

## 【基盤研究(S)】 大区分J



### 研究課題名 AI時代を見据えたプログラム検証技術

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授  
こばやし なおき  
小林 直樹

研究課題番号： 20H05703 研究者番号：00262155  
キーワード： 高階モデル検査、プログラム検証、機械学習

#### 【研究の背景・目的】

ソフトウェアの高信頼性を保証するためのプログラム検証技術は従来から重要であるが、近年のAI技術の台頭によって以下の観点から大きな変革を迫られつつある。(1) コンピュータによる社会システムの制御がますます進み、ソフトウェアの欠陥が従来以上に重要な影響を及ぼすため、ソフトウェアの信頼性保証のためのプログラム検証技術の重要性が増している。(2) 一方で、プログラム検証は究極には定理証明の一種であり、その一部にAI技術を活用することによって大きな進展が望める可能性がある。(3) 人間に代わってAIによってソフトウェアが生成される時代が来ると、ソフトウェアの質および規模に大きな変化がもたらされ、これまでの検証技術では太刀打ちできなくなる可能性がある。そこで、本研究では研究代表者らがこれまで世界をリードして研究してきた高階モデル検査などのプログラム検証技術をさらに発展させつつ、そのボトルネックであった不変条件の発見などに機械学習を導入することによって上記(3)の「規模」の問題に対処するとともに、(3)の「質」の問題に対処するため、確率付きプログラムなど、これまで十分に扱ってこなかったプログラム検証技術の研究に取り組む。

#### 【研究の方法】

次の3つの項目について並行して研究を進める。  
(A) 高階モデル検査をはじめとするプログラム検証技術のさらなる発展。  
高階モデル検査とは、有用なシステム検証手法としてチューリング賞の対象にもなった「モデル検査」の拡張であり、高レベル言語で記述されたプログラムの有効な検証手法として、本課題の代表者らが10年来、世界をリードして進展させてきたものである。高階モデル検査にはHORSモデル検査とHFLモデル検査の2種類があり、当初は前者に基づいて研究を進めてきたが、最近になってHFLモデル検査に基づく手法がより有効であることが判明した。そこで本項目では、HFLモデル検査に基づくプログラム検証手法の確立・発展および他のプログラム検証手法との融合を進める。また、高階モデル検査の理論に関する重要な未解決問題にも取り組む。

(B) 機械学習技術のプログラム検証への応用。

高階モデル検査は理論上の最悪の計算コストが極めて高い検証手法であるが、これまでの高階モデル検査に関する研究の進展の結果、現在ではプログラム検証器の主なボトルネックは、高階モデル検査自

体よりも検証対象のプログラムの近似に用いる述語の発見などの、ヒューリスティクスが関わる部分になっている。この部分に機械学習の技術を取り入れることでプログラム検証器の性能向上を目指す。

(C) 質の変化したプログラムの検証技術：

機械学習コンポーネントを組み込んだソフトウェアは、これまでのような人間が書いたソフトウェアとは質が異なる。例えば、機械学習コンポーネントが常に正しい答えを出力するわけではなく、確率的に振る舞うシステムとしてモデル化、検証する必要がある。そこで高階モデル検査の拡張として確率付き高階モデル検査の理論を構築するなどの研究を行う。また、実際に機械学習コンポーネントを組み込んだシステムの検証実験を通して新たな課題の洗い出しおよび対処を行う。

#### 【期待される成果と意義】

本研究の推進によって、代表者らのグループが世界をリードして進めてきた高階モデル検査等に基づくプログラムの検証理論・技術の一層の発展につながる。特に機械学習技術の取り込みによってプログラム自動検証の実用性の大幅な進展が期待できる。AI技術の発展に伴ってコンピュータへの依存度が増す社会において、プログラム検証技術への発展を通じたソフトウェアの高信頼化の意義は大きい。

学術的には、高階モデル検査は、プログラム理論、形式言語理論、計算量理論などの多岐にわたる研究テーマであり、それへの取り組みを通して理論計算機科学全体への波及効果が期待できる。また、プログラム検証という機械学習にとつての新しい応用を通して、機械学習技術の発展にも貢献できる。

#### 【当該研究課題と関連の深い論文・著書】

- Naoki Kobayashi, Étienne Lozes, Florian Bruse, “On the relationship between higher-order recursion schemes and higher-order fixpoint logic”, Proceedings of POPL 2017, pp. 246-259, 2017
- Naoki Kobayashi, “Model Checking Higher-Order Programs”, Journal of the ACM, 60(3), 20:1-20:63, 2013.

#### 【研究期間と研究経費】

令和2年度～6年度 146,400千円

#### 【ホームページ等】

<https://www.kb.is.s.u-tokyo.ac.jp/~koba/hmcai/>