

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 28 年 6 月 7 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2013～2015

課題番号：25280078

研究課題名(和文)セマンティックWebの構築技術に関する研究

研究課題名(英文)Research on Construction Technology of Semantic Web

研究代表者

赤間 清 (Akama, Kiyoshi)

北海道大学・・・名誉教授

研究者番号：50126265

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,300,000円

研究成果の概要(和文)：セマンティックWebにおける知識表現と計算を行うために、すべての求解問題に適用できる理論を構築した。一階述語論理式で書かれた求解問題は、意味保存スコレム化によって拡張された節集合に変換され、等価変換ルールによって変換されて解決される。これは論理的問題の計算理論を大きく変革し、前進させるものであり、学問的に大きな意義がある。また、セマンティックWeb構築の論理的な基盤を与える。セマンティックWebの中心にある求解問題ソルバーを外界から利用するために、自然言語インターフェイスを自動で構築する研究を行い、実験でその能力を確認した。

研究成果の概要(英文)：We have constructed a theory for solving query-answering problems as a core technology of Semantic Web. A query-answering problem is transformed by using meaning-preserving Skolemization into a set of extended clauses with function variables, which is further transformed by using equivalent transformation rules. The ET solution together with meaning-preserving Skolemization has been proved to be very general and fundamental, since its correctness has been shown for a very large class of problems. In order to utilize a query-answering solver from outer world, we conducted research on automatic construction of natural language interface, and have evaluated the learning capability by experiment.

研究分野：人工知能

キーワード：等価変換 求解問題 意味理解 モデルインターセクション問題 関数変数 ルール適用制御 自然言語インターフェイス アンフォールド変換

1. 研究開始当初の背景

セマンティックWebでは機械(システム)がWeb上の知識を理解し、自動的に処理して質問に答える。セマンティックWebが解くべき基本的な問題(求解問題)を処理するアルゴリズムをどう作るかは、当時からセマンティックWeb研究の大きな課題になっていた。

2. 研究の目的

セマンティックWebの知識を表現する標準的な方法として、本研究では、一階述語論理式を採用する。知識を書くということは、論理式を書き、そのモデルによって可能な世界を示すことに他ならない。そのとき、ユーザ定義アトムだけでなく組み込みアトムを用いる。組み込みアトムを含む知識表現を正しく扱うための理論を作り、セマンティックWebの構築技術を解明するのが本研究の目的である。

3. 研究の方法

- (1) セマンティックWebにおける知識表現と計算について理論的な研究を行う。本研究の特徴は一般性である。求解問題の最大クラスを解くことのできる手続きの構築を目指す。また、単一の解法ではなく、すべての正当な解法を導ける理論を目指す。この方法により、本質的な構造を的確にとらえる可能性が高まると考えられる。また、よりよい手続きを探索するためにも欠くことができない。
- (2) また、構築した理論に基づいて、求

解問題を解くソルバーを作成し、いろいろな問題を解く実験を行う。そして、問題の変換に必要な等価変換ルールを発見する。

4. 研究成果

- (1) 組み込み述語を使った一階述語論理式は、伝統的な方法では正しく節集合に変換できない。この問題を克服するために、「意味保存スコレム化」と呼ばれる新しい方法を提案した。従来の理論体系は、「スコレム化」を基本としてその上に組み立てられていたので、「意味保存スコレム化」は、理論体系を根本から大胆に変更することになる。
- (2) 意味保存スコレム化は論理式の概念の拡大を必要とする。すなわち、「関数変数」と呼ばれる新しい対象を論理式の中に導入した。これは、「高階」の対象であり、それを意味づけるために、これまでの論理式の理論を超える新しい理論的枠組み(論理式の定義と意味論)を構築した。
- (3) 節の空間にも関数変数を導入し、節の概念を拡大した。本報告ではこの新しい節空間を「拡張節空間」と呼ぶ。通常の節は他の節とはまったく独立である。しかし、「拡張された節」同士は、同じ関数変数があれば、それらでつながっている。
- (4) 「拡張節空間」上のモデルインターセクション問題を新たに定義した。この意図は、多くの論理的問題を扱うことのできる大きな問題クラスの定義である。証明問題や求解問題のすべてをこのモデルインターセクション問題に帰着させて

解くことを目指すものである。

- (5) 「組み込み述語を含む一階論理式」上の証明問題をすべて、「拡張節空間」上のモデルインターセクション問題に帰着させる方法を与えた。また、「組み込み述語を含む一階論理式」上の求解問題をすべて、「拡張節空間」上のモデルインターセクション問題に帰着させる方法を与えた。
- (6) 「拡張節空間」上のモデルインターセクション問題を解く一般的な方法を与えた。それは等価変換ルールで次々に節集合を変換し、簡単な節集合に直していく方法である。
- (7) 優秀な等価変換ルールを備えることがより良い解法を生み出すことにつながる。基本的な等価変換ルールとして、アンフォールド変換を定義した。これは従来のアンフォールド変換の拡張であるが、従来のアンフォールド変換が確定節だけの世界で定義されたのに対して、ここでのアンフォールド変換は「拡張節空間」上で与えられるもので、ヘッドが複数ある「マルチヘッド節」や、ヘッドのない負節を含む空間である。この場合にうまく適用できるアンフォールド変換ルールの形を提案し、その変換の正当性の証明を行った。
- (8) 確定節除去変換ルールを導入した。これはたとえば特定の述語定義を行う確定節集合を、問題の答えに影響を与えないときに取り除く。この変換は、節集合のサイズを確実に小さくするので問題の単純化に大いに役立つ。
- (9) サイドチェンジ変換ルールは、節の中に出現する与えられた述語を持つアトム

を、節の反対側に移項する。移項するときには、アトムの否定に変えなければならない。この変換は、アンフォールド変換の可能性を増大させる場合があるので、計算の行き詰まりを打開するために役に立つ場合がある。

- (10) レゾリューションやファクターリングなどのルールを等価変換ルールとして導入した。これらは、ルール適用条件が緩いので、アンフォールド変換を行う前提条件が成立しないときでも適用でき、計算の行き詰まりを打開するために役立つ。
- (11) 関数変数を内部に持つアトムの処理を行う等価変換ルールもいくつか導入した。たとえば関数変数はどの定関数に具体化されても関数であることに変わりはないので、入力と同じであれば関数値は1つに定まる。これを利用したルールを導入した。
- (12) これらの等価変換ルールを組み込んだモデルインターセクション問題のソルバーを構築した。変換ルールを1つ適用するたびに、その変換結果を表示し、次の等価変換ルールの入力を促すモードを持つシステムである。ユーザはコマンドによって、計算の制御をインタラクティブに決めることができる。
- (13) セマンティックWebの中心にある求解問題ソルバーを外界から利用するために、自然言語インターフェースを自動で構築する研究を行った。「自然言語による問い合わせ文」と「求解問題ソルバーへの入力とする論理式」のペアがたくさん与えられたとき、それらの関係を学習し、未知の問い合わせ文に対しても、

求解問題ソルバーへの入力である論理式を的確に作り出すことのできるアルゴリズムを提案した。

- (14) 言語インターフェースを自動的に獲得するシステムの性能の評価実験を行った。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文] (計 3 件)

- (1) Katsunori Miura and Kiyoshi Akama, ET-based Bidirectional Search for proving Formulas in the Class ES, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有 Vol.10, No.6, pp.1999—2009 (2014)
- (2) Katsunori Miura, Kiyoshi Akama, Hidekatsu Koike and Hiroshi Mabuchi, THEORETICAL BASIS FOR MAKING EQUIVALENT TRANSFORMATION RULES FROM LOGICAL EQUIVALENCES FOR PROGRAM SYNTHESIS, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有 Vol. 9, No. 6, pp. 2635-2650 (2013)
- (3) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, Unfolding-Based Simplification of Query-Answering Problems in an Extended Clause Space, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 査読有 Vol. 9, No. 9, September, pp. 3515-3526 (2013)

[学会発表] (計 10 件)

- (1) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, A General Schema for Solving Model-Intersection Problems on a Specialization System by Equivalent Transformation, Proceedings of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management Volume 2: KEOD, pp.38-49, Lisbon - Portugal November 12 - 14, (2015)
- (2) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, Function variable Elimination and Its Limitations, Proceedings of the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management Volume 2: KEOD, pp.212-222, Lisbon - Portugal November 12 - 14, (2015)
- (3) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, Equivalent Transformation in an Extended Space for Solving Query-Answering Problems, 6th Asian Conference on Intelligent Information and Database Systems, ACIIDS 2014, Bangkok, Thailand, April 7-9, 2014, proceedings, Part I, pp.232-241, (April 2014) Lecture Notes in Artificial Intelligence (LNAI 8397,

ISSN: 0302-9743)

- (4) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, and Tadayuki Yoshida, Multiple-World Extension of Clausal Logical Structures, The Eighth International Conference on Advanced Engineering Computing and Applications in Sciences, ADVCOMP 2014, Rome, Italy, August 24 - 28, 2014, pp.55-61, (August 2014)
- (5) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, and Tadayuki Yoshida, Constructing Knowledge Representation Systems with First-Order Formulas as Atoms, 2014 5th International Conference on Future Information Technology, Oct.10-12, 2014, Bangkok, Thailand, pp.1-7, (October 2014)
- (6) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, Solving Query-Answering Problems with If-and-only-if Formulas, the 7th International Joint Conference on Knowledge Discovery, Knowledge Engineering and Knowledge Management, Oct.21-24, 2014, Rome, Italy, pp.1-12, (October 2014)
- (7) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, Embedding Proof Problems into Query-Answering Problems and Problem Solving by Equivalent Transformation. In: 5th International Conference on Knowledge Engineering and Ontology Development (KEOD 2013), Vilamoura, Portugal, September 19-22, pp. 253-260 (2013)
- (8) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, ELIMINATION OF FUNCTION VARIABLES FOR SOLVING QUERY-ANSWERING PROBLEMS, Proceedings of the 5th International Conference on Computer Research and Development (ICCRD 2013), pp.201-207, Ho Chi Minh City, Vietnam, February 23-24, (2013)
- (9) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, An ET-Based Low-Level Solution for Query-Answering Problems, The 7th Multi-Disciplinary International Workshop on Artificial Intelligence (MIWAI 2013), December 9-11, 2013 at Krabi, Thailand, LNCS 8271 (2013)
- (10) Kiyoshi Akama and Ekawit Nantajeewarawat, Solving Query-Answering Problems Using All-Solution Satisfiability Solvers: Algorithm and Correctness, Proc. of the 3rd World Congress on Information and Communication

Technologies, Dec 15 - Dec 18,
Hanoi, Vietnam (WICT 2013)
(2013)

6 . 研究組織

(1) 研究代表者

赤間 清 (AKAMA, Kiyoshi)
北海道大学・名誉教授
研究者番号 : 5 0 1 2 6 2 6 5

(2) 研究分担者

荒木 健治 (ARAKI, Kenji)
北海道大学・情報科学研究科・教授
研究者番号 : 5 0 2 0 2 7 4 2

三浦 克宣 (MIURA, Katsunori)
北見工業大学・工学部・講師
研究者番号 : 5 0 6 3 6 5 8 7

(3) 研究協力者

Ekawit Nantajeewarawat,
Sirindhorn International
Institute of Technology, Computer
Science Program, Associate
Professor