

氏名(本籍)	もと よし ふみ お 元 吉 文 男 (千葉県)		
学位の種類	博 士 (工 学)		
学位記番号	博 乙 第 780 号		
学位授与年月日	平成 4 年 3 月 25 日		
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当		
審査研究科	工 学 研 究 科		
学位論文題目	A Study on Logic Programming Language Based on First-order Formulae (一階述語論理式によるプログラミング言語の研究)		
主 査	筑波大学教授	理学博士	中 田 育 男
副 査	筑波大学教授	理学博士	佐 々 政 孝
副 査	筑波大学教授	工学博士	五 十 嵐 滋
副 査	筑波大学助教授	理学博士	井 田 哲 雄
副 査	東北大学教授	理学博士	佐 藤 雅 彦

### 論 文 の 要 旨

本論文は一階述語論理式をプログラムとするプログラミング言語の研究成果を述べたものである。任意の一階述語プログラムと任意のゴールから 3 値論理での解を求める 2 つのインタープリタを開発し、宣言語なプログラミング言語としてまとめた。これは論理型言語の代表である Prolog よりも広い範囲の論理式を論理的に正当化された方法で扱うことができると同時に、これまでには実現できていなかった、否定中の変数に解を求めることも可能な言語である。以下では、この言語を ALL(Augmented Logic Language)と呼ぶ。ALLでは、一階述語論理式で記述された任意のプログラムを与えたときに、そのゴールを満たす、3 値論理で考えた場合のすべての解を求めることが可能である。ここでの、3 値論理とは、通常の 2 値論理での“真”・“偽”以外に“未定”という論理値を持つ論理のことであり、すべての解が求まるという性質も 3 値論理での性質である。なお、3 値論理で真となる論理式は 2 値論理でも真であり、さらに、3 値論理と 2 値論理での結果が等しくなるための十分条件もいくつか知られており、ALLは通常の 2 値論理においても有用であると考えられる。

最初に、これまでに知られている事実を基に、一階述語プログラミング言語の理論的根拠となる漸近標準形の存在を示す。漸近標準形の一般形は解が  $\vee$  で連結された選言の形をしており、1 つの解は Prolog の解に制約項ともいうべき項が加わった形をしている。

次に理論的結果を基に、2 つのインタープリタを実現する。1 つは、完全インタープリタと名付けたもので、これは理論的結果を忠実に実現したものである。選言標準形を計算することによって、

任意の一階述語プログラムとゴールから3値論理でのすべての解を得る。選言標準形への変換は次のように行う。すなわち、まず、選言標準形どうしの演算を実現する。この演算には、否定(¬)・連言(∧)・選言(∨)のほかにも限量子の除去操作も含まれている。選言標準形はユニークではなく同値な式がいくつも存在するが、変形規則による簡単化演算によって冗長な論理式を簡単な式に変形する。各演算が実現できると、論理式を内側から順に選言標準形に変形してそれらの間の演算を実行することにより、最終的な選言標準形が得られる。

もう1つは、高速インタープリタと名付けたもので、扱う論理式のクラスに制限を加えて実行の効率化を図ったものである。完全インタープリタでは、すべての述語を同時に展開する横型探索法を用いて漸近標準形への変形を忠実に実現しているために効率が悪くなっている。高速インタープリタでは、変換規則を制限し、かつ述語を左から順番に展開する縦型探索法を用いて効率的に実行できるようにした。さらに、述語の展開と標準形への変形を別々に実行するのではなく、述語の展開と標準形への変形を混合して実行して効率化をはかっている。具体的には、述語を展開しているときにユーザ述語を含まない項が出現するとすぐに標準形への変形を行い、その処理が終了すると再び述語の展開を行うようにしている。

この方法はPrologの実現方法と類似性がある。実際、Prologのインタープリタを拡張する形で作成されている。ユーザ述語が確定節だけからなる場合には実行過程Prologとほとんど同じである。ただし、一般的な場合を前提にしているので、Prologとまったく同じ効率という訳にはいかず、Prologでオカーチェックを行った場合とほぼ同じ計算量になっている。

ALLを言語処理系として使用するにはインタープリタ以外に構文解析も必要である。構文解析も一階述語論理式による定理証明の一種と考えることによって、一階述語言語の実行の一形態と見なすことができるので、構文解析プログラムも効率化のために特殊化したインタープリタとして実現している。ALLの構文解析プログラムは柔軟な文法記述を取り扱うことが可能で、言語の実行中に構文規則を追加することができるものである。これにより、ALLでは数学で使用される論理式に近い形でプログラムを記述できるようになっている。

言語ALLはこのように、論理的正当性を保ちつつ、任意の一階述語論理式による宣言的プログラミングを可能にした。一般の一階述語でプログラムが可能となれば、従来のように宣言的知識を手続き的アルゴリズムへと変換する必要がなくなり、またプログラムの正当性も論理的に証明することが可能になると期待される。

## 審 査 の 要 旨

論文に述べられた研究は、論文要旨に述べられたように、その基礎において一つの解決をみた。これを工学的見地からさらに発展応用する必要があることが各委員より指摘された。

よって、著者は博士(工学)の学位を受けるに十分な資格を有するものと認める。