Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung
Vorlesung 11 vom 08.01.2013: Aktionen und Zustände

Christoph Lüth

Universität Bremen

Wintersemester 2012/13

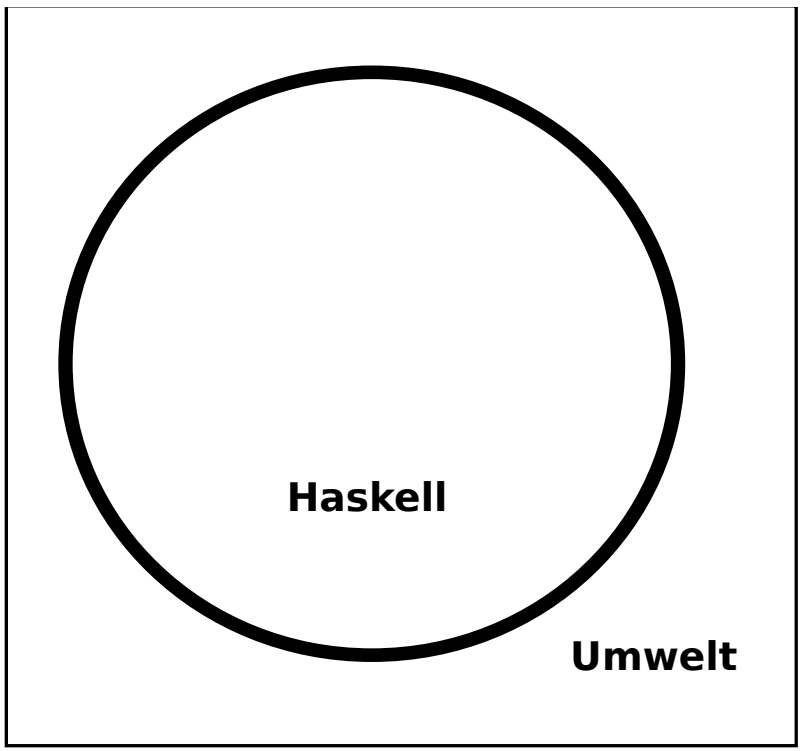
Fahrplan

- Teil I: Funktionale Programmierung im Kleinen
- Teil II: Funktionale Programmierung im Großen
  - Abstrakte Datentypen
  - Signaturen und Eigenschaften
  - Spezifikation und Beweis
  - Aktionen und Zustände
- Teil III: Funktionale Programmierung im richtigen Leben

Inhalt

- Ein/Ausgabe in funktionale Sprachen
- Wo ist das Problem?
- Aktionen und der Datentyp *IO*.
- Aktionen als Werte
- Aktionen als Zustandstransformationen

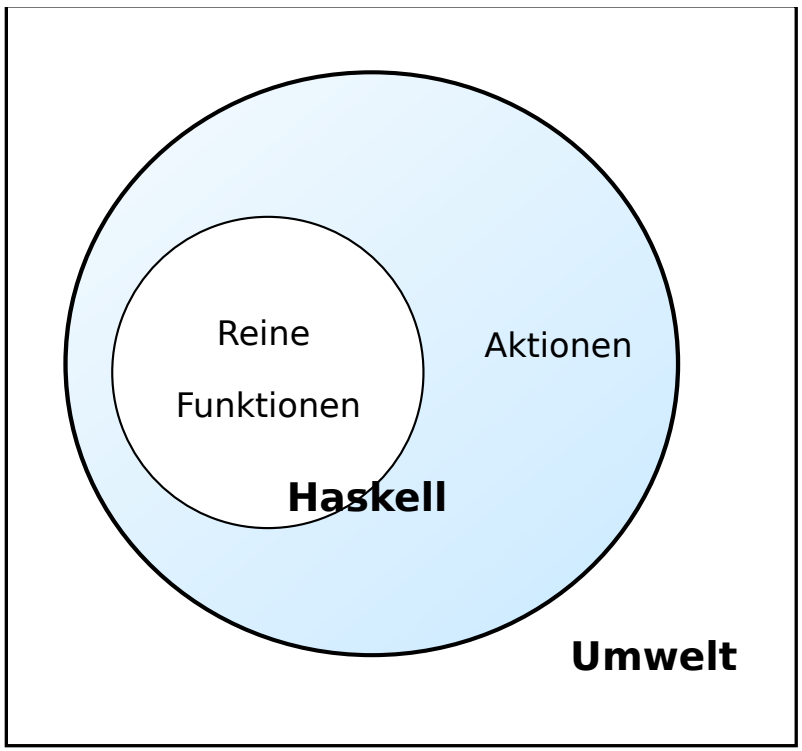
Ein- und Ausgabe in funktionalen Sprachen



Problem:

- Funktionen mit Seiteneffekten nicht referentiell transparent.
- readString :: $\ldots \rightarrow$String ??

Ein- und Ausgabe in funktionalen Sprachen



Problem:

- Funktionen mit Seiteneffekten nicht referentiell transparent.
- readString :: ...→String ??

Lösung:

- Seiteneffekte am Typ erkennbar
- Aktionen können nur mit Aktionen komponiert werden
- „einmal Aktion, immer Aktion“

Aktionen als abstrakter Datentyp

- ADT mit Operationen Komposition und Lifting
- Signatur:

```
type IO α

(>>=)  :: IO α → (α → IO β) → IO β

return :: α → IO α
```

- Plus elementare Operationen (lesen, schreiben etc)

Elementare Aktionen

- Zeile von stdin lesen:

```
getLine  :: IO String
```

- Zeichenkette auf stdout ausgeben:

```
putStr   :: String → IO ()
```

- Zeichenkette mit Zeilenvorschub ausgeben:

```
putStrLn :: String → IO ()
```

Einfache Beispiele

- Echo einfach

```
echo1 :: IO ()
echo1 = getLine >>= putStrLn
```

- Echo mehrfach

```
echo :: IO ()
echo = getLine >>= putStrLn >>= λ_ → echo
```

- Was passiert hier?
  - Verknüpfen von Aktionen mit $\gg=$
  - Jede Aktion gibt Wert zurück

Noch ein Beispiel

- Umgekehrtes Echo:

```
ohce :: IO ()
ohce = getLine
       >>= λs -> putStrLn (reverse s)
       >> ohce
```

- Was passiert hier?
  - Reine Funktion reverse wird innerhalb von Aktion putStrLn genutzt
  - Folgeaktion ohce benötigt Wert der vorherigen Aktion nicht
  - Abkürzung: >>

```
p >> q = p >>= λ_ -> q
```

Die **do**-Notation

- Syntaktischer Zucker für IO:

```
echo =
  getLine
  >>= λs→ putStrLn s
  >> echo
```

$\Longleftrightarrow$

```
echo =
  do s← getLine
     putStrLn s
     echo
```

  - Rechts sind $\gg=$, $\gg$ implizit.

- Es gilt die Abseitsregel.

  - Einrückung der ersten Anweisung nach **do** bestimmt Abseits.

Drittes Beispiel

- Zählendes, endliches Echo

```
echo3 :: Int → IO ()
echo3 cnt = do
  putStr (show cnt ++ ": ")
  s ← getLine
  if s ≠ "" then do
      putStrLn $ show cnt ++ ": " ++ s
      echo3 (cnt+ 1)
    else return ()
```

- Was passiert hier?
  - Kombination aus Kontrollstrukturen und Aktionen
  - Aktionen als Werte
  - Geschachtelte **do**-Notation

Module in der Standardbücherei

- Ein/Ausgabe, Fehlerbehandlung (Modul IO)
- Zufallszahlen (Modul Random)
- Kommandozeile, Umgebungsvariablen (Modul System)
- Zugriff auf das Dateisystem (Modul Directory)
- Zeit (Modul Time)

Ein/Ausgabe mit Dateien

- Im Prelude vordefiniert:
  - Dateien schreiben (überschreiben, anhängen):

```
type FilePath = String
writeFile     :: FilePath → String → IO ()
appendFile    :: FilePath → String → IO ()
```

- Datei lesen (verzögert):

```
readFile      :: FilePath → IO String
```

- Mehr Operationen im Modul IO der Standardbücherei
  - Buffered/Unbuffered, Seeking, &c.
  - Operationen auf Handle

Beispiel: Zeichen, Wörter, Zeilen zählen (wc)

```
wc :: String → IO ()
wc file =
  do cont ← readFile file
     putStrLn $ file ++ ": " ++
                show (length (lines cont),
                      length (words cont),
                      length cont)
```

- Nicht sehr effizient — Datei wird im Speicher gehalten.

Beispiel: wc verbessert.

- Effizienter: Dateiinhalt einmal traversieren

```
cnt :: Int → Int → Int → Bool → String
       → (Int, Int, Int)
cnt l w c _ [] = (l, w, c)
cnt l w c skip (x:xs)
  | not (isSpace x) && not skip = cnt l (w+1) (c+1) Tr
  | not (isSpace x) && skip     = cnt l w (c+1) True x
  | otherwise                   = cnt l' w (c+1) False xs where
      l' = if x == '\n' then l+1 else l
```

Beispiel: wc verbessert.

- Effizienter: Dateiinhalt einmal traversieren

```
cnt :: Int → Int → Int → Bool → String
       → (Int, Int, Int)
cnt l w c _ [] = (l, w, c)
cnt l w c skip (x:xs)
 | not (isSpace x) && not skip = cnt l (w+1) (c+1) Tr
 | not (isSpace x) && skip     = cnt l w (c+1) True x
 | otherwise                   = cnt l' w (c+1) False xs where
     l' = if x == '\n' then l+1 else l
```

- Hauptprogramm:

```
wc :: String → IO ()
wc file = do
 cont ← readFile file
 putStrLn $ file ++ ": " ++ show (cnt 0 0 0 False cont)
```

- Datei wird verzögert gelesen und dabei verbraucht.

Aktionen als Werte

- Aktionen sind Werte wie alle anderen.
- Dadurch Definition von Kontrollstrukturen möglich.
- Endlosschleife:

```
forever :: IO α → IO α
forever a = a ≫ forever a
```

- Iteration (feste Anzahl):

```
forN :: Int → IO α → IO ()
forN n a | n == 0     = return ()
         | otherwise = a ≫ forN (n−1) a
```

- Vordefinierte Kontrollstrukturen (Control.Monad):
  - when, mapM, forM, sequence, ...

Fehlerbehandlung

- Fehler werden durch IOError repräsentiert
- Fehlerbehandlung durch Ausnahmen (ähnlich Java)

```
ioError :: IOError → IO α      -- "throw"
catch   :: IO α→ (IOError→ IO α) → IO α
```

- Fehlerbehandlung nur in Aktionen

Fehler fangen und behandeln

- Fehlerbehandlung für wc:

```
wc2 :: String → IO ()
wc2 file =
  catch (wc file)
        (λe → putStrLn $ "Fehler: " ++ show e)
```

- IOError kann analysiert werden (siehe Modul IO)

- read mit Ausnahme bei Fehler (statt Programmabbruch):

```
readIO :: Read a ⇒ String → IO a
```

So ein Zufall!

- Zufallswerte:

```
randomRIO :: (α, α) → IO α
```

  - Warum ist randomIO Aktion?

So ein Zufall!

- Zufallswerte:

```
randomRIO :: (α, α) → IO α
```

  - Warum ist randomIO Aktion?

- Beispiel: Aktionen zufällig oft ausführen

```
atmost :: Int → IO α → IO [α]
atmost most a =
  do l ← randomRIO (1, most)
     sequence (replicate l a)
```

- Zufälligen String erzeugen

```
randomStr :: IO String
randomStr = atmost 40 (randomRIO ('a','z'))
```

Ausführbare Programme

- Eigenständiges Programm ist Aktionen
- Hauptaktion: main in Modul Main
- wc als eigenständiges Programm:

```
module Main where

import System.Environment (getArgs)
import Data.Char(isSpace)

main = do
  args ← getArgs
  mapM wc2 args
```

Funktionen mit Zustand

Theorem (Currying)

Folgende Typen sind isomorph:

$$A \times B \to C \cong A \to B \to C$$

- In Haskell: folgende Funktionen sind invers:

```
curry   :: ((α, β) → γ) → α → β → γ
uncurry :: (α → β → γ) → (α, β) → γ
```

Funktionen mit Zustand

- Idee: Seiteneffekt explizit machen
- Funktion $f : A \to B$ mit Seiteneffekt in Zustand S:

$$f : A \times S \to B \times S$$
$$\cong$$
$$f : A \to S \to B \times S$$

- Datentyp: $S \to B \times S$
- Komposition: Funktionskomposition und uncurry

In Haskell: Zustände explizit

- Datentyp: Berechnung mit Seiteneffekt in Typ Σ:

```
type State Σ α = Σ → (α, Σ)
```

- Komposition zweier solcher Berechnungen:

```
comp :: State Σ α → (α → State Σ β) → State Σ β
comp f g = uncurry g ∘ f
```

- Lifting:

```
lift :: α → State Σ α
lift = curry id
```

Beispiel: Ein Zähler

- Datentyp:

```
type WithCounter α = State Int α
```

- Zähler erhöhen:

```
tick :: WithCounter ()
tick i = ((), i+1)
```

- Zähler auslesen:

```
read :: WithCounter Int
read i = (i, i)
```

- Zähler zurücksetzen:

```
reset :: WithCounter ()
reset i = ((), 0)
```

Implizite vs. explizite Zustände

- Nachteil: Zustand ist explizit
  - Kann dupliziert werden
- Daher: Zustand implizit machen
  - Datentyp verkapseln
  - Signatur State, comp, lift , elementare Operationen

Aktionen als Zustandstransformationen

- Idee: Aktionen sind Transformationen auf Systemzustand S
- S beinhaltet
  - Speicher als Abbildung $A \rightharpoonup V$ (Adressen A, Werte V)
  - Zustand des Dateisystems
  - Zustand des Zufallsgenerators
- In Haskell: Typ RealWorld
  - "Virtueller" Typ, Zugriff nur über elementare Operationen
  - Entscheidend nur Reihenfolge der Aktionen

Zusammenfassung

- Ein/Ausgabe in Haskell durch Aktionen
- Aktionen (Typ IO α) sind seiteneffektbehaftete Funktionen
- Komposition von Aktionen durch

```
(>>=)  :: IO α → (α → IO β) → IO β
return :: α → IO α
```

- **do**-Notation
- Fehlerbehandlung durch Ausnahmen (IOError, catch).
- Verschiedene Funktionen der Standardbücherei:
  - Prelude: getLine, putStr, putStrLn, readFile, writeFile
  - Module: IO, Random
- Aktionen sind implementiert als Zustandstransformationen