



Studies on Content Analysis and Ordering of Courses from a Knowledge-Based Perspective

♡ 1

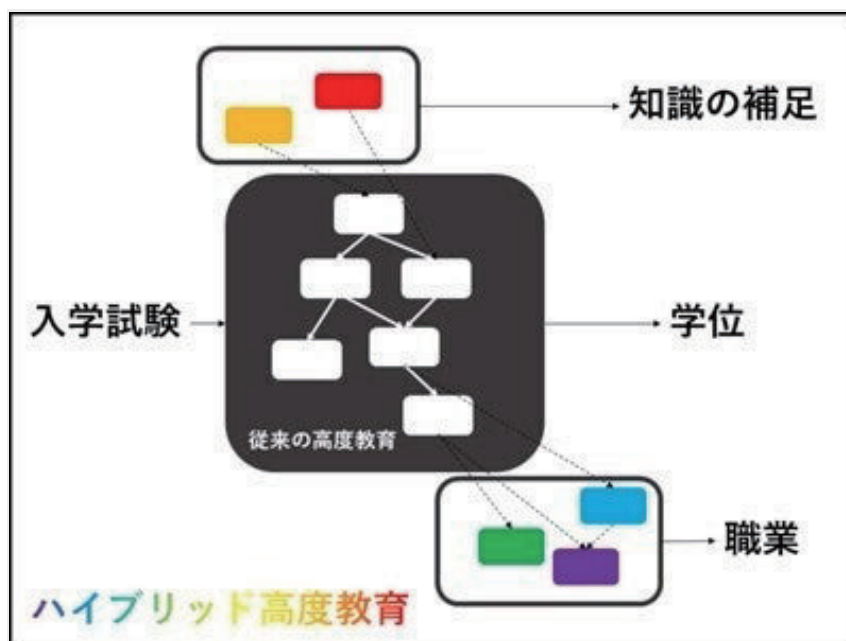
 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:17



邦訳：知識に基づく科目の内容分析と順序付けに関する研究

戴 憶菱

(京都大学学術情報メディアセンター緒方研究室 特定研究員)



----- keyword -----

オンライン科目

知識抽出

履修順序

【背景】 科目のデジタル化とオープン化により、自由に科目を受けることが可能

【問題】 膨大な科目と多様な学習者の目標とのマッチングが困難

【貢献】 科目内容の自動的な知識判定と職業を意識した履修順序付けなどの手法を
提案

大規模公開オンライン講座の進展により、学習者は時間や空間の制限なく学習することができるようになりつつある。その結果、従来の大学での教育と異なり、学習者が定められたカリキュラム以外にも自由に科目を選択して受講することができる。純粋な科目への好奇心、欠けている知識の補足、自身のスキルアップ、就職の準備などさまざまな学習目標が考えられる。学習者のそれぞれのニーズに合う科目が取れる新しい教育環境が生まれると期待できる。その一方、公開されたオンライン科目が多く、教育機関や教育者により提供され、教育の目的、教育の内容や知識の表現は幅広い。科目の知識をまだ身に付けていない学習者にとって、自身の目標に合う科目を識別することはきわめて困難である。こういった問題を解決するため、本研究は目標の明確さによる3種類の学習者を想定して、それぞれのシナリオで科目の識別に関する手法を提案する。

■曖昧な目標を持つ学習者

なんとなく「計算機科学」に関心がある、あるいは「京都大学がどんな科目を教えているのかな」と興味を持つ学習者が当てもなく科目を検索するシチュエーションが考えよう。このような学習者にとって、まずその分野の全体像や科目の内容を

理解する必要がある。1つの科目の内容を理解する、あるいは複数の科目の内容を比較するには共通の分野知識階層が有用である。たとえば、「アルゴリズム」、
「情報管理」や「プログラミング言語」などの知識カテゴリを用い、科目内容がそれぞれの知識カテゴリとの関連度を推定することを目標とした。ウィキペディアといった外部の知識ベースを利用し、限られた科目シラバスと知識カテゴリの情報を拡張し、より深層的な関連度を推定する手法を提案した。

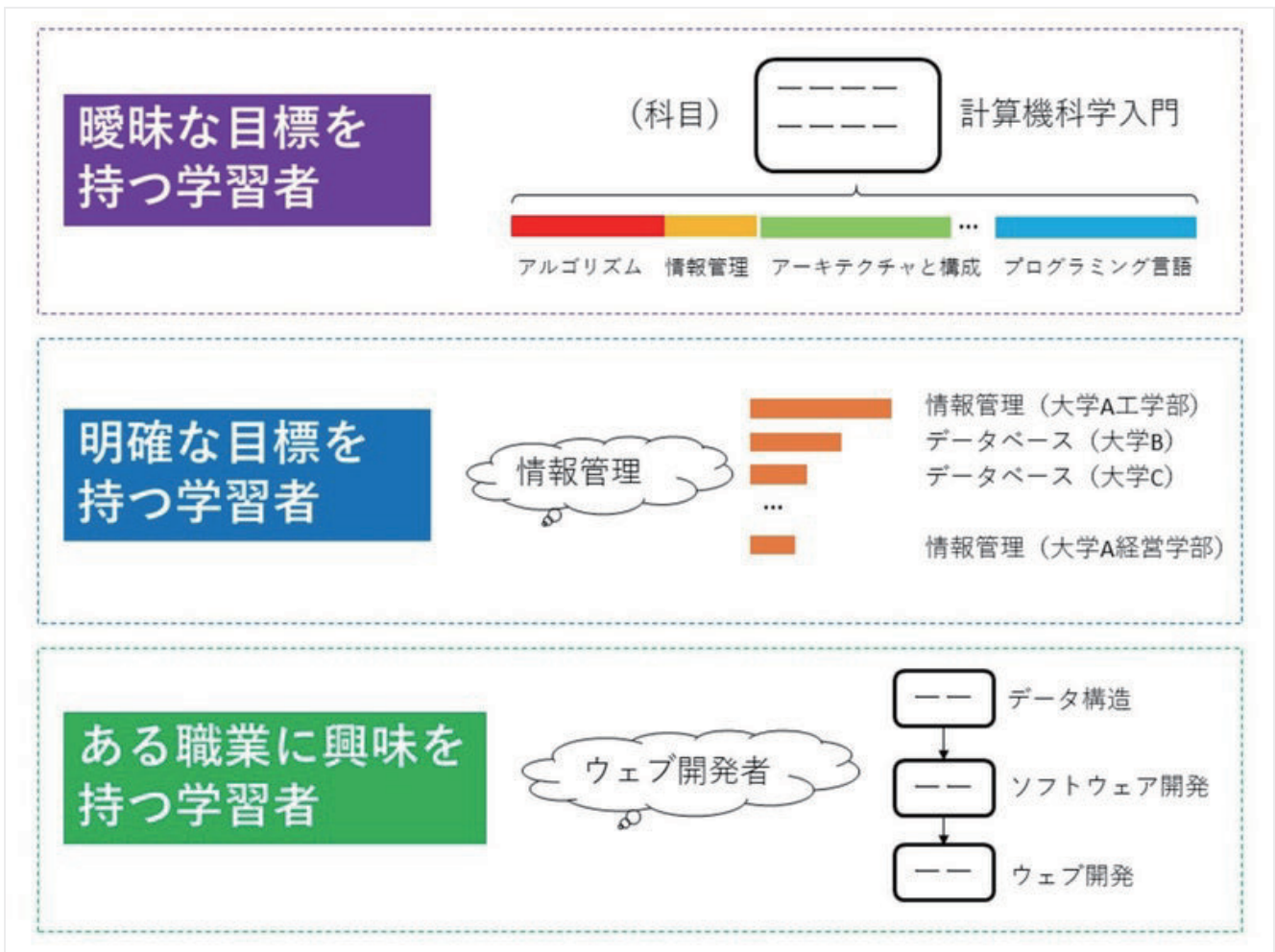
■明確な目標を持つ学習者

すでにあるカテゴリの知識に学習対象を絞った学習者にとっては、その知識を教える科目を効率良く見つけ出すことが大事である。本研究は目標とする知識のカテゴリが科目の受講によって習得できる知識の割合を知識カバレッジと定義した。そして、知識のカテゴリが概念により構成されることから、概念の依存関係によるカテゴリへの重要度を推定する手法を提案した。

■ある職業に興味を持つ学習者

さらに長期的な目標、つまり、就きたい職に対して、学習目標を達成するには計画的に科目の受講プランを立てなければならない。本研究では、学習目標として与えられた専門用語に対し、科目の依存関係を満たす科目順序を付ける手法を開発した。既存研究と異なり、順序の各位置にある科目がもたらす情報量が最適化される点に優れている。実験では、手法が生成した順序の学習体験への影響も評価した。この結果は、より学習者の個人的なニーズに応えられるモデルの開発に繋がる。

実験では実際の大学の科目を対象とし、科目の講師あるいは専門家が付与した知識カテゴリに費やした講義時間数、知識カテゴリのカバレッジ、専門用語に対する重要度などを正解データとして利用し、手法で推定した関連度、カバレッジと科目順序の精度を評価した。その結果、学習者が関心を持つ知識を扱う科目の識別ができることが分かった。



(2021年5月18日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（情報学）

大学：京都大学

推薦文：（データベースシステム研究会）

大規模公開オンライン講座（MOOC）は多くあり，教育の目的，内容や知識の表現は幅広い．本博士研究は，学習者が目標に合う科目を見つけられるように，科目内容の知識配分の自動抽出，学習者が獲得したい知識がある科目に含まれている度の提示，ある職業に就くために必要な科目の履修順序付けなどの手法を新たに開発した．

戴 憶菱

研究生活：博士課程は8割自分との闘いだと思います。データを見つめたり、プログラムのバグを修正したりして、あるいは先行研究を読んだり文章を書いたりして、1日誰とも話さない日もよくありました。大量の考える時間を重ねることこそ深みのある研究ができると思います。しかし、研究の広さをもたらすのは残りの2割の人との交流だと思います。


私は学部時代の卒論をアジアの学会に投稿する機会があり、その学会のバンケットでたまたま話しかけた先生が論文のレビュアーでもあり、論文や実験についている議論ができて、その後当時の指導先生に紹介したら共同研究者にもなりました。こういう先生や学生などの肩書に関係なくコミュニケーションができる世界って素晴らしいと思いました。そのあとの博士期間を含めて、コロナの影響もあり、学会に参加する数はそこまで多くありませんでしたが、やはり世界中の研究者と交流して刺激を受けることがすごく楽しいと感じました。

また議論が盛り上がる学会に参加できる日を楽しみにしております。



An Empirical Study of Feature Engineering on Software Defect Prediction

♡ 1

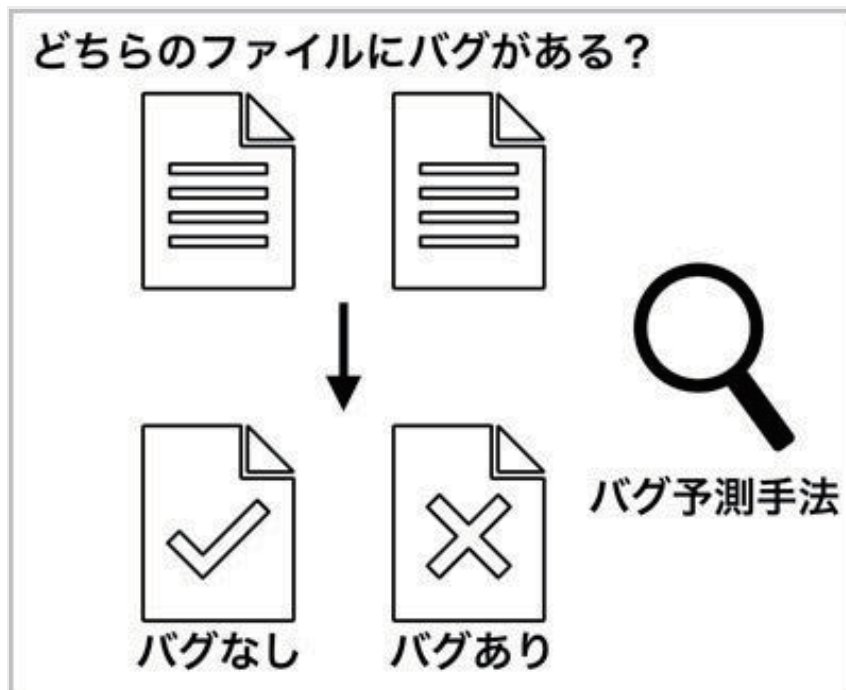
 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:19



邦訳：ソフトウェア不具合予測における特徴量エンジニアリングの実証的研究

近藤将成

(九州大学大学院システム情報科学研究院 助教)



----- keyword -----

バグ予測

ソフトウェアの特徴量

人工知能

【背景】 ソフトウェアのバグは大きな事故を引き起こす可能性がある

【問題】 バグを取り除くための開発リソースは不足している

【貢献】 効率的なバグの発見に寄与する特徴量を調査した

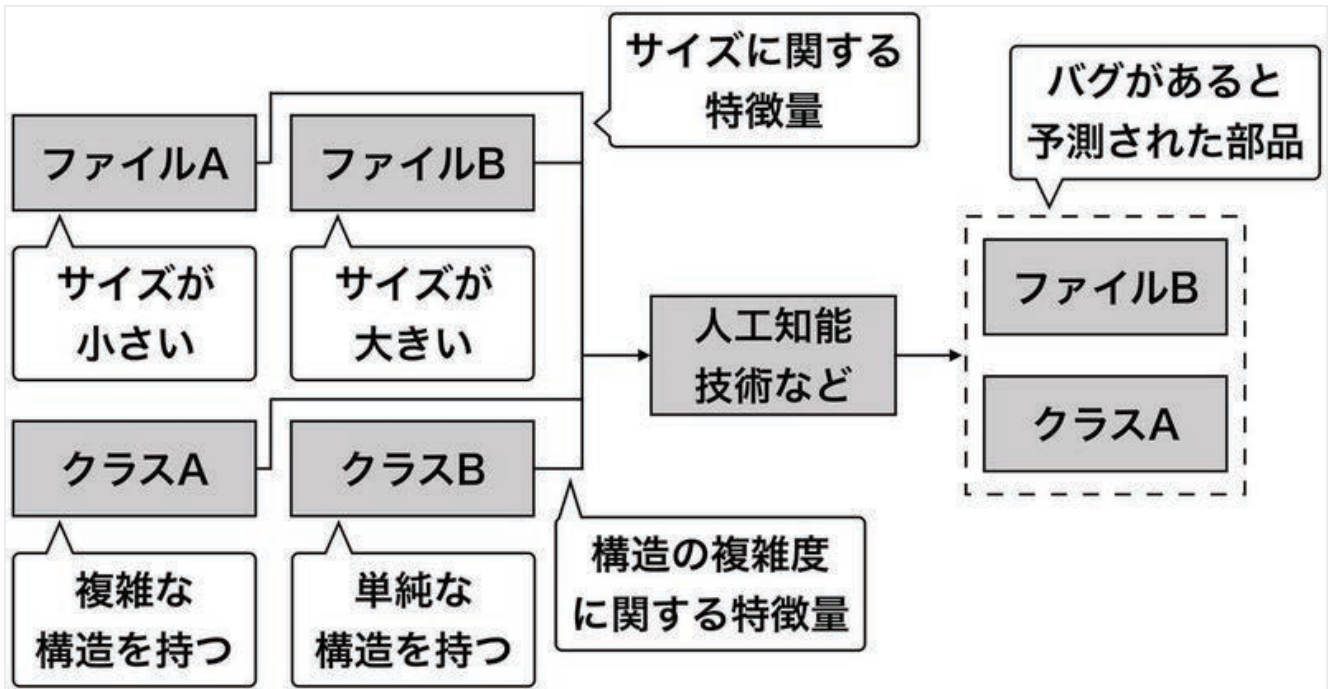
ソフトウェアはすでに社会インフラになりつつあり、私たちの生活になくてはならないものである。そのため、ソフトウェアにもし不具合（バグ）が含まれている場合、大規模な経済的損失を引き起こす可能性や、多くの人に影響を与える可能性がある。たとえば、証券取引所における取引のソフトウェアにバグがあれば、取引を中止するなどの対応をとらねばならず、大きな経済的損失を引き起こす可能性がある。より身近なところでは、人気のスマートフォンのアプリケーションにバグがあり、一時的に利用できなくなれば、多くの人に影響を与えることになる。

しかし、ソフトウェアへのバグの混入は避けられない。この理由の1つとして、ソフトウェアの大規模化が挙げられる。たとえば、Googleが管理しているソフトウェアの部品の規模は、2015年時点で86TBと報告されている [1]。このような大規模なソフトウェアの部品すべてに対して完璧なバグの有無のチェックを行うことは事実上難しい。

この問題を解決する1つの方法として研究されているのがバグ予測手法である [2]。バグ予測手法とは、バグを含んでいると考えられるソフトウェアの部品を人工知能技術などを用いて予測することで、バグをより多く取り除こうとする手法である。

たとえば、他の部品と比べてサイズが大きい部品や、休日の前に作成された部品が統計的に多くバグを含んでいるのかどうかを、深層学習手法などを用いて分析し、どういったソフトウェアの部品がバグを含んでいるかの情報を得る。その情報を用いて予測を行えるようにする。これらの情報のことを、ソフトウェアの特徴量と呼ぶ。以下に、バグ予測手法の模式図を示す。はじめにソフトウェアの部品から特徴量を取り出し、それをもとに人工知能技術などを用いて、ソフトウェアの部品がバグを含んでいるかどうかを予測する。

本研究では、より効率的なバグ予測を行うためには、どのようなソフトウェアの特徴量がバグの予測に有用であるのか調査した。たとえば、人工知能技術の1つである深層学習手法を用いることで、ソフトウェアの部品への変更からソフトウェアの特徴量を自動抽出することができ、またその特徴量がバグの予測に有用であることを示した。また、ソフトウェアはソースコードと呼ばれる特殊な言語で記述されたコードを利用して作成される場合が多く、ソフトウェアへの変更もコードの書き換えによって行われる場合が多い。この際のコードに対する書き換えが行われた個所の文脈情報を利用することも、バグを予測する上で有用であることを示した。これらの結果を利用することで、どういった特徴量を利用することで、より多くのバグを見つけることができるのかについての知見を与えた。この研究を発展させていき、将来的にはバグのないソフトウェアを開発できるような世界にしたいと考えている。



[1] R. Potvin and J. Levenberg : Why Google Stores Billions of Lines of Code in a Single Repository, Communications of the ACM, Vol.59, pp.78-87 (2016).

[2] O. Mizuno, S. Ikami, S. Nakaichi, and T. Kikuno : Fault-Prone Filtering: Detection of Fault-Prone Modules Using Spam Filtering Technique, In Proc. 1st International Symposium on Empirical Software Engineering and Measurement (ESEM2007), pp.374-383 (Sep. 2007).

(2021年5月26日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：京都工芸繊維大学

推薦文：（ソフトウェア工学研究会）

本論文では、ソフトウェアバグ予測技法の精度に強くかかわる特徴量についての大規模な調査を実施し、既存研究では見逃されていた変更されたソースコードの文脈を考慮する手法の提案や、深層学習手法による特徴量の自動抽出による予測精度向上を実現している。先駆的な内容であり、今後の産業界への応用と貢献が大きく期待できる。

近藤将成（正会員）

研究生活：高等専門学校で初めて研究というものに触れてから、その面白さに魅了され、研究をする職業につきたいと強く思い、博士号の取得を決意しました。研究の分野では英語を話す、聞く、書く、読むのすべての技能が非常に重要なのです。

が、英語があまり得意ではなかったことから英語には苦労しました。しかし、大学および大学院での研究生生活の中で徐々に克服していき、今ではある程度自信を持って英語を使うことができるようになっていきます。また、この体験は自分の中であれほど苦手であった英語でも克服できたという自信にも繋がりました。もし研究が面白いなと少しでも思うのであれば、ぜひ博士号の取得を検討してみることをお勧めします。博士課程での研究は、皆さんのさまざまな能力を大きく伸ばしてくれるはずです。

最後になりましたが、大学及び大学院で指導をしてくださった水野修教授をはじめ、多くの方にサポートしていただき博士号を取得することができました。大変感謝しております。



プロダクトライン開発における可変性モデル化 手法とシステム構成導出への応用の研究



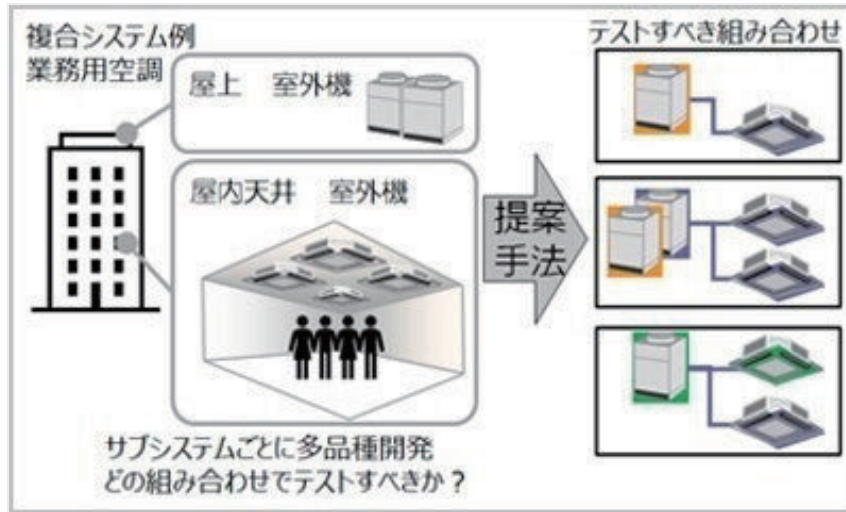
情報処理学会・学会誌「情報処理」

2021年8月15日 08:21



新原敦介

((株) 日立製作所 研究開発グループ 主任研究員)



----- keyword -----

複合システム

可変性分析

システムテスト

【背景】 複合システムにおいて、個別に派生開発されるサブシステムの組合せ数は膨大

【問題】 膨大なシステム構成の全テスト実施は工数的に不可能

【貢献】 テストを実施すべきシステム構成を体系的に導出

本研究では、単独の機器で機能を提供するのではなく、複数のサブシステムが接続され連携して機能を提供する複合システムを対象とする。サブシステムはそれぞれ

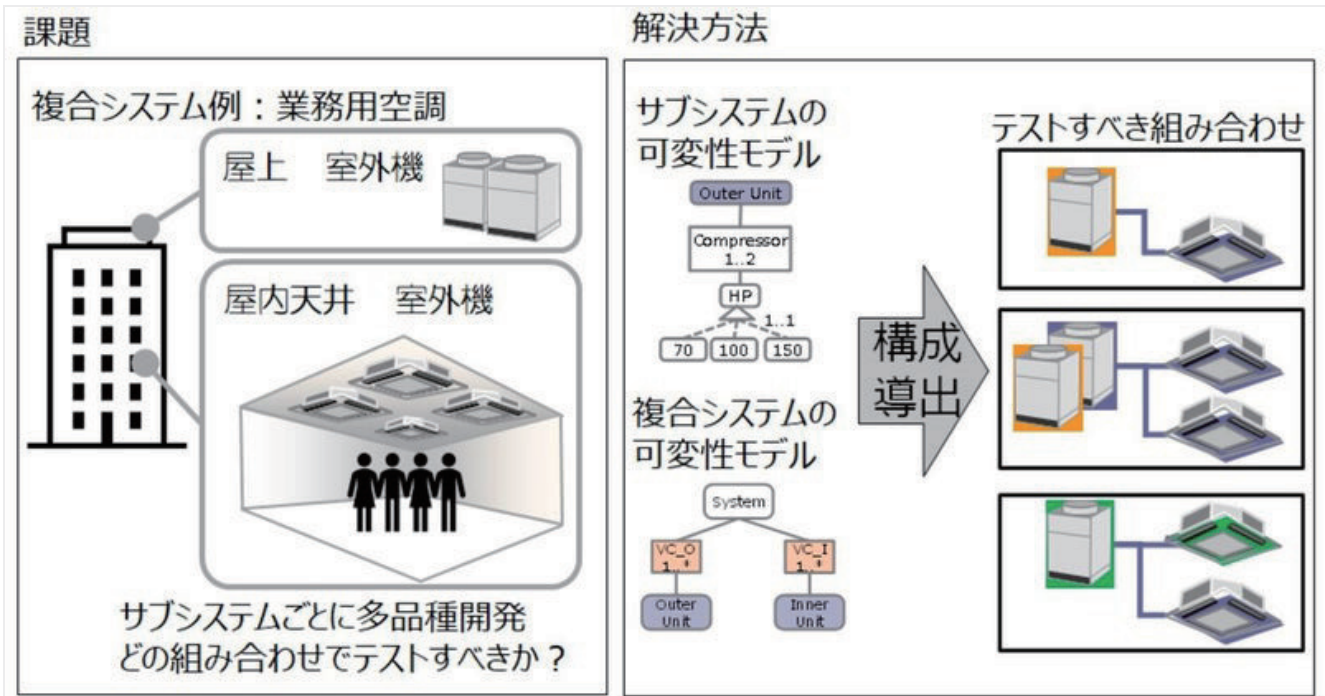
れに派生開発（既製品をベースに改造・拡張開発）されており、廉価機・普及機・高級機などのバリエーションによって機能に細かい差が生じたり、容量が異なったりする。そして、これらのサブシステムが組み合わさった複合システムには、どのサブシステムが何台つながっているのかというバリエーションが生じる。さらに、サブシステムの組合せ方によって、複合システム全体で提供する機能にもバリエーションが生じる。

このような複合システムを出荷する際、理想的には生じ得るすべてのサブシステムの組合せで動作を確認するテストを行いたい。しかし、実際にはサブシステムの組合せ数は膨大となり、すべての組合せのテストは現実的には実施困難である。そこで、テストの確認項目ごとに、サブシステムの組合せを限定してテストを実施する必要がある。長期にわたる派生開発によって蓄積されたテスト項目を実施するためには、テスト項目ごとにどのサブシステムの組合せでテストすべきかを導出することが困難という課題がある。そして、テストを実行する際に、サブシステムの組み換えは、機器の移動や接続の切り替えや初期設定のやり直しなどによって、非常に工数が高い。そのため、複数のテストを実施する際に、サブシステムの組み換え回数を極力少なくしたいという要求がある。

既存の方法には、複合システム向けのバリエーションを管理しやすい形で記述する方法がなかったため、本研究では、まず、バリエーションを分析し表現するための可変性モデル（製品の機能や特徴の共通箇所や差異を整理・記述するもの）を用

いて、複合システム全体とサブシステムの組合せ方やシステム全体の機能を表現するための、複合システム向け可変性モデルを提案した。そして、その複合システム向けの可変性モデルを用いて、テスト項目ごとに実行可能なシステム構成（サブシステムの組合せ）を導出し、テスト項目すべてを網羅する少ない数のシステム構成の組を導出する手法を提案した。

提案した可変性モデリング手法に関して、多くのサブシステムで構成される業務用空調機やPOSレジシステムを例に、被験者実験を行い、提案手法の効果を確認した。その結果、提案手法を用いない方法では、テスト項目を網羅するシステム構成を導出できなかったのに対し、提案手法を用いればテストケースを網羅する少ない数のシステム構成が導出できることを確認できた。



(2021年5月27日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：東京工業大学

推薦文：（ソフトウェア工学研究会）

本論文の主要な貢献に 1) 新しい可変性モデリング手法の提案と 2) テストケース生成への応用があり、これらは産業界の需要を色濃く反映している。事例分析にとどまらず、最終的に一般性のある手法としてまとめ複数の論文誌に掲載されている点でも優れている。プロダクトライン開発研究の未来につながる博士論文として推薦する。


新原敦介（正会員）

研究生活：本研究は、2008年に企業の開発現場で発生していた課題を一般化して取り組みを始めました。それから、トップエスイーの修了制作とノルウェー留学で発展させ、社会人博士として5年半を費やし、博士論文にまとめさせていただきました。足掛け13年と時間はかかりましたが、心が折れても継続することの重要性を感じております。

本研究の推進ならび博士論文をまとめるにあたり、多大なご指導をいただきました佐伯元司教授、林晋平准教授、鷲崎弘宣教授、オイステン ホウゲン教授に、心よりお礼申し上げますとともに、企業における研究開発を指導していただいた職場の皆様へ感謝いたします。



Decoding the Representation of Source Code Categories in the Brain of Expert Programmers

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:23

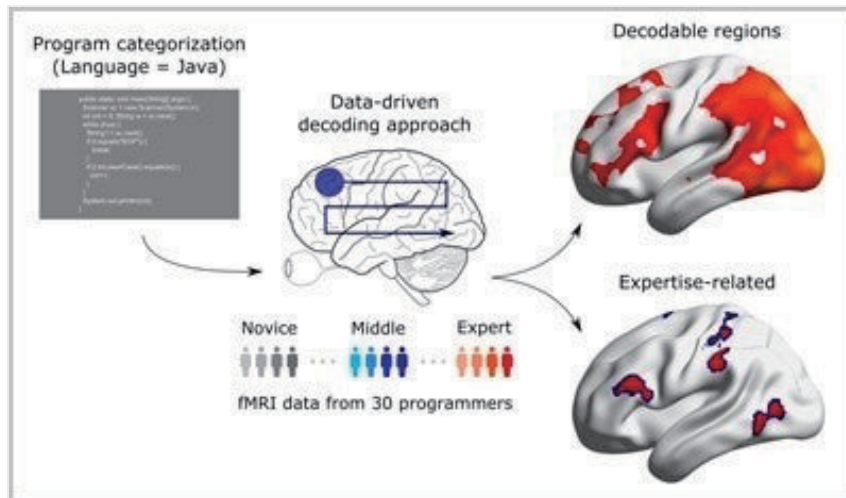


邦訳：エキスパートプログラマを対象としたソースコードカテゴリの脳情報デコーディング

幾谷吉晴

(アマゾンウェブサービスジャパン (株))

プロフェッショナルサービスコンサルタント)



----- keyword -----

プログラミングの脳科学

脳情報デコーディング

fMRI

【背景】 プログラミング能力を有した人材の育成は世界的な重要課題

【問題】 プログラミング能力がヒトの脳内でどのように実現されているか不明

【貢献】 熟練度の高いプログラマーの脳活動に特徴的なパターンを発見

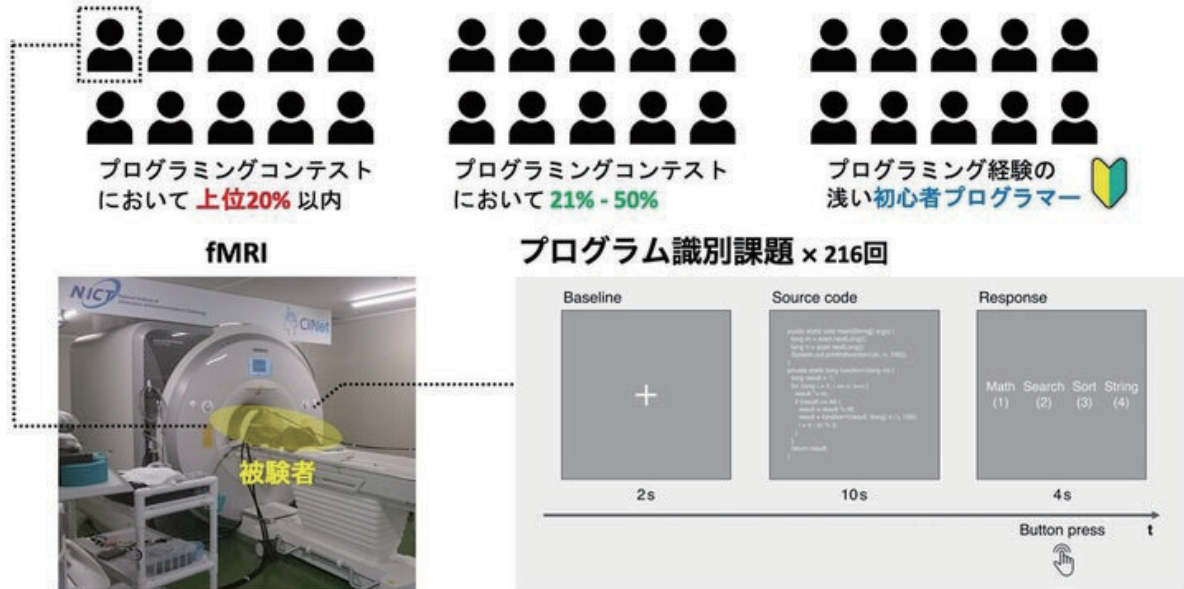
日常のあらゆるものが電子化され、インターネットに接続される現代社会において、プログラミング能力を有した人材の確保・育成は世界的な重要課題となっています。2019年4月に経済産業省が発表した、「IT人材需給に関する調査」では、2030年の日本において45万人のIT人材が不足すると予測されています。また、2020年から小学校でプログラミング教育が必修化されるなど、プログラミング人材の育成に対する社会的な意義や重要性がますます大きくなっています。しかし、プログラミングは人類の歴史においても比較的新しい活動であり、その能力がヒトの脳内でどのように実現されているかは、ほとんど分かっていません。

わたしの研究は、「ヒトのプログラミング能力はどのように実現されているのか？」という疑問に対し、神経科学（脳科学）のアプローチから解決を試みるものです。特に競技プログラミングの能力に着目し、世界最大のプログラミングコンテストサイトの1つであるAtCoderにおいて、上位20%に位置する能力を持つプログラミング上級者10名、上位21～50%に位置する中級者10名、プログラミング経験の浅い初心者10名を被験者として採用しました。そして、被験者がJavaで書かれたプログラムを読解しているときの脳活動を、fMRI（functional Magnetic Resonance Imaging）という脳活動計測装置を用いて調べました。

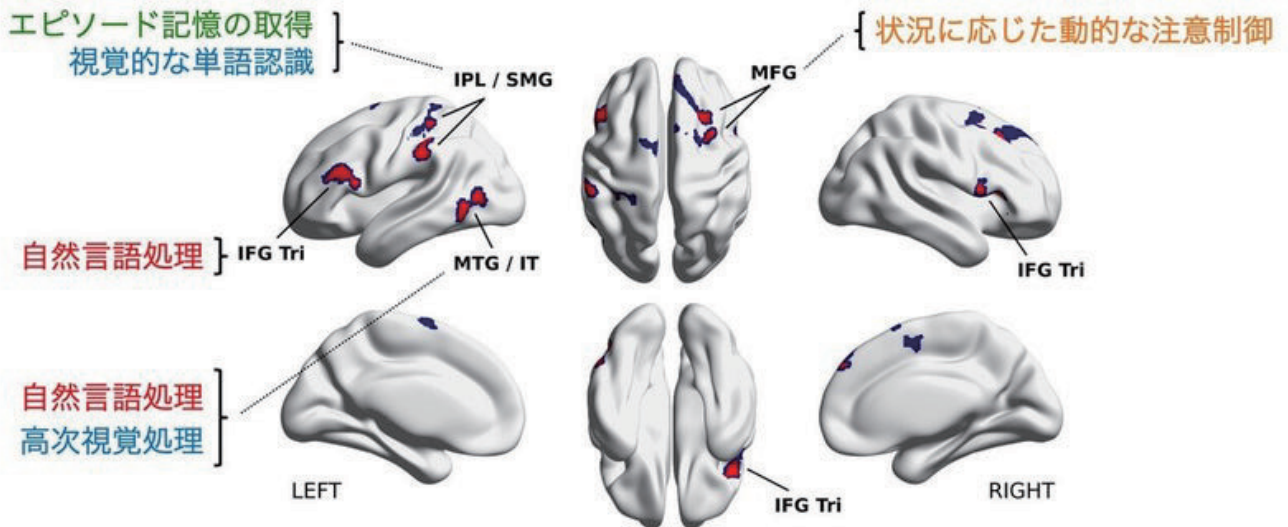
その結果、前頭葉・頭頂葉・側頭葉にわたる複数の脳領域の活動が、各被験者のプログラム理解能力の高さに関連することを発見しました。具体的には、脳情報デコーディング技術を応用し、実験時に提示されたプログラムの内容を被験者の脳活動パターンから読み取ったところ、前頭葉・頭頂葉・側頭葉にわたる複数の脳領域における読み取り精度の高さが、各被験者のプログラム識別課題の正答率と有意に相関することが分かりました。この結果は、プログラミングへの習熟が特定領域の脳活動パターンの精緻化と関連する可能性を示しています。つまり、高いプログラミング能力を持つ上級者の脳活動パターンほど、プログラムの内容をうまく捉えられるように洗練されている可能性を示唆しています。

本研究によって、上級者の持つ高いプログラミング能力が、前頭葉・頭頂葉・側頭葉にわたる複数領域の脳活動パターンの精緻化と関連している可能性が示されました。これまで曖昧で抽象的なものとして扱われてきたプログラミング能力を、具体的な脳領域の活動パターンと結びつけられたことは、IT人材育成やプログラミング教育の質の向上を考えていくための基礎的な知見として重要な意味を持つと考えています。

実験の全体像



プログラム理解能力の高さに関連する脳領域



■本研究成果に関する大学のプレスリリース

<http://www.naist.jp/pressrelease/2020/12/007534.html>

(2021年5月25日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：奈良先端科学技術大学院大学

推薦文：（ソフトウェア工学研究会）

本論文は、プログラミングにおける初心者と熟練者の差異を脳活動の観点から初めて明らかにしたものである。特に、プログラミングという特定領域に特化するために微調整された「脳の皮質表現」上に、プログラミングの専門性が構築されるとする実験結果は、広くソフトウェア開発にかかわる人材育成への応用、貢献が期待される。




幾谷吉晴

研究生活：わたしの博士研究は、これまで主としてソフトウェア工学分野で検討されてきた課題に対し、神経科学的なアプローチから解決を試みるという、非常に学際的なものでした。新しい研究分野を開拓し、前例のほとんど存在しない領域に足を踏み入れられることは、3年間ないしは5年間にわたり、研究活動に没頭することを許される大学院博士課程の醍醐味だと思います。本研究の実現にあたり、非常に多くの方々のご協力をいただきました。特に同博士論文における研究デザイン、MRIデータの収集と分析、および論文化に際し、神経科学の専門的な見地からご指導いただいた西田知史先生（NICT CiNet）、西本伸志先生（大阪大学）に心から感謝いたします。博士課程在学中の長きにわたり、研究指導をいただいた奈良先端科学技術大学院大学の先生方、畑秀明先生（現 信州大学）、久保孝富先生、池田和司先生、松本健一先生に、この場を借りて改めてお礼申し上げます。



Mapping Optimization Techniques for Coarse-Grained Reconfigurable Architectures

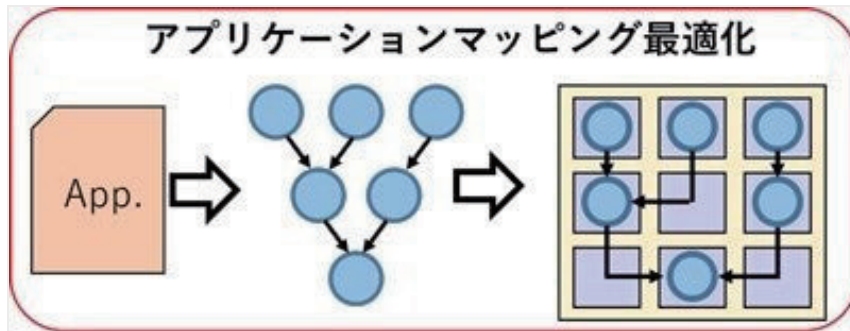
 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:24



邦訳：粗粒度再構成可能アーキテクチャCGRAのためのマッピング最適化手法

小島拓也

(慶應義塾大学 訪問研究員／日本学術振興会 特別研究員PD)



----- keyword -----

粗粒度再構成可能アーキテクチャ

多目的最適化

省電力化

【背景】 エネルギー効率に優れた計算機に対する需要

【問題】 多様化する用途に応じる最適化手法の欠如

【貢献】 多目的最適化を可能にする新たなアルゴリズムを考案

IoTデバイスやウェアラブルデバイスの普及に伴い、画像処理や信号処理などの計算を十分高速に、かつ、バッテリーで長時間稼働できるようなエネルギー効率に

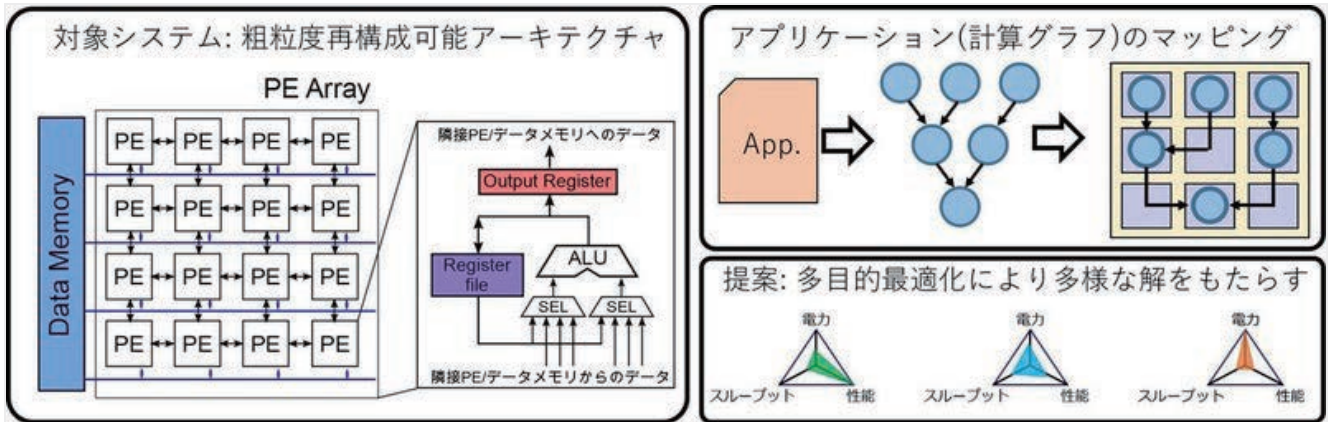
優れたデバイスが求められている。

粗粒度再構成可能アーキテクチャ（CGRA: Coarse-Grained Reconfigurable Architectures）はこのような要求を満たすデバイスとして期待されている。CGRAは多数の演算処理ユニットPE（Processing Element）が相互に接続された構造（図左）を持っており、これを用いて効率的な計算を行う。CGRAで実行する計算はデータフローグラフと呼ばれる演算同士の依存関係を示したグラフで示される（図右上：青い円は1つの演算—たとえば加算や乗算など—を表す）。この計算をCGRAで実行するには、どの演算をどのPEに割り当てるかを決定する必要がある。この操作をマッピングと呼ぶ。このとき、依存し合う演算が割り当てられたPEは互いに接続可能な位置にある必要があり、非効率的な割り当てをしてしまうと高い性能を達成できない、PEが不足し実行できないといった問題を引き起こしてしまう。

したがって、効率的に計算をマッピングする手法が広く研究されている。しかし、既存の手法は最適化の対象が実行時間（性能）など特定の項目に特化しており、多様化する用途に柔軟に対応することができていなかった。たとえば、バッテリー駆動型のデバイスで、あらかじめ決まった時間内で計算を完了すればよいシステムにおいては、その時間よりも早く計算を完了させても意味がない。それよりも時間内に完了し、なるべく消費エネルギーを小さくすることのほうが重要である。

そこで、本研究では計算のマッピングを行う問題を解くために、遺伝的アルゴリズムを採用した。遺伝的アルゴリズムとは、組合せ最適化問題などの解を遺伝子として表現し、生物の進化を模倣した操作を繰り返すことで、より良い解を探索するためのメタヒューリスティクス★1である。相反する複数の最適化項目を同時に最適化することができるアルゴリズムが存在し、本研究でも同様のアプローチをとっている。たとえば、高い性能を得ようとすれば、通常は消費電力が増加してしまうが、本研究が提案した手法を用いることで、高性能に特化したマッピング、省電力性に特化したもの、いずれの項目もバランスの取れたものなど多種多様なマッピングを解として見つけることができる（図右下）。ユーザはこの中から自身の要求に合うものを選択し利用することができる。

本研究の評価はシミュレーションだけでなく、試作チップを用いた実機測定に基づいている。3種類の異なる試作チップに対して評価を行った結果、既存手法と比較して、提案手法によるマッピングは最大で46%ほどの消費エネルギーを削減できることを示した。



☆1 特定の問題に依存せず，さまざまな最適化問題に対して十分な品質の解が得られる汎用的な解法のこと。本研究で利用している遺伝的アルゴリズムの他に，蟻コロニー最適化，粒子群最適化，焼きなまし法などがある。

(2021年5月30日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：慶應義塾大学

推薦文：（システム・アーキテクチャ研究会）

簡単なプロセッサによるアレイを構成要素とする粗粒度再構成デバイスは、エネルギー効率が高いことからIoTデバイスなどに利用されている。この論文はこのデバイス上にアプリケーションを搭載する際の最適化手法を確立し、実用的なCADツールを構成した点で高く評価され、海外の著名ジャーナルに掲載された。

小島拓也

研究生活：学部生で慶應義塾大学天野研究室に配属されて以来、博士課程に至るまで継続して粗粒度再構成可能デバイスCGRAに関する研究に従事してきました。この間、関連分野への調査を積極的に行い、研究内容の視野を広げスケールを徐々に拡大させることができ、本研究としてまとめあげることができました。この過程で、研究室の諸先輩方や指導教員の天野英晴教授には自身のアイデアを尊重していただき、多くのサポートをいただきました。おかげで、主体的に研究活動を行う力が身についたと感じています。今後も見聞を広げることを怠らずに、IT技術の発展に貢献できるよう研究活動に邁進してまいります。



チップ間誘導結合通信を用いた形状自在計算機システム



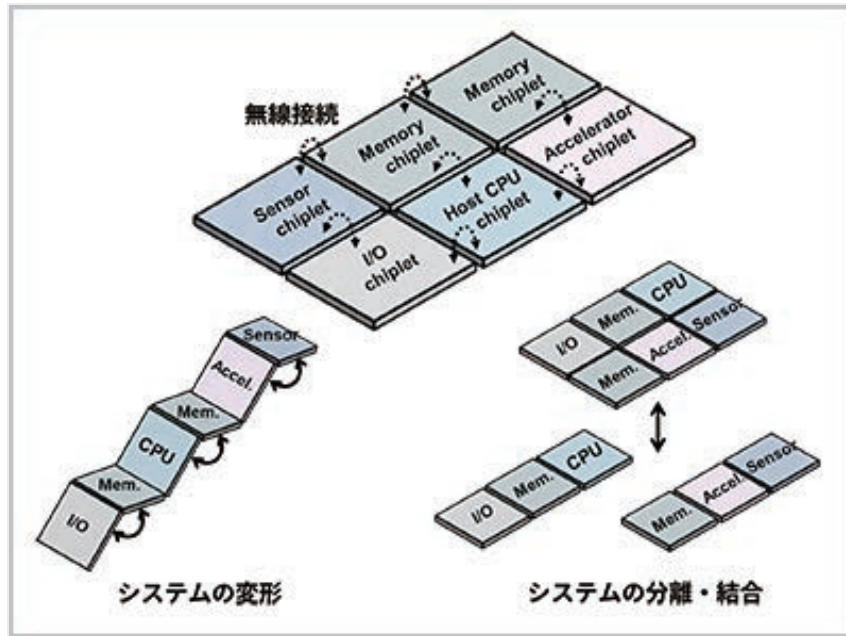
情報処理学会・学会誌「情報処理」

2021年8月15日 08:27



門本淳一郎

(東京大学)



----- keyword -----

無線通信

コンピュータアーキテクチャ

ユーザインタフェース

【背景】 組み込みデバイスの多様化・多機能化

【問題】 計算機システムのサイズと固定的な実装形状

【貢献】 無線接続された複数小型チップから成る計算機の提案と実装

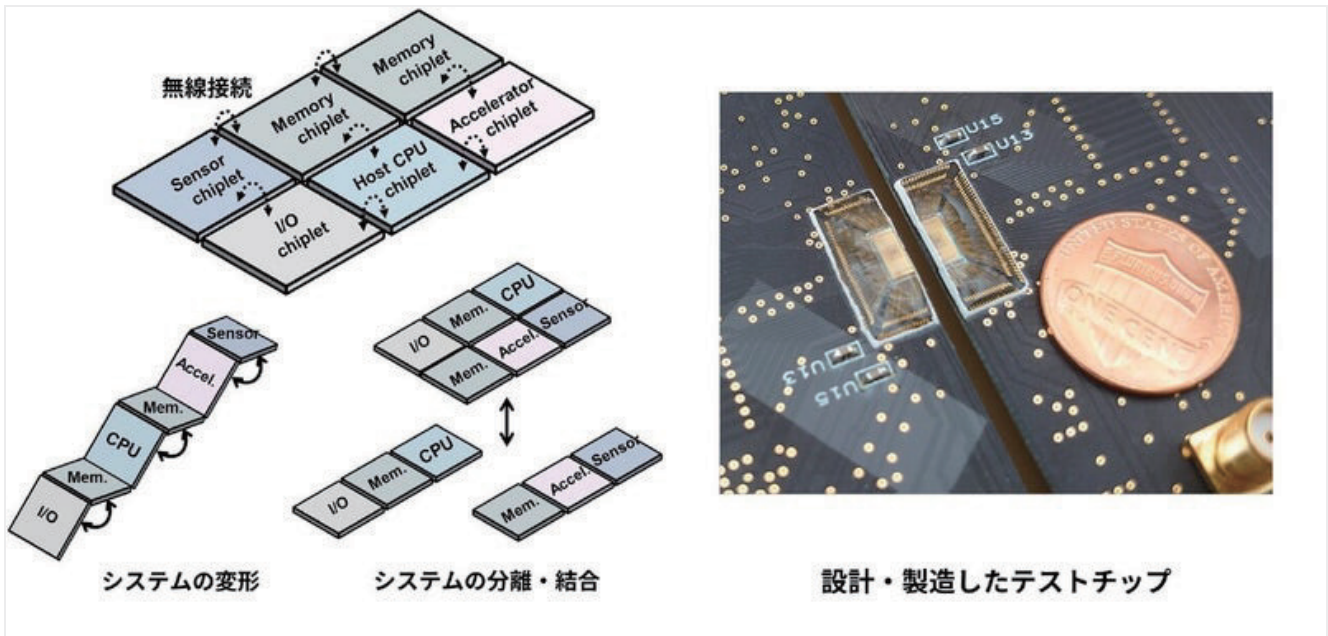
計算機システムはその小型化や低消費電力化にともなって多様なデバイスへと組み込まれるようになり、我々の生活空間に浸透している。計算機システムの今後の

アプリケーションとして注目すべきものに、形状変化する組み込みデバイスがある。たとえばミリメートルスケールのサイズへとコンパクトに折りたたまれ、変形するマイクロロボットが提案されている。また、群れを成すマイクロロボットやそれらから組織的に構成されるユーザインタフェースの研究が進められている。こうした研究の視線の先には、デバイス上への計算機搭載による高度な協調分散処理の実現がある。ここで搭載における大きな課題は計算機の物理的なサイズと実装手法である。

計算機システムの実装手法として、SiP (System-in-a-Package) が注目を浴びるようになってきている。これは、無線通信回路チップやセンサチップといった複数の異なるチップを集積し多機能なシステムを実現するものである。しかし既存のSiPは、複数の構成要素を単一のチップ上へと搭載するSoC (System-on-a-Chip) と同様、センチメートルスケールのパッケージへと固定的に格納されることを前提とした実装手法となっており、実装形状や製造コストの点で形状変化する組み込みデバイスには適していない。

このような背景の下、本研究では形状変化する組み込みデバイスに向けた新たな計算機実装手法として、形状自在計算機システムを提案した。ここでは隣接して配置された複数の小型チップが無線接続されることで組織的に1つのシステムを構成し、多様な機能・形状とその変更を実現する。

論文では、提案システムの要となるチップ間無線通信技術として、オンチップアンテナ間の誘導結合を活用した無線バスを提案した。アンテナは標準的な内部配線を用いて形成するため追加の加工コストは不要である。既存の搬送波を利用したチップ間無線通信技術と比較して高速かつ低消費電力なチップ間通信が達成可能であること、有線通信と同等の信頼性を持つことを電磁界シミュレーションによる解析とテストチップの実測評価を通して明らかにした。また、提案する無線通信回路を搭載したプロセッサチップにおける電磁的干渉の課題やインタフェース仕様について整理し、その設計指針を示した。汎用プロセッサコアと無線通信回路を混載したテストチップを実際に設計・製造し、隣接配置した複数のプロセッサチップ間での無線通信が可能であることを実測評価によって明らかにした。最後に形状自在計算機システムのプロトタイプを示すとともに、開拓されるアプリケーション領域について議論を行った。



(2021年4月26日)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（情報理工学）

大学：東京大学

推薦文：（システム・アーキテクチャ研究会）

これからの微小コンピュータを実現する「形状自在コンピュータ」の構成を提案

し、設計の要点を体系化した論文です。半導体チップの周辺に近接場通信用のリングを配置し、複数の微小チップが位置を変えながら隣接協調することで、これまでコンピュータが入り込めなかったような細部や可変部分への計算力付与を可能とします。


門本淳一郎（正会員）

研究生活：無線通信と計算機とに興味があり、したがって、無線通信する計算機について研究を行ってきました。当初は集積回路技術中心の研究内容でしたが、専門分野の異なる多くの方々との議論を通じてシステムアーキテクチャやアプリケーションへと話題が広がっていきました。在学中は悩むことばかりだったような気もしますが、数年という期間、何よりも個人として、無謀にも思われる問題へと向き合えたことは終わってみるとやはり嬉しいものだったように思います。複雑な物事を構造的に整理し、科学的知見をもってそれを馴致する、そういった能力を育むにあたって博士課程への進学は魅力ある選択肢だと思えます。



Increasing Developer Productivity by Improving Build Performance and Automating Logging Code Injection

♡ 1

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:28



邦訳：ビルド高速化とログの自動挿入による開発者の生産性向上に関する研究

窪田貴文

((株) フィックスターズ ソフトウェアエンジニア)



----- keyword -----

ビルド高速化

ビルドシステム

ログの自動挿入

コード解析

【背景】 システムソフトウェア開発の大規模化（開発者人数，コードサイズ）

【問題】 大規模なシステムソフトウェアのデバッグ・ビルド時間の増大

【貢献】 ロギングコードの自動挿入によるデバッグ支援と新しいビルドシステムによるビルド時間の短縮

近年、ソフトウェア開発の規模（開発者人数、コードサイズ）が爆発的に増大しています。そして、大規模なプロジェクトでは円滑に開発を行うために開発プロセスの一部を自動化することが一般的です。たとえば、GitHubでは新たな変更が加えられたときに自動でビルドを実行して正しくビルドができるか確認できるような機能が存在します。しかし、このように自動化によって開発効率を向上させることができる一方で、どうしても手間や時間がかかる作業が存在してしまいます。この博士論文ではその中でデバッグとビルドというプロセスに着目しています。この2つのプロセスは非常にコストのかかるプロセスと知られています。たとえば2013年に行われた443人のソフトウェアエンジニアを対象とした調査では、勤務時間のうち多くの時間をビルドの完了を待つのに費やされています [1]。また、デバッグも勤務時間の半分を占めていると言われており、金銭に換算すると\$321billion/年にもなると言われています [2]。なので、ソフトウェア開発を効率的に行うためにはこの2つのプロセスを改善することが重要となります。

デバッグは非常に大変な作業として知られています。さまざまなデバッグ方法がありますが、一番原始的で今でもよく用いられているのはログを用いたデバックです。一方、ソースコード中のどこでどのような内容をログとして出力すればいいかは複雑で巨大なシステムになるほど判断が難しくなってきます。そこで、博士論文

では開発者が大規模なシステムソフトウェアの細かな知識を持たなくてもデバッグの際に有用なログを出力できるようにロギングコードの自動挿入をするシステムを提案しています。提案手法は、世界中で広く使われているLinuxカーネルの未知のバグのデバッグ支援に貢献しました。

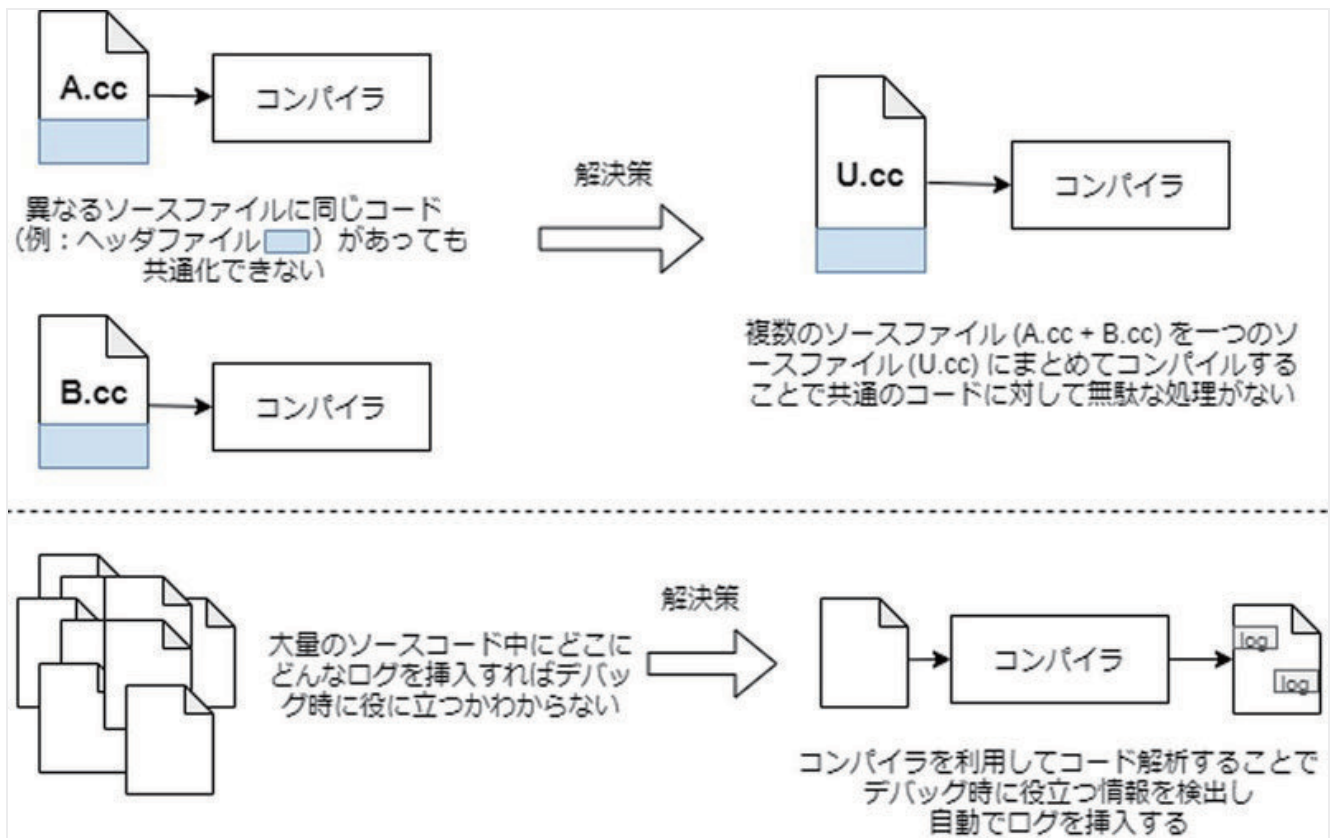
また、ビルド時間も大きな問題の1つになってきています。たとえば、iPhoneのウェブブラウザであるSafariのブラウザエンジンであるWebKitは何十万円もする高性能なサーバでもビルドに1時間以上かかっていた。WebKitはオープンソースのため、誰でも開発に参加できます。個人の開発者は自身のPCでビルドすることが多いため、実際にはより長くビルド時間がかかっていると推測されます。また、WebKitのような大きなプロジェクトは開発が活発で頻繁にビルドが発生するため、ビルド時間を短縮することは開発効率を上げるうえで非常に重要です。そこで、博士論文では各ソースファイルを単体でコンパイルするのではなく、複数のソースファイルをまとめてコンパイルすることで異なるソースファイルで同じ処理をしている部分を省略することでビルド時間を短縮する研究を行いました。その結果、WebKitのビルド時間を23%削減することができました。

参考文献

[1] <https://www.infoworld.com/article/2613762/software-engineers-spend-lots-of-time-not-building-software.html>

[2] <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?>

[doi=10.1.1.370.9611&rep=rep1&type=pdf](https://doi.org/10.1.1.370.9611&rep=rep1&type=pdf)



(2021年5月28日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年2月

学位種別：博士（工学）

大学：慶應義塾大学

推薦文：（システムソフトウェアとオペレーティング・システム研究会）

基盤ソフトウェアの大規模化が進み、その開発手法の効率化が重要となっている。本論文ではLinuxカーネルを含む大規模なC/C++ソフトウェアを対象に、デバッグ時間やビルド時間の短縮を行う手法を提案し、Linuxカーネルにおける実際の障害のデバッグや、ウェブブラウザのエンジンであるWebKitのビルド時間の短縮に成功している。


窪田貴文

研究生活：もともと学部生のときから、オペレーティングシステム（OS）やコンパイラなどプログラミングをする上で当たり前とされているものについて興味がありました。研究室配属後に両方の知識が必要となるOSのコードをコンパイラ技術によって自動解析するという研究をはじめました。新規性のあることは誰もやっていないことなので、とにかく時間がかかりますが、新しい発見や問題を発見できる喜びを知ることができます。また、なかなか論文をacceptさせるのは難しく、大

変でしたが、研究でしか身につけられない能力が鍛えられました。研究テーマの考え方、論文を読んだときの着目点、自分の研究を俯瞰的に見てプレゼンする、といったことです。最終的にはC++ プロジェクトのビルド高速化という研究テーマを立ち上げ、論文をacceptさせることができたのは地道に研究を続けてきた成果だと思います。博士課程は決して楽なものではないですが、学生として研究の面白さに十二分に没頭できる最後のチャンスなのでぜひ挑戦してみてください。



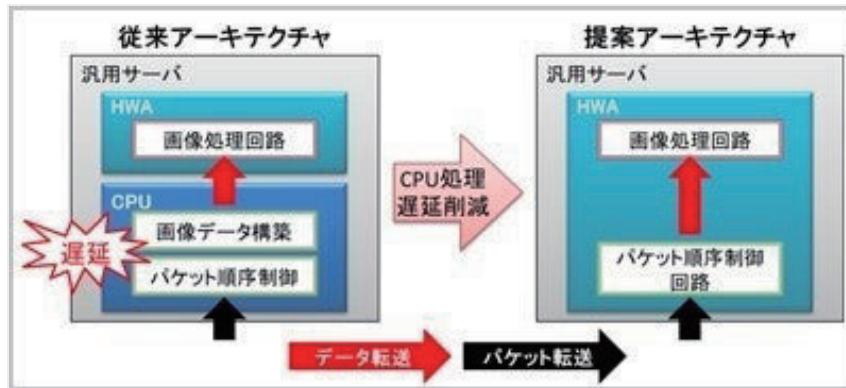
ハードウェアアクセラレータを活用したクラウド基盤技術 “Video Service Function Chaining” に関する研究

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:29



右近祐太

(NTTアドバンステクノロジー (株) 副主任技師)



----- keyword -----

クラウドコンピューティング
ハードウェアアクセラレータ
リアルタイム画像処理

【背景】 コンピュータビジョンなど高度なクラウドサービスの需要が増加

【問題】 ユーザの個々の目的に合致したサービスを提供できない

【貢献】 柔軟なクラウド画像処理サービスを実現する基盤を提案

近年、コンピュータビジョンや人工知能（AI）などの高度なクラウドサービスの需要が高まっている。これらのサービスを高速かつ低消費電力で提供するために、CPUとHWA ☆1 を用いたシステムが検討されている。これらのサービスに対する

ユーザの要求はさまざまであり、ユーザの目的に応じてサービスをカスタマイズできることが望ましい。しかし、既存のシステムは不特定多数のユーザに向けて単一のサービスを提供することを目的としており、ユーザの目的に合致したサービスを提供できない。

ユーザの個々の目的に合致したクラウド画像処理サービスを提供するために、ネットワーク上で任意の画像処理機能（サービスファンクション）を組み合わせる“Video Service Function Chaining”（VSFC）を提案する。既存研究はネットワークサービスを柔軟に提供することを目的としており、ユーザごとに異なった条件で高品質な画像処理サービスを提供するなどの高度な情報処理サービスに対する実現例はなく、その実現のためには低遅延かつ低消費電力のサーバノードの開発が必要である。そこで、本研究では2種類の技術によりサーバノード内の遅延を削減し、VSFCによる高品質なクラウド画像処理サービスを実現する。

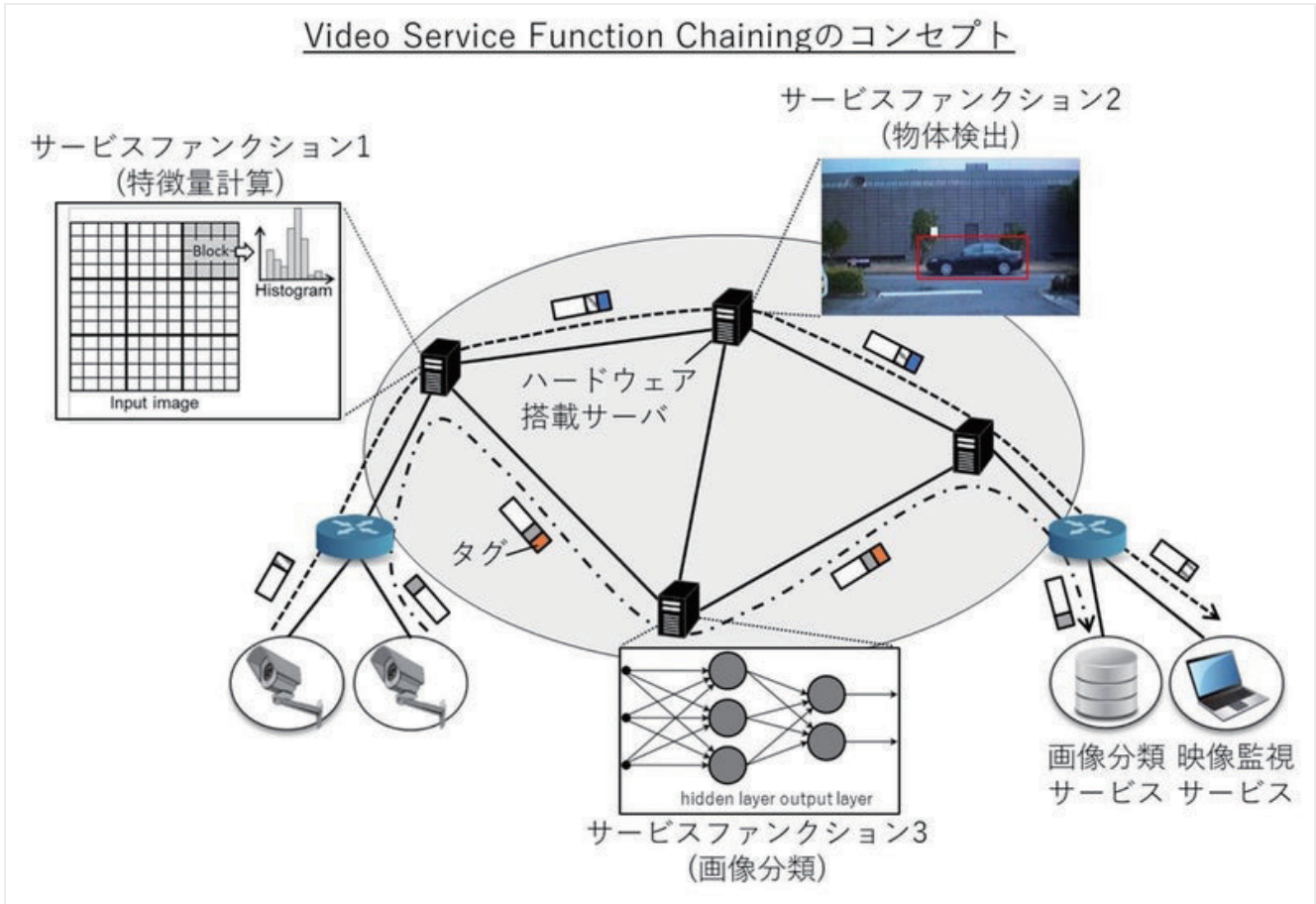
まず、サーバノード内で低遅延データ転送を実現するCPU-HWAサーバアーキテクチャを提案する。提案アーキテクチャはCPUが受け取ったパケット（画像データの断片）をネットワークレベルでHWAに転送し、HWAでパケットを正しい順序に整列させ、適切なタイミングで画像処理回路に入力する。これにより、従来CPUで発生していた遅延を回避することができる。実験では、提案アーキテクチャで画像処理（HOG特徴量計算）を行うと、従来構成に比べてデータ転送および処理を高速に行い、26分の1の小さな処理遅延で動作することを示した。また、画像処理を

FPGAにオフロードすることで、CPUのみのシステムと比べて消費電力が37%削減されることを示した。

次に、計算エラーを許容するアプリケーションにおいて、処理を高速化するための可変レイテンシ回路を提案する。提案回路は入力データごとに計算完了を検出し処理時間を変えることで、高速な動作を実現する。この回路は計算完了を誤検出した場合、計算エラーが発生する可能性があるが、エラー率は制御可能であり、低いエラー率で高速に動作できる。実験により、画像処理を行う可変レイテンシ回路が、わずかな計算エラーを許容することで、従来回路と比べて高速に動作することを示した。

さらに本研究では、2種類のサービスファンクションからなるVSFC対応映像監視サービスを開発した。提案アーキテクチャを用いてこれらのサービスファンクションを組み合わせることで、50台のネットワークカメラからの60fpsのVGA映像をリアルタイムに監視できることを示した。次に、サービスファンクションを可変レイテンシ回路で実現することで、サービス品質をほとんど低下させることなく処理性能が向上し、低遅延な映像監視サービスを実現できることを示した。

☆1 Hardware Accelerator：処理の高速化を支援するハードウェア



(2021年5月30日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：東京工業大学

推薦文：（システムとLSIの設計技術研究会）

クラウド上で、複雑なアプリケーションをリアルタイム実装するための基盤技術として、CPU-FPGAシステムを対象としたハードウェアアクセラレーション方法を提案する。パケット並べ替えを効率的に実現する回路を開発することで、従来のCPU-FPGAシステムと比べて26倍高速化できた。

右近祐太（正会員）

研究生活：この研究は世の中でどう使われるのだろうか，修士過程に在籍していた私はそんな疑問を持っていました。その疑問にアイデアが浮かんだのは大学を卒業して社会人になってからでした。働きながら大学に再度行くことは難しい決断でしたが，研究をやり遂げたい，世の中に役立つことを示したい，との思いから社会人ドクターになることを決意しました。

仕事と研究の両立はなかなか大変でしたが，その分多くのことが得られました。たとえば，限られた時間の中でアイデアを形にする力です。優れた技術でも旬を

逃しては普及させることはできません。そのため、博士課程でこの力を鍛えることができたのはありがたいことでした。その意味で社会人ドクターはおススメです。

最後に、7年半もの間終始熱心なご指導を賜りました、指導教員の高橋篤司教授にこの場を借りて心より感謝申し上げます。また、機会を与えてくださったNTT研究所に感謝申し上げます。



Second-order Optimization for Large-scale Deep Learning

♡ 2



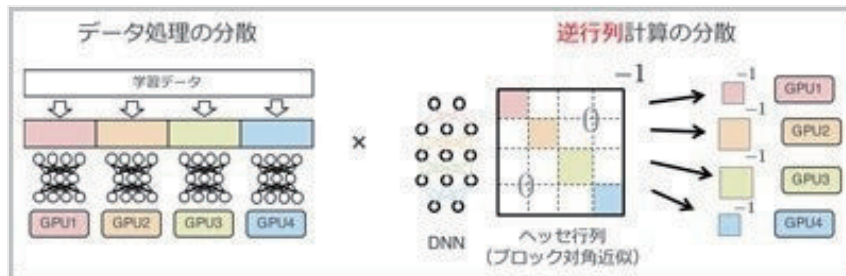
情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:31



邦訳：大規模深層学習のための二次最適化

大沢和樹

(スイス連邦工科大学チューリッヒ校 (ETH Zürich) ポスドク研究員)



----- keyword -----

深層学習

スパコン

二次最適化

【背景】 大規模データ・ニューラルネットワークを用いた深層学習の需要の高まり

【問題】 膨大な学習時間の削減

【貢献】 スパコンと二次最適化手法を用いた学習の高速化

深層ニューラルネットワーク (DNN) を用いた機械学習手法である深層学習の研究が近年盛んに行われている。DNNが画像認識や自然言語処理の認識ベンチマークにおいて古典的な機械学習手法を凌駕したことを皮切りに、自動運転・機械翻

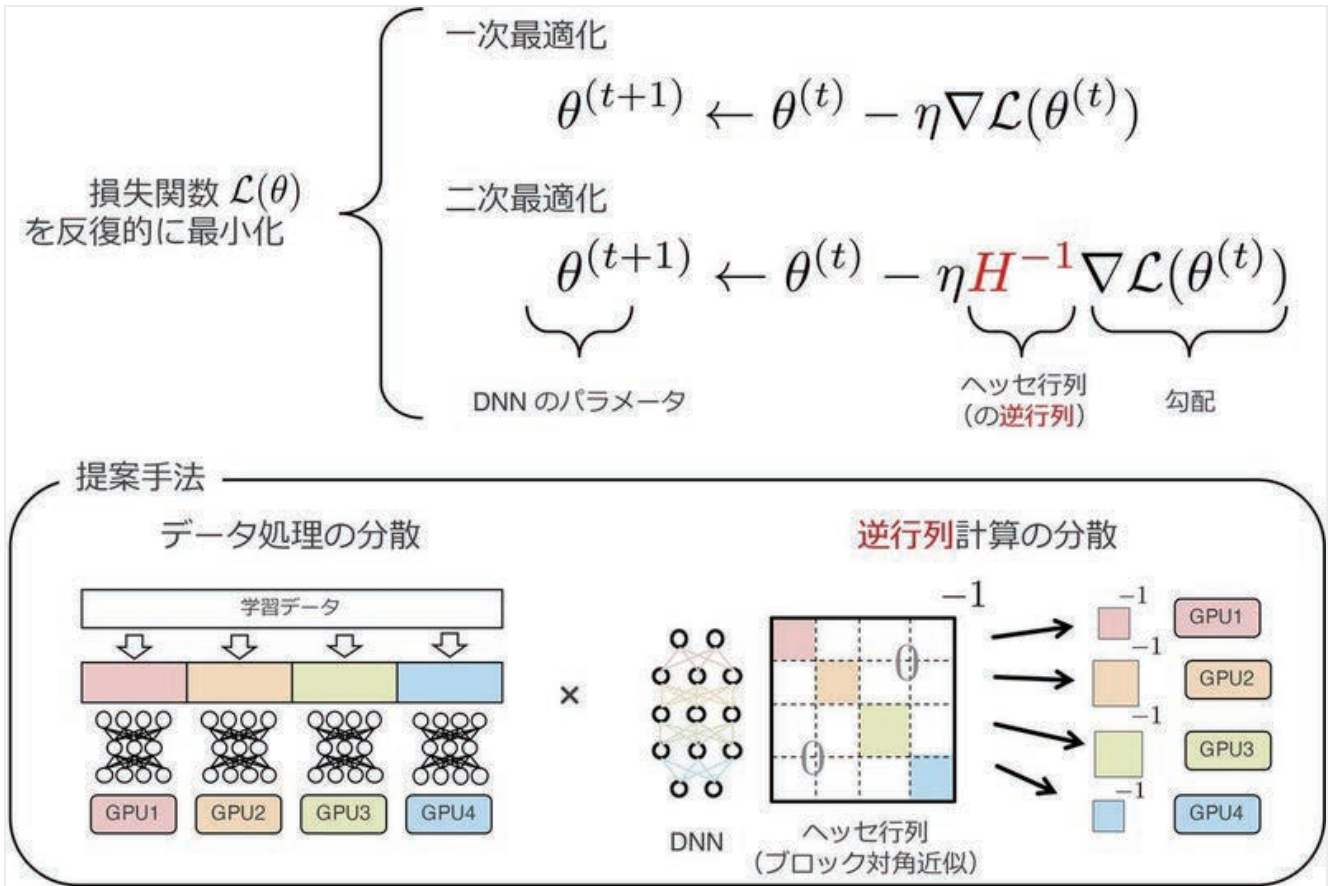
訳・医療などの実社会における問題から、新しい天体の発見・天気予報・タンパク質の構造解析などの科学技術計算に至るまで、幅広い分野に渡って急速に応用が進められている。

DNNの応用および研究を支える1つの重要な柱として、高性能ハードウェア（例：GPU, TPU）やスーパーコンピュータ（以下、スパコン）を駆使した高性能計算技術がある。高性能計算技術による学習の高速化が学習データ・ニューラルネットワークの大規模化を実現し、近年の深層学習の発展に大きく貢献した。その延長として、膨大なデータ数（数百万～数千万）と膨大なパラメータ数（数千万～数億）のDNNを要する「大規模深層学習」がより高い性能を発揮することが経験的に知られており、DNNによる予測性能の最高記録を今なお更新し続けている。しかし、こうした優れた性能を発揮するDNNの発見のためには、DNNの構造と学習方法についての膨大な試行錯誤が必要不可欠であり、大規模深層学習においてはその膨大な学習時間の削減が重要な課題となっている。

深層学習においては、DNNによる予測とデータとの誤差を定量化する損失関数を定義し、この損失関数をその勾配（一階微分の集まり）を用いて反復的に最小化する「一次最適化手法」が一般的である。これに対し、関数のヘッセ行列（二階微分の集まり）を用いた「二次最適化手法」は、関数の形状をより正確に捉えるため、より少ない反復数で損失関数を最小化することが期待される。一方で、膨大なパラメータ数（ N ）を持つDNNについて巨大なヘッセ行列（ $N \times N$ 行列）を計算す

ることは計算時間・メモリの制約上現実的ではない。その上、ヘッセ行列の逆行列計算に伴う膨大な計算時間を必要とするため、深層学習における二次最適化手法の応用は限られていた。

本研究では、近年発達した効率的な二次最適化近似手法とスパコンを駆使した分散並列計算を組み合わせることで、大規模深層学習におけるDNN学習の高速化の実現を目指した。本研究では、(近似された)ヘッセ行列及びその逆行列の計算をスパコン上の複数の計算機(数百～数千GPU)に分担させる大規模分散並列計算手法を提案し、大規模画像データセット(1000クラス・128万画像)の分類タスクにおける大規模DNN(2千万パラメータ)の学習の高速化を実現した。同タスクの学習を同じく大規模計算機で実現している既存研究ではいずれも単純な一次最適化手法が用いられてきたのに対し、本研究では二次最適化手法を採用し高速な学習時間を達成できることを初めて実験的に示した。この研究成果は、今後の深層学習における学習手法の研究に向けて大きなインパクトを持つものと考えている。



(2021年5月31日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：東京工業大学

推薦文：（ハイパフォーマンスコンピューティング研究会）

深層学習を分散並列化する場合、二次最適化に伴う行列計算のオーバーヘッドが並列処理によって大幅に低減できる。本論文では、これを活かして2次最適化や変分推論に用いられるフィッシャー情報行列のクロネッカー因子分解の分散並列処理を数千GPU規模で行い、大幅な性能向上を実現した。

大沢和樹

研究生活：私は高性能計算を専門とする東工大・横田理央研究室に第一期生として入研し、修士・博士課程の合計5年間所属しました。当時から大変注目が集まっていた深層学習を研究テーマとして選び、「高性能計算で深層学習を高速化する」という漠然とした目標を掲げて研究を始めました。研究室の先輩もいなければ、研究の知見もないゼロからのスタートだったため、修士の2年間は何をしてよいのかも分からず、満足のいく研究成果も出せない苦しい状況が続いていました。それでも論文サーベイを続けることで、高性能計算が深層学習において二次最適化のメリットを引き出す可能性があることを発見しました。博士課程で取り組んだ「大規模深層学習のための二次最適化」の研究は、共同研究者・研究室メンバの助けもあり、機械学習分野トップの国際会議・ジャーナル（CVPR, NeurIPS, KDD,

TPAMI) に採択されました。国際的にインパクトのある研究ができたこと、そしてその方針を自ら見出せたことは大変大きな自信となりました。

5年間のご指導と国内外の数多くのチャレンジの機会を与えていただいた横田理央准教授に心よりお礼申し上げます。



Algorithms and Analysis of M-convex Function Minimization and Related Problems

 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:32

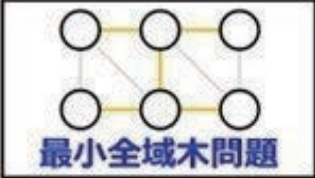


邦訳：M凸関数最小化および関連問題に対するアルゴリズムと解析


南川智都

(東京都立大学 助教)

M凸関数最小化



最小全域木問題



分離凸資源配分問題

解きやすい離散最適化問題に
対する統一的枠組み

【貢献】

- ・ アルゴリズムの反復回数の解析
- ・ 定式化可能な問題の提案

----- keyword -----

離散最適化

離散凸解析

最急降下法

【背景】 離散凸解析におけるアルゴリズムの発展

【問題】 M凸関数最小化およびその関連問題

【貢献】 アルゴリズムの解析とM凸関数最小化として定式可能な問題の提案

与えられた条件を満たしつつ、ある基準に沿って最も良い選択を行う問題を、離散最適化問題とよびます。たとえば、カーナビのように現在地点から目標地点までの最短経路を見つける問題は、典型的な離散最適化問題です。離散最適化問題は、すべての選択枝を比較することで最適な解を見つけることができます。しかし、大規模な問題において全選択枝を調べつくすのは現実的ではありません。そのため、解を調べる回数をできる限り抑えつつ、最適な解を見つけられることが理想です。

離散最適化問題では、比較的少ない解の調査により最適解を見つけられることが保証された「解きやすい」問題が存在します。このような解きやすい問題を統一的に扱うための枠組みとして提唱されたのが「離散凸解析」です。離散凸解析の目を持って離散最適化問題を眺めると、未知の問題が効率的に解くことが可能かどうか、理論的に判定できることがあります。最近では、離散凸解析の理論を利用し、難しい問題を可能な限り高速に解こうとする研究も進められています。離散凸解析の理論を発展させることは、世の中に潜むさまざまな離散最適化問題を解くことに繋がります。

離散凸解析における重要な研究テーマの1つが、離散凸性を持った関数の最小解を求めるアルゴリズムの改良です。本研究では、離散凸解析において中心的な役割を担う関数の1つであるM凸関数の最小化について、以下の2つの観点から研究を行

いました.

(1) 基本的なアルゴリズムの計算回数の解析

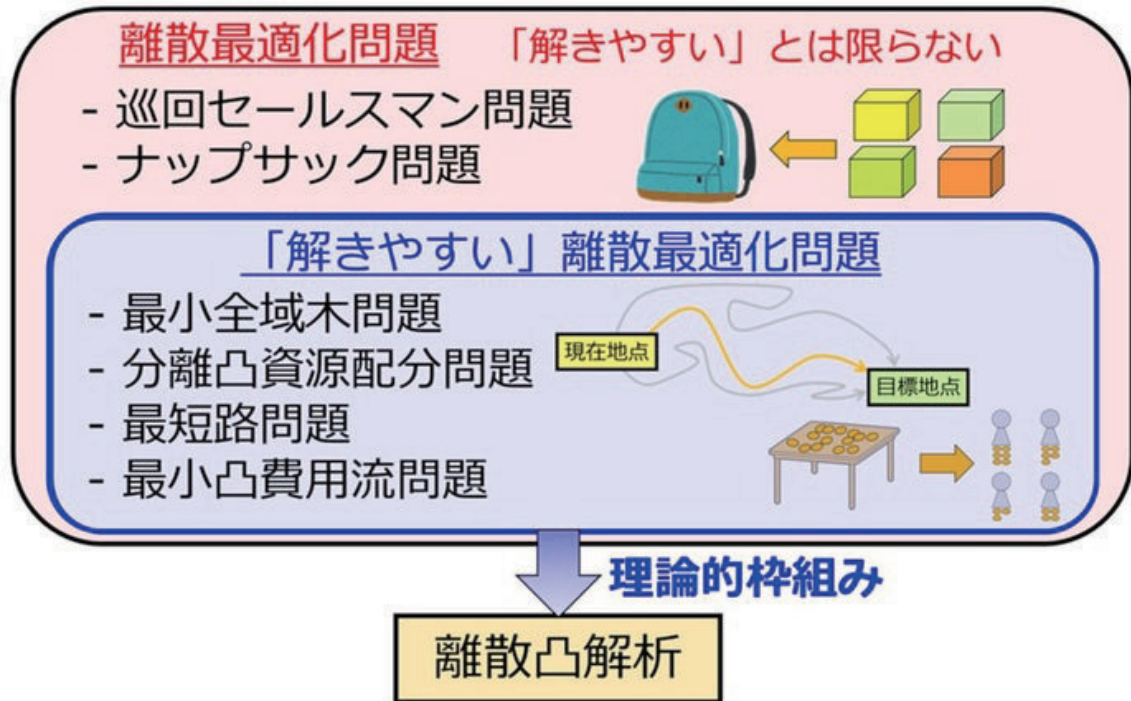
M凸関数最小化は、さまざまな離散最適化問題を表現できる問題の枠組みです. M凸性をもつ離散最適化問題は、M凸関数最小化アルゴリズムによって解くことができます. M凸関数最小化に対する最も基本的なアルゴリズムとして知られるのが、現在の解に近い解の中で最も良い解に移動することを繰り返す、という最急降下法です. 最急降下法は離散凸解析が提唱された1990年代後半に提案されたアルゴリズムですが、近年まで厳密な計算回数が明らかになっていませんでした. 本研究ではM凸関数最小化と、その一般化として知られるジャンプM凸関数最小化について、最急降下法の厳密な計算回数を示しました. さらに、最急降下法によって生成される解が、最短距離で最も近い最小解に接近していく、という新たな性質を示しました.

(2) M凸関数最小化として定式化可能な新たな問題の提案

数理経済学において、いくつかの離散的な資源を複数の活動に割り当てる問題を、資源配分問題とよびます. 資源配分問題の一種である分離凸資源配分問題は、凸関数で与えられた経費・損失が最小になるように、資源を配分することを目的とします. 本研究では、資源がすでに配分されている状況で、配分の変更量に関する制約を満たす新たな最適配分を求めたい、という新しい分離凸資源配分問題を提案しました. そして、この制約付き分離凸資源配分問題がM凸関数最小化として定式

化できることを示すとともに、この問題に特化したアルゴリズムを構築しました。

離散凸解析とは？



本研究の貢献

研究対象：M凸関数(離散凸解析において重要な関数)の最小化

- (主結果1) 基本的なアルゴリズムの計算回数の解析
- (主結果2) M凸関数最小化として定式化可能な新たな問題の提案

(2021年5月31日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：東京工業大学

推薦文：（アルゴリズム研究会）

本論文では、「M凸関数」の反復回数に関する理論的な解析を行っている。また、M凸関数を利用することで、自転車シェアリング等に応用がある資源配分問題を、ある条件の下で効率的に解くことができることも示している。M凸関数は組合せ最適化の分野で重要なツールの1つであり、大きな実用性を持つ論文として推薦する。

南川智都（正会員）

研究生活：博士課程では離散最適化に関する理論研究を行ってきました。理論研究では「よく分からないが何か難しそうな研究をやっているな」と思われてしまいがちなので、自分の研究成果・貢献をうまく説明するのが重要です。最初は研究成果・貢献を人に説明することに苦手意識があり、自分の研究の立ち位置が分からな

くなることが多々ありました。研究の方向性を見失ってしまい、どうすればよいか何度も悩んできましたが、なんとか博士の学位をとれたことにほっとしています。

博士課程では、指導教員である塩浦昭義教授をはじめとした世界トップレベルの専門家の指導の下で、自分の突き詰めたい研究ができるという、人生で二度とないであろう貴重な時間を過ごすことができました。充実した研究生活を支えていただいた塩浦研究室の皆様、および家族に心より感謝を申し上げます。今後は新たな環境で研究に邁進し、離散最適化の研究の発展と、その面白さを伝えることに貢献していきたいと思います。


▲ 新型コロナウイルスに関する内容の可能性のある記事です。

新型コロナウイルス感染症については、必ず1次情報として厚生労働省や首相官邸のウェブサイトなど公的機関で発表されている発生状況やQ&A、相談窓口の情報もご確認ください。またコロナワクチンに関する情報は首相官邸のウェブサイトをご確認ください。※非常時のため、すべての関連記事に本注意書きを一時的に出しています。



The Independent Feedback Vertex Set Problem and Its Generalization

♡ 1

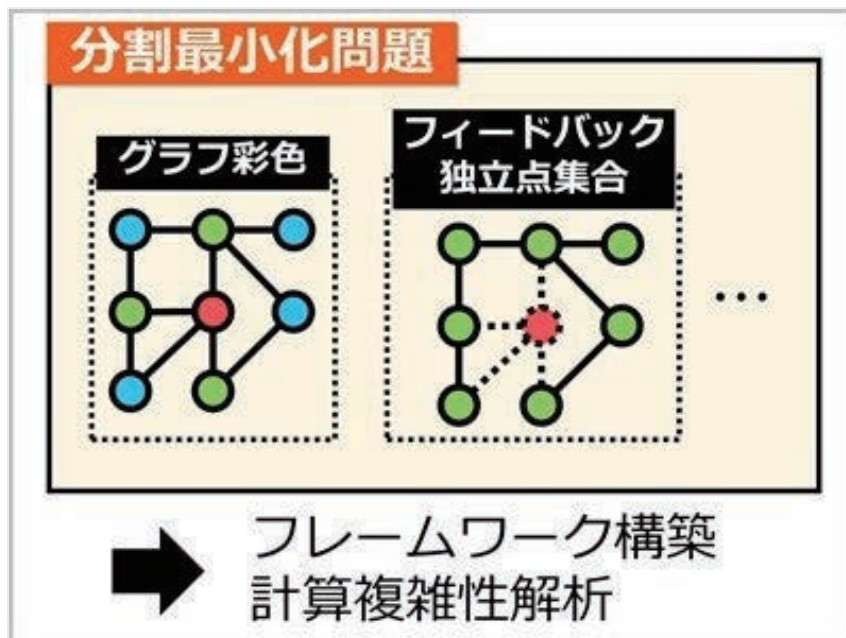
 情報処理学会・学会誌「情報処理」
2021年8月15日 08:34



邦訳：グラフのフィードバック独立点集合問題とその一般化に関する研究

田村祐馬

(東北大学大学院情報科学研究科システム情報科学専攻 助教)



----- keyword -----

アルゴリズム

グラフ問題

計算複雑性解析

【背景】 グラフの点集合を分割しつつ、ある点集合を最小化する研究が進展

【問題】 各研究は独立しており、俯瞰的な研究は少ない

【貢献】 フレームワークを構築し、統一的に計算複雑性を解析

点の集合と、2つの点同士を結ぶ辺の集合で表現されたデータ構造のことをグラフと呼ぶ。グラフは実社会における問題を抽象的に表現できることから広く研究が行われている。一例として会議室の予約を考えてみよう。各ユーザは会議室を使いたい時間を持っているとする。たとえば、Aさんは9:00~12:00の間、Bさんは10:00~15:00の間、といった具合である。このとき、AさんとBさんには別々の会議室を予約しなければならない。なぜならば、会議室を使いたい時間に被りがあるからである。一方で、使える会議室には限りがある。3つの会議室だけを使用できるとき、すべてのユーザは会議室を予約できるだろうか？

この問題はグラフ上の彩色問題として考えることができる。ユーザを点に置き換え、ユーザ間で使用時間に被りがあるとき、対応する点同士を辺で結ぶ。このようにして構成されたグラフに対し、頂点に色を割り当てる。ただし、同じ色の点同士は辺で結ばれてはならない。このような色の割り当てをグラフの彩色と呼び、各色はユーザが使う会議室に対応する。すなわち、前述の「3つの会議室をすべてのユーザが予約できるか？」という問題を、「グラフを3色で彩色できるか？」という彩色問題として考えることができる。彩色問題として扱うことのできる実社会上の問題は会議室の予約だけではない。無線局の帯域割り当てや、世界地図の塗り分

けなども彩色問題として考えることができる。

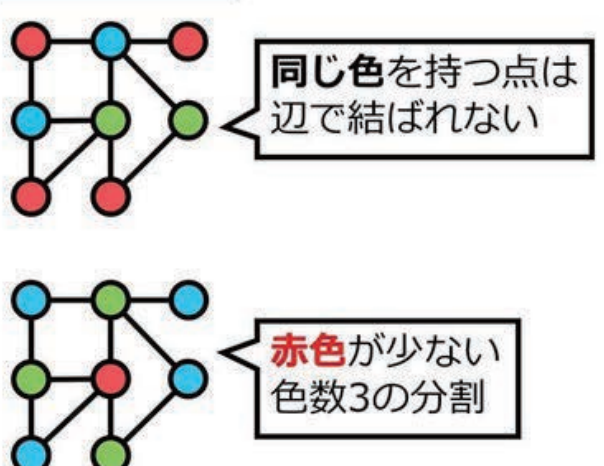
さて、各ユーザは会議室を無事に予約できるとしよう。しかし実際には、設備保守等の理由により、ある会議室の使用はできるだけ控えたい状況があり得る。これはグラフ上の彩色で考えると、特定の色を持つ点の数を最小化することに対応する。では、グラフが与えられたとき、そのような彩色を見つけることはできるのだろうか？

このような、グラフの点集合を「特定の性質」を持つ複数の部分集合に分割しつつ、ある部分集合のサイズを最小化したい、という問題の研究が近年になり発展している。しかし、個々の研究は「特定の性質」を1つ固定した上で進められており、「特定の性質」に対する俯瞰的な研究は少なかった。

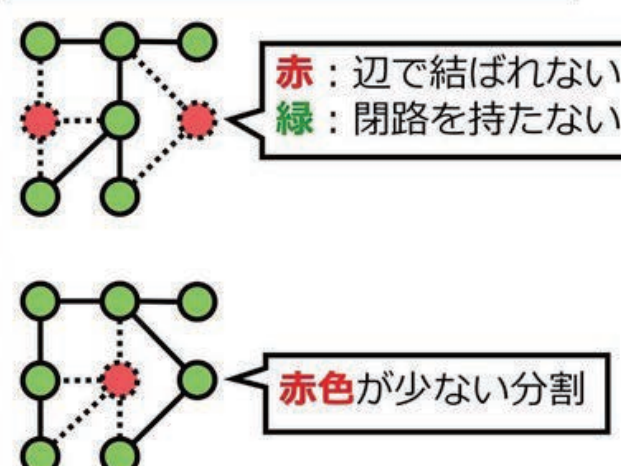
そこで、本研究ではこれら問題を「分割最小化問題」として統一し、「特定の性質」の観点から問題を解析した。もう少し具体的に述べると、最適とは限らない点集合の分割自体が仮に与えられたとしても、最適解に対する近似解（程よい解）すら見つけることは難しくなるような、「特定の性質」に対する十分条件を与えた。一方で、「特定の性質」によってはFPTアルゴリズムと呼ばれる、解のサイズが小さいときに高速に動作するアルゴリズムが存在することを示した。また、「分割最小化問題」の中でも基礎的な「フィードバック独立点集合問題」に着目し、グラフ構造に基づいた多項式時間アルゴリズム、多項式時間近似アルゴリズム、FPTアル

ゴリズムをそれぞれ与えた.

グラフ彩色



フィードバック独立点集合



グラフを特定の性質を持つ**点集合に分割**しつつ、ある点集合のサイズを**最小化**したいという問題が近年発展

課題 各研究は個別に進展し、俯瞰的な研究が少ない

本研究 **分割最小化問題**の提唱と統一的な**計算複雑性の解析**

(2021年5月26日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（情報科学）

大学：東北大学

推薦文：（アルゴリズム研究会）

本論文ではグラフアルゴリズムの分野で基本的な多くの問題を統一的に扱う「分割最小化問題」を提唱し、計算複雑性の観点からさまざまな解析を行っている。本論文の内容は国際会議ISAACを始め3本の国際会議で発表済みであり、国際会議WALCOMではBest Student Paper Awardを受賞するなど、国際的に高く評価されている研究として推薦する。

田村祐馬（正会員）

研究生活：私は修士課程を修了後、3年間非研究職に従事していました。しかし、元々は研究職志望というのもあって一念発起し、退職した上で博士課程に進みました。修士課程からそのまま博士課程に進むべきだった、という思いはことあるごとに頭の中を巡りますが、研究からいったん離れたことにより視野が広がったと感

じること、金銭面で多少は余裕が生まれたことを考えると、マイナスばかりではなかったように思います。研究室に戻ってからは修士時代の研究を発展させようという取り組み、苦労もありましたが、なんとか博士論文にまとめることができました。充実した研究室生活でしたが、新型コロナウイルスの影響により、昨年度は研究室メンバーと対面で話す機会が極端に少なかったことが悔やまれます。

指導教員である周暁教授および伊藤健洋教授には学部生時代から大変お世話になり、同時に多くのご迷惑をお掛けしました。この場を借りてお礼申し上げます。



Algorithmic Analyses of Card-Discarding Type Games



情報処理学会・学会誌「情報処理」

2021年8月15日 08:35



邦訳：手札消費型ゲームに対するアルゴリズム論的解析

木谷裕紀

(名古屋大学未来社会創造機構 特任助教)



----- keyword -----

理論計算機科学

アルゴリズム論

勝者判定

【背景】 ゲームの勝者判定は現実的に解ける計算時間でないものがほとんど

【問題】 手札消費型ゲーム（ババ抜き、七並べなど）を対象

【貢献】 勝者判定の計算量を解析. ゲームの高速解法を提案

将棋やチェス, 囲碁といったゲームは組合せゲーム (二人零和有限確定完全情報ゲーム) に分類されます. これらのゲームに対する自然な興味の一つが「(最善を尽くした場合の) ゲームの勝敗」です. 本研究では, 手札消費型ゲームと呼ばれるゲーム群に対して, 「ゲームの勝敗」やその具体的な手順を計算するにはどのような計算を人間ないし, コンピュータが行う必要があるのかということを考えています.

実をいうと, すべての (有限な) 組合せゲームに対して, この計算方法は知られています. しかしながら上述のゲームを含む多くの組合せゲームに対して, 実際のゲームの勝敗を計算すること (以下では必勝判定) が未解決です. 一見このギャップは不思議に見えますが, それはどのゲームにも使える方法が必ずしも現実的に行うことができる効率が良い方法ではないことに起因します. たとえば, 必勝判定できるがそのためには数億年以上の年月や数億台のスーパーコンピュータが必要である場合などは現実的に必勝判定ができるとは言えません. このように必勝判定は, その計算手順が存在するか否かだけでなく, その計算にかかる時間や計算に必要な計算領域がどの程度であるか考慮されている必要があります. この研究の一環として現在までに種々のゲームに対して, その必勝判定を行う「効率の良い」計算手順を求める研究やそのような効率の良い計算手順が存在しないことの証拠を示す研究が行われています. 本研究ではこれらの研究をゲームに対するアルゴリズム論的

解析と呼びます。

本研究では「手札消費型ゲーム」に対象を絞って、その必勝判定のアルゴリズム論的解析を行いました。ここで、手札消費型ゲームとはあらかじめ配られた手札を条件にしたがって出していく、最初にすべての手札を出しきったプレイヤーが勝ちというゲームのことを指します。たとえばUNOなどはこれに該当します。最後に簡単に本研究の成果の一部を下記で紹介します。

まず、「大貧民」を簡易化したゲーム「単貧民」やそれをより実際の大貧民に近づけた「8切り単貧民」を2人で行った場合について、その勝者がどちらであるかという判定は現実的な計算時間で実行可能であることを示しました。また、手札公開で行う「ババ抜き」を提案し、その勝者判定について考えました。結果として、3人以下で行う場合の必勝判定を示したほか、4人で行う場合、とても興味深いことに、不完全情報下では嫌厭される札を積極的に引いたほうが良い状況が存在することを示しました。最後に七並べを題材に2人で行った場合に必勝判定を線形時間という高速な時間で行うことができる計算手順を示しました。さらに、七並べ本来のローカルルールなどを踏まえたグラフモデル下の七並べを提案し、その必勝判定が一定の条件下で計算困難であることを示しました。



効率よく「最善の一手」を見つけるための計算方法に関する研究!

(2021年5月31日)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（情報学）

大学：名古屋大学

推薦文：（アルゴリズム研究会）

人工知能（AI）の性能評価に「娯楽ゲーム」が用いられることは多々あるが、ゲームそのものを対象とした研究はあまり行われていない。一方本論文ではいくつかの娯楽ゲームを対象とし、さまざまな解析を行うことで、ゲームのどの部分がコンピュータにとって難しいのかを明らかにしており、大きな将来性を持つ研究として推薦する。

木谷裕紀（正会員）

研究生活：修士課程から博士課程へ進学する際、大学を変えたこともあり、やや戸惑うこともありましたが、有意義な3年間を過ごすことができたように思います。この研究は大学内や学外での多くのコメントを受けてブラッシュアップされました。指導教員の小野廣隆教授をはじめとするすべてのこの研究に携わってくださった方々へこの場を借りてお礼を申し上げます。



Optimization of Circuit Transformation and Scheduling in Quantum Compilers



情報処理学会・学会誌「情報処理」

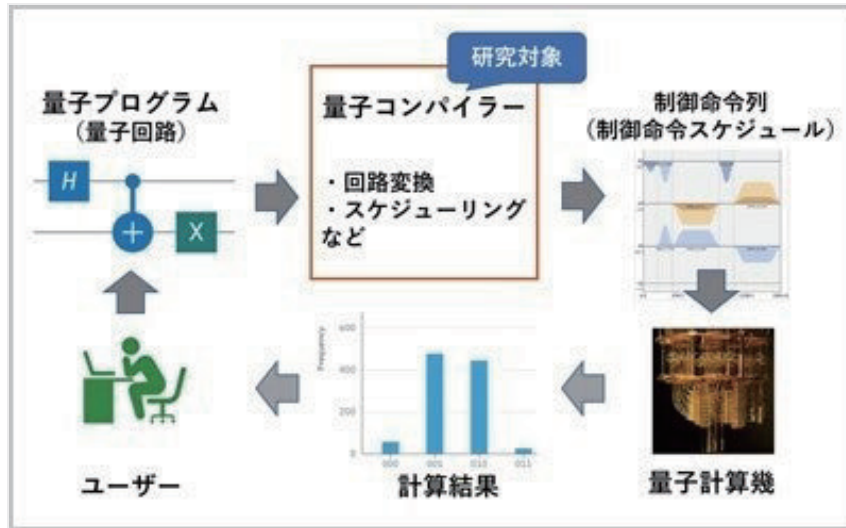
2021年8月15日 08:37



邦訳：量子コンパイラにおける回路変換とスケジューリングの最適化

井床利生

(IBM東京基礎研究所)



----- keyword -----

量子計算機

量子コンパイラ

数理最適化

【背景】 超電導量子ビット方式の量子計算機のハードウェア面の劇的な技術進展

【問題】 同方式の量子計算機に固有の制約を考慮したコンパイラ技術の不足

【貢献】 同方式の量子計算機向けのコンパイラの最適化手法の改善

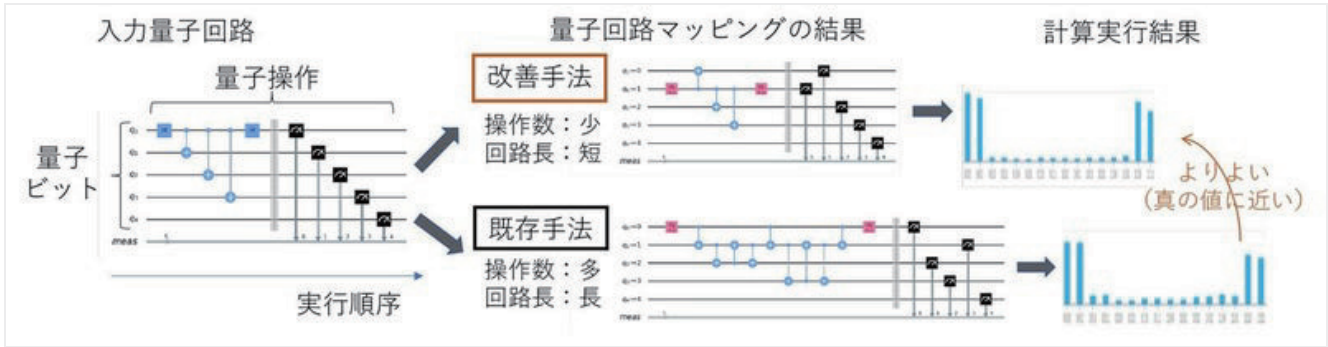
量子計算機とは、普段皆が使っている通常の計算機とは異なる物理原理を計算に利用し、通常の計算機が苦手なある種の計算を劇的に早く計算できるようになる（かもしれない）計算機のことである。量子計算機は、ほんの10年くらい前まではドラえもんのポケットから出てくるような夢の計算機でしかなかったが、近年の量子技術の進歩によって、量子ビットの状態を安定して保てる平均的な時間（コヒーレンス時間）や量子ビット操作の正確さ（忠実度）が劇的に向上し、夢の実現への期待がにわかに高まってきている。とはいえ、現時点で利用可能な量子計算機はエラー耐性がなく（物理的に発生するエラーが大きすぎて訂正しきれず近似的な計算しか行えない）、量子ビットの数も百に満たない。しかし、そのような量子計算機であっても、近い将来、量子化学・機械学習・最適化・サンプリングといった応用分野で利用されるようになるのではと期待されている。

量子計算機のハードウェア面での発展に伴って、量子計算機を操作・利用するために必要なソフトウェアの研究開発も活況を呈してきている。本研究では、その中で、量子プログラムを制御命令列に変換する「量子コンパイラ」に焦点を当てる。なお、本研究では、量子プログラムの言語的側面を考慮しない他の研究と同様に、量子プログラムは「量子回路」という量子操作の系列の形で与えられるものとする（注：「回路」という言葉から連想されるような物理的な実体ではなく論理的なもの）。

量子コンパイラにおいて重要なのが、出力する命令列の最適化である。エラー耐

性のない量子計算機の場合、最適化によって全計算をなるべく短い時間・少ない量子操作で行えると、計算結果の忠実度が向上する（エラー耐性のある量子計算機の場合には、最適化によってスループットが向上する）。しかし、超電導量子ビットという最近急速に発展した方式の量子計算機向けのコンパイラについては、特に同方式に固有の制約を考慮するタスクにおいて研究が十分になされていなかった。

本研究では、「量子回路マッピング」と「量子回路スケジューリング」という超電導量子ビット方式に固有の制約を考慮する必要がある2つのタスクに注目し、それぞれに組合せ最適化問題としての定式化を与えた。量子回路マッピングは、「特定の量子ビット対（物理的に隣接する量子ビット間）にしか二量子ビット操作を実行できない」という制約を満たすために、与えられた量子回路を実行可能な等価な量子回路に変換するタスクである。量子回路スケジューリングは、異なる実行時間を持つ量子操作をスケジュールする、すなわち、なるべく全長が短くなるように各操作の開始時刻を決定するタスクである。定式化にあたって、既存の研究では十分に検討されていなかった量子操作の可換性を考慮した。そして、厳密解法およびヒューリスティック解法を与えるとともに、それらの解法で改善効果が確かに得られることを計算機実験によって確認した。



(2021年5月28日受付)

(2021年8月15日note公開)

取得年月日：2021年3月

学位種別：博士（工学）

大学：筑波大学

推薦文：（量子ソフトウェア研究会）

量子計算機の性能が近年飛躍的に向上し、遠くない将来の実用化がにわかに期待されている。本研究では、量子計算機向けのコンパイラに注目し、その性能を左右する最適化タスクの解法の改善に取り組んでいる。量子演算の可換性を考慮した独自性のある解法を提案し、計算機実験で提案手法の明確な優位性を示している。



井床利生

研究生活：私は修士課程修了から15年以上を経て、社会人として博士課程を修了しました。修士卒で研究所入所後、最適化技術の実応用に取り組み、モデリングの重要性を痛感しました。そこでHCIなど他の研究分野にも挑戦したり開発に近い仕事も経験したりしました。しかし、私の興味は最適化のアルゴリズム研究にあったようで、数年前、量子計算機という“私に最適な”最適化技術の応用分野に出会い、博士号取得へと至りました。このような曲りくねった博士号への道のりもあるのだとどなたかの励みになれば幸いです。

ライフイベントが多数発生する怒涛の日々の中、博士論文をまとめるには、多くの方々の支えと励ましが不可欠でした。指導教員を引き受けてくださった久野誉人教授、就業しながらの修学を全面的に支援してくださった研究所、元となる論文執筆において親身にアドバイスしてくれた同僚たち、家族、皆に改めて感謝申し上げます。