

確率的プログラムにおけるバグ分析

情報科学研究科 情報科学専攻
データサイエンス・人工知能領域 博士前期課程
2024年3月修了

西村優里

主査 于海波 副査 合志和晃 稲永健太郎

研究背景

確率的プログラミングにより、統計的モデルの取り扱い、機械学習などの研究開発がより円滑になるため、近年AIの発展により、確率的プログラムは非常に重要になってきた。しかし、現在、確率的プログラムの開発には、既存の伝統的プログラム開発のツールを流用しており、確率的プログラムの特徴を表現することができない。そのため、本研究では、確率的プログラムの特徴を考慮した開発環境を構築している。

研究概要

1. バグ分析の流れ

(1)GitHub内でバグの検索

絞り込み条件: `pyro pytorch label:bug language:Python state:closed`

(2)プロジェクトの選択

(3)バグの前処理：無関係なバグを除外する

➢ 報告、不完全な内容、修正前後のソースコードがない等

(4)バグ内容の分析

➢ バグ登録内容、コメント、修正前後のソースコード等

(5)バグの分類

(6)バグパターンの抽出

(7)バグ検出方法の提案

2. バグ分析の結果1(プロジェクト毎)

プロジェクト名	概要	バグ 総数	調査済 バグ数	確率的 プログラム 特有のバグ数
pyro	PyTorchをバックエンドにした確率的プログラミング言語	287	52	19 (36%)
pytorch-forecasting	PyTorchを用いた時系列予測のためのライブラリ	29	29	3 (10%)
numpyro	PyroのNumPyバックエンドを提供する軽量の確率的プログラミングライブラリ	77	72	20 (28%)
gpytorch	PyTorchを用いたガウス過程ライブラリ	335	52	8 (5%)
総数		728	205	50 (24%)

分析結果のまとめと考察1:

絞り込んだ4つの確率的プログラムのうち、205個のバグを調査し、50個確率的プログラム特有のバグを絞り込んだ。そのうち、pyroとnumpyroプロジェクト内に確率的プログラム特有のバグの割合が一番多かった。それぞれ38%、28%であった。

3. バグ分析の結果2(カテゴリ毎)

バグ分類	バグ数	割合
Algorithmic/accuracy bugs	19	38%
Dimension/boundary-value bugs	18	36%
General numerical bugs	5	10%
Language/translation bugs	8	16%
総数	50	

分析結果のまとめと考察2:

4つのバグのカテゴリのうち Algorithmic/accuracy bugsのカテゴリに属するバグの割合が一番多かった。

4. バグパターンの抽出結果

No.	タイトル	説明
1	数値処理の問題	確率的プログラミングモデルでの数値計算が不安定で誤差が大きい問題
2	適応アルゴリズムの不安定性関連するバグ	特定の入力でNaNが生成され、アルゴリズムがこれに対処できない
3	ディスクリット分布のランダムシードの初期化に関連するバグ	ランダムシードの初期化不足により同じ条件での実行でも異なる結果が生じる可能性
4	SA MCMCサンプラーの並列実行時のシグネチャエラー	SA MCMCサンプラーの並列で実行しようとすると、特定のパラメータ設定で関数のシグネチャが一致しないエラーが発生
5	サポート依存性に関連するバグ	異なる初期条件で異なるサポートを生成する確率分布のバグ
6	初期パラメータに列挙処理が影響する問題	初期パラメータの列挙処理が不適切で、予期しない結果が発生する可能性
...
13	構造変更によるバージョン間の不整合性と初期値の問題	確率モデルの構造や推論手法の変更に適応できない問題

バグパターン抽出結果及びバグ検出手法の提案:

50個の確率的プログラム特有のバグのうち26個のバグを分析し、13個のバグパターンを抽出した。静的解析による潜在的な不安定性や誤差がある箇所を特定等検出手法を提案した。

成果・まとめ

本研究では、GitHub上にあるPyro(PyTorch)で開発された実際の確率的プログラムのバグを分析し、確率的プログラム特有のバグを絞り込み、バグパターンの抽出及びバグ検出方法の提案をまとめた。具体的な結果として、205個のバグから50個の確率的プログラム特有のバグを絞り込んだ。そのうち26個のバグをさらに分析し、13個の確率的プログラム特有のバグパターンを抽出できた。



指導教員コメント

AIの発展により、確率的プログラミングは非常に重要になってきた。本研究では、実際の確率的プログラムのバグを分析し、確率的プログラム特有のバグパターンの抽出及びバグ検出手法の提案をした。これにより、確率的プログラムのバグの特徴をつかみ、バグの自動検出ツール及びシステムテストツールの開発に貢献することが期待される。

于海波