

学位論文題名

階層関係と部分構造を持つ対象の表現と
計算の定式化に関する研究

学位論文内容の要旨

本研究の目的は、階層関係と部分構造を持つ対象の表現と計算を定式化することである。ここで言う定式化とは、その対象を構成するための基礎となる構成要素を見つけ出し、これらを基礎となる理論の上で表現し、そして定式化の対象を構築し直すことである。本研究では、階層関係と部分構造を持つ対象の表現と計算を定式化の対象とした。

従来、問題を計算機によって解く場合には、人間が、その問題の解法を、アルゴリズムとして直接的に記述する方法がとられてきた。しかし、人間の直観に基礎を置く限り、アルゴリズムの品質を一定に保つのは難しい。アルゴリズムの品質には、正当性と効率という2つの側面がある。アルゴリズムは、その品質を保証する理論に基づいて、自動的に生成されるべきであるというのが、本研究の出発点である。

本研究では、問題の表現と計算を定式化するための枠組として、等価変換パラダイムを採用した。等価変換パラダイムは、問題をその解法と独立に表現するための系、および、表現された問題とその答を結び付ける写像の存在を仮定する。等価変換パラダイムは、この仮定の上で、計算の正当性を広く保証する。等価変換パラダイムにおいて、アルゴリズムとは、表現された問題に対する等価変換手続きとその適用を組にしたものである。等価変換パラダイムにおいて、問題の表現とその計算は、等価変換という概念だけで、非常に緩く結び付けられている。このため、正当性を保証できる利用可能なアルゴリズムの範囲は広い。正当性を保証する範囲が広いということは、その範囲の中で、効率の良い計算を発見できる可能性が高いということを意味する。

等価変換パラダイムは、問題を表現するための系と、表現された問題とその答を結び付けるための写像の存在を、抽象的に仮定している。このため、問題が具体的に定められた場合には、その問題の中で扱う対象のために、具体的な表現系と写像を定める必要がある。本研究では、具体的な表現系として、特殊化システムを採用した。特殊化システムは、問題に現れる対象とその操作の組からなる。この対象を用いて確定節を構成し、確定節の集合を問題の表現とする。論理型パラダイムでは、述語とその引数である項からなる原始論理式を利用して確定節を構成する。これに対して、特殊化システムでは、確定節を構成する対象の形を具体的に固定せずに、その存在を抽象的に仮定する。この点で、論理型パラダイムにおける確定節と、特殊化システムにおける確定節は異なる。また、特殊化システムは、対象に対する操作も具体的に固定せず、ある条件の下でその存在を抽象的に仮定する。特殊化システムは、この仮定の上で、問題の表現とその答を結び付けることができる。

本研究の重要な成果は以下の2つである。

1. 階層関係と部分構造を持つ対象のための表現系として、具体的な特殊化システムを考案したこと。

特殊化システムは、対象を表現するための表現系を、具体的に構築するための枠組である。特殊化システムそのものは、対象の具体的な形に依らず、抽象的に定義されている。対象のための表現系を具体的に示すためには、特殊化システムが抽象的に述べている部分を、具体化する必要がある。

2. 階層関係と部分構造を持つ対象を等価変換するために、単一化手続きを考案したこと。等価変換とは、表現に対する変換であり、表現と結び付いた答を保存するものである。本論文では、基礎となる等価変換として Unfold 変換を採用した。Unfold 変換は、対象の単一化を内部で利用する。このために、本研究では、対象の単一化手続きを考案した。

本研究では、階層関係と部分構造を持つ対象を、原子対象と呼ばれる形式により表現した。原子対象を表現するためには、定数の集合とその上の階層関係、および、変数の集合が必要である。本論文では、これらが与えられた場合に、どのような特殊化システムを作るべきかを述べた。本研究が目標としている対象のうちで、この原子対象だけでは表現できないような対象が存在する。このため新たに、クラス対象という形式を加え、原子対象を拡張した。

特殊化システムは、原子対象への操作も含む。本研究では、等価変換の手続きとして Unfold 変換を採用した。このため、原子対象の単一化手続きが必要となる。本論文では、原子対象を単一化するために必要となる、原子対象への操作を具体的に定めた。そして、これを用いて単一化手続きを定め、その手続きが単一化であること、および、有限の時間内に終了することを証明した。

本研究は、階層関係と部分構造を持つ対象の表現と計算を、等価変換パラダイムの上に定式化した。そのために、本論文では、階層関係と部分構造を持つ対象のための表現系として特殊化システムを具体的に構築し、この上の表現に対する等価変換を示した。具体的に構築された表現と計算のための枠組を LHS と呼ぶ。LHS の応用として、高階表現の例、型推論の例、具体的な等価変換の例を示した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 宮 本 衛 市

副 査 教 授 嘉 数 侑 昇

副 査 教 授 大 内 東

副 査 教 授 和 田 充 雄

学 位 論 文 題 名

階層関係と部分構造を持つ対象の表現と

計算の定式化に関する研究

人工知能分野で扱われる様々な問題領域において、対象を階層関係と部分構造の枠組の上で捉えることは、対象の表現や計算を直感的にも理解し易く、自然で明快なものとする。本論文は、階層関係と部分構造を持つ対象の表現と計算に関し、これを定式化する研究について述べたものである。

本論文は15章から構成されており、第1章では対象の表現と計算を等価変換パラダイムの上に定式化したことが述べられ、加えて、本研究の成果として、(1)具体的な表現系を考案したこと、(2)計算のための単一化手続きを考案したことを挙げている。

第2章では、本研究の基礎となる等価変換パラダイムを導入し、その上で抽象的な表現系としての特殊化システムを述べている。これらの基礎理論は幅広い対象を扱うことが可能な一般的な理論であり、このような一般的な理論の上に階層関係と部分構造を持つ対象の表現と計算を定式化することは、基礎理論の重要性を実証し、また今回の定式化の対象と他の対象との関連を理解する上できわめて有効であるとしている。第3章では、関連した研究を紹介し、これらと本研究における方法論を比較している。

第4章では表現系としての特殊化システムを論じ、第5章では等価変換に基づく計算の基礎となるUnfold変換について論じている。本論文は、これら2章の記述に基づき、対象の表現と計算の定式化を行っている。

第6章から第10章までは、例題に基づいた直感的な記述がなされており、形式的な記述は、第11章と第12章で述べられている。

第6章では、階層構造を表現するために、クラスを導入している。ここで、クラスとインスタンスが統合され、定式化の簡潔化を図っている。また、クラスに構造を導入することにより、複雑な階層関係をより少ない定数で表現可能とした。第7章では、部分構造を表現するために原子対象を導入している。最終的には、定数の順序集合と変数の集合というただ2つの基本概念に基づいて、階層関係と部分構造を持つ対象を簡潔に表現している。第8

章では構造制約について述べている。これは、正しい原子対象を規定するものであり、計算の効率を改善する上でも有効であるとしている。

第9章では、原子対象を特殊化システムを構成する原子論理式に対応付け、原子対象を利用したプログラミングを可能としている。ここで、従来は述語と呼ばれ、論理的には特別な扱いが求められていた記号を、定数と統合している。この定数と述語の統合は、基礎となる概念の数を減少させ、理論を簡潔なものとする上で有効とし、かつ、この統合により新たな問題が発生しないことを特殊化システムから保証している。

第10章では、いくつかの例を基に、原子対象の単一化を具体的に記述している。この単一化も特殊化システムに基づいており、表現と計算の理論的な統一がなされている。

第11章では、原子対象の表現について形式的な記述を与えており、第12章では、計算に用いる単一化について、形式的な記述を与えている。これにより、本研究が目標とする定式化の完成を見たことになる。

第13章から第15章では、上記の定式化を基に、いくつかの応用例を示した。第13章では、従来は特別な扱いを必要としていた高階な表現が、階という概念を用いずに理論化可能なことを示している。第14章では、型推論に原子対象の単一化を応用し、型推論も等価変換に基づいてなされ得ることを示している。第15章では、一次方程式を原子対象で表現し、その計算をunfold変換で行なえることを示している。

これを要するに、著者は、階層関係と部分構造を持つ対象の表現と計算が一般的な理論に基づいて定式化できることを示し、様々な対象を扱う人工知能分野に関する統一的な新知見を得ており、人工知能、情報工学の発展に寄与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(工学)の学位を授与される資格あるものと認める。