Vorlesung vom 27.01.2003:
Roboter!

Inhalt

- Domain Specific Languages
- Modellierung von Zuständen: Monaden
- Beispiel für eine DSL: Roboterkontrollsprache IRL
  - Nach Hudak, Kapitel 19.

Domain Specifc Languages (DSL)

- DSL: Sprache für speziellen Problembereich
  - Im Gegensatz zu universalen Programmiersprachen
  - Beispiel: LaTeX, Shell-Skripte, Spreadsheets, . . .
- Implementierung von DSLs:
  - Einbettung in Haskell
- Beispiel heute: Imperative Roboterkontrollsprache IRL
- Dazu: imperative Konzepte in Haskell

Zustandsübergangsmonaden

- Aktionen (`IO a`) sind keine schwarze Magie.
- Grundprinzip:
  - Der Systemzustand wird durch das Programm gereicht.
  - Darf dabei nie dupliziert oder vergessen werden.
  - Auswertungsreihenfolge muß erhalten bleiben.
- $\Longrightarrow$ Zustandsübergangsmonaden

Zustandsübergangsmonaden

- Typ:

```
data ST s a = ST (s-> (a, s))
```

  - Parametrisiert über Zustand `s` und Berechnungswert `a`.

- `IO a` ist Instanz der Typklasse `Monad`:

```
class Monad m  where
    (>>=)  :: m a -> (a -> m b) -> m b
    return :: a -> m a
```

Zustandsübergangsmonaden

- Komposition von Zustandsübergängen:
  - Im Prinzip Vorwärtskomposition `(>.>)`:

```
(>>=) :: ST s a-> (a-> ST s b)-> ST s b
(>>=) :: (s-> (a, s))-> (a-> s->  (b, s))-> (s-> (b, s))
(>>=) :: (s-> (a, s))-> ((a, s)-> (b, s))-> (s-> (b, s))
```

  - Damit `f >>= g = uncurry g . f`.
  - Aber: Konstruktor um `ST`, deshalb Hilfsfunktion zum Auspacken.
- Identität für Zustandstransformationen:
  - Identität auf dem Zustand, Identität auf dem Argument.

- Damit:

```haskell
unwrap :: ST s a-> (s-> (a, s))
unwrap (ST f) = f

instance Monad (ST s) where
  f >>= g = ST (uncurry (unwrap. g) . unwrap f)
  return  a = ST (\s-> (a, s))
```

- Ausführlicher :

```
instance Monad (ST s) where
  (ST f) >>= g = ST $ \s0-> let (r1, s1)= f s0
                                ST g0    = g r1
                            in  g0 s1
  return a = ST $ \s-> (a, s)
```

Aktionen

- Aktionen: Zustandstransformationen auf der Welt
- Typ `RealWorld#` repräsentiert Außenwelt
  - Typ hat genau einen Wert `realworld#`, der nur für initialen Aufruf erzeugt wird.
  - Aktionen: `type IO a = ST RealWorld# a`
- Optimierungen:
  - `ST s a` vordefiniert durch in-place-update implementieren;
  - `IO`-Aktionen durch einfachen Aufruf ersetzen.

IRL im Beispiel

- Alle Roboterkommandos haben Typ `Robot a`
  - Bewegung `move :: Robot ()`, `turnLeft :: Robot ()`
  - Roboter kann zeichnen: `penUp :: Robot()`, `penDown :: Robot()`
  - Damit: Quadrat zeichnen:

```
drawSquare =
  do penDown; move; turnRight; move;
     turnRight; move; turnRight; move
```

- Roboter lebt in einer einfachen Welt mit Wänden
  - Test, ob Feld vor uns frei: `blocked :: Robot Bool`

Kontrollstrukturen

- Bedingungen und Schleifen:

```
cond  :: Robot Bool-> Robot a-> Robot a-> Robot a
cond1 :: Robot Bool-> Robot ()-> Robot ()
while :: Robot Bool-> Robot ()-> Robot ()
```

- Bsp: Ausweichen

```
evade :: Robot ()
evade = do cond1 blocked turnRight
```

- Bsp: Auf nächste Wand zufahren:

```
moveToWall :: Robot ()
moveToWall = while (isnt blocked)
                move
```

Roboter auf Schatzsuche

- Welt enhält auch Münzen.
- Münzen aufnehmen und ablegen:
  `pickCoin :: Robot ()`, `dropCoin :: Robot ()`
- Roboter steht auf einer Münze? `onCoin :: Robot Bool`
- Beispiel: Auf dem Weg Münzen sammeln (wie `moveWall`)

```
getCoinsToWall :: Robot ()
getCoinsToWall = while (isnt blocked) $
                          do move; pickCoin
```

Implementation

- Der Roboterzustand:

```
data RobotState
  = RobotState
    { position  :: Position
    , facing    :: Direction
    , pen       :: Bool
    , color     :: Color
    , treasure  :: [Position]
    , pocket    :: Int
    } deriving Show
```

- `Robot a` transformiert Robotstate.
  - Erster Entwurf:

    ```
    type Robot a = RobotState-> (RobotState, a)
    ```

  - Aber: brauchen die Welt (`Grid`), Roboterzustände zeichnen:

    ```
    type Robot a = RobotState-> Grid-> Window->
                                (RobotState, a, IO())
    ```

  - Aktionen nicht erst aufsammeln, sondern gleich ausführen — `RobotState` in `IO` einbetten.

```
data Robot a
  = Robot (RobotState -> Grid -> Window ->
                                IO (RobotState, a))
```

- Damit `Robot` als Instanz von `Monad` (vergleiche `ST`):

```
instance Monad Robot where
  Robot sf0 >>= f
    = Robot $ \s0 g w -> do
                (s1,a1) <- sf0 s0 g w
                let Robot sf1 = f a1
                sf1 s1 g w
  return a
    = Robot (\s _ _ -> return (s,a))
```

- Positionen:

```
type Position = (Int,Int)
```

- Richtungen:

```
data Direction = North | East | South | West
         deriving (Eq,Show,Enum)
```

  - Hilfsfunktionen: Rechts-/Linksdrehungen:

```
right,left :: Direction -> Direction
right d = toEnum (succ (fromEnum d) `mod` 4)
left  d = toEnum (pred (fromEnum d) `mod` 4)
```

- Die Welt:

```
type Grid = Array Position [Direction]
```

  - Enthält für Feld `(x,y)` die Richtungen, in denen erreichbare Nachbarfelder sind.

Einfache Zustandsmanipulationen

- Zwei Hilfsfunktionen

```
updateState :: (RobotState -> RobotState)
                                      -> Robot ()
queryState  :: (RobotState -> a) -> Robot a
```

- Damit Implementation der einfachen Funktionen (`turnLeft`, `turnRight`, `coins`, &c)
- Einzige Ausnahme: `blocked`.
- Zeigen.

Bewegung

- Beim Bewegen:
  - Prüfen, ob Bewegung möglich
  - Neue Position des Roboters zeichnen
  - Neue Position in Zustand eintragen.

```
move :: Robot ()
move = cond1 (isnt blocked) $
         Robot $ \s _ w -> do
            let newPos = movePos (position s) (facing s)
            graphicsMove w s newPos
            return (s {position = newPos}, ())

movePos :: Position -> Direction -> Position
```

Grafik

- Weltkoordinaten (`Grid`): Ursprung $(0, 0)$ in Bildmitte
- Eine Position (`Position`) $\sim$ zehn Pixel
- Wände werden zwischen zwei Positionen gezeichnet
- Roboterstift zeichnet von einer Position zum nächsten
- Münzen: gelbe Kreise direkt links über der Position
- Münzen löschen durch übermalen mit schwarzem Kreis
- Zeigen.

Hauptfunktion

```
runRobot :: Robot () -> RobotState -> Grid -> IO ()
```

- Fenster öffnen
- Welt zeichnen, initiale Münzen zeichnen
- Auf Spacetaste warten
- Funktion `Robot ()` ausführen
- Aus Endzustand kleine Statistik drucken
- Zeigen.

Beispiel 1

- Roboter läuft in Spirale.
- Nach rechts drehen, n Felder laufen, nach rechts drehen, n Felder laufen;
- Dann n um eins erhöhen;
- Nützliche Hilfsfunktion:

```
for :: Int -> Robot ()-> Robot ()
for n a = sequence_ (replicate n a)
```

- Hauptfunktion:

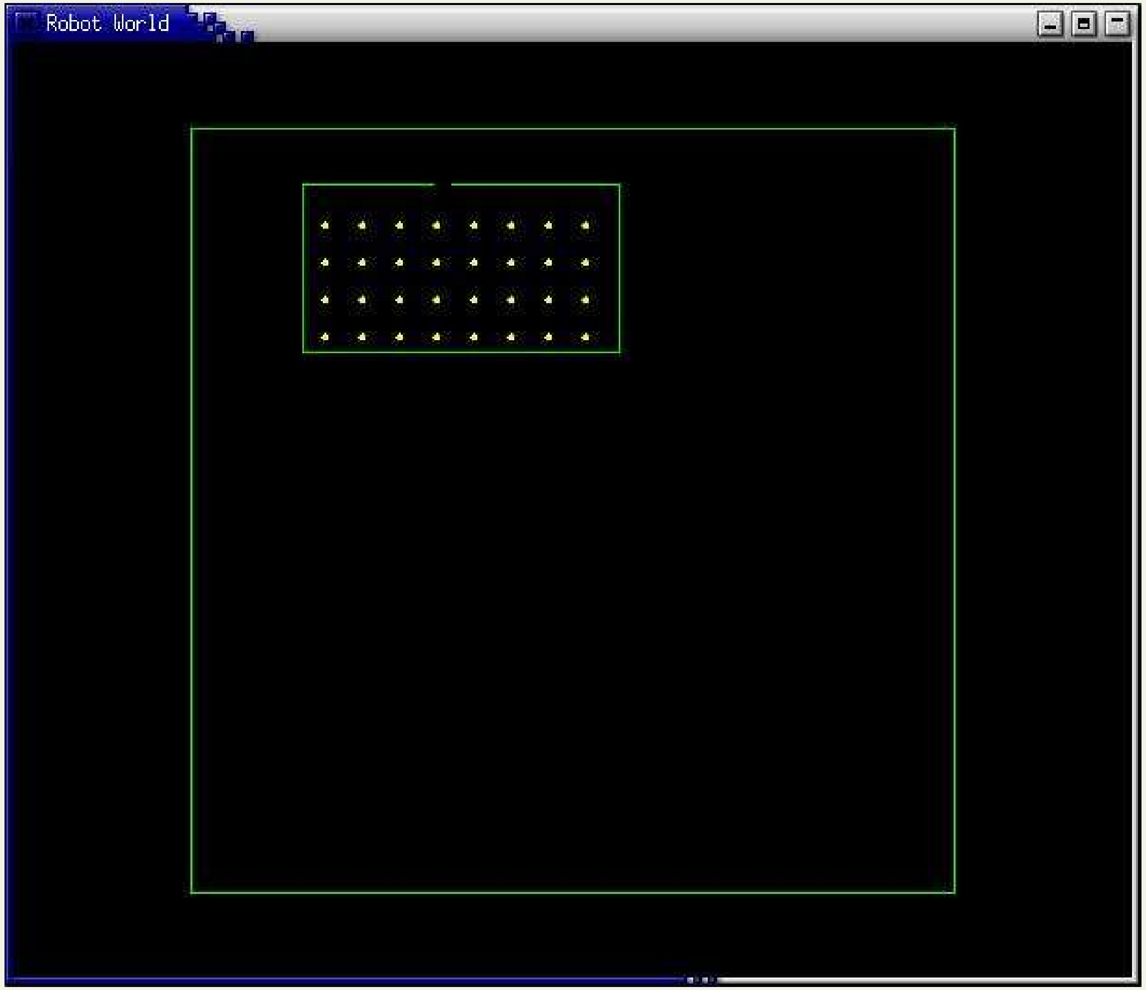
```
spiral :: Robot ()
spiral = penDown >> loop 1 where
 loop n =
    let turnMove = do turnRight; for n move
    in  do for 2 turnMove
           cond1 (isnt blocked) (loop (n+1))

main :: IO ()
main = runRobot spiral s0 g0
```

- Zeigen.

Beispiel 2

Eine etwas komplizierte Welt:



- Ziel: in dieser Welt alle Münzen finden.
- Dazu: Zerlegung in Teilprobleme

1. Von Startposition in Spirale nach außen
2. Wenn Wand gefunden, Tür suchen
3. Wenn Tür gefunden, Raum betreten
4. Danach alle Münzen einsammeln

- Schritt 1: Variation der Spirale

```
treasureHunt :: Robot ()
treasureHunt = do
  penDown; loop 1
   where loop n =
           cond blocked findDoor $
             do turnRight; moven n
                cond blocked findDoor $
                  do turnRight
                     moven n; loop (n+1)
```

- Schritt 2: Tür suchen

```
findDoor :: Robot ()
findDoor = do
  turnLeft
  loop
   where loop = do
           wallFollowRight
           cond doorOnRight
             (do enterRoom; getGold)
             (do turnRight; move; loop)
```

- Hilfsfunktion 2.1: Wand folgen

```
wallFollowRight :: Robot ()
wallFollowRight =
  cond1 blockedRight $
    do move; wallFollowRight

blockedRight :: Robot Bool
blockedRight = do
  turnRight
  b <- blocked
  turnLeft
  return b
```

- Hilfsfunktion 2.2: Tür suchen, Umdrehen

```
doorOnRight :: Robot Bool
doorOnRight = do
  penUp; move
  b <- blockedRight
  turnAround; move; turnAround; penDown
  return b

turnAround :: Robot ()
turnAround = do turnRight; turnRight
```

- Schritt 3: Raum betreten

```
enterRoom :: Robot ()
enterRoom = do
  turnRight
  move
  turnLeft
  moveToWall
  turnAround

moveToWall :: Robot ()
moveToWall = while (isnt blocked)
               move
```

- Schritt 4: Alle Münzen einsammeln

```
getGold :: Robot ()
getGold = do
  getCoinsToWall
  turnLeft; move; turnLeft
  getCoinsToWall
  turnRight
  cond1 (isnt blocked) $
    do move; turnRight; getGold
```

- Hilfsfunktion 4.1: Alle Münzen in einer Reihe einsammeln

```
getCoinsToWall :: Robot ()
getCoinsToWall = while (isnt blocked) $
                          do move; pickCoin
```

- Hauptfunktion:

```
main = runRobot treasureHunt s1 g3
```

- Zeigen!

Zusammenfassung

- Zustandstransformationen
  - Aktionen als Transformationen der `RealWorld`
- Die Roboterkontrollsprache IRL
  - Einbettung einer imperativen Sprache in Haskell
  - Der Robotersimulator
- Beispiel für eine domänenspezifische Sprache (DSL).
  - Hier in Haskell eingebettet.
  - Wegen flexibler Syntax, Typklassen und Funktionen höherer Ordnung gut möglich.