
Ersetzbarkeit und Verhalten

S ist nur dann Untertyp von T wenn gilt:

- Vorbedingungen in T implizieren Vorbedingungen in S
 - Vorbedingungen in Untertypen sind schwächer / gleich
 - bei Vererbung: Verknüpfung mit ODER
- Nachbedingungen in S implizieren Nachbedingungen in T
 - Nachbedingungen in Untertypen sind stärker / gleich
 - bei Vererbung: Verknüpfung mit UND
- Invarianten in S implizieren Invarianten in T
 - Invarianten in Untertypen sind stärker / gleich
 - bei Vererbung: Verknüpfung mit UND
 - extern schreibbare Variablen: Invarianten unverändert

Lösung der 4. Aufgabe

entscheidend ist Nachbedingung (= Beschreibung) von print:

BlackBox:

```
***      +++
*** -> +++
***      +++
```

WhiteBox:

```
***      +++
* * -> + +
***      +++
```

GreyBox:

```
***      +++
* * -> + +
***      +++
oder
***      +++
*-* -> +-+
***      +++
```

ColoredBox:

```
***      +++
* * -> + +
***      +++
oder
***      +++
* * -> +-+
***      +++
```

Gebundene Typparameter

```
interface StringHashable {  
    String hashCode();  
}
```

```
class StringHashMap<Key extends StringHashable, Value> {  
    public void put (Key k, Value v) {  
        String hash = k.hashCode();  
        ...  
    }  
    ...  
}
```

Rekursive Typparameter

```
interface Comparable<A> {
    int compareTo (A that); // res. < 0 if this < that
                          // res. == 0 if this == that
                          // res. > 0 if this > that
}

class Integer implements Comparable<Integer> {
    private int value;
    public Integer (int v) { value = v; }
    public int intValue() { return value; }
    public int compareTo (Integer that) {
        return this.value - that.value;
    }
}
```

Rekursive gebundene Typparameter

```
class Collections2 {
    public static <A extends Comparable<A>>
        A max (Collection<A> xs) {
        Iterator<A> xi = xs.iterator();
        A w = xi.next();
        while (xi.hasNext()) {
            A x = xi.next();
            if (w.compareTo(x) < 0)
                w = x;
        }
        return w;
    }
}
```

Keine impliziten Untertypbeziehungen

- Untertypbeziehung bei expliziter Vererbung

Beispiel: `class MyList<A> extends List<List<A>> { ... }`

es gilt: `MyList<Integer> ≤ List<List<Integer>>`

`MyList<String> ≤ List<List<String>>`

`Integer ≤ Comparable<Integer>`

- Untertypbeziehungen auf Typen, die Typparameter ersetzen, implizieren keine generischen Untertypbeziehungen

`MyList<Student> $\not\leq$ MyList<Person>`

`MyList<Person> $\not\leq$ MyList<Student>`

`MyList<Integer> $\not\leq$ List<List<Comparable<Integer>>>`

Java-Arrays sind nicht generisch

```
class NoLoophole {
    public static String loophole (Integer y) {
        List<String> xs = new List<String>();
        List<Object> ys = xs; // compile-time error
        ys.add(y);
        return xs.iterator().next();
    }
}

class Loophole {
    public static String loophole (Integer y) {
        String[] xs = new String[10];
        Object[] ys = xs; // no compile-time error
        ys[0] = y;
        return xs[0]; // throws exception
    }
}
```

Wildcards als Typen

- `void drawAll (List<Polygon> p) { ... }`
Lesen und Schreiben von `p`
kein Argument vom Typ `List<Square>` oder `List<Object>`
- `void drawAll (List<? extends Polygon> p) { ... }`
nur Lesen von `p`
Aufruf mit Argument vom Typ `List<Square>` erlaubt
- `void addPolygon (List<? super Polygon> to) { ... }`
nur Schreiben von `to`
Aufruf mit Argument vom Typ `List<Object>` erlaubt

Wildcards und rekursive Typparameter

```
class ComparableList<A extends Comparable<? super A>>
    extends List<A> {
    public A max() {
        Iterator<A> xi = iterator();
        A w = xi.next();
        while (xi.hasNext()) {
            A x = xi.next(); if (w.compareTo(x) < 0) w = x;
        }
        return w;
    }
}
```

Z.B.: `ComparableList<U>` möglich für Untertyp `U` von `Integer`

Einschränkungen von Java

Typparameter A überall erlaubt, wo in Java Typen erlaubt, aber mit Einschränkungen:

- nicht direkt zur Erzeugung neuer Objekte

`new A()` ist illegal

`new A[10]` ist illegal

- Typumwandlungen nur erlaubt, wenn gleiche Typparameter in deklariertem Obertyp

```
List<List<String>> x = new MyList<String>();
```

```
MyList<String> y = (MyList<String>)x; // erlaubt
```

```
Object a = new MyList<String>();
```

```
MyList<String> b = (MyList<String>)a; // Syntaxfehler!
```

Übersetzung von Generizität

homogene Übersetzung: (z. B. Java)

generische Klasse in eine nichtgenerische Klasse übersetzt

Typparameter durch Schranke oder Object ersetzt

Typumwandlungen für Rückgabewerte (immer erfolgreich)

heterogene Übersetzung: (z. B. templates in C++)

unterschiedliche Klassen für unterschiedliche Typparameterersetzungen erzeugt („copy and paste“)

Vorteile: effizienter; int, char, ... direkt verwendbar

Nachteile: viele Klassen, schwer simulierbar

Arten gebundener Generizität

- Untertypen gegebener Schranken erlaubt (Java, Eiffel)
klar sichtbare Semantik
aber geeignete Typhierarchien manchmal schwer festlegbar
- Eigenschaften implizit (heterogene Übersetzung, C++)
flexibel und einfach, da kein gemeinsamer Obertyp nötig
aber oft Fehlermeldungen von schlechter Qualität
- Eigenschaften explizit angeben (Ada)
noch flexibler, da Umbenennungen möglich
aber längerer Programmcode nötig