会推薦博士論文速報

[システムとLSIの設計技術研究会]

松尾 亮祐

(大阪大学 特任助教)

邦訳：高性能な光論理回路の合成手法に関する研究

■キーワード

光集積回路／論理合成／グラフ理論

【背景】 光集積回路による高速演算が期待されている

【問題】 光集積回路向けの自動設計支援技術は未発達

【貢献】 回路の性能を最大化する論理合成技術を提案

社会の情報化に伴いコンピュータの処理速度の持続的な向上が求められている。しかし、既存のコンピュータの論理演算処理の根幹であるCMOS論理回路の処理速度の向上は限界を迎えつつある。そこで、ナノフォトニクスに基づく光集積デバイスを用いた論理回路（光論理回路）が注目されている。情報伝播に電気信号を用いるCMOS論理回路と比べて、光論理回路は情報伝播に光信号を用いるため超高速な演算を実現できると期待されている。

論理ゲートと呼ばれるデバイスを組み合わせることで論理回路が構築される。現

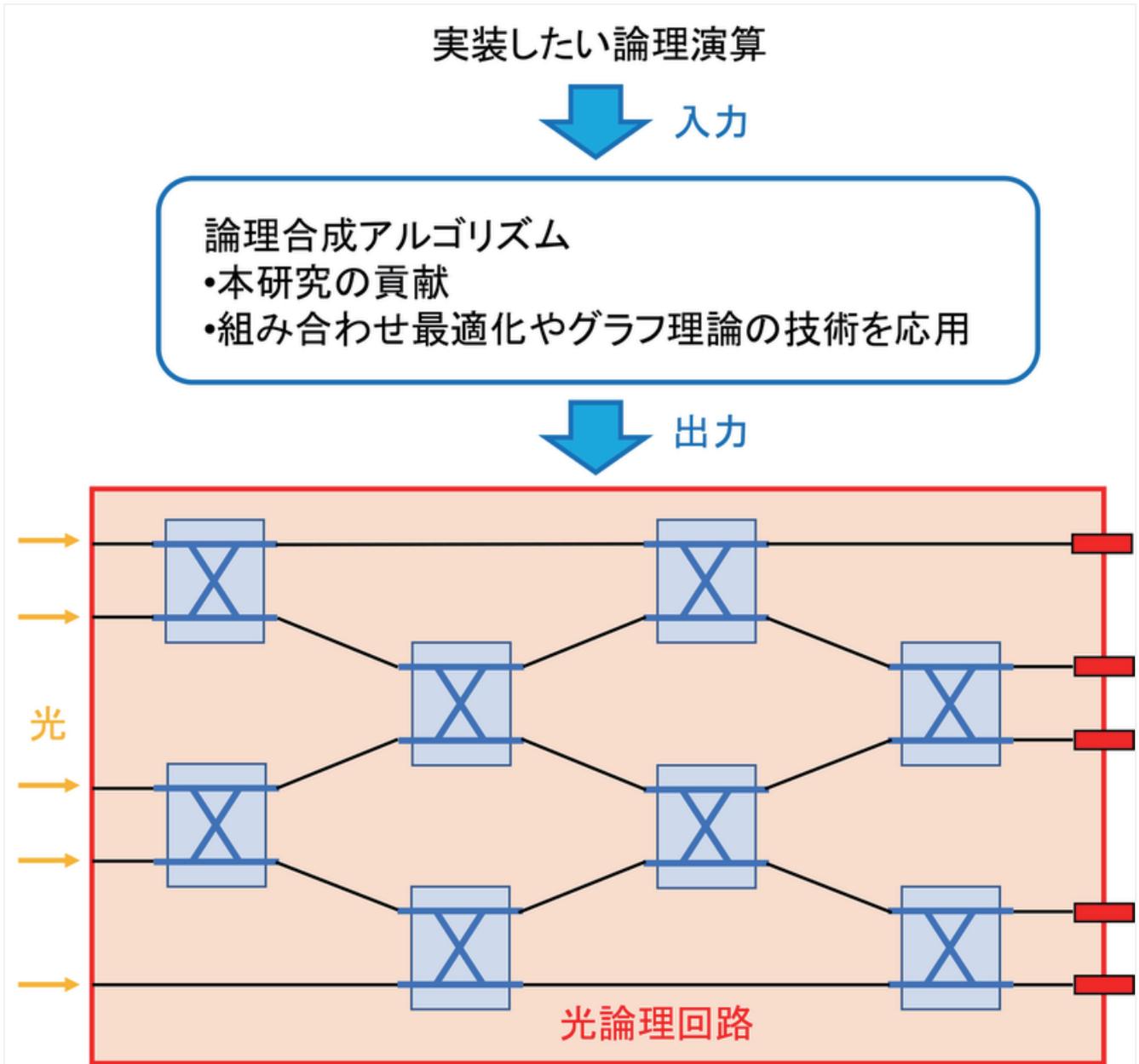
代のコンピュータに搭載される論理回路は膨大な数の論理ゲートから構成されており、設計者自身が論理ゲートの配置などを最適化することは不可能である。そのため、実装したい演算を入力として高性能な回路を出力する技術である自動設計支援技術がCMOS論理回路の研究分野で発展してきた。

CMOS論理回路に対する自動設計支援技術は長年の研究により成熟している。一方で、光論理回路に対する自動設計支援技術は未発達である。しかし、光論理回路によりコンピュータの処理速度の限界を克服するためには、光論理回路の性能を最大限に引き出す自動設計支援技術が必要不可欠である。

そこで、本研究では光論理回路の性能を最大化する自動設計支援技術の基盤となる理論の構築に取り組んだ。自動設計支援技術は大きく分けて論理の最適化と物理の最適化の2つの要素から成るが、本研究では特に論理の最適化である論理合成の性能向上に取り組んだ。

光論理回路の性質はCMOS論理回路とはまったく異なるものであるため、まずは光論理回路をモデル化して、論理合成における最適化問題を定式化した。そして、組合せ最適化やグラフ理論、特に二分決定グラフと呼ばれるグラフに関する研究分野の知見を活用して、光論理回路に対する論理合成における最適化問題を解くアルゴリズムを提案した。加えて、シミュレーションにより、提案アルゴリズムを取り入れた論理合成により得られる光論理回路は、既存の論理合成手法で得られる光論

理回路と比べて、遅延・消費電力・回路面積の観点で優れていることを示した。



(2023年6月8日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（情報学）

大学：京都大学

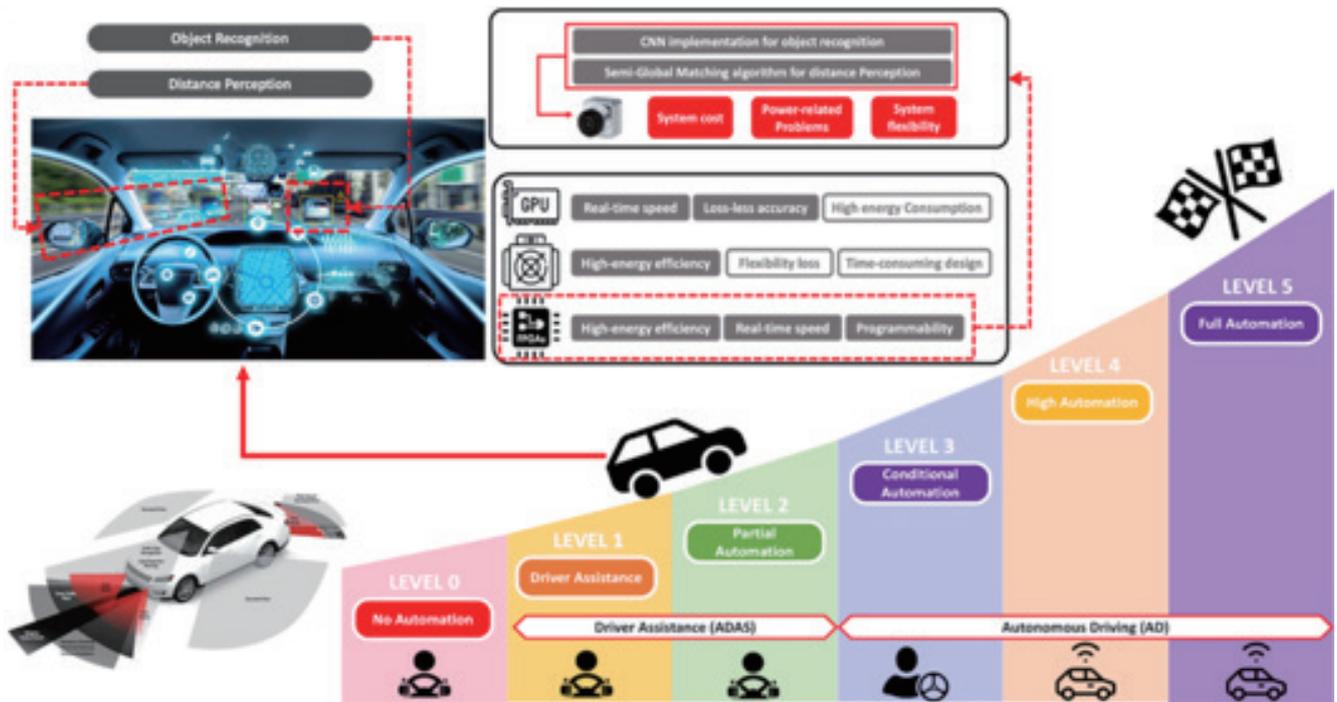
正会員

推薦文 [コンピュータサイエンス領域] システムとLSIの設計技術研究会

光の物理現象を組み込んだ独創的・魅力的な論理最適化により、低遅延だが大規模実装が難しい光論理回路（光の干渉を使った論理回路）の実現可能性を高めた価値ある研究である。難関国際会議のDATEやASP-DACで発表され、SLDM優秀論文・発表賞、IEICE論文賞等の受賞もうけ対外的にも高く評価されている。

研究生活 博論で取り組んだ研究テーマは私が学部4年生で集積回路分野の研究室に配属されて間もないころから続けてきたものです。先生からいくつか研究テーマを提示していただきました。その中からこの研究テーマを選んだ理由は、非常に新しい研究分野であるという説明に惹かれたからです。実際に、研究を進めていく中で未開拓領域を切り拓いているという実感もあり、非常に面白い研究テーマでした。最後に博士進学を考えている人へのメッセージを記します。博士課程での生活は困難なこともたくさんありますが、それ以上に得るものが多かったと感じていま

す。世界的に著名な研究者と若いうちから対等に議論したり、1つの疑問に何日間も取り組んだりといったことは普通に就職しては得られなかった経験だと思います。そしてこれらの経験は私の大きな糧となっていると感じています。なので、博士進学に興味がある方は臆せず飛び込んでみてほしいです。



FPGA-Based Image Processing Algorithms Implementations for Advanced Driver Assistance System



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:32



2022年度研究会推薦博士論文速報

[システムとLSIの設計技術研究会]

Wei Kaijie

(慶應義塾大学 特任助教)

邦訳：先進的運転支援システムに向けた画像処理アルゴリズムのFPGAによる実装

■キーワード

先進的運転支援システム (ADAS) / 画像処理 / 高位合成 (HLS)

【背景】 ADASにおける高性能画像処理システムの必要性

【問題】 車載システムへの電力制限及び性能需給

【貢献】 電力効率・性能を考慮したFPGAシステムの実現

自動運転はその自動化の程度により5つのレベルに分類されており、レベル1~2は「運転支援」と位置づけられ、レベル3以上は「自動運転」と判定されている。ADAS (先進的運転支援システム) は安全・快適な「運転支援」のために、自動車の周囲情報を把握し、ドライバーに警告・情報の提示を行う。最近の自動車メーカーはこのシステムにより、車社会の安全性と利便性を向上させる。しかし車載システムは電力が限られており、高度な画像処理能力が求められるシステムでは、GPU

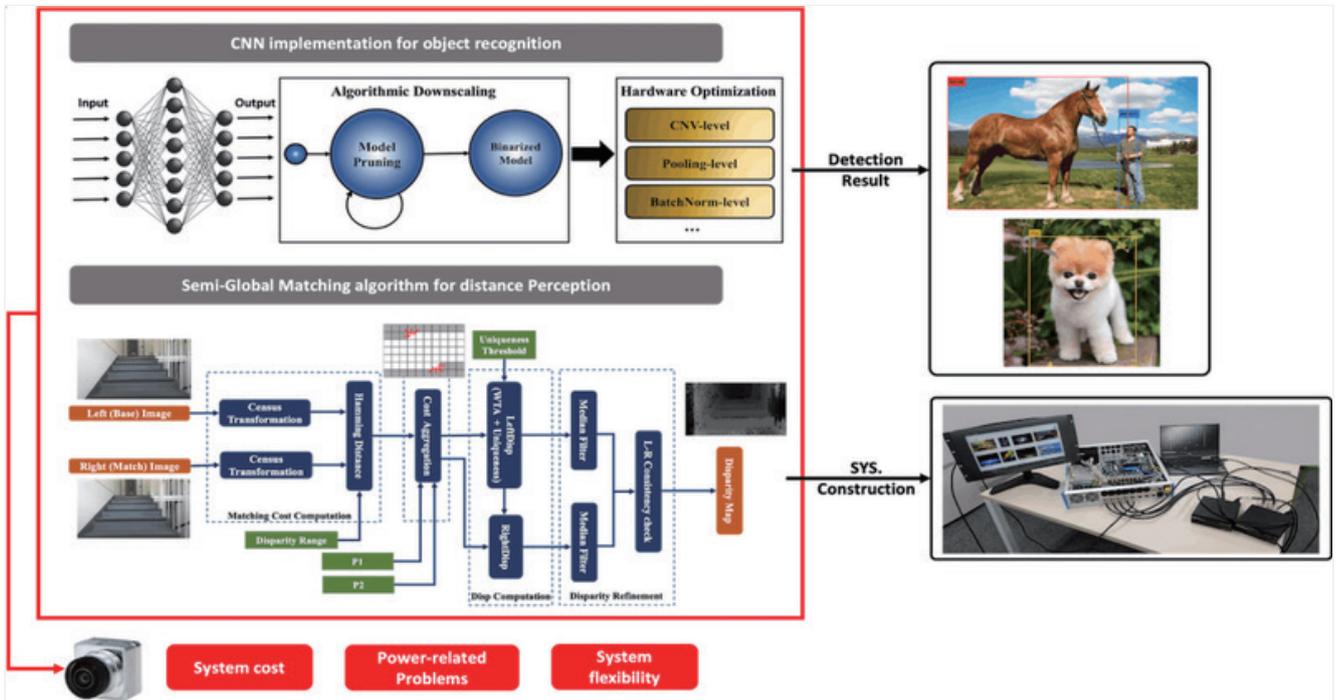
(Graphics Processing Unit) を用いて高い性能を実現するための消費電力が深刻な問題となっている。この問題を解決するため、本研究では、FPGA (Field-Programmable Gate Array) のデータ処理スピードとエネルギー効率が優れている点を活かした、車載画像処理システムを提案する。

本研究では図のように、ADASの2つの重要な機能を着目し、FPGAを用いて、画像認識のためのCNN (Convolutional Neural Network) と距離知覚のためのステレオマッチングシステムを実装した。開発スピードと開発後のメンテナンスを考慮し、両システムとも、High-Level Synthesis (HLS) を設計ツールとして採用した。

まず、FPGAボード上のCNN実装について述べる。ローコストFPGAの採用により、コストと消費電力の両方が抑えられる。しかし、限られた内部リソースの不足、特に内部メモリの不足が問題になる。そこでローエンドFPGAに向けCNNシステムのフレームワークを開発した。図の左上に示す提案フレームワークは主に2つの部分、モデル軽量化とハードウェア最適化が特徴である。最初に、プルーニングと2値化の技術でモデルを軽量化する。モデル軽量化には認識精度と圧縮率がトレードオフの関係で、両方のバランスをとる必要がある。次に、CNNの構造要素を考えた上で、HLSで各レイヤの設計を行う。2値化を行い、ビットベースの計算により、計算量もリソース使用量も抑えられる。本論文では、提案したフレームワークを、PYNQ-Z1やZCU104などのFPGAボードを使い、Alexnet, YOLOv3と

BinaryConnectの実装, 評価している. たとえば, YOLOv3をローエンドPYNQ-Z1に対象にした場合でも図の右上に示すように実装が可能になっている.

次にFPGAベースのステレオマッチングシステムに関して述べる. 近年の車載製品において, バックモニタの普及が進んでいるが, ディスプレイの映像は平面に配置され, 奥行情報が欠如している. 立体ディスプレイで奥行情報を付与することで, 物体の遠近の認識ミスによる車体と物体の接触が避けられる. 図の左下で示した通り, HLSの設計を5つのモジュールに分け, アルゴリズムの最適化, HLS最適化を行い, 提案システムRT-libSGMを構築した. 本システムで設計したライブラリは柔軟性が高い設計になっており, パラメータを変更することによって種々のFPGAにおいて動作可能である. 低消費電力でGPUに劣らない性能が達成できることを確認した. 図の右下は構築した全体システム像である.



■Webサイト/動画/アプリなどのURL

<https://dl.acm.org/doi/10.1145/3535044.3535045>

<https://ieeexplore.ieee.org/document/9394383>

(2023年5月9日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（工学）

大学：慶應義塾大学

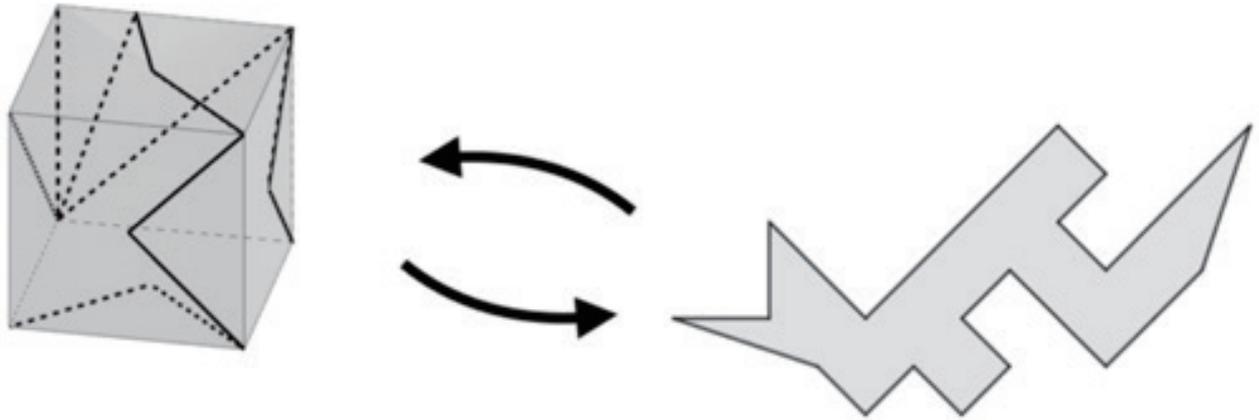
推薦文 [コンピュータサイエンス領域] システムとLSIの設計技術研究会

運転補助システム用に比較的小規模なSoC型FPGAを対象として、CNNによる画像認識システムをなるべく精度を落とさずに実装する方法論と実現例を示した。また、バックミラー用の立体画像処理用システムをFPGA上に効率良く実装するアルゴリズムと実現例を示した。

研究生活 学部生のとき、ずっとソフトウェアの世界にいた私は、ハードウェア分野で何ができるのかを、大学院での5年間の研究でその結論に達した。修士から慶應義塾大学天野研究室に配属されて博士に至るまで、ずっと画像処理アルゴリズムをFPGAでの実装する研究を行った。いろいろなシステムを構築し、画像処理アルゴリズムとハードウェア技術を組み合わせることで、より優れたシステムが構築できることを示した。この間、積極的に関連するサーベイを行ったり、研究室の先輩方や指導教員天野英晴教授と相談したりして、より高い視点と広い視野で研究が進められた。研究生活で一番楽しいところは、研究問題を解決するために、いろいろなアイデアを試すことができることである。ハードウェアの構造を考慮し、ソフトウェアおよびハードウェア知識を活用することで、研究への発想を実現できた。

博士号を取得できたのは、指導教員をはじめ研究室の皆さんや、家族の支えのおかげです。重ねてお礼申し上げます。





Research on Folding and Unfolding between Polygons and Polyhedra

♡ 1

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:33



2022年度研究会推薦博士論文速報

[アルゴリズム研究会]

鎌田 斗南

(北陸先端科学技術大学院大学 学術振興会特別研究員PD)

邦訳：折りと展開の操作がなす，多面体と多角形の関係の研究

■キーワード

計算折り紙／多面体／アルゴリズム

【背景】 多面体の展開図の研究は，数学と計算機科学の双方で研究されてきた

【問題】 各分野の目的や手法の違いにより，統一的な理解に達していない

【貢献】 各分野の手法を統合した新たなフレームワークを提案した

「（平面図形を）折る」という操作は，ペーパークラフトや折り紙など，日常生活に現れる身近な概念である。その技術は幅広い応用を持ち，たとえば宇宙工学分野では，容易な収納性と展開性を合わせ持つソーラーパネルの設計に利用されている。また，産業分野では，軽量かつ高強度の飲料缶の設計にも利用されている。

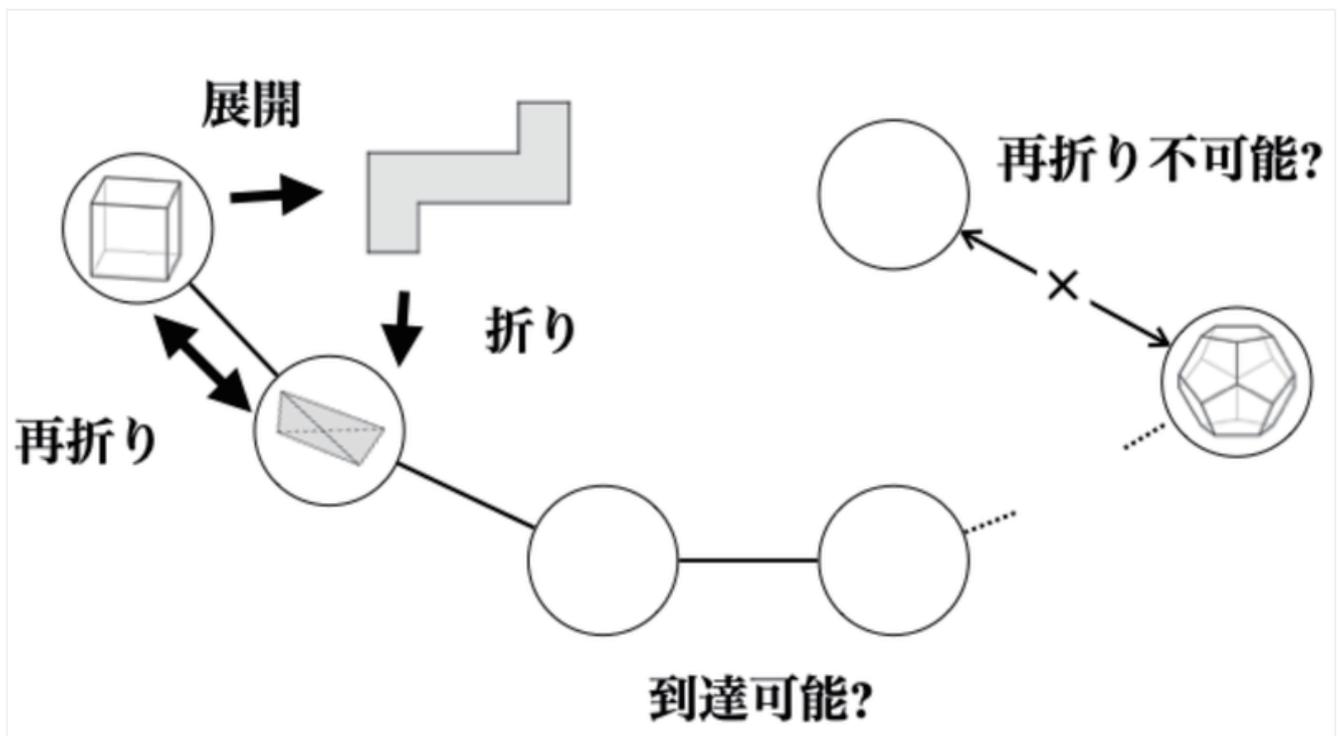
このような「折り」と「展開」の技術について，計算機科学の観点から扱う分野として「計算折り紙（Computational Origami）」がある。この分野では，幾何学やCG，建築，計算機科学，工学などの研究者が共同し，折り紙に関する理論や応

用の研究を行っている。たとえば、高度な折り紙作品を作成するための計算機支援の研究や、折り紙構造を利用した工業製品の開発、折りの操作についての公理系の研究など、その研究対象は多岐にわたる。

この中で、本研究では「多面体の展開図」の数理に対して、理論的な観点から研究を行った。展開図とは、多面体の表面を切り開いて得られる多角形のことである。辺に沿って切り開いた場合には辺展開図、面を横切って切断することを許す場合には一般展開図と呼ばれる。展開図は16世紀の画家Albrecht Dürerの研究に遡る長い歴史を持っているが、多くの点で未解明な対象である。たとえば、「すべての凸多面体は、自己交差を持たない辺展開図を持つか」という問題は、シンプルかつ基本的な問題であるにもかかわらず、いまだ未解決である。

本研究が目的としたのは、展開図に関する未解決問題の1つである「正多面体の共通展開図問題」という問題の解決である。この問題は、「2つの異なる正多面体のペアで、合同な一般展開図を持つものはあるか」を問う問題である。5つの多面体から異なる2つを選んだ10通りの組合せすべてに対して、合同な一般展開図が存在するか否かは証明されていない。本研究では、「正多面体の共通展開図問題」をいくつかの方向に拡張した問題を考案し、幾何学的アルゴリズム、組合せ遷移、グラフ理論などの計算機科学の手法でそれぞれ分析した。ここでは、その内の1つ、「共通展開図列による凸多面体間の遷移可能性」についての結果を紹介する。この結果では、「再折り」と呼ばれる概念を導入することで、展開図の共通性に対して

組合せ遷移の視点から分析した。2つの多面体が再折り可能とは、一方を展開し、得られた多角形を折り直すことで他方が得られることである。2つの多面体が再折り可能性は、それらの間の共通の展開図の存在性と同値である。したがって、2つの多面体間が何回の再折りで変形可能かを考えることで、多面体間で展開図の性質が共通している度合いを図ることができる。結果として、本研究では、すべての正多面体がたかだか4回の再折りで変形可能であることを示した。これによって、「正多面体の共通展開図問題」を解決するための新たなアプローチを開発することができた。



■動画URL (YouTubeチャンネル用)

<https://www.youtube.com/watch?v=bAsDqTWW-7c&t=7s>

(2023年5月26日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（情報科学）

大学：北陸先端科学技術大学院大学

正会員

推薦文【コンピュータサイエンス領域】 アルゴリズム研究会

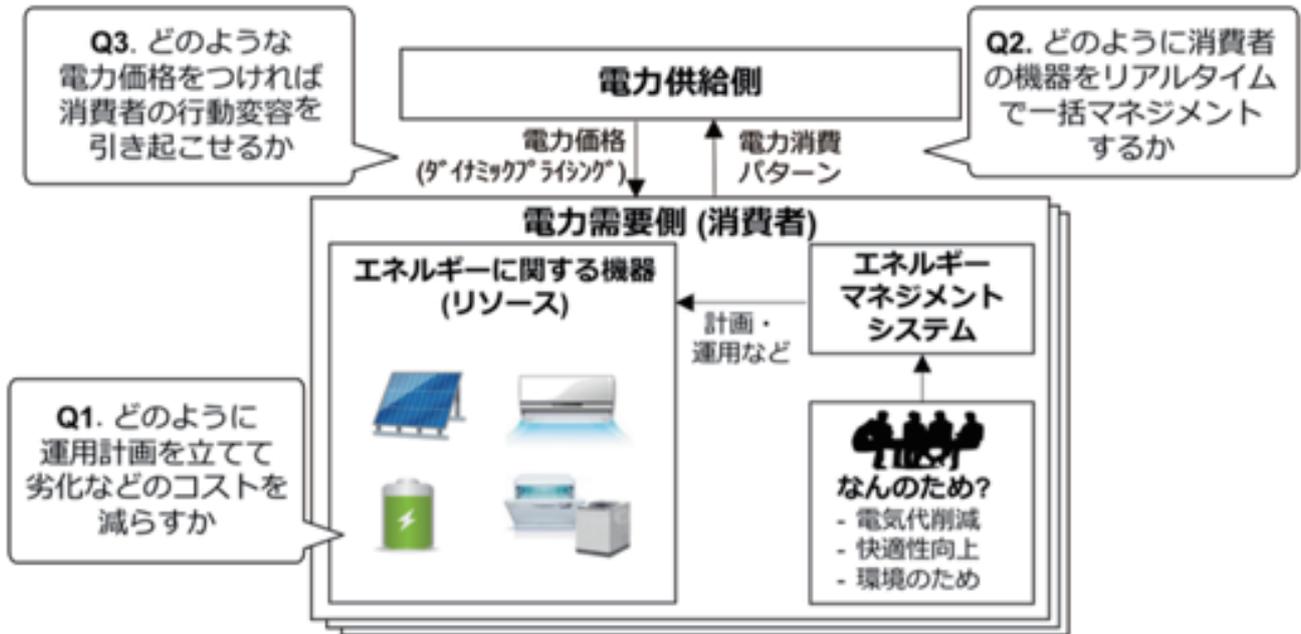
本研究は、多面体とその展開図（表面を辺に限らず自由に切り開いて得られる多角形）の関係について、数理的特徴づけや判定アルゴリズムを与えた研究である。アルゴリズムや組合せ遷移、超越数論など、幅広い手法を駆使することで、展開図の離散的構造を抽出する方法論を提示しており、高い独創性と新規性を持っている。

研究生活 本研究の結果は、学部時代に出会った興味を持った未解決問題に、あの手この手でアプローチを重ねた結果得られたものです。プログラムや紙模型を作成する「手を動かす過程」と、そこで得られた着想を数学的に証明する「頭を動かす過程」の両方を体験できる楽しい研究生活でした。

新しい分野や、複数の分野の境界領域で研究を行うことは、大変なことも多いですが、自由な着想が結果に直結する可能性を秘めたやりがいのあるチャレンジだと思います。

これから博士課程を検討する皆さんが、自分の興味と持ち味を活かした楽しい研究テーマに巡り会えることを願っています。

もし、みなさんの興味の中が折り紙と重なることがあれば、ぜひ計算折り紙の世界も覗いてみてください。



A Study on System-Level Energy Management Methodology for Demand-Side Flexibility



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:35



2022年度研究会推薦博士論文速報

[組込みシステム研究会]



渡 大地

(京セラ (株) 研究開発本部 研究員)

邦訳：需要側調整力の創出に向けたシステムレベルエネルギーマネジメントに関する研究

■キーワード

エネルギーマネジメント/オペレーションズ・リサーチ/カーボンニュートラル

【背景】 カーボンニュートラル実現に向けた再生可能エネルギーの大量導入

【問題】 発電量を制御できない再生可能エネルギーによる電力網の不安定化

【貢献】 さまざまなリソースを対象としたエネルギーマネジメント技術の確立

カーボンニュートラルの実現に向けて、太陽光や風力といった再生可能エネルギーの導入が進んでいる。これらのエネルギーは燃料を必要とせず二酸化炭素を排出しないという利点がある一方で、天候によって発電量が左右され変動するという問題がある。電力はその性質として、使用する量と発電する量（需要と供給）が常に一致していなければならない。そのため、再生可能エネルギーのような制御できないエネルギーが増えすぎると、このバランスが崩れてしまい、最悪の場合停電や障害が発生してしまう。

この問題の解決に向けて期待されているのが、エネルギーマネジメントシステムである。エネルギーマネジメントシステムとは、蓄電池や家電、空調、その他設備のようなあらゆるエネルギーに関する機器をネットワークで接続し、これらの一括管理を実現するシステムである。たとえば、このシステムを用いて、再生可能エネルギーの発電を監視しながら蓄電池や電気自動車のような機器を充放電すれば、自然由来の電力を捨てることなく最大限活用することができる。また、家電や空調、工場設備のような電気を消費する機器を自動で省エネ運転したり、使用タイミングをずらしたりすることで、うまく電力のバランスを保つことも可能である。

本研究では、エネルギーマネジメントシステムにおけるさまざまな課題の解決に取り組んだ。具体的には以下の3つの研究を行った (図)。

(1) 蓄電池の劣化抑制に向けた長期充放電スケジューリング¹⁾

システムの中核をなす蓄電池は、充放電が激しいほど劣化が急速に進んでしまうという問題がある。そこで、蓄電池の劣化抑制も加味した長期に渡る効率的な充放電スケジュールを求める必要がある。提案手法は数理最適化技術と蓄電池の劣化モデルを用いることで、電気代を最小にしつつ、劣化も最小にするような充放電スケジュールを立てることに成功した。

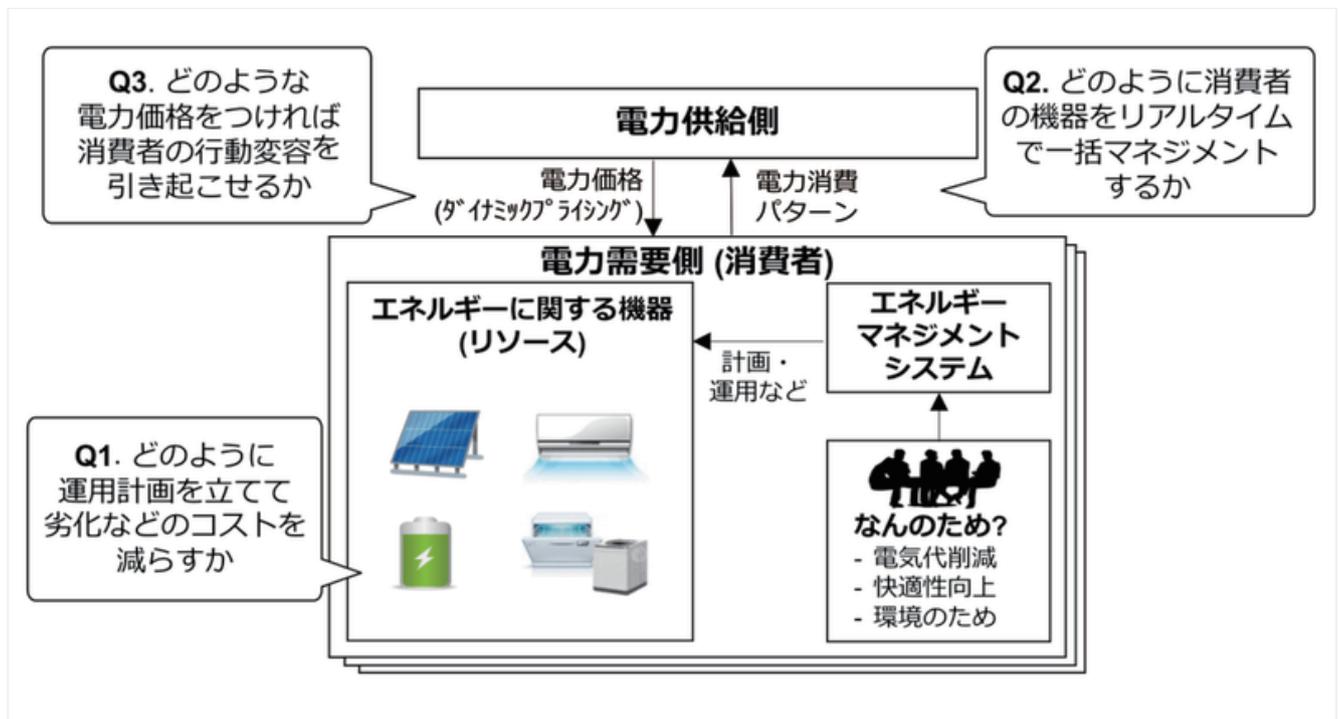
(2) 蓄電池、家電と空調のリアルタイム統合マネジメント^{2), 3)}

太陽光発電は雲の動きに合わせて短い時間でも細かく変動する。この変動に対処するためには高度な予測技術が求められる。一方、このような短時間の変動も考慮して各種機器を一括マネジメントすると膨大な計算時間がかかってしまう。本研究では、太陽光発電予測手法を導入しつつ、時間スケールに応じて問題を分割して解くことによって、精度を維持しつつ計算時間を削減するリアルタイムのマネジメント手法を確立した。

(3) 電気料金のダイナミックプライシングによる消費者行動の変容⁴⁾

ダイナミックプライシングとは、電力価格を状況に合わせて変化させることによって、消費者の行動変動を促す仕組みである。これにより、電力の使用パターンを電

カシステムにとって負担の少ない望ましいものへと変化させられる。しかし、消費者の価格に対する反応はモデル化が難しく、どのような価格をつけることが適切かは不明である。そこで、本研究では深層強化学習を用いて、過去のデータのみから適切な電力価格のつけ方を学習するアルゴリズムを実現した。



■Webサイト/動画/アプリなどのURL

<https://sites.google.com/site/ittetsutaniguchi/研究紹介スマートエネルギーマネジメント技術>

参考文献

- 1) Watari, D., Taniguchi, I. and Onoye, Ta. : SOH aware System-Level Battery

Management Methodology for Decentralized Energy Network, *IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences*, Vol.E103-A, No.3, pp.596-604 (Mar. 2020).

2) Watari, D., Taniguchi, I., Goverde, H., Manganiello, P., Shirazi, E., Catthoor, F. and Onoye, T. : Multi-Time Scale Energy Management Framework for Smart PV Systems Mixing Fast and Slow Dynamics, *Applied Energy*, Vol.289, No.116671 (May 2021).

3) Watari, D., Marantos, C., Taniguchi, I., Catthoor, F., Siozios, K., Soudris, D. and Onoye, T. : Online Energy Management Framework for Smart Buildings with Low-Complexity Estimators, *IEEE Embedded Systems Letters* (2023) (Early Access).

4) Watari, D., Taniguchi, I. and Onoye, T. : Duck Curve Aware Dynamic Pricing and Battery Scheduling Strategy Using Reinforcement Learning, *IEEE Transactions on Smart Grid* (2023) (Early Access).

(2023年5月31日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月：2023年3月

学位種別：博士（情報科学）

大学：大阪大学

推薦文 [コンピュータサイエンス領域] 組込みシステム研究会

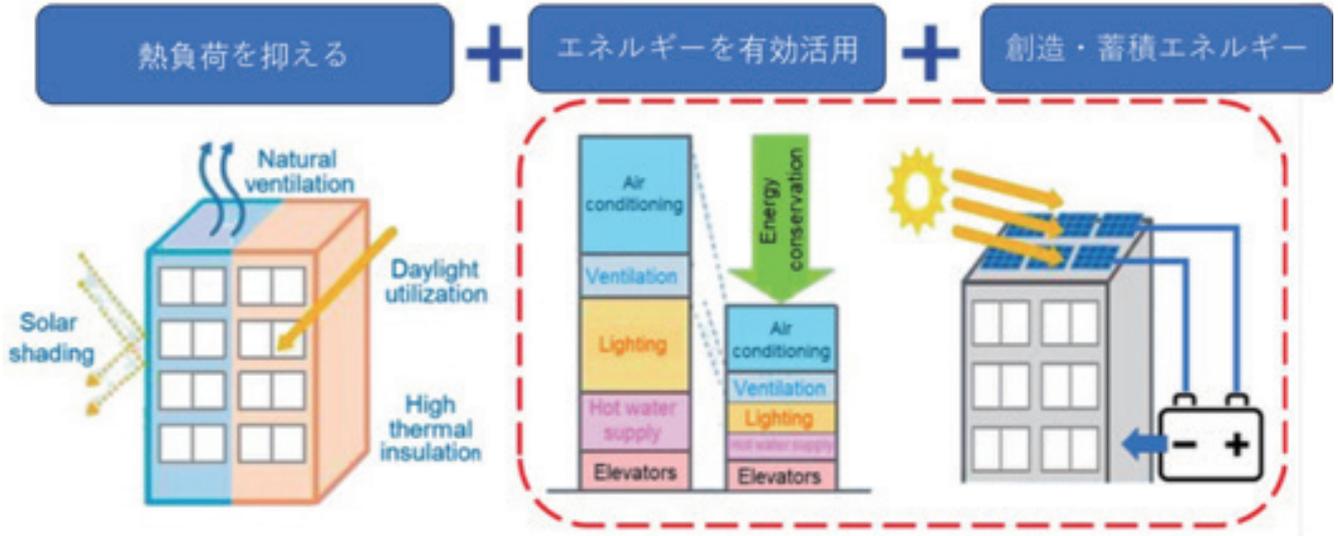
本論文は需要家の調整力活用に向けた、種々のエネルギーマネジメント手法を提案している。蓄電池や家電、空調の最適運用とダイナミックプライシングによる需要変容を通じて、コスト削減や熱的快適性の維持、電力網安定化を実現している。本研究の成果はエネルギー分野におけるCPS実装の基盤技術として高い価値を有する。

研究生活 もともとコンピュータがどう動いているかということよりも、情報科学技術を用いてどのように生活を豊かで快適なものにできるのかということに興味がありました。せっかくならスケールが大きく、今まさに実社会で起こっている問題に取り組んでみたいと思い、エネルギーに関するテーマに決めました。

実際に研究をはじめてみると、エネルギーは非常に多くの分野にまたがる巨大な領域であることが分かりました。情報科学やエネルギー・電力工学はもちろん、建築、環境、市場から果ては政策まで、毎日が学びの連続でした。ただ、その分常に好奇心を刺激され楽しみながら研究を行うことができたように思います。また、関連分野を学ぶことで自分の視野が広がっていくように感じました。

博士課程に進学すると、自分の考えを元に1つのこと（研究）にとことん時間をかけて打ち込むという貴重な経験ができます。金銭面は少しネックですが、近年ではさまざまな支援制度もあり、進学チャンスは広がっていると思います。少しでも興味のある方は身近な先生や博士学生に相談してみるとよいと思います。





Design and Implementation of Comfort-aware Smart Building Energy Management Systems



情報処理学会・学会誌「情報処理」
2023年8月15日 09:37



2022年度研究会推薦博士論文速報

[組込みシステム研究会]

趙 大放

(大阪大学大学院情報科学研究科 特任助教)

邦訳：快適性を考慮したスマートビルエネルギーマネジメントシステムの設計と実装

■キーワード

熱の快適性／エネルギーマネジメントシステム／実証実験

【背景】 建物のエネルギー消費量の増加

【問題】 熱的快適性と省エネルギー性を両立したエネルギー消費機器の運用

【貢献】 快適性を損なわない範囲で空調運用を適切に行うことで建物全体の消費電力を大きく削減

経済成長と人々の生活水準の向上に伴い、住宅やオフィスビルのエネルギー消費量は増加し続けている。近年、エネルギー消費量の削減や低炭素社会への移行が世界的に推進される中で、建物においていかに省エネルギー化を実現するかが注目されている。これらの背景より、効果的なビル・エネルギー管理システム（BEMS）

が期待されている。BEMSを計画、評価、最適化、運用するには、エネルギーの供給側の管理だけでなく、エネルギーの需要側もリアルタイムに制御する必要がある。

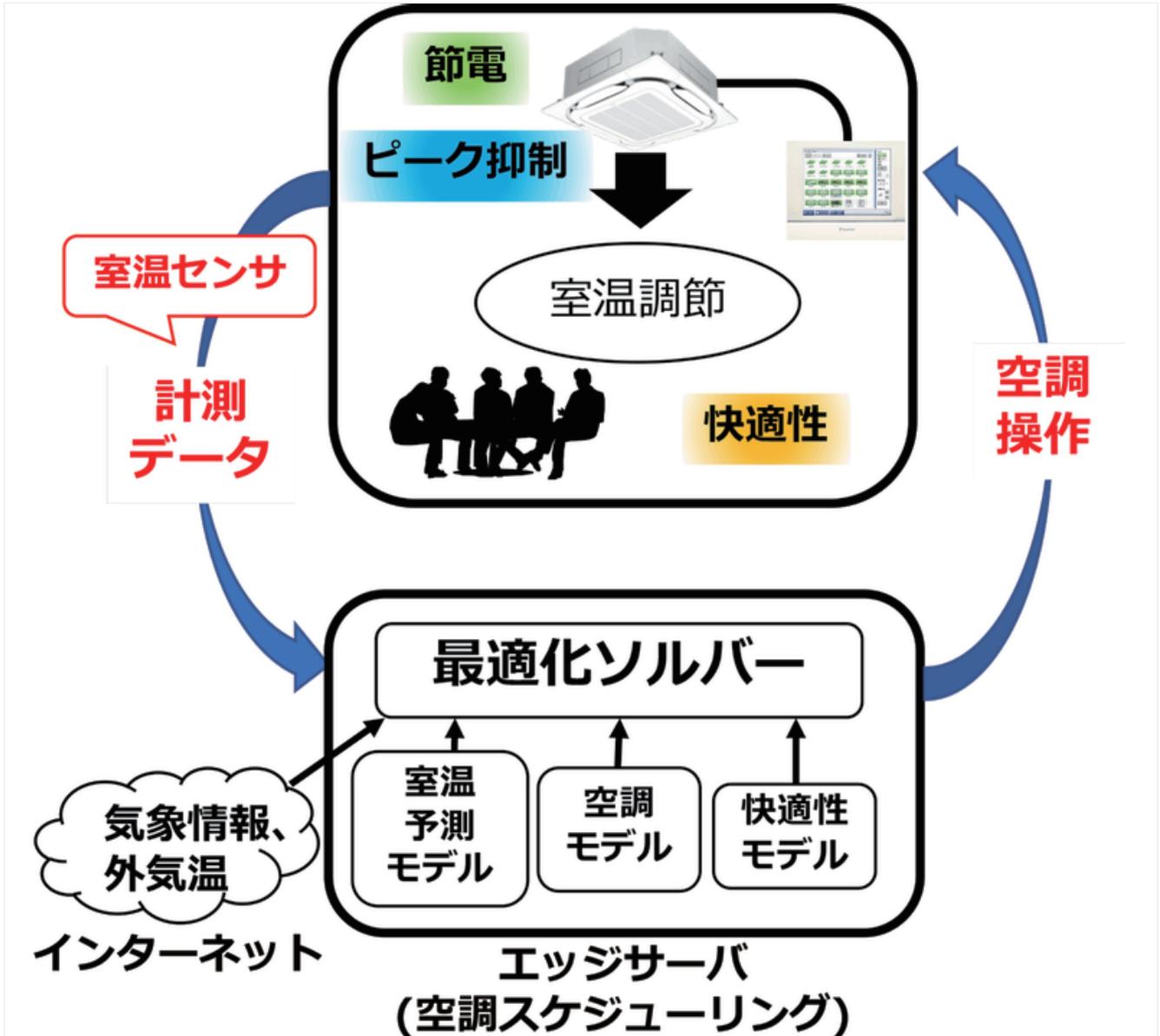
再生可能エネルギーやさまざまなセンサを統合した建物において需要を制御するためにはエネルギー使用量の予測や最適化が必要である。その一方で居住者の快適性も維持する必要があるが、熱的快適性を考慮したエネルギー使用量の最適化、特に冷暖房システムの最適化が重要である。そこで、この課題を解決するために本研究で取り組んだ3つの研究内容を紹介する。

1つ目は、エネルギーの貯蔵に必要不可欠なバッテリーのモデル化である。バッテリーの特性は複雑でさまざまなモデルが提案されている。本研究の目的で使用するためには単なる残量の推定に加え、充放電時の振る舞いを正確に模擬することが必要である。そこで本研究では、バッテリーの動力学モデルと電気回路モデルを結合したハイブリッドモデルを提案した。残量推定は動力学モデル、充放電時の振る舞いは電気回路モデルを使用することで、実測値ときわめて近いバッテリーの振る舞いを模擬できた。

2つ目は、空調の運転計画最適化手法の開発である。建物の省エネと居住者の熱的快適性の両立に向けて空調の役割は高まっている。空調システムは建物内の他の機器と比べて多くのエネルギーを消費するため、無駄な空調の削減による消費エネ

ルギー削減が重要である。本研究では熱的快適性を考慮した空調運転計画最適化手法を開発した。本手法は計算機実験に加え実証実験でも評価して、省エネと快適性向上の両立が可能であることを示した。

3つ目は、プライバシーを考慮した在室推定手法の開発である。行動パターン、存在情報、人数などの居住者の情報は、建物における省エネ戦略に重要な要素である。しかし、これらの情報は居住者のプライバシー情報そのもので、慎重な取り扱いが必要である。本研究ではスマートフォンを用いたプライバシーを考慮した低コストな在室推定方法を提案した。他の在室推定方法と比較して、提案手法は、在室者のプライバシーを侵害することなく、比較的高い精度の占有検出を達成した。



(2023年5月30日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月日：2022年9月

学位種別：博士（情報科学）

大学：大阪大学

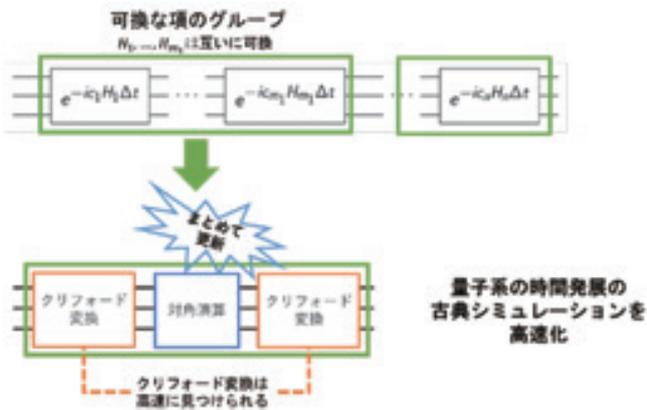
推薦文【コンピュータサイエンス領域】組込みシステム研究会

本論文は熱的快適性を考慮した建物のエネルギーマネジメントシステムの設計と実装に関する研究成果をまとめたものである。特に、空調のエネルギーマネジメント技術のシステム実装を中心に関連する計算機科学的な諸問題を解決した。研究成果はエネルギーマネジメント技術の社会実装に向けた基盤技術として高い価値を有する。

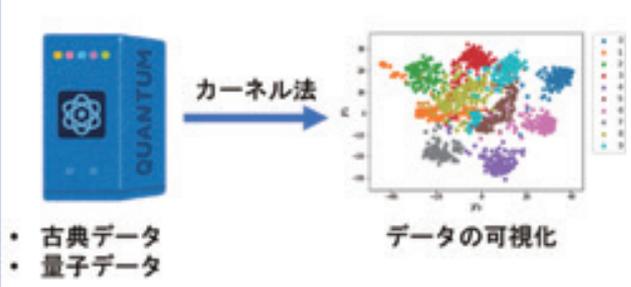
研究生生活 研究生生活は決して容易なものではありません。データの収集、実験の計画、論文の執筆など、多くの困難に直面します。ときには、進展が見えず、挫折感を覚えることもあります。しかし、そうした困難を乗り越えることで、自分自身の能力を試し、成長することができます。これから博士課程に進む人へのアドバイスとしては、自分が本当に熱心になれるテーマを見つけることが最も重要です。また、自分の研究が他人にとって有益であると信じ、それを通じて社会に貢献することを心掛けてください。そして、困難な時期には、自分の目標と情熱を思い出し

て、前進し続けてください。博士課程における研究は、自己啓発の旅でもあります。自分自身を信じて、自分の研究に専念し、結果を待つことが重要です。

量子系の時間発展の古典シミュレーションの高速化



量子状態の可視化



Applications and Performance Analyses of Quantum Machine Learning via Fast Classical Simulation of a Quantum Computer



情報処理学会・学会誌「情報処理」
 2023年8月15日 09:38



2022年度研究会推薦博士論文速報

[量子ソフトウェア研究会]

河瀬 良亮

(東京大学情報理工学研究所コンピュータ科学専攻 助教)

邦訳：量子コンピュータの高速古典シミュレーションによる量子機械学習の応用および性能評価

■キーワード

量子機械学習／高速化／可視化

【背景】 強力な計算能力を持つ量子コンピュータを活用したい

【問題】 指数的に増大する空間に伴う古典シミュレーション時間の増大とデータの取り扱いの困難さ

【貢献】 量子機械学習アルゴリズムの開発を加速させる技術の提案

量子コンピュータは、量子力学の性質を利用して、従来（古典）コンピュータでは計算が困難な問題を解くことが期待されている次世代コンピュータである。現

在, 巨大IT企業や大学, そして国の研究機関においてその開発が進められている。現在すでに数十～数百量子ビットの量子コンピュータが実現しており, ある種のサンプリング問題を従来コンピュータよりも高速に解けることが実証されている。しかしながら, これはベンチマークのためのタスクであったため, 金融, 量子化学, 機械学習などの実用的なタスクへの応用研究が進められている。

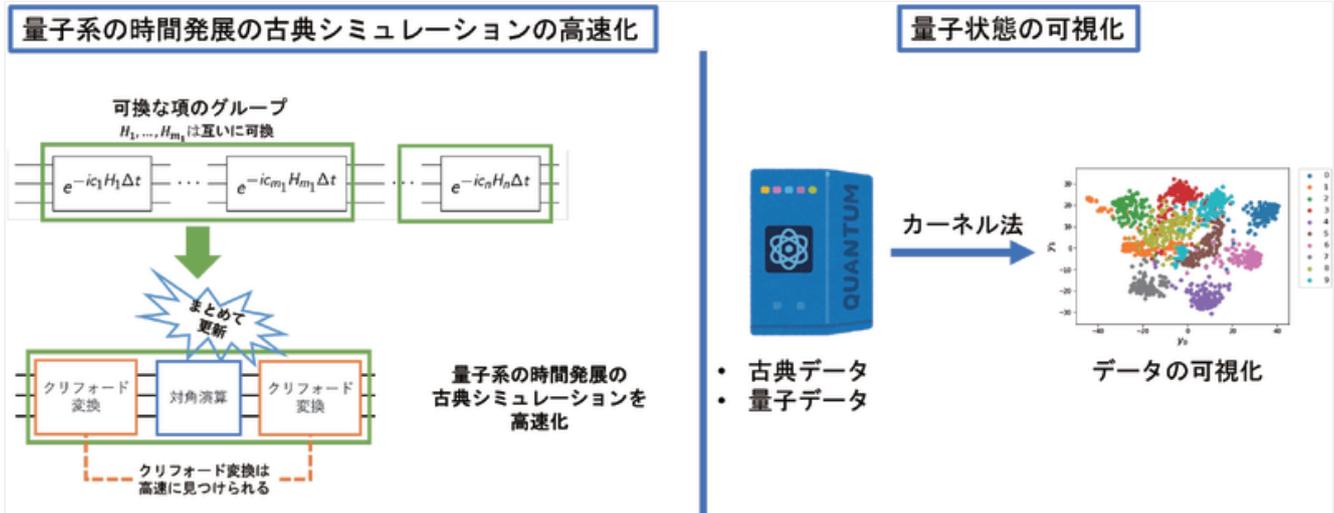
量子機械学習は, 分類や回帰などの機械学習タスクを実行するために量子コンピュータを活用する新しい分野である。現在実現されている量子コンピュータは量子ビット数や量子ゲート操作に制限があり, またノイズの影響も受けるため, 量子機械学習アルゴリズムの最適化や性能評価には従来コンピュータ上でのシミュレーションが有効なアプローチである。また量子機械学習アルゴリズムの開発やその仕組みの理解において量子データの可視化は, 古典機械学習と同様に非常に重要である。しかしながら, 量子系の次元は量子ビットの増加に対して指数的に増大するため, 古典シミュレーションや量子データの可視化は挑戦的な課題である。

本研究では, 量子機械学習アルゴリズムの開発を加速させるために, 量子系の時間発展の古典シミュレーションの高速化手法と量子データの可視化手法を提案する。まず量子系の時間発展の古典シミュレーションの高速化は, ハミルトニアンに含まれるパウリ演算子の交換関係を利用することで, 広く使用されている Trotter 展開による逐次的にシミュレーションを行うアプローチと比較して, 大幅な高速化に成功した。これは量子回路学習や量子近似最適化アルゴリズムなどの量子アル

ゴリズムの古典シミュレーションの高速化に役立つ。

次に、量子状態の類似度を保つように、量子データを2次元の古典データに変換する方法を提案する。これは量子状態に適用するパラメータ付き量子回路を最適化することで行う。その結果、横磁場イジングモデルの量子ダイナミクスの可視化において、量子状態の特徴に従った可視化に成功した。しかしながら、本手法ではデータを可視化するために、パラメータ付き量子回路の設計や観測量の選択を適切にする必要があり、量子状態の直接的な評価は困難である。そこで、これらを回避するために、量子カーネルを用いて量子データの類似度を保つように、2次元の古典データに変換する。その結果、大量のデータを高い精度で2次元可視化することに成功した。これを用いることで、量子回路を通じて古典データを量子状態に埋め込む量子特徴写像の評価や、変分量子アルゴリズムの最適化の軌跡の可視化が可能になった。量子特徴写像を評価できることで量子回路のデザインの改善や、変分量子アルゴリズムの最適化の軌跡の可視化により局所最適解に止まってしまう問題の改善などに役立つと考えられる。

本論文で提案した量子ダイナミクスの高速古典シミュレーション方法と量子データの可視化技術は、今後の量子機械学習の分野に発展に大きく貢献すると考えている。



(2023年5月31日受付)

(2023年8月15日note公開)

取得年月日：2023年3月

学位種別：博士（工学）

大学：大阪大学

推薦文【コンピュータサイエンス領域】量子ソフトウェア研究会

本論文では、量子系の時間発展の古典シミュレーションの高速化と量子状態の可視化を提案し、量子アルゴリズムの古典シミュレーションの高速化や古典データを埋め込む方法の評価などを可能にすることで、量子コンピュータの有望な応用先である量子機械学習アルゴリズムの開発を加速することが期待される。

研究生活　私が量子機械学習を研究テーマにしたのは、機械学習に関連した研究をしたいという気持ちと、量子コンピューティングがこれから大きく発展しそうだという期待から決めました。この分野の個人的な魅力は、現在、生成AIなどですでに大きな影響を与えている機械学習が、量子コンピュータを用いることで一体何ができるのかを考えることです。私自身は応用に興味がありましたので、何ができるのか、どのようにしてそれを実現するのかを考えるのは楽しいことで、このような気軽な気持ちで博士課程に進学しました。

最後に、私の所属していた研究室は、計算機などの研究設備が充実しており、スタッフの方々も数多く在籍しており、さらに学生への経済的な支援もとても充実していました。このような充実した環境のおかげで、安心して研究に取り組むことができ、とても感謝しています！