

Διάλεξη 11 - Δείκτες και Αναδρομή

Εθνικό και Καποδιστριακό Πανεπιστήμιο Αθηνών

Εισαγωγή στον Προγραμματισμό

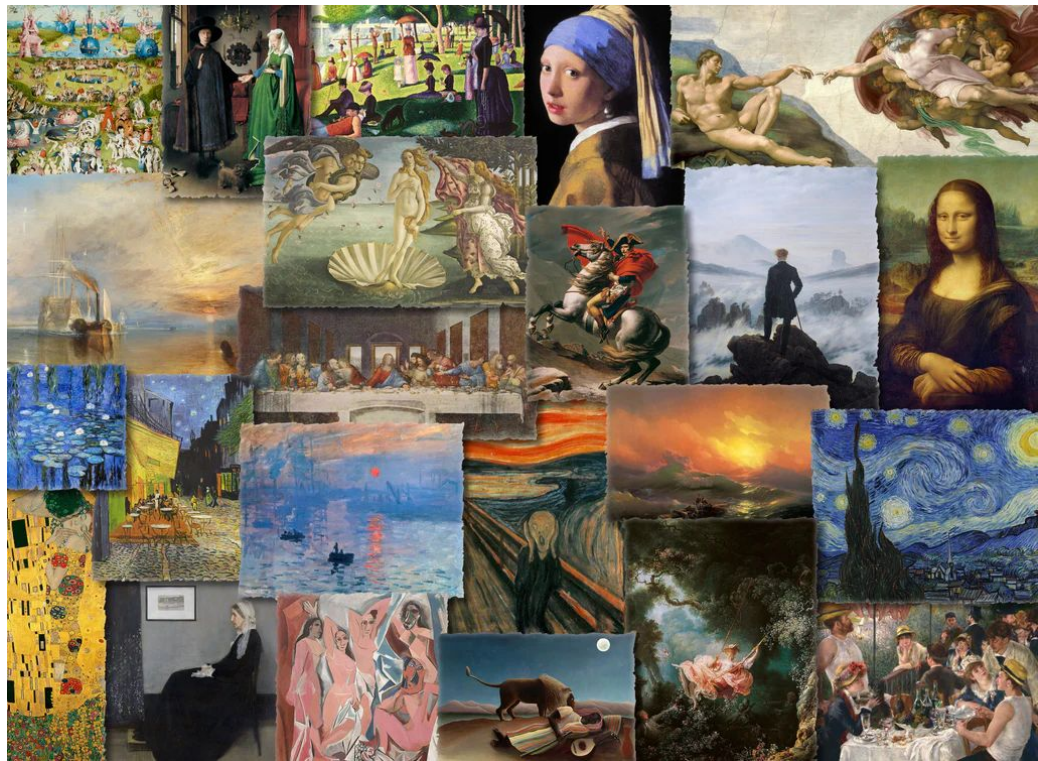
Θανάσης Αυγερινός / Τάκης Σταματόπουλος

Ανακοινώσεις / Διευκρινίσεις

- Η Εργασία #1 έρχεται την επόμενη εβδομάδα!

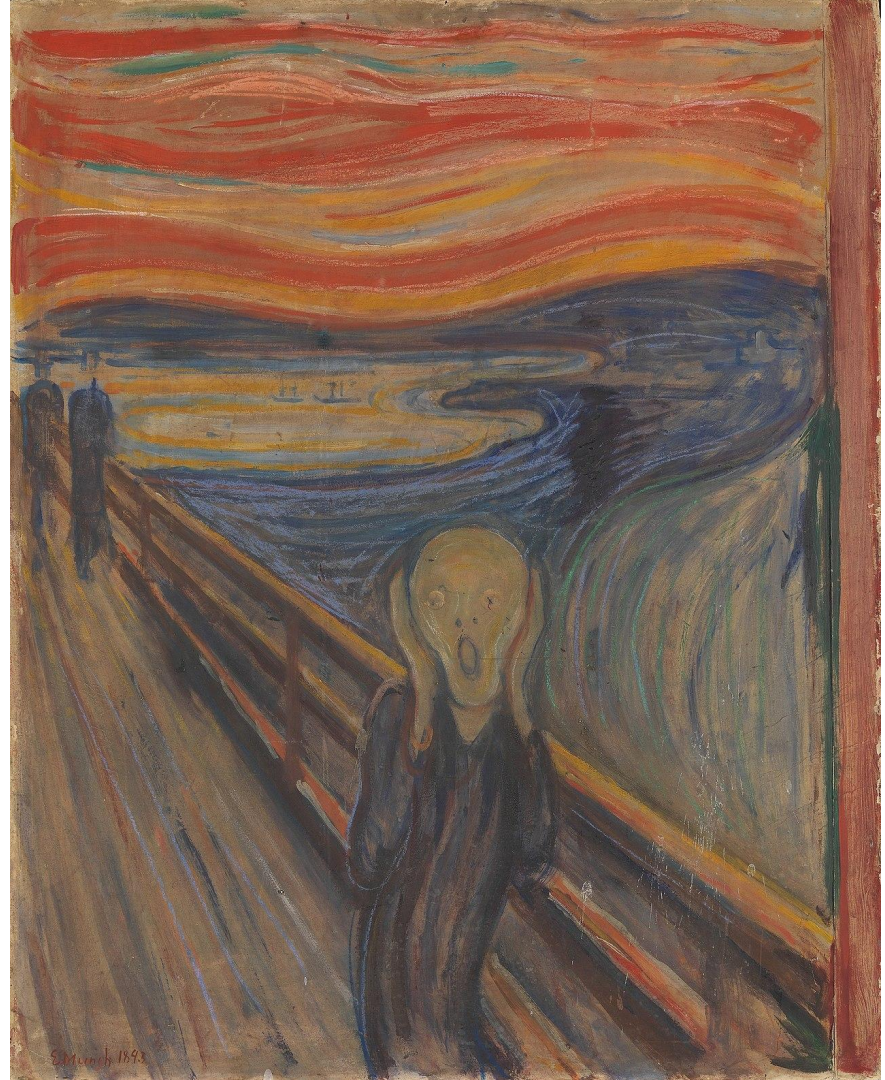
Την προηγούμενη φορά

- Λίγο για scanf
- Πίνακες (Arrays)



Σήμερα

- Δείκτες (Pointers)
 - Διευθύνσεις μνήμης
 - Χρήση δεικτών
 - Πράξεις με δείκτες
 - Παραδείγματα
- Παραδείγματα
- Αναδρομή



Η Μνήμη Οργανώνεται σε Bytes (Υπενθύμιση)

Το μέγεθος της μνήμης μετράται σε Bytes:

- 1 KB (KiloByte) = 1.000 Bytes
- 1 MB (MegaByte) = 1.000.000 Bytes
- 1 GB (GigaByte) = 1.000.000.000 Bytes

Μνήμη με
N Bytes

Byte 0

Byte 1

Byte 2

...

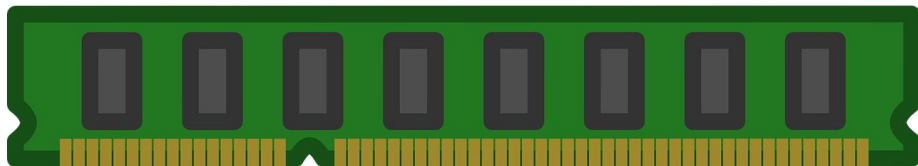
Byte N-2

Byte N-1

0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0



Διεύθυνση ενός Κελιού Μνήμης

Η θέση ενός κελιού στην μνήμη λέγεται

διεύθυνση (address).

πχ: στην διεύθυνση 2 υπάρχει το byte $11100011_{(2)}$

Μνήμη με
N Bytes

Byte 0

Byte 1

Byte 2

...

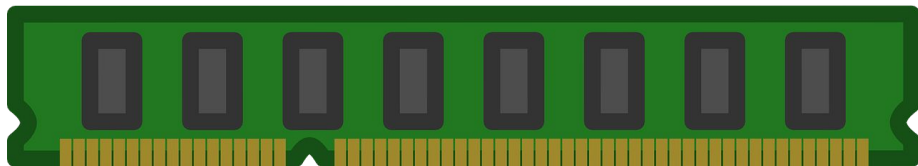
Byte N-2

Byte N-1

0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0



Δήλωση Μεταβλητής (Variable Declaration)

Μεταβλητή είναι ένα τμήμα της μνήμης με συγκεκριμένο **όνομα**.

Η μεταβλητή για να χρησιμοποιηθεί πρέπει να έχει **δηλωθεί** με κάποιον **τύπο**.

π.χ. 4 bytes
για την x
ξεκινώντας
από το 0

`int x;`

Ο **τύπος (type)** της μεταβλητής λέει στον μεταγλωττιστή πόση μνήμη να δεσμεύσει για τα περιεχόμενα

Το **όνομα (name)** της μεταβλητής κάνει τον μεταγλωττιστή να διαλέξει την διεύθυνση της μνήμης που θα την αποθηκεύσει

Byte 0

0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	1	1

Byte 1

Byte 2

Byte 3

...

...

Byte N-2

Byte N-1

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0

Ανάθεση σε Μεταβλητή (Variable Assignment)

Ανάθεση σε μια μεταβλητή μπορεί να γίνει κατά τον ορισμό της:

```
int x = 42;
```

Ή μετά τον ορισμό της:

```
int x;
```

```
x = 42;
```

Ή με δεκαεξαδικό τρόπο:

```
int x = 0x2A;
```

Περιεχόμενο της x
πριν την ανάθεση

Byte 0

0	0	1	0	1	0	1	0
0	1	0	0	0	0	1	0
1	1	1	0	0	0	1	1
1	1	1	0	0	0	1	1

Byte 1

Byte 2

Byte 3

...

...

Byte N-2

Byte N-1

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0

Ανάθεση σε Μεταβλητή (Variable Assignment)

Ανάθεση σε μια μεταβλητή μπορεί να γίνει κατά τον ορισμό της:

```
int x = 42;
```

Ή μετά τον ορισμό της:

```
int x;
```

```
x = 42;
```

Ή με δεκαεξαδικό τρόπο:

```
int x = 0x2A;
```

Περιεχόμενο της x
μετά την ανάθεση

Byte 0

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0

Byte 1

Byte 2

Byte 3

...

...

Byte N-2

Byte N-1

0	0	0	0	0	0	0	0
0	1	1	0	1	0	0	0

Διεύθυνση (Address) Μιας Μεταβλητής

Μπορούμε να βρούμε την **διεύθυνση** μιας μεταβλητής χρησιμοποιώντας τον μοναδιαίο τελεστή **&** (ampersand):

```
int x = 42;
```

```
printf("%d\n", &x);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test
```

```
100
```

&x

Byte 100

Byte 101

Byte 102

Byte 103

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0

Η διεύθυνση είναι πάντα ένας **ακέραιος** αριθμός (**100** στο παράδειγμα). Ο αριθμός των bits για την αναπαράσταση μιας διεύθυνσης καθορίζεται από τον μεταγλωττιστή, για παράδειγμα 32-bit για συστήματα των 32-bit (-m32), 64-bit για συστήματα των 64-bit kok.

Διεύθυνση (Address) Μιας Μεταβλητής

Μπορούμε να βρούμε την **διεύθυνση** μιας μεταβλητής χρησιμοποιώντας τον μοναδιαίο τελεστή **&** (ampersand):

```
int x = 42;  
  
printf("%d\n", &x);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test  
100
```

&x

Byte 100

Byte 101

Byte 102

Byte 103

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	1	0	1	0	1	0

...

Σε αυτήν την εκτέλεση του προγράμματος, η μεταβλητή **x** τοποθετήθηκε στην διεύθυνση **100**. Προσοχή: οι διευθύνσεις μπορούν να αλλάξουν από εκτέλεση σε εκτέλεση.

Θα προσθέσουμε έναν νέο τύπο (δείκτη / pointer) για να αποθηκεύουμε **διευθύνσεις** μεταβλητών

Πέρα από τους βασικούς `int`, `char`, `double`



Δήλωση Τύπου Δείκτη (Pointer) στην C

Ο **δείκτης** είναι μία μεταβλητή που περιέχει την **διεύθυνση** μνήμης ενός συγκεκριμένου τύπου δεδομένων. Γενική μορφή:

τύπος * όνομα;

Ο **τύπος** * λέει στον μεταγλωττιστή ότι η διεύθυνση του δείκτη είναι για δεδομένα τύπου **τύπος**

Το **όνομα (name)** της μεταβλητής που κρατάει την τιμή του δείκτη - ο μεταγλωττιστής επιλέγει που θα αποθηκευτεί

Δήλωση Τύπου Δείκτη (Pointer) στην C

Ο **δείκτης** είναι μία μεταβλητή που περιέχει την διεύθυνση μνήμης ενός συγκεκριμένου τύπου δεδομένων. Γενική μορφή:

int * pointer;

Ο **int** * τύπος λέει στον μεταγλωττιστή ότι η διεύθυνση που αποθηκεύει ο δείκτης είναι για δεδομένα τύπου **int**

Το **όνομα (name)** της μεταβλητής που κρατάει την τιμή του δείκτη - ο μεταγλωττιστής επιλέγει που θα αποθηκευτεί

Αρχικοποίηση ενός Δείκτη σε `int`

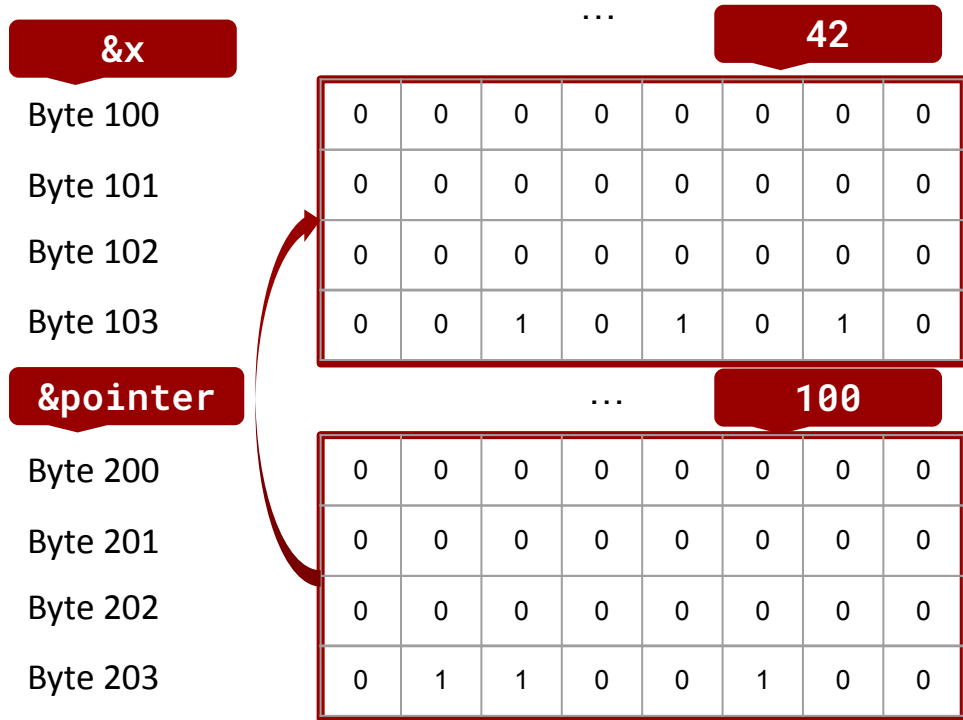
Αρχικοποιούμε έναν δείκτη με την διεύθυνση μιας μεταβλητής ως εξής:

```
int x = 42;  
int *pointer = &x;  
printf("%d, %d\n", pointer, &pointer);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test  
100, 200
```

Λέμε ότι ο `pointer` δείχνει (points to) στην μεταβλητή `x`.



Αρχικοποίηση ενός Δείκτη σε char

Αρχικοποιούμε έναν δείκτη με την διεύθυνση ενός χαρακτήρα ως εξής:

```
char c = 42;  
char *pointer = &c;  
printf("%d, %d\n", pointer, &pointer);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test  
150, 200
```

Λέμε ότι ο `pointer` δείχνει (points to) στην μεταβλητή `x`.

&c

Byte 148

Byte 149

Byte 150

Byte 151

&pointer

Byte 200

Byte 201

Byte 202

Byte 203

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0				0
0	0	1	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

42

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0

150

Ο τελεστής sizeof

Υπολογίζει τον αριθμό των bytes που δεσμεύει στην μνήμη του υπολογιστή ο τύπος δεδομένων ή η μεταβλητή που δηλώνεται στις παρενθέσεις του

```
printf("int size: %d\n", sizeof(int));
```

Ή πιο "σωστά":

```
printf("int size: %zu\n", sizeof(int));
```

```
./sizeof  
int size: 4
```

Τι θα τυπώσει το παρακάτω πρόγραμμα:

```
#include <stdio.h>
```

```
int main() {
```

```
    int * ipointer;
```

```
    char * cpointer;
```

```
    double * dpointer;
```

```
    printf("%d %d %d\n", sizeof(ipointer), sizeof(cpointer), sizeof(dpointer));
```

```
    return 0;
```

```
}
```

Η ειδική τιμή NULL

Όταν θέλουμε να δηλώσουμε ότι ένας δείκτης **δεν δείχνει σε κάποια μεταβλητή**, του αναθέτουμε την τιμή **NULL** (διεύθυνση 0).

```
int * ipointer = NULL;

...

if (ipointer == NULL) {
    printf("pointer does not point anywhere\n");
}
```

Δεν υπάρχει περίπτωση όμως στην διεύθυνση 0 να υπάρχει μεταβλητή; Θεωρητικά ναι, πρακτικά όχι.

[The billion dollar mistake](#)

Ο δείκτης δείχνει σε μια μεταβλητή - μπορώ να προσπελάσω την μεταβλητή έχοντας μόνο την διεύθυνσή της;

Χρήση Δεικτών (Dereference Pointers)

Για να χρησιμοποιήσουμε το περιεχόμενο της μεταβλητής στην οποία δείχνει ένας δείκτης χρησιμοποιούμε τον μοναδιαίο τελεστή `*`:

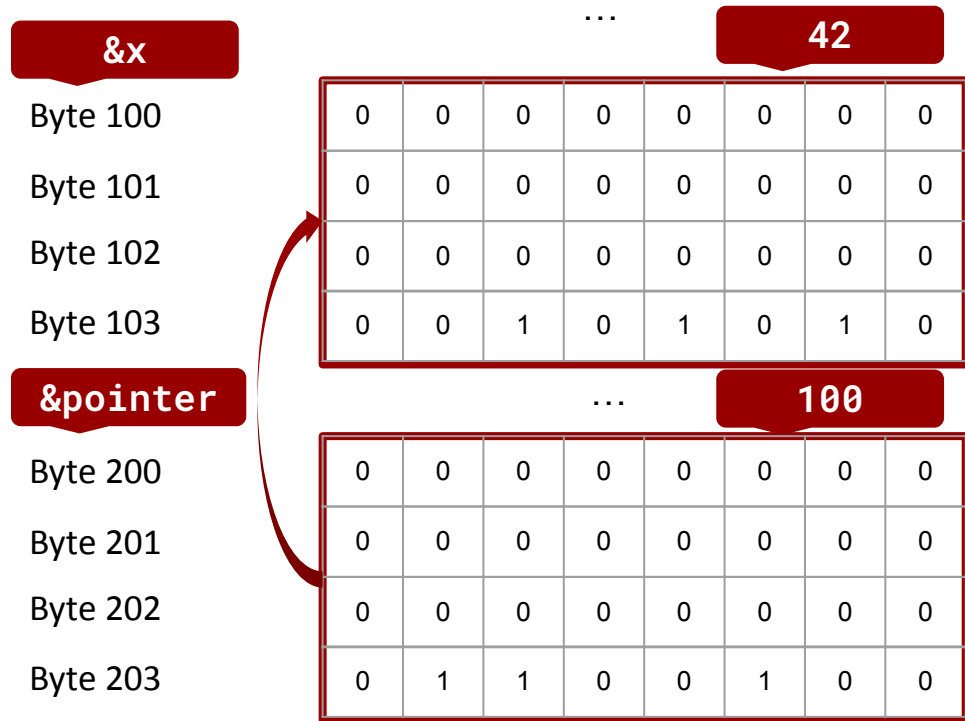
```
int x = 42;  
int *pointer = &x;  
printf("%d\n", *pointer);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test
```

```
42
```

Η χρήση του `*pointer` είναι ισοδύναμη με την χρήση της μεταβλητής `x`.



Χρήση Μη-Έγκυρων Δεικτών (Invalid Pointers)

Για να χρησιμοποιήσουμε το περιεχόμενο της διεύθυνσης στην οποία δείχνει ένας δείκτης, η διεύθυνση πρέπει πρώτα να υπάρχει.

```
int *pointer;  
printf("%d\n", *pointer);
```

Το παραπάνω πρόγραμμα κατά πάσα πιθανότητα θα οδηγήσει σε σφάλμα **segmentation fault**, καθώς το περιεχόμενο της μεταβλητής pointer δεν έχει αρχικοποιηθεί και επομένως δεν θα έχει μια έγκυρη διεύθυνση μνήμης.

Οι τελεστές * και & είναι συμπληρωματικοί

Ο τελεστής * επιστρέφει την μεταβλητή σε μια διεύθυνσης μνήμης, ενώ ο τελεστής & επιστρέφει την διεύθυνση μνήμης μιας μεταβλητής. Επομένως λέμε ότι αυτοί οι δύο τελεστές είναι συμπληρωματικοί (ή αντίστροφοι, ή αλλιώς ότι αλληλοαναιρούνται όταν εφαρμόζονται σε **έγκυρους δείκτες**).

```
int x = 42;
```

```
int *pointer = &x;
```

```
printf("%p %p %p\n", pointer, &*pointer, *&pointer);
```

Τρέχοντας το παραπάνω:

```
$ ./pointer_size
```

```
0x7ffcf94870cc 0x7ffcf94870cc 0x7ffcf94870cc
```

Τι τυπώνει το παρακάτω πρόγραμμα;

```
#include <stdio.h>

int main() {

    int a = 100, b = 200, c;

    int *ptr_a = &a, *ptr_b = &b, *ptr_c = &c;

    *ptr_c = a;

    *ptr_a = b;

    *ptr_b = *ptr_c;

    printf("%d %d %d", a, b, c);

    return 0;

}
```

Πράξεις με Δείκτες (Διευθύνσεις)

Μπορούμε να εφαρμόσουμε τελεστές σε δείκτες στις ακόλουθες περιπτώσεις:

- Πρόσθεση ή αφαίρεση ακεραίου σε/από δείκτη
- Αφαίρεση δύο δεικτών
- Σύγκριση δύο δεικτών ή με το 0 (NULL)

Πρόσθεση Ακεραίου σε δείκτη

Η πρόσθεση ενός ακεραίου αυξάνει την διεύθυνση του δείκτη κατά το μέγεθος του τύπου στον οποίο δείχνει πολλαπλασιασμένο με τον ακέραιο

`τύπος * pointer; pointer += N => pointer = (int)pointer + N * sizeof(τύπος)`

Παραδείγματα:

```
int *ipointer; ipointer += 2; // => + 2 * sizeof(int)
```

```
char *cpointer; cpointer += 2; // => + 2 * sizeof(char)
```

```
double *dpointer; dpointer += 2; // => + 2 * sizeof(double)
```

Αύξηση Δείκτη σε `int`

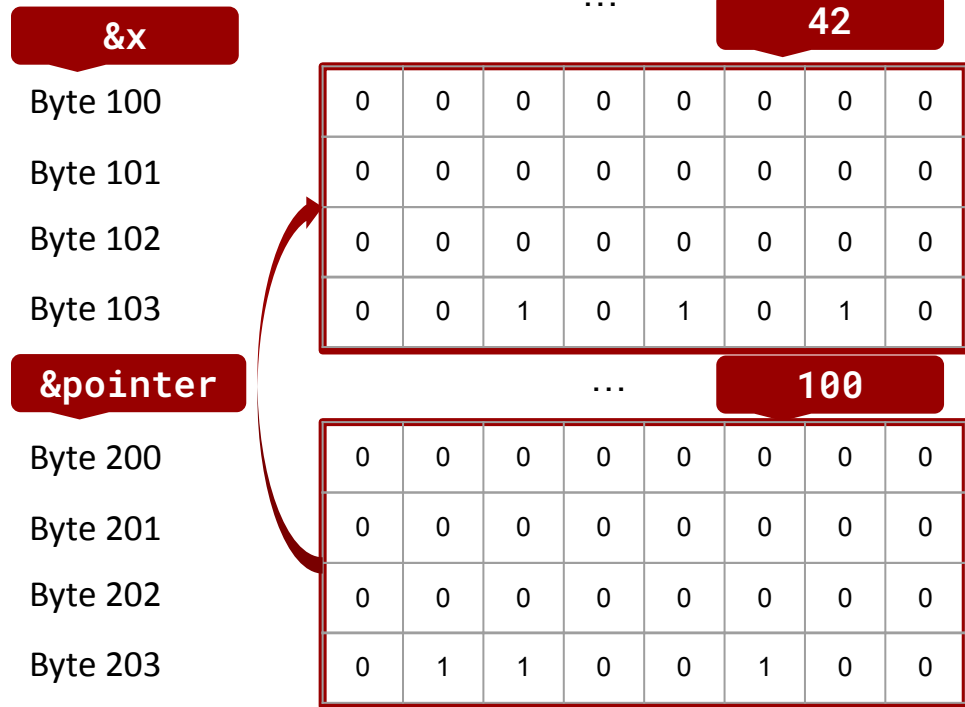
Για να χρησιμοποιήσουμε το περιεχόμενο της μεταβλητής στην οποία δείχνει ένας δείκτης χρησιμοποιούμε τον μοναδιαίο τελεστή `*` :

```
int x = 42;  
int *pointer = &x;  
printf("%d\n", ++pointer);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test
```

```
104
```



Μείωση δείκτη σε char

Αρχικοποιούμε έναν δείκτη με την διεύθυνση ενός χαρακτήρα ως εξής:

```
char c = 42;  
char *pointer = &c;  
printf("%d\n", --pointer);
```

Όταν το τρέξουμε:

```
$ ./test
```

```
149
```

&c

Byte 148

Byte 149

Byte 150

Byte 151

&pointer

Byte 200

Byte 201

Byte 202

Byte 203

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	42			0
0	0	1	0	1	0	1	0
0	0	0	0	0	0	0	0

...

0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0
1	0	0	1	0	1	1	0

150

Αναφορά σε στοιχεία πίνακα - Τι θα τυπώσει;

```
#include <stdio.h>

int main() {
    int *ptr, arr[] = {10, 20, 30};
    ptr = &arr[0];
    printf("mem[%p], %d\n", ptr, *ptr);
    ptr += 2;
    printf("mem[%p], %d\n", ptr, *ptr);
    return 0;
}
```


Αναφορά σε στοιχεία πίνακα - Τι θα τυπώσει;

```
#include <stdio.h>

int main() {
    int *ptr, arr[] = {10, 20, 30};
    ptr = &arr[0];
    printf("mem[%p], %d\n", ptr, *ptr);
    ptr += 2;
    printf("mem[%p], %d\n", ptr, *ptr);
    return 0;
}
```

```
$ ./test
mem[0xffa35e60], 10
mem[0xffa35e68], 30
```

Συντομογραφία για χρήση στοιχείου

Η έκφραση `*(ptr + n)` - υπολόγισε την διεύθυνση του δείκτη μετά από `n` στοιχεία και επέστρεψε την μεταβλητή είναι τόσο συχνή που έχουμε μια συντομογραφία:

$$*(ptr + n) \Leftrightarrow ptr[n]$$
$$*(ptr + 3) \Leftrightarrow ptr[3]$$

Μας θυμίζει κάτι;

Συντομογραφία για χρήση στοιχείου

Η έκφραση `*(ptr + n)` - υπολόγισε την διεύθυνση του δείκτη μετά από `n` στοιχεία και επέστρεψε την μεταβλητή είναι τόσο συχνή που έχουμε μια συντομογραφία:

$$*(ptr + n) \Leftrightarrow ptr[n]$$
$$*(ptr + 3) \Leftrightarrow ptr[3]$$

Μας θυμίζει κάτι;

Είναι όμοιο με την έκφραση αναφοράς σε ένα στοιχείο πίνακα!

```
int a[100]; // το a είναι ένας δείκτης κολλημένος στο &a[0]
```

Διαφορές Πινάκων και Δεικτών

Παρόλο που η προσπέλαση στοιχείων είναι η ίδια, και ο πίνακας είναι ουσιαστικά ένας δείκτης στο πρώτο στοιχείο, υπάρχουν διαφορές. Π.χ.:

```
int a[100]; int *ptr;
```

- Δεν μπορούμε να αλλάξουμε την διεύθυνση ενός πίνακα (`a = ptr`)
- Η δήλωση ενός πίνακα δημιουργεί θέσεις μνήμης για τα στοιχεία του (100 int), ενώ η δήλωση ενός δείκτη δημιουργεί θέση για μια διεύθυνση
- Ο τελεστής `sizeof` γυρνάει το μέγεθος του πίνακα (`sizeof(a) == 100 * sizeof(int)`) και όχι το εύρος ενός ακεραίου διεύθυνσης (`sizeof(ptr)`)
- Ο τελεστής `&` επιστρέφει την διεύθυνση του πρώτου στοιχείου του πίνακα (`&a == &a[0]`) και όχι την διεύθυνση ενός δείκτη (`&ptr`)

Από την προηγούμενη φορά, πως μπορώ να τυπώσω "World\n";

```
char hello[] = "Hello World\n";
```

```
char *world = ...;
```

```
printf("%s", world);
```

Από την προηγούμενη φορά, πως μπορώ να τυπώσω "World\n";

```
char hello[] = "Hello World\n";
```

```
char *world = &hello[6];
```

```
printf("%s", world);
```

Παραδείγματα με Πίνακες

Θέλω μια συνάρτηση που να δέχεται έναν πίνακα 100 ακεραίων και να επιστρέφει τον μέσο όρο. Πως;

Θέλω μια συνάρτηση που να δέχεται έναν πίνακα 100 ακεραίων και να επιστρέφει τον μέσο όρο. Πως;

```
int average(int grades[100]) {  
    int i, sum = 0;  
    for(i = 0; i < 100; i++) {  
        sum += grades[i];  
    }  
    return sum / 100;  
}
```

Θέλω μια συνάρτηση που να δέχεται έναν πίνακα 100 ακεραίων και έναν ακέραιο και να γυρνάει την θέση του στοιχείου αν το βρήκε ή -1. Πως;

Θέλω μια συνάρτηση που να δέχεται έναν πίνακα 100 ακεραίων και έναν ακέραιο και να γυρνάει την θέση του στοιχείου αν το βρήκε ή -1. Πως;

```
int find(int haystack[100], int needle) {  
    int i;  
    for(i = 0; i < 100; i++) {  
        if (haystack[i] == needle) {  
            return i;  
        }  
    }  
    return -1;  
}
```

Θέλω μια συνάρτηση atoi που να παίρνει ένα πίνακα χαρακτήρων (μόνο ψηφία) και να επιστρέφει έναν ακέραιο. Πως;

Θέλω μια συνάρτηση atoi που να παίρνει ένα πίνακα χαρακτήρων (μόνο ψηφία) και να επιστρέφει έναν ακέραιο. Πως;

```
int atoi(char digits[]) {  
    int result = 0;  
    for(int i = 0; digits[i]; i++) {  
        result = 10 * result + digits[i] - '0';  
    }  
    return result;  
}
```

Τι μπορεί να πάει στραβά με αυτήν την συνάρτηση;

Αναδρομή

Η Συνάρτηση Παραγοντικό (Factorial)

Στα μαθηματικά το παραγοντικό ενός φυσικού αριθμού n , συμβολίζεται με $n!$ και είναι το γινόμενο όλων των θετικών ακεραίων μικρότερων ή ίσων του n .

Ο ορισμός του παραγοντικού στα μαθηματικά είναι **αναδρομικός** (recursive):

$$n! = \begin{cases} 1, & \text{if } n = 0, \\ n \times (n - 1)!, & \text{if } n > 0. \end{cases}$$

Πως θα το γράφαμε σε C;

```
#include <stdio.h>

#include <stdlib.h>

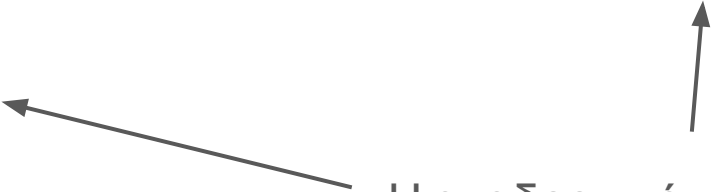
// Compute the factorial of a number using the recursive
// formula.

int factorial(int number) {
    if (number == 0) return 1;
    else return number * factorial(number - 1);
}

int main(int argc, char **argv) {
    if (argc != 2) {
        printf("Program needs to be called as `./prog number`\n");
        return 1;
    }

    int number = atoi(argv[1]);
    printf("%d! = %d\n", number, factorial(number));
    return 0;
}
```

$$n! = \begin{cases} 1, & \text{if } n = 0, \\ n \times (n - 1)!, & \text{if } n > 0. \end{cases}$$



Η αναδρομική υλοποίηση είναι
ιδιαίτερα κοντά στον ορισμό του
παραγοντικού - οδηγώντας σε πιο
"εύκολο" έλεγχο ορθότητας

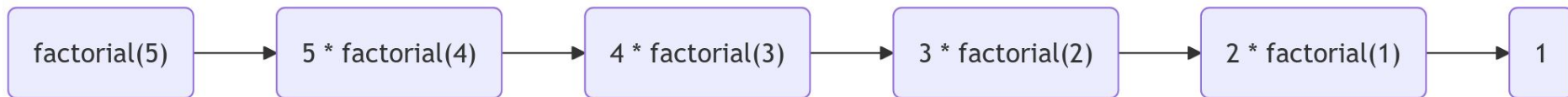
Παρατηρήσεις

- Για κάποιους αριθμούς το αποτέλεσμα είναι αρνητικό. Τι συμβαίνει;

```
$ ./fact 20
```

```
20! = -2102132736
```

- Πόσες αναδρομικές (στον εαυτό της) κλήσεις κάνει η κλήση factorial(5);



- Πόσες αναδρομικές (στον εαυτό της) κλήσεις κάνει η κλήση factorial(N);
- Τι θα συμβεί αν δώσουμε έναν αρνητικό αριθμό στην συνάρτησή μας;

Αναδρομή (Recursion)

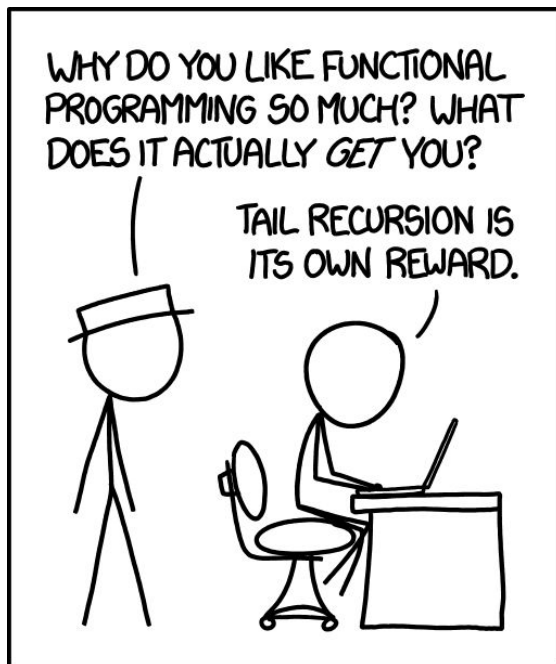
Αναδρομή είναι η μέθοδος κατά την οποία μια συνάρτηση **καλεί τον εαυτό της**, με στόχο να επιλύσει ένα υποπρόβλημα του αρχικού προβλήματος, έως ότου φτάσει σε μια βάση τερματισμού (base case) όπου η αναδρομή σταματά.

Έχει δύο βασικά στοιχεία:

1. **Base case** (Βασική περίπτωση τερματισμού): Μια συνθήκη καθορίζει πότε θα σταματήσει η αναδρομή
2. **Recursive case** (Αναδρομική περίπτωση): Το τμήμα του κώδικα όπου η συνάρτηση καλεί τον εαυτό της

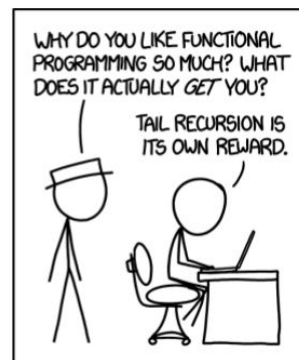
Η Αναδρομή Πρέπει να Τερματίζει

Δεν ξεχνάμε να γράψουμε σωστά Base Cases



Η Αναδρομή Πρέπει να Τερματίζει

Δεν ξεχνάμε να γράψουμε σωστά Base Cases



Η Αναδρομή Πρέπει να Τερματίζει

Δεν ξεχνάμε να γράψουμε σωστά Base Cases



Η Αναδρομή Πρέπει να Τερματίζει



Για την επόμενη φορά

- Σε αυτήν και την επόμενη διάλεξη θα καλύψουμε έννοιες από τις σελίδες 73-103 από τις σημειώσεις του κ. Σταματόπουλου.
- Διατρέξτε όποιο tutorial μπορείτε να βρείτε σε pointers [\[1\]](#), [\[2\]](#), [\[3\]](#), [\[4\]](#)

Ευχαριστώ και καλή μέρα εύχομαι!
Keep Coding ;)