

学位論文題名

Study on Construction of Query-Answering Systems
in the Semantic Web

(セマンティック・ウェブにおける求解システムの構築に関する研究)

学位論文内容の要旨

セマンティック・ウェブが次世代のウェブ技術として提案されている。セマンティック・ウェブは、論理式で書かれた知識をウェブに配置し、機械で処理することによって高度な知識処理を目指すものである。セマンティック・ウェブにおける現在の重要な研究課題は、記述論理で書かれた概念関係と節で書かれたルールの表現を結合した強力な知識表現計算体系を確立することである。そこで解かれるべき問題は求解問題と呼ばれ、論理式とアトムを組みで表される。その答えは、そのアトムの具体例のうちその論理式の論理的帰結であるものすべての集合である。

本論文では、求解問題の解法を、ボトムアップ計算法とトップダウン計算法の2つの方針で提案している。またその提案に基づいて、求解問題を全自動で解くシステムの実現方法を考案し、実装を行った。提案方法は、まず問題を記述する論理式から節へ変換し、その節から等価変換 (ET) ルールを生成することにより、問題を解決する。本論文は次の8章で構成されている。

1章で、研究の背景、研究目的について述べたあと、2章では、求解問題から解を求める研究の現状と本研究の方針について説明している。セマンティック・ウェブにおける求解問題は、開世界の知識に関する問題であり、ルールの技術が主に閉世界の知識に対して開発されてきたのとは対照的である。それらの統合は知識処理を根本から捉え直す必要があること、またそれに対して、等価変換を基礎とした方法を用いて解法を探求することを述べている。

3章では、求解問題から節集合への変換方法を提案している。それは、一階述語論理式への変換、一階述語論理式の単純化、スコーム化による節集合の生成、の3ステップからなる。はじめに一階述語論理式に変換することによって、記述論理や節などいろいろな式で記述される問題を単一の形式にまとめる。一階述語論理式の単純化のあとスコーム化により節集合に変換する。

4章では、ETに基づくボトムアップな解法を提案した。これは、節集合の前処理、ETルールの生成、計算をコントロールのための工夫、Cプログラムへの変換と実行、共通部分を求める処理からなる。ETルールの分類に基づいてETルールを生成する。負節からfalseルールが生成される。マルチルヘッド節からマルチボディルールが生成され、そのルールは分岐ETルールを生み出す。計算が無限ループになるのを防いだり、計算を効率的にするために計算のコントロール (同一アトムの生成抑制とルールの優先度の付与) を行う。最後にETルールによって構成されたアルゴリズムからCプログラムを生成する。そのCプログラムを用いた実験の結果、正しい解が得られることが確認された。

5章では、求解問題のトップダウンな解法を提案した。これは、節から確定節への変換、確定節の

分類、ET ルールの生成、実行による解の獲得からなる。Prolog にみられるように、トップダウン計算は実行のコストが低くて、効率よい計算法である。例えば、この方法は閉世界においてよく使われる。トップダウン計算を行うルールは、もとの節が確定節であれば閉世界問題のための方法にならってルールを生成できる可能性がある。そのため、なるべく確定節が多くなるように変換を行なう。しかしこのあと閉世界と同じようにして ET ルールを生成しても得られる解は一般には正しくはならない。これは、開世界においては、記述されていないアトムは偽として処理されるからである。これを解決するために、ルールの中に未知アトムを導入する。未知アトムは真偽が確定していないアトムである。それ以外を ET ルールで変換すれば、未知アトムは計算結果にそのまま残る。最後に未知アトムに対するルールを適用して、未知アトムの真偽にかかわらず成り立つ結論を引き出すことによって求解問題の解を得る。幾つかの例を実験して、正しい結果が得られることを確認した。

6 章では、ボトムアップ解法に基づくシステム BUQAS とトップダウン解法に基づくシステム TDQAS の構築法を提案し、実装を行った。これは、論理式からルール生成、実行と解の獲得までの自動化を実現している。

7 章では、従来のスコレム化の問題点を指摘し、新しいスコレム化アルゴリズムを実装した。すなわち、従来のスコレム化は充足可能性を保存するが、論理的な意味を保存しない。これは既存のスコレム化は等価変換を基礎として求解問題を解くことに適さないことを意味する。本章では新しい意味保存スコレム化の理論に基づいて、そのアルゴリズムを実装し、上記のシステムに組み込み、実験に基づいて新しい方法の確立に向けての提案を行った。

8 章では、本論文で得られた成果についてまとめ、今後の研究課題を示している。

学位論文審査の要旨

主査	教授	赤間	清
副査	教授	古川	正志
副査	教授	栗原	正仁
副査	教授	水田	正弘

学位論文題名

Study on Construction of Query-Answering Systems in the Semantic Web

(セマンティック・ウェブにおける求解システムの構築に関する研究)

セマンティック・ウェブは、ウェブに蓄積された知識を、機械で意味処理することによって高度な知識処理を目指す次世代のウェブ技術である。セマンティック・ウェブにおいて解くべき問題のクラスは、質問応答問題、あるいは証明問題と対比して求解問題と呼ばれる。この問題は、論理式とアトムを組みで定義され、そのアトムの具体例のうち、その論理式の論理的帰結であるものをすべて求める問題である。このクラスの問題の一般的な解法はまだ十分確立されていない。その高速な解法を構築することはセマンティック・ウェブを実現する上で最も中心的な課題であるといえる。

現在までに提案された解法は、質問応答問題のある部分クラスを対象とし、ボトムアップ解法を中心とする解法に限られている。より大規模で一般的な問題では、トップダウン計算方法を多用する方法が有効性を発揮することが予想されるが、そのような解法は未だ開発されていない。

本研究では、質問応答問題に関して、ボトムアップとトップダウンの2つの解法を提案し、それぞれの方法に従って全自動で解くシステムを実現している。

1,2,3章で、研究の背景、研究目的、研究の方針について述べている。等価変換に基づいて問題を解決するのが、本論文の基本的な方針である。

4章では、ボトムアップ解法を提案している。与えられた問題を記述する論理式を等価的に変形し、節集合を得る。その節集合からボトムアップ計算を行う等価変換(ET)ルール集合を生成すれば、ETインタープリタを用いて動かすことによって問題を解くことができる。このETルール集合からC言語プログラムを生成し、高速なボトムアップ計算を行うプログラムを得ている。

5章では、トップダウン解法を提案している。トップダウン解法を目指す場合、与えられた問題を記述する論理式を等価的に変形し、節集合を得るところまではボトムアップ解法の場合とまったく同じである。次にアンフォールド変換などを使って節集合を等価変換したい。しかし確定節でない節があると等価な変換にはならない。そこで本研究では、仮説アトムをボディにおいた節を追加し、そこからアンフォールド変換を行うETルールを作る。このようにして得られたETルールを用いて節集合を単純化し、その結果得られた節集合から、質問応答問題の答えを求めている。

6 章では、提案された解法に基づいて、ボトムアップ解法に基づくシステム BUQAS とトップダウン解法に基づくシステム TDQAS を実現し、論理式で書かれた問題記述が与えられた時、スコアレム化などによる節集合への変換、ET ルール生成、ET ルールによる問題の簡単化、得られた節集合からの解の獲得を含む全過程を自動化している。またこのシステムを実際のインターネット上で動かすための技術として、ET 言語による XML 処理方法などが議論されている。

7 章では、スコアレム化の新しいアルゴリズムを導入し、システムを改善している。解法の最初のステップで、問題を節集合に変換する際に従来から使われているスコアレム化の方法を使うと、問題の論理的な意味が保存されないために正しい解法にはならない。本論文における新しいスコアレム化のアルゴリズムは、この問題を解決するために別の研究で提案された「意味保存スコアレム化」の理論に従って構築されている。これによって与えられた問題を正しく等価変換する新しい解法が実装され、実験により動作が確認されている。

8 章では、成果をまとめ、今後の研究課題を示している。

これを要するに、著者は、セマンティック・ウェブにおける質問応答問題のボトムアップとトップダウンの 2 つの解法を提案し、質問応答問題を解くシステムの実現に技術的な新知見を得たものであり、セマンティック・ウェブにおける知識情報処理の発展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。