תוכנה 1 בשפת Java

שיעור מספר 7*: "ירושה נכונה" (הורשה II)

ד"ר ליאור וולף

בית הספר למדעי המחשב

אוניברסיטת תל אביב

היום בשיעור

- תבניות עיצוב (Template Method, Builder)
- מידע על טיפוסים בזמן ריצה
- תבניות וירושה
- קבלנות משנה (ירושה והחוזה)
- שימוש לרעה בירושה

ADDISON-WESLEY PROFESSIONAL COMPUTING SERIES

Design Patterns

Elements of Reusable Object-Oriented Software

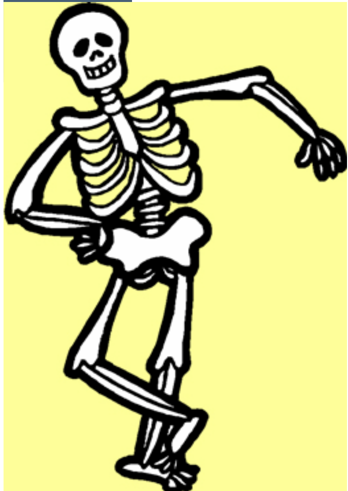
Erich Gamma
Richard Helm
Ralph Johnson
John Vlissides

Foreword by Grady Booch

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 מבלבלת!



- 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();
}
```

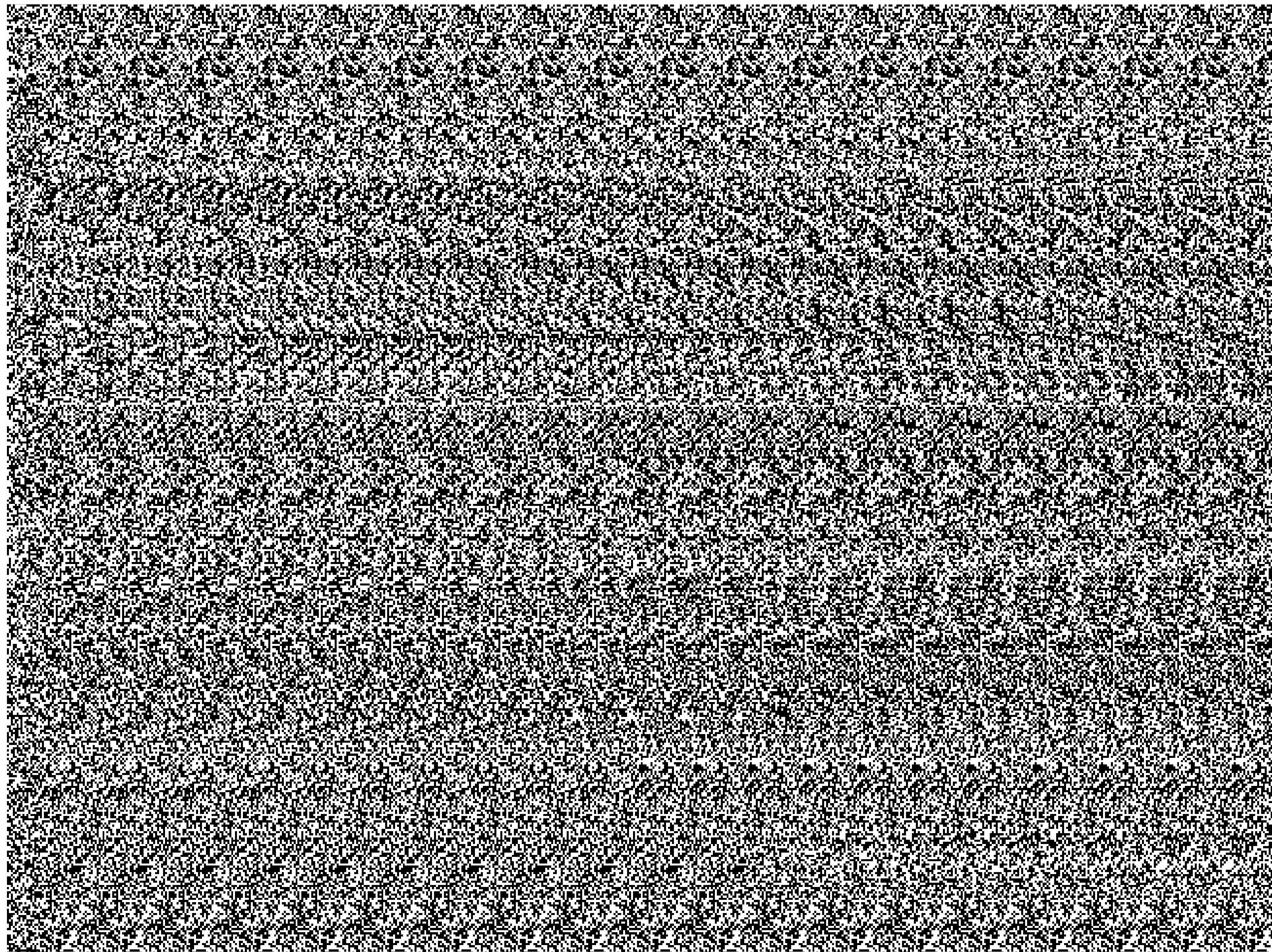
- השרות change_top אינו תלוי במימוש של push או pop אלא רק בחוזה שלהם
- change_top מכונה אלגוריתם כללי
- pop ו- push הם hooks או callbacks

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:
  - השרותים distance ו- toString של AbstPoint
- **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



ירושה מרובה

- מנגנון הירושה נועד לתאר בצורה נכונה יחסים בין מחלקות המבטאות ישויות (טיפוסים) בעולם האמיתי
- לפעמים יש הצדקה לירושה 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

ירושה 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);
}
```

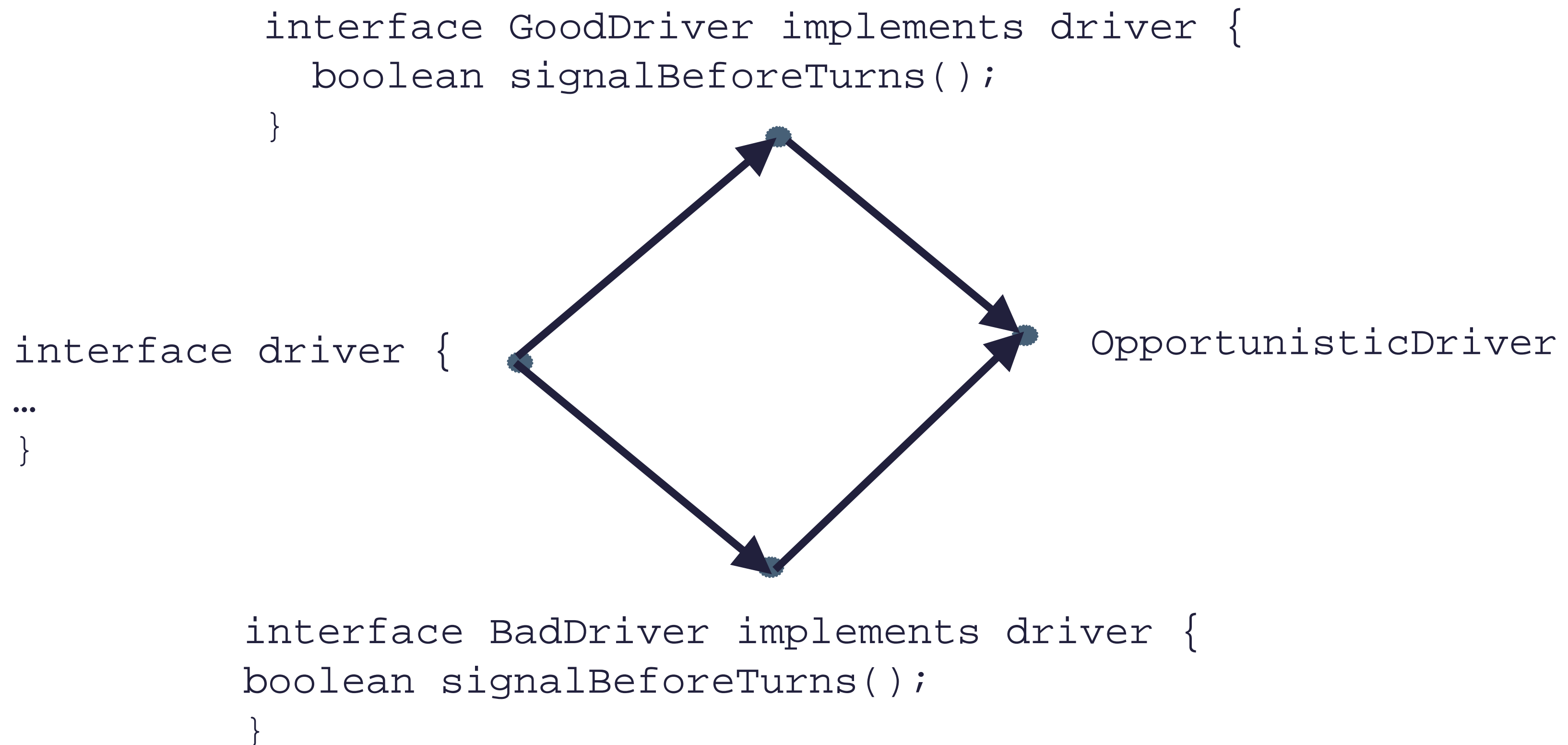
- ולכן הגיוני אולי שיירש משתיהן:

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

שגיאת קומפילציה
ב Java אין דבר כזה!

  - ממי יורשת המחלקה Float?

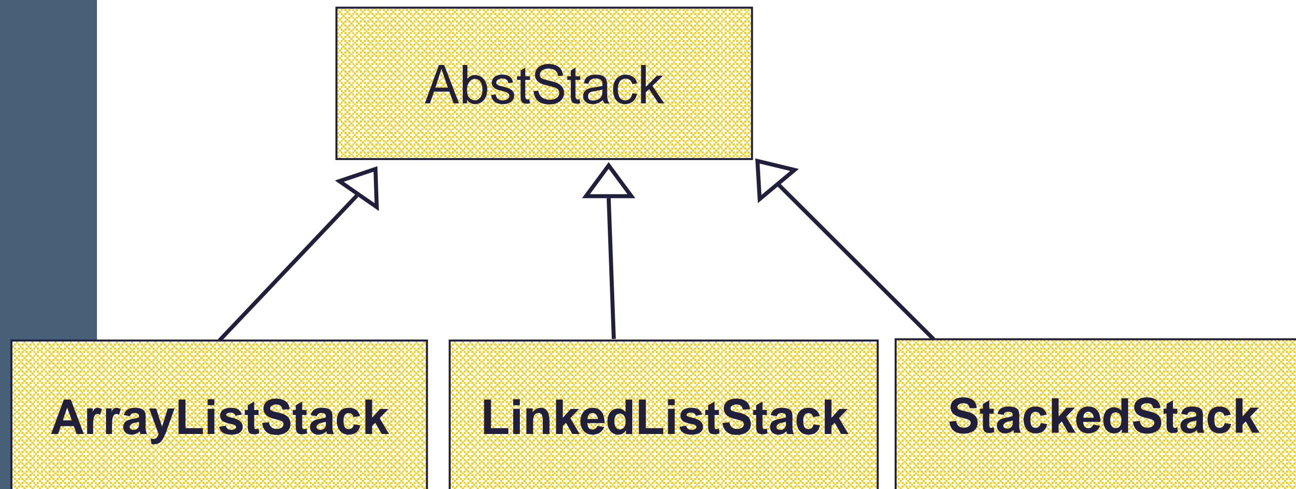
מה הבעיה בירושה מרובה



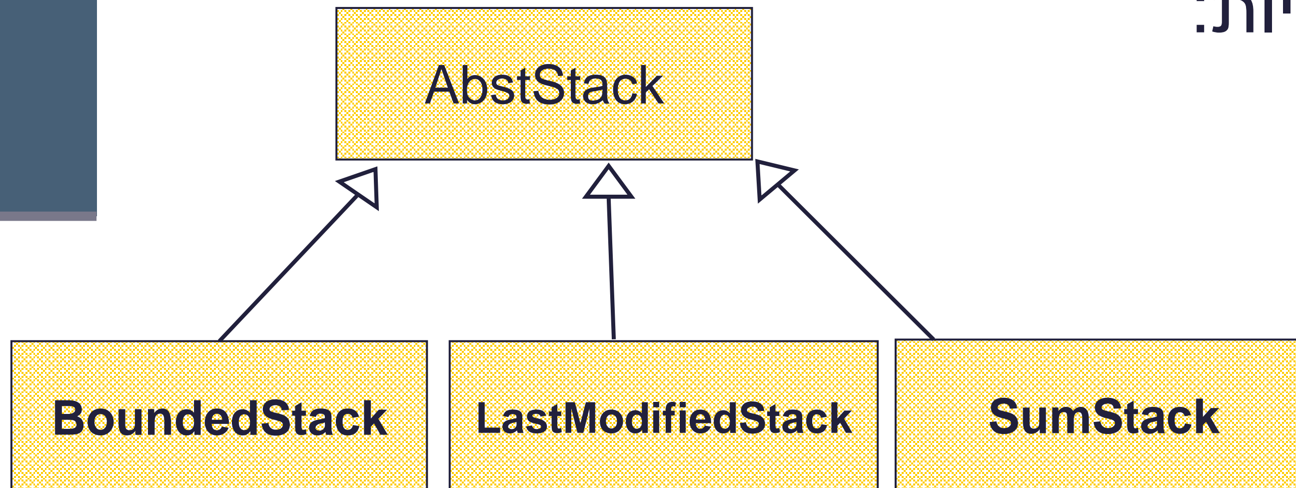
אין ב Java ירושה מרובה

- אין ב Java ירושה 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 הירושה המרובה
- **Bridge Design Pattern** – פיתוח מערכת מחלקות היררכית, כאשר לאחת המחלקות צאצאים מסוגים שונים

- סוגי מחסניות:

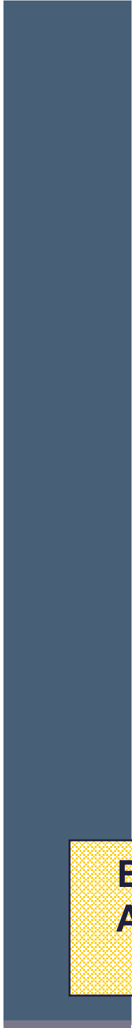


- עוד סוגי מחסניות:



ילדים זה שמחה

- סוג הירושה של 3 המחלקות העליונות שונה מסוג הירושה 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 ריבוי מחלקות
- איך נממש זאת ע"י ירושה (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

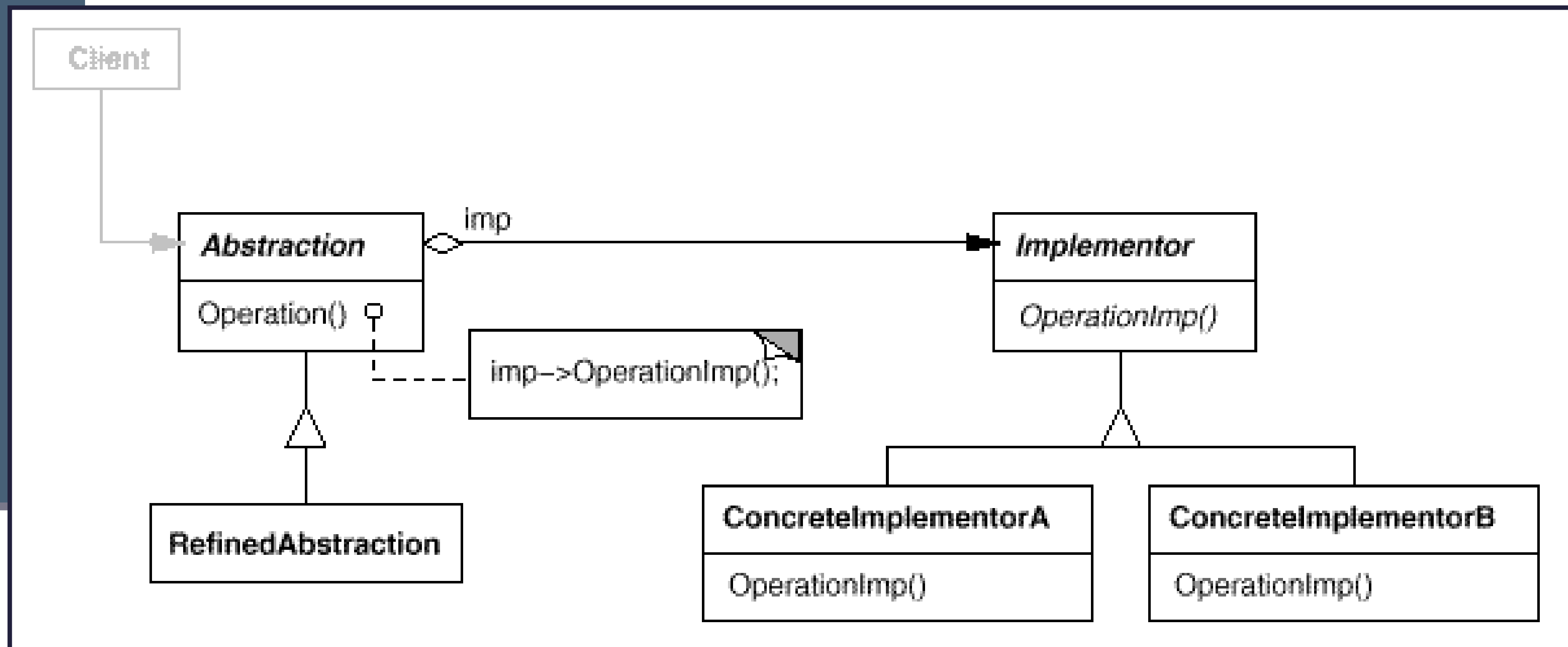
לא כל כך שמחה

- חסרונות:
  - שכפול קוד נורא
  - מה יקרה אם נרצה להוסיף טיפוס חדש כגון TwoWayStack?
    - צריך יהיה להוסיף אותו לכל תתי העצים

- הפתרון המוצע ע"י תבנית ה Bridge היא **המרת ירושת המימוש בהכלה** (עם האצלה)
  - פתרון זה מופיע בתבניות עיצוב רבות אחרות

- עצי הירושה בשני המישורים (המופשט והמימושי) לא מתמזגים (אורתוגונליים)

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);}
}
```

```java
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;
    }
}
```

```java
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

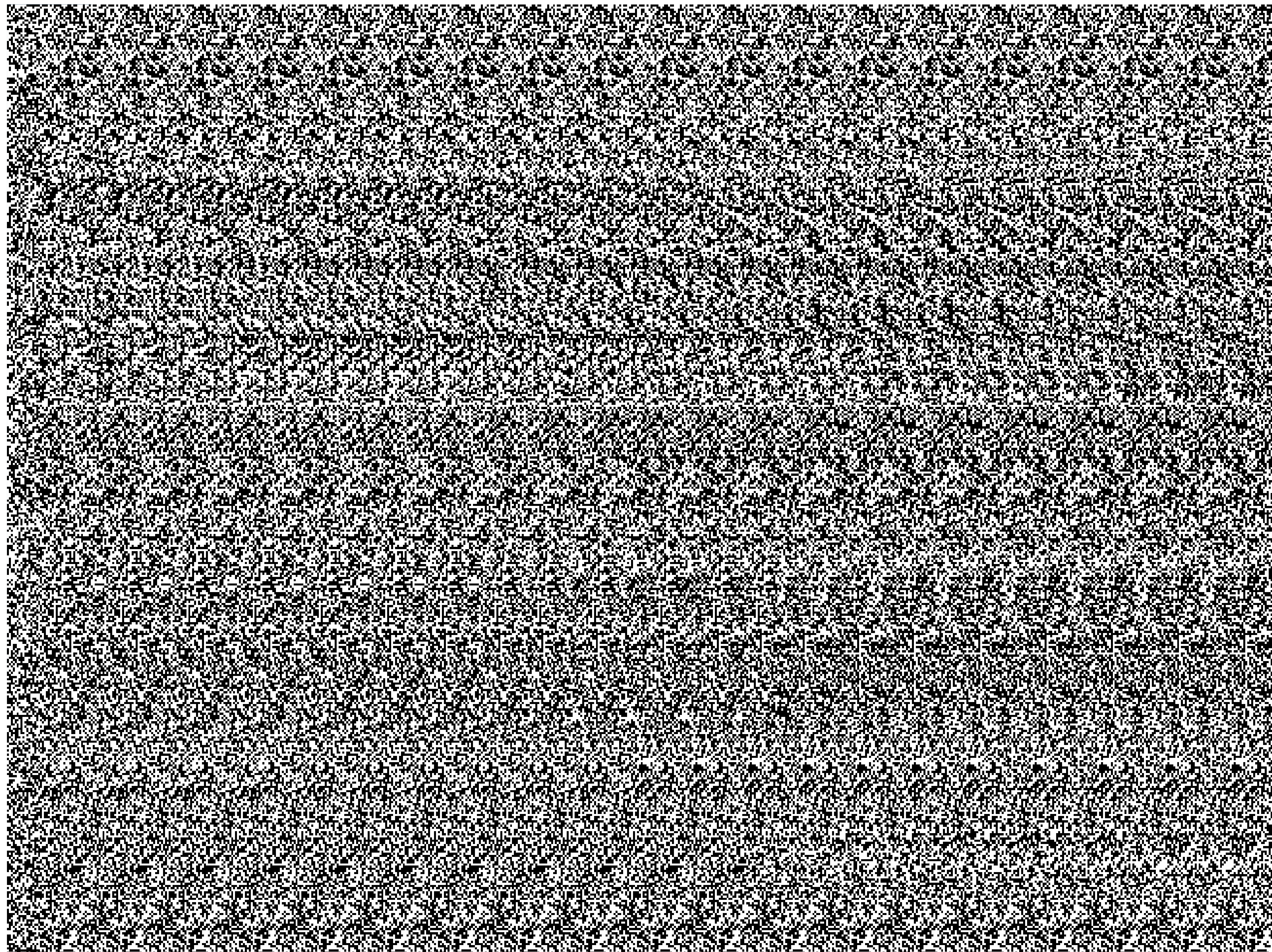
- המחלקה SimpleStack המממשת את Istack **מכילה** מופע של מחלקה המממשת את IStackImpl
  - ירושה (מימוש) לצורכי מימוש (ייצוג) תתבצע מ IStackImpl
  - ירושה (מימוש) הנוגעת להפשטה תתבצע מ Istack

- 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 מעוניין ליצר מופע של מחסנית?

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



טיפוסי זמן ריצה

- בשל הפולימורפיזם ב Java אנו לא יודעים מה הטיפוס המדויק של עצמים
  - הטיפוס דינאמי 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
- ואולם, אם בזמן ריצה טיפוס העצם המוצבע לא תואם לטיפוס החדש 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 (נושא זה ילמד בשיעור מאוחר יותר)
  - בזמן ריצה המרה לא חוקית תיכשל ותזרוק חריג
- בדוגמא הבאה 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

טיפוסי זמן ריצה

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

```
void rotate(Shape s, double degree) {
     if (s.getClass() == Circle.class)
          return;
     if (s.getClass() == Ellipse.class){
          Ellipse e = (Ellipse)s;
          e.rotateEllipse(degree);
          return;
     }
     if (s.getClass() == Polygon.class){
          Polygon p = (Polygon)s;
          e.rotatePolygon(degree);
          return;
     }
}
```

מה אם Shape הוא מטיפוס Rectangle או Triangle ?

instanceof

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

```
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

- 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
- מחלקה מופשטת (או מנשק) אמורים לספק מנשק אחיד לעבודה נוחה עם כל צאצאי ההיררכיה, ככל הניתן

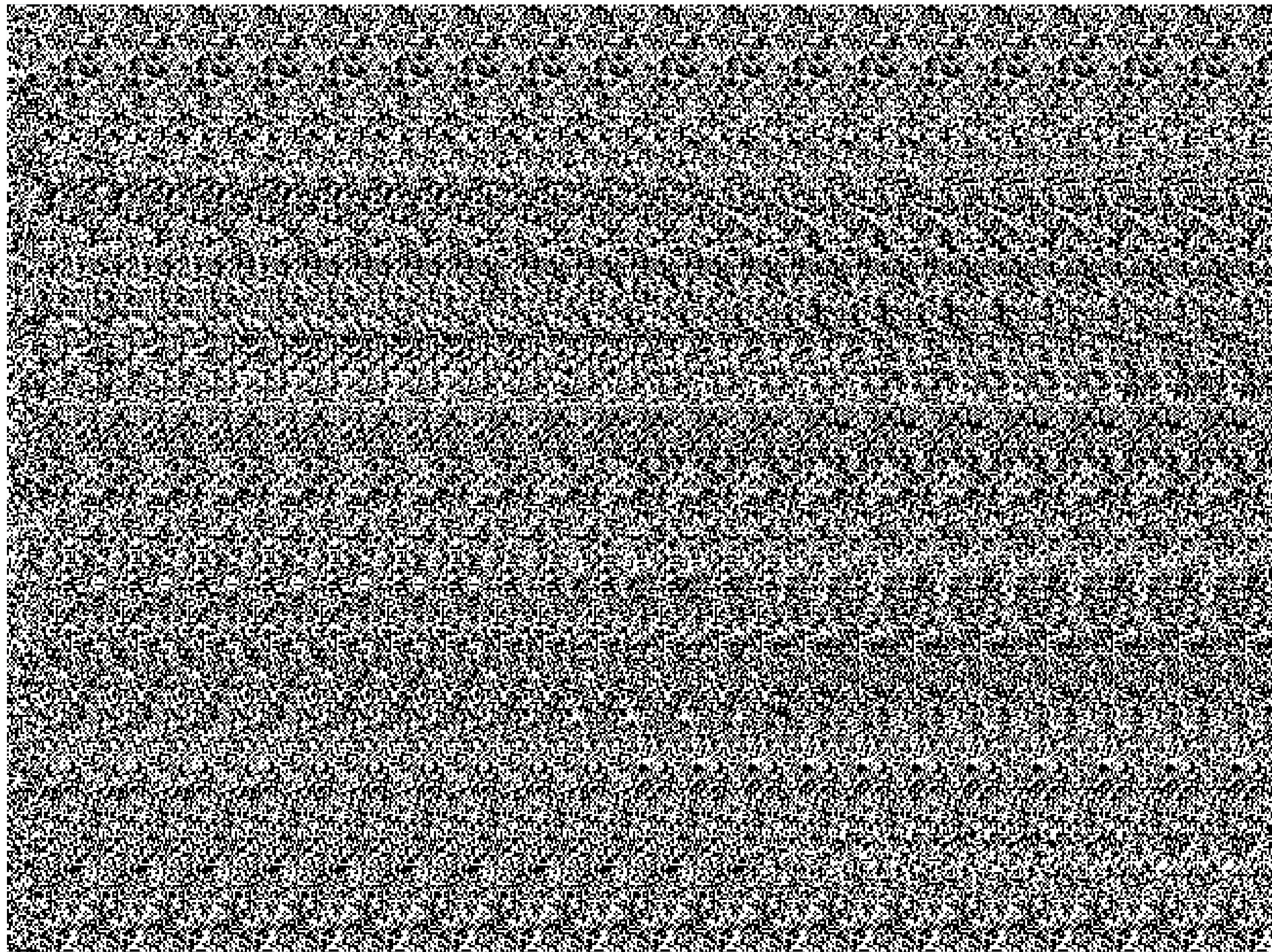
```
void rotate(Shape s, double degree) {
      s.rotate(degree);
}
```

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);
        }
}
```



מבנים מקושרים

- כדי לייצג מבנים מקושרים, כגון רשימה מקושרת, עץ, וכדומה, מגדירים מחלקות שכוללות שדות שמתייחסים לעצמים נוספים מאותה מחלקה (ולפעמים גם למחלקות נוספות).

- כדוגמא פשוטה ביותר, נגדיר מחלקה `IntCell` שעצמים בה מייצגים אברים ברשימות מקושרות של שלמים.
  - המחלקה מייצאת **בנאי** ליצירת עצם כאשר התוכן (שלם) והאבר הבא הם פרמטרים.
  - המחלקה מייצאת **שאילתות** עבור התוכן והאבר הבא, **ופקודות** לשינוי האבר הבא, ולהדפסת תוכן הרשימה מהאבר הנוכחי
  - השדות מוגדרים כפרטיים – מוסתרים מהלקוחות

- המבנה `IntCell` אנלוגי למבנה cons משפת Scheme:
  - `cont()` אנלוגי ל car
  - `next()` אנלוגי ל cdr

class IntCell

```java
public class IntCell {

    private int cont;
    private IntCell next;

    public IntCell(int cont, IntCell next) {
        this.cont = cont;
        this.next = next;
    }

    public int cont() {
        return cont;
    }
```

class IntCell

```java
public IntCell next() {
    return next;
}
```

```java
public void setNext(IntCell next) {
    this.next = next;
}
```

```java
public void printList() {
    System.out.print("List: ");

    for (IntCell y = this; y != null; y = y.next())
        System.out.print(y.cont() + " ");

    System.out.println();
}
}
```

משתנה העזר של הלולאה
הוא מטיפוס IntCell

מחלקה לביצוע בדיקות

```
public class Test {

   public static void main(String[] args) {
      IntCell x = null;
      IntCell y = new IntCell(5,x);
      y.printList();
      IntCell z = new IntCell(3,y);
      z.printList();
      z.setNext(new IntCell(2,y));
      z.printList();
      y.printList();
   }
}
```

מחלקה לביצוע בדיקות – הפלט

```
List: 5
List: 3 5
List: 3 2 5
List: 5
```

- איך ניצור מבנה מקושר של תווים? או של מחרוזות?
- יצירת מחלקה חדשה כגון `StringCell` או `CharCell` תשכפל הרבה מהלוגיקה הקיימת ב `IntCell`
- יש צורך **בהפשטת** הטיפוס `int` מטיפוס הנתונים `Cell`
- היינו רוצים **להכליל** את הטיפוס `Cell` לעבוד עם כל סוגי הטיפוסים

מחלקות ושרותים מוכללים (גנריים)

- החל מגירסא 1.5 (נקראת גם 5.0) ג'אווה מאפשרת הגדרת מחלקות גנריות ושרותים גנריים (Generics)
- מחלקה גנרית מגדירה **טיפוס גנרי**, שמציין אחד או יותר **משתני טיפוס** (type variables) בתוך סוגריים משולשים.
- עקב ההוספה המאוחרת לשפה (והדרישה שקוד שנכתב קודם יוכל לעבוד ביחד עם קוד חדש), ומשיקולים של יעילות המימוש, כללי השפה לגבי טיפוסים גנריים הם מורכבים.

מחלקות ושרותים מוכללים (גנריים)

- רעיון דומה קיים גם בשפת התכנות C++
  - ב C++ נקראת תכונה זו תבנית (template)

- דוגמא ראשונה – הכללה של המחלקה **`IntCell`** לייצוג תא שתוכנו מטיפוס פרמטרי **`T`**, כך שכל התאים ברשימה הם מאותו הטיפוס.

Cell <T>

```
public class Cell <T> {
    private T cont;
    private Cell <T> next;

    public Cell (T cont, Cell <T> next) {
        this.cont = cont;
        this.next = next;
    }
```

Cell <T>

```
public T cont() {
    return cont;
}

public Cell <T> next() {
    return next;
}

public void setNext(Cell <T> next) {
    this.next = next;
}
```

Cell <T>

```
public void printList() {
    System.out.print("List: ");
    for (Cell <T> y = this; y != null; y = y.next())
        System.out.print(y.cont() + " ");
    System.out.println();
  }
}
```

מה השתנה במחלקה?

- לכותרת המחלקה נוסף משתנה הטיפוס **`T`**
  - מקובל ששמות משתני טיפוס הם אות גדולה אחת אולם זו אינה דרישה תחבירית, ניתן לקרוא למשתנה הטיפוס בשם משמעותי
- הטיפוס שמוגדר הוא `Cell <T>`
- הטיפוס של כל שדה, פרמטר, משתנה זמני, וכל טיפוס מוחזר של שרות שהיה **`int`** יוחלף ב **`T`**
- הטיפוס של כל שדה, פרמטר, משתנה זמני, וכל טיפוס מוחזר של שרות שהיה `Cell` יוחלף ב `Cell<T>`

שימוש בטיפוס גנרי

- כדי להשתמש בטיפוס גנרי יש לספק, בהצהרה על משתנה, ובקריאה לבנאי, טיפוס קונקרטי עבור כל משתנה טיפוס שלו.
  - לדוגמא: `Cell <Integer>`

שימוש בטיפוס גנרי

- הטיפוס הקונקרטי חייב להיות **טיפוס הפנייה**, כלומר אינו יכול להיות פרימיטיבי.
- אם רוצים ליצור למשל תאים שתוכנם הוא מספר שלם, **לא ניתן** לכתוב `Cell <int>`
- לצורך זה נזדקק לטיפוסים עוטפים (wrapper type)

טיפוסים עוטפים (wrappers)

- לכל טיפוס פרימיטיבי קיים בג'אווה טיפוס הפנייה מתאים:
  - ל- **`float`** העוטף **`Float`** , ל- **`double`** העוטף **`Double`** וכו'
  - יוצאי דופן: **`int`** המתאים ל **`Integer`** , ו- **`char`** המתאים ל- **`Character`**
- כל הטיפוסים העוטפים מקובעים (immutable)
- הטיפוסים העוטפים שימושיים כאשר יש צורך בעצם (למשל ביצירת אוספים של ערכים, ובשימוש בטיפוס גנרי)

Boxing and Unboxing

- ניתן לתרגם טיפוס פרימיטיבי לטיפוס העוטף שלו (boxing) ע"י קריאה לבנאי המתאים:

```
char pc = 'c';
Character rc = new Character(pc);
```

- ניתן לתרגם טיפוס עוטף לטיפוס הפרימיטיבי המתאים (unboxing) ע"י שימוש במתודות xxxValue המתאימות:

```
Float rf = new Float(3.0);
float pf = rf.floatValue();
```

- ג'אווה 1.5 מאפשרת **מעבר אוטומטי** בין טיפוס פרימיטיבי לטיפוס העוטף שלו:

```
Integer i = 0;// autoboxing
int n = i;     // autounboxing
if(n==i)       // true
    i++;       // i==1
System.out.println(i+n); // 3
```

בחזרה לשימוש בטיפוס גנרי

- נראה מחלקה שמשתמשת ב <T> Cell , שהיא אנלוגית למחלקה שהשתמשה ב IntCell :

```
public class TestGen {

    public static void main(String[] args) {
        Cell <Integer> x = null;
        Cell <Integer> y = new Cell<Integer>(5,x);
        y.printList();
        Cell<Integer> z = new Cell <Integer>(3,y);
        z.printList();
        z.setNext(new Cell <Integer>(2,y));
        z.printList();
        y.printList();
    }
}
```

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 ממשת

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 הירושה (יחס ה-is-a)

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 הספציפי, 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> **<u>אינו</u>** 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;   //"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( );
    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 ירושה, טענות וחוזים

ירושה וטענות (assertions)

- תנאי קדם, תנאי בתר ושמורות שהוגדרו עבור מחלקה או מנשק תקפים גם לגבי צאצאי המחלקה (ומממשי 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 <u>שווה</u> או <u>חזקה יותר</u> משמורת הוריה
- בגלל מנגנון הפולימורפיזם, אי הקפדה על כלל זה עשויה ליצור בעיות במערכת התוכנה, כפי שנדגים מיד

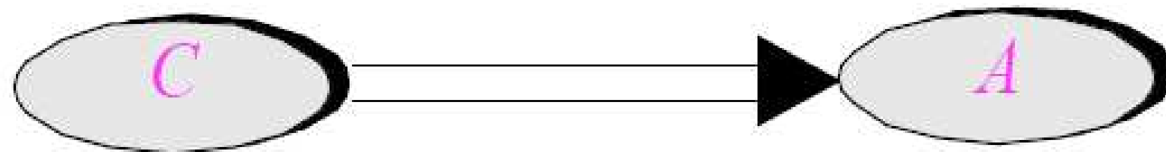
קבלנות משנה

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

  או

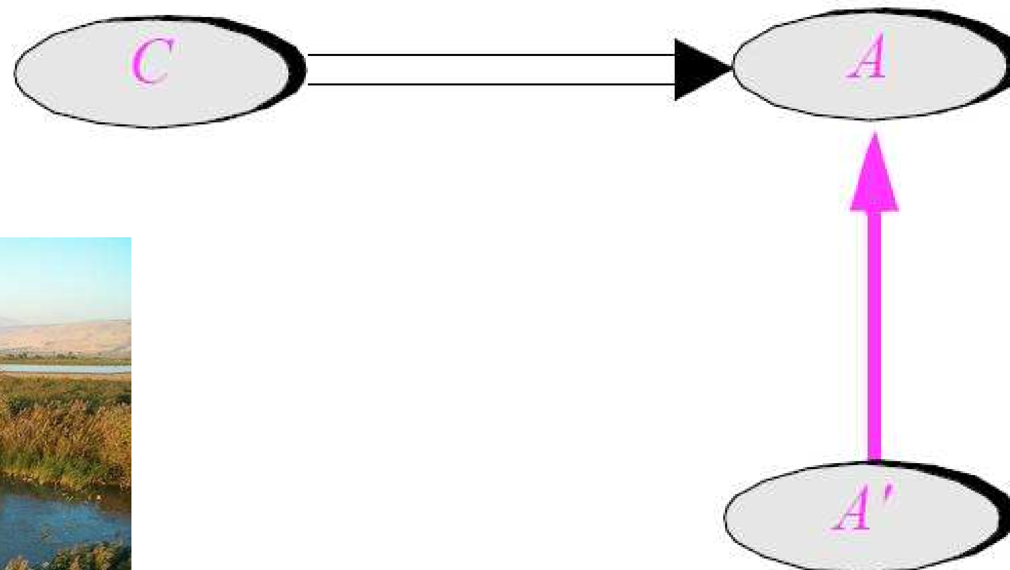
  - אחת המתודות של C מקבלת פרמטר מטיפוס A (הפנייה ל A)

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



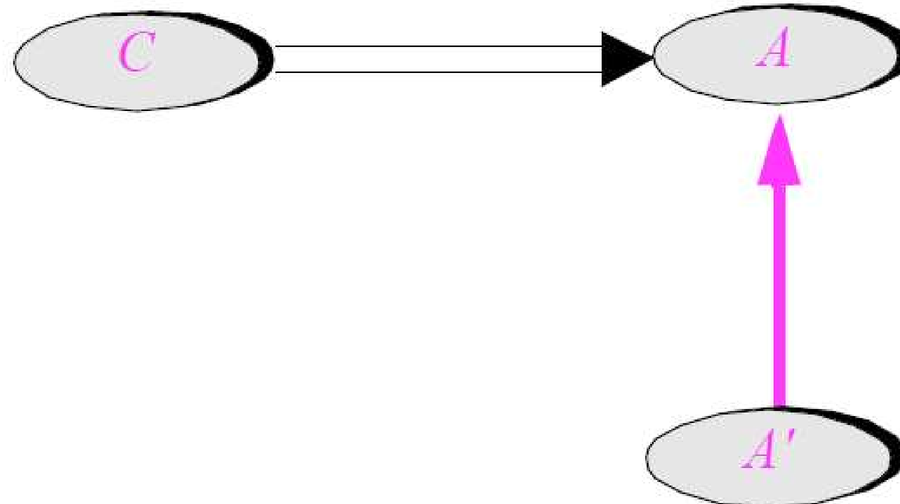
קבלנות משנה - השמורה

- 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?



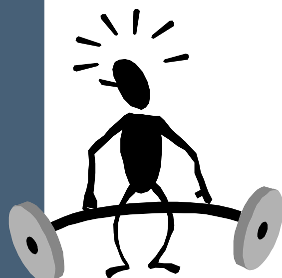

```
r is
   require
         α
   ...
   ensure
         β
   end

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

דוגמא

- בתוך המחלקה Client מופיע הקוד הבא:

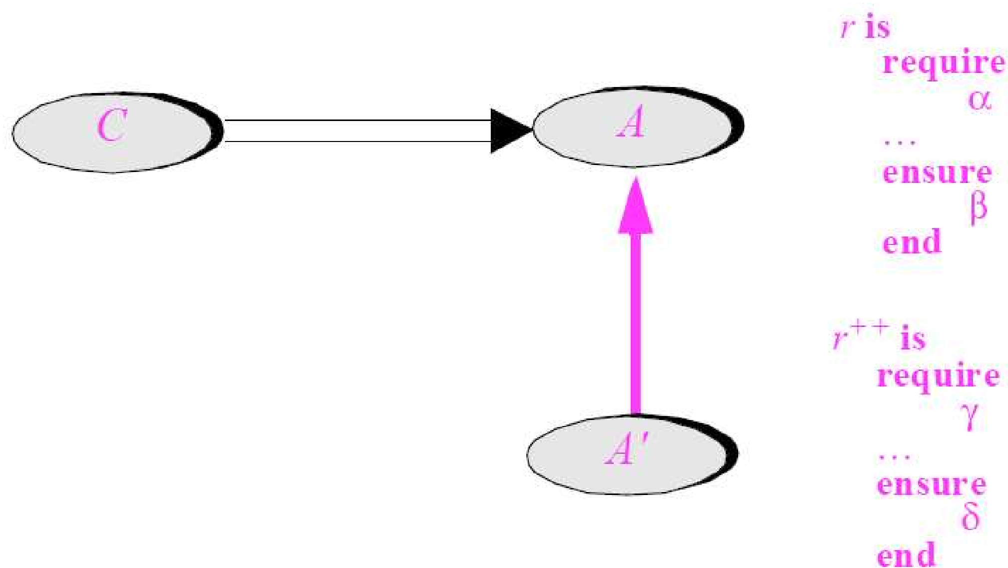
```
public class Client {
   ...
   public static void g(String[] args)
   {
        List<String> l = Arrays.asList(args);
        ...
   }
}
```

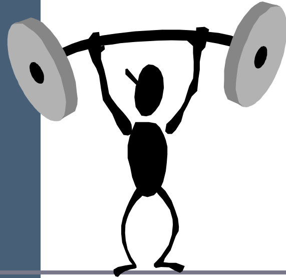
- בדוגמא זו **Client** הוא הלקוח (C) ו- **List** הוא הספק (A)
- ואולם ברור ש – **l** מצביע בפועל לעצם ממחלקה שמממשת את **List** (אולי **ArrayList**). מחלקה זו היא קבלנית משנה (A')
- הלקוח, שאינו מכיר את קבלן המשנה שלו, מצפה ממנו לעמוד בחוזה המקורי (החוזה מול הספק)



קבלנות משנה – תנאי קדם

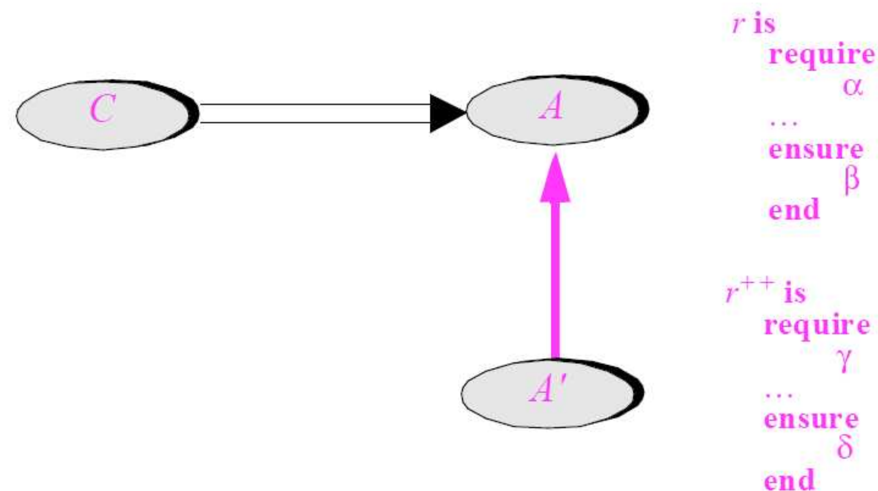
- נתבונן בקריאה `l.r()` המופיעה במחלקה C
- על C לקיים את תנאי הקדם של A.r(), היא כלל אינה מכירה את המחלקה A’ ואינה יודעת על קיום A’.r()
- לכן על תנאי הקדם המוגדר במחלקה הנגזרת להיות **שווה** או **חלש יותר** מתנאי הקדם המקורי





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 הירושה
- אם עבור רמה (מחלקה) מסוימת בעץ הירושה 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 הירושה

- אם עבור רמה (מחלקה) מסוימת בעץ הירושה 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 שהוגדרה מחדש במחלקה כלשהי הוא ה AND הלוגי של כל תנאי הבתר של מתודה זו בכל הוריה של אותה מחלקה לאורך עץ הירושה
- אם עבור רמה (מחלקה) מסוימת בעץ הירושה 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);
   ...
}
```

ירושה וחריגים

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

- 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]

שאלה מתוך מבחן

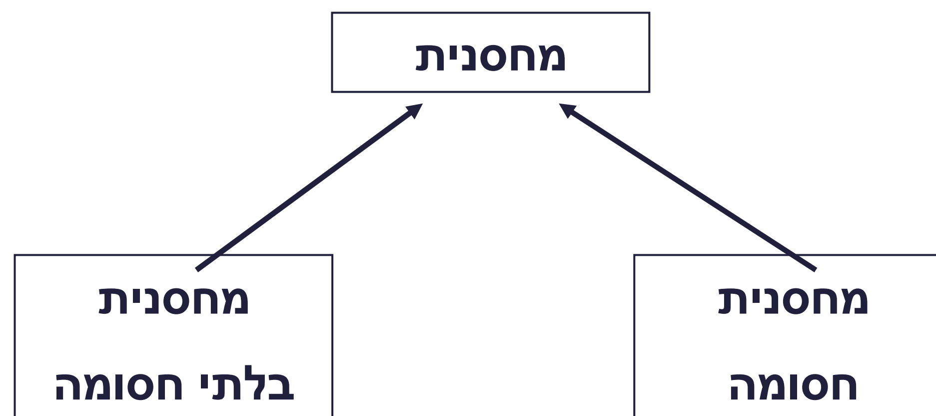
```
public class A {
   public float foo(float a, float b) throws IOException{
   }
}

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 ההירכיה בין 3 המחלקות: מחסנית, מחסנית חסומה, מחסנית בלתי חסומה ?



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

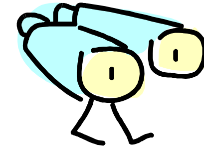
תנאי קדם מופשט

- 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 הירושה נקרא ***תנאי קדם מופשט***
- למרות שתנאי הקדם הקונקרטי אכן מתחזק ע"י המחסנית החסומה תנאי הקדם המופשט נשאר ללא שינוי

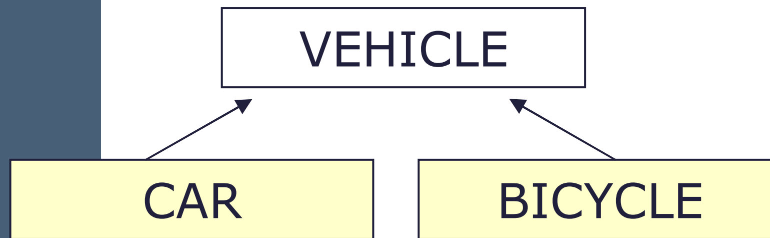
תנאי קדם מופשט

- 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

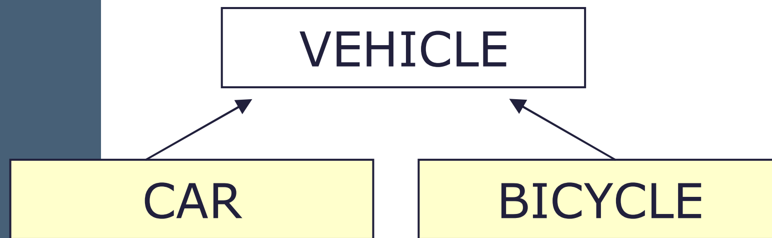


- האבולוציה של היררכית מחלקות כלי הרכב <u>לא מתחילה</u> בגזירת מחלקות קונקרטיות שיירשו מ VEHICLE
- הגיוני יותר שבמהלך מימוש ו\או עיצוב המחלקות CAR ו- AIRPLANE נגלה שיש להן הרבה מן המשותף, וכדי למנוע שכפול קוד ניצור מחלקה שלישית - VEHICLE שתכיל את החיתוך של שתיהן
- אף כלי רכב אינו רק VEHICLE
- בראייה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



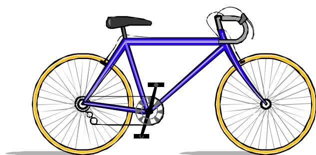
דוגמא

- 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"



ירושה זה רע

- ירושה היא מנגנון אשר חוסך קוד ספק
- פרט למנגנון הרב-צורתיות (polymorphism) ירושה היא סוכר תחבירי של הכלה ואינה הכרחית
  - במקום ש B יירש מ-A , ל- B יכולה להיות התכונה A (שדה)
- יחסי ירושה 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
- ירושה 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 ירושה

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;
    }
    ...
}
```

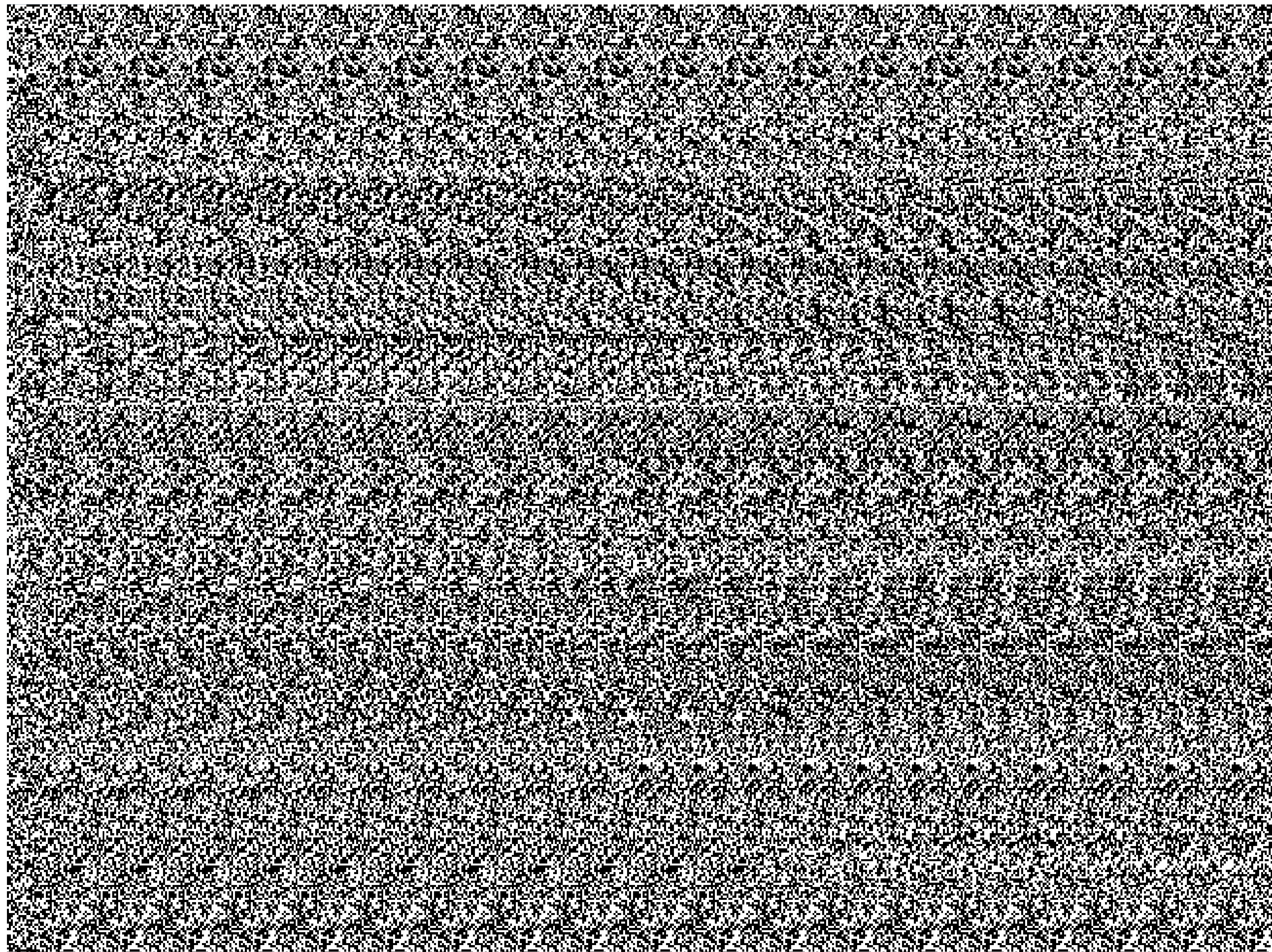
- ברור כי העיצוב לקוי – Rectangle is NOT a Square
- למשל **המשתמר** של Square צריך להכיל את `getLength()==getWidth()`
  - וברור כי **Rectangle** לא שומר על כך

אז אולי ריבוע יורש ממלבן?

Substitution principle doesn't hold!

- 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"

```
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;
    }

    ...
}
```



טענות (assertions)

- תחביר:

```
assert <boolean_expression> ;
assert <boolean_expression> : <detail_expression> ;
```

- אם הביטוי boolean_expression משתערך ל `false` התוכנית זורקת `AssertionError`
- הביטוי detail_expression הופך למחרוזת לתיאור מהות השגיאה

דוגמאות שימוש

- טענות מבטאות הנחות שיש למתכנת על הלוגיקה הפנימית בקטע קוד מסוים

- לדוגמא:
  - שמורה פנימית
  - שמורת מבני בקרה (control flow invariant)
  - שמורת מחלקה ותנאי בתר

שמורה פנימית

```
if (x > 0) {
   // do this
} else {
   // do that
}
```

אבל אם ידוע ש x אינו יכול להיות שלילי, עדיף:

```
if (x > 0) {
   // do this
} else {
   assert ( x == 0 );
   // do that, unless x is negative
}
```

שמורת מבני בקרה

```
switch (suit) {
   case Suit.CLUBS: // ...
   break;
   case Suit.DIAMONDS: // ...
   break;
   case Suit.HEARTS: // ...
   break;
   case Suit.SPADES: // ...
   break;
   default: assert false : "Unknown playing card suit";
   break;
}
```

שימוש ב assert לחוזים

- ניתן לבצע מעקב אחרי חוזים ע"י כתיבת שרות מיוצא כך:

```
public ... method(... ) {
  assert(pre1) : "pre1 in words";
  assert(pre2) : "pre2 in words";
  assert(inv1) : "inv1 in words";
  ... // the body of method
  assert(post1) : "post1 in words";
  assert(post2) : "post2 in words";
  assert(inv1) :  "inv1 in words";
}
```

שימוש ב assert לחוזים (המשך)

- pre1, pre2, .. הם פסוקים שונים של תנאי הקדם.
- post1, post2, .. הם פסוקים שונים של תנאי האחר.
- inv1, inv2, .. הם פסוקים שונים של המשתמר.

- זה אינו פתרון מספק:
  - המתכנת צריך לטפל בעצמו ב $prev ,
  - לכתוב את המשתמר פעמיים בכל שרות, ...
  - תנאי קדם של בנאי צריך להיבדק לפני הכניסה לבנאי

- זה אינו פתרון אידיאלי. עדיף כלי שנועד לחוזים. אבל אם אין ברשותנו כלי, ניתן להשתמש חלקית במשפטי assert

כלים לתמיכה בחוזים

- כלי שמתרגם את החוזה שכתבנו בתוך הערות ה doc ויוצר עבורנו משפטי assert (או משפטים דומים).
- הכלי צריך גם לקחת חוזה ממנשק או מחלקה ממנה ירשנו ולהוסיף את החלק המחזק/מחליש
- לחליפין, הכלי יבדוק שהחוזה במחלקה היורשת מחזק את תנאי הבתר ומחליש את תנאי הקדם (בשיעור הבא)
- רצוי שהכלי יציג את החוזה ויבחין בעצמו בין החלק המיוצא של החוזה לחלק החסוי.
- הכלים שידועים לנו, חלקם חינם וחלקם מסחריים הם: JMSAssert, iContract, jContractor, Handshake, JML, Jass, JPP, Jose

דוגמא נאיבית

- כלי אכיפה נאיבי יבצע גזירה (parsing) של משפטי החוזה מתוך הטענות, והדבקה (instrumentation) שלהם במקום המתאים

- לדוגמא, הקוד הבא:

```
/** @post getValue() == newValue, “value is updated”*/
public void setValue(int newValue) {
    val = newValue;
}
```

- יהפוך ל:

```
public void setValue(int newValue) {
    val = newValue;
    assert(getValue() == newValue : “value is updated”);
}
```

טענות וביצועים

- כברירת מחדל אכיפת הטענות אינה מאופשרת
- יש לאפשר זאת במפורש:

```
> java -enableassertions MyProgram
```

או

```
> java -ea MyProgram
```

- ניתן לשלוט באכיפת טענות עבור מחלקה מסויימת, חבילה או היררכיית חבילות. הפרטים המלאים:

http://java.sun.com/j2se/1.5.0/docs/guide/language/assert.html