

審査の結果の要旨

氏 名 井上 拓

本論文は、「Efficient Exploitation of SIMD Instructions in Non-Numerical Applications (SIMD命令の効率的な活用による非数値計算アプリケーションの高速化)」と題し、英文6章から構成される。

ハードウェア技術の進歩のみに頼ったプロセッサのシングルスレッド性能の向上が鈍化するに伴い、SIMD命令を用いたデータ並列度の活用や、マルチコアによるスレッドレベル並列度の活用といった、ハードウェア機能を最大限に活かすソフトウェア技術がシステム全体の性能向上のためには必須になってきた。しかし、SIMD命令は科学技術計算や画像処理といった特定の分野以外においては活用が必ずしも容易ではないため、多くのプロセッサが機能を提供しているにもかかわらず、その用途はいまだに限定的である。本論文では、現在SIMD命令が活用できていない重要な処理、具体的には整数と構造体のソート、集合積処理において、SIMD命令の活用に適した新しいアルゴリズムを提案し、その性能の評価を行い有効性を示している。

第1章「Introduction (序論)」では、本論文の提案技術についての動機およびその概要を述べている。さらに、非数値計算アプリケーションでのSIMD命令の活用においては、データ並列度の活用に加えてデータ依存の条件分岐における分岐予測ミスを削減することが特に重要であることが議論されている。

第2章は「Background (背景知識)」と題され、本研究の前提となるSIMD命令について、その概要とプログラムの記述方法について述べている。特に大量のデータを条件分岐を減らしながら処理するために重要になる並列比較命令、並列選択命令、並列Min/Max命令などについて、その動作および使い方について述べている。また、ベクタレジスタとメモリとのロードおよびストアにおいては、メモリへのアクセスパターンが連続になるようにすることが、高い性能を達成するために重要であることも議論している。

第3章は「Sorting for Integers (整数配列向けソートアルゴリズム)」と題され、整数の配列をその値をキーとしてソートを行う際に、SIMD命令を効率よく用いることができるアルゴリズムを提案し、性能評価を行っている。提案アルゴリズムは既存アルゴリズムであるマージソートを基本に、バイトニックマージやOdd-Evenマージなどのソーティングネットワークと呼ばれるアルゴリズムを組み合わせることで、SIMD命令によりデータ並列処理を行いながら条件分岐の数を削減し、性能を大きく向上させることができることを示している。

第4章は「Sorting for Structures (構造体配列向けのソートアルゴリズム)」と題され、第3章で議論されたアルゴリズムを拡張し、構造体の配列をそれぞれの中に含まれるキーによってソートする効率的なアルゴリズムを提案している。既存の手法では、SIMD命令とプロセッサのキャッシュメモリの効率的な活用を両立することができていない。一方、提案手法では、マルチウェイマージ処理の入力時に構造体のキーとIDを整数にエンコードし、出力時に実際の並べ替えを行うことを繰り返してソートを行うことで、SIMD命令を効率的に使いながらメモリ内での構造体の並べ替えに伴うキャッシュミスを避けることができることを示している。また、この手法による性能と既存のアルゴリズムとの詳細な性能比較を行い、得失についての議論を行っている。

第5章は「Set Intersection (集合積処理)」と題され、データベースの結合(join)処理や、情報検索システムでの複数キーワード検索において重要になる集合積処理について、新たなアルゴリズムを提案している。データを1個ずつ比較する代わりに、複数のデータをまとめて読み込み、それらの間での一致比較を行うことで、全比較回数は増加するが分岐予測ミスが大きく削減し、性能向上が得られている。また、SIMD命令により並列に一致比較を行うことで、比較回数を増加させずに分岐予測ミスを削減できることを示している。その際、キーの一部のみを比較することで、データ並列度を高める手法についても論じている。

第6章「Conclusions (結論)」では、本論文をまとめると共に、今後の研究の展開について述べている。

以上これを要するに、本論文ではソートや集合積処理と言った、多くのアプリケーションで重要になる処理について、SIMD命令を用いてデータ並列処理を行うとともにスレッドレベルの並列処理、分岐予測ミスの削減、キャッシュミスの削減などを可能にする新たなアルゴリズムを提案し、詳細な性能評価によりその有効性を検証しており、電子情報学の発展に寄与するところが少なくない。よって本論文は博士(情報理工学)の学位請求論文として合格と認められる。