Praktische Informatik 3: Funktionale Programmierung
Vorlesung 1 (18.11.2022): Einführung

Christoph Lüth

Deutsches Forschungszentrum für Künstliche Intelligenz GmbH
Universität Bremen

Wintersemester 2022/23

Was ist Funktionale Programmierung?

- Programme als Funktionen — Funktionen als Programme
  - **Keine** veränderlichen Variablen
  - **Rekursion** statt while-Schleifen
- Funktionen als Daten — Daten als Funktionen
  - Erlaubt **Abstraktionsbildung**
- Denken in Algorithmen, nicht in Zustandsveränderung

Lernziele

- **Konzepte** und **typische Merkmale** des funktionalen Programmierens kennen, verstehen und anwenden können:
  - Modellierung mit **algebraischen Datentypen**
  - **Rekursion**
  - Starke **Typisierung**
  - **Funktionen höher Ordnung** (map, filter, fold)
- Datenstrukturen und Algorithmen in einer funktionalen Programmiersprache **umsetzen** und auf einfachere praktische Probleme **anwenden** können.

Modulhandbuch Informatik (Bachelor)

Die Vorlesung *Praktische Informatik 3* vermittelt essenzielles Grundwissen und Basisfähigkeiten, deren Beherrschung für nahezu jede vertiefte Beschäftigung mit Informatik Voraussetzung ist.

I. Organisatorisches

Personal und Termine

- **Vorlesung**:
  Di 14– 16 NW2 C0290 Christoph Lüth `<clueth@uni-bremen.de>`
  `www.informatik.uni-bremen.de/~clueth/`
  MZH 4186, Tel. 218-59830
- **Tutoren**:

Di	12– 14	MZH 1110	Tede von Knorre	`<tede@uni-bremen.de>`
	12– 14	MZH 5600	Raphael Baass	`<rbaass@uni-bremen.de>`
Mi	14– 16	MZH 1110	Thomas Barkoswky	`<barkowsky@uni-bremen.de>`
	14– 16	MZH 1450	Alexander Krug	`<krug@uni-bremen.de>`
	14– 16	Online	Muhammad Tarek Soliman	`<soliman@uni-bremen.de>`

- **Webseite**: `www.informatik.uni-bremen.de/~clueth/lehre/pi3.ws22`

Scheinbedingungen

- Übungsblätter:
  - 6 Einzelübungsblätter (fünf beste werden gewertet) und
  - 3 Gruppenübungsblätter (doppelt gewichtet)
- Übungsblätter der letzten Semester werden nur in **Ausnahmefällen** berücksichtigt:
  - Klausur durch **Krankheit** oder **Corona** verpasst.
- Individualität der Leistung: **Elektronische Klausur** am Ende

Elektronische Klausur

- **Termin**: 13.03.2023, 14:00 und 15:45
- **Ort**: Testzentrum am Boulevard neben der Bibliothek
- **Dauer**: 90 Minuten
- **Ablauf**:
  - Einfache Programmierübungen in der Art der Übungsaufgaben
  - Einige Multiple-Choice Fragen als **Bonus**

Scheinbedingungen

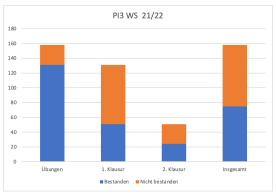
- Mindestens 50% in den Einzelübungsblättern, in allen Übungsblättern und mindestens 50% in der E-Klausur
- Note: 50% Übungsblätter und 50% E-Klausur
- **Notenspiegel** (in Prozent aller Punkte):

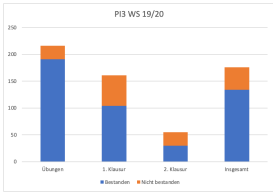
Pkt.%	Note	Pkt.%	Note	Pkt.%	Note	Pkt.%	Note
		89.5-85	1.7	74.5-70	2.7	59.5-55	3.7
≥ 95	1.0	84.5-80	2.0	69.5-65	3.0	54.5-50	4.0
94.5-90	1.3	79.5-75	2.3	64.5-60	3.3	49.5-0	**n/b**

Spielregeln

- **Quellen angeben** bei
  - Gruppenübergreifender Zusammenarbeit
  - Internetrecherche, Literatur, etc.
- **Täuschungsversuch**:
  - Null Punkte, **kein** Schein, **Meldung** an das **Prüfungsamt**
- **Deadline verpaßt?**
  - Triftiger Grund (z.B. Krankheit)
  - **Vorher** ankündigen, sonst **null** Punkte.

Statistik von PI3 im Wintersemester 21/22

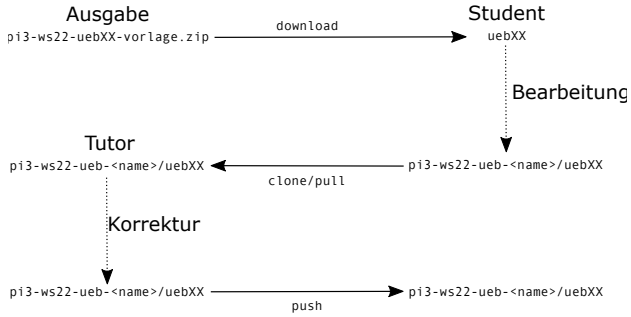




Übungsbetrieb

- Ausgabe der Übungsblätter über die Webseite **Montag morgen**
- Besprechung der Übungsblätter in den Tutorien
- 6 Einzelübungsblätter:
  - Bearbeitungszeit bis **Sonntag EOB**
  - Die fünf besten werden gewertet
- 3 Gruppenübungsblätter (doppelt gewichtet):
  - Bearbeitungszeit bis **Sonntag folgender Woche EOB**
  - Übungsgruppen: max. **drei Teilnehmer**
- **Abgabe** elektronisch
- **Bewertung**: Korrektheit, Angemessenheit ("Stil"), Dokumentation

Ablauf des Übungsbetriebs



Warnung

- PI3 ist **nicht** die Fortsetzung von PI1 und PI2.
- Funktionale Programmierung ist **anders** und kann als **schwer** empfunden werden.
- Regelmäßige Bearbeitung der **Übungsblätter** hilft.
- Sucht **rechtzeitig** Unterstützung!

II. Einführung

Fahrplan

- **Teil I: Funktionale Programmierung im Kleinen**
  - Einführung
  - Funktionen
  - Algebraische Datentypen
  - Typvariablen und Polymorphie
  - Funktionen höherer Ordnung I
  - Rekursive und zyklische Datenstrukturen
  - Funktionen höherer Ordnung II
- Teil II: Funktionale Programmierung im Großen
- Teil III: Funktionale Programmierung im richtigen Leben

Warum funktionale Programmierung lernen?

- Funktionale Programmierung macht aus Programmierern Informatiker
- Blick über den Tellerrand — was kommt in 10 Jahren?
- **Herausforderungen** der Zukunft:
  - Nebenläufige und **reaktive** Systeme (Mehrkernarchitekturen, serverless computing)
  - Massiv verteilte Systeme („Internet der Dinge")
  - Große Datenmengen („Big Data")

The Future is Bright — The Future is Functional

- Funktionale Programmierung enthält die **wesentlichen** Elemente moderner Programmierung:
  - Datenabstraktion und Funktionale Abstraktion
  - Modularisierung
  - Typisierung und Spezifikation
- Funktionale Ideen jetzt im Mainstream:
  - Reflektion — LISP
  - Generics in Java — Polymorphie
  - Lambda-Funktionen in Java, C++ — Funktionen höherer Ordnung

Geschichtliches: Die Anfänge

- **Grundlagen** 1920/30
  - Kombinatorlogik und λ-Kalkül (Schönfinkel, Curry, Church)
- Erste funktionale **Programmiersprachen** 1960
  - LISP (McCarthy), ISWIM (Landin)
- **Weitere** Programmiersprachen 1970– 80
  - FP (Backus); ML (Milner, Gordon); Hope (Burstall); Miranda (Turner)


Moses Schönfinkel


Haskell B. Curry


Alonzo Church


John McCarthy


John Backus


Robin Milner


Mike Gordon

Geschichtliches: Die Gegenwart

- **Konsolidierung** 1990
  - CAML, Formale Semantik für Standard ML
  - Haskell als Standardsprache
- **Kommerzialisierung** 2010
  - OCaml
  - Scala, Clojure (JVM)
  - F# (.NET)

Warum Haskell?

- **Moderne** Sprache
- Standardisiert, mehrere **Implementationen**
  - Interpreter: `ghci`, `hugs`
  - Compiler: `ghc`, `nhc98`
  - Build: `stack`
- **Rein** funktional
  - Essenz der funktionalen Programmierung

Programme als Funktionen

- Programme als Funktionen:

$$P : \mathit{Eingabe} \to \mathit{Ausgabe}$$

- **Keine veränderlichen Variablen** — kein versteckter **Zustand**
- Rückgabewert hängt ausschließlich von Werten der Argumente ab, nicht vom Aufrufkontext (**referentielle Transparenz**)

Beispiel: Programmieren mit Funktionen

- **Programme** werden durch **Gleichungen** definiert:

```
fact n = if n == 0 then 1 else n* fact(n-1)
```

- Auswertung durch **Reduktion** von **Ausdrücken**:

```
fact 2→ if 2 == 0 then 1 else 2* fact (2-1)
      → if False then 1 else 2* fact 1
      → 2* fact 1
      → 2* if 1 == 0 then 1 else 1* fact (1-1)
      → 2* if False then 1 else  1* fact (1-1)
      → 2* 1* fact 0
      → 2* 1* if 0 == 0 then 1 else 0* fact (0-1)
      → 2* 1* if True then 1 else 0* fact (0-1)
      → 2* 1* 1 → 2
```


Beispiel: Nichtnumerische Werte

- Rechnen mit Zeichenketten

```
rep n s = if n == 0 then "" else s ++ rep (n-1) s
```

- Auswertung:

```
rep 2 "hallo␣"
→ if 2 == 0 then "" else "hallo␣" ++ rep (2-1) "hallo␣"
→ if False then "" else "hallo␣" ++ rep 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ rep 1 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if 1 == 0 then "" else "hallo␣"++ rep (1-1) "hallo␣"
→ "hallo␣"++ if False then "" else "hallo␣"++ rep 0 "hallo␣"
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ rep 0 "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ if 0 == 0 then "" else "hallo␣"++ rep (0-1) "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣"++ if True then "" else "hallo␣"++ rep (-1) "hallo␣")
→ "hallo␣"++ ("hallo␣" ++ "")
→ "hallo␣hallo␣"
```


Auswertung als Ausführungsbegriff

- **Programme** werden durch **Gleichungen** definiert:

$$f(x) = E$$

- **Auswertung** durch **Anwenden** der Gleichungen:
  - Suchen nach Vorkommen von f, e.g. $f(t)$
  - $f(t)$ wird durch $E\left[\begin{array}{c} t \\ x \end{array}\right]$ ersetzt
- Auswertung kann **divergieren**!

Ausdrücke und Werte

- Nichtreduzierbare Ausdrücke sind **Werte**
- Vorgebenene **Basiswerte**: Zahlen, Zeichen
  - Durch Implementation gegeben
- Definierte **Datentypen**: Wahrheitswerte, Listen, ...
  - Modellierung von Daten

III. Typen

Typisierung

- **Typen** unterscheiden Arten von Ausdrücken und Werten:

```
rep n s = ...
```

`n` Zahl
`s` Zeichenkette

- **Wozu** Typen?
  - Frühzeitiges Aufdecken "offensichtlicher" Fehler
  - Erhöhte Programmsicherheit
  - Hilfestellung bei Änderungen

Slogan

"Well-typed programs can't go wrong."

— Robin Milner

Signaturen

- Jede Funktion hat eine **Signatur**

```
fact :: Int→ Int
```

```
rep :: Int→ String→ String
```

- **Typüberprüfung**
  - `fact` nur auf `Int` anwendbar, Resultat ist `Int`
  - `rep` nur auf `Int` und `String` anwendbar, Resultat ist `String`

Übersicht: Typen in Haskell

Typ	Bezeichner	Beispiel		
Ganze Zahlen	`Int`	`0`	`94`	`-45`
Fließkomma	`Double`	`3.0`	`3.141592`	
Zeichen	`Char`	`'a' 'x'`	`'\034'`	`'\n'`
Zeichenketten	`String`	`"yuck"`	`"hi\nho\"\n"`	
Wahrheitswerte	`Bool`	`True`	`False`	
Funktionen	`a → b`			

- Später **mehr**. **Viel** mehr.

Das Rechnen mit Zahlen

Beschränkte Genauigkeit, **konstanter** Aufwand ⟷ **beliebige** Genauigkeit, **wachsender** Aufwand

Haskell bietet die Auswahl:

- `Int` - ganze Zahlen als Maschinenworte ($\geq$ 31 Bit)
- `Integer` - beliebig große ganze Zahlen
- `Rational` - beliebig genaue rationale Zahlen
- `Float`, `Double` - Fließkommazahlen (reelle Zahlen)

Ganze Zahlen: `Int` und `Integer`

- Nützliche Funktionen (**überladen**, auch für `Integer`):

```
+, *, ^, - :: Int→ Int→ Int
abs        :: Int→ Int -- Betrag
div, quot  :: Int→ Int→ Int
mod, rem   :: Int→ Int→ Int
```

Es gilt: `(div x y)*y + mod x y == x`

- Vergleich durch $==, \neq, \leq, <, \ldots$
- **Achtung:** Unäres Minus
  - Unterschied zum Infix-Operator `-`
  - Im Zweifelsfall klammern: `abs (-34)`

Fließkommazahlen: `Double`

- Doppeltgenaue Fließkommazahlen (IEEE 754 und 854)
  - Logarithmen, Wurzel, Exponentation, π und e, trigonometrische Funktionen
- Konversion in ganze Zahlen:
  - `fromIntegral :: Int, Integer→ Double`
  - `fromInteger :: Integer→ Double`
  - `round, truncate :: Double→ Int, Integer`
  - Überladungen mit Typannotation auflösen:

```
round (fromInt 10) :: Int
```

- **Rundungsfehler!**

Alphanumerische Basisdatentypen: `Char`

- Notation für einzelne **Zeichen**: 'a',...
- Nützliche **Funktionen**:

```
ord :: Char → Int
chr :: Int → Char

toLower :: Char→ Char
toUpper :: Char→ Char
isDigit :: Char→ Bool
isAlpha :: Char→ Bool
```

- Zeichenketten: String

Zusammenfassung

- **Programme** sind **Funktionen**, definiert durch **Gleichungen**
  - Referentielle Transparenz
  - kein impliziter Zustand, keine veränderlichen Variablen
- **Ausführung** durch **Reduktion** von Ausdrücken
- Typisierung:
  - Basistypen: Zahlen, Zeichen(ketten), Wahrheitswerte
  - Jede Funktion `f` hat eine Signatur `f :: a → b`