

障害位置特定手法を用いた初学者向けデバッグ支援システムの開発

1210330 高橋 智哉 【ソフトウェア検証・解析学研究室】

1 はじめに

近年、プログラミング教育の重要性が高くなっており、初学者向けプログラミング支援システムの開発が求められている。デバッグはプログラミングにおいて重要な作業であるが、プログラミング初学者が効率良くデバッグを行うことは困難である。

本研究では、自動プログラム修正 (APR) 手法によって生成されたプログラムのテスト結果と、SBFL 手法により計算された疑惑値を用いて障害位置を特定する関連研究 [1] の手法に基づき、APR 手法の一つである PraPR を用いて初学者のデバッグ作業を支援するシステムを開発し、その有用性を示す。

2 背景技術

2.1 自動プログラム修正 (APR) 手法

自動プログラム修正手法とは、バグを含むプログラムとその動作の正解 (オラクル) を与えることで、バグを修正するパッチを出力する手法である。PraPR では、オラクルとしてテストケースが使用される。

2.2 SBFL 手法

SBFL 手法とは、テストケースによる実行経路に基づき、あるプログラム文がバグの原因箇所である可能性を表す疑惑値を計算する手法である。

3 システムの概要

本システムでは、APR ツールを用いてパッチを生成し、テストスイートの実行結果を元にパッチを2種類に分類する。修正対象プログラムの行ごとに、その行に対して生成されたパッチのうち、それを適用すると、適用前には失敗したテストに合格するものが存在する場合、その行はバグの原因である可能性が高い行と判断する。また、SBFL 手法の一つである Ochiai [2] の計算式を用いて修正対象プログラムの疑惑値を計算し、値が0.9以上の行もバグの原因である可能性が高い行と判断する。

4 実装

本システムでは修正対象言語として Java を選択し、APR ツールには PraPR を利用した。PraPR は、単純な突然変異演算子に基づく、JVM バイトコードレベルで機能する APR ツールである。

PraPR で生成されたパッチの変更された行番号とテストスイートの実行結果の情報、Ochiai で計算した疑惑値を収集・分析し、バグの原因である可能性が高い行にグレーの背景色をつけて表示する。

5 実験

本研究では、AtCoder が運営するプログラミングコンテストの4問題に対して、提出された結果が WA (Wrong Answer) であるプログラムを無作為に2つずつ選出し、本システムを適用した。

表1は、上記の8つのプログラムに本システムを適用した結果である。システムが障害箇所と判断した行にバグが存在すれば真陽性が○になり、システムが障害箇所でないとして判断した行にバグが存在すれば偽陰性が○になる。また、疑惑値は手作業で求めたため、実行時間には含まれていない。

表1 実験結果

修正対象プログラム	真陽性	偽陰性	実行時間 (s)
GentlePairs1	○	×	145.48
GentlePairs2	○	×	206.69
ABC Tournament1	○	×	11038.50
ABC Tournament2	×	○	7050.29
LargeDigits1	○	×	187.82
LargeDigits2	○	×	35.38
Orthogonality1	○	×	8307.30
Orthogonality2	○	×	20060.89

実験結果から、本システムは初学者の作成したプログラムのバグでない行をある程度除外することが出来たため、バグの発見の補助として有用と考えられる。しかし、テストの実行時間が長い修正対象プログラムに対して本システムを使用すると、実行時間が非常に長くなってしまいう問題がある。

6 まとめ

本研究では、APR 手法の一つである PraPR を用いて、プログラミング初学者向けデバッグ支援システムを開発し、評価を行った。その結果、本システムはバグの発見を補助することにおいて有用であるが、修正対象プログラムによっては実行時間が長くなることが分かった。

参考文献

- [1] Lou, Y. et al., *Can Automated Program Repair Refine Fault Localization?*, 2021年2月2日, <https://arxiv.org/pdf/1910.01270.pdf>
- [2] Abreu, R. et al.: *On the accuracy of spectrum-based fault localization*, *Proc. Testing: Academic and Industrial Conference Practice and Research Techniques (TAIC PART)*, pp.89–98, 2007.