

Subtyping, co- och contra-variance

Objekt-orienterad programmering och design

Alex Gerdes, 2017

Typer

- Java har två sorters typer – *primitiva typer* och *referens-typer*.
 - Primitiva typer är typer för *värden*: int, float etc.
- Java har två sorters referens-typer – *array types* samt *class or interface types*.
 - Arrayer är ett specialfall. De bor på heapen, vi arbetar med dem via referenser, de är i praktisk mening objekt – men typerna ser lite speciella ut.
- Vi pratar här om *statiska* typer – de som används av typ-checkaren under kompilering.

Subtyper

- En typ A (e.g. `Triangle`) är en subtyp till en annan typ B (e.g. `Polygon`), om alla element (värden eller objekt) av typ A (`Triangle`) kan användas som om de vore av typ B (`Polygon`).
- En klasstyp C är en subtyp till:
 - `Object`
 - Sin superclass (`extends`) och alla dess supertyper.
 - Alla de interfaces C implementerar (`implements`).
- En interfacetyp I är en subtyp till:
 - `Object`
 - Sitt superinterface (`extends`) och alla dess supertyper.
- Vi skriver `A <: B` för att ange att A är en subtyp till B.

Subtyper och polymorfism

- Eftersom `Triangle <: Polygon`, kan en referens till ett objekt av typ `Triangle`:
 - Tilldelas en variabel med deklarerad typ `Polygon`.
 - Ges som argument till en metod med parametertyp `Polygon`.
 - Metoden förväntar sig en `Polygon`, vilket en `Triangle` är.
 - Metodens body kan bara bero på gränssnittet för `Polygon`.
 - Returneras från en metod med deklarerad retur-typ `Polygon`.
 - Den kod som anropar metoden förväntar sig en `Polygon`, vilket en `Triangle` är.

Parameteriserade typer

- En *parameteriserad typ* förväntar sig en annan typ som argument för att bli "hel".
 - Utan sitt argument har vi en *typkonstruktor* (type constructor), inte en typ.
 - Vi kan bara skapa objekt av faktiska typer, inte typkonstruktorer.
- I Java finns:
 - Arrays: `[]` kan ses som en typkonstruktor för array-typer. Vi har inte en faktisk typ förrän vi anger typen för elementen, e.g. `String[]`.
 - Generic types: E.g. `ArrayList<_>` är en typkonstruktor. Vi måste ange en argument-typ för att vi ska ha en faktisk typ, som vi kan skapa objekt av, e.g. `ArrayList<String>`.
 - (Den icke-parameteriserade versionen `ArrayList` en bastard, en faktisk typ med implicit argument-typ `Object`.)

Subtypning för parameteriserade typer

- Vi vet att subtypning fungerar "normalt" vad gäller *typkonstruktorn*:
 - `ArrayList<String> <: List<String> <: Object`
- Hur fungerar det för *typargumenten*?
 - `List<Triangle> <: List<Polygon> ?`
 - Svar: Nej. Varför inte?

Live code

- ...

Quiz

Arrayer är ett specialfall:

```
Triangle[] <: Polygon[]
```

Vad kan gå fel?

Live code

- ...

Quiz

Arrayer är ett specialfall:

```
Triangle[] <: Polygon[]
```

Vad kan gå fel?

```
Triangle[] triarray = new Triangle[1];  
Polygon[] polyarray = triarray;  
  
polyarray[0] = new Square(5,10);  
Triangle t = triarray[0];
```

Fångas vid runtime:
`ArrayStoreException`

Variance för parameteriserade typer

- En typkonstruktors *varians* (variance) avgör hur subtypning hanteras.
- Antag att $A <: B$. Om vi då har:
 - $T<A> <: T$, då säger vi att T är *covariant* i sin parameter.
 - Från "co-" eller "com" = med, subtypningen varierar med – åt samma håll som – den för parametern.
 - $T <: T<A>$, då säger vi att T är *contravariant* i sin parameter.
 - Från "contra" = mot, subtypningen varierar emot – åt motsatt håll från – den för parametern.
 - Inget av ovanstående, då säger vi att T är *invariant* i sin parameter.
 - Från "in-" = inte, vi har ingen varierande subtypning alls.
- Vid flera parametrar kan parametrarna ha olika *varians*.
 - E.g. $T<A,C> <: T<B,D>$ iff $A <: B$ (covariant) och $D <: C$ (contravariant).

Generiska typer är invarianta

- Subtypning för argumentet ger ingen subtypning för hela typen:
 - E.g. `List<Triangle> <: List<Polygon>` gäller inte!
- Quiz: Varför?

Arrays är covariant

- Subtypningen varierar *med* den för argumentet:
 - E.g. eftersom `Triangle <: Polygon`, så är `Triangle[] <: Polygon[]`
- Quiz: Varför, om saker kan gå fel?
 - Svar: För att Java innan Generics behövde den polymorfism det ger.

Live code

- ...

Polymorfism för metoder

- Med generics kan vi ge typ-parametrar inte bara till klasser utan även till metoder:

```
public static <T> T head(T[] a) {  
    return a[0];  
}  
String[] strings = ...  
String x = MyClass.<String>head(strings);
```

Kan utelämnas nästan jämt, typcheckaren kommer hitta rätt typ utifrån användandet (*typinferens*).

Live code

- ...

Covariance och collections

- Vid *covariance* skulle vi få problem med att *lägga till* saker i en lista:
 - Om `List<Triangle>` <: `List<Polygon>`, då skulle vi tillåta följande:

```
List<Triangle> trilist = new ArrayList<Triangle>();  
List<Polygon> polylist = trilist;  
  
polylist.add(new Square(5,10));
```



- Att *läsa* från en lista är däremot inget problem.

```
List<Triangle> trilist = new ArrayList<Triangle>();  
List<Polygon> polylist = trilist;  
  
Polygon p = polylist.get(0);
```

Covariance och collections

- Vid *contravariance* skulle vi få problem med att *läsa* saker från en lista:
 - Om `List<Polygon> <: List<Triangle>`, då skulle vi tillåta följande:

```
List<Polygon> polylist = new ArrayList<Polygon>();  
List<Triangle> trilist = polylist;  
  
Triangle t = trilist.get(0);
```



- Att *skriva till* en lista är däremot inget problem.

```
List<Polygon> polylist = new ArrayList<Polygon>();  
List<Triangle> trilist = polylist;  
  
polylist.add(new Square(5,10));
```

Generics och explicit variants

- För generiska typer kan vi explicit ange hur vi vill att subtyping ska hanteras:

Invariant

```
List<Polygon> inv = new ArrayList<Polygon>();
```

Covariant

```
List<? extends Polygon> cov = new ArrayList<Triangle>();
```

Contravariant

```
List<? super Triangle> contrv = new ArrayList<Polygon>();
```

- ? kallas för *wildcard*.

Existential quantification

- Notera: `List<? extends Polygon>` betyder **inte** att vi har en lista med objekt av *olika* typer, som *var och en* är av en subtyp till `Polygon`. (Det är faktiskt vad vanliga `List<Polygon>` innebär.)
- `List<? extends Polygon>` innebär att referensen pekar på ett objekt av typ `List<X>`, där allt vi vet om `X` är att `X <: Polygon`.
- $\exists (X <: \text{Polygon})$ sådant att referensen pekar på ett objekt av typen `List<X>`.

Explicit covariance

```
List<? extends Polygon> cov = ...
```

- Vi kan läsa element ur listan: vad ? än representerar, så vet vi att objekten i listan går att betrakta som `Polygon`.
- Vi kan inte skriva till listan. Antag att vi vill lägga till en `Triangle` – hur vet vi att det inte faktiskt är en lista av `Square`? Eller vice versa.

Explicit contravariance

```
List<? super Polygon> cov = ...
```

- Vi kan lägga till element av typen `Polygon` (eller dess subtyper) till listan. Vad `?` än representerar vet vi att det är en supertyp till `Polygon`, vilket innebär att listan kan ta emot objekt av typ `Polygon`.
- Vi kan faktiskt läsa från listan – men bara som typen `Object` (eftersom ingenting kan existera som inte är en subtyp till `Object`).

Funktioner och varians

- I språk med funktioner (e.g. Haskell) finns polymorfa *funktionstyper* – dessa är också parameteriserade:
 - Typen $a \rightarrow b$ har två parametrar, a och b , som ska ges konkreta argument.
 - En funktionstyp $a \rightarrow b$ är covariant i b (retur-typ) och contravariant i a (argument-typ).
- Tänk er att vi förväntar oss en funktion med typ $\text{Square} \rightarrow \text{Polygon}$.
 - Vi kan använda en funktion $\text{Square} \rightarrow \text{Square}$ – eftersom en Square är en Polygon .
 - Vi kan använda en funktion $\text{Polygon} \rightarrow \text{Polygon}$ – eftersom en sån funktion kan hantera argument av typ Square .
- Obs: ovanstående fungerar inte i Haskell eftersom vi inte har (konkreta) subtyper.
 - Motsvarande fungerar dock i t ex OCaml eller C#.
 - I Haskell finns "subtyper" via classes – överkurs.

Contra-contravariance = Covariance

- En funktion $(a \rightarrow b) \rightarrow c$ är:
 - Covariant i typen c
 - Contravariant i typen $(a \rightarrow b)$
 - ... vilket innebär att den är contravariant i b och covariant i a !
- Testa med konkreta exempel och övertyga er själva.

Metoder och varians

- Samma princip gäller för metoder, även om vi inte behandlar dem som funktionstyper:
 - En metod som har deklarerad retur-typ `Polygon` får returnera en `Square`.
- En metod som gör `@Override` på en metod som i superklassen är deklarerad att returnera en `Polygon`, kan i en subklass deklareras till att returnera e.g. en `Square`.