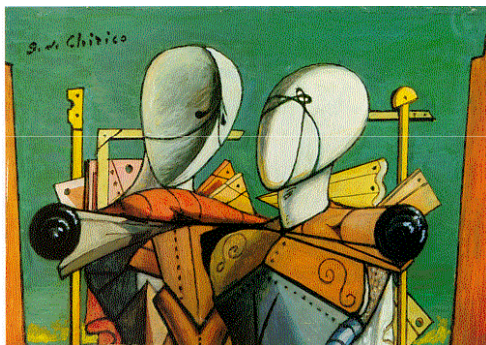


Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός



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” ποιιοι 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)

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 στην ML

Παράδειγμα

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

Πως συμπεραίνουμε τον παραπάνω τύπο;

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

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)

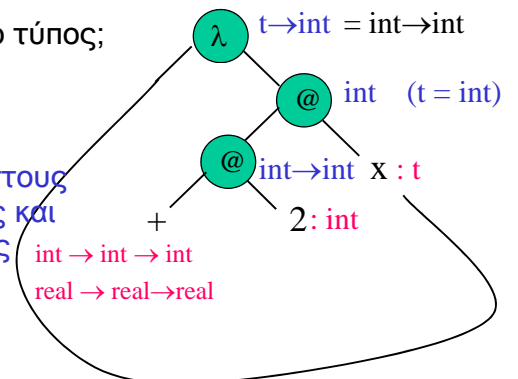
```
- fun add2 x = x+2;  
val add2 = fn : int -> int
```

Πως συμπεραίνεται ο τύπος;

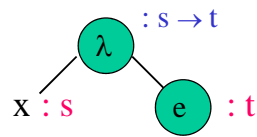
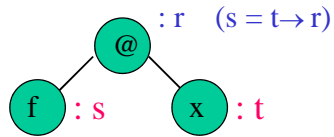
Αναθέτουμε τύπους στα φύλλα

Πρωθούμε τύπους στους εσωτερικούς κόμβους και γεννάμε περιορισμούς

Επιλύουμε μέσω αντικατάστασης (ενοποίησης)



Εφαρμογή και ορισμός συναρτήσεων



- Εφαρμογή συνάρτησης
 - Η f έχει τύπο συνάρτησης πεδίο ορισμού → 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 → 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
```

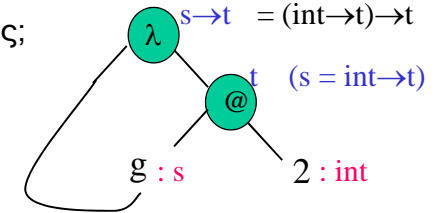
Γράφος για λg. (g 2)

- Πως συμπεραίνεται ο τύπος;

Αναθέτουμε τύπους στα φύλλα

Πρωθούμε 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 -> bool` να είναι στιγμιότυπο του τύπου `int -> 'a`

Ακόμα ένα παράδειγμα συμπερασμού τύπων

- Έστω η συνάρτηση

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

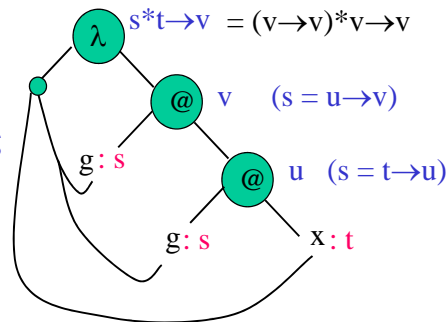
- Συμπερασμός τύπου

Αναθέτουμε τύπους στα φύλλα

Πρωθούμε τύπους στους εσωτερικούς κόμβους και γεννάμε περιορισμούς

Επιλύουμε μέσω ενοποίησης

Γράφος για $\lambda(g,x). g(g\ x)$



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

18

Υπερφόρτωση (overloading)

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

ML:

```
val x = 1 + 2;  
val y = 1.0 + 2.0;
```

Pascal:

```
a := 1 + 2;  
b := 1.0 + 2.0;  
c := "hello " + "there";  
d := ['a'..'d'] + ['f'];
```

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

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

19

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;  
    ...  
}
```

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

20

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))
 - Δέσμμευσης και αποδέσμμευσης μνήμης (new και delete)

Συμπερασμός Τύπων και Πολυμορφισμός

21

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);
}
```

square_i

square_d

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 ξοδεύουν 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 περίεργες 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) {  
    return x*x;  
}  
double square(double 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 στιγμιότυπο 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);
  W := 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);
}
```

*Υπότυπος 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)