



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Automated Lemma Generation and Multi-Context Schemes for Rewriting Induction [an abstract of dissertation and a summary of dissertation review]
Author(s)	季, 承成
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(情報科学)
Dissertation Number	甲第13509号
Issue Date	2019-03-25
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/74061
Rights(URL)	https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/
Type	doctoral thesis
File Information	Chengcheng_Ji_review.pdf, 審査の要旨



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (情報科学)

氏名 季 承成

審査担当者 主 査 教 授 栗原 正仁

副 査 教 授 山本 雅人

副 査 教 授 川村 秀憲

副 査 教 授 小野 哲雄

副 査 准教授 小山 聡

学位論文題名

Automated Lemma Generation and Multi-Context Schemes for Rewriting Induction

(書換え帰納法のための補題自動生成と多重文脈スキーム)

ソフトウェア科学においては、プログラム及びその性質を記述するために、等式を用いた代数構造がしばしば利用され、その性質を自動的に証明する技術の創出が期待されている。その性質は多くの場合、数学的には「帰納的定理」すなわち一般には数学的帰納法を用いなければ証明できない種類の定理となっている。しかし、古典的な人工知能技術で知られる「論理的帰結」としての定理と異なり、帰納的定理は一般に定理とともに適切な補題(補助定理)も与えなくては証明できないことがある。しかし、適切な補題を考案することは人間には一般に困難なため、その自動生成法の創出が期待されている。補題を自動的に生成する試みはこれまでも行われてきたが、背景となる数学構造が現代的なソフトウェア科学には不向きであったり、「健全」な(正しい)補題の生成に捕らわれて十分強力な補題が生成できなかったり、逆に健全でない補題を生成してもその後の適切な扱いが解決していなかったりなどの理由で、研究すべき課題は多い。

本研究は、等式に向きを付けた書換え規則を取り扱う項書換え系理論の「書換え帰納法」という数学的枠組みの中でこの課題に取り組んでおり、推論の過程で生ずる書換え規則の発散系列を機械的に解析することによる補題自動生成法を開発するとともに、その非健全性の扱いを適切に行う多重文脈スキーム(真理値維持の考え方に基づき、項書換え系理論における疑似並行推論を効率的に模擬する計算系)を提示しており、次のような独創的な研究成果を示している。

(1) 書換え帰納法のための新しい補題自動生成法である Peripheral Sculpture を提案している。

(2) 上記手法を含む複数の補題生成法を1つの枠組みの中に取り込んで効率良く実行するための多重文脈スキームを提案している。

また著者は、遅延評価等を利用した効率良いシステム実装を開発し、それを用いて所定のベンチマーク問題群を解く実験により提案手法を評価し、既存システムでは証明できなかった帰納的定理の証明に成功したり、複数の補題生成手法の相乗効果によって単独の手法を用いたときよりも計算時間が減少したりするなど、提案手法の有効性を実証している。

本論文は次のように構成されている。

第1章では、研究背景、研究目的、および本論文の構成について説明している。

第2章では、本論文を理解するために必要な背景知識を説明している。まず、項書換え系の基本的な定義や概念について紹介し、その分野で研究対象となっている自動推論法として、完備化手続き

及び書換え帰納法について述べている。

第3章では、書換え帰納法の枠組みの中で、発散検出に基づく補題候補の自動生成法について議論している。まず関連手法を紹介した後、著者の独創である新しい補題自動生成法である Peripheral Sculpture を提案し、その形式的な定義及び推論規則を設計し、その内容を説明している。

第4章では、多重文脈スキームに関する一般的な概念を紹介するとともに、第2章で述べた2つの手続きを事例として、関連研究について議論している。その後、前章で述べた補題自動生成法及びその他の方法を組み込むことのできる多重文脈スキームを新たに設計し、その内容を説明するとともに、帰納的定理証明系におけるその柔軟性と有効性について議論している。

第5章では、前章で述べた定理証明系の実装上の工夫について説明している。システムの設計、実装、最適化に関わるソフトウェア工学上の観点から、遅延評価などの技術を効果的に適用したことを述べている。

第6章では、所定のベンチマーク問題群を解く実験により提案手法を評価し、既存システムでは証明できなかった帰納的定理の証明に成功したり、複数の補題生成手法の相乗効果によって単独の手法を用いたときよりも計算時間が減少したりするなど、提案手法の有効性を実証している。

第7章では、本論文のまとめと今後の課題について述べている。

これを要するに、著者は、書換え帰納法によって帰納的定理の自動証明を行うために必要な独創的な補題自動生成法を考案するとともに、その非健全性の扱いを適切に行う新たな多重文脈スキームを提示し、実装上の工夫を行なったシステムによる評価実験を通してその有効性を実証したものであり、ソフトウェア科学に貢献するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士(情報科学)の学位を授与される資格あるものと認める。