

5. Datentypen

Themen dieses Kapitels:

5.1 Allgemeine Begriffe zu Datentypen

- Typbindung, Typumwandlung
- abstrakte Definition von Typen
- parametrisierte und generische Typen

5.2 Datentypen in Programmiersprachen

- einfache Typen, Verbunde, Vereinigungstypen, Reihungen
- Funktionen, Mengen, Stellen

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 501

Ziele:

Übersicht zu diesem Kapitel

in der Vorlesung:

Erläuterungen dazu

5.1 Allgemeine Begriffe zu Typen

Typ: Wertemenge mit darauf definierten Operationen

z. B. `int` in Java: Werte von `Integer.MIN_VALUE` bis `Integer.MAX_VALUE` mit arithmetischen Operationen für ganze Zahlen

Typ als Eigenschaft von

Literal: Notation für einen Wert des Typs,
 Variable: speichert einen Wert des Typs,
 Parameter: übergibt einen Wert des Typs an den Aufruf,
 Ausdruck: Auswertung liefert einen Wert des Typs,
 Aufruf: Auswertung liefert einen Wert des Typs,
 Funktion, Operator: Signatur (Parameter- und Ergebnistypen)

Typen werden **in der Sprache definiert:**

z. B. in C: `int`, `float`, `char`, ...

Typen können **in Programmen definiert** werden:

Typdefinition bindet die Beschreibung eines Typs an einen Namen,

z. B. in Pascal:

```
type Datum = record tag, monat, jahr: integer; end;
```

Typprüfung (type checking):

stellt sicher, dass jede Operation mit Werten des dafür festgelegten Typs ausgeführt wird,

Typsicherheit

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 502

Ziele:

Typbegriff in Programmiersprachen

in der Vorlesung:

Erläuterung der Begriffe und weitere Beispiele

nachlesen:

..., Abschnitt 2.1, 2.5.1, 7

Verständnisfragen:

Geben Sie Typdefinitionen in Java und in C an.

Statische oder dynamische Typbindung

Statische Typbindung:

Die **Typen** von Programmgegenständen (z.B. Variable, Funktionen) und Programmkonstrukten (z. B. Ausdrücke, Aufrufe) werden **durch den Programmtext festgelegt**.

z. B. in Java, Pascal, C, C++, Ada, Modula-2 **explizit durch Deklarationen**
z. B. in SML, Haskell **implizit durch Typinferenz** (siehe GPS-7.4 ff)

Typprüfung im Wesentlichen zur Übersetzungszeit.
Entwickler muss erkannte Typfehler beheben.

Dynamische Typbindung:

Die **Typen** der Programmgegenstände und Programmkonstrukte werden erst **bei der Ausführung bestimmt**. Sie können bei der Ausführung nacheinander Werte unterschiedlichen Typs haben.

z. B. Smalltalk, PHP, JavaScript und andere Skriptsprachen

Typprüfung erst zur Laufzeit.
Evtl. werden Typfehler erst beim Anwender erkannt.

Keine Typisierung:

In den Regeln der Sprache wird der **Typbegriff nicht verwendet**.

z. B. Prolog, Lisp

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 502a

Ziele:

Zeitpunkt der Typbindung unterscheiden

in der Vorlesung:

Erläuterung der Begriffe

nachlesen:

..., Abschnitt 2.1, 2.5.1, 7

Verständnisfragen:

Die Verwendung von Programmiersprachen mit dynamischer Typbindung wird zuweilen als "teuer" bezeichnet. Finden Sie Argumente für diese Ansicht.

Beispiele für statische Typregeln

1. Eine **Variable mit Typ T** kann nur einen Wert aus der Wertemenge von T speichern.
`float x; ... x = r * 3.14;`
2. Der **Ausdruck einer return-Anweisung** muss einen Wert liefern, der aus der Wertemenge des **Ergebnistyps** der umgebenden Funktion ist (oder in einen solchen Wert konvertiert werden kann (siehe GPS-5.4)).
`float sqr (int i) {return i * i;}`
3. Im **Aufruf einer Funktion** muss die Zahl der Parameterausdrücke mit der Zahl der formalen Parameter der Funktionsdefinition übereinstimmen und jeder **Parameter-ausdruck** muss einen Wert liefern, der aus der Wertemenge des **Typs des zugehörigen formalen Parameters** ist (oder ... s.o.)).
4. Zwei Methoden, die in einer Klasse deklariert sind und **denselben Namen** haben, **überladen** einander, wenn sie in einigen **Parameterpositionen unterschiedliche Typen** haben. Z. B.
`int add (int a, int b) { return a + b; }
Vector<Integer> add (Vector<Integer> a, Vector<Integer> b) {...}`

In einem Aufruf einer überladenen Methode wird anhand der Typen der Parameterausdrücke entschieden, welche Methode aufgerufen wird:

`int k; ... k = add (k, 42);`

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 502b

Ziele:

Typregeln an Beispielen kennenlernen

in der Vorlesung:

Erläuterung der Regeln

nachlesen:

..., Abschnitt 2.1, 2.5.1, 7

Verständnisfragen:

- Geben Sie Programmbeispiele an, die jeweils eine Regel verletzen.
- Formulieren Sie weitere solche Regeln.

Streng typisiert

Streng typisierte Sprachen (strongly typed languages):

Die Einhaltung der **Typregeln** der Sprache stellt sicher, dass **jede Operation** nur mit **Werten des dafür vorgesehenen Typs** ausgeführt wird.

Jede Verletzung einer Typregel wird erkannt und als Typfehler gemeldet
- zur Übersetzungszeit oder zur Laufzeit.

FORTRAN	nicht streng typisiert	Parameter werden nicht geprüft
Pascal	nicht ganz streng typisiert	Typ-Uminterpretation in Variant-Records
C, C++	nicht ganz streng typisiert	es gibt undiscriminated Union-Typen
Ada	nicht ganz streng typisiert	es gibt Direktiven, welche die Typprüfung an bestimmten Stellen ausschalten
Java	streng typisiert	alle Typfehler werden entdeckt, zum Teil erst zur Laufzeit

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 503

Ziele:

Strenge Typregeln

in der Vorlesung:

Erläuterung der Begriffe

nachlesen:

..., Abschnitt 2.1, 2.5.1, 7

Verständnisfragen:

- Warum ist in Pascal der Zugriff auf Verbundvarianten unsicher?
- Konstruieren Sie eine unsichere Verwendung von Vereinigungstypen in C.

Typumwandlung (Konversion)

Typumwandlung, Konversion (conversion):

Der Wert eines Typs wird in einen entsprechenden Wert eines anderen Typs umgewandelt.

ausweitende Konversion:

jeder Wert ist im Zieltyp ohne Informationsverlust darstellbar, z. B.

```
float --> double
```

einengende Konversion:

nicht jeder Wert ist im Zieltyp darstellbar, ggf. Laufzeitfehler, z. B.

```
float --> int (Runden, Abschneiden oder Überlauf)
```

Uminterpretation ist unsicher, ist nicht Konversion!:

Das Bitmuster eines Wertes wird als Wert eines anderen Typs interpretiert.
z. B. Varianten-Records in Pascal (GPS-5.14)

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 504

Ziele:

Konversionen verstehen

in der Vorlesung:

Erläuterung der Begriffe

nachlesen:

..., Abschnitt 2.1, 2.5.1, 7

Verständnisfragen:

- Klassifizieren Sie Beispiele von casts in Java und C als sicher oder unsicher.

Explizite und implizite Typumwandlung

Eine Konversion kann **explizit im Programm als Operation** angegeben werden (**type cast**), z. B.

```
float x = 3.1; int i = (int) x;
```

Eine Konversion kann **implizit vom Übersetzer eingefügt** werden (**coercion**), weil der Kontext es erfordert, z. B.

```
double d = 3.1;      implizit float --> double
d = d + 1;          implizit int --> double
```

Java: ausweitende Konversionen für Grund- und Referenztypen **implizit**, **einengende** müssen **explizit** angegeben werden.

Konversion für Referenzen ändert weder die Referenz noch das Objekt:

```
Object val = new Integer (42); implizit Integer --> Object
Integer ival = (Integer) val;  explizit Object --> Integer
```

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 504a

Ziele:

implizite und explizite Konversion verstehen

in der Vorlesung:

Erläuterung der Begriffe

nachlesen:

..., Abschnitt 2.1, 2.5.1, 7

Abstrakte Definition von Typen

Datenstrukturen werden in Programmen mit Typen modelliert => Modellierungskonzepte

Abstrakte Grundkonzepte zur Bildung einfacher und zusammengesetzter Wertemengen D :
(Hier: nur Wertemengen der Typen; Operationen darauf werden davon nicht erfasst.)

1. einfache Mengen: $D = \{ e_1, e_2, \dots, e_n \}$ extensionale Aufzählung der Elemente

$D = \{ a \mid \text{Eigenschaft von } a \}$ intensionale Definition

z. B. Grundtypen, Aufzählungstypen, Ausschnittstypen

2. kartesisches Produkt: $D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$

Tupel z. B. Verbunde (records); Reihungen (arrays) (mit gleichen D_i)

3. Vereinigung: $D = D_1 \mid D_2 \mid \dots \mid D_n$

Alternativen zusammenfassen

z. B. union in C und Algol 68, Verbund-Varianten in Pascal, Ober-, Unterklassen

4. Funktion: $D = D_p \rightarrow D_e$

Funktionen als Werte des Wertebereiches D

z. B. Funktionen, Prozeduren, Methoden, Operatoren; auch Reihungen (Arrays)

5. Potenzmenge: $D = P (D_e)$

z. B. Mengentypen in Pascal

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 505

Ziele:

Abstraktionen verstehen

in der Vorlesung:

- Wiederholung aus der Vorlesung "Modellierung"
- Erläuterung der Konzepte

nachlesen:

..., Abschnitt 2.2, 2.3, 2.4

Übungsaufgaben:

- Definieren Sie Wertemengen zu gegebenen Beschreibungen

Abstrakte Definition von Typen: Beispiele

GPS-5-7

- 1. einfache Mengen:** $\text{Farbe} = \{\text{blau, gelb, rot}\}$
Pascal: `type Farbe = (blau, gelb, rot);`
C: `typedef enum {blau, gelb, rot} Farbe;`
- 2. kartesisches Produkt:** $\text{Graph} = \text{Knoten} \times \text{Kanten}$
Pascal: `type Graph = record n: Knoten; v: Kanten end;`
C: `typedef struct { Knoten n; Kanten v; } Graph;`
- 3. Vereinigung:** $\text{Geo} = \text{Kreis} \mid \text{Rechteck}$
Pascal: `type Geo = record case boolean of
false: (k: Kreis);
true: (r: Rechteck)
end;`
C: `typedef union {Kreis k; Rechteck r} Geo;`
- 4. Funktion:** $\text{IntOprSig} = \text{int} \times \text{int} \rightarrow \text{int}$
Pascal: Funktionen nicht allgemein als Daten, nur als Parameter ohne Angabe der Signatur
C: `typedef int IntOprSig(int, int);`
- 5. Potenzmenge:** $\text{Mischfarbe} = P(\text{Farbe})$
Pascal: `type Mischfarbe = set of farbe;`
C: `typedef unsigned Mischfarbe;`

© 2005 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 507

Ziele:

Erste Beispiele zu den Grundkonzepten

in der Vorlesung:

- Erläuterung der Beispiele und der Notation
- Vertiefung auf späteren Folien

nachlesen:

..., Abschnitt 2.2, 2.3, 2.4

Kombination von Typen

GPS-5-8

Die Grundkonzepte zur Typkonstruktion sind prinzipiell **beliebig kombinierbar**,
z. B. Kreise oder Rechtecke zusammengefasst zu 2-dimensionalen geometrischen Figuren:

```
Koord2D = float × float  
Form = {istKreis, istRechteck}  
Figur = Koord2D × Form × (float | float × float)  
Position Kennzeichen Radius Kantenlängen
```

z. B. Signatur einer Funktion zur Berechnung von Nullstellen einer als Parameter gegebenen Funktion:

```
(float → float) × float × float → P(float)  
Funktion Bereich Menge der Nullstellen
```

© 2008 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 508

Ziele:

Abstrakte Typkonzepte anwenden

in der Vorlesung:

- Erläuterungen zu den Definitionen

Rekursive Definition von Typen

Wertemengen können auch **rekursiv definiert** werden:

z. B. ein Typ für **lineare Listen** rekursiv definiert durch Paare:

```
IntList = int × IntList | {nil}
```

{nil} ist eine einelementige Wertemenge. nil repräsentiert hier die leere Liste.

Werte des Typs sind z. B.

```
nil, (1,nil), (2,nil), ..., (1,(1,nil)), (8,(9,(4,nil))), ...
```

Entsprechend für Bäume:

```
IntTree = IntTree × int × IntTree | {TreeNil}
```

Eine rekursive Typdefinition ohne nicht-rekursive Alternative ist so nicht sinnvoll, da keine Werte gebildet werden können:

```
X = int × X
```

In funktionalen Sprachen können Typen direkt so rekursiv definiert werden, z. B. in SML:

```
datatype IntList = cons of (int × IntList) | IntNil;
```

In imperativen Sprachen werden rekursive Typen mit Verbunden (struct) implementiert, die Verbundkomponenten mit Stellen als Werte (Pointer) enthalten, z. B. in C:

```
typedef struct _IntElem *IntList;
typedef struct _IntElem { int head; IntList tail;} IntElem;
```

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 508a

Ziele:

Abstrakte Typkonzepte anwenden

in der Vorlesung:

- Erläuterungen zu rekursiven Definitionen
- Lineare Liste, abstrakt: Paar von Wert und Liste; implementiert: Paar von Wert und Referenz auf Liste.
- Zusammenhang zur Implementierung in imperativen Sprachen
- weitere Beispiele

Verständnisfragen:

- Warum wäre die abstrakte Definition des Typs IntList ohne die nil-Alternative sinnlos?

Parametrisierte Typen

Parametrisierte Typen (Polytypen):

Typangaben mit **formalen Parametern**, die für Typen stehen.

Man erhält aus einem Polytyp einen konkreten Typ durch **konsistentes Einsetzen eines beliebigen Typs** für jeden Typparameter.

Ein Polytyp beschreibt die **Typabstraktion**, die allen daraus erzeugbaren konkreten Typen gemeinsam ist.

Beispiele in SML-Notation mit 'a', 'b', ... für Typparameter:

Polytyp	gemeinsame Eigenschaften	konkrete Typen dazu
'a × 'b	Paar mit Komponenten beliebigen Typs	int × float int × int
'a × 'a	Paar mit Komponenten gleichen Typs	int × int (int->float) × (int->float)
'a list = 'a × 'a list {nil}	homogene, lineare Listen	int list float list (int × int) list

Verwendung z. B. in **Typabstraktionen** und in **polymorphen Funktionen** (GPS-5-9a)
In SML werden konkrete Typen zu parametrisierten Typen statisch bestimmt und geprüft.

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 509

Ziele:

Parametrisierte Typen verstehen

in der Vorlesung:

- Wichtiges Prinzip erläutern
- Vorkommen in funktionalen Sprachen zeigen

nachlesen:

..., Abschnitt 7.1, 7.3, 7.4

Verständnisfragen:

- Geben Sie weitere Beispiele zu Polytypen an

Polymorphe Funktionen

GPS-5-9a

(Parametrisch) **polymorphe Funktion**:

eine Funktion, deren **Signatur ein Polytyp** ist, d. h. Typparameter enthält.

Die Funktion ist auf Werte eines jeden konkreten Typs zu der Signatur anwendbar.

D. h. sie muss unabhängig von den einzusetzenden Typen sein;

Beispiele:

eine Funktion, die die Länge einer beliebigen homogenen Liste bestimmt:

```
fun length l = if null l then 0 else 1 + length (tl l);
```

polymorphe Signatur: 'a list -> int

Aufrufe: `length ([1, 2, 3]); length ([(1, true), (2, true)])`;

eine Funktion, die aus einer Liste durch elementweise Abbildung eine neue Liste erzeugt:

```
fun map (f, l) = ...
```

polymorphe Signatur: (('a -> 'b) × 'a list) -> 'b list

Aufruf: `map (even, [1, 2, 3])` liefert `[false, true, false]`

```
int->bool, int list    bool list
```

© 2011 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 509a

Ziele:

Polymorphe Signaturen verstehen

in der Vorlesung:

- Vorkommen in funktionalen Sprachen zeigen
- Weitere Beispiele zu polymorphen Funktionen

nachlesen:

..., Abschnitt 7.1, 7.3, 7.4

Verständnisfragen:

- Geben Sie weitere Beispiele zu polymorphen Funktionen an.

Generische Definitionen

GPS-5-10

Eine **Generische Definition** hat **formale generische Parameter**.

Sie ist eine **abstrakte Definition einer Klasse** oder eines Interfaces.

Für jeden generischen Parameter kann ein **Typ eingesetzt** werden.

(Er kann auf Untertypen eines angegebenen Typs eingeschränkt werden.)

Beispiel in Java:

Generische Definition einer Klasse `Stack` mit generischem Parameter für den **Elementtyp**

```
class Stack<Elem>
{ private Elem [] store ;
  void push (Elem el) {... store[top]= el;...}
  ...
};
```

Eine **generische Definition wird instanziiert** durch Einsetzen von **aktuellen generischen Parametern**. Dadurch entsteht zur Übersetzungszeit eine Klassendefinition. Z. B.

```
Stack<Float> taschenRechner = new Stack<Float>();
Stack<Frame> windowMgr = new Stack<Frame>();
```

Generische Instanziierung kann im Prinzip durch **Textersetzung** erklärt werden: Kopieren der generischen Definition mit Einsetzen der generischen Parameter im Programmtext.

Der Java-Übersetzer erzeugt für jede generische Definition eine Klasse im ByteCode, in der `Object` für die generischen Typparameter verwendet wird. Er setzt Laufzeitprüfungen ein, um zu prüfen, dass die ursprünglich generischen Typen korrekt verwendet wurden.

© 2010 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 510

Ziele:

Generische Parametrisierung verstehen

in der Vorlesung:

Erläuterung

- des Prinzips
- der Notation
- der Sicherheit von ByteCode-Programmen.

nachlesen:

..., Abschnitt 6.4

Generische Definitionen in C++

Generische Definitionen wurden in Ada und C++ schon früher als in Java eingeführt. Außer Klassen können auch Module (Ada) und Funktionen generisch definiert werden. **Formale generische Parameter** stehen für beliebige Typen, Funktionen oder Konstante. (Einschränkungen können nicht formuliert werden.)

Beispiel in C++:

Generische Definition einer Klasse `stack` mit generischem Parameter für den **Elementtyp**

```
template <class Elem>
class Stack
{ private Elem store [size];
  void push (Elem e1) {... store[top]=e1;...}
  ...
};
```

Eine **generische Definition** wird **instanziiert** durch Einsetzen von **aktuellen generischen Parametern**. Dadurch entsteht Übersetzungszeit eine Klassen-, Modul- oder Funktionsdefinition.

```
Stack<float>* taschenRechner = new Stack<float>();
Stack<Frame>* windowMgr = new Stack<Frame>();
```

Auch **Grundtypen** wie `int` und `float` können als aktuelle generische Parameter eingesetzt werden.

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 510j

Ziele:

Generische Parametrisierung in Java

in der Vorlesung:

Erläuterung der Notation

nachlesen:

..., Abschnitt 6.4

Verständnisfragen:

Warum ist es fragwürdig, ein Sortierschema mit zwei generischen Parametern für den Elementtyp und die Vergleichsfunktion zu definieren?

Nutzen generischer Definitionen

Typische Anwendungen:

homogene Behälter-Typen, d. h. alle Elemente haben denselben Typ:
Liste, Keller, Schlange, ...
generischer Parameter ist der Elementtyp (und ggf. die Kapazität des Behälters)

Algorithmen-Schemata: Sortieren, Suchen, etc.
generischer Parameter ist der Elementtyp mit Vergleichsfunktion

Generik sichert statische Typisierung trotz verschiedener Typen der Instanzen!

Übersetzer kann Typkonsistenz garantieren, z. B. Homogenität der Behälter

Java hat generische Definitionen erst seit Version 1.5

Behälter-Typen programmierte man vorher mit `Object` als Elementtyp,
dabei ist **Homogenität nicht garantiert**

Generische Definitionen gibt es z. B. in C++, Ada, Eiffel, Java ab 1.5

Generische Definitionen sind **überflüssig in dynamisch typisierten Sprachen** wie Smalltalk

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 510n

Ziele:

Generische Parametrisierung verstehen

in der Vorlesung:

- Vergleich mit Java-Lösungen ohne Generik

nachlesen:

..., Abschnitt 6.4

5.2 Datentypen in Programmiersprachen Typen mit einfachen Wertemengen (1)

a. Ausschnitte aus den **ganzen Zahlen** mit arithmetischen Operationen unterschiedlich große Ausschnitte: Java: `byte`, `short`, `int`, `long`; C, C++: `short`, `int`, `long int`, `unsigned`; Modula-2: `INTEGER` und `CARDINAL`

b. **Wahrheitswerte** mit logischen Operationen
Pascal, Java: `boolean = (false, true)`;
in C: durch `int` repräsentiert; `0` repräsentiert `false`, alle anderen Werte `true`

Kurzauswertung logischer Operatoren in C, C++, Java, Ada:
Operanden von links nach rechts auswerten bis das Ergebnis feststeht:

```
a && b || c      i >= 0 && a[i] != x
```

c. **Zeichen eines Zeichensatzes** mit Vergleichen, z. B. `char`

d. **Aufzählungstypen** (enumeration)

```
Pascal:  Farbe = (rot, blau, gelb)
C:       typedef enum {rot, blau, gelb} Farbe;
Java:    enum farbe {rot, blau, gelb}
```

Die Typen (a) bis (d) werden auf ganze Zahlen abgebildet (ordinal types) und können deshalb auch exakt verglichen, zur Indizierung und in Fallunterscheidungen verwendet werden.

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 511

Ziele:

Arten von Grundtypen kennenlernen

in der Vorlesung:

Erläuterungen und Beispiele dazu

nachlesen:

..., Abschnitt 2.2

Verständnisfragen:

- Was bedeutet "Kurzauswertung logischer Operatoren" in Java, C, C++ und Ada? Welchen Nutzen haben Programmierer davon?

Typen mit einfachen Wertemengen (2)

e. Teilmenge der **rationalen Zahlen** in Gleitpunkt-Darstellung (floating point), z. B. `float`, mit arithmetischen Operationen,
Gleitpunkt-Darstellung:
Tripel (s, m, e) mit Vorzeichen s, Mantisse m, Exponent e zur Basis $b = 2$;
Wert der Gleitpunktzahl: $x = s * m * b^e$

f. Teilmenge der **komplexen Zahlen** mit arithmetischen Operationen z. B. in FORTRAN

g. **Ausschnittstypen** (subrange)

in Pascal aus (a) bis (d): `Range = 1..100`;

in Ada auch aus (e) mit Größen- und Genauigkeitsangaben

Zur Notation von Werten der Grundtypen sind **Literale** definiert:

z. B. `127`, `true`, `'?'`, `3.71E-5`

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 511a

Ziele:

Arten von Grundtypen kennenlernen

in der Vorlesung:

Erläuterungen und Beispiele dazu

nachlesen:

..., Abschnitt 2.2

Verständnisfragen:

- Ist die Typausweitung von `int` nach `float` immer werterhaltend?

Verbunde

Kartesisches Produkt: $D = D_1 \times D_2 \times \dots \times D_n$ mit beliebigen Typen D_i ; **n-Tupel**

Verbundtypen in verschiedenen Sprachen:

SML: `type Datum = int * int * int;`

Pascal, Modula-2, Ada:

`type Datum = record tag, monat, jahr: integer; end;`

C, C++: `typedef struct {int tag, monat, jahr;} Datum;`

Selektoren zur Benennung von Verbundkomponenten:

`Datum heute = {27, 6, 2006};`
`heute.monat` oder `monat of heute`

Operationen:

meist nur Zuweisung; komponentenweise Vergleiche (SML) sehr aufwändig

Notation für Verbundwerte:

in **Algol-68, SML, Ada** als Tupel: `heute := (27, 6, 2006);`

in **C** nur für Initialisierungen: `Datum heute = {27, 6, 2006};`

in **Pascal, Modula-2** keine Notation für Verbundwerte

sehr lästig, da Hilfsvariable und komponentenweise Zuweisungen benötigt werden

`Datum d; d.tag:=27; d.monat:=6; d.Jahr:=2006; pruefeDatum (d);`

statt `pruefeDatum ((27, 6, 2006));`

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 512

Ziele:

Verbundtypen in verschiedenen Sprachen

in der Vorlesung:

Erläuterungen zu

- Tupelbildung
- Selektion
- Notation

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.1

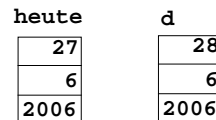
Verständnisfragen:

- Erläutern Sie anhand eines Funktionsaufrufes mit Verbundparameter: Mit Notationen für Verbundwerte kann man den Aufruf geschlossen angeben. Ohne solche Notationen muss man Variable und Zuweisungen zusätzlich verwenden.

Vergleich: Verbundwerte - Objekte

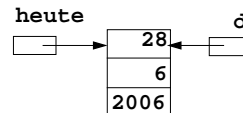
Verbundtypen in C, C++:

```
typedef struct {int tag, monat, jahr;} Datum;
Datum heute = {27, 6, 2006};
Datum d = heute; d.tag += 1;
```



Klassen in objekt-orientierten Sprachen wie Java, C++:

```
class Datum {int tag, monat, jahr;}
Datum heute = new Datum (27, 6, 2006);
Datum d = heute; d.tag += 1;
```



Vergleich

Werte von Typen

haben **keine Identität**

werden z. B. **in Variablen gespeichert**

Werte haben **keinen veränderlichen Zustand**

beliebig **kopierbar**

2 Werte sind gleich,

wenn ihre Komponenten gleich sind,
auch wenn die Werte an verschiedenen
Stellen gespeichert sind

Objekte von Klassen

haben **Identität (Referenz, Speicherstelle)**

haben **eigenen Speicher**

können **veränderlichen Zustand** haben

werden **nicht kopiert, sondern geklont**

2 Objekte sind immer verschieden,

auch wenn ihre Instanzvariablen
paarweise gleiche Werte haben.

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 513

Ziele:

Unterschied zwischen Werten und Objekten verstehen

in der Vorlesung:

- Wiederholung aus GP 1,
- Erläuterungen dazu.

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.1

Verständnisfragen:

- Was ist der wesentliche semantische Unterschied zwischen Verbundtypen in ML, Pascal oder C einerseits und Klassen in Java, C++ andererseits?

Vereinigung (undiscriminated union)

Allgemeines Konzept: **Vereinigung von Wertebereichen: $D = D_1 | D_2 | \dots | D_n$**

Ein Wert vom Typ D_i ist auch ein Wert vom allgemeineren Typ D .

Variable vom Typ D können einen Wert jedes der vereinigten Typen D_i aufnehmen.

Problem: Welche Operationen sind auf den Inhalt solch einer Variable sicher anwendbar?

1. undiscriminated union: $D = D_1 | D_2 | \dots | D_n$

z. B. zwei Varianten der Darstellung von Kalenderdaten, als Tripel vom Typ `Datum` oder als Nummer des Tages bezogen auf einen Referenztag, z. B.

union-Typ in C:

```
typedef union {Datum KalTag; int TagNr;} uDaten;
uDaten h;
```

Varianten-Record in Pascal:

```
type uDaten = record case boolean of
  true: (KalTag: Datum);
  false: (TagNr: integer);
end;
var h: uDaten;
```

Durch den **Zugriff** wird ein Wert vom Typ D als Wert vom Typ D_i interpretiert; unsicher!

z. B. `h.TagNr = 4342;` oder `t = h.KalTag.tag;`

Speicher wird für die größte Alternative angelegt und für kleinere Alternativen ggf. nicht genutzt.

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 514

Ziele:

Unsichere Vereinigung von Wertebereichen

in der Vorlesung:

- alternative Nutzung des Speichers
- unsichere Zugriffe

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.2

Verständnisfragen:

- Warum ist die *undiscriminated union* in Pascal und C unsicher?

Vereinigung (discriminated union)

Allgemeines Konzept: **Vereinigung von Wertebereichen: $D = D_1 | D_2 | \dots | D_n$** (wie auf 5.14)

Problem: Welche Operationen sind auf den Inhalt solch einer Variable sicher anwendbar?

2. discriminated union: $D = T \times (D_1 | D_2 | \dots | D_n)$ mit $T = \{t_1, t_2, \dots, t_n\}$

Unterscheidungskomponente vom Typ T (**tag field**) ist Teil des Wertes und kennzeichnet Zugehörigkeit zu einem D_i ; z. B.

SML (implizite Unterscheidungskomponente):

```
datatype Daten = KalTag of Datum | TagNr of int;
```

Pascal, Modula-2, Ada (explizite Unterscheidungskomponente):

```
type uDaten = record case IstKalTag: boolean of
  true: (KalTag: Datum);
  false: (TagNr: integer);
end;
```

Sichere Zugriffe durch Prüfung des Wertes der Unterscheidungskomponente oder Fallunterscheidung darüber.

Gleiches Prinzip in objekt-orientierten Sprachen (implizite Unterscheidungskomponente):

allgemeine Oberklasse mit speziellen Unterklassen

```
class Daten { ... }
class Datum extends Daten {int tag, monat, jahr;}
class TagNum extends Daten {int TagNr;}
```

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 514a

Ziele:

Sichere Vereinigung von Wertebereichen

in der Vorlesung:

- Dynamische Typkennung von Werten
- Bezug zu Vererbung in OO-Sprachen

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.2

Übungsaufgaben:

- Entwerfen Sie ein Sprachkonstrukt zur sicheren Fallunterscheidung über vereinigte Typen. Beispiel angeben und Semantik skizzieren.

Verständnisfragen:

- Warum ist auch die *discriminated union* in Pascal unsicher?

Reihungen (Arrays)

Abbildung des Indextyps auf den Elementtyp: $D = I \rightarrow E$
oder kartesisches Produkt mit fester Anzahl Komponenten $D = E \times E \times \dots \times E$

in **Pascal-Notation**: `type D = array [I] of E`

Indexgrenzen, alternative Konzepte:

statische Eigenschaft des Typs (**Pascal**): `array [0..9] of integer;`
 statische Eigenschaft der Reihungsvariablen (**C**): `int a[10];`
 dynamische Eigenschaft des Typs (**Ada**): `array (0..m*n) of float;`
 dynamisch, bei Bildung von Werten, Objekten (**Java**): `int[] a = new int[m*n];`

Mehrstufige Reihungen: Elementtyp ist Reihungstyp:

`array [I1] of array [I2] of E` kurz: `array [I1, I2] of E`
 zeilenweise Zusammenfassung in fast allen Sprachen; nur in FORTRAN spaltenweise

Operationen:

Zuweisung, Indizierung als Zugriffsfunktion: `x[i] y[i][j] y[i,j]`
 in C, C++, FORTRAN ohne Prüfung des Index gegen die Grenzen

Notation für Reihungswerte in Ausdrücken: (fehlen in vielen Sprachen; vgl. Verbunde)

Algol-68: `a := (2, 0, 0, 3, 0, 0);`
Ada: `a := (2 | 4 => 3, others => 0);`
C: `int a[6] = {2, 0, 0, 3, 0, 0};` nur in Initialisierungen
Java: `int[] a = {2, 0, 0, 3, 0, 0};`
Pascal: `a = new int [] {2, 0, 0, 3, 0, 0};`
 keine

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 515

Ziele:

Reihungen in verschiedenen Sprachen

in der Vorlesung:

Erläuterung

- der Bestimmung der Indexgrenzen,
- der Notation von Reihungswerten.

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.3

Verständnisfragen:

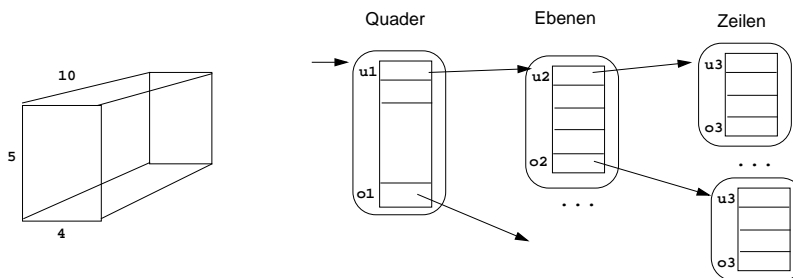
- Auch wenn Indexgrenzen erst dynamisch bestimmt werden, sind sichere Zugriffe möglich. Wie?

Speicherung von Arrays durch Pointer-Bäume

Ein n-dimensionales Array mit explizit gegebenen Unter- und Obergrenzen (Pascal-Notation):

`a: array[u1..o1, u2..o2, ..., un..on] of real;`

wird z. B. in **Java** als **Baum von linearen Arrays** gespeichert
 n-1 Ebenen von Pointer-Arrays und Daten Arrays auf der n-ten Ebene



Jedes einzelne Array kann separat, dynamisch, gestreut im Speicher angelegt werden;
 nicht alle Teil-Arrays müssen sofort angelegt werden

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 516

Ziele:

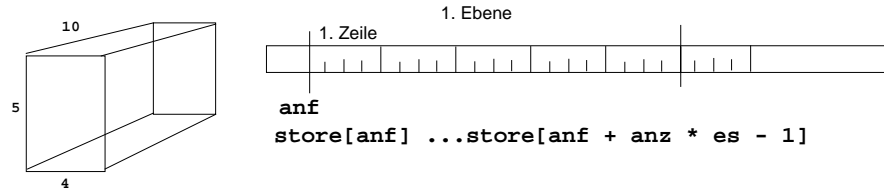
Speicherung von Arrays in Java wiederholen

in der Vorlesung:

Erläuterungen dazu

Linearisierte Speicherung von Arrays

GPS-5-17



zeilenweise Linearisierung eines n-stufigen Arrays (z. B. in Pascal):

```
a: array[u1..o1, u2..o2, ..., un..on] of real;
```

abgebildet auf linearen Speicher, z. B. Byte-Array `store` ab Index `anf`:

```
store[anf] ... store[anf + anz * es - 1]
```

mit Anzahl der Elemente $anz = sp_1 * sp_2 * \dots * sp_n$

i-te Indexspanne $sp_i = o_i - u_i + 1$

Elementgröße in Bytes es

Indexabbildung: `a[i1, i2, ..., in]` entspricht `store[k]` mit

$$k = anf + (i_1 - u_1) * sp_2 * sp_3 * \dots * sp_n * es + (i_2 - u_2) * sp_3 * \dots * sp_n * es + \dots + (i_n - u_n) * es$$

$$= (\dots((i_1 * sp_2 + i_2) * sp_3 + i_3) * \dots + i_n) * es + \text{konstanter Term}$$

© 2006 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Funktionen

GPS-5-18

Typ einer Funktion ist ihre Signatur: $D = P \rightarrow R$ mit Paramertyp P , Ergebnistyp R
mehrere Parameter entspricht Parametertupel $P = P_1 \times \dots \times P_n$,
kein Parameter oder Ergebnis: P bzw. R ist leerer Typ (`void` in Java, C, C++; `unit` in SML)

Funktion **höherer Ordnung (Higher Order Function):**

Funktion mit einer Funktion als Parameter oder Ergebnis, z. B. $(int \times (int \rightarrow int)) \rightarrow int$

Operationen: Aufruf

Funktionen in imperativen Sprachen: nicht als Ausdruck, nur als Deklaration

Funktionen als Parameter in den meisten Sprachen.

Geschachtelte Funktionen in Pascal, Modula-2, Ada - nicht in C.

Globale **Funktionen als Funktionsergebnis** und **als Daten** in C und Modula-2.

Diese Einschränkungen garantieren die **Laufzeitkeller-Disziplin**:

Beim Aufruf müssen alle statischen Vorgänger noch auf dem Laufzeitkeller sein.

Funktionen in funktionalen Sprachen:

uneingeschränkte Verwendung auch als Datenobjekte;

Aufrufschachteln bleiben solange erhalten, wie sie gebraucht werden

Notation für eine Funktion als Wert: Lambda-Ausdruck, meist nur in funktionalen Sprachen:

SML: `fn a => 2 * a`

Algol-68: `(int a) int: 2 * a`

© 2006 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 517

Ziele:

Speicherabbildung für Arrays verstehen

in der Vorlesung:

Erläuterungen zur Linearisierung am Beispiel

Verständnisfragen:

- Wie vereinfacht sich die Formel zur Indexabbildung, wenn wie in C, C++, Java die Untergrenzen immer 0 sind?
- Welchen Wert hat der Index k , für $a[0, 0, \dots, 0]$?

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 518

Ziele:

Funktionen als Daten verstehen

in der Vorlesung:

- Beispiele dazu
- siehe auch Kapitel 7. Funktionale Programmierung

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.3

Verständnisfragen:

- Welche Einschränkungen garantieren in Pascal, C und Modula-2 Laufzeitkeller-Disziplin?

Beispiel für Verletzung der Laufzeitkeller-Disziplin

In imperativen Sprachen ist die Verwendung von Funktionen so eingeschränkt, dass bei Aufruf einer Funktion die Umgebung des Aufrufes (d. h. alle statischen Vorgänger-Schachteln) noch auf dem Laufzeitkeller liegen.

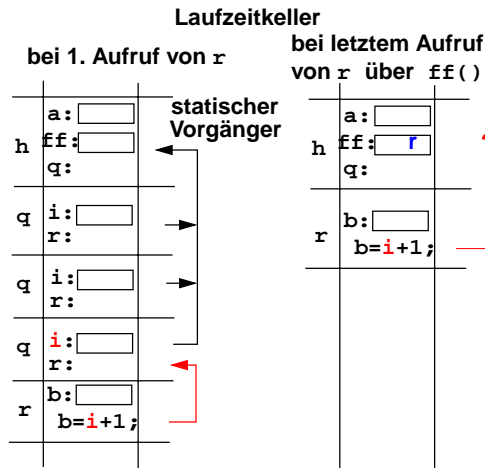
Es darf z. B. nicht eine **eingeschachtelte Funktion an eine globale Variable zugewiesen** und dann aufgerufen werden (vgl. GPS-4.6):

Programm mit geschachtelten Funktionen

```

h float a;
  fct ff;

  q
    int i;
    r
      int b;
      b=i+1;
    if(..) q();
    r();
    ff = r;
  q();
  ff();
  
```



Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 518a

Ziele:

Verletzung der Laufzeitkeller-Disziplin verstehen

in der Vorlesung:

Beispiel wird erklärt

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.3

Verständnisfragen:

- Welche Einschränkungen garantieren in Pascal, C und Modula-2 Laufzeitkeller-Disziplin?

Mengen

Wertebereich ist die **Potenzmenge**: $D = P(D_e)$ oder Menge der charakteristischen Funktionen $D = D_e \rightarrow \text{bool}$ mit Elementtyp D_e . D_e muss meist einfach, geordnet und von beschränkter Kardinalität sein. (Allgemeine Mengentypen z. B. in der Spezifikationsprache SETL.)

Operationen: Mengenoperationen und Vergleiche

z. B. in Pascal:

```

var m, m1, m2: set of 0..15;
e in m      m1 + m2      m1 * m2      m1 - m2
  
```

Notation für Mengenwerte: in Pascal: [1, 3, 5]

Effiziente Implementierung durch **Bit-Vektor** (charakteristische Funktion):

```
array [De] of boolean
```

mit logischen Operationen auf Speicherworten als Mengenoperationen.

in Modula-2: vordefinierter Typ

```
BITSET = SET OF [0..1-1] mit 1 Bits im Speicherwort.
```

in C:

kein Mengentyp, aber logische Operationen |, &, ~, ^ auf Bitmustern vom Typ `unsigned`.

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 519

Ziele:

Mengen und ihre Repräsentation

in der Vorlesung:

Erläuterungen dazu

nachlesen:

..., Abschnitt 2.3.4

Verständnisfragen:

- Begründen Sie die Äquivalenz der beiden abstrakten Definitionen der Wertemenge und den Zusammenhang zur Bitvektoriimplementierung.

Stellen (Referenzen, Pointer)

GPS-5-20

Wertebereich $D = s_w \mid \{\text{nil}\}$

s_w : Speicherstellen, die Werte eines Typs w aufnehmen können.

nil eindeutige Referenz, verschieden von allen Speicherstellen

Operationen: Zuweisung, Identitätsvergleich, Inhalt

Wertnotation und Konstruktor:

- Stelle einer deklarierten **Variable**, z. B. in C: `int i; int *p = &i;`
- Stelle eines dynamisch generierten Objektes als Ergebnis eines **Konstruktoraufrufs**, z. B. in Java `Circles cir = new Circles (0, 0, 1.0);`

Stellen als Datenobjekte werden nur in **imperativen Sprachen** benötigt!

Sprachen **ohne Zuweisungen** brauchen nicht zwischen einer Stelle und ihrem Inhalt zu unterscheiden ("**referentielle Transparenz**")

Objekte in objektorientierten Sprachen haben eine **Stelle**.
Sie bestimmt die Identität des Objektes.

© 2016 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 520

Ziele:

Typisierte Speicherstellen in imperativen Sprachen

in der Vorlesung:

- Zusammenhang zu Variablen in Abschnitt 4

Zusammenfassung zum Kapitel 5

GPS-5-21

Mit den Vorlesungen und Übungen zu Kapitel 5 sollen Sie nun Folgendes können:

5.1 Allgemeine Begriffe zu Datentypen

- Typeigenschaften von Programmiersprachen verstehen und mit treffenden Begriffen korrekt beschreiben
- Mit den abstrakten Konzepten beliebig strukturierte Typen entwerfen
- Parametrisierung und generische Definition von Typen unterscheiden und anwenden

5.2 Datentypen in Programmiersprachen

- Ausprägungen der abstrakten Typkonzepte in den Typen von Programmiersprachen erkennen
- Die Begriffe Klassen, Typen, Objekte, Werte sicher und korrekt verwenden
- Die Vorkommen von Typkonzepten in wichtigen Programmiersprachen kennen
- Speicherung von Reihungen verstehen

© 2005 bei Prof. Dr. Uwe Kastens

Vorlesung Grundlagen der Programmiersprachen SS 2013 / Folie 521

Ziele:

Ziele des Kapitels erkennen

in der Vorlesung:

Erläuterungen dazu