

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 5 日現在

機関番号：15501

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24500066

研究課題名(和文)クラウドコンピューティング環境に対する動的信頼性評価に関する総合的研究

研究課題名(英文)A Method of Dynamic Reliability Assessment for Cloud Computing and Its Applications

研究代表者

田村 慶信 (TAMURA, Yoshinobu)

山口大学・理工学研究科・准教授

研究者番号：20368608

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,600,000円

研究成果の概要(和文)：近年、OpenStackやEucalyptusを利用したクラウド環境の構築に注目が集まっている。こうしたクラウドコンピューティングの運用段階を対象とした信頼性評価のための確率微分方程式モデルを構築した。また、ジャンプ項を導入したジャンプ拡散過程モデルについて議論した。このとき、実際のクラウドOSSのソフトウェアフォールト発見数データに対する数値例を示した。さらに、稼働率を考慮した場合における最適メンテナンス時刻の推定法を提案した。研究の集大成として、クラウド環境に対するセキュリティおよび信頼性評価ツールとしてFlex言語および統計言語Rとの動的リンクによりソフトウェアツールを実装した。

研究成果の概要(英文)：We focus on a cloud computing environment operated by using open source software such as OpenStack and Eucalyptus. We have proposed a new approach to software dependability assessment based on stochastic differential equation modeling in order to consider the interesting aspect of the numbers of components, cloud applications, and users. In particular, we have discussed the jump diffusion model considering the provisioning process of cloud computing. Moreover, we have estimated the optimum maintenance time minimizing the total expected software maintenance cost. Furthermore, the reliability and maintainability analysis tool for cloud computing has been developed. Also, a set of actual software fault-count data has analyzed in order to show numerical illustrations of application of software reliability analysis tool for the cloud computing.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：クラウドコンピューティング オープンソースソフトウェア 信頼性 ディペンダビリティ

1. 研究開始当初の背景

データの一元管理、低コスト、保守・運用が容易といった観点から、OpenStack や Eucalyptus などのオープンソースソフトウェア (OSS) を利用したクラウド環境の構築に注目が集まっている。しかしながら、OSS はソフトウェアの設計図にあたるソースコードが世界中に公開されているため、最近のクラッキングによる情報事故のように、悪意のあるサイト攻撃や情報流出の標的になり易く、なかなか OSS の導入に踏み切れないのが現状である。したがって、クラウド環境の信頼性が確保されれば、その普及は爆発的に増加するものと思われる。

上記のような状況から、OSS を利用したクラウド基盤システムに対するセキュリティおよび信頼性の向上と確保は急務であり、その運用段階において信頼性という側面から動的かつ定量的に評価することが可能となれば、

- ・ 環境や組織に応じてハードウェアを設置する必要がないため、大規模な省電力化が実現
- ・ 医療・行政・IT 産業・教育機関におけるデータの一元管理による利便性向上や、利用者の移動コストおよびエネルギーの削減
- ・ タグ付けされたデータの統一的連携による利用者に対するサービス向上
- ・ 情報一元化に伴うデータ管理の簡略化による人類の知的生産活動の活性化
- ・ クラウド環境構築に伴う開発コストの大幅削減と短納期

など、様々な面での波及効果が期待され、その影響は非常に大きく計り知れない。

2. 研究の目的

今後ますますクラウド環境採用の動きが活発化するものと考えられ、低コスト・短納期にクラウド環境を構築できるオープンソースを利用したクラウド環境が注目されている。しかしながら、「安く早く作れる」というメリットだけが優先してしまい、そのセキュリティや信頼性の問題に多くの企業が悩まされているという現状がある。こうした OSS を利用したクラウド環境の信頼性を定量的に評価する手法は未だ提案されておらず、職人的・試行錯誤的に運用が行われているのが現状である。特に、大規模システムにおいては、ひとたび障害が発生すると個人情報の漏洩だけでなく多大な財産の損失を招くものが多く、大容量データ通信端末が普及する前に、クラウド環境に対するセキュリティ・信頼性評価に関する技術を確立することは非常に重要となる。本研究課題では、こうしたクラウドコンピューティングに対する信頼性評価技術を構築する。

3. 研究の方法

クラウド基盤システムとそれにアクセス

する端末間のトラフィック状況から、クラウド環境全体に対して動的にセキュリティおよび信頼性を評価するために、以下の手順にしたがってクラウド信頼性評価技術を構築してきた。

- (1) クラウドコンピューティングに対する確率微分方程式に基づく信頼性評価モデルの提案
- (2) モバイルクラウドに対するネットワークトラフィックを考慮した信頼性評価のためのハザードレートモデルの提案
- (3) クラウドコンピューティング環境全体を考慮したジャンプ拡散過程モデルに基づく信頼性評価法の提案
- (4) 上述したソフトウェア信頼性評価モデルに基づくクラウド OSS の最適メンテナンス時刻の推定法の提案
- (5) 提案されたクラウドコンピューティング環境に対する信頼性評価法に基づくソフトウェアツールの開発

特に、クラウド環境に対するセキュリティおよび信頼性評価ツールとして Flex 言語および統計言語 R との動的リンクによりソフトウェアツールを実装してきた。これにより、理論解析において使用してきた R のソースコードを再利用できることから、迅速に研究成果をツール化することが可能となるだけでなく、数理モデル等に関する知識がなくともクラウドのシステム管理者が容易にセキュリティ・信頼性を評価できる有用なツールとして、Web 上で公開することが可能となる。

4. 研究成果

クラウド OSS の実利用環境を想定し、信頼性評価のためのジャンプ拡散モデルを利用したディペンダビリティ評価法について議論した。特に、クラウド運用段階におけるネットワーク環境の変化がシステム全体の信頼性に及ぼす影響を考慮するために、ネットワークトラフィックの変化率に着目した。また、クラウドコンピューティングのネットワーク環境を考慮した信頼性評価例として、実際のクラウド OSS のソフトウェアフォールト発見数データに対する数値例により、提案手法が適用可能であることを示した。さらに、クラウドコンピューティングの特徴を考慮したジャンプ拡散モデルに基づく総ソフトウェアコストを定式化し、ネットワークトラフィックの変化を考慮した最適メンテナンス時刻の推定法を提案した。このとき、実際のバグトラッキングシステム上に登録されたフォールトデータを適用するとともに、ネットワークトラフィックの変化を想定した種々の信頼性評価尺度と最適メンテナンス時刻に関する数値例を示すことにより、提案手法が実際のクラウド環境に対して適用できることを示した。提案手法は、ネットワーク環境が信頼性に与える間接的な影響を考慮することにより、クラウドコンピューティングの運用段階に対して、より現実的なディ

ペンダビリティを評価するための指標として利用できるものとする。

特に近年、モバイルクラウド環境では、ソースコード、ネットワークトラフィック、セキュリティ、およびフォルトの関係が密であるため、これらの相互作用の結果として、間接的にシステムの信頼性に影響を及ぼすことが想定される。本研究課題では、モバイルソフトウェアの運用環境特性として、ネットワークトラフィックに着目した信頼性評価法について議論するとともに、クラウドコンピューティングの信頼性を評価するためのソフトウェアツールとして、モバイルアプリケーションを開発した。クラウドコンピューティングの普及により、データを端末上に保有しない運用形態が多くなっている。開発されたアプリケーションは、こうしたネットワーク環境に依存した信頼性評価ツールとして役立つだけでなく、場所や時間に依存しない可搬性の高いツールとしても利用できるものとする。

本研究課題において開発されたクラウドコンピューティングに対する信頼性評価のためのソフトウェアツールの実行例を以下に示す。まず、クラウドコンピューティングに対する信頼性評価のための 3D アプリケーションのメイン画面を図 1 に示す。次に、信頼性評価結果の一例として、推定された残存フォルト数を図 2 に示す。さらに、モバイルクラウドを想定したモバイルアプリケーションの実行例として、モバイルアプリケーションのメイン画面を図 3 に示す。また、推定された平均ソフトウェア故障発生時間間隔 (MTBF) を図 4 に示す。本研究課題において開発されたソフトウェアツールにより、数理モデルに関する知識がなくとも容易に、クラウドコンピューティングにおける信頼性を評価することが可能となるものとする。

Time	Fault	Initial Parameters
0	0	0.1
1	0	0.0015
2	1	0.0015
3	1	0.0015
4	1	0.0015
5	1	0.0015
6	2	0.0015
7	2	0.5
8	2	0.0015
9	2	1.5
10	2	
11	3	
12	3	
13	3	
14	3	
15	3	
16	3	
17	4	
18	4	

図 1 : 3D アプリケーションのメイン画面。

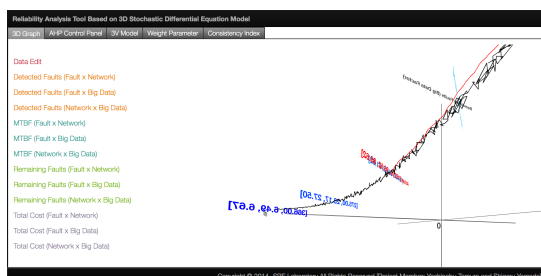


図 2 : 推定された残存フォルト数。

Fault	Time	Parameters
0	27.20712963	0.1
1	6.724806481	1000
2	20.82445602	
3	5.970891204	
4	7.54712963	
5	16.56146991	
6	23.06028935	
7	0.000902778	
8	1.56880787	
9	1.832222222	

図 3 : モバイルアプリケーションのメイン画面。

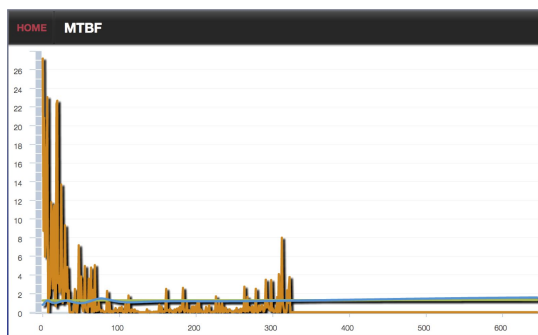


図 4 : 推定された MTBF。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

(雑誌論文)(計 40 件)

Y. Tamura and S. Yamada, Practical reliability and maintainability analysis tool for an open source cloud computing, Quality and Reliability Engineering International, 2015, John Wiley & Sons, DOI: 10.1002/qre.1802. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability analysis and modeling technique for an open source solution, Reliability Modeling with Applications, World Scientific, pp. 291-306, 2014. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Optimization analysis based on stochastic differential equation model for cloud computing, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol. 21, No. 4, World Scientific, 2014, pp. 1-13. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability analysis based on AHP and software reliability models for big data on cloud computing, International Journal of Statistics-Theory and Applications, Vol. 1, December 2014, pp. 43-49. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability analysis based on three-dimensional stochastic differential equation for big data on cloud computing, Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Selangor, Malaysia, December 9-12, 2014, CD-ROM (Quality Control & Management III). (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, AIR application for reliability analysis considering debugging process and network traffic in mobile clouds, Journal of Simulation Modelling Practice and Theory, Elsevier B.V., DOI: 10.1016/j.simpat.2014.03.010, Available online 24 April 2014. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability analysis considering the component collision behavior for a large-scale open source solution, Quality and Reliability Engineering International, 2013, John Wiley & Sons, DOI: 10.1002/qre.1519. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability analysis based on network traffic for a mobile computing, Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Bangkok, Thailand, December 10-13, 2013, CD-ROM (Reliability & Maintenance Engineering (1)). (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, AIR application based on jump diffusion models for cloud computing, Proceedings of the 19th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Honolulu, Hawaii, USA, August 5-7, 2013, pp. 185-189. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Software optimal release problem considering the environment for the usage of mobile device, International Journal of Performability Engineering, Vol. 9, No. 4, July 2013, pp. 367-374. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Service-oriented maintainability modeling and analysis for a cloud computing, Proceedings of the 2013 IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference Workshops (The 10th annual IEEE International Workshop on Software Cybernetics), Kyoto, Japan, July 1-3, 2013, pp. 53-58. (査読有)

Y. Tamura, M. Kawakami, and S. Yamada, Reliability modeling and analysis for open source cloud computing, Journal of Risk and Reliability, John Wiley & Sons, Vol. 227, Issue 2, April 2013, pp. 179-186. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability assessment based on hazard rate model for an embedded OSS porting phase, Journal of Software Testing, Verification and Reliability (Article first published online: DOI: 10.1002/stvr.455, 17 March, 2011), John Wiley & Sons, Vol. 23, Issue 1, pp. 77-88, March, 2013. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Performability analysis considering debugging behaviors for open source solution, International Journal of Performability Engineering, Vol. 9, No. 1, January 2013, pp. 13-21. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Performance evaluation and dependability analysis for open source cloud computing, International Transactions on Systems Science and Applications, Vol. 8, December 2012, pp. 1-11. (査読有)

Y. Tamura, H. Miyahara, and S. Yamada, Reliability analysis based on jump diffusion models for an open source cloud computing, Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management, Hong Kong Convention and Exhibition Centre, Hong Kong, December 10-13, 2012, pp. 752-756. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Dependability analysis and optimal maintenance problem for open source cloud computing, Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics, Convention & Exhibition Center, Seoul, Korea, October 14-17, 2012, pp. 1592-1597. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability analysis considering the influence of installer application for an embedded OSS, Proceedings of the Eleventh International Conference on Industrial Management, Tokyo, Japan, August 29-31, 2012, pp. 353-357. (査読有)

Y. Tamura and S. Yamada, A method of reliability assessment based on stochastic differential equation model for a cloud open source software, Proceedings of the 18th ISSAT

International Conference on Reliability and Quality in Design, Boston, Massachusetts, USA, July 26-28, 2012, pp. 101-105. (査読有)
H. Miyahara, Y. Tamura, and S. Yamada, Stochastic differential equation models considering jump diffusion process for an open source software, Proceedings of the 18th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Boston, Massachusetts, USA, July 26-28, 2012, pp. 268-272. (査読有)

[学会発表](計 23 件)

田村慶信, 山本詩織, 山田茂, 「モバイルクラウドを想定した信頼性評価のためのモバイルアプリケーションの開発」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会平成 27 年春季研究発表会アブストラクト集, 東京理科大学 神楽坂キャンパス (東京都・新宿区), pp. 122-123, 2015 年 3 月 26-27 日.

田村慶信, 山田茂, 「クラウド上のビッグデータを想定した信頼性評価のための 2 次元 Wiener 過程を有するジャンプ拡散過程モデル」, IEEE Consumer Electronics Society West Japan Joint Chapter 研究会, 海峡メッセ下関 (山口県・下関市), pp. 14-19, 2015 年 1 月 23 日.

吉永圭佑, 田村慶信, 山田茂, 「モバイルクラウドにおけるネットワーク環境特性を考慮したソフトウェア信頼性評価のための AIR アプリケーション」, IEEE Consumer Electronics Society West Japan Joint Chapter 研究会, 海峡メッセ下関 (山口県・下関市), pp. 8-13, 2015 年 1 月 23 日.

山本詩織, 田村慶信, 山田茂, 「インストーラを考慮したモバイルソフトウェア信頼性評価のための AIR アプリケーションの開発」, 第 16 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集, 広島市立大学 (広島県・広島市), B-38, 2014 年 11 月 15-16 日.

信川ゆみ, 田村慶信, 山田茂, 「モバイル OSS に対するネットワーク接続環境を考慮した信頼性評価法」, 第 16 回 IEEE 広島支部 学生シンポジウム論文集, 広島市立大学 (広島県・広島市), B-37, 2014 年 11 月 15-16 日.

(Invited Lecture) Y. Tamura and S. Yamada, 3D software tool for reliability assessment based on three dimensional Wiener process model considering big data on cloud computing, Proceedings of the IEEE International Conference on Reliability, Infocom Technology and

Optimization, Amity University, Uttar Pradesh, Noida, India, October 8-10, 2014.

田村慶信, 宮岡健太, 山田茂, 「クラウドコンピューティングに対するネットワークトラフィック依存型確率微分方程式モデルとその適合性評価」, 電子情報通信学会技術研究報告[信頼性], 金城学院大学 (愛知県・名古屋市), Vol. 114, No. 47, pp. 1-6, 2014 年 5 月 23 日.

田村慶信, 宮岡健太, 山田茂, 「クラウドコンピューティングに対する信頼性評価のための 2 次元 Wiener 過程に基づく確率微分方程式モデル」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 平成 26 年春季研究発表会アブストラクト集, 大阪大学 豊中キャンパス (大阪府・豊中市), pp. 204-205, 2014 年 3 月 6-7 日.

齊下純也, 田村慶信, 山田茂, 「AIR によるモバイルアプリケーションのための信頼性評価ツールの実装」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 九州支部 中国・四国支部支部事業「九州・中国・四国地区における若手 OR 研究交流会」, きらら交流館 (山口県・山陽小野田市), 2013 年 10 月 26-27 日.

小川智也, 田村慶信, 山田茂, 「オープンソースクラウドに対する信頼性評価のための AIR アプリケーションの開発」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 九州支部 中国・四国支部支部事業「九州・中国・四国地区における若手 OR 研究交流会」, きらら交流館 (山口県・山陽小野田市), 2013 年 10 月 26-27 日.

田村慶信, 山田茂, 「クラウドコンピューティングに対するトラフィック依存型ジャンプ拡散モデルに基づく最適メンテナンス問題」, 電子情報通信学会技術研究報告[信頼性], 九州工業大学サテライトキャンパス (福岡県・福岡市), Vol. 113, No. 249, pp. 19-24, 2013 年 10 月 18 日.

田村慶信, 山田茂, 「組込み OSS に対する運用環境特性を考慮した信頼性評価法」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会 平成 25 年秋季研究発表会アブストラクト集, 徳島大学 常三島キャンパス (徳島県・徳島市), pp. 162-163, 2013 年 9 月 11-12 日.

田村慶信, 山田茂, 「クラウドコンピューティングに対する信頼性評価のためのネットワークトラフィック依存型ジャンプ拡散モデルに関する考察」, 電子情報通信学会技術研究報告[信頼性], ホテルオホーツクパレス紋別 (北海道・紋別市), Vol. 113, No. 162, pp. 7-12, 2013 年 7 月 26 日.

田村慶信, 齊下純也, 山本詩織, 山田茂, 「組込みソフトウェアのインストーラ

の振舞いを考慮した信頼性評価のためのAIRアプリケーション」, 電子情報通信学会技術研究報告[信頼性], グリーンヒルホテル尾道(広島県・尾道市), Vol. 113, No. 44, pp. 43-48, 2013年5月17日.

田村慶信, 宮原宏奈, 山田茂, 「オープンソースソフトウェアの信頼性に影響を及ぼす人的要因の統計的分析」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会平成25年春季研究発表会アブストラクト集, 東京大学(東京都・文京区), pp. 134-135, 2013年3月5-6日.

(Invited Lecture) Y. Tamura and S. Yamada, Advanced reliability analysis based on stochastic differential equations for open source cloud computing, Proceedings of the International Conference on Reliability, Infocom Technology and Optimization, Amity University, Uttar Pradesh, Noida, India, pp. 47-51, January 29-31, 2013.

宮原宏奈, 田村慶信, 山田茂, 「ジャンプ拡散過程モデルに基づくオープンソースソフトウェア信頼性評価法」, 第14回IEEE広島支部学生シンポジウム論文集, 岡山県立大学(岡山県・総社市), pp. 456-458, 2012年11月17-18日.

久保田健介, 田村慶信, 「大規模オープンソースソリューションに対する信頼性評価ツールとその性能評価」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会中国・四国支部定例シンポジウム2012, 山口大学吉田キャンパス(山口県・山口市), pp. 27-30, 2012年10月26日.

田村慶信, 宮原宏奈, 山田茂, 「クラウドOSSに対する運用環境におけるフォールト発見の不規則性を考慮したディペンダビリティモデル」, 日本オペレーションズ・リサーチ学会平成24年秋季研究発表会アブストラクト集, ウィンクあいち(愛知県・名古屋市), pp. 92-93, 2012年9月12-13日.

田村慶信, 山田茂, 「組込みオープンソースソフトウェア移植工程に対する総合的信頼性評価法」, 日本科学技術連盟第42回信頼性・保全性シンポジウム発表報文集, 日本教育会館(東京都・千代田区), pp. 331-336, 2012年7月12-13日.

[図書](計1件)

Y. Tamura and S. Yamada, Reliability modeling and assessment for open source cloud software: A stochastic approach, A volume in the Advances in Systems Analysis, Software Engineering, and High Performance Computing (ASASEHPC) Book Series,

Handbook of Research on Architectural Trends in Service-Driven Computing, IGI Global, pp. 695-720, 2014.

[その他]

ホームページ等

<http://sourceforge.net/projects/ra3dabc/>

<http://sourceforge.net/projects/mobnet/>

<http://sourceforge.net/projects/ratmoss/>

<http://sourceforge.net/projects/qatanova/>

<http://sourceforge.net/projects/oscloud/>

<http://sourceforge.net/projects/ratmoss/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

田村 慶信 (TAMURA, Yoshinobu)

山口大学・大学院理工学研究科・准教授

研究者番号: 20368608

(2) 研究分担者

()

研究者番号:

(3) 連携研究者

()

研究者番号: