תוכנה 1 בשפת Java
שיעור מספר 10: "ירושה נכונה" (הורשה II)

אוהד ברזילי

דן הלפרין

בית הספר למדעי המחשב

אוניברסיטת תל אביב

היום בשיעור

- תבניות עיצוב (Template Method, Builder)
- מידע על טיפוסים בזמן ריצה
- תבניות והורשה
- קבלנות משנה (הורשה והחוזה)
- שימוש לרעה בהורשה

אלגוריתם כללי

Template Method Design Pattern

- מחלקות מופשטות מגדירות שני סוגים של מתודות
  - מתודות ממשיות (effective, concrete)
  - מתודות מופשטות (abstract, deferred)

- ניתן להבחין בין רמות ההפשטה של שני הסוגים
  - המתודות **הממשיות** מגדירות **רעיון כללי**, **תבניתי**
  - המתודות **המופשטות** מגדירות **אבני בניין** (hooks) שבעזרתן ניתן יהיה לממש את האלגוריתמים הכלליים במחלקות היורשות
  - שימו לב – הטרמינולוגיה הפוכה!

- דוגמא: מימוש המתודה changeTop במחסנית לא מחייב הכרות עם המחסנית עצמה

מחסנית מופשטת

```
abstract class AbstStack <T> implements IStack<T> {

    public void change_top(T t) {
            pop ();
            push(t);
    }

    abstract public void push(T t);
    abstract public void pop();
}
```

- השרות change_top אינו תלוי במימוש של push או pop אלא רק בחוזה שלהם
- change_top מכונה אלגוריתם כללי
- pop ו- push הם hooks או callbacks

ירושה ממחסנית מופשטת

- מחלקות היורשות מ AbstStack צריכות רק לממש את ה hooks (שהוגדרו abstract), ומקבלות "בחינם" את האלגוריתמים הכלליים

```
class StackImpl<T> extends AbstStack <T> {
    public void push(T t) {…}
    public void pop() {…}
}
```

- דוגמאות נוספות:
  - שימוש באיטרטורים למציאת מאפיינים של מבנה נתונים
  - השרותים distance ו- toString של AbstPoint
  - זה מאפשר בין היתר לתוכנת מערכת לקרוא לקוד של המשתמש (מחלקה שהמשתמש כתב, שירשת ממחלקה של המערכת).
  - עוד דוגמאות בשיעורי הבית

- **זוהי תבנית עיצוב** – השימוש בה מדגיש שימוש מסוים של ירושה:
  - היורש אינו **מוסיף** פעולות לטיפוס הנתונים (כמו למשל מלבן צבעוני שהוסיף את תכונת הצבעוניות למלבן), אלא **מממש** (concretization) אותו בדרך מסוימת
  - למרות שהמימוש אינו ידוע במחלקת הבסיס ניתן לממש בה את האלגוריתם הכללי

הורשה מרובה

- מנגנון ההורשה נועד לתאר בצורה נכונה יחסים בין מחלקות המבטאות ישויות (טיפוסים) בעולם האמיתי
- לפעמים יש הצדקה להורשה מרובה. לדוגמא:
  - **עוזר הוראה** הוא גם **סטודנט** (תלמיד מחקר) וגם **איש סגל** (חבר בארגון הסגל הזוטר)
  - היחס is-a מתקיים עבור 2 ה'כובעים' של עוזר ההוראה ולכן הוא אמור לרשת ממחלקות שמייצגות את שני התפקידים
  - זו אינה בעיה תיאורטית - למתרגל שני כרטיסי קורא בספריה (סטודנט וסגל) ובכל אחד מהם מוענקות לו זכויות השאלה שונות

הורשה מרובה – עוד דוגמא

- מספר ממשי (REAL) הוא גם מספרי (NUMERIC) וגם בן השוואה (COMPARABLE)

```
class NUMERIC {
    ...
    NUMERIC add (NUMERIC other);
    NUMERIC subtract (NUMERIC other);
}

class COMPARABLE {
    ...
    boolean lessThan (COMPARABLE other);
    boolean lessThanEqual (COMPARABLE other);
}
```

- ולכן הגיוני אולי שיירש משתיהן:

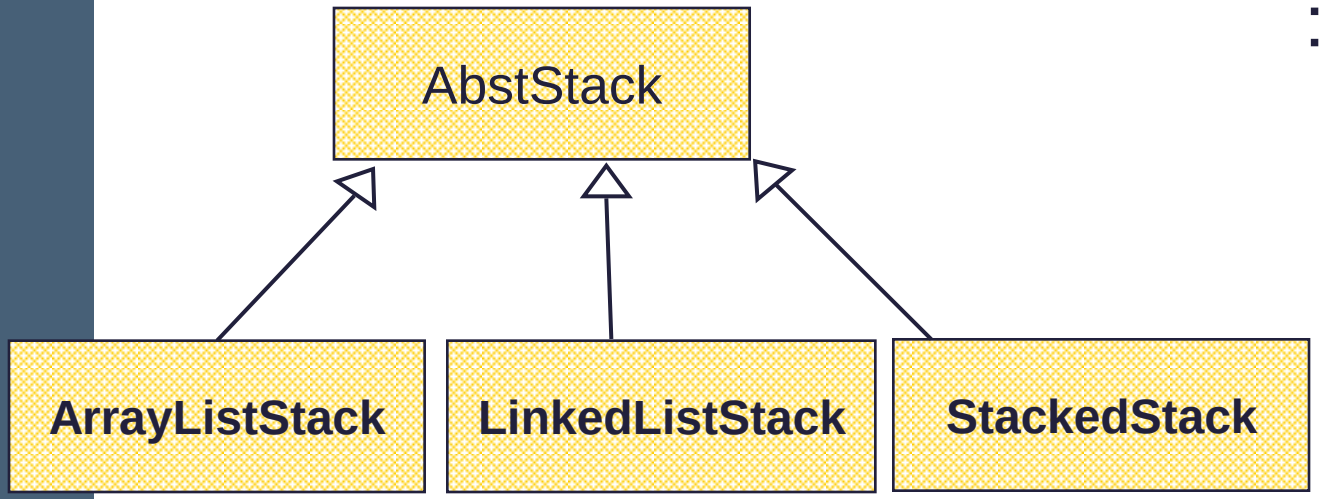
```
class REAL extends NUMERIC ,  COMPARABLE {
    ...
}
```

  - ממי יורשת המחלקה Float?

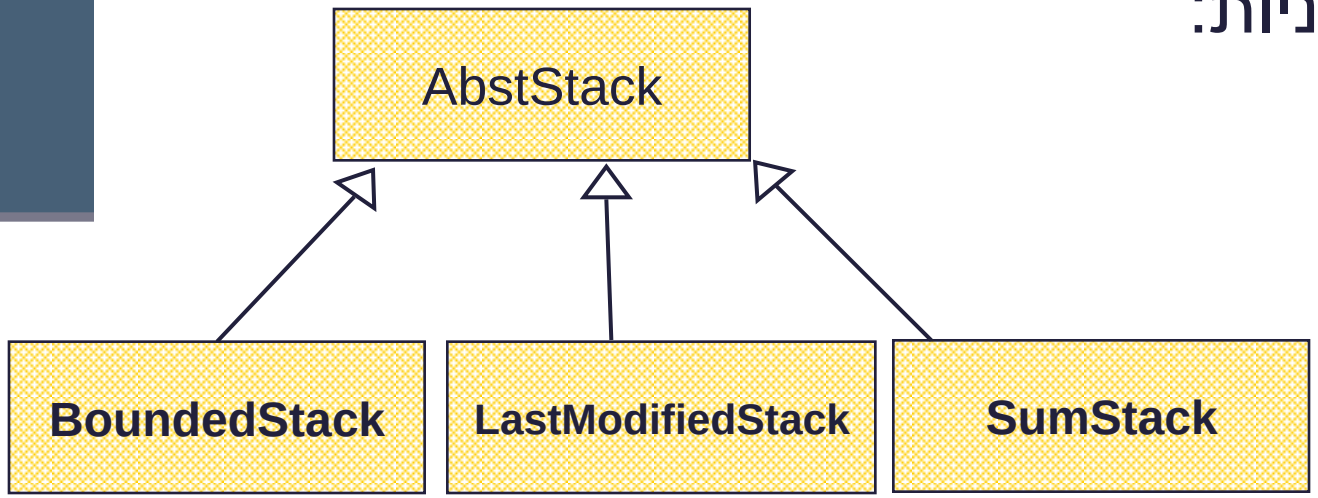
אין ב Java הורשה מרובה

- אין ב Java הורשה מרובה (ואולי טוב שכך?)
  - אמא יש רק אחת
  - יש לעשות פשרות כואבות
- קיימות כמה תבניות עיצוב אשר מתמודדות עם הבעיה הזו בהקשרים שונים
- נתבונן באחת התבניות שממנה נוכל להשליך על אחת הדרכים לפתרון בעיית ההורשה המרובה
- **Bridge Design Pattern** – פיתוח מערכת מחלקות היררכית, כאשר לאחת המחלקות צאצאים מסוגים שונים

- סוגי מחסניות:

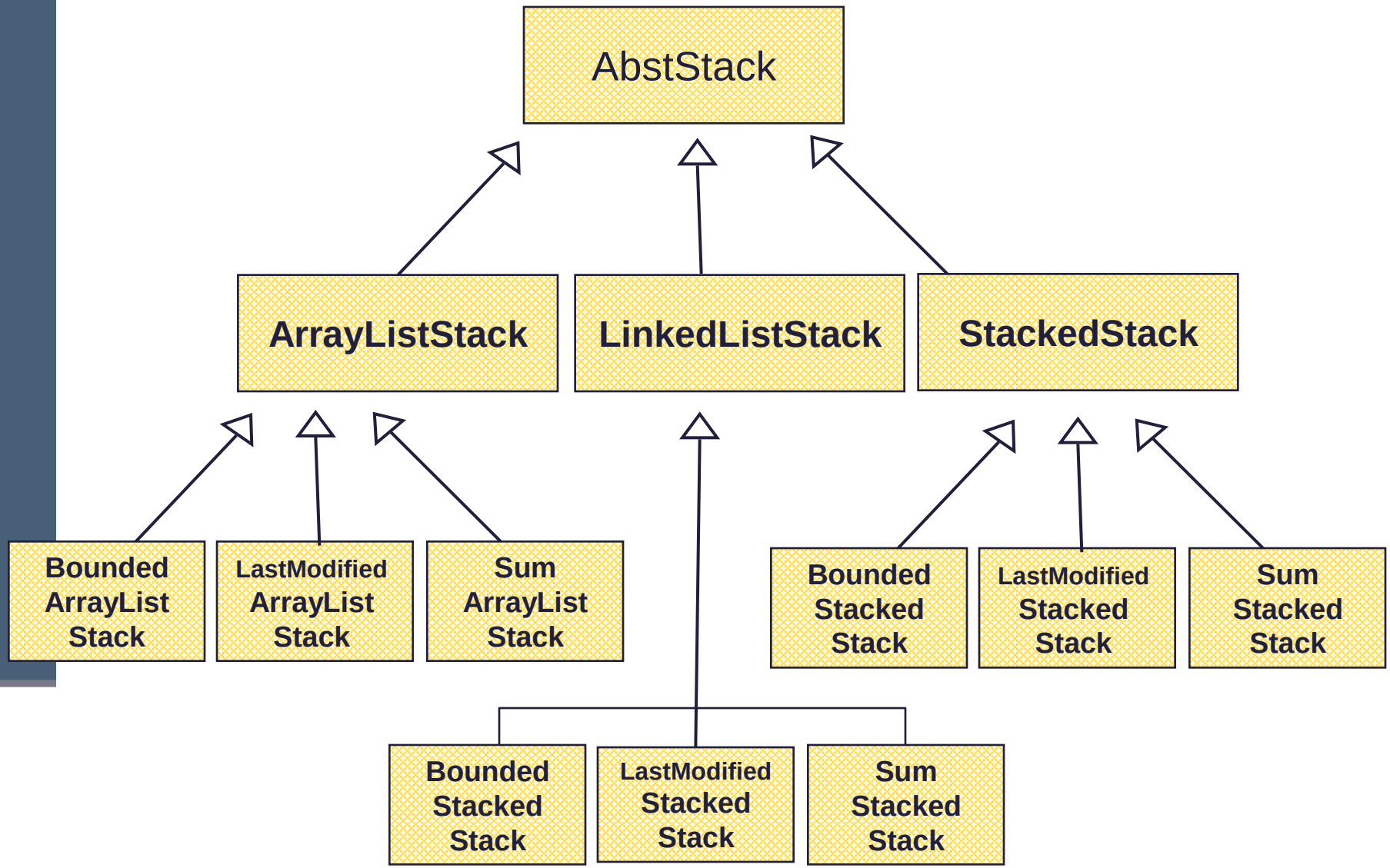


- עוד סוגי מחסניות:



ילדים זה שמחה

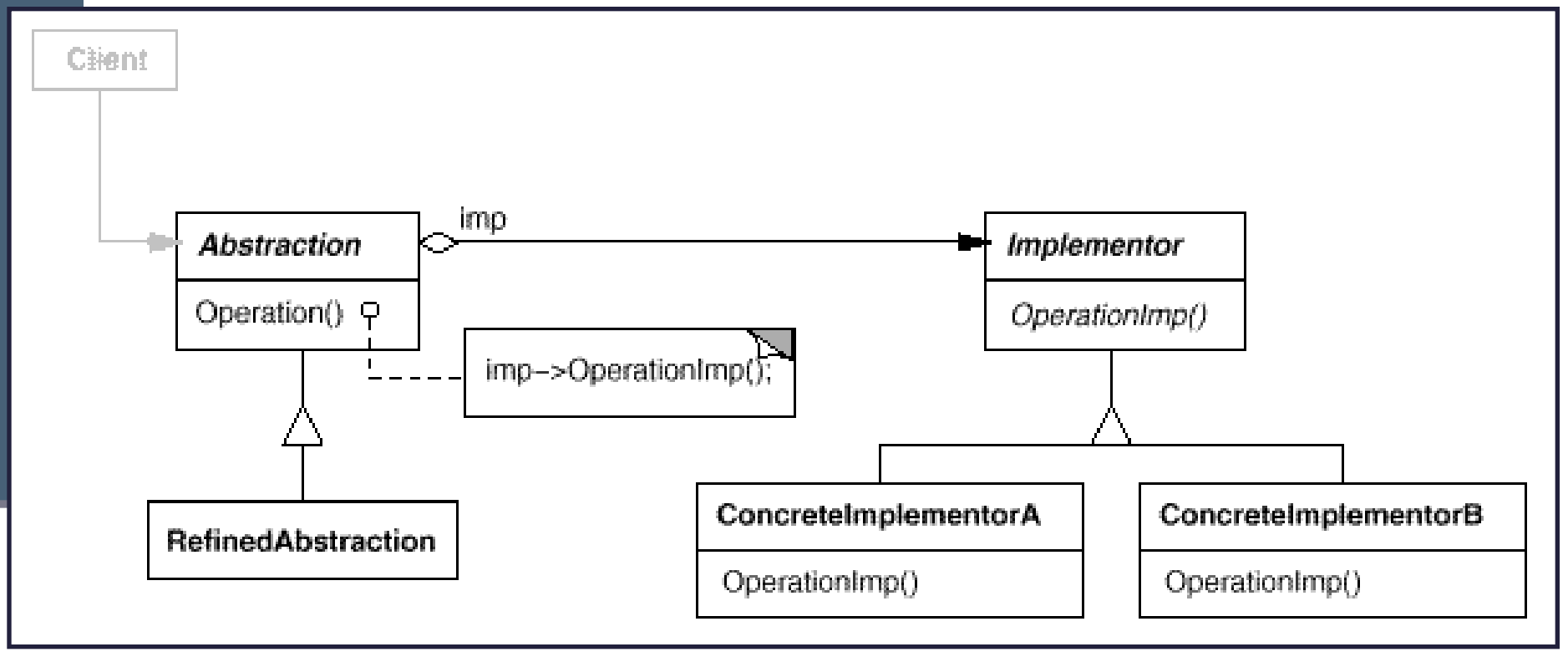
- סוג ההורשה של 3 המחלקות העליונות שונה מסוג ההורשה של 3 המחלקות התחתונות
- מה יקרה אם נרצה למשל: **SumArrayListStack** ?
- בשפות מסוימות (כגון C++ או Eiffel) ניתן ליצור מחלקה חדשה היורשת משתיהן
  - הדבר פותח פתח למכפלה קרטזית (9 מחלקות!) שתבטא את כל הצירופים האפשריים
  - דבר זה ייצור אינפלציה של מחלקות
- איך נממש זאת ע"י הורשה (לדוגמא את **SumArrayListStack**) ב Java ?


AbstStack
ArrayListStack
LinkedListStack
StackedStack
Bounded ArrayList Stack
LastModified ArrayList Stack
Sum ArrayList Stack
Bounded Stacked Stack
LastModified Stacked Stack
Sum Stacked Stack
Bounded Stacked Stack
LastModified Stacked Stack
Sum Stacked Stack

לא כל כך שמחה

- חסרונות:
  - שכפול קוד נורא
  - מה יקרה אם נרצה להוסיף טיפוס חדש כגון TwoWayStack?
    - צריך יהיה להוסיף אותו לכל תתי העצים
- גם הוספת הורשה מרובה לשפה לא הייתה פותרת את ההיררכיה הבעייתית
- הפתרון המוצע ע"י **תבנית העיצוב Bridge** היא **המרת ירושת המימוש בהכלה** (עם האצלה)
  - פתרון זה מופיע בתבניות עיצוב רבות אחרות
- עצי ההורשה בשני המישורים (המופשט והמימושי) לא מתמזגים (אורתוגונליים)

Bridge Design Pattern
- תרשים מחלקות -



```java
public interface IStack<T> {
    public void push (T e);
    public void pop ();
    public T top ();
}
```

```java
public class SimpleStack<T> implements IStack<T> {

    private IStackImpl<T> impl;
    // MyArrayList or MyLinkedList

    public SimpleStack(IStackImpl<T> impl) {
      this.impl = impl;
    }

    public void pop()       {  impl.remove();     }
    public void push(T e)   {  impl.insert(e);    }
    public T top()          {  return impl.get(0);}
}
```

```
public interface IStackImpl<T> {
	public void insert(T e);
	public void remove();
	public T get(int index);
}
```

- נשים לב להבדל שבין המנשק **IStack** ובין המנשק **IStackImpl**
  - המנשק **IStack** מייצג את המחסנית
  - המנשק **IStackImpl** מייצג את **מימוש** המחסנית

- המחלקה **SimpleStack** המממשת את **Istack** **מכילה** מופע של מחלקה המממשת את **IStackImpl**
  - הורשה (מימוש) לצורכי מימוש (ייצוג) תתבצע מ **IStackImpl**
  - הורשה (מימוש) הנוגעת להפשטה תתבצע מ **Istack**

```
public class LastModifiedStack<T> extends SimpleStack<T> {

    Date lastModified;

    public LastModifiedStack(IStackImpl<T> impl) {
        super(impl);
        lastModified = new Date();
    }

    /** Push element and update date */
    public void push(T e) {
        lastModified = new Date();
        super.push(e);
    }

    /** Remove top element and update date */
    public void pop() {
        lastModified = new Date();
        super.pop();
    }

    public Date getLastModified() {
        return lastModified;
    }
}
```

LastModifiedStack
אדישה למימוש של
המחסנית. ותעבוד בצורה
זהה עם כל מימוש שהוא

- דוגמא למימוש מחסנית בעזרת `ArrayList`:

```
public class ArrayListStackImpl<E> implements IStackImpl<E> {

    ArrayList<E> rep = new ArrayList<E>();

    public E get(int index) {   return rep.get(index);        }
    public void insert(E e) {   rep.add(e);                   }
    public void remove()    {   rep.remove(rep.size()-1);     }
}
```

- איך יראה לקוח טיפוסי שמעוניין ליצור מופע של מחסנית?

```
SimpleStack<Integer> stack =
   new SimpleStack<Integer> (new ArrayListStackImpl<Integer>());
```

- מה החסרונות של מבנה זה?
- איך ניתן לפתור אותם?

טיפוסי זמן ריצה

- בשל הפולימורפיזם ב Java אנו לא יודעים מה הטיפוס המדויק של עצמים
  - הטיפוס הדינאמי עשוי להיות שונה מהטיפוס הסטטי
- בהינתן הטיפוס הדינאמי עשויות להיות פעולות נוספות שניתן לבצע על העצם המוצבע (פעולות שלא הוגדרו בטיפוס הסטטי)
- כדי להפעיל פעולות אלו עלינו לבצע המרת טיפוסים (Casting) על ההפניה

המרת טיפוסים Cast

- המרת טיפוסים בג'אוה נעשית בעזרת אופרטור אונרי שנקרא Cast ונוצר על ידי כתיבת סוגריים מסביב לשם הטיפוס אליו רוצים להמיר.

```
(Type) <Expression>
```

- (הדיון כאן אינו מתייחס לטיפוסים פרימיטיביים).
- הוא מייצר ייחוס מטיפוס Type עבור העצם שהביטוי **<Expression>** מחשב, אם העצם **מתאים** לטיפוס.

- הפעולה מצליחה אם הייחוס שנוצר מתייחס לעצם **מתאים** לטיפוס Type
  - המרה למטה (downcast): המרה של ייחוס לטיפוס פחות כללי, כלומר הטיפוס Type הוא צאצא של הטיפוס הסטטי של העצם.
  - המרה למעלה (upcast): המרה של ייחוס לטיפוס יותר כללי (מחלקה או מנשק)
  - כל המרה אחרת גוררת שגיאת קומפילציה.

- המרה למעלה תמיד מצליחה, ובדרך כלל לא מצריכה אופרטור מפורש; היא פשוט גורמת לקומפיילר לאבד מידע
- המרה למטה עלולה להיכשל: אם בזמן ריצה טיפוס העצם המוצבע לא תואם לטיפוס Type התוכנית תעוף (ייזרק חריג ClassCastException)

טיפוסי זמן ריצה

- תעופת תוכנית היא דבר לא רצוי – לפני כל המרה נרצה לבצע בדיקה, שהטיפוס אכן מתאים להמרה
- יש לשים לב כי ההמרה ב Java **אינה** מסירה או מוסיפה שדות לעצם המוצבע (בשונה מ slicing בשפת C++ למשל)
  - בזמן קומפילציה נבדק כי ההסבה **אפשרית** (compatible types)
  - ואולי מתבצע שינוי בטבלאות השרותים שמחזיק העצם
  - כאמור, בזמן ריצה המרה לא חוקית תיכשל ותזרוק חריג

- בדוגמא הבאה השאילתא **`maxSide()`** מוגדרת רק למצולעים (ומחזירה את אורך הצלע הגדולה ביותר). אין כמובן שאילתא כזאת במחלקה **`Shape`** (גם לא מופשטת).
- כשהלקוח רוצה לחשב את אורך הצלע הגדולה ביותר מבין כל הצורות במערך, על הלקוח לברר את טיפוס העצם שהועבר לו בפועל ולבצע המרה בהתאם

טיפוסי זמן ריצה

- דרך אחת לבצע זאת היא ע"י המתודה **`getClass`** המוגדרת ב-Object והשדה הסטטי **`class`** הקיים בכל מחלקה:

```
Shape [] shapeArr = ....
double maxSide = 0.0;
double tmpSide;
for (Shape shape : shapeArr) {
    if (shape.getClass() == Polygon.class){
      tmpSide =((Polygon)shape).maxSide();
      if (tmpSide > maxSide)
         maxSide = tmpSide;
   }
}
```

מה לגבי צורות מטיפוס Rectangle או Triangle ?

עצמים אלה אינם מהמחלקה `Polygon` ולכן לא ישתתפו

instanceof

- האופרטור `instanceof` בודק האם הפנייה **is-a** מחלקה כלשהי - כלומר האם היא מטיפוס אותה המחלקה **או יורשיה או מממשיה**

```
Shape [] shapeArr = ....
double maxSide = 0.0;
double tmpSide;
for (Shape shape : shapeArr) {
   if (shape instanceof Polygon){
      tmpSide =((Polygon)shape).maxSide();
      if (tmpSide > maxSide)
          maxSide = tmpSide;
   }
}
```

instanceof

- שימוש ב-Casting בתוכניות מונחות עצמים מעיד בדר"כ על בעיה בתכנון המערכת ("באג ב-design") שנובעת לרוב משימוש לא נכון בפולימורפיזם

- לעיתים אין מנוס משימוש ב-Casting כאשר משתמשים בספריות תוכנה כלליות אשר אין לנו שליטה על כותביהן , או כאשר מידע הלך לאיבוד כאשר נכתב כפלט ואחר כך נקרא כקלט בריצה עתידית של התכנית.

טיפוסי זמן ריצה

- הקוד בדוגמא הבאה אופייני ל"תרגום" קוד משפת C לשפת Java. הלקוח (כותב הפונקציה **rotate**) מקבל כארגומנט צורה גיאומטרית, ומנסה לסובב אותה

- בדוגמא זו, לא הוגדר שרות סיבוב במחלקה Shape (גם לא שרות מופשט)
- מכיוון שלכל צורה שרות סיבוב שונה, על הלקוח לברר את טיפוס העצם שהועבר לו בפועל ולבצע המרה בהתאם

```
void rotate(Shape s, double degree) {
    if (s instanceof Polygon) {
            Polygon p = (Polygon)s;
            e.rotatePolygon(degree);
            return;
    }
    if (s instanceof Ellipse) {
            Ellipse e = (Ellipse)s;
            e.rotateEllipse(degree);
            return;
    }
    assert false : "Error: Unknown Shape Type";
}
```

instanceof

- כדי לתרגם את הקוד לא רק ל- Java אלא גם ל OO נשתמש במחלקה מופשטת (או מנשק) אשר תספק מנשק אחיד לעבודה נוחה עם כל צאצאי ההיררכיה

- כך יוכל הלקוח להשתמש באותו קוד עבור כל הצורות:

```
void rotate(Shape s, double degree) {
      s.rotate(degree);
}
```

instanceof

```
class Shape implements IShape {
        //...
        abstract void rotate(double degree);
}
```

```
class Polygon extends Shape {
        //...
        void rotate(double degree) {
                rotatePolygon(degree);
        }
}
```

```
class Ellipse extends Shape {
        //...
        void rotate(double degree) {
                rotateEllipse(degree);
        }
}
```

Dynamic dispatch vs. static binding

- הפעלת שרותי מופע ב Java היא דינאמית:
  - הקומפיילר לא מציין ל-JVM איזו פונקציה יש להפעיל (רק את החתימה שלה)
  - בזמן ריצה ה JVM מפעיל את השרות המתאים לפי הטיפוס הדינאמי, כלומר לפי טיפוס העצם המוצבע בפועל
- הפעלה דינאמית מכונה לפעמים **וירטואלית**
- הפעלה דינאמית שכזו **איטית יותר** מתהליך שבו הקומפיילר, כחלק מתהליך הקומפילציה, היה מציין איזו פונקציה יש להפעיל ואז לא היה צורך לברר בזמן ריצה מהו הטיפוס הדינאמי ולהסיק מכך מהי הפונקציה שיש להפעיל
- מקרים שבהם הקומפיילר קובע איזו פונקציה תרוץ נקראים static binding (קישור סטטי)

אופטימיזציה: devirtualization

- במקרים מסוימים, כבר בזמן קומפילציה ברור שהטיפוס הדינאמי של הפנייה זהה לטיפוס הסטאטי שלה, ואז אין צורך בהפעלה וירטואלית

- למשל, בקוד:

```
MyClass o = new MyClass();
o.method1(5); // clearly o is a member of MyClass
```

- ואולם לא את כל המקרים האלה יודע **הקומפיילר** לזהות

- יש מקרים שכן:
  - אם **`MyClass`** מוגדר **`final`**
  - או שהשירות **`method1`** מוגדר במחלקה **`final`**; זה מונע דריסה שלו
  - הפעלת שרות **`private`**
  - הפעלת בנאים
  - הפעלת שרות **`super`**
  - הפעלת שרותי מחלקה (static method, כפי שמרמז שמם...)

- במקרים כאלה, הקומפיילר יכול לבצע devirtualization ולהורות ל JVM איזו פונקציה להפעיל

```
public class Animal {
    public static void hide() {
        System.out.format("The hide method in Animal.%n");
    }
    public void override() {
        System.out.format("The override method in Animal.%n");
    }
}
```

```
public class Cat extends Animal {
    public static void hide() {
        System.out.format("The hide method in Cat.%n");
    }
    public void override() {
        System.out.format("The override method in Cat.%n");
    }
 }
```

```
public class Client{
    public static void main(String[] args) {
        Cat myCat = new Cat();
        Animal myAnimal = myCat;
        //myAnimal.hide();    //BAD STYLE
        Animal.hide();        //Better!
        myAnimal.override();
    }
}
```

```java
public class Base {
    private void priv() { System.out.println("priv in Base"); }
    public void pub() { System.out.println("pub in Base"); }

    public void foo() {
       priv();
       pub();
    }
}
```

```java
public class Sub extends Base {
   private void priv() { System.out.println("priv in Sub"); }
   public void pub() { System.out.println("pub in Sub"); }
}
```

```java
public class Test {

     public static void main(String[] args) {
          Base b = new Sub();
          b.foo();
     }
}
```

מה יודפס?

שדות, הורשה וקישור סטטי

- גם קומפילציה של התייחסויות לשדות מתבצעת בצורה סטטית
- מחלקה יורשת יכולה להגדיר שדה גם אם שדה בשם זה היה קיים במחלקת הבסיס (מאותו טיפוס או טיפוס אחר)

```
public class Base {
        public int i = 5;
}
```

```
public class Sub extends Base {
        public String i = "five";
}
```

```
public class Test {

  public static void main(String[] args) {
     Base bb = new Base();
     Sub ss = new Sub();
     Base bs = new Sub();

     System.out.println(bb.i);
     System.out.println(ss.i);
     System.out.println(bs.i);
  }
}
```

מה יודפס?

העמסה והורשה

- במקרים של העמסה **הקומפיילר** מחליט איזו גרסה תרוץ (יותר נכון: איזו גרסה לא תרוץ)
- זה נראה סביר (הפרוצדורות מתוך `java.lang.String`):

```
static String valueOf(double d)      {…}
static String valueOf(boolean b)     {…}
```

- אבל מה עם זה?

```
overloaded(Rectangle          x) {…}
overloaded(ColoredRectangle x) {…}
```

- לא נורא, הקומפיילר יכול להחליט,

```
Rectangle          r = new ColoredRectangle ();
ColoredRectangle cr = new ColoredRectangle ();
overloaded(r); // We must use the more general method
overloaded(cr); // The more specific method applies
```

העמסה והורשה

- **אבל זה כבר מוגזם:**

```
overTheTop(Rectangle x, ColoredRectangle y) {…}
overTheTop(ColoredRectangle x, Rectangle y) {…}

ColoredRectangle a = new ColoredRectangle ();
ColoredRectangle b = new ColoredRectangle ();
overTheTop(a, b);
```

- ברור שנדרשת המרה (casting)אבל של איזה פרמטר? a או b?
- אין דרך להחליט; הפעלת השגרה לא חוקית בג'אווה

העמסה והורשה - שברירות

```
overTheTop(Rectangle x, ColoredRectangle y) {…}
overTheTop(ColoredRectangle x, Rectangle y) {…}

ColoredRectangle a = new ColoredRectangle ();
ColoredRectangle b = new ColoredRectangle ();
overTheTop(a, b);
```

- אם הייתה רק הגרסה הירוקה, הקריאה לשגרה הייתה חוקית
- כאשר מוסיפים את הגרסה הסגולה, הקריאה נהפכת ללא חוקית; אבל הקומפיילר לא יגלה את זה אם זה בקובץ אחר, והתוכנית תמשיך לעבוד, ולקרוא לגרסה הירוקה
- לא טוב שקומפילציה רק של קובץ שלא השתנה תשנה את התנהגות התוכנית; זה מצב **שברירי**

העמסה והורשה - יותר גרוע

```
class B {
  overloaded(Rectangle        x) {…}
}

class S extends B {
  overloaded(Rectangle         x) {…} // override
  overloaded(ColoredRectangle x) {…} // overload but no override!
}

S o = new S();
ColoredRectangle cr = ...
o.overloaded( cr );        // invoke the purple
((B) o).overloaded( cr ); // What to invoke?
```

העמסה והורשה - יותר גרוע

```
class B {
  overloaded(Rectangle       x) {…}
}

class S extends B {
  overloaded(Rectangle        x) {…} // override
  overloaded(ColoredRectangle x) {…} // overload but no override!
}

S o = new S();
ColoredRectangle cr = ...
o.overloaded( cr );       // invoke the purple
((B) o).overloaded( cr ); // What to invoke?
```

- מנגנון ההעמסה הוא סטטי: בוחר את החתימה של השרות (טיפוס העצם, שם השרות, מספר וסוג הפרמטרים), אבל עדיין לא קובע איזה שירות ייקרא.
- עבור הקריאה `((B) o).overloaded( cr )` תיבחר החתימה:

`B.overloaded(Rectangle)`

- בגלל שיעד הקריאה הוא מטיפוס B השרות היחיד הרלבנטי הוא האדום!
- בזמן ריצה מופעל מנגנון השיגור הדינמי, שבוחר בין השרותים בעלי חתימה זאת, את המתאים ביותר, לטיפוס הדינמי של יעד הקריאה. הטיפוס הדינמי הוא S , לכן נבחר השרות הירוק.
- כנ"ל אם הקריאה היא: `B b = new S(); b.overloaded( cr )`

העמסה זה רע

- אם עוד לא השתכנעתם שהעמסה היא רעיון מסוכן, אז עכשיו זה הזמן
- בייחוד כאשר ההעמסה היא ביחס לטיפוסים שמרחיבים זה את זה, לא זרים לחלוטין
- יוצר שבריריות, קוד שמתנהג בצורה לא אינטואיטיבית (השירות שעצם מפעיל תלוי בטיפוס ההתייחסות לעצם ולא רק במחלקה של העצם), וקושי לדעת איזה שירות בדיוק מופעל
- ומכיוון שהתמורה היחידה (אם בכלל) היא אסתטית, לא כדאי

תבניות והורשה

מה עושים ללא מחלקות גנריות

- אחת הדוגמאות השכיחות לשימוש בהמרת טיפוסים ב Java היא השימוש במבני נתונים לפני Java 1.5
- מכיוון שעד לגרסה 1.5 לא ניתן היה להשתמש בטיפוסים מוכללים (generics), נאלצו כותבי הספריות להניח שהאברים הם מהמחלקה הכללית ביותר, כלומר Object
- נניח כי רוצים לכתוב מנשק ו/או מחלקה עבור מחסנית, שתאפשר ליצור מחסנית של שלמים, מחסנית של מחרוזות, וכו' **ללא שימוש ב Generics**
- בדוגמא – מנשק למחסנית, ומחלקה מממשת (ללא החוזה)

מנשק מחסנית

```
interface Stack {
    public Object top ();
    public void push(Object t);
    public void pop();
    public boolean empty();
    public boolean full();
}
```

מימוש מחסנית פשוט

```
public class FixedCapacityStack implements Stack{

    private Object [] content;
    private int capacity;
    private int topIndex;

    public FixedCapacityStack(int capacity){
            content = new Object[capacity];
            this.capacity = capacity;
            topIndex = -1;
    }

    public Object top () {
            return content[topIndex];
     }
```

מימוש מחסנית פשוט

```
    public void push(Object t) {
            content[++topIndex] = t;
    }

    public void pop() {
            topIndex--;
    }

    public boolean empty() {
            return (topIndex < 0);
    }

    public boolean full() {
            return (topIndex >= capacity - 1) ;
    }
}
```

איך נשתמש במחסנית?

- נניח שרוצים מחסנית של מחרוזות:

```
Stack s = new FixedCapacityStack(5);
s.push("hello");
String t1 = s.top();                    // compilation error
String t2 = (String) s.top();           //ok
```

- באחריות **המתכנתת** לוודא שכל האברים המוכנסים למחסנית הם מאותו טיפוס (כאן מחרוזות), אחרת ה Casting ייכשל.

```
Stack s = new FixedCapacityStack(5);
s.push("hello");
s.push(new Integer(4));
s.push(new PolarPoint(3,2));
String t2 = (String) s.top();           //compilation ok. Runtime Error !
```

בטיחות טיפוסים

- מכיוון שבדיקת ההמרה נעשית בזמן ריצה אנחנו מאבדים בטיחות טיפוסים
- זהו דבר שאינו רצוי – אנו מעוניינים להעביר בדיקות רבות ככל הניתן לזמן קומפילציה
  - מדוע?
- פתרון אחר: מנשק/מחלקה נפרדת לכל טיפוס איבר – שכפול קוד!
- הוספת הטיפוסים המוכללים לשפה פותרת גם את בעיית בטיחות הטיפוסים וגם את בעיית שכפול הקוד

מחלקה מוכללת (גנרית)

- מנגנון ההכללה מיועד לאפשר שימוש חוזר בקוד בלי לאבד מידע לגבי הטיפוס הסטאטי של עצם
- בלי הכללה, שימוש חוזר בקוד מתבצע על ידי השמת התייחסות מטיפוס אחד לטיפוס אחר, יותר כללי; מאותו רגע אין דרך לשחזר את הטיפוס הסטאטי המקורי בלי המרה
- תפקיד ההכללה הוא למנוע צורך בהמרות, שנבדקות מאוחר
- הפרטים מסתבכים בגלל האינטראקציה בין מנגנון ההכללה ובין יחס ההורשה (יחס ה-is-a)
- קושי נוסף: תאימות בין גרסאות גנריות ולא גנריות

איך זה עובד

- הקומפיילר ממפה את כל המחלקות המוכללות FCStack<Something> למחלקה אחת רגילה (לא מוכללת) שהיא בעצם FCStack<Object>

- בקוד שמשתמש במחלקה מוכללת, **הקומפיילר מוסיף לקוד המרות** על מנת לבצע השמות מ-Object לטיפוס הספיציפי, למשל String

- הקומפיילר מוודא שההמרה תמיד תצליח ולעולם לא תודיע על ClassCastError:

```
String t = (String) s.top();
```

- כלומר, הטיפוס המוכלל (T) **נמחק** מהקוד שהקומפיילר מייצר; הוא שימושי רק לבדיקות תקינות טיפוסים בזמן קומפילציה; התהליך נקרא מחיקה (erasure)

בטיחות טיפוסים

```
Stack <String>  ss = new FCStack <String> (5);
ss.push("The letter A");
ss.push(new Integer(3));
String t = ss.top();// same as:(String)ss.top();
```

- מכיוון שרק מחרוזות יכולות להיות מוכלות במחסנית אין עוד צורך בהמרה

```
Stack <Rectangle>  sr = new FCStack <Rectangle>(5);
Rectangle rr = new Rectangle(...)
Rectangle rc = new ColoredRectangle(...)
ColoredRectangle cc = new ColoredRectangle(...)

sr.push(rr);
sr.push(rc);
sr.push(cc);
```

הכללה ויחס is-a

```
Stack <String>  ts = new FCStack <String> (5);
Stack <Object>  to = new FCStack <Object> (5);
to = ts;
ts.push("The letter A");
ts.push(new Integer(3));
to.push(new Integer(3));
```

- מסקנה: FCStack<String> **אינו** סוג של FCStack<Object>
- זה לא אינטואיטיבי אבל נכון.

הכללה ויחס is-a (המשך)

- ההשמה `ts = to` לא חוקית (שגיאת קומפילציה).
- לעומת זאת זה בסדר (רק תחבירית!):

```
String [] as = new String[5];
Object [] ao = as;
```

- שימוש שגוי במערך יחולל שגיאת זמן ריצה:

```
ao[0] = new Integer(); // throws ArrayStoreException
```

- השימוש בטיפוסים מוכללים סותם פרצה זו בתחביר המקורי של Java

- לא ניתן ליצור מערך גנרי (בגלל מחיקת הטיפוס T בזמן ריצה):

```
content = new T[capacity] // compile error
```

אבל זה כן (עם `Type Safety Warning`):

```
content = (T[])new Object[capacity];
```

טיפוסים נאים (raw types)

- מנגנון ההכללה נוסף לג'אווה מאוחר, ולכן היה צורך לאפשר שימוש במחלקות פרמטריות גם מקוד ישן שאין בו הכללות

```
class FCStack <T> implements Stack <T> {…}

Stack <String> vs = new FCStack <String>();

Stack raw =  new FCStack();
//same as: Stack<?> raw = new FCStack<Object>();

raw = vs;   // ok
vs = raw;   //"unckecked" compiler warning
```

- בשימוש בטיפוס נא, פרמטר הטיפוס מוחלף ב**"גבול העליון"** (בדרך כלל Object)

הגבול הוא השמיים

- גבול עליון הוא שם של המחלקה או המנשק שממנה יורש הטיפוס הפרמטרי
- כאשר הגבול העליון הוא Object לא ניתן לבצע כל פעולה על עצמים מהטיפוס הגנרי
- על כן, בהגדרת טיפוס גנרי ניתן לספק גבול עליון אחר

- הדבר יאפשר להשתמש בגוף המחלקה הגנרית בשרותים המוגדרים באותו גבול עליון ללא צורך בהמרה

```
public class SortedSetImplementation<T extends Comparable>  {
    …
    T elem1 = …
    T elem2 = …
    … elem1.compareTo( elem2)  ….
    expectComparable(elem1);
}
```

Comparable גנרי

- ראינו דוגמאות של המנשק **Comparable** בגירסה נאה (raw)
- השימוש בה בעייתי
  - יתכנו שני עצמים שכל אחת מהם **Comparable** אבל הם אינם **Comparable** זה לזה
  - לדוגמא: **String** ו- **Integer**
- אנחנו נעדיף את הגירסה הגנרית, שהשימוש בה הוא:

```
public class MyClass implements Comparable<MyClass> {
     public int compareTo(MyClass other) {
               ...
     }
}
```

- בצורה זאת מגדירים מחלקה שעצמיה ברי השוואה לעצמם, ומספקים שרות שמבצע את ההשוואה
- אם רוצים אפשרות השוואה למחלקה כללית יותר, זה נעשה יותר מסובך (לא נעסוק בזה בקורס)

מוזרויות

- בגלל שבג'אווה הכללה ממומשת באמצעות **מנגנון המחיקה**, בזמן ריצה אין זכר לפרמטר הטיפוס
- כלומר, בזמן ריצה אי אפשר להבחין בין עצם מטיפוס **`FCStack<String>`** ובין עצם מטיפוס **`FCStack<Integer>`**, ובפרט, בזמן ריצה נראה ששניהם מאותה מחלקה
- זה משפיע על בדיקת שייכות למחלקה (**`instanceof`**),על המרות של עצמים מוכללים, ועל שדות המסומנים **`static`**
- וזה מונע אפשרות לקרוא לבנאי על פי פרמטר טיפוס, כלומר:

```
<T> void m(T x) { T y = new T(); ...} // illegal
```

- **ויש עוד הרבה מזה...**

למשל...

- רצינו לשלב את הקוד הבא (שמצאנו בגרסה ישנה של המוצר) במוצר החדש:

```
public static void printList(PrintWriter out, List list) {
    for(int i=0, n=list.size(); i < n; i++) {
        if (i > 0) out.print(", ");
        out.print(list.get(i).toString());
    }
}
```

- כדי להימנע מאזהרות קומפילציה נשנה את `List` לטיפוס מוכלל:

```
public static void printList(PrintWriter out, List<Object> list) {
    for(int i=0, n=list.size(); i < n; i++) {
        if (i > 0) out.print(", ");
        out.print(list.get(i).toString());
    }
}
```

- לא טוב, לא ניתן להעביר לשרות `List<String>`

ג'וקרים

- נשתמש בג'וקר (סימן שאלה - ?)

```
public static void printList(PrintWriter out, List<?> list) {
    for(int i=0, n=list.size(); i < n; i++) {
        if (i > 0) out.print(", ");
        Object o = list.get(i);
        out.print(o.toString());
    }
}
```

- כדי שנוכל **לבצע פעולות** על אברי הרשימה יש לספק **חסם עליון**, כמו בשרות:

```
public static double sumList(List<? extends Number> list) {
    double total = 0.0;
    for(Number n : list)
         total += n.doubleValue();
    return total;
}
```

- יש גם חסמים תחתונים ושרותים מוכללים:

```
public static <T> boolean addAll(Collection<? super T> c, T... a)
```

סיכום generics

- מנגנון ההכללה מאפשר להימנע מהמרות בלי לשכפל קוד
- קוד שאין בו המרות מפורשות ושאין בו טיפוסים נאים (ליתר דיוק, אם הקומפיילר לא הזהיר לגבי השימוש בטיפוסים נאים) הוא בטוח מבחינת טיפוסים (type safe)
- קוד כזה לא יכשל בביצוע המרה בזמן ריצה: הבדיקות מועברות לזמן הקומפילציה
- השימוש בהכללה מסבך הצהרות על טיפוסים בגלל האינטראקציה הלא אינטואיטיבית בין טיפוסים מוכללים ובין יחס ה-is-a
- המימוש של הכללות בג'אווה כולל מספר מוזרויות (ועוד לא דיברנו על כולן...)

- דיון מקיף (מעניין, וברור) בנושא ניתן למצוא בפרק 4.1 של:

Java in a Nutshell, 5th Edition By David Flanagan

קבלנות משנה -
על הורשה, טענות וחוזים

הורשה וטענות (assertions)

- תנאי קדם, תנאי בתר ושמורות שהוגדרו עבור מחלקה או מנשק תקפים גם לגבי צאצאי המחלקה (וממשי המנשק), ועשויים להשתנות
- עצם ממחלקה נגזרת המוצבע ע"י הפנייה מטיפוס המנשק [או טיפוס מחלקת הבסיס], צריך לקיים את שמורת המנשק [מחלקת הבסיס]
- מכאן ששמורה של כל מחלקה צריכה להיות שווה או חזקה יותר משמורת הוריה
- בגלל מנגנון הפולימורפיזם, אי הקפדה על כלל זה עשויה ליצור בעיות במערכת התוכנה, כפי שנדגים מיד

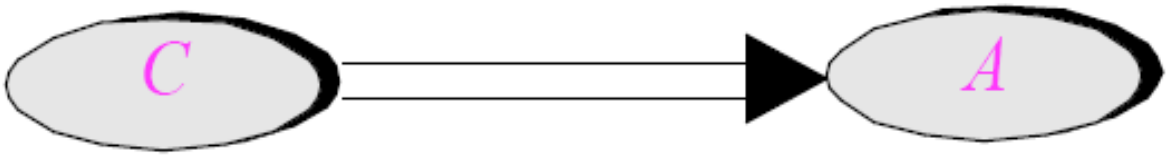
קבלנות משנה

- מחלקת C היא לקוחה של מחלקה A, כלומר:
  - יש ל- C הפנייה ל- A (אחד השדות)

או

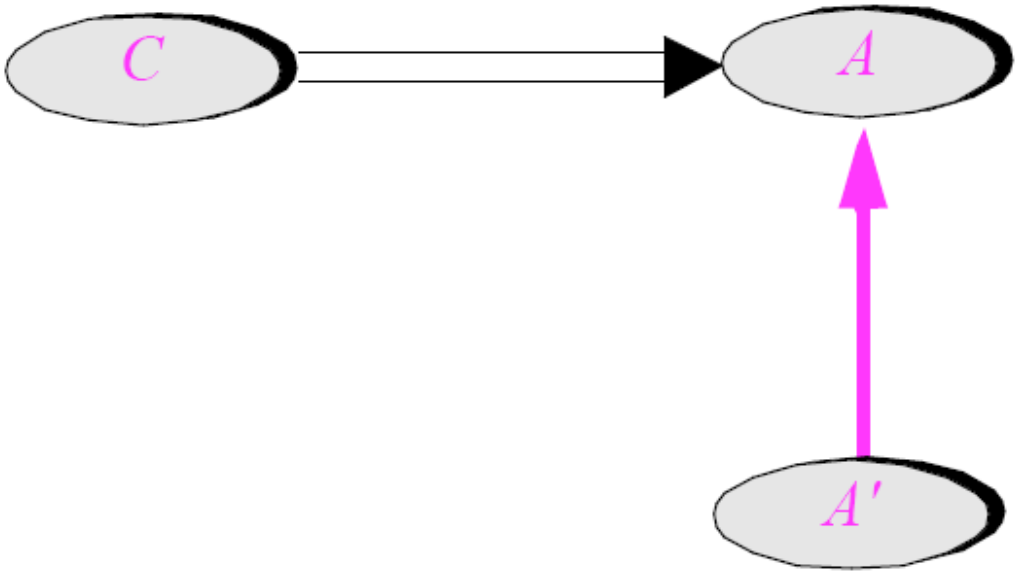
  - אחת המתודות של C מקבלת פרמטר מטיפוס A (הפנייה ל A)

- C מכירה את השמורה של A ומצפה מ A לקיים אותה



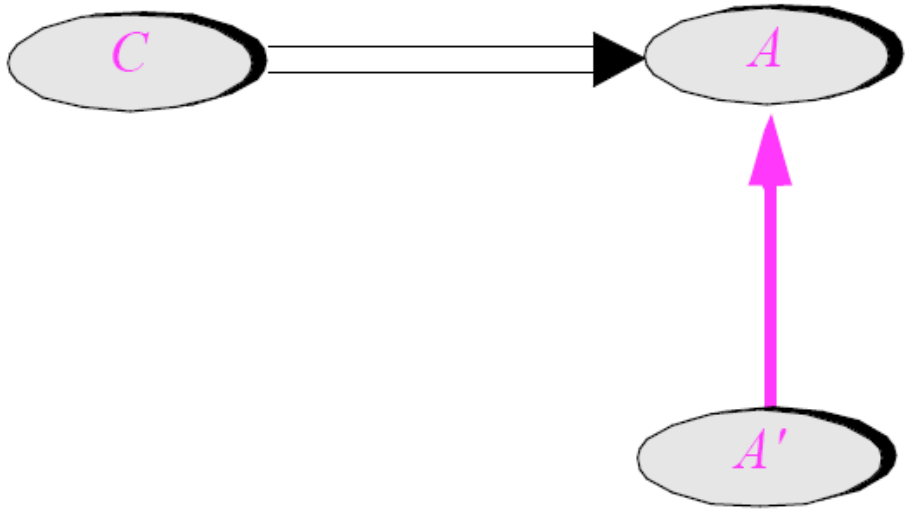
קבלנות משנה - השמורה

- בפועל, המצביע ל- A מצביע ל- A' , מחלקה הנורשת מ- A
- ברור שכדי לקיים יחסים פולימורפים תקינים על A' לקיים לפחות את שמורת A



קבלנות משנה – תנאי קדם ובתר

- המחלקה 'A דורסת (overrides) רוטינה ()r של A
- מה יש לדרוש מתנאי הקדם והבתר של המתודה החדשה ביחס לאלו של הרוטינה המקורית?




```
r is
    require
        α
    …
    ensure
        β
    end

r++ is
    require
        γ
    …
    ensure
        δ
    end
```

דוגמא

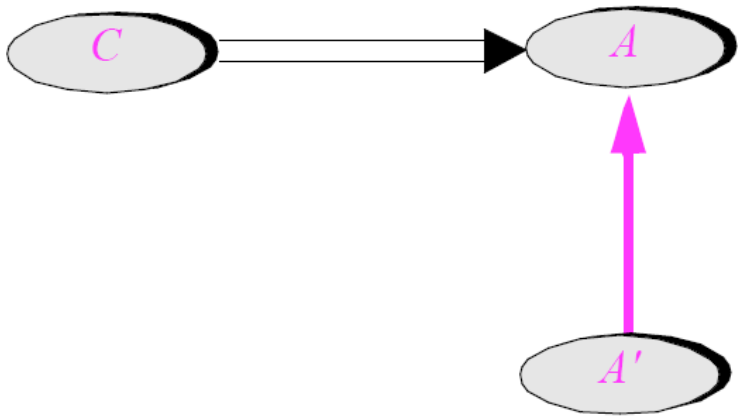
- בתוך המחלקה Client מופיע הקוד הבא:

```
public class Client {
    ...
    public static void g(String[] args)
    {
        List<String> l = Arrays.asList(args);
        ...
    }
}
```

- בדוגמא זו **Client** הוא הלקוח (C) ו- **List** הוא הספק (A)
- ואולם ברור ש – **l** מצביע בפועל לעצם ממחלקה שממשת את **List** (אולי **ArrayList**). מחלקה זו היא קבלנית משנה (A')
- הלקוח, שאינו מכיר את קבלן המשנה שלו, מצפה ממנו לעמוד בחוזה המקורי (החוזה מול הספק)

קבלנות משנה – תנאי קדם

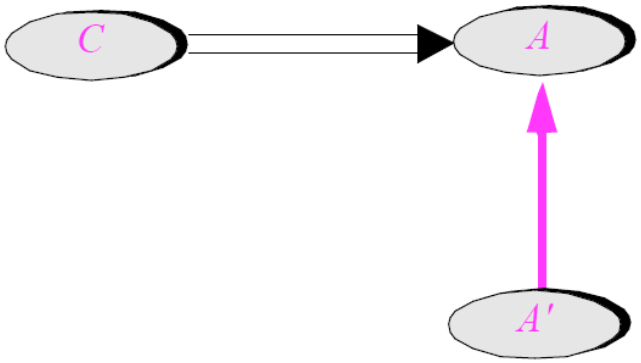
- נתבונן בקריאה `1.x()` המופיעה במחלקה C
- על C לקיים את תנאי הקדם של A.r(), היא כלל אינה מכירה את המחלקה A' ואינה יודעת על קיום A'.r()
- לכן על תנאי הקדם המוגדר במחלקה הנגזרת להיות **שווה** או **חלש יותר** מתנאי הקדם המקורי




```
r is
    require
        α
    …
    ensure
        β
    end

r++ is
    require
        γ
    …
    ensure
        δ
    end
```

קבלנות משנה – תנאי בתר

- משיקולים דומים על תנאי הבתר של המחלקה הנגזרת להיות **שווה** או **חזק יותר** מתנאי הבתר המקורי
- ללקוח C 'הובטח' β ע"י A ואסור שמאחורי הקלעים יסופק δ החלש ממנו
- מנגנון זה מכונה "קבלנות משנה" (subcontracting)




```
r is
    require
        α
    …
    ensure
        β
    end

r++ is
    require
        γ
    …
    ensure
        δ
    end
```

השמורה האפקטיבית

- השמורה ה'אמיתית' של מחלקה מורכבת מ AND לוגי של כל הטענות המופיעות בשמורת אותה מחלקה ובכל הוריה לאורך עץ ההורשה
- אם עבור רמה (מחלקה) מסוימת בעץ ההורשה לא הוגדרה שמורה, ניתן להתייחס לשמורה שלה כ- TRUE
- כותב מחלקה יכול להגדיר את השמורה שלה בצורה מרומזת (implicit) ע"י ציון הטענות החדשות בלבד

תנאי קדם אפקטיבי

- תנאי הקדם ה'אמיתי' של מתודה שהוגדרה מחדש במחלקה כלשהי, הוא ה OR הלוגי של כל תנאי הקדם של מתודה זו בכל הוריה של אותה מחלקה לאורך עץ ההורשה

- אם עבור רמה (מחלקה) מסוימת בעץ ההורשה לא הוגדר תנאי קדם למתודה זו, ניתן להתייחס לתנאי הקדם שם כ- FALSE
  - עקרון זה לא תופס עבור מחלקת הבסיס. מדוע?

- כותב תנאי הקדם של המתודה שהוגדרה מחדש במחלקה כלשהי, יכול להגדיר אותו בצורה מרומזת (implicit) ע"י ציון הטענות החדשות בלבד

תנאי בתר אפקטיבי

- תנאי הבתר ה'אמיתי' של מתודה כולל לא רק את הטענות שהופיעו בפסוקית ה @post אלא גם תלוי בקיום תנאי הקדם (אם תנאי הקדם לא מתקיים הספק לא מחויב לדבר), כלומר:

$prev (@pre) => @post

- תנאי הבתר ה'אמיתי' של **מתודה שהוגדרה מחדש** במחלקה כלשהי הוא ה AND הלוגי של כל **תנאי הבתר האפקטיביים** של מתודה זו בכל הוריה של אותה מחלקה לאורך עץ ההורשה

- אם עבור רמה (מחלקה) מסוימת בעץ ההורשה לא הוגדר תנאי קדם למתודה זו, ניתן להתייחס לתנאי הקדם שם כ- TRUE

- כותב תנאי הבתר של המתודה שהוגדרה מחדש במחלקה כלשהי יכול להגדיר אותו בצורה מרומזת (implicit) ע"י ציון הטענות החדשות בלבד

דוגמא

```
public class MATRIX {
   ...
   /** inverse of current with precision epsilon
    * @pre epsilon >= 10 ^(-6)
    * @post (this.mult($prev(this)) - ONE).norm <= epsilon
    */
  void invert(double epsilon);
   ...
}
```

דוגמא

```
public class ACCURATE_MATRIX extends MATRIX {
    ...
    /** inverse of current with precision epsilon
     * @pre epsilon >= 10^(-20)
     * @post (this.mult($prev(this)) - ONE).norm <= epsilon/2
     */
    void invert(double epsilon);
    ...
}
```

- בשפת Eiffel כדי להדגיש שהחוזה של מתודה שהוגדרה מחדש אינו עומד בפני עצמו אלא תלוי בהיררכיה החליפו את התגיות require ו- ensure ב- require else ו- ensure then בהתאמה

הורשה וחריגים

- משהבנו את ההיגיון שבבסיס יחסי ספק, לקוח וקבלן משנה, ניתן להסביר את חוקי שפת Java הנוגעים לחריגים ולהורשה

- קבלן משנה (מחלקה יורשת [מממשת], הדורסת [מממשת] שרות) אינו יכול לזרוק מאחורי הקלעים חריג שלא הוגדר בשרות הנדרס [או במנשק]

- למתודה הדורסת [המממשת] **מותר להקל** על הלקוח ולזרוק **פחות** חריגים מהמתודה במחלקת הבסיס שלה [במנשק]

עוד על הורשה וחוזים

- בנוסף לחריגים, שלגביהם ג'אוה מקפידה על כללי החוזה, בהורשה, יש עוד כללים בשפה שנובעים משיקולי חוזה:

- למתודה הדורסת [המממשת] **מותר להקל** את הנראות – כלומר להגדיר סטטוס נראות רחב יותר, אבל אסור להגדיר סטטוס נראות מצומצם יותר.

- (מגירסא 5) למתודה הדורסת [המממשת] **מותר לצמצם** את טיפוס הערך המוחזר, כלומר טיפוס הערך המוחזר הוא תת טיפוס של טיפוס הערך המוחזר במתודה במחלקת הבסיס שלה [במנשק]

שאלה מתוך מבחן

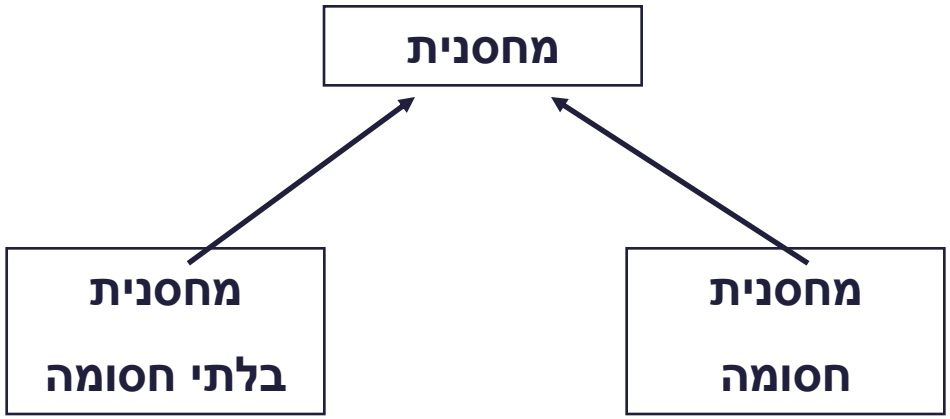
```
public class A {
   public float foo(float a, float b) throws IOException{
   }
}

public class B extends A {
   ...
}
```

Which of the following methods can be defined in B:

1. float foo(float a, float b){…}
2. public int foo(int a, int b) throws Exception{…}
3. public float foo(float a, float b) throws Exception{…}
4. public float foo(float p, float q){…}

תנאי קדם מופשט

- מהי ההיררכיה בין 3 המחלקות: מחסנית, מחסנית חסומה, מחסנית בלתי חסומה ?



- מה יהיה תנאי הקדם של המתודה **`push`** במחלקה מחסנית?

תנאי קדם מופשט

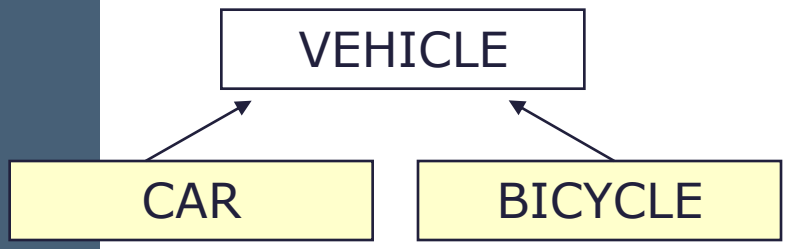
- תנאי הקדם לא יכול להיות ריק (TRUE) כי אז הוא יחוזק ע"י המחסנית החסומה
- תנאי הקדם צריך להיות `!full()` כאשר `full()` היא מתודה מופשטת (או מתודה המחזירה תמיד `false`) שתוגדר מחדש במחלקה מחסנית חסומה להחזיר `count()==capacity()`
- תנאי קדם המכיל מתודות מופשטות או מתודות שנדרסות במורד עץ ההורשה נקרא ***תנאי קדם מופשט***
- למרות שתנאי הקדם הקונקרטי אכן מתחזק ע"י המחסנית החסומה תנאי הקדם המופשט נשאר ללא שינוי

תנאי קדם מופשט

- כאשר מחלקת הבסיס מופשטת, תנאי קדם טריויאליים מחייבים לפעמים ***ראייה לעתיד***, כדי שלא יחוזקו במחלקות נגזרת
- ראייה לעתיד אינה דבר מופרך במחלקות מופשטות
- נתבונן בדוגמא נוספת: מערכת תוכנה אשר מיוצגים בה כלי תחבורה שונים כגון מכונית, אווירון ואופניים

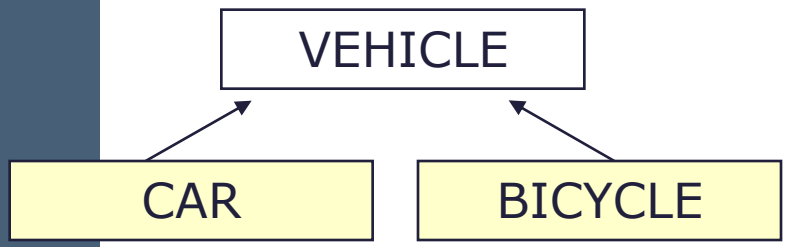
ראייה לטווח רחוק

- האבולוציה של היררכית מחלקות כלי הרכב לא מתחילה בגזירת מחלקות קונקרטיות שיירשו מ VEHICLE
- הגיוני יותר שבמהלך מימוש \או עיצוב המחלקות CAR ו- AIRPLANE נגלה שיש להן הרבה מן המשותף, וכדי למנוע שכפול קוד ניצור מחלקה שלישית - VEHICLE שתכיל את החיתוך של שתיהן
- אף כלי רכב אינו רק VEHICLE
- בראייה זו, אין זה מוגזם לדרוש ממחלקה מופשטת ניסוח תנאי קדם מופשט



דוגמא

- מהו תנאי הקדם של המתודה ()go של המחלקה VEHICLE ?
- על פניו – אין כל תנאי קדם לפעולה מופשטת
- מה עם המחלקה CAR ? – לה בטח יש דרישות כגון ()hasFuel
- מה עם המחלקה BICYCLE ? – לה בטח יש דרישות כגון ()hasAir
- איך VEHICLE תגדיר תנאי קדם ל ()go גם כללי מספיק וגם שלא יחוזק ע"י אף אחד מיורשותיה?



פתרון

- מתודה בולאנית כגון canGo() תעשה את העבודה
- המתודה תוגדר כמחזירה TRUE עבור VEHICLE (או שתוגדר כ abstract), ועבור כל אחת מיורשותיה תוגדר לפי המחלקה האמורה
- בעצם המתודה go() היתה צריכה להיקרא "go_because_you_can()" וכך לא היתה כל הפתעה בתנאי הקדם "המוזר"

הורשה זה רע

- הורשה היא מנגנון אשר חוסך קוד ספק
- פרט למנגנון הרב-צורתיות (polymorphism) הורשה היא סוכר תחבירי של הכלה ואינה הכרחית
  - במקום ש B יירש מ-A , ל- B יכולה להיות התכונה A (שדה)
- יחסי הורשה נכונים הם דבר עדין
  - יחס is-a לעומת יחס is-part-of או has-a
  - לעומת זאת To be is also to have אבל לא להיפך (משאית היא מכונית כלומר חלק בה הוא מכונית)
- לפעמים נוח לשאול "האם יכולים להיות לו שניים?"
  - לדוגמא: למכונית יש מנוע
- הורשה או מופע?
  - האם Washington יורשת מ- State?

הכוח משחית

- על המחלקה היורשת לקיים את 2 העקרונות:
  - יחס is-a
  - עקרון ההחלפה
- אי שמירה על כך תגרום לעיוותים במערכת התוכנה
- לדוגמא: ננסה לבטא את יחס המחלקות Rectangle ו- Square בעזרת הורשה

Not is-a Relation

מלבן לא יורש מריבוע

```
public class Square {

    protected double length;

    public double getLength(){
       return length;
    }

    public double getWidth(){
       return length;
    }

    public double area(){
       return length*length;
    }
    ...
}
```

```
public class Rectangle
                extends Square {

    protected double width;

    public double getWidth(){
       return width;
    }

    public double area(){
       return length*width;
    }
    ...
}
```

- ברור כי העיצוב לקוי – Rectangle is NOT a Square
- למשל **המשתמר** של Square צריך להכיל את `getLength()==getWidth()`
  - וברור כי `Rectangle` לא שומר על כך

Substitution principle doesn't hold!

אז אולי ריבוע יורש ממלבן ?

```
public class Rectangle {
    protected double width;
    protected double length;

    public double getWidth(){
       return width;
    }

    public double getLength(){
       return length;
    }

    public double area(){
       return length*width;
    }

    public void widen(double delta){
       width += delta;
    }

    ...
}
```

- מתקיים יחס is-a אבל לא מתקיים עקרון ההחלפה
- לא ניתן להשתמש בריבוע בכל הקשר שבו ניתן היה להשתמש במלבן
- זה מפתיע – מכיוון שמתמטית ריבוע הוא סוג של מלבן
- אז איך בכל זאת נממש את המחלקות ריבוע ומלבן?
- בעולם התוכנה יש לעשות "ויתורים כואבים"