# תכנות מונחה עצמים בשפת C++
# ירושה

אוהד ברזילי
אוניברסיטת תל אביב

## ירושה

המצגת מכילה קטעים מתוך מצגת של פרופ' עמירם יהודאי ע"פ הספר:
Object-Oriented Software Construction, 2nd edition,
by Bertrand Meyer (Prentice Hall) .

## ירושה

- מספקת שימוש חוזר ויכולת הרחבה
- יחסים בין מחלקות: מחלקה יכולה להיות הרחבה, צמצום או הרכבה של מחלקה או מחלקות אחרות
- דוגמא: מצולעים ומלבנים



## class POLYGON

```
/**
 * @inv: same_count_as_implementation:
 *                          count == vertices.size()
 * @inv: at_least_three: count >= 3
 */
class POLYGON
{
public:
  /** constructor */
  POLYGON(int n) : count(n) { /* ... */ }

  /** Number of vertices */
  const int count;

  /** Length of perimeter */
  float perimeter() const { /* ... */ }
```

# class POLYGON

```
   /** Display polygon on screen */
   void display() const { /* ... */ }

   /** Rotate by angle around center */
   void rotate(POINT center, float angle)
   { /* ...  */ }

   /** Move by a horizontally, b vertically */
   void translate(float a, float b) { /* ... */ }

 private:
   /** Successive points making up polygon */
   list<POINT> vertices;
 };
```



# דוגמא למימוש המתודות

```
void POLYGON::rotate(POINT center, float angle)
{
   for(list<POINT>::iterator iter = vertices.begin();
                         iter != vertices.end(); iter++)
   {
       POINT& p = *iter;
       p.rotate(center, angle);
   }

}
```

# דוגמא למימוש המתודות

```
/** Length of the perimeter */
float POLYGON::perimeter() const
{
   POINT  curr, prev;
   float  rslt = 0.0;

   list<POINT>::const_iterator iter = vertices.begin();
   prev = curr = *iter;
   iter++;
   while(iter != vertices.end())
   {
        curr = *iter;
        rslt += curr.distance(prev);
        prev = curr;
        iter++;
   }
   rslt += vertices.back().distance(vertices.front());
   return rslt;
}
```

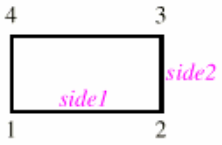


# RECTANGLE יורש מ POLYGON

```
/** class RECTANGLE
 *  @inv: four_count: count == 4
 *  @inv: first_side:
 *       vertices.begin()->distance(*(vertices.begin()++)) == side1
 *  3 more like this for the other sides...
 */
class RECTANGLE : public POLYGON
{
public:
   /** set up rectangle centered at center,
    *  with side lengths s1 and s2 and orientation angle
    */
   RECTANGLE(POINT center, float s1, float s2, float angle)
   { /* ... */ }

   /** Length of the perimeter. Redefinition
    */
   float perimeter() const
   {
        return 2 * (side1 + side2);
   }
```

# RECTANGLE יורש מ POLYGON

```
...

private:
  /** The two side lengths */
  float side1, side2;

  /** Length of diagonal */
  float diagonal;

};
```



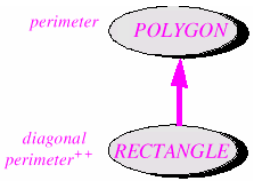



# מלבן ומצולע

- כל תכונות המצולע (המתודות) עדיין תקפות לגבי מלבן:
  - היקף (שהוגדרה מחדש)
  - קודקודים
  - סיבוב
  - הזזה
  - ...

## מונחי ירושה

- אם B יורש מ-A אזי A הוא ההורה של B ו- B נקרא צאצא (ישיר) של A
- בטרמינולוגיה נוספת A נקרא מחלקת הבסיס (base) ו-B נקרא מחלקה נגזרת (derived)
- בטרמינולוגיה שלישית A נקרא מחלקת-על (super) ו-B תת מחלקה (subclass)
- ב JAVA מקובל לאמר כי B מרחיבה (extends) את A






## הגדרות נוספות

- כל תכונה של מחלקה (שדה \ מתודה) **הוגדרה** במחלקה או **נורשה** ממחלקת בסיס כלשהי
- השמורה (class invariant) של המחלקה היא תוצאת ה AND הלוגי של שמורת המחלקה עצמה עם שמורת מחלקת (או מחלקות) הבסיס אם קיימת (קיימות)
- בנאים אינם עוברים בירושה

## רב צורתיות - polymorphism

- היכולת של מצביע להתייחס בזמן ריצה לעצמים ממחלקות שונות
- תכונה זו מושגת בעזרת ירושה
- העצם המוצבע אינו משנה את טיפוסו. מצביע לטיפוס מסוים עשוי להצביע בפועל לטיפוס ממחלקה נגזרת
- כאשר עצם מטיפוס מסוים מקבל השמה של עצם מטיפוס נגזר, אין כאן polymorphism מלא, אלא פריסה (slicing)

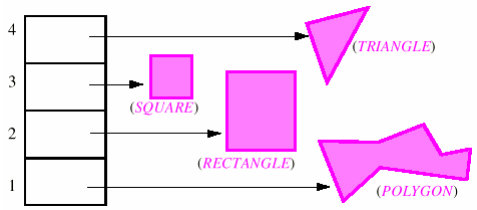


## דוגמא

```
void f(POLYGON p, RECTANGLE r, TRIANGLE t)
{
   POLYGON *pp;
   RECTANGLE *pr;
   TRIANGLE *pt;

   pp = &p;
   pp = &r;
   pp = &t;

   pr = &p;     // ERROR
   pr = &r;
   pr = &t;     // ERROR

   pt = &p;     // ERROR
   pt = &r;     // ERROR
   pt = &t;

   p = r;       // SLICING
   p = t;       // SLICING
}
```

## מבנה נתונים פולימורפי

- מבנה נתונים המכיל אברים מטיפוסים שונים, כולם צאצאים של אב משותף
- לדוגמא: מערך של מצולעים המכיל בפועל סוגים של מצולעים






## מבנה נתונים פולימורפי

```
int j;
float a,b;
...

void g(POLYGON *p, RECTANGLE *r, TRIANGLE *t, SQUARE *s)
{
   vector<POLYGON *> poly_arr;

   poly_arr[0] = p;
   poly_arr[1] = r;
   poly_arr[2] = s;
   poly_arr[3] = t;
   poly_arr.at(j)->rotate(a,b);
}
```

## העברת ארגומנטים למתודה

- השמה של מצביעים מתרחשת בצורה מרומזת בכל פעם שאנו מעבירים מצביע כארגומנט לפונקציה
- זוהי השמה של הטיפוס האקטואלי לטיפוס הפרמטר הפורמלי
- גם השמה זו צריכה לציית לכללי הפולימורפיזם



## העברת ארגומנטים למתודה

```
void expecting_polygon(POLYGON *p);
void expecting_rectangle(RECTANGLE *r);

void f()
{
   POLYGON p;
   RECTANGLE r;
   TRIANGLE t;

   expecting_polygon(&p); // OK
   expecting_polygon(&r); // Also good

   expecting_rectangle(&r); // OK
   expecting_rectangle(&p); // Error
   expecting_rectangle(&t); // Error
}
```

## זימון מתודה

- בקריאה x.f , כאשר x **מבוסס על** טיפוס C , התכונה f (מתודה או שדה) חייבת להיות מוגדרת ב-C או באחד מאבותיו הקדמונים עם הרשאות גישה מתאימות

- טיפוס T מבוסס על טיפוס C אם:
  - אם C אינו תבנית אזי T זהה ל C
  - אם C הינו תבנית אזי T הוא כל גזירה תבניתית של C. לדוגמא: הטיפוס vector<POLYGON> מבוסס על הטיפוס vector

- דבר זה נבדק בזמן קומפילציה



## זימון מתודה - דוגמא

```
void h(POLYGON *p, RECTANGLE *r)
{
  p->perimeter();     //  legal
  r->diagonal;        //  illegal
  r->perimeter();     //  legal
  p->side1;           //  illegal
}
```

## ציות לכלל הטיפוס

- בהשמה x=y הטיפוס של y חייב **להתאים** (לציית - conform) לטיפוס של x
- x ו-y עשויים להיות פרמטר פורמלי ואקטואלי של פונקציה
- טיפוס U מתאים לטיפוס T רק אם מחלקת הבסיס של של U היא צאצא של T.
- כל הארגומנטים האקטואלים המועברים לפונקציה חייבים להיות צאצאים של הפרמטרים הפורמלים שלהם



## מופע ישיר

- **מופע ישיר** של מחלקה C הוא עצם שנוצר ע"י בנאי של C
- **מופע** של מחלקה C הוא מופע ישיר של אחד מהצאצאים של C
- מצביע למחלקה מטיפוס T עשוי בזמן ריצה להצביע למופע של T
- ניתן לתאר זאת ע"י הפרדה בין טיפוס סטטי וטיפוס דינאמי

## טיפוס סטטי ודינמי

- טיפוס סטטי של עצם הוא הטיפוס שהוגדר (בהכרזה על הטיפוס) עבורו
- טיפוס דינאמי של עצם הוא הטיפוס שלפיו נוצר העצם (טיפוס הבנאי). טיפוס דינאמי של עצם הוא קבוע ואינו יכול להשתנות לאורך חיי העצם
- הטיפוס הדינאמי של מצביע או הפנייה הוא הטיפוס הדינאמי של העצם המוצבע
- הטיפוס הדינאמי של מצביע או הפנייה חייב להיות נגזרת של הטיפוס הסטטי שלו



## טיפוס סטטי ודינמי של מצביעים

```
POLYGON *p;
RECTANGLE *r;

p = new POLYGON();
r = new RECTANGLE();

p = r;  // p's static type remains POLYGON,
        // its dynamic type is now RECTANGLE
```

## טיפוס סטטי ודינמי של הפניות*

```
POLYGON& p = *(new POLYGON());
RECTANGLE& r = *(new RECTANGLE());

p = r; // p's static type remains POLYGON,
       // its dynamic type is now RECTANGLE
```

* ב ++C כמעט ולא משתמשים בהפניות, מחוץ להקשר של העברה by reference



## קשירה דינאמית
## (dynamic binding)

- בקריאה למתודה של עצם, המתודה שתקרא תתבסס על הטיפוס הדינאמי של העצם. הטיפוס בזמן ריצה
- ברירת המחדל של שפת ++C היא קשירה סטטית. כדי ליצור קשירה דינאמית של פונקציות יש להגדיר אותן כ- virtual. פרטים בתרגול.
- לדוגמא: נרצה לחשב את ההיקף של מצולע כלשהו. בזמן קומפילציה אנו עוד לא יודעים איזה מצולע יוצבע בזמן ריצה

## קשירה דינאמית
## (dynamic binding)

```
POLYGON *p;
...

if (chosen_icon == rectangle_icon)
   p = new RECTANGLE();
else if (chosen_icon == triangle_icon)
   p = new TRIANGLE();
else if ...

...
p->perimeter(); // will use feature perimeter
                // according to the dynamic type.
```



## הגדרה מחדש של תכונות

- תכונה שהוגדרה מחדש (override) במחלקה נגזרת מסתירה את התכונה ממחלקת הבסיס
- על הגדרה מחדש לא לשנות את **המשמעות** המקורית של המתודה שאותה היא מגדירה מחדש, אלא רק את **המימוש**
- על החוזה של מחלקת הבסיס להיות מושפע מחוזה מחלקת הבסיס (פרטים בהרצאה על קבלנות משנה)
- קישוריות דינאמית מוסיפה תקורת זמן ריצה קבועה ובלתי תלויה בעומק עץ הירושה (פרטים בתרגול)

## מחלקות מופשטות - מוטיבציה

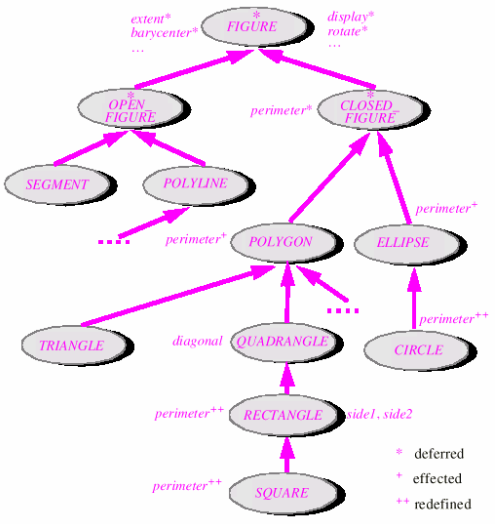
- ברצוננו לתאר מבחר צורות פתוחות וסגורות
- פעולת ההזזה רלוונטית לגבי כולן, אולם איך נממש אותה?

```
class FIGURE {
public:
  /** Move by a horizontally, b vertically*/
  virtual void translate(float,float)
  {
      error("FIGURE::translate"); // inelegant
  }
  // ...
};
```

- ברור שלמחלקות מסוימות שיורשות מ FIGURE יהיה מימוש, אבל ל translate אין מימוש כללי.
- נרצה למנוע קוד כזה:

```
FIGURE f; // silly: “shapeless FIGURE”
```

## היררכיית הטיפוס FIGURE



## מחלקות מופשטות (דחויות)

- מחלקה אשר לא ניתן לייצר ממנה מופע נקראת מחלקה מופשטת (abstract class)
- בשפות מונחות עצמים אחרות היא מכונה:
  - JAVA:
    - ללא מימוש כלל: ממשק (interface)
    - מימוש חלקי: מחלקה מופשטת (abstract)
  - Eiffel: מחלקה דחויה (deferred)
- תחבירית, ב C++ מחלקה מופשטת היא מחלקה עם **מתודה וירטואלית טהורה** אחת לפחות שהוגדרה בה או שנורשה ממחלקת בסיס ולא ניתן לה מימוש



## פונקציות וירטואליות טהורות

```
class Shape { // abstract class
public:
   virtual void rotate(int) = 0 ; // pure virtual function
   virtual void draw() = 0 ; // pure virtual function
   virtual bool is_closed() = 0 ; // pure virtual function
   // ...
};
```

## הגדרה מחדש

- ישנם שני סוגים של הגדרה מחדש:
  - מימוש תכונה קיימת במחלקת הבסיס – המימוש המחודש מסתיר את המימוש המקורי
  - מימוש תכונה מדומה (וירטואלית) – במחלקת הבסיס הוכרזה רק **המשמעות** של התכונה ללא מימוש
- ב ++C אין הבדל תחבירי בין 2 הסוגים
- תכונות ממומשות במחלקה נקראות התכונות **האפקטיביות** שלה
- מחלקה נגזרת יכולה להפוך תכונה אפקטיבית ללא זמינה ע"י שינוי הרשאת הגישה לתכונה זו (מ public ל-private)



## סמנטיקה של מחלקות מופשטות

- ניתן לבטא משמעות של תכונות ע"י טענות
- ניתן לממש תכונות (אפקטיביות) בעזרת תכונות דחויות (וירטואליות) שעוד לא מומשו
- לדוגמא: מחסנית

# STACK

```
/** specification of STACK
 *  @inv: count_non_negative: 0 <= count()
 *  @inv: empty_if_no_elements: empty() ==  (count() == 0)
 */
template <class T>
class STACK
{
public:

   /** Number of stack elements */
   virtual int count() = 0;

   /** Top element
    *  @pre: !empty()
    */
    virtual T top() = 0;
```



# STACK

```
/** Is stack empty? */
bool empty()
{
   return (count()==0);
}

/** Is stack full? */
virtual bool full() = 0;

/** Add x on top
 *  @pre: !full()
 *  @post: !empty() && top() == x
 *  @post: count() == $prev(count())+1
 */
virtual void push(T x) = 0;
```

# STACK

```
   /** Remove top element
    *  @pre: !empty()
    *  @post: !full()
    *  @post: count() == $prev(count)-1
    */
    virtual void pop() = 0;

   /** Replace top element by x -- not deferred!!
    *  @pre: !empty()
    *  @post: !empty()
    *  @post: top() == x
    *  @post: count() == $prev(count)
    */
   void change_top(T x)
   {
        pop();
        push(x);
   }
};
```



# אפקטיביות של תכונה כשדה

- בשפות שבהן אין הבדל תחבירי בין פונקציות חסרות פרמטרים ובין שדות, ניתן היה לממש תכונה וירטואלית טהורה חסרת פרמטרים במחלקת בסיס גם כשדה במחלקה הנגזרת
- ב C++ הדבר אינו תקף

## משמעות של ירושה

- מודול – הרחבה
  - ירושה של תכונות, הוספת תכונות, שינוי מימוש
  - העקרון הסגור-פתוח
- טיפוס – ייחוד (specialization)
  - יחס is-a. לדוגמא: כלב הוא חיית מחמד
  - ארכיטקטורת תוכנה מבוזרת



## שימוש במחלקות מופשטות

- כטיפוס נתונים מופשט – ללא מגבלות מימוש
- כמימוש חלקי – ע"י שימוש במחלקות ביניים
- שיתוף ההתנהגות המשותפת. אפשרות לשימוש בהתקשרות חוזרת (callback). לדוגמא: מתודות אפקטיביות אשר משתמשות במתודות דחויות שיוגדרו בשלב מאוחר יותר (אולי ע"י היישום)
- תוכנית עם "חורים"
- מאפשר הבנה וניתוח תוכניות בשפת התוכנית ללא צורך בשפה המתארת מערכות תוכנה (כגון UML)