

Hiermit versichere ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst und keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt sowie Zitate kenntlich gemacht habe.

Neubrandenburg, 13. Februar 2015

Niels Gundermann

Inhaltsverzeichnis

| | |
|--|-------------|
| Abbildungsverzeichnis | III |
| Tabellenverzeichnis | V |
| 1 Motivation | 1 |
| 2 Verwandte Arbeiten | 3 |
| 3 Gegenstand dieser Arbeit | 5 |
| 3.1 Funktionale Anforderungen | 5 |
| 3.2 Nichtfunktionale Anforderungen | 6 |
| 4 Entwurf des Explorationsalgorithmus | 7 |
| 4.1 Voraussetzungen | 7 |
| 4.2 Explorationskomponente | 9 |
| 4.2.1 1. Stufe - Strukturelle Übereinstimmung | 10 |
| 4.2.2 2. Stufe - Semantische Evaluation | 16 |
| 4.3 Heuristiken | 23 |
| 4.3.1 Type-Matcher Rating basierte Heuristiken | 23 |
| 4.3.2 Testergebnis basierte Heuristiken | 25 |
| 4.4 Koordination | 27 |
| 5 Evaluierung | 29 |
| 5.1 Test-System | 31 |
| 5.1.1 Type-Matcher Rating basierte Heuristiken | 31 |
| 5.2 Heiß-System | 41 |
| Literaturverzeichnis | XIII |

Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Abhängigkeiten von nachfragenden und angebotenen Komponenten | 1 |
| 2 | Allgemeiner Aufbau des System mit der Explorationskomponente | 9 |
| 3 | Kombination von angebotenen Komponenten | 10 |
| 4 | Beispiel Wrapper-Typ allgemein | 13 |
| 5 | Beispiel Wrapper-Typ AdressBook | 13 |
| 6 | Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von AIv | 16 |
| 7 | Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von AIu | 16 |
| 8 | Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von AIu und AIv im ersten Durchlauf | 18 |
| 9 | Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von AIu und AIv im zweiten Durchlauf | 18 |
| 10 | Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIu | 19 |
| 11 | Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIu | 19 |
| 12 | Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIu+AIv | 20 |
| 13 | Erwartetes Interface Stack | 21 |
| 14 | Delegation der Stack-Methoden an genau eine angebotene Komponente | 22 |
| 15 | Delegation der Stack-Methoden an unterschiedliche angebotene Komponenten | 22 |

Tabellenverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 1 | Beispiel: Vier-Felder-Tafel | 30 |
| 2 | Anzahl strukturell übereinstimmender angebotener Interfaces je erwartetes Interfaces | 31 |
| 3 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI1 | 31 |
| 4 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI2 | 31 |
| 5 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI3 | 31 |
| 6 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI4 1. Durchlauf | 32 |
| 7 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI5 1. Durchlauf | 32 |
| 8 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI6 1. Durchlauf | 32 |
| 9 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI4 2. Durchlauf | 32 |
| 10 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf | 32 |
| 11 | Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf | 32 |
| 12 | TMR_Quant Test-System TMR für TEI1 | 33 |
| 13 | TMR_Quant Test-System TMR für TEI2 | 33 |
| 14 | TMR_Quant Test-System TMR für TEI3 | 33 |
| 15 | TMR_Quant Test-System TMR für TEI4 | 33 |
| 16 | TMR_Quant Test-System TMR für TEI5 | 33 |
| 17 | TMR_Quant Test-System TMR für TEI6 | 33 |
| 18 | Type-Matcher mit Basiswerten | 34 |
| 19 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 1-2 | 35 |
| 20 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 1-2 | 35 |
| 21 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 1-2 | 35 |
| 22 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 1-2 1. Durchlauf | 35 |
| 23 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 1-2 1. Durchlauf | 35 |
| 24 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 1-2 1. Durchlauf | 35 |
| 25 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 1-2 2. Durchlauf | 36 |
| 26 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 1-2 2. Durchlauf | 36 |
| 27 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 1-2 2. Durchlauf | 36 |
| 28 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 3-2 | 36 |
| 29 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 3-2 | 36 |

| | | |
|----|---|----|
| 30 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 3-2 | 36 |
| 31 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2 1. Durchlauf | 36 |
| 32 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2 1. Durchlauf | 36 |
| 33 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2 1. Durchlauf | 36 |
| 34 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2 2. Durchlauf | 37 |
| 35 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2 2. Durchlauf | 37 |
| 36 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2 2. Durchlauf | 37 |
| 37 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 4-3 | 37 |
| 38 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 4-3 | 37 |
| 39 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 4-3 | 37 |
| 40 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3 1. Durchlauf | 37 |
| 41 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3 1. Durchlauf | 37 |
| 42 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3 1. Durchlauf | 37 |
| 43 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3 2. Durchlauf | 38 |
| 44 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3 2. Durchlauf | 38 |
| 45 | TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3 2. Durchlauf | 38 |
| 46 | Kombinationen von Akkumulationsverfahren mit gleichen Ergebnissen | 38 |
| 47 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 | 39 |
| 48 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 | 39 |
| 49 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 | 39 |
| 50 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 1. Durchlauf | 39 |
| 51 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 1. Durchlauf | 39 |
| 52 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 1. Durchlauf | 40 |
| 53 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 2. Durchlauf | 40 |
| 54 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf | 40 |
| 55 | TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf | 40 |

1 Motivation

In größeren Software-Systemen ist es üblich, dass mehrere Komponenten miteinander über Schnittstellen kommunizieren. In der Regel werden diese Schnittstellen so konzipiert, dass sie Informationen oder Services anbieten, die von anderen Komponenten abgefragt bzw. benutzt werden können. Dabei wird zwischen der Komponente, welche die Schnittstelle implementiert, als angebotene Komponente und der Komponente, welche die Schnittstelle nutzen soll, als nachfragende Komponente unterschieden (siehe Abb. 1).

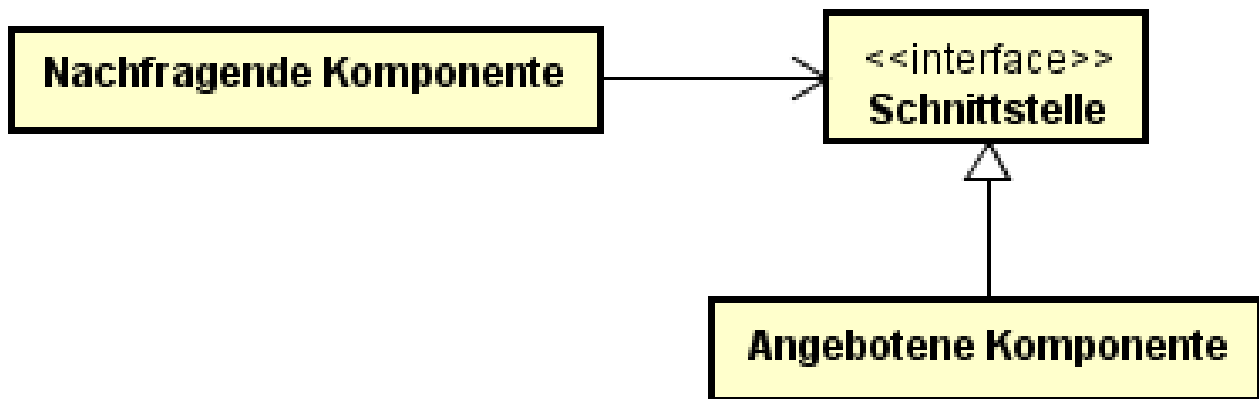


Abbildung 1: Abhängigkeiten von nachfragenden und angebotenen Komponenten

Wird von einer nachfragenden Komponente eine Information benötigt, die in dieser Form noch nicht angeboten wird, so wird häufig ein neues Interface für diese benötigte Information erstellt, welches dann passend dazu implementiert wird. Dabei muss neben der Anpassung der nachfragenden Komponente auch eine Anpassung oder Erzeugung der anbietenden Komponente erfolgen und zusätzlich das neue Interface deklariert werden. Zudem bedingt eine nachträgliche Änderung der neuen Schnittstelle ebenfalls eine Anpassung der drei genannten Artefakte.

In einem großen Software-System mit einer Vielzahl von bestehenden Schnittstellen ist eine gewisse Wahrscheinlichkeit gegeben, dass die Informationen oder Services, die von einer neuen nachfragenden Komponente benötigt werden, in einer ähnlichen Form bereits existieren. Das Problem ist jedoch, dass die manuelle Evaluation der Schnittstellen mitunter sehr aufwendig bis, aufgrund von unzureichender Dokumentation und Kenntnis über die bestehenden Schnittstellen, unmöglich ist.

Weiterhin ist es denkbar, dass ein Software-System auf unterschiedlichen Maschinen verteilt wurde und dadurch Teile des Systems ausfallen können. Das hat zur Folge, dass die Implementierung bestimmter Schnittstellen nicht erreichbar ist. Dadurch, dass eine Schnittstelle durch eine nachfragende Komponente explizit referenziert wird, kann eine solche Komponente nicht korrekt arbeiten, wenn die Implementierung der Schnittstelle nicht erreichbar ist, obwohl die benötigten Informationen und Services vielleicht durch andere Schnittstellen, deren Implementierung durchaus zur Verfügung stehen, bereitgestellt werden könnten.

Dies führt zu der Überlegung, ob es nicht möglich ist, dass eine nachfragende Komponente einfach selbst spezifizieren kann, welche Informationen oder Services sie erwartet, wodurch auf der Basis dieser Spezifikation eine passende anbietende Komponente gefunden werden kann.

2 Verwandte Arbeiten

Ein solcher Ansatz wurde bereits in [BNL⁺06] von Bajaracharya et al. verfolgt. Bajaracharya et al. entwickelten eine Source Engine namens Sourcerer, welche Suche von Open Source Code im Internet ermöglichte. Darauf aufbauend wurde von derselben Gruppe in [LLBO07] ein Tool namens Code-Genie entwickelt, welches einem Softwareentwickler die Code Suche über ein Eclipse-Plugin ermöglicht. In diesem Zusammenhang wurde offenbar erstmals der Begriff der Test-Driven Code Search (TDCS) etabliert. Parallel dazu wurde in Verbindung mit der Dissertation Oliver Hummel [Hum08] ebenfalls eine Weiterentwicklung von Sourcerer veröffentlicht, welche unter dem Namen Merobase bekannt ist. Das Verfahren, auf dem beide Search Engines grundlegend aufbauen wird, wie bereits angedeutet, als TDCS bezeichnet. Dieses Verfahren beruht grundlegend darauf, dass der Entwickler Testfälle spezifiziert, die im Anschluss verwendet werden, um relevanten Source Code aus einem Repository hinsichtlich dieser Testfälle zu evaluieren. Damit kann das jeweilige Tool dem Entwickler Vorschläge für die Wiederverwendung bestehenden Codes unterbreiten.

Bezogen auf die am Ende des vorherigen Abschnitts formulierte Überlegung ermöglichen die genannten Source Engines, das Internet nach bestehendem Source Code zu durchsuchen und damit bereits bestehende Implementierungen für eine nachfragende Komponente zu ermitteln.

3 Gegenstand dieser Arbeit

In dieser Arbeit soll jedoch nicht das gesamte Internet als Quelle oder Repository für die Codesuche dienen. Vielmehr wird der Suchbereich weiter eingeschränkt.

Es wird von einem System ausgegangen, in dem ein EJB-Container zur Verfügung steht. Die Suche soll sich auf die Menge der angemeldeten Bean-Implementierungen beschränken. Die angemeldeten Bean-Implementierungen stellen damit die Menge der angebotenen Komponenten dar. Dabei wird eine angebotenen Komponente als Kombination eines Interfaces, welches die Schnittstelle für die Aufrufer definiert, und einer Implementierung des Interfaces. Das Interface einer angebotenen Komponente wird im Folgenden auch als angebotenes Interface bezeichnet. Die Beans werden bspw. als Provider für Informationen oder im weitesten Sinne auch als Services verwendet, die von unterschiedlichen Komponenten des Systems verwendet werden. Bei der Entwicklung bzw. Weiterentwicklung einer Komponente kann es zu folgenden Szenario kommen, welches durch die Erfüllung der unten aufgeführten Annahmen charakterisiert wird:

- Es werden Informationen und Services benötigt, bei denen der Entwickler davon ausgehen kann, dass es innerhalb des Systems angebotene Komponenten gibt, die diese Informationen liefern können bzw. die Services erfüllen.
- Der Entwickler weiß nicht, über welche konkreten angebotenen Komponenten er die Informationen abfragen bzw. die Services in Anspruch nehmen kann.

3.1 Funktionale Anforderungen

In dieser Arbeit soll ein Konzept entwickelt werden, welches dem Entwickler ermöglicht die Erwartungen an die angebotenen Komponenten zu spezifizieren. Darauf aufbauend soll ein Algorithmus vorgeschlagen werden, welcher die angebotenen Komponenten zur Laufzeit hinsichtlich der spezifizierten Erwartungen des Entwicklers evaluiert und eine Auswahl derer trifft, die diese Erwartungen erfüllen. Da die Evaluation zur Laufzeit durchgeführt wird, kann der Entwickler anders als bei den oben genannten Arbeiten nicht aus einer Liste von Vorschlägen auswählen, welche der evaluierten Komponenten letztendlich verwendet werden soll. Diese Entscheidung ist durch den Algorithmus zu treffen.

3.2 Nichtfunktionale Anforderungen

Aufgrund bestimmter Konfigurationen des Gesamtsystems gibt es folgende weitere nichtfunktionale Anforderungen:

- Die Suche muss innerhalb des Transaktionstimeouts von 5 Minuten zu einem Ergebnis führen.
- Die Suche soll hinsichtlich der Besonderheiten des Systems, in dem sie verwendet wird, angepasst werden können. (Bspw. bei der Verwendung bestimmter Typen, deren Fachlogik bei der Suche nicht untergraben werden darf.)
- Bei einem Fehlschlag der Suche, sollen dem Entwickler Informationen zur Verfügung gestellt werden, die eine zielgerichtete Anpassung seiner spezifizierten Erwartungen erlauben.

4 Entwurf des Explorationsalgorithmus

4.1 Voraussetzungen

Die erste Voraussetzung bezieht sich auf die Spezifikation der Erwartungen einer nachfragenden Komponente. Diese soll aus zwei Teilen bestehen.

Der erste Teil soll die Struktur der erwarteten Informationen bzw. Services beschreiben. Der Entwickler soll hierzu die Schnittstelle, die von ihm erwartet wird in der Form beschreiben, wie es in dem vorliegenden System üblich ist. In dem konkreten System, von dem in dieser Arbeit ausgegangen wird, handelt es sich dabei um Java-Interfaces. Die Struktur der erwarteten Informationen bzw. Services wird demnach innerhalb der nachfragenden Komponente durch ein Interface dargestellt, in dem die erwarteten Methoden, die innerhalb der nachfragenden Komponente verwendet werden sollen, deklariert wurden. Ein solches Interface wird im Folgenden auch als erwartetes Interface bezeichnet.

Der zweite Teil besteht aus einer Menge von Testfällen, durch die ein Teil der erwarteten Semantik spezifiziert wird. Hierzu können Testfälle in Methoden mehrerer Klassen implementiert werden. Zur Referenzierung der Testklassen wird eine Annotation `@QueryTypeTestReference` im erwarteten Interface verwendet. Dort können über den Parameter `testClasses` mehrere Testklassen angegeben werden. Die Testklassen müssen über den Default-Konstruktor verfügen. Innerhalb der Testklassen werden die Testmethoden mit der Annotation `@QueryTest` markiert. Weiterhin ist es notwendig, die zu testende Instanz zur Laufzeit in ein Objekt einer Testklasse zu injizieren. Dies erfolgt durch Setter-Injection. Aus diesem Grund muss in jeder Testklasse ein Setter für ein Objekt vom Typ des erwarteten Interfaces implementiert werden und mit der Annotation `@QueryTypeInstanceSetter` markiert werden.

Listing 1 zeigt ein Beispiel für ein erwartetes Interface, welches eine Testklasse referenziert. Listing 2 hingegen zeigt diese referenzierte Testklasse mit den bereits erwähnten Annotationen für den Setter des zu testenden Objektes und den Testmethoden.

Listing 1: Erwartetes Interface IntubatingFireFighter

```

1 @QueryTypeTestReference( testClasses = IntubatingFireFighterTest.class )
2 public interface IntubatingFireFighter {
3
4     public void intubate( AccidentParticipant injured );
5
6     public void extinguishFire( Fire fire );
7 }

```

Listing 2: Testklasse des erwarteten Interfaces IntubatingFireFighter

```

1 public class IntubatingFireFighterTest {
2
3     private IntubatingFireFighter intubatingFireFighter;
4
5     @QueryTypeInstanceSetter
6     public void setProvider( IntubatingFireFighter intubatingFireFighter ) {
7         this.intubatingFireFighter = intubatingFireFighter;
8     }
9
10    @QueryTypeTest
11    public void free() {
12        Fire fire = new Fire();
13        intubatingFireFighter.extinguishFire( fire );
14        assertFalse( fire.isActive() );
15    }
16
17    @QueryTypeTest
18    public void intubate() {
19        Collection<Suffer> suffer = Arrays.asList( Suffer.BREATH_PROBLEMS );
20        AccidentParticipant patient = new AccidentParticipant( suffer );
21        intubatingFireFighter.intubate( patient );
22        assertTrue( patient.isStabilized() );
23    }
24 }

```

Die zweite Voraussetzung betrifft den Zugang zu den bestehenden angebotenen Schnittstellen und deren Implementierungen in dem bestehenden System. Um in der Menge aller angebotenen Komponenten eine passende Komponente finden zu können, muss diese Menge bekannt sein oder ermittelt werden können. Wie oben beschrieben, wird in dieser Arbeit von einem System ausgegangen, in dem die angebotenen Komponenten als Java Enterprise Beans umgesetzt wurden. So wird dementsprechend eine Möglichkeit geschaffen, sämtliche der angemeldeten JNDI-Namen und die dazugehörigen Bean-Interfaces abzufragen. Die Abfrage der angemeldeten Bean-Implementierungen zu einem JNDI-Namen ist durch den EJB-Container bei Vorliegen des entsprechenden Interfaces und des JNDI-Namens bereits gegeben.

4.2 Explorationskomponente

Mit diesen Voraussetzungen kann eine Komponente entwickelt werden, der die Erwartungen der nachfragenden Komponente mit den bestehenden Funktionalitäten der angebotenen Komponenten zusammenbringt. In Abb. 2 ist dies als Explorationskomponente dargestellt. Die Abhängigkeiten zu der nachfragenden und den angebotenen Komponenten ist nicht direkt vorhanden, da sie lediglich durch reflexive Aufrufe zur Laufzeit zustande kommen.

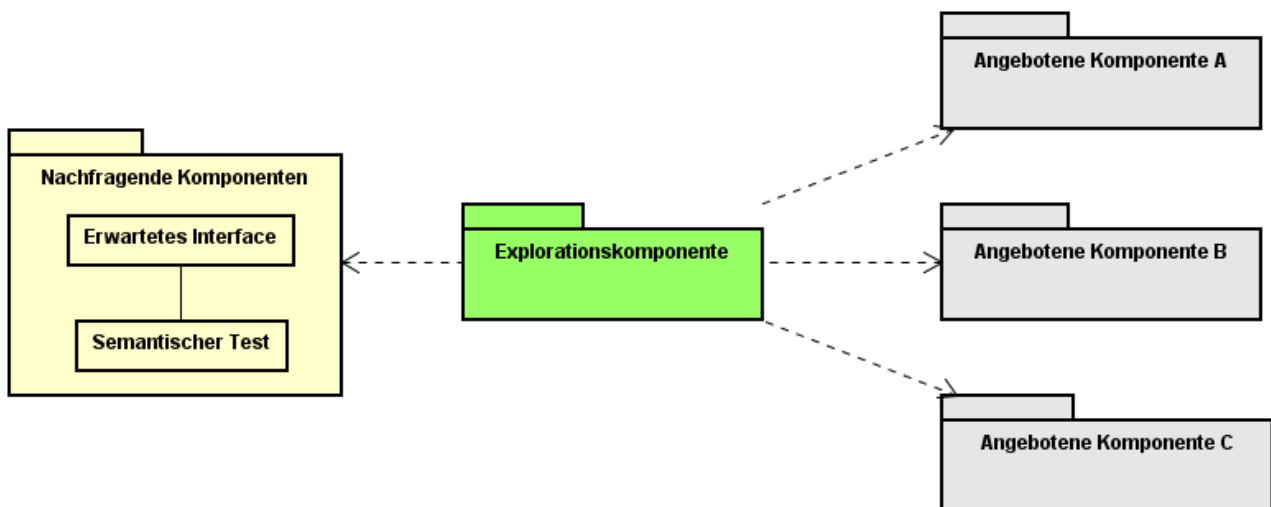


Abbildung 2: Allgemeiner Aufbau des System mit der Explorationskomponente

Um die Explorationskomponente anzusprechen, muss der Entwickler eine Instanz der Klasse `DesiredComponentFinder`, die von der Explorationskomponente bereitgestellt wird erzeugen. Dabei müssen dem Konstruktor dieser Klasse zwei Parameter übergeben werden. Der erste Parameter ist eine Liste aller angebotenen Interfaces. Der zweite Parameter ist eine Function, über die die konkreten Implementierungen der angebotenen Interfaces ermittelt werden können. Die Suche wird dann mit dem Aufruf der Methode `getDesiredComponent` gestartet, der das erwartete Interface als Parameter übergeben wird. Somit kann ein Objekt der Klasse `DesiredComponentFinder` für mehrere Suchen mit unterschiedlichen erwarteten Interfaces verwendet werden.

Zu erwähnen ist noch, dass ein die in der nachfragenden Komponente spezifizierten Erwartungen mitunter nur durch eine Kombination von angebotenen Komponenten erfüllt werden können. Aus diesem Grund wird innerhalb der Explorationskomponente eine so genannte passenden Komponente erzeugt, in der das Zusammenspiel einer solchen Kombination von angebotenen Komponenten verwaltet wird. Ein solches Szenario ist Abb. 3 zu entnehmen.

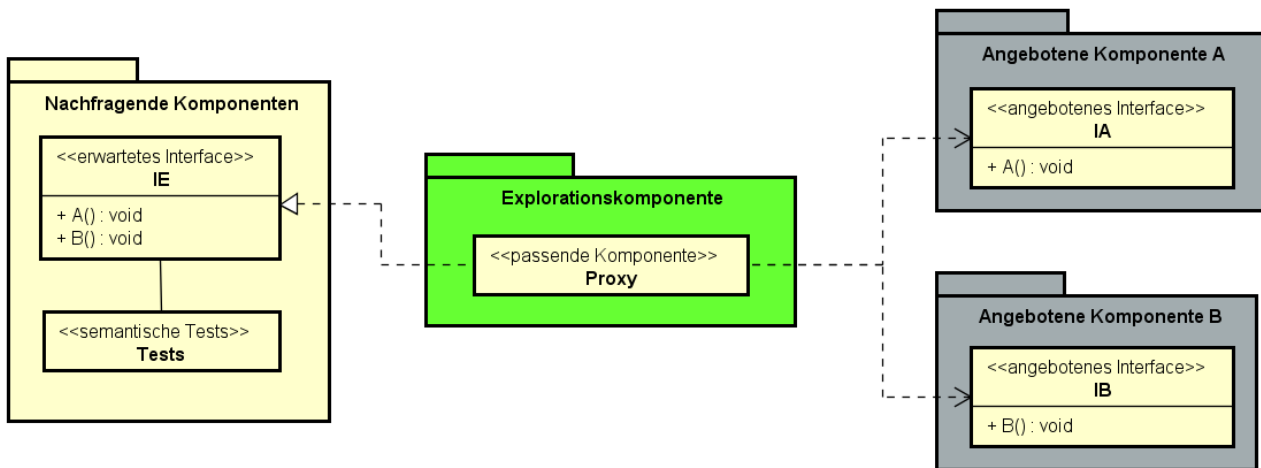


Abbildung 3: Kombination von angebotenen Komponenten

Die Suche nach einer passenden Komponente innerhalb der Explorationskomponente in zwei Schritten erfolgen. Im ersten Schritt werden die angebotenen Interfaces hinsichtlich ihrer Struktur mit dem erwarteten Interface abgeglichen. Im zweiten Schritt werden die Ergebnisse aus dem ersten Schritt hinsichtlich der semantischen Tests überprüft. Dieser mehrstufige Ansatz baut auf der Arbeit von Hummel [Hum08] auf.

4.2.1 1. Stufe - Strukturelle Übereinstimmung

Wie in [Hum08] wird in der ersten Stufe der Suche versucht die angebotenen Interfaces herauszusuchen, die strukturell mit dem erwarteten Interface übereinstimmen. Zu diesem Zweck werden Type-Matcher verwendet, durch die festgestellt werden kann, ob sich ein Typ in einen anderen Typ konvertieren lässt. Die Konvertierung erfolgt auf Objekt-Ebene über Proxies, die ihre Methodenauf-rufe delegieren.

So wird bspw. bei der Konvertierung eines Objektes von TypA (ObjA) in ein Objekt von TypB (ObjB) ein Proxy-Objekt für TypB erzeugt (ProxyB), welcher die Methodenauf-rufe an ObjA delegiert (vgl. auch Abb. 3).

Hummel hatte hierzu bereits auf einige Matcher von Moormann Zaremski [ZW95] zurückgegrif-fen, die in dieser Arbeit ebenfalls zum Einsatz kommen. Die Definitionen der Matcher beziehen sich auf die Programmiersprache Java, wodurch grundlegend von einer nominalen Typkonformität aus-gegangen wird.

Notation zur Beschreibung der Matcher

Die Übereinstimmung bzw. das Matching zweier Typen A und B über einen Matcher M wird in dieser Arbeit mit $A \equiv_M B$ notiert. Weiterhin wird die Identität zweier Typen mit $A = B$ beschrieben. Eine Vererbungshierarchie in der A von B erbt wird mit $A \leq B$ beschrieben. Weiterhin ist die Adressierung von Attributen innerhalb eines Typs notwendig. Für die Adressierung der Attributs a im Typ A wird $A\#a$ geschrieben.

Die Konvertierung eines Typs A in einen Typ B wird, wie bereits erwähnt, auf technischer Ebene über Proxies umgesetzt. Von daher kann die Beschreibung des Konvertierungsverfahrens eines Matchers auf die Beschreibung der Delegation einzelner Methoden beschränkt werden. Hierfür wird folgende Notation verwendet:

Eine Methode m enthält einen Rückgabotyp rt und eine Menge von Parametertypen pt . Die Menge der Parametertypen wird zur besseren Lesbarkeit auf einen Parametertyp beschränkt. Der Aufruf einer Methode m mit dem Rückgabotyp rt und dem Parametertyp pt eines Typs A wird mit $A.m(pt) : rt$ notiert. Sofern die Konvertierung keinen Einfluss auf den Rückgabotyp oder die Parametertypen hat, wird dies verkürzt mit $A.m$ beschrieben.

In der Notationen sind Typen, konkrete Objekte bestimmter Typen und Methoden syntaktisch austauschbar. Eine logische Verknüpfung der einzelnen Elemente der Sprache im Sinne der Quantoren und Junktoren der Prädikatenlogik 1. Stufe ist ebenfalls möglich.

Die Delegation von Methodenaufrufen auf einem Objekt wird mit dem Operator beschrieben. Für eine Delegation des Aufrufs einer Methode m auf dem Objekt a , welcher an ein Objekt b und dessen Methode n delegiert wird, schreibt man $a.m \Rightarrow b.n$. Ferner ist hierbei zwischen einem Source- und einem Target-Objekt zu unterscheiden. Das Source-Objekt befindet sich links vom Operator (\Rightarrow). Auf diesem Objekt findet der Methodenaufruf statt. Das Target-Objekt befindet sich auf der rechten Seite des Operators. Dieses stellt das Ziel der Delegation dar. Da bei der Delegation mitunter weitere Matcher zur Anwendung kommen müssen, wird hierfür ebenfalls eine Notation benötigt. Daher soll die Konvertierung eines Objektes a über einen Matcher M wird mit $(M)a$ beschrieben.

ExactTypeMatcher

Übereinstimmung (ExactTypeMatcher)

$$A \equiv_{exact} B \text{ wenn } A = B$$

Konvertierung (ExactTypeMatcher)

Sei m eine Methode des Typs A (bzw. B) und a und b jeweils ein Objekt vom Typ A (bzw. B).

$$a.m \Rightarrow b.m$$

GenSpecTypeMatcherÜbereinstimmung (GenSpecTypeMatcher)

$$A \equiv_{genspec} B \text{ wenn } A \leq B \vee B \leq A$$

Konvertierung (GenSpecTypeMatcher)

Sei m eine Methode des Typs A (bzw. B) und a und b jeweils ein Objekt vom Typ A (bzw. B).

$$\text{Wenn } B \leq A \text{ dann } a.m \Rightarrow b.m$$

$$\text{Wenn } A \leq B \wedge \exists B.n : A.m \leq B.n \text{ dann } a.m \Rightarrow b.n$$

Der erste Fall stellt hierbei nichts anderes als einen Upcast des Typs B auf den Typ A dar. Der zweite Fall hingegen stellt einen Downcast des Typs B auf den Typ A dar. Hierbei ist zu beachten, dass ein Downcast eine gewisse Unsicherheit bzgl. der Ausführung birgt. So können beim Aufruf einer Methode auf einem Objekt a von Typ A nur solche Methoden delegiert werden, die von B an A vererbt wurden. Ein Aufruf einer Methode auf a , die nicht von B an A vererbt wurde, führt zu einem Laufzeitfehler.

WrappedTypeMatcher

Die bisherigen Type-Matcher sind in der Lage das Matching für zwei Typen festzustellen, ohne dafür Rücksicht auf deren innere Struktur nehmen zu müssen. Dies ist für identische oder hierarchisch organisierte Typen auch nicht notwendig. Es ist jedoch auch denkbar, dass die sich beiden Typen anderweitig assoziieren lassen. Ein Beispiel dafür wäre Boxed- bzw., noch allgemeiner gefasst, Wrapper-Typen. Abb. 4 stellt ein einfaches Szenario für einen Typ A und einen dazu passenden Wrapper-Typen W dar.

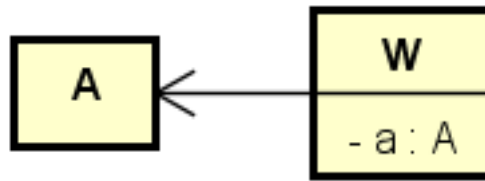


Abbildung 4: Beispiel Wrapper-Typ allgemein

Ein Anwendungsfall, in dem eine solche Konstellation der Typen auftreten könnte, ist Abb. 5 zu entnehmen. Hier wurde in dem erwarteten Interface `Directory` eine Methode `add` deklariert, die einen Parameter vom Typ `String` erwartet - in diesem Fall bspw. der für das betrachtete System eindeutige Name einer Person. Auf der Angebotsseite steht jedoch nur ein angebotenes Interface `AdressBook` zur Verfügung, welches den Typ `Person` erwartet. Der Typ `Person` enthält jedoch ein Attribut vom Typ `String`, welches letztendlich den für das betrachteten System eindeutigen Namen der Person darstellt. So kann es zielführend, dass die hier angebotene Komponente unter der Annahme, dass der Parameter aus dem erwarteten Interface das Attribut `name` aus dem Typ `Person` darstellt, weiter zu untersuchen. Vor der Delegation der Methode könnte hierbei durch die Explorationskomponente ein Proxy für den Typ `Person` (`Person-Proxy`) erzeugt werden, der sich genauso verhält wie der ursprüngliche Typ. Allerdings würde das Objekt, welches in der Methode des erwarteten Interfaces übergeben wurde, in das Attribut `name` des `Person-Proxy`s injiziert werden.

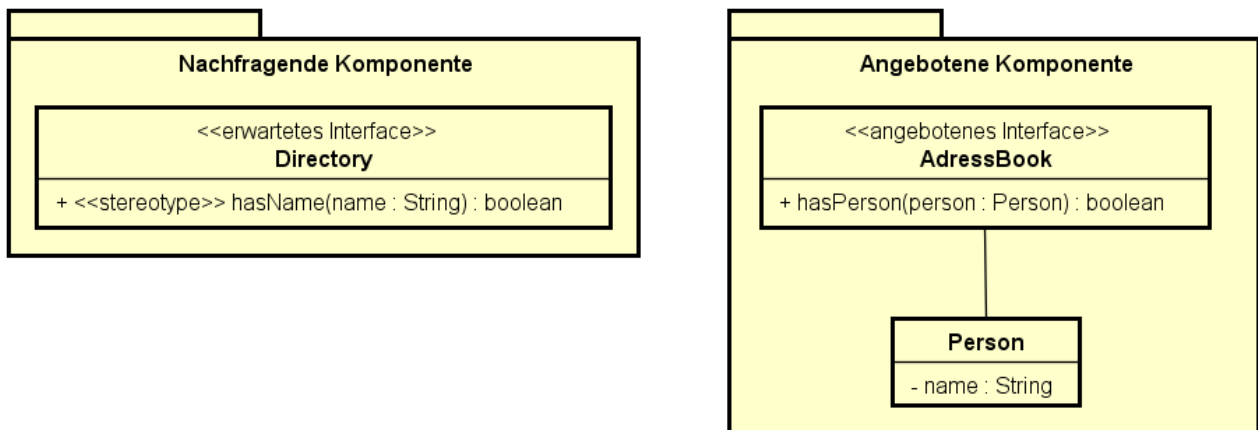


Abbildung 5: Beispiel Wrapper-Typ AdressBook

Aus diesem Grund wird ein `WrappedTypeMatcher` wie folgt beschrieben.

Übereinstimmung (`WrappedTypeMatcher`)

$$A \equiv_{\text{wrapped}} B \text{ wenn } \exists A \# \text{attr} : \text{attr} \equiv_M B \vee \exists B \# \text{attr} : \text{attr} \equiv_M A$$

Wie an dieser Beschreibung zu erkennen ist, wird im `WrappedTypeMatcher` wiederum die Überein-

stimmung von Typen gefordert, die ebenfalls durch die anderen Matcher festgestellt werden kann.

Konvertierung (WrappedTypeMatcher)

Sei m eine Methode des Typs A und a ein Objekt vom Typ A .

Weiterhin sei n eine Methode des Typs B und b ein Objekt vom Typ B .

$$\text{Wenn } \exists B \# attr : attr \equiv_M A \text{ dann } a.m \Rightarrow (M)B \# attr.m$$

$$\text{Wenn } \exists A \# attr : attr \equiv_M B \text{ dann } a.m \Rightarrow a.m$$

Hervorzuheben ist, dass bei einem Methodenaufruf auf dem Wrapper-Typ, keine Delegation vorgenommen wird.

StructuralTypeMatcher

Die bisher beschriebenen Type-Matcher ermöglichen, lediglich eine 1:1-Beziehung zwischen erwartetem und angebotenen Interface. Bei der Suche nach einer passenden Komponente muss jedoch in Betracht gezogen werden, dass diese aus einer Menge von angebotenen Komponenten besteht. Beispielsweise wäre es vorstellbar, dass ein erwartetes Interface zwei Methoden deklariert, die aufgrund der strukturellen Eigenschaften der Methoden und den spezifizierten semantischen Tests auf der Angebotsseite in zwei unterschiedlichen Komponenten zu suchen sind. Abb. 3 verdeutlicht dieses Szenario wobei bei der Ausführung der Methode A die Methode der angebotenen Komponente AngA und bei der Ausführung der Methode B die Methode der angebotenen Komponente AngB ausgeführt werden müsste.

Die Möglichkeit eines solchen Szenarios bedingt, dass die erwarteten und angebotenen Interfaces je Methode bzgl. der strukturellen Übereinstimmung untersucht werden. Das erfordert einen weiteren Matcher, der die o.g. Matcher je erwartete Methode - sprich je Methode des erwarteten Interfaces - und angebotenen Methode - sprich je Methode der angebotenen Interfaces - untersucht. Zu diesem Zweck wird der StructuralTypeMatcher ergänzt.

Übereinstimmung (StructuralTypeMatcher)

$$A \equiv_{struct} B \text{ wenn}$$

$$\exists(A.m(MP) : MR) : \exists(B.n(NP) : NR) : MP \equiv_P NP \wedge NR \equiv_R MR$$

Da die Notation es nicht hergibt, ist zusätzlich zu erwähnen, dass die Reihenfolge der Parameter in m und n irrelevant ist.

Konvertierung (StructuralTypeMatcher)

Sei m eine Methode des Typs A und a ein Objekt vom Typ A .

Der Rückgabotyp von m sei MR und mr ein Objekt dessen.
 Zudem sei MP der Parametertyp von m und mp ein Objekt von MP .
 Weiterhin sei n eine Methode des Typs B und b ein Objekt vom Typ B .
 Der Rückgabotyp von n sei NR und nr ein Objekt dessen.
 Zudem sei NP der Parametertyp von n und np ein Objekt von NP .

$$a.m(mp) : mr \Rightarrow b.n((P)np) : (R)nr$$

Typ-Konvertierungsvariante

Die Konvertierung der einzelnen Type-Matcher liefert eine Menge von so genannten Typ-Konvertierungsvarianten. Eine Typ-Konvertierungsvariante beschreibt eine Möglichkeit, wie ein Typ in einen anderen konvertiert werden kann. Zu diesem Zweck enthält eine Typ-Konvertierungsvariante zwei Arten von Information:

1. Objekterzeugungsrelevante Informationen
2. Methodendelegationsrelevante Informationen

Typ-Konvertierungsvarianten werden von einem konkreten Typ-Matcher für jede mögliche Form der Übereinstimmung erzeugt. Im speziellen Fall des `ExactTypeMatchers` und des `SpecGenTypeMatcher` kann, wenn überhaupt, nur eine Typ-Konvertierungsvariante erzeugt werden. Da die anderen Typ-Matcher mit internen Type-Matchern arbeiten, sind von diesen mehrere Typ-Konvertierungsvarianten zu erwarten.

Die objekterzeugungsrelevanten Informationen sorgen dafür, dass das Proxy-Objekt zum Source-Typ korrekt erzeugt werden kann.

Die methodendelegationsrelevanten Informationen sorgen dafür, dass das Rückgabe-Objekt und die Parameter-Objekte beim Methodenaufruf korrekt konvertiert werden und dass der Aufruf an die richtige Methode des Target-Typs delegiert wird. Daher wird eine methodendelegationsrelevante Information auch als Methoden-Konvertierungsvariante bezeichnet.

In Abb. 6 ist dieser Zusammenhang für ein angebotenes Interface `AIv` und einem erwarteten Interface `EI`, welche jeweils zwei Methoden enthalten (`AM *` bzw. `EM *`), skizziert. Hier wird angenommen, dass jeder der angebotenen Methoden strukturell zu jeder der erwarteten Methoden passen würde. Dementsprechend enthält die Typ-Konvertierungsvariante (TKV) insgesamt 4 Methoden-

Konvertierungsvarianten, wovon jede eine Konvertierung entlang der eingezeichneten Pfeile ermöglicht.

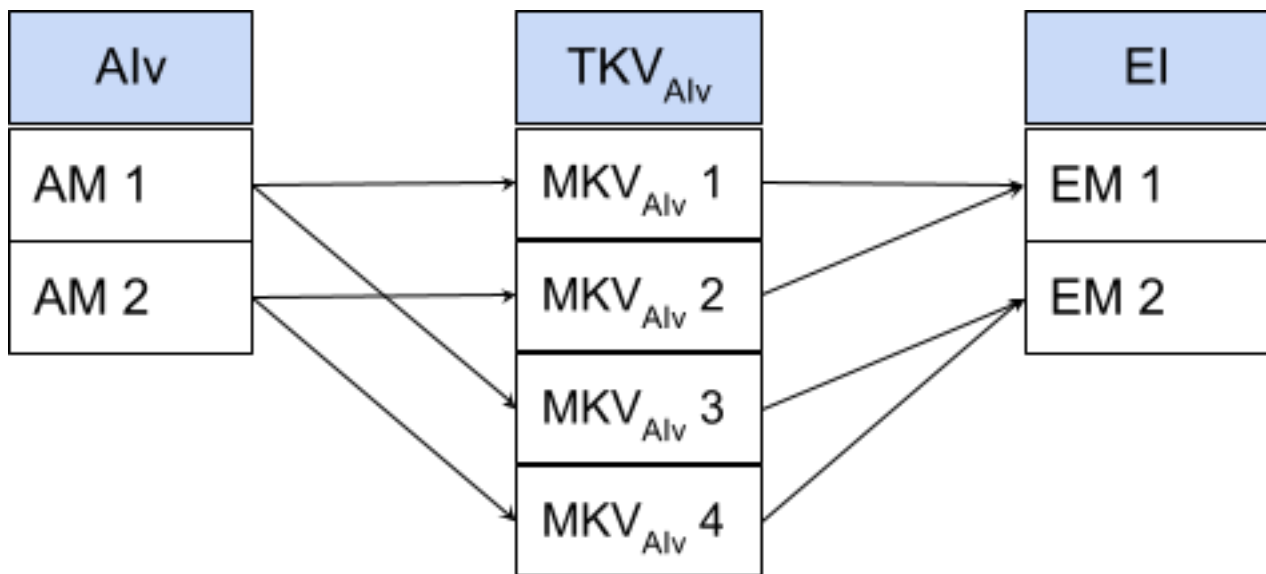


Abbildung 6: Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von Alv

Dabei gilt jedoch, aufgrund der Überlegungen zur Kombination von angebotenen Komponenten (siehe auch Abb. 3), dass eine Typ-Konvertierungsvariante nicht zu jeder der erwarteten Methoden solche methodendelegationsrelevanten Informationen enthält. Abb. 7 zeigt einen solchen Fall mit dem angebotenen Interface Alu.

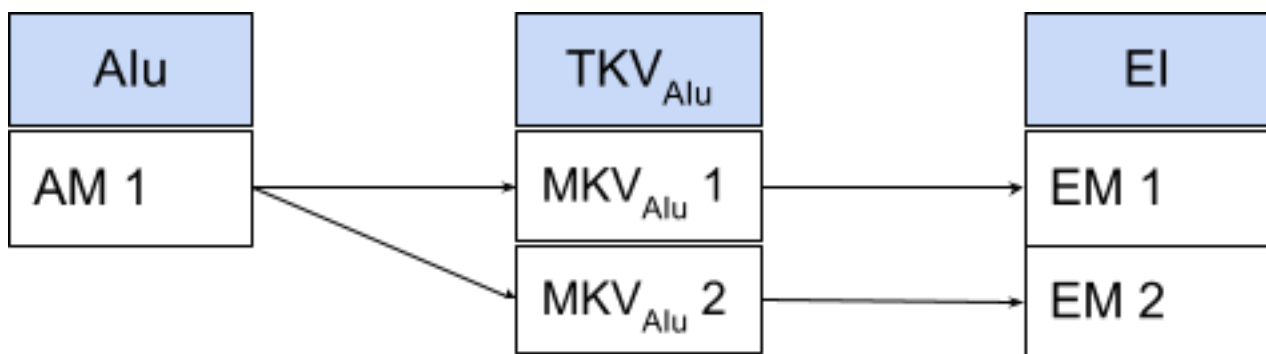


Abbildung 7: Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten von Alu

4.2.2 2. Stufe - Semantische Evaluation

Sofern alle Typ-Konvertierungsvarianten des erwarteten Interfaces bzgl. einer Menge von angebotenen Interfaces in der 1. Stufe ermittelt wurden, können die konkreten Implementierungen der angebotenen Interfaces hinsichtlich der spezifizierten erwarteten Semantik überprüft werden.

Diese Prüfung wird über die vorab spezifizierten Testfälle des erwarteten Interfaces vorgenommen. In einem vorherigen Abschnitt wurde schon kurz beschrieben, wie eine solche Testklasse aufgebaut

ist. In diesem Abschnitt wird beschrieben, wie die zu testenden Komponenten ermittelt werden und wie die Tests durchgeführt werden. Die semantische Evaluation erfolgt in 6 Schritten:

1. Ermittlung der Testklassen zum erwarteten Interface
2. Ermitteln aller Kombinationen von Konvertierungsvarianten
3. Erzeugen einer benötigten Komponente
4. Injizieren der benötigten Komponente
5. Durchführung der Tests
6. Auswertung des Testergebnisses

Ermittlung der Testklassen zum erwarteten Interface

Die Ermittlung der Testklassen erfolgt über die Annotation `@QueryTypeTestReference`, welche im erwarteten Interface spezifiziert wird. Von diesen Testklassen wird ein Testobjekt über den Default-Konstruktor erzeugt.

Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten

In diesem Schritt werden die ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten miteinander kombiniert, was einer Kombination der angebotenen Interfaces gleicht. Die Anzahl k der kombinierten Typ-Konvertierungsvarianten kann jedoch variieren. Wenn $|EM|$ die Anzahl der Methoden im erwarteten Interface ist, gilt für k :

$$1 \leq k \leq |EM|$$

Da k variabel ist, wird dieser Schritt zusammen mit allen folgenden Schritten mitunter mehrfach durchlaufen. Die Nummer des jeweiligen Iterationsschrittes wird mit k gleichgesetzt. Abb. 8 zeigt die Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten, die sich bezogen auf die Beispiele aus Abb. 6 und Abb. 7 im ersten Durchlauf ergeben. Im zweiten Durchlauf würde sich nur eine Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten ergeben, da die beiden Typ-Konvertierungsvarianten von `AIv` und `AIu` miteinander kombiniert werden (siehe Abb. 9).

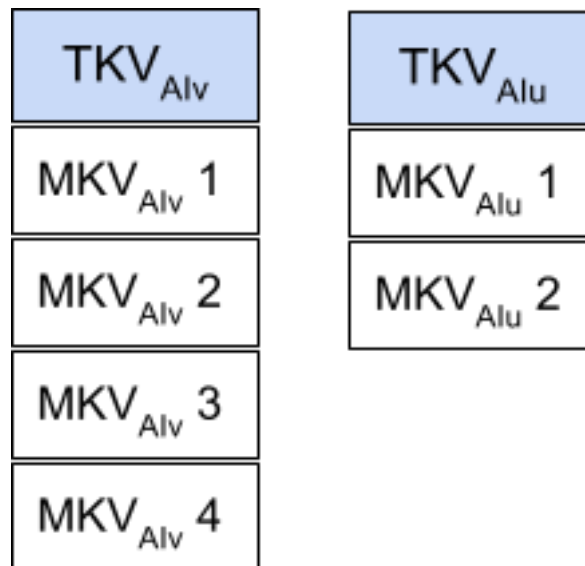


Abbildung 8: Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von Alu und Alv im ersten Durchlauf

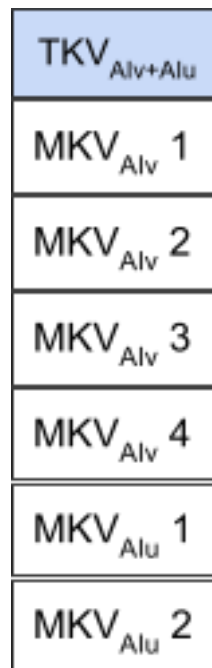


Abbildung 9: Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten von Alu und Alv im zweiten Durchlauf

So berechnet sich die Anzahl an ermittelten Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten ($|KombTKV|$) für jeden Durchlauf k in Abhängigkeit von der Anzahl der in der 1. Stufe ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten ($|TKV|$) wie folgt:

$$|KombTKV| = \frac{|TKV|!}{((|TKV| - k!) * k!)}$$

Erzeugen einer benötigten Komponente

Eine benötigte Komponente besteht aus einer Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten, wobei für jede erwartete Methode genau eine Methoden-Konvertierungsvariante innerhalb der benötigten Komponente existiert.

Für die Ermittlung der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten wird eine Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten aus der Ergebnismenge des aktuellen Durchlaufs des zweiten Schrittes selektiert. Die darin enthaltenen Methoden-Konvertierungsvarianten werden hinsichtlich der Methoden aus dem erwarteten Interface miteinander kombiniert.

Für die erste Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten, die Abb. 8 zu entnehmen sind, (TKV_{AIu}) können folgende Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt werden (siehe Abb. 10).



Abbildung 10: Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIv

Analog dazu werden für die zweite Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten, die Abb. 8 zu entnehmen sind, (TKV_{AIu}) folgende Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt (siehe Abb. 11).

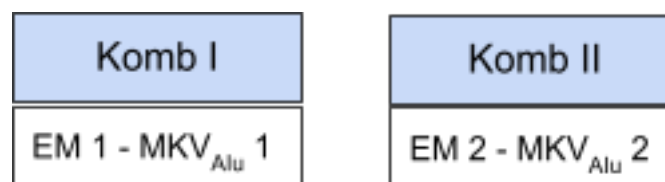


Abbildung 11: Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten AIu

Ausgehend von der Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten aus Abb. 9 ($TKV_{AIu+AIv}$), sind in Abb. 12 die daraus resultieren Methoden-Konvertierungsvarianten dargestellt.

| | | | |
|---|--|---|--|
| <div>Komb I</div> <div>EM 1 - MKV_{Alv} 1</div> <div>EM 2 - MKV_{Alv} 3</div> | <div>Komb II</div> <div>EM 1 - MKV_{Alv} 2</div> <div>EM 2 - MKV_{Alv} 3</div> | <div>Komb III</div> <div>EM 1 - MKV_{Alv} 1</div> <div>EM 2 - MKV_{Alv} 4</div> | <div>Komb VI</div> <div>EM 1 - MKV_{Alv} 2</div> <div>EM 2 - MKV_{Alv} 4</div> |
| <div>Komb V</div> <div>EM 1 - MKV_{Alu} 1</div> <div>EM 2 - MKV_{Alv} 3</div> | <div>Komb VI</div> <div>EM 1 - MKV_{Alu} 1</div> <div>EM 2 - MKV_{Alv} 4</div> | <div>Komb VII</div> <div>EM 1 - MKV_{Alv} 1</div> <div>EM 2 - MKV_{Alu} 2</div> | <div>Komb II</div> <div>EM 1 - MKV_{Alv} 2</div> <div>EM 2 - MKV_{Alu} 2</div> |

Abbildung 12: Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten Alu+Alv

Zu beachten ist, dass die ersten vier Kombinationen bereits im vorherigen Durchlauf erzeugt wurden (siehe Abb. 10) und dementsprechend auch getestet wurden.

Im Allgemeinen lässt sich sagen, dass die Anzahl der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten von der Anzahl der Methoden im erwarteten Interface ($|EM|$) und der Anzahl an Methoden-Konvertierungsvarianten ($|MKV|$) innerhalb der selektierten Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten abhängig ist. Da aus einer Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten jeweils eine benötigte Komponente erzeugt werden kann, gilt für die Anzahl der benötigten Komponenten ($|Komb_{ben}|$) dasselbe.

$$|Komb_{ben}| = |Komb_{MKV}| = \frac{|MKV|!}{(|MVK|! - |EM|!) * |EM|!}$$

Injizieren der benötigten Komponente

Der Setter für die Setter-Injection wird in der Testklasse über die Annotation `@QueryTypeInstance-Setter` ermittelt. Danach wird diese Methode auf dem Testobjekt mit der benötigten Komponente als Parameter aufgerufen.

Durchführen der Tests

Die Testfälle aus der Testklasse werden über die Annotation `@QueryTypeTest` ermittelt und sequenziell ausgeführt. Als Ergebnis der Testausführung für eine benötigte Komponente wird ein Objekt des Typs `TestResult` zurückgegeben. Tritt bei der Testausführung eine Exception auf, wird diese im `TestResult`-Objekt hinterlegt. Im Anschluss wird das `TestResult`-Objekt direkt zurückgegeben, um die Ausführung der übrigen Tests zu verhindern. Wenn ein Test mit positivem Ergebnis durchgeführt wird, wird das Attribut `passedTests` im `TestResult`-Objekt inkrementiert. Sollten alle Tests erfolgreich durchgeführt worden sein, wird das `TestResult` Objekt zurückgegeben.

Ab dem zweiten Durchlauf werden werden die benötigten Komponenten in Schritt 3 aus den Typ-Konvertierungsvarianten mehrere angebotener Interfaces erzeugt. Das führt dazu, dass die Methodenaufrufe auf dem erwarteten Interface an unterschiedliche angebotene Komponenten delegiert werden. Hierbei kann der Fall eintreten, dass mehrere dieser Methoden von der Semantik her auf den gleichen Daten operieren müssen, die Delegation der Aufrufe aber an unterschiedliche Komponenten vorgenommen wird, die auch auf unterschiedlichen Daten arbeiten.

Ein Beispiel hierfür wäre eine Art Stack, der durch das erwartete Interface Stack beschrieben. Dieses enthält eine push und eine pop Methoden mit der Elemente im Stack hinzugefügt bzw. entfernt werden können (siehe Abb. 13). Hierbei ist anzunehmen, dass die beiden Methoden auf denselben Daten arbeiten, sodass nach dem Hinzufügen eines Elements a (push(a)) und dem darauf folgenden Aufruf der Methode pop() als Rückgabewert wieder das zuvor hinzugefügte Element a geliefert wird (siehe Abb. 14). Wenn die beiden Methoden-Aufrufe jedoch an zwei unterschiedliche Objekte StackA und StackB delegiert werden, die auf unterschiedlichen Daten operieren, dann würde dieses Verhalten nicht nachgewiesen werden können (siehe Abb. 15).

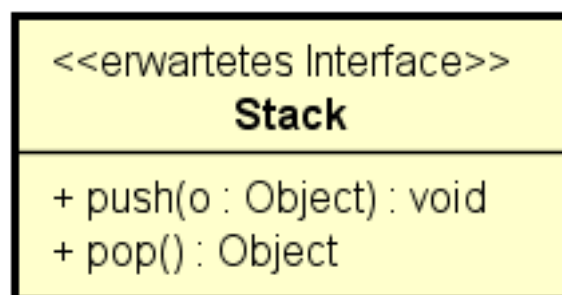


Abbildung 13: Erwartetes Interface Stack

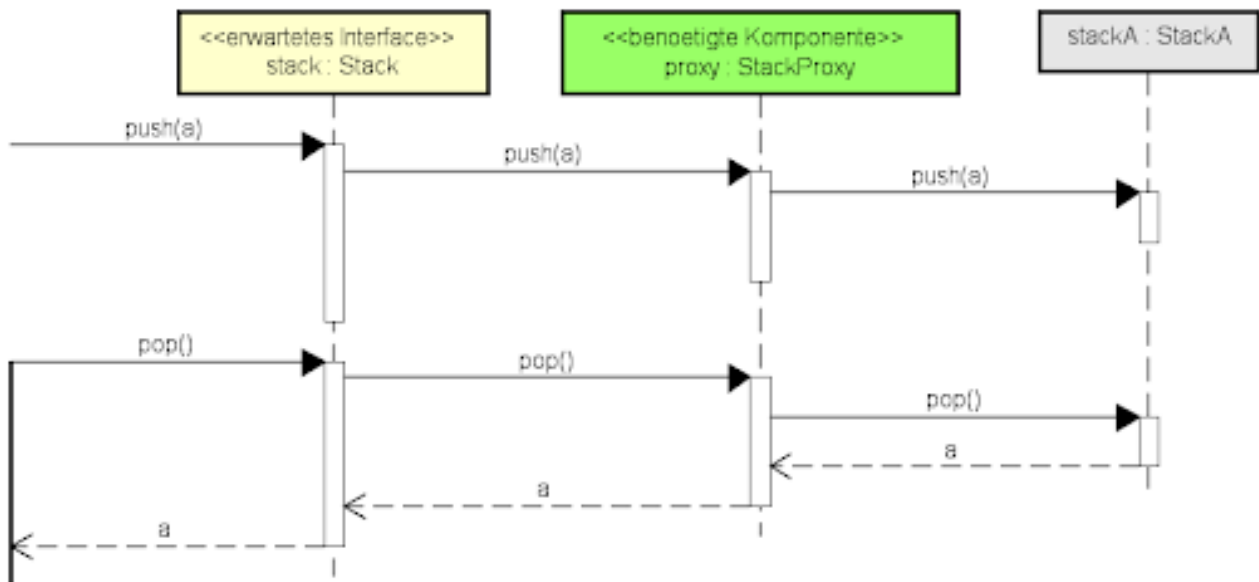


Abbildung 14: Delegation der Stack-Methoden an genau eine angebotene Komponente

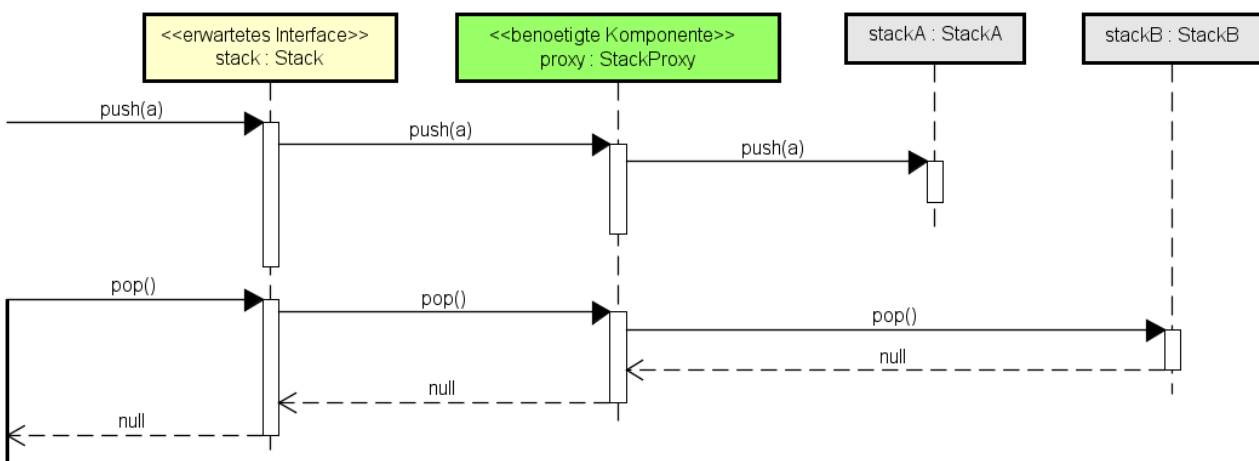


Abbildung 15: Delegation der Stack-Methoden an unterschiedliche angebotene Komponenten

In einem solchen Fall sollte der Zusammenhang dieser erwarteten Methoden in den Tests spezifiziert werden, sodass diese besonderen semantischen Anforderungen in diesem Schritt evaluiert werden können. Listing 3 zeigt ein Beispiel bezogen auf das Szenario aus Abb. 14.

Listing 3: Testklasse für ein erwartetes Interfaces Stack

```

1 public class StackTest {
2
3     private Stack stack;
4
5     @QueryTypeInstanceSetter
6     public void setProvider( Stack stack ) {
7         this.stack = stack;
8     }
9 }

```

```
10 @QueryTypeTest
11 public void pushPop() {
12     Object a = new Object();
13     stack.push( a );
14     Object evalObj = stack.pop();
15     assertTrue( a == evalObj );
16 }
17
18 }
```

Auswertung des Testergebnisses

Sofern alle Tests erfolgreich durchgelaufen sind, wird die aktuell selektierte benötigte Komponente als passend bewertet und als Ergebnis des Explorationsalgorithmus zurückgegeben.

Sollte einer der Tests nicht erfolgreich sein, wird die semantische Evaluation ab Schritt 3 (siehe 4.2.2) wiederholt. Sofern keine benötigten Komponenten mehr erzeugt werden können, ist die Suche nach einer passenden Komponente gescheitert.

Da die Suche zur Laufzeit ausgeführt wird, reicht es, wenn eine passende Komponente gefunden wird. Selbst wenn es mehrere passende Komponenten geben sollte, gäbe es in dem beschriebenen Verfahren keine Möglichkeit festzustellen, welche die semantischen Anforderungen besser erfüllt. Zwar wären könnte man die passenden Komponenten hinsichtlich der benötigten Systemressourcen untersuchen. Aufgrund der Vielzahl von möglichen Kombinationen (siehe 4.2.2 und 4.2.2) rechtfertigt der dafür notwendige Aufwand den daraus resultierenden Performancegewinn vermutlich nicht.

4.3 Heuristiken

4.3.1 Type-Matcher Rating basierte Heuristiken

Wie die Überschrift bereits andeutet, werden die Type-Matcher mit einem Rating versehen. Das Rating wird durch einen numerischen Wert dargestellt. Auf dieser Basis werden zwei Kategorien von Type-Matcher Ratings unterschieden:

1. Qualitatives Type-Matcher Rating
2. Quantitatives Type-Matcher Rating

Qualitatives Type-Matcher Rating Das qualitative Type-Matcher Rating beschreibt den Grad der strukturellen Übereinstimmung des Source- und des Target-Typen. Dafür wird jeder Type-Matcher

mit einem Basiswert versehen. Die konkreten Basiswerte sind im Abschnitt Evaluation beschrieben. Dieser Basiswert wird beim Erzeugen der Typ-Konvertierungsvarianten an die methodendelegationsrelevanten Informationen gehängt, sodass zu jeder Methode, zu der eine Methoden-Konvertierungsvariante existiert, auch ein Wert bzgl. des qualitativen Type-Matcher Rating zur Verfügung steht.

Der konkrete Wert für das qualitative Type-Matcher-Rating ermittelt sich grundlegend, wie bereits erwähnt, anhand eines Basiswertes. Sofern ein Type-Matcher jedoch einen internen Type-Matcher verwendet, um die konkreten methodendelegationsrelevanten Informationen zu erzeugen, ergibt sich der Wert des Type-Matcher-Ratings aus einer Akkumulation der Basiswerte des Type-Matchers und des internen Type-Matchers.

Damit ist das qualitative Type-Matcher Rating von folgenden Faktoren abhängig:

1. Die Wahl des Basiswertes der einzelnen Type-Matcher
2. Das Akkumulationsverfahren für das Type-Matcher Rating einer Typ-Konvertierungsvariante
3. Das Akkumulationsverfahren für das Type-Matcher Rating einer Methoden-Konvertierungsvariante

Alle drei Punkte werden bei der Evaluierung dieser Heuristik betrachtet.

Quantitatives Type-Matcher Rating Das quantitative Type-Matcher Rating beschreibt, zu wie vielen der erwarteten Methoden in der erzeugten Typ-Konvertierungsvariante methodendelegationsrelevante Informationen vorliegen. Hierzu wird der methodendelegationsrelevante Informationen innerhalb der Typ-konvertierungsvariante durch die Anzahl der erwarteten Methoden geteilt. So stellt das quantitative Type-Matcher Rating also einen Prozentsatz dar.

Darauf aufbauend werden im Folgenden zwei Heuristiken vorgestellt, durch die es ermöglicht wird die ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten in eine Reihenfolge zu bringen. So kann die Selektion der Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten im 3. Schritt der 2. Stufe des Explorationsalgorithmus anhand dieser Sortierung erfolgen.

Heuristik - TMR_Quant: Beachtung des quantitativen Type-Matcher Ratings

Es wird davon ausgegangen, dass eine angebotene Komponente, deren Schnittstelle strukturell mit der erwarteten Schnittstelle übereinstimmt und dabei zu jeder erwarteten Methode eine passende Methode anbietet, eher die semantischen Erwartungen erfüllt, als eine Kombination aus mehreren angebotenen Komponenten.

Daher sollten bei der Selektion der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten in Schritt 3 der 2. Stufe des Explorationsalgorithmus (siehe 4.2.2) zuerst diejenigen Kombinationen gewählt werden, deren Elemente (Methoden-Konvertierungsvarianten) aus ein und derselben Typ-Konvertierungsvarianten stammen, sprich deren quantitatives Type-Matcher Rating möglichst hoch ist.

Heuristik - TMR_Qual: Beachtung des qualitativen Type-Matcher Ratings

Es wird davon ausgegangen, dass eine von einer angebotene Komponente angebotene Methode, die strukturell mit einer erwarteten Methode zu einem höheren Grad übereinstimmt, auch eher die semantischen Erwartungen an diese Methode erfüllt.

Daher sollten bei der Selektion der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten in Schritt 3 der 2. Stufe des Explorationsalgorithmus (siehe 4.2.2) zuerst diejenigen Kombinationen gewählt werden, deren Elemente (Methoden-Konvertierungsvarianten) aus den methodendelegationsrelevanten Informationen mit den niedrigsten qualitativen Type-Matcher Rating der Typ-Konvertierungsvarianten erzeugt wurden.

4.3.2 Testergebnis basierte Heuristiken

Diese Heuristiken werden auf der Basis des TestResult-Objektes, welches bei der semantischen Evaluation (2. Stufe, siehe 4.2.2) bei der Durchführung der Tests (Schritt 5, siehe 4.2.2) erzeugt wird. Die dafür notwendigen Informationen werden im TestResult-Objekt dementsprechend bei der Testausführung vermerkt. Ausgehend von dieser Basis führen diese Heuristiken im Allgemeinen dazu, dass bestimmte Methoden-Konvertierungsvarianten bei der weiteren Suche nach Kombinationen solcher (Schritt 2, , siehe 4.2.2) nicht mehr oder bevorzugt verwendet werden.

Heuristik - PREV_PASSED: Beachtung der teilweise bestandenen Tests

Es wird davon ausgegangen, dass es innerhalb der Testklassen Testmethoden gibt, die einzelne erwartete Methoden testen. Eine benötigte Komponente, die einen Teil dieser Tests besteht, verwendet für bestimmte Methoden scheinbar eher passende Methoden-Konvertierungsvarianten, als solche benötigten Komponenten, die keine dieser Tests bestehen.

Sofern sichergestellt ist, dass die benötigte Komponente aus einer einzigen Typ-Konvertierungsvariante erzeugt wurde und einen Teil der Tests besteht, sollte sie bei der Erzeugung benötigter Komponenten aus mehreren Typ-Konvertierungsvarianten bevorzugt verwendet werden.

Heuristik - BL_PM: Beachtung aufgerufener Pivot-Methode

Es wird davon ausgegangen, dass es beim Aufruf von Methoden und deren Delegation an angebotene Komponenten zu Fehlern/Exceptions kommen kann. Eine Methoden-Konvertierungsvariante, die zu solchen Fehlern führt, ist offensichtlich unbrauchbar. Daher ist es sinnvoll, diese Methoden-Konvertierungsvariante bei der weiteren Suche zu ignorieren. Zu diesem Zweck wird beim Auftreten einer Exception bei der Delegation einer Methode eine spezielle Exception (SigMaGlueException) geworfen, die bei der Testdurchführung entsprechend ausgewertet werden kann.

Da in einer Testmethode jedoch mehrere erwarteten Methoden aufgerufen werden können, besteht die Möglichkeit, dass das Ergebnis der zuerst aufgerufenen erwarteten Methoden aufgrund einer passenden Methoden-Konvertierungsvariante nicht direkt bei deren Aufruf zu einer Exception führt, sondern erst bei der Verwendung des Ergebnisses als Parameter des folgenden Aufrufs einer erwarteten Methode. In so einem Fall ist es nicht möglich zu erkennen, für welche der beiden Methoden tatsächlich eine unpassende Methoden-Konvertierungsvariante verwendet wird. Beim Auftreten einer Exception während des Aufrufs der ersten erwarteten Methode, ist jedoch davon auszugehen, dass für diesen Aufruf eine unpassende Methoden-Konvertierungsvariante verwendet wurde, weshalb diese bei der weiteren Suche ignoriert werden sollte.

Eine Pivot-Methode beschreibt dabei die zuerst aufgerufene erwartete Methode innerhalb einer Testmethode. Um eine Möglichkeit zu schaffen, den Aufruf dieser Pivot-Methode nach außen mitzuteilen, müssen die Testklassen erweitert werden. Hierzu steht das Interface `PivotMethodTestInfo` bereit.

Dieses Interface deklariert drei Methoden, die in der Testklasse spezifiziert werden müssen. Grundsätzlich ist der Mechanismus so angedacht, dass innerhalb der Testklasse ein Flag spezifiziert wird, welches durch die Methode `reset()` auf den Ausgangswert zurückgesetzt wird und durch die Methode `markPivotMethodCallExecuted()` auf einen anderen Wert umgesetzt wird. Der Aufruf der Methode `pivotMethodCallExecuted()` sollte `true` liefern, wenn dieses Flag nicht dem Ausgangswert übereinstimmt.

Innerhalb der Testmethode sollte dann vor zu Beginn immer die Methode `reset()` aufgerufen werden, da andernfalls die Testergebnisse verfälscht werden können. Zudem muss die Methode `markPivotMethodCallExecuted()` direkt nach dem Aufruf der Pivot-Methode aufgerufen werden.

So kann bei der Testdurchführung festgestellt werden, ob die mögliche Exception vor oder nach dem Aufruf der Pivot-Methode erfolgte. Welche Methode beim Aufruf zu einer Exception geführt

hat, wird innerhalb der `SigMaGlueException` überliefert.

Heuristik - BL_SM: Beachtung fehlgeschlagener Single-Method Tests

Es wird davon ausgegangen, dass es innerhalb der Testklassen Testmethoden gibt, die auf eine ganz bestimmte erwartete Methode zugeschnitten sind (Single-Method Test). Das setzt unter anderem voraus, dass in dieser Testmethode von den erwarteten Methoden nur diese eine aufgerufen wird.

Weiterhin muss an der Testmethode eine Information zur Verfügung stehen, die eine Auskunft darüber gibt, welche Methode dort getestet wird. Zu diesem Zweck kann an der `@QueryTypeTest`-Annotation ein Parameter mit der Bezeichnung `testedSingleMethod` spezifiziert werden. Dort soll dementsprechend der Name der getesteten Methode angegeben werden. So kann bei der Testausführung evaluiert werden, ob eine bestimmte Methode von der getesteten benötigten Komponente semantisch nicht passt.

Da die konkrete Methode, deren Test fehlschlägt, bekannt ist, kann auch die verwendete Methoden-Konvertierungsvariante ermittelt werden. Diese Methoden-Konvertierungsvariante sollte bei der weiteren Suche nicht mehr beachtet werden, da mit diesem Test sichergestellt wurde, dass sie nicht Teil einer passenden benötigten Komponente sein kann.

4.4 Koordination

Der Einsatz der Heuristiken muss bei der Suche koordiniert werden. Der Explorationsalgorithmus ist so aufgebaut, dass im 2. Schritt der 2. Stufe (siehe 4.2.2) die Heuristiken zum Einsatz kommen.

Begonnen wird mit der Heuristik `TMR_Quant`, sodass zuerst alle möglichen Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten ermittelt werden, die aus einer einzelnen Typ-Konvertierungsvariante stammen. Sind die möglichen Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten ausgeschöpft, wird der Prozess mit der Ermittlung aller möglichen Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten, die aus 2 Typ-Konvertierungsvarianten stammen, wiederholt. Die Anzahl der zu kombinierenden Typ-Konvertierungsvarianten wird somit jedes mal erhöht, wenn die bereits ermittelten Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten ausgeschöpft sind.

Innerhalb eines der eben beschriebenen Iterationsschritte werden die anderen Heuristiken eingesetzt.

Die Heuristik `TMR_Qual` sortiert die Typ-Konvertierungsvarianten, die bei der Ermittlung der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten verwendet werden. Diese werden dann ihrer

Reihenfolge entsprechend verwendet um Methoden-Konvertierungsvarianten zu ermittelt. Diesen Methoden-Konvertierungsvarianten wurde ebenfalls ein Type-Matcher Rating mitgegeben, nach welchem jene nun sortiert werden und dann entsprechend dieser Reihenfolge sequentiell getestet werden.

Die Heuristik PREV_PASSED wird, wie alle weiteren Heuristiken, erst nach der ersten Iterationsstufe eingesetzt. Das liegt daran, dass für die Anwendung dieser Heuristiken bereits Testergebnisse vorliegen müssen. PREV_PASSED sorgt nochmals für eine Umsortierung der Typ-Konvertierungsvarianten, die bei der Ermittlung der Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten verwendet werden, sodass die bevorzugten Typ-Konvertierungsvarianten zuerst verwendet werden.

Die Heuristiken BL_PM und BL_SM sorgen dafür, dass bei der Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten diejenigen übersprungen werden, die laut der jeweiligen Heuristik nicht mehr in Betracht gezogen werden sollen.

5 Evaluierung

Die Evaluierung erfolgt mit Systemen, in denen mindestens 889 angebotene Interfaces existieren. Es wird zwischen einem Test-System und einem Heiß-System unterschieden.

Das Test-System wurde vorrangig für die Evaluation der Type-Matcher Rating basierten Heuristiken verwendet, da für diese Heuristiken keine Implementierungen der angebotenen Interfaces vorliegen müssen.

Das Heiß-System wurde vorrangig für die Evaluation der testergebnis basierten Heuristiken verwendet, da hier zu jedem der 889 angebotenen Interfaces eine Implementierung existiert. Die angebotenen Komponenten wurden im Heiß-System als Java Enterprise Beans umgesetzt.

Darstellung der Evaluationsergebnisse

Die Evaluationsergebnisse werden in der Form von Vier-Felder-Tafeln dargestellt. Für jedes erwartete Interface wird eine Vier-Felder-Tafel für jeden Durchlauf des Explorationsalgorithmus aufgezeigt. Aus der jeweiligen Tafel geht hervor, wie viele Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten aus den Kombinationen der ermittelten Typ-Konvertierungsvarianten der angebotenen Interfaces innerhalb des Durchlaufs erzeugt werden könnten. Die Nummer des Durchlaufs wird in der oberen rechten Ecke der Tafel abgebildet. In der Spalte positiv ist die Anzahl der Kombinationen verzeichnet, die innerhalb des Durchlaufs tatsächlich erzeugt wurden. Die Zahl in der Spalte "negativ" drückt hingegen aus, wie viele der Kombinationen aufgrund bestimmter Kriterien (bzw. Heuristiken) gar nicht erst erzeugt wurden. Die Zeile "falsch" beschreibt die Anzahl der relevanten Kombinationen, aus denen benötigte Komponenten erzeugt werden, die die semantischen Tests nicht bestehen. Dementsprechend stellt die Zeile "richtig" die Anzahl der Kombinationen dar, aus denen sich benötigte Komponenten lassen, die die semantischen Test bestehen. Der Fall, in dem eine Kombination nicht erzeugt wurde und dennoch für die Erstellung einer benötigten Komponente genutzt wurde, die die semantischen Tests besteht, (negativ und richtig) kann nicht auftreten.

Für die Anzahl der zu kombinierenden Methoden-Konvertierungsvarianten MK wird der höchste mögliche Wert angenommen. Dieser ist von der Anzahl der angebotenen Methoden am sowie der

Anzahl der erwarteten Methoden em abhängig und wird wie folgt berechnet:

$$MK = \frac{am!}{(am - em)! * em!}$$

Die Anzahl der angebotenen Methoden am ist wiederum abhängig von den angebotenen Interfaces deren Typ-Konvertierungsvariante kombiniert im jeweiligen Durchlauf miteinander kombiniert wurden. Die Anzahl der Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten innerhalb des Durchlaufs sei mit TK beschrieben. Der Wert für TK berechnet sich in Abhängigkeit von der Nummer des Durchlaufs d und der Anzahl der strukturell passenden angebotenen Interfaces n (siehe auch Abschnitt Explorationskomponente, 2. Stufe, 2. Kombination von Typ-Konvertierungsvarianten).

$$TK = \frac{n!}{(n - d)! * d!}$$

Da die Anzahl der angebotenen Methoden der angebotenen Interfaces von System zu System schwanken kann, sei die Funktion $am(TK)$ eine näherungsweise Darstellung von am , in Abhängigkeit von der Anzahl der kombinierten Typ-Konvertierungsvarianten TK .

Da durch die Heuristiken letztendlich Methoden-Konvertierungsvarianten aus der Suche herausfallen, wird die Anzahl der entsprechenden Methoden-Konvertierungsvarianten in dem jeweiligen Feld der Vier-Felder-Tafeln als Funktion $mk(TK)$ dargestellt, die wie folgt definiert wird:

$$mk(TK) = \frac{am(TK)!}{(am(TK) - em)! * em!}$$

Tabelle 1 zeigt ein Beispiel für eine solche Tafel, die die Ergebnisse des 1. Durchlauf des Explorationsalgorithmus beschreibt, in dem aus 10 Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten entsprechende Methoden-Konvertierungsvarianten erzeugt wurden, wohingegen 20 Typ-Konvertierungsvarianten im Vorfeld aussortiert und in diesem Durchlauf nicht beachtet wurde. Weiterhin zeigt das Beispiel, dass es eine Kombination von Methoden-Konvertierungsvarianten gibt, aus der eine passende benötigte Komponente erzeugt werden konnte.

| | | |
|---------|----------|----------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(10)$ | $mk(20)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 1: Beispiel: Vier-Felder-Tafel

5.1 Test-System

Wie bereits erwähnt werden im Test-System die 889 angebotenen Interfaces verwendet, die auch im Heiß-System verwendet werden. Darüber hinaus wurden noch 6 weitere angebotene Interfaces dem Test-System hinzugefügt, um bestimmte Konstellationen gezielter zu evaluieren. Damit stehen in diesem System für die Evaluation der insgesamt wurde 6 erwartete Interfaces für die Evaluation verwendet. Die 6 erwarteten Interfaces wurden wie folgt deklariert (siehe Abbildung 16 - 21).

5.1.1 Type-Matcher Rating basierte Heuristiken

Ausgangspunkt

Für ein erwarteten Interfaces konnten mehrere angebotene Interfaces gefunden werden, die eine strukturelle Übereinstimmung aufwiesen. Tabelle 1 zeigt die Anzahl der strukturell übereinstimmenden angebotenen Interfaces je erwartetes Interface.

| erwartetes Interface | Anzahl strukturell übereinstimmender angebotener Interfaces |
|----------------------|---|
| TEI1 | 169 |
| TEI2 | 179 |
| TEI3 | 187 |
| TEI4 | 62 |
| TEI5 | 60 |
| TEI6 | 33 |

Tabelle 2: Anzahl strukturell übereinstimmender angebotener Interfaces je erwartetes Interfaces

Die Tabellen 3-11 zeigen Vier-Felder-Tafeln für die Durchläufe des Explorationsalgorithmus für die Suche nach einer jeweils passenden benötigten Komponente der erwarteten Interfaces aus Tabelle 2 ohne die Verwendung von Heuristiken. Dies stellt somit den Ausgangspunkt für die weitere Evaluation dar.

| | | |
|---------|-----------|---------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(169)$ | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

| | | |
|---------|-----------|---------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(179)$ | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

| | | |
|---------|-----------|---------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(187)$ | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 3: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI1

Tabelle 4: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI2

Tabelle 5: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI3

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (62) | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 6: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI4
1. Durchlauf

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (60) | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 7: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI5
1. Durchlauf

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (33) | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 8: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI6
1. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|------------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (1891) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 9: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI4
2. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|------------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (1770) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 10: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|-----------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (528) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 11: Ausgangspunkt Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf

Für die Interfaces TEI4 - TEI6 werden zwei Durchläufe benötigt, da die semantischen Tests nur von einer benötigten Komponente bestanden werden, die auch einer Kombination zweier Typ-Konvertierungsvarianten erzeugt wurde.

Die Typ-Matcher Rating basierten Heuristiken sollten zu einer Reduktion der Anzahl von erzeugten Kombinationen von Methoden-Konvertierungsvarianten, die die semantischen Tests nicht bestehen würden, führen (positiv und falsch).

Ergebnisse TMR_Quant

Durch die Verwendung der Heuristik TMR_Quant kann für die ersten 3 erwarteten Interfaces eine Besserung erzielt werden. Der Grund dafür ist, dass die benötigte Komponente, die letztendlich alle semantischen Tests besteht auf der Basis genau einer Typ-Konvertierungsvariante erzeugt wurde. Damit benötigt der Explorationsalgorithmus lediglich einen Durchlauf. TMR_Quant sorgt dennoch dafür, dass die erzeugten Kombinationen von Typ-Konvertierungsvarianten im 2. Schritt reduziert werden, da solche, die ein quantitatives Type-Matcher Rating von < 100% haben nicht in die Ergebnismenge des 2. Schrittes einfließen. Die unten aufgeführten Tafeln zeigen die Auswirkung auf die ersten drei erwarteten Interfaces (TEI1 - TEI3).

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|-----------------|
| falsch | <i>mk</i> (29) | <i>mk</i> (140) |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 12: TMR_Quant Test-System TMR für TEI1

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|-----------------|
| falsch | <i>mk</i> (22) | <i>mk</i> (157) |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 13: TMR_Quant Test-System TMR für TEI2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|-----------------|
| falsch | <i>mk</i> (24) | <i>mk</i> (163) |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 14: TMR_Quant Test-System TMR für TEI3

Für die anderen erwarteten Interfaces (TEI4 - TEI6) kann durch diese Heuristik höchstens für den ersten Durchlauf eine eine Verbesserung erzielen. Die unteren Tafeln zeigen, dass sich diese Verbesserung signifikant nur auf das erwartete Interface TEI4 auswirkt.

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|----------------|
| falsch | <i>mk</i> (30) | <i>mk</i> (32) |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 15: TMR_Quant Test-System TMR für TEI4

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (30) | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 16: TMR_Quant Test-System TMR für TEI5

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------------|---------------|
| falsch | <i>mk</i> (31) | <i>mk</i> (2) |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 17: TMR_Quant Test-System TMR für TEI6

Ergebnisse TMR_Qual

Für die Heuristik TMR_Qual gibt es drei Aspekte, deren Konfiguration zu unterschiedlichen Ergebnissen führen kann:

1. Die Wahl des Basiswertes der einzelnen Type-Matcher
2. Die Ermittlung des akkumulierten qualitativen Type-Matcher Ratings einer Typ-Konvertierungsvariante
3. Die Ermittlung des akkumulierten qualitativen Type-Matcher Ratings einer Methoden-Konvertierungsvariante

Auswahl der Basiswerte

Die Basiswerte wurden bei den Untersuchungen konstant gelassen. Die konkreten Basiswerte, die für die Untersuchungen verwendet wurden, sind der Tabelle 2 zu entnehmen.

Die Werte bilden meiner Meinung nach die Wertigkeit der einzelnen Type-Matcher in Hinblick auf die Typisierung innerhalb der Sprache Java ab. So ist der ExactTypeMatcher, der nur zwei identische

Typen als übereinstimmend bewertet, mit dem niedrigsten Wert und damit der höchsten Qualität hinsichtlich TMR_Qual zu konfigurieren. Gleich dahinter folgt der GenSpecTypeMatcher, der Typen als übereinstimmend bewertet, wenn sie innerhalb der Sprache auch miteinander substituiert werden können. An dritter Stelle kommt meiner Meinung nach der WrappedTypeMatcher, da dieser immerhin eine vollständige Übereinstimmung von Typen fordert (auch wenn ein Typen innerhalb eines anderen enthalten ist), während der StructuralTypeMatcher lediglich einen Teil der deklarierten Methoden für eine Übereinstimmung fordert.

| Type-Matcher | Basiswert |
|-----------------------|-----------|
| ExactTypeMatcher | 100 |
| ExactTypeMatcher | 200 |
| WrappedTypeMatcher | 300 |
| StructuralTypeMatcher | 400 |

Tabelle 18: Type-Matcher mit Basiswerten

Auswahl des Akkumulationsverfahrens des Type-Matcher Ratings einer Typ-Konvertierungsvariante bzw. Methoden-Konvertierungsvariante

Das Akkumulationsverfahren für das qualitative Type-Matcher Rating einer Typ-Konvertierungsvariante TMR_{TK} ist von dem Type-Matcher Rating der verwendeten Type-Matcher abhängig. Das Akkumulationsverfahren für das qualitative Type-Matcher Rating einer Methoden-Konvertierungsvariante TMR_{MK} ist von dem qualitativen Type-Matcher Rating der verwendeten Type-Matcher für den Rückgabe- und den Parametertypen der Methode abhängig. Somit kann das qualitative Type-Matcher Rating als Funktion von einer Typ- bzw. Methoden-Konvertierungsvariante $tmr_{Qual}(v)$ beschrieben werden. Das Type-Matcher Rating der verwendeten Type-Matcher wird als Funktion $tmr_{Base}(m)$ beschrieben. Dabei stellt m den jeweiligen Type-Matcher dar. Die Funktion $tmr_{Base}(m)$ ist durch die Tabelle 2 definiert.

Für eine Menge von Type-Matcher m_1, m_2, \dots, m_i , die zur Erzeugung einer Typ-Konvertierungsvariante bzw. Methoden-Konvertierungsvariante v verwendet wurden, werden folgende Akkumulationsverfahren für das Type-Matcher Rating der Typ-Konvertierungsvariante bzw. Methoden-Konvertierungsvariante im weiteren Verlauf evaluiert:

1. Wahl des Durchschnitts

$$tmr_{Qual}(v) = \frac{\sum_{n=1}^i tmr_{Base}(m_n)}{i}$$

2. Wahl des Maximums

$$tmr_{Qual}(v) = \max(tm_{Base}(m_1), \dots, tm_{Base}(m_i))$$

3. Wahl des Minimums

$$tmr_{Qual}(v) = \min(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i))$$

4. Wahl des Durchschnitts aus Minimum und Maximum

$$tmr_{Qual}(v) = \frac{\min(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i)) + \max(tmr_{Base}(m_1), \dots, tmr_{Base}(m_i))}{2}$$

Die folgenden Abschnitte stellen eine Auswahl der Ergebnisse hinsichtlich der Kombinationen der oben genannten Akkumulationsverfahren dar. Die Ergebnisse von Kombinationen, deren Ergebnisse nicht dargestellt wurden, sind mit den Ergebnissen einer der dargestellten Kombinationen gleichzusetzen. An entsprechender Stelle wird darauf verwiesen.

An den Überschriften der folgenden Abschnitte ist abzulesen, welche Akkumulationsverfahren miteinander kombiniert wurden. Dabei haben die Überschriften die Form "Typ: T Methoden: M" wobei für "T" und "M" die Nummern der oben genannten Akkumulationsverfahren eingesetzt werden.

Typ: 1 Methoden: 2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|---------|
| falsch | mk(48) | mk(121) |
| richtig | 1 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|---------|
| falsch | mk(47) | mk(132) |
| richtig | 1 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|---------|
| falsch | mk(46) | mk(141) |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 19: TMR_Qual System TMR für TEI1 mit 1-2

Tabelle 20: TMR_Qual System TMR für TEI2 mit 1-2

Tabelle 21: TMR_Qual System TMR für TEI3 mit 1-2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|---------|
| falsch | mk(62) | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|---------|
| falsch | mk(60) | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|---------|
| falsch | mk(33) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 22: TMR_Qual System TMR für TEI4 mit 1-2 1. Durchlauf

Tabelle 23: TMR_Qual System TMR für TEI5 mit 1-2 1. Durchlauf

Tabelle 24: TMR_Qual System TMR für TEI6 mit 1-2 1. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|---------|------------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(1890)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 25: TMR_Qual System TMR für TEI4 mit 1-2 2. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|---------|------------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(1769)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 26: TMR_Qual System TMR für TEI5 mit 1-2 2. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|---------|-----------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(527)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 27: TMR_Qual System TMR für TEI6 mit 1-2 2. Durchlauf

Typ: 3 Methoden: 2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|-----------|
| falsch | $mk(49)$ | $mk(120)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 28: TMR_Qual System TMR für TEI1 mit 3-2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|-----------|
| falsch | $mk(49)$ | $mk(130)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 29: TMR_Qual System TMR für TEI2 mit 3-2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|-----------|
| falsch | $mk(48)$ | $mk(139)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 30: TMR_Qual System TMR für TEI3 mit 3-2

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|---------|
| falsch | $mk(62)$ | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 31: TMR_Qual System TMR für TEI4 mit 3-2 1. Durchlauf

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|---------|
| falsch | $mk(60)$ | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 32: TMR_Qual System TMR für TEI5 mit 3-2 1. Durchlauf

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|---------|
| falsch | $mk(33)$ | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 33: TMR_Qual System TMR für TEI6 mit 3-2 1. Durchlauf

| | | |
|---------|---------|------------|
| 2 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(1)$ | $mk(1890)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 34: TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 3-2 2. Durchlauf

| | | |
|---------|---------|------------|
| 2 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(1)$ | $mk(1769)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 35: TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 3-2 2. Durchlauf

| | | |
|---------|---------|-----------|
| 2 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(1)$ | $mk(527)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 36: TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 3-2 2. Durchlauf

Typ: 4 Methoden: 3

| | | |
|---------|----------|-----------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(52)$ | $mk(117)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 37: TMR_Qual Test-System TMR für TEI1 mit 4-3

| | | |
|---------|----------|-----------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(62)$ | $mk(117)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 38: TMR_Qual Test-System TMR für TEI2 mit 4-3

| | | |
|---------|----------|-----------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(62)$ | $mk(125)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 39: TMR_Qual Test-System TMR für TEI3 mit 4-3

| | | |
|---------|----------|---------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(62)$ | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 40: TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3 1. Durchlauf

| | | |
|---------|----------|---------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(60)$ | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 41: TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3 1. Durchlauf

| | | |
|---------|----------|---------|
| 1 | positiv | negativ |
| falsch | $mk(33)$ | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 42: TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3 1. Durchlauf

| 2 | positiv | negativ |
|---------|------------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (1891) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

| 2 | positiv | negativ |
|---------|------------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (1770) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

| 2 | positiv | negativ |
|---------|-----------------|---------|
| falsch | <i>mk</i> (528) | 0 |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 43: TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 mit 4-3 2. Durchlauf

Tabelle 44: TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 mit 4-3 2. Durchlauf

Tabelle 45: TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 mit 4-3 2. Durchlauf

Die Tabelle 46 zeigt durch die Markierung mit einem "x", welche Kombinationen der oben genannten Akkumulationsverfahren hinsichtlich der Testergebnisse mit denen gleichzusetzen sind, die oben ausführlich aufgeführt wurden. Die Kombinationen werden in der Tabelle ähnlich wie in den vorherigen Überschriften beschrieben. Die Notation "1-4" beschreibt die Kombination des 1. Akkumulationsverfahrens für die Typ-Konvertierungsvarianten und den 4. Akkumulationsverfahrens für die Methoden-Konvertierungsvarianten.

| Kombination | 1-2 | 3-2 | 4-3 |
|-------------|-----|-----|-----|
| 1-1 | x | | |
| 1-3 | | | x |
| 1-4 | x | | |
| 2-1 | x | | |
| 2-2 | x | | |
| 2-3 | | | x |
| 2-4 | x | | |
| 3-1 | | x | |
| 3-3 | | | x |
| 3-4 | | x | |
| 4-1 | x | | |
| 4-2 | x | | |
| 4-4 | x | | |

Tabelle 46: Kombinationen von Akkumulationsverfahren mit gleichen Ergebnissen

Aus diesen Ergebnissen lässt sich folgendes ableiten:

1. Das Akkumulationsverfahren Nummer 3. (Minimum) führt sowohl für die Typ- und Methoden-Konvertierungsvarianten zu schlechteren Ergebnissen als die anderen drei Akkumulationsverfahren. Es sollte daher für die Heuristik TMR_Quant nicht verwendet werden.
2. Die Ergebnisse von 1-2 und 3-2 unterscheiden sich nur geringfügig, obwohl bei 3-2 das Akkumulationsverfahren Nummer 3. zum Einsatz kam. Dies konnte auch bei anderen Kombinationen festgestellt werden, bei denen das 3. Akkumulationsverfahren für die Akkumulation

des Type-Matcher Ratings der Typ-Konvertierungsvariante verwendet wurde. Das lässt vermuten, dass die Beachtung des Type-Matcher Ratings einer ganzen Typ-Konvertierungsvariante weitgehend unerheblich für die Heuristik TMR_Quant ist, wenn das Type-Matcher Rating je Methoden-Konvertierungsvarianten über ein entsprechend gutes Akkumulationsverfahren ermittelt wurde. Dies ist jedoch darauf zurückzuführen, dass das Type-Matcher Rating je Methoden-Konvertierungsvariante die Parameter für die Ermittlung des Type-Matcher Ratings einer Typ-Konvertierungsvariante darstellen.

3. An den Ergebnissen zu den erwarteten Interfaces TEI4-TEI6 ist zu erkennen, dass die Heuristik TMR_Quant keinen Einfluss auf den 1. Durchlauf hat. Daraus kann geschlussfolgert werden, dass die Heuristik nur in dem Durchlauf einen Gewinn bringt, in dem auch eine passende benötigte Komponente gefunden werden kann.

Aufgrund der Ergebnisse stehen für die weitere Verwendung der Heuristik TMR_Qual mehrere Kombinationen von Akkumulationsverfahren zur Auswahl. Die Entscheidung fällt aufgrund der etwas geringeren Komplexität auf die Kombination 1-2.

TMR_Quant und TMR_Qual in Kombination

Bei der Kombination der beiden Heuristiken TMR_Quant und TMR_Qual ist vor allem für die erwarteten Interfaces TEI4-TEI6 eine weitere Verbesserung zu erwarten. Der Grund dafür ist, dass die Heuristik TMR_Qual keinen Einfluss auf den ersten Durchlauf des Explorationsalgorithmus für diese erwarteten Interfaces hat, die Heuristik TMR_Quant hingegen schon. Die Tabellen 47-55 zeigen wiederum die bekannten Vier-Felder-Tafeln für den jeweiligen Durchlauf und dem jeweiligen erwarteten Interface.

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|-----------|
| falsch | $mk(2)$ | $mk(167)$ |
| richtig | 1 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|-----------|
| falsch | $mk(2)$ | $mk(177)$ |
| richtig | 1 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|-----------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(186)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 47: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI1

+ Tabelle 48: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI2

+ Tabelle 49: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI3

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|----------|
| falsch | $mk(30)$ | $mk(32)$ |
| richtig | 0 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|---------|
| falsch | $mk(60)$ | 0 |
| richtig | 0 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|----------|---------|
| falsch | $mk(31)$ | $mk(2)$ |
| richtig | 0 | 0 |

Tabelle 50: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 1. Durchlauf

Tabelle 51: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 1. Durchlauf

Tabelle 52: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 1. Durchlauf

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|------------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(1890)$ |
| richtig | 1 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|------------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(1769)$ |
| richtig | 1 | 0 |

| 1 | positiv | negativ |
|---------|---------|-----------|
| falsch | $mk(1)$ | $mk(527)$ |
| richtig | 1 | 0 |

Tabelle 53: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI4 2. Durchlauf

Tabelle 54: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI5 2. Durchlauf

Tabelle 55: TMR_Quant + TMR_Qual Test-System TMR für TEI6 2. Durchlauf

Wie man diesen Ergebnissen zu erkennen ist, wird der Explorationsalgorithmus für eine Suche nach einer passenden benötigten Komponente für TEI1 und TEI2 lediglich für zwei angebotene Interfaces bzw. Typ-Konvertierungsvarianten durchlaufen. In Bezug auf TEI3 ist es sogar nur noch eine Typ-Konvertierungsvariante. Für diese erwarteten Interfaces erfüllen die Heuristiken die Erwartungen.

Bei der Betrachtung der Ergebnisse für die erwarteten Interfaces TEI4-TEI6 zeigt sich gut, wie sich die beiden Heuristiken gegenseitig ergänzen. So wirkt die Heuristik TMR_Quant grundsätzlich nur auf den ersten Durchlauf des Explorationsalgorithmus aus. Die Heuristik TMR_Qual hingegen erweist ihre Stärke erst in dem Durchlauf, in dem auch eine passende benötigte Komponente gefunden wird. Die Evaluationsergebnisse bestätigen also auch hier die Annahmen.

Im Allgemeinen kann festgehalten werden, dass die passenden benötigten Komponenten trotz der Kombination der beiden Heuristiken gefunden werden konnten. Die Reduktion der notwendigen Durchläufe des Explorationsalgorithmus ist jedoch hauptsächlich auf die Heuristik TMR_Qual zurückzuführen.

5.2 Heiß-System

Literaturverzeichnis

- [BNL⁺06] BAJRACHARYA, SUSHIL, TRUNG NGO, ERIK LINSTEAD, YIMENG DOU, PAUL RIGOR, PIERRE BALDI und CRISTINA LOPES: *Sourcerer: A Search Engine for Open Source Code Supporting Structure-Based Search*. In: *Companion to the 21st ACM SIGPLAN Symposium on Object-Oriented Programming Systems, Languages, and Applications*, OOPSLA '06, Seiten 681–682, New York, NY, USA, 2006. Association for Computing Machinery.
- [Hum08] HUMMEL, OLIVER: *Semantic Component Retrieval in Software Engineering*. Doktorarbeit, April 2008.
- [LLBO07] LAZZARINI LEMOS, OTAVIO AUGUSTO, SUSHIL KRISHNA BAJRACHARYA und JOEL OSHER: *CodeGenie: A Tool for Test-Driven Source Code Search*. In: *Companion to the 22nd ACM SIGPLAN Conference on Object-Oriented Programming Systems and Applications Companion*, OOPSLA '07, Seite 917?918, New York, NY, USA, 2007. Association for Computing Machinery.
- [ZW95] ZAREMSKI, AMY MOORMANN und JEANNETTE M. WING: *Signature Matching: A Tool for Using Software Libraries*. *ACM Trans. Softw. Eng. Methodol.*, 4(2):146?170, April 1995.