Reaktive Programmierung
Vorlesung 9 vom 14.06.2022
Funktional-Reaktive Programmierung

Christoph Lüth, Martin Ring

Universität Bremen

Sommersemester 2022

Fahrplan

Das Tagemenü

- **Funktional-Reaktive Programmierung** (FRP) ist **rein** funktionale, reaktive Programmierung.
- Sehr **abstraktes** Konzept — im Gegensatz zu Observables und Aktoren.
- Literatur: Paul Hudak, **The Haskell School of Expression**, Cambridge University Press 2000, Kapitel 13, 15, 17.
  - Andere (effizientere) Implementierung existieren.

Dialektik des Programmierens

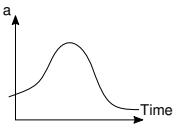
	Einer	Viele
Synchron	`Try[T]`	`Iterable[T]`
Asynchron	`Future[T]`	`Observable[T]`
Reaktiv	`Event a`	`Behaviour a`

- **These**: Synchron
- **Antithese**: Asynchron
- **Synthese**: Reaktiv

FRP in a Nutshell: Zwei Basiskonzepte

- **Kontinuierliches**, über der Zeit veränderliches **Verhalten**:

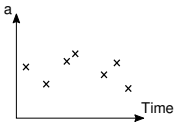
```
type Time = Float
type Behaviour α = Time → α
```



- Beispiel: Position eines Objektes

- **Diskrete Ereignisse** zu einem bestimmten Zeitpunkt:

```
type Event α = [(Time, α)]
```



- Beispiel: Benutzereingabe

Obige Typdefinitionen sind **Spezifikation**, nicht **Implementation**

Verhalten: erste einfache Beispiele

- Ein kreisender und ein pulsierender Ball:

```
circ, pulse :: Behavior Region
circ    = translate (cos time, sin time) (ell 0.2 0.2)
pulse   = ell (cos time * 0.5) (cos time * 0.5)
```

- Was passiert hier?
  - Basisverhalten: `time :: Behaviour Time`, `constB :: a → Behavior a`
  - Grafikbücherei: Datentyp `Region`, Funktion `Ellipse`
  - Liftings (`*`, `0.5`, `sin`, ...)

Lifting

- Um einfach mit `Behaviour` umgehen zu können, werden Funktionen zu `Behaviour` **geliftet:**

```
($*) :: Behavior (a→b) → Behavior a → Behavior b
lift1 :: (a → b) → (Behavior a → Behavior b)
```

  - Gleiches mit `lift2`, `lift3`, ...
- Damit komplexere Liftings (für viele andere Typklassen):

```
instance Num a => Num (Behavior a) where
  (+) = lift2 (+)

instance Floating a => Floating (Behavior a) where
  sin   = lift1 sin
```


Reaktive Animationen: Verhaltensänderung

- Beispiel: auf Knopfdruck Farbe ändern:

```
color1 :: Behavior Color
color1 = red `untilB` lbp →· blue

color2h = red `switch` ((lbp →· blue) .|. (key →· yellow))
```

- Was passiert hier?
  - `untilB` und `switch` kombinieren Verhalten

```
untilB :: Behavior a → Event (Behavior a) → Behavior a
switch :: Behavior a → Event (Behavior a) → Behavior a
```

  - `Event` ist ein `Functor`:

```
instance Functor Event where
e →· v = fmap (const v) e
```

  - Kombination von Ereignissen:

```
(.|.) :: Event a → Event a → Event a
```

Der Springende Ball

```
ball2 = paint red (translate (x,y) (ell 0.2 0.2)) where
  g  =  -4
  x  =  -3 + integral 0.5
  y  = 1.5 + integral vy
  vy = integral g `switch`
                 (hity `snapshot_` vy ==>> λv'-> lift0 (-v') + integral g)
  hity = when (y <* -1.5)
```

```
ball2x = paint red (translate (x,y) (ell 0.2 0.2)) where
  g  =  -4
  x  =  -3 + integral vx
  vx =  1 `switch` (hitx  `snapshot_` vx ==>> λv' -> lift0 (-v'))
  hitx = when (x <* -3 ||* x >* 3)
  y  = 1.5 + integral vy
  vy = integral g `switch`
                 (hity `snapshot_` vy ==>> λv'-> lift0 (-v') + integral g)
  hity = when (y <* -1.5)
```


- Nützliche Funktionen:

```
when :: Behavior Bool → Event ()
integral :: Behavior Float→ Behavior Float
snapshot :: Event a → Behavior b → Event (a,b)
snapshot_ :: Event a → Behavior b → Event b
```

- **Erweiterung**: Ball ändert Richtung, wenn er gegen die Wand prallt.

Implementation

- Verhalten, erste Annäherung:

```
data Beh1 a = Beh1 ([(UserAction, Time)]→ Time→ a)
```

- Problem: **Speicherleck** und **Ineffizienz**
- Analogie: suche in **sortierten** Listen

```
inList :: [Int] → Int → Bool
inList xs y = elem y xs

manyInList' :: [Int]→ [Int]→ [Bool]
manyInList' xs ys = map (inList xs) ys
```

- Besser Sortiertheit direkt nutzen

```
manyInList :: [Int] → [Int] → [Bool]
```


Implementation

- Verhalten werden **inkrementell abgetastet**:

```
data Beh2 a = Beh2 ([(UserAction,Time)] → [Time] → [a])
```

- Verbesserungen:
  - Zeit doppelt, nur **einmal**
  - Abtastung auch **ohne Benutzeraktion**
  - **Currying**

```
data Behavior a = Behavior (([Maybe UserAction],[Time]) → [a])
```

- Ereignisse sind im Prinzip **optionales Verhalten**:

```
data Event a = Event (Behaviour (Maybe a))
```


Längeres Beispiel: Pong!

- Pong besteht aus Paddel, Mauern und einem Ball.
- Das Paddel:

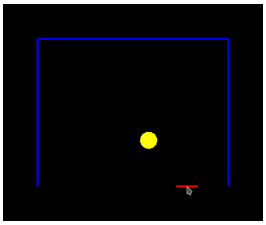
```
paddle = paint red (translate (fst mouse, -1.7) (rec 0.5 0.05))
```

- Die Mauern:

```
walls :: Behavior Picture
```

- ... und alles zusammen:

```
paddleball vel =
  walls `over`
  paddle `over`
  pball vel
```



Pong: der Ball

- Der Ball:

```
pball vel =
 let xvel = vel `stepAccum` xbnc  ->> negate
     xpos = integral xvel
     xbnc = when (xpos >*  2 ||* xpos <* -2)
     yvel = vel `stepAccum` ybnc  ->> negate
     ypos = integral yvel
     ybnc = when (ypos >* 1.5 ||* ypos `between` (-2.0,-1.5) &&*
                                  fst mouse `between` (xpos-0.25, xpos+0.25))
 in paint yellow (translate (xpos, ypos) (ell 0.2 0.2))
```

  - Ball völlig unabhängig von Paddel und Wänden
- Nützliche Funktionen:

```
while, when :: Behavior Bool→ Event ()
step :: a → Event a → Behavior a
stepAccum :: a → Event (a→a) → Behavior a
```


Warum nicht in Scala?

- Lifting und Typklassen für **syntaktischen Zucker**
- Aber: zentrales Konzept sind **unendliche** Listen (Ströme) mit **nicht-strikte** Auswertung
  - Implementation mit Scala-Listen nicht möglich
  - Benötigt: **Ströme** als unendliche Listen mit effizienter, nicht-strikter Auswertung
  - Möglich, aber aufwändig

Zusammenfassung

- Funktional-Reaktive Programmierung am Beispiel FAL (Functional Animation Library)
- Zwei Kernkonzepte: kontinuierliches **Verhalten** und diskrete **Ereignisse**
- Implementiert in Haskell, Systemverhalten als unendlicher Strom von Zuständen
- Stärke: Erlaubt **abstrakte** Progammierung von **reaktiven Animationen**
- Schwächen:
  - Fundamental **nicht-kompositional** — ist gibt **eine** Hauptfunktion
  - Debugging, Fehlerbehandlung, Nebenläufigkeit?
- Nächste Vorlesung: Software Transactional Memory (STM)