

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 19 日現在

機関番号：15101

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2011～2013

課題番号：23510170

研究課題名(和文) システムビリティを導入したサービス指向型ソフトウェア信頼性評価法に関する研究

研究課題名(英文) A Study on Service-Oriented Software Reliability Evaluation with Systemability

研究代表者

得能 貢一 (TOKUNO, Koichi)

鳥取大学・工学(系)研究科(研究院)・教授

研究者番号：40263488

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円、(間接経費) 1,230,000円

研究成果の概要(和文)：本研究課題では、運用環境の変動・不確実性を考慮した新たな信頼性の概念である「システムビリティ」を導入したソフトウェアの運用信頼性評価のための数理モデルを種々構築した。また、この理論的枠組みを、ソフトウェアシステムのサービス可用性評価法にも応用した。システムビリティを導入した数理モデルを基に、ソフトウェア信頼性/可用性評価のための定量的尺度を、時刻およびシステムに施されるデバッグ作業回数の関数として改めて導出した。

研究成果の概要(英文)：In this study, we construct several types of mathematical and stochastic model for evaluating reliability of software-based systems in the operation phase considering systemability, which is a novel concept of reliability characteristic and considers the uncertainty and variability factors of the operational environment. Furthermore, we introduce the concept of systemability to the method for assessing the software service availability. We derive several stochastic quantities for software reliability and availability assessment as the functions of time and the debugging activities.

研究分野：複合新領域

科研費の分科・細目：(分科)社会・安全システム科学・(細目)社会システム工学・安全システム

キーワード：ソフトウェア信頼性 システムビリティ サービス可用性 運用環境の変動性 マルコフ過程 NHPP

1. 研究開始当初の背景

ソフトウェア製品の品質/信頼性評価を実施したとき、ユーザへのリリース後の品質/信頼性特性が、当初の予測と大きくかけ離れる場合がよく報告されている。これは、従前のソフトウェア信頼性モデルの多くが、『テスト工程におけるソフトウェア故障発生現象はユーザの運用環境においても同様な特性である』と、暗黙のうちに仮定していることによるものと考えられる。よって、これを解決するために、テスト環境と運用環境の差異を記述するための環境係数を導入した研究も実施されているが、環境係数の適切な推定方法に関して未だ課題が残っている。

一方、近年、運用信頼性の捉え方として、「運用環境の不確定性・変動性を考慮した信頼度特性」と定義されるシステムビリティ(systemability)の概念が提唱されている。これは、上述の環境係数を確率変数として捉えて、試験工程で得られた品質/信頼性特性を、運用環境における品質/信頼性特性に変換する手法である。この手法の数学的取扱いについては、いわゆるベイズ理論を応用したものであり、システムビリティの導入は、現状では経験的・主観的に決定せざるを得ない環境係数を、ある程度合理的に信頼性/性能評価結果に反映させることができる。ハードウェア製品に対してシステムビリティ評価を実施した事例は散見されるが、運用開始後にも動的な信頼度成長が見込めるソフトウェア製品に対する研究事例は見受けられなかった。

2. 研究の目的

本研究課題の主目的は、運用環境の変動・不確実性を考慮した新たな信頼性の概念である「システムビリティ」を導入したソフトウェアの運用信頼性評価法の確立を目指す。また、この理論的枠組みを、ソフトウェアシステムのサービス可用性評価法へ展開する。

3. 研究の方法

(1) マルコフ型ソフトウェア信頼性モデルにおいて、テスト環境と運用環境の違いを表現する環境係数を導入した再生方程式を定式化し、状態間の遷移時間分布(初到達時間分布)を改めて導出した。

(2) 環境係数のランダム性を記述するのに適切な分布関数を吟味した。そして、(1)で求める初到達時間分布を環境係数について期待値を取ることにより、システムビリティを考慮した初到達時間分布を導出した。

(3) マルコフ過程の性質を利用して、(2)の初到達時間分布に基づく定量的な信頼性評価尺度を導出した。

(4) 最尤法を適用して、モデルに現れるパラメータの推定方法について考察した。

(5) 本モデルを実データに適用し、(3)で導出されたソフトウェア信頼性評価尺度の経時的変化を、解析ツール Mathematica を用いて計算した。そして、環境係数の導入および運用環境の変動性が、運用信頼性評価結果に対してどのような影響を及ぼしているのかを考察した。また、従来方法による品質/信頼性評価結果との比較を行い、本モデルの長所および短所を整理した。

(6) マルコフ型ソフトウェア可用性/性能評価モデルに対しても、(1)~(5)の手順で解析・考察を行った。

4. 研究成果

(1) ハザードレートモデルに対するシステムビリティの導入

ソフトウェア故障発生時間間隔に注目したハザードレートモデルにシステムビリティの概念を導入した。運用環境とテスト環境のソフトウェア故障発生率の差異を表現する環境係数をとし、これを確率変数と捉えることにより、運用指向のソフトウェア信頼性モデルを再構築した。例えば、が以下の密度関数をもつガンマ分布

$$f_{\alpha}^G(x) = \frac{\theta^{\eta} x^{\eta-1} e^{-\theta x}}{\Gamma(\eta)} \quad (x \geq 0; \theta > 0, \eta \geq 1)$$

に従う場合、(k-1)番目と k 番目の間のソフトウェア故障発生時間間隔  $X_k$  に対するソフトウェア信頼度は、

$$R_k^G(t) = (\lambda_k / (m\theta)t^m + 1)^{-\eta}$$

で与えられた。ただし、 $\lambda_k$  は指数型ハザードレートの基本パラメータで k の非増加関数である。また、m は形状パラメータを表す。このとき、平均ソフトウェア故障発生時間間隔は、

$$E^G[X_k] = \frac{B(1/m, \eta - 1/m)}{(\lambda_k / \theta)^{1/m} m^{1-1/m}}$$

で与えられた。ただし、 $B(y_1, y_2)$  はベータ関数を表す。

を確率変数として捉えない従来法と比較して、システムビリティを導入した信頼性評価を実施すると、若干楽観的な評価結果を与える傾向があった。本モデルにより、の変動度合(確信度合)と運用段階での信頼性予測の影響度合を把握することができるようになった。

(2) システムビリティを導入したマルコフ

### 型ソフトウェア信頼性モデルの再構築

ある時刻  $t$  までに修正された累積フォールト数を状態空間に持つマルコフ過程  $\{W(t), t \geq 0\}$  を導入し、これに基づくマルコフ型ソフトウェア信頼性モデル(MSRM)に、システムビリティの概念を導入した。結果として、例えば、環境係数  $\kappa$  がガンマ分布に従う場合、信頼性評価尺度の1つである運用開始後からの経過時刻  $t$  までに発生するソフトウェア故障数の平均値は、

$$M_{sf}^G(t, l) = \frac{1}{a} \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i+1}^{\infty} G_{i,n}^G(t)$$

$$G_{i,n}^G(t) = \sum_{m=i}^{n-1} A_m^{i,n} [1 - (a\lambda_m t / \theta + 1)^{-\eta}]$$

となり、テスト工程で実施されるデバッグ作業回数  $l(=0, 1, 2, \dots)$  の関数として得ることができた。ただし  $a$  は完全デバッグ率、 $G_{i,n}^G(t)$  は状態  $i$  から状態  $n$  へ遷移するのに要する時間間隔  $S_{i,n}$  の分布関数、 $\lambda_m$  は  $W(t)$  が状態  $m$  にあるときの次のソフトウェア故障発生時間に対するハザードレート、 $A_m^{i,n}$  は  $\lambda_m$  を用いて計算される係数である。

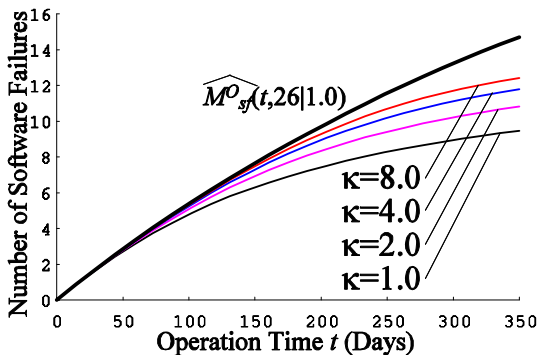


図1  $E[\eta]=1.0$  の場合の  $M_{sf}^G(t, l)$  ( $l=26$ ) .

図1に  $E[\eta]=1.0$  の場合の  $M_{sf}^G(t, l)$  を示す。なお、図中の  $\kappa$  は環境係数  $\kappa$  の確信度合に対応する値であり、 $\kappa$  の値が大きいほど  $\kappa$  の確信度合が高いことを意味する。この図より、 $E[\eta]=1.0$  ,すなわちテスト環境と運用環境における故障発生率が平均的には同じであると考えられる場合でも、 $\kappa$  の変動を考慮することにより、信頼性評価結果に違いがみられることが分かった。

(3) システムビリティを導入したソフトウェアの性能評価モデルへの発展

(2) で構築されたシステムビリティを導入したマルコフ型ソフトウェア信頼性モデル

を、処理性評価も可能となるモデルへと発展させた。システムの動作形態としては、複数の仕事を同時に処理するマルチタスクシステムを考えた。システムに到着する仕事数がNHPPに従う場合、時刻  $t$  までに処理を完了することができた仕事数の平均を表す **期待処理可能仕事数** は、

$$\Lambda^G(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i}^{\infty} \beta_n^G \int_0^t P_{i,n}^G(x) \omega(x) dx$$

と与えられた。ここで、 $\beta_n^G$  は環境係数  $\kappa$  がガンマ分布に従う場合のフォールト修正数が  $n$  個のときの仕事1個の処理が完了する確率、 $P_{i,n}^G(t) \equiv \Pr\{W(t) = n | W(0) = i\}$  は  $W(t)$  の状態占有確率、 $\omega(t)$  は仕事の到着率 (NHPPの強度関数) を表す。また、時刻  $t$  における単位時間当りに到着する仕事数に対する処理可能な仕事数の割合を表す **瞬間仕事処理完了率** は、

$$\mu^G(t, l) = \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i}^{\infty} \beta_n^G P_{i,n}^G(t)$$

と与えられた。上式は、仕事の到着過程には無関係であることに注意したい。さらに、時刻  $t$  までに到着した仕事のうち処理が完了した仕事数の割合を表す **累積仕事処理完了率** は、

$$p^G(t, l) = \frac{1}{\Omega(t)} \sum_{i=0}^l \binom{l}{i} a^i (1-a)^{l-i} \sum_{n=i}^{\infty} \beta_n^G \int_0^t P_{i,n}^G(x) \omega(x) dx$$

と与えられた。ここで、 $\Omega(t)$  は時刻  $t$  までに到着する累積仕事数の平均値を表す。

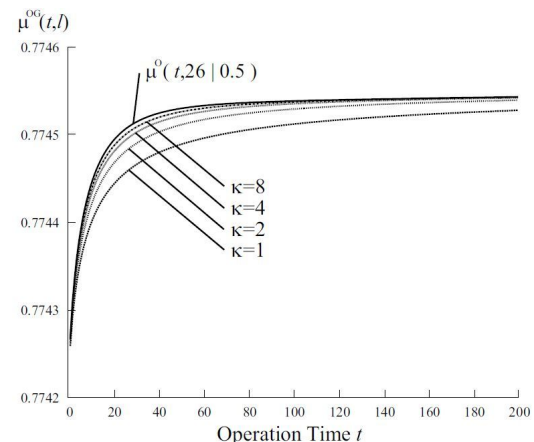


図2  $\kappa$  と  $\mu_s^G(t, l)$  の関係 ( $l=26$ ) .

図2に  $\kappa$  と  $\mu_s^G(t, l)$  の関係を示す。ここで、

$\kappa$  は(2)で現れたものと同じことを意味する。この図より、環境係数の確信度合が低いほど ( $\kappa$  の値が小さいほど)、システムの性能も低く評価されることが示された。また、環境係数の変動性を考慮すると、悲観的な評価結果を与えることが示された。

#### 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8件)

1. K. Tokuno, S. Yamada, Markovian modeling for operational software reliability evaluation with systemability, IEICE Transactions on Fundamentals of Electronics, Communications and Computer Sciences, Vol.E95-A, No.9, pp.1469-1477, September 2012, 査読有.
2. M. Yamamoto, K. Tokuno, S. Yamada, NHPP-based software availability assessment modeling with systemability," in the Proceedings of the Eleventh International Conference on Industrial Management, Tokyo, Japan, August 2012, pp.378-392, 査読有.
3. G. Murakami, K. Tokuno, S. Yamada, Imperfect debugging model with random fault removal efficiency for software reliability evaluation, in the Proceedings of the Eleventh International Conference on Industrial Management, Tokyo, Japan, August 2012, pp.375-380, 査読有.
4. T. Fukuda, K. Tokuno, S. Yamada, Software performability evaluation based on Markovian reliability model with systemability, in the Proceedings of the Eighteenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design, Boston, Massachusetts, U.S.A., August 2012, pp.116-120, 査読有.
5. K. Tokuno, T. Nagata, S. Yamada, Stochastic software performability evaluation based on NHPP reliability growth model, International Journal of Reliability, Quality and Safety Engineering, Vol.18, No.5, pp.431-444, October 2011, 査読有.
6. T. Nagata, K. Tokuno, S. Yamada, Stochastic performability evaluation for software system based on NHPP reliability model, in the Proceedings of the Seventeenth ISSAT International Conference on Reliability and Quality in

Design, Vancouver, B.C., Canada, August 2011, pp.127-131, 査読有.

7. K. Tokuno, Codesign-oriented and user-perceived service availability measurement for hardware/software system, Asia-Pacific Journal of Operational Research, Vol.29, No.3, pp.1240024-1-22, June 2012, 査読有.
8. K. Tokuno, S. Yamada, Software reliability modeling with randomness of fault correction probability, in the Proceedings of the Seventh International Conference on Mathematical Methods in Reliability, Theory, Methods and Applications (MMR 2011), Beijing, China, June 2011, pp.280-286, 査読有.

[学会発表](計6件)

1. 得能貢一, Software performability evaluation with NHPP-based SRGM considering systemability, 日本 OR 学会 2012 年秋季研究発表会, 2012 年 9 月 13 日, ウィンクあいち, 査読無.
2. 得能貢一, 山田茂, システムビリティを考慮したソフトウェア可用性モデル, 日本 OR 学会 2012 年春季研究発表会, 2012 年 3 月 28 日, 防衛大学校, 査読無.
3. 得能貢一, 山田茂, NHPP モデルを用いたソフトウェア性能評価法, 日本 OR 学会 2011 年秋季研究発表会, 2011 年 9 月 16 日, 甲南大学, 査読無.
4. 村上元太, 得能貢一, 山田茂, NHPP に基づく完全デバッグ率のランダム性を考慮したソフトウェア信頼性モデル, 第 13 回 IEEE 広島支部学生シンポジウム論文集 (CD-ROM), 広島, 2011 年 11 月 19 日, 査読有.
5. K. Tokuno, S. Yamada, Markovian operational software reliability modeling with systemability, Supplemental Proceedings of the IEEE 22nd International Symposium on Software Reliability Engineering (CD-ROM), Session #1-3 (2 pages), December 1, 2011, 査読有.
6. 得能貢一, 山田茂, システムビリティを導入したソフトウェアの運用信頼性評価モデルに関する一考察, 電子情報通信学会技術研究報告(信頼性研究会), Vol.111, No.165, R2011-20, pp.7-12, 2011 年 7 月 29 日, 査読無.

〔図書〕(計1件)

1. K. Tokuno, S. Yamada, Application of systemability to software reliability evaluation, in Advances in Software Engineering, International Conference on Advanced Software Engineering and Its Applications, ASEA 2011 Held as Part of the Future Generation Information Technology Conference, FGIT 2011, Jeju Island, Korea, December 8-10, 2011, Proceedings, pp.514-521, Springer-Verlag, Berlin, 2011, 査読有.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

得能 貢一 (TOKUNO, Koichi)

鳥取大学・工学研究科・教授

研究者番号：40263488

(2) 研究分担者

( )

研究者番号：

(3) 連携研究者

( )

研究者番号：