Κεφάλαιο 7: Υποπρογράμματα

Αρχές Γλωσσών Προγραμματισμού και Μεταφραστών

Γ. Γαροφαλάκης, Σ. Σιούτας

Ορισμός

Αφαίρεση με χρήση υποπρογραμμάτων (subprogram abstraction) είναι η αντιστοίχιση ενός συνόλου εισόδων σε ένα σύνολο εξόδων που μπορεί να περιγραφεί φορμαλιστικά.

Η περιγραφή της χρήσης πρέπει να δείχνει πως σχετίζονται οι έξοδοι με τις εισόδους, αλλά δεν χρειάζεται να δείχνει τον τρόπο με τον οποίο υπολογίζονται οι έξοδοι.

Ο προγραμματιστής εστιάζει την προσοχή του στο τι γίνεται στο σημείο της κλήσης, και όχι στον τρόπο με τον οποίο γίνεται.

Χαρακτηριστικά Υποπρογραμμάτων

- Κάθε *υποπρόγραμμα* (**ΥΠ**) έχει ένα μόνο σημείο εισόδου.
- Η καλούσα μονάδα προγράμματος αναστέλλεται κατά την εκτέλεση του ΥΠ, οπότε υπάρχει μόνο ένα ΥΠ υπό εκτέλεση σε κάθε χρονική στιγμή.
- Ο έλεγχος επιστρέφει πάντα στην καλούσα μονάδα όταν ολοκληρώνεται η εκτέλεση του ΥΠ.
- Τις περισσότερες φορές, τα ΥΠ έχουν όνομα.

Είδη Υποπρογραμμάτων

- **Διαδικασία** (procedure)

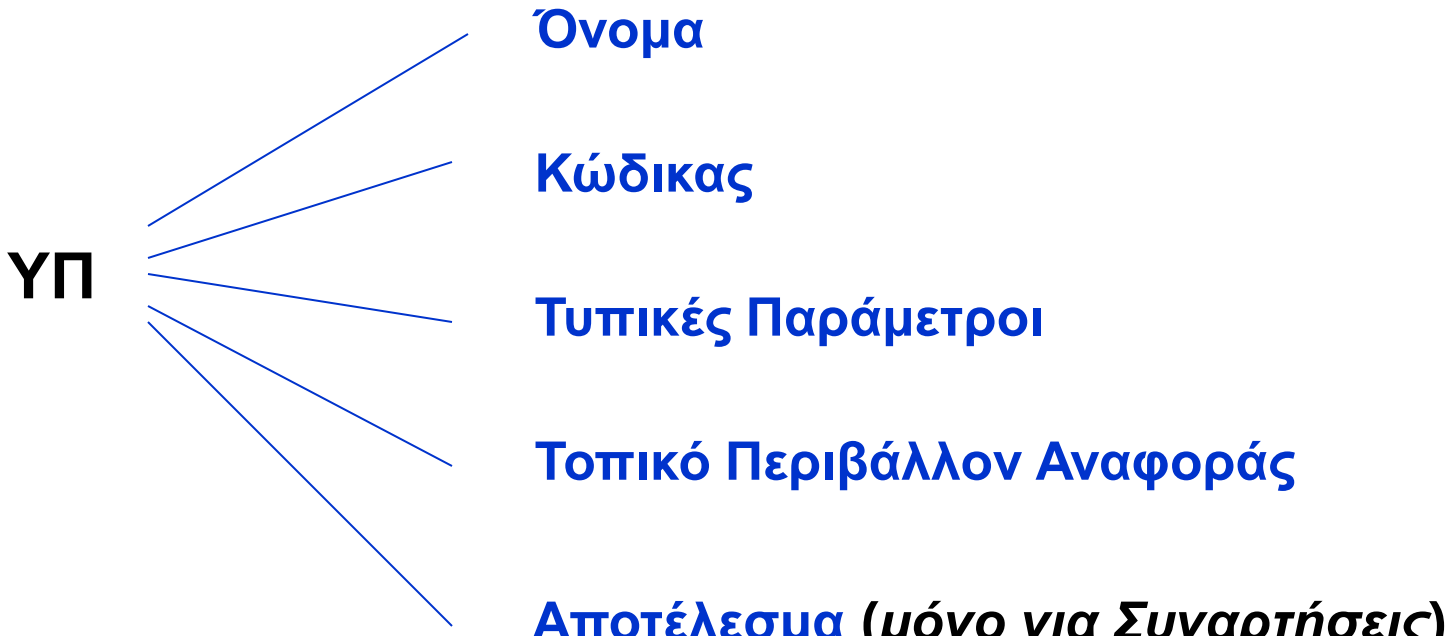
  Εκπληρώνει το έργο της, είτε εκχωρώντας τα αποτελέσματά της σε μία ή περισσότερες από τις παραμέτρους της, είτε αλλάζοντας το περιβάλλον της (τιμές μη-τοπικών μεταβλητών, ΠΑ), είτε κάνοντας και τα δύο.

- **Συνάρτηση** (function)

  Είναι Διαδικασία που, επιπλέον, επιστρέφει μία τιμή.

Συστατικά Υποπρογραμμάτων

Ένα Υποπρόγραμμα, περιλαμβάνει
4 (*διαδικασίες*), ή 5 (*συναρτήσεις*) στοιχεία :



Και άλλοι Ορισμοί

Τυπικές Παράμετροι: Δεν είναι ακριβώς μεταβλητές, αλλά ονόματα, που μπορεί να γίνουν τοπικές μεταβλητές και δείχνουν το ρόλο που θα παίξουν οι πραγματικές παράμετροι, όταν κληθεί η υπορουτίνα.

Πραγματικές Παράμετροι: Οι μεταβλητές και/ή οι εκφράσεις που παρέχονται σε μια υπορουτίνα, για να αντικαταστήσουν τις τυπικές παραμέτρους.

Παραδείγματα (1)

- Pascal:

```
PROCEDURE  F(X: real; var Y: integer) [: real]
[FUNCTION]
        VAR  M: array[1..10] of real;
             N: integer
        begin
        …
        end;
```

Παραδείγματα (2)

- C functions:

```
float power(float base, float exp)
        {  …
            … }
```

Κλήση:

```
x = power(10.0, x)
```

- C procedures:

```
void sort(int x[ ], int a)
        {  …
            … }
```

Κλήση:

```
sort(scores, 100)
```

Σχεδιαστικά Θέματα (1)

- Λίστα Παραμέτρων ή Προσδιορισμός Παραμέτρων

  Εκτός από το όνομα των παραμέτρων, περιλαμβάνει τον τύπο και τον τρόπο χρήσης. Π.χ.

  PROCEDURE F(**X: real; var Y: integer**)

- Αντιστοιχία Τυπικών – Πραγματικών Παραμέτρων

  Με βάση τη σειρά αναγραφής στον ορισμό της υπορουτίνας.

  Εξαίρεση: Η Ada επιτρέπει την ανατροπή της σειράς. Π.χ.

  Ορισμός: F(A, B). Κλήση: F(B->100, A->10).

Σχεδιαστικά Θέματα (2)

- Είδος τιμών που επιστρέφει μια Συνάρτηση

  FORTRAN, ALGOL60: Απλοί βαθμωτοί ΤΔ (real, int, bool)

  PL/1: Βαθμωτοί και αλφαριθμητικά και pointers

  Pascal: βαθμωτοί και pointers

  C, Ada: Όλους τους ΤΔ.

  Στις περισσότερες ΓΠ, πρέπει να εκχωρηθεί τιμή στο όνομα της function, πριν το τέλος της περιγραφής της. Π.χ. Pascal:

```
function f(x: integer): integer
  begin
    if x<=1 then
        f:=1
    else
        f:=x*f(x-1)
end;
```

Υπολογισμός και Μεταβίβαση Παραμέτρων

- Υπολογισμός Παραμέτρων (parameter evaluation)

  Διεργασία κατά την οποία κάθε πραγματική παράμετρος αναγνωρίζεται ότι συνδέεται με την αντίστοιχη τυπική παράμετρο, και μετά υπολογίζεται.

- Μεταβίβαση Παραμέτρων (parameter passing)

  Ο τρόπος με τον οποίο η υπολογισμένη πραγματική παράμετρος μεταφέρεται (συνδέεται) στο ΥΠ.

  - **Κλήση με Τιμή** (call by value)
  - **Κλήση με Αναφορά** (call by reference)
  - **Κλήση με Τιμή - Αποτέλεσμα** (call by value – result)
  - **Κλήση με Όνομα** (call by name)
  - **….**

Κλήση με Τιμή (1)

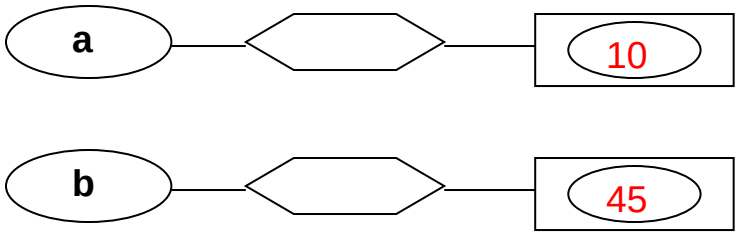
- Η πραγματική παράμετρος αποαναφοροποιείται και επιστρέφει μία τιμή, η οποία αντιγράφεται σε μια νέα θέση μνήμης, με την οποία συνδέεται το όνομα της τυπικής παραμέτρου. Δηλαδή, πρακτικά δημιουργείται μια νέα (τοπική) μεταβλητή.
- C, C++, Pascal (default)
- *Πλεονέκτημα*: Το ΥΠ μόνο διαβάζει την πραγματική παράμετρο, δεν έχει πρόσβαση για να την αλλάξει.
- *Μειονέκτημα*: Διπλασιασμός χρησιμοποιούμενης μνήμης.

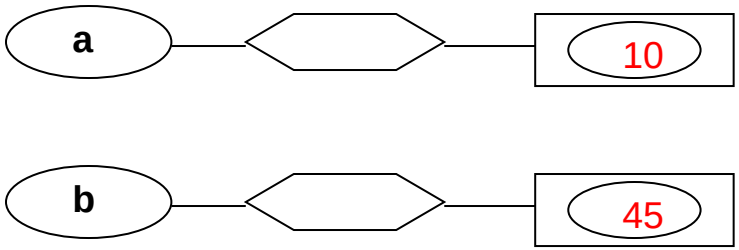
Κλήση με Τιμή (2)

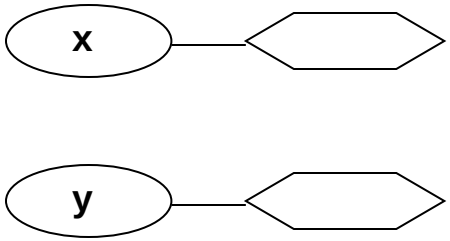
Σχηματικά:

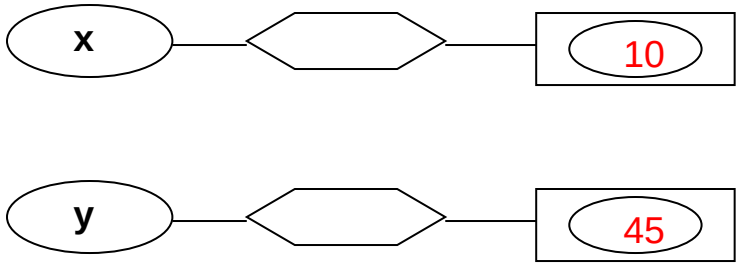
Ορισμός: Procedure P(x, y)

Κλήση: P(a, b)









Κλήση με Αναφορά (1)

- Αν η πραγματική παράμετρος χρησιμοποιεί μνήμη (π.χ. είναι μεταβλητή), αυτή η μνήμη συνδέεται με την τυπική παράμετρο, όταν γίνεται κλήση του ΥΠ. Δηλαδή, πρακτικά η τυπική παράμετρος γίνεται pointer στην πραγματική παράμετρο.
- FORTRAN, PL/1, Pascal (με VAR στις τυπικές παραμέτρους)
- C, C++ με χρήση pointers: void A(int *f) κλήση: A(&x)
- Κλήση με πραγματικές παραμέτρους σταθερές:

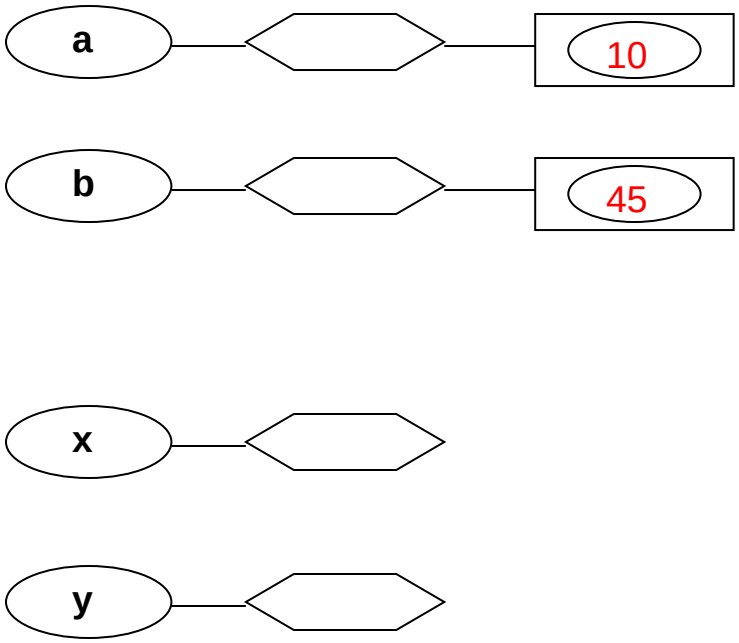
  P(var x) Κλήση: P(10)

  Αν αλλάζει η τιμή του x στο ΥΠ, η θέση μνήμης του λέγεται *ανώνυμη μεταβλητή*.
- *Πλεονεκτήματα*: Απόδοση, γρήγορη αλλαγή τιμής της πραγματικής παραμέτρου.

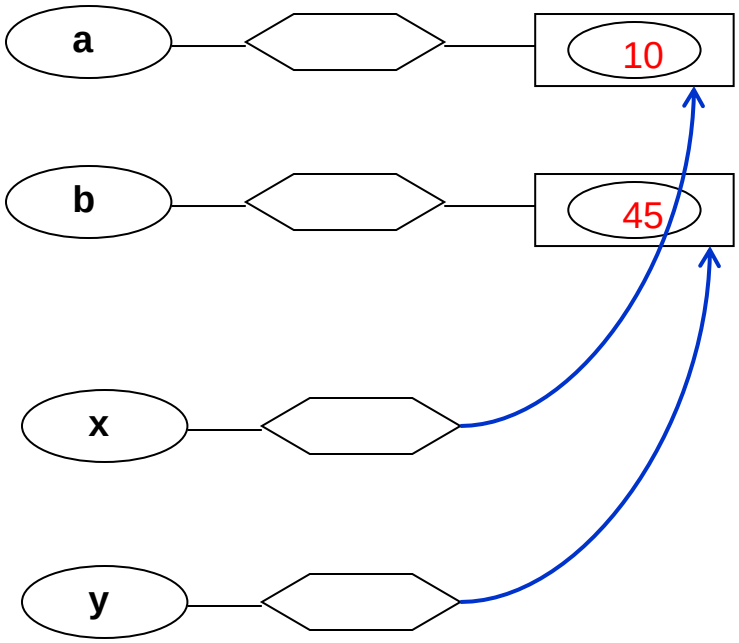
Κλήση με Αναφορά (2)

Σχηματικά:

Procedure P(VAR x, y)



Κλήση: P(a, b)



Κλήση με Τιμή - Αποτέλεσμα

- Όταν η πραγματική παράμετρος είναι μεταβλητή, αποαναφοροποιείται και η τιμή αντιγράφεται σε μια νέα θέση μνήμης, όπως στην Κλήση με Τιμή. Η θέση αυτή μνήμης, χρησιμοποιείται στο σώμα του ΥΠ. Κατά την έξοδο, η τιμή της τυπικής παραμέτρου αντιγράφεται στη θέση μνήμης της πραγματικής μεταβλητής.
- ALGOL-W

Κλήση με Όνομα

- Αφήνει τις πραγματικές παραμέτρους χωρίς να υπολογιστεί η τιμή τους, μέχρι το χρονικό **σημείο χρήσης** τους στο ΥΠ.
- Δηλαδή, οι *πραγματικές παράμετροι* αντιμετωπίζονται οι ίδιες σαν υποπρογράμματα χωρίς παραμέτρους (thunk), που εκτελούνται και υπολογίζεται η τιμή τους (για να δοθεί στην τυπική παράμετρο), με το τρέχον ΠΑ του προγράμματος ή ΥΠ το οποίο καλεί το τρέχον ΥΠ.
- Τότε, η τυπική παράμετρος συνδέεται με την πραγματική παράμετρο, όπως στην Κλήση με Αναφορά.
- Ο υπολογισμός της πραγματικής παραμέτρου, γίνεται εξ αρχής, κάθε φορά που χρησιμοποιείται η αντίστοιχη τυπική παράμετρος.
- ALGOL-60, SIMULA (επιλογή του χρήστη)

Παράδειγμα 1

```
MAIN
    VAR   M: integer;
          C: array [1..10] of integer;
    Procedure  R (VAR i, j: integer)
          begin
              i = i + 1;
              j = j + 1;
              write (i, j);
          end;
BEGIN
    M:= 2;
    R (M, C[M]);
END.
```

Ερώτημα 1:
Με την εντολή write(i,j) τι θα τυπωθεί, αν έχουμε **Κλήση με Αναφορά**;

Απάντηση 1:
3, C [2] + 1

Ερώτημα 2:
Με την εντολή write(i,j) τι θα τυπωθεί, αν έχουμε **Κλήση με Όνομα**;

Απάντηση 2:
3, C [3] + 1

Ερώτημα 3:
Τι τιμή έχει το C[3] στο τέλος με **Κλήση με Όνομα**;

Απάντηση 3:
C [3]$_{\text{αρχικό}}$ + 1

Παράδειγμα 2

// C program to illustrate call by value

```
#include <stdio.h>
void swapx(int x, int y);
int main()
{
    int a = 10, b = 20;
        swapx(a, b);
    printf("a=%d b=%d\n", a, b);
    return 0;
}
void swapx(int x, int y)
{
    int t;
    t = x;
    x = y;
    y = t;
    printf("x=%d y=%d\n", x, y);
}
```

x=20 y=10
a=10 b=20

// C program to illustrate Call by Reference

```
#include <stdio.h>
void swapx(int*, int*);
int main()
{
    int a = 10, b = 20;
    swapx(&a, &b);
    printf("a=%d b=%d\n", a, b);
    return 0;
}
 void swapx(int* x, int* y)
{
    int t;
    t = *x;
    *x = *y;
    *y = t;
    printf("x=%d y=%d\n", *x, *y);
}
```

x=20 y=10
a=20 b=10

Διαφορές C, C++ και Java

- **Note :** In C, we use pointers to achieve call by reference. In C++, we can either use pointers or references to for pass by reference. In Java, primitive types are passed as values and non-primitive types are always references.
- **Java is Strictly Pass by Value!**

ΠΑΡΑΔΕΙΓΜΑ 3: Java is Strictly Pass by Value!

Primitive types:

```
public class Main
{
    public static void main(String[] args)
    {
        int x = 5;
        change(x);
        System.out.println(x);
    }
    public static void change(int x)
    {
        x = 10;
    }
}
```

Output: 5

How about objects or references?

The changes are not reflected back if we change the object itself to refer some other location or object.

Παράδειγμα 4: A Java program to show that references are also passed by value.

```
class Test
{
    int x;
    Test(int i) { x = i; }
    Test()      { x = 0; }
}

class Main
{
    public static void main(String[] args)
    {
        // t is a reference
        Test t = new Test(5);
        // Reference is passed and a copy of
reference
        // is created in change()
        change(t);
        // Old value of t.x is printed
        System.out.println(t.x);
    }
```

```
public static void change(Test t)
    {
        // We changed reference to refer some other location
        // now any changes made to reference are not reflected
        // back in main
        t = new Test();
        t.x = 10;
    }
}
```

Output: 5

Παράδειγμα 5: Changes are reflected back if we do not assign reference to a new location or object:

```
class Test
{
    int x;
    Test(int i) { x = i; }
    Test()      { x = 0; }
}

class Main
{
    public static void main(String[] args)
    {
        // t is a reference
        Test t = new Test(5);
        // Reference is passed and a copy of
reference
        // is created in change()
        change(t);
        // New value of t.x is printed
        System.out.println(t.x);
    }

// This change() doesn't change the reference, it only
// changes member of object referred by reference

public static void change(Test t)
    {
            t.x = 10;
    }
}
```

Output: 10

Παράδειγμα 6.1 (call-by-value)

```
program params;
    var i: integer;
    a: array[1..2] of integer;
    procedure p(x,y: integer);
    begin
        x := x + 1;
        i := i + 1;
        y := y + 1;
    end;
begin
    a[1] := 1;
    a[2] := 2;
    i := 1;
    p( a[i],a[i] );
    output( a[1],a[2] );
end.
```

Call by Value

x and **y** in **p** are **local** variables *initialized* with the actual parameters, while **i** is a **global** variable, so the call **p(a[i],a[i])** is equivalent to:

x := 1 /* The value of a[i] */
y := 1 /* The value of a[i] */

x := 2 /* x + 1 */
i := 2 /* i + 1 */
y := 2 /* y + 1 */

and at the end the values **1, 2** are printed since they are the values of **a[1], a[2] which weren't changed.**

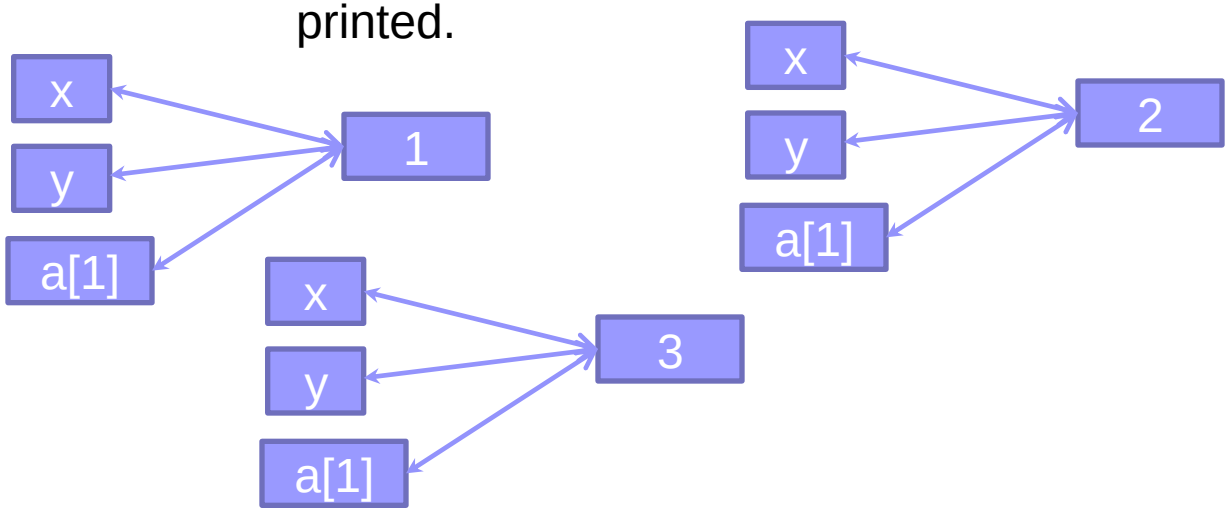
Παράδειγμα 6.2 (call-by-reference)

```
program params;
    var i: integer;
    a: array[1..2] of integer;
    procedure p(x,y: integer);
    begin
        x := x + 1;
        i := i + 1;
        y := y + 1;
    end;
begin
    a[1] := 1;
    a[2] := 2;
    i := 1;
    p( a[i],a[i] );
    output( a[1],a[2] );
end.
```

Call by Reference

Both **x** and **y** in **p** are **alias** for **a[1]** and (again) **a[1]** (since **i = 1** when the procedure is called), so the call is equivalent to:

a[1] := 2 /* a[1] + 1 */
i:= 2 /* i + 1 */
a[1] := 3 /* a[1] + 1 */
and at the end the values **3, 2** are printed.



Παράδειγμα 6.3 (call-by-name)

```
program params;
    var i: integer;
    a: array[1..2] of integer;
    procedure p(x,y: integer);
    begin
        x := x + 1;
        i := i + 1;
        y := y + 1;
    end;
begin
    a[1] := 1;
    a[2] := 2;
    i := 1;
    p( a[i],a[i] );
    output( a[1],a[2] );
end.
```

Call by Name is *equivalent* to Call by Reference when simple variables are passed as parameters, but is *different* when you pass an expression that denotes a memory location, like a subscript.

In this case the actual parameter is re-evaluated each time it is encountered. So in this case, this is the effect of the call of p(a[i],a[i]):

a[1] := 2 /* since i = 1, the result is equal to **a[1] + 1** */
i:= 2 /* i + 1 */
a[2] := 3 /* since i is now 2, the result is equal to **a[2] + 1** */
and at the end the values **2, 3** are printed.

In practice the implementation calls an anonymous function (a “thunk”), each time it must evaluate a parameter.

Παράδειγμα 6.4 (call-by-value result)

```
program params;
    var i: integer;
    a: array[1..2] of integer;
    procedure p(x,y: integer);
    begin
        x := x + 1;
        i := i + 1;
        y := y + 1;
    end;
begin
    a[1] := 1;
    a[2] := 2;
    i := 1;
    p( a[i],a[i] );
    output( a[1],a[2] );
end.
```

Call by Value Result:
x and **y** are **initialized at the beginning** of the procedure execution **with the values of the actual parameters**, and, **at the end** of the execution of the procedure, **are copied back to the *original* variables *addresses***:

```
x := 1       /* The value of a[i] */
y := 1       /* The value of a[i] */

x := 2       /* x + 1 */
i := 2       /* i + 1 */
y := 2       /* y + 1 */

a[1] := 2    /* the value of x is copied
back to a[1] */
a[1] := 2    /* the value of y is copied
back to a[1] (not a[2]!) */
```

and at the end the values **2, 2** are printed.