

ディペンダブルな自律連合型クラウドコンピューティング基盤の研究開発 (092003021)

Developing a Platform for Autonomous Dependable Cloud Computing

研究代表者

加藤 和彦 筑波大学 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻
Kazuhiko Kato Department of Computer Science, University of Tsukuba

研究分担者

品川 高廣^{†*} 杉木 章義[†] 新城 靖[†] 長谷部 浩二[†] 大山 恵弘^{††} 渡辺 露文^{†††} 神谷 勇輝^{†††}
石井 嘉明^{†††} 矢野 恭平^{†††} 廣岡 誠之^{†††} 登 大遊^{††††}
Takahiro Shinagawa^{†*} Akiyoshi Sugiki[†] Yasushi Shinjo[†] Koji Hasebe[†] Yoshihiro Oyama^{††}
Tsuyufumi Watanabe^{†††} Yuki Kamiya^{†††} Yoshiaki Ishii^{†††} Kyohei Yano^{†††} Nobuyuki Hirooka^{†††}
Daiyu Nobori^{††††}

[†]筑波大学 システム情報工学研究科 コンピュータサイエンス専攻

^{*}現在、東京大学 情報基盤センター

^{††}電気通信大学 大学院情報理工学研究科

^{†††}富士ソフト株式会社 技術開発部 研究開発統括室

^{††††}ソフトイーサ株式会社 技術開発部

[†]Department of Computer Science, University of Tsukuba

^{*}Currently, Information Technology Center, The University of Tokyo

^{††}Graduate School of Informatics and Engineering, The University of Electro-Communications

^{†††}Fujisoft Incorporated

^{††††}SoftEther Corporation

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

本研究は、仮想化技術および分散システム制御技術を活用し、クライアント環境、ネットワーク環境、サーバ環境の 3 つの環境においてディペンダビリティ（リライアビリティ、アベイラビリティ、スケーラビリティ、セキュリティ）を有するクラウドコンピューティング技術を開発する。エンドユーザとサービス提供者の双方において、ディペンダビリティに関する設定を可能な限り単純化し、ネットワークサービスを中心とした ICT システム構築のための基盤システムの開発を目指す。

Abstract

The objective of the project is to develop foundational technologies to achieve dependability, i.e., reliability, availability, scalability, and security, in an integrated environment of clients, network and servers of cloud computing. The technologies enable to build service-centric ICT system with simplicity at both ends of users and service providers.

1. まえがき

近年、実社会へのクラウドコンピューティングの普及が急速に進んでいる。この普及にともない、クラウドを提供するデータセンターの長時間の運用停止やデータ消失による影響が社会問題となり始めている。ICT システムにおけるディペンダビリティの実現は、従来から強く主張されてきたが、クラウドにおいてもディペンダビリティを達成するための技術確立が急務であると言える。

本研究では、平成 21 年度から 3 年間にわたりクラウドにおけるディペンダビリティの実現を目指し、研究開発を進めてきた。特に、本研究ではサーバ環境のみに着目せず、エンドユーザからサービス提供者までの 3 つの環境（クライアント環境、ネットワーク環境、サーバ環境）を統合した環境でディペンダビリティの実現を目指してきた点に特色がある。本研究開発の実施により、得られた成果について、本稿の以下の章で説明する。

2. 研究内容及び成果

2. 1 ディペンダブルなクライアント技術

クライアント環境では、セキュア VM を実現する先行研究の仮想マシンモニタ「BitVisor」を発展させ、ディペンダビリティを達成した。まず、ネットワーク環境およびサーバ環境と連携して機能させるために、「透過的 VPN 接続先切り替え機構」と「リモート管理機構」を開発した。次に、BitVisor 自身のディペンダビリティ向上も目指し、「保護ドメインの導入」や「OS ファイル保護技術」の開発、各種実装の最適化を実施した。さらに、仮想モニタ層から OS のセキュリティを向上させることを可能とするために、「侵入検知技術」、「プログラムの挙動からの内部処理推測技術」、「バッファオーバーフロー検出技術」などを開発した。

2. 2 ディペンダブルなネットワーク技術

ネットワーク環境では、透過的 VPN 接続先切り替え技術に必要なパケット中継サーバの開発を行った。これは、あるデータセンターへの通信が途絶えた場合に、他のデータセンターに短時間で透過的に切り替えるために必要不可欠

欠な技術である。加えて、IPv4 アドレスの枯渇が社会問題となりはじめており、IPv6 アドレスへの透過的な移行が求められていることから、VM を利用した「IPv4/IPv6 変換技術」、「IPv6 拡張ヘッダを利用したケーパビリティアクセス制御技術」を開発した。

2. 3 ディペンダブルなサーバ技術

ディペンダブルなサーバ環境では、クラウド基盤ソフトウェア「Kumoi」を開発した。サーバ環境における VM、物理計算機、ネットワークなどのさまざまな構成要素を分散オブジェクト化し、スクリプティングで組み合わせ可能とすることで、非常に高い拡張性を実現している。この拡張性は、特定のサービスに応じたディペンダビリティの実現や、クラウドに必要な俊敏性の向上に活用できる。

また、大規模分散ストレージシステムの省エネルギー化技術も開発した。クォーラム、分散ハッシュ表の双方を対象に研究を行い、先日の震災以降の電力抑制にも対応できる技術とした。

2. 4 ディペンダブルな統合クラウド環境の構築

以上これまで開発してきた技術を統合し、複数データセンターを連合させた広域分散実験環境(図1)で評価を行った。東京、横浜、九州の3拠点のデータセンターに設置したサーバを使用し、拠点間の接続には情報通信研究機構が提供する「JGN-X」と、比較のため一般的なインターネット網の二つを使用した。この実験環境の構築に関しては、平成23年1月にJGN2plusアワード(ネットワーク・運用技術賞)を受賞している。

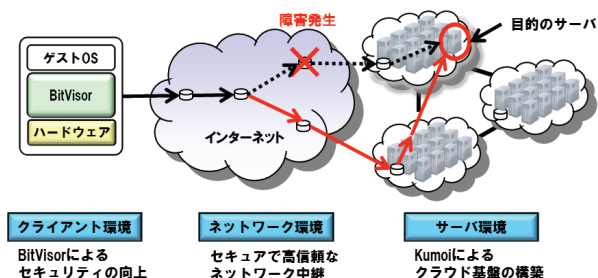


図1 統合クラウド実証環境の構成

この実験環境にて、ディペンダビリティの定量的な評価を行った結果を図2に示す。この実験では、広域分散実験環境上にWebアプリケーションを動作させ、CPU負荷、VPN障害、VM障害、物理計算機障害を意図的に発生させ、自動的に復旧することや、復旧に要する時間を確認している。図から、本研究で開発してきたそれぞれの構成技術が障害に対して適切に対応できていることが分かる。

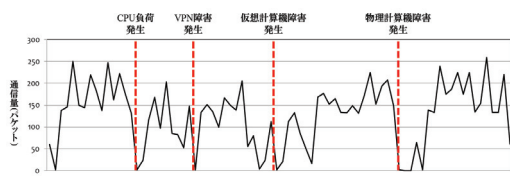


図2 障害に対する適応性の評価

最後に、ディペンダビリティに必要な属性と各環境で開発してきた研究成果の対応表を表1に示す。表を見ると、3つの環境全てにおいて、ディペンダビリティに必要な属性を全て満たしていると言える。よって、統合的なディペンダビリティが実現できていることが期待される。

3. むすび

本研究では、クライアント環境、ネットワーク環境、サ

表1 ディペンダビリティに対応した機能一覧

	クライアント環境	ネットワーク環境	サーバ環境
可用性 (Availability)	【モード管理機能】 【ネットワークブート機能】	【適応的VPN切り替え】	【Mのハイアベイラビリティ】 【2P型のメンテナンス管理】
信頼性 (Reliability)	【プロテクションタイム】	【広域データセンター環境】	【高信頼性言語】
完全性 (Integrity)	【システムファイル保護】 【MMIOコア】 【セルウェア検出機能】	【PsecによるVPN接続】	【DAP認証&サンドボックス保護】 【仮想ネットワーク】
保守性 (Maintainability)	【モード管理機能】	【PsecによるVPN接続】	【資源のオブジェクト化】 【スクリプティング連携】
機密性 (Confidentiality)	【D管理】 【MMIOコア】 【ストレージ管理】	【PsecによるVPN接続】	【DAP認証&サンドボックス保護】 【仮想ネットワーク】

ーバ環境を統合したディペンダビリティを実現するクラウドコンピューティング基盤の開発を行った。クラウドにおいて、ディペンダビリティを実現するためには、利用者からサービス提供者までの3つの環境全てでディペンダビリティを実現する必要があり、本研究では、これらに必要な技術開発を行った。

また、研究期間中である2011年3月11日に東日本大震災が発生し、ディペンダビリティの重要性が改めて確認されたと言える。本研究開発で達成された成果が、今後の安心安全な社会の実現のために少しでも役立つことができれば幸いである。

【誌上発表リスト】

- [1] Y. Matsushashi et al., “Transparent VPN Failure Recovery with Virtualization”, Future Generation Computer Systems (Elsevier) Vol. 28 No. 1 pp78-84 (2012年1月)
- [2] A. Sugiki et al., “Kumoi: A High-Level Scripting Environment for Collective Virtual Machines”, IEEE ICPADS 2010 pp322-329 (2010年12月9日)
- [3] Y. Oyama et al., “Detecting Malware Signatures in a Thin Hypervisor”, 27th ACM SAC (2012年3月)

【申請特許リスト】

- [1] 廣岡 誠之、石井 嘉明、“情報処理装置、アクセス制御方法、およびアクセス制御用プログラム”、日本国、2011年3月29日
- [2] 加藤 和彦、品川 高廣、松橋、洋平、石井 嘉明、廣岡 誠之、“仮想マシンモニタ、クライアント及びプログラム”、日本国、2011年3月25日
- [3] 石井 嘉明、谷口 寛季、廣岡 誠之、“ネットワーク経路選定方法”、日本国、2010年3月31日

【受賞リスト】

- [1] 富士ソフト株式会社、筑波大学、独立行政法人情報通信研究機構 JGN2plusアワード ネットワーク・運用技術賞、“ディペンダブルな自律連合型クラウドコンピューティング基盤の研究開発”、2011年1月27日

【報道発表リスト】

- [1] “クラウド安定稼動 ソフトの利用ガイド 富士ソフト、無料提供”、日経産業新聞、2011年8月11日
- [2] “ドキュメントを公開 自律連合型クラウド基盤 富士ソフト”、日本情報産業新聞、2011年8月22日
- [3] “自律クラウド実証へ トラブル検知し代替行動”、情報産業新聞、2010年5月17日

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

- [1] <http://dependablecloud.org/>、ディペンダブルな自律連合型クラウドコンピューティング基盤の研究開発の概要および研究成果の公開、3,180件
- [2] <http://kumoi.googlecode.com/>、クラウド基盤ソフトウェア Kumoi のオープンソース公開サイト、1,971件
- [3] BitVisor 1.1.1 (ソースコード) 公開、2010年12月 <http://www.bitvisor.org/>、3,437件 (2011年9月以降)