

Technische Universität Berlin
Fakultät IV (Elektrotechnik und Informatik)
Institut für Softwaretechnik und Theoretische Informatik
Fachgebiet Übersetzerbau und Programmiersprachen
Franklinstr. 28/29
10587 Berlin

Diplomarbeit

Integration von funktionalen Web-Client- und Server-Sprachen am Beispiel von SL und Scala

Tom Landvoigt, Matrikelnummer: 222115

9. Juli 2014, Berlin

Prüfer: Prof. Dr. Peter Pepper
Prof. Dr.-Ing. Stefan Jähnichen
Betreuer: Martin Zuber
Christoph Höger

Inhaltsverzeichnis

0.1. Einleitung	1
1. Einführung in Simple Language	2
2. Model Sharing	4
2.1. Typübersetzung	4
2.1.1. SL Typsystem	5
2.1.2. Scala Typsystem	5
2.1.3. Funktion $translate_{type}$	6
2.2. Darstellungsübersetzung	7
2.2.1. Übersetzung von primitiven Werten	8
2.2.2. Übersetzung von komplexen Werten	8
2.3. Erleuterung der Implementation	9
3. Scala Compiler Macros	11
3.1. Struktur des Projekts	11
3.2. Macro Annotation <code>sl_function</code>	11
3.2.1. Anforderungen an eine Funktion	12
3.2.2. SL-Modul	12
3.2.3. Hilfsfunktion	13
3.2.4. Ablauf eines Aufrufs	14
3.3. Def Macro <code>slci</code>	15
3.3.1. Statischen SL Code übersetzen	15
3.3.2. Scala Variablen in SL nutzen	16
3.3.3. Scala Funktionen in SL nutzen	17
4. Erweiterungen am SL-Compiler	19
4.1. Erweiterungen am MultiDriver	19
4.2. Überprüfung des Ergebnistyps von JavaScript (JS)-Quotings	20

5. Related Works	21
5.1. SL in Scala	21
5.2. Scala.js	21
5.3. KA wie die das nennen	21
6. Fazit	22
A. Anhänge	23
A.1. Future Works	23
A.2. Quellenverzeichnis	23
A.3. Bilderverzeichnis	23
A.4. Abkürzungsverzeichnis	23
A.5. Beschreibung der Tests und Beispielprogramme	23
A.5.1. Die Klasse OptionTranslator als Beispiel	23
A.6. Benutzte Techniken/Bibliotheken	26
A.7. HowTo's	27
A.7.1. Projekt aufsetzen	27
A.7.2. Einen neuen Translator anlegen	27

Abbildungsverzeichnis

2.1. Vererbungshierarchie einiger Scala Klassen [Unb09]	6
---	---

Tabellenverzeichnis

2.1. Die Funktion <i>translate_{type}</i>	7
2.2. Umfang der primitiven Datentypen in Scala und Simple Language (SL) (JS) [Ecm11, S. 28-30] [Ora11]	8
2.3. JS Darstellung des SL Typen People Char Bool	9
2.4. Übersetzung von Option Werten	9
3.1. Post Parameter der Ajax Anfrage	14
3.2. Benötigte JS-Bibliotheken	16

Listings

1.1. Beispielm modul	2
2.1. Beispielfunktion foo	4
2.2. Übersetzung von foo	4
2.3. Beispiele für selbst definierte Datentypen in SL	5
2.4. Option in SL und Scala	7
2.5. Beispiel eines selbstedefinierten Typs	9
2.6. Hauptfunktion in AbstractTranslator	10
2.7. Statische Hilfsfunktion in AbstractTranslator	10
3.1. Scala Beispielfunktion	12
3.2. SL-Modul factorial.sl zur Funktion aus Listing 3.1	13
3.3. Hilfsfunktion zur Funktion aus Listing 3.1	14
3.4. Beispielaufruf des slci-Makros in einer Play View	15
3.5. Beispielaufruf des slci Macros mit Scala Variablen	16
3.6. Erzeugter Scala-Code zum Listing 3.5	17
3.7. JS-Code zum Listing 3.5	17
3.8. Scala import-Anweisung für eine annotierte Funktion	18
4.1. Beispiel: JS-Quoting Monade	20
A.1. Source Code von OptionTranslator	24

Erklärung

Hiermit erkläre ich, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und eigenhändig sowie ohne unerlaubte fremde Hilfe und ausschließlich unter Verwendung der aufgeführten Quellen und Hilfsmittel angefertigt habe.

Berlin, den 9. Juli 2014

Unterschrift

0.1. Einleitung

Das World Wide Web ist ein integraler Bestandteil unseres Lebens geworden. Ein Großteil der Software mit der wir in Berührung kommen, benutzt Webseiten als Frontend. Deshalb muss sich jede moderne Programmiersprache daran messen lassen wie leicht es ist mit ihr Webprojekte zu erstellen. Daher bieten Java, Scala, Ruby und viele andere Programmiersprachen Frameworks an um schnell und einfach strukturierte Webprojekte zu erstellen. Ein gemeinsames Problem dieser Frameworks ist es, insbesondere mit dem aufkommen von Rich Internet Applications, das clientseitig Code ausgeführt werden muss. In diesem Bereich hat sich JS zum Quasistandard entwickelt¹. Dadurch ist man beim Schreiben von browserseitigen Funktionen auf die von den JS-Entwicklern bevorzugten Programmierparadigmen wie dynamische Typisierung festgelegt. Bei größeren Bibliotheken kann dies die Wartung und Weiterentwicklung erschweren.

Im Rahmen eines Projekts [BHL⁺13] an der TU-Berlin wurde die typischere funktionale Sprache SL entwickelt die nach JS compiliert. Andererseits wurde Mitte 2013 durch die Einführung von compiler makros [Bur13] die Metaprogrammierung innerhalb von Scala erheblich vereinfacht.

Im Rahmen eines Papers [HZ13] wurde gezeigt, das es möglich ist mit Hilfe von Compilermakros statischen SL Code inline in Scala zu benutzen. Dazu wurde eine Beispielanwendung im Play Framework geschrieben [Pla]. Diese Einbettung sollte im Zuge dieser Diplomarbeit erweitert werden. Es ist nun möglich Scala Funktionen und Werte in einem gewissen Rahmen automatisch zu übersetzen und typischer im SL Code zu benutzen.

Für das Verständnis der Diplomarbeit werden Kenntnisse im Bereich funktionaler Programmierung sowie Grundlagen in den Sprachen Scala und JS vorausgesetzt.

¹Es gibt weitere Alternativen wie Java oder Flash, die aber Browserplugins voraussetzen.

1. Einführung in Simple Language

Mitte 2013 wurde SL als einfache funktionale Lehrsprache für den Studienbetrieb der TU-Berlin entwickelt. Im Rahmen des Compilerbauprojekts im Sommersemester 2013 wurde SL von den Studierenden um die Möglichkeit der Modularisierung erweitert [BJLP13]. SL ist eine strikt getypte funktionale Sprache.

Ein SL Programm besteht aus einer Menge von Modulen. Ein Modul ist eine Textdatei mit der Endung '.sl'. In ihm können Funktionen und Typen definiert werden. Durch die Übersetzung eines SL Moduls werden zwei Dateien erzeugt. Die Datei mit der Endung '.ls.js' enthält den ausführbaren JavaScript-Code. Die zweite Datei mit der Endung '.signature' enthält Informationen darüber welche Funktionen und Datentypen in anderen Modulen verwendet werden können. Das Modul prelude.sl beschreibt alle vordefinierten Funktionen und Datentypen und wird in alle Programme eingebunden.

Der Syntax soll hier nur Beispielhaft beschrieben werden.

Listing 1.1: Beispielmodul

```
1  -- Kommentar
2
3  IMPORT "std/basicweb" AS Web [1.]
4  IMPORT EXTERN "foo/_bar"
5
6  DATA StringOrOther a = Nothing | StringVal String | OtherVal a [4.]
7
8  PUBLIC FUN getOtherOrElse : StringOrOther a -> a -> a [2.]
9  DEF getString (OtherVal x) y = x
10 DEF getString x y = y
11
12 PUBLIC FUN main : DOM Void [3.]
13 DEF main = Web.alert(intToString (getOtherOrElse(exampleVar, 3)))
14
15 FUN exampleVar : StringOrOther Int
16 DEF exampleVar = OtherVal 5
```

17

18 `FUN getDocumentHight : DOM Int`

19 `DEF getDocumentHight = {| window.outerHeight |} : DOM Int`

1. Mit `IMPORT "<Pfad>" AS <Bezeichner>` können Module nachgeladen werden. Typen und Funktionen die aus Fremdmodulen benutzt werden müssen mit dem `<Bezeichner>` qualifiziert werden. Ein Beispiel dafür ist `Web.alert(...)`.
Mit `IMPORT EXTERN` können JS-Quelldateien eingebunden werden. In diesem Fall würde der Inhalt der Datei `_bar.js` im Ordner `foo` an den Anfang des Kompilats kopiert werden.
2. Die optionale Typdefinition einer Funktion kann mit `FUN <Funktionsname> : <Typ>` angegeben werden. Wenn ein `PUBLIC` vorgestellt wird, ist die Funktion auch außerhalb des Moduls sichtbar. Darauf folgen eine oder mehrere pattern basierte Funktionsdefinition der Form `DEF <Funktionsname> = <Funktionsrumpf>`.
3. Ein Spezialfall bildet die Funktion `main`. Sie bildet den Einstiegspunkt in ein SL Programm. Sie hat den festen Typ `DOM Void`. `DOM a` und `Void` sind einige der Vordefinierten Typen. `Void` bezeichnet den leeren Typen, also keinen Rückgabewert. `DOM a` ist der Typ der JS-quoating Monade. Mit ihr können JS Snippets in SL eingebunden werden (Beispiel: `{| window.outerHeight |} : DOM Int`). Weiter vordefinierte Typen sind `Char` und `String` um Zeichen(ketten) darzustellen, sowie `Int` für ganzzahlige Werte und `Real` für Gleitkommazahlen. Der letzte vordefinierte Typ ist `Bool` für boolesche Werte.
4. Mit `DATA <Typname> [<Typparameter> ...] = <Konstruktor> [<Typparameter> ...] | ...` können eigene Typen definiert werden. Wie wir Scala Typen und Werte nach SL und zurück übersetzen wird Stoff des nächsten Kapitels (2) sein.

SL bietet noch weitere Eigenschaften wie Lambdafunktionen, benutzerdefinierte Operatoren und 'LET IN'-Ausdrücke, diese sind aber nicht für das Verständnis der Diplomarbeit relevant. Bei Interesse kann eine vollständige Beschreibung der Sprache im Report des Compilerbauprojekts [BJLP13] nachgelesen werden.

2. Model Sharing

Im Zuge dieser Arbeit sollten Scala-Werte und -Funktionen in SL eingebettet werden. Dazu muss einem Scala Typ ein SL Typ zugeordnet werden. Betrachten wir dazu die Scala Funktion `foo` im Listing 2.1.

Listing 2.1: Beispielfunktion `foo`

```
1 def foo( i: Float ): Double = {...}
```

Für die Typen `Float` und `Double` müssen wir ihre SL-Entsprechung finden. Um die Implementation zu vereinfachen setzen wir voraus, das jedem Scala Typ genau ein SL-Typ zugeordnet wird. Andernfalls müssten wir für alle möglichen Permutationen einen SL-Funktionsrumpf erstellen. Bei eingebetteten Scala Werten müsste der SL-Code analysiert werden, um die passende Übersetzung zu finden¹. Wir erhalten die partielle Funktion $translate_{type}(Type_{Scala}) = Type_{SL}$. Diese wird in Abschnitt 2.1.3 behandelt.

Haben wir einen passenden Typen gefunden, müssen auch die Werte in einander überführt werden. Dies sollte eine bijektive Abbildung sein. Das dies nicht immer möglich ist, wird in Abschnitt 2.2 behandelt.

Für `Float` und `Double` ist der SL Typ `Real` die semantisch beste Wahl. Im Ergebnis erhalten wir schematisch die Funktion `sl_foo` aus Listing 2.2.

Listing 2.2: Übersetzung von `foo`

```
1 FUN sl_foo : Real -> Real
2 DEF sl_foo p0 = double_to_real (call_via_ajax (foo (real_to_float p0) ) )
```

2.1. Typübersetzung

In den nächsten Abschnitten wird die Typübersetzung betrachtet. Also welche Scala Typen mit welchen SL Typen assoziiert werden. Dazu werden die beiden Typsysteme

¹Das ist keine besonders große Einschränkung, da wie wir später sehen werden, das das Typsystem von SL sehr einfach ist und dadurch viele Scala-Typen auf ein und den selben SL Typen abgebildet werden.

kurz erläutert und dann die Funktion *translate_{type}* näher beschrieben.

2.1.1. SL Typsystem

Das Typsystem von SL ist (entsprechend seines Anspruches als Lehrsprache) sehr einfach. Es gibt eine Reihe von vordefinierten Typen `Int`, `Real`, `Char`, `String`, `Bool` und `Void` sowie den Typ der JS-Quoting Monade `DOM a`². Mit dem Stichwort `DATA` können eigene Konstruktor-/Summentypen definiert werden [PH07, S. 123].

Listing 2.3: Beispiele für selbst definierte Datentypen in SL

```
1  -- Summentyp
2  DATA Fruits = Apple | Orange | Plum
3
4  -- Konstruktortyp
5  DATA CycleKonst = Cycle Int Int
6
7  -- Mischung aus Konstruktor- und Summentyp mit Typvariablen
8  DATA Either a b = Left a | Right b
```

2.1.2. Scala Typsystem

Das Scala Typsystem in Gänze zu erklären würde den Rahmen dieser Arbeit bei weitem sprengen [Ode13]. Im Rahmen dieser Arbeit wurden nur einige wenige vordefinierte Typen übersetzt.

Scala ist strikt Objektorientiert. Es kennt keine primitiven Typen. Alle Typen sind Objekte, aber es gibt vordefinierte Objekttypen die den primitiven Datentypen von Java zugeordnet werden können [Pag13]. Im Folgenden werden die Typen `Byte`, `Short`, `Int`, `Long`, `Float`, `Double`, `Boolean`, `Char`, `String` und `Unit` trotzdem als die primitiven Typen von Scala bezeichnet. Die Vererbungshierarchie einiger vordefinierter Objekttypen kann dem Bild 2.1 entnommen werden.

Es gibt in Scala, Konstrukte, die den selbst definierten Typen aus SL sehr ähnlich sind. Das wird anschaulich am Beispiel von `Option` (siehe Listing 2.4). Es wurden aber auch andere vordefinierte Typen wie `Seq[A]` übersetzt, deren innere Struktur sich stark von ihrem SL Äquivalent `List a` unterscheiden.

²Typen werden groß geschrieben, Typvariablen klein. `DOM a` steht also zum Beispiel für `DOM Void`, `DOM Int` usw.

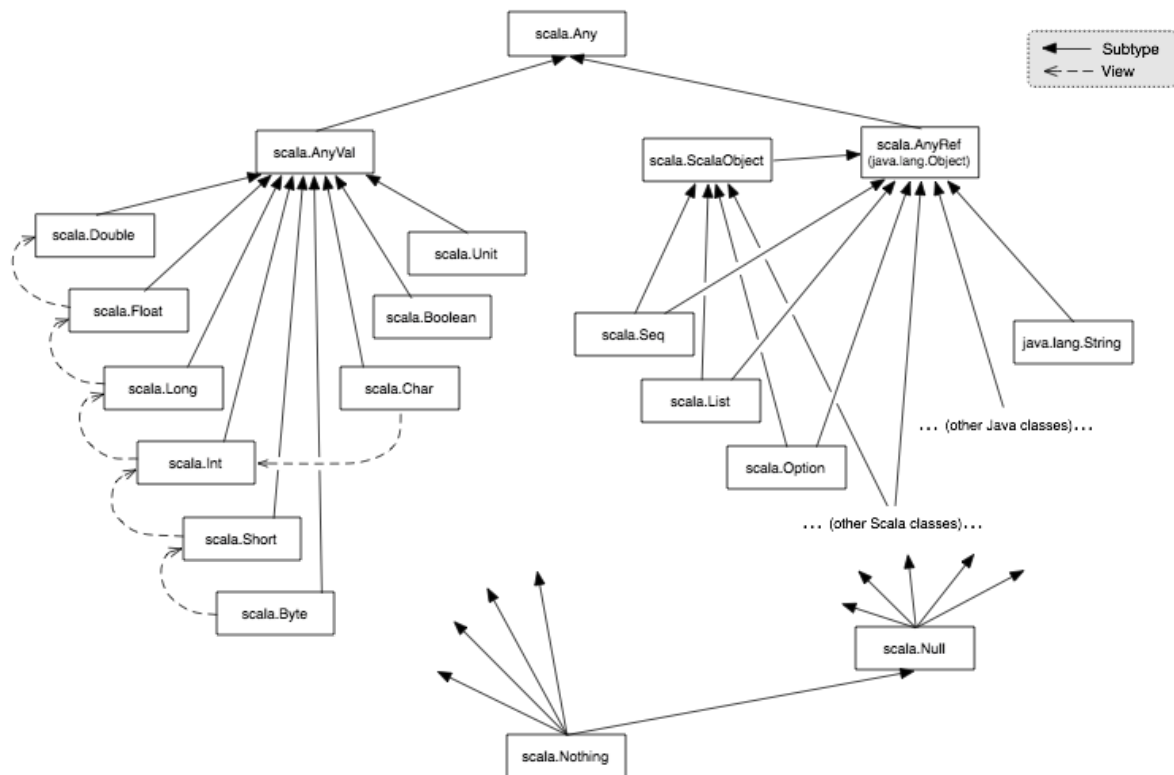


Abbildung 2.1.: Vererbungshierarchie einiger Scala Klassen [Unb09]

2.1.3. Funktion $translate_{type}$

Bei der Wahl eines SL Partnertyps für einen Scala Typ sollte auf zwei Bedingungen geachtet werden:

1. Die Typen sollten semantisch ähnlich sein.
2. Es sollte eine semantisch sinnvolle bijektive Abbildung zwischen den Werten der beiden Typen existieren.

Wie wir im Abschnitt 2.2 sehen werden, wird die zweite Bedingung für einige primitiven Datentypen von Scala verletzt. Insbesondere für die ganzzahligen Primitiven kann sie nicht eingehalten werden. Da dadurch eine entsprechende Fehlerbehandlung unumgänglich wurde und um die Bedienung zu erleichtern wurden die Fließkommaprimitiven mit `Real` und die ganzzahligen Primitiven mit `Int` assoziiert.

Bei generischen Datentypen wie `Seq[A]` folgt aus den oben genannten Bedingungen, dass die Anzahl der Typparameter der Partnertypen gleich sein sollte. Wenn ein generischer Datentyp übersetzt werden soll, wird versucht die Typparameter rekursiv zu übersetzen. Ist dies möglich kann auch der gesamte Typ übersetzt werden. Also

Listing 2.4: Option in SL und Scala

```

1 Option in SL:
2 PUBLIC DATA Option a = Some a | None
3
4 Option in Scala:
5 sealed abstract class Option[+A] ... { ... }
6
7 final case class Some[+A](x: A) extends Option[A] { ... }
8
9 case object None extends Option[Nothing] { ... }

```

Tabelle 2.1.: Die Funktion $translate_{type}$

Scala Typ	SL Typ	Scala Typ	SL Typ
Float	Real	Char	Char
Double			
Byte	Int	Boolean	Bool
Short			
Int		Unit	Void
Long			
String	String		
Seq[A]	List a	Option[A]	Option a

`Seq[Option[Long]]` würde zu `List Option Int` übersetzt werden. Eine vollständige Auflistung von $translate_{type}$ findet sich in Tabelle 2.1.

2.2. Darstellungsübersetzung

Wie bereits in der Einführung dieses Kapitels erwähnt, wählen wir die Wertübersetzungsfunktionen anhand des Scala Typs. Da SL nach JS kompiliert muss ein Scala Wert entsprechend seines Typs in eine passende JS Darstellung übersetzt werden. Für die Gegenrichtung, also SL nach Scala gilt dies analog.

Tabelle 2.2.: Umfang der primitiven Datentypen in Scala und SL (JS) [Ecm11, S. 28-30] [Ora11]

SL	JS Darstellung	Scala
Int	Number ³ $[-2^{53} + 1, 2^{53} - 1]$	Byte $[-128, 127]$
Int	Number $[-2^{53} + 1, 2^{53} - 1]$	Short $[-2^{15}, 2^{15} - 1]$
Int	Number $[-2^{53} + 1, 2^{53} - 1]$	Int $[-2^{31}, 2^{31} - 1]$
Int	Number $[-2^{53} + 1, 2^{53} - 1]$	Long $[-2^{63}, 2^{63} - 1]$
Real	Number (IEEE 754 64-Bit)	Float (IEEE 754 32-Bit)
Real	Number (IEEE 754 64-Bit)	Double (IEEE 754 64-Bit)
Bool	Boolean <i>true</i> , <i>false</i>	Boolean <i>true</i> , <i>false</i>
Char	String (Länge 1) (16-Bit)	Char (16-Bit)
String	String ⁴ (maximale Länge: ?)	String (maximale Länge: ?)

2.2.1. Übersetzung von primitiven Werten

Vor allem bei der Übersetzung von Primitiven existiert das Problem der unterschiedlichen Wertebereiche. Man kann zwar jeden Wert des Scala Typs `Byte` in einen Wert des SL Typs `Int` übersetzen, aber nicht umgekehrt. In der Tabelle 2.2 werden die Wertebereiche für primitive Typen aufgelistet. Kann ein Wert von einer Darstellungsform nicht in die andere Darstellungsform umgewandelt werden muss dieser Fehler behandelt werden (siehe Abschnitt 2.3).

Bei den ganzzahligen Primitiven fällt auf, das für den Wertebereich gilt:

$$|\text{Int}| < |\text{Number}| < |\text{Long}|$$

2.2.2. Übersetzung von komplexen Werten

Bei nicht primitiven Werten ist mehr Aufwand nötig. Dafür müssen wir zunächst die JS-Darstellung von selbst definierten SL Typen verstehen⁵.

⁶Alle Zahldatentypen werden in JS durch den primitiven Number Datentyp dargestellt. Dies ist eine Gleitkommazahldarstellung nach dem IEEE 754 Standard mit einer Breite von 64 Bit. In dieser Darstellung können Ganzzahlwerte von $-2^{53} + 1$ bis $2^{53} - 1$ korrekt dargestellt werden.

⁴Die maximale Länge von Strings in JS und Scala ist Implementationsabhängig.

⁵Das beschriebene Schema wurde aus dem SL Compiler generierten Code abgeleitet. Es ist nicht dokumentiert.

Listing 2.5: Beispiel eines selbstdefinierten Typs

```
1 DATA People a b = Alice | Bob Int | Cesar a b | Octavian
```

Die einzelnen Konstruktoren erhalten entsprechend ihrer Reihenfolge eine `_cid` beginnend bei 0. Hat ein Konstruktor keine Parameter, wird er nur durch seine `_cid` dargestellt. Andernfalls wird ein Objekt erzeugt. Dies besitzt das Attribut `_cid` sowie entsprechend der Anzahl der Parameter Attribute die von `_var0` bis `_varN` benannt sind. Die JS Darstellung von dem Beispieltyp aus Listing 2.5 findet sich in der Tabelle 2.3.

Tabelle 2.3.: JS Darstellung des SL Typen `People Char Bool`

SL	JS Darstellung
<code>Alice</code>	<code>0</code>
<code>Bob 42</code>	<code>{ "_cid" => 1, "_var0" => 42 }</code>
<code>Cesar "a" true</code>	<code>{ "_cid" => 2, "_var0" => "a", "_var1" => true }</code>
<code>Octavian</code>	<code>3</code>

An Hand dieses Schemas können wir nun eine Darstellungsübersetzung für den Scala Typ `Option` (siehe Listing 2.4) erzeugen:

Tabelle 2.4.: Übersetzung von Option Werten

Scala	JS Darstellung	SL
<code>Option[Int]</code>		<code>Option Int</code>
<code>Some(15)</code>	<code>{ "_cid" => 0, "_var0" => 15 }</code>	<code>Some(15)</code>
<code>None</code>	<code>1</code>	<code>None</code>

2.3. Erleuterung der Implementation

Die Paare der Funktion `translatetype` werden durch Klassen, die von `AbstractTranslator` erben, dargestellt. Sie sind nach dem jeweiligen Scala Typen den sie übersetzen benannt⁶. Ihre Hauptfunktion ist `translate` (siehe Listing 2.6). Ihr wird ein Scala Typ übergeben. Wenn der übergebene Scala Typ der Klasse entspricht erhält man als Rückgabewert den entsprechenden SL Typen, die Import Statements um die entsprechenden SL Module zu laden⁷ sowie die Abstract Syntax Tree (AST)-Repräsentation der Wertübersetzungsfunktionen von Scala nach SL und umgekehrt. Andernfalls wird `None` zurückgegeben.

⁶zB. `SeqTranslator`

⁷Bei primitiven SL Typen sind diese leer. Für den SL Typ `List.List Opt.Option Int` würde `IMPORT "std/option" AS Opt, IMPORT "std/list" AS List` zurück gegeben werden.

Listing 2.6: Hauptfunktion in AbstractTranslator

```
1 def translate
2   ( context: MacroCtxt )
3   ( input: context.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
4 : Option[( String,
5           Set[String],
6           context.Expr[Any => JValue],
7           context.Expr[JValue => Any] )]
```

Weitere Parameter sind `context` und `translators`. `context` ist der Makro Kontext⁸. Er wird benötigt um ASTs aufzubauen und den übergebenen Typen zu prüfen. Mit `translators` wird der Teil von *translate_{type}* übergeben mit denen Spezialisierungen eines generischen Typs übersetzt werden können.

Möchte man einen Scala Typ nicht nur gegen eine Klasse prüfen kann man die Hilfsfunktion `useTranslators` aus dem companion object von `AbstractTranslator` nutzen.

Listing 2.7: Statische Hilfsfunktion in AbstractTranslator

```
1 def useTranslators
2   ( context: MacroCtxt )
3   ( input: context.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
4 : Option[( String,
5           Set[String],
6           context.Expr[Any => JValue],
7           context.Expr[JValue => Any] )]
```

`translators` gibt hier an welchen Teil der Funktion *translate_{type}* man nutzen möchte⁹.

Die Wertübersetzungsfunktionen haben die Signatur `Any => JValue` bzw. `JValue => Any`. `JValue` ist Teil der `json4s` Bibliothek `[Jso]`, die benutzt wird um JS Werte zu erzeugen. Insbesondere übernimmt sie in der aktuellen Implementation die Übersetzung der primitiven Werte.

In Anhang A.5.1 kann eine kommentierte Variante des `OptionTranslators` eingesehen werden.

⁸siehe Kapitel 3

⁹`translators` wird in diesem Fall auch für die Spezialisierungen von generischen Typen benutzt.

3. Scala Compiler Macros

Wie bereits erwähnt wurde, konnte in einem Paper der Technischen Universität Berlin gezeigt, das man mit Hilfe von Compiler Macros statischen SL Code in die Views von Play-Anwendungen einbetten kann [HZ13]. Mit der Erweiterung von SL durch ein Modul-System musste dieses Makro komplett neu geschrieben werden.

Es blieb aber ein grundsätzliches Problem erhalten. Wie kann der generierte JS-Code auf das Serverumfeld wie Datenbanken, Session oder Benutzerdaten zugreifen. In herkömmlichen Anwendungen gibt es zwei Lösungen dafür: Entweder man bindet die Daten direkt in den Quellcode der einzelnen Webseite ein oder lädt sie mit Hilfe von Ajax nach. In der aktuellen Version von SL kann man Scala-Werte direkt im SL Code benutzen und Daten über übersetzte Scala Funktionen nachladen bzw. verändern.

3.1. Struktur des Projekts

Um Scala Funktionen für die Verwendung in SL-Code zu markieren wurden die macro annotation `sl_function` geschrieben, welche im Abschnitt 3.2 behandelt wird. Im darauf folgenden Abschnitt 3.3 wird beschrieben, wie statischer SL Code eingebunden wird und welchen Veränderungen gemacht werden mussten um Scala Werte und Funktionen benutzen zu können. Beide Makros binden den Trait `MacroConfig` ein, in dem grundsätzliche Konfigurationen definiert sind.

Zur Übersetzung der Typen und Werte, werden die Hilfsfunktionen aus `AbstractTranslator` und `AbstractModuleTranslator` genutzt.

3.2. Macro Annotation `sl_function`

Mit macro annotations kann in den Übersetzungsprozess von Scala eingegriffen werden [Burb]. Es ist möglich den annotierten Code zu verändern¹. Mit dem geschriebenen

¹Es können Funktionen, Klassen, Objekte, Typparameter oder Funktionsparameter annotiert werden.

Makro können nur Funktionen annotiert werden. Für jede Funktion wird eine Hilfsfunktion und ein SL-Modul erzeugt. Die Hilfsfunktion soll den Aufruf im Rahmen von ajax requests erleichtern. Das SL-Modul ermöglicht es diesen Aufruf typischer in SL-Programme einzubinden. Beispielhaft wird dieser Prozess anhand der im Listing 3.1 beschriebenen Funktion `factorial` betrachtet.

Listing 3.1: Scala Beispielfunktion

```
1 -- Foo.scala
2 package example
3
4 object Foo {
5     @sl_function def factorial( i: Int ): Long = {...}
6 }
```

3.2.1. Anforderungen an eine Funktion

Die zu übersetzende Funktion muss gewisse Anforderungen erfüllen. Wenn wir sie im Rahmen von ajax requests benutzen wollen, muss sie statisch aufrufbar sein, also:

- Sie muss in einem Objekt definiert sein.
- Ihre Signatur darf keine Typparameter enthalten.
- Die Funktion darf nicht als `private` oder `protected` markiert sein.

Ander Anforderungen ergeben sich aus der Implementation bzw. wurden getroffen um die Implementation zu erleichtern:

- Die Funktion muss einen Rückgabetypp definieren.
- Sie darf nur eine Parameterliste haben²
- Die Ein- und Ausgangstypen müssen sich in SL-Typen übersetzen lassen.
- Der Funktionsname darf keine ungewöhnlichen Zeichen enthalten³

3.2.2. SL-Modul

Für jede annotierte Funktion wird ein Modul erstellt. Das Modul enthält zwei Funktionen. Jeweils für den asynchronen und synchronen Aufruf der Scala-Funktion über Ajax.

²In der aktuellen Implementation werden die Default-Werte eines Parameters ignoriert. Eine entsprechende warning wird erzeugt.

³Da sich der Name der Funktion im Name und Pfad des erzeugten Moduls widerspiegelt, sind nur die Zahlen von 0 bis 9 sowie kleine Buchstaben von a bis z erlaubt. Ähnliche Einschränkungen gelten für die übergeordneten Pakete sowie den Namen des Objekts in dem die Funktion definiert ist.

Das Ergebnis wird in `Option` gekapselt, um auf Fehler in der Kommunikation mit dem Server reagieren zu können. Das Erzeugen der Ajax Anfrage und das Behandeln des Ergebnisses passiert in den JS-Funktionen `_sendRequestSync()` und `sendRequestAsync()`. Diese Funktionen sind in der JS-Bibliothek `std/_scalafun.js` definiert. Weiterhin enthält das Modul in Kommentaren den Namen der aufgerufenen Funktion sowie den voll qualifizierten Namen des Objektes in dem die Funktion definiert ist. Diese Informationen werden gebraucht um Abhängigkeiten zwischen der Scala Funktion und ihrer Benutzung in SL-Code aufzulösen. Genauer wird dies im Kapitel 3.3 beschrieben. Das Modul wird direkt nach dem erstellen kompiliert.

Listing 3.2: SL-Modul `factorial.sl` zur Funktion aus Listing 3.1

```

1  -- DO NOT ALTER THIS FILE! -----
2  -- cp: example.Foo
3  -- fn: factorial
4  -- -----
5  -- this file was generated by @sl_function macro -----
6  -- on 20-06-2014 -----
7  IMPORT EXTERN "std/_scalafun"
8  IMPORT "std/option" AS Opt
9
10 -- this functions should call the scala function:
11 -- callable_functions.Examples.factorial
12 PUBLIC FUN factorialSync : Int -> DOM ( Opt.Option (Int) )
13 DEF factorialSync p0 = {| _sendRequestSync( ... ) ($p0) |}
   : DOM ( Opt.Option (Int) )
14
15 PUBLIC FUN factorialAsync : ( Opt.Option (Int) -> DOM Void )
   -> Int -> DOM Void
16 DEF factorialAsync callbackFun p0 = {| _sendRequestAsync( ... )
   ($callbackFun, $p0) |} : DOM Void

```

3.2.3. Hilfsfunktion

Um den Aufruf mit Ajax Anfragen zu erleichtern wird eine Hilfsfunktion definiert. Sie kapselt die eigentliche Scala Funktion. Sie erhält die Parameter als `JValue`. Die Parameter werden mit Hilfe der Funktionen aus den Translator Klassen in Scala Werte übertragen und dann auf die passenden Typ gecasted. Anschließend wird mit ihnen die eigentlich Funktion aufgerufen. Das Ergebnis wird in ein `JValue` Wert umgewandelt und zurückgegeben.

Listing 3.3: Hilfsfunktion zur Funktion aus Listing 3.1

```
1 -- Foo.scala
2 package example
3
4 object Foo {
5     @sl_function def factorial( i: Int ): Long = {...}
6
7     def factorial_sl_helper( p1: org.json4s.JValue ) : org.json4s.JValue = {
8         scala_to_sl(factorial(sl_to_scala(p1)))
9     }
10 }
```

3.2.4. Ablauf eines Aufrufs

Betrachten wir nun den Aufrufprozess einer Funktion im Ganzen am Beispiel der Funktion `factorialSync` aus dem Listing 3.2. Folgende Schritte werden durchlaufen:

1. Aufruf der Funktion `factorialSync` 5 im SL-Code
2. Aufruf der JS-Funktion `(_sendRequestSync("\ajax", "example.Foo", "factorial")) (5)`.
Es werden der Uniform Resource Locator (URL) des Ajax-Handlers, der voll qualifizierte Name des Objekts und der Funktionsname übergeben. In einem zweiten Schritt wird der eigentliche Parameter (SL-Codiert) übergeben.
3. Die SL-Parameter werden mit Hilfe der Bibliothek `json.js` [Cro10] in einen JSON String umgewandelt und mit Funktions- und Objektname als Anfrage an die Adresse des Ajax-Handlers geschickt (siehe Tabelle 3.1).
4. Der Ajax-Handler wandelt die Funktionsparameter (5) in `JValue` Werte um [Jso] und ruft dann über reflection die Hilfsfunktion `factorial_sl_helper` auf. Das Ergebnis (120) des Aufrufs wird als JSON String zurück an den Client gesendet.
5. Ist die Anfrage an den Server erfolgreich wird `Some(120)` zurückgegeben, andernfalls `None`.

Tabelle 3.1.: Post Parameter der Ajax Anfrage

Parametername	Inhalt
<code>object_name</code>	Voll qualifizierter name des Objekts
<code>function_name</code>	Name der Funktion
<code>params</code>	JSON encodierte Liste der übergebenen Parameter

3.3. Def Macro slci

Bis jetzt kann man nur Funktionen markieren. Nun soll SL benutzt werden um JS-Code zu generieren und ihn auf Benutzerseite zu verwenden. Dazu wurde das `slci` Makro neu geschrieben und erweitert. Im Laufe der nächsten Abschnitte vollziehen wir die Entwicklungsschritte des Makros nach.

Mit `def macros` kann während des Übersetzungsprozesses von Scala in den Code eingegriffen werden [Bura]. Der Aufruf solch eines Makros verhält sich wie eine Funktion, nur dass das Makro die ASTs der Parameter übergeben bekommt und einen AST liefert der den Aufruf des Makros ersetzt. Listing 3.4 enthält einen beispielhaften Aufruf des `slci`-Makros.

Listing 3.4: Beispielaufruf des `slci`-Makros in einer Play View

```
1 -- Example.scala.html
2 ...
3 <script type="text/javascript">@{
4   Html(slci(
5     ""
6     PUBLIC FUN main : DOM Void
7     DEF main = ...
8     ""
9   ))}
10 </script>
11 ...
```

3.3.1. Statischen SL Code übersetzen

Mit der Entwicklung eines Modulsystems für SL musste das Einbetten von statischem Code neu geschrieben werden [BJLP13]. Die erste Version des `slci` Makros nutzte eine Version von SL die JS Code erzeugt. Im Laufe des Studentenprojekts wurde davon Abstand genommen. Das Ergebnis der Übersetzung sind JS-Dateien, die mit Hilfe von `require.js` in Webseiten eingebettet werden [Req].

Entsprechend wird jetzt vom `slci` Makro ein SL-Modul erzeugt. Die Datei wird entsprechend des Ortes an dem `slci` aufgerufen wird benannt:

`<Dateiname>.<Zeilennummer>.sl`

Wenn diese Datei übersetzt werden kann, wird sie mit `require.js` eingebunden, dass dann die `main`-Funktion des Moduls aufruft. Andernfalls wird ein Übersetzerfehler erzeugt.

Neben `require.js` müssen noch andere JS-Bibliotheken geladen werden. Möchte man SL-Code in einer Webseite benutzen, müssen alle Bibliotheken, die in Tabelle 3.2 aufgelistet sind, eingebunden werden.

Tabelle 3.2.: Benötigte JS-Bibliotheken

<code>jquery-1.9.0.min.js</code>	Erleichtert Ajax-Anfragen. Wird vom <code>sl_function</code> -Markro benötigt [The].
<code>sl_init.js</code>	Initialisiert die globale Variable <code>s1</code> und konfiguriert <code>require.js</code> . Muss vor <code>require.js</code> geladen werden.
<code>require.js</code>	Wird benötigt um SL-Module nach zu laden [Req].
<code>json.js</code>	zum Umwandeln von JS Werten in ihre JSON-Repräsentation und zurück. Siehe Abschnitt 3.2.4 [Cro10].

3.3.2. Scala Variablen in SL nutzen

Als nächstes wurde die Verwendung von Scala-Variablen in SL-Code implementiert. Anhand des Beispiels im Listing 3.5 werden die dafür nötigen Schritte erklärt.

Listing 3.5: Beispielaufruf des `slci` Macros mit Scala Variablen

```

1  slci (
2  ""
3  IMPORT "std/option" AS Option
4  ...
5  FUN foo : Option.Option Int
6  DEF foo = $s
7  ...
8  "",
9  Some(3)
10 )

```

Die zu ersetzende Stelle wird durch einen Platzhalter (`$s`) markiert. Der $n+1$ -te Parameter von `slci` wird dem n -ten Platzhalter zugeordnet. Falls die Anzahl der Parameter ungleich der Anzahl der Platzhalter ist, werden Warnings oder Errors erzeugt.

Daraufhin werden die `IMPORT`-Anweisungen analysiert und die entsprechenden Translator-Klassen geladen⁴. Die von der Makro-API bestimmten Typen⁵ der Parameter werden

⁴Translator-Klassen die in Standardtypen von SL übersetzen, werden immer geladen. Für `IMPORT "std/option" AS Modulalias` würde die Instanz `new OptionTranslator("Modulalias")` erzeugt werden.

⁵Manchmal muss man den Typ annotieren. Das Literal 5 hat den Typ `Int(5)` und nicht `Int`. Man schreibt also `5:Int`.

dann mit den zur Verfügung stehenden Translator-Klassen übersetzt. Wenn alle Typen übersetzt werden konnten, werden die Platzhalter durch JS-Quotings ersetzt, die auf globale Variablen zugreifen. Im Beispiel aus Listing 3.5 würde `$s` durch `{| sl['5a40c735438fd9e1fd43657bd7f8564scalaParam1'] = %s;` ersetzt werden. Der so erzeugte SL-Code wird dann, wie im Abschnitt 3.3.1 beschrieben, übersetzt. Listing 3.6 enthält den vom Makro erzeugte Scala-Code.

Listing 3.6: Erzeugter Scala-Code zum Listing 3.5

```

1 {
2   ""
3   require(...);
4   // transformed scala variables
5   sl['5a40c735438fd9e1fd43657bd7f8564scalaParam1'] = %s;
6   """.format( compact( render( scala_to_sl( Some(3) ) ) ) )
7 }

```

Die Parameter werden, mit den von den Translator-Klassen erzeugten Übersetzungsfunktionen, in SL-Werte übersetzt. Da sie zuerst als `JValue`-Objekte vorliegen müssen sie noch in JS-Code überführt werden. Im Listing 3.7 findet sich der nach einem Aufruf der Webseite erzeugte JS-Code.

Listing 3.7: JS-Code zum Listing 3.5

```

1 require(
2   [ "generated_inline/example.template.scala.48.sl" ],
3   function (tmp) { sl['koch.template.scala.1'] = tmp; }
4 );
5 // transformed scala variables
6 sl['5a40c735438fd9e1fd43657bd7f8564scalaParam1'] = {"_cid":0,"_var0":3};

```

3.3.3. Scala Funktionen in SL nutzen

Im Abschnitt 3.2 wurde erklärt wie Scala-Funktionen für die Verwendung in SL-Code markiert werden. Für die markierten Funktionen werden SL-Module erzeugt. Wenn ein solches Modul geladen wird⁷, werden am Anfang des vom Makro erzeugten Scala-Codes `import`-Anweisungen eingefügt, die auf die referenzierten Scala Funktionen verweisen. Falls sich die Signatur der importierten Funktionen ändert, soll der Aufrufende SL-Code

⁶Der Name der JS-Variable folgt folgendem Schema: `<Hash des Macrokontexts>scalaParam<Parameternummer>`

⁷Der Pfad des Moduls fängt in der aktuellen Konfiguration mit `generated_annotation/` an.

neu kompiliert werden. Für die Funktion `factorial` aus Listing 3.1 würde der Scala-Code im Listing 3.8 erzeugt werden.

Listing 3.8: Scala `import`-Anweisung für eine annotierte Funktion

```
1 {  
2 import example.Foo.{factorial => fun3903232409}  
3 ""  
4 require(...);  
5 ...  
6 """.format( ... )  
7 }
```

Die Funktion wird unter einem zufalls generierten Namen importiert um Namenskonflikten vorzubeugen.

4. Erweiterungen am SL-Compiler

Im Laufe der Diplomarbeit wurde der SL-Compiler an einigen Stellen erweitert oder verändert. Die Compilermakros verwenden den im Studierendenprojekt geschriebenen `MultiDriver` [BJLP13, S. 16-19].

4.1. Erweiterungen am `MultiDriver`

In der vorherigen Version des `MultiDrivers` wurden, wenn ein Modul eine `main`-Funktion enthält, neben dem Kompilat die Dateien `main.js` und `index.html` erstellt [BJLP13, S. 18-19]. Da dies unerwünscht ist, wenn der SL-Code in eine Play View eingebettet wird, wurde in der Konfiguration (`Configs.scala`) des Compilers eine neue Option eingeführt. Mit dem Schalter `generate_index_html` kann das oben genannte Verhalten unterdrückt werden. Im Normalfall ist dieser Wert auf `true` gesetzt; die Makros verwenden ihn mit dem Wert `false`.

Die übersetzten Bibliotheksmodule (zum Beispiel: `option.sl.js`) werden in das Zielverzeichnis der Übersetzung kopiert, wenn das zu übersetzende Modul eine `main`-Funktion enthält und der SL-Übersetzer in Form einer `jar`-Datei vorliegt. Das ist nötig, damit die entsprechenden Module nachgeladen werden können. Dies ist bis jetzt undokumentiertes Verhalten. In der aktuellen Version des SL-Übersetzers werden die Dateien auch kopiert wenn der Übersetzer nicht gepackt vorliegt.

Weiterhin wurde der Schalter `main_function_is_required` eingeführt. Wenn dieser Wert auf `true` gesetzt ist, wird sichergestellt das ein zu übersetzendes Modul eine `main`-Funktion enthält. Falls dies nicht der Fall ist wird die Übersetzung mit einem Fehler abgebrochen. Wie im Abschnitt 3.3.1 beschrieben, ist für das `slei`-Makro eine `main`-Funktion nötig. Der Standardwert des Schalters ist `false`.

4.2. Überprüfung des Ergebnistyps von JS-Quotings

Mit JS-Quotings kann JS-Code direkt in SL benutzt werden. Bis jetzt wurde das Ergebnis solcher Quotings zur Laufzeit nicht auf Korrektheit überprüft [BJLP13, S. 29]. Im Rahmen dieser Arbeit wurde dieses Verhalten für einige primitive Typen (`String`, `Char`, `Bool`, `Real` und `Int`) geändert. Dies gilt nur für JS-Quotings die einen entsprechenden DOM a-Typen haben, wie zum Beispiel im Listing 4.1.

Listing 4.1: Beispiel: JS-Quoting Monade

```
1 FUN foo : DOM Int
2 DEF foo = {| document.getElementById("canvas").width |}:DOM Int
```

Passt das Ergebnis nicht zum Typ wird die Ausführung des Programms mit einer Exception abgebrochen.

5. Related Works

5.1. SL in Scala

Vor- und Nachteile von SL in Scala beschreiben

Nachteile: - kann nicht mehr plain JS Code erzeugen -> Es werden immer Module erzeugt die mit require.js nachgeladen werden -> nur in Views verwendbar - Bibliotheken können nur über spezielle Module benutzt werden (oder JS-Quotings die aber nicht Typsicher sind) - JS-Objekte lassen sich nicht einfach in SL darstellen - bis jetzt nur proof of concept

Vorteile: - Es können Scala Funktionen und Parameter in SL benutzt werden -> aus Sicht eines Webentwicklers ist das eine große Erleichterung - Die Sprache ist klar -> man weiß welche Sprachkonstrukte benutzt werden können (kein Subset von Scala)

5.2. Scala.js

5.3. KA wie die das nennen

6. Fazit

A. Anhänge

A.1. Future Works

- Security Aspekte beim Aufrufen von Scala Funktionen
- Play PlugIn bauen
- Erzeugen eines JAR's
- Erweiterung von SL um Objekte
- Analyse des SL-Codes um bessere Typen für Scala Werte zu finden.

A.2. Quellenverzeichnis

A.3. Bilderverzeichnis

A.4. Abkürzungsverzeichnis

SL	Simple Language
JS	JavaScript
AST	Abstract Syntax Tree
URL	Uniform Resource Locator

A.5. Beschreibung der Tests und Beispielprogramme

A.5.1. Die Klasse `OptionTranslator` als Beispiel

Exemplarisch als Implementation für `AbstractTranslator` wird in diesem Kapitel der `OptionTranslator` genauer betrachtet.

ÜBERARBEITEN (listing kürzen)

Listing A.1: Source Code von OptionTranslator

```
1 case class OptionTranslator( override val module_alias: String = "Opt" )
2 extends AbstractModulTranslator( module_alias ) {
3   val import_path = "std/option"
4
5   override def translate
6     ( context: Context )
7     ( input: context.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
8   : Option[( String,
9             Set[String],
10            context.Expr[Any => JValue],
11            context.Expr[JValue => Any] )] =
12   {
13     import context.universe._
14
15     val option_class_symbol: ClassSymbol = typeOf[Option[_]].typeSymbol.asClass
16     val first_type_parameter: Type = option_class_symbol.typeParams( 0 ).asTypeOf
17     val option_any_type: Type = typeOf[Option[Any]]
18
19     if ( input.<:<( option_any_type ) ) {
20       val actual_type = first_type_parameter.asSeenFrom( input, option_class_symbol )
21
22       AbstractTranslator.useTranslators( context )( actual_type, translators ) {
23         case Some( ( sl_type, imports, expr_s2j, expr_j2s ) ) =>
24           {
25             val scala2js = reify(
26               {
27                 ( i: Any ) => OptionTranslator.scalaToJsOption( i, expr_s2j )
28               }
29             )
30             val js2scala = reify( ... )
31             Some(
32               ( module_alias + ".Option ( " + SL_type + " )",
33                 imports + module_import,
34                 scala2js,
35                 js2scala )
36             )
37           }
28 }
```

```

37         }
38         case None =>
39             None
40     }
41 }
42 else
43     None
44 }
45 }
46
47 object OptionTranslator {
48     def scalaToJsOption( input: Any, f: Any => JValue ): JValue =
49     {
50         import org.json4s._
51
52         input match {
53             case Some( x ) => {
54                 val tmp: List[( String, JValue )] = List( "_cid" -> JInt( 0 ), "_va
55                 JObject( tmp )
56             }
57             case None => JInt( 1 )
58             case _ =>
59                 throw new IllegalArgumentException
60         }
61     }
62
63     def \ac{JS}ToScalaOption[T]( input: JValue, f: JValue => T ): Option[T] =
64     {
65         input match {
66             case JInt( _ ) => None: Option[T]
67             case JObject( x ) => {
68                 val tmp = x.find( j => ( j._1 == "_var0" ) )
69                 if ( tmp.isDefined )
70                     Some( f( tmp.get._2 ) )
71                 else
72                     throw new IllegalArgumentException
73             }

```



```

74         case _ => throw new IllegalArgumentException
75     }
76 }
77 }

```

`OptionTranslator` erbt nicht von `AbstractTranslator` sondern von `AbstractModuleTranslator`, weil der korrespondierende SL Typ `Option` in einem Modul definiert ist (Zeile 1-2). Außerdem wird ein default `module_alias` angegeben. Dies wird im Kapitel 3.2 relevant werden. In Zeile 3 wird der `import_path` des zu ladenen Moduls angegeben.

Kommen wir zur Hauptfunktion `translate`. Zunächst wird überprüft ob der übergebene Typ `input` ein Subtyp von `Option[Any]`¹ ist (Zeile 21). Falls dies der Fall ist wird die Spezialisierung von `Option` bestimmt (Zeile 22). Also handelt es sich um `Option[Int]` oder `Option[OptionTranslator]` um Beispiele zu nennen. In Zeile 24 wird versucht mit `AbstractTranslator.useTranslators` eine passende SL Entsprechung für die Spezialisierung zu finden. Ist dies der Fall wird ein Ergebnis zusammengesetzt (Zeile 25-45). In jedem anderen Fall wird `None` zurückgegeben.

Die Wertübersetzungsfunktionen von Scala nach SL und umgekehrt werden im companion object `OptionTranslator` definiert um sie besser testen zu können (ab Zeile 55). Sie werfen eine `IllegalArgumentException` falls der Wert ausserhalb der übersetzbaren Grenzen liegt² oder ein unerwarteter Wert übergeben wird.

A.6. Benutzte Techniken/Bibliotheken

- Scala
 - Scala v
 - SBT v
 - Play Framework v
 - Macroparadise v
 - json4s v
- JavaScript
 - JQuery v
 - require.js v
 - json.js v

¹Für den Scala Typ `Any` kann es keine semantisch sinnvolle Übersetzung nach SL geben

²Das kann bei `Option` nicht passieren, aber bei anderen Übersetzungen. Siehe Tabelle 2.2.

- Simple Language

A.7. HowTo's

A.7.1. Projekt aufsetzen

A.7.2. Einen neuen Translator anlegen

Literaturverzeichnis

- [BHL⁺13] BÜCHELE, ANDREAS, CHRISTOPH HÖGER, FABIAN LINGES, FLORIAN LORENZEN, JUDITH ROHLOFF und MARTIN ZUBER: *The SL language and compiler*. Sprachbeschreibung, Technische Universität von Berlin, 2013.
- [BJLP13] BISPING, BENJAMIN, RICO JASPER, SEBASTIAN LOHMEIER und FRIEDRICH PSIORZ: *Projektbericht: Erweiterung von SL um ein Modulsystem*. Projektbericht, Technische Universität von Berlin, 2013.
- [Bura] BURMAKO, EUGENE: *Def Macros*. <http://docs.scala-lang.org/overviews/macros/overview.html>. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [Burb] BURMAKO, EUGENE: *Macro Annotations*. <http://docs.scala-lang.org/overviews/macros/annotations.html>. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [Bur13] BURMAKO, EUGENE: *Scala Macros: Let Our Powers Combine!: On How Rich Syntax and Static Types Work with Metaprogramming*. In: *Proceedings of the 4th Workshop on Scala*, SCALA '13, Seiten 3:1–3:10, New York, NY, USA, 2013. ACM.
- [Cro10] CROCKFORD, DOUGLAS: *JSON in JavaScript*. <https://github.com/douglascrockford/JSON-js>, Nov 2010. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [Ecm11] ECMA INTERNATIONAL: *Standard ECMA-262 ECMAScript Language Specification*. Standart, Ecma International, Jun 2011. Edition 5.1.
- [HZ13] HÖGER, CHRISTOPH und MARTIN ZUBER: *Towards a Tight Integration of a Functional Web Client Language into Scala*. In: *Proceedings of the 4th Workshop on Scala*, SCALA '13, Seiten 6:1–6:5, New York, NY, USA, 2013. ACM.

- [Jso] JSON4S: *Json4s One AST to rule them all*. <http://json4s.org/>. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [Ode13] ODESKY, MARTIN: *The Scala Language Specification Version 2.9*. Technischer Bericht, Programming Methods Laboratory EPF, Jun 2013.
- [Ora11] ORACLE AMERICA: *Integral Types and Values*. <http://docs.oracle.com/javase/specs/jls/se7/html/jls-4.html#jls-4.2.1>, Jul 2011. Final Release [Online, zuletzt besucht: 07.07.2014].
- [Pag13] PAGGEN, MARCEL: *Klassensystem*. <http://www.scalatutorial.de/topic161.html>, Feb 2013. [Online, zuletzt besucht: 07.07.2014].
- [PH07] PEPPER, PETER und PETRA HOFSTEDT: *Funktionale Programmierung: Sprachdesign Und Programmiertechnik (eXamen.Press)*. Springer-Verlag New York, Inc., Secaucus, NJ, USA, 2007.
- [Pla] PLAY: *The High Velocity Web Framework For Java and Scala*. <http://www.playframework.com/>. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [Req] REQUIREJS: *RequireJS*. <http://requirejs.org/>. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [The] THE JQUERY FOUNDATION: *jQuery write less, do more*. <https://jquery.com/>. [Online, zuletzt besucht: 08.07.2014].
- [Unb09] *A Tour of Scala: Unified Types*. <http://www.scala-lang.org/old/node/128>, Okt 2009. [Online, zuletzt besucht: 07.07.2014].