

氏名	たなか しんじ 田中 慎 司
学位(専攻分野)	博 士 (情 報 学)
学位記番号	情 博 第 197 号
学位授与の日付	平成 18 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	情報学研究科社会情報学専攻
学位論文題目	Java ネットワークサーバの局所性を利用した高速化の研究

論文調査委員 (主査) 教授 石田 亨 教授 田中克己 教授 湯浅太一

### 論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、大規模なシステムの重要な構成要素である、Java で実装されたネットワークサーバにおいて、高い性能を達成するために、言語処理系における参照・更新の局所性とネットワーク通信の局所性を利用し、メモリ上の実行コードとデータの再配置、及び、ホスト間でのタスク配置の最適化によって、性能の高速化を行い、アプリケーション特性に合わせた最適なソフトウェアアーキテクチャを判断する手法について述べたものである。論文は、5つの章より構成される。

第1章は序章であり、本研究の目的とアプローチ、また研究の背景とその課題、そして本論文の構成を述べている。Java ネットワークサーバの言語処理系において、アプリケーションの実行コードの参照とデータの参照と更新の局所性を動的に解析し、その結果から動的な再配置による最適化を行う手法を提案し、また、アプリケーション特性による性能向上への影響を評価している。ネットワークサーバのソフトウェアアーキテクチャにおいて、動的な再配置による最適化手法の効果の評価と、通信の局所性による性能への影響のモデル化により、適切なソフトウェアアーキテクチャを判断する指針を提案している。また、この提案によって解決される課題について述べている。

第2章では、本論文の背景となる、局所性を利用した性能向上を目的とする言語処理系、及び、ネットワークサーバのそれぞれの手法について述べている。本研究の背景として、Java VMの局所性を利用した高速化手法とネットワークサーバにおける局所性を利用した高速化手法に関する先行研究について述べている。

第3章では、実行コード参照、及び、データ参照・更新の局所性を利用した最適化手法を提案している。言語処理系における、実行コードの参照、及び、データの参照と更新の局所性の傾向と、本手法が対象とするアプリケーションの特性と、最適化を実施するタイミングを示している。実行コード配置の最適化、データ配置の最適化の両者共通の処理の流れは、局所性を解析するためのプロファイル取得コードの挿入、及び、プロファイル取得の実施、プロファイルの分析に基づく実行コード・データの最適配置の算出、及び、最適配置に向けた実行コードとデータの再配置の実施となっている。実行コード配置の最適化において、メソッド単位とベーシックブロック単位での配置順の最適化、及び、メソッド分割による最適化の手法を提案している。また、データ配置の最適化において、オブジェクト生成サイト単位での、オブジェクトのアクセス頻度による分類を行い、頻度別ヒープに配置する手法を提案している。最後にプロトタイプ実装による評価実験の結果、実行コード配置の最適化により最大15%程度、データ配置の最適化により最大3倍の高速化が得られ、有効な手法であることを示している。また、種類の異なるサーバのアプリケーション特性を示し、それらの性能改善効果への影響を評価している。

第4章では、前章の最適化手法による改善効果のアプリケーション特性による影響を踏まえ、さらにアプリケーションにおける通信の局所性を利用することで、システムとして、高いスケーラビリティを実現する適切なソフトウェアアーキテクチャを判断するための指針を提案している。また、ネットワーク通信の局所性を利用した最適化手法として、移動エージェントを利用することで、タスク配置を最適化する手法を提案している。ソフトウェアアーキテクチャに関して、多数のホストによって構成されたクラスタにおいて、タスク配置方針の異なるソフトウェアアーキテクチャを示し、それぞれの性能モ

デルについて論じ、性能上のトレードオフを示している。最後に、プロトタイプ実装による評価実験の結果より、性能モデルの検証とトレードオフの明確化を行っている。性能モデルの検証では、モデルによる推定値と評価実験による実測値の差が10%以内に収まっており、性能モデルが十分な精度を持っていることを示している。また、トレードオフについては、ホストを跨がる通信、及び、タスク間での負荷の偏りによるシステム全体における性能への影響を明確にし、アプリケーションの特性に応じたアーキテクチャの選択のための指針を示している。

第5章では、本論文で得られた成果について要約している。また、今後の研究の方向性を述べている。

## 論文審査の結果の要旨

本論文は、情報化社会の基盤において重要な役割を担う Java で実装されたネットワークサーバの性能、及び、スケーラビリティの向上を目的としている。この目的のため、言語処理系における参照・更新の局所性とネットワーク通信の局所性を利用し、メモリ上の実行コードとデータの再配置、及び、ホスト間でのタスクの最適化によって、性能向上を実現する手法を提案している。得られた主な成果は次の通りである。

(1) 仮想機械上において、実行コード参照とデータ参照・更新の局所性を利用した高速化を実現する実行コードの動的再配置手法、及び、オブジェクトの動的再配置手法を提案している。実行コードに対しては、メソッド呼出しとメソッド内の処理フローの実行時プロファイルに基づいて、メソッド単位とベーシックブロック単位での配置順の最適化、及び、メソッド分割を行っている。オブジェクトに対しては、オブジェクト生成サイト単位でのアクセス頻度の実行時プロファイルに基づいて、頻度別ヒープに適切に配置している。実験の結果、プロセッサのキャッシュヒット率の向上により、処理性能が向上している。また、サーバの種類による性能向上への影響を評価している。

(2) ネットワークサーバクラスタにおいて、異なるホストに割当てられたタスクによるタスク間通信がシステムにおけるボトルネックとなっている場合に、移動エージェントを利用しホスト間通信の抑制することで、ボトルネックを解消する手法を提案している。移動エージェントによりホスト間でのタスク配置を最適化することで、システム性能を向上させている。

(3) 多数のタスクが複数のホストに配置される場合に、タスクの実体の配置方針が異なる複数のソフトウェアアーキテクチャの性能モデルを構築している。これらの性能モデルにより、アプリケーションの特性によるトレードオフを明確化している。仮想機械上の最適化の提案手法への影響の評価と、このトレードオフの明確化により、アプリケーション特性に合わせた最適なソフトウェアアーキテクチャを決定するための指針を得ることが可能となった。実験結果より、性能モデルによる推定値が実測値に十分近く、十分な精度を持つことが示されている。

以上、本論文は、Java ネットワークサーバにおける言語処理系の局所性とネットワーク通信の局所性を利用することで、性能、及び、スケーラビリティを向上させ、適切なアーキテクチャを判断する手法をまとめたものであり、学術上、実際に寄与するところが少なくない。

よって、本論文は博士（情報学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成18年2月7日に実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。