

令和 4 年 6 月 23 日現在

機関番号：51303

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2019～2021

課題番号：19K11914

研究課題名（和文）数理議論学に基づく仕様書の不整合解消支援ツールの作成

研究課題名（英文）Developing a tool to assist in resolving specification inconsistencies based on mathematical argumentation theory

研究代表者

岡本 圭史 (Okamoto, Keishi)

仙台高等専門学校・総合工学科・教授

研究者番号：00308214

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,200,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、数理議論学の議論フレームワークや外延を用いることで、論理的矛盾を含めた広義の不整合に対応した不整合解消支援ツールを試作した。具体的には、機械学習ベース言語モデルを用いて、自然言語で記述された仕様書から議論フレームワークを構築する方法、特に攻撃関係（仕様書構成要素間の不整合を表す関係）を抽出する方法を提案し、実装した。また、議論フレームワーク中の外延（仕様書中の整合的な記述の集合）を一階述語論理の拡張を用いて定義することで、SMTソルバを用いて議論フレームワークから外延を列挙する方法を提案し、実装した。これらの成果を基に不整合解消支援手法を提案し、ツールとして試作した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

システムはソフトウェア集約的であり、システムの信頼性は仕様書に依存する。したがって、仕様書の(整合性を含めた)品質向上は重要な課題である。しかし、仕様書の規模は大きく、不整合を検知・解消することは困難である。本研究で試作した不整合解消支援ツールを用いることで、仕様書中の不整合を自動的に検知できる。さらに本ツールが提示する外延（信頼すべき記述の候補）は、仕様記述者が不整合を解消する際のヒントとなる。他方、本研究では、自然言語処理手法を用いて不整合を検出するため、論理的矛盾を含めた広義不整合を検出できる。以上から、仕様書の品質向上に加え、仕様書の不整合解消にかかるコストの低減が期待できる。

研究成果の概要（英文）：In this research project, by using argumentation frameworks and extensions of mathematical argumentation theory, we have developed a prototype inconsistency resolution support tool for inconsistencies in a broad sense, including logical contradictions. In particular, we proposed and implemented a method for constructing an argumentation framework from a specification document written in natural language using a machine learning-based language model. Moreover, we have proposed a method for extracting attack relations (relations representing inconsistencies among specification elements). We also proposed and implemented a method for enumerating extensions from the argumentation framework using SMT solvers by defining extensions (sets of consistent descriptions in the specification) in the argumentation framework in an extension of first-order predicate logic. Based on these results, we proposed an inconsistency resolution support method and prototyped it as a tool.

研究分野：数理論理学、形式手法、安全分析

キーワード：数理議論学 数理論理学 SMTソルバ 仕様 品質向上 自然言語処理

## 1. 研究開始当初の背景

製品開発において不具合が混入される主な工程の一つが仕様書作成である。さらに、この段階での不具合混入が後工程で顕在化した場合の手戻りは無視できない追加コストとなる。したがってソフトウェア工学においても仕様書の品質向上は重要なテーマである。

仕様書の品質向上に対する対策の一つに形式手法、特に形式仕様記述がある。形式仕様記述では、数理論理学・計算機科学に基づき定義された形式言語を用いて、仕様書を形式的に記述する。形式的に記述された仕様書は、整合性を自動的に検証できるため、仕様書の品質向上に貢献する。しかし形式手法(数理論理学)に基づく形式化では、矛盾の定義が厳格すぎる等、仕様書の柔軟な形式化が困難な点が課題となる。また、仕様書の規模が増大するにつれ、自動検証が困難となることも課題となる。

数理議論学は、議論学を数学の枠組みで構築した学問分野であり、数学的对象以外の多くの対象を形式化できるように、数理論理学を発展させている。例えば、数理議論学の議論フレームワークを用いることで、論理的矛盾以外の広義の不整合を形式化できる。また、議論フレームワークとして形式化された対象は、数学的・計算機科学的手法を利用可能である。さらに、議論フレームワークによる形式化では、仕様書中の記述を点として形式化し、記述間の不整合を点間の攻撃関係として形式化するため、形式手法による形式化(仕様書中の記述を論理式として形式化し、仕様書記述間の不整合を論理式間の論理的矛盾として形式化)と比較して、記述が抽象的、したがってコンパクトになる。反面、仕様書を議論フレームワークとして形式化する際に、記述間の不整合を抽象的に抽出する手法は今後の課題となる。

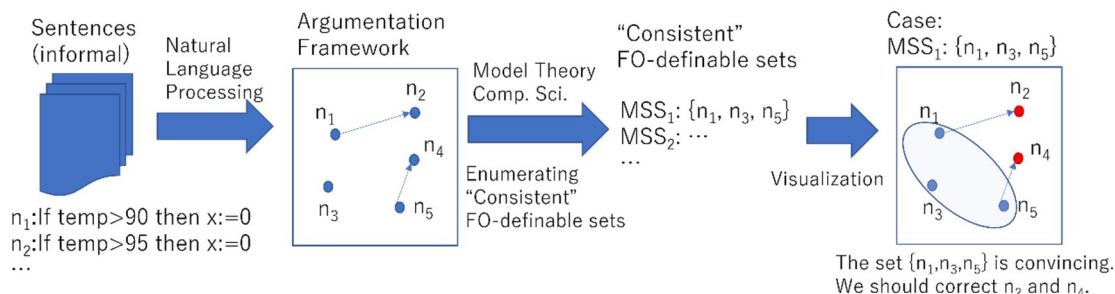
## 2. 研究の目的

本研究の目的は、仕様書の不整合解消の支援法を提案し、提案手法に基づくツールを試作・評価することである。提案する支援法は、従来用いられてきた数理論理学に加え、数理議論学的手法を組合せた支援法である。数理議論学を用いることで、矛盾を含む広義の不整合の解消を支援できる。また、数理論理学に基づく手法と比較して大規模な仕様書の不整合解消を支援できる。さらに、提案する支援法は、不整合箇所を指摘するだけでなく、どの記述(文、図等)を採用すべきかといった不整合解消の判断材料を提示できる。

本研究が提案する不整合解消支援手法の対象は(形式仕様を含む)仕様書一般であり、各工程における仕様書作成段階で本不整合解消支援手法を適用できるため、幅広い製品に対し、高品質の仕様書が得られ、開発コスト(仕様書の不整合解消に必要なコスト)を削減できる。また、開発者が整合性以外の仕様書の品質向上に注力できるようになるため、製品の品質向上や競争力の向上が期待できる。

## 3. 研究の方法

本研究の成果である不整合解消支援ツールは、1)自然言語で記述された仕様書を議論フレームワークに変換する、2)議論フレームワークから外延(仕様書中の記述からなる整合的で信頼できる集合)を列挙する、3)外延を基に不整合解消のヒントを提示する、というフロー(下図)となる。



図：本研究における不整合解消支援ツールのフロー

上で述べたフローを実現するために、下の三項目に分け、仕様書の不整合解消支援手法提案、ツール試作・評価を実施する。

項目 1)議論フレームワーク[Dung95]構築法の提案：仕様書から(文、図等をノードとする)議

論フレームワークを構築する手法を提案する。数理議論学に基づく議論マイニングの基礎理論や機械学習に基づく自然言語処理手法を調査・研究し、それらを発展させて議論フレームワーク構築法を提案する。具体的には、数理議論学が与える議論的推論を特徴づけるベイズ的生成モデルを形式化し、統計的自然言語処理に基づく議論マイニングの既存手法と組み合わせるアプローチや、最新の言語モデルを用いて不整合を学習させるアプローチを採用する。また、数理議論学に基づく方法と統計的自然言語処理に基づく方法の最適な組合せを実験的に検証する。

項目 2) 外延列挙法の提案：議論フレームワークから外延を計算する手法を SMT 問題の拡張として定式化し、SMT ソルバを拡張した外延計算ツールを試作する。具体的には、選好外延や基礎外延といった定義が複雑な外延の数理論理的定義可能性を調査し、SMT ソルバ拡張に関する既存研究[Liffiton13 他]との関連を明らかにし、外延計算法を提案する。

項目 3) 不整合解消支援手法の提案とツール試作・評価：項目 1, 2 及び申請者の既存の研究業績を基に、不整合解消の過程で解消案を対話的に提示する手法を提案し、その提案手法を実現するツールを試作する。さらに、既存の仕様書品質改善活動やツールに対し、不整合解消に必要な時間と不整合検出の品質(検出数, 不整合の解消案等)について比較し、本不整合解消支援手法の有用性を評価する。

[Dung95] On the acceptability of arguments and its fundamental role in nonmonotonic reasoning, logic programming and n-person games, Phan Minh Dung, Artificial Intelligence 77, 321-357, 1995

[Liffiton13] Enumerating Infeasibility: Finding Multiple MUSes Quickly, Mark H. Liffiton and Ammar Malik, in Proc. 10th International Conference on Integration of Artificial Intelligence (AI) and Operations Research (OR) techniques in Constraint Programming (CPAIOR-2013), 160-175, 2013

#### 4. 研究成果

本研究では、数理議論学の議論フレームワークや外延を用いることで、論理的矛盾を含めた広義の不整合に対応した不整合解消支援ツールを試作した。項目 1 の自然言語で記述された仕様書から議論フレームワークを構築するために、仕様書の構造に着目した記述抽出法を提案し、併せて言語モデル BERT に対し SNLI データセットを用いて不整合関係(議論フレームワークの攻撃関係)を学習させた。これらを組み合わせることで、議論フレームワーク構築ツールを実現した。また、議論フレームワーク中の外延(仕様書中の記述の整合的な集合)を一階述語論理の拡張を用いて定義したことで、Liffiton13 で提案された手法を SMT に拡張したツールと組み合わせることができた。これらに基づき、SMT ソルバを用いて議論フレームワークから外延を列挙する方法を提案・実装した。さらに、構築した議論フレームワークと列挙した外延を組み合わせることで、不整合解消のヒントとして提示できる。最終的に、これらの成果をまとめて、不整合解消支援手法をツールとして試作・評価した。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 5件）

1. 著者名 Hiroyuki Kido	4. 巻 abs/2005.00961
2. 論文標題 Bayesian Entailment Hypothesis: How Brains Implement Monotonic and Non-monotonic Reasoning	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CoRR	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Hiroyuki Kido and Keishi Okamoto	4. 巻 abs/2012.08479
2. 論文標題 Bayes Meets Entailment and Prediction: Commonsense Reasoning with Non-monotonicity, Paraconsistency and Predictive Accuracy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 CoRR	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Keishi Okamoto, Hiroyuki Kido, Toshinori Takai	4. 巻 2170
2. 論文標題 Expressing Dung 's Extensions as FO-Formulas to Enumerate Them with an SMT Solver	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録	6. 最初と最後の頁 64-72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -
1. 著者名 Yuma Yamano, Toshihiko Ando and Keishi Okamoto	4. 巻 8
2. 論文標題 A Tool Generating a C# Code with Contracts of Code Contracts from a VDM++ Model with Conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 International Journal of Software Engineering (IJSE)	6. 最初と最後の頁 27-39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Hiroyuki Kido, Beishui Liao	4. 巻
2. 論文標題 A Bayesian Approach to Direct and Inverse Abstract Argumentation Problems	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 arXiv	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Keishi Okamoto, Hiroyuki Kido, Toshinori Takai	4. 巻
2. 論文標題 Expressing Dung 's Extensions as FO-Formulas to Enumerate Them with an SMT Solver	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 京都大学数理解析研究所講究録, 採録予定	6. 最初と最後の頁
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計5件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件)

1. 発表者名 Toshinori Takai, Katsutoshi Shintani, Hideki Andoh and Hironori Washizaki
2. 発表標題 Continuous modeling supports from business analysis to systems engineering in IoT development
3. 学会等名 5th International Conference on Enterprise Architecture and Information Systems (EAIS 2020) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keishi Okamoto
2. 発表標題 Enumeration of Dung 's Extensions with an SMT Solver
3. 学会等名 RIMS Model Theory Workshop 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Mitsuaki Tsuji, Toshinori Takai, Kazuki Kakimoto, Naoki Ishihama, Masafumi Katahira, and Hajimu Iida
2. 発表標題 Prioritizing Scenarios based on STAMP/STPA Using Statistical Model Checking
3. 学会等名 4th International Workshop on Testing Extra-Functional Properties and Quality Characteristics of Software Systems (ITEQS), 2020 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Takai, T., Shintani, K., Andoh, H., and Washizaki, H.
2. 発表標題 Case Study Applying GQM+Strategies with SysML for IoT Application System Development
3. 学会等名 8th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), IEEE (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keishi Okamoto, Hiroyuki Kido, Toshinori Takai
2. 発表標題 Defining extensions with first-order logic formulas, and its computation
3. 学会等名 2019 RIMS Model Theory Workshop
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	高井 利憲  (Takai Toshinori)  (10425738)	奈良先端科学技術大学院大学・先端科学技術研究科・客員准教授    (14603)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分 担 者	木藤 浩之  (Kido Hiroyuki)  (90705287)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・客員研究員    (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関