

氏名	湯浅太一 ゆ あさ たい いち
学位の種類	理学博士
学位記番号	論理博第961号
学位授与の日付	昭和62年1月23日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	Realtime Garbage Collection on General-purpose Machines (汎用コンピュータ上の実時間ごみ集め)
論文調査委員	(主査) 教授 一松 信 教授 高須 達 教授 松浦重武

論文内容の要旨

人工知能研究などに広く使われる Lisp などの言語では、データをリスト構造によって表現する。すなわちデータをその一部 (car) と、以後の情報を含むセルの位置を示すポインタ (cdr) を合せたセルの列で表現する。これによりデータの加除・変更が容易にでき、不定長データの処理に便利だが、反面多量の記憶を要する。記憶容量は有限であり、使用済みのセルの適切な再利用を計らないと、飢餓状態になって、コンピュータでの処理が不可能になる。一度使ったセルのうち不要になったものを回収して再利用する処理が、標題にいうごみ集めである。

従来のリスト処理システムでは、ごみ集めの処理の間はプログラムの実行を中断する一括型が普通だった。この処理は、ときとしてプログラムの実行以上の時間を要し、目的によっては非常な危険性をはらんでいた。

そのため計算処理と並行して行う実時間ごみ集めの方法が研究され、いくつかの手法が提案されている。しかしその多くはごみ集め専用の中央処理装置を付加するもので、通例の汎用コンピュータには不向きであった。

以上のような背景の下で、申請者は一般のコンピュータに適用可能な効率よい実時間ごみ集めの算法を初めて考案した。その算法は、ごみ集め処理を個々の処理時間は無視してよいほどの細かい単位に分割し、基本機能中で一度に一単位ずつ実行することを基本原理とする。具体的には、セルを新に使ったときには格別の処理をせず、リストセルをヒープ上にアロケートするとき (Lisp でいえば、cons 関数が呼び出された際) と、リストセルを破壊的に操作するとき (Lisp でいえば rplaca と rplacd が呼び出された際) に、ごみ集め処理を部分的に実行する。しかも全体として記憶の余裕がある限度以下になったとき、初めてごみ集め処理を実行開始する。

申請者は優れた算法を提唱しただけでなく、その正当性を数学的に厳密に証明した。ごみ集め処理中にもプログラムは実行されていて、状況の変化が生じ得るために、これはかなり困難な作業である。申請者は、まずこの算法が対象とするリスト処理システムのモデルを与え、これに対する具体的なプログラムの

形で算法を記述した。そしてリスト処理機能の実行の前後につねに保存される不変特性 (invariant) をいくつか挙げ、それらを帰納法によって証明する方法をとった。ここで不変特性全体を、複数のレベルに分けて証明する手法により、困難な証明をかなり簡易化することに成功している。

この方法は、今後計算機科学における多くの実時間算法の正当性の証明に、有効に活用できることが期待される。

最後に申請者は、実際にコンピュータに実現した場合の具体的な評価を行い、最悪の場合でも、20%程度の記憶容量の余裕があれば、飢餓状態は生じないことを示している。このためにも証明のために導入した不変特性を活用し、必要とする記憶容量やごみ集め回数がどのように増減するかを詳しく解析している。これはプログラムの正当性検証技法が性能評価にも有効であることを示した例として、興味深い。

論文審査の結果の要旨

リスト処理システムにおいて、実時間ごみ集めが重要であることは、論文内容の要旨中に述べた通りである。特にロボットのような実時間制御を要する応用においては、実行中断の一括型ごみ集め処理では、その間に大事故を招く危険性さえある。

申請者の提案した実時間ごみ集めの算法は、特別の付加装置のない汎用計算機に適用できること、既存のリスト処理システムへ容易に応用できること、システム全体の処理効率の低下が僅かであること、余分に要する記憶が比較的少ないことなどで、実用上に極めて高い価値をもつ。

さらに重大な成果は、提唱した算法に正当性の証明をつけたことである。これまで提唱された多くの算法では、しばしば算法そのものがあいまいで、適用限界が明確でなく、経験的に正しいようだと判断される例が多かった。ごみ集め処理中にもプログラムの実行は進んで状況が変化するので、各セルを正しく不要か否か判断するのは容易でないことを考えても、この証明が簡単なものではないことが推案される。じっさいこのような厳密な証明に成功したごみ集め算法は、初めてであり、この点でも申請者の独創性が高く評価される。申請者のとった不変特性を挙げて帰納法で証明する手法は、計算機科学において標準的なものであるが、不変特性を複数のレベルに分けて証明するなど、巧妙な技法を駆使している。この方法は類似の諸問題の証明にも有効と思われる。

さらにこの不変特性をリスト処理システムの動作解析に適用し、正確な性能評価を与え、プログラムの正当性検証技法が性能評価にも有用なことを示している。

本論文は一言でいえば、計算機科学の永年の懸案の難問に、ほぼ決定的といってもよい解決策を提案し、しかもその正当性を厳密に証明した上、性能評価までを行ったものであり、計算機科学の数学的基礎として、極めて優れた成果である。

この論文はすでに内外から高い評価を受けている。例えば UCLA の Berry 教授は「自分はこの問題を14年間研究して多くの論文を書いたが、これは novel algorithm の他、その正統性の証明に unusual technique を駆使しており、重要な寄与である」と評しているほどである。

参考論文は16篇ある。その内には申請者の作成した Kyoto Common Lisp のマニュアルや、開発したシステムの解説書も含まれている。参考論文の多くは、所属研究機関において共同で開発してきたプログ

ラム検証系イオタ言語およびそのプログラム作成支援システムの学術報告・ソフトウェア開発手法の研究である。Kyoto Common Lisp はすでに国際的にも高く評価され、日本のソフトウェア業界にも大きな刺激を与えた製品である。このように、申請者は、計算機科学の理論的研究に優れた成果を挙げただけでなく、ソフトウェアの作成・開発の実際面にも抜群の能力を発揮している。

よって、本論文は理学博士の学位論文として価値あるものと認める。

なお、主論文および参考論文の内容を中心として、これに関連した研究分野について試問した結果、合格と認めた。