Sprachkonzepte

Teil 3: Programmierparadigmen

imperative / deklarative Programmierung,
Anwendungs- / Systemprogrammierung,
Scripting, Textgenerierung

Programmierparadigmen

Ein **Paradigma** ist eine grundsätzliche Denkweise *(Wikipedia, 2021)*.

Bei **Programmierparadigmen** bezieht sich die Denkweise darauf, was man als die fundamentalen Bausteine, Prinzipien und Zwecke von Programmen ansieht. Beispiele sind etwa die imperative und die deklarative Denkweise:

- imperative Programmierung

  Programme bestehen aus einer Folge von *Anweisungen*, die festlegen, wie ein Anfangszustand schrittweise in einen gewünschten Endzustand überführt wird

  die prozedurale und die objektorientierte Programmierung sind imperative Paradigmen

- deklarative Programmierung

  Programme bestehen aus *Ausdrücken*, die eine gesuchte Lösung beschreiben, ohne dabei den Lösungsweg detailliert festzulegen

  die funktionale und die logische Programmierung sind deklarative Paradigmen

Viele gängige Programmiersprachen unterstützen mehrere Paradigmen zugleich.

Imperative Programmierung: Motivation

Die Rechnerhardware legt die imperative Programmierung nahe:

- der Rechner hat einen Zustand, bestehend aus den Inhalten von Prozessorregistern, Caches, Hauptspeicher, Dateien usw.
- der Prozessor ändert beim Ausführen von Befehlen diesen Zustand

Imperative höhere Programmiersprachen abstrahieren von den technischen Details der Rechnerhardware, behalten aber das Verarbeitungsprinzip der schrittweisen Zustandsänderung bei:

- der Zustand ist über Variablen und Ein-/Ausgabekanäle zugänglich

  eine Variable ist hier ein Name für einen Speicherbereich

- die Befehle erzeugt der Compiler aus Anweisungen

  grundlegende Anweisung ist die Variablenzuweisung

- die Menge der Variablen und Anweisungen kann je nach Sprache auf unterschiedliche Weise strukturiert werden

Imperative Programmierung: prozedural

Die **prozedurale Programmierung** stellt die Strukturierung der Anweisungen mittels Prozeduren in den Mittelpunkt:

- Leitfrage: Was muss das Programm tun?
- Programmieraufgaben werden mittels Prozeduren schrittweise in überschaubare Teile zerlegt

  bzw. bei Bottom-up-Vorgehen: wiederholt auftretende Anweisungsfolgen werden zu Prozeduren zusammengefasst
- aus den Prozeduren ergibt sich die Strukturierung der Variablen

  Variablen treten als Aufrufparameter und lokale Variablen von Prozeduren auf oder als globale Variablen außerhalb der Prozeduren
- Prozeduren liefern Ergebnisse als Rückgabewert oder als Seiteneffekt

  Zuweisungen an Ausgabeparameter und globale Variablen sind Seiteneffekte

  die Ergebnisse können vom gesamten erreichbaren Programmzustand abhängen, nicht nur von den Parameterwerten

Imperative Programmierung: objektorientiert

Die **objektorientierte Programmierung** stellt die Strukturierung der Variablen mittels Objekte in den Mittelpunkt:

- Leitfrage: Womit muss das Programm umgehen?
- der Programmzustand wird mit Objekten modelliert

  neue Objekte entstehen bei Klassen-basierten Sprachen durch Klasseninstanziierung und bei Prototyp-basierten Sprachen durch Ableitung von bestehenden Objekten

  Variablen treten zuvorderst gekapselt als Instanzvariablen in Objekten auf
- die Methoden der Objekte bzw. Klassen strukturieren die Anweisungen

  die Anweisungen in den Methoden legen das Verhalten von Objekten fest und sorgen für jederzeit konsistente Objektzustände
- kontrollierte Seiteneffekte

  in Methoden Zuweisungen nur an die Variablen des Aufrufobjekts

Deklarative Programmierung: Motivation

Die Mathematik legt die deklarative Programmierung nahe:

- Formeln beschreiben, welche Eigenschaften eine gesuchte Lösung haben muss, aber nicht unmittelbar, wie die Lösung berechnet werden kann oder soll

  z.B. beschreiben Formeln mit verschachtelten Funktionen die Abbildung von Eingangsgrößen auf Ausgangsgrößen

  z.B. beschreiben Formeln mit prädikatenlogischen Ausdrücken Einschränkungen einer Lösungsmenge

Deklarative Programmiersprachen übernehmen das Prinzip der mathematischen Formel und ergänzen automatische Lösungsverfahren:

- Variablen sind Platzhalter für Ausdrücke, nicht Namen von Speicherbereichen

  Variablen sind nicht änderbar (immutable)

- der Compiler / Interpreter legt die Auswertungsreihenfolge der Ausdrücke fest

  es sind viele automatische Optimierungen möglich, weil es keine Seiteneffekte in Form von Zustandsänderungen gibt

Deklarative Programmierung: funktional

Bei der **funktionalen Programmierung** besteht ein Programm aus Ausdrücken mit verschachtelten Funktionen:

- Leitfrage: Wie hängen die Programmausgaben von den Eingaben ab?
- Funktionen sind Prozeduren, die keine Seiteneffekte haben und deren Rückgabewert nur von den Aufrufparametern abhängt

  Funktionen höherer Ordnung haben Funktionen als Parameter und / oder Rückgabewert
- Lambdas *(= anonyme Funktionen)* können dynamisch erstellt werden

  zusammen mit dem Erstellungskontext bilden sie Closures

  häufig als Argumente oder Rückgabewerte von Funktionen höherer Ordnung
- Rekursion statt Schleifen

  bevorzugt als Endrekursion (tail recursion), bei der die Rekursion als letzte Operation vor dem return auftritt

Funktionale Programmierung: Currying

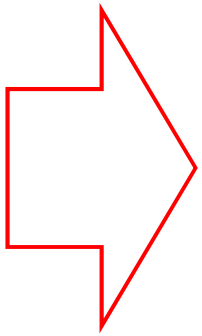
Currying erlaubt es, eine Funktion mit mehreren Parametern durch mehrere Funktionen mit je einem Parameter zu ersetzen

funktionale Programmiersprachen brauchen deshalb im Prinzip keine Funktionen mit mehreren Parametern zu unterstützen (ist z.B. bei Haskell der Fall)

- Beispiel in Python *(entnommen aus de.wikipedia.org/wiki/Currying)*:

```
#!/usr/bin/python3
def uncurried_add(x, y):
    return x + y

n = uncurried_add(3, 5)
```



```
#!/usr/bin/python3
def curried_add(x):
    return lambda y: x + y

n = curried_add(3)(5)

add_three = curried_add(3)
n = add_three(5)
```

curried_add ist eine Funktion höherer Ordnung mit einem Parameter, die eine Funktion mit wiederum einem Parameter zurückliefert

Funktionale Programmierung: Endrekursion

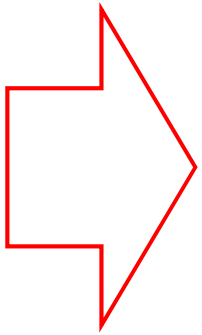
Endrekursion kann ein optimierender Compiler leicht durch eine Schleife ersetzen und so die Laufzeit und den Stack-Speicher der Funktionsaufrufe einsparen:

```
R f(P p) {

    if (condition) {
        return value;
    }
    ...

    return f(expression);

}
```



```
R f(P p) {
    while (true) {
        if (condition) {
            return value;
        }
        ...
        p = expression;
        continue;
    }
}
```

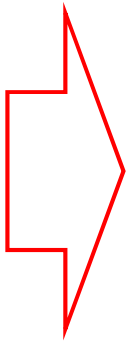
Funktionale Programmierung: Continuations

Continuations sind Funktionen, die verbleibende Berechnungen repräsentieren. An die Stelle der Funktionsrückkehr tritt der Aufruf der übergebenen Continuation.
(siehe de.wikipedia.org/wiki/Continuation-Passing_Style)

- eine rekursive Funktion kann per Continuation endrekursiv gemacht werden:

```
#!/usr/bin/python3
def fakultaet(n) :
    if (n == 0) :
        return 1
    return n * fakultaet(n - 1)

print(fakultaet(5))
```



```
#!/usr/bin/python3
def fakultaet(c, n) :
    if (n == 0) :
        return c(1)
    fakultaet(lambda f : c(n * f), n - 1)

fakultaet(lambda f: print(f), 5)
```

Funktionale Sprachen mit Tail-Call Optimization können in der endrekursiven Version das dynamische Wachsen des Stacks unterbinden.

Bei Python sind die Continuations hier kontraproduktiv, weil deren Aufrufe die Zahl der Stack-Frames verdoppelt. Python hat keine Tail-Call Optimization.

Deklarative Programmierung: logisch

Bei der **logischen Programmierung** ist ein Programm eine Liste von speziellen prädikatenlogischen Ausdrücken (Horn-Klauseln):

- Leitfrage: Was ist über die Lösungsmenge bekannt?
- Fakten nennen Eigenschaften konkreter Objekte und Relationen zwischen konkreten Objekten
- Regeln beschreiben, unter welchen Bedingungen beliebige Objekte bestimmte Eigenschaften haben oder Relationen zwischen beliebigen Objekten bestehen
- an die Wissensbasis aus Fakten und Regeln werden Anfragen gestellt

  Fragen nach Eigenschaften von konkreten Objekten oder nach Relationen zwischen konkreten Objekten werden mit ja (true) oder nein (false) beantwortet

  Fragen nach der Existenz von Objekten, die bestimmte Eigenschaften haben oder in bestimmten Relationen stehen, werden im positiven Fall mit konkreten Objekten beantwortet (auf Anforderung auch schrittweise mit allen passenden Objekten)

Weitere Programmierparadigmen (1)

Denkweisen, die sich mehr auf den Charakter der zu erstellenden Software als auf den Charakter der Programmiersprachen beziehen:

- Anwendungsprogrammierung

  Umsetzen der Anforderungen von Endanwendern

  als Programmiersprachen kommen eine Vielzahl von GPLs und DSLs in Frage weit verbreitet sind etwa C#, Java, Python, HTML / CSS / JavaScript

- Systemprogrammierung

  Verwaltung und Steuerung von Ressourcen in Rechensystemen
  Bereitstellen von Plattformen für Anwendungsprogramme

  dominierende höhere Programmiersprachen sind die GPLs C und C++

Die beiden Denkweisen lassen sich nicht scharf voneinander abgrenzen, sie treten mitunter vermischt auf oder sind eine Frage des Blickwinkels

Ist ein Webbrowser ein Anwendungs- oder ein Systemprogramm?

Weitere Programmierparadigmen (2)

Unter dem Begriff Programmierparadigmen werden zahllose weitere Denkweisen beschrieben *(siehe die deutsche und englische Wikipedia)*

Hier nur ein paar weitere Beispiele:

- Scripting
  für Kommandoprozeduren, die die Bedienung von Rechnern automatisieren
  für Gluecode, der z.B. GUI-Bedienelemente mit Programmlogik verknüpft
  Sprachen: z.B. sh, JavaScript, Python, VBScript, ...
- Textgenerierung
  von formatierten Programmausgaben bis zur Generierung von Quellcode und Webseiten
  Sprachen: z.B. printf, Stringtemplate, ...
- Textauszeichnung und -präsentation
  Sprachen: z.B. TeX / LaTeX, Html / CSS, XML
- Datenabfrage
  Sprachen: z.B. SQL, XQuery / XPath
- **...**

Scripting: Eigenschaften

Bei der **Script-Programmierung** werden neue Anwendungen durch einfaches Zusammenfügen bereits vorhandener Anwendungen und Komponenten erstellt.

Mit mächtigen GPLs kann man komplexe Anwendungen und Komponenten sicher und effizient von Grund auf implementieren. Will man solche Anwendungen und Komponenten lediglich verwenden, reichen flexiblere und leichter zu lernende Scriptsprachen.

Einige Typische Eigenschaften von Scriptsprachen:

- deklarationsfreie Syntax

  Namen werden implizit deklariert und ihre Typen dynamisch bestimmt

- ausgefeilter Umgang mit Strings

  Pattern-Matching mit regulären Ausdrücken
  Strings als Array-Index
  Strings als Code ausführen

- zeilenweise Interpretation des Quelltexts statt Übersetzung

  dadurch auch interaktiv nutzbar

Scripting: Beispiele (1)

Mit einer Unix-Shell wie **sh** lassen sich Anwendungen bequem aus vorhandenen ausführbaren Programmen und Systemressourcen zusammensetzen.

- Umlenkung der Standard-Ein-/Ausgabe

  Programm1 `|` *Programm2*

  Pipe als Standard-Ausgabe für Programm1 und Standard-Eingabe für Programm2

  Programm `<` *Datei1* `>` *Datei2* `2>&1`

  Datei1 als Standard-Eingabe, Datei2 als Standard-Ausgabe
  und Fehlerausgabe (2) auf Standardausgabe (1) umleiten

- sequentielle Ausführung

  Programm1 `;` *Programm2* — *unbedingte Sequenz*
  Programm1 `&&` *Programm2* — *Programm2 nur, wenn Programm1 mit Exitcode 0*
  Programm1 `||` *Programm2* — *Programm2 nur, wenn Programm1 mit Exitcode nicht 0*

- Dateien mit regulären Ausdrücken auswählen

  `*.[ch]` — *alle Dateien mit Endung .c und .h im aktuellen Arbeitsverzeichnis*

Scripting: Beispiele (2)

Mit einer Scriptsprache wie **Python** lassen sich zusammengesetzte Datentypen deklarationsfrei und flexibel nutzen.

- Listen können Elemente verschiedener Typen enthalten und sind zugleich wie Arrays nutzbar:

```
liste = [123, 456, 890]          # neue Liste
liste[1] = 4.56                  # zweites Element bekommt neuen Typ und Wert
liste.insert(1, 'Hallo')         # zusätzliches Element hinter dem ersten
liste.append(liste.pop(0))       # erstes Element wird ans Ende verschoben
print(liste)                     # Ausgabe: ['Hallo', 4.56, 890, 123]
```

- weitere zusammengesetzte Typen:

```
tupel = (10, 20, 10)             # im Gegensatz zur Liste nicht änderbar
menge = {'Hallo', 'Hi'}          # kein Index und keine doppelten Werte
dictionary = {'x':1, 'y':2}      # Schlüssel-Wert-Paare, Schlüssel als Index
```

Textgenerierung: Eigenschaften

Bei DSLs für die **Textgenerierung** werden Lückentexte mit Daten gefüllt.

spielt vor allem bei der Generierung von HTML-Seiten eine große Rolle,
aber auch bei der Generierung von Programmcode aus Modellen

- Formatierungssprachen sind in eine Wirtssprache eingebettete DSLs:

  der Lückentext ist aus Sicht der Wirtssprache ein gewöhnlicher String

  Bibliotheksfunktionen bzw. -klassen interpretieren zur Laufzeit bestimmte Zeichenfolgen im String als Lücken und setzen dort formatierte Daten ein

  Beispiele: C printf, Java String.format, Python str.format

- Templatesprachen sind eigenständige DSLs:

  die Lückentexte werden abgesetzt in eigenen Dateien erstellt

  es gibt syntaktische Mittel, um zum Füllen der Lücken durch ein Datenmodell zu iterieren, die Syntax wird von einer Templateengine interpretiert

  Beispiele: VTL (Velocity Template Language), StringTemplate

Textgenerierung: Beispiel (1)

StringTemplate ist eine Templatesprache und Java Template-Engine von Terence Parr *(siehe auch ANTLR in Teil 2)*.

Lückensyntax *(statt der spitzen Klammern sind auch andere Begrenzer möglich)*:

- Referenzen erlauben den Zugriff auf Java-Objekte eines Modells:

  `<attribute.property>`

  Attribute sind sozusagen Parameter von Templates und werden javaseitig mit Objekten eines Modells initialisiert.

  Properties werden auf Instanzvariablen oder getter-Methoden der Objekte abgebildet.

- funktionaler Stil für die Iteration über Modellelemente:

  `<attribute.property:`*`Template`*`()>`

  `<attribute.property:`*`Template`*`(); separator="…">`

  auf alle Elemente der Property das angegebene Template anwenden

- Bedingte Template-Abschnitte:

  `<if(`*`Bedingung`*`)> ... <elseif(`*`Bedingung`*`)> ... <else> ... <end>`

Textgenerierung: Beispiel (2)

- Template-Gruppe mit zwei Templates für die Generierung einer HTML-Seite:

```
delimiters "$", "$"
```

spitze Klammern als Begrenzer bei HTML ungeeignet

```
notenspiegel(n) ::= <<
<!DOCTYPE html>
<html lang="de">
<body>
<b>NOTENSPIEGEL</b>
<table>
$n:fachnote(); separator="\n"$
</table>
</body>
</html>
>>
```

*Template **notenspiegel** mit Attribut **n** und mehrzeiligem Rumpf von << bis >>*

*wendet das Template **fachnote** auf alle Elemente aus **n** an und fügt nach jedem Element einen Zeilenwechsel ein*

```
fachnote(f) ::= <<
<tr>
<td>$f.fach$</td>
<td>$if(f.benotet)$L$else$S$endif$</td>
<td>$f.note$</td>
</tr>
>>
```

*Template **fachnote** mit Attribut **f***

*greift auf **fach**, **benotet** und **note** im Datenmodell zu*

Textgenerierung: Beispiel (3)

- Datenmodell **`Fachnote.java`**:

```
public final class Fachnote {
    public final String fach;
    public final boolean benotet;
    public final String note;

    public Fachnote(String fach, double note) {
        this.fach = fach;
        this.benotet = true;
        this.note = String.format("%.1f", note);
    }

    public Fachnote(String fach, boolean bestanden) {
        this.fach = fach;
        this.benotet = false;
        this.note = bestanden ? "be" : "nb";
    }
}
```

Textgenerierung: Beispiel (4)

- Modellinstanziierung und Aufruf der Template-Engine:

```
import org.stringtemplate.v4.STGroupFile;
import org.stringtemplate.v4.ST;

...

Fachnote[] fachnoten = new Fachnote[] {
      new Fachnote("Sprachkonzepte", 1.3),
      new Fachnote("Sprachkonzepte Uebungen", true)
};

ST template
      = new STGroupFile("notenspiegel.stg").getInstanceOf("notenspiegel");
template.add("n", fachnoten);

String htmlSeite
      = template.render();

...
```

Initialisierung des Template-Attributs

Name des Templates in der Gruppen-Datei