

平成 28 年 6 月 18 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2013～2015

課題番号：25730037

研究課題名(和文) スケーラブルな実行トレース解析処理基盤に基づくデバッグ手法

研究課題名(英文) Debugging method based on a scalable dynamic analysis infrastructure

研究代表者

小林 隆志 (Kobayashi, Takashi)

東京工業大学・情報理工学(系)研究科・准教授

研究者番号：50345386

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：実用規模のソフトウェアに対する実行トレース解析に基づくデバッグのために、設計意図や静的特徴を利用して、解析に不要な実行トレース情報の除去を行う抽象化手法を研究した。また、動的データ依存解析と詳細なメソッドレベルでの振り分け解析に基づく新しい欠陥箇所特定支援手法を開発した。本研究では、さらに選択的インライン展開とデータマイニング技術を応用したAPI利用の時相制約発見手法、プログラムの改版履歴の分析に基づくモジュール間の論理的依存関係の発見手法について研究した、これらの技術を応用することで、多量の実行トレースの解析に基づくソフトウェア理解とデバッグ支援がより効果的になることが期待できる。

研究成果の概要(英文)：Our main research aim is to support debugging task for a real-world software. In this research, we developed a scalable execution trace analysis framework and a novel technique to abstract execution traces through considering the software design intent. We also studied scalable and accurate fault localization techniques based on the analysis of dynamic data dependencies and detailed method level behavior. We finally proposed a method to find the temporal specifications of API usage based on the selective inlining and data mining techniques. We also studied a method to extract the logical dependencies among methods based on the analysis of program change histories. Based on the combination of those proposed techniques methods, developer can be support to comprehend and debug large scale 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 動的解析 デバッグ

1. 研究開始当初の背景

プログラムに正しい入力を行ったにもかかわらず誤った振舞い・出力が行われた場合、そのプログラムには不具合(バグ)があり、開発者はその原因となっている欠陥箇所を特定しなければならない。この作業は一般に、不具合を検出した後、誤った振舞い・出力を行うプログラム箇所を解析し、不具合と関連する処理をたどることで欠陥箇所を特定する。ソフトウェアの規模が大きくなると依存関係が複雑となり、この作業は困難となる。

近年では、メニーコア CPU が広く使われるようになり、並列処理を扱うプログラムが増えてきた。並列処理では実行時に決定される要因が多く、ソースコードを静的に解析するだけでは振舞いを十分に解析することができない。そのため、不具合発見と欠陥箇所特定は特に困難となる。

この問題に対して、動的解析手法として、実行トレースを解析する手法が多く提案されている。実行トレースとは、プログラムが実行している際に、関数・メソッド呼び出しや代入といった命令がどのように実行されたかをイベント列で記録したものである。

しかしながら、実行トレースを用いた解析は精度が高い反面、実行した部分以外は解析ができない、プログラムの正確な振舞いを解析するためには比較的小規模なプログラムであってもその実行トレースは巨大なものとなってしまい、という問題がある。

2. 研究の目的

本研究では、実用規模のソフトウェアの複雑な振舞いを効果的に解析するスケーラブルな実行トレース解析処理基盤を構築することを目指す。効率的な解析処理のために、プログラムの静的情報や過去に蓄積した部分トレースを活用し、解析に不要な履歴の除去やトレースの分割を行うハイブリッド型依存解析手法を研究する。また、その基盤を利用して、データマイニング技術を応用した API 利用の時相制約発見手法等、多量の実行トレースの解析に基づくソフトウェア理解支援手法、欠陥箇所の特定手法からなる、新しいデバッグ手法を開発する。

3. 研究の方法

まず、これまでに研究開発を行ってきた Java 言語向けトレーサ Reticella をベースに、Java VM を監視するだけでなくバイトコードを一部操作する方法をとることで、高精度かつ低オーバーヘッドなトレーサを開発する。このトレーサを利用して取得した実行トレースを基にして、動的解析に基づくデバッグ支援手法を研究する。

本研究では、大規模な実行トレースに適用可能な不具合箇所特定支援に関する研究と、可視化及び処理効率改善のためのトレース抽象化技術に関する研究を行う。また、トレースの重要な箇所を特定するために、過去の

開発活動履歴の分析に基づく依存関係抽出手法と、プログラムコードの静的解析を行い、典型的な API 利用方法を発見する手法を確立することにより、デバッグを支援する手法を開発する。

4. 研究成果

① 不具合箇所特定支援手法

実行中の変数の読み書きに着目し、動的データ依存を実行トレースの逐次解析のみで特定する手法を開発した。この動的依存集合の情報を利用することにより、従来手法では特定が困難であった不具合箇所をより効率的に特定できることを明らかにした。また、大規模ソフトウェアにおける実行トレースに対して、不具合箇所特定支援手法を適用するための方法として、段階的に実行トレースの取得粒度と検査領域を変化させる手法の開発も行った。提案手法では、メソッドの実行された範囲と、それぞれのメソッド間の依存関係に着目することで、従来手法よりも高い手法で有効な検査領域となるメソッド集合を特定し、効率よく不具合箇所の特定を行う。

② 実行トレースの抽象化

大規模な実行トレースを効果的に処理、理解するための基盤技術として、設計情報及び動的特徴の分析に基づく不要オブジェクト削減手法を開発した。実行トレース中に出現するオブジェクト数を軽減させることにより、既存の動的解析技術をより大規模な実行トレースに適用することが可能となる。また、デバッグを行う上で、重要となるプログラムが実際にどのように実行されたかを確認するプログラム理解タスクにおいて、効果的な可視化が可能となることを期待できる。

③ モジュール依存関係の抽出

動的解析対象の重要性を判定する新たな手法に向けた開発を行った。プログラムコードの解析に基づく依存関係分析では特定が困難でありデバッグ作業中に重要となる論理的な依存関係を、過去の開発履歴を分析することにより抽出する手法を開発し、抽出される依存関係の分析をすることで、その効果を明らかにした。また、メソッドを横断して見られる API 利用パターンを効率良く抽出するための方法に関する基礎研究を行い、選択的にインライン展開を行うことでより大規模な API 利用パターンが抽出できることを確認した。

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 1 件)

1. 渥美紀寿, 小林隆志, 山本晋一郎, 阿草清滋: ソフトウェア開発支援基盤のため

のソースプログラムの XML 表現, 電子情報通信学会論文誌 Vol. J96-D, No. 11, pp. 2681-2691, 2013 (査読付き)
http://search.ieice.org/bin/summary.php?id=j96-d_11_2681

[学会発表] (計 15 件)

1. Akihiro Yamamori and Takashi Kobayashi: Can Developers' Interaction Data Improve Change Recommendation? The 23rd IEEE Intl Conf. Software Analysis, Evolution, and Reengineering (SANER2016) Poster Session, 大阪大学 (大阪府), 2016. 03. 14 (査読付き)
2. 相澤遥也, 小林隆志: メソッドを横断するコードテンプレート発見のためのインライン展開戦略の検討, 電子情報通信学会信学技報 IEICE No. SS2015-96, 宮古青少年の家(沖縄県), 2016. 03. 11
3. Akihiro Yamamori and Takashi Kobayashi: A Change Guide Method Based on Developers' Interaction and Past Recommendation, Proc. the 14th IASTED International Conference on Software Engineering, pp. 281-288, Innsbruck, Austria, 2016. 02. 16 (査読付き)
4. 熊謙, 小林隆志: ワークフローマイニングに基づく潜在的因果関係を考慮した変更推薦モデルの構築, 第 22 回ソフトウェア工学の基礎ワークショップ (FOSE2015) 論文集 pp. 193-202, 滝の湯(山県研), 2015. 11. 27 (査読付き)
5. Tatsuya Mori, Anders Mikael Hagward, Takashi Kobayashi: Effects of Recency and Commits Aggregation on Change Guide Method Based on Change History Analysis, Proc. the Tenth International Conference on Software Engineering Advances (ICSEA2015) pp. 96-101, Barcelona, Spain, 2015. 11. 15 (査読付き)
6. 森達也, Anders Mikael Hagward, 小林隆志: 改版履歴の分析に基づく変更支援手法における時間的近接性と大規模コミットの影響 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会, 信学技報 IEICE SS2014-67, 沖縄県青年会館(沖縄県), 2015. 3. 10
7. 中野瑞樹, 大沼俊輔, 小林隆志, 石尾隆: 動的データ依存集合の発生確率を用いた欠陥箇所特定支援手法の実装及び評価, 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会, 信学技報 IEICE SS2014-58, 沖縄県青年会館(沖縄県), 2015. 3. 9
8. 山森章弘, Anders Hagward, 小林隆志: 改版履歴を用いた変更支援手法における操作履歴の活用に向けて, 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会, 信学技報 IEICE SS2014-54, プランナールみささ(鳥取県) 2015. 1. 27
9. 相澤遥也, 小林隆志: 選択的インライン展開に基づくメソッド境界を越えた API 利用パターンの抽出とその活用, 情報処理学会 ウィンターワークショップ in 宜野湾 (WWS2015), カルチャーリゾートフェストーネ(沖縄県), 2015. 1. 23
10. Roberto Minelli, Andrea Mocci, Michele Lanza, Takashi Kobayashi: Quantifying Program Comprehension with Interaction Data, Proc. of the 14th International Conference on Quality Software (QSIC2014), pp. 276-285, Dallas, USA, 2014. 10. 24 (査読付き)
11. 小林孝壽, 小林隆志, 久保孝行: ブロック利用傾向に基づく Simulink モデルの設計スタイル抽出手法, 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会, 信学技報 IEICE SS2014-8, いせ市民センター (三重県), 2014. 05. 8
12. 山森 章弘, 小林隆志: 活動履歴と過去の推薦状況を考慮した変更支援ツールの試作 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会, 信学技報 IEICE SS2013-84, Vol. 113, No. 489, pp. 73-78, てんぶす那覇(沖縄県), 2014. 03. 11
13. 戸田 達也, 小林隆志, 渥美紀寿, 阿草清滋: オブジェクトの動的特徴に着目した実行トレースの抽象化 電子情報通信学会 ソフトウェアサイエンス研究会, 信学技報 IEICE SS2013-86, Vol. 113, No. 489, pp. 85-90, てんぶす那覇(沖縄県), 2014. 03. 11
14. Tatsuya Toda, Takashi Kobayashi, Noritoshi Atsumi, Kiyoshi Agusa: Grouping Objects for Execution Trace Analysis based on Design Patterns, Proc. APSEC2013 WTIP pp. 25-30, (IWSESEP2013: The 5th International Workshop on Empirical Software Engineering in

Practice), Pullman hotel, Bzangkok,
Thailand, 2013.12.2 (査読付き)

15. 小林隆志: 実行トレースの解析に基づく
不具合箇所発見, ソフトウェアエンジニア
リングシンポジウム 2013 (SES2013) 併
設ワークショップ 「プログラム・デバッ
グ自動化の現状と今後」東洋大学(東京
都)2013.9.8 (招待講演)

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

小林 隆志 (Takashi Kobayashi)
東京工業大学・情報理工学院・准教授
研究者番号: 50345386

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし