

学 位 論 文 題 名

# Generation of a Specific Solver for Each Query-Answering Problem

(個別の求解問題に特化したソルバーの生成方法)

## 学位論文内容の要旨

In the real world, people do not only want to know "yes" or "no" of their question, but the exact answer (like, the service time of the restaurant). In other words, the achievement of the deductive system about how to solve the Query-Answering problem (QA problem), which is constituted by the precondition knowledge and the query atom, is an essential problem in the development of the real Semantic Web.

However, how to establish the effective solver for solving a considerable large range QA problems has not been clearly decided. The following fundamental issues need to be addressed:

1. Although conventional Skolemization used in proof problem always yields a satisfiability-preserving transformation, it does not preserve the logical meaning of a source formula (like Description Logic, or First-order Logic) in the transformation between different logical expressions, which is the most essential reason why the conventional researches on solving QA problems are difficult to be improved. In this research, based on the meaning-preserving Skolemization theory proposed by our research group, the skolem function is applied to preserve the logical meaning when transform between different logical expressions.

2. By introducing the skolem function, the real meaning-preserving transformation has been realized, and the real range of the QA problems expressed by FOL has been discovered. Therefore, how to implement the solver based on the Bottom-up solution in an efficient way to solve the QA problems need to be considered? Also, the correspondent increasing computational complexity by introducing the skolem functions has to be considered. Until now, a QA problem solving system that can correctly deal with the skolem function does not exist. In order to solve the QA problem in the Semantic Web automatically, the implementation of a deductive system for large range QA problems with skolem functions is required.

This thesis is constructed as follows:

In chapter 1, the development of the Semantic Web is introduced. And the importance of the QA problem has been discussed.

Chapter 2 will first formalizes a class of QA problems and outlines a general scheme for solving them based on the equivalent transformation (ET). Then, after describing the problems of the conventional research about QA problems, the necessity of the theory of meaning-preserving Skolemization will be explained and an extended clause space defined in our research group will be introduced. Moreover, based on the notion of the representative model set, a representative model set of the collection of all models of an extended clause set will be defined. Finally, the fundamental theory difference between this research and previously existing theories will be described.

Chapter 3 will firstly present the new Bottom-up solution for solving QA problems. Then, some QA

problem examples will be used to illustrate how the Bottom-up solution works. Here, the problem of the increase of the computational complexity by applying the Skolem functions introduced in chapter 2, will be discussed.

Chapter 4 will introduce the research approach of generating the Specific Solver for each given QA problem. As it has been already discussed in Chapter 3, the computational complexity will dramatically increase because of the introduction of the skolem function. Therefore, in this research, for each given QA problem, we generate the specific solver by using the knowledge (K, clause set) acquired from the given QA Problem. Although the generation of the specific solver by analyzing the QA Problem will cost little time, the execution time (Bottom-up computation) for achieving the representative model set is thought to be absolutely fast, especially when it will be repeatedly done only by changing the parameters (whenever reinitialize the skolem functions). We call this the QA Problem specific approach, which is an absolutely novel technology for solving the QA Problems.

In Chapter 5, the method of setting values for the skolem function variables included in the extended clause set, which are achieved by applying the meaning-preserving Skolemization theory in chapter 2, will be discussed.

Chapter 6 will introduce the very important concept, the Support Set. As the knowledge searching range defined in this research, the method about how to generate it is thought to be directly affects the efficiency of the whole QA problem solving process.

Chapter 7 will describe how to digitalize the support set.

In Chapter 8, the digitalization of the extended clause set and the final generation of the specific solver will be described. Furthermore, the efficiency of the specific solver will be confirmed by analyzing the experiment's results.

In Chapter 9, the results obtained in this thesis are summarized and the future works will be discussed. As a pre-process, the simplification of the extended clause set of the QA problem by using the unfold transformation will be discussed. Moreover, the new generation method for the support set will also be talked about.

# 学位論文審査の要旨

主査	教授	赤間	清
副査	教授	栗原	正仁
副査	教授	高井	昌彰
副査	准教授	棟朝	雅晴

## 学位論文題名

### Generation of a Specific Solver for Each Query- Answering Problem

(個別の求解問題に特化したソルバーの生成方法)

質問応答問題は、データベース問い合わせなどに見られる形の問題であり、ある前提知識のもとで、ある関係を満たすものをすべて求めることを要請する。これは、人間にとって最も基本的で重要な問題のクラスの1つと考えられる。本研究の目的は、質問応答問題が任意に1つ与えられたとき、それを正確に高速に解くために、その問題固有のソルバーを自動生成する技術を提案することである。

本研究の特徴はスコレム変数を扱う点である。任意の一階述語論理式で書かれた前提知識を持つ質問応答問題を対象とすると、問題をスコレム化を用いて変換すると、よく知られている節集合になる。そこに出てくるスコレム関数は通常の項であり、スコレム変数は出現しない。しかし証明問題と違って、質問応答問題の場合には従来のスコレム化を用いるのは誤りであり、意味保存スコレム化を用いなければならない。これにより背景知識として、スコレム変数が入った節集合を考える必要が出てくる。本研究は、この意味で、従来考察されていない種類の節集合を扱うという明確な新規性を持つ。

自動生成されるソルバーは、ボトムアップ計算に基づいてすべての代表モデルの生成を行うCプログラムになっている。そのボトムアップ計算ではスコレム変数の具体化の処理を適切に行わなければならない。各基礎アトムを表現する整数を配列のインデックスとして扱い、配列の値を0から1に変更する計算を基本としている。ソルバー生成は、ボトムアップ計算の領域を整数の世界に変換するステップや、節から得られる操作をC言語でコンパクトに記述するステップからなる。

本論文の構成は以下の通りである。

第1章で本研究の背景と目的を述べている。

第2章では、質問応答問題を定義し、質問応答問題を等価変換を用いて解く方法を説明し、意味保存スコレム化を紹介し、質問応答問題をスコレム変数が入った節集合に対する代表モデルの共通部分を求める問題に帰着する。

第3章では、スコレム変数が入った節集合に対する代表モデルをすべて求めるボトムアップ計算の方法を与える。

第4章では、問題固有のソルバーを自動生成する技術の流れを描写する。

第5章では、スコレム変数を具体化する方法、具体化を確率的に行う方法を提案する。それらは、スコレム関数の具体化において、具体例の生成個数を抑制することを主眼とするものである。

第6章では、台集合を定義する。台集合とは、ボトムアップ計算で出てくる基礎アトムの集合を包含する集合のことである。また、質問応答問題が与えられたときそれに対する台集合をコスト低く求める方法を与える。

第7章では、台集合を用いたボトムアップ計算を整数の世界で行う手続きに変換する。そのために、各基礎アトムの述語や引数に整数を割り当てる方法、各基礎アトムに整数を割り当てる方法、述語や引数を表現する整数の組から基礎アトムを表現する整数を求める計算方法などを提案する。

第8章では、前章の述語、引数、基礎アトムを表現する整数を基礎として、各節に対応する手続きを決定し、それを実行するC言語プログラムを生成する方法を与える。さらに本方法に基づいてソルバー自動生成システムを構築し、いくつかの問題に対して、ソルバーを自動生成し、それを用いて実験データを取り、ソルバー自動生成システムの動作を確認している。

第9章では、本論文で得られた結果をまとめ、今後の課題について述べている。

これを要するに、本論文は、スコール変数という新たな要素を含む広い問題クラスに対して、質問応答問題の正当で効率的な解法を目指して、問題固有のソルバーを自動生成する技術を提案し、自動生成システムを試作し、動作を確認したものであり、人工知能およびソフトウェア科学の分野に貢献するところ大なるものがある。

よって著者は、博士(情報科学)を授与される資格あるものと認める。