

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 6 年 5 月 30 日現在

機関番号：33917

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2020～2023

課題番号：20K11758

研究課題名(和文) 運用環境を対象にしたアプリケーションサービスの障害原因箇所特定と修復に関する研究

研究課題名(英文) Research on pinpointing and repairing the root causes of problems in application services in the operational environment

研究代表者

名倉 正剛 (Nagura, Masataka)

南山大学・理工学部・教授

研究者番号：70457141

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,400,000円

研究成果の概要(和文)：アプリケーションサービスの障害原因特定と修復に関する各種方法を提案した。まず、プログラムコードに対する障害原因特定技術を拡張し、運用環境で発生した障害に関するログ情報を利用した原因箇所特定技術を提案した。そして障害を発生した運用中のソフトウェアと類似したソフトウェアを検出するための技術を提案した。また、原因特定技術を提案する際に、ログファイルから原因特定に必要なログ情報を抽出する方法を確立した。さらに、プログラム実行中に発生するエラーメッセージを実行時に収集する方法を確立した。そして、障害発生時にルールベースで発生したエラーに対して修復を行う仕組みを確立した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

アプリケーションサービスの運用中に障害が発生した際に、その原因特定を実施し、修復を行う方法を確立した。従来のソフトウェアに対する障害原因特定手法をログファイルに拡張することで原因特定を実施できることを示したこと、障害を発生したソフトウェアに対して類似している他のソフトウェアを検出できる技術を確立したこと、そして、障害発生時に修復を行う仕組みを確立したことが、本研究の学術的な意義である。本研究成果による社会的意義としては、アプリケーションサービスの保守開発や運用にかかるコストを、より省力化できるような方策を提案したことである。

研究成果の概要(英文)：We proposed various methods for pinpointing and repairing the root causes of problems that occur during the operational phase of application services. First, we proposed a support method for pinpointing the root causes of problems in the operational environment using logging information by expanding the existing fault localization techniques for program code. Additionally, we proposed a method to detect software code that is similar to the failed software code during the operational phase. Second, we established a method for extracting the logging information needed to pinpoint the root causes from logging records and a method for collecting error messages from running software programs. Furthermore, we established a rule-based method to repair the failed software code.

研究分野：ソフトウェア工学

キーワード：ソフトウェア工学 障害原因特定 障害原因修復 運用ログ分析

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

## 様式 C-19、F-19-1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

近年開発者と運用担当者が連携して開発を実施する方法として DevOps を取り入れることによりシステム更新サイクルを短縮するケースが増えている。しかし、運用フェーズにおいて想定外の状況により障害が発生するような場合には、従来ソフトウェア工学分野で提案されている障害原因箇所特定手法やプログラム修復手法によって、支援を実施できない可能性が十分に残されている。運用環境を対象にした障害に対応するためには、運用環境に対する原因箇所特定と障害修復の支援のための保守開発手法が必要である。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、運用環境を対象にした障害の原因箇所特定と障害修復の支援のための保守開発手法を確立することである。本研究課題開始時点での研究目的において、これを遂行する上での主要な課題を次のように設定していた。

- A) 運用環境で発生した障害に関する原因箇所特定技術の確立。
- B) 障害情報収集基盤の確立。
- C) 特定した原因箇所に対するプログラム修復技術の確立

### 3. 研究の方法

研究の目的で挙げた各項目について、以下の方法によって達成した。

- A) 運用環境で発生した障害に関するログから、障害の原因を特定する技術を提案する。また、障害を発生した運用中のソフトウェアと類似したソフトウェアを検出するための技術を提案する。
- B) ログファイルからログ情報を抽出する方法を確立する。そしてログファイルではなくプログラム実行中に発生するエラーメッセージを実行時に収集する方法を確立する。
- C) 障害発生時に、ルールベースで発生したエラーに対して修復を行う仕組みを確立する。

### 4. 研究成果

#### A) 運用環境で発生した障害に関する原因箇所特定技術の提案

まず、運用環境のログに対して障害原因を特定する方法を検討した。運用環境で障害が発生した際には、その原因に対処するためには障害の原因がどのレイヤのどのソフトウェアのどこに存在するかを把握する必要がある。しかしそのためには、障害発生時に複数のレイヤのログファイルを基に大量のログを解析しないとならない。このことは、運用環境に対する障害原因特定の迅速化を困難にする。そこで、ソフトウェアプログラムに対する障害原因特定手法である **Spectrum-Based Fault Localization** をログメッセージの解析に適用することで、障害原因を特定する方法を確立した。この方法では、1つのログメッセージを1つのソースコードのステートメントとして扱うことで、障害原因を特定する方法を実現した。なおログメッセージはソースコードのステートメントとは異なり、特定のログメッセージが大量に発生することがありうる。そのような場合には、ソフトウェアにおけるループと同様に扱い、ループに対して障害原因を特定するように拡張された **SBFL (FLSF: Fault localization based on statement frequency)** の方法を取り入れ、障害原因の特定方法を確立した。

また、運用環境に供されるプログラムと同様の振る舞いを行うプログラムが別の運用環境で供される場合、それらにも同様の障害が発生する可能性を確認する必要がある。しかし互いに独立して改変が行われていると、プログラムの内容が文字列としてはそれほど一致しないにもかかわらず類似した処理を実施していて、類似プログラムであることを認識しづらい場合がある。そのようなプログラムの存在を念頭に、構文やリテラルの類似していないプログラム同士での類似性を評価し類似プログラムを検出する方法を提案した。この方法により、障害の発生したプログラムと類似した他の運用環境向けのプログラムを検出できるようになる。この手法ではプログラムが利用する外部の機能の類似性と、実行プログラムのバイナリ命令の類似性と、プログラムに対する入出力の類似性によって、別の運用環境においても同様の振る舞いで同じような障害が発生する可能性があるプログラムを特定できるようにしている。

#### B) 障害情報収集基盤の確立

A) における障害原因箇所特定技術の提案のためには、運用中のシステムに対してログ情報を収集する必要がある。そこで、ログファイルを解析し、ログ情報を抽出する方法をあわせて提案した。

さらに、C) の一部において障害発生時にルールベースで修復を行う仕組みを提案したが、この方法はログファイルによらない方法であるので、ログファイルではなくプログラム実行中に発生するエラーメッセージを実行時に収集できる方法を確立する必要がある。

C) での最初の提案においては、コンパイラ言語でのコンパイル実施の際に発生したエラーへの対処を検討していた。コンパイル実施の際に発生するエラーメッセージはコンパイラの実行に伴うエラーメッセージであるので、この際のエラーメッセージの収集基盤を検討することで、ログファイルによらない実行時エラーについての障害情報収集基盤を確立した。この収集基盤は、その後に提案したスクリプト言語での実行時エラーの原因特定方法の確立の際に、一般的なプログラムの実行時エラーの収集に転用することにより、本来の目的であるプログラム実行中に発生するエラーメッセージを実行時に収集できる方法であることを確認した。

C) 特定した原因箇所に対するプログラム修復技術の提案

まず当初より実行時エラーの発生形態やメッセージ形式が多岐にわたることが想定でき、修復対象も多岐にわたることが想定できたので、まずは範囲を絞ってコンパイラ言語でのコンパイル実施の際に発生したエラーに対して原因を特定し、漸次的に修復を実施することにより、複数の誤りに対して修復を行うことができる技術を確立した。この方式では、エラーの発生状況を形式化し、それに対する修復方法をルールベースであらかじめ記述することにより、修復を実施できるようにしている。なおこの内容については保守開発活動に適用することを念頭に検討したが、プログラミング学習へ展開することでより効果的に利用できると考え、当初目的から発展させてプログラミング学習支援手法としても提案した。さらにこの自動修復技術を実行時に発生したエラーの原因特定に応用し、プログラム実行時に発生したエラーの発生状況を形式化したうえで、障害原因の特定を支援する方法を提案した。なおこの提案手法では実施していないが、前述の自動修復技術と同様に修復方法を形式化することで、障害原因の特定だけでなく修復を実施することも可能である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 2件）

1. 著者名 近藤 亮太, 名倉 正剛	4. 巻 2023
2. 論文標題 コンパイルエラーメッセージの分類に基づく初学者へのプログラミング学習支援手法	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 実践的IT教育シンポジウム rePiT 論文集	6. 最初と最後の頁 63~74
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/repit.2023.0_63	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 -

1. 著者名 名倉 正剛, 薄井 駿, 高田 眞吾	4. 巻 38巻2号
2. 論文標題 Android アプリケーションを対象とした実装漏れメソッドの検出手法	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 コンピュータ ソフトウェア	6. 最初と最後の頁 p. 2_71-2_89
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.11309/jssst.38.2_71	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8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 2件）

1. 発表者名 Francesco Leone, Shingo Takada
2. 発表標題 Towards Overcoming Type Limitations in Semantic Clone Detection
3. 学会等名 2022 IEEE 16th International Workshop on Software Clones (IWSC) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 宮田千里, 名倉正剛
2. 発表標題 Javaバイトコードの比較による機能的類似コード検出手法の提案
3. 学会等名 電子情報通信学会ソフトウェアサイエンス研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshitomo Sha, Masataka Nagura, Shingo Takada
2. 発表標題 Fault Localization in Server-Side Applications Using Spectrum-Based Fault Localization
3. 学会等名 5th Workshop on Validation, Analysis and Evolution of Software Tests (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 謝 佳智, 名倉 正剛, 高田 眞吾
2. 発表標題 SBFL 手法の適用によりサーバサイドアプリケーションの障害原因を特定する手法
3. 学会等名 情報処理学会第209回ソフトウェア工学研究発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉重 徹, 末次 健太郎, 角 幸一郎, 名倉 正剛, 高田 眞吾, 浅原 明広
2. 発表標題 OSS を対象にしたコーディング規約違反発生状況の調査
3. 学会等名 情報処理学会 ソフトウェアエンジニアリングシンポジウム2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 謝 佳智, 名倉 正剛, 高田 眞吾
2. 発表標題 Fault Localization手法の適用による障害原因を示すログの特定に関する一考察
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェア工学研究会 第27回 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 倉重 徹, 末次 健太郎, 角 幸一郎, 名倉 正剛, 高田 眞吾, 浅原 明広
2. 発表標題 コーディング規約違反箇所の変更履歴を利用する開発支援に関する一考察
3. 学会等名 日本ソフトウェア科学会 ソフトウェア工学研究会 第27回 ソフトウェア工学の基礎ワークショップ
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 武元憲将, 高田眞吾, 名倉正剛
2. 発表標題 バグ発生の制約条件追加によるコンコリクテストのバグ発見能力の向上
3. 学会等名 情報処理学会 第83回全国大会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔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
研究 分担 者	高田 眞吾  (Takada Shingo)	慶應義塾大学・理工学部 (矢上) ・教授	
	(60273843)	(32612)	

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
---------	---------