

論文審査の結果の要旨

氏名 松野 裕

本論文は「A Type Theory for Optimizing Compilers」と題し、最適化コンパイラにおけるコンパイラ最適化の正当性検証を取り上げ、型理論を用いた理論的な解析のための枠組を提案し、その理論の強さについて解析を与えたものである。コンパイラ最適化の複雑度が飛躍的に増す中で、最適化変換の正当性検証がますます困難になっている。本論文はその問題を解決するための型体系を構築し、さらにカット除去性、健全性、完全性などの理論解析のための標準的な基準に従って解析を加え、構築した体系が非常に良い性質を持っていることを示している。さらにこの理論を用いて、代表的なコンパイラ最適化のうちのいくつかについて正当性検証の式を導出している。対象としているのはアセンブリ言語を静的単一代入形式 (SSA) 化したもの、およびSSA化を行わないものである。それぞれに対して非常に良い性質を持つ型体系を与えている。

第1章は、序論である。本論文の背景となるプログラミング言語理論を概観し、さらに本論文でとった研究方式の概要を述べている。

第2章は、関連研究について述べている。本論文が位置づけられるべきコンパイラ最適化検証、型理論、より一般にプログラム解析について述べ、その問題点を指摘している。

第3章は、本論文で用いる理論の諸概念、特にSSAに関係する定義を行っている。

第4章は、コンパイラ最適化の正当性検証のための型体系を提案している。対象として、SSA化されたアセンブリ言語を固定し、それに対して代入型と呼ばれる、変数への代入を抽象した型、さらに再帰代入型と呼ばれる、ループなどで複数回行われる代入を表現する型を与えた。さらにそれに対する型推論規則を与えている。この型体系は、カット除去定理を持つことを証明した。さらに、同一の変数に対して複数の型推論が与えられるものの、それらはすべて同等であることを証明した。この結果は型体系の一貫性を示す重要な定理である。さらに、構造同等性を持つ2つのプログラムが同等の型を持つならば、それらは実行結果が同一であることを証明した。これは型体系の健全性を証明する非常に重要な定理である。また、一般的な場合は原理的に不可能なプログラムの同一性について、それが合理的な条件下では証明可能であることを示した点でも重要である。この型体系を用いることで、定数繰り込みや不要コード除去の最適化が自明なものとして証明されている。本章では、さらにこの体系を拡張して、最適化順序を

導入し、同様の方法でさらに広い最適化の正当性検証ができることを示している。

第5章は、アセンブリ言語のSSA化を必要としない前提で、4章と同等の理論の構築ができることを示している。型体系を一段抽象化して再帰代入型と同等の型を定義可能にしている。この型体系のもとで変数が再帰代入型と同等の型に型づけ可能ならば、代表的なSSA化アルゴリズムにより、その変数に ϕ 擬似関数による代入が発生すること（健全性）、さらに変数がSSA化により ϕ 擬似関数による代入が発生するならば、もとのプログラムが再帰代入型と同等の型に型付け可能であること（完全性）を同時に示している。これらはこの型体系がプログラム解析のためによりよい性質を持っていることをあらわしており、非常に重要な結果である。

第6章は、結論であり、本論文の成果をまとめているものである。

以上、これを要するに、本論文はコンパイラ最適化の正当性検証を取り上げ、型理論を用いた理論的な解析のための枠組を提案し、その理論の強さについて解析を与えたものである。コンパイラ最適化という非常に複雑なシステムの正当性検証のための型体系の構築は、理論的、実践的に非常に意義のあることであり、情報科学上寄与するところ大である。

したがって、博士（科学）の学位を授与できると認める。