

## 審査の結果の要旨

氏 名           ダオ タンチュン

本論文は「Effective Deployment of Data-intensive Frameworks on Supercomputers (スーパーコンピュータ上へのデータ集約型計算フレームワークの効果的展開)」と題し、英文6章より構成される。本論文は、大規模データの処理フレームワークとして代表的な Hadoop を具体例として、超高速計算向けに最適化されてきたスーパーコンピュータ上でこれを効果的に実行するための技法に関するもので、その技法を実現するソフトウェア HPC-Reuseと SEMem を提案している。これらのソフトウェアは Hadoop の拡張コンポーネントであり、超高速計算向けスーパーコンピュータ上での Hadoop の実行速度を改善する。

第1章「Introduction」では、本論文の提案の概要およびその動機を述べている。動機となる現状でのソフトウェア構成の問題点を挙げた後、本論文で論ずるその問題の解決手法の学術的な位置づけおよび貢献を概観している。

第2章「Background」では、Hadoop の一般的な実行環境とその問題点を議論している。一般に Hadoop は PC クラスタ型計算機上で実行されるが、超高速計算向けスーパーコンピュータ上で実行した方が高い実行速度を得られることを期待できる。後者の方がより高速なネットワークを備え計算機の規模も大きいことが多いからである。しかし無改造の Hadoop を単純にスーパーコンピュータ上で実行しても、そのハードウェア性能を引き出せず、PC クラスタ型計算機に比べてさほど実行時性能が改善されない。第2章では、典型的な PC クラスタ型計算機やスーパーコンピュータについて紹介した後、Hadoop と本論文が対象とするスーパーコンピュータの典型的なソフトウェア環境との間に2つのアーキテクチャ上の不整合があり、それが理由で期待される性能を実現できないことを論じている。

第3章「Virtualizing Dynamic Process Creation」では、1つ目の不整合を解決するため、MPI 対応の仮想化された動的プロセス生成機構を提案し、それを実現するソフトウェア HPC-Reuse について論じている。Hadoop は通信に (TCP) socket を用いるが、スーパーコンピュータでは socket より MPI の方が高速な実装が提供されることが多い。第3章では MPI を用いるように Hadoop を改良するが、既存の MPI 実装は、Hadoop が必要とする動的なプロセス生成に対応していないか、低速である。第3章は、実行開

始時に Java 仮想機械を実行する MPI のプロセスを複数起動しておき、必要に応じて割り当てる方式で動的プロセス生成機構を提供する仮想的なソフトウェア層を Hadoop 向けに提案する。これにより最小限の改造で Hadoop が MPI を利用しつつプロセスを動的かつ高速に生成できるようになった。第 3 章はまた Java 仮想機械の初期化など実装上の要点について論じている。

第 4 章「Efficiently Virtualizing Local Disks」では、2つ目の不整合を解決するため、各ノード上のメモリを利用した仮想ディスクを効率的に動作させる技法を論じ、それを Hadoop 向けに実現するソフトウェア SEMem について述べている。SEMem は仮想ディスクの異なる配置方法に対応しており、実験から明らかになった Hadoop において直感的には自明でないが高速な配置方法を報告している。スーパーコンピュータではノード数が非常に多いため耐故障性の観点から各ノードにディスクを置かず、中央の高速ディスクを全体で共有する集中型の構成をとることが多い。一方、Hadoop は各ノードがディスクをもつ構成の PC クラスタ型計算機を前提にしているため、これが不整合となり、無改造の Hadoop ではスーパーコンピュータ上で十分な性能がでない。SEMem によりスーパーコンピュータ上でも Hadoop が高速に動作するようになった。実験によれば、これは各ノードが SSD をもつ構成のスーパーコンピュータ上の無改造の Hadoop よりも高速に動作する。また現在も重要な論点の一つである大規模なスーパーコンピュータにおける望ましいディスク構成に新たな知見を与えた。

第 5 章「Performance benefit of both HPC-Reuse and SEMem」では、HPC-Reuse と SEMem の全ての機能を組み合わせた場合の Hadoop の実行時性能を、ベンチマークスイートを用いて示している。クラウド上の従来型の実行環境やスーパーコンピュータ上の無改造の Hadoop に比べ有意な性能向上を達成することが示されている。

第 6 章「Conclusions」は本論文をまとめている。本論文の研究の貢献とその現状における限界について述べている。また今後の研究の展望について論じている。

以上のように、本論文の技法・ソフトウェアにより、スーパーコンピュータ上で Hadoop をそのハードウェア性能を最大限に引き出しながら実行できるようになった。これにより従来の PC クラスタ上での Hadoop の実行に比して高い実行時性能を達成できた。研究成果は他の類似するフレームワークにも容易に適用可能であり、本論文の研究は、情報理工学に関する研究的意義と共に、情報理工学における創造的実践に関し価値が認められる。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。