Lambda Ausdrücke und funktionale Programmierung

Marcel Lüthi
Departement Mathematik und Informatik

Agenda

- Geschichte: Objektorientierte und Funktionale Programmierung
- Funktionen als Objekte
- Lambda Audrücke in Java
- Funktionsobjekte in Java Standardbibliothek

Geschichte: Objektorientierte und Funktionale Programmierung

Erste Programmierung

```
assembly
SUMDIGIN CSECT
         USING  SUMDIGIN,R13
         B      72(R15)
         DC     17F'0'
         STM    R14,R12,12(R13)
         ST     R13,4(R15)
         ST     R15,8(R13)
         LR     R13,R15
         LA     R11,NUMBERS
         LA     R8,1
LOOPK    CH     R8,=H'4'
         BH     ELOOPK
         SR     R10,R10
         LA     R7,1
LOOPJ    CH     R7,=H'8'
         BH     ELOOPJ
         LR     R4,R11
         BCTR   R4,0
         AR     R4,R7
         MVC    D,0(R4)
```

Erste Hochsprachen

```
Program SumOFDigits;

function SumOfDigitBase(n:UInt64;base:LongWord): LongWord;
var
  tmp: Uint64;
  digit,sum : LongWord;
Begin
  digit := 0;
  sum   := 0;
  While n > 0 do
  Begin
    tmp := n div base;
    digit := n-base*tmp;
    n := tmp;
    inc(sum,digit);
  end;
  SumOfDigitBase := sum;
end;
Begin
  writeln('   1 sums to ', SumOfDigitBase(1,10));
  writeln('1234 sums to ', SumOfDigitBase(1234,10));
  writeln(' $FE sums to ', SumOfDigitBase($FE,16));
  writeln('$FOE sums to ', SumOfDigitBase($F0E,16));

  writeln('18446744073709551615 sums to ', SumOfDigitBase(High(Uint64),10));

end.
```

Wichtige Frage

Wie kann man Programme besser strukturieren?

Funktionale Programmierung

- Idee: Komposition von (mathematischen) Funktionen um aus einfachen Teilen komplexe Funktionalität zu bauen
- Mathematische Grundlage: Lambdakalkül
- Aktionen / Berechnungen im Zentrum

Objektorientierte Programmiereung

- Idee: Organisation von Code in "selbstorganisierende" Module (Objekte)
- Management von Zustand durch Kapselung
- Objekte im Zentrum

Konzepte entwickelt in 60 und 70er Jahren

Funktionale Konstrukte in Java

Moderne Programmiersprachen integrieren Konzepte von Funktionalen Sprachen:

- Funktionen als Argumente
- Anonyme Funktionen
- (Closures)

Funktionen und Objekte

Funktionsobjekte

Idee: Funktionen sind (seiteneffektfreie) Objekte mit nur einer Methode

Funktionsobjekte: Implementationsstrategie

1. Deklaration: Interface für Funktionen definieren

```
interface Function {
 int apply(int x);
}
```

2. Definition der Funktion: Anonymes Objekt erstellen

```
Function square = new Function() {
 public int apply(int x) { return x * x; }
}
```

Diskutieren Sie:

- Wie viele verschiedene Interfaces fur Funktionen brauchen wir, wenn wir alle Kombinationen von Funktion $T \to R$ implementieren wollen, wobei T und R jeweils`String`, `Integer` und `Double` sein können?
- Wie könnten wir elegant ein allgemeines Funktionsinterface definieren?

Generische Funktionsobjekte

- Java Generics helfen uns die Funktion nur einmal zu definieren

In [40]:
```
interface Function<T, R> {
    R apply(T x);
}
```

Beispielanwendung

In [44]:
```
Function<Double, Double> square = new Function<>() {
    public Double apply(Double x) {
        return x * x;
    }
}
```

Anwendungsbeispiel: Transformation von Listenelementen

Gegeben: Liste von Zahlen

In [49]:
```
LinkedList<Double> numbers0To10 = new LinkedList<>();
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    numbers0To10.add(new Double(i));
}
```

Aufgabe: Führe mathematische Funktion auf Elementen aus

- Bestehende Listenelement dürfen nicht verändert werden
- Es soll neue Liste ausgegeben werden

Lösung: Die map Methode

In [51]:
```
static LinkedList<Double> map(LinkedList<Double> list, Function<Double, Double> f) {
    LinkedList<Double> newList = new LinkedList<>();
    for (Double v : list) {
        newList.add(f.apply(v));
    }
    return newList;
}
```

Lösung: Die map Methode

In [51]:
```
static LinkedList<Double> map(LinkedList<Double> list, Function<Double, Double> f) {
    LinkedList<Double> newList = new LinkedList<>();
    for (Double v : list) {
        newList.add(f.apply(v));
    }
    return newList;
}
```

Anwendung

In [53]:
```
LinkedList<Double> newList = map(numbers0To10, square);
System.out.println(newList);
```

```
[0.0, 1.0, 4.0, 9.0, 16.0, 25.0, 36.0, 49.0, 64.0, 81.0]
```

Übung

- Können Sie die map Methode so umschreiben, dass als Ausgabe nicht mehr ein Double verlangt wird, sondern ein beliebiger Typ angegeben werden kann?
- Können Sie die map Methode so umschreiben, dass diese nicht mehr nur auf Listen von Double, sondern allgemeinen Listen arbeitet?

In [50]:
```
// Ihr Code
```

Lambda Ausdrücke

Lambda Ausdrücke

- Java hat eine spezielle Syntax definiert um Funktionsobjekte zu erstellen.
- Bekannt als `lambda Ausdrücke`

Parameter -> Ausdruck

Beispiel

```
x -> x * x
```

Lambda Syntax

```
lambda = ArgList "->" Body
ArgList = Identifier
         | "(" [Type] Identifier { "," [Type] Identifier } ")"
         | "()"
Body = Expression   |  "{" [ Statement ";" ]+ "}"
```

Functional Interface

- Ein *Functional Interface* ist ein Interface oder Abstrakte Klasse mit genau eine Methode
  - Methode entspricht "Berechnung" der Funktion

Beispiel:

```
interface Function<T, R> {
    R apply(T t);
}
```

Functional Interface

- Ein *Functional Interface* ist ein Interface oder Abstrakte Klasse mit genau eine Methode
  - Methode entspricht "Berechnung" der Funktion

Beispiel:

```
interface Function<T, R> {
    R apply(T t);
}
```

- Lambda Ausdrücke können an ein *Functional Interface* zugewiesen werden.
  - Lambdas bekommen einen Namen

```
Function<Double, Double> f = (Double d) -> d * d;
```

Lambdas als Methodenargumente

- Erlaubt einfache Funktionen mit wenig Code zu erstellen

Beispiel

In [25]:
```
LinkedList<Double> ll = new LinkedList<>();
for (int i = 0; i < 10; i++) {
    ll.add(new Double(i));
}

// oben definierte Map Methode jetzt mit Lambdas
map(ll, (Double d) -> d * 2);
```

Out[25]:
```
[0.0, 2.0, 4.0, 6.0, 8.0, 10.0, 12.0, 14.0, 16.0, 18.0]
```

Lambdas als Rückgabewerte

- Methoden können Funktionen zurückgeben.

```
Function<Double, Double> doubleFun(Double x) {
    return x -> 2 * x;
}
```

Übung:

- Schreiben Sie eine Methode `applyTwice`, die eine Funktion f vom Typ Function<Double, Double> als Argument nimmt, und eine Funktion zurückgibt, die diese zwei mal hintereinander anwendet, also der Funktion $x \mapsto f(f(x))$ entspricht
- Können Sie diese als generische Funktion schreiben?

In [54]:
```
// Ihr Code
```

Lambdas mit Anweisungsblock

- Rechte Seite von Lambda Ausdruck kann beliebiger Block sein
  - Block muss den richtigen Typ zurückliefern

```
Function<T, R> f = (T t) -> {
    Statement1;
    Statment2;
    return r; // r ist vom Type R
}
```

Lambdas mit Anweisungsblock

Folgendes funktioniert:

In [55]:
```
Function<String, Integer> f = (String s) -> {
    System.out.println(s);
    return Integer.parseInt(s);
};
f.apply("5");
```

```
5
```

Out[55]:
```
5
```

Lambdas mit Anweisungsblock

Folgendes funktioniert:

In [55]:
```
Function<String, Integer> f = (String s) -> {
    System.out.println(s);
    return Integer.parseInt(s);
};
f.apply("5");
```

```
5
```

Out[55]:
```
5
```

Aber hier gibt es einen Typfehler

In [56]:
```
Function<String, Integer> f = (String s) -> {
    System.out.println(s);
    return s;
}
```

```
|       return s;
incompatible types: bad return type in lambda expression
    java.lang.String cannot be converted to java.lang.Integer
```

Methodenreferenzen

- Wir können Methoden Functional Interfaces zuweisen:

```
Function<Double, Double> f = AClass::aMethod;
```

Beispiel

In [36]:
```
Function<Double, Double> cos = Math::cos;
map(numbers0To10, cos)
```

Out[36]:
```
[1.0, 0.5403023058681398, -0.4161468365471424, -0.9899924966004454, -0.65364362086361
19, 0.28366218546322625, 0.960170286650366, 0.7539022543433046, -0.14550003380861354,
-0.9111302618846769]
```

Methodenreferenzen

- Wir können Methoden Functional Interfaces zuweisen:

```
Function<Double, Double> f = AClass::aMethod;
```

Beispiel

In [36]:
```
Function<Double, Double> cos = Math::cos;
map(numbers0To10, cos)
```

Out[36]:
```
[1.0, 0.5403023058681398, -0.4161468365471424, -0.9899924966004454, -0.65364362086361
19, 0.28366218546322625, 0.960170286650366, 0.7539022543433046, -0.14550003380861354,
-0.9111302618846769]
```

oder kürzer

In [57]:
```
map(numbers0To10, Math::cos)
```

Out[57]:
```
[1.0, 0.5403023058681398, -0.4161468365471424, -0.9899924966004454, -0.65364362086361
19, 0.28366218546322625, 0.960170286650366, 0.7539022543433046, -0.14550003380861354,
-0.9111302618846769]
```

Funktionsobjekte mit mehreren Argumenten

- Idee funktioniert für Funktionen mit beliebig vielen Argumenten

In [58]:
```
interface Function2<S, T, R> {
    R apply(S s, T t);
}

Function2<Double, Double, Double> sum = (x, y) -> x + y;

Function2<Double, Double, String> sumAsString = (x, y) -> new Double(x + y).toString();

sumAsString.apply(3.0, 5.0)
```

Out[58]:
```
8.0
```

Prädikate

Prädikat: Ein Funktionsobjekt das True oder False zurückgibt

```
interface Predicate<T>
    boolean test(T x);
}
```

Prädikat: Beispiel

In [38]:
```
interface Predicate<T> {
    boolean test(T x);
}

double[] array = {0.1, 0.7, -0.5, 1.0};

// returns the number of elements, which have the property specified by Predicate pred
int count(double[] array, Predicate<Double> pred) {

    int counter = 0;

    for (int i = 0; i < array.length; ++i) {
        if (pred.test(array[i]) == true) {
            counter += 1;
        }
    }

    return counter;
}

count(array, x -> x > 0.0);
```

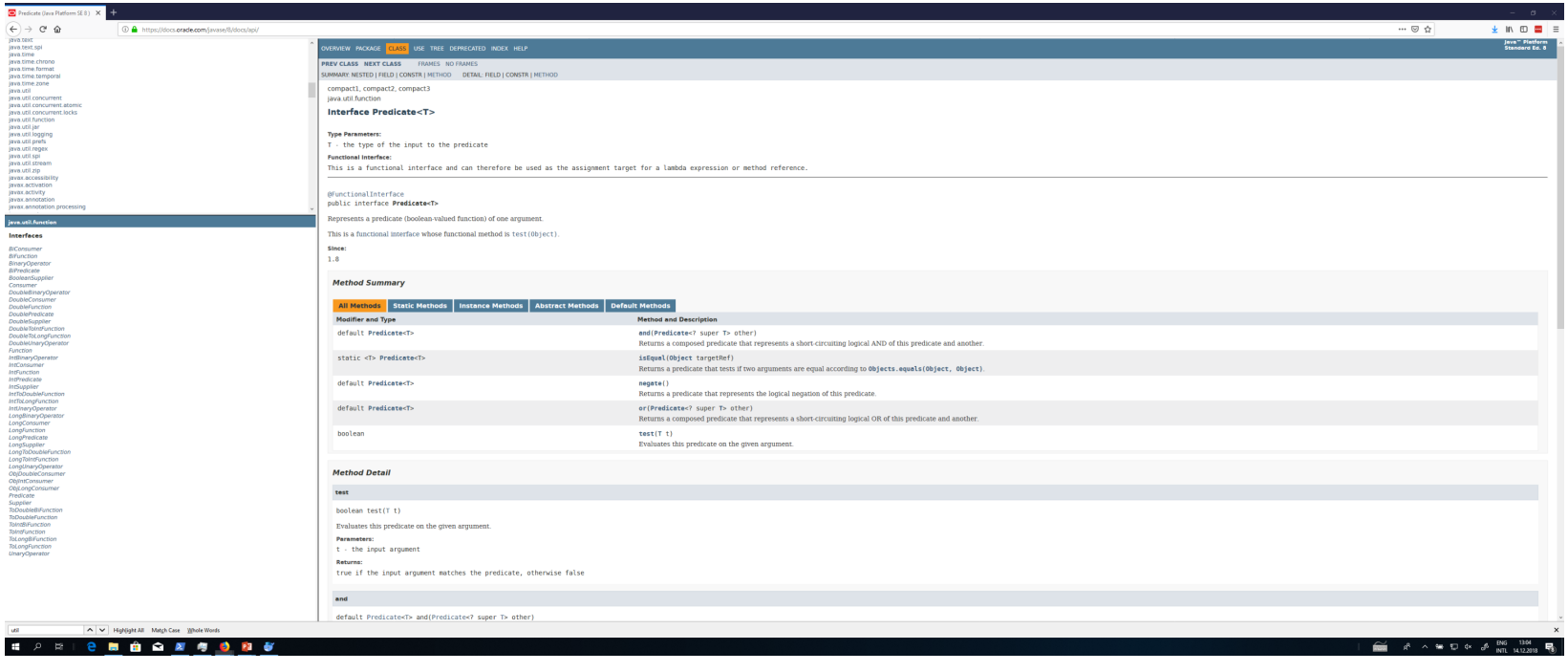
Out[38]:
```
3
```

Übung:

- Implementieren Sie die Methode
- Testen Sie diese mit verschiedenen Prädikaten

Funktionsobjekte in der Java Standardbibliothek

- Standard Funktionstypen sind in Java API Dokumentation (https://docs.oracle.com/en/java/javase/11/docs/api/java.base/java/util/function/packa summary.html) definiert:



Sourcecode vom Java Funktionsinterface

In [59]:

```
public interface Function<T, R> {

    R apply(T t);

    default <V> Function<V, R> compose(Function<? super V, ? extends T> before) {
        Objects.requireNonNull(before);
        return (V v) -> apply(before.apply(v));
    }

    default <V> Function<T, V> andThen(Function<? super R, ? extends V> after) {
        Objects.requireNonNull(after);
        return (T t) -> after.apply(apply(t));
    }

    static <T> Function<T, T> identity() {
        return t -> t;
    }
}
```

Komposition und Identität

Übung:

- Versuchen Sie verschiedene Funktionen mit `compose` zu kombinieren

Sourcecode vom Java Predicate

In [60]:

```
public interface Predicate<T> {

    boolean test(T t);

    default Predicate<T> and(Predicate<? super T> other) {
        Objects.requireNonNull(other);
        return (t) -> test(t) && other.test(t);
    }

    default Predicate<T> negate() {
        return (t) -> !test(t);
```