

0.1 Semantische Evaluation

Das Ziel der semantischen Evaluation ist es, einen der Proxies, die im Rahmen der 1. Stufe der Exploration erzeugt wurden, hinsichtlich der vordefinierten Testfälle zu evaluieren. Da die gesamte Exploration zur Laufzeit des Programms durchgeführt wird, stellt sie hinsichtlich der nicht-funktionalen Anforderungen eine zeitkritische Komponente dar.

Da die Anforderungen an die gesuchte Komponente mit bedacht spezifiziert werden müssen, ist es irrelevant, ob es mehrere Proxies gibt, die den vordefinierten Testfällen standhalten. Vielmehr soll bei der semantischen Evaluation lediglich ein Proxy gefunden werden, dessen Semantik zu positiven Ergebnissen hinsichtlich aller vordefinierten Testfälle führt. Somit wird die semantische Evaluation beendet, sobald ein solcher Proxy gefunden ist.

Bei der Exploration soll letztendlich in einer Bibliothek L zu einem vorgegebenen required Type R ein Proxy gefunden werden. Die Menge dieser Proxies wurde im vorherigen über $cover(R, L)$ beschrieben. Die in dieser Menge befindlichen Proxies können eine unterschiedliche Anzahl von Target-Typen enthalten.

Das in dieser Arbeit beschriebene Konzept basiert auf der Annahme, dass bei der Entwicklung davon ausgegangen wird, dass der gesamte Anwendungsfall - oder Teile davon -, der mit der vordefinierten Struktur und den vordefinierten Tests abgebildet werden soll, schon einmal genauso oder so ähnlich in dem gesamten System implementiert wurde. Aus diesem Grund kann für die semantische Evaluation grundsätzlich davon ausgegangen werden, dass die erfolgreiche Durchführung aller relevanten Tests umso wahrscheinlicher ist je weniger Target-Typen im Proxy verwendet werden.

Somit werden zuerst die Proxies auf ihr semantisches Matching überprüft, in denen lediglich ein Target-Typ verwendet wird. Die Menge der Proxies aus einer Menge von Proxies P mit einer Anzahl a von Target-Typen wird durch folgende Funktion beschrieben:

$$proxiesMitTargets(P, a) := \{P | P.targetCount = a\}$$

Die maximale Anzahl der Target-Typen in einem Proxy zu einem required Typ R ist gleich der Anzahl der Methoden in P .

$$maxTargets(R) := |methoden(R)|$$

So kann der Algorithmus für die semantische Evaluation der Menge P von Proxies, die für einen required Typ R erzeugt wurden, mit der Menge von Testklassen TC wie folgt im Pseudo-Code beschrieben werden. Dabei sei davon auszugehen, dass ein Test aus T mit einem Proxy p über eine Methode `eval(p)` ausgewertet werden kann. Diese Methode gibt bei erfolgreicher Durchführung den Rückgabewert `true` und anderenfalls `false` zurück.

```

1  passedTests = 0
2
3  function semanticEval( reqType , proxies , tests ){
4      for( i = 1; i <= maxTargets( reqType ); i++ ){
5          relProxies = relevantProxies( proxies , i )
6          proxy = evalProxiesMitTarget(relProxies, tests)
7          if( proxy != null ){
8              // passenden Proxy gefunden
9              return proxy
10         }
11     }
12     // kein passenden Proxy gefunden
13     return null;
14 }
15
16 function relevantProxies(P,anzahl){
17     return proxiesMitTargets(P,anzahl);
18 }
19
20 function evalProxiesMitTarget(proxies, tests){
21     for( proxy : proxies ){
22         passedTests = 0
23         evalProxy(proxy, tests)
24         if( passedTests == tests.size ){
25             // passenden Proxy gefunden
26             return proxy
27         }
28     }
29     // kein passenden Proxy gefunden
30     return null
31 }
32
33 function evalProxy(proxy, tests){
34     for( test : tests ){
35         if( !test.eval(proxy) ){
36             \\ wenn ein Test fehlschlaegt, dann entspricht der
37             \\ Proxy nicht den semantischen Anforderungen
38             return
39         }
40         passedTests = passedTests + 1
41     }
42 }

```

Listing 1: Semantische Evaluation ohne Heuristiken

Die Dauer der Laufzeit der oben genannten Funktionen hängt maßgeblich von der Anzahl der Proxies PA ab. Im schlimmsten Fall müssen alle Proxies hinsichtlich der vordefinierten Tests evaluiert werden. Um die Anzahl der zu prüfenden Proxies zu reduzieren werden, die im folgenden Abschnitt

beschriebenen Heuristiken verwendet.

0.2 Heuristiken

Die Heuristiken werden an unterschiedlichen Stellen des Algorithmus' für die semantische Evaluation aus Listing 1 eingebaut. Teilweise ist es für die Verwendung einer Heuristik notwendig, weitere Information während der semantischen Evaluation zu ermitteln und zu speichern. In den folgenden Abschnitten werden die Heuristiken und die dafür notwendigen Anpassungen an den jeweiligen Funktionen beschrieben.

0.2.1 Heuristiken für die Optimierung der Reihenfolge

Die folgenden Heuristiken haben zum Ziel, die Reihenfolge, in der die Proxies hinsichtlich der vordefinierten Tests geprüft werden, so anzupassen, dass ein passender Proxy möglichst früh überprüft wird.

Heuristik LMF: Beachtung des Matcherratings

Bei dieser Heuristik werden die Proxies auf der Basis eines so genannten Matcherratings bewertet. Bei dem Matcherrating eines Proxies handelt es sich um einen numerischen Wert. Um diesen Wert zu ermitteln, wird für jeden Matcher ein Basisrating vergeben. Folgende Funktion beschreibt das Basisrating für das Matching zweier Typen S und T :

$$base(S, T) = \left\{ \begin{array}{l} 100 | S \Rightarrow_{exact} T \\ 200 | S \Rightarrow_{gen} T \\ 200 | S \Rightarrow_{spec} T \\ 300 | S \Rightarrow_{contained} T \\ 300 | S \Rightarrow_{container} T \end{array} \right\}$$

Dabei ist zu erwähnen, dass einige der o.g. Matcher über dasselbe Basisrating verfügen. Das liegt daran, dass sie technisch jeweils gemeinsam umgesetzt wurden.¹

Das Matcherrating eines Proxies P wird über die Funktion $rating(P)$ beschrieben. Dieses ist von dem Matcherrating der Methoden-Delegation innerhalb des Proxies P abhängig. Das Matcherrating einer Methoden-Delegation ist von den Basisratings der Matcher abhängig, über die die Parameter- und

¹Der *GenTypeMatcher* und der *SpecTypeMatcher* wurden gemeinsam in der Klasse *GenSpecTypeMatcher* umgesetzt. Der *ContentTypeMatcher* und der *ContainerTypeMatcher* wurden gemeinsam in der Klasse *WrappedTypeMatcher* umgesetzt. (siehe angehängter Quellcode)

Rückgabe-Typen der aufgerufenen Methode und der Delegationsmethoden gematcht werden können. Das qualitative Rating einer Methoden-Delegation MD soll über die Funktion $mdRating(MD)$ beschrieben werden.

Für die Definition der beiden Funktionen $rating(P)$ und $mdRating(MD)$ gibt es unterschiedliche Möglichkeiten. In dieser Arbeit werden 4 Varianten als Definitionen vorgeschlagen, die in einem späteren Abschnitt untersucht werden.

Für die Vorschläge zur Definition von $rating(P)$ sei P ein struktureller Proxy mit n Methoden-Delegation. Darüber hinaus gelten für die Definition von $mdRating(MD)$ für eine Methoden-Delegation MD folgende verkürzte Schreibweisen:

$$\begin{aligned} pc &:= MD.call.paramCount \\ cRT &:= MD.call.returnType \\ dRT &:= MD.del.returnType \\ cPT &:= MD.call.paramTypes \\ dPT &:= MD.del.paramTypes \\ pos &:= MD.call.posModi \end{aligned}$$

Weiterhin seien die folgenden Funktionen gegeben:

$$\begin{aligned} basesMD(MD) = & \quad base(dRT, cRT) \cup base(cPT[0], dPT[pos[0]]) \\ & \cup \dots \cup base(cPT[pc], dPT[pos[pc]]) \end{aligned}$$

$$sum(v_1, \dots, v_n) = \sum_{i=1}^n v_i$$

$$max(v_1, \dots, v_n) = v_m | 1 \leq m \leq n \wedge \forall i \in \{1, \dots, n\} : v_i \leq v_m$$

$$min(v_1, \dots, v_n) = v_m | 1 \leq m \leq n \wedge \forall i \in \{1, \dots, n\} : v_i \geq v_m$$

Variante 1: Durchschnitt

$$mdRating(MD) = \frac{sum(basesMD(MD))}{pc + 1}$$

$$rating(P) = \frac{sum(mdRating(P.dels[0]), \dots, mdRating(P.dels[n - 1]))}{n}$$

Variante 2: Maximum

$$mdRating(MD) = max(basesMD(MD))$$

$$rating(P) = \frac{max(mdRating(P.dels[0]), \dots, mdRating(P.dels[n - 1]))}{n}$$

Variante 3: Minimum

$$mdRating(MD) = min(basesMD(MD))$$

$$rating(P) = \frac{min(mdRating(P.dels[0]), \dots, mdRating(P.dels[n - 1]))}{n}$$

Variante 4: Durchschnitt aus Minimum und Maximum

$$mdRating(MD) = \frac{max(basesMD(MD)) + min(basesMD(MD))}{2}$$

$$rating(P) = \frac{max(mdRating(P.dels[0]), \dots, mdRating(P.dels[n - 1])) + min(mdRating(P.dels[0]), \dots, mdRating(P.dels[n - 1]))}{2}$$

Da die Funktion *rating* von *mdrating* abhängt und für *mdrating* 4 Variante gegeben sind, ergeben sich für jede gegebene Variante für die Definition von *rating* weitere 4 Varianten. Dadurch sind insgesamt 16 Varianten für die Definition von *rating* gegeben.

Zur Anwendung der Heuristik muss das qualitative Rating bei der Auswahl der Proxies in der semantischen Evaluation beachtet werden. Die erfolgt innerhalb der Methode `applyHeuristic(proxies)`. Für diese Heuristik sei dazu eine Methode `sort(proxies, rateFunc)` angenommen, die eine Liste zurückgibt, in der die Elemente in der übergebenen Liste `proxies`

aufsteigend nach den Werten sortiert, die durch die Applikation der im Parameter `rateFunc` übergebenen Funktion auf ein einzelnes Element aus der Liste `proxies` ermittelt werden. Darauf aufbauend wird die Methode `applyHeuristic(proxies)` für diese Heuristik in Pseudo-Code wie folgt definiert:

```

1  function relevantProxies( proxies, anzahl ){
2      relProxies = proxiesMitTargets( proxies, anzahl );
3      return LMF( relProxies )
4  }
5
6  function LMF( proxies ){
7      for ( n=proxies.size(); n>1; n--){
8          for( i=0; i<n-1; i++){
9              if( rating( proxies[i] ) < rating( proxies[i+1] ) ){
10                 tmp = proxies[i]
11                 proxies[i] = proxies[i+1]
12                 proxies[i+1] = tmp
13             }
14         }
15     }
16     return proxies
17 }

```

Heuristik PTTF: Beachtung bestandener Tests

Das Testergebnis, welches bei Applikation eines Testfalls für einen Proxy ermittelt wird, ist maßgeblich von den Methoden-Delegationen des Proxies abhängig. Jede Methoden-Delegation *MD* enthält ein Typ in dem die Delegationsmethode spezifiziert ist. Dieser Typ befindet sich im Attribut *MD.del.delTyp*. Im Fall der sturkturellen Proxies, handelt es sich bei diesem Typ um einen der Target-Typen des Proxies.

Für einen required Typ *R* aus einer Bibliothek *L*, kann ein Target-Typ *T* in den Mengen der möglichen Mengen von Target-Typen *cover(R, L)* mehrmals auftreten. Die gilt insbesondere dann, wenn es in *cover(R, L)* Mengen gibt, deren Mächtigkeit größer ist, als die Mächtigkeit der Menge, in der *T* enthalten ist. Daher gilt:

$$\frac{TG, TG' \in cover(R, L) \wedge T \in TG \wedge |TG| < |TG'|}{\exists TG'' \in cover(R, L) : |TG'| = |TG''| \wedge T \in TG''}$$

Beweis: Sei *R* ein required Typ aus der Bibliothek *L*. Sei weiterhin *T* ∈ *TG* und *TG* ∈ *cover(R, L)*.

Wie bereits erwähnt, ist das Ergebnis der semantischen Tests ausschlaggebend für diese Heuristik. Es wird davon ausgegangen, dass wenn ein Teil

der Testfälle durch einen Proxy P erfolgreich durchgeführt werden, sollte die Reihenfolge der zu prüfenden Proxies so angepasst werden, dass die Proxies, die einen Target-Typen des Proxies P verwenden, zuerst geprüft werden.

Dafür sind mehrere Anpassungen bzgl. der Implementierung von Nöten.

Für die Methoden `evalProxiesMitTarget(P,anzahl,T)` ergeben sich darüber hinaus mehrere Änderungen. Die Implementierung mit allen Anpassungen ist Listing 2 zu entnehmen. Die einzelnen Änderungen werden im Folgenden erläutert.

Merken der priorisierten Target-Typen

Um die Optimierungen auf der Basis dieser Heuristik vornehmen zu können, wird von einer globalen Variable `priorityTargets` ausgegangen. In dieser Variablen wird eine Liste von Target-Typen der Proxies gehalten, für die wenigsten ein Testfall erfolgreich durchgeführt wurde (siehe Listing 2 Zeile 14).

Aktualisierung der Proxy-Liste aus der aktuellen Iteration

Im Vergleich zu der Heuristik LMF aus dem vorherigen Abschnitt bietet die Heuristik PTTF die Möglichkeit auch die Reihenfolge der Proxies aus der aktuellen Iteration zu optimieren. Dazu muss die Heuristik PTTF auf die Proxies, die in dieser Iterationsstufe noch nicht evaluiert wurden, angewandt werden (siehe Listing 2 Zeile 17). Zu diesem Zweck werden die in dieser Iterationsstufe bereits evaluierten Proxies in einer Liste die in der Variablen `testedProxies` gespeichert (siehe Listing 2 Zeile 11). Diese Liste dient dann zur Reduktion der Proxy-Liste, über die in dieser Methode iteriert wird (siehe Listing 2 Zeile 16).

```

1  function evalProxiesMitTarget(proxies, tests){
2      testedProxies = []
3      for( proxy : proxies ){
4          passedTestcases = 0
5          evalProxy(proxy, tests)
6          if( passedTestcases == T.size ){
7              // passenden Proxy gefunden
8              return proxy
9          }
10         else{
11             testedProxies.add(proxy)
12             if( passedTests > 0 ){
13                 priorityTargets.addAll( proxy.targets )
14                 // noch nicht evaluierte Proxies ermitteln
15                 leftProxies = proxies.removeAll( testedProxies )
16                 optimizedProxies = PTTF( leftProxies )
17                 return evalProxiesMitTarget( optimizedProxies, tests )
18             }
19         }

```

```

20     }
21     // kein passenden Proxy gefunden
22     return null
23 }
24
25 function relevantProxies( proxies, anzahl ){
26     relProxies = proxiesMitTargets( proxies, anzahl );
27     return PTTF( relProxies )
28 }
29
30 function PTTF(proxies){
31     for ( n=proxies.size ; n>1; n--){
32         for( i=0; i<n-1; i++){
33             targetsFirst = proxies[i].targets
34             targetsFirst = proxies[i+1].targets
35             if( !priorityTargets.contains(targetsFirst) &&
                priorityTargets.contains(targetsSecond) ){
36                 tmp = proxies[i]
37                 proxies[i] = proxies[i+1]
38                 proxies[i+1] = tmp
39             }
40         }
41     }
42     return proxies
43 }

```

Listing 2: Auswertung des Testergebnisses mit Heuristik PTTF

0.2.2 Heuristiken für den Ausschluss von Methodendelegationen

Bei den folgenden Heuristiken handelt es sich um Ausschlussverfahren. Das bedeutet, dass bestimmte Proxies auf der Basis von Erkenntnissen, die während der laufenden semantischen Evaluation entstanden sind, für den weiteren Verlauf ausgeschlossen werden. Dadurch soll die erneute Prüfung eines Proxies, der ohnehin nicht zum gewünschten Ergebnis führt, verhindert werden.

Die Heuristiken zielen darauf ab, Methodendelegationen, die immer fehlschlagen, zu identifizieren. Wurde eine solche Methodendelegation gefunden, können alle Proxies, die diese Methodendelegation enthalten von der weiteren Exploration ausgeschlossen werden.

Die identifizierten Methodendelegationen werden dazu in einer globalen Variable gehalten. Aus einer Liste von Proxies können darauf aufbauend diejenigen Proxies entfernt werden, die eine der gehaltenen Methodendelegationen enthalten. Dabei wird davon ausgegangen, dass die Methoden eines required Typen über den Namen identifiziert werden können.

Listing 0.2.2 zeigt die allgemeinen Anpassungen für die folgenden Heuristiken basieren auf den Funktionen aus Listing 1.


```

1  methodDelegationBlacklist = []
2  blacklistChanged = false
3
4  function evalProxiesMitTarget(proxies, tests){
5      testedProxies = []
6      for( proxy : proxies ){
7          passedTestcases = 0
8          evalProxy(proxy, tests)
9          if( passedTestcases == tests.size ){
10             // passenden Proxy gefunden
11             return proxy
12         }
13         else{
14             testedProxies.add(proxy)
15             if( blacklistChanged ){
16                 // noch nicht evaluierte Proxies ermitteln
17                 leftProxies = proxies.removeAll(testedProxies)
18                 optimizedProxies = BL( leftProxies )
19                 return evalProxiesMitTarget( optimizedProxies, tests )
20             }
21         }
22     }
23     // kein passenden Proxy gefunden
24     return null
25 }
26
27 function relevantProxies( proxies, anzahl ){
28     relProxies = proxiesMitTargets( proxies, anzahl );
29     return BL( optimizedFSMT )
30 }
31
32 function BL( proxies ){
33     optimizedProxies = []
34     for( proxy : proxies ){
35         blacklisted = false
36         for( md : methodDelegationBlacklist ){
37             if( proxy.dels.contains( md ) ){
38                 blacklisted = true
39                 break
40             }
41         }
42         if( !blacklisted ){
43             optimizedProxies.add( proxy )
44         }
45     }
46     return optimizedProxies
47 }

```

In den folgenden Heuristiken wird die globale Variable auf unterschiedliche Weise innerhalb der Funktion evalProxy gefüllt.

Heuristik BL_FSMT: Beachtung fehlgeschlagener Single-Method-Test

```

1
2

```

```

3  function evalProxy(proxy, T){
4      for( test : T ){
5          if( test.eval( proxy ) ){
6              passedTestcases = passedTestcases + 1
7          }elseif( test.isSingleMethodTest ){
8              methodName = test.testedSingleMethodName
9              mDel = getMethodDelegation(proxy, methodName)
10             blacklistChanged = true
11         }
12     }
13 }
14
15 function getMethodDelegation( proxy, methodName ){
16     for( i=0; i < proxy.dels.size; i++ ){
17         if( proxy.dels[i].call.name == methodName ){
18             return proxy.dels[i]
19         }
20     }
21     return null
22 }

```

Listing 3: Semantische Evaluation mit Heuristik SMTE

Heuristik BL_FFMD: Beachtung fehlgeschlagener Methoden-Delegationen

```

1  failedMethodDelegation = []
2
3  function evalProxy(proxy, T){
4      for( test : T ){
5          //alle Tests werden durchgefuehrt
6          try{
7              if( !test.eval( proxy ) ){
8                  return
9              }
10             passedTestcases = passedTestcases + 1
11         }
12         catch (SigMaGlueException e){
13             mDel = e.getFailedMethodDelegation()
14             failedMethodDelegation.add(mDel)
15             blacklistChanged = true
16             return
17         }
18     }
19 }

```

Listing 4: Abfangen der SigMaGlueException beim Testen eines Proxies

0.2.3 Kombination der Heuristiken

Die oben genannten Heuristiken können miteinander Kombiniert werden. Listing 5 zeigt die Implementierung der Funktionen, die für diese Kombination auf der Basis von Listing 1 angepasst werden müssen. Dabei ist davon auszugehen, dass die Funktionen LMF, PTTF, FSMT und FFMD definiert sind.

```

1  function evalProxiesMitTarget( proxies, tests ){
2      testedProxies = []
3      for( proxy : proxies ){
4          passedTestcases = 0
5          blacklistChanged = false
6          evalProxy(proxy, tests)
7          if( passedTests == T.size ){
8              // passenden Proxy gefunden
9              return proxy
10         }
11         else{
12             testedProxies.add(proxy)
13             if( passedTests > 0 || blacklistChanged ){
14                 // noch nicht evaluierte Proxies ermitteln
15                 optimizedProxies = proxies.removeAll( testedProxies )
16                 // Heuristik PTTF
17                 if( passedTests > 0 ){
18                     priorityTargets.addAll( proxy.targets )
19                     optimizedProxies = PTTF( optimizedProxies )
20                 }
21                 // Heuristik BL_FFMD und BL_FSMT
22                 if( blacklistChanged ){
23                     optimizedProxies = BL( optimizedProxies )
24                 }
25                 return evalProxiesMitTarget( optimizedProxies, tests )
26             }
27         }
28     }
29     // kein passenden Proxy gefunden
30     return null
31 }
32
33 function evalProxy(proxy, tests){
34     for( test : tests ){
35         //alle Tests werden durchgefuehrt
36         try{
37             if( test.eval( proxy ) ){
38                 passedTestcases = passedTestcases + 1
39             }elseif( test.isSingleMethodTest ){
40                 methodName = test.testedSingleMethodName
41                 mDel = getMethodDelegation( proxy, methodName )
42                 methodDelegationBlacklist.add( mDel )
43                 blacklistChanged = true
44                 return
45             }
46         }
47         catch (SigMaGlueException e){
48             mDel = e.failedMethodDelegation
49             methodDelegationBlacklist.add( mDel )
50             blacklistChanged = true
51             return
52         }
53     }
54 }
55
56 function relevantProxies( proxies, anzahl ){
57     relProxies = proxiesMitTargets( proxies, anzahl );
58     optimizedLMF = LMF( relProxies )
59     optimizedPTTF = PTTF( optimizedLMF )

```

```
60     return BL( optimizedPTTF )
61 }
```

Listing 5: Kombination aller Heuristiken