

令和 4 年 6 月 3 日現在

機関番号：15101

研究種目：若手研究

研究期間：2020～2021

課題番号：20K14983

研究課題名（和文）待ち行列システムに基づくソフトウェアテスト工程の進捗性評価手法の開発

研究課題名（英文）Development of progress evaluation method for software testing process based on queueing system

研究代表者

南野 友香（Minamino, Yuka）

鳥取大学・工学研究科・准教授

研究者番号：30778014

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 1,900,000円

研究成果の概要（和文）：ソフトウェア開発における予算や人員といった限られた開発資源を効率的に使用するため、フォールト修正作業の混雑度合いを評価した。ソフトウェア開発企業が各フォールトの発見時刻や修正時間の情報を記録していない場合を考慮し、間引き法によりフォールト発見数データから発見時刻のサンプルデータを生成した。その後、フォールトを待ち行列モデルにおける「客」、フォールト修正過程を「無限サーバ」と仮定して、フォールト修正作業のシミュレーションを行った。結果として、フォールト発見とフォールト修正作業のピーク間に時間差が発生することを明らかにし、修正作業が混雑する時間帯を可視化した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

迅速な開発・出荷が求められるソフトウェア開発産業では、開発管理者がフォールト修正作業の進捗を評価し、適切に人的資源や予算を投入する必要がある。本研究では、最もフォールトが発見される時間帯と最も修正作業が混雑する時間帯を推定し、それぞれ可視化することで、定量的根拠に基づく開発管理者の意思決定に大きく寄与できるものとする。さらに、本研究の成果として、間引き法を用いたフォールト発見時刻データの生成手法は、得られたデータの新たな有効活用方法の1つとして示された。本研究成果は、特に開発資源が限られるプロジェクトに対して、効果的な工数削減が期待できることから、業務効率化の点で社会的意義も大きい。

研究成果の概要（英文）：In order to efficiently use limited development resources such as budget and personnel in software development, the degree of congestion in fault activities was evaluated. Considering the case where the software development company does not record the information of the detection time and the correction time of each fault, the sample data of the detection time was generated from the fault-counting data using the thinning method. Then, the fault correction activities was simulated assuming that the fault is the "customer" in the queueing model and the fault correction process is the "infinite server". As the result, it was clarified that the time difference occurred between the peak of fault detection and fault correction activities, and the time zone when the correction activities was crowded was visualized.

研究分野：ソフトウェア信頼性工学

キーワード：ソフトウェア開発管理 ソフトウェア信頼性 待ち行列 チェンジポイント

1. 研究開始当初の背景

IoT産業の発展が著しく、国際競争が激化する現在、日本政府は「Society 5.0」(第5期科学技術基本計画、内閣府)の実現に向けて、IoTを不可欠な基盤の技術として位置づけ、戦略的強化に取り組んでいる。IoT産業で成功を収めるうえでは、IoTを駆使するソフトウェアの迅速な開発・出荷を実現することが必要不可欠である。

ソフトウェア開発の最終段階であるテスト工程では、テスト要員によりフォールト(いわゆるバグ)の発見や修正作業が行われる。これは、出荷後のソフトウェア故障を未然に防ぐとともに、開発されたソフトウェア製品の最終的な品質・信頼性を確認するための重要な工程である。これまでは、定量的な信頼性評価を行うための手法として、ソフトウェア内に潜在するフォールト数などの推定を可能とするソフトウェア信頼度成長モデルが数多く開発されてきた。これらのモデルは、テスト工程の開始から終了まで、テスト要員数が増減しない、すなわちテスト環境が変化しないことを前提としている。しかし実際の開発現場では、フォールト修正作業の効率化のために、開発管理者が納期やテスト工程の進捗に合わせてテスト要員数を調整している。テスト実施中のテスト要員数の変更は、フォールト修正作業の進捗に大きく影響を与えるものの、どの程度影響するのかは明らかになっていない。さらに、効率的にフォールト修正作業を行うためには、テスト期間中のどのタイミングでテスト要員を調整すべきかを決定する必要がある。例えば、ソフトウェア信頼度成長モデルの1つである非同次ポアソン過程(NHPP)モデルをフォールト発見数データに適用した場合、その強度関数(瞬間フォールト発見率)から最もフォールトが発見される時刻を推定することができる。しかしながら実際は、開発管理者はフォールトが最も発見される時刻だけでなく、最も修正作業が滞る時刻にもテスト要員を増加させる必要があるうえ、定量的な根拠に基づいて意思決定をすることができていない。

このような背景から、テスト要員数の変更によるテスト工程の進捗への影響を評価するための手法と、定量的根拠に基づきテスト要員数を調整するタイミングを決定するための手法が求められる。

2. 研究の目的

まず、テスト要員数の増加が、どの程度テスト工程の進捗に影響を与えるのかを明らかにする。本研究では、早期にソフトウェアを出荷し、機会損失を減少させる点において有効とされる開発形態に着目する。この開発形態では、ある程度の品質を確保すると、テスト工程の途中で製品を出荷し、運用段階とテスト工程を並行して実施する。出荷後には、テスト工程にユーザが加わってフォールト発見を行うため、実質的にテスト要員数が増加しており、テスト環境の変化が発生しているものと考えられる。したがって、本研究では、テスト要員数の増加といったテスト環境の変化(これをチェンジポイントという)を考慮したソフトウェア信頼度成長モデル(チェンジポイントモデル)を構築する。そして、チェンジポイントモデルに基づくコスト関数を定式化することで、最適なテスト終了時刻を推定し、総期待コストを算出する。テスト環境の変化を考慮していないソフトウェア信頼度成長モデルを適用した場合の最適なテスト終了時刻と比較して、テスト環境の変化がテスト工程へどの程度影響を与えるかを評価する。

次に、テスト工程におけるフォールト修正作業が滞る時刻を推定し可視化するために、待ち行列モデルに基づくシミュレーションを行う。小～中規模のソフトウェアを開発する企業によっては、各フォールトの発見時刻や修正時間といった情報を記録しておらず、開発管理に関するフィードバックを得ることが難しい場合がある。そこで、待ち行列モデルを適用する前段階として、間引き法を用いてフォールト発見数データからフォールト発見時刻のサンプルデータを生成する。そして、生成されたサンプルデータに基づき、フォールト修正作業のシミュレーションを行う。

3. 研究の方法

分析対象とする開発形態では、テスト工程の早期段階で製品を出荷し、その後はテスト工程と並行して運用段階を開始する。出荷後のテスト工程では、専門的にソフトウェアをテストするテスト要員と、ソフトウェア故障としてフォールトを発見するユーザが関与する。なお、フォールト発見に関するスキルを考慮し、ユーザよりもテスト要員のフォールト発見比率が高いと仮定する。この仮定の下、出荷が遅れると市場での機会損失が発生することも考慮しながら、チェンジポイントモデルに基づくコスト関数を構築する。そして、実測データに対してチェンジポイントモデルのパラメータ推定を行い、適合性を確認した後、コスト関数を最小化する。これにより、最適なテスト終了時刻および総期待コストを推定する。さらに、テスト環境の変化がない場合や、テスト終了と同時に製品が出荷される場合のコスト関数をそれぞれ構築する。これらのコスト関数から得られる結果を比較することで、テスト進捗度に対する影響の評価を行う。

定量的根拠に基づきテスト要員数を調整するタイミングを決定するために、待ち行列モデルに基づく修正作業シミュレーションを行う。ここで、フォールト発見数データから発見時刻デー

タを生成するために間引き法を適用する．間引き法は，確率密度関数から直接乱数を得られないときに用いられる棄却法を拡張したサンプリング手法である．本研究では，実測データがS字形信頼度成長曲線の形状であることから，サンプリングしたい非同次ポアソン過程の強度関数を遅延S字形および習熟S字形ソフトウェア信頼度成長モデルの強度関数とする．したがって，実測データから遅延S字形および習熟S字形ソフトウェア信頼度成長モデルのパラメータを推定し，それぞれの強度関数を用いて間引き法を適用する．その後，得られたフォールト発見時刻のサンプルデータを用いて，図1のような無限サーバ待ち行列モデルに基づく修正作業のシミュレーションを行う．無限サーバ待ち行列モデルにおける「客」をフォールト，「無限サーバ」は発見されたフォールトが修正される過程を表すものとし，修正時間は指数分布に従うと仮定する．これにより，発見から修正完了までの間にどの程度フォールト修正作業が滞るかを可視化する．

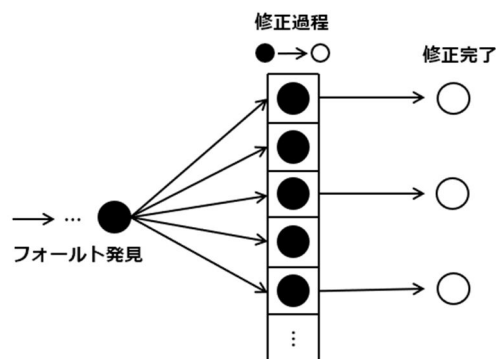


図1：無限サーバ待ち行列モデルの概念図

4. 研究成果

パラメータ推定の結果，従来のソフトウェア信頼度成長モデルよりも，チェンジポイントモデルを用いる方が，実測データへの適合性が向上することが確認された．コスト関数の構造上，モデルの精度は直接的に総期待コストの推定精度に影響する．したがって，コスト関数にチェンジポイントモデルを用いた場合と，用いていない場合において，それぞれ推定された最適なテスト終了時刻の差が，テスト環境の変化によるテスト進捗度への影響であると考えられる．また，最適なテスト終了時刻から算出される総期待コストにより，テスト環境の変化による影響をコスト面から評価した．テスト終了と同時に製品の出荷を行う，テスト環境の変化がない開発形態と比較すると，早期の出荷後に人員を増加させてテスト工程を続行する分析対象の開発形態の方が，大きく総期待コストが減少することがわかった．

次に，上記とは別の実測データから遅延S字形および習熟S字形ソフトウェア信頼度成長モデルの強度関数を推定した．各モデルの強度関数に基づく間引き法を適用し，フォールト発見数データからフォールト発見時刻のサンプルデータを生成した．遅延S字形ソフトウェア信頼度成長モデルの強度関数に基づき生成したデータで無限サーバ待ち行列モデルによるシミュレーションを行ったところ，図2および図3が得られた．図2はフォールト1個あたりの修正時間が平均0.5日の場合，図3は平均1日の場合を仮定したときに，修正過程にあるフォールトの数を表す．図中の曲線は遅延S字形ソフトウェア信頼度成長モデルの強度関数を示しており，最もフォールトが発見されやすい時刻は，テストを開始して約10日目であることがわかった．一方で，フォールト修正が滞るタイミングは，最もフォールトが発見される時刻からタイムラグを生じて発生しており，修正過程にあるフォールト数のピークが大きく分けて2回あることがわかった．したがって，本研究で使用したデータが収集された開発プロジェクトでは，テスト要員数の調整を行うべきタイミングが少なくとも2回発生する可能性があることが明らかとなった．

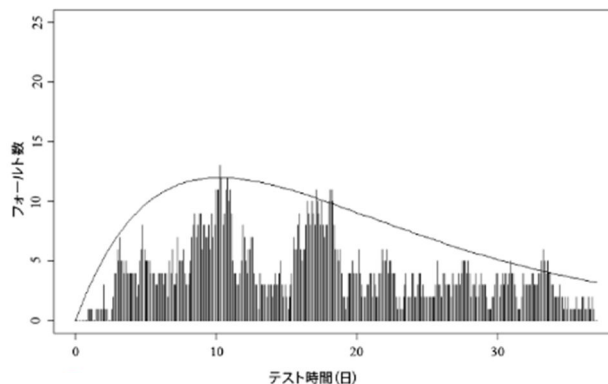


図2：修正中のフォールト数の挙動（修正時間が平均0.5日/個の場合）

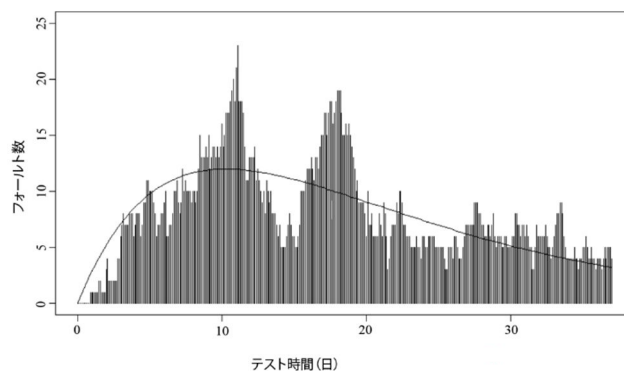


図3：修正中のフォールト数の挙動（修正時間が平均1.0日/個の場合）

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Y. Minamino, Y. Makita, S. Inoue, and S. Yamada	4. 巻 10(9)
2. 論文標題 Efficiency evaluation of software faults correction based on queuing simulation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Mathematics	6. 最初と最後の頁 1438-1--1438-9
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/math10091438	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Y. Minamino, S. Inoue, and S. Yamada
2. 発表標題 Estimation of optimal testing-termination time with change-point derived from software release
3. 学会等名 Proceedings of the 26th ISSAT International Conference on Reliability and Quality in Design (online) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 南野友香, 井上真二, 山田茂
2. 発表標題 ソフトウェア信頼度成長モデルに基づくフォールトの修正待ち行列シミュレーション
3. 学会等名 電子情報通信学会IEICE信頼性研究会（R）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Y. Minamino, S. Inoue, and S. Yamada	4. 発行年 2022年
2. 出版社 Elsevier Inc.	5. 総ページ数 569
3. 書名 System Assurances: Modeling and Management, Chapter 10, "Extension of software reliability growth models by several testing-time functions", pp. 155-174.	

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------