Η γλώσσα προγραμματισμού C



Διαφάνειες διαλέξεων
Σχολής ΗΜΜΥ ΕΜΠ

Νίκος Παπασπύρου, Λέκτορας ΕΜΠ
Βασίλης Βεσκούκης, Επ.Καθ. ΕΜΠ

Η ιστορία της C

1969-1973	AT&T Bell Labs, Dennis Ritchie
1978	"The C Programming Language" K&R: Kernighan & Ritchie
1983	Σύσταση ANSI Standardization Committee X3J11
1989-1990	Αποδοχή ANSI/ISO Standard ⇒ ANSI C
1990-1999	Αναθεώρηση του standard υπό εξέλιξη — C9X ⇒ C99

Χαρακτηριστικά της C (i)

- Γλώσσα προστακτικού προγραμματισμού
- Γλώσσα μετρίου επιπέδου
- Οικονομία στην έκφραση (λιτή και περιεκτική)
- Σχετικά χαλαρό σύστημα τύπων
- Φιλοσοφία: ο προγραμματιστής έχει πλήρη έλεγχο και ευθύνεται για τα σφάλματά του

Χαρακτηριστικά της C (ii)

- Ιδιαίτερα δημοφιλής στην πράξη
- Έχει χρησιμοποιηθεί για τον προγραμματισμό ευρέως φάσματος συστημάτων και εφαρμογών
- Έχει χρησιμοποιηθεί ως βάση για πληθώρα άλλων γλωσσών: C++, Java

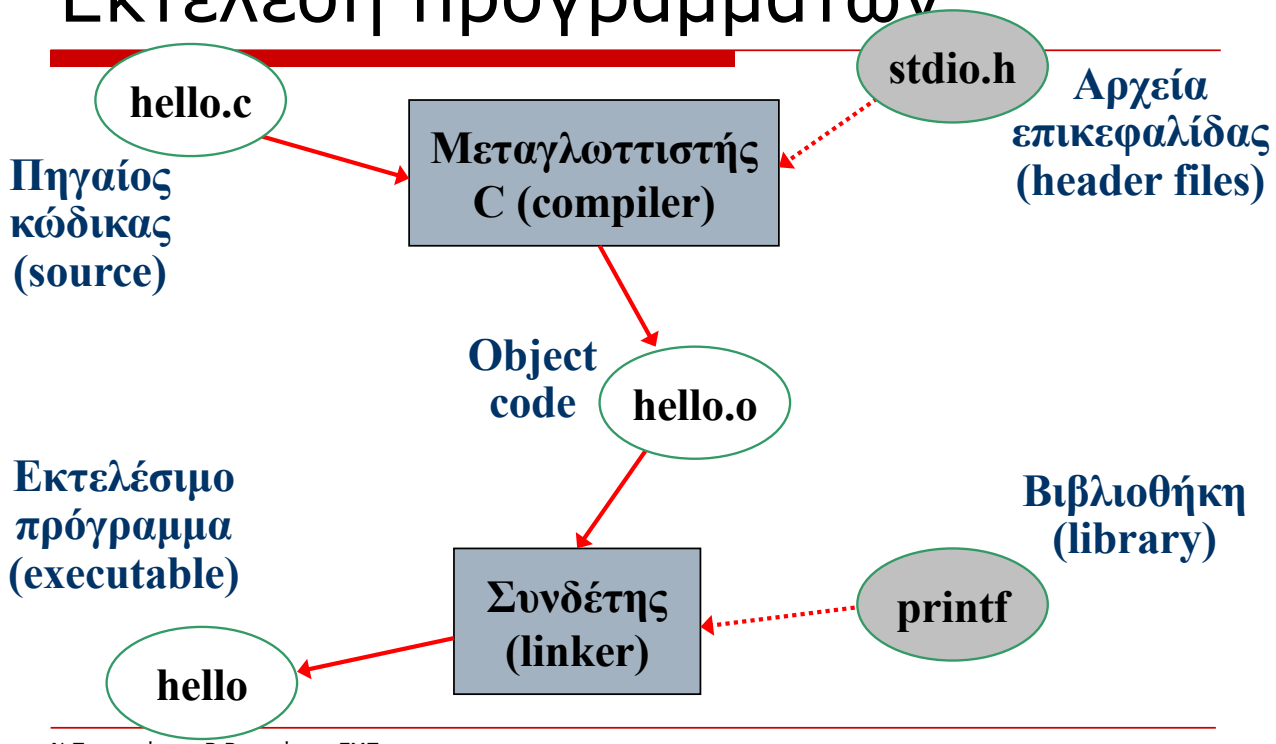
Hello world!

```
#include <stdio.h>

void main ()
{
   printf("Hello world!\n");
}
```

- Παρατηρήσεις
  - Η επικοινωνία με τον «έξω» κόσμο γίνεται μέσω της βιβλιοθήκης συναρτήσεων
  - Το σημείο έναρξης του προγράμματος είναι η «κύρια» συνάρτηση main.

Εκτέλεση προγραμμάτων



Τύποι δεδομένων (απλοί)

- Ακέραιοι αριθμοί

  `int` **`char`**

- Καθορισμός προσήμανσης

  `signed` **`unsigned`**

- Καθορισμός μεγέθους

  `short` **`long`**

- Αριθμοί κινητής υποδιαστολής

  `float` **`double`**

Απλοί τύποι δεδομένων

`char , signed char , unsigned char`

`signed short int , unsigned short int`

`signed int , unsigned int`

`signed long int , unsigned long int`

`float`

`double`

`long double`

- Με κόκκινο χρώμα όσα μπορούν να παραλειφθούν.

Ορισμός μεταβλητών

```
int x;
int x, y, z;
double r;
unsigned long abc;
```

- Αρχικοποίηση

```
int x = 1;
int x, y = 0, z = 2;
double r = 1.87;
unsigned long abc = 42000000;
```


Σταθερές (i)

- Ακέραιες

`42`	`0`	`-1`	δεκαδικές
`037`			οκταδικές
`0x1f`			δεκαεξαδικές
`42U`	`42L`	`42UL`	unsigned & long

- Κινητής υποδιαστολής

`42.0`	`-1.3`	δεκαδικές
`2.99e8`		με δύναμη του 10
`42.0F`	`42.0L`	float & long double

Σταθερές (ii)

- Χαρακτήρα

```
'a'     '0'     '$'
```

- Ειδικοί χαρακτήρες

`\n`	αλλαγή γραμμής
`\'`	απόστροφος
`\\`	χαρακτήρας \ (backslash)
`\t`	αλλαγή στήλης (tab)
`\"`	εισαγωγικό
`\0`	χαρακτήρας με ASCII = 0 (null)
`\037`	» με ASCII = 37 (οκταδικό)
`\x1f`	» με ASCII = 1f (δεκαεξαδικό)

Σταθερές (iii)

- Συμβολοσειρές

```
"abc"  "Hello world!\n" "a\"51\""
```

- Δηλώσεις σταθερών

```
const int size = 10, num = 5;
const double pi = 3.14159;
const char newline = '\n';
```

Σχόλια

- Μεταξύ /* και */

```
#include <stdio.h>
/* This simple program greets the
   world by saying "hello" */
void main ()
{
   printf( /* eh? */ "Hello world!\n");
}
```

- Το παρακάτω είναι λάθος

```
/* Nested /* comments */ are wrong! */
```



Εκτύπωση με την printf

- Απλοί τύποι δεδομένων
  - int `%d`
  - char `%c`
  - double `%lf`
  - string `%s`
- Παράδειγμα

```
printf("%d %lf %c %s\n",
  42, 1.2, 'a', "hello");
```

- Αποτέλεσμα

```
42 1.200000 a hello
```

Εισαγωγή με την scanf

- Ίδιοι κωδικοί για τους απλούς τύπους
- Παράδειγμα

```
int n;
double d;
char c;
scanf("%d", &n);
scanf("%lf", &d);
scanf("%c", &c);
```


Ένα πιο σύνθετο παράδειγμα

```
#include <stdio.h>

void main ()
{
   int celcius;
   double farenheit;

   printf("Give the temperature (C): ");
   scanf("%d", &celcius);
   farenheit = 9.0 * celcius / 5.0 + 32.0;
   printf("%d degrees Celcius ”
          "is %lf degrees Farenheit",
          celcius, farenheit);
}
```

Τελεστές και εκφράσεις (i)

- Αριθμητικοί τελεστές

  `+` `-` `*` `/` `%`

- Σχεσιακοί τελεστές

  `==` `!=` `<` `>` `<=` `>=`

- Λογικοί τελεστές

`&&`	λογική σύζευξη	(και)
`||`	λογική διάζευξη	(ή)
`!`	λογική άρνηση	(όχι)

- Π.χ. `(x % 3 != 0) && !finished`

Τελεστές και εκφράσεις (ii)

- Τελεστές bit προς bit (bitwise)

`&`	σύζευξη bit	(AND)
`|`	διάζευξη bit	(OR)
`^`	αποκλειστική διάζευξη bit	(XOR)
`~`	άρνηση	(NOT)
`<<`	ολίσθηση bit αριστερά	
`>>`	ολίσθηση bit δεξιά	

- Παράδειγμα

```
(0x0101 & 0xfff0) << 2
```

  ⇒ `0x0400`

Τελεστές και εκφράσεις (iii)

- Τελεστής συνθήκης

```
(a >= b) ? a : b
```

- Τελεστής παράθεσης

```
a-1, b+5
```

- Τελεστές ανάθεσης

```
a = b+1
a += x
```

ισοδύναμο με `a = a + x`

- Τελεστές αύξησης και μείωσης

`a++`	`a--`	τιμή πριν τη μεταβολή
`++a`	`--a`	τιμή μετά τη μεταβολή

Εντολές και έλεγχος ροής (i)

- Κενή εντολή

```
;
```

- Εντολή έκφρασης

```
a = b+5;
a++;
```

- Εντολή if

```
if (a >= b)
   max = a;
else
   max = b;
```

Εντολές και έλεγχος ροής (ii)

- Σύνθετη εντολή

```
if (a >= b) {
   min = b;
   max = a;
}
else {
   max = b;
   min = a;
}
```

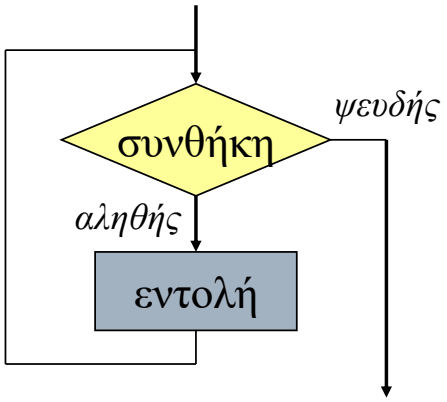
- Ορίζει νέα εμβέλεια

```
if (x < y) {
   int temp = x;

   x = y;
   y = temp;
}
```


Εντολές και έλεγχος ροής (iii)

```
while (συνθήκη)
   εντολή
```

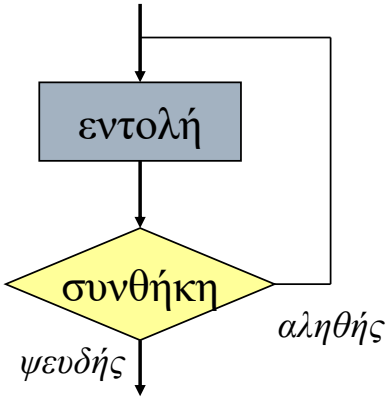


- Εντολή while

```
int i = 1, s = 0;
while (i <= 10) {
   s += i;
   i++;
}
```

Εντολές και έλεγχος ροής (iv)

```
do
  εντολή
while (συνθήκη);
```

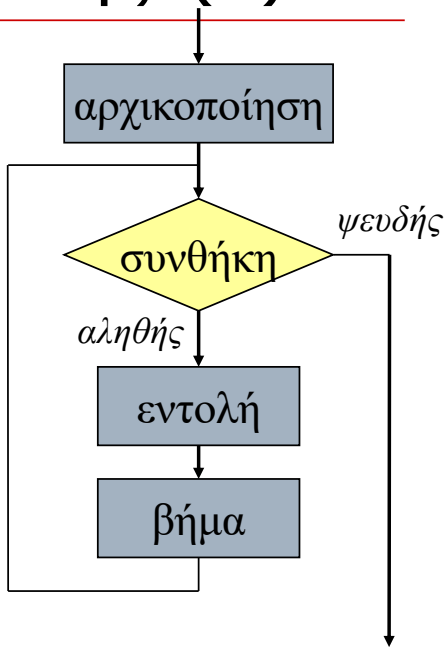


- Εντολή do-while

```
int i = 1, s = 0;
do
   s += i++;
while (i <= 10);
```


Εντολές και έλεγχος ροής (v)

```
for (αρχικοποίηση ;
     συνθήκη ;
     βήμα)
  εντολή
```



- Εντολή for

```
int i, s;
for (i=1, s=0; i <= 10; i++)
  s += i;
```

Εντολές και έλεγχος ροής (vi)

- Εντολή break

```
int s;
for (i=0, s=0; i < 10; i++) {
    int x;
    scanf("%d", &x);
    if (x < 0)
        break;
    s += x;
}
printf("Sum is: %d\n", s);
```


Εντολές και έλεγχος ροής (vii)

- Εντολή continue

```
int s;
for (i=0, s=0; i < 10; i++) {
    int x;
    scanf("%d", &x);
    if (x < 0)
        continue;
    s += x;
}
printf("Sum is: %d\n", s);
```

Εντολές και έλεγχος ροής (viii)

- Εντολή switch

```
switch (ch) {
   case 'a':
      printf("alpha\n");
      break;
   case 'b':
   case 'c':
      printf("beta or c\n");
      break;
   default:
      printf("other\n");
}
```


Εντολές και έλεγχος ροής (ix)

- Ετικέτες και εντολή goto

```
int i = 1, s = 0;

loop:
   s += i++;
   if (i < 10)
      goto loop;

printf("The sum is %d\n", s);
```

- **Όχι** goto: δομημένος προγραμματισμός!

Δομή του προγράμματος

- Το πρόγραμμα αποτελείται από:
  - συναρτήσεις
  - καθολικές μεταβλητές

C και Pascal

- Διαφορές από την Pascal:
  - κύριο πρόγραμμα, διαδικασίες και συναρτήσεις δε διαφοροποιούνται
  - το κύριο πρόγραμμα ονομάζεται **`main`**
  - οι διαδικασίες έχουν αποτέλεσμα **`void`**
  - όλες οι συναρτήσεις στο ίδιο επίπεδο
  - δεν επιτρέπονται φωλιασμένες συναρτήσεις
  - μόνο πέρασμα κατά τιμή (call by value)

Παράδειγμα

```
int f (int x, int y)
{
   return x * y;
}

int a;

void p (int x)
{
   a = f(x, x+1);
}

void main ()
{
   p(6);
}
```


Πίνακες (arrays) (i)

- Ακολουθία μεταβλητών
  - με το ίδιο όνομα,
  - με τον ίδιο τύπο δεδομένων,
  - σε συνεχόμενες θέσεις μνήμης.
- Παράδειγμα

```
int a[50];
double d1[5], d2[10];
```

- Η αρίθμηση αρχίζει από το 0 !

```
for (i = 0; i < 50; i++)  a[i] = i;
```

Πίνακες (arrays) (ii)

- Αρχικοποίηση πινάκων

```
int a[3] = {6, 7, 42};
char c[] = {'a', 'b', 'c', 'd', 'e'};
```

- Συμβολοσειρές
  - Είναι πίνακες χαρακτήρων

```
char s[6] = "abcde";
```

  - Τερματίζονται με τον κενό χαρακτήρα '\0'

```
char s[6] = {'a', 'b', 'c',
             'd', 'e', '\0'};
```


Πίνακες (arrays) (iii)

- Παράδειγμα

```
int a[3] = {5, 6, 7};
int b[3] = {2, 3, 1};
int i;

for (i = 0; i < 3; i++)
   printf("%d times %d is %d\n",
      a[i], b[i], a[i]*b[i]);
```

```
5 times 2 is 10
6 times 3 is 18
7 times 1 is 7
```

Πολυδιάστατοι πίνακες(i)

- Παράδειγμα

```
int a[3][5];
char c[5][10][4];
```

- Αρχικοποίηση

```
int i[3][3] = { {1, 0, 0},
                {0, 1, 0},
                {0, 0, 1} };
char s[][10] = {
   "my", "name", "is", "joe"
};
```


Πολυδιάστατοι πίνακες(ii)

- Πολλαπλασιασμός πινάκων

```
double a[3][4] = ... ,
       b[4][5] = ... ,
       c[3][5];
int i, j, k;

for (i=0; i<3; i++)
   for (j=0; j<5; j++) {
      c[i][j] = 0.0;
      for (k=0; k<4; k++)
         c[i][j] += a[i][k] * b[k][j];
   }
```

Αλγόριθμοι (i)

- Αλγόριθμος

  Πεπερασμένο σύνολο εντολών που, όταν εκτελεστούν, επιτυγχάνουν κάποιο επιθυμητό αποτέλεσμα

  - Δεδομένα εισόδου και εξόδου
  - Κάθε εντολή πρέπει να είναι:
    - καλά ορισμένη
    - απλή
  - Η εκτέλεση πρέπει να σταματά

Αλγόριθμοι (ii)

- Πολυπλοκότητα

  Μέτρο εκτίμησης της απόδοσης αλγορίθμων ως συνάρτηση του μεγέθους του προβλήματος που επιλύουν

  - Χρόνος εκτέλεσης
  - Χωρητικότητα μνήμης που απαιτείται
- Ακριβής μέτρηση πολυπλοκότητας

  t = f(n)
- Τάξη μεγέθους, συμβολισμοί O, Ω, Θ

  t = O(f(n))

Αλγόριθμοι (iii)

- Ορισμός των κλάσεων O, Ω, Θ
  - **Άνω όριο**
    $g = O(f)$ Ÿ $\exists c.\ \exists n_0.\ \forall n > n_0.\ g(n) < c\ f(n)$
  - **Κάτω όριο**
    $g = \Omega(f)$ Ÿ $\exists c.\ \exists n_0.\ \forall n > n_0.\ g(n) > c\ f(n)$
  - **Τάξη μεγέθους**
    $g = \Theta(f)$ Ÿ $\exists c_1, c_2.\ \exists n_0.\ \forall n > n_0.$
    $c_1\ f(n) < g(n) < c_2\ f(n)$
- Διάταξη μερικών κλάσεων πολυπλοκότητας

  $O(1) < O(\log n) < O(\sqrt{n}) < O(n) < O(n\log n)$
  $< O(n^2) < O(n^3) < O(2^n) < O(n!) < O(n^n)$

Δομές δεδομένων (iv)

- Αφαίρεση δεδομένων (data abstraction)
  - Διαχωρισμός ιδιοτήτων και υλοποίησης
  - Ιδιότητες ενός τύπου δεδομένων:
    ο τρόπος με τον οποίο δημιουργεί κανείς και χρησιμοποιεί δεδομένα αυτού του τύπου
  - Υλοποίηση ενός τύπου δεδομένων:
    ο τρόπος με τον οποίο αναπαρίστανται τα δεδομένα στη μνήμη του υπολογιστή και προγραμματίζονται οι διαθέσιμες πράξεις

Δομές δεδομένων (v)

- Οι λεπτομέρειες υλοποίησης επηρεάζουν την πολυπλοκότητα των αλγορίθμων
- Είναι συχνή επομένως η αλλαγή τρόπου υλοποίησης κάποιου τύπου δεδομένων
- Η αφαίρεση δεδομένων ελαχιστοποιεί τις αλλαγές που απαιτούνται στο πρόγραμμα που χρησιμοποιεί έναν τύπο δεδομένων, όταν αλλάξει ο τρόπος υλοποίησης

Αφηρημένοι τύποι δεδομένων

- Αφηρημένος τύπος δεδομένων – ΑΤΔ (abstract data type)
  - καθορίζει τις ιδιότητες του τύπου δεδομένων
  - δεν καθορίζει την υλοποίησή του
- Αλγεβρικός ορισμός ΑΤΔ
  - σύνταξη: όνομα του τύπου και επικεφαλίδες των πράξεων
  - σημασιολογία: κανόνες που περιγράφουν τη λειτουργία των πράξεων

Παράδειγμα ΑΤΔ: Σύνολα (i)

- Σύνταξη
  - Όνομα τύπου: **`set`** (σύνολα ακεραίων)
  - Επικεφαλίδες πράξεων:

```
const set empty;
set add (int x, set s);
boolean member (int x, set s);
set union (set s1, set s2);
boolean subset (set s1, set s2);
boolean equal (set s1, set s2);
```

Θεωρούμε ότι έχει οριστεί ο τύπος **`boolean`**.

Παράδειγμα ΑΤΔ: Σύνολα (ii)

- Σημασιολογία
  - Αξιωματικός ορισμός **`member`**:

```
member(x, empty) = false
member(x, add(x, s)) = true
member(x, add(y, s)) = member(x, s)
    αν x != y
```

  - Αξιωματικός ορισμός **`union`**:

```
union(empty, s) = s
union(add(x, s1), s2) =
    add(x, union(s1, s2))
```

Παράδειγμα ΑΤΔ: Σύνολα (iii)

- Σημασιολογία
  - Αξιωματικός ορισμός **subset**:

```
subset(empty, s) = true
subset(add(x, s1), s2) =
   band(member(x, s2), subset(s1, s2))
```

  - Αξιωματικός ορισμός **equal**:

```
equal(s1, s2) =
   band(subset(s1, s2), subset(s2, s1))
```


Συγκεκριμένοι τύποι δεδομένων

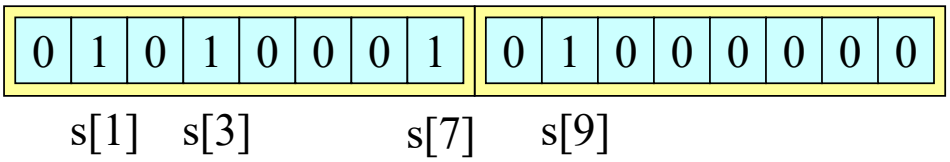
- Συγκεκριμένος τύπος δεδομένων – ΣΤΔ (concrete data type)
  - καθορίζει τις ιδιότητες του τύπου δεδομένων
  - καθορίζει επακριβώς την υλοποίησή του
- Κάθε γλώσσα προγραμματισμού υποστηρίζει ορισμένους ΣΤΔ, π.χ.
  - απλοί τύποι: ακέραιοι αριθμοί, πραγματικοί αριθμοί, χαρακτήρες, λογικές τιμές
  - σύνθετοι τύποι: πίνακες (arrays), εγγραφές (records), δείκτες (pointers), σύνολα (sets)

Σχέση ΑΤΔ και ΣΤΔ (i)

- ΑΤΔ set: σύνολα ακεραίων $s = \{ 1, 3, 7, 9 \}$
- *Υλοποίηση 1:* πίνακας από boolean

false	true	false	true	false	false	false	true	false	true	false
s[0]	s[1]	s[2]	s[3]	s[4]	s[5]	s[6]	s[7]	s[8]	s[9]	s[10]

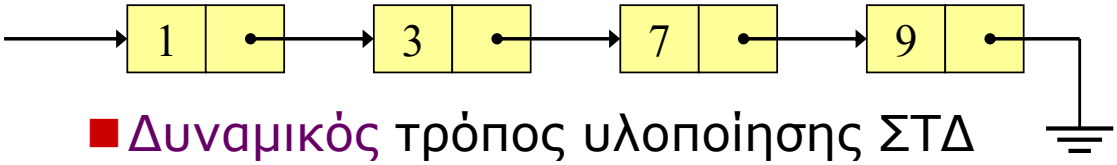
- *Υλοποίηση 2:* bits ενός πίνακα από int



  - Στατικός τρόπος υλοποίησης ΣΤΔ

Σχέση ΑΤΔ και ΣΤΔ (ii)

- *Υλοποίηση 3:* απλά συνδεδεμένη λίστα



  - Δυναμικός τρόπος υλοποίησης ΣΤΔ

- *Υλοποίηση 4:* συμβολοσειρά που περιέχει το μαθηματικό ορισμό του συνόλου

```
"{x | x=1 \/ x=3 \/ x=7 \/ x=9}"
"{x | 1<=x<=10 /\ x%2=1 /\ x<>5}"
```

  - Δύσκολη η υλοποίηση των πράξεων
  - Απειροσύνολα: `"{x | x > 100}"`

Πίνακες ως ΑΤΔ (i)

- Βασική πράξη: προσπέλαση στοιχείου
  a[i]
- Συνήθως υλοποιούνται με κάποιο ΣΤΔ πινάκων (arrays)
  - Κόστος προσπέλασης: O(1)

Πίνακες ως ΑΤΔ (i)

- Ο ΣΤΔ του μονοδιάστατου πίνακα επαρκεί για την υλοποίηση κάθε ΑΤΔ πίνακα
  - Συνάρτηση *loc* υπολογίζει τη θέση ενός στοιχείου του ΑΤΔ πίνακα στο μονοδιάστατο ΣΤΔ πίνακα της υλοποίησης

Πίνακες ως ΑΤΔ (ii)

- ΑΤΔ πίνακα δύο διαστάσεων $n \times m$

	$j=1$	2	3	4	5	6
$i=1$	0	1	2	3	4	5
$i=2$	6	7	8	9	10	11
$i=3$	12	13	14	15	16	17

$n = 3$

$m = 6$

$loc\ (n, m, i, j) = m\ (i - 1) + j - 1$

- Αρίθμηση κατά στήλες

$loc\ (n, m, i, j) = n\ (j - 1) + i - 1$

Πίνακες ως ΑΤΔ (iii)

- ΑΤΔ κάτω τριγωνικού πίνακα $n \times n$

	$j=1$	2	3	4	5
$i=1$	0				
$i=2$	1	2			
$i=3$	3	4	5		
$i=4$	6	7	8	9	
$i=5$	10	11	12	13	14

$n = 5$

$loc\ (n, i, j) = i\ (i - 1) / 2 + j - 1$

- Ομοίως για συμμετρικούς πίνακες

Πίνακες ως ΑΤΔ (iv)

- ΑΤΔ τριδιαγώνιου πίνακα $n \times n$

$i = 1$	0	1			
$i = 2$	2	3	4		
$i = 3$		5	6	7	
$i = 4$			8	9	10
$i = 5$				11	12
	$j = 1$	2	3	4	5

$n = 5$

loc $(n, i, j) = 2i + j - 3$

Πίνακες ως ΑΤΔ (v)

- ΑΤΔ αραιού πίνακα $n \times m$

$i = 1$	a_1				
$i = 2$			a_2		
$i = 3$		a_3	a_4		
$i = 4$					a_5
	$j = 1$	2	3	4	5

$n = 4$

$m = 5$

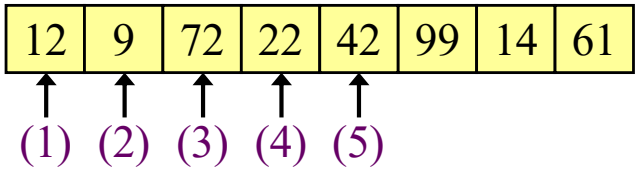
- Υλοποίηση με δυαδικό πίνακα
- Υλοποίηση με τρεις πίνακες

row = [1, 2, 3, 3, 4] *col* = [1, 3, 2, 3, 5]

val = [a_1, a_2, a_3, a_4, a_5]

Αναζήτηση σε πίνακες (i)

- Σειριακή αναζήτηση
  - Τα στοιχεία διατρέχονται κατά σειρά
  - Κόστος: $O(n)$



$n = 8$
$x = 42$

  - Βελτίωση: στοιχείο "φρουρός" (sentinel)



$n = 8$
$x = 7$

Αναζήτηση σε πίνακες (ii)

- Υλοποίηση σε C

```
int ssearch (int a[], int n, int x)
{
   int i;

   for (i = 0; i < n; i++)
      if (a[i] == x)
         return i;
   return -1;
}
```

Αναζήτηση σε πίνακες (iii)

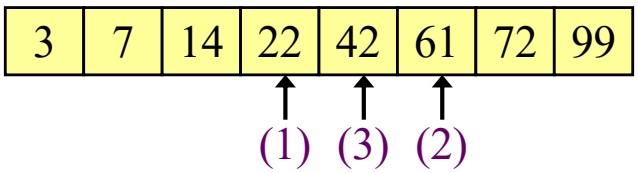
- Υλοποίηση σε C με φρουρό

```
int ssearch_s (int a[], int n, int x)
{
    int i;

    a[n] = x;
    for (i = 0; a[i] != x; i++);
    return (i < n) ? i : -1;
}
```


Αναζήτηση σε πίνακες (iv)

- Δυαδική αναζήτηση
  - Ο πίνακας πρέπει να είναι ταξινομημένος
  - Κόστος: $O(\log n)$



$n = 8$
$x = 42$

- Άλλες μέθοδοι αναζήτησης
  - Μικρότερο κόστος $\Rightarrow$ περισσότερος χώρος
  - Πίνακες κατακερματισμού (hash tables)

Ταξινόμηση πινάκων (i)

- Ταξινόμηση επιλογής (selection sort)
  - Ιδέα:

    για κάθε *i* κατ' αύξουσα σειρά

    βρες το μικρότερο των στοιχείων μετά το *a*[*i*]

    αντιμετάθεσέ το με το *a*[*i*]
  - Κόστος: $O(n^2)$
  - Βελτίωση: στοιχείο φρουρός

Ταξινόμηση πινάκων (ii)

- Ταξινόμηση επιλογής, υλοποίηση σε C

```
void ssort (int a[], int n)
{
   int i, j;

   for (i = 0; i < n-1; i++) {
      int min = a[i], minj = i;

      for (j = i+1; j < n; j++)
         if (a[j] < min)
            min = a[minj = j];

      a[minj] = a[i];
      a[i] = min;
   }
}
```

Ταξινόμηση πινάκων (iii)

- Ταξινόμηση εισαγωγής (insertion sort)
  - Χρησιμοποιούμε αυτό τον τρόπο όταν ταξινομούμε τα χαρτιά μιας τράπουλας
  - Ιδέα:

    για κάθε *i* από το δεύτερο και κατ' αύξουσα σειρά
    τοποθέτησε το *a*[*i*] στη σωστή του θέση
    μεταξύ των στοιχείων που είναι πριν από αυτό
  - Κόστος: $O(n^2)$
  - Βελτιώσεις:
    - στοιχείο φρουρός
    - δυαδική εισαγωγή

Ταξινόμηση πινάκων (iv)

- Ταξινόμηση εισαγωγής, υλοποίηση σε C

```
void isort (int a[], int n)
{
   int i, j;

   for (i = 1; i < n; i++) {
      int x = a[i];

      for (j = i-1; j >= 0; j--)
         if (x < a[j])
            a[j+1] = a[j];
         else
            break;

      a[j+1] = x;
   }
}
```

Ταξινόμηση πινάκων (v)

- Ταξινόμηση φυσαλίδας (bubble sort)
  - Ιδέα:

    για κάθε *i* κατ' αύξουσα σειρά

    για κάθε $j > i$ κατά φθίνουσα σειρά

    αν $a[j-1] > a[j]$ αντιμετάθεσε τα $a[j-1]$ και $a[j]$
  - Κόστος: $O(n^2)$
  - Βελτιώσεις:
    - σταματά αν σε ένα πέρασμα δεν γίνει αντιμετάθεση
    - σε ποιο σημείο έγινε η τελευταία αντιμετάθεση
    - αλλαγή κατεύθυνσης μεταξύ διαδοχικών περασμάτων (shake sort)

Ταξινόμηση πινάκων (vi)

- Ταξινόμηση φυσαλίδας, υλοποίηση σε C

```
void bsort (int a[], int n)
{
   int i, j;

   for (i = 0; i < n; i++)
      for (j = n-1; j > i; j--)
         if (a[j-1] > a[j]) {
            int temp = a[j-1];

            a[j-1] = a[j];
            a[j] = temp;
         }
}
```

Ταξινόμηση πινάκων (vii)

- Ταξινόμηση με διαμέριση (quick sort)
  - Ιδέα:

    διάλεξε ένα τυχαίο στοιχείο *x* του πίνακα

    διαμέρισε τον πίνακα, μεταφέροντας:
    - τα στοιχεία μικρότερα του *x* στην αρχή
    - τα στοιχεία μεγαλύτερα του *x* στο τέλος

    αναδρομικά, ταξινόμησε τα δύο μέρη
  - Κόστος: $O(n^2)$ στη χειρότερη περίπτωση
    $O(n \log n)$ κατά μέσο όρο

Ταξινόμηση πινάκων (viii)

- Quick sort, υλοποίηση σε C

```
void qsort (int a[], int n)
{
   qsort_auxil(a, 0, n-1);
}

void qsort_auxil (int a[], int lower,
                           int upper)
{
   if (lower < upper) {
      int x = a[(lower + upper) / 2];
      int i, j;

      for (i = lower, j = upper;
           i <= j; i++, j--) {
         while (a[i] < x) i++;
         while (a[j] > x) j--;
```

Ταξινόμηση πινάκων (ix)

- Quick sort, υλοποίηση σε C (συνέχεια)

```
        if (i <= j) {
              int temp = a[i];
              a[i] = a[j];
              a[j] = temp;
           }
        }
        qsort_auxil(a, lower, j);
        qsort_auxil(a, i, upper);
     }
  }
```


Ταξινόμηση πινάκων (x)

- Άλλοι τρόποι ταξινόμησης
  - Ταξινόμηση του Shell (shell sort), κόστος: $O(n^2)$
  - Ταξινόμηση σε σωρό (heap sort), κόστος: $O(n \log n)$
  - Ταξινόμηση με συγχώνευση (merge sort), κόστος: $O(n \log n)$

Ορισμοί τύπων

- Συνώνυμα απλών τύπων

```
typedef double real;
real x, y;
```

- Συνώνυμα σύνθετων τύπων

```
typedef double vector [10];
vector v;

for (i = 0; i < 10; i++)
   v[i] = i;
```

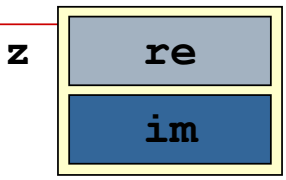

Απαριθμήσεις (enumerations)

- Ο τύπος enum

```
enum color_tag {
   GREEN, RED, BLUE, WHITE, BLACK
};
enum color_tag c;
c = GREEN;

typedef enum {
   GREEN, RED, BLUE, WHITE, BLACK
} color;
color c = WHITE;
```

Δομές (structures) (i)



- Ο τύπος struct

```
struct complex_tag {
   double re, im;
};
struct complex_tag z;
z.re = 1.0;
z.im = -1.0;

typedef struct complex_tag complex;
complex z;
complex zs [100];
```


Δομές (structures) (ii)

- Παράδειγμα

```
complex complement (complex z)
{
   complex result;

   result.re = z.re;
   result.im = -z.im
   return result;
}
```

Δομές (structures) (iii)

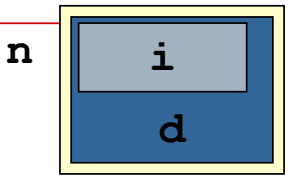
- Παράδειγμα

```
typedef struct {
   char   firstName [30];
   char   lastName [50];
   char   phone [10];
   int    age;
   double salary;
} record;

record r [1000];
r[423].age = 32;
```


Ενώσεις (unions)

- Ο τύπος union

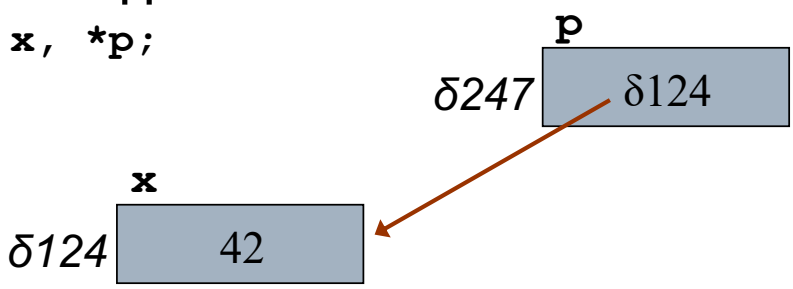



```
union number_tag {
   int i;
   double d;
};
union number_tag n;
n.d = 1.2;
printf("%lf\n", n.d);
n.i = 42;
printf("%d\n", n.i);
printf("%lf\n", n.d);   /* wrong! */
```

Δείκτες (pointers) (i)

- Μεταβλητές
  - που δεν περιέχουν μια τιμή κάποιου απλού τύπου δεδομένων
  - αλλά τη διεύθυνση μιας άλλης μεταβλητής
- Παράδειγμα

```
int x, *p;
```



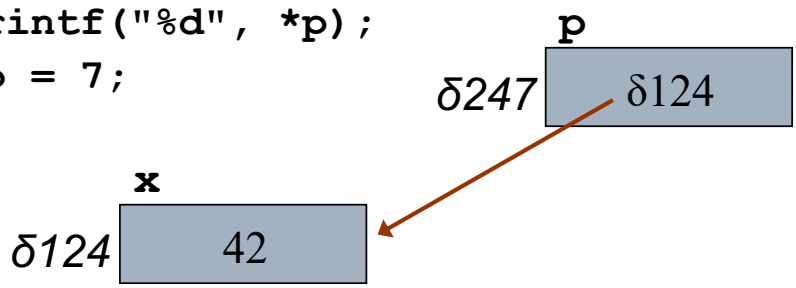
Δείκτες (pointers) (ii)

- Δεικτοδότηση: &
  - η διεύθυνση μιας μεταβλητής

```
p = &x;
```

- Αποδεικτοδότηση: *
  - το περιεχόμενο μιας διεύθυνσης

```
printf("%d", *p);
*p = 7;
```

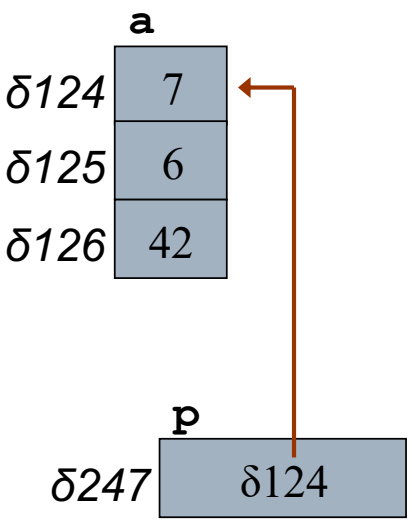


Πίνακες και δείκτες (i)

- Αριθμητική δεικτών

```
int a[3] = {7, 6, 42};
int *p;
 p = &(a[0]);
 p = &a;
 p = a;

 printf("%d\n", *p);
 printf("%d\n", *(p+1));
 p = p+2;
 printf("%d\n", *p);
```



Πίνακες και δείκτες (ii)

- Ισοδυναμία πινάκων και δεικτών
  - Ένας πίνακας είναι ένας δείκτης στο πρώτο στοιχείο.

    `a[i]` ισοδύναμο με `*(a+i)`
  - Οι πίνακες όμως είναι σταθεροί δείκτες, δηλαδή δεν μπορούν να αλλάξουν τιμή

```
int a[3] = {7, 6, 42};
int *p = &a;
p++;  /* correct */
a++;  /* wrong!  */
```

Πίνακες και δείκτες (iii)

- Παράδειγμα: αντιγραφή πινάκων

```
int a[10], b[10];
int *p = a, *q = b, i;

/* assume b initialized */

for (i=0; i<10; i++)
   *p++ = *q++;
```


Πίνακες και δείκτες (iv)

- Παράδειγμα: εκτύπωση συμβολοσειράς

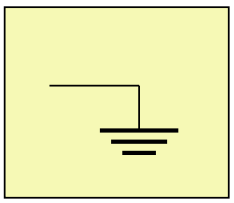
```
void putchar (char c);

char s[] = "Hello world!\n";
char *p;

for (p = s; *p != '\0'; p++)
   putchar(*p);
```

Κενός δείκτης, δείκτης σε κενό

- Ο κενός δείκτης: **`NULL`**



  - Απαγορεύεται να αποδεικτοδοτηθεί!

```
int *p = NULL;
*p = 42;          /* wrong! */
```

  - Ο μόνος δείκτης που αντιστοιχεί στην ψευδή λογική τιμή, όταν χρησιμοποιείται σε συνθήκη

- Ο δείκτης σε κενό: **`void *`**
  - Γενική μορφή δείκτη
  - Απαγορεύεται να αποδεικτοδοτηθεί!
  - Απαγορεύεται η αριθμητική δεικτών!

Δείκτες αντί περάσματος με αναφορά

- Κώδικας Pascal

```
procedure inc (var x : integer);
begin
   x := x+1
end;

... inc(a) ...
```

- Ισοδύναμος κώδικας C

```
void inc (int * px)
{
   (*px)++;
}

... inc(&a) ...
```

Δείκτες σε εγγραφές

- Συντομογραφία

  `p->x` είναι ισοδύναμο με `(*p).x`

- Παράδειγμα

```
struct {
   int x, y;
} coordinates, *p;

coordinates.x = 1;
coordinates.y = 3;

p = &coordinates;

printf("%d\n", p->x);
printf("%d\n", p->y);
```


Μετατροπές τύπων (i)

- Έμμεσες (coercions)

```
double d = 3;        (με ανάθεση)
int x = 3.14;

int f (int x);       (με πέρασμα παραμέτρου)
f(3.14);
```

- Άμεσες (type casting)

  (*τύπος*) *έκφραση*

```
(double) 3
(int) 3.14
(int *) NULL
```

Μετατροπές τύπων (ii)

- Πρόβλημα: πώς μπορώ να τυπώσω το αποτέλεσμα της πραγματικής διαίρεσης δυο ακεραίων αριθμών, χωρίς νέες μεταβλητές;

```
int x = 5, y = 3;
```

- Λάθος λύση #1: `printf("%d", x/y);`
- Λάθος λύση #2: `printf("%lf", x/y);`
- Σωστές λύσεις:

```
printf("%lf", 1.0 * x / y);
printf("%lf", (double) x / (double) y);
printf("%lf", (double) x / y);
```


Δυναμική παραχώρηση μνήμης

- Συναρτήσεις βιβλιοθήκης <stdlib.h>
  - `void * malloc (size_t n);`

    Δυναμική παραχώρηση μνήμης μήκους `n` bytes.
    Το αποτέλεσμα πρέπει να μετατραπεί στο σωστό τύπο.
    Επιστρέφεται `NULL` αν εξαντληθεί η μνήμη.
  - `void free (void * p);`

    Αποδέσμευση της μνήμης στην οποία δείχνει το `p`.
    Το `p` πρέπει να έχει δημιουργηθεί με προηγούμενη κλήση στη `malloc`.
- Πόσα bytes χρειάζονται;
  - `sizeof(`*type*`)` Π.χ. `sizeof(int)`
  - `sizeof(`*variable*`)` Π.χ. `sizeof(x)`

Δυναμική παραχώρηση μνήμης

- Παράδειγμα

```
int *p;
int i;

p = (int *) malloc(sizeof(int));
*p = 42;
free(p);

p = (int *) malloc(10 * sizeof(int));
for (i = 0; i < 10; i++)
   p[i] = 42;
free(p);
```

Το αποτέλεσμα της **malloc** πρέπει να ελεγχθεί ότι δεν είναι **NULL**!

Δυναμικοί ΣΤΔ (i)

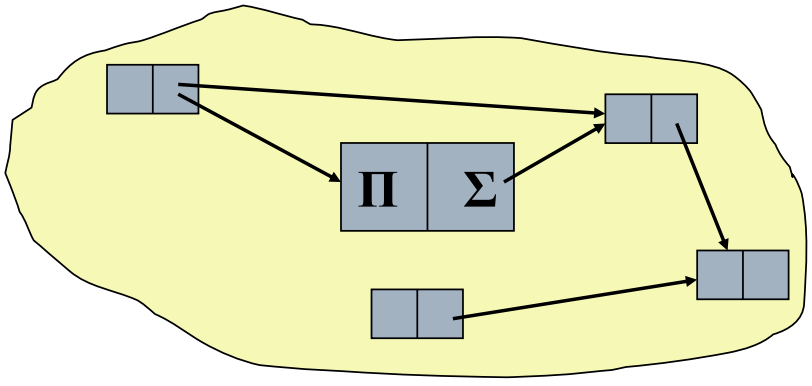
- Χρησιμοποιούνται για την υλοποίηση ΑΤΔ
- Παραδείγματα
  - συνδεδεμένες λίστες
  - δέντρα
  - γράφοι
- Πώς υλοποιούνται στη C;
  - με κατάλληλο συνδυασμό δομών (**struct**) και δεικτών (pointers), και
  - με δυναμική παραχώρηση μνήμης

Δυναμικοί ΣΤΔ (ii)

- Πλεονεκτήματα έναντι στατικών ΣΤΔ
  - Δεν επιβάλλουν περιορισμούς στο μέγιστο πλήθος των δεδομένων
  - Η μνήμη που χρησιμοποιείται είναι ανάλογη του πραγματικού πλήθους των δεδομένων
  - Κάποιες πράξεις υλοποιούνται αποδοτικότερα
- Μειονεκτήματα έναντι στατικών ΣΤΔ
  - Για σταθερό και γνωστό πλήθος δεδομένων, χρησιμοποιούν συνήθως περισσότερη μνήμη
  - Κάποιες πράξεις υλοποιούνται λιγότερο αποδοτικά

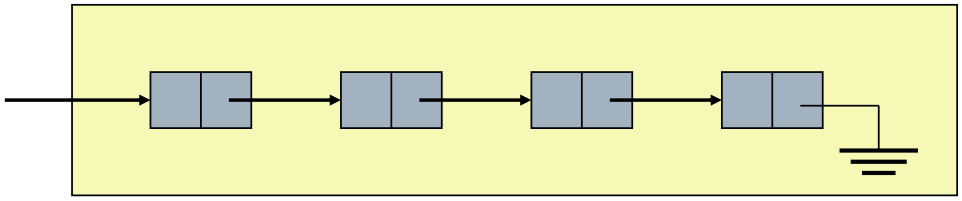
Δυναμικοί ΣΤΔ (iii)

- Ιδέα
  - Κατασκευάζεται ένα σύνολο κόμβων
  - Κάθε κόμβος περιέχει πληροφορίες και συνδέσμους προς άλλους κόμβους



Απλά συνδεδεμένες λίστες (i)

- Είναι γραμμικές διατάξεις
- Κάθε κόμβος περιέχει ένα σύνδεσμο στον επόμενο κόμβο
- Ο τελευταίος κόμβος έχει κενό σύνδεσμο



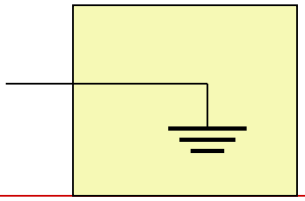
Απλά συνδεδεμένες λίστες (ii)

- Παράδειγμα: λίστα ακεραίων

```
struct node_tag {
   int data;
   struct node_tag * next;
};

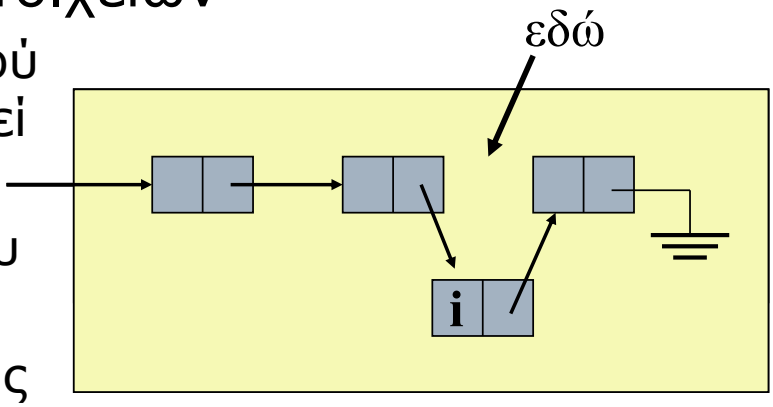
typedef struct node_tag
            Node, * LinkedList;
```

- Κενή λίστα



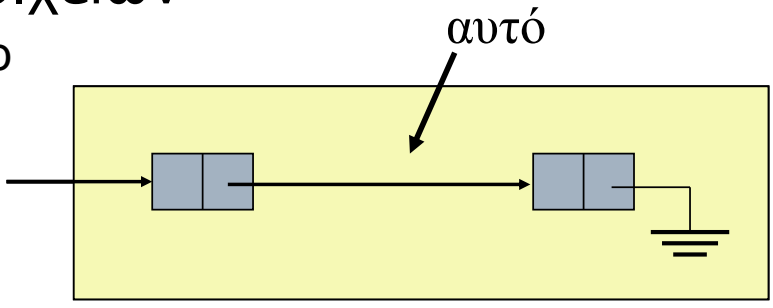
Απλά συνδεδεμένες λίστες (iii)

- Προσθήκη στοιχείων
  - απόφαση πού θα προστεθεί
  - δημιουργία νέου κόμβου
  - αντιγραφή πληροφορίας
  - σύνδεση νέου κόμβου



Απλά συνδεδεμένες λίστες (iv)

- Αφαίρεση στοιχείων
  - απόφαση ποιο στοιχείο θα αφαιρεθεί
  - καταστροφή κόμβου
  - σύνδεση υπόλοιπων κόμβων

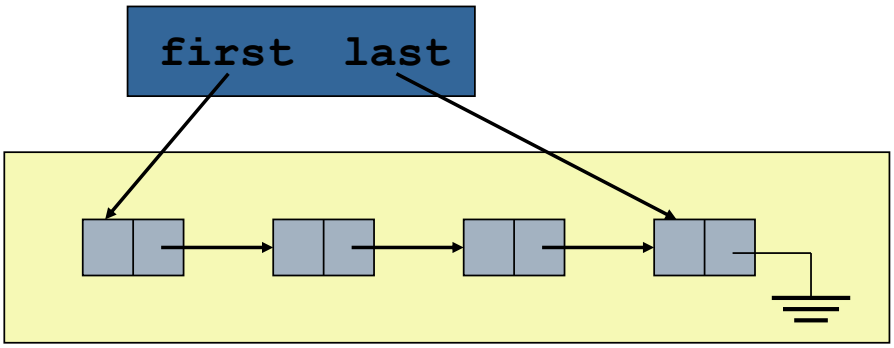


Ουρές (i)

- First In First Out (FIFO)
  ό,τι μπαίνει πρώτο, βγαίνει πρώτο
- Ουρά ακεραίων
  - ΑΤΔ: **queue**
  - `const queue queueEmpty;`
  - `void queueInsert (queue * qp, int t);`
  - `int queueRemove (queue * qp);`
  - `int queueHead (queue q);`

Ουρές (ii)

- Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα



Υλοποίηση ουράς σε C (i)

- Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα

```
typedef struct list_tag {
   int data;
   struct list_tag * next;
} ListNode;
```

- Τύπος queue

```
typedef struct {
   ListNode * first;
   ListNode * last;
} queue;
```


Υλοποίηση ουράς σε C (ii)

- Άδεια ουρά

```
const queue queueEmpty = { NULL, NULL };
```

- Εισαγωγή στοιχείου

```
void queueInsert (queue * qp, int t)
{
   ListNode * n = (ListNode *)
       malloc(sizeof(ListNode));

   if (n == NULL) {
      printf("Out of memory\n");
      exit(1);
   }
```

Υλοποίηση ουράς σε C (iii)

- Εισαγωγή στοιχείου (συνέχεια)

```
    n->data = t;
    n->next = NULL;

    if (qp->last == NULL)
       qp->first = qp->last = n;
    else {
       qp->last->next = n;
       qp->last = n;
    }
}
```


Υλοποίηση ουράς (iv)

- Αφαίρεση στοιχείου

```
int queueRemove (queue * qp)
{
   ListNode * n;
   int result;

   if (qp->first == NULL) {
      printf("Nothing to remove"
             " from an empty queue\n");
      exit(1);
   }
```

Υλοποίηση ουράς (v)

- Αφαίρεση στοιχείου (συνέχεια)

```
    n = qp->first;
    result = qp->first->data;
    qp->first = qp->first->next;
    free(n);

    if (qp->first == NULL)
        qp->last = NULL;

    return result;
}
```


Υλοποίηση ουράς (vi)

- Εξέταση στοιχείου

```
int queueHead (queue q)
{
    if (q.first == NULL) {
        fprintf(stderr, "Nothing to see"
            " in an empty queue\n");
        exit(1);
    }

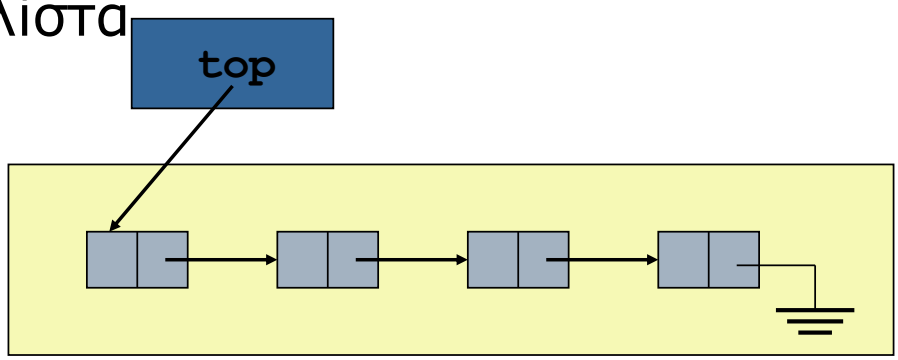
    return q.first->data;
}
```

Στοίβες(i)

- Last In First Out (LIFO)
  ό,τι μπαίνει τελευταίο, βγαίνει πρώτο
- Στοίβα ακεραίων
  - ΑΤΔ: **stack**
  - `const stack stackEmpty;`
  - `void stackPush (stack * sp, int t);`
  - `int stackPop (stack * sp);`
  - `int stackTop (stack s);`

Στοίβες(ii)

- Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα



Υλοποίηση στοίβας σε C (i)

- Τύπος stack

```
typedef ListNode * stack;
```

- Άδεια στοίβα

```
const stack stackEmpty = NULL;
```

- Εισαγωγή στοιχείου

```
void stackPush (stack * sp, int t)
{
   ListNode * n = (ListNode *)
       malloc(sizeof(ListNode));

   if (n == NULL) {
      printf("Out of memory\n");
      exit(1);
   }
```


Υλοποίηση στοίβας σε C (ii)

- Εισαγωγή στοιχείου (συνέχεια)

```
   n->data = t;
   n->next = *sp;
   *sp = n;
}
```

- Αφαίρεση στοιχείου

```
int stackPop (stack * sp)
{
   ListNode * n;
   int result;

   if (*sp == NULL) {
      printf("Nothing to remove"
             " from an empty stack\n");
      exit(1);
   }
```

Υλοποίηση στοίβας σε C (iii)

- Αφαίρεση στοιχείου (συνέχεια)

```
    n = *sp;
    result = (*sp)->data;
    *sp = (*sp)->next;
    free(n);
    return result;
}
```


Υλοποίηση στοίβας σε C (iv)

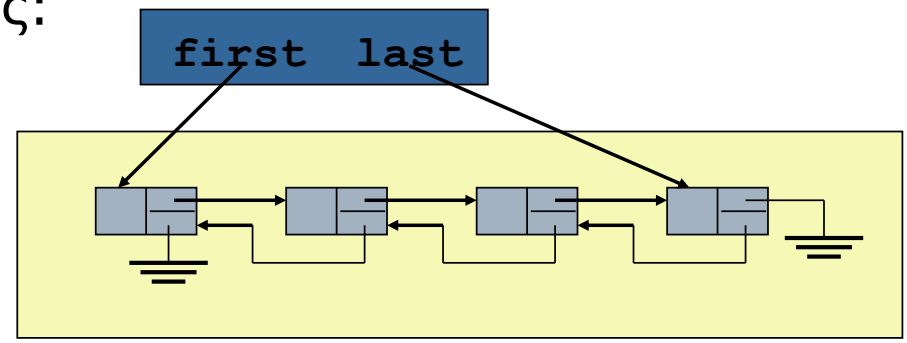
- Εξέταση στοιχείου

```
int stackTop (stack s)
{
    if (s == NULL) {
        printf("Nothing to see"
               " in an empty stack\n");
        exit(1);
    }

    return s->data;
}
```

Διπλά συνδεδεμένες λίστες (i)

- Επίσης γραμμικές διατάξεις
- Δυο σύνδεσμοι σε κάθε κόμβο, προς τον επόμενο και προς τον προηγούμενο
- Γενική μορφή, π.χ. για υλοποίηση ουράς:



Διπλά συνδεδεμένες λίστες (ii)

- Τύπος κόμβου DListNode

```
typedef struct DListNode_tag {
   int data;
   struct DListNode_tag * next;
   struct DListNode_tag * prev;
} DListNode;
```

- Τύπος dlist

```
typedef struct {
   DListNode * first;
   DListNode * last;
} dlist;
```

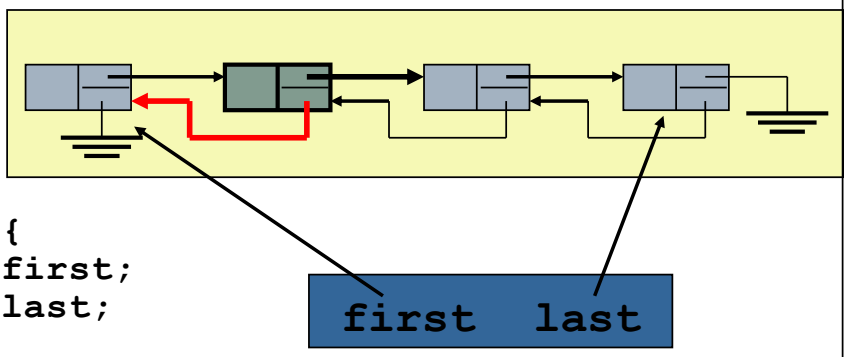
- Άδεια λίστα

```
const dlist dlistEmpty = { NULL, NULL };
```

Διπλά συνδεδεμένες λίστες (iii)

- Τύπος κόμβου DListNode

```
typedef struct DListNode_tag {
   int data;
   struct DListNode_tag * next;
   struct DListNode_tag * prev;
} DListNode;
```

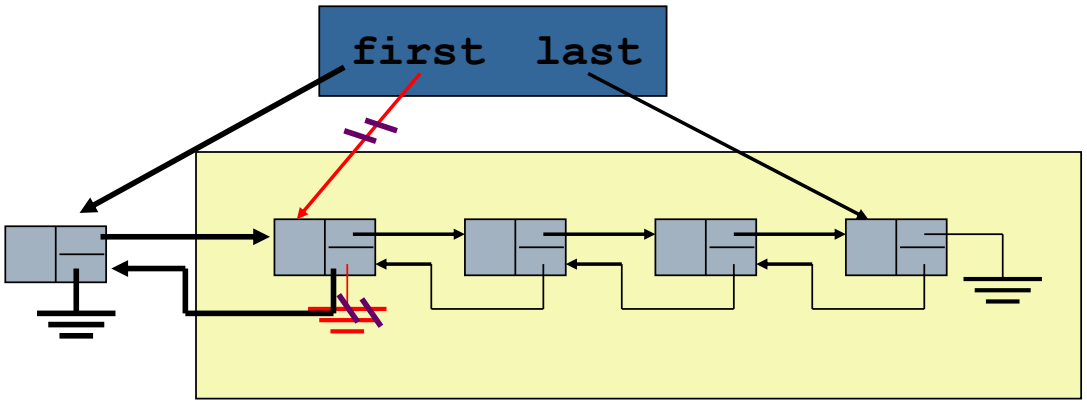


- Τύπος dlist

```
typedef struct {
   DListNode * first;
   DListNode * last;
} dlist;
```


Διπλά συνδεδεμένες λίστες (iv)

- Εισαγωγή στοιχείου στην αρχή



Διπλά συνδεδεμένες λίστες (v)

- Εισαγωγή στοιχείου στην αρχή

```
void dlistInsert (dlist * lp, int t)
{
   DListNode * n = (DListNode *)
       malloc(sizeof(DListNode));

   if (n == NULL) {
      fprintf(stderr, "Out of memory\n");
      exit(1);
   }

   n->data = t;
```

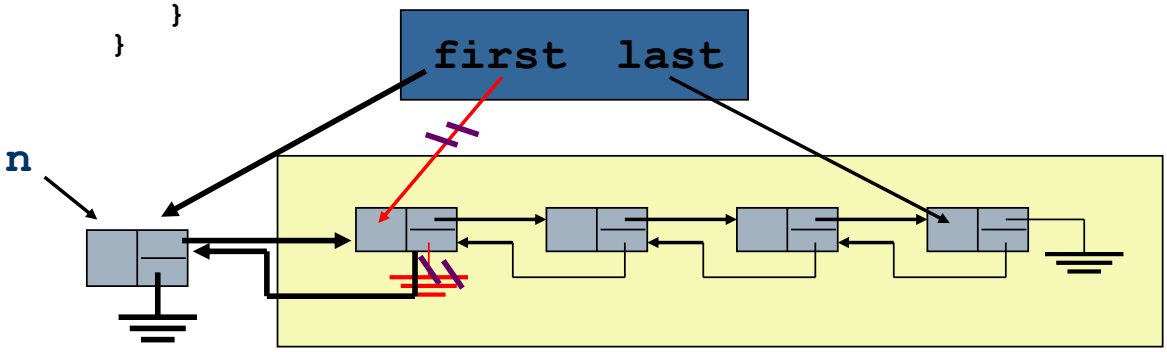

Διπλά συνδεδεμένες λίστες (vi)

- Εισαγωγή στοιχείου στην αρχή (συνέχεια)

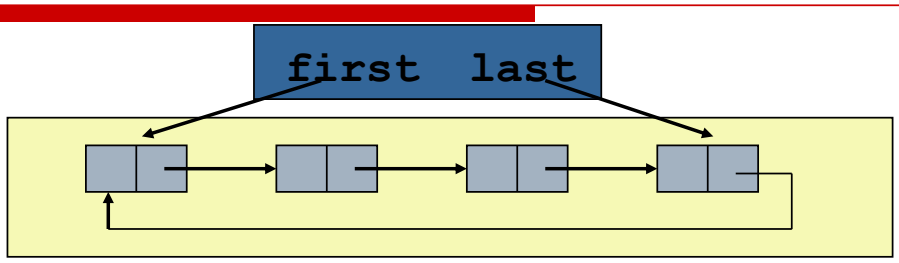
```
   if (lp->first == NULL) {
      n->prev = n->next = NULL;
      lp->first = lp->last = n;
   }
   else {
      n->prev = NULL;
      n->next = lp->first;
      lp->first->prev = n;
      lp->first = n;
   }
}
```

Διπλά συνδεδεμένες λίστες (vii)

```
if (lp->first == NULL) {
      n->prev = n->next = NULL;
      lp->first = lp->last = n;
   }
   else {
      n->prev = NULL;
      n->next = lp->first;
      lp->first->prev = n;
      lp->first = n;
   }
}
```



Κυκλικές λίστες (i)



- Τύπος clist

```
typedef struct {
   ListNode * first;
   ListNode * last;
} clist;
```

- Άδεια λίστα

```
const clist clistEmpty = { NULL, NULL };
```

Κυκλικές λίστες (ii)

- Εισαγωγή στοιχείου

```
void clistInsert (clist * lp, int t)
{
   ListNode * n = (ListNode *)
       malloc(sizeof(ListNode));

   if (n == NULL) {
      fprintf(stderr, "Out of memory\n");
      exit(1);
   }

   n->data = t;
```

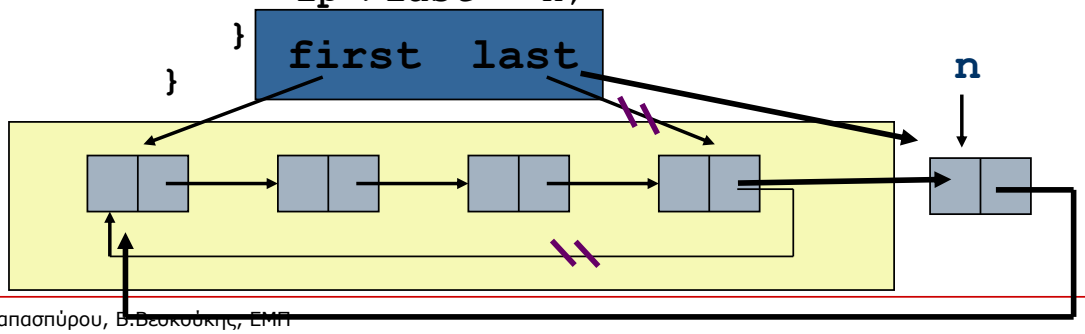

Κυκλικές λίστες (iii)

- Εισαγωγή στοιχείου (συνέχεια)

```
   if (lp->first == NULL) {
      lp->first = lp->last = n;
      n->next = n;
   }
   else {
      n->next = lp->first;
      lp->last->next = n;
      lp->last = n;
   }
}
```

Κυκλικές λίστες (iv)

```
if (lp->first == NULL) {
   lp->first = lp->last = n;
   n->next = n;
}
else {
   n->next = lp->first;
   lp->last->next = n;
   lp->last = n;
}
}
```



Κυκλικές λίστες (v)

- Αφαίρεση στοιχείου

```
int clistRemove (clist * lp)
{
   int result;

   if (lp->first == NULL) {
      fprintf(stderr, "Nothing to remove"
         " from empty list\n");
      exit(1);
   }

   result = lp->first->data;
```

Κυκλικές λίστες (vi)

- Αφαίρεση στοιχείου (συνέχεια)

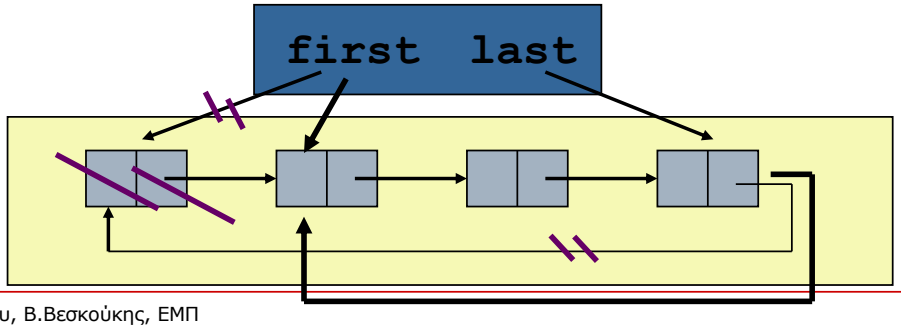
```
    if (lp->first == lp->last) {
       free(lp->first);
       lp->first = lp->last = NULL;
    }
    else {
       lp->first = lp->first->next;
       free(lp->last->next);
       lp->last->next = lp->first;
    }

    return result;
}
```


Κυκλικές λίστες (vii)

```
if (lp->first == lp->last) {
      free(lp->first);
      lp->first = lp->last = NULL;
   }
   else {
      lp->first = lp->first->next;
      free(lp->last->next);
      lp->last->next = lp->first;
   }

   return result;
}
```



Κυκλικές λίστες (viii)

- Εκτύπωση στοιχείων

```
void clistPrint (clist l)
{
   ListNode * n;

   for (n = l.first; n != NULL;
            n = n->next) {
      printf("%d\n", n->data);
   }
}
```


Κυκλικές λίστες (ix)

- Εκτύπωση στοιχείων (σωστό!)

```
void clistPrint (clist l)
{
   ListNode * n;

   for (n = l.first; n != NULL;
            n = n->next) {
      printf("%d\n", n->data);
      if (n->next == l.first)
         break;
   }
}
```

Ταξινομημένες λίστες (i)

- Τύπος slist

```
typedef ListNode * slist;
```

- Άδεια λίστα

```
const slist slistEmpty = NULL;
```

- Εισαγωγή στοιχείου

```
void slistInsert (slist * lp, int t)
{
   ListNode * n = (ListNode *)
       malloc(sizeof(ListNode));

   if (n == NULL) {
      printf("Out of memory\n");
      exit(1);
   }
```

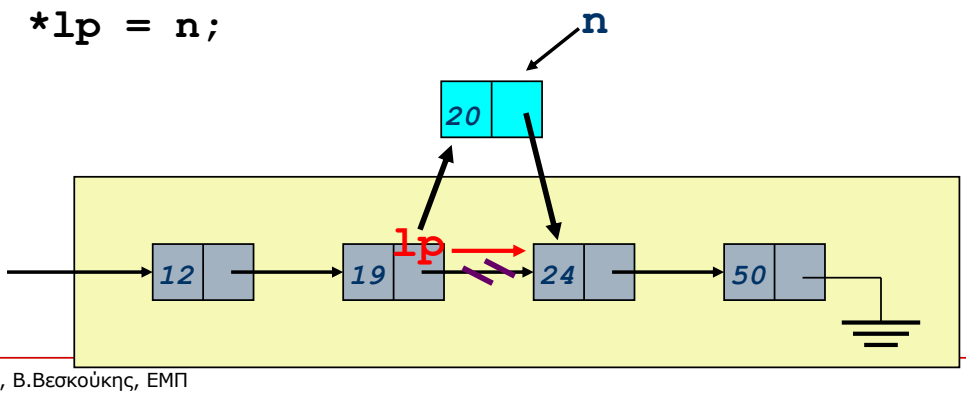

Ταξινομημένες λίστες (ii)

- Εισαγωγή στοιχείου (συνέχεια)

```
   n->data = t;

   while (*lp != NULL && (*lp)->data < t)
      lp = &((*lp)->next);

   n->next = *lp;
   *lp = n;
}
```



Ταξινομημένες λίστες (iii)

- Αφαίρεση στοιχείου

```
void slistRemove (slist * lp, int t)
{
   ListNode * n;

   while (*lp != NULL && (*lp)->data < t)
      lp = &((*lp)->next);

   if (*lp == NULL) {
      printf("%d was not found\n", t);
      exit(1);
   }

   n = *lp;
   *lp = (*lp)->next;
   free(n);
}
```

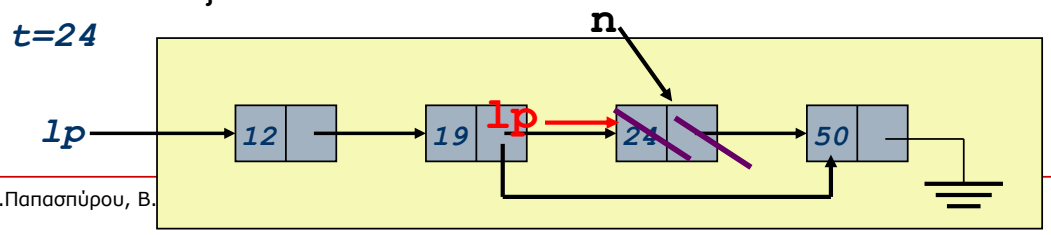

Ταξινομημένες λίστες (iv)

```
void slistRemove (slist * lp, int t)
   {
      ListNode * n;

      while (*lp != NULL && (*lp)->data < t)
         lp = &((*lp)->next);

      if (*lp == NULL) {
         printf("%d was not found\n", t);
         exit(1);
      }

      n = *lp;
      *lp = (*lp)->next;
      free(n);
   }
```



Παράμετροι προγράμματος (i)

- Επικεφαλίδα του προγράμματος

```
int main (int argc, char * argv[]);
```

- Παράμετροι
  - `argc` ο αριθμός των παραμέτρων
  - `argv[i]` η i-οστή παράμετρος
  - `argv[0]` το όνομα του προγράμματος
- Αποτέλεσμα
  - ακέραιος αριθμός που επιστρέφεται στο λειτουργικό σύστημα
  - συνήθως 0 για επιτυχή τερματισμό

Παράμετροι προγράμματος (ii)

- Παράδειγμα

```
int main (int argc, char * argv[])
{
   int i;

   printf("Program %s called with "
          "%d parameters:\n", argv[0],
          argc-1);
   for (i = 1; i < argc; i++)
      printf(" %s", argv[i]);
   printf("\nand will return 0\n");

   return 0;
}
```

Συναρτήσεις εισόδου-εξόδου (i)

- Βασικές συναρτήσεις εισόδου-εξόδου

```
int printf (const char * format, ...);
int scanf (const char * format, ...);
```

- Ειδικοί χαρακτήρες στο format
  - Ακέραιοι αριθμοί
    - `%d` στο δεκαδικό σύστημα
    - `%u` χωρίς πρόσημο στο δεκαδικό σύστημα
    - `%o` χωρίς πρόσημο στο οκταδικό σύστημα
    - `%x` χωρίς πρόσημο στο δεκαεξαδικό σύστημα

Συναρτήσεις εισόδου-εξόδου (ii)

- Ειδικοί χαρακτήρες στο format
  - Αριθμοί κινητής υποδιαστολής
    - `%f` σε μορφή: `[-]ddd.dddddd`
    - `%e` σε μορφή: `[-]ddd.dddddd e [+/-]ddd`
    - `%g` σε μορφή `%f` ή `%e`
  - Άλλοι τύποι
    - `%c` χαρακτήρες
    - `%s` συμβολοσειρές
    - `%p` δείκτες

Συναρτήσεις εισόδου-εξόδου (iii)

- Παραλλαγές στο format
  - Μέγεθος αριθμών

    `%h` αριθμοί **`short`** π.χ. **`%hd`**, **`%hx`**

    `%l` αριθμοί **`long`** ή **`double`** π.χ. **`%ld`**, **`%lf`**

    `%L` αριθμοί **`long double`** π.χ. **`%Lf`**
  - Μήκος αποτελέσματος

    `%8d` αριθμός σε μήκος 8 χαρακτήρων

    `%20s` συμβολοσειρά σε μήκος 20 χαρακτήρων

    `%+8d` αριθμός σε μήκος 8 χαρακτήρων με `+`

    `%08d` αριθμός σε μήκος 8 χαρακτήρων, τα πρώτα `0`

    `%-8d` όπως το **`%8d`** με στοίχιση αριστερά

Συναρτήσεις εισόδου-εξόδου (iv)

- Είσοδος-έξοδος χαρακτήρων

```
int putchar (int c);
int getchar ();
```

- Είσοδος-έξοδος συμβολοσειρών

```
int puts (const char * s);
char * gets (char * s);
```

- Έλεγχος τέλους δεδομένων

```
int eof ();
```

  - Η σταθερά **`EOF`** παριστάνει το τέλος των δεδομένων και έχει τύπο **`int`**.

Παράδειγμα

- Αντιγραφή δεδομένων
  - οι χαρακτήρες που διαβάζονται εκτυπώνονται, μέχρι να παρουσιαστεί τέλος δεδομένων

```
void main ()
   {
      int c;

      while ((c = getchar()) != EOF)
         putchar(c);
   }
```


Συναρτήσεις διαχείρισης αρχείων (i)

- Τύπος αρχείου

```
FILE * fp;
```

- Άνοιγμα αρχείων

```
FILE * fopen (const char * filename,
              const char * mode);
```

  - Παράμετρος mode
    - `r` ανάγνωση (read)
    - `w` εγγραφή (write)
    - `a` προσθήκη (append)
    - `t` κείμενο (text)
    - `b` δυαδικά δεδομένα (binary)

Συναρτήσεις διαχείρισης αρχείων (ii)

- Κλείσιμο αρχείων

```
int fclose (FILE * fp);
```

- Είσοδος-έξοδος χαρακτήρων

```
int fputc (int c, FILE * fp);
int fgetc (FILE * fp);
```

- Είσοδος-έξοδος συμβολοσειρών

```
int fputs (const char * s, FILE * fp);
char * fgets (char * s, int n,
                FILE * fp);
```


Συναρτήσεις διαχείρισης αρχείων (iii)

- Βασικές συναρτήσεις εισόδου-εξόδου

```
int fprintf (FILE * fp,
             const char * format, ...);
int fscanf (FILE * fp,
             const char * format, ...);
```

- Έλεγχος τέλους αρχείου

```
int feof (FILE * fp);
```

Συναρτήσεις διαχείρισης αρχείων (iv)

- Είσοδος-έξοδος πολλών δεδομένων

```
size_t fwrite (const void * p,
   size_t size, size_t num, FILE * fp);
size_t fread (void * p,
   size_t size, size_t num, FILE * fp);
```

  - Ο ακέραιος τύπος `size_t` χρησιμοποιείται για τη μέτρηση χώρου μνήμης σε bytes.

Παράδειγμα (i)

- Αντιγραφή δυαδικών αρχείων

```
int main (int argc, char * argv[])
{
   FILE * fin, * fout;
   unsigned char buffer[1000];
   size_t count;

   fin = fopen(argv[1], "rb");
   if (fin == NULL)
      return 1;

   fout = fopen(argv[2], "wb");
   if (fout == NULL)
      return 2;
```

Παράδειγμα (ii)

- (συνεχίζεται)

```
    while (!feof(fin)) {
       count = fread(buffer, 1,
                     1000, fin);
       fwrite(buffer, 1, count, fout);
    }

    fclose(fin);
    fclose(fout);

    return 0;
}
```


Συναρτήσεις βιβλιοθήκης (i)

- Είσοδος και έξοδος <stdio.h>
  - Περιέχει όλες τις συναρτήσεις εισόδου-εξόδου
  - Προκαθορισμένα αρχεία

    `FILE * stdin;` τυπική είσοδος
    `FILE * stdout;` τυπική έξοδος
    `FILE * stderr;` τυπική έξοδος σφαλμάτων
  - Ισοδυναμίες

    `printf(...)` ≡ `fprintf(stdout, ...)`
    `scanf(...)` ≡ `fscanf(stdin, ...)`

    κ.λπ.
  - Συναρτήσεις διαχείρισης αρχείων με τυχαία πρόσβαση (random access)

Συναρτήσεις βιβλιοθήκης (ii)

- Διαχείριση συμβολοσειρών <string.h>
  - `size_t strlen (const char * s);`
    Μέτρηση αριθμού χαρακτήρων της συμβολοσειράς **s**.
  - `char * strcpy (char * s1,`
    `const char * s2);`
    Αντιγραφή της συμβολοσειράς **s2** στην **s1**.
  - `char * strcat (char * s1,`
    `const char * s2);`
    Προσθήκη της συμβολοσειράς **s2** στο τέλος της **s1**.
  - `int strcmp (const char * s1,`
    `const char * s2);`
    Σύγκριση των συμβολοσειρών **s1** και **s2**.

Συναρτήσεις βιβλιοθήκης (iii)

- Μετατροπή συμβολοσειρών <stdlib.h>
  - `int atoi (const char * s);`
    Μετατροπή της συμβολοσειράς **s** σε **int**.
  - `long int atol (const char * s);`
    Μετατροπή της συμβολοσειράς **s** σε **long int**.
  - `double atof (const char * s);`
    Μετατροπή της συμβολοσειράς **s** σε **double**.

Παράδειγμα

- Μια δυνατή υλοποίηση της strcmp

```
int strcmp (const char * s1,
            const char * s2)
{
   while (*s1 == *s2 && *s1 != '\0')
   { s1++; s2++; }
```

```
≡ while (*s1 && *s1++ == *s2++);
```

```
   return (*s1)-(*s2);
}
```

  - Υπόθεση: οι τιμές του τύπου char είναι στο διάστημα 0-255 (όχι αρνητικές)

Προεπεξεργαστής (preprocessor) (i)

- Εντολή #include

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

- Εντολή #define

```
#define MAX_CHARS 1000
char s[MAX_CHARS];

#define INC(x) ((x)++)
INC(a);
INC(*p);
```

Προεπεξεργαστής (preprocessor) (ii)

- Εντολές #ifdef, #ifndef, #else και #endif

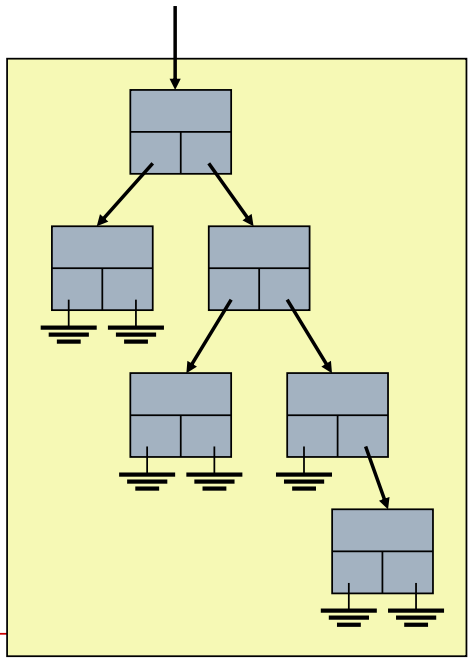
```
#define DEBUG

#ifdef DEBUG
   printf("debugging is on\n");
#else
   printf("debugging is off\n")
#endif

#ifndef DEBUG
   printf("optimizations allowed\n");
#endif
```


Δυαδικά δένδρα (i)

- Binary trees
- Δυο σύνδεσμοι σε κάθε κόμβο
  - αριστερό και δεξί παιδί
- Κάθε κόμβος έχει 0, 1 ή 2 παιδιά
- Ρίζα: ο αρχικός κόμβος του δένδρου
- Φύλλα: κόμβοι χωρίς παιδιά
- Βάθος κόμβου: αριθμός συνδέσμων από τη ρίζα



Δυαδικά δένδρα (ii)

- Τύπος κόμβου TreeNode

```
typedef struct TreeNode_tag {
   int data;
   struct TreeNode_tag * left;
   struct TreeNode_tag * right;
} TreeNode;
```

- Τύπος tree

```
typedef TreeNode * tree;
```

- Κενό δένδρο

```
const tree treeEmpty = NULL;
```


Δυαδικά δένδρα (iii)

- Εισαγωγή σε δένδρα
  - Καθοριστική απόφαση: σε ποιο σημείο του δένδρου θα εισαχθεί ο νέος κόμβος
  - Ισοζυγισμένα δένδρα (balanced trees): το βάθος δυο φύλλων διαφέρει το πολύ κατά 1
- Συνάρτηση μέγιστου βάθους

```
int treeDepth (tree t)
{
   if (t == NULL) return 0;
   return 1 + max(treeDepth(t->left),
                  treeDepth(t->right));
}
```

Δυαδικά δένδρα (iv)

- Εισαγωγή σε ισοζυγισμένα δένδρα

```
void treeBalancedInsert (tree * t, int d)
{
   if (*t == NULL) {
      *t = (TreeNode *)
          malloc(sizeof(TreeNode));

      if (*t == NULL) {
         printf("Out of memory\n");
         exit(1);
      }

      (*t)->data = d;
      (*t)->left = (*t)->right = NULL;
   }
```


Δυαδικά δένδρα (v)

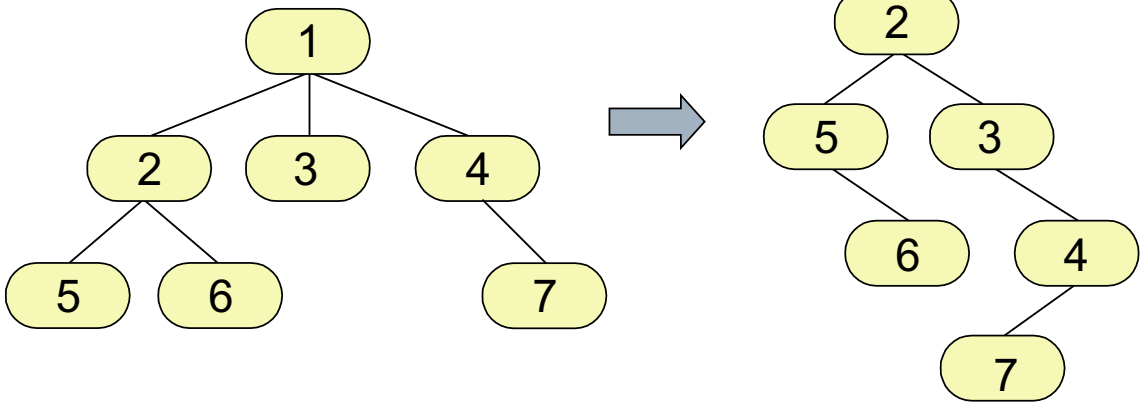
- Εισαγωγή σε ισοζυγισμένα δένδρα (συνέχεια)

```
   else {
      int d1 = treeDepth((*t)->left);
      int d2 = treeDepth((*t)->right);

      if (d1 <= d2)
         treeBalancedInsert(
             &((*t)->left), d);
      else
         treeBalancedInsert(
             &((*t)->right), d);
   }
}
```

Δένδρα γενικής μορφής

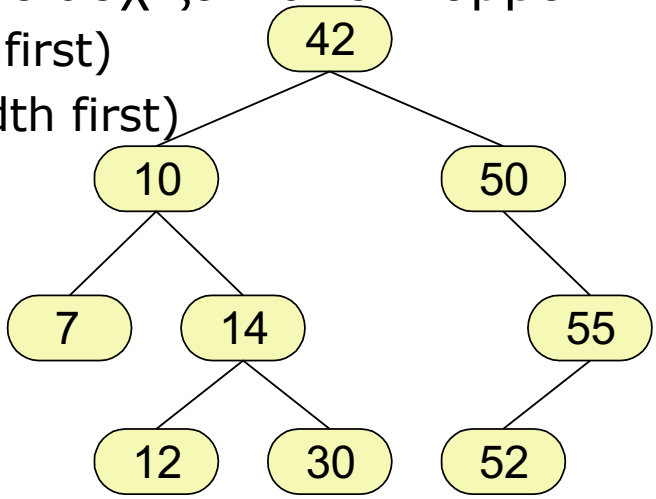
- Κάθε κόμβος k έχει n_k απογόνους, όπου $n_k \in \mathbf{N}$



- Κωδικοποίηση με δυαδικά δένδρα

Διάσχιση δυαδικών δένδρων (i)

- Σειρά με την οποία διασχίζονται οι κόμβοι
  - κατά βάθος (depth first)
  - κατά πλάτος (breadth first)



- *Κατά βάθος*

  42, 10, 7, 14, 12, 30, 50, 55, 52

- *Κατά πλάτος*

  42, 10, 50, 7, 14, 55, 12, 30, 52

Διάσχιση δυαδικών δένδρων (ii)

- Εκτύπωση κατά βάθος
  - πολύ απλά, με χρήση αναδρομής
- Υλοποίηση

```
void treePrintDF (tree t)
{
   if (t != NULL) {
      printf("%d ", t->data);
      treePrintDF(t->left);
      treePrintDF(t->right);
   }
}
```


Διάσχιση δυαδικών δένδρων (iii)

- Εκτύπωση κατά πλάτος
  - με τη βοήθεια ουράς για την αποθήκευση δεικτών προς τους κόμβους που δεν έχουμε επισκεφθεί
- Υλοποίηση

```
void treePrintBF (tree t)
{
   queue q = queueEmpty;
   if (t != NULL)
      queueInsert(&q, t);
```

Διάσχιση δυαδικών δένδρων (iv)

- Εκτύπωση κατά πλάτος, υλοποίηση (συνέχεια)

```
    while (!queueIsEmpty(q)) {
        TreeNode * n = queueRemove(&q);

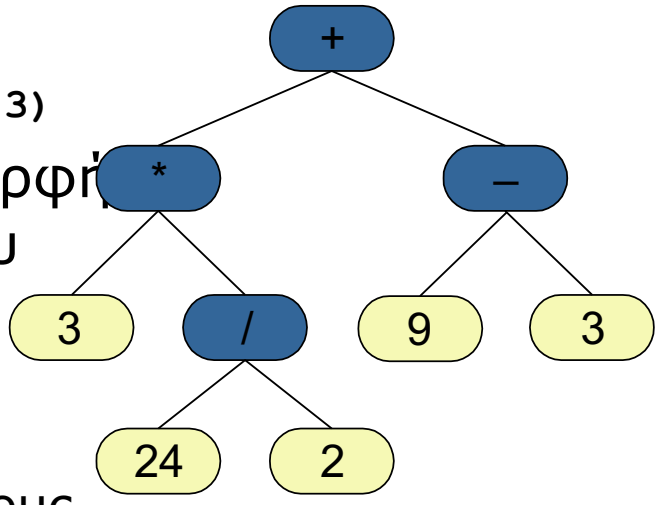
        printf("%d ", n->data);
        if (n->left != NULL)
            queueInsert(&q, n->left);
        if (n->right != NULL)
            queueInsert(&q, n->right);
    }
}
```


Αριθμητικές εκφράσεις(i)

- Παράδειγμα

  `3 * (24 / 2) + (9 - 3)`

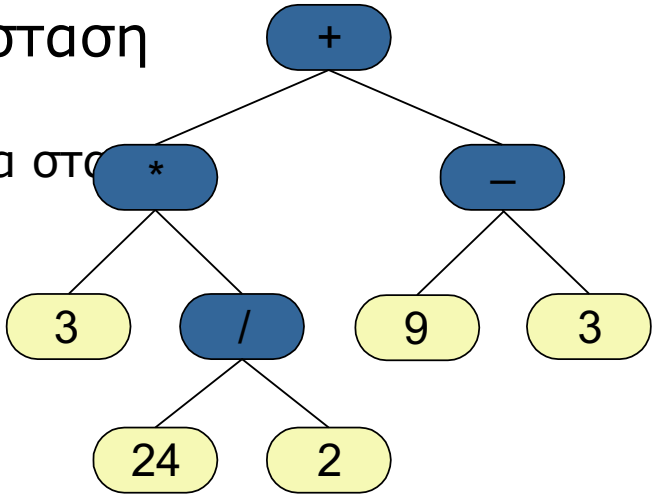
- Παράσταση σε μορφή δυαδικού δένδρου
  - οι αριθμοί στα φύλλα
  - οι τελεστές στους υπόλοιπους κόμβους



- Διάσχιση κατά βάθος

Αριθμητικές εκφράσεις(ii)

- Ενθεματική παράσταση
  - infix notation
  - ο τελεστής ανάμεσα στα τελούμενα
  - διφορούμενη: χρειάζονται παρενθέσεις
  - η συνήθης μορφή για τον άνθρωπο

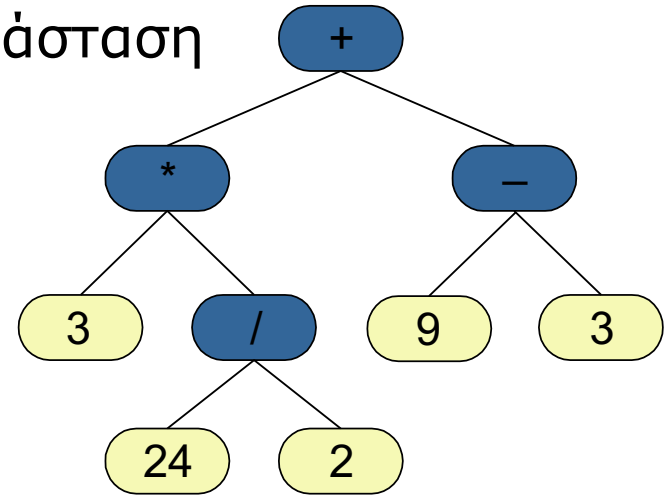


- Αποτέλεσμα

```
(3 * (24 / 2)) + (9 - 3)
```


Αριθμητικές εκφράσεις(iii)

- Προθεματική παράσταση
  - prefix notation
  - ο τελεστής πριν τα τελούμενα
  - όχι διφορούμενη, δε χρειάζονται παρενθέσεις
  - απλή μηχανική ανάγνωση



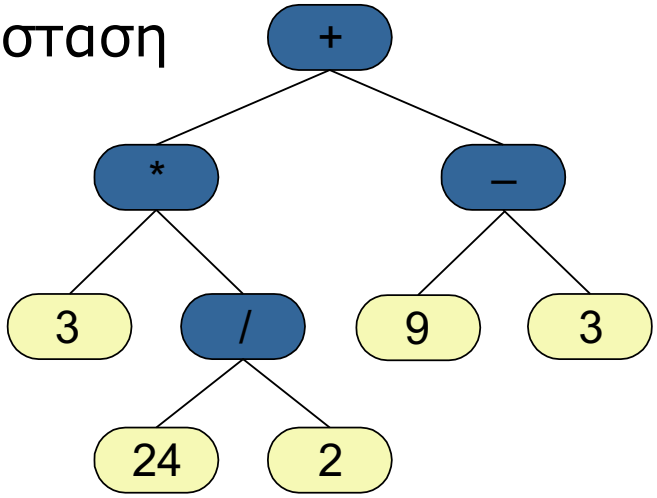
- Αποτέλεσμα

```
+ * 3 / 24 2 - 9 3
```

Αριθμητικές εκφράσεις(iv)

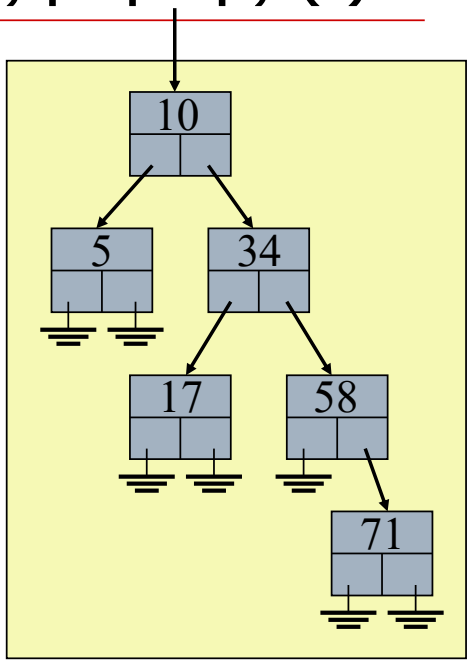
- Επιθεματική παράσταση
  - postfix notation
  - ο τελεστής μετά τα τελούμενα
  - όχι διφορούμενη, δε χρειάζονται παρενθέσεις
  - απλή μηχανική αποτίμηση
- Αποτέλεσμα

```
3 24 2 / * 9 3 - +
```



Δυαδικά δένδρα αναζήτησης (i)

- Binary search trees
- **Δυαδικά δένδρα με τις παρακάτω ιδιότητες για κάθε κόμβο:**
  - όλοι οι κόμβοι του αριστερού παιδιού έχουν τιμές μικρότερες ή ίσες της τιμής του κόμβου
  - όλοι οι κόμβοι του δεξιού παιδιού έχουν τιμές μεγαλύτερες ή ίσες της τιμής του κόμβου



Δυαδικά δένδρα αναζήτησης (ii)

- Τα δυαδικά δένδρα αναζήτησης διευκολύνουν την αναζήτηση στοιχείων
- Αναδρομική αναζήτηση
  - αν η τιμή που ζητείται είναι στη ρίζα, βρέθηκε
  - αν είναι μικρότερη από την τιμή της ρίζας, αρκεί να αναζητηθεί στο αριστερό παιδί
  - αν είναι μεγαλύτερη από την τιμή της ρίζας, αρκεί να αναζητηθεί στο δεξί παιδί
- Κόστος αναζήτησης: $O(\log n)$
  - υπό την προϋπόθεση το δένδρο να είναι ισοζυγισμένο

Δυαδικά δένδρα αναζήτησης(iii)

- Αναζήτηση

```
TreeNode * treeSearch (tree t, int key)
{
   if (t == NULL)
      return NULL;      /* not found */

   if (t->data == key)
      return t;         /* found */

   if (t->data > key)
      return treeSearch(t->left, key);
   else
      return treeSearch(t->right, key);
}
```

Δείκτες σε συναρτήσεις

- Παράδειγμα 1

```
int f (int n);
int (*p) (int n);

p = &f;
printf("%d", (*p)(3));
```

- Παράδειγμα 2

```
double (*q) (double) = &sqrt;
```

- Δείκτες ισοδύναμοι με συναρτήσεις

```
p = f;
printf("%d", p(3));
```


Ολοκλήρωση

```
double integral (double a, double b,
                 double (*f) (double))
{
   const double step = 1e-6;

   double result = 0.0;
   double x;

   for (x=a; x<=b; x += step)
      result += f(x) * step;
   return result;
}

...

result = integral(0, 3.14159, sin);
```

κακός αλγόριθμος!

Ταξινόμηση φυσαλίδας (i)

- Τα δεδομένα:
  - `void * a` πού βρίσκονται
  - `int n` πόσα είναι
  - `int size` τί μέγεθος έχει καθένα
  - `comparison f` πώς γίνεται η σύγκριση
- Η σύγκριση των δεδομένων

```
typedef int (*comparison) (void * x,
                           void * y);
```


Ταξινόμηση φυσαλίδας (ii)

```
void bsort (void * a, int n,
            comparison f, int size)
{
  int i, j;

  for (i = 0; i < n; i++)
    for (j = n-1; j > i; j--) {
      unsigned char * px =
        (unsigned char *) a +
        (j-1) * size;
      unsigned char * py =
        (unsigned char *) a +
        j * size;
```

Ταξινόμηση φυσαλίδας (iii)

- (συνέχεια)

```
        if (f(px, py) > 0) {
          int k;

          for (k = 0; k < size; k++) {
            unsigned char temp = *px;

            *px++ = *py;
            *py++ = temp;
          }
        }
      }
  }
```


Ταξινόμηση φυσαλίδας (iv)

- Συνάρτηση σύγκρισης για ακέραιους

```
int intcompare (void * x, void * y)
{
   return *((int *) x) - *((int *) y);
}
```

- Κλήση για πίνακα ακεραίων

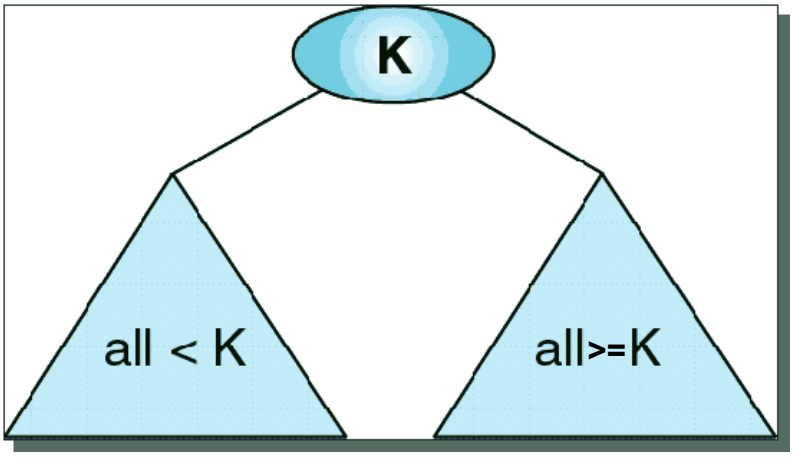
```
int x[] = { 44, 55, 12, 42, ... };
...
bsort(x, n, intcompare, sizeof(int));
```

Δέντρα δυαδικής αναζήτησης

- Δενδρικές δομές δεδομένων στις οποίες
  - Ολα τα στοιχεία στο αριστερό υποδέντρο της ρίζας είναι μικρότερα από την ρίζα
  - Ολα τα στοιχεία στο δεξί υποδέντρο της ρίζας είναι μεγαλύτερα ή ίσα με την ρίζα
  - Το αριστερό και το δεξί υποδέντρο είναι δέντρα δυαδικής αναζήτησης
- Binary Search Trees - BSTs

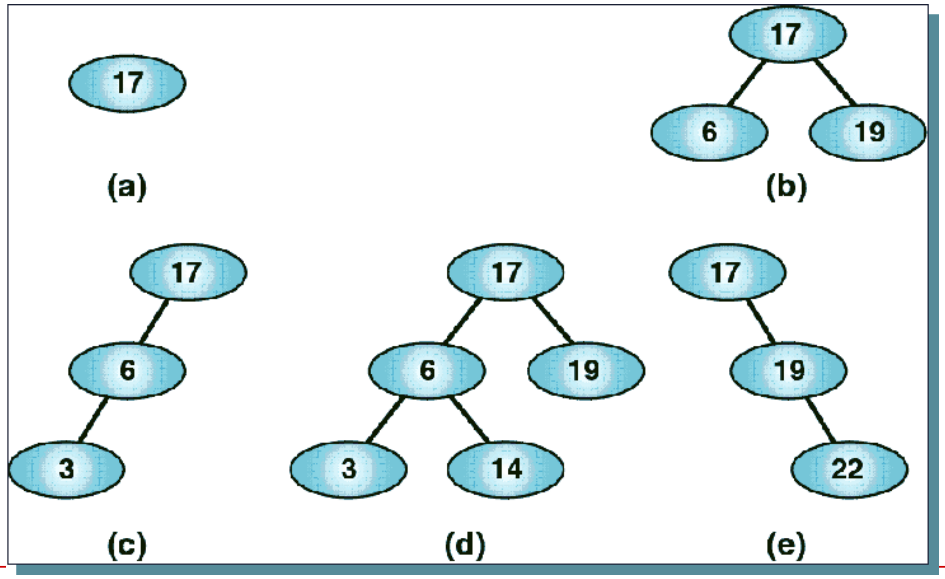
Δέντρα δυαδικής αναζήτησης

- Η γενική εικόνα ενός τέτοιου δέντρου



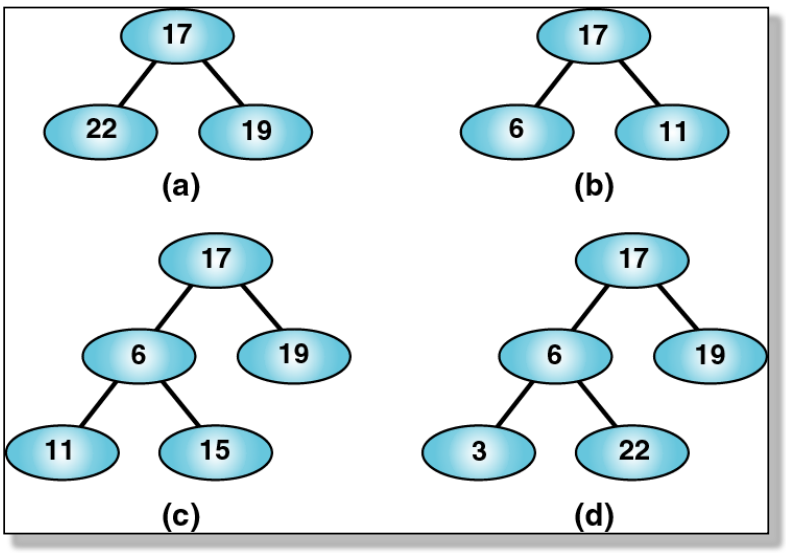
Παραδείγματα δέντρων BST

- Εγκυρα δέντρα

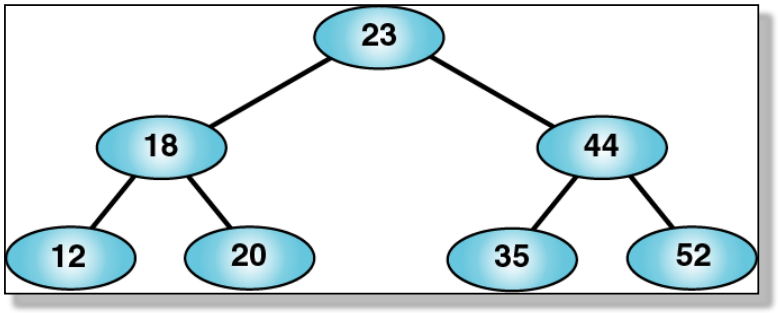


Παραδείγματα δέντρων BST

- Μη-έγκυρα δέντρα



Διάσχιση δυαδικών δέντρων



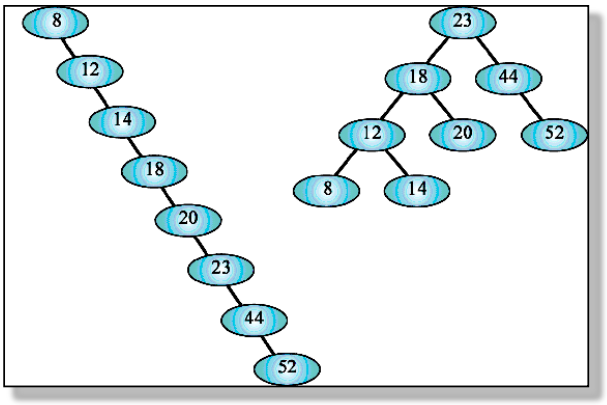
- Preorder: 23 18 12 20 44 35 52
- Postorder: 12 20 18 35 52 44 23
- Inorder: 12 18 20 23 35 44 52

Ζύγισμα δέντρων BST

- Ανάλογα με τη σειρά άφιξης των στοιχείων και τον τρόπο δημιουργίας του δέντρου BST, για τα ίδια στοιχεία δεν προκύπτει πάντα το ίδιο δέντρο
- Το ύψος του δέντρου σχετίζεται με το χρόνο αναζήτησης ενός στοιχείου μέσα στο δέντρο

Ζύγισμα δέντρων BST

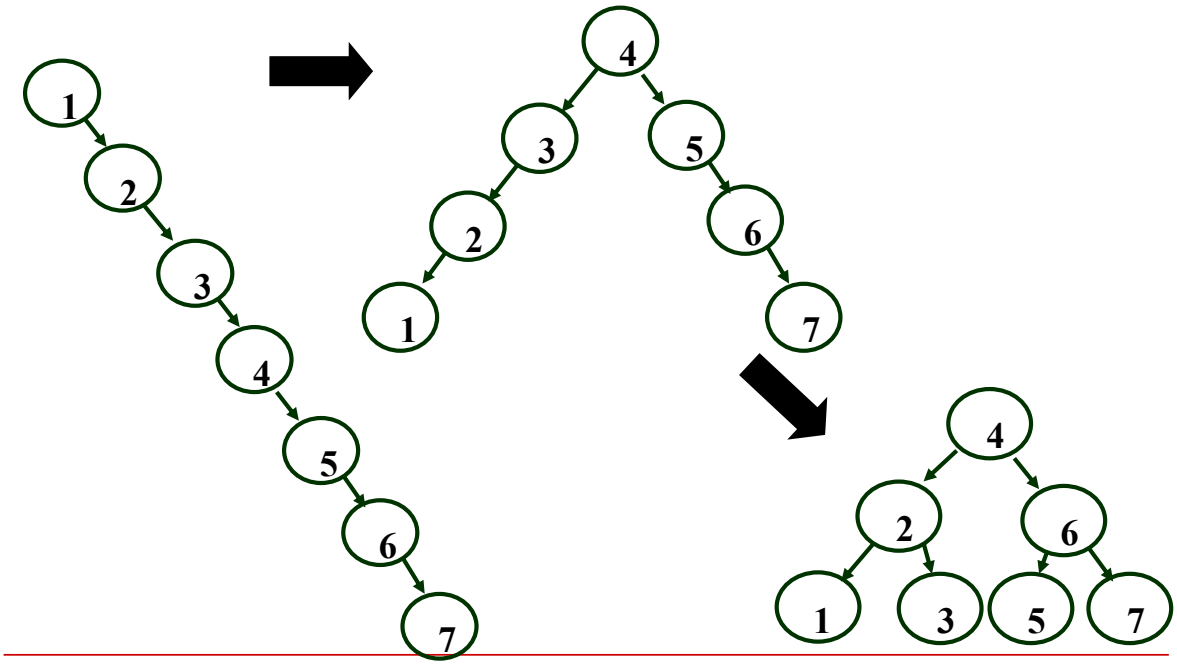
- Αναζήτηση με πολυπλοκότητα
  - Από O(N) [χειρότερη περίπτωση]
  - Μέχρι O(Log_2N) [καλύτερη περίπτωση]



Ζύγισμα δέντρων BST

- Προκειμένου μια αναζήτηση να διατρέχει όσο το δυνατόν μικρότερο μέρος του δέντρου, αυτό πρέπει να είναι «ζυγισμένο»
  - «Ζυγισμένο»: το βάθος του αριστερού υποδέντρου δεν διαφέρει περισσότερο από 1 από αυτό του δεξιού (ιδανικά: είναι ίσα)
- Αν κατά την προσθήκη νέων στοιχείων στο δέντρο η ζυγαριά «γείρει» δεξιά ή αριστερά, απαιτείται διόρθωση του δέντρου

Παραδείγματα ζυγισμένων δέντρων



Ζυγισμένα δέντρα

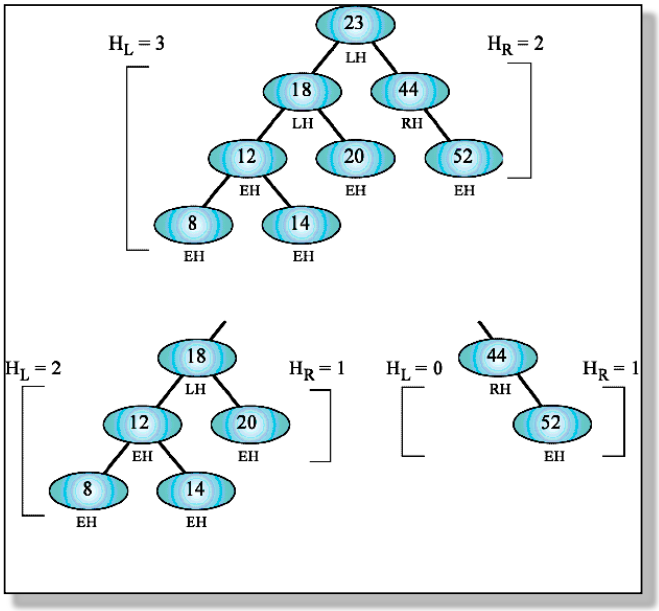
- Η περίπτωση όπου το ύψος του αριστερού υποδέντρου είναι ***ακριβώς ίσο*** με το ύψος του δεξιού, δεν επιτυγχάνεται εύκολα
- Αν από την παραπάνω περίπτωση υπήρχαν **«μικρές» αποκλίσεις**, οι επιδόσεις του δέντρου στην αναζήτηση δεν θα επηρεάζονταν ιδιαίτερα

Δέντρα AVL

- Ενα δέντρο AVL (Adelson-Velskii and Landis) είναι ένα δέντρο BST του οποίου *το ύψος του αριστερού υποδέντρου διαφέρει από αυτό του δεξιού το πολύ κατά 1*
- Το δεξί και αριστερό υποδέντρο ενός δέντρου AVL είναι επίσης δέντρα AVL
- Το κενό δέντρο είναι δέντρο AVL

  Οι ιδιότητες αυτές διατηρούνται με παρεμβάσεις (αναδιάταξη) καθώς νέα στοιχεία προστίθενται στο δέντρο

Δέντρα AVL



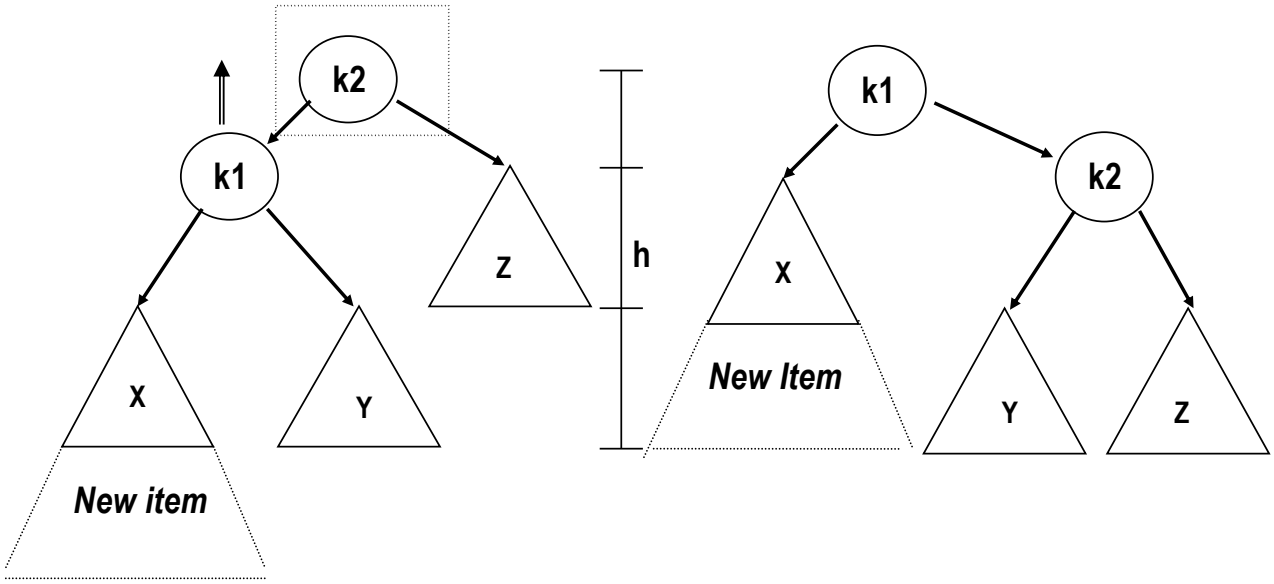
Δέντρα AVL

- Ενα δέντρο AVL λέγεται «ψηλό από αριστερά» όταν το ύψος του αριστερού υποδέντρου είναι μεγαλύτερο από αυτό του δεξιού (κατά πόσο;;;)
- Αντίστοιχα για το «ψηλό από δεξιά»
- Υπάρχουν αρκετοί τρόποι με τους οποίους η προσθήκη ή η διαγραφή στοιχείων σε ένα δέντρο AVL παραβιάζει τη συνθήκη χαρακτηρισμού του

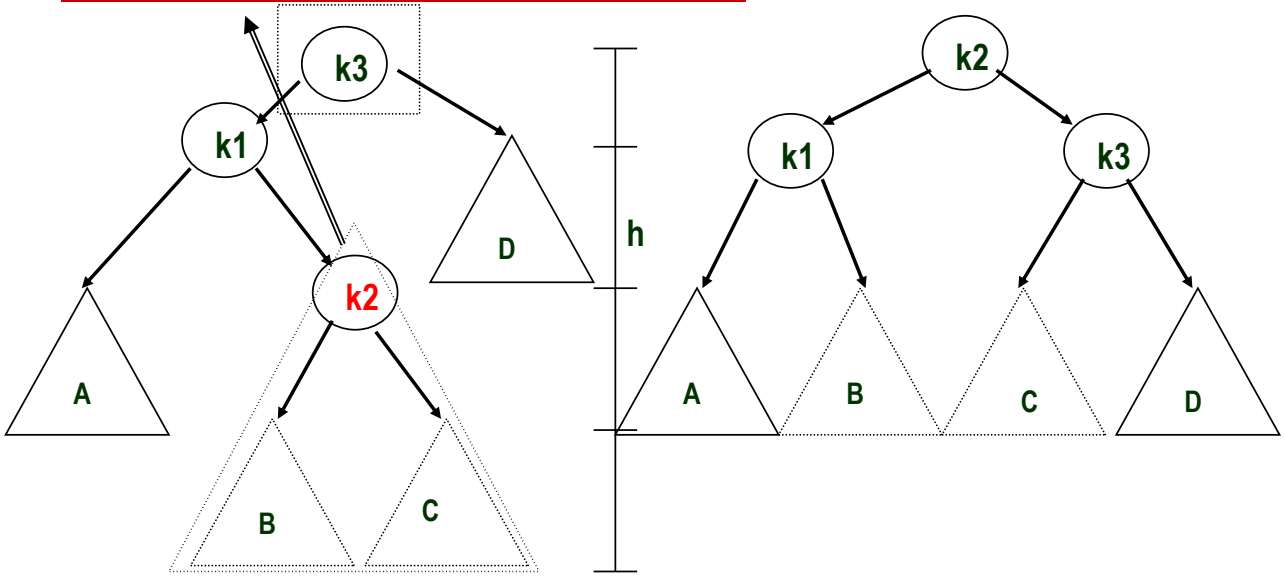
Αναδιάταξη δέντρων AVL

- Η χαρακτηριστική ιδιότητα ενός δέντρου AVL μπορεί να παύει να ισχύει με την προσθήκη νέων στοιχείων
- Η επαναφορά της ιδιότητας σε ισχύ, γίνεται με ***περιστροφή*** του δέντρου, ανάλογα με την περίπτωση αναδιάταξης που συντρέχει

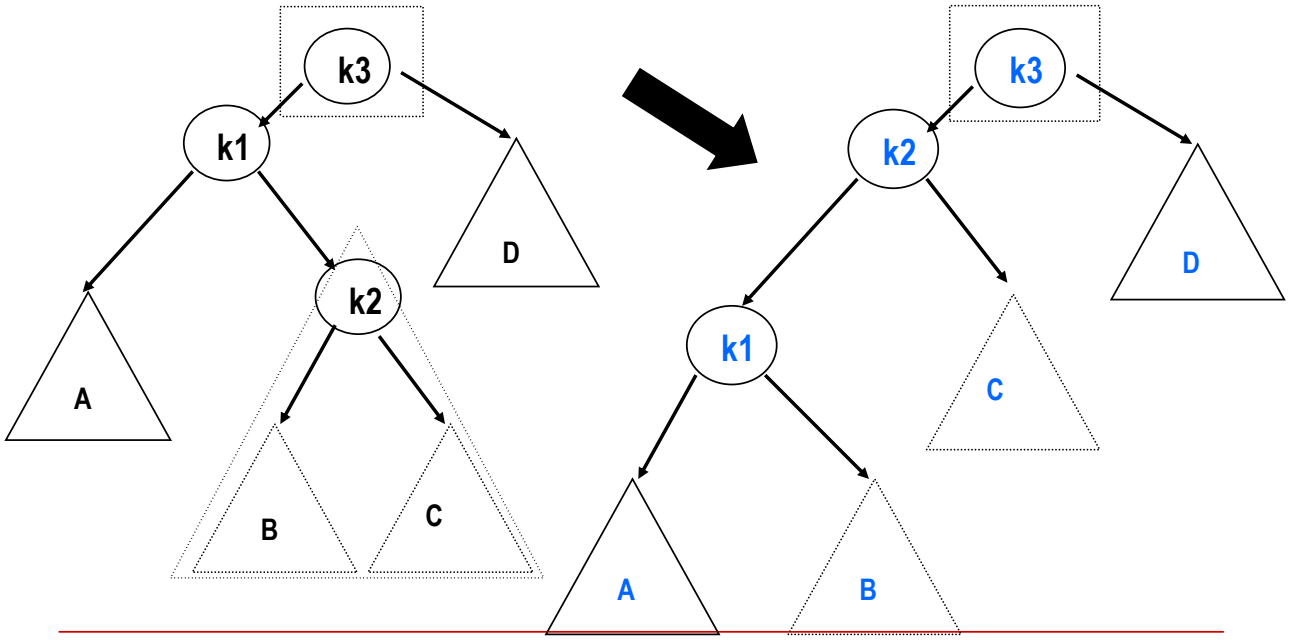
Απλή περιστροφή



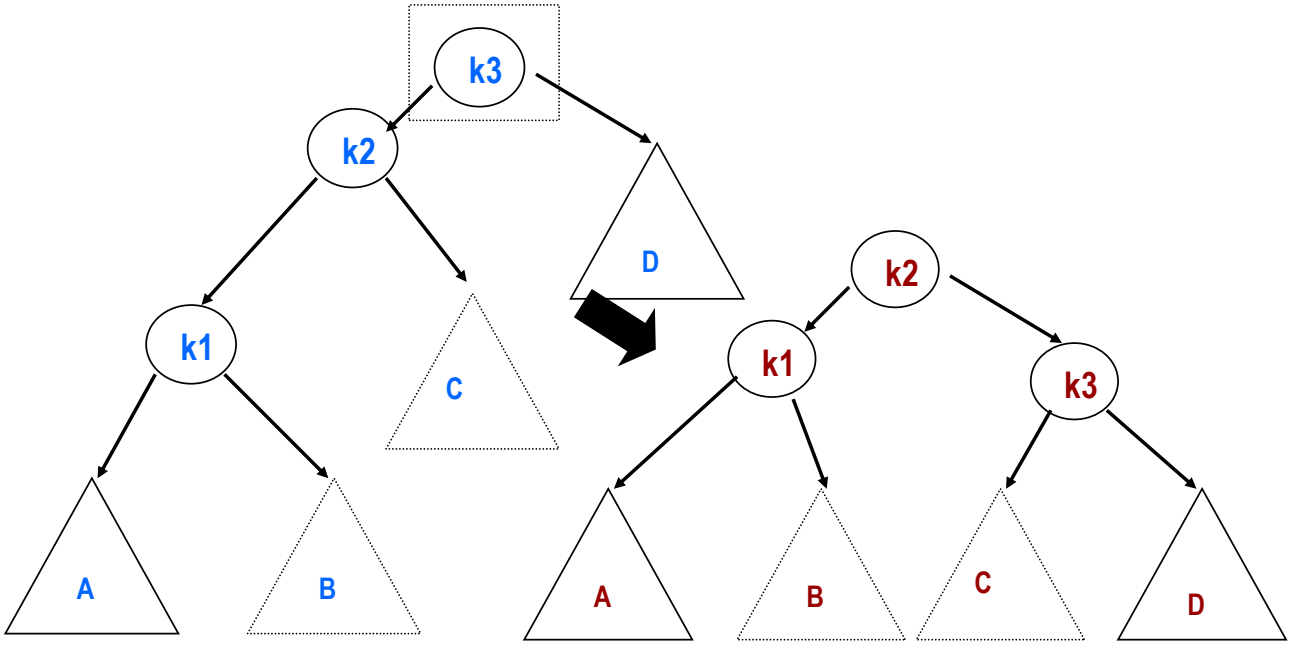
Διπλή περιστροφή (α)



Διπλή περιστροφή (β)



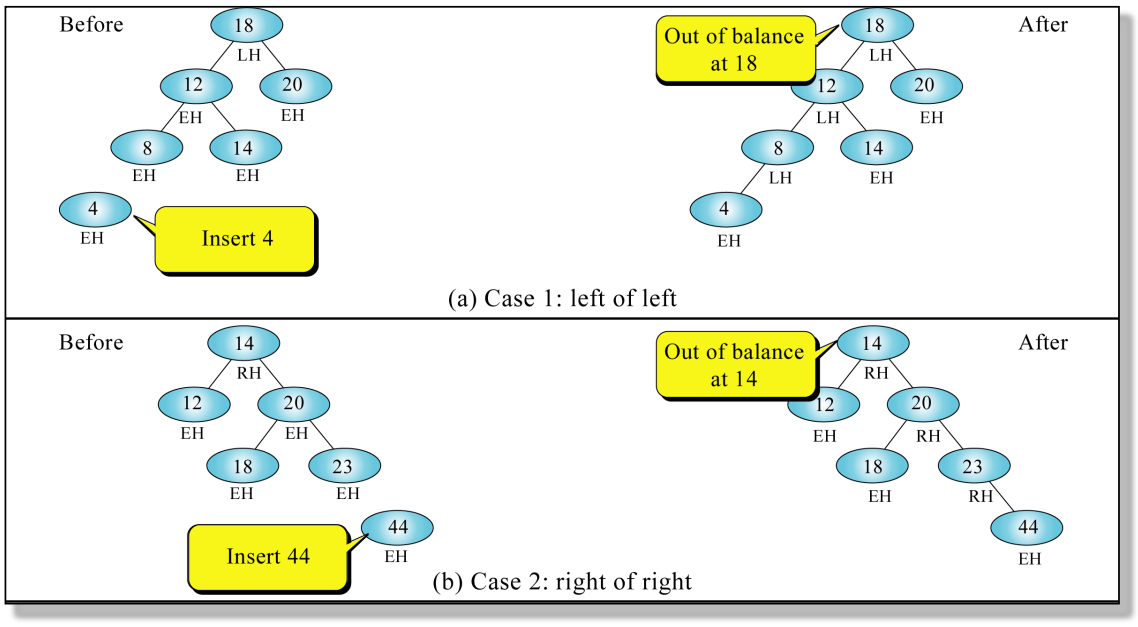
Διπλή περιστροφή (γ)



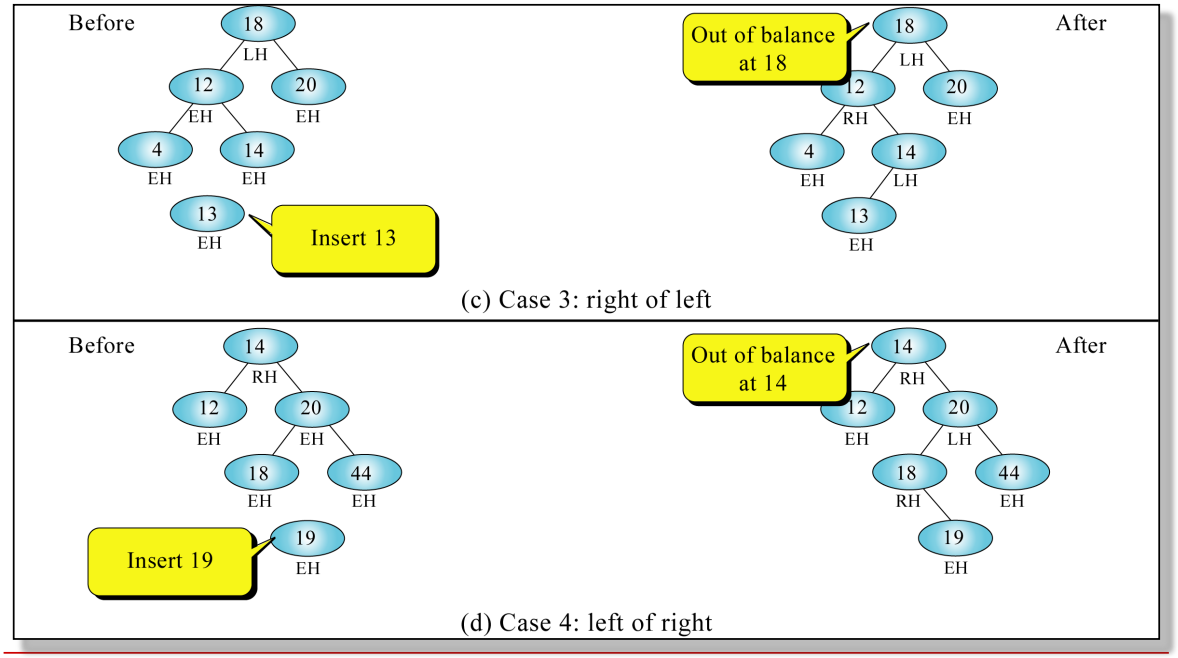
Αναδιάταξη δέντρων AVL

- Περιπτώσεις αναδιάταξης
  - ΑΑ: ένα αριστερό υποδέντρο ενός δέντρου AVL που είναι ψηλό από αριστερά, γίνεται επίσης ψηλό από αριστερά (**left of left**)
  - ΔΔ: τα αντίστοιχα για το δεξί υποδέντρο (**right of right**)
  - ΔΑ: ένα υποδέντρο ενός δέντρου AVL ψηλού από αριστερά, γίνεται ψηλό από δεξιά (**right of left**)
  - ΑΔ: ένα υποδέντρο ενός δέντρου AVL ψηλού από δεξιά, γίνεται ψηλό από αριστερά (**left of right**)

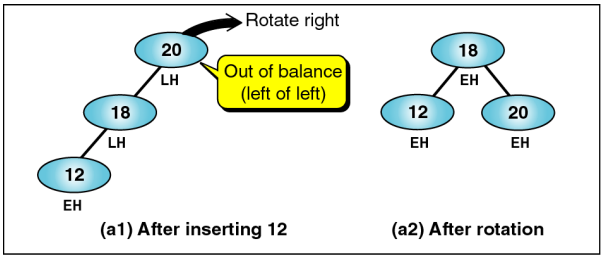
Περιπτώσεις αναδιάταξης (α)



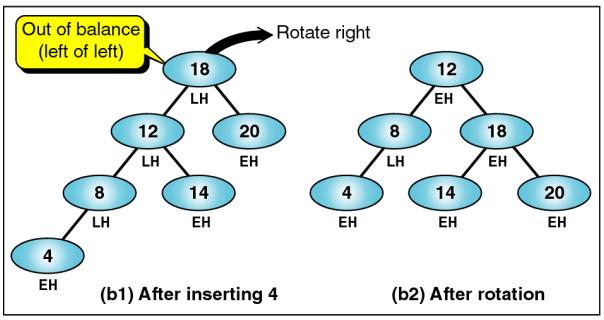
Περιπτώσεις αναδιάταξης (β)



Αναδιάταξη σε περίπτωση AA

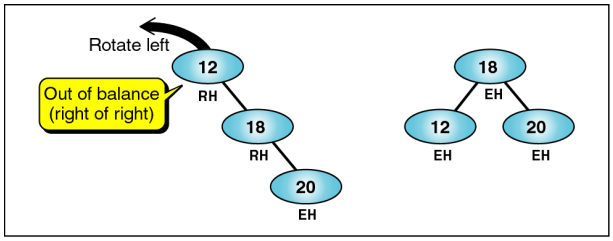


(a) Simple right rotation

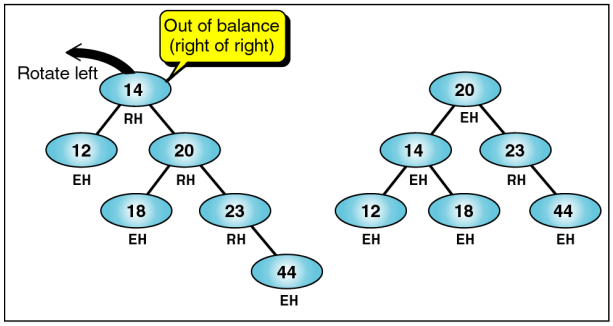


(b) Complex right rotation

Αναδιάταξη σε περίπτωση ΔΔ

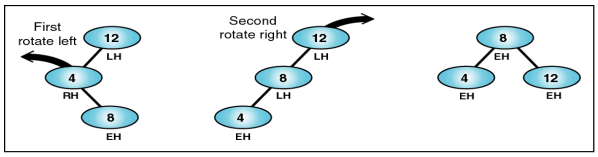


(a) Simple left rotation

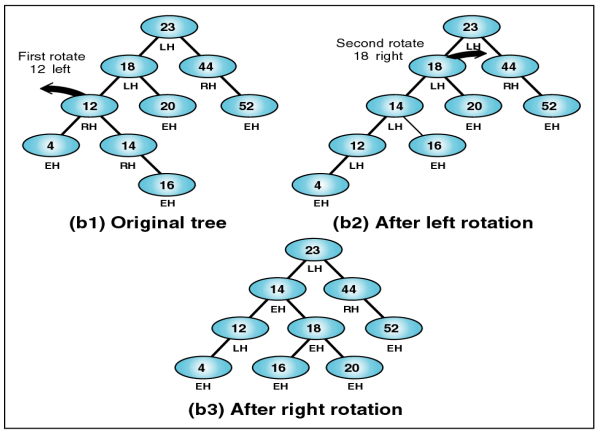


(b) Complex left rotation

Αναδιάταξη σε περίπτωση ΔΑ



(a) Simple double rotation right



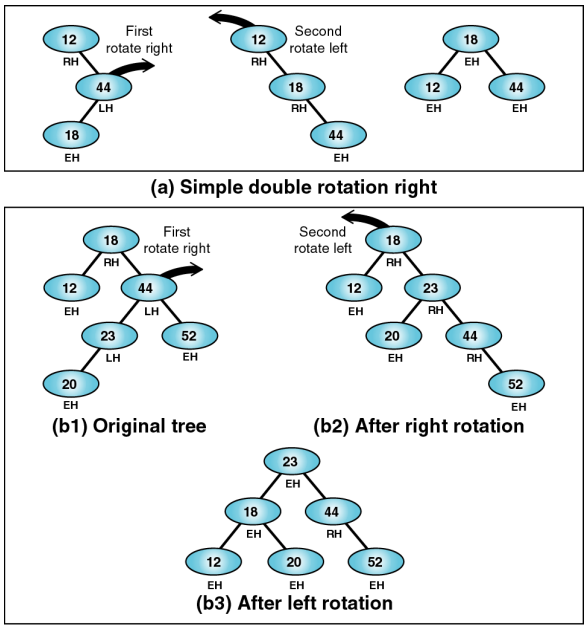
(b1) Original tree

(b2) After left rotation

(b3) After right rotation

(b) Complex double rotation right

Αναδιάταξη σε περίπτωση ΑΔ



(a) Simple double rotation right

(b1) Original tree

(b2) After right rotation

(b3) After left rotation

(b) Complex double rotation right

Υλοποίηση δέντρων AVL στη C

- Μια δομή δεδομένων

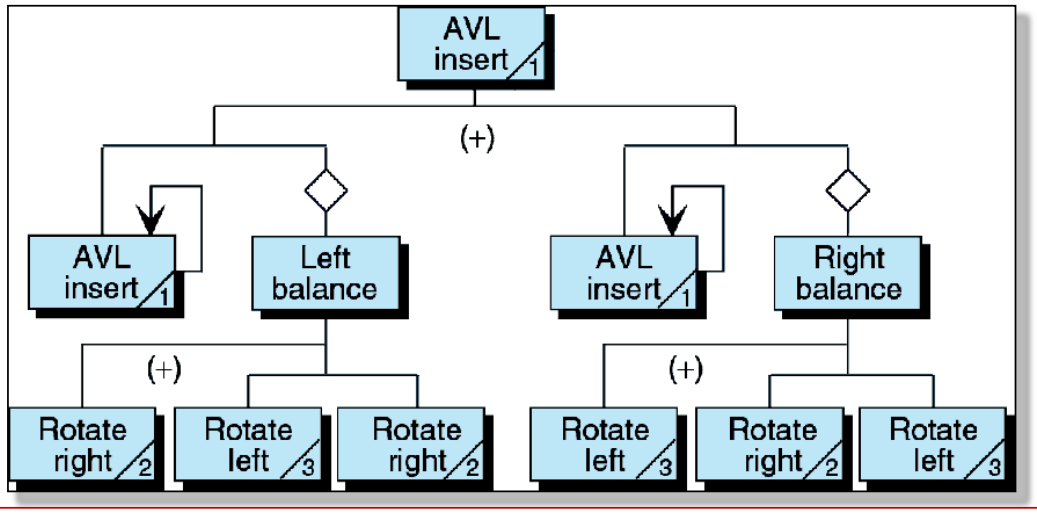
```
Node
        key         <keyType>
        data        <dataType>
        left        <pointer to Node>
        right       <pointer to Node>
        bal         <LeftH, EvenH, RightH>
End Node
```

Εισαγωγή σε δέντρα AVL

- Η εισαγωγή νέων στοιχείων γίνεται στα φύλλα, όπως στα δέντρα BST
- Εντοπίζεται το φύλλο στο οποίο θα γίνει η εισαγωγή και δημιουργείται νέος κόμβος
- Γίνεται οπισθοδρόμηση μέχρι την κορυφή του δέντρου, με έλεγχο της ισχύος της συνθήκης ισορροπίας AVL σε κάθε βήμα προς τα πίσω, και επαναφορά σε ισορροπία, όπου απαιτείται

Εισαγωγή σε δέντρα AVL

- Διάγραμμα κλήσης μιας αναδρομικής συνάρτησης εισαγωγής



ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ AVLInsert(ref root <tree pointer>, val newPtr <tree pointer>, ref taller <Boolean>)

```
1  if (root null)
   1  root = newPtr
   2  taller = true
   3  return root
2  end if
3  if (newPtr->key < root->key)
   1  root->left = AVLInsert (root->left, newPtr, taller)
   2  if (taller)                              // Left subtree is taller
      1  if (root left-high)
         1  root = leftBalance (root, taller)
      2  elseif (root even-high)
         1  root->bal = left-high
      3  else                          //Was right high -- now even high
         1  root->bal = even-high
         2  taller = false
      4  end if
4  else                                 // New data >= root data
```


(Συνέχεια) AVLInsert(ref root <tree pointer>, val newPtr <tree pointer>, ref taller <Boolean>)

```
...
4  else                                 // New data >= root data
   1  root-> right = AVLInsert (root->right , newPtr, taller)
   2  if (taller)                       // Right subtree is taller
      1  if (root left-high)
         1  root->bal = even-high
         2  taller = false
      2  elseif (root even-high)              // Was balanced -- now right
    high
         1  root->bal = right-high
      3  else
         1  root = rightBalance (root, taller)
      4  end if
   3  end if
5  end if
6  return root

end AVLInsert
```

ΑΛΓΟΡΙΘΜΟΣ

leftBalance (ref root <tree pointer>, ref taller <Boolean>)

```
1  leftTree = root-> left
2  if (leftTree left-high)
     // Case 1: Left of left.  Single rotation right.
   1  rotateRight (root)
   2  root->bal = even-high
   3  leftTree->bal = even-high
   4  taller = false
3  else
     // Case 2: Right of left.  Double rotation required.
   1  rightTree = leftTree->right
     // adjust balance factors
   2  if (rightTree->bal left-high)
        1  root->bal = right-high
        2  leftTree->bal = even-high
   3  elseif (rightTree->bal = even-high)
        1  leftTree->bal = even-high
   4  else
```


(Συνέχεια)

leftBalance (ref root <tree pointer>, ref taller <Boolean>)

```
 4  else
        // rightTree->bal is right-high
        1  root->bal = even-high
        2  leftTree->bal = left-high
   5  end if
   6  rightTree->bal = even-high
   7  root->left = rotateLeft (leftTree)
   8  root = rotateRight (root)
   9  taller = false
4  end if
5  return root

end leftBalance
```