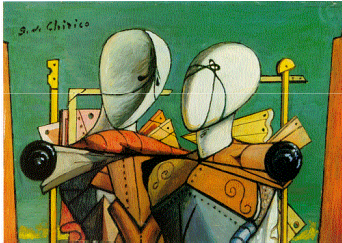


## Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός



Giorgio de Chirico, *Ettore e Andromaca*, 1915-1925

Κωστής Σαγώνας <kostis@cs.ntua.gr>

## Εισαγωγή: Σύγκριση μεταξύ γλωσσών

```
C: int f(char a, char b) {  
    return a == b;  
}
```

```
ML: - fun f(a, b) = (a = b);  
    val f = fn : 'a * 'a -> bool
```

- Η συνάρτηση σε ML γράφεται πιο εύκολα: ο προγραμματιστής δε χρειάζεται να ορίσει τύπους
- Η συνάρτηση σε ML είναι πιο ευέλικτη: μπορεί να χρησιμοποιηθεί για κάθε τύπο (που υποστηρίζει ισότητα)
- Συναρτήσεις σαν και τις παραπάνω, οι οποίες δουλεύουν για πολλούς τύπους, ονομάζονται **πολυμορφικές**

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

2

## Περιεχόμενα

- Συμπερασμός τύπων (type inference)
  - Καλό παράδειγμα αλγόριθμου και εφαρμογής στατικής ανάλυσης προγραμμάτων
  - Θα δούμε τον αλγόριθμο σε κάποια παραδείγματα
- Υπερφόρτωση (overloading)
- Αυτόματη μετατροπή τύπων (type coercion)
- Πολυμορφισμός
  - Πολυμορφισμός έναντι υπερφόρτωσης
  - Υλοποίηση του πολυμορφισμού σε διαφορετικές γλώσσες
  - Παραμετρικός πολυμορφισμός (parametric polymorphism)
  - Πολυμορφισμός υποτύπων (subtype polymorphism)
- Ανακεφαλαίωση ορισμών

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

3

## Συμπερασμός τύπων

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

4

## Έλεγχος τύπων έναντι συμπερασμού τύπων

- **Έλεγχος τύπων**

```
int f(int x) { return x+1; };  
int g(int y) { return f(y+1)*2; };
```

  - Κοιτάμε στο σώμα κάθε συνάρτησης χρησιμοποιώντας τις δηλώσεις τύπων των μεταβλητών για τον έλεγχο συνέπειάς τους
- **Συμπερασμός τύπων**

```
int f(int x) { return x+1; };  
int g(int y) { return f(y+1)*2; };
```

  - Κοιτάμε στον κώδικα ο οποίος δεν περιέχει πληροφορία τύπων και "μαντεύουμε" ποιοι τύποι θα έπρεπε να είχαν δηλωθεί ώστε το πρόγραμμα να είναι συνεπές ως προς τη χρήση των τύπων
- Η ML έχει σχεδιαστεί ώστε ο συμπερασμός τύπων να είναι βατός (tractable)

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

5

## Χρησιμότητα

- Τύποι και έλεγχος τύπων
  - Τα συστήματα τύπων βελτιώνονται συνεχώς από την Algol 60 και έκτοτε
  - Οι τύποι έχουν αποδειχθεί σημαντικοί τόσο για τη μεταγλώττιση όσο και για την αξιοπιστία και την ασφάλεια των προγραμμάτων
- Συμπερασμός τύπων
  - Θεωρείται ως μια από τις σημαντικότερες εξελίξεις στη θεωρία και την πρακτική των γλωσσών προγραμματισμού
  - Ο συμπερασμός τύπων της ML μας δίνει μια ιδέα
    - του πως δουλεύουν πολλοί άλλοι αλγόριθμοι συμπερασμού τύπων αλλά και
    - της στατικής ανάλυσης προγραμμάτων

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

6

## Συμπερασμός τύπων στην ML

### Παράδειγμα

```
- fun add2 x = x+2;
val add2 = fn : int -> int
```

### Πως συμπεραίνουμε τον παραπάνω τύπο;

- Ο + έχει δύο τύπους:  $int * int \rightarrow int, real * real \rightarrow real$
- Η σταθερά 2 έχει τύπο  $int$
- Αυτό σημαίνει ότι χρησιμοποιούμε τον τύπο  $int * int \rightarrow int$
- Αυτό με τη σειρά του σημαίνει ότι  $x : int$
- Επομένως η συνάρτηση  $add2$  έχει τύπο  $int \rightarrow int$

Οι υπερφορτωμένοι τελεστές και συναρτήσεις, όπως ο + είναι σπάνιοι.

Τα περισσότερα σύμβολα στην ML έχουν μοναδικό τύπο.

Σε πολλές περιπτώσεις, ο μοναδικός αυτός τύπος είναι πολυμορφικός.

## Μια διαφορετική παρουσίαση του συμπερασμού

### Παράδειγμα

Γράφος για λx. ((plus 2) x)

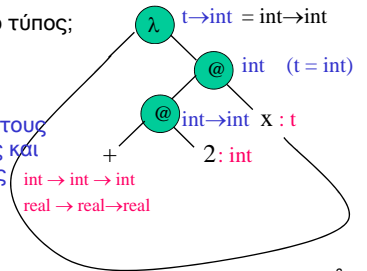
```
- fun add2 x = x+2;
val add2 = fn : int -> int
```

### Πως συμπεραίνεται ο τύπος;

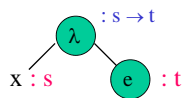
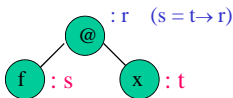
Αναθέτουμε τύπους στα φύλλα

Πρωθυμώμε τύπους στους εσωτερικούς κόμβους και γεννάμε περιορισμούς

Επιλύουμε μέσω αντικατάστασης (ενοποίησης)



## Εφαρμογή και ορισμός συναρτήσεων



### Εφαρμογή συνάρτησης

- Η f έχει τύπο συνάρτησης πεδίο ορισμού  $\rightarrow$  πεδίο τιμών
- Το πεδίο ορισμού της f είναι ίδιο με τον τύπο του ορίσματος x
- Ο τύπος του αποτελέσματος είναι ο τύπος του πεδίου τιμών της f

### Ορισμός συνάρτησης

- Ο τύπος της συνάρτησης είναι πεδίο ορισμού  $\rightarrow$  πεδίο τιμών
- Πεδίο ορισμού είναι ο τύπος της μεταβλητής x
- Πεδίο τιμών είναι ο τύπος του αποτελέσματος του σώματος e της συνάρτησης

## Τύποι με μεταβλητές τύπων

### Παράδειγμα

```
- fun f(g) = g(2);
val f = fn : (int -> 'a) -> 'a
```

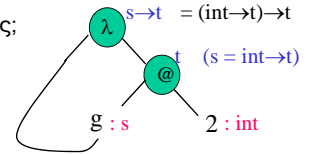
Γράφος για λg. (g 2)

### Πως συμπεραίνεται ο τύπος;

Αναθέτουμε τύπους στα φύλλα

Πρωθυμώμε τύπους στους εσωτερικούς κόμβους και γεννάμε περιορισμούς

Επιλύουμε μέσω αντικατάστασης (ενοποίησης)



## Χρήση πολυμορφικών συναρτήσεων

### Συνάρτηση

```
- fun f(g) = g(2);
val f = fn : (int -> 'a) -> 'a
```

### Πιθανές χρήσεις

```
- fun add2(x) = x+2;
val add2 = fn : int -> int
- f(add2);
val it = 4 : int
```

```
- fun isEven(x) = (x mod 2) = 0;
val add2 = fn : int -> bool
- f(isEven);
val it = true : bool
```

## Αναγνώριση σφάλματος τύπων

### Έστω η συνάρτηση:

```
- fun f(g) = g(2);
val f = fn : (int -> 'a) -> 'a
```

### Λάθος χρήση:

```
- fun not(x) = if x then false else true;
val not = fn : bool -> bool
- f(not);
```

- Σφάλμα τύπου: δεν είναι δυνατόν ο τύπος  $bool \rightarrow bool$  να είναι στιγμότυπο του τύπου  $int \rightarrow 'a$

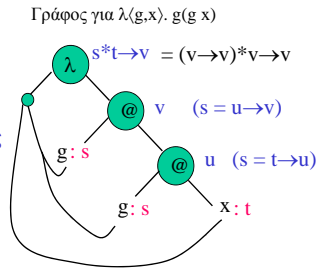
## Ακόμα ένα παράδειγμα συμπερασμού τύπων

- Έστω η συνάρτηση

```
- fun f(g,x) = g(g(x));
val f = fn : ('a -> 'a) * 'a -> 'a
```

- Συμπερασμός τύπου

Αναθέτουμε τύπους στα φύλλα  
 Προωθούμε τύπους στους εσωτερικούς κόμβους και γεννάμε περιορισμούς  
 Επιλύουμε μέσω ενοποίησης



## Πολυμορφικοί τύποι δεδομένων

- Τύποι δεδομένων με μεταβλητές τύπου

```
- datatype 'a list = nil | cons of 'a * ('a list);
nil : 'a list
cons : 'a * ('a list) -> 'a list
```

- Πολυμορφική συνάρτηση

```
- fun length nil = 0
= | length cons(x,rest) = 1 + length(rest);
val length = fn : 'a list -> int
```

- Συμπερασμός τύπων

- Συμπεραίνουμε κάποιο τύπο για κάθε πρόταση ξεχωριστά
- Συνδυάζουμε τους τύπους με τον περιορισμό ότι πρέπει να είναι συμβατοί μεταξύ τους (οι τύποι ενοποιούνται αν αυτό είναι αναγκαίο)

## Κύρια σημεία για το συμπερασμό τύπων

- Υπολογίζουμε τον τύπο της έκφρασης
  - Δε χρειαζόμαστε δηλώσεις για τον τύπο των μεταβλητών
  - Βρίσκουμε τον *πιο γενικό* τύπο μέσω επίλυσης περιορισμών
  - Το παραπάνω αυτόματα οδηγεί σε πολυμορφισμό συναρτήσεων
- Στατικός έλεγχος τύπων χωρίς προδιαγραφές τύπων
- Πολλές φορές οδηγεί σε καλύτερη αναγνώριση σφαλμάτων από ότι ο κοινός έλεγχος τύπων
  - Ο συμπερασμός τύπων μπορεί να αναδείξει κάποιο προγραμματιστικό λάθος **ακόμα και αν δεν υπάρχει σφάλμα τύπων** (βλέπε παράδειγμα στην επόμενη διαφάνεια)

## Χρήσιμη πληροφορία από συμπερασμό τύπων

- Μια συνάρτηση για λίστες:

```
fun reverse nil = nil
| reverse (h::t) = reverse t;
```

- Ο τύπος που συμπεραίνεται από την ML είναι:

```
reverse : 'a list -> 'b list
```

- Τι σημαίνει αυτός ο τύπος;

Αφού η αναστροφή μιας λίστας δεν αλλάζει τον τύπο των στοιχείων της λίστας, πρέπει να υπάρχει κάποιο λάθος στον παραπάνω ορισμό της "reverse"

## Πολυμορφισμός και Υπερφόρτωση



Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

## Υπερφόρτωση (overloading)

- Μια συνάρτηση (ή ένας τελεστής) είναι **υπερφορτωμένη** όταν έχει τουλάχιστον δύο ορισμούς για διαφορετικούς τύπους ορισμάτων
- Πολλές γλώσσες έχουν υπερφορτωμένους τελεστές

ML:	Pascal:
<pre>val x = 1 + 2; val y = 1.0 + 2.0;</pre>	<pre>a := 1 + 2; b := 1.0 + 2.0; c := "hello " + "there"; d := ['a'..'d'] + ['f'];</pre>

- Επίσης, κάποιες γλώσσες επιτρέπουν τον ορισμό νέων υπερφορτωμένων συναρτήσεων ή τελεστών

## Προσθήκη σε ήδη υπερφορτωμένους τελεστές

- Κάποιες γλώσσες, όπως η C++, επιτρέπουν πρόσθετη υπερφόρτωση των ήδη υπερφορτωμένων τελεστών

```
class complex {
    double rp, ip; // real part, imaginary part
public:
    complex(double r, double i) {rp = r; ip = i;}
    friend complex operator+(complex, complex);
    friend complex operator*(complex, complex);
};

void f(complex a, complex b, complex c) {
    complex d = a + b * c;
    ...
}
```

## Υπερφόρτωση τελεστών στη C++

- Η C++ επιτρέπει σχεδόν σε όλους τους τελεστές την πρόσθετη υπερφόρτωση, συμπεριλαμβανομένων των:
  - Πιο συχνά χρησιμοποιούμενων τελεστών (+, -, \*, /, %, ^, &, |, ~, !, =, <, >, +=, -=, \*=, /=, %=, ^=, &=, |=, <<, >>, >>=, <<=, ==, !=, <=, >=, &&, ||, ++, --, ->\*, \*)
  - Αποδεικτοδότησης (dereferencing) (\*p και p->x)
  - Χρήσης δεικτών (a[i])
  - Κλήσης συνάρτησης (f(a, b, c))
  - Δέσμευσης και αποδέσμευσης μνήμης (new και delete)

## Ορισμός υπερφορτωμένων συναρτήσεων

- Κάποιες γλώσσες, όπως η C++, επιτρέπουν την υπερφόρτωση των ονομάτων των συναρτήσεων

```
int square(int x) {
    return x*x;
}

double square(double x) {
    return x*x;
}
```

## Όμως η υπερφόρτωση εξαφανίζεται στη C++

```
int square(int x) {
    return x*x;
}

double square(double x) {
    return x*x;
}

void f() {
    int a = square(3);
    double b = square(3.0);
}
```

Δίνουμε καινούργια (μοναδικά) ονόματα σε υπερφορτωμένους ορισμούς συναρτήσεων...

## Εξαφάνιση υπερφόρτωσης στη C++

```
int square_i(int x) {
    return x*x;
}

double square_d(double x) {
    return x*x;
}

void f() {
    int a = square_i(3);
    double b = square_d(3.0);
}
```

Και στη συνέχεια μετονομάζουμε τις κλήσεις (ανάλογα με τους τύπους των ορισμάτων τους)

## Υλοποίηση υπερφόρτωσης στη C++

- Οι μεταγλωττιστές συνήθως υλοποιούν την υπερφόρτωση:
  - Δημιουργούν μονομορφικές συναρτήσεις, μια για κάθε ορισμό
  - Εφευρίσκουν ένα νέο όνομα για κάθε ορισμό το οποίο κωδικοποιεί την πληροφορία για τους τύπους
  - Κάθε κλήση χρησιμοποιεί το κατάλληλο όνομα ανάλογα με τους τύπους των παραμέτρων

C++: 

```
int shazam(int a, int b) {return a+b;}
double shazam(double a, double b) {return a+b;}
```

Assembler:

```
shazam_Fii:
    lda $30, -32($30)
    .frame $15, 32, $26, 0
    ...
shazam_Fdd:
    lda $30, -32($30)
    .frame $15, 32, $26, 0
    ...
```

## Αυτόματος εξαναγκασμός τύπου (Coercion)

- Σε πολλές γλώσσες ο μεταγλωττιστής εξαναγκάζει την αυτόματη μετατροπή τύπου (type coercion), ακόμα και σε περιπτώσεις που οι μετατροπές δεν είναι άμεσα δηλωμένες από τον προγραμματιστή

Δήλωση μετατροπής  
τύπου στη Java:

```
double x;  
x = (double) 2;
```

Coercion στη Java:

```
double x;  
x = 2;
```

## Αυτόματη μετατροπή παραμέτρων

- Διαφορετικές γλώσσες υποστηρίζουν διαφορετικές μετατροπές σε διαφορετικές περιπτώσεις: σε αναθέσεις, σε δυαδικούς τελεστές, σε μοναδιαίους τελεστές, σε παραμέτρους, κ.λπ.
- Όταν μια γλώσσα υποστηρίζει αυτόματους εξαναγκασμούς μετατροπής τύπου σε παραμέτρους μιας κλήσης συνάρτησης (ή σε μια χρησιμοποίηση τελεστή), τότε η συνάρτηση (ή ο τελεστής) είναι **πολυμορφική (πολυμορφικός)**

## Παράδειγμα: Java

```
void f(double x) {  
    ...  
}  
  
f((byte) 1);  
f((short) 2);  
f('a');  
f(3);  
f(4L);  
f(5.6F);
```

Η συνάρτηση **f** μπορεί να κληθεί με κάθε τύπο παραμέτρου που μπορεί να μετατραπεί αυτόματα σε **double** στη Java

## Ορισμός αυτόματων μετατροπών τύπων

- Οι γλώσσες ξεοδεύουν μεγάλο μέρος του τυπικού ορισμού τους στο να ορίσουν επακριβώς τους επιτρεπόμενους αυτόματους εξαναγκασμούς μετατροπής τύπου και το πως αυτοί λαμβάνουν χώρα
- Κάποιες γλώσσες, ειδικά κάποιες παλιές γλώσσες όπως η Algol 68 και η PL/I, επιτρέπουν πολλές αυτόματες μετατροπές τύπων
- Κάποιες άλλες, όπως η ML, δεν επιτρέπουν καμία
- Οι περισσότερες, όπως η Java, είναι κάπου ενδιάμεσα

## Παράδειγμα: Java

### 5.6.1 Unary Numeric Promotion

Some operators apply *unary numeric promotion* to a single operand, which must produce a value of a numeric type: If the operand is of compile-time type **byte**, **short**, or **char**, unary numeric promotion promotes it to a value of type **int** by a widening conversion (§5.1.2). Otherwise, a unary numeric operand remains as is and is not converted.

Unary numeric promotion is performed on expressions in the following situations: the dimension expression in array creations (§15.9); the index expression in array access expressions (§15.12); operands of the unary operators plus + (§15.14.3) and minus - (§15.14.4) ...

*The Java Language Specification*  
James Gosling, Bill Joy, Guy Steele

## Αυτόματες μετατροπές τύπων και υπερφόρτωση

- Η αυτόματη μετατροπή τύπων συνήθως έχει περιέργες αλληλεπιδράσεις με την υπερφόρτωση συναρτήσεων
  - Η υπερφόρτωση χρησιμοποιεί τους τύπους για την επιλογή του ορισμού που θα χρησιμοποιηθεί
  - Η αυτόματη μετατροπή τύπων χρησιμοποιεί τον ορισμό για να αποφασίσει τι είδους μετατροπή θα πρέπει να γίνει

## Παραδείγματα... σύγχυσης

- Έστω ότι, όπως στη C++, η γλώσσα επιτρέπει την αυτόματη μετατροπή `char` σε `int` ή σε `double`
- Ποια `square` καλείται σε μια κλήση `square('a')`;

```
int square(int x) { double square(double x) {
    return x*x;     return x*x;
}
```

- Έστω ότι, όπως στη C++, η γλώσσα επιτρέπει την αυτόματη μετατροπή `char` σε `int`
- Ποια `f` καλείται σε μια κλήση `f('a', 'b')`;

```
void f(int x, char y) { void f(char x, int y) {
    ...                 ...
}
```

## Πολυμορφισμός

## Παραμετρικός πολυμορφισμός

- Μια συνάρτηση είναι **παραμετρικά πολυμορφική** εάν έχει τύπο που περιέχει μία ή περισσότερες μεταβλητές τύπου
- Ένας τύπος με μεταβλητές τύπων είναι ένας **πολυτύπος**
- Παραμετρικός πολυμορφισμός συναντιέται σε γλώσσες όπως η ML, η C++ και η Ada

## Παράδειγμα: C++ Function Templates

```
template<class X> X max(X a, X b) {
    return a>b ? a : b;
}

void g(int a, int b, char c, char d) {
    int m1 = max(a,b);
    char m2 = max(c,d);
}
```

Ο τελεστής σύγκρισης > μπορεί να είναι πρόσθετα υπερφορτωμένος, οπότε η μεταβλητή τύπου X δεν περιορίζεται μόνο σε τύπους για τους οποίους ο τελεστής > είναι προκαθορισμένος.

## Παράδειγμα: Συναρτήσεις σε ML

```
- fun identity x = x;
val identity = fn : 'a -> 'a
- identity 3;
val it = 3 : int
- identity "hello";
val it = "hello" : string
- fun reverse x =
= if null x then nil
= else (reverse (tl x)) @ [(hd x)];
val reverse = fn : 'a list -> 'a list
```

## Υλοποίηση παραμετρικού πολυμορφισμού

- Το ένα άκρο: πολλά αντίγραφα του κώδικα
  - Δημιουργείται ένα σύνολο από μονομορφικές συναρτήσεις, μία για κάθε πιθανό στιγμότυπο των μεταβλητών τύπου
    - Κάθε αντίγραφο είναι μια μονομορφική υλοποίηση
    - Η οποία όμως μπορεί να βελτιστοποιηθεί/προσαρμοστεί στο συγκεκριμένο τύπο
- Το άλλο άκρο: ο ίδιος κώδικας
  - Δημιουργείται μία μόνο υλοποίηση και χρησιμοποιείται για όλες τις κλήσεις (αληθινός καθολικός πολυμορφισμός)
  - Δε μπορεί να βελτιστοποιηθεί για χρήση συγκεκριμένων τύπων
- Βεβαίως υπάρχουν και πολλές ενδιάμεσες υλοποιήσεις

## Πολυμορφισμός υποτύπων

- Μια συνάρτηση (ή ένας τελεστής) είναι **πολυμορφική ως προς υποτύπους** εάν κάποια από τις παραμέτρους τύπων της έχει υποτύπους
- Είναι σημαντική πηγή πολυμορφισμού σε γλώσσες με πλούσια δομή υποτύπων
- Τέτοιες είναι οι περισσότερες αντικειμενοστρεφείς γλώσσες προγραμματισμού (π.χ. η Java)

## Παράδειγμα: Pascal

```
type
  Day = (Mon, Tue, Wed, Thu, Fri, Sat, Sun);
  Weekday = Mon..Fri;

function nextDay(D: Day): Day;
begin
  if D=Sun then nextDay := Mon else nextDay := D+1
end;

procedure p(D: Day; W: Weekday);
begin
  D := nextDay(D);
  D := nextDay(W)
end;
```

**Πολυμορφισμός υποτύπων:** η συνάρτηση **nextDay** μπορεί να κληθεί με μια παράμετρο υποτύπου

## Παράδειγμα: Java

```
class Car {
  void brake() { ... }
}

class ManualCar extends Car
{
  void clutch() { ... }
}

void g(Car z) {
  z.brake();
}

void f(Car x, ManualCar y) {
  g(x);
  g(y);
}
```

Υποτύπος της κλάσης **Car** είναι η **ManualCar**

Η συνάρτηση **g** έχει έναν απεριόριστο αριθμό τύπων—ένα για κάθε κλάση που είναι μια υποκλάση της κλάσης **Car**

Λέμε ότι αυτό είναι πολυμορφισμός υποτύπων

## Ορισμοί (Ανακεφαλαίωση)

## Πολυμορφισμός

- Είδαμε 4 τύπους πολυμορφικών συναρτήσεων
- Υπάρχουν και άλλες χρήσεις του πολυμορφισμού
  - Πολυμορφισμός μεταβλητών, κλάσεων, πακέτων, συναρτήσεων
  - Είναι άλλο ένα όνομα για κλήση μεθόδων κατά το χρόνο εκτέλεσης: όταν μια κλήση **x.f()** μπορεί να καλέσει διαφορετικές μεθόδους ανάλογα με την κλάση του αντικειμένου **x** κατά το χρόνο εκτέλεσης
- Ορισμός που καλύπτει όλες τις χρήσεις:
- Μια συνάρτηση (ή ένας τελεστής) είναι **πολυμορφική** εάν έχει τουλάχιστον δύο πιθανούς τύπους
  - Λέμε ότι έχει **περιστασιακό πολυμορφισμό (ad hoc polymorphism)** εάν έχει τουλάχιστον δύο αλλά πεπερασμένο πλήθος πιθανών τύπων
  - Λέμε ότι έχει **καθολικό πολυμορφισμό (universal polymorphism)** εάν έχει άπειρο πλήθος πιθανών τύπων

## Υπερφόρτωση

- Περιστασιακός πολυμορφισμός (ad hoc polymorphism)
- Κάθε διαφορετικός τύπος πρέπει να έχει το δικό του ορισμό
- Αλλά οι ορισμοί αυτοί είναι πεπερασμένοι σε ένα πεπερασμένο πρόγραμμα



### Αυτόματη μετατροπή τύπων παραμέτρων

---

- Περιστασιακός πολυμορφισμός (ad hoc polymorphism)
- Όσο υπάρχουν πεπερασμένοι διαφορετικοί τύποι, υπάρχουν πεπερασμένοι το πλήθος διαφορετικοί τρόποι που μπορεί να γίνει η αυτόματη μετατροπή τύπων των παραμέτρων

### Παραμετρικός πολυμορφισμός

---

- Καθολικός πολυμορφισμός
- Τουλάχιστον όσο το πλήθος των πιθανών τιμών των μεταβλητών τύπων είναι άπειρο

### Πολυμορφισμός υποτύπων

---

- Καθολικός πολυμορφισμός
- Όσο δεν υπάρχει κάποιο όριο στο πλήθος των διαφορετικών υποτύπων που μπορεί να δηλωθούν για κάποιο συγκεκριμένο τύπο
- Συνηθισμένος σε αντικειμενοστρεφείς γλώσσες προγραμματισμού, όπως η Java

### Συμπερασματικά

---

- Συμπερασμός τύπων
  - Προσπαθεί να εξάγει τον καλύτερο τύπο για κάθε έκφραση, με βάση πληροφορία για (κάποια από) τα σύμβολα της έκφρασης
- Πολυμορφισμός
  - Όταν κάποια συνάρτηση ή αλγόριθμος μπορεί να δουλέψει σε πολλούς τύπους δεδομένων
- Υπερφόρτωση (overloading)
  - Όταν σύμβολα έχουν πολλαπλές χρήσεις οι οποίες επιλύονται στο χρόνο μεταγλώττισης (compile time)