

# Fine-Grained Test Minimization



Arash Vahabzadeh, Andrea Stocco, Ali Mesbah

---

ICSE '18, May 27-June 3, 2018, Gothenburg, Sweden

---

発表者 吉富 楓雅

---

# 目次

- テストの冗長性
- アプローチとRQ
- RQの結果
- 結論とまとめ

## 要約

ソフトウェアシステム開発が進むと、テストコードの冗長性が促進される。現在の技術では、コードカバレッジを利用して、テストスイートからテストケース全体を削除する方法をとっているが、この方法では

(1)アサーションを同時に削除することでテストの有効性が阻害される。

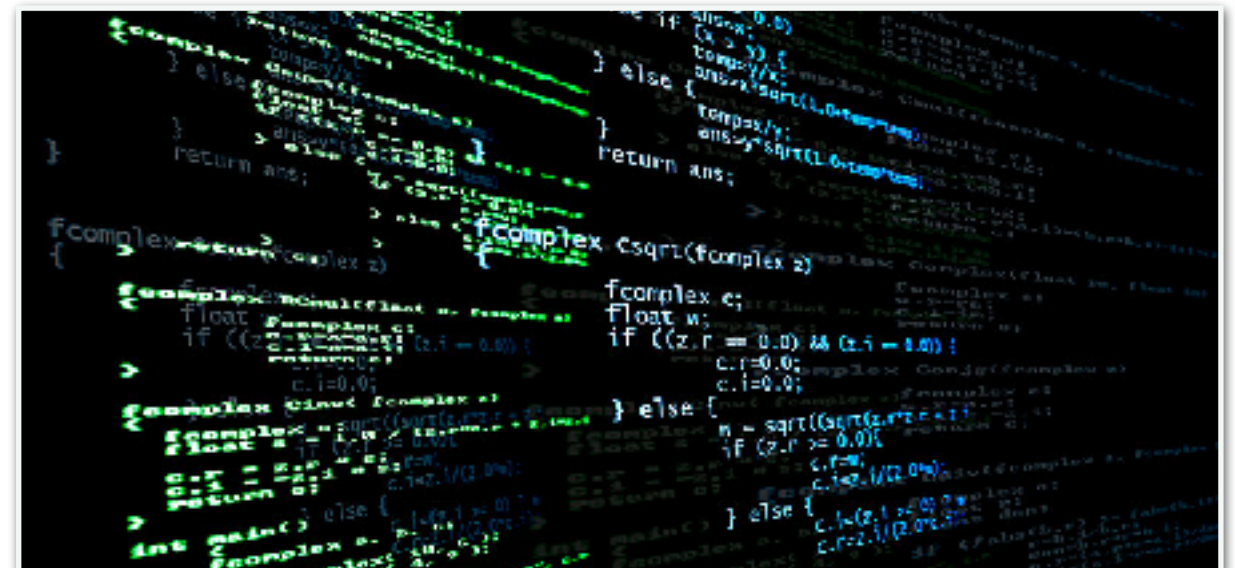
(2)部分的に冗長なテストケースが無視される。

そこで本論文ではテストケース最小化のための新しいアプローチを提案する。

# テストの冗長性

# 背景

- ソフトウェアシステムを開発する際、品質と正確性を保証するために**テスト**が行われる
  - \* プロダクトコードが進化すると、新しいテストケースが追加され、既存のテストコードは変更される



# テストの冗長性

- テストコードの開発が進むと  
「**冗長化**」が発生する

\* 冗長化：似たようなコード  
が繰り返し記述されること

- 冗長化が進むと，保守や回帰  
テストを行う際にコストが余  
計にかかる
- コストを削減するには，冗長  
化を取り除く必要がある

```
1  @Test
2  public void testAdd() {
3      Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
4      Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
5      Complex z = x.add(y);
6      assertEquals(8.0, z.getReal(), 1.0e-5);
7  }
8  @Test
9  public void testSubtract() {
10     Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
11     Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
12     Complex z = x.subtract(y);
13     assertEquals(-2.0, z.getReal(), 1.0e-5);
14 }
15 @Test
16 public void testMultiply() {
17     Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
18     Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
19     Complex z = x.multiply(y);
20     assertEquals(-9.0, z.getReal(), 1.0e-5);
21 }
22 @Test
23 public void testDivide() {
24     Complex dividend = new Complex(3.0, 4.0);
25     Complex divisor = new Complex(5.0, 6.0);
26     Complex q = dividend.divide(divisor);
27     assertEquals(39.0 / 61.0, q.getReal(), 1.0e-5);
28 }
```

図1：冗長なステートメントを持つテストケース

# 既存手法と問題点

- 既存手法：コードカバレッジなどの妥当性基準を，冗長なカバレッジでテストケース全体を削除するためのガイドラインとして使用[1]
- 既存手法の問題点
  - \* アサーションを同時に削除してしまうことでテストの有効性が阻害される
  - \* 部分的に冗長なテストケースが無視される

[1]Shin Yoo and Mark Harman. 2012. Regression Testing Minimization, Selection and Prioritization: A Survey. Software Testing, Verification and Reliability 22, 2 (March 2012), 67–120. <http://dx.doi.org/10.1002/stv.430>

# 問題の克服

- テストステートメント内のより詳細な冗長性をターゲットとするアプローチが必要
  - \* テストケースをリファクタリングするのは困難
  - \* 複雑なテストケースを手動で並び替えるのは容易ではない
- 本論文では、**ステートメントレベルでテストケースを分析**し、テストステートメント間の関係をキャプチャするテストモデルを構築
  - \* 重複したテストステートメントの特定や削除など、細かいテストの作業が可能

# 使用ツール



- Testler[41](<https://github.com/saltlab/Testler>)
  - \* SALT labが作成したツール
    - ▶ Javaテストの細かい冗長性を排除するテストスイートモデルを作成
    - ▶ JUnit4をサポート

# 冗長性の除去

例：Apache Commons MathプロジェクトのComplexTestクラス

- \* 冗長なステートメントを持つ4つのテストケースで構成（xとyの初期化）

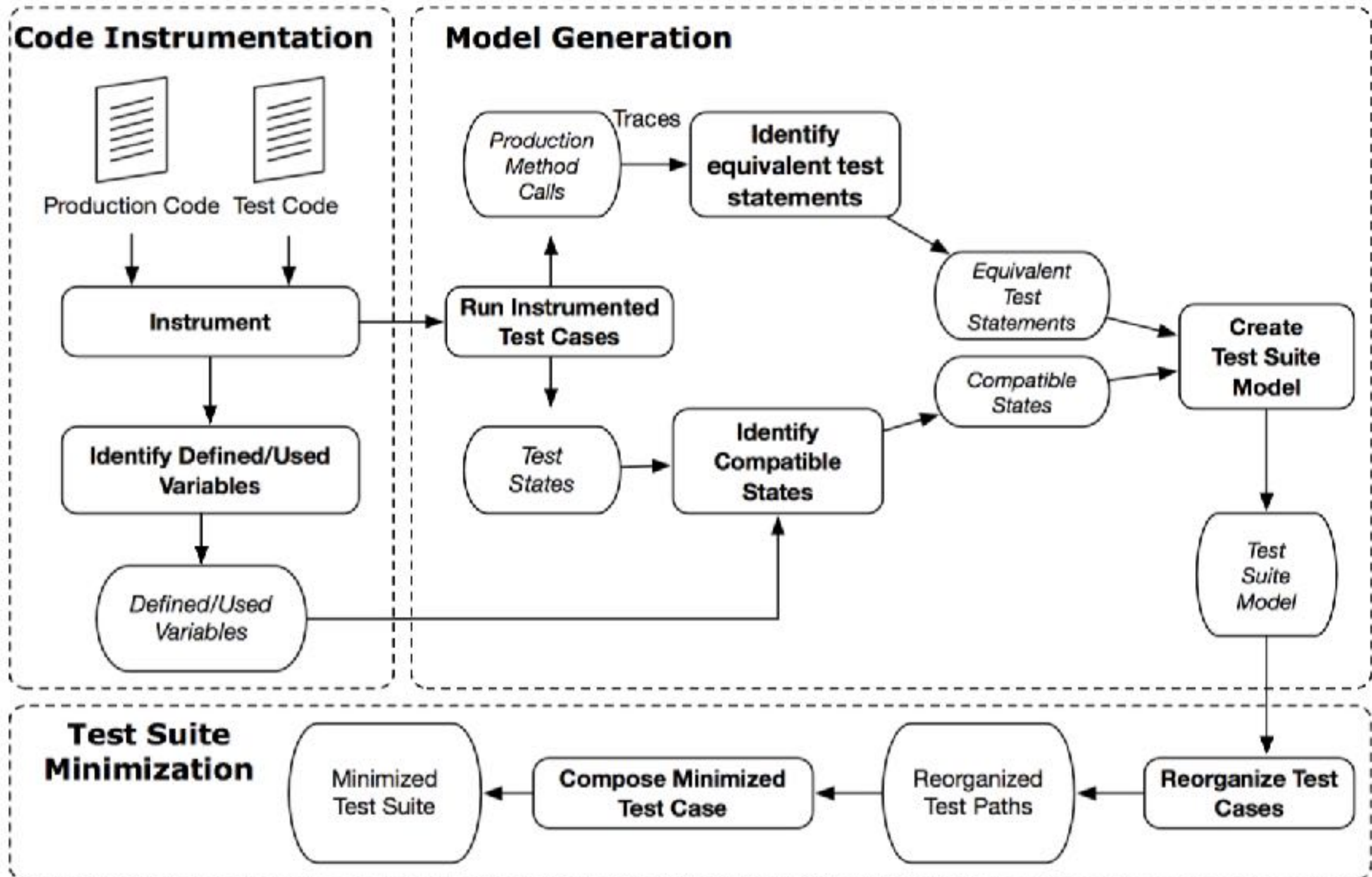
```
1  @Test
2  public void testAdd() {
3      Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
4      Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
5      Complex z = x.add(y);
6      assertEquals(8.0, z.getReal(), 1.0e-5);
7  }
8  @Test
9  public void testSubtract() {
10     Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
11     Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
12     Complex z = x.subtract(y);
13     assertEquals(-2.0, z.getReal(), 1.0e-5);
14 }
15 @Test
16 public void testMultiply() {
17     Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
18     Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
19     Complex z = x.multiply(y);
20     assertEquals(-9.0, z.getReal(), 1.0e-5);
21 }
22 @Test
23 public void testDivide() {
24     Complex dividend = new Complex(3.0, 4.0);
25     Complex divisor = new Complex(5.0, 6.0);
26     Complex q = dividend.divide(divisor);
27     assertEquals(39.0 / 61.0, q.getReal(), 1.0e-5);
28 }
```

```
1  @Test
2  public void testAdd_Subtract_Multiply_Divide() {
3      Complex x = new Complex(3.0, 4.0);
4      Complex y = new Complex(5.0, 6.0);
5      Complex z = x.add(y);
6      assertEquals(8.0, z.getReal(), 1.0e-5);
7      Complex z_subtract = x.subtract(y);
8      assertEquals(-2.0, z_subtract.getReal(), 1.0e-5);
9      Complex z_multiply = x.multiply(y);
10     assertEquals(-9.0, z_multiply.getReal(), 1.0e-5);
11     Complex q = x.divide(y);
12     assertEquals(39.0 / 61.0, q.getReal(), 1.0e-5);
13 }
```

図2：冗長性の除去

# アプローチとRQ

# 研究のアプローチ



# 各工程について

- コード計測(Code Instrumentation : CI)

1. 参照可能なすべての変数の型と値をコード計測機に格納

- ▶ プロダクションメソッド呼び出し(PMC)を拾うために、入力値および各メソッドの終了ポイントを記録するためのプロダクトコードを計測
- ▶ 各テストステートメントによって呼び出されるプロダクションメソッドを追跡するために、すべてのテストケースのステートメントごとに別々の呼び出しスタックログを生成

2. 定義あるいは使用されている、参照可能なすべての変数を特定する

- ▶ オブジェクトの静的変数やメンバ変数など

# 各工程について

- モデル生成(Model Generation : MG)
  - \* 計測の後, プロダクションコードに対してテストを実行
    - ▶ トレースを使用してテストステートメントのセットを計算
- テストが依存状態なのかを確認

# 各工程について

- **テストスイートの最小化(Test Suite Minimization : )**
  - \* 推論モデルを使用して，重複したテストステートメントを識別し削除する
    - ▶ 図1 を例に：4つのテストケースを再構成することで，図2 のような最小限のテストケースを作成
    - ▶ このテストケースは同じカバレッジとアサーションを持つが6つステートメントが少ない

# リサーチクエスチョン

---

- RQ1：部分的に冗長なテストはどの程度普及しているか？
- RQ2：Testlerによってどの程度冗長性が削除されるのか？
- RQ3：Testlerによって再編成されたテストスイートの実行時間はどのくらい短縮しているか？
- RQ4：Testlerはテストスイートのコードカバレッジと障害検出を保持することができるのか？
- RQ5：Testlerにより各工程にはどの程度時間を要するのか？

# RQの結果とまとめ

# RQ1 : 部分的に冗長なテストはどの程度普及しているか？

|               | LINES OF CODE (K) |       | TEST CASES |                |    |
|---------------|-------------------|-------|------------|----------------|----|
|               | Prod.             | Test  | #          | Par. Redundant | %  |
| Collections   | 12.3              | 20.3  | 459        | 110            | 24 |
| Math          | 45.2              | 59.1  | 3,990      | 1,354          | 34 |
| Lang          | 26.6              | 41.6  | 2,344      | 604            | 26 |
| Email         | 2.7               | 3.0   | 141        | 21             | 15 |
| AssertJ       | 6.4               | 24.7  | 4,620      | 947            | 20 |
| CheckStyle    | 16.6              | 27.0  | 1,865      | 164            | 9  |
| PMD           | 42.2              | 14.3  | 465        | 192            | 41 |
| LambdaJ       | 3.6               | 4.8   | 260        | 82             | 32 |
| Java-library  | 24.3              | 12.2  | 611        | 86             | 14 |
| JFreeChart    | 98.5              | 17.3  | 187        | 111            | 59 |
| Accumulo      | 192.9             | 13.8  | 987        | 289            | 29 |
| XmlSecurity   | 40.0              | 32.3  | 941        | 190            | 20 |
| Crunch        | 24.0              | 7.2   | 452        | 78             | 17 |
| Tika          | 60.5              | 17.1  | 553        | 75             | 14 |
| Log4J         | 46.2              | 25.0  | 1,475      | 336            | 23 |
| Total/Average | 642.0             | 319.6 | 19,350     | 4,639          | 24 |

# RQ2 : Testlerによってどの程度冗長性が削減されるのか？

|               | REDUNDANCY      |             |               |                 |             |               | EXECUTION TIME |             |           | CODE COVERAGE |             | FAULT DETECTION |             | ANALYSIS TIME |             | Time (seconds)       |                |
|---------------|-----------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|----------------------|----------------|
|               | Par. Red. Tests |             |               | Red. Test Stmts |             |               | Seconds        |             | %         | Stmt          |             | Branch          |             | Mut. Score    |             |                      | CI/MG/TR (Tot) |
|               | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Original       | Reorganized | Reduction | Before (%)    | Reduced (%) | Before (%)      | Reduced (%) | Before (%)    | Reduced (%) |                      |                |
| Collections   | 110             | 52          | 47            | 210             | 165         | 79            | 17.359         | 16.440      | 5         | 84.7          | 84.7        | 72.3            | 72.3        | 40.0          | 40.0        | 71/70/183 (324)      |                |
| Math          | 1,354           | 946         | 70            | 4,052           | 1,623       | 40            | 83.109         | 72.804      | 12        | 92.7          | 92.7        | 85.7            | 85.7        | 79.0          | 79.0        | 101/401/1103 (1,605) |                |
| Lang          | 604             | 335         | 55            | 1,533           | 563         | 37            | 11.053         | 10.376      | 6         | 92.9          | 92.9        | 57.5            | 57.5        | 66.0          | 66.0        | 38/43/372 (453)      |                |
| Email         | 21              | 10          | 48            | 38              | 12          | 32            | 7.143          | 5.933       | 17        | 54.6          | 54.6        | 50.9            | 50.9        | 48.0          | 48.0        | 10/12/3 (25)         |                |
| AssertJ       | 947             | 253         | 27            | 516             | 207         | 40            | 3.389          | 2.794       | 18        | 95.6          | 95.6        | 92.2            | 92.2        | 63.0          | 63.0        | 244/37/383 (664)     |                |
| CheckStyle    | 164             | 77          | 47            | 258             | 122         | 47            | 26.361         | 21.035      | 20        | 95.4          | 95.4        | 96.8            | 96.8        | 17.0          | 17.0        | 172/625/216 (1,013)  |                |
| PMD           | 192             | 122         | 64            | 346             | 203         | 59            | 7.550          | 7.145       | 5         | 90.1          | 90.1        | 52.8            | 52.8        | 25.0          | 25.0        | 367/110/32 (508)     |                |
| LambdaJ       | 82              | 42          | 51            | 109             | 55          | 50            | 1.468          | 0.924       | 37        | 85.2          | 85.2        | 52.2            | 52.2        | 85.0          | 85.0        | 12/6/13 (31)         |                |
| Java-library  | 86              | 37          | 43            | 338             | 71          | 21            | 2.062          | 1.851       | 10        | 96.0          | 96.0        | 60.7            | 60.7        | 54.0          | 54.0        | 58/97/215 (370)      |                |
| JFreeChart    | 111             | 56          | 50            | 1,657           | 374         | 23            | 2.752          | 2.485       | 10        | 95.5          | 95.5        | 47.6            | 47.6        | 24.0          | 24.0        | 45/52/205 (302)      |                |
| Accumulo      | 289             | 93          | 32            | 683             | 140         | 20            | 65.883         | 50.794      | 23        | 94.7          | 94.7        | 71.5            | 71.5        | 20.0          | 20.0        | 58/333/106 (497)     |                |
| XmlSecurity   | 190             | 156         | 82            | 1,102           | 1,079       | 98            | 68.590         | 57.590      | 16        | 78.7          | 78.7        | 54.0            | 54.0        | 68.0          | 68.0        | 42/179/142 (363)     |                |
| Crunch        | 78              | 52          | 67            | 125             | 83          | 66            | 161.812        | 137.657     | 15        | 94.5          | 94.5        | 74.4            | 74.4        | 31.0          | 31.0        | 27/123/20 (170)      |                |
| Tika          | 75              | 45          | 60            | 141             | 54          | 38            | 78.970         | 54.350      | 31        | 88.4          | 88.4        | 57.5            | 57.5        | 35.0          | 35.0        | 50/673/348 (1,071)   |                |
| Log4J         | 336             | 127         | 38            | 711             | 290         | 41            | 261.987        | 198.343     | 24        | 80.5          | 80.5        | 38.7            | 38.7        | 13.0          | 13.0        | 48/490/100 (638)     |                |
| Total/Average | 4,639           | 2,403       | 52            | 11,819          | 5,041       | 43            | 799.488        | 640.521     | 20        | 88.0          | 88.0        | 64.3            | 64.3        | 44.5          | 44.5        | 8,034/536            |                |

Testlerの実行によって、平均52%もの冗長なテスト、及び平均43%のテストステートメントを削除することができた

# RQ3 : Testlerによって再編成されたテストスイートの実行時間はどのくらい短縮しているか？

|                | REDUNDANCY      |             |               |                |             |               | EXECUTION TIME |             |           | CODE COVERAGE |             | FAULT DETECTION |             | ANALYSIS TIME  |             | Time (seconds)       |
|----------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------------|-------------|----------------|-------------|----------------------|
|                | Par. Red. Tests |             |               | Red. Test Stmt |             |               | Seconds(秒)     |             | %         | Stmt          | Branch      | Mut. Score      |             | CI/MG/TR (Tot) |             |                      |
|                | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Before (#)     | Reduced (#) | Reduction (%) | 削除前 削除後        |             | Reduction | Before (%)    | Reduced (%) | Before (%)      | Reduced (%) | Before (%)     | Reduced (%) |                      |
|                |                 |             |               |                |             |               | Original       | Reorganized |           |               |             |                 |             |                |             |                      |
| Collections    | 110             | 52          | 47            | 210            | 165         | 79            | 17.359         | 16.440      | 5         | 84.7          | 84.7        | 72.3            | 72.3        | 40.0           | 40.0        | 71/70/183 (324)      |
| Math           | 1,354           | 946         | 70            | 4,052          | 1,623       | 40            | 83.109         | 72.804      | 12        | 92.7          | 92.7        | 85.7            | 85.7        | 79.0           | 79.0        | 101/401/1103 (1,605) |
| Lang           | 604             | 335         | 55            | 1,533          | 563         | 37            | 11.053         | 10.376      | 6         | 92.9          | 92.9        | 57.5            | 57.5        | 66.0           | 66.0        | 38/43/372 (453)      |
| Email          | 21              | 10          | 48            | 38             | 12          | 32            | 7.143          | 5.933       | 17        | 54.6          | 54.6        | 50.9            | 50.9        | 48.0           | 48.0        | 10/12/3 (25)         |
| AssertJ        | 947             | 253         | 27            | 516            | 207         | 40            | 3.389          | 2.794       | 18        | 95.6          | 95.6        | 92.2            | 92.2        | 63.0           | 63.0        | 244/37/383 (664)     |
| CheckStyle     | 164             | 77          | 47            | 258            | 122         | 47            | 26.361         | 21.035      | 20        | 95.4          | 95.4        | 96.8            | 96.8        | 17.0           | 17.0        | 172/625/216 (1,013)  |
| PMD            | 192             | 122         | 64            | 346            | 203         | 59            | 7.550          | 7.145       | 5         | 90.1          | 90.1        | 52.8            | 52.8        | 25.0           | 25.0        | 367/110/32 (508)     |
| LambdaJ        | 82              | 42          | 51            | 109            | 55          | 50            | 1.468          | 0.924       | 37        | 85.2          | 85.2        | 52.2            | 52.2        | 85.0           | 85.0        | 12/6/13 (31)         |
| Java-library   | 86              | 37          | 43            | 338            | 71          | 21            | 2.062          | 1.851       | 10        | 96.0          | 96.0        | 60.7            | 60.7        | 54.0           | 54.0        | 58/97/215 (370)      |
| JFreeChart     | 111             | 56          | 50            | 1,657          | 374         | 23            | 2.752          | 2.485       | 10        | 95.5          | 95.5        | 47.6            | 47.6        | 24.0           | 24.0        | 45/52/205 (302)      |
| Accumulo       | 289             | 93          | 32            | 683            | 140         | 20            | 65.883         | 50.794      | 23        | 94.7          | 94.7        | 71.5            | 71.5        | 20.0           | 20.0        | 58/333/106 (497)     |
| XmlSecurity    | 190             | 156         | 82            | 1,102          | 1,079       | 98            | 68.590         | 57.590      | 16        | 78.7          | 78.7        | 54.0            | 54.0        | 68.0           | 68.0        | 42/179/142 (363)     |
| Crunch         | 78              | 52          | 67            | 125            | 83          | 66            | 161.812        | 137.657     | 15        | 94.5          | 94.5        | 74.4            | 74.4        | 31.0           | 31.0        | 27/123/20 (170)      |
| Tika           | 75              | 45          | 60            | 141            | 54          | 38            | 78.970         | 54.350      | 31        | 88.4          | 88.4        | 57.5            | 57.5        | 35.0           | 35.0        | 50/673/348 (1,071)   |
| Log4J          | 336             | 127         | 38            | 711            | 290         | 41            | 261.987        | 198.343     | 24        | 80.5          | 80.5        | 38.7            | 38.7        | 13.0           | 13.0        | 48/490/100 (638)     |
| Total/ Average | 4,639           | 2,403       | 52            | 11,819         | 5,041       | 43            | 799.488        | 640.521     | 20        | 88.0          | 88.0        | 64.3            | 64.3        | 44.5           | 44.5        | 8,034/536            |

再編成されたことで、平均20%実行時間を削減することができた

# RQ4 : Testlerはテストスイートのコードカバレッジと障害検出を保持することができるのか？

|                | REDUNDANCY      |             |               |                 |             |               | EXECUTION TIME |             |           | CODE COVERAGE |             |            |             | FAULT DETECTION |             | ANALYSIS TIME        |                |
|----------------|-----------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|------------|-------------|-----------------|-------------|----------------------|----------------|
|                | Par. Red. Tests |             |               | Red. Test Stmts |             |               | Seconds        |             | %         | Stmt          |             | Branch     |             | Mut. Score      |             | CI/MG/TR (Tot)       | Time (seconds) |
|                | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Original       | Reorganized | Reduction | Before (%)    | Reduced (%) | Before (%) | Reduced (%) | Before (%)      | Reduced (%) |                      |                |
| Collections    | 110             | 52          | 47            | 210             | 165         | 79            | 17.359         | 16.440      | 5         | 84.7          | 84.7        | 72.3       | 72.3        | 40.0            | 40.0        | 71/70/183 (324)      |                |
| Math           | 1,354           | 946         | 70            | 4,052           | 1,623       | 40            | 83.109         | 72.804      | 12        | 92.7          | 92.7        | 85.7       | 85.7        | 79.0            | 79.0        | 101/401/1103 (1,605) |                |
| Lang           | 604             | 335         | 55            | 1,533           | 563         | 37            | 11.053         | 10.376      | 6         | 92.9          | 92.9        | 57.5       | 57.5        | 66.0            | 66.0        | 38/43/372 (453)      |                |
| Email          | 21              | 10          | 48            | 38              | 12          | 32            | 7.143          | 5.933       | 17        | 54.6          | 54.6        | 50.9       | 50.9        | 48.0            | 48.0        | 10/12/3 (25)         |                |
| AssertJ        | 947             | 253         | 27            | 516             | 207         | 40            | 3.389          | 2.794       | 18        | 95.6          | 95.6        | 92.2       | 92.2        | 63.0            | 63.0        | 244/37/383 (664)     |                |
| CheckStyle     | 164             | 77          | 47            | 258             | 122         | 47            | 26.361         | 21.035      | 20        | 95.4          | 95.4        | 96.8       | 96.8        | 17.0            | 17.0        | 172/625/216 (1,013)  |                |
| PMD            | 192             | 122         | 64            | 346             | 203         | 59            | 7.550          | 7.145       | 5         | 90.1          | 90.1        | 52.8       | 52.8        | 25.0            | 25.0        | 367/110/32 (508)     |                |
| LambdaJ        | 82              | 42          | 51            | 109             | 55          | 50            | 1.468          | 0.924       | 37        | 85.2          | 85.2        | 52.2       | 52.2        | 85.0            | 85.0        | 12/6/13 (31)         |                |
| Java-library   | 86              | 37          | 43            | 338             | 71          | 21            | 2.062          | 1.851       | 10        | 96.0          | 96.0        | 60.7       | 60.7        | 54.0            | 54.0        | 58/97/215 (370)      |                |
| JFreeChart     | 111             | 56          | 50            | 1,657           | 374         | 23            | 2.752          | 2.485       | 10        | 95.5          | 95.5        | 47.6       | 47.6        | 24.0            | 24.0        | 45/52/205 (302)      |                |
| Accumulo       | 289             | 93          | 32            | 683             | 140         | 20            | 65.883         | 50.794      | 23        | 94.7          | 94.7        | 71.5       | 71.5        | 20.0            | 20.0        | 58/333/106 (497)     |                |
| XmlSecurity    | 190             | 156         | 82            | 1,102           | 1,079       | 98            | 68.590         | 57.590      | 16        | 78.7          | 78.7        | 54.0       | 54.0        | 68.0            | 68.0        | 42/179/142 (363)     |                |
| Crunch         | 78              | 52          | 67            | 125             | 83          | 66            | 161.812        | 137.657     | 15        | 94.5          | 94.5        | 74.4       | 74.4        | 31.0            | 31.0        | 27/123/20 (170)      |                |
| Tika           | 75              | 45          | 60            | 141             | 54          | 38            | 78.970         | 54.350      | 31        | 88.4          | 88.4        | 57.5       | 57.5        | 35.0            | 35.0        | 50/673/348 (1,071)   |                |
| Log4J          | 336             | 127         | 38            | 711             | 290         | 41            | 261.987        | 198.343     | 24        | 80.5          | 80.5        | 38.7       | 38.7        | 13.0            | 13.0        | 48/490/100 (638)     |                |
| Total/ Average | 4,639           | 2,403       | 52            | 11,819          | 5,041       | 43            | 799.488        | 640.521     | 20        | 88.0          | 88.0        | 64.3       | 64.3        | 44.5            | 44.5        | 8,034/536            |                |

- (1) テストアサーションはそのまま残る
- (2) ステートメントとブランチのカバレッジは保持されている
- (3) 障害検出率はすべての対象システムについて変わらない

# RQ5 : Testlerにより各工程にはどの程度時間を要するのか？

|               | REDUNDANCY      |             |               |                 |             |               | EXECUTION TIME |             |           | CODE COVERAGE |             | FAULT DETECTION |             | ANALYSIS TIME |             |
|---------------|-----------------|-------------|---------------|-----------------|-------------|---------------|----------------|-------------|-----------|---------------|-------------|-----------------|-------------|---------------|-------------|
|               | Par. Red. Tests |             |               | Red. Test Stmts |             |               | Seconds        |             | %         | Stmt          |             | Branch          |             | Mut. Score    |             |
|               | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Before (#)      | Reduced (#) | Reduction (%) | Original       | Reorganized | Reduction | Before (%)    | Reduced (%) | Before (%)      | Reduced (%) | Before (%)    | Reduced (%) |
| Collections   | 110             | 52          | 47            | 210             | 165         | 79            | 17.359         | 16.440      | 5         | 84.7          | 84.7        | 72.3            | 72.3        | 40.0          | 40.0        |
| Math          | 1,354           | 946         | 70            | 4,052           | 1,623       | 40            | 83.109         | 72.804      | 12        | 92.7          | 92.7        | 85.7            | 85.7        | 79.0          | 79.0        |
| Lang          | 604             | 335         | 55            | 1,533           | 563         | 37            | 11.053         | 10.376      | 6         | 92.9          | 92.9        | 57.5            | 57.5        | 66.0          | 66.0        |
| Email         | 21              | 10          | 48            | 38              | 12          | 32            | 7.143          | 5.933       | 17        | 54.6          | 54.6        | 50.9            | 50.9        | 48.0          | 48.0        |
| AssertJ       | 947             | 253         | 27            | 516             | 207         | 40            | 3.389          | 2.794       | 18        | 95.6          | 95.6        | 92.2            | 92.2        | 63.0          | 63.0        |
| CheckStyle    | 164             | 77          | 47            | 258             | 122         | 47            | 26.361         | 21.035      | 20        | 95.4          | 95.4        | 96.8            | 96.8        | 17.0          | 17.0        |
| PMD           | 192             | 122         | 64            | 346             | 203         | 59            | 7.550          | 7.145       | 5         | 90.1          | 90.1        | 52.8            | 52.8        | 25.0          | 25.0        |
| LambdaJ       | 82              | 42          | 51            | 109             | 55          | 50            | 1.468          | 0.924       | 37        | 85.2          | 85.2        | 52.2            | 52.2        | 85.0          | 85.0        |
| Java-library  | 86              | 37          | 43            | 338             | 71          | 21            | 2.062          | 1.851       | 10        | 96.0          | 96.0        | 60.7            | 60.7        | 54.0          | 54.0        |
| JFreeChart    | 111             | 56          | 50            | 1,657           | 374         | 23            | 2.752          | 2.485       | 10        | 95.5          | 95.5        | 47.6            | 47.6        | 24.0          | 24.0        |
| Accumulo      | 289             | 93          | 32            | 683             | 140         | 20            | 65.883         | 50.794      | 23        | 94.7          | 94.7        | 71.5            | 71.5        | 20.0          | 20.0        |
| XmlSecurity   | 190             | 156         | 82            | 1,102           | 1,079       | 98            | 68.590         | 57.590      | 16        | 78.7          | 78.7        | 54.0            | 54.0        | 68.0          | 68.0        |
| Crunch        | 78              | 52          | 67            | 125             | 83          | 66            | 161.812        | 137.657     | 15        | 94.5          | 94.5        | 74.4            | 74.4        | 31.0          | 31.0        |
| Tika          | 75              | 45          | 60            | 141             | 54          | 38            | 78.970         | 54.350      | 31        | 88.4          | 88.4        | 57.5            | 57.5        | 35.0          | 35.0        |
| Log4J         | 336             | 127         | 38            | 711             | 290         | 41            | 261.987        | 198.343     | 24        | 80.5          | 80.5        | 38.7            | 38.7        | 13.0          | 13.0        |
| Total/Average | 4,639           | 2,403       | 52            | 11,819          | 5,041       | 43            | 799.488        | 640.521     | 20        | 88.0          | 88.0        | 64.3            | 64.3        | 44.5          | 44.5        |

コード計測 (CI) モデル生成 (MG) テストスイート再編成 (TR) トータル (Tot) の3つのフェーズとその合計に関する実行時間について、Testlerは15件すべてを分析するのに8,034秒 (2.2時間) を要した(平均して536秒 (8.9分) )

# まとめ

- 冗長化はテストに対するコストを増やす要因となる
  - \* 本研究では部分的な冗長性に着目し， 軽減する方法を提案した
- Testlerは部分的な冗長性を削除することができた
  - \* 実行時間についても削減できることがわかった
- Testlerはテストにおいて重要なアサーションを保持することが可能

# 所感

-  • テストスメル(test smell)等のエラーとして検出しにくい問題が解決できそう
  - \* 冗長性の危険性について学ぶことができた
-  • より依存性が高いテストは冗長性を除去できるのだろうか
  - \* 依存性にも対応できるとは論文に書いてあるが少し不安要素？