

氏 名	ほり やま たか し 堀 山 貴 史
学位の種類	博 士 (情 報 学)
学位記番号	論 情 博 第 51 号
学位授与の日付	平 成 16 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学位論文題目	Studies on Knowledge Representation and Reasoning with Ordered Binary Decision Diagrams (二分決定グラフを用いた知識表現と推論に関する研究)

論文調査委員 (主 査) 教 授 茨 木 俊 秀 教 授 岩 間 一 雄 教 授 佐 藤 雅 彦

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、最近注目されている知識獲得、知識発見、データマイニングなどで構成される知識ベースに着目し、知識の表現方法として二分決定グラフの利用を提案すると共に、二分決定グラフから有用な情報を取り出すための推論手法に関する研究成果をまとめたものであり、6章からなっている。

第1章は序論であり、自動推論における形式的手法の重要性と問題点、知識を論理関数として扱う上での種々の表現法の特長など、研究の背景を述べたのち、本研究の目的、位置づけ、および研究成果の概要を述べている。

第2章では、論理関数や論理演算の定義を導入した後、知識表現法として広く採用されている論理式、特徴モデル集合および二分決定グラフの定義を行い、さらに、それらの理論的性質をまとめている。

第3章では、知識ベースへの二分決定グラフの利用を提案し、既存の知識表現法である論理式および特徴モデル集合との比較により、各表現法の得失を検討している。これは、自動推論における各種操作の時間計算量、領域計算量の理論的解析の基礎を与えるものである。人工知能の分野では、論理式と特徴モデル集合による知識ベースの表現能力の比較がされ、理論計算機科学やVLSIの計算機援用設計・検証の分野では、論理式と二分決定グラフの比較がされてきたが、これら3つの表現法が同じ基準で比較されたことはない。本研究では、この問題に対し、二分決定グラフによる表現が、他の2つに比べて指数的に小さなサイズとなる場合、逆に指数的に大きくなる場合もあることを示している。また、基礎的な認識問題として、与えられた二分決定グラフが単調関数であるか、ホーン関数であるかを判定する2つの問題を扱い、それぞれに対し多項式時間アルゴリズムを提案している。

第4章では、二分決定グラフを用いた知識ベースにおける推論について検討している。代表的な操作は、以下の3つである。(1) 知識ベースにおけるモデルを一つ求める。(2) 与えられた論理式が知識ベースのもとで成立するかを判定する(演繹 deduction)。(3) 知識ベースのもとで与えられた命題変数 x_i が1となる条件を説明する(仮説生成 abduction)。(1)、(2)に関しては、知識が一般の論理関数の場合においても線形時間となるアルゴリズムを与え、(3)に関しては、ホーン関数の場合であっても、仮説生成解が存在するかどうかの判定問題がNP完全となることを示している。また、関数のホーン性を利用することで多項式時間となる条件を挙げ、知識ベースを表す二分決定グラフの変数順序との関係をも議論している。

二分決定グラフ、論理式、特徴モデル集合の3つの表現法は、それぞれに利点があることを第3章において示したが、第5章では、これらの表現の間での変換の計算複雑さについて検討している。従来の研究では、ホーンCNF論理式と特徴モデル集合との間の変換が、単調関数のCNFからDNFへの変換程度に困難であることが知られており、準多項式時間アルゴリズムが得られている。本研究では、ホーン関数を表す二分決定グラフからCNFへの変換が(出力)多項式時間で可能であること、逆にCNFから二分決定グラフへの変換は、(1) 出力となる二分決定グラフの変数順序を入力として指定した場合には多項式時間での変換が可能だが、(2) 変数順序を指定せずにサイズ最小の二分決定グラフを出力する場合には、その決定問題版がNP完全となることを示している。また、二分決定グラフと特徴モデル集合との変換についても、同様の結

果が成立することを示している。

第6章は結論であり、本論文で得られた結果を総括的にまとめている。

論文審査の結果の要旨

本論文は、知識ベースにおける知識表現の手段としての二分決定グラフの性質と、推論手法に関する研究をまとめたものである。本論文で得られた主な結果は次の通りである。

1. 知識ベースへの二分決定グラフの利用を提案し、知識表現法として既存の論理式、特徴モデル集合との比較を行った。これら3種の表現が互いに他より指数的に小さなサイズとなる場合があることを証明し、それぞれの重要性を示した。また、与えられた二分決定グラフの認識問題を扱い、単調性については入力 n の2乗時間で、ホーン性については3乗時間でそれぞれ判定可能であることを示した。

2. 知識ベースにおける推論の計算複雑さについて検討を行った。モデルを求める問題について線形時間アルゴリズムを示し、ホーン関数の場合には、解が最小モデルとなることを証明した。演繹についても、線形時間アルゴリズムを示したが、仮説生成については、ホーン関数の場合であっても、解の存在判定問題がNP完全となることを示した。また、仮説生成の解条件として全変数の集合を指定すると、一般の場合にはNP完全であるが、ホーン関数の場合には入力 n の2乗時間で可能であることを示した。

3. 二分決定グラフによる知識表現と、論理式および特徴モデル集合との間の変換アルゴリズムを検討し、ホーン関数を表す二分決定グラフからCNFへの変換が（出力）多項式時間で可能であること、逆にCNFから二分決定グラフへの変換は、(1) 出力となる二分決定グラフの変数順序を入力として指定した場合には多項式時間での変換が可能だが、(2) 変数順序を指定せずにサイズ最小の二分決定グラフを出力する場合には、その決定問題版がNP完全となることを示した。また、二分決定グラフと特徴モデル集合との変換については、ホーン関数より一般的である定数個の基底を持つ関数のクラスに関して、同様の結果が成立することを示した。

以上、本論文は、二分決定グラフを用いた知識表現と推論についての研究結果をまとめたもので、学術上および實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成16年1月23日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果、合格と認めた。