

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

30. Juni 2014, Berlin

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

Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----------|---|-----------|
| 0.1 | Einleitung | 4 |
| 1 | Einführung in Simple Language | 5 |
| 2 | Model Sharing | 7 |
| 2.1 | Typübersetzung | 8 |
| 2.1.1 | SL Typsystem | 8 |
| 2.1.2 | Scala Typsystem | 8 |
| 2.1.3 | Funktion $translate_{type}$ | 9 |
| 2.2 | Darstellungsübersetzung | 10 |
| 2.3 | Erleuterung der Implementation | 12 |
| 2.3.1 | Die Klasse OptionTranslator als Beispiel | 13 |
| 3 | Scala Compiler Macros | 17 |
| 3.1 | Struktur des Projekts | 17 |
| 3.2 | Macro Annotation <code>sl_function</code> | 17 |
| 3.2.1 | Anforderungen an eine Funktion | 18 |
| 3.2.2 | SL-Modul | 18 |
| 3.2.3 | Hilfsfunktion | 19 |
| 3.2.4 | Ablauf eines Aufrufs | 20 |
| 3.3 | Def Macro <code>slci</code> | 21 |
| 3.3.1 | Statischen SL Code übersetzen | 21 |
| 3.3.2 | Scala Variablen in SL nutzen | 22 |
| 3.3.3 | Scala Funktionen in SL nutzen | 23 |
| 4 | Erweiterungen am SL-Compiler | 25 |
| 4.1 | Erweiterungen am MultiDriver | 25 |
| 4.2 | Überprüfung des Ergebnistyps von JavaScript (JS)-Quotings | 25 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 5 | Related Works | 26 |
| 5.1 | SL in Scala | 26 |
| 5.2 | Scala.js | 26 |
| 5.3 | KA wie die das nennen | 26 |
| 6 | Fazit | 27 |
| 7 | Anhänge | 28 |
| 7.1 | Future Works | 28 |
| 7.2 | Quellenverzeichnis | 28 |
| 7.3 | Bilderverzeichnis | 28 |
| 7.4 | Abkürzungsverzeichnis | 28 |
| 7.5 | Beschreibung der Tests und Beispielprogramme | 28 |
| 7.6 | Benutzte Techniken/Bibliotheken | 28 |
| 7.7 | HowTo's | 29 |
| 7.7.1 | Projekt aufsetzen | 29 |
| 7.7.2 | Einen neuen Translator anlegen | 29 |

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 Projekts² an der TU-Berlin wurde die typischere funktionale Sprache Simple Language (SL) entwickelt die nach JS compiliert. Andererseits wurde Mitte 2013 durch die Einführung von compiler makros³ die Metaprogrammierung innerhalb von Scala erheblich vereinfacht.

Im Rahmen eines Papers⁴ wurde gezeigt, das es möglich ist mit Hilfe von Compilermakros statischen SL Code inline in Scala zu benutzen. 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.

²siehe Sprachbeschreibung

³siehe Let Our Powers Combine

⁴siehe. Paper

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 erweitert¹. 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
```

¹siehe Projektbericht

```

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 Modules sichtbar. Darauf folgen eine oder mehrer pattern basierte² 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-quoting 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 boolsche Werte.
4. Mit `DATA <Typname> [<Typprameter> ...] = <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 Compilerbauprojekts³ nachgelesen werden.

²siehe Opal

³siehe Projektbericht

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, dass 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 eineander überführt werden. Dies sollte eine bijektive Abbildung sein. Dass dies nicht immer möglich ist, wird in Abschnitt 2.2 behandelt.

Für `Float` und `Double` ist semantisch beste Wahl der SL Typ `Real`. Im Ergebnis erhalten wir 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) ) )
```

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

2.1 Typübersetzung

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 werden³.

Listing 2.3: Beispiele für selbstdefinierte 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 sprengen⁴. 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 können⁵. 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 selbstdefinierten Typen aus SL sehr ähnlich sind. Das wird anschaulich am Beispiel von `Option` (siehe Listing 2.4). Es wurden aber

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

³siehe Funktionale Programmierung

⁴siehe Scala Ref

⁵ (vgl.: <http://www.scalatutorial.de/topic161.html#basistypen>)

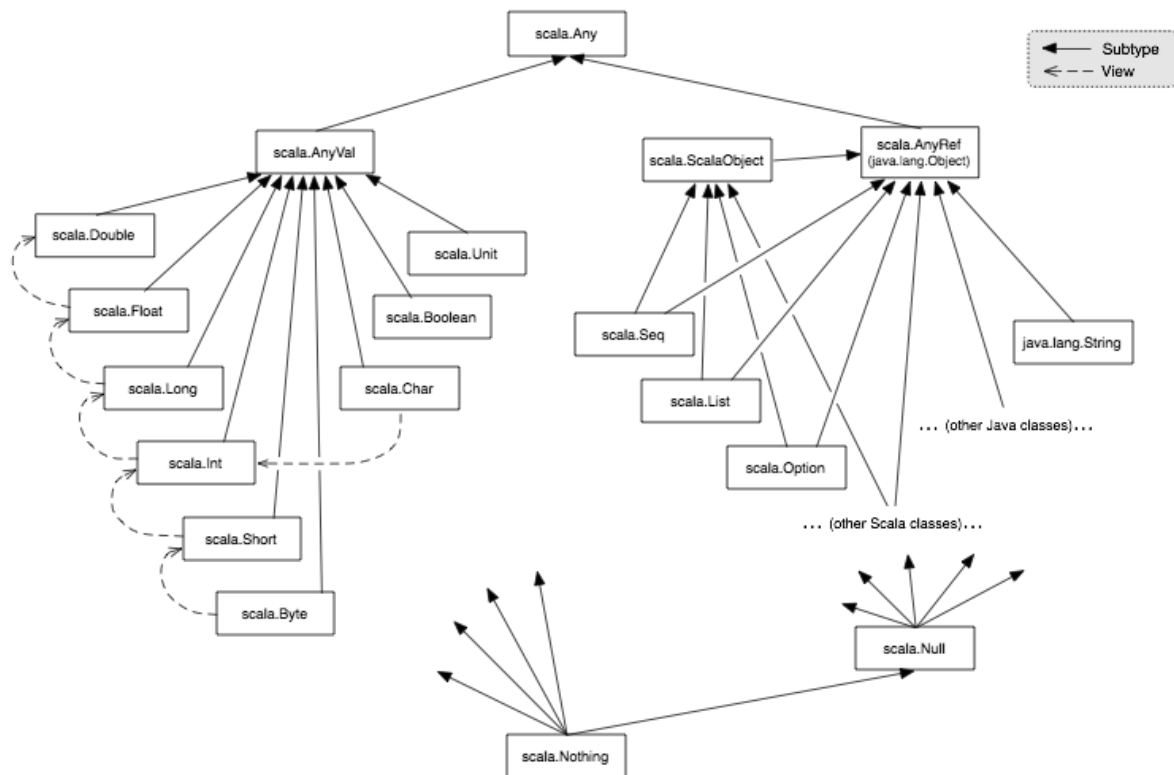


Abbildung 2.1: Vererbungshierarchie einiger Scala Klassen.

auch andere vordefinierte Typen wie `Seq[A]` übersetzt, deren innere Struktur sich stark von ihrem SL Äquivalent `List a` unterscheiden.

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.

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 Double | Real | Char | Char |
| Byte Short Int Long | Int | Boolean | Bool |
| | | Unit | Void |
| String | String | | |
| Seq[A] | List a | Option[A] | Option a |

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 `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. Vor allem bei der Übersetzung

Tabelle 2.2: Umfang der primitiven Datentypen in Scala und SL (JS)

| SL | JS Darstellung | Scala |
|--------|---|-------------------------------|
| Int | Number ⁶ $[-2^{53} + 1, 2^{53} - 1]$ | 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, false</i> | Boolean <i>true, false</i> |
| Char | String (Länge 1) (16-Bit) | Char (16-Bit) |
| String | String ⁷ (maximale Länge: ?) | String (maximale Länge: ?) |

Tabelle 2.3: JS Darstellung des SL Typen People

| SL | JS Darstellung |
|----------------|--|
| Alice | 0 |
| Bob 42 | { "_cid" => 1, "_var0" => 42 } |
| Cesar "a" true | { "_cid" => 2, "_var0" => "a", "_var1" => true } |
| Dieter | 3 |

von Primitiven existiert das Problem der unterschiedlichen Grenzen. Man kann zwar jeden Wert des Scala Types `Byte` in einen Wert des SL Typs `Int` übersetzen, aber nicht umgekehrt. In der Tabelle 2.2 werden die Grenzen 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 nicht primitiven Werten ist mehr Aufwand nötig. Dazu muss man zuerst verstehen wie die Darstellung von SL Werte für selbstdefinierte Type JS aussieht.

(Beschreibung der übersetzung fehlt)

Listing 2.5: Beispiel eines selbstdefinierten Typs

```
1 DATA People a b c = Alice | Bob a | Cesar b c | Dieter
```

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

⁷Die maximale Länge von Strings in JS und Scala ist Implementationsabhängig.

Tabelle 2.4: Übersetzung von Option Werten

| SL | JS Darstellung | Scala |
|-----------|--|------------------------|
| Option a | | Option[a] |
| Some(val) | { "_cid" => 0 , "_var0" => val } | Some(sl_to_scala(val)) |
| None | 1 | None |

(Zwischensatz) - Hier können vielfältige Probleme bei den Übersetzungen auftreten
zb.: Können Seq[Double] beliebiger Länge in List[Real] übersetzt werden

2.3 Erleuterung der Implementation

Die Übersetzung übernimmt bei den primitiven Datentypen die JSON Bibliothek JSon4s⁸.

Die Übersetzung ist in Klassen organisiert. Eine Klasse erbt von 'AbstractTranslator' und bildet dabei die Verbindung von einem Scala Typen mit einem SL Typen ab. Da sie wir immer vom Scala Typen ausgehen sind sie nach diesen benannt. Die Hauptfunktion ist 'translate'. 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 laden⁹ sowie die Abstract Syntax Tree (AST)-Representation der Wertübersetzungsfunktionen von Scala nach SL und umgekehrt. Andernfalls wird None zurückgegeben.

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] )]
```

Weiter Parameter sind 'context' und 'translators'. 'context' ist der Compiler Macro Kontext. Mit 'translators' werden alle Translatorklassen übergeben mit denen Spezialisierungen übersetzt werden können.

⁸siehe <https://github.com/json4s/json4s>

⁹Bei primitven 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 werde

Möchte man einen Scala Typ nicht nur gegen eine Klasse prüfen kann man die Hilfsfunktionen 'useTranslators', 'useTranslatorSLToScala' oder 'useTranslatorScalaToSL' aus dem companion object von 'AbstractTranslator' nutzen.

Listing 2.7: Hilfsfunktionen

```
1 def useTranslators
2   ( c: MacroCtxt )
3   ( input: c.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
4 : Option[( String,
5           Set[String],
6           c.Expr[Any => JValue],
7           c.Expr[JValue => Any] )]
8
9 def useTranslatorSLToScala
10  ( c: MacroCtxt )
11  ( input: c.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
12 : Option[( String,
13           Set[String],
14           c.Expr[JValue => Any] )]
15
16 def useTranslatorScalaToSL
17  ( c: MacroCtxt )
18  ( input: c.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
19 : Option[( String,
20           Set[String],
21           c.Expr[Any => JValue] )]
```

'translators' gibt hier an welchen Teil der Funktion $translate_{type}$ man nutzen möchte.

2.3.1 Die Klasse OptionTranslator als Beispiel

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

ÜBERARBEITEN (listing kürzen)

Listing 2.8: 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
6
7
8
9
10
11
12
13
14
15
16
17
18
19
20
21
22
23
24
25
26
27
28
29
30
31
32
33
34
35
36
37
38
39
40

```
override def rename( module_alias: String ) = copy( module_alias );

override def translate
  ( context: Context )
  ( input: context.universe.Type, translators: Seq[AbstractTranslator] )
: Option[( String,
           Set[String],
           context.Expr[Any => JValue],
           context.Expr[JValue => Any] )] =
{
  import context.universe._

  val option_class_symbol: ClassSymbol = typeOf[Option[_]].typeSymbol.asClass
  val first_type_parameter: Type = option_class_symbol.typeParams( 0 ).asType
  val option_any_type: Type = typeOf[Option[Any]]

  if ( input.<:(<( option_any_type ) ) ) {
    val actual_type = first_type_parameter.asSeenFrom( input, option_class_symbol )

    AbstractTranslator.useTranslators( context )( actual_type, translator =>
      case Some( ( \ac{SL}_type, imports, expr_s2j, expr_j2s ) ) =>
      {
        val scala2js = reify(
          {
            ( i: Any ) => de.tuberlin.uebb.sl2.slmacro.variabletranslator
              OptionTranslator.scalaToJsOption( i, expr_s2j.splice )
          }
        )
        val \ac{JS}2scala = reify(
          {
            ( i: JValue ) => de.tuberlin.uebb.sl2.slmacro.variabletranslator
              OptionTranslator.jsToScalaOption( i, expr_j2s.splice )
          }
        )
        Some(
          ( module_alias + ".Option ( " + \ac{SL}_type + " )",
```

```

41         imports + module_import,
42         scala2js,
43         \ac{JS}2scala )
44     )
45 }
46 case None =>
47     None
48 }
49 }
50 else
51     None
52 }
53 }
54
55 object OptionTranslator {
56     def scalaToJsOption( input: Any, f: Any => JValue ): JValue =
57     {
58         import org.json4s._
59
60         input match {
61             case Some( x ) => {
62                 val tmp: List[( String, JValue )] = List( "_cid" -> JInt( 0 ), "_va
63                 JObject( tmp )
64             }
65             case None => JInt( 1 )
66             case _ =>
67                 throw new IllegalArgumentException
68         }
69     }
70
71     def \ac{JS}ToScalaOption[T]( input: JValue, f: JValue => T ): Option[T] =
72     {
73         input match {
74             case JInt( _ ) => None: Option[T]
75             case JObject( x ) => {
76                 val tmp = x.find( j => ( j._1 == "_var0" ) )
77                 if ( tmp.isDefined )

```

```

78         Some( f( tmp.get._2 ) )
79     else
80         throw new IllegalArgumentException
81     }
82     case _ => throw new IllegalArgumentException
83 }
84 }
85 }

```

`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 ladenden Moduls angegeben.

Kommen wir zur Hauptfunktion `translate`. Zunächst wird überprüft ob der übergebene Typ `input` ein Subtyp von `Option[Any]`¹⁰ 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 liegt¹¹ oder ein unerwarteter Wert übergeben wird.

¹⁰Für den Scala Typ `Any` kann es keine semantisch sinnvolle Übersetzung nach SL geben

¹¹Das kann bei `Option` nicht passieren, aber bei anderen Übersetzungen. Siehe Tabelle 2.2.

3 Scala Compiler Macros

Wie bereits erwähnt wurde, konnte in einem Paper¹ der Technischen Universität Berlin gezeigt, das man mit Hilfe von Compiler Macros statischen SL Code in die Views von Play-Anwendungen einbetten kann. Mit der Erweiterung von SL durch ein Modul-System musste dieses Macro 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 Macros 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. Es ist möglich den annotierten² Code zu verändern. Mit dem geschriebenen Macro kön-

¹siehe Paper

²Es können auch Funktionen, Klassen, Objekte, Typparameter oder Funktionsparameter annotiert werden. siehe <http://docs.scala-lang.org/overviews/macros/annotations.html>

nen 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 typsicher 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 haben³
- Die Ein- und Ausgangstypen müssen sich in SL-Typen übersetzen lassen.
- Der Funktionsname darf keine ungewöhnlichen Zeichen enthalten⁴

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.

³In der aktuellen Implementation werden die Default-Werte eines Parameters ignoriert. Eine entsprechende warning wird erzeugt.

⁴Da 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 Ergebniss 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-Bibleothek `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 Ergebniss 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 Aufrufsprozess 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 Objects und der Funktionsname übergeben. In einem zweiten Schritt wird der eigentliche Parameter (SL-Codiert) übergeben.
3. Die SL-Parameter werden in einen JSON String umgewandelt⁵ 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 um⁶ und ruft dann über reflection die Hilfsfunktion `factorial_sl_helper` auf. Das Ergebnis (120) des Aufrufs wird 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 |

⁵Für die Umwandlung wird die Bibliothek `json.js` benutzt (<http://www.json.org/js.html>).

⁶Die Umwandlung geschieht mit der Bibliothek `json4s` (<https://github.com/json4s/json4s>).

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 Macros nach.

Mit `def macros`⁷ kann während des Übersetzungsprozesses von Scala in den Code eingegriffen werden. Der Aufruf solch eines Macros verhält sich wie eine Funktion, nur das 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` Macros.

Listing 3.4: Beispielaufruf des `slci` Macros 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 Modulsystems⁸ für SL musste das Einbetten von statischem Code neu geschrieben werden. 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`⁹ in Webseiten eingebettet werden¹⁰.

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

⁷siehe <http://docs.scala-lang.org/overviews/macros/overview.html>

⁸siehe Projektbericht

⁹siehe Projektbericht `require.js`

¹⁰Der erzeugte JS Code kann auch mit `node.js` (siehe `node.js`) ausgeführt werden.

`<Dateiname>.<Zeilennummer>.sl`

Wenn diese Datei übersetzt werden kann, wird sie mit `require.js` eingebunden. Andernfalls wird ein Compilerfehler 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. |
| <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. |
| <code>json.js</code> | zum Umwandeln von JS Werten in ihre JSON-Representation und zurück. Siehe Abschnitt 3.2.4. |

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 geladen¹¹. Die von der Makro-API bestimmten Typen¹² der Parameter werden 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

¹¹Translator-Klassen die in Standarttypen von SL übersetzen, werden immer geladen. Für `IMPORT "std/option" AS Modulalias` würde die Instanz `new OptionTranslator("Modulalias")` erzeugt werden.

¹²Manchmal muss man den Typ annotieren. Das Literal 5 hat den Typ `Int(5)` und nicht `Int`. Man schreibt also `5:Int`.

¹³Der Name der JS-Variable folgt folgendem Schema: `<Hash des Macrokontexts>scalaParam<Parameternummer>`

solches Modul geladen wird¹⁴, 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 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 zufallsgenerierten Namen importiert um Namenskonflikten vorzubeugen.

¹⁴Der Pfad des Moduls fängt in der aktuellen Konfiguration mit `generated_annotation/` an.

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`¹.

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` erstellt². 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`.

- es werden immer die std daten kopiert.

4.2 Überprüfung des Ergebnistyps von JS-Quotings

ist für primitive Typen gefixt³

¹siehe Projektbericht S.16 - S.19

²siehe Projektbericht S.18 - S.19

³siehe Projektbericht S.29

5 Related Works

5.1 SL in Scala

5.2 Scala.js

5.3 KA wie die das nennen

6 Fazit

7 Anhänge

7.1 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.

7.2 Quellenverzeichnis

7.3 Bilderverzeichnis

7.4 Abkürzungsverzeichnis

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

7.5 Beschreibung der Tests und Beispielprogramme

7.6 Benutzte Techniken/Bibliotheken

- Scala
 - Scala v

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

7.7 HowTo's

7.7.1 Projekt aufsetzen

7.7.2 Einen neuen Translator anlegen

Literaturverzeichnis