

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



בית הספר למדעי המחשב
אוניברסיטת תל אביב

היום בשיעור

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

אלגוריתם כללי

Template Method Design Pattern

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

אלגוריתם כללי

Template Method Design Pattern

- 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, שיורשת 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);
}

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

שגיאת קומפילציה
ב Java אין דבר כזה!

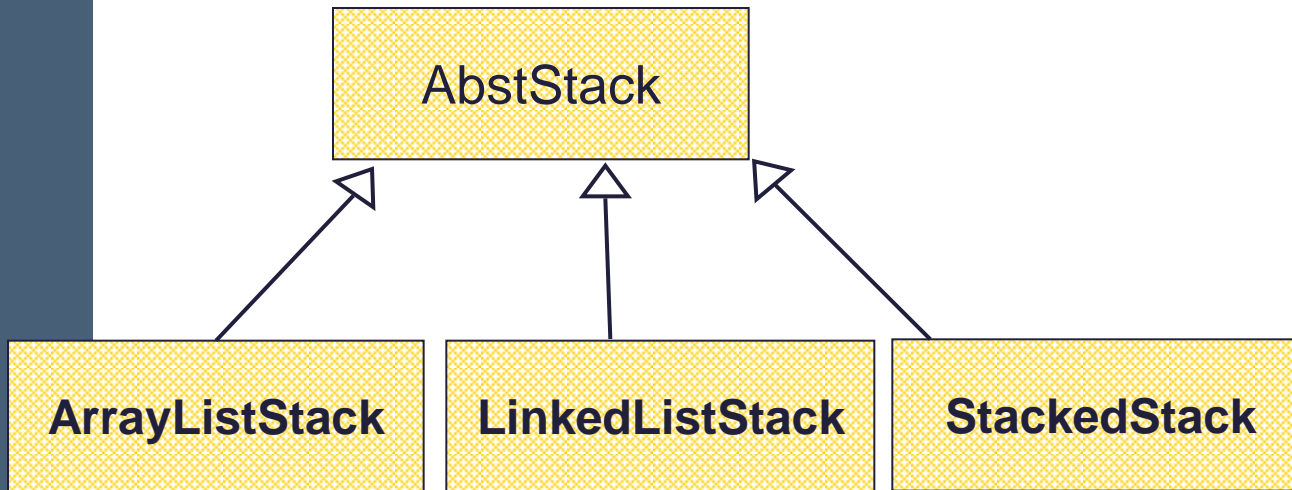
■ ולכן הגיוני אולי שיירש משתיהן:

■ ממי יורשת המחלקה Float?

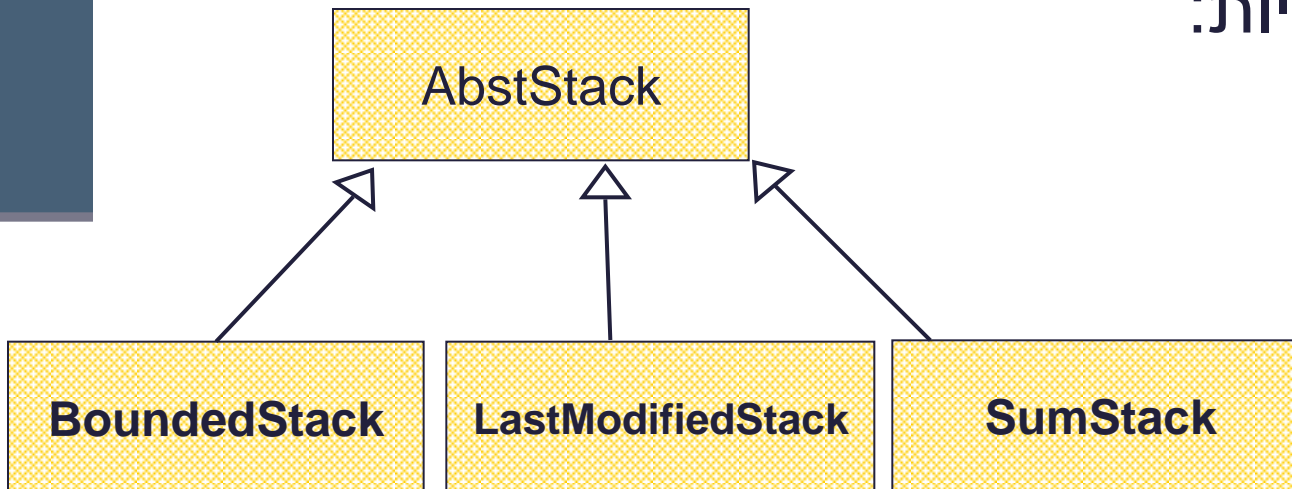
אין ב Java הורשה מרובה

- 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:

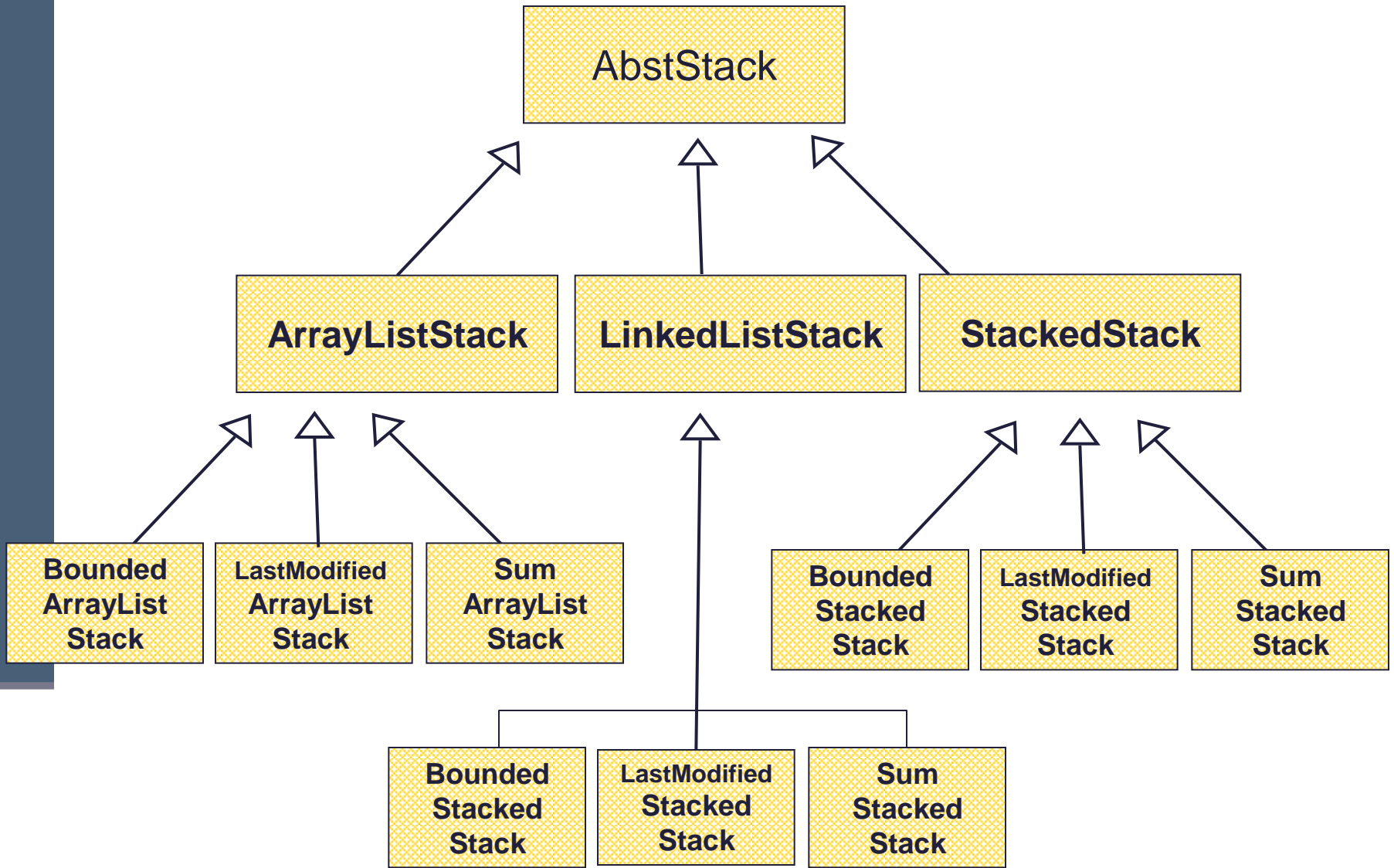


עוד סוגי מחסניות:



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 ?

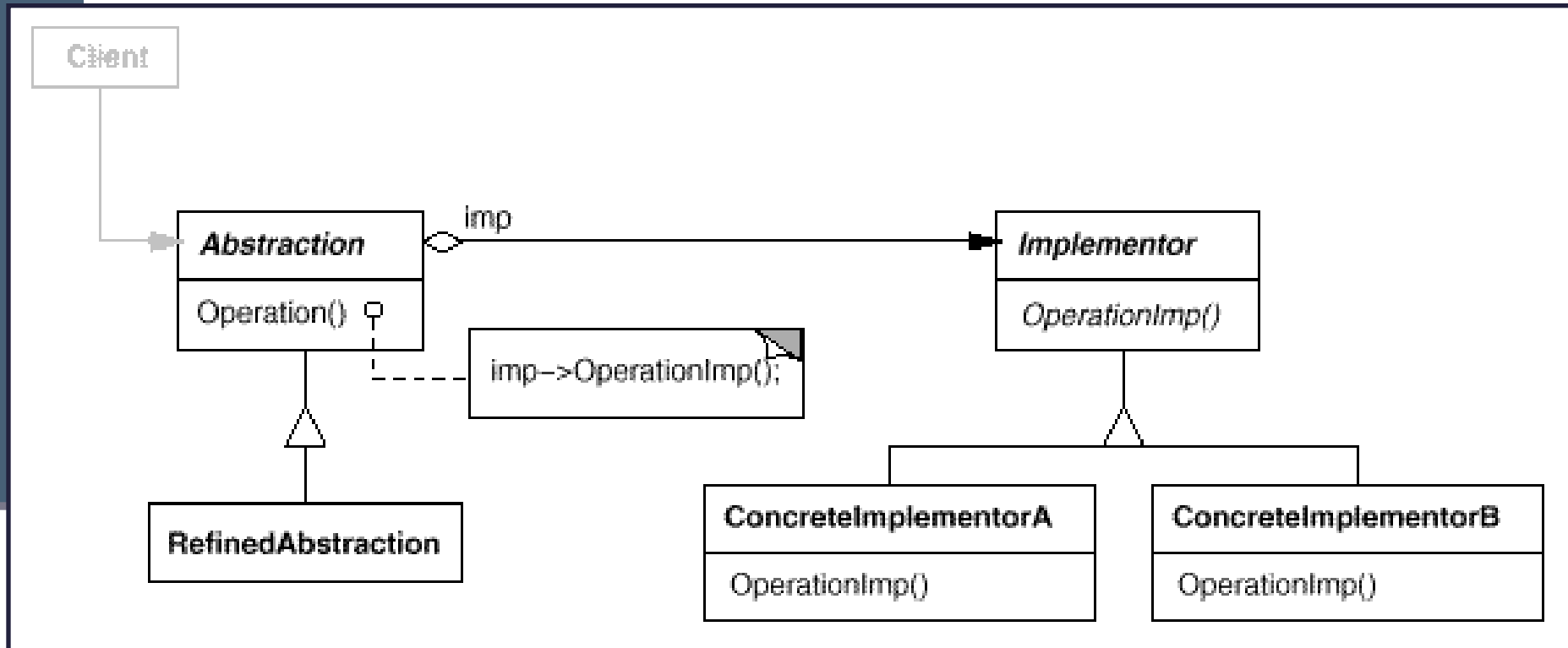


לא כל כך שמחה

- 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 -



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

```
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'אווה 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 ממשק)
 - כל המרה אחרת גוררת שגיאת קומפילציה.
- המרה למעלה תמיד מצליחה, ובדרך כלל לא מצריכה אופרטור מפורש; היא פשוט גורמת לקומפילר 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 ירשיה 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 לשוב 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 ממשק) אשר תספק ממשק 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();
    }
}
```

מה יודפס?

The hide method in Animal.
The override method in Cat.

```
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();
    }
}
```

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

```
public class Test {

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

מה יודפס?

priv in Base
pub in Sub

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";  
}
```

```
5  
five  
5
```

```
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 - שבריריות

```
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?

■ ניהח 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) `FCStack<Object>` שהיא בעצם

■ בקוד שמשמש 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 `:ClassCastException`

```
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 שפת 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;    // "unchecked" compiler warning
```

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

הגבול הוא השמיים

- גבול עליון הוא שם של המחלקה או הממשק 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 אחד מהם Comparable אבל הם אינם Comparable זה לזה
- לדוגמא: Integer ו-String

■ 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 ושאינן 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

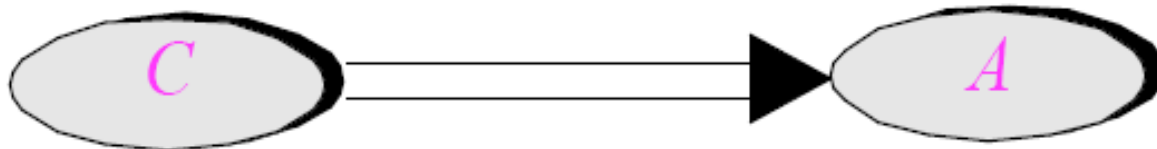
קבלנות משנה

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

או

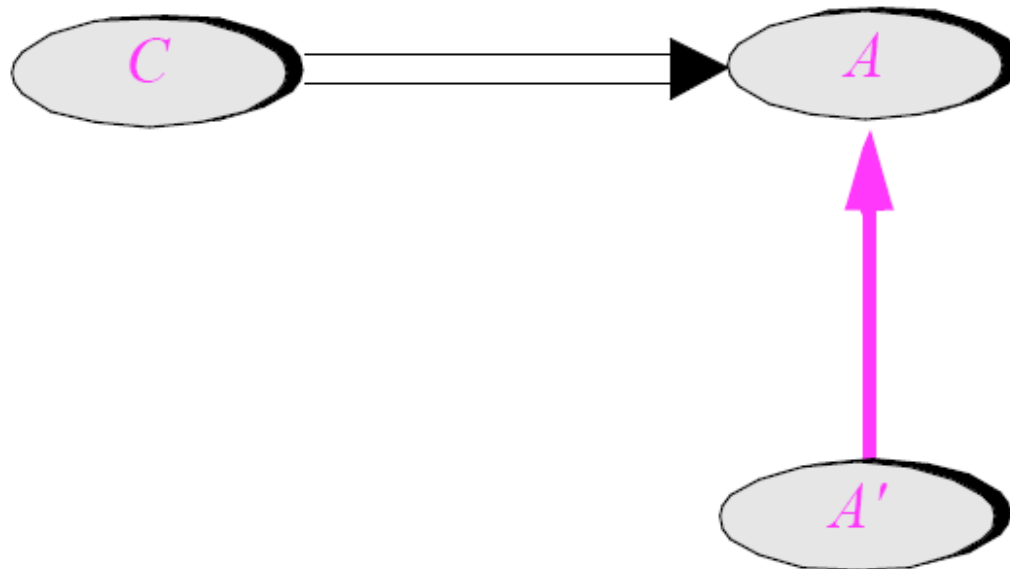
- אחת המתודות של C מקבלת פרמטר מטיפוס A (הפנייה ל A)

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



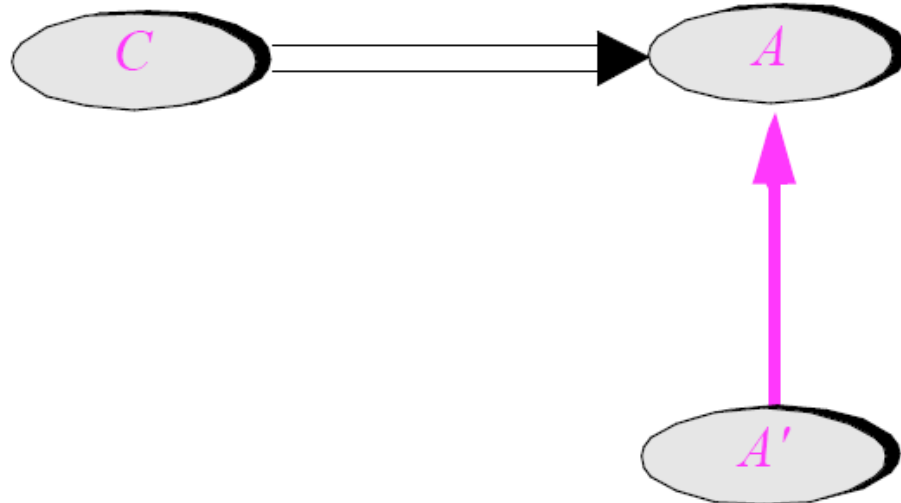
קבלנות משנה - השמורה

- 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

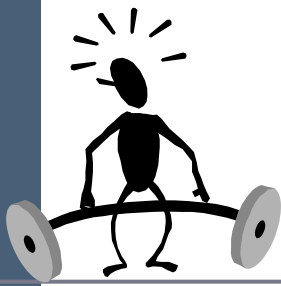
r^{++} is
require
 γ
...
ensure
 δ
end

דוגמא

■ בתוך המחלקה Client מופיע הקוד הבא:

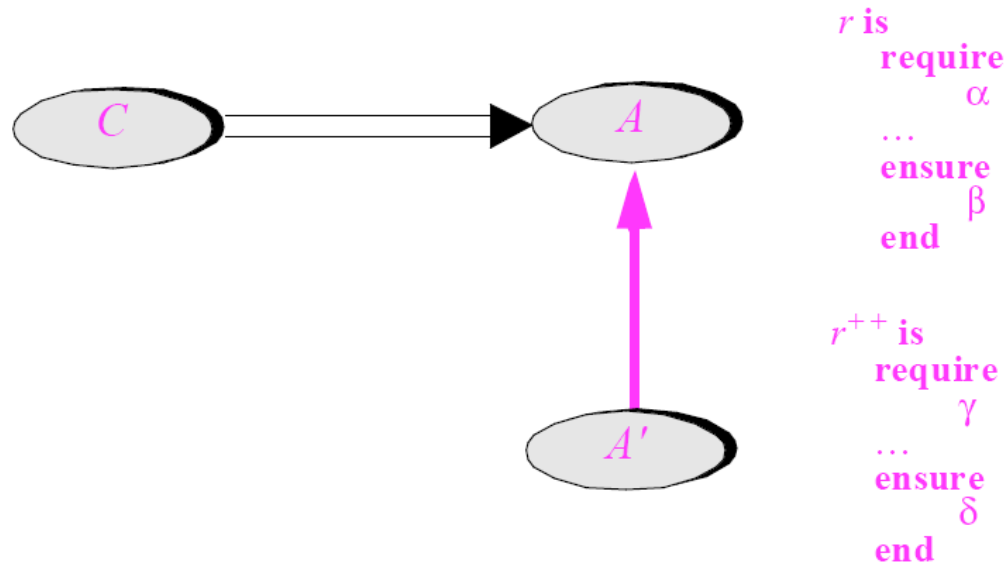
```
public class Client {  
    ...  
    public static void g(String[] args)  
    {  
        List<String> l = Arrays.asList(args);  
        ...  
    }  
}
```

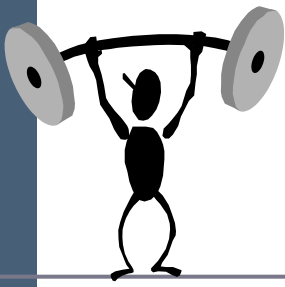
- בדוגמא זו Client הוא הלקוח (C) ו- List הוא הספק (A)
- ואולם ברור ש - l מצביע בפועל לעצם ממחלקה שממשת את List (אולי ArrayList). מחלקה זו היא קבלנית משנה (A')
- הלקוח, שאינו מכיר את קבלן המשנה שלו, מצפה ממנו לעמוד בחוזה המקורי (החוזה מול הספק)



קבלנות משנה – תנאי קדם

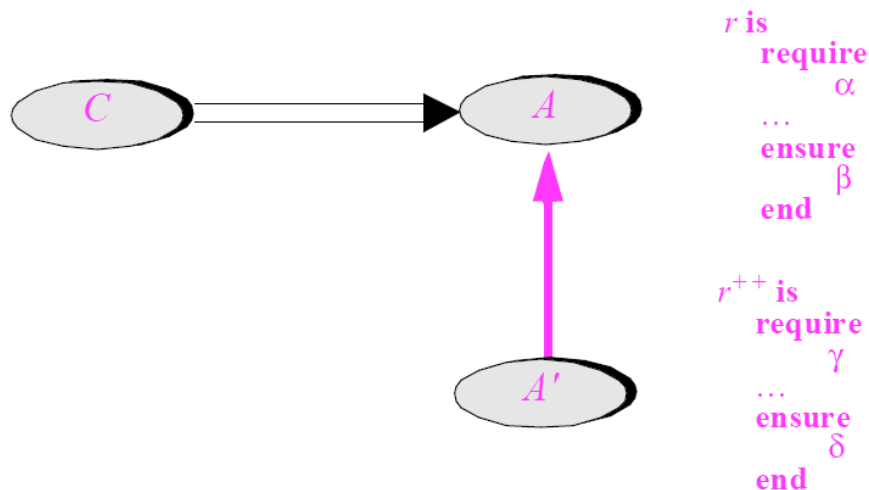
- נתבונן בקריאה $1.x()$ המופיעה במחלקה C
- על C לקיים את תנאי הקדם של $A.r()$, היא כלל אינה מכירה את המחלקה A' ואינה יודעת על קיום $A'.r()$
- לכן על תנאי הקדם המוגדר במחלקה הנגזרת להיות שווה או חלש יותר מתנאי הקדם המקורי





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)



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'אווה 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{
    }
}

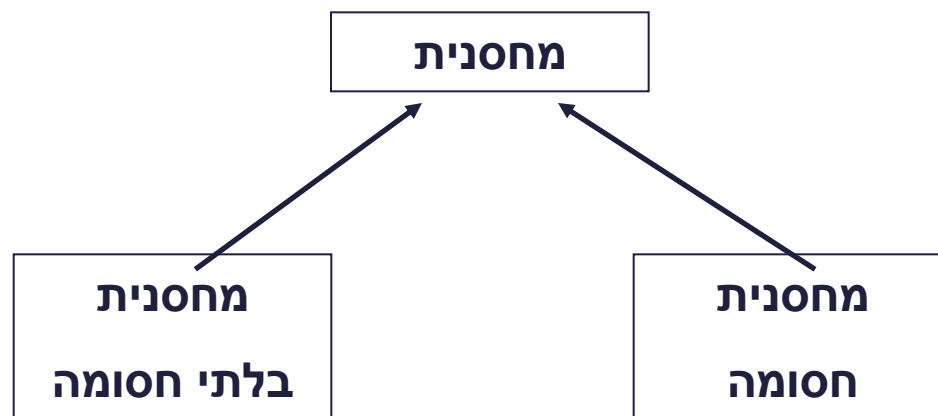
public class B extends A {
    ...
}
```

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?

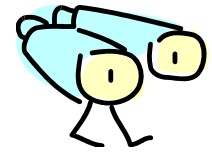
תנאי קדם מופשט

- תנאי הקדם לא יכול להיות ריק (TRUE) כי אז הוא יחזק 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

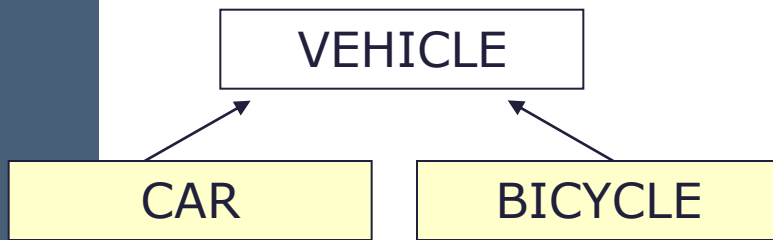
תנאי קדם מופשט

- 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



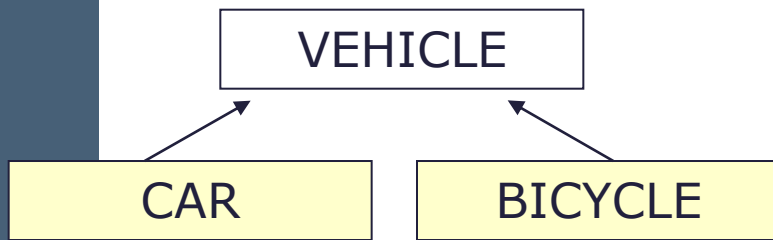
- האבולוציה של היררכית מחלקות כלי הרכב לא מתחילה בגזירת מחלקות קונקרטיות שיירשו מ VEHICLE
- הגיוני יותר שבמהלך מימוש ו\או עיצוב המחלקות CAR ו- AIRPLANE נגלה שיש להן הרבה מן המשותף, וכדי למנוע שכפול קוד ניצור מחלקה שלישית - VEHICLE שתכיל את החיתוך של שתיהן
- אף כלי רכב אינו רק VEHICLE
- בראייה זו, אין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



- 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 מירשותיה?



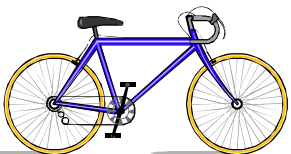
פתרון



- 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

- 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;
```

■ מתקיים יחס is-a אבל לא מתקיים עקרון ההחלפה

```
    public double getWidth() {  
        return width;  
    }
```

■ לא ניתן להשתמש בריבוע בכל הקשר שבו ניתן היה להשתמש במלבן

```
    public double getLength() {  
        return length;  
    }
```

■ זה מפתיע – מכיוון שמתמטית ריבוע הוא סוג של מלבן

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

■ אז איך בכל זאת נממש את המחלקות ריבוע ומלבן?

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

■ בעולם התוכנה יש לעשות "ויתורים כואבים"

```
    ...  
}
```