# Reaktive Programmierung
Vorlesung 12 vom 08.07.14: Bidirektionale Programmierung: Zippers and Lenses

Christoph Lüth & Martin Ring

Universität Bremen

Sommersemester 2014



## Fahrplan

- Teil I: Grundlegende Konzepte
- Teil II: Nebenläufigkeit
- Teil III: Fortgeschrittene Konzepte
  - Bidirektionale Programmierung: Zippers and Lenses
  - Robustheit, Fehlertoleranz und Fehlerbehandlung
  - Theorie der Nebenläufigkeit



## Was gibt es heute?

- Motivation: funktionale Updates
  - Akka ist *stateful*, aber im allgemeinen ist funktional besser
  - Globalen Zustand vermeiden hilft der Skalierbarkeit und der Robustheit
- Der Zipper
  - Manipulation innerhalb einer Datenstruktur
- Linsen
  - Bidirektionale Programmierung



## Ein einfacher Editor

- Datenstrukturen:

```
type Text   = [String]
data Pos    = Pos { line :: Int, col :: Int}
data Editor = Ed  { text   :: Text
                  , cursor :: Pos }
```

- Operationen: Cursor bewegen (links)

```
go_left :: Editor → Editor
go_left Ed{text= t, cursor= c}
  | col c == 0 = error "At start of line"
  | otherwise =
      Ed{text= t, cursor=c{col= col c- 1}}
```



## Beispieloperationen

- Text rechts einfügen:

```
insert_right :: Editor→ String→ Editor
insert_right Ed{text= t, cursor= c} text =
  let (as, bs) = splitAt (col c) (t !! line c)
  in  Ed{text= updateAt (line c) t
                        (as ++ text++ bs),
         cursor= c}

updateAt :: Int→ [a]→ a→ [a]
updateAt n as a = case splitAt n as of
  (bs, [])     → error "updateAt: list too short."
  (bs, _:cs) → bs ++ a : cs
```

- Problem: Aufwand für Manipulation



## Manipulation strukturierter Datentypen

- Anderes Beispiel: *n*-äre Bäume (rose trees)

```
data Tree a = Leaf a
            | Node [Tree a]
            deriving Show
```

  - Bsp: Abstrakte Syntax von einfachen Ausdrücken
- Update auf Beispielterm $t = a * b - c * d$: ersetze $b$ durch $x + y$

```
t = Node [ Leaf "-"
         , Node [Leaf "*", Leaf "a", Leaf "b"]
         , Node [Leaf "*", Leaf "c", Leaf "d"]
         ]
```



## Der Zipper

- Idee: Kontext nicht wegwerfen!
- Nicht: **type** Path =[Int]
- Sondern:

```
data Ctxt a = Empty
            | Cons [Tree a] (Ctxt a) [Tree a]
```

  - Kontext ist 'inverse Umgebung' (*"Like a glove turned inside out"*)
- Loc a ist Baum mit Fokus

```
newtype Loc a = Loc (Tree a, Ctxt a)
```

  - Warum newtype?



## Zipping Trees: Navigation

- Fokus nach links

```
go_left :: Loc a→ Loc a
go_left (Loc(t, c)) = case c of
 Cons (l:le) up ri → Loc(l, Cons le up (t:ri))
 Cons [] _ _       → error "go_left of first"
```

- Fokus nach rechts

```
go_right :: Loc a→ Loc a
go_right (Loc(t, c)) = case c of
 Cons le up (r:ri) → Loc(r, Cons (t:le) up ri)
 Cons _ _ []       → error "go_right of last"
```

## Zipping Trees: Navigation

- Fokus nach oben

```
go_up :: Loc a→ Loc a
go_up (Loc (t, c)) = case c of
  Empty → error "go_up␣of␣empty"
  Cons le up ri →
    Loc (Node (reverse le ++ t:ri), up)
```

- Fokus nach unten

```
go_down :: Loc a→ Loc a
go_down (Loc (t, c)) = case t of
  Leaf _ → error "go_down␣at␣leaf"
  Node [] → error "go_down␣at␣empty"
  Node (t:ts) → Loc (t, Cons [] c ts)
```



## Zipping Trees: Navigation

- Hilfsfunktion:

```
top :: Tree a→ Loc a
top t = (Loc (t, Empty))
```

- Damit andere Navigationsfunktionen:

```
path :: Loc a→ [Int]→ Loc a
path l [] = l
path l (i:ps)
  | i == 0 = path (go_down l) ps
  | i > 0  = path (go_left l) (i−1) ps
```



## Einfügen

- Einfügen: Wo?
- Links des Fokus einfügen

```
insert_left :: Tree a→ Loc a→ Loc a
insert_left t1 (Loc (t, c)) = case c of
  Empty → error "insert_left:␣insert␣at␣empty"
  Cons le up ri → Loc(t, Cons (t1:le) up ri)
```

- Rechts des Fokus einfügen

```
insert_right :: Tree a→ Loc a→ Loc a
insert_right t1 (Loc (t, c)) = case c of
  Empty → error "insert_right:␣insert␣at␣empty"
  Cons le up ri → Loc(t, Cons le up (t1:ri))
```

- Unterhalb des Fokus einfügen

```
insert_down :: Tree a→ Loc a→ Loc a
insert_down t1 (Loc(t, c)) = case t of
  Leaf _ → error "insert_down:␣insert␣at␣leaf"
  Node ts → Loc(t1, Cons [] c ts)
```



## Ersetzen und Löschen

- Unterbaum im Fokus ersetzen:

```
update :: Tree a→ Loc a→ Loc a
update t (Loc (_, c)) = Loc (t, c)
```

- Unterbaum im Fokus löschen: wo ist der neue Fokus?
  1. Rechter Baum, wenn vorhanden
  2. Linker Baum, wenn vorhanden
  3. Elternknoten

```
delete :: Loc a→ Loc a
delete (Loc(_, p)) = case p of
  Empty → Loc(Node [], Empty)
  Cons le up (r:ri) → Loc(r, Cons le up ri)
  Cons (l:le) up [] → Loc(l, Cons le up [])
  Cons [] up [] → Loc(Node [], up)
```

- *"We note that delete is not such a simple operation."*



## Schnelligkeit

- Wie schnell sind Operationen?
  - Aufwand: go_left $O(left(n))$, alle anderen $O(1)$.
- Warum sind Operationen so schnell?
  - Kontext bleibt erhalten
  - Manipulation: reine Zeiger-Manipulation



## Zipper für andere Datenstrukturen

- Binäre Bäume:

```
data Tree a = Leaf a | Node (Tree a) (Tree a)
```

- Kontext:

```
data Ctxt a = Empty
            | Le (Ctxt a) (Tree a)
            | Ri (Tree a) (Ctxt a)

newtype Loc a = Loc (Tree a, Ctxt a)
```



## Tree-Zipper: Navigation

- Fokus nach links

```
go_left :: Loc a→ Loc a
go_left (Loc(t, ctx)) = case ctx of
 Empty  → error "go_left␣at␣empty"
 Le c r → error "go_left␣of␣left"
 Ri l c → Loc(l, Le c t)
```

- Fokus nach rechts

```
go_right :: Loc a→ Loc a
go_right (Loc(t, ctx)) = case ctx of
 Empty  → error "go_right␣at␣empty"
 Le c r → Loc(r, Ri t c)
 Ri _ _ → error "go_right␣of␣right"
```



## Tree-Zipper: Navigation

- Fokus nach oben

```
go_up :: Loc a→ Loc a
go_up (Loc(t, ctx)) = case ctx of
  Empty  → error "go_up␣of␣empty"
  Le c r → Loc(Node t r, c)
  Ri l c → Loc(Node l t, c)
```

- Fokus nach unten links

```
go_down_left :: Loc a→ Loc a
go_down_left (Loc(t, c)) = case t of
  Leaf _  → error "go_down␣at␣leaf"
  Node l r → Loc(l, Le c r)
```

- Fokus nach unten rechts

```
go_down_right :: Loc a→ Loc a
go_down_right (Loc(t, c)) = case t of
  Leaf _  → error "go_down␣at␣leaf"
  Node l r → Loc(r, Ri l c)
```

## Tree-Zipper: Einfügen und Löschen

- Einfügen links

```
ins_left :: Tree a→ Loc a→ Loc a
ins_left t1 (Loc(t, ctx)) = Loc(t, Ri t1 ctx)
```

- Einfügen rechts

```
ins_right :: Tree a→ Loc a→ Loc a
ins_right t1 (Loc(t, ctx)) = Loc(t, Le ctx t1)
```

- Löschen

```
delete :: Loc a→ Loc a
delete (Loc(_, c)) = case c of
  Empty  → error "delete␣of␣empty"
  Le c r → Loc(r, c)
  Ri l c → Loc(l, c)
```

  - Neuer Fokus: anderer Teilbaum



## Zipping Lists

- Listen:

```
data List a = Nil | Cons a (List a)
```

- Damit:

```
data Ctxt a = Empty | Snoc (Ctxt a) a
```

- Listen sind ihr 'eigener Kontext' :

$$\text{List a} \cong \text{Ctxt a}$$



## Zipping Lists: Fast Reverse

- Listenumkehr schnell:

```
fastrev :: [a]→ [a]
fastrev xs = rev xs []

rev :: [a]→ [a]→ [a]
rev []     as = as
rev (x:xs) as = rev xs (x:as)
```

- Zweites Argument von rev: Kontext
  - Liste der Elemente davor in umgekehrter Reihenfolge

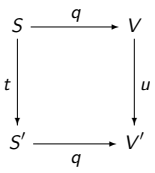


## Bidirektionale Programmierung

- Motivierendes Beispiel: Update in einer Datenbank
- Weitere Anwendungsfelder:
  - Software Engineering (round-trip)
  - Benutzerschnittstellen (MVC)
  - Datensynchronisation



## View Updates




- View $v$ durch Anfrage $q$ (Bsp: Anfrage auf Datenbank)
- View wird verändert (Update $u$)
- Quelle $S$ soll entsprechend angepasst werden (Propagation der Änderung)
- Problem: $q$ soll beliebig sein
  - Nicht-injektiv? Nicht-surjektiv?

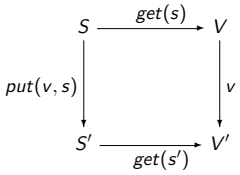


## Lösung

- Eine Operation *get* für den View
- Inverse Operation *put* wird automatisch erzeugt (wo möglich)
- Beide müssen invers sein — deshalb bidirektionale Programmierung



## Putting and Getting




- Signatur der Operationen:

$$\begin{aligned} get &: S \longrightarrow V \\ put &: V \times S \longrightarrow S \end{aligned}$$

- Es müssen die Linsengesetze gelten:

$$\begin{aligned} get(put(v,s)) &= v \\ put(get(s),s) &= s \\ put(v,put(w,s)) &= put(v,s) \end{aligned}$$



## Erweiterung: Erzeugung

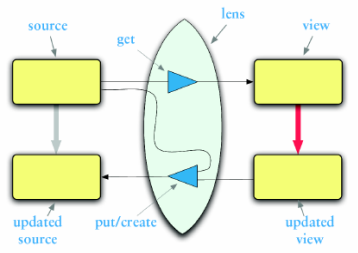
- Wir wollen auch Elemente (im Ziel) erzeugen können.
- Signatur:

$$create : V \longrightarrow S$$

- Weitere Gesetze:

$$\begin{aligned} get(create(v)) &= v \\ put(v, create(w)) &= create(w) \end{aligned}$$

## Die Linse im Überblick






## Linsen im Beispiel

- Updates auf strukturierten Datenstrukturen:

```
case class Turtle(
  position: Point = Point(),
  color: Color = Color(),
  heading: Double = 0.0,
  penDown: Boolean = false)

case class Point(
  x: Double = 0.0,
  y: Double = 0.0)

case class Color(
  r: Int = 0,
  g: Int = 0,
  b: Int = 0)
```

- Ohne Linsen: functional record update

```
scala> val t = new Turtle();
t: Turtle = Turtle(Point(0.0,0.0),Color(0,0,0),0.0,false)

scala> t.copy(penDown = ! t.penDown);
res5: Turtle = Turtle(Point(0.0,0.0),Color(0,0,0),0.0,true)
```



## Linsen im Beispiel

- Das wird sehr schnell sehr aufwändig:

```
scala> def forward(t:Turtle) : Turtle =
     t.copy(position= t.position.copy(x= t.position.x+ 1));

forward: (t: Turtle)Turtle
scala> forward(t);
res6: Turtle = Turtle(Point(1.0,0.0),Color(0,0,0),0.0,false)
```

- Linsen helfen, das besser zu organisieren.



## Abhilfe mit Linsen

- Zuerst einmal: die Linse.

```
object Lenses {
  case class Lens[O, V](
    get: O ⇒ V,
    set: (O, V) ⇒ O
  ) }
```

- Linsen für die Schildkröte:

```
val TurtlePosition =
  Lens[Turtle, Point](_.position,
    (t, p) ⇒ t.copy(position = p))

val PointX =
  Lens[Point, Double](_.x,
   (p, x) ⇒ p.copy(x = x))
```



## Benutzung

- Längliche Definition, aber einfache Benutzung:

```
scala> StandaloneTurtleLenses.TurtleX.get(t);
res12: Double = 0.0

scala> StandaloneTurtleLenses.TurtleX.set(t, 4.3);
res13: Turtles.Turtle = Turtle(Point(4.3,0.0),Color(0,0,0),0.0,false)
```

- Viel *boilerplate*, aber:
- Definition kann abgeleitet werden



## Abgeleitete Linsen

- Aus der `Shapeless`-Bücherei:

```
object ShapelessTurtleLenses {

  import Turtles._
  import shapeless._, Lens._, Nat._

  val TurtleX = Lens[Turtle] ≫ _0 ≫ _0
  val TurtleHeading = Lens[Turtle] ≫ _2

  def right(t: Turtle, δ: Double) =
    TurtleHeading.modify(t)(_ + δ)
```

- Neue Linsen aus vorhandenen konstruieren



## Linsen konstruieren

- Die konstante Linse (für $c \in V$):

$$\begin{aligned} const\ c &: S \longleftrightarrow V \\ get(s) &= c \\ put(v,s) &= s \\ create(v) &= s \end{aligned}$$

- Die Identitätslinse:

$$\begin{aligned} copy\ c &: S \longleftrightarrow S \\ get(s) &= s \\ put(v,s) &= v \\ create(v) &= v \end{aligned}$$



## Linsen komponieren

- Gegeben Linsen $L_1 : S_1 \longleftrightarrow S_2, L_2 : S_2 \longleftrightarrow S_3$
- Die Komposition ist definiert als:

$$\begin{aligned} L_2 \cdot L_1 &: S_1 \longleftrightarrow S_3 \\ get &= get_2 \cdot get_1 \\ put(v,s) &= put_1(put_2(v, get_1(s)), s) \\ create &= create_1 \cdot create_2 \end{aligned}$$

## Mehr Linsen und Bidirektionale Progammierung

- Die `Shapeless`-Bücherei in Scala
- Linsen in Haskell
- DSL für bidirektionale Programmierung: Boomerang



## Zusammenfassung

- Der Zipper
  - Manipulation von Datenstrukturen
  - Zipper = Kontext + Fokus
  - Effiziente destruktive Manipulation
- Bidirektionale Programmierung
  - Linsen als Paradigma: *get*, *put*, *create*
  - Effektives funktionales Update
  - In Scala/Haskell mit abgeleiteter Implementierung, sonst als DSL.
- Nächstes Mal: Robustheit und Fehlerbehandlung
- Die Vorlesung und Übung in der nächsten Woche fallen aus!