# Reaktive Programmierung
# Vorlesung 6 vom 24.05.2022
# Meta-Programmierung

Christoph Lüth, Martin Ring

Universität Bremen

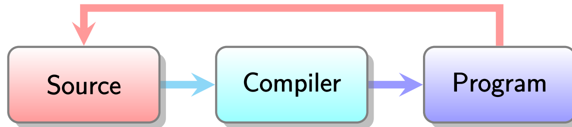
Sommersemester 2022

# Fahrplan

- Einführung
- Monaden und Monadentransformer
- Nebenläufigkeit: Futures and Promises
- Aktoren: Grundlagen & Implementierung
- Bidirektionale Programmierung
- Meta-Programmierung
- Reaktive Ströme I
- Reaktive Ströme II
- Funktional-Reaktive Programmierung
- Software Transactional Memory
- Eventual Consistency
- CRDTs
- Robustheit, Entwurfsmuster und Theorie der Nebenläufigkeit, Abschluss
- Reaktive Programmierung in der Praxis

# Was ist Meta-Programmierung?

"Programme höherer Ordnung" / Makros



# Was sehen wir heute?

- Anwendungsbeispiel: JSON Serialisierung
- Meta-Programmierung in Scala:
  - Inlining
  - Compile-Time Operations
  - Typeclass Derivation
- Meta-Programmierung in Haskell:
  - Template Haskell
- Generische Programmierung in Scala und Haskell

# Beispiel: JSON Serialisierung

Scala

```scala
case class Person(
  names: List[String],
  age: Int
)
```

Haskell

```haskell
data Person = Person {
  names :: [String],
  age :: Int
}
```

Ziel: Scala $\xleftrightarrow{\text{JSON}}$ Haskell

# JSON: Erster Versuch

JSON1.scala

# JSON: Erster Versuch

JSON1.scala

- Unpraktisch: Für jeden Typ muss manuell eine Instanz erzeugt werden
- Idee: Typklassenableitung for the win

# Klassische Metaprogrammierung (Beispiel C)

```c
#define square(n) ((n)*(n))
#define UpTo(i, n) for((i) = 0; (i) < (n); (i)++)
```

```c
UpTo(i,10) {
  printf("i squared is: %d\n", square(i));
}
```

- Eigene Sprache: C Präprozessor
- Keine Typsicherheit: einfache String Ersetzungen

# I. Metaprogrammierung in Haskell

# Was brauchen wir?

- Idee: Funktion $AST \to AST$ zur Compilezeit ausführen

1. Repräsentation des AST in der Sprache

# Was brauchen wir?

- Idee: Funktion $AST \rightarrow AST$ zur Compilezeit ausführen

1. Repräsentation des AST in der Sprache
2. Konversion von und in diese Repräsentation

# Was brauchen wir?

- Idee: Funktion $AST \to AST$ zur Compilezeit ausführen

1. Repräsentation des AST in der Sprache
2. Konversion von und in diese Repräsentation
3. Büchereien für häufige Use-Cases (e.g. JSON)

# Was brauchen wir?

- Idee: Funktion $AST \rightarrow AST$ zur Compilezeit ausführen

1. Repräsentation des AST in der Sprache $\longrightarrow$ Template Haskell
2. Konversion von und in diese Repräsentation
3. Büchereien für häufige Use-Cases (e.g. JSON)

# Was brauchen wir?

- Idee: Funktion $AST \to AST$ zur Compilezeit ausführen

1. Repräsentation des AST in der Sprache $\longrightarrow$ Template Haskell
2. Konversion von und in diese Repräsentation $\longrightarrow$ Template Haskell, Reification und Splicing
3. Büchereien für häufige Use-Cases (e.g. JSON)

# Was brauchen wir?

- Idee: Funktion $AST \to AST$ zur Compilezeit ausführen

1. Repräsentation des AST in der Sprache $\longrightarrow$ Template Haskell
2. Konversion von und in diese Repräsentation $\longrightarrow$ Template Haskell, Reification und Splicing
3. Büchereien für häufige Use-Cases (e.g. JSON) $\longrightarrow$ Generics

# Template Haskell I

- **Getypte** Repräsentation des AST in Haskell
  - Vgl. Reflektion in Java
- Datentyp `Exp` für Ausdrücke, `Dec` für Deklarationen, . . .
- `https://hackage.haskell.org/package/template-haskell-2.10.0.0/docs/Language-Haskell-TH-Syntax.html`
- Beispiel: Repräsentation von `("foo", x)`:

```
r= TupE[Just (LitE (StringL "foo")), Just (VarE (mkName "x"))]
```

# Template Haskell II

- Reifikation: vom Code zur Repräsentation (Quotation via “Oxford brackets”)

```
r2= runQ [| ("foo", x) |]
```

- Splicing: von der Repräsentation zum Code

```
$(return r)$
```

- `Q`: The “quotation monad”
  - Erlaubt e.g. auch IO-Aktionen einzubetten (`runIO`).
- Beispiele: generische Selektion aus Tupeln, generisches Currying

# Was ist mit Jason?

- Wir könnten Serialisierin JSON mit Template Haskell schreiben.
- Aber: müsste für jeden Datentyp spezifisch sein.
- Besser: **generisch** für alle Datentypen
  - Konstante Konstruktoren werden zu Konstanten
  - Mehrstellige Konstrukturen werden zu Produkten
  - Namen durch Konstruktornamen gegeben

# Generische Programmierung: Polynomiale Datentypen

- **Polynomiale** Datentypen sind gegeben durch
  - Produkte (d.h. konstante oder mehrstellige Konstrukturen)
  - Summen (mehrere Konstruktoren)
- Beispiele: Listen, Maybe, Bäume, . . .
- Gegenbeispiel: alles mit Funktionsräumen, Sequenzen, Arrays
- Polynomiale Datentypen können **generisch** repräsentiert werden: **Generics**

# Generische Programmierung: Generics

- Generische Repräsentation von Datentypen:
  `https://wiki.haskell.org/GHC.Generics#Representation_types`
- Konversion von und nach `Generic`:
  `https://hackage.haskell.org/package/base-4.16.1.0/docs/GHC-Generics.html#g:24`
- Beispiel:

```haskell
data T = Null | Two T T deriving Generic
t = Two Null (Two Null Null)

from t
```

- Damit: **generische** Konversion von und nach JSON

# II. Metaprogrammierung in Scala

# Metaprogrammierung in Scala: Scalameta

- Idee: Typsichere Operationen zur Compilezeit

```scala
import scala.compiletime.constValue
import scala.compiletime.ops.int.*

type A = 3
type B = 4
type C = A + B
def sevenToFourteen(c: C) = constValue[C * 2]
```

# Inlining

```
inline def assert(inline debug: Boolean, assertion: => Boolean): Unit =
  if debug then
  else if !debug then
  else error("debug mode must be a known value")
```

# Heterogene Listen

- Generische Tupel

```
import compiletime._

type Concat[L <: Tuple, +R <: Tuple] <: Tuple = L match
  case EmptyTuple => R
  case h *: t => h *: Concat[t, R]

def concat[L <: Tuple, R <: Tuple](l: L, r: R): Concat[L,R] =
  runtime.Tuples.concat(l,r).asInstanceOf[Concat[L,R]]

val example: (Int,String,Boolean,Double) = concat((1,"Hallo"),(false,4.2))
```

- Viele Operationen normaler Listen vorhanden:
- Was ist der parameter für `map`?

# Heterogene Listen

- Generische Tupel

```
import compiletime._

type Concat[L <: Tuple, +R <: Tuple] <: Tuple = L match
  case EmptyTuple => R
  case h *: t => h *: Concat[t, R]

def concat[L <: Tuple, R <: Tuple](l: L, r: R): Concat[L,R] =
  runtime.Tuples.concat(l,r).asInstanceOf[Concat[L,R]]

val example: (Int,String,Boolean,Double) = concat((1,"Hallo"),(false,4.2))
```

- Viele Operationen normaler Listen vorhanden:
- Was ist der parameter für `map`? ⇒ Polymorphe Funktionen

# Polymorphe Funktionen und Match Types

- Match Types werden zur Compilezeit reduziert

```
type F[X] = X match
  case Int => Boolean
  case String => Int
  case Boolean => String
  case Double => Double
```

- Damit können Polymorphe Funktionen implementiert werden:

```
def f[X](x: X): F[X] = x match
  case i: Int => i > 0
  case s: String => s.length
  case b: Boolean => b.toString
  case d: Double => -d

val example2: (Boolean, Int, String, Double) = example.map(f)
```

# Typklassenableitung

- Typklassen können abgeleitet werden:

```
enum Tree[T] derives Eq, Ordering, Show:
  case Branch(left: Tree[T], right: Tree[T])
  case Leaf(elem: T)
```

- Wird übersetzt zu

```
given [T: Eq]       : Eq[Tree[T]]    = Eq.derived
given [T: Ordering] : Ordering[Tree] = Ordering.derived
given [T: Show]     : Show[Tree]     = Show.derived
```

- Was macht Eq.derived?

# Typklassenableitung

- Implementierung der Ableitung:

```scala
import scala.deriving.Mirror

object Eq:
  def derived[T](using Mirror.Of[T]): Eq[T] = ...
```

- Damit können wir für Alle Algebraischen Datentypen Typklassen ableiten, aber...
- Wie Sieht der Mirror für Tree aus?

# Typklassenableitung: Mirrors

- Mirror für Tree

```
new Mirror.Sum:
  type MirroredType = Tree
  type MirroredElemTypes[T] = (Branch[T], Leaf[T])
  type MirroredMonoType = Tree[_]
  type MirroredLabel = "Tree"
  type MirroredElemLabels = ("Branch", "Leaf")

  def ordinal(x: MirroredMonoType): Int = x match
    case _: Branch[_] => 0
    case _: Leaf[_] => 1
```

# Typklassenableitung: Mirrors

- Mirror für Branch

```
new Mirror.Product:
  type MirroredType = Branch
  type MirroredElemTypes[T] = (Tree[T], Tree[T])
  type MirroredMonoType = Branch[_]
  type MirroredLabel = "Branch"
  type MirroredElemLabels = ("left", "right")

  def fromProduct(p: Product): MirroredMonoType =
    new Branch(...)
```

# Typklassenableitung: Mirrors

- Mirror für Leaf

```
new Mirror.Product:
  type MirroredType = Leaf
  type MirroredElemTypes[T] = Tuple1[T]
  type MirroredMonoType = Leaf[_]
  type MirroredLabel = "Leaf"
  type MirroredElemLabels = Tuple1["elem"]

  def fromProduct(p: Product): MirroredMonoType =
    new Leaf(...)
```

# Json Zweiter Versuch

JSON2.scala

# Json Zweiter Versuch

JSON2.scala

- Generische Ableitungen für `case class`es
- Funktioniert das für alle algebraischen Datentypen?

# Zusammenfassung

- **Meta-Programmierung:** Programme, die Programme erzeugen
- Typsichere Manipulation des AST:
  - Template Haskell, Scalameta
- Damit **generische Programmierung**
  - Generic Haskell, Scala