

Intermediate Functional Programming in Haskell

Universität Bielefeld, Sommersemester 2015

Jonas Betzendahl & Stefan Dresselhaus

Übersicht I

- 1 State-Monad
- 2 Monad-Transformer
- 3 Monad-Transformer cont.

Wir hatten in der letzten Vorlesung die State-Monade kurz angesprochen.

Heute wenden wir uns der Definition zu und werden herausfinden, wie man noch weiter abstrahieren kann.

Beispiel:

```
countme :: a -> State Int a
countme a = do
    modify (+1)
    return a
```

```
example :: State Int Int
example = do
    x <- countme (2+2)
    y <- return (x*x)
    z <- countme (y-2)
    return z
```

```
examplemain = runState example 0
-- -> (14,2), 14 = wert von z, 2 = interner counter
```

Beispiel 2:

```
module Main where
import Control.Monad.State
type CountValue = Int
type CountState = (Bool, Int)

startState :: CountState
startState = (False, 0)

play :: String -> State CountState CountValue
--play ...
```

```

play []      = do
    (_, score) <- get
    return score
play (x:xs) = do
    (on, score) <- get
    case x of
        'C' -> if on then put (on, score + 1) else put (on, score)
        'A' -> if on then put (on, score - 1) else put (on, score)
        'T' -> put (False, score)
        'G' -> put (True, score)
        _   -> put (on, score)
    playGame xs

main = print $ runState (play "GACAACTCGAAT") startState
-- -> (-3,(False,-3))
    
```

Die State-Monade „packt“ einen State in jeden Funktionsaufruf:

```
newtype State s a = State { runState :: s -> (a,s) }
```

```
foo :: a -> State s b
```

```
foo :: a -> (s -> (b,s))
```

```
foo :: a -> s -> (b,s)
```

Die State-Monade „packt“ einen State in jeden Funktionsaufruf:

```
newtype State s a = State { runState :: s -> (a,s) }
```

```
foo :: a -> State s b  
foo :: a -> (s -> (b,s))  
foo :: a -> s -> (b,s)
```

Wir sehen, dass eine Funktion, die in die State-Monade aufgewertet wurde einfach nur ein weiteres Funktionsargument (den State *s*) mitgegeben wird und wir statt dem Ergebnis *b* ein (*b*,*s*) bekommen, was den neuen Zustand enthält.

Man kann sich die State-Monade als Berechnung vorstellen, die noch nicht ausgeführt werden kann, weil der initiale State nicht gesetzt ist. Dies spiegelt sich auch in der Funktor-Instanz wieder:

Man kann sich die State-Monade als Berechnung vorstellen, die noch nicht ausgeführt werden kann, weil der initiale State nicht gesetzt ist. Dies spiegelt sich auch in der Funktor-Instanz wieder:

```
instance Functor (State s) where
  fmap f (State rs) = State $ \s ->
    let (a,s') = rs s in (f a, s')
```

Man kann sich die State-Monade als Berechnung vorstellen, die noch nicht ausgeführt werden kann, weil der initiale State nicht gesetzt ist. Dies spiegelt sich auch in der Funktor-Instanz wieder:

```
instance Functor (State s) where
  fmap f (State rs) = State $ \s ->
    let (a,s') = rs s in (f a, s')
```

Wir sehen, dass wir erst mit `rs s` den State, den wir bekommen „ausführen“ müssen um ein `a` zu generieren, auf das wir die Funktion anwenden können.

Anschließend verpacken wir in unserem Ergebnis den modifizierten State und die angewendete Funktion.

Man kann sich die State-Monade als Berechnung vorstellen, die noch nicht ausgeführt werden kann, weil der initiale State nicht gesetzt ist. Dies spiegelt sich auch in der Funktor-Instanz wieder:

```
instance Functor (State s) where
  fmap f (State rs) = State $ \s ->
    let (a,s') = rs s in (f a, s')
```

Wir sehen, dass wir erst mit `rs s` den State, den wir bekommen „ausführen“ müssen um ein `a` zu generieren, auf das wir die Funktion anwenden können.

Anschließend verpacken wir in unserem Ergebnis den modifizierten State und die angewendete Funktion.

Wichtig ist hier, dass wir wieder eine Funktion in State verpackt zurückgeben müssen, die einen State nimmt:

```
newtype State s a = State { runState :: s -> (a,s) }
```

Ganz analog funktioniert die Applicative-Instanz:

```
instance Applicative (State s) where
    pure a = State $ \s -> (a,s)
    (State rs) <*> (State rest) =
        State $ \s ->
            let (f,s') = rs s
              (a,s'') = rest s'
            in
                (f a,s'')
```

Ganz analog funktioniert die Applicative-Instanz:

```
instance Applicative (State s) where
    pure a = State $ \s -> (a,s)
    (State rs) <*> (State rest) =
        State $ \s ->
            let (f,s') = rs s
              (a,s'') = rest s'
            in
                (f a,s'')
```

Hier müssen wir den State 2x ausführen. Einmal um an das f zu kommen und dann verketteten wir dies mit der restlichen State-Berechnung um auch noch an unser a zu kommen. Zurück geben wir den doppelt bearbeiteten State und den bearbeiteten Wert.

Ganz analog funktioniert die Applicative-Instanz:

```
instance Applicative (State s) where
  pure a = State $ \s -> (a,s)
  (State rs) <*> (State rest) =
    State $ \s ->
      let (f,s') = rs s
          (a,s'') = rest s'
      in
        (f a,s'')
```

Hier müssen wir den State 2x ausführen. Einmal um an das f zu kommen und dann verketteten wir dies mit der restlichen State-Berechnung um auch noch an unser a zu kommen. Zurück geben wir den doppelt bearbeiteten State und den bearbeiteten Wert.

Wichtig ist hier die Reihenfolge! Wir hätten es auch umdrehen können:

```
let (f,s'') = rs s'
    (a,s') = rest s
in
  (f a,s'')
```

Am wichtigsten ist die Monad-Instanz:

```
instance Monad (State s) where
    return a = State $ \s -> (a,s)
    (State rs) >>= f =
        State $ \s ->
            let (a,s') = rs s
              (State rs') = f a
            in
                rs' s'
```


Am wichtigsten ist die Monad-Instanz:

```
instance Monad (State s) where
  return a = State $ \s -> (a,s)
  (State rs) >=> f =
    State $ \s ->
      let (a,s') = rs s
          (State rs') = f a
      in
        rs' s'
```

Wir müssen wieder zuerst den State ausführen um an unser `a` zu gelangen. Danach können wir unsere Funktion `f` ausführen um eine neue Funktion zu bekommen, die wir auch aus dem State auspacken. Eine kleine Anwendung des erhaltenen States hierauf gibt uns schlussendlich unser Ergebnis.

Wir hatten letzte Woche die Maybe-Monade mit dem folgenden Anwendungsfall:

```
f = do
    folder <- getInbox
    mail    <- getFirstMail folder
    header <- getHeader mail
    return header
```

Nun möchten wir aus irgendeinem Grund (Logging, Netzwerk, ..) zwischen dem `getInbox` und dem `getFirstMail` eine IO-Aktion ausführen.

Problem: `IO /= Maybe`

Wir hatten letzte Woche die Maybe-Monade mit dem folgenden Anwendungsfall:

```
f = do
    folder <- getInbox
    mail    <- getFirstMail folder
    header <- getHeader mail
    return header
```

Nun möchten wir aus irgendeinem Grund (Logging, Netzwerk, ..) zwischen dem `getInbox` und dem `getFirstMail` eine IO-Aktion ausführen.

Problem: `IO /= Maybe`

Als Konsequenz können wir die `do`-notation nicht verwenden - wir fallen also wieder zurück auf die hässliche Notation:

```
f :: IO (Maybe Header)
f = case getInbox of
    (Just folder) ->
        do
            putStrLn "debug"
            return $ case getFirstMail folder of
                (Just mail) ->
                    case getHeader mail of
                        (Just head) -> return head
                        Nothing      -> Nothing
                Nothing          -> Nothing
    Nothing                    -> return Nothing
```

Dieser Code ist ohne Frage hässlich. Stellt sich die Frage, ob wir nicht soetwas, wie `MaybeIO` bauen können, sodass wir wieder `do`-notation verwenden können.

Dieser Code ist ohne Frage hässlich. Stellt sich die Frage, ob wir nicht soetwas, wie MaybeIO bauen können, sodass wir wieder do-notation verwenden können.

Also kombinieren wir es (ähnlich zur State-Monade):

```
data MaybeIO a = MaybeIO { runMaybeIO :: IO (Maybe a) }
```

Dieser Code ist ohne Frage hässlich. Stellt sich die Frage, ob wir nicht soetwas, wie MaybeIO bauen können, sodass wir wieder do-notation verwenden können.

Also kombinieren wir es (ähnlich zur State-Monade):

```
data MaybeIO a = MaybeIO { runMaybeIO :: IO (Maybe a) }
```

Dieses liefert uns 2 Funktionen:

```
MaybeIO    :: IO (Maybe a) -> MaybeIO a  
runMaybeIO :: MaybeIO a -> IO (Maybe a)
```

Also eine Funktion, um in unsere neue Monade zu kommen und eine Funktion um dieses wieder rückgängig zu machen.

Fangen wir mit der Functor-Instanz an:

```
instance Functor MaybeIO where
  fmap f input = wrapped
    where
      unwrapped = runMaybeIO input
      -- IO (Maybe a) auspacken
      fmapped = fmap (fmap f) unwrapped
      -- erstes fmap mapped durch IO,
      -- zweites fmap durch Maybe
      wrapped = MaybeIO fmapped
      -- einpacken in den richtigen Typen
```


Fangen wir mit der Functor-Instanz an:

```
instance Functor MaybeIO where
  fmap f input = wrapped
    where
      unwrapped = runMaybeIO input
      -- IO (Maybe a) auspacken
      fmapped = fmap (fmap f) unwrapped
      -- erstes fmap mapped durch IO,
      -- zweites fmap durch Maybe
      wrapped = MaybeIO fmapped
      -- einpacken in den richtigen Typen
```

oder kurz:

```
instance Functor MaybeIO where
  fmap f = MaybeIO . fmap (fmap f) . runMaybeIO
```

Applicative:

```
instance Applicative MaybeIO where
  pure      = MaybeIO . pure . Just
            -- in Just packen, mit pure in IO heben
            -- und den Typen mit MaybeIO aliasen
  f <*> x = MaybeIO $ (<*>) <$> f' <*> x'
            where
              f' = runMaybeIO f -- IO (Maybe f)
              x' = runMaybeIO x -- IO (Maybe x)
```

Das erste (<*>) ist Applicative auf Maybe und es wird in Applicative <*> von IO hineingemappt.

Monad:

```
instance Monad MaybeIO where
  return = pure
  x >>= f = MaybeIO $ x'',
    where
      x' = runMaybeIO x
      x'' = x' >>= runMaybeIO . mb . fmap f
      mb :: Maybe (MaybeIO a) -> MaybeIO a
      mb (Just a) = a
      mb Nothing = MaybeIO $ return Nothing
```

Zuerst packen wir das MaybeIO aus. `fmap f` bringt uns ein `Maybe (MaybeIO a)`, welches wir mittels der Hilfsfunktion `mb` auspacken oder einen leeren Wert konstruieren.

Dieses jagen wir noch durch `runMaybeIO` um wieder ein `IO (Maybe a)` zu bekommen, auf das wir dann den `>==`-Operator von `IO` anwenden können. Das Ergebnis verpacken wir noch in `MaybeIO` und sind fertig.

Da wir nun eine Monade definiert haben, können wir ja wieder do nutzen:

```
f = do
  i <- getInbox
  putStrLn "debug"
  m <- getFirstMail i
  h <- getHeader m
  return h
```

Allerdings:

Couldn't match type Maybe with MaybeIO
Expected type: MaybeIO Inbox
Actual type: Maybe Inbox
In a stmt of a 'do' block: in <- getInbox

Couldn't match type IO with MaybeIO
Expected type: MaybeIO ()
Actual type: IO ()
In a stmt of a 'do' block: putStrLn "debug"

Couldn't match type Maybe with MaybeIO
Expected type: MaybeIO Mail
Actual type: Maybe Mail
In a stmt of a 'do' block: m <- getFirstMail i

Couldn't match type Maybe with MaybeIO
Expected type: MaybeIO Header
Actual type: Maybe Header
In a stmt of a 'do' block: h <- getHeader m

Wir brauchen also Konverter:

- `Maybe -> MaybeIO`
- `IO -> MaybeIO`

Wir brauchen also Konverter:

- `Maybe -> MaybeIO`
- `IO -> MaybeIO`

Aber wir haben schon alles, was wir brauchen, wenn wir uns nur klar machen:

```
return  :: Maybe a -> IO (Maybe a)  -- return von IO
MaybeIO :: IO (Maybe a) -> MaybeIO a
```

Wir brauchen also Konverter:

- `Maybe -> MaybeIO`
- `IO -> MaybeIO`

Aber wir haben schon alles, was wir brauchen, wenn wir uns nur klar machen:

```
return  :: Maybe a -> IO (Maybe a)  -- return von IO
MaybeIO :: IO (Maybe a) -> MaybeIO a
```

und

```
Just      :: a -> Maybe a
fmap Just :: IO a -> IO (Maybe a)
```


Somit wird unser Code von oben:

```
f = do
  i <- MaybeIO (return (getInbox))
  MaybeIO (fmap Just (putStrLn "debug"))
  m <- MaybeIO (return (getFirstMail i))
  h <- MaybeIO (return (getHeader m))
  return h
```

Somit wird unser Code von oben:

```
f = do
  i <- MaybeIO (return (getInbox))
  MaybeIO (fmap Just (putStrLn "debug"))
  m <- MaybeIO (return (getFirstMail i))
  h <- MaybeIO (return (getHeader m))
  return h
```

Zwar können wir nun `do` nutzen, aber das sieht doch eher hässlich aus. Außerdem ist so viel Code doppelt!

Wenn wir Muster finden, dann faktorisieren wir sie doch raus!

```
liftMaybe :: Maybe a -> MaybeIO a  
liftMaybe x = MaybeIO (return x)
```

```
liftIO :: IO a -> MaybeIO a  
liftIO x = MaybeIO (fmap Just x)
```

Wenn wir Muster finden, dann faktorisieren wir sie doch raus!

```
liftMaybe :: Maybe a -> MaybeIO a  
liftMaybe x = MaybeIO (return x)
```

```
liftIO :: IO a -> MaybeIO a  
liftIO x = MaybeIO (fmap Just x)
```

und wir erhalten:

```
f = do  
    i <- liftMaybe getInbox  
    liftIO $ putStrLn "debug"  
    m <- liftMaybe $ getFirstMail i  
    h <- liftMaybe $ getHeader m  
    return h
```

Wenn wir uns nochmals ansehen, welche Eigenschaft der IO-Monade wir genutzt haben, dann fällt uns auf:

Wenn wir uns nochmals ansehen, welche Eigenschaft der IO-Monade wir genutzt haben, dann fällt uns auf:

```
instance Functor MaybeIO where
  fmap f = MaybeIO . fmap (fmap f) . runMaybeIO
```

fmap von IO als Funktor

Wenn wir uns nochmals ansehen, welche Eigenschaft der IO-Monade wir genutzt haben, dann fällt uns auf:

```
instance Functor MaybeIO where
    fmap f = MaybeIO . fmap (fmap f) . runMaybeIO
```

fmap von IO als Funktor

```
instance Applicative MaybeIO where
    pure    = MaybeIO . pure . Just
    f <*> x = MaybeIO $ (<*>) <$> (runMaybeIO f)
                                <*> (runMaybeIO x)
```

pure und <*> von IO als Applicative

Wenn wir uns nochmals ansehen, welche Eigenschaft der IO-Monade wir genutzt haben, dann fällt uns auf:

```
instance Functor MaybeIO where
    fmap f = MaybeIO . fmap (fmap f) . runMaybeIO
```

fmap von IO als Funktor

```
instance Applicative MaybeIO where
    pure    = MaybeIO . pure . Just
    f <*> x = MaybeIO $ (<*>) <$> (runMaybeIO f)
                                <*> (runMaybeIO x)
```

pure und <*> von IO als Applicative

```
instance Monad MaybeIO where
    return = pure
    x >>= f = MaybeIO $ (runMaybeIO x)
                      >>= runMaybeIO . mb . fmap f
    where
        mb (Just a) = a
        mb Nothing = MaybeIO $ return Nothing
```

return von IO

Uns fällt auf: Wir verwenden gar keine intrinsischen Eigenschaften von IO.

Also können wir IO auch durch jede Monade ersetzen. Dies nennt man dann Monad Transformer.

```
data MaybeT m a = MaybeT { runMaybeT :: m (Maybe a) }
```

Uns fällt auf: Wir verwenden gar keine intrinsischen Eigenschaften von IO.

Also können wir IO auch durch jede Monade ersetzen. Dies nennt man dann Monad Transformer.

```
data MaybeT m a = MaybeT { runMaybeT :: m (Maybe a) }
```

Und der Code von eben wird zu:

```
instance Functor m => Functor (MaybeT m) where
  fmap f = MaybeT . fmap (fmap f) . runMaybeT
```

```
instance Applicative m => Applicative (MaybeT m) where
  pure    = MaybeT . pure . Just
  f <*> x = MaybeT $ (<*>) <$> (runMaybeT f)
                                <*> (runMaybeT x)
```

```
instance Monad m => Monad (MaybeT m) where
  return = pure
  x >=> f = MaybeT $ (runMaybeT x)
                    >=> runMaybeT . mb . fmap f
  where
    mb (Just a) = a
    mb Nothing = MaybeT $ return Nothing
```

Uns fällt auf: Wir verwenden gar keine intrinsischen Eigenschaften von IO.

Also können wir IO auch durch jede Monade ersetzen. Dies nennt man dann Monad Transformer.

```
data MaybeT m a = MaybeT { runMaybeT :: m (Maybe a) }
```

Und der Code von eben wird zu:

```
instance Functor m => Functor (MaybeT m) where
  fmap f = MaybeT . fmap (fmap f) . runMaybeT
```

```
instance Applicative m => Applicative (MaybeT m) where
  pure    = MaybeT . pure . Just
  f <*> x = MaybeT $ (<*>) <$> (runMaybeT f)
                                <*> (runMaybeT x)
```

```
instance Monad m => Monad (MaybeT m) where
  return = pure
  x >=> f = MaybeT $ (runMaybeT x)
                    >=> runMaybeT . mb . fmap f
  where
    mb (Just a) = a
    mb Nothing = MaybeT $ return Nothing
```

Frage: Wie realisieren wir nun `liftIO` etc.?

Frage: Wie realisieren wir nun liftIO etc?
Über Typklassen!

```
class Monad m => MonadIO m where  
    liftIO :: IO a -> m a
```

Wir verlangen einfach, dass IO irgendwie verarbeitet werden muss.

Frage: Wie realisieren wir nun `liftIO` etc.?
Über Typklassen!

```
class Monad m => MonadIO m where  
    liftIO :: IO a -> m a
```

Wir verlangen einfach, dass IO irgendwie verarbeitet werden muss.

IO ist ein Spezialfall, da IO als Monade nicht additiv ist. Es gibt somit keinen IOT.

Frage: Wie realisieren wir nun liftIO etc?
Über Typklassen!

```
class MonadTrans t where  
    lift :: (Monad m) => m a -> t m a
```

Frage: Wie realisieren wir nun `liftIO` etc.?

Über Typklassen!

```
class MonadTrans t where  
  lift :: (Monad m) => m a -> t m a
```

Dies ist die allgemeine Form für additive Monaden. Mit `lift` heben wir uns eine monadische Ebene höher.

Doch was bedeutet das?

Wir haben schon ein paar Monaden kennengelernt. Diese sind fast alle additiv. Wir können somit folgendes bauen:

Wir haben schon ein paar Monaden kennengelernt. Diese sind fast alle additiv. Wir können somit folgendes bauen:

```
data MyMonadStack a = StateT (EitherT (MaybeT (IO a)))
```

Wir haben schon ein paar Monaden kennengelernt. Diese sind fast alle additiv. Wir können somit folgendes bauen:

```
data MyMonadStack a = StateT (EitherT (MaybeT (IO a)))
```

Wie schreiben wir nun hierin Code?

```
bsp :: MyMonadStack ()
```

```
bsp = do
```

```
  a <- fun
```

```
-- fun  :: MyMonadStack Int
```

```
  b <- lift $ fun2
```

```
-- fun2 :: EitherT (MaybeT (IO Int))
```

```
  c <- lift . lift $ fun3
```

```
-- fun3 :: MaybeT (IO Int))
```

```
  liftIO $ putStrLn "foo"
```

Um auf spezielle Ebenen im Monad-Stack zuzugreifen gibt es für jeden Zweck eine Typklasse. Beispielsweise:

Um auf spezielle Ebenen im Monad-Stack zuzugreifen gibt es für jeden Zweck eine Typklasse. Beispielsweise:

```
instance (Monad m) => MonadState s (StateT s m) where
  get    = StateT $ \s -> return (s,s)
  put s = StateT $ \_ -> return ((),s)
```

Um auf spezielle Ebenen im Monad-Stack zuzugreifen gibt es für jeden Zweck eine Typklasse. Beispielsweise:

```
instance (Monad m) => MonadState s (StateT s m) where
  get    = StateT $ \s -> return (s,s)
  put s = StateT $ \_ -> return ((),s)
```

Nun können wir einfach

```
bsp :: MyMonadStack ()
bsp = do
  state <- get
  put $ manipulateState state
  liftIO $ putStrLn "foo"
```

Um auf spezielle Ebenen im Monad-Stack zuzugreifen gibt es für jeden Zweck eine Typklasse. Beispielsweise:

```
instance (Monad m) => MonadState s (StateT s m) where
  get    = StateT $ \s -> return (s,s)
  put s = StateT $ \_ -> return ((),s)
```

Nun können wir einfach

```
bsp :: MyMonadStack ()
bsp = do
  state <- get
  put $ manipulateState state
  liftIO $ putStrLn "foo"
```

Analog gibt es dies auch für ReaderT (env), welches ein read-only-Environment bereitstellt (z.b. eine Konfiguration) oder für WriterT (tell), welches ein write-only-Environment zur Verfügung stellt (z.b. Logging). Häufig findet man daher einen Read-Write-State-Transformer, kurz RWST-Stack.

Um auf spezielle Ebenen im Monad-Stack zuzugreifen gibt es für jeden Zweck eine Typklasse. Beispielsweise:

```
instance (Monad m) => MonadState s (StateT s m) where
  get    = StateT $ \s -> return (s,s)
  put s = StateT $ \_ -> return ((),s)
```

Nun können wir einfach

```
bsp :: MyMonadStack ()
bsp = do
  state <- get
  put $ manipulateState state
  liftIO $ putStrLn "foo"
```

Analog gibt es dies auch für ReaderT (env), welches ein read-only-Environment bereitstellt (z.b. eine Konfiguration) oder für WriterT (tell), welches ein write-only-Environment zur Verfügung stellt (z.b. Logging). Häufig findet man daher einen Read-Write-State-Transformer, kurz RWST-Stack.

Echtweltprogramme sind meist durch eine RWST IO mit der Außenwelt verbunden.

Ein weiteres Echtwelt-Beispiel könnte etwa der folgende Aufruf sein:

```
data Env = Env { filename :: String }

readInputs :: ReaderT Env IO String
readInputs = do
    e <- env
    f <- liftIO $ readFile (filename e)
    return f
```

Ein weiteres Echtwelt-Beispiel könnte etwa der folgende Aufruf sein:

```
data Env = Env { filename :: String }

readInputs :: ReaderT Env IO String
readInputs = do
    e <- env
    f <- liftIO $ readFile (filename e)
    return f
```

Dieser Aufruf liest einen Dateinamen aus einem Environment, kann per `liftIO` IO-Aktionen ausführen und das Ergebnis (den String mit dem Dateiinhalt) zurückliefern.

Noch ein Beispiel aus einem Spiel könnte sein:

```
mainLoop :: RWST Env () State IO ()
mainLoop = do
  e <- env
  f <- liftIO $ getUserInput (keySettings e)
  newWorld <- updateWorld f -- holt sich die Welt mittels
  put newWorld
  unless (f == endKey e) mainLoop
```

Noch ein Beispiel aus einem Spiel könnte sein:

```
mainLoop :: RWST Env () State IO ()
mainLoop = do
  e <- env
  f <- liftIO $ getUserInput (keySettings e)
  newWorld <- updateWorld f -- holt sich die Welt mittels
  put newWorld
  unless (f == endKey e) mainLoop
```

Dies ist ein klassisches Game-Loop, bestehend aus Konfigurationen im Env (Key settings), IO (User-Input abfragen), Update des internen Zustands (updateWorld) und das schreiben des neuen Zustandes (put newWorld). Sofern dann das Spiel nicht beendet ist loopen wir.