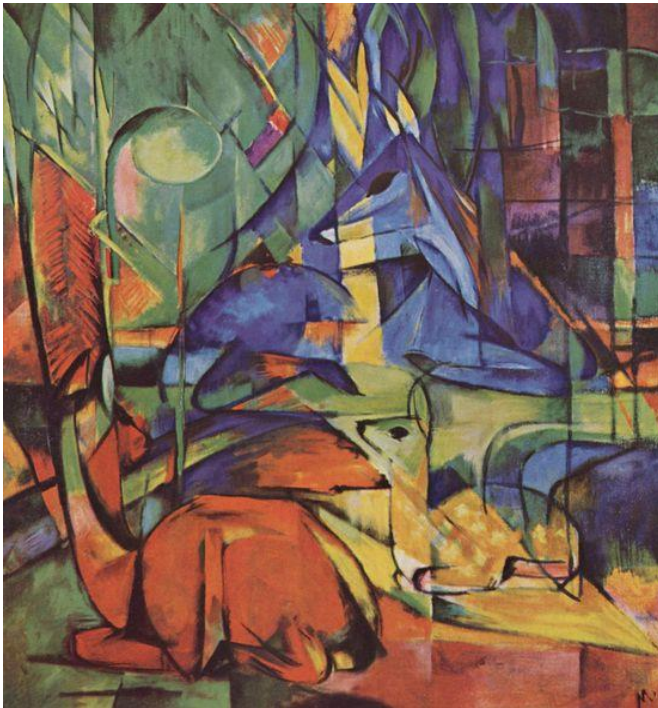


Java: Εισαγωγή, ιεραρχίες κλάσεων και κληρονομικότητα

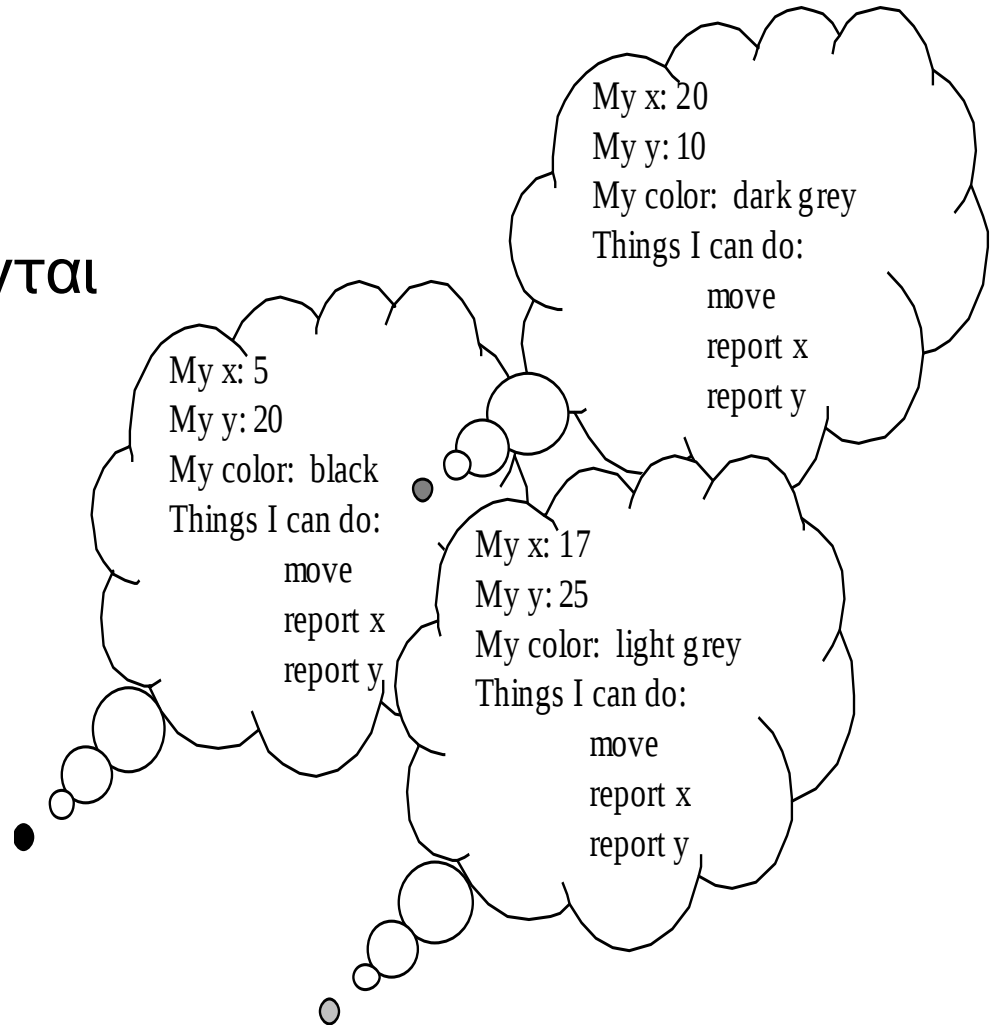


Franz Marc, *Rehe im Walde (II)*, 1913-14 και *Fate of the animals*, 1913

Κωστής Σαγώνας <kostis@cs.ntua.gr>
Ζωή Παρασκευοπούλου <zoepar@softlab.ntua.gr>

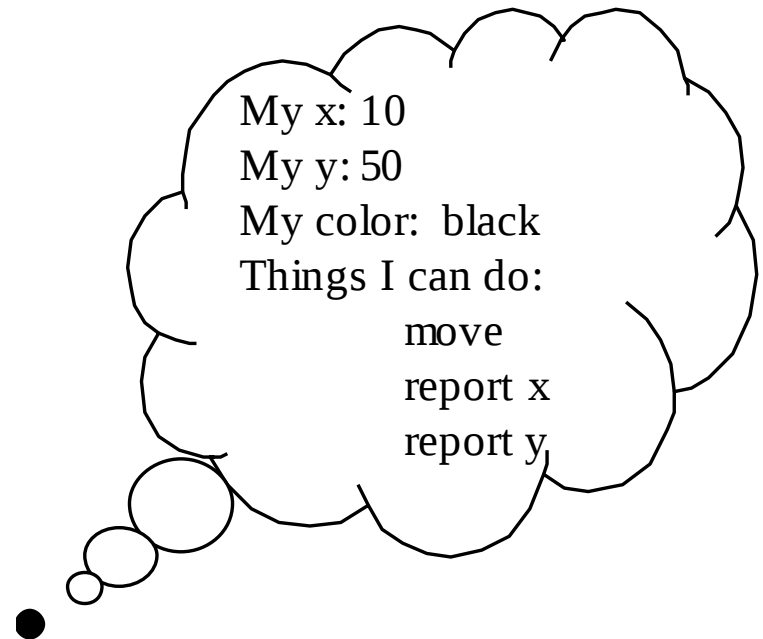
Παράδειγμα αντικειμενοστρεφούς τρόπου σκέψης

- Έγχρωμα σημεία στην οθόνη
- Τι δεδομένα αποθηκεύονται στο καθένα;
 - Οι συντεταγμένες του
 - Το χρώμα του
- Τι θέλουμε να μπορεί να κάνει το κάθε σημείο;
 - Να μετακινηθεί
 - Να αναφέρει τη θέση του



Η ορολογία της Java

- Κάθε σημείο είναι ένα **αντικείμενο (object)**
- Που περιλαμβάνει τρία **πεδία (fields)**
- Έχει τρεις **μεθόδους (methods)**
- Και κάθε αντικείμενο είναι ένα **στιγμιότυπο (instance)** της ίδιας **κλάσης (class)**



Αντικειμενοστρεφές στυλ προγραμματισμού

- Διαδικαστικός προγραμματισμός (π.χ. C): *το πρόγραμμα ξέρει πώς να μετακινήσει ένα σημείο*
 - αν αλλάξω την αναπαράσταση του σημείου, αλλάζει το πρόγραμμα
- Αντικειμενοστρεφής προγραμματισμός: *το σημείο ξέρει πως να μετακινήσει τον εαυτό του*
 - αν αλλάξω την αναπαράσταση του σημείου, αλλάζει ο ορισμός της κλάσης, αλλά όχι ο κώδικας που τη χρησιμοποιεί
- Η επίλυση προβλημάτων γίνεται μέσω αντικειμένων που αλληλοεπιδρούν

Αντικειμενοστρεφές στυλ προγραμματισμού

- Αντικείμενα:
 - μονάδες από δεδομένα (πεδία) και κώδικα (συμπεριφορά)
 - κάθε αντικείμενο έχει μια κατάσταση (state) που μπορεί να μεταβληθεί καλώντας τις μεθόδους του
- **Encapsulation** (ενθυλάκωση)
 - ομαδοποίηση δεδομένων και μεθόδων περιορίζοντας την πρόσβαση στα δεδομένα από τα εξωτερικά μέρη του προγράμματος
- **Abstraction** (αφαίρεση)
 - απόκρυψη λεπτομερειών υλοποίησης, παρέχοντας μόνο μια σαφή διεπαφή

Παράδειγμα ορισμού κλάσης στη Java

```
public class Point {  
    private int x,y;  
    private Color myColor;  
}
```

field definitions

```
    public int currentX() {  
        return x;  
    }
```

```
    public int currentY() {  
        return y;  
    }
```

```
    public void move(int newX, int newY) {  
        x = newX;  
        y = newY;  
    }
```

```
}
```

method definitions

Πρωτόγονοι τύποι της Java

- **char**: $0..2^{16}-1$, γράφονται ως 'a', '\n', ..., με χρήση του συνόλου χαρακτήρων Unicode
- **byte**: $-2^7..2^7-1$
- **short**: $-2^{15}..2^{15}-1$
- **int**: $-2^{31}..2^{31}-1$, γράφονται με το συνηθισμένο τρόπο
- **long**: $-2^{63}..2^{63}-1$, γράφονται με χρήση ενός L στο τέλος
- **float**: IEEE 32-bit standard, γράφονται με χρήση ενός F στο τέλος
- **double**: IEEE 64-bit standard, γράφονται ως αριθμοί κινητής υποδιαστολής (π.χ., 1.2, 1.2e-5, ή 1e3)
- **boolean**: true και false
- Εκκεντρικοί τύποι: **void** και **null**

Κατασκευαζόμενοι τύποι στη Java

- Είδη Κατασκευαζόμενων Τύπων
 - Πίνακες (Arrays). Π.χ. `Point[]` ή `int[]`
 - Κλάσεις (Classes)
 - Διαπροσωπείες (interface)
- Όλοι οι κατασκευαζόμενοι τύποι είναι **τύποι αναφορών** (**reference types**)
 - Η τιμή μιας μεταβλητής τύπου αναφοράς είναι μια αναφορά που δείχνει θέση μνήμης όπου βρίσκεται η τιμή
 - Η τιμή ενός τύπου αναφοράς που δεν δείχνει σε τίποτα: `null`

Συμβολοσειρές (strings)

- Προκαθορισμένος τύπος αλλά όχι πρωτόγονος: η κλάση **String**
- Μια σειρά από χαρακτήρες που περικλείονται από διπλές αποστρόφους και συμπεριφέρονται σα μια σταθερή συμβολοσειρά
- Αλλά στην πραγματικότητα είναι ένα στιγμιότυπο της κλάσης **String**, δηλαδή ένα αντικείμενο που περιέχει τη συγκεκριμένη σειρά χαρακτήρων



Κλήσεις μεθόδου στιγμιότυπου (instance method)

Έκφραση Java	Τιμή
<code>s.length()</code>	το μήκος του String <code>s</code>
<code>s.equals(r)</code>	true εάν <code>s</code> και <code>r</code> είναι ίδια και false εάν όχι
<code>r.equals(s)</code>	το ίδιο με το παραπάνω
<code>s.toUpperCase()</code>	ένα αντικείμενο String που είναι το String <code>s</code> αλλά με κεφαλαία
<code>s.charAt(3)</code>	η τιμή του χαρακτήρα στη θέση 3 στο String <code>s</code> (δηλαδή, ο τέταρτος του χαρακτήρας)
<code>s.toUpperCase().charAt(3)</code>	η τιμή του χαρακτήρα στη θέση 3 στο String <code>s</code> με όλα κεφαλαία

Εκφράσεις δημιουργίας αντικειμένων

- Δημιουργία ενός νέου αντικειμένου το οποίο είναι στιγμίοτυπο κάποιας συγκεκριμένης κλάσης

```
<creation-expression> ::= new <class-name>  
                                (<parameter-list>)
```

- Οι παράμετροι περνιούνται σε έναν **κατασκευαστή (constructor)** – κάτι σαν μια ειδική μέθοδο της κλάσης

Έκφραση Java	Τιμή
new String()	ένα νέο String με μήκος μηδέν
new String(s)	ένα νέο String που περιλαμβάνει ένα αντίγραφο του String s
new String(chars)	ένα νέο String που περιλαμβάνει τους χαρακτήρες από τον πίνακα chars

Δεν υπάρχει τρόπος να καταστρέψουμε αντικείμενα

- Τα αντικείμενα δημιουργούνται με κλήση της **new**
- Όμως δεν υπάρχει άμεσος τρόπος να τα καταστρέψουμε ή να αποδεσμεύσουμε τη μνήμη που καταλαμβάνουν
- Αυτό γίνεται αυτόματα μέσω συλλογής σκουπιδιών (garbage collection)
- Αποφυγή λαθών που οφείλονται σε λάθος διαχείριση μνήμης

Κλήσεις μεθόδου κλάσης (class method calls)

- Οι **μέθοδοι μιας κλάσης (class methods)** ορίζουν λειτουργίες που η κλάση ξέρει πώς να κάνει.
- Δεν καλούνται για συγκεκριμένα αντικείμενα της κλάσης
- Μοιάζουν με τις συνήθεις κλήσεις συναρτήσεων σε μη αντικειμενοστρεφείς γλώσσες
- Οι κλάσεις χρησιμεύουν ως τόποι ονομάτων
- Δηλώνονται με τη λέξη **static** (όπως και στη C++)

Έκφραση Java	Τιμή
<code>String.valueOf(1==2)</code>	"false"
<code>String.valueOf(6*7)</code>	"42"
<code>String.valueOf(1.0/3.0)</code>	"0.33333333333333333333"

Γενικές πληροφορίες για τελεστές στη Java

- Όλοι οι τελεστές είναι αριστερά προσεταιριστικοί, εκτός από την ανάθεση
- Υπάρχουν 15 επίπεδα προτεραιότητας
 - Κάποια επίπεδα είναι προφανή: π.χ. ο τελεστής `*` έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από τον τελεστή `+`
 - Άλλα επίπεδα είναι λιγότερο προφανή: π.χ. ο τελεστής `<` έχει μεγαλύτερη προτεραιότητα από τον `!=`
- Επιτρέπονται πολλοί εξαναγκασμοί μετατροπής τύπου
 - Από `null` σε κάθε τύπο αναφοράς
 - Κάθε τιμή μπορεί να μετατραπεί σε `String` σε κάποια συνένωση
 - Ένας τύπος αναφοράς σε έναν άλλον (κάποιες φορές)

Παράδειγμα ορισμού κλάσεων: μία απλά συνδεδεμένη λίστα

Παράδειγμα κλάσης: ConsCell

```
/**
 * A ConsCell is an element in a linked list of ints.
 */
public class ConsCell {
    private int head;          // the first item in the list
    private ConsCell tail;    // rest of the list, or null

    /**
     * Construct a new ConsCell given its head and tail.
     * @param h the int contents of this cell
     * @param t the next ConsCell in the list, or null
     */
    public ConsCell(int h, ConsCell t) {
        head = h;
        tail = t;
    }
}
```

```
/**
 * Accessor for the head of this ConsCell.
 * @return the int contents of this cell
 */
public int getHead() {
    return head;
}

/**
 * Accessor for the tail of this ConsCell.
 * @return the next ConsCell in the list, or null
 */
public ConsCell getTail() {
    return tail;
}
}
```

Χρήση της κλάσης `ConsCell`

- Είναι αντίστοιχης λειτουργίας με το `cons` της ML
- Θέλουμε οι λίστες στη Java να είναι αντικειμενοστρεφείς: όπου η ML εφαρμόζει `::` σε μια λίστα, το αντικείμενο-λίστα σε Java πρέπει να είναι σε θέση να εφαρμόσει τη μέθοδο `ConsCell` στον εαυτό του
- Η ML εφαρμόζει `length` σε μια λίστα. Οι λίστες σε Java πρέπει να είναι σε θέση να υπολογίσουν το μήκος τους
- Κατά συνέπεια, δε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε `null` για την κενή λίστα

```

/**
 * An IntList is a list of ints.
 */
public class IntList {
    private ConsCell start; // list head, or null

    /**
     * Construct a new IntList given its first ConsCell.
     * @param s the first ConsCell in the list, or null
     */
    public IntList(ConsCell s) {
        start = s;
    }

    /**
     * Cons the given element h onto us and return the
     * resulting IntList.
     * @param h the head int for the new list
     * @return the IntList with head h, and us as tail
     */
    public IntList cons (int h) {
        return new IntList(new ConsCell(h, start));
    }
}

```

```
/**
 * Get our length.
 * @return our int length
 */
public int length() {
    int len = 0;
    ConsCell cell = start;
    while (cell != null) { // while not at end of list
        len++;
        cell = cell.getTail();
    }
    return len;
}
}
```

Χρήση της IntList

ML:

```
val a = nil;  
val b = 2::a;  
val c = 1::b;  
val x = (length a) + (length b) + (length c);
```

Java:

```
IntList a = new IntList(null);  
IntList b = a.cons(2);  
IntList c = b.cons(1);  
int x = a.length() + b.length() + c.length();
```

Τι είναι μια αναφορά;

- Μια **αναφορά (reference)** είναι μια τιμή που προσδιορίζει μονοσήμαντα κάποιο συγκεκριμένο αντικείμενο

```
public IntList(ConsCell s) {  
    start = s;  
}
```

- Αυτό που περνάμε ως όρισμα στον κατασκευαστή `IntList` δεν είναι ένα αντικείμενο – είναι μια αναφορά σε ένα αντικείμενο
- Αυτό που αποθηκεύεται στη μεταβλητή `start` δεν είναι ένα αντίγραφο του αντικειμένου αλλά μια αναφορά στο συγκεκριμένο αντικείμενο (το οποίο δεν αντιγράφεται)

Δείκτες

- Σε μια γλώσσα όπως η C ή η C++, υπάρχει ένας εύκολος τρόπος να σκεφτόμαστε τις αναφορές: μια αναφορά είναι ένας **δείκτης (pointer)**
- Με άλλα λόγια, μια αναφορά είναι η διεύθυνση ενός αντικειμένου στη μνήμη
- Τα συστήματα Java μπορούν, αν θέλουν, να υλοποιήσουν τις αναφορές με αυτόν τον τρόπο

Ναι, αλλά νόμιζα ότι...

- Έχω ακούσει από κάποιους ότι η Java είναι σαν τη C++ αλλά *χωρίς δείκτες...*
- Το παραπάνω είναι αληθές από μια οπτική γωνία
- Η C και η C++ **κάνουν προφανή την πολύ στενή σχέση μεταξύ διευθύνσεων και δεικτών** (π.χ. επιτρέπουν αριθμητική σε δείκτες)
- Τα προγράμματα σε Java **δε μπορούν να καταλάβουν πώς υλοποιούνται οι αναφορές**: οι αναφορές είναι απλά τιμές που προσδιορίζουν μοναδικά κάθε αντικείμενο

Σύγκριση μεταξύ Java και C++

- Μια μεταβλητή στη C++ μπορεί να έχει ως τιμή ένα αντικείμενο ή ένα δείκτη σε ένα αντικείμενο
- Υπάρχουν δύο επιλογείς:
 - `a->x` επιλέγει μια μέθοδο ή ένα πεδίο `x` όταν το `a` είναι ένας δείκτης σε ένα αντικείμενο
 - `a.x` επιλέγει το `x` όταν το `a` είναι ένα αντικείμενο
- Μια μεταβλητή στη Java δε μπορεί να έχει ως τιμή ένα αντικείμενο, μόνο μια αναφορά σε ένα αντικείμενο
- Δηλαδή υπάρχει μόνο ένας επιλογέας:
 - `a.x` επιλέγει το `x` όταν το `a` είναι μια αναφορά σε ένα αντικείμενο

Σύγκριση C++ και Java

Πρόγραμμα σε C++	Αντίστοιχο στη Java
<pre>Point* p; p = new Point(0,0); p->move(1,2); p = q;</pre>	<pre>Point p; p = new Point(0,0); p.move(1,2); p = q;</pre>
<pre>Point p(0,0); p.move(1,2); p = q;</pre>	Δεν υπάρχει αντίστοιχο

Σύντομες οδηγίες χρήσης για τη Java

Εκτύπωση κειμένου εξόδου

- Υπάρχει το προκαθορισμένο αντικείμενο: `System.out`
- Το οποίο έχει δύο μεθόδους:
 - `print(x)` που τυπώνει το `x`, και
 - `println(x)` που τυπώνει το `x` και ένα χαρακτήρα νέας γραμμής
- Οι μέθοδοι αυτοί είναι υπερφορτωμένες για όλους τους τύπους παραμέτρων

Εκτύπωση μιας IntList

```
/**
 * Print ourself to System.out.
 */
public void print() {
    System.out.print("[");
    ConsCell a = start;
    while (a != null) {
        System.out.print(a.getHead());
        a = a.getTail();
        if (a != null) System.out.print(",");
    }
    System.out.println("]");
}
```

Η μέθοδος `main`

- Μια κλάση μπορεί να έχει μια μέθοδο `main` ως εξής:

```
public static void main(String[] args) {  
    ...  
}
```

- Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται ως το σημείο έναρξης της κλάσης όταν αυτή τρέξει ως εφαρμογή
- Η λέξη κλειδί `static` την κάνει μια μέθοδο της κλάσης (class method). Πρέπει να χρησιμοποιείται με φειδώ!

Η κλάση TestList

```
public class TestList {  
    public static void main(String[] args) {  
        IntList a = new IntList(null);  
        IntList b = a.cons(2);  
        IntList c = b.cons(1);  
        int x = a.length() + b.length() + c.length();  
        a.print();  
        b.print();  
        c.print();  
        System.out.println(x);  
    }  
}
```

Μετάφραση και τρέξιμο του προγράμματος

- Τρεις κλάσεις προς μετάφραση, σε τρία αρχεία:
`ConsCell.java` , `IntList.java` και `TestList.java`
- (Όνομα αρχείου = όνομα κλάσης + `.java`)
- Μεταφράζουμε τα αρχεία με χρήση της εντολής `javac`
 - Μπορούν να μεταγλωττιστούν ένα προς ένα
 - Ή με χρήση της εντολής `javac TestList.java` όλα μαζί
- Ο compiler παράγει `.class` αρχεία
- Χρησιμοποιούμε τον Java launcher (εντολή `java`) για να τρέξουμε τη μέθοδο `main` ενός `.class` αρχείου

**Περισσότερη Java:
Πολυμορφισμός, διαπροσωπείες,
κληρονομικότητα, ιεραρχίες κλάσεων**

Πολυμορφισμός υποτύπων

```
Person p;
```

- Είναι το παραπάνω μια δήλωση ότι το **p** είναι μια αναφορά σε ένα αντικείμενο της κλάσης **Person**;
- Όχι ακριβώς – ο *τύπος* **Person** μπορεί να περιλαμβάνει αναφορές σε αντικείμενα άλλων κλάσεων
- Αυτό διότι η Java υποστηρίζει **πολυμορφισμό υποτύπων (subtype polymorphism)**

Διαπροσωπείες

Διαπροσωπείες (interfaces)

- Ένα **πρωτότυπο μεθόδου (method prototype)** απλώς δίνει το όνομα της μεθόδου και τον τύπο της – όχι το σώμα της
- Οι διαπροσωπείες είναι συλλογές από πρωτότυπα μεθόδων

```
public interface Drawable {  
    void show(int xPos, int yPos);  
    void hide();  
}
```

- Μια κλάση μπορεί να δηλώσει ότι υλοποιεί μια συγκεκριμένη διαπροσωπεία
- Μετά πρέπει να παρέχει ορισμούς **public** μεθόδων οι οποίοι ταιριάζουν με εκείνους της διαπροσωπείας

Παραδείγματα

```
public class Icon implements Drawable {  
    public void show(int x, int y) {  
        ... σώμα της μεθόδου ...  
    }  
    public void hide() {  
        ... σώμα της μεθόδου ...  
    }  
    ... περισσότερες μέθοδοι και πεδία ...  
}
```

```
public class Square implements Drawable, Scalable {  
    ... πρέπει να υλοποιεί όλες τις μεθόδους όλων των διαπρωσκειών ...  
}
```

Γιατί χρησιμοποιούμε διαπροσωπείες;

- Μια διαπροσωπεία μπορεί να υλοποιείται από πολλές διαφορετικές κλάσεις:

```
public class Window implements Drawable ...  
public class Icon implements Drawable ...  
public class Oval implements Drawable ...
```

- Το όνομα της διαπροσωπείας μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως ένας τύπος αναφοράς:

```
Drawable d;  
d = new Icon("i1.gif");  
d.show(0,0);  
d = new Oval(20,30);  
d.show(0,0);
```

Πολυμορφισμός με διαπροσωπείες

```
static void flashoff(Drawable d, int k) {  
    for (int i = 0; i < k; i++) {  
        d.show(0,0);  
        d.hide();  
    }  
}
```

- Η παραπάνω μέθοδος είναι πολυμορφική: η κλάση του αντικειμένου που αναφέρεται από την παράμετρο **d** δεν είναι γνωστή κατά το χρόνο μετάφρασης
- Το μόνο που είναι γνωστό είναι ότι είναι μια κλάση που υλοποιεί τη διαπροσωπεία **Drawable** (**implements Drawable**) και κατά συνέπεια είναι μια κλάση που έχει μεθόδους **show** και **hide** οι οποίες μπορούν να κληθούν

Πολυμορφισμός με διαπροσωπείες

```
static void flashoff(Drawable d, int k) {  
    for (int i = 0; i < k; i++) {  
        d.show(0,0);  
        d.hide();  
    }  
}
```

- **Dynamic method dispatch:** το ποια μέθοδος θα κληθεί καθορίζεται κατά την εκτέλεση ανάλογα με τον τύπο του αντικειμένου (runtime polymorphism)

Δυναμική αποστολή (dynamic dispatch)

- Στη Java, ο στατικός τύπος μιας αναφοράς μπορεί να είναι μια υπερκλάση ή μια διαπροσωπεία κάποιας κλάσης
- Στο χρόνο εκτέλεσης, το σύστημα υλοποίησης της γλώσσας θα πρέπει κάπως να βρει και να καλέσει τη σωστή μέθοδο της πραγματικής κλάσης
- Αυτό αναφέρεται ως **δυναμική αποστολή (dynamic dispatch)**: η κρυφή και έμμεση διακλάδωση πάνω στην κλάση κατά την κλήση των μεθόδων
 - Η δυναμική αποστολή είναι προαιρετική στη C++
 - Χρησιμοποιείται πάντα στη Java και στις περισσότερες άλλες αντικειμενοστρεφείς γλώσσες

Ένα πιο ολοκληρωμένο παράδειγμα

- Η επόμενη διαφάνεια δείχνει τη διαπροσωπεία μιας κλάσης `Worklist` που είναι μια συλλογή από αντικείμενα `String`
- Η κλάση περιέχει μεθόδους με τις οποίες μπορούμε
 - να προσθέσουμε ένα αντικείμενο στη συλλογή,
 - να αφαιρέσουμε ένα αντικείμενο από τη συλλογή, και
 - να ελέγξουμε κατά πόσο μια συλλογή είναι κενή ή όχι

```
public interface Worklist {  
    /**  
     * Add one String to the worklist.  
     * @param item the String to add  
     */  
    void add(String item);  
  
    /**  
     * Test whether there are more elements in the  
     * worklist: that is, test whether more elements  
     * have been added than have been removed.  
     * @return true iff there are more elements  
     */  
    boolean hasMore();  
  
    /**  
     * Remove one String from the worklist and return it.  
     * There must be at least one element in the worklist.  
     * @return the String item removed  
     */  
    String remove();  
}
```

Σχόλια στις διαπροσωπείες

- Η ύπαρξη σχολίων είναι σημαντική για μια διαπροσωπεία, διότι δεν υπάρχει κώδικας ώστε ο αναγνώστης/χρήστης να καταλάβει τι (σκοπεύει να) κάνει η κάθε μέθοδος
- Η διαπροσωπεία της **Worklist** δεν προσδιορίζει κάποια συγκεκριμένη δομή ή ταξινόμηση: μπορεί να υλοποιείται από μια στοίβα, μια ουρά, μια ουρά προτεραιοτήτων, ή από κάποια άλλη δομή
- Θα την υλοποιήσουμε ως στοίβα, μέσω συνδεδεμένης λίστας

```
/**
 * A Node is an object that holds a String and a link
 * to the next Node. It can be used to build linked
 * lists of Strings.
 */
public class Node {
    private String data; // Each node has a String...
    private Node link;   // and a link to the next Node

    /**
     * Node constructor.
     * @param theData the String to store in this Node
     * @param theLink a link to the next Node
     */
    public Node(String theData, Node theLink) {
        data = theData;
        link = theLink;
    }
}
```

```
/**
 * Accessor for the String data stored in this Node.
 * @return our String item
 */
public String getData() {
    return data;
}

/**
 * Accessor for the link to the next Node.
 * @return the next Node
 */
public Node getLink() {
    return link;
}
}
```

```
/**
 * A Stack is an object that holds a collection of
 * Strings.
 */
public class Stack implements Worklist {
    private Node top = null; // top Node in the stack

    /**
     * Push a String on top of this stack.
     * @param data the String to add
     */
    public void add(String data) {
        top = new Node(data, top);
    }
}
```

```
/**
 * Test whether this stack has more elements.
 * @return true if this stack is not empty
 */
public boolean hasMore() {
    return (top != null);
}

/**
 * Pop the top String from this stack and return it.
 * This should be called only if the stack is
 * not empty.
 * @return the popped String
 */
public String remove() {
    Node n = top;
    top = n.getLink();
    return n.getData();
}
}
```

Ένα παράδειγμα χρήσης

```
Worklist w;  
w = new Stack();  
w.add("Τεχνητή Νοημοσύνη");  
w.add("Βάσεις Δεδομένων");  
w.add("Γλώσσες Προγραμματισμού");  
System.out.println(w.remove());  
System.out.println(w.remove());  
System.out.println(w.remove());
```

- Έξοδος: Γλώσσες Προγραμματισμού

Βάσεις Δεδομένων

Τεχνητή Νοημοσύνη

Άλλες υλοποιήσεις της κλάσης `Worklist` είναι πιθανές:
με χρήση `Queue`, `PriorityQueue`, κ.α.

Κληρονομικότητα και ιεραρχίες κλάσεων

Περισσότερος πολυμορφισμός

- Θα δούμε μια άλλη, πιο πολύπλοκη, πηγή πολυμορφισμού
- Μια κλάση μπορεί να παράγεται από μια άλλη, με χρήση της λέξης κλειδί **extends**

Ως παράδειγμα θα ορίσουμε μια κλάση **PeekableStack** η οποία είναι σαν την κλάση **Stack**, αλλά έχει επίσης μια μέθοδο **peek** που εξετάζει το στοιχείο στην κορυφή της στοίβας χωρίς όμως να το αφαιρεί από αυτή

```
/**
 * A PeekableStack is an object that does everything
 * a Stack can do, and can also peek at the top
 * element of the stack without popping it off.
 */
public class PeekableStack extends Stack {

    /**
     * Examine the top element on the stack, without
     * popping it off. This should be called only if
     * the stack is not empty.
     * @return the top String from the stack
     */
    public String peek() {
        String s = remove();
        add(s);
        return s;
    }
}
```

Κληρονομικότητα (inheritance)

- Επειδή η κλάση **PeekableStack** επεκτείνει την κλάση **Stack**, κληρονομεί όλες τις μεθόδους και τα πεδία της
(Κάτι τέτοιο δε συμβαίνει με τις διαπροσωπείες: όταν μια κλάση υλοποιεί μια διαπροσωπεία, το μόνο που αναλαμβάνει είναι μια *υποχρέωση* να υλοποιήσει κάποιες μεθόδους.)
- Εκτός από κληρονομικότητα, η επέκταση των κλάσεων οδηγεί και σε πολυμορφισμό

```
Stack s1 = new PeekableStack();  
PeekableStack s2 = new PeekableStack();  
s1.add("1η Εργασία");  
s2.add("2η Εργασία");  
System.out.println(s2.peek());
```

Προσέξτε ότι μια κλήση `s1.peek()` δε θα ήταν νόμιμη, παρόλο που η `s1` είναι μια αναφορά σε ένα αντικείμενο της κλάσης `PeekableStack`. Οι λειτουργίες που επιτρέπονται στη Java καθορίζονται από το **στατικό τύπο** της αναφοράς και όχι από την κλάση του αντικειμένου.

Ερώτηση

- Η υλοποίηση της μεθόδου **peek** δεν ήταν η πιο αποδοτική:

```
public String peek() {  
    String s = remove();  
    add(s);  
    return s;  
}
```

- Γιατί δεν κάνουμε το παρακάτω;

```
public String peek() {  
    return top.getData();  
}
```

Απάντηση

- Το πεδίο `top` της κλάσης `Stack` έχει δηλωθεί `private`
- Η κλάση `PeekableStack` δε μπορεί να το προσπελάσει
- Για μια πιο αποδοτική μέθοδο `peek`, η κλάση `Stack` πρέπει να καταστήσει το πεδίο `top` ορατό στις κλάσεις που την επεκτείνουν
- Δηλαδή πρέπει να το δηλώσει ως `protected` αντί για `private`
- Συνήθης πρόκληση σχεδιασμού για αντικειμενοστρεφείς γλώσσες: πως ο σχεδιασμός θα κάνει εύκολη την επαναχρησιμοποίηση μεθόδων μέσω κληρονομικότητας

Αλυσίδες κληρονομικότητας

- Στη Java, μια κλάση μπορεί να έχει πολλές κλάσεις που παράγονται από αυτή
- Για την ακρίβεια, όλες οι κλάσεις της Java (εκτός από μία) παράγονται από κάποια άλλη κλάση
- Εάν στον ορισμό μιας κλάσης δεν προσδιορίζεται κάποια πρόταση **extends**, η Java αυτόματα εννοεί:
extends Object
- Η κλάση **Object** είναι η πρωταρχική κλάση της Java (δεν παράγεται από κάποια άλλη)

Η κλάση `Object`

- Όλες οι κλάσεις παράγονται, άμεσα ή έμμεσα, από την προκαθορισμένη κλάση `Object`
 - (εκτός φυσικά από την κλάση `Object`)
- Όλες οι κλάσεις κληρονομούν μεθόδους από την κλάση `Object`, για παράδειγμα:
 - `getClass`, επιστρέφει την κλάση του αντικειμένου
 - `toString`, για μετατροπή του αντικειμένου σε `String`
 - `equals`, για σύγκριση με άλλα αντικείμενα
 - `hashCode`, για υπολογισμό ενός ακεραίου (`int`) που αντιστοιχεί στην τιμή του κωδικού κατακερματισμού (hash code) του αντικειμένου
 - κ.λπ.

Υπερ κάλυψη κληρονομημένων ορισμών

- Κάποιες φορές μπορεί να θέλουμε να επανακαθορίσουμε τη λειτουργικότητα μιας κληρονομημένης μεθόδου
- Αυτό δε γίνεται με χρήση κάποιου ειδικού κατασκευαστή: ένας νέος ορισμός μιας μεθόδου αυτόματα **υπερκαλύπτει (overrides)** έναν κληρονομημένο ορισμό του ίδιου ονόματος και τύπου

Παράδειγμα υπερκάλυψης

- Η κληρονομημένη μέθοδος `toString` απλώς συνδυάζει το όνομα της κλάσης και τον κωδικό κατακερματισμού (σε μορφή δεκαεξαδικού αριθμού)
- Με άλλα λόγια, ο κώδικας της default μεθόδου τυπώνει κάτι σαν το εξής: `Stack@b3d42`
- Μια ειδική μέθοδος `toString` στη μέθοδο `Stack`, σαν την παρακάτω, μπορεί να τυπώσει ένα πιο διευκρινιστικό μήνυμα:

```
public String toString() {  
    return "Stack with top at " + top;  
}
```

Ιεραρχίες κληρονομικότητας

- Η σχέση κληρονομικότητας δημιουργεί μια ιεραρχία
- Η ιεραρχία αυτή είναι ένα δένδρο με ρίζα την κλάση **Object**
- Σε κάποιες περιπτώσεις οι κλάσεις απλώς επεκτείνουν η μία την άλλη
- Σε άλλες περιπτώσεις, η ιεραρχία των κλάσεων και η κληρονομικότητα χρησιμοποιούνται ούτως ώστε ο κώδικας που είναι κοινός για περισσότερες από μία κλάσεις να υπάρχει μόνο σε μια κοινή βασική κλάση

Δύο κλάσεις με πολλά κοινά στοιχεία — αλλά καμία δεν είναι μια απλή επέκταση της άλλης.

```
public class Label {
    private int x, y;
    private int width;
    private int height;
    private String text;
    public void move
        (int newX, int newY)
    {
        x = newX;
        y = newY;
    }
    public String getText()
    {
        return text;
    }
}
```

```
public class Icon {
    private int x, y;
    private int width;
    private int height;
    private Gif image;
    public void move
        (int newX, int newY)
    {
        x = newX;
        y = newY;
    }
    public Gif getImage()
    {
        return image;
    }
}
```

Ο κώδικας και τα δεδομένα που είναι κοινά έχουν εξαχθεί σε μια κοινή “βασική” κλάση.

```
public class Graphic {  
    protected int x, y;  
    protected int width, height;  
    public void move(int newX, int newY) {  
        x = newX;  
        y = newY;  
    }  
  
    public String describe() {  
        return "Generic graphic at (" + x + ", " + y + ")";  
    }  
}
```

Οι κλάσεις κληρονομούν τα δεδομένα και τις λειτουργίες της βασικής κλάσης.

```
public class Label extends Graphic {  
    private String text;  
  
    public String getText(){ return text; }  
  
    @Override  
    public String describe() {  
        return "Label: \"" + text + "\"" at (" + x + ", " + y + ")";  
    }  
}
```

```
public class Icon extends Graphic {  
    private Gif image;  
  
    public Gif getImage(){ return image; }  
  
    @Override  
    public String describe() {  
        return "Icon: [" + imageName + "] at (" + x + ", " + y + ")";  
    }  
}
```

Ένα πρόβλημα σχεδιασμού

- Πολλές φορές όταν γράφουμε τον ίδιο κώδικα ξανά και ξανά, σκεφτόμαστε ότι ο κώδικας αυτός πρέπει να “βγει” σε μια συνάρτηση (σε μία μέθοδο)
- Όταν γράψουμε τις ίδιες μεθόδους ξανά και ξανά, σκεφτόμαστε ότι κάποια μέθοδος πρέπει να “βγει” σε μια κοινή βασική κλάση
- Οπότε είναι καλό να καταλάβουμε νωρίς στο σχεδιασμό κατά πόσο υπάρχει ανάγκη για κοινές βασικές κλάσεις, πριν γράψουμε αρκετό κώδικα ο οποίος θα χρειάζεται αναδιοργάνωση

Πολυμορφισμός υποτύπων

```
public class Main {  
    public static void main(String[] args) {  
        Label g1 = new Label("Submit");  
        Icon g2 = new Icon("checkmark.png");  
  
        printGraphic(g1);  
        printGraphic(g2);  
    }  
  
    static void printGraphic(Graphic g) {  
        System.out.println(g.describe()); // Dynamic dispatch  
    }  
}
```

Υποτύποι και κληρονομικότητα

- Μια παραγόμενη κλάση είναι ένας υποτύπος
- Από προηγούμενη διάλεξη:

Ένας υποτύπος είναι ένα υποσύνολο των τιμών κάποιου τύπου, αλλά υποστηρίζει ένα υπερσύνολο των λειτουργιών του.

- Κατά το σχεδιασμό της ιεραρχίας των κλάσεων, πρέπει να σκεφτόμαστε την κληρονομικότητα της λειτουργικότητάς τους
- Όμως οι “φυσικές” ιεραρχίες δεν είναι πάντα ό,τι πιο κατάλληλο μπορεί να υπάρξει όσον αφορά στην κληρονομικότητα των λειτουργιών

Σχήμα

|

Πολύπλευρο

|

Τετράπλευρο

|

Τετράγωνο

Επέκταση και υλοποίηση

- Οι κλάσεις μπορούν να χρησιμοποιήσουν τις λέξεις κλειδιά **extends** και **implements** συγχρόνως
- Για κάθε κλάση, η υλοποίηση ενός συστήματος Java κρατάει πληροφορίες για αρκετές ιδιότητες, όπως για παράδειγμα:

A: τις διαπροσωπείες που η κλάση υλοποιεί

B: τις μεθόδους που είναι υποχρεωμένη να ορίσει

Γ: τις μεθόδους που ορίζονται για την κλάση

Δ: τα πεδία που περιλαμβάνει η κλάση

Απλές περιπτώσεις

- Ένας ορισμός μεθόδου επηρεάζει μόνο το Γ
- Ένας ορισμός πεδίου επηρεάζει μόνο το Δ
- Μια δήλωση **implements** επηρεάζει τα Α και Β
 - Όλες οι διαπροσωπείες προσθέτονται στο Α
 - Όλες οι μέθοδοι τους προσθέτονται στο Β

Α: τις διαπροσωπείες που η κλάση υλοποιεί

Β: τις μεθόδους που είναι υποχρεωμένη να ορίσει

Γ: τις μεθόδους που ορίζονται για την κλάση

Δ: τα πεδία που περιλαμβάνει η κλάση

Η δύσκολη περίπτωση

- Μια δήλωση **extends** επηρεάζει όλες τις πληροφορίες:
 - Όλες οι διαπροσωπείες της βασικής κλάσης προσθέτονται στο A
 - Όλες οι μέθοδοι που υποχρεούται η βασική κλάση να ορίσει προσθέτονται στο B
 - Όλες οι μέθοδοι της βασικής κλάσης προσθέτονται στο Γ
 - Όλα τα πεδία της βασικής κλάσης προσθέτονται στο Δ

A: τις διαπροσωπείες που η κλάση υλοποιεί

B: τις μεθόδους που είναι υποχρεωμένη να ορίσει

Γ: τις μεθόδους που ορίζονται για την κλάση

Δ: τα πεδία που περιλαμβάνει η κλάση

Το προηγούμενο παράδειγμά μας

```
public class Stack implements Worklist {...}
public class PeekableStack extends Stack {...}
```

- Η κλάση **PeekableStack** έχει ως:
 - Α: τη διαπροσωπεία **Worklist**, από κληρονομιά
 - Β: τις υποχρεώσεις για υλοποίηση των μεθόδων **add**, **hasMore**, και **remove**, επίσης από κληρονομιά
 - Γ: τις μεθόδους **add**, **hasMore**, και **remove**, κληρονομημένες, όπως επίσης και τη δική της μέθοδο **peek**
 - Δ: το πεδίο **top**, επίσης κληρονομημένο

Μια ματιά στις `abstract` κλάσεις

- Παρατηρήστε ότι το Γ είναι υπερσύνολο του Β: η κλάση πρέπει να έχει ορισμούς για όλες τις μεθόδους
- Η Java συνήθως απαιτεί το παραπάνω
- Οι κλάσεις μπορούν να απαλλαγούν από αυτήν την υποχρέωση με το να δηλωθούν αφηρημένες (**`abstract`**)
- Μια **`abstract`** κλάση μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο ως βασική κλάση
- (Αυτό σημαίνει ότι δεν μπορούν να δημιουργηθούν αντικείμενα της συγκεκριμένης κλάσης.)

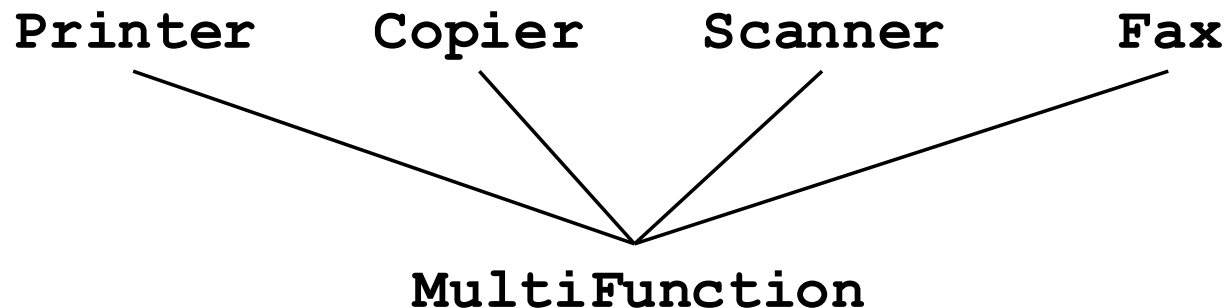
Τελικές (**final**) κλάσεις και μέθοδοι

- Περιορίζουν την κληρονομικότητα
 - Οι τελικές κλάσεις δε μπορούν να επεκταθούν και οι τελικές μέθοδοί τους δε μπορούν να ξαναοριστούν
- Παράδειγμα, η κλάση
`java.lang.String`
- Η ύπαρξη τελικών κλάσεων είναι σημαντική για ασφάλεια
 - Ο προγραμματιστής μπορεί να ελέγξει πλήρως τη συμπεριφορά όλων των υποκλάσεων (και κατά συνέπεια των υποτύπων)

Σημ.: Η δήλωση **final** μπορεί να χρησιμοποιηθεί και σε πεδία: εκεί, το **final** σημαίνει ότι μπορεί να ανατεθεί τιμή μόνο μια φορά στο πεδίο

Πολλαπλή κληρονομικότητα (multiple inheritance)

- Σε κάποιες γλώσσες (όπως η C++) μια κλάση μπορεί να έχει περισσότερες από μία βασικές κλάσεις
- Παράδειγμα: ένα πολυμηχάνημα (multifunction printer)



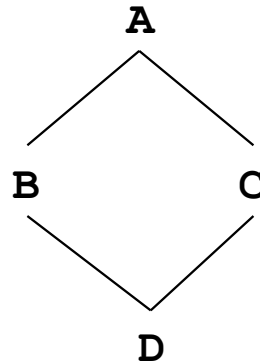
- Επιφανειακά, τόσο η σημασιολογία όσο και η υλοποίηση φαίνονται εύκολες: η κλάση απλά κληρονομεί όλα τα πεδία και τις μεθόδους των βασικών της κλάσεων

Προβλήματα συγκρούσεων

- Οι διαφορετικές βασικές κλάσεις είναι άσχετες μεταξύ τους και μπορεί να μην έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να συνδυάζονται
- Για παράδειγμα, τόσο η κλάση **Scanner** όσο και η **Fax** μπορεί να έχουν ορίσει μια μέθοδο **transmit**
- Το ερώτημα είναι: τι πρέπει να συμβεί όταν καλέσουμε τη μέθοδο **MultiFunction.transmit**;

Το πρόβλημα του διαμαντιού

- Μια κλάση μπορεί να κληρονομεί από την ίδια βασική κλάση μέσω περισσοτέρων του ενός μονοπατιού



- Εάν η κλάση **A** ορίζει ένα πεδίο **x**, τότε τόσο η **B** όσο και η **C** έχουν ένα
- Δηλαδή η κλάση **D** έχει δύο τέτοια πεδία;

Το πρόβλημα είναι επιλύσιμο, αλλά...

- Μια γλώσσα που υποστηρίζει πολλαπλή κληρονομικότητα πρέπει να έχει κάποιους μηχανισμούς χειρισμού αυτών των προβλημάτων
- Βεβαίως, δεν είναι όλα τα προβλήματα τόσο πολύπλοκα
- Όμως, το βασικό ερώτημα είναι: τα πλεονεκτήματα που προσφέρει η πολλαπλή κληρονομικότητα αξίζουν την πρόσθετη πολυπλοκότητα στο σχεδιασμό της γλώσσας;
- Οι σχεδιαστές της Java ήταν (και είναι) της γνώμης ότι η πολλαπλή κληρονομικότητα δεν αξίζει τον κόπο

Ζωή χωρίς πολλαπλή κληρονομικότητα

- Ένα πλεονέκτημα της πολλαπλής κληρονομικότητας είναι ότι μια κλάση μπορεί να έχει αρκετούς διαφορετικούς μεταξύ τους τύπους (π.χ. **Copier** και **Fax**)
 - Αυτό μπορεί να γίνει στη Java με χρήση διαπροσωπειών: μια κλάση μπορεί να υλοποιεί έναν απεριόριστο αριθμό από διαπροσωπείες
- Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα κληρονομιάς λειτουργικότητας από πολλαπλές βασικές κλάσεις
 - Αυτό είναι δυσκολότερο να γίνει σε μια γλώσσα σαν τη Java

Πρώθηση (forwarding)

```
public class MultiFunction {  
    private Printer myPrinter;  
    private Copier  myCopier;  
    private Scanner myScanner;  
    private Fax     myFax;  
  
    public void copy() {  
        myCopier.copy();  
    }  
    public void transmitScanned() {  
        myScanner.transmit();  
    }  
    public void sendFax() {  
        myFax.transmit();  
    }  
    ...  
}
```

Παραμετρικότητα μέσω generics

Ανυπαρξία γενικών κλάσεων στις Java 1.0-1.4

- Το προηγούμενο παράδειγμα κλάσης **Stack** ορίστηκε ως μια στοίβα από συμβολοσειρές
- Κατά συνέπεια, δε μπορεί να επαναχρησιμοποιηθεί για στοίβες άλλων τύπων
- Στην ML μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε μεταβλητές τύπων για περιπτώσεις σαν και αυτές:

```
datatype 'a node =  
  NULL |  
  CELL of 'a * 'a node;
```

- Η Ada και η C++ έχουν κάτι παρόμοιο, αλλά όχι η Java

Ζωή χωρίς γενικές κλάσεις στις Java 1.0-1.4

- Μπορούμε να ορίσουμε μια στοίβα της οποίας τα στοιχεία είναι αντικείμενα της κλάσης `Object`
- Ο τύπος `Object` είναι ο πιο γενικός τύπος της Java και περιλαμβάνει όλες τις αναφορές
- Κατά συνέπεια ο ορισμός μέσω της κλάσης `Object` επιτρέπει σε αντικείμενα οποιασδήποτε κλάσης να τοποθετηθούν στη στοίβα
- Το παραπάνω προσφέρει κάποιου είδους πολυμορφισμό υποτύπων

```
public class GenericNode {
    private Object data;
    private GenericNode link;
    public GenericNode(Object theData,
                        GenericNode theLink) {
        data = theData;
        link = theLink;
    }
    public Object getData() {
        return data;
    }
    public GenericNode getLink() {
        return link;
    }
}
```

Κατά παρόμοιο τρόπο, θα μπορούσαμε να ορίσουμε την κλάση **GenericStack** (και μια **GenericWorklist** διαπροσωπεία) με χρήση **Object** στη θέση της **String**

Μειονέκτημα

- Για να ανακτήσουμε τον τύπο του αντικειμένου στη στοίβα, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε ένα **type cast**:

```
GenericStack s1 = new GenericStack();  
s1.add("hello");  
String s = (String) s1.remove();
```
- Το παραπάνω μάλλον δεν είναι ότι πιο φιλικό για τον προγραμματιστή
- Επίσης δεν είναι ότι πιο αποδοτικό σε χρόνο εκτέλεσης: η Java πρέπει να ελέγξει κατά τη διάρκεια εκτέλεσης του προγράμματος ότι το type cast επιτρέπεται – δηλαδή ότι το αντικείμενο είναι πράγματι ένα **String**

Άλλο μειονέκτημα

- Οι πρωτόγονοι τύποι πρέπει πρώτα να αποθηκευθούν σε ένα αντικείμενο εάν θέλουμε να τους βάλουμε σε μια στοίβα:

```
GenericStack s2 = new GenericStack();  
s2.add(new Integer(42));  
int i = ((Integer) s2.remove()).intValue();
```

- Το παραπάνω είναι επίπονο και όχι ό,τι πιο αποδοτικό
- Η κλάση `Integer` είναι η προκαθορισμένη **κλάση περιτύλιγμα (wrapper class)** για τους ακεραίους
- Υπάρχει μια τέτοια κλάση για κάθε πρωτόγονο τύπο

Generics, στη νεώτερη Java

- Ξεκινώντας με τη Java 1.5, η Java έχει generics, δηλαδή παραμετρικές πολυμορφικές κλάσεις (και διαπροσωπείες)
- Η σύνταξή τους μοιάζει με τη σύνταξη των C++ templates

```
public class Stack<T> implements Worklist<T> {  
    private Node<T> top = null;  
    public void add(T data) {  
        top = new Node<T>(data, top);  
    }  
    public boolean hasMore() {  
        return (top != null);  
    }  
    public T remove() {  
        Node<T> n = top;  
        top = n.getLink();  
        return n.getData();  
    }  
}
```

Χρήση των Generics

```
Stack<String> s1 = new Stack<String>();  
Stack<Integer> s2 = new Stack<Integer>();  
s1.add("hello");  
String s = s1.remove();  
s2.add(42);  
int i = s2.remove();
```

- Ο τύπος που χρησιμοποιούμε ως στιγμιότυπο ενός generic πρέπει να είναι **τύπος αναφοράς** και **όχι πρωτόγονος** τύπος
- Γι' αυτό χρησιμοποιούμε Integer αντί για int
- Η Java μπορεί να κάνει auto-boxing και auto-unboxing ώστε να μετατρέψει int σε Integer και αντίστροφα

Γιατί δεν υπήρξαν generics στις πρώτες Java;

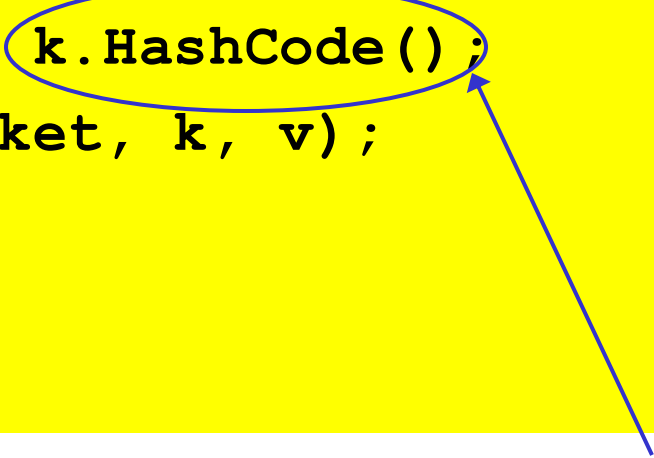
- Υπήρξαν αρκετές προτάσεις για επέκταση
- Σε συμφωνία με τους βασικούς σκοπούς της γλώσσας
- Όμως “ο διάβολος είναι στις λεπτομέρειες”, όπως:
 - Τι παρενέργειες έχει η ύπαρξη generics για τη διαδικασία ελέγχου των τύπων;
 - Ποιος είναι ο καλύτερος τρόπος να γίνει η υλοποίηση;
 - Μπορεί η αφηρημένη μηχανή της Java να τα υποστηρίξει;
 - Αν ναι, μέσω πρόσθετων bytecodes ή με κάποιον άλλο τρόπο;
 - Μέσω ξεχωριστού κώδικα για κάθε στιγμιότυπο;
 - Μέσω ίδιου κώδικα (με χρήση casts) για όλα τα στιγμιότυπα;
- Ενσωματώθηκαν στη Java 1.5, μαζί με αυτόματη μετατροπή boxing + unboxing, π.χ. για `int` και `Integer`

Οι τύποι των generics της Java ελέγχονται

- Μια γενική κλάση μπορεί να θελήσει να χρησιμοποιήσει λειτουργίες σε αντικείμενα ενός τύπου-παραμέτρου
Παράδειγμα: `PriorityQueue<T> ... if (x.less(y)) ...`
- Δύο πιθανές προσεγγίσεις:
 - C++: Όταν κατασκευάζεται ένα στιγμιότυπο ενός template, ελέγχεται το κατά πόσο όλες οι λειτουργίες μπορούν να επιλυθούν – ο έλεγχος αυτός μπορεί να πρέπει να καθυστερήσει μέχρι και το χρόνο σύνδεσης (linking)
 - Java: Οι τύποι ελέγχονται στατικά τη στιγμή του ορισμού τους και δε χρειάζεται να γίνει κανένας άλλος έλεγχος αργότερα
 - Αυτή η προσέγγιση επιβάλλει στο πρόγραμμα να έχει πληροφορία για τον τύπο της παραμέτρου
 - Παράδειγμα : `PriorityQueue<T extends ...>`

Παράδειγμα: Πίνακας κατακερματισμού

```
public interface Hashable {  
    int hashCode();  
};  
  
class HashTable <Key extends Hashable, Value> {  
    void Insert(Key k, Value v) {  
        int bucket = k.hashCode();  
        InsertAt(bucket, k, v);  
    }  
    ...  
};
```



Η έκφραση πρέπει να μην πετάει σφάλμα κατά τη διαδικασία ελέγχου των τύπων.

Χρησιμοποιούμε “**Key extends Hashable**”

Παράδειγμα: Ουρά προτεραιότητας

```
public interface Comparable<I> {  
    boolean lessThan(I);  
};  
  
class PriorityQueue<T> extends Comparable<T> {  
    T queue[]; ...  
    void insert(T t) {  
        ... if (t.lessThan(queue[i])) ...  
    }  
    T remove() { ... }  
    ...  
};
```



A diagram consisting of two blue circles. The first circle is positioned around the generic type parameter `T` in the class declaration `PriorityQueue<T>`. The second circle is positioned around the generic type parameter `T` in the interface declaration `Comparable<T>`. A blue curved arrow originates from the first circle and points to the second circle, indicating that the `T` in the class is a specialization of the `T` in the interface.

Ένα τελευταίο παράδειγμα ...

```
public interface LessAndEqual<I> {
    boolean lessThan(I);
    boolean equal(I);
}

class Relations<C extends LessAndEqual<C>> extends C {
    boolean greaterThan(Relations<C> a) {
        return a.lessThan(this);
    }
    boolean greaterEqual(Relations<C> a) {
        return greaterThan(a) || equal(a);
    }
    boolean notEqual(Relations<C> a) { ... }
    boolean lessEqual(Relations<C> a) { ... }
    ...
}
```

Υλοποίηση των Generics

- Διαγραφή τύπων (**type erasure**)
 - Ο έλεγχος τύπων κατά τη μετάφραση χρησιμοποιεί τα generics
 - Στη συνέχεια ο compiler απαλείφει τα generics μέσω διαγραφής
 - Δηλαδή μεταγλωττίζει `List<T>` σε `List`, `T` σε `Object`, και προσθέτει αυτόματες μετατροπές τύπων (casts)
 - Τα generics μπορούν να χρησιμοποιηθούν μόνο με τύπους αναφορών
- Τα generics της Java δεν είναι σαν τα templates της C++
 - Οι δηλώσεις των generics ελέγχονται ως προς τους τύπους τους
 - Τα generics μεταφράζονται άπαξ
 - Δεν λαμβάνει χώρα κάποια στιγμιοτυποποίηση (**instantiation**)
 - Ο παραγόμενος κώδικας δε διογκώνεται