

氏 名	おお の かず ひこ 大 野 和 彦
学位(専攻分野)	博 士 (工 学)
学位記番号	工 博 第 1732 号
学位授与の日付	平成 10 年 3 月 23 日
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項該当
研究科・専攻	工学研究科情報工学専攻
学位論文題目	静的解析による並列論理型言語 KL1 の実行最適化に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 富田真治 教授 佐藤雅彦 教授 湯浅太一

論 文 内 容 の 要 旨

人工知能における推論過程の高速処理のために、並列処理とその言語の研究が盛んに行われてきた。第五世代コンピュータプロジェクトで開発された並列論理言語 KL1 は、その言語上の特性により、非数値分野の並列プログラム記述に適している反面、従来の実装方法では実行効率が劣るといった問題がある。本論文は、静的解析情報を利用した KL1 の実行最適化を目的とし、KL1 プログラムを静的解析する手法、ならびにその結果を利用してノード間通信および逐次実行部分の効率を改善する手法について、研究を行った成果をまとめたものであり、第 1 章から第 6 章までの各章で構成される。

第 1 章は緒論であり、KL1 の実装における問題点を述べて研究の目的を明らかにし、研究の成果について概説している。

第 2 章では、研究の背景を述べている。まず、KL1 の言語仕様について、概略を述べている。続いて、代表的な処理系である KLIC について、その実装方式について説明している。最後に、KLIC など従来の処理系における主な問題点を指摘し、それらの解決方法として、静的解析情報を利用した最適化を提案している。

第 3 章では、KL1 プログラムの静的解析手法について述べている。まず、論理型言語の解析手法について、従来の研究で提案されている種々の方法を概観し、それらの特徴を論じている。次に、非決定性や再帰構造を効率よく表現できる型表現を導入し、双方向のデータフローや動的な実行順変化といった KL1 特有の性質を考慮して、高精度の解析結果が得られる手法を提案し、具体的なアルゴリズムの詳述、およびその性質に関する議論を行っている。続いて、実プログラムを解析する上で生じる問題点と解決方法を論じ、提案した解析手法の拡張を行っている。

第 4 章では、ノード間の通信最適化について述べている。従来の実装における細粒度通信が頻発するという問題に対し、解析情報を利用して必要なデータだけをまとめ送る選択的一括送信手法を提案している。まず、この手法に必要な情報である並列実行単位ごとのデータ参照パターンが、第 3 章の解析手法を拡張することによって得られることを示し、具体的な方法を示している。続いて、解析結果を用いて、選択的一括送信を行う通信コードを生成する手法を述べている。そして、KLIC 処理系を拡張することによって、この手法を実現する方法について、具体的な記述を行っている。最後に、本手法を実装し、性能評価を行った結果、2～5 倍程度の速度向上が得られたことを述べている。

第 5 章では、ゴール・スケジューリングの最適化について述べている。従来の実装における細粒度のスケジューリング・オーバーヘッドが逐次実行部分の速度低下を生じるという問題に対し、解析情報を利用してゴール群をスレッド化し、部分的な静的スケジューリングを行うという手法を提案している。この手法を実現するためにはゴール間の依存情報が必要であるが、第 3 章の解析手法を拡張することによって、この情報が得られることを述べている。また、再帰呼出によるループや構造型データを介した依存といった、KL1 の依存解析において生じる種々の問題点についても、この手法によって解決できることを示している。次に解析結果を用いて、順序づけ可能なゴール群を 1 スレッドとしてコンパイルするコード生成手法を述べている。そして、KLIC を拡張・変更しスレッド化されたコードを実行する方式を述べ、スレッドごとにスタック上でゴールを実行することによってガーベジコレクション回数を削減する手法、ならびにデータ要求に対し値生成スレッドを

優先的にスケジューリングすることによって、並列性を向上させるスレッド・スケジューリング手法の提案を行っている。最後に、本手法を実装し、性能評価を行った結果、1.3～3倍程度の速度向上が得られたことを述べている。

第6章は結論であり、本論文の内容を要約し、今後の研究課題について述べている。

論文審査の結果の要旨

人工知能における推論過程の高速化のためには、並列処理の導入とその実行効率の改善が不可欠である。本論文は、並列論理型言語 KL1 の実行最適化を目的として、KL1 プログラムの静的解析手法、ならびにその結果を利用した最適化コードの生成方法と処理系への実装方法に関する研究を行った結果をまとめたものであり、得られた成果は以下のとおりである。

1. 制約充足を利用した型解析に基づく KL1 の静的解析手法の提案

KL1 に適合する汎用的な静的解析手法として、構造型データ型と型変数を用いた高精度の型情報表現と、制約充足による解析手法を提案した。また、実プログラムの解析における問題点を検討し、手法の拡張による対応を行った。

2. 選択的一括送信手法に基づく新しい通信の最適化手法の提案と評価

並列実行では細粒度通信が頻発するという問題に対し、解析情報を利用して必要なデータだけをまとめ送る選択的一括送信手法を提案した。静的解析手法を拡張することによって必要な静的情報を得る手法を提案し、その結果を利用して選択的一括手法を実現するコード生成手法、ならびに実行系の実現方法を提案した。また、実装および性能評価を行い、2～3倍の性能向上を得るなど手法の有効性を示した。

3. スレッド化手法に基づくゴール・スケジューリング最適化手法の提案と評価

逐次実行部分について細粒度の動的スケジューリングが速度低下を引き起こすという問題に対し、解析情報を利用して部分的な静的スケジューリングを行う、ゴールのスレッド化手法を提案した。静的解析手法を拡張することによって必要な静的情報を得る手法を提案し、その結果を利用してゴールのスレッド化を行う方法、ならびにスレッド実行を行う実行系の実現方法を提案した。さらにスレッドのスケジューリング方式についても、並列性を向上させる reply first 方式を提案した。また、実装および性能評価を行い、1.3～3倍の性能向上を得るなど、これらの手法の有効性を示した。

以上、本論文は、学術上、実際上寄与するところが少なくない。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。また平成10年2月23日に論文内容とそれに関連した事項について試問を行った結果、合格と認めた。