

早稲田大学大学院 基幹理工学研究科

# 博士論文審査報告書

## 論 文 題 目

mBrace: Fine-grained Monitoring  
Solution for Multi-Tier Web  
Application

mBrace: 多階層 Web アプリケーション  
のための細粒度モニタリング手法

申 請 者

氏 名

Matthijs Andrej	VAN DER ZEE
ファンデルゼイ	マタイス アンドレイ

専攻・研究指導  
(課程内のみ)

情報理工学専攻 分散システム研究

2011 年 2 月

Webサービスは我々の日常生活において日常的に利用されるようになり、様々な業種がWebサービスを介して多様なサービスを提供するようになってきている。しかし、現状の性能解析やデバッグツールは多階層のWebサービスにおいて利用するためには様々な問題を抱えている。

LoadRunnerやIMeterのようなロードジェネレータツールは数千のクライアントからの要求をシミュレートすることにより、HTTP要求毎のエンドツーエンドの処理における異常の発見を可能とする。しかし、問題があるリクエストの中のどの部分が異常であるかを解析することは現状の技術では極めて難しい。特に、現状のプロセスレベルのリソースモニタリングツールは、Webサーバやデータベースサーバが受け取った個別のリクエスト毎の性能を個別に解析することが不可能なため、ピンポイントに問題点を特定することが極めて困難である。

本論文では、以上の問題を解決するためのWebサービスに適した新しいモニタリング手法を提案し、提案するモニタリング手法を利用可能とするツールであるmBraceの構築に関して報告している。mBraceの最大の特徴は1つのプロセスが受け付ける複数のリクエスト間のリソース使用量を分離して測定することを可能とすることである。また、Webサービスが使用するプロセスは、内部で複数のスレッドを用いて複数のリクエストの処理をおこなう。その場合、各プロセス内のどのスレッドがどの要求を処理するかをあらかじめ識別することは難しく、従来の方法では複数のプロセスにまたがって処理されるリクエストが個々のプロセスのどのスレッドを用いて処理されているかの情報を取得出来ないことが従来のWebサービスを構築する上で大きな問題となっていた。

mBraceはLinuxカーネルが提供する細粒度の時間管理を可能とするPerfmon2の機能とリクエスト間の新しい関係づけをおこなう手法を利用した斬新なモニタリング手法を提案している。これにより、Webサービスの各リクエストがどのサーバのどの処理でボトルネックになっているかを容易に検出することが可能となる。また、mBraceは、既存のソフトウェアを極めて少ない変更で実用的なWebサービスのモニタリングを可能とする。そのため、運用のためのコストも低く、実世界の様々な企業において運用されているWebサービスの性能を向上し、リソース効率を格段に高めることを可能とする。

以下に本論文の各章の概要を述べる。

第1章は多階層のWebアプリケーションをモニタリングするためには現在のオペレーティングシステムが提供する機能では不十分であることを説明した後に、それらの問題を解決するためのツールであるmBraceの

提案をおこなっている。また、mBraceが現実利用されているWebサービスのモニタリングをおこなうために必要とされる機能に関する説明をおこなっている。最後に、本研究の貢献と、論文の構成に関して説明している。

第2章は本論文における研究の関連研究に関して説明している。はじめに、Webサービスにおける性能解析の問題に関して説明している。次に、既存のシステムモニタリングに関する研究について説明している。本章では、関連研究を3つのグループに分類している。1つ目のグループは、多くのオペレーティングシステムに標準的に含まれている、ps, nmon, /procファイルシステム等のツールである。2つ目は、Whodunitにより提案されたシステムやvPathのようにコンポーネントをブラックボックスとしてモニタリングを可能とするツールである。3つ目は、NetLogger, MagpieやChopstixのようにオペレーティングシステム自体の変更を必要とするシステムである。最後に、本章では、最近のオペレーティングシステムが提供する機能であり、mBraceも利用しているPerfmon2というシステムに関して説明している。

第3章では、mBraceがターゲットとするシステムアーキテクチャに関して説明している。mBraceは、Webサービスが一般的に利用されている環境である、ロードバランサー、複数のアプリケーションサーバ、データベースサーバから構成されているシステムを前提としている。本研究では、オペレーティングシステムとしてはLinux, Webアプリケーションを動作させるための基盤としてApache, データベースサーバとしてMySQLを利用することを前提としている。

第4章では、mBraceの実装に関して説明している。mBraceの最大の特徴は、既存のソフトウェアの大規模な変更を必要とせずに細粒度のモニタリングを可能とすることである。Linuxに対してはPerfmon2を導入するだけで他の変更を必要としていない。また、Apacheに関しては、ロードバランサーとアプリケーションサーバにモジュールを導入するだけで細粒度のモニタリングを可能とすることを示している。最後に、細粒度モニタリングを可能とするためのMySQLプロトコルの拡張に関して説明している。

以上より、mBraceは既存のソフトウェアに対する最小限の変更により細粒度のモニタリングを可能とすることを示した。既存のソフトウェアの変更は、新たなバグの発生等、様々な問題を生じる可能性があるため、実世界の運用では受け入れられる可能性が低い、しかし、mBraceは、既存のソフトウェアを変更せずに細粒度モニタリングを可能とするため、幅広く受け入れられる可能性を持っている。

第5章は、mBraceの評価に関して説明している。mBraceは細粒度モニタリングにより生成した情報を独立したサーバに格納している。はじめに、

モニタリング自体によるオーバーヘッドが2%以下であることを示している。これは、モニタリングによる影響がほとんどWebサービスの実行に影響を与えないことを意味している。モニタリング情報を格納するストレージオーバーヘッドが他の処理に与える影響は9%程度生じるが、ストレージサーバとアプリケーションサーバを異なるマシン上に配置することにより影響を無視出来る程度に出来ることを示している。最後に、mBraceの設置コストが極めて低いため、高いスキルを持ったオペレータが存在しない場合でもシステムの利用が可能であることを示している。

第6章は、結論を述べている。また、細粒度モニタリングに関する研究を拡張する場合の課題に関して説明している。

以上が本論文の概要であるが、これを要するに本論文では、現在のWebサービスの品質を向上するためのリクエストベースの細粒度モニタリングを用いた性能解析ツールを提案し、その結果をmBraceという実用的なシステムとして実装をおこない、有効性を示した。このように、単に学術的な貢献だけではなく、実システムとして現実に利用されているサービスに対して使用出来るレベルまで技術レベルを高めたことは、ソフトウェア研究の今後の一つの重要な方向を示すものであり、情報科学への貢献が大きいといえる、よって本論文は博士(工学)の論文として価値あるものと認める。

2011年2月

審査員

(主査)	早稲田大学教授	工学博士	慶応義塾大学	中島	達夫
	早稲田大学教授	工学博士	東京大学	後藤	滋樹
	早稲田大学教授	工学博士	東京大学	上田	和紀