Fortgeschrittene Techniken der Funktionalen Programmierung
Vorlesung vom 08.12.09:
Nebenläufigkeit in Haskell: Abstraktionen und Ausnahmen

Christoph Lüth, Dennis Walter

Universität Bremen

Wintersemester 2009/10

Fahrplan

- Teil I: Monaden und fortgeschrittene Typen
- Teil II: Fortgeschrittene Datenstrukturen
- Teil III: Nebenläufigkeit
  - Grundlagen
  - Abstraktionen und Ausnahmebehandlung
  - Software Transactional Memory
- Teil IV: The Future of Programming

Tagesmenü

- Abstraktionen: Kanäle
- Fallbeispiel:
  - Talk
- Ausnahmebehandlung:
  - Erweiterbare Ausnahmen
  - Unscharfe Ausnahmen
  - Asynchrone Ausnahmen

Kanäle

- Typsicheres Lesen/Schreiben in FIFO-Ordnung
- Blockiert wenn leer

```
data Chan a ...
newChan   :: IO (Chan a)
writeChan :: Chan a → a → IO ()
readChan  :: Chan a → IO a
```

  - Bonus: Duplizierbar (“Broadcast”)

Kanäle

- Ein Kanal besteht aus Strom mit einem Lese- und Schreibende:

```
data Chan a = Chan (MVar (Stream a))
                   (MVar (Stream a))
```

  - Hier MVar, um Lesen/Schreiben zu synchronisieren

- Ein Strom ist MVar (ChItem a):
  - entweder leer,
  - oder enthält Werte aus Kopf a und Rest.

```
type Stream a = MVar (ChItem a)
data ChItem a = ChItem a (Stream a)
```

In einen Kanal schreiben

- Neues Ende (hole) anlegen
- Wert in altes Ende schreiben
- Zeiger auf neues Ende setzen

```
writeChan :: Chan a → a → IO ()
writeChan (Chan _ write) val = do
  new_hole ← newEmptyMVar
  old_hole ← takeMVar write
  putMVar old_hole (ChItem val new_hole)
  putMVar write new_hole
```

- Kann nicht blockieren — write immer gefüllt.
- Original-Code benutzt modifyMVar — Ausnahmesicher!

Aus Kanal lesen

- Anfang auslesen, Anfangszeiger weitersetzen
- Kann blockieren (*) wenn Kanal leer

```
readChan :: Chan a → IO a
readChan (Chan read _) = do
 read_end ← takeMVar read
 (ChItem val new_read_end) ← readMVar read_end --*
 putMVar read new_read_end
 return val
```

- readMVar :: MVar a→IO a liest MVar, schreibt Wert zurück.
- readMVar statt takeMVar, um Duplikation zu ermöglichen

Neuen Kanal erzeugen

- Lese-Ende = Schreib-Ende

```
newChan :: IO (Chan a)
newChan = do
  hole  ← newEmptyMVar
  read  ← newMVar hole
  write ← newMVar hole
  return (Chan read write)
```

Weitere Kanalfunktionen

- Zeichen wieder vorne einhängen:

```
unGetChan :: Chan a → a → IO ()
```

- Kanal duplizieren (Broadcast):

```
dupChan :: Chan a → IO (Chan a)
```

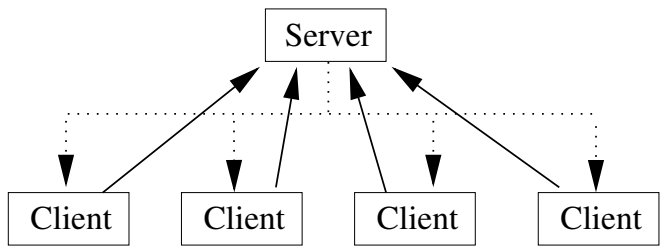
- Kanalinhalt als (unendliche) Liste:

```
getChanContents :: Chan a → IO [a]
```

- Auswertung terminiert nicht, sondern blockiert

Fallbeispiel: Talk

- Ziel: ein Programm, um sich über das Internetz zu unterhalten (`talk`, `IRC`, etc.)
- Verteilte Architektur:



- Hier: Implementierung des Servers
  - Netzverbindungen durch Socket

Socketprogrammierung

- Socket erzeugen, an Namen binden, mit `listen` Verbindungsbereitschaft anzeigen
- Zustandsbasierte Verbindung:
  - Serverseite: mit `accept` auf eingehende Verbindungen warten
  - Jede Verbindung erzeugt neuen Filedescriptor
    $\Rightarrow$ inhärent nebenläufiges Problem!
  - Clientseite: Mit `connect` Verbindung aufnehmen.
- Zustandslose Verbindung: `sendTo` zum Senden, `recvFrom` zum Empfangen.
- GHC-Modul `Network`
  - Low-level Funktionen in `Network.Socket`

Das Modul `Network`

- Sockets:

```
type Socket
data PortID = Service String -- z.B. "ftp"
            | PortNumber PortNumber
            | UnixSocket String -- Socket mit Namen
type Hostname = String
instance Num PortNumber
```

- Zustandsbasiert:

```
listenOn   :: PortID -> IO Socket
accept     :: Socket -> IO (Handle, Hostname, PortNum
connectTo  :: Hostname -> PortID -> IO Handle
```

- Zustandslos:

```
sendTo   :: HostName -> PortID -> String -> IO ()
recvFrom :: HostName -> PortID -> IO String
```

Serverarchitektur

- Ein Kanal zur Nachrichtenverbreitung:
  - eine Nachricht, viele Empfänger (broadcast)
  - Realisierung mittels `dupChan`
- Zentraler Scheduler
- Für jede ankommende Verbindung neuer Thread:
  - Nachrichten vom Socket auf den Kanal schreiben
  - Nachrichten vom Kanal in den Socket schreiben
- Problem: Wie aus Socket oder Kanal lesen wenn beide blockieren?

Serverarchitektur

- Ein Kanal zur Nachrichtenverbreitung:
  - eine Nachricht, viele Empfänger (broadcast)
  - Realisierung mittels `dupChan`
- Zentraler Scheduler
- Für jede ankommende Verbindung neuer Thread:
  - Nachrichten vom Socket auf den Kanal schreiben
  - Nachrichten vom Kanal in den Socket schreiben
- Problem: Wie aus Socket oder Kanal lesen wenn beide blockieren?
- Lösung: Zwei Threads
- Client: `telnet`

Talk 0.1: Hauptprogramm

```
main = do
  a:_ ← getArgs
  let p = fromInteger (read a)
  s ← listenOn (PortNumber p)
  ch ← newChan
  loop s ch
```

Talk 0.1: Hauptschleife

```
loop s ch = forever $ do
  (handle, wh, p) ← accept s
  hSetBuffering handle NoBuffering
  putStrLn $ "New connection from " ++ wh ++
             " on port " ++ show p
  ch2    ← dupChan ch
  forkIO (newUser handle ch2)
```

Talk 0.1: Benutzerprozess

```
newUser :: Handle→ Chan String → IO ()
newUser socket msgch =
  forkIO (forever read) ≫ forever write where
    read :: IO ()
    read  = hGetLine socket ≫= writeChan msgch
    write :: IO ()
    write = readChan msgch ≫= hPutStrLn socket
```

Talk 0.1: Zusammenfassung

Nachteile:

- Nachrichten stauen sich im Kanal
- Keine Fehlerbehandlung
- Benutzer anonym

Ausnahmebehandlung in Haskell98

- Haskell 98: Fehler leben im IO-Monaden.
- Fehler fangen:

```
catch    :: IO a -> (IOError -> IO a) -> IO a
```

  - Variante: `try :: IO a -> IO (Either IOError a)`

- Fehler erzeugen:

```
userError :: String -> IOError
ioError   :: IOError -> IO a
```

- Oder durch andere Operationen im IO-Monaden.

Fehler analysieren

- Funktionen, die im Handler benutzt werden können:

```
isAlreadyExistsError    :: IOError → Bool
isDoesNotExistError     :: IOError → Bool
isAlreadyInUseError     :: IOError → Bool
isFullError             :: IOError → Bool
isEOFError              :: IOError → Bool
isIllegalOperation      :: IOError → Bool
isPermissionError       :: IOError → Bool
isUserError             :: IOError → Bool

ioeGetErrorString       :: IOError → String
ioeGetHandle            :: IOError → Maybe Handle
ioeGetFileName          :: IOError → Maybe FilePath
```

Talk 0.2: Hauptschleife

```
loop s ch = forever $ do
  (handle, wh, p) ← accept s
  hSetBuffering handle NoBuffering
  installHandler sigPIPE Ignore Nothing
  putStrLn $ "New connection from "++ wh++
             " on port "++ show p
  ch2 ← dupChan ch
  forkIO (catch (newUser handle wh ch2)
                (λ_ → hClose handle))
```

- Fehlerbehandlung für newUser (kein guter Stil)
- SIGPIPE ignorieren

Talk 0.2: Benutzerprozess

Teil 1: Anmeldeprozedur

```
newUser s wh msgch = do
  hPutStrLn s "Hello there. Please send your nickname
  nick <- do nm <- hGetLine s
             return (filter (not . isControl) nm)
  hPutStrLn s $ "Nice to meet you, "++ nick++ "!"
  writeChan msgch $ nick++ "@"++ wh++ " has joined."
```

(Fortsetzung)

Talk 0.2: Benutzerprozess

Teil 2: Hauptschleife:

```
wp ← forkIO write
catch (read ((nick ++ ": ") ++)) $ λe→ do
  killThread wp
  writeChan msgch $
    if isEOFError e then nick++ "@"++ wh++ " has le
    else nick++ "@"++ wh++ " left hastily ("++
                    ioeGetErrorString e++ ")"
  hClose s where
read :: (String→ String)→ IO ()
read f = forever $
              hGetLine s >>= writeChan msgch. f
write :: IO ()
write = forever $ readChan msgch >>= hPutStrLn s
```

Talk 0.2: Zusammenfassung

Vorteile:

- Robust
- Fehlerbehandlung für Benutzerprozess
- Anmeldeprozedur: Benutzer hat Namen

Talk 0.2: Zusammenfassung

Vorteile:

- Robust
- Fehlerbehandlung für Benutzerprozess
- Anmeldeprozedur: Benutzer hat Namen
- Schnell verkaufen!

Probleme mit der Ausnahmebehandlung in Haskell98

- Keine Ausnahmebehandlung für rein funktionalen Code.
  - error :: String → a bricht Programmausführung ab;
  - z.B. Fehler bei read :: Read a ⇒ String → a?
    - readIO :: Read a ⇒ String → IO a wirft Ausnahme
  - Laufzeitfehler (pattern match, fehlende Klassenmethoden, ...)
- Keine Behandlung von asynchronen Ausnahmen möglich.
  - Nebenläufige Fehler, e.g. stack overflow, Speichermangel, Interrupts;

Probleme mit rein funktionalen Ausnahmen.

- Warum nicht einfach throw :: Exception → a?
- Wird die Ausnahme geworfen?

```
length [throw exception]
```

- Abhängig von Tiefe der Auswertung (wertet length Argument aus?)
- Welche Ausnahme wird geworfen:

```
throw ex1 + throw ex2
```

- Abhängig von Reihenfolge der Auswertung der Argumente
- Aber: Auswertungsreihenfolge in Haskell98 unspezifiziert!

Unscharfe Ausnahmen.

- Normale Ausnahmen: Wert eines Ausdrucks = Normaler Wert oder Ausnahme

```
data Maybe a  = Just a | Nothing
data Either a = Left String | Right a
```

- Unscharfe Ausnahmen: Wert eines Ausdrucks = Normaler Wert oder Menge von möglichen Ausnahmen
  - Menge wird nicht konstruiert — semantisches Konstrukt.

Unscharfe Ausnahmen fangen.

- Ausnahmen fangen ist monadisch:
  - Funktion bogus :: a→ (Exception→ a)→ a hätte alten Probleme
- Determinisierung trennen von Ausnahmebehandlung:
  - evaluate :: a→ IO a wertet Ausdruck aus, wirft ggf. mögliche Ausnahme.
  - Ausnahme durch Auswertungsreihenfolge bestimmt.
- catch :: IO a→ (Exception→ IO a)→ IO a wie vorher.
- Unscharfe Ausnahmen können überall geworfen, aber nur im IO-Monaden gefangen werden.

Asynchrone Ausnahmen

- Modelliert durch

```
throwTo :: ThreadId → Exception → IO ()
```

- Ausnahme wird in anderem Thread geworfen.

- Modelliert alle Situationen wie Interrupts etc.

Asynchrone Ausnahmen: Beispiel

- Parallele Auswertung zweier IO-Statements:
- Wer zuerst fertig ist beendet Auswertung.

```
parIO :: IO a → IO a → IO a
parIO a1 a2 =
  do m ← newEmptyVar;
     c1 ← forkIO (a1 ≫= putMVar m)
     c2 ← forkIO (a2 ≫= putMVar m)
     r← takeMVar m
     throwTo c1 Kill
     throwTo c2 Kill
     return r
```

Asynchrone Ausnahmen: Beispiel

- Timeout-Operator:

- Wenn kein Ergbnis nach n Mikrosekunden, Nothing

```
timeout :: Int → IO a → IO (Maybe a)
timeout n a = parIO (r← a; return (Just r))
                    (threadDelay n; return Nothing)
```

Unscharfe Ausnahmen: Benutzung

- Zur Benutzung: import Control.Exception (nur ghc)
- Um Erweiterbarkeit zu gewährleisten:
  - Typklasse Exception, alle Ausnahmen sind Instanzen
  - Achtung, erst seit ghc 6.10.
- Achtung: per default normale Ausnahmen (Haskell98) definiert
  - Überlagerung durch Import oder Disambiguierung
- Ausnahmen fangen:

```
catch :: Exception e⇒ IO a→ (e → IO a)→ IO a
try :: Exception e⇒ IO a → IO (Either e a)
```

Vorsicht bei Ausnahmen

- Ausnahmen und Nebenläufigkeit
- Ausnahmen können in anderen Thread geworfen werden!

```
ch ← newChan
forkIO (forever $ do readChan ch ≫= putStrLn)
catch (do let x= ...
          writeChan ch x)
      (λe → ...)
```

- Ausnahme wird in reader-Thread geworfen!
  - Abhilfe: Auswertung mit evaluate forcieren.

Ausnahmen: Achtung!

- Fehlerabfrage ersetzt keine Ausnahmebehandlung:

```
b ← doesDirectoryExist name
when (not b) $ createDirectory name
```

- Zweite Aktion kann fehlschlagen!

Zusammenfassung

- Kanäle: Nützliche Kommunikationsabstraktion
- Unscharfe Ausnahmen:
  - Können in beliebigem Code auftreten
  - Werden im IO-Monaden gefangen
- Asynchrone Ausnahmen:
  - Werden in anderem Thread ausgelöst
- Ausnahmebehandlung:
  - Essentiell für robuste Programmierung
  - Nur Ausnahmen fangen, die man behandelt!
  - Fehlerabfrage ersetzt keine Ausnahmebehandlung