



Title	Expressive Power of Decision Diagrams and Quantum Computation Models
Author(s)	中西, 正樹
Citation	大阪大学, 2002, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://hdl.handle.net/11094/2704
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏名	なかにしまさき 中西正樹
博士の専攻分野の名称	博士(工学)
学位記番号	第 16603 号
学位授与年月日	平成14年1月18日
学位授与の要件	学位規則第4条第2項該当
学位論文名	Expressive Power of Decision Diagrams and Quantum Computation Models (決定グラフと量子計算モデルの表現能力)
論文審査委員	(主査) 教授 柏原 敏伸 (副査) 教授 藤原 融 教授 増澤 利光

論文内容の要旨

計算機上で関数を扱う場合、関数の表現形式として、真理値表、CNF、決定グラフなどが利用されている。これらの表現形式においては、表現能力の高いものが有用である。つまり、「できるだけ少ない記憶領域でできるだけ多くの実用的な関数を表現する」ことが求められる。一方で、計算機それ自体の能力を評価する場合は、計算モデルと形式言語を対応付け、その計算モデルが認識できる言語のクラスを考えることが多い。「できるだけシンプルなモデルで、できるだけ大きなクラスの言語を認識する」ことが、計算モデルの表現能力として求められる。本論文では、特定の関数の表現形式や計算モデルについて、それらが表現可能な関数、形式言語に関して解析を行った。

本論文では決定グラフと呼ばれる関数の表現形式と、量子計算のモデルを対象とする。決定グラフはグラフを用いたデータ構造であり、有用な関数を少ない節点数で表せる場合がある。決定グラフに関しては、(1)決定グラフの一種である *BMD を用いて除算を表現した場合、そのグラフの大きさの下界が指数関数になる。(2)決定グラフの一種である OKFDD について、与えられた変数順序の下でグラフの大きさが最小となる OKFDD を求める問題が NP-困難である。以上2点について結果を示す。一方、量子計算機とは量子力学に基づく計算機であり、従来の計算機と比べて指数的に高速になる可能性があるため、近年注目を集めている。そこで、量子計算モデルとして、量子ブランチングプログラムを提案し、従来のブランチングプログラムと比較を行う。また、非決定性量子有限オートマトンと呼ばれる計算モデルが認識する言語のクラスを解析する。結果としては、(3)量子ブランチングプログラムが従来のブランチングプログラムと比べて優位性を持つ。(4)非決定性量子有限オートマトンの認識する言語のクラスが、正規言語より真に大きくなる。以上2点について示す。

論文審査の結果の要旨

計算機の能力を解析するためには、適切な計算モデルを定義し、また、その計算モデル上で関数をどのように表現するかを決定する必要がある。本論文では、計算モデルや関数の表現形式の能力に関する以下の研究成果がまとめられている。2章では、関数の表現形式として決定グラフの一種である *BMD を用いている。決定グラフは関数を表す非巡回有向グラフであり、*BMD は擬似論理関数を表現できる。*BMD を用いて除算(商、余り)を表現した際

に必要となる節点数の下界が、指数関数になることが示されており、このことは、今までに示されてきた実験的な予測に理論的裏づけを与える結果となっている。

3章では、KFDDと呼ばれる決定グラフを対象としている。KFDDは論理関数を表す決定グラフであり、各変数に対する展開規則を任意に選ぶことができる。また、その大きさは展開規則の選び方に依存する。本論文では、最適な展開規則を選択する問題がNP-困難であることが示されている。決定グラフは回路の設計検証をはじめとする様々な分野で利用されており、従来から最小のサイズのKFDDを構築するアルゴリズムが提案されているが、本結果は、これらのアルゴリズムにおける発見的手法や近似アルゴリズム等の妥当性の根拠を与えている。

4章では量子計算モデルとして、量子ブランチングプログラムが提案されている。従来のブランチングプログラムと比較して、特定の条件の下で、量子ブランチングプログラムの方が能力が高くなる場合があることが示されている。

5章では、非決定性量子有限オートマトンが認識する言語のクラスが、正規言語よりも真に大きいことが示されている。従来の非決定性有限オートマトンが認識する言語のクラスが正規言語であることより、本結果は量子計算モデルの優位性を示していることになる。

以上のように、本論文は、決定グラフや量子計算モデルの表現能力について重要な結果を示しており、その成果は、計算複雑度および、量子計算の分野に貢献するところが多い。

よって本論文は、博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。