

ΠΡΟΓΡΑΜΜΑΤΙΣΜΟΣ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ

<https://courses.softlab.ntua.gr/progintro/>

Διδάσκοντες:	Στάθης Ζάχος	(zachos@cs.ntua.gr)
	Νίκος Παπασπύρου	(nickie@softlab.ntua.gr)
	Δημήτρης Φωτάκης	(fotakis@cs.ntua.gr)
	Πέτρος Ποτίκας	(ppotik@cs.ntua.gr)
	Δώρα Σούλιου	(dsouliou@mail.ntua.gr)
	Κώστας Τζαμαλούκας	(kot@cs.ntua.gr)

Διαφάνειες παρουσιάσεων

4/12/20

- ✓ Εισαγωγή στην πληροφορική
- ✓ Εισαγωγή στον προγραμματισμό με τη γλώσσα C++
- ✓ Μεθοδολογία αλγοριθμικής επίλυσης προβλημάτων

◆ Σκοπός του μαθήματος

- Εισαγωγή στην πληροφορική (computer science)
- Εισαγωγή στον προγραμματισμό ηλεκτρονικών υπολογιστών (H/Y)
- Μεθοδολογία αλγοριθμικής επίλυσης προβλημάτων

◆ Αλγόριθμος

- Πεπερασμένη ακολουθία **ενεργειών** που περιγράφει τον τρόπο επίλυσης ενός προβλήματος
- Εφαρμόζεται σε **δεδομένα** (data)

◆ Πρόγραμμα

- Ακριβής περιγραφή ενός αλγορίθμου σε μια **τυπική γλώσσα** που ονομάζεται **γλώσσα προγραμματισμού**

◆ Φυσική γλώσσα

- Χωρίς τόσο αυστηρούς **συντακτικούς** περιορισμούς
- Μεγάλη πυκνότητα και **σημασιολογική** ικανότητα

◆ Τυπική γλώσσα

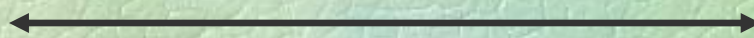
- **Αυστηρότατη** σύνταξη και σημασιολογία

◆ Γλώσσα προγραμματισμού

- Τυπική γλώσσα στην οποία μπορούν να περιγραφούν **υπολογισμοί**
- **Εκτελέσιμη** από έναν ηλεκτρονικό υπολογιστή

◆ Πληροφορική

Ηλεκτρονικοί
υπολογιστές
(engineering)



Μαθηματικά

Σχεδίαση και
κατασκευή

Θεωρία και
αναλυτική μέθοδος

◆ Κεντρική έννοια: υπολογισμός (computation)

◆ Πληροφορική: μαθηματοποίηση της μεθοδολογίας των μηχανικών

- Απαιτήσεις – Πρόβλημα
- Προδιαγραφές
- Σχεδίαση
- Υλοποίηση
- Εμπειρικός έλεγχος – Θεωρητική επαλήθευση
- Βελτιστοποίηση
- Πολυπλοκότητα (κόστος πόρων-αγαθών)
- Τεκμηρίωση
- Συντήρηση

Έννοιες που υπήρχαν για τους μηχανικούς, στην πληροφορική τυποποιήθηκαν, πήραν μαθηματική μορφή, άρα μπορεί κανείς να επιχειρηματολογήσει με αυτές τις έννοιες χρησιμοποιώντας αποδείξεις.

◆ Δευτεροβάθμια εκπαίδευση

Σκοπός: να μάθεις να σκέφτεσαι

- Η Ευκλείδεια Γεωμετρία (με τη βασική διδακτική της αξία) απουσιάζει από το πρόγραμμα σπουδών εδώ και χρόνια.
- Αποτέλεσμα: όπως είδαμε και στις πανελλήνιες εξετάσεις δίνεται έμφαση στην αποστήθιση ανουσίων θεωρημάτων και γνώσεων διαφορετικού και απειροστικού λογισμού. Η ικανότητα μαθηματικής επίλυσης απλών αλλά πρωτότυπων προβλημάτων δεν παίζει ρόλο.
- Απουσία γνώσεων συνδυαστικής (μέτρηση περιπτώσεων, τρίγωνο Pascal).
- Εφαρμογή των αποστηθισμένων κανόνων;
- Άλγεβρα: αν ρωτήσω έναν τελειόφοιτο Λυκείου πόσο κάνει 107×93 θα δυσκολευτεί πολύ να απαντήσει, ενώ φυσικά γνωρίζει ότι $(\alpha + \beta)(\alpha - \beta) = \alpha^2 - \beta^2$

◆ Οι μαθητές αγνοούν την έννοια του “αποδοτικού αλγόριθμου”

- π.χ. μαθαίνουν ένα μη-αποδοτικό αλγόριθμο για την εύρεση του Μ.Κ.Δ. ενώ ο αλγόριθμος του Ευκλείδη απουσιάζει από την ύλη

◆ Πρόταση

- Εισαγωγή της Θεωρητικής Πληροφορικής στη δευτεροβάθμια εκπαίδευση για όλους τους μαθητές
- Μεθοδολογία επίλυσης προβλημάτων με σχεδίαση και υλοποίηση αλγορίθμων

◆ Τριτοβάθμια εκπαίδευση

- Η τεχνολογία αλλάζει αέναα και γρήγορα – τα θεμέλια μένουν
- Αυτά τα θεμέλια πρέπει να είναι η ραχοκοκαλιά στην τριτοβάθμια εκπαίδευση: έμφαση στην αλγοριθμική σκέψη σε αντιδιαστολή με τις τεχνολογικές δεξιότητες (computer literacy)
- Computer science, computing science, informatics
- **Dijkstra**: η Επιστήμη των Υπολογιστών έχει τόση σχέση με τους υπολογιστές όση και η Αστρονομία με τα τηλεσκόπια
- **Primality**: σημαντικό επίτευγμα σε μία χώρα χωρίς υποδομές

◆ Να μην ξεχνάμε ότι

- Το να κάνεις λάθη είναι ανθρώπινο.
- Για να τα κάνεις θάλασσα χρειάζεσαι υπολογιστή!

◆ Κατασκευή υπολογιστικών μηχανών

- **Αρχαιότητα:** υπολογιστικές μηχανές, μηχανισμός των Αντικυθήρων, κ.λπ.
- 17ος αιώνας, **Pascal** και **Leibniz**, μηχανικές υπολογιστικές αριθμομηχανές
⇒ στοιχειώδεις αριθμητικές πράξεις
- 1830–1840, **Babbage**, “αναλυτική μηχανή”
⇒ λογάριθμοι, τριγωνομετρικές συναρτήσεις
- 1880–1890, **Hollerith**, μηχανή με διάτρητες κάρτες για την αυτοματοποίηση των εκλογών

◆ Κατασκευή υπολογιστών

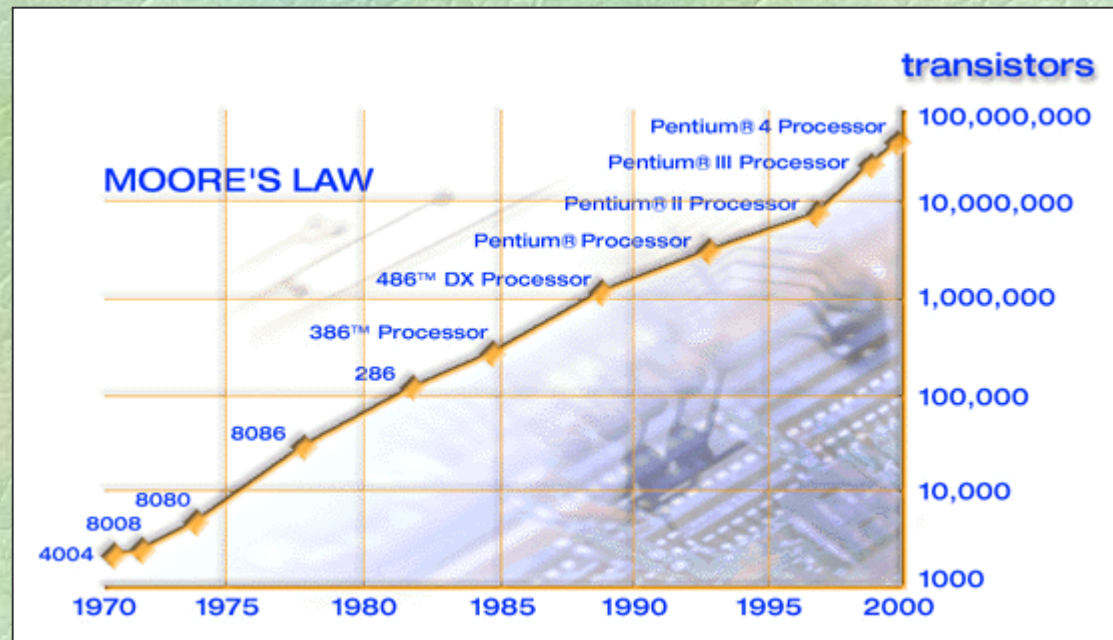
- 1920–1930, **Bush**, ηλεκτρική (αναλογική) υπολογιστική μηχανή \Rightarrow διαφορικές εξισώσεις
- ~1940, **Zuse**, ηλεκτρονική (ψηφιακή) υπολογιστική μηχανή \Rightarrow πρόγραμμα και δεδομένα, χωριστά
- 1945–1950, μοντέλο **von Neumann** \Rightarrow πρόγραμμα και δεδομένα, από κοινού
- 1950–σήμερα, ραγδαία ανάπτυξη της τεχνολογίας των **ηλεκτρονικών υπολογιστών**

◆ Κατασκευή υπολογιστών

1952–	main frames	IBM 650, 7000, 360
1965–	mini computers	DEC PDP-8
1977–	personal computers	Apple II
1981		IBM PC
1983, 1984		Apple: Lisa, Macintosh
1985–	internet	
1990–	world wide web	
2000–	PDA, smartphones, cloud, κ.λπ.	

◆ Μηχανικοί υπολογιστών

- Tom Watson, IBM, 1945
Ο κόσμος χρειάζεται περίπου 5 υπολογιστές
- Gordon Moore, Intel, 1965
Η πυκνότητα του hardware στα ολοκληρωμένα κυκλώματα διπλασιάζεται κάθε 18 μήνες



<http://www.intel.com/research/silicon/mooreslaw.htm>

◆ Θεμέλια της πληροφορικής

- Μαθηματική λογική
- Αριστοτέλης: συλλογισμοί

$$\frac{A \quad A \rightarrow B}{B} \quad (\textit{modus ponens})$$

- Ευκλείδης: αξιωματική θεωρία
- Αρχές 20ου αιώνα, Hilbert
 \Rightarrow αξίωμα, θεώρημα, τυπική απόδειξη

◆ Πρόγραμμα του Leibniz:

θεμελίωση των μαθηματικών

- γλώσσα για όλα τα μαθηματικά
- θεωρία
- συνεπής (consistent) και πλήρης (complete)

$A \wedge \neg A$ αντίφαση

◆ Γλώσσα (Boole, De Morgan, Frege, Russel)

- προτασιακός λογισμός $\wedge, \vee, \neg, \rightarrow, \leftrightarrow$
- κατηγορηματικός λογισμός \forall, \exists

◆ Θεωρία

- Συνολοθεωρία, Cantor, Frege ∈
- Παράδοξο του Russel

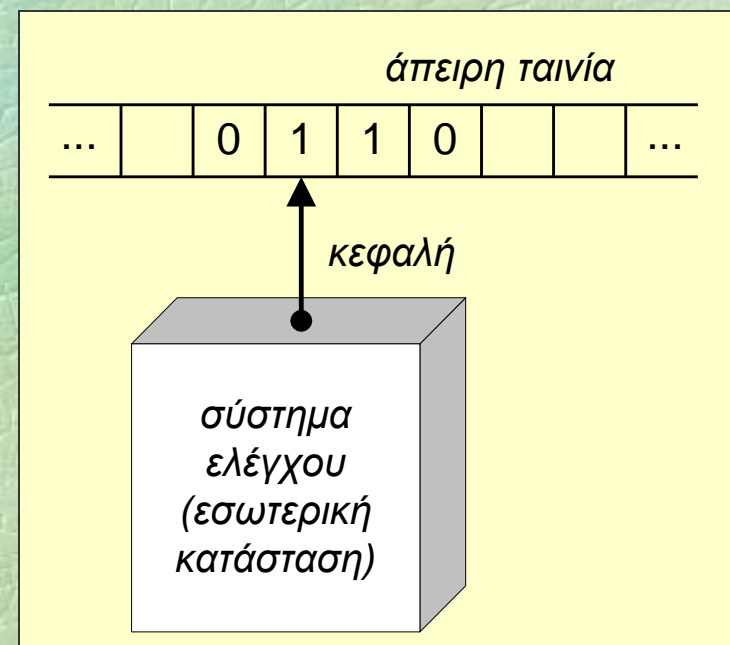
$$A = \{ x \mid x \notin x \}$$

$$\begin{array}{l} A \in A \rightarrow A \notin A \\ A \notin A \rightarrow A \in A \end{array}$$

- Άλλες θεωρίες συνόλων (ZF, κ.λπ.)
- Άλλες θεωρίες για τη θεμελίωση των μαθηματικών (θεωρία συναρτήσεων, κατηγοριών, κ.λπ.)
- 1920–1930, προσπάθειες για απόδειξη συνέπειας

◆ Συνέπεια και πληρότητα

- 1931, **Gödel**, θεώρημα μη πληρότητας
⇒ δεν είναι δυνατόν να κατασκευαστεί συνεπής και πλήρης θεωρία της αριθμητικής
- 1936, **Turing**,
⇒ μη αποκρίσιμες (undecidable) προτάσεις
⇒ μηχανή Turing, υπολογισιμότητα



◆ Μη πληρότητα (incompleteness)

- David Hilbert, 1862-1943
- Kurt Gödel, 1906-1978 (ασιτία)
- Δοξιάδης
 - Incompleteness: a play and a theorem
 - Ο θείος Πέτρος και η εικασία του Goldbach
- Παπαδημητρίου
 - Το χαμόγελο του Turing
- Hoffstadter
 - Gödel, Escher, and Bach

◆ Κλάδοι της πληροφορικής

- Αλγόριθμοι και δομές δεδομένων
- Γλώσσες προγραμματισμού
- Αρχιτεκτονική υπολογιστών και δικτύων
- Αριθμητικοί και συμβολικοί υπολογισμοί
- Λειτουργικά συστήματα
- Μεθοδολογία – τεχνολογία λογισμικού
- Βάσεις δεδομένων και διαχείριση πληροφοριών
- Τεχνητή νοημοσύνη και ρομποτική
- Επικοινωνία ανθρώπου – υπολογιστή

◆ Υπολογιστής

- επεξεργαστής
- μνήμη
- συσκευές εισόδου/εξόδου

◆ Ιδιότητες

- αυτόματο χωρίς εξυπνάδα
- μεγάλη ταχύτητα
- ακρίβεια στις πράξεις

Γλώσσες προγραμματισμού

(i)

◆ Γλώσσα μηχανής

0110110 11011011

διεύθυνση εντολή

◆ Συμβολική γλώσσα (assembly)

label: add ax, bx

διεύθυνση πράξηδεδομένα

◆ Γλώσσες χαμηλού και υψηλού επιπέδου

◆ Υλοποίηση γλωσσών προγραμματισμού

- μεταγλωττιστής (compiler)
- διερμηνέας (interpreter)

Γλώσσες προγραμματισμού

(ii)

◆ Κυριότερες γλώσσες, ιστορικά

1950

1960 FORTRAN, LISP, COBOL, Algol,
BASIC, PL/I

1970

Pascal, **C**,
Smalltalk, Prolog, ML, Logo

1980

C++, Modula-2, Ada, Perl

1990

Java, Python, Ruby, Haskell, PHP

2000

C#, ...

Γλώσσες προγραμματισμού

(iii)

◆ Pascal

- Niklaus Wirth (1971)
- Γλώσσα γενικού σκοπού (general purpose)
- Συστηματικός και δομημένος προγραμματισμός

◆ C

- Dennis Ritchie (1972)
- Γενικού σκοπού αλλά χαμηλότερου επιπέδου
- Προγραμματισμός συστημάτων

• C++

- Bjarne Stroustrup (1983)
- Γενικού σκοπού, αντικειμενοστρεφής

pzhelp

Ασκήσεις

(i)

```
#include "pzhelp"
```

```
PROGRAM {  
    WRITELN("hello world");  
}
```

#1

```
#include "pzhelp"
```

```
PROGRAM {  
    WRITELN("hello", "world");  
}
```

```
#include "pzhelp"
```

```
PROGRAM {  
    WRITE("hello "); WRITELN("world");  
}
```

```
#include "pzhelp"
```

```
PROGRAM {  
    WRITE("hello world"); WRITELN();  
}
```


Ασκήσεις (Pascal)

(i)

#1

```
program Hello1a(output);  
begin  
    writeln('hello world')  
end.
```

```
program Hello1b(output);  
begin  
    writeln('hello ', 'world')  
end.
```

```
program Hello1c(output);  
begin  
    write('hello '); writeln('world')  
end.
```

```
program Hello1d(output);  
begin  
    write('hello world'); writeln  
end.
```


Ασκήσεις (C)

(i)

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

```
int main () {
```

```
    printf("hello world\n");
```

```
    return 0;
```

```
}
```

#1

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

```
int main () {
```

```
    printf("hello " "world\n");
```

```
    return 0;
```

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

```
int main () {
```

```
    printf("hello
```

```
    printf("world\n
```

```
    return 0;
```

```
}
```

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

```
int main () {
```

```
    printf("hello world");
```

```
    printf("\n");
```

```
    return 0;
```

```
}
```


Δυο λόγια για το `#include "pzhelp"`

```
#include <iostream>
using namespace std;
```

```
int main () {
    cout << "hello world" << endl;
}
```

Απλή C++

```
#include "pzhelp"
```

```
PROGRAM {
    WRITELN("hello world");
}
```

C++ & pzhelp

Ασκήσεις

(ii)

```
#include "pzhelp"

PROC hello() {
    WRITELN("hello world");
}

PROGRAM {
    hello(); hello();
    hello(); hello();
}
```

#2

```
#include "pzhelp"

PROC hello() {
    WRITELN("hello world");
}

PROGRAM {
    int i;
    FOR(i, 1 TO 20) hello();
}
```

#3


```
#include "pzhelp"  
const int n = 20;  
int i;  
  
PROC num_hello() {  
    WRITELN(i, "hello world");  
}  
  
PROGRAM {  
    FOR(i, 1 TO n) num_hello();  
}
```

#4


```
#include "pzhelp"

PROC hello() {
    WRITELN("hello world");
}

PROGRAM {
    int n, i;
    WRITELN("Give number of greetings",
            "then press <enter>:");
    n = READ_INT();
    FOR(i, 1 TO n) hello();
}
```



```
#include "pzhelp"

PROC hello() {
    WRITELN("hello world");
}

PROGRAM {
    int n, i;
    WRITELN("Give number of greetings",
            "then press <enter>:");
    n = READ_INT();
    if (n < 0)
        WRITELN("# is negative");
    else
        FOR(i, 1 TO n) hello();
}
```


Δομή του προγράμματος

```
#include "pzhelp"
```

```
PROGRAM
```

επικεφαλίδα

```
{
```

```
    REAL r, a;
```

δηλώσεις

```
    WRITE("Give the radius: ");
```

```
    r = READ_REAL();
```

```
    a = 3.1415926 * r * r;
```

```
    WRITELN("The area is:", a);
```

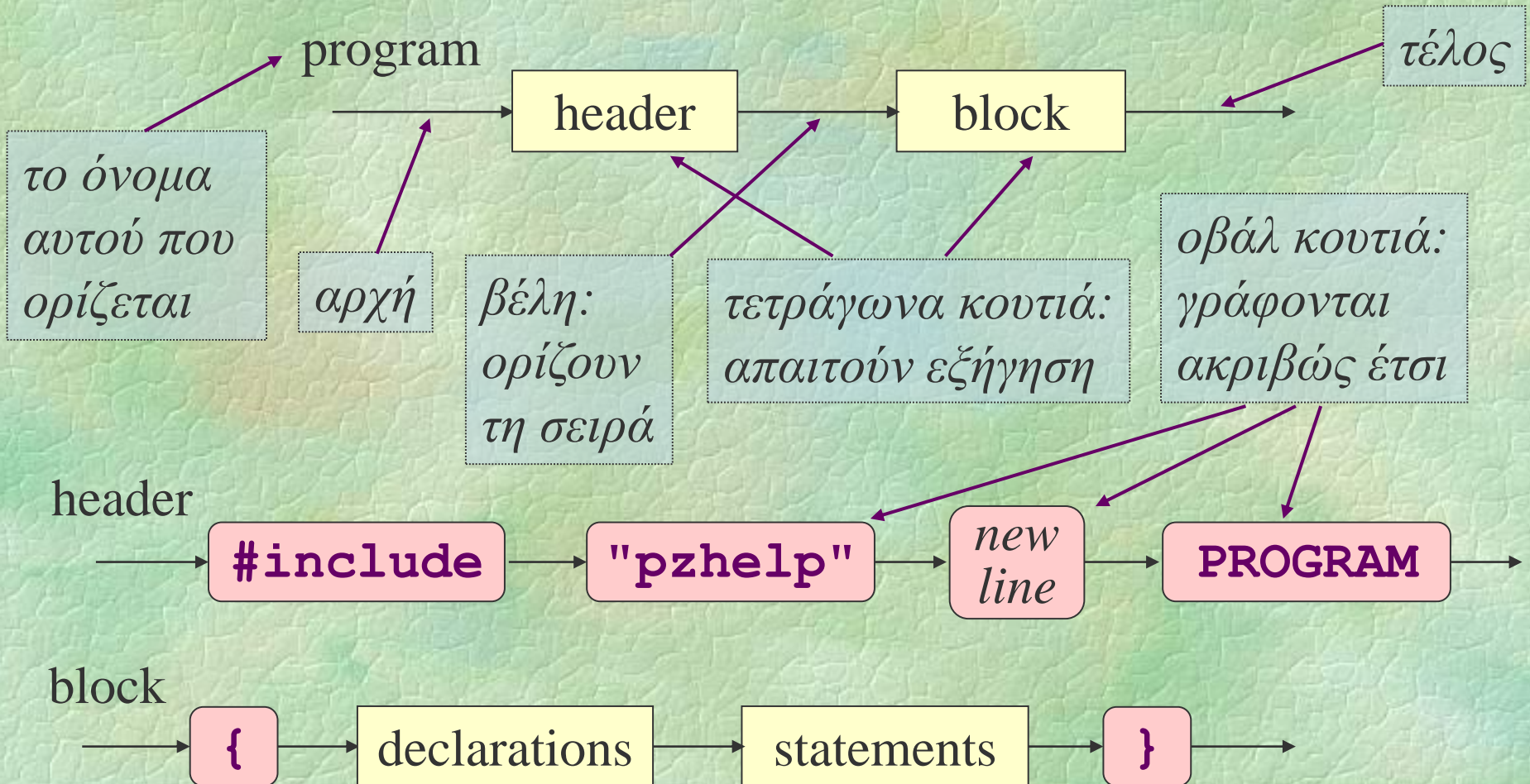
εντολές

```
}
```

σώμα = block

Συντακτικά διαγράμματα

Περιγράφουν τη **σύνταξη** τμημάτων του προγράμματος



Δηλώσεις μεταβλητών

(i)

- **μεταβλητή**: ένα «κουτί» της μνήμης του υπολογιστή όπου μπορεί να αποθηκευτεί μια πληροφορία (ένα δεδομένο)
- στο τμήμα δηλώσεων ορίζουμε **όλες** τις μεταβλητές που χρησιμοποιεί το πρόγραμμα
- για κάθε μεταβλητή ορίζουμε το **όνομά** της και τον **τύπο** της, δηλαδή το πεδίο των τιμών που μπορεί να πάρει η μεταβλητή

```
int i;
```


Δηλώσεις μεταβλητών

(ii)

◆ Απλοί τύποι μεταβλητών

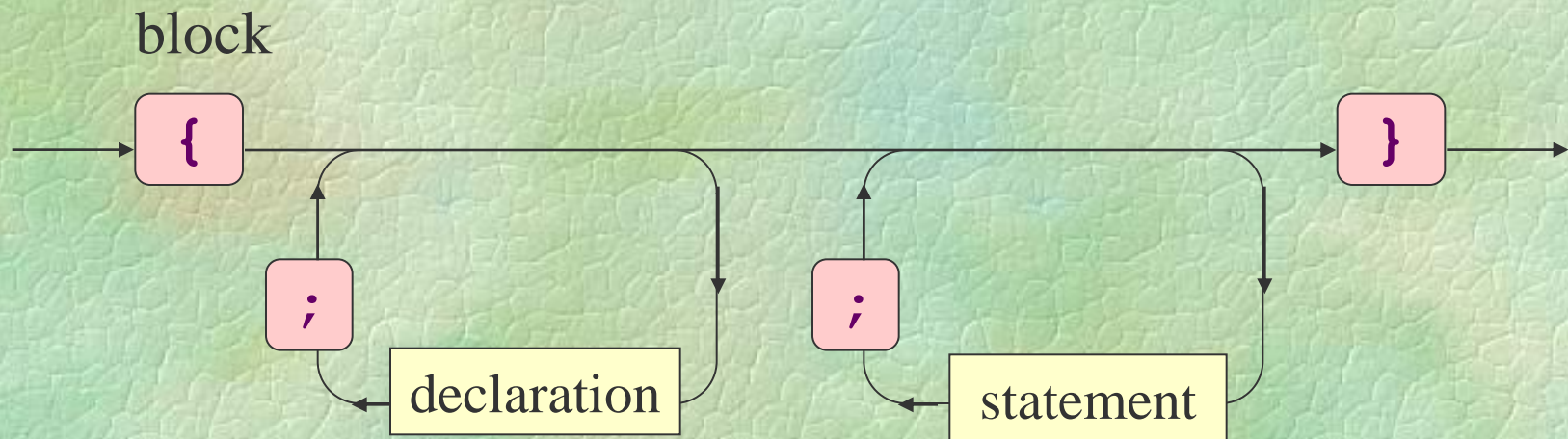
- **int** *ακέραιοι αριθμοί* 0, 1, -3
- **REAL** *πραγματικοί αριθμοί* 3.14
- **char** *χαρακτήρες* 'a'
- **bool** *λογικές τιμές* **true, false**

◆ Δήλωση περισσότερων μεταβλητών

```
int i, j, k;  
REAL x, y;      char ch;  
bool changed;
```


Συντακτικά διαγράμματα, ξανά

- ◆ Αναλυτικότερο συντακτικό διάγραμμα για το σώμα (block)



Σχόλια

◆ Μίας ή περισσότερων γραμμών

```
REAL x, y; /* οι συντεταγμένες  
            του κέντρου */  
REAL r;    // η ακτίνα
```

- ◆ Γράφονται (σχεδόν) παντού και αγνοούνται από τον μεταγλωττιστή
- ◆ Βοηθούν στην κατανόηση του κώδικα

Τι σημαίνει ορθό πρόγραμμα (i)

◆ Συντακτική ορθότητα

- το πρόγραμμα πρέπει να υπακούει στους συντακτικούς κανόνες της γλώσσας προγραμματισμού

◆ Συντακτικά σφάλματα στη C++

- εμφανίζονται όταν δεν ικανοποιούνται τα συντακτικά διαγράμματα
- παράδειγμα:

```
{ PROGRAM } )WRITELN; ("hello world"
```


Τι σημαίνει ορθό πρόγραμμα (ii)

◆ Νοηματική ορθότητα

- το πρόγραμμα πρέπει να υπακούει τους νοηματικούς κανόνες της γλώσσας προγραμματισμού

◆ Νοηματικά σφάλματα στη C++

- εσφαλμένη χρήση τελεστών
- χρήση μεταβλητών χωρίς δήλωση

```
int n, i;  
n = i + j;
```


Τι σημαίνει ορθό πρόγραμμα (iii)

◆ Σημασιολογική ορθότητα

- όταν το πρόγραμμα εκτελείται, πρέπει να κάνει ακριβώς **αυτό που θέλουμε** να κάνει

◆ Σημασιολογικά σφάλματα στη C++

- προέρχονται από την κακή σχεδίαση ή την κακή υλοποίηση του προγράμματος
- αυτά τα σφάλματα ονομάζονται συνήθως **bugs** και η διαδικασία εξάλειψής τους **debugging**

$$x1 = (-b + \text{sqr}(b*b-4*a*c)) / (2*a) ;$$

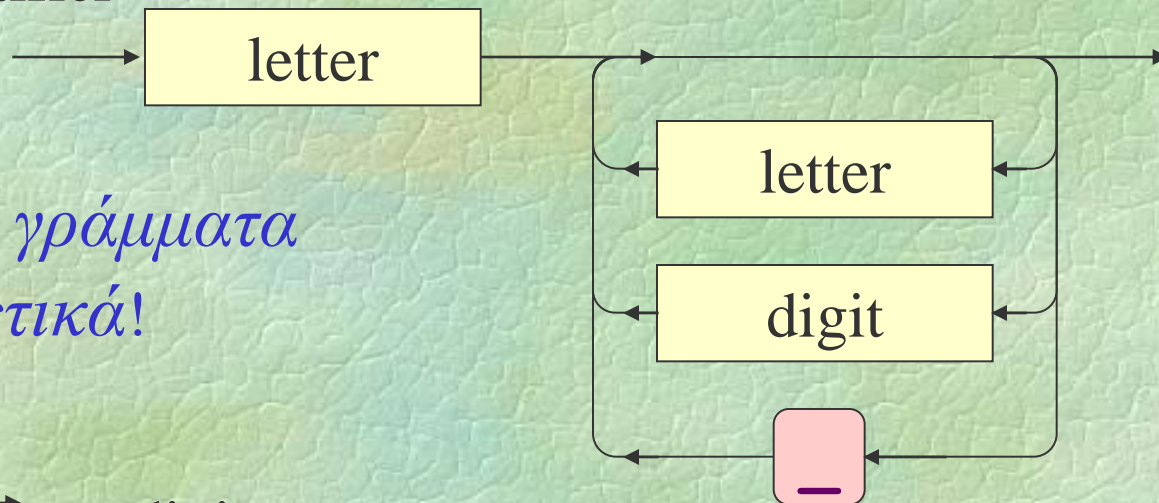
sqrt *διαίρεση με το μηδέν*

Τι σημαίνει ορθό πρόγραμμα (iv)

- ◆ Ο μεταγλωττιστής μπορεί να εντοπίσει σε ένα πρόγραμμα την ύπαρξη
 - συντακτικών σφαλμάτων
 - νοηματικών σφαλμάτων
- ◆ Τυπώνει κατάλληλα μηνύματα σφάλματος
- ◆ Ο προγραμματιστής είναι υπεύθυνος για
 - τη διόρθωση των παραπάνω
 - τον εντοπισμό και τη διόρθωση σημασιολογικών σφαλμάτων

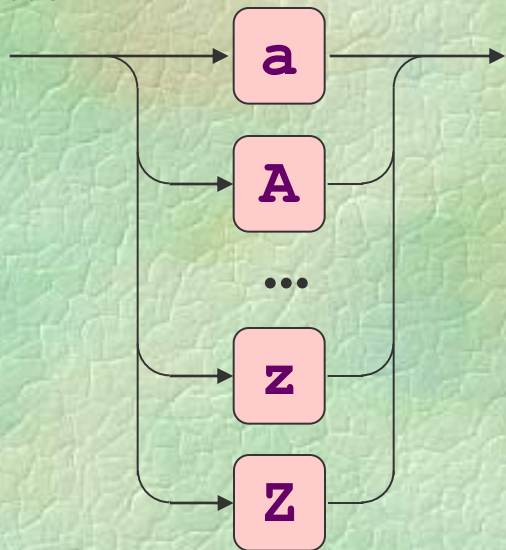
Συντακτικά διαγράμματα, ξανά

identifier

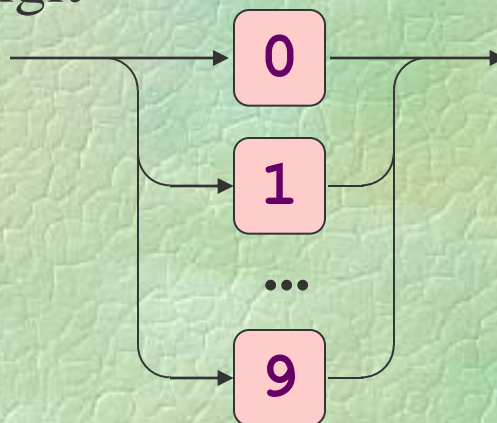


*πεζά και κεφαλαία γράμματα
είναι διαφορετικά!*

letter

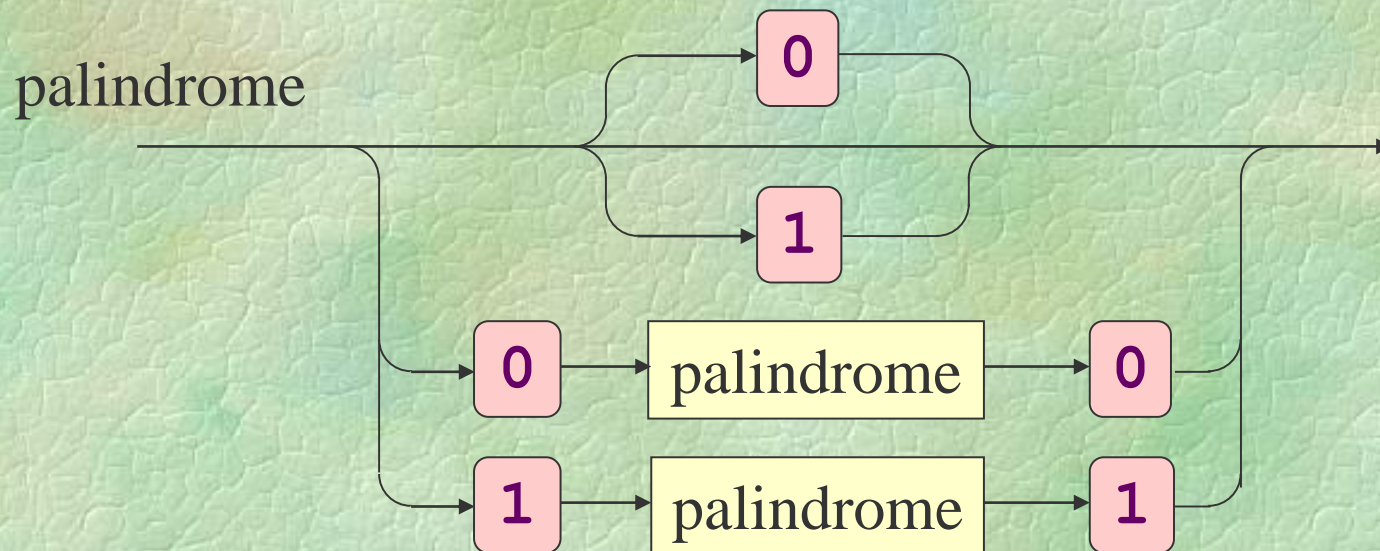


digit



Συντακτικά διαγράμματα, αναδρομικά

- ◆ Παλίνδρομο ή καρκινική συμβολοσειρά: διαβάζεται το ίδιο από αριστερά προς τα δεξιά και αντίστροφα: madam, 13431
- ◆ Παλίνδρομα με αλφάβητο $\{0, 1\}$



Ανάθεση τιμής σε μεταβλητή

◆ Παραδείγματα αναθέσεων

```
n = 2;
```

```
pi = 3.14159;
```

```
done = true;
```

```
ch = 'b';
```

```
counter = counter + 1;
```

```
x1 = (-b + sqrt(b*b-4*a*c)) / (2*a) ;
```


Έξοδος στην οθόνη

(i)

◆ Έξοδος στην οθόνη

```
WRITELN ("Hello world!");
```

```
WRITELN ("Hello", "world!");
```

◆ Έξοδος χωρίς αλλαγή γραμμής

```
WRITE ("Hel");
```

```
WRITELN ("lo", "world!");
```


Έξοδος στην οθόνη

(ii)

◆ Έξοδος στην οθόνη

```
x = 6;
```

```
WRITE ("x" );
```

```
WRITE (" = " );
```

```
WRITE (x) ;
```

```
WRITELN ( ) ;
```

```
WRITELN ("3*x-1 =", 3*x-1) ;
```

```
WRITELN ("x* (x+1) =", x* (x+1)) ;
```

$$x = 6$$

$$3*x-1 = 17$$

$$x*(x+1) = 42$$

Έξοδος στην οθόνη

(iii)

◆ Έξοδος στην οθόνη

WRITE (4) ;

WRITELN (2) ;

WRITELN (4 , 2) ;

WRITE (6) ;

WRITE (6) ;

WRITELN (6) ;

WRITE (6 , 6) ;

WRITELN (6) ;

42

4 2

666

6 66

Είσοδος από το πληκτρολόγιο (i)

◆ Είσοδος από το πληκτρολόγιο

```
n = READ_INT ( ) ;
```

```
r = READ_REAL ( ) ;
```

```
c = getchar ( ) ;
```

◆ Είσοδος από το πληκτρολόγιο και διάβασμα μέχρι το τέλος της γραμμής

```
SKIP_LINE ( ) ;
```


Είσοδος από το πληκτρολόγιο (ii)

```
PROGRAM {  
    REAL r, a;  
  
    WRITE("Give the radius: ");  
    r = READ_REAL();  
    a = 3.1415926 * r * r;  
    WRITELN("The area is:", a);  
}
```


Είσοδος από το πληκτρολόγιο (iii)

```
PROGRAM {  
    int first, second, result;  
    char operation;  
  
    first = READ_INT();  
    operation = getchar();  
    second = READ_INT();  
  
    switch (operation) {  
        case '+': result = first + second; break;  
        case '-': result = first - second; break;  
        case '*': result = first * second; break;  
        case '/': result = first / second; break;  
    }  
    WRITELN("The result is:", result);  
}
```


Είσοδος από το πληκτρολόγιο (iv)

◆ Αποθηκευτικός χώρος (buffer)

- παρεμβάλλεται μεταξύ του πληκτρολογίου και του προγράμματος
- εκεί αποθηκεύονται **προσωρινά** τα δεδομένα που πληκτρολογεί ο χρήστης μέχρι να διαβαστούν από το πρόγραμμα
- η εισαγωγή στο buffer γίνεται με το πάτημα του πλήκτρου **enter**
- αρχικά ο buffer είναι κενός

Είσοδος από το πληκτρολόγιο (v)

```
PROGRAM {  
    int first, second;  
  
    WRITE("First: ");  
    first = READ_INT();  
    WRITE("Second: ");  
    second = READ_INT();  
    WRITELN("Result:", first + second);  
}
```


Είσοδος από το πληκτρολόγιο (vi)

◆ Πρώτη εκτέλεση παραδείγματος

First: 3↵

Second: 6↵

Result: 9

◆ Δεύτερη εκτέλεση παραδείγματος

First: 3 6↵

Second: **Result:** 9

Είσοδος από το πληκτρολόγιο (vii)

```
PROGRAM {  
    int first, second;  
  
    WRITE("First: ");  
    first = READ_INT();  
    SKIP_LINE();  
    WRITE("Second: ");  
    second = READ_INT();  
    WRITELN("Result:", first + second);  
}
```


Είσοδος από το πληκτρολόγιο (viii)

◆ Πρώτη εκτέλεση παραδείγματος

First: 3↵

Second: 6↵

Result: 9

◆ Δεύτερη εκτέλεση παραδείγματος

First: 3 6↵

Second: 6↵

Result: 9

Αριθμητικές παραστάσεις

(i)

◆ Απλές παραστάσεις

- σταθερές και μεταβλητές

◆ Απλές πράξεις

- πρόσθεση, αφαίρεση +, -
- πολλαπλασιασμός *
- διαίρεση πραγματικών αριθμών /
- πηλίκo ακέραιας διαίρεσης / *προσοχή!*
- υπόλοιπο ακέραιας διαίρεσης % **MOD**
- πρόσημα +, -

Αριθμητικές παραστάσεις

(ii)

◆ Παραδείγματα

- $1 + 1 \rightarrow 2$ τύπου **int**
- $1.0 + 2.0 \rightarrow 3.0$ τύπου **REAL**
- $1 + 3.0 \rightarrow 4.0$ τύπου **REAL**
- $5 / 2 \rightarrow 2$ ακέραιο πηλίκο
- $5 \% 2 \rightarrow 1$ ακέραιο υπόλοιπο
- $5.0 / 2 \rightarrow 2.5$ διαίρεση **REAL**
- $5.0 \% 2 \rightarrow \text{⚡}$ *απαγορεύεται!*

◆ Πραγματική διαίρεση μεταξύ ακεραίων;

```
int x=42, y=17; WRITE ( 1.0 * x / y );
```


◆ Προτεραιότητα τελεστών

- π.χ. $5+3*\mathbf{x}-\mathbf{y} \equiv 5+(3*\mathbf{x})-\mathbf{y}$

◆ Προσεταιριστικότητα τελεστών

- π.χ. $\mathbf{x}-\mathbf{y}+1 \equiv (\mathbf{x}-\mathbf{y})+1$

◆ Σειρά εκτέλεσης των πράξεων

- καθορίζεται **εν μέρει** από την προτεραιότητα και την προσεταιριστικότητα των τελεστών
- γενικά όμως εξαρτάται από την υλοποίηση
- π.χ. $(\mathbf{x}+1) * (\mathbf{y}-1)$

Λογικές παραστάσεις

(i)

◆ Συγκρίσεις

- ισότητα, ανισότητα $==, !=$
- μεγαλύτερο, μικρότερο $>, <$
- μεγαλύτερο ή ίσο, μικρότερο ή ίσο $>=, <=$

◆ Λογικές πράξεις

- σύζευξη (και) $\&\&$ **AND**
- διάζευξη (ή) $||$ **OR**
- άρνηση (όχι) $!$ **NOT**

Λογικές παραστάσεις

(ii)

◆ Πίνακες αλήθειας λογικών πράξεων

p	q	p AND q p && q
false	false	false
false	true	false
true	false	false
true	true	true

σύζευξη

p	q	p OR q p q
false	false	false
false	true	true
true	false	true
true	true	true

διάζευξη

p	NOT p ! p
false	true
true	false

άρνηση

Προτεραιότητα τελεστών

(i)

Τελεστής	Σημασία	Προσεταιριστικότητα
+ - ! NOT	πρόσημα, λογική άρνηση	—
* / % MOD	πολλαπλασιασμός, διαίρεση	αριστερά
+ -	πρόσθεση, αφαίρεση	αριστερά
< <= >= >	σύγκριση	αριστερά
== !=	ισότητα	αριστερά
&& AND	λογική σύζευξη	αριστερά
 OR	λογική διάζευξη	αριστερά

επάνω: μεγάλη προτεραιότητα

κάτω: μικρή προτεραιότητα

Προτεραιότητα τελεστών

(ii)

◆ Προτεραιότητα τελεστών

- π.χ. **NOT** p **AND** q **OR** r
≡ ((**NOT** p) **AND** q) **OR** r
- π.χ. **x**>3 **AND** **NOT** y+z==5
≡ (**x**>3) **AND** ((**NOT** y) +z) ==5)
- π.χ. **x**>3 **AND** **NOT** (y+z==5)
≡ (**x**>3) **AND** (**NOT** ((y+z) ==5))
- Όταν δεν είμαστε σίγουροι, δε βλάπτει να χρησιμοποιούμε επιπλέον παρενθέσεις!

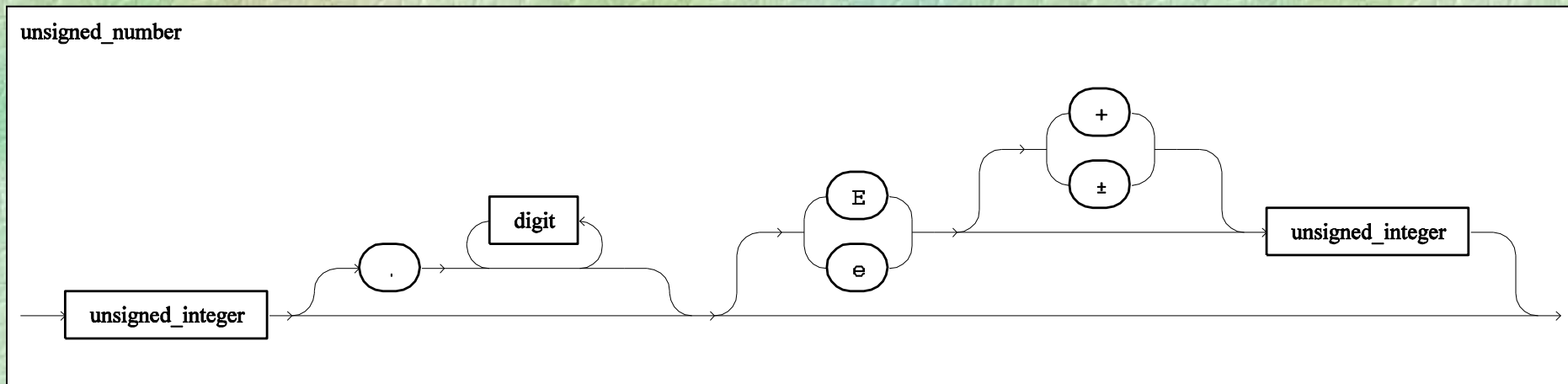
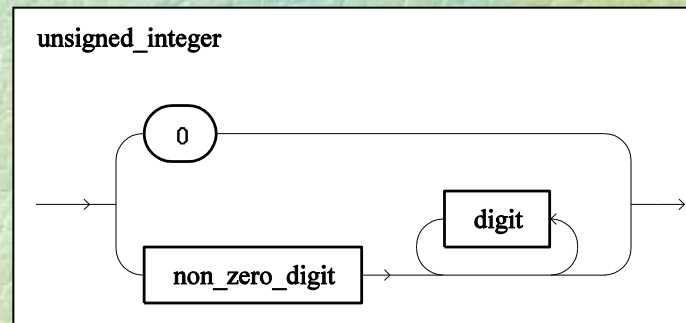
λάθος!

σωστό

Σύνταξη παραστάσεων

(i)

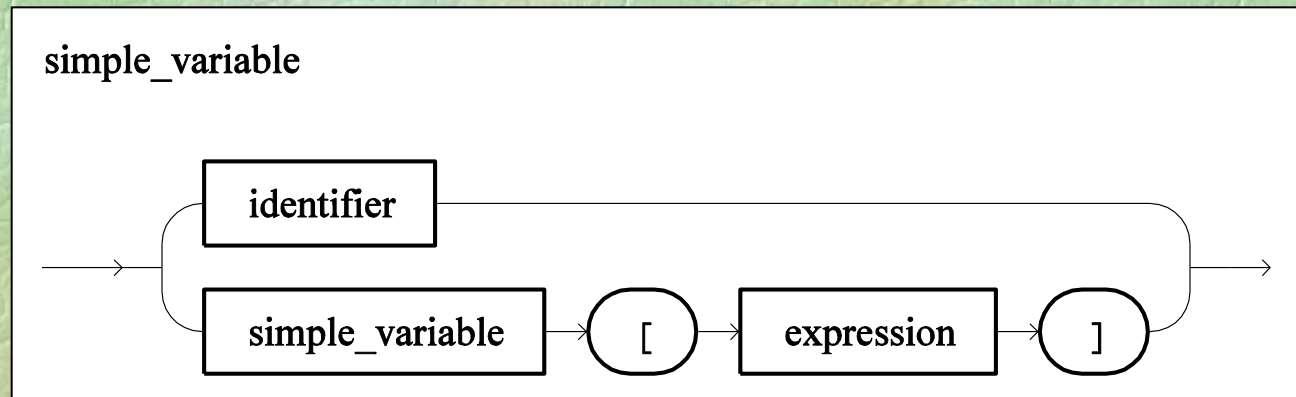
◆ Σταθερές



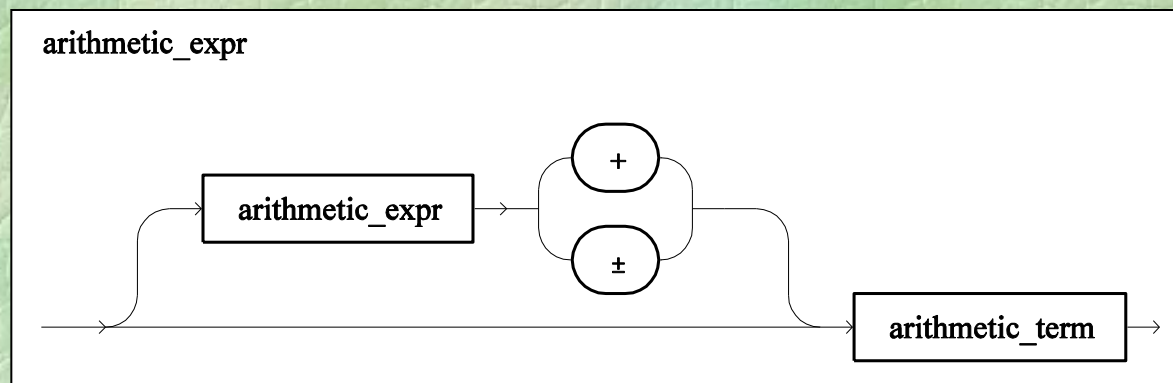
Σύνταξη παραστάσεων

(ii)

◆ Μεταβλητές (απλές)



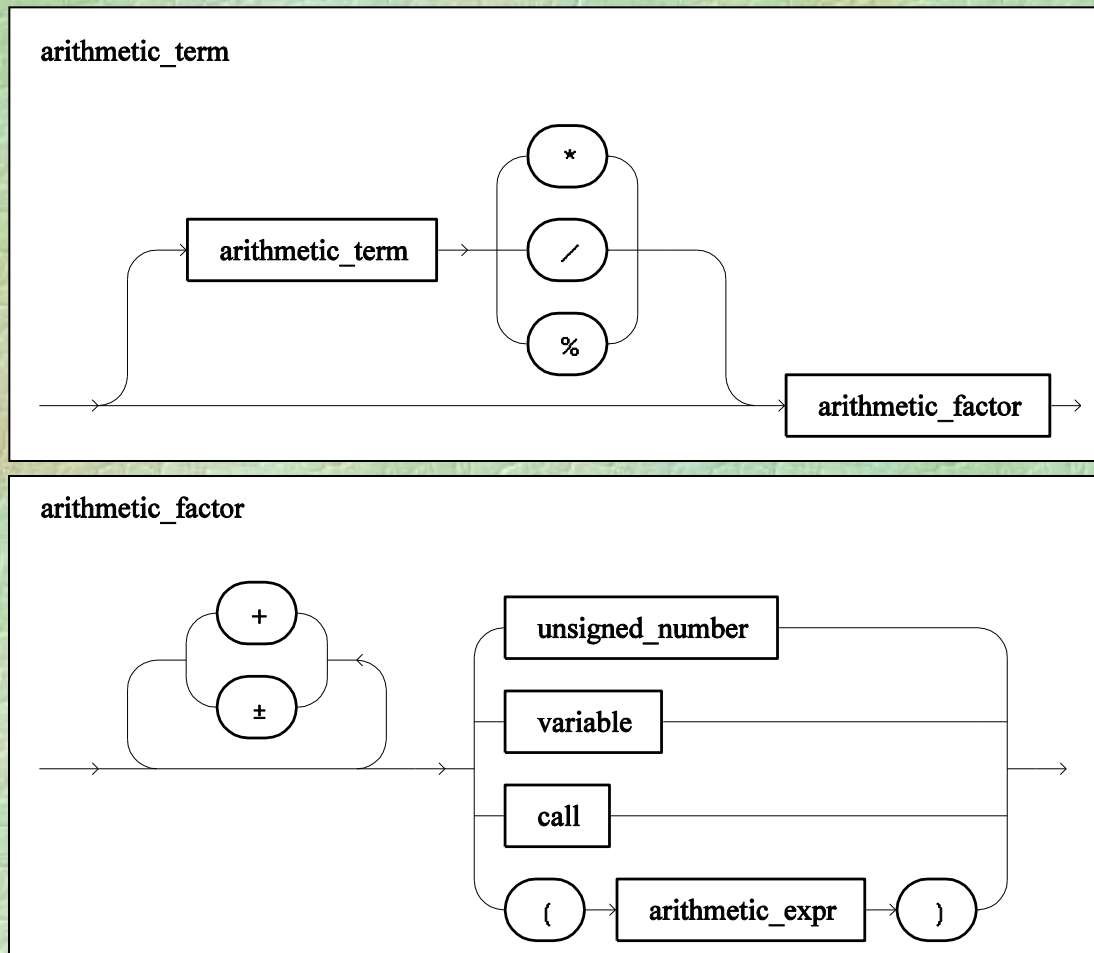
◆ Αριθμητικές παραστάσεις



Σύνταξη παραστάσεων

(iii)

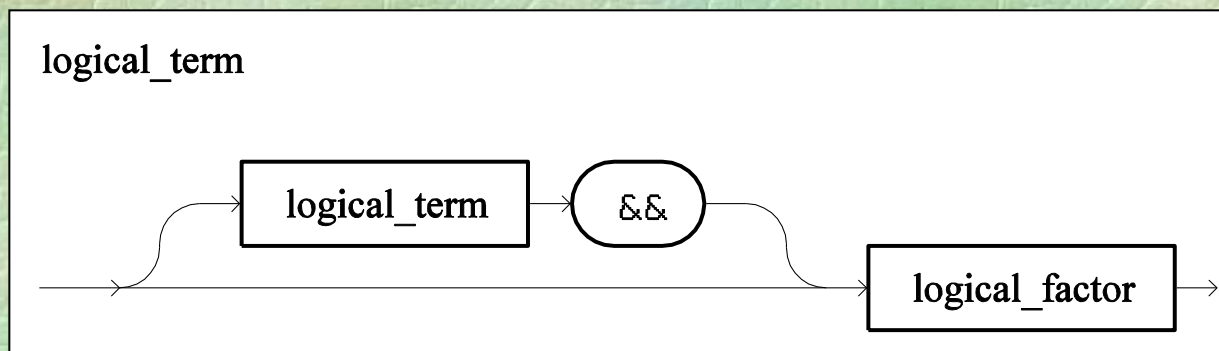
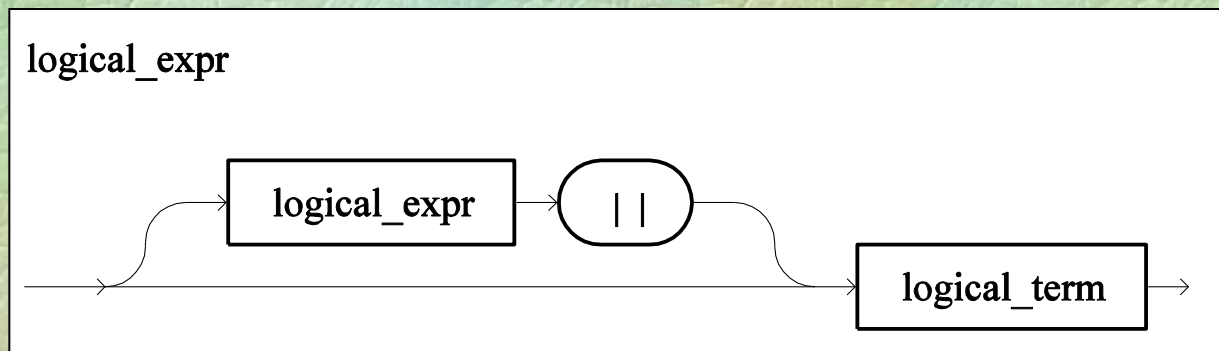
◆ Αριθμητικοί όροι και παράγοντες



Σύνταξη παραστάσεων

(iv)

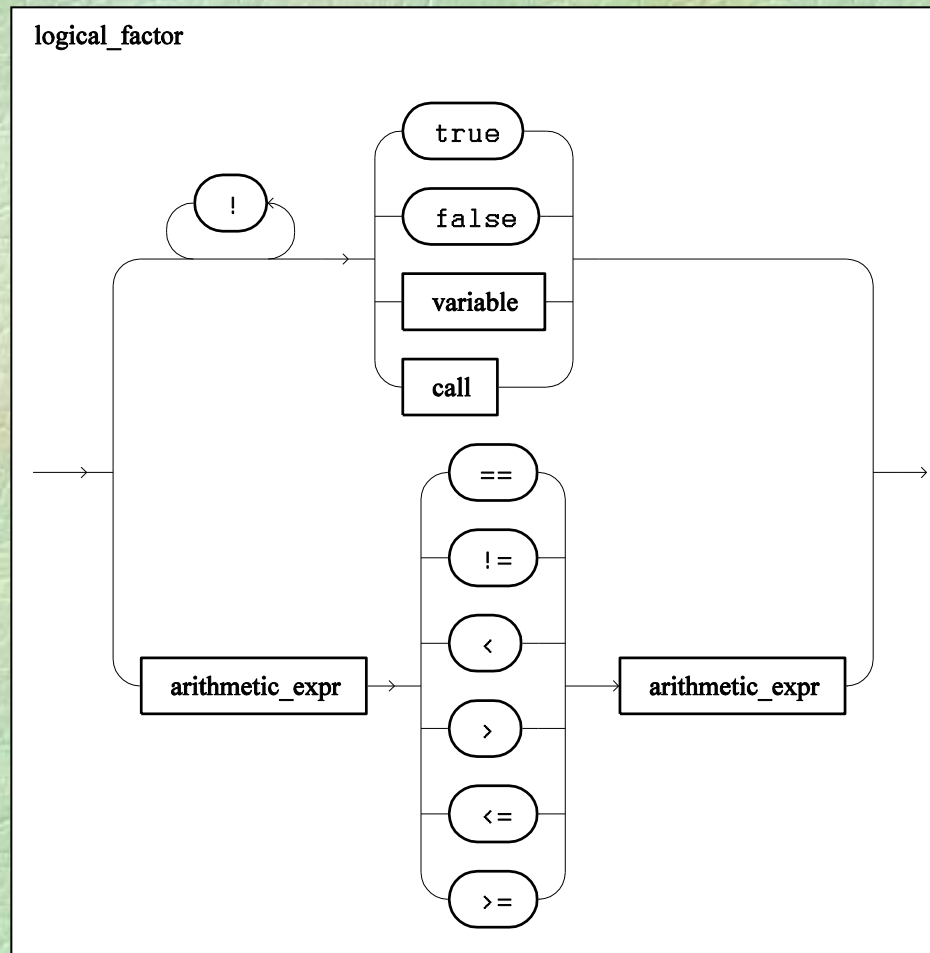
◆ Λογικές παραστάσεις και όροι



Σύνταξη παραστάσεων

(v)

◆ Λογικοί παράγοντες

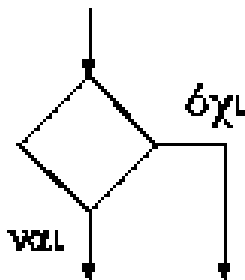
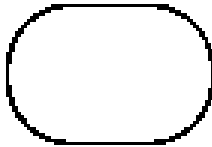


Δομές ελέγχου

- ◆ Τροποποιούν τη **σειρά εκτέλεσης** των εντολών του προγράμματος
- ◆ Οι εντολές φυσιολογικά εκτελούνται κατά σειρά από την αρχή μέχρι το τέλος
- ◆ Με τις δομές ελέγχου επιτυγχάνεται:
 - **ομαδοποίηση** εντολών
 - εκτέλεση εντολών **υπό συνθήκη**
 - **επανάληψη** εντολών

Λογικά διαγράμματα ροής

(i)



◆ Αρχή και τέλος

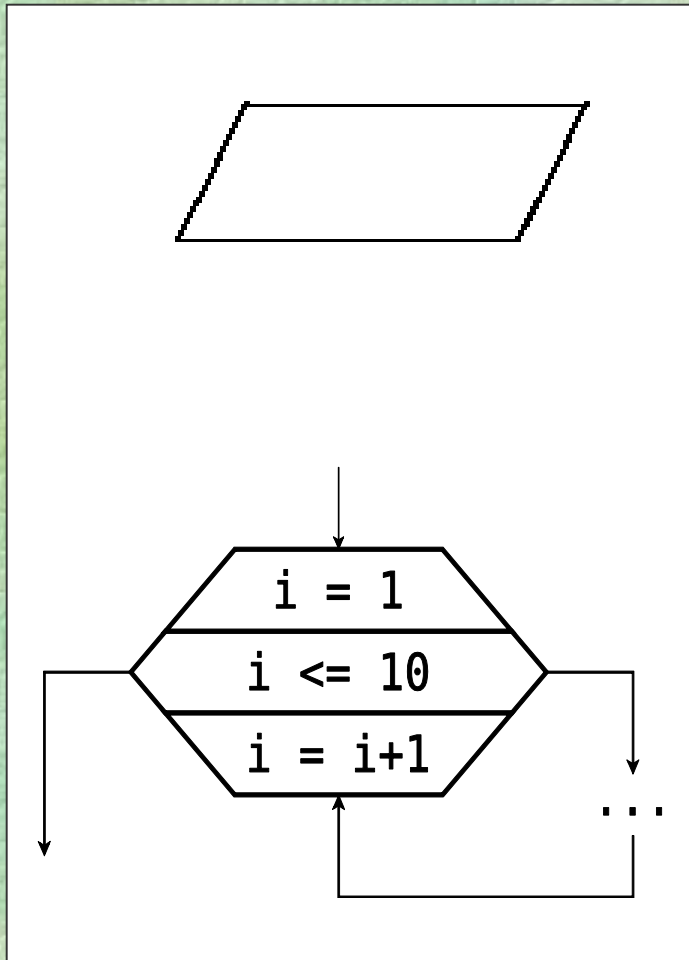
◆ Ολόκληρες λειτουργίες ή διαδικασίες

◆ Απλές εντολές

◆ Έλεγχος συνθήκης

Λογικά διαγράμματα ροής

(ii)



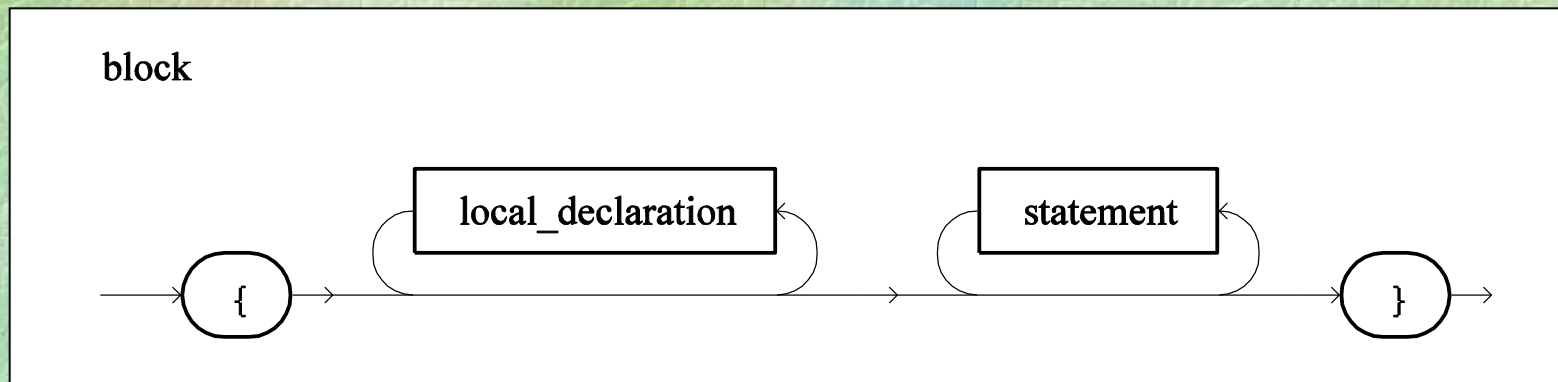
◆ Λειτουργία εισόδου/εξόδου

◆ Επανάληψη (βρόχος)

Σύνθετη εντολή

(i)

- ◆ Ομαδοποίηση πολλών εντολών σε μία
- ◆ Χρήσιμη σε συνδυασμό με άλλες δομές
- ◆ Συντακτικό διάγραμμα



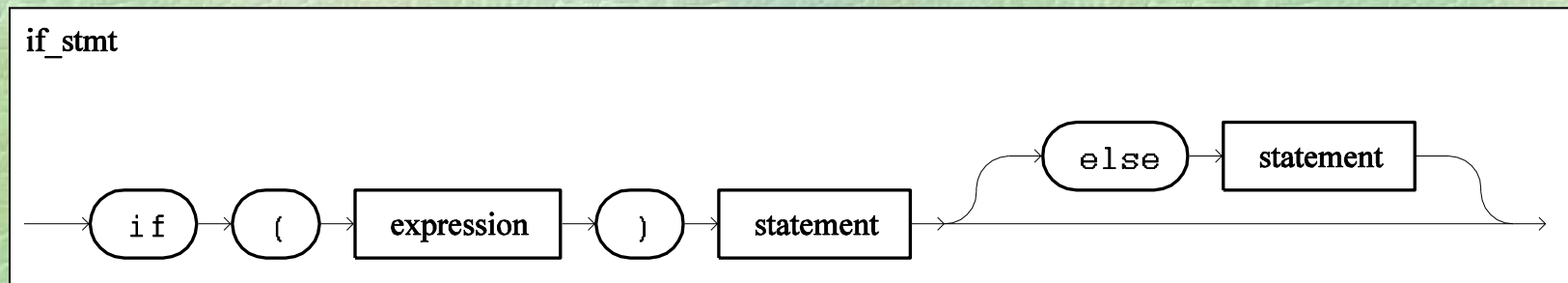
◆ Παραδείγματα

```
{  
    int x=2, y=3, z=3;  
    WRITELN(x, y, z);  
}  
  
{  
    a=2; b=3;  
    {  
        c=3;  
        WRITE(a, b, c);  
    }  
    WRITELN();  
}
```

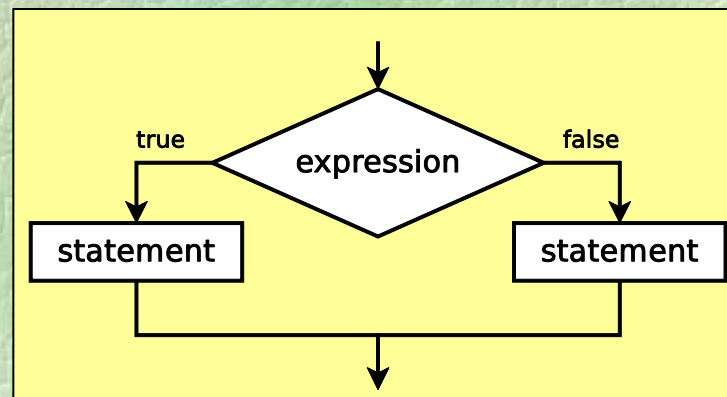
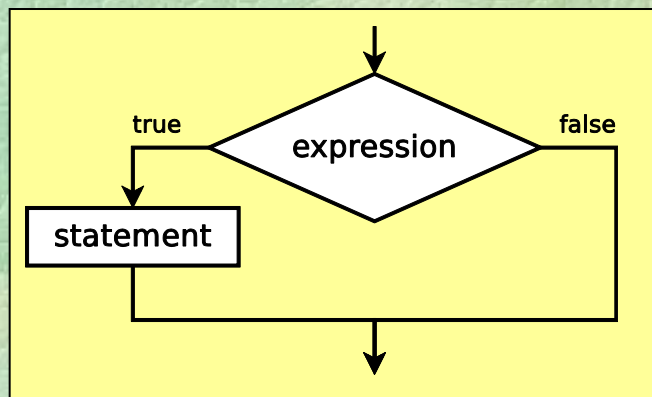

Εντολή if

(i)

- ◆ Εκτέλεση εντολών υπό συνθήκη
- ◆ Συντακτικό διάγραμμα



- ◆ Λογικό διάγραμμα



◆ Παραδείγματα

```
if (amount >= x) amount = amount - x;
```

```
if (amount >= 1000000)  
    WRITELN("Found a millionaire!");
```

```
if (year > 1900 AND year <= 2000)  
    WRITE("20ός αιώνας");
```

```
if (x*x + y*y == z*z) {  
    WRITELN("Pythagorean:", x, y, z);  
    s = (z-x)*(z-y)/2;  
    WRITELN("Perfect square:", s);  
}
```


◆ Παραδείγματα

```
if (year % 4 == 0 AND  
    year % 100 != 0 OR  
    year % 400 == 0 AND  
    year % 4000 != 0)  
    WRITELN("Το έτος", year,  
            "είναι δίσεκτο!");
```


◆ Παραδείγματα (συνέχεια)

```
if (x % 2 == 0)    WRITELN ("άρτιος");  
else              WRITELN ("περιττός");
```

```
if (x > y)         WRITELN ("κέρδισα");  
  else if (x < y)  WRITELN ("κέρδισες");  
  else            WRITELN ("ισοπαλία");
```

το παρακάτω είναι ισοδύναμο αλλά χειρότερο:

```
if (x > y)         WRITELN ("κέρδισα");  
if (x < y)         WRITELN ("κέρδισες");  
if (x == y)       WRITELN ("ισοπαλία");
```


Εντολή if

(v)

- ◆ Ένα **else** αντιστοιχεί στο πλησιέστερο προηγούμενο **if** που δεν έχει ήδη αντιστοιχιστεί σε άλλο **else**

- ◆ Παράδειγμα

```
if (x > 0)
    if (y > 0)
        WRITELN("πρώτο τεταρτημόριο");
    else if (y < 0)
        WRITELN("τέταρτο τεταρτημόριο");
    else
        WRITELN("άξονας των x");
```


Εντολή switch

(i)

- ◆ Εκτέλεση υπό συνθήκη για πολλές διαφορετικές περιπτώσεις
- ◆ Προσφέρεται π.χ. αντί του:

```
if (month == 1)
    WRITELN("Ιανουάριος");
else if (month == 2)
    WRITELN("Φεβρουάριος");
else if ...
    ...
else if (month == 12)
    WRITELN("Δεκέμβριος");
else
    WRITELN("άκυρος μήνας");
```


Εντολή switch

(ii)

◆ Παραδείγματα

```
switch (month) {  
    case 1:  WRITELN ("Ιανουάριος");  break;  
    case 2:  WRITELN ("Φεβρουάριος"); break;  
    ...  
    case 12: WRITELN ("Δεκέμβριος");  break;  
    default: WRITELN ("άκυρος μήνας"); break;  
}
```


◆ Περισσότερα παραδείγματα

```
switch (month) {  
    case 1: case 3: case 5: case 7:  
    case 8: case 10: case 12:  
        WRITELN("31 days"); break;  
    case 4: case 6: case 9: case 11:  
        WRITELN("30 days"); break;  
    case 2:  
        WRITELN("28 or 29 days"); break;  
}
```


Εντολή switch

(iv)

◆ Οι μέρες μέχρι την πρωτοχρονιά

Χωρίς **break**

```
r = 0;
switch (month) {
    case 1:  r = r + 31;  // συνεχίζει...
    case 2:  r = r + 28;  // συνεχίζει...
    case 3:  r = r + 31;  // συνεχίζει...
    case 4:  r = r + 30;  // συνεχίζει...
    case 5:  r = r + 31;  // συνεχίζει...
    ...
    case 11: r = r + 30;  // συνεχίζει...
    case 12: r = r + 31;  // συνεχίζει...
}
r = r - day + 1;
WRITELN("Μένουν", r, "μέρες!");
```


Εντολή for

(i)

◆ Μαθαίνω να μετράω

```
PROGRAM { // counting
    int i;
    WRITELN ("Look:");
    FOR (i, 1 TO 10)
        WRITELN (i);
}
```

Look:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1

Για όλες τις τιμές
της μεταβλητής **i**

2

Από το 1 μέχρι
και το 10

3

Εκτέλεσε
το σώμα

4

Αύξησε κατά 1
την τιμή της **i**

5

Επανάλαβε!

Εντολή for

(ii)

◆ Το **FOR** υπάρχει μόνο στο **pzhelp**

◆ Στη C++ υπάρχει η εντολή **for**

FOR (**i**, 1 **TO** 10) ...

είναι ισοδύναμο με

for (**i** = 1; **i** <= 10; **i**++) ...

Εντολή for

(iii)

◆ Μαθαίνω να μετράω (ξανά)

```
PROGRAM { // counting
    int i;
    WRITELN ("Look:");
    for (i = 1; i <= 10; i++)
        WRITELN (i);
}
```

Look:

1
2
3
4
5
6
7
8
9
10

1

Εξέκρινε τη μεταβλητή **i**
από την τιμή 1

2

Όσο η τιμή της **i**
δεν ξεπερνά το 10

3

Εκτέλεσε
το σώμα

4

Αύξησε κατά 1
την τιμή της **i**

5

Επανάλαβε!

◆ Μαθαίνω να μετράω (ξανά)

```
PROGRAM { // counting
    WRITELN ("Look:");
    for (int i = 1; i <= 10; i++)
        WRITELN (i);
}
```

◆ Η μεταβλητή **i** ορίζεται και μπορεί να χρησιμοποιηθεί μόνο μέσα στο βρόχο

◆ Δυνάμεις του δύο

```
PROGRAM { // powers of two
    int i, p;
    p = 1;
    FOR(i, 0 TO 10) {
        WRITELN(2, "^", i, "=", p);
        p = p * 2;
    }
}
```

2^0	=	1
2^1	=	2
2^2	=	4
2^3	=	8
2^4	=	16
2^5	=	32
2^6	=	64
2^7	=	128
2^8	=	256
2^9	=	512
2^{10}	=	1024

Αναλλοίωτη: $p = 2^i$

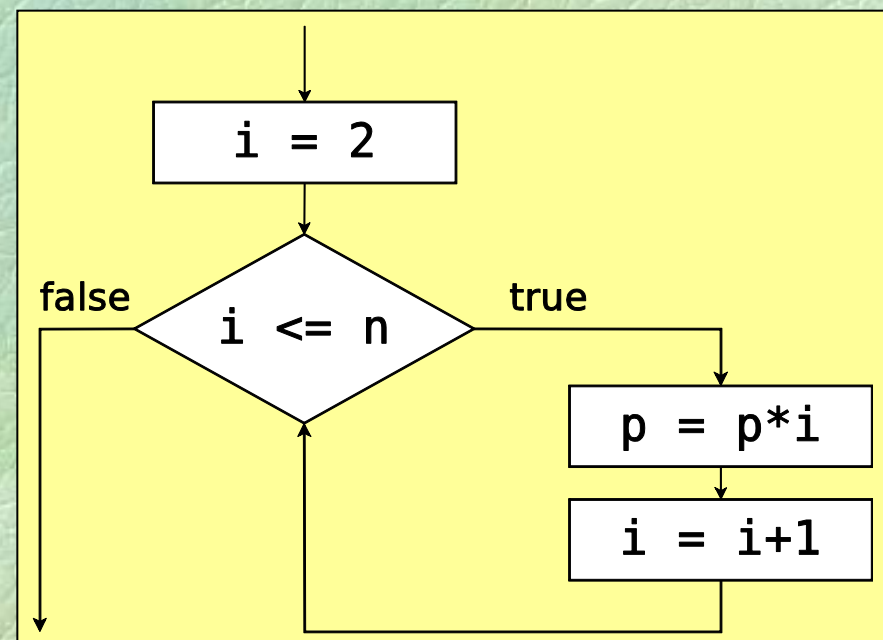
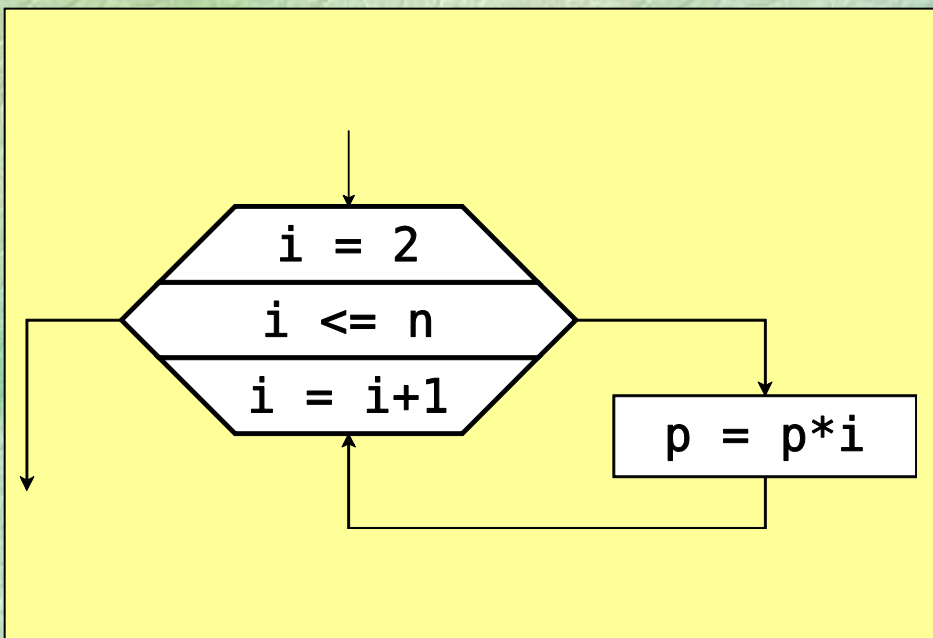
Εντολή for

(vi)

◆ Παραγοντικό

$$n! = 1 \times 2 \times 3 \times \dots \times n$$

$$0! = 1$$



Εντολή for

(vii)

◆ Παραγοντικό

```
PROGRAM { // factorial
    int n, p, i;
    WRITE("Give n: ");
    n = READ_INT();
    p = 1;
    FOR(i, 2 TO n)
        p = p * i;
    WRITELN(n, "! =", p);
}
```

Give n: 1↵

1! = 1

Give n: 4↵

4! = 24

Give n: 7↵

7! = 5040

Give n: 12↵

12! = 479001600

Give n: 17↵

17! = -288522240

Υπερχείλιση!

Αναλλοίωτη: $p = i!$

◆ Βλέπω αστεράκια

```
FOR (i, 1 TO 5) {  
    FOR (j, 1 TO 10)  
        WRITE ("*");  
    WRITELN ();  
}
```

```
*****  
*****  
*****  
*****  
*****
```

```
FOR (i, 1 TO 5) {  
    FOR (j, 1 TO 2*i)  
        WRITE ("*");  
    WRITELN ();  
}
```

```
**  
***  
*****  
*****  
*****
```

Εντολή for

(ix)

◆ Ντόμινο

- ◆ οι αριθμοί πηγαίνουν μέχρι το $n = 6$
- ◆ συνολικά 28 κομμάτια
- ◆ τι γίνεται για άλλες τιμές του n ;



Εντολή for

(X)

```
PROGRAM { // domino2
  int n, count, i, j;
  WRITE("Give n: ");
  n = READ_INT();
  count = 0;
  FOR(i, 0 TO n)
    FOR(j, i TO n) {
      WRITELN(i, j);
      count = count + 1;
    }
  WRITELN("Total", count,
          "pieces.");
}
```

Give n: 3↵

0 0

0 1

0 2

0 3

1 1

1 2

1 3

2 2

2 3

3 3

Total 10 pieces.

Εντολή for

(xi)

- ◆ Ακριβώς $i+1$ κομμάτια έχουν τον αριθμό i ως μεγαλύτερο!

```
PROGRAM { // domino1
  int n, count, i;
  WRITE("Give n: ");
  n = READ_INT();
  count = 0;
  FOR(i, 0 TO n) {
    WRITELN(i+1, "with largest", i);
    count = count + i + 1;
  }
  WRITELN("Total", count, "pieces.");
}
```

```
Give n: 6↵
1 with largest 0
2 with largest 1
3 with largest 2
4 with largest 3
5 with largest 4
6 with largest 5
7 with largest 6
Total 28 pieces.
```


Εντολή for

(xii)

◆ Λίγα μαθηματικά δε βλάπτουν...

$$count = \sum_{i=0}^n (i+1) = \sum_{i=1}^{n+1} i = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

```
PROGRAM { // domino0
    int n, count;
    WRITE("Give n: ");
    n = READ_INT();
    count = (n+2)*(n+1)/2;
    WRITELN("Total", count, "pieces.");
}
```

Give n: 6↵
Total 28 pieces.

Give n: 17↵
Total 171 pieces.

Give n: 42↵
Total 946 pieces.

- ◆ Υπολογίζουμε το ίδιο με 3 διαφορετικούς τρόπους

$$count = \sum_{i=0}^n \sum_{j=i}^n 1 = \sum_{i=0}^n (i+1) = \frac{(n+1)(n+2)}{2}$$

domino2 **domino1** **domino0**

- ◆ Πόσες αριθμητικές πράξεις κάνουν;

- ◆ **domino2**: $(n+1)(n+2)/2$ προσθέσεις $O(n^2)$

- ◆ **domino1**: $2(n+1)$ προσθέσεις $O(n)$

- ◆ **domino0**: 2 προσθέσεις, 1 πολλαπλασιασμός $O(1)$

- ◆ Καλύτερο (γρηγορότερο) πρόγραμμα:

αυτό με τη μικρότερη δυνατή πολυπλοκότητα!

- ◆ Πόσο σκέφτομαι εγώ / Πόσο «σκέφτεται» ο Η/Υ !

◆ Παραλλαγές: αύξηση και μείωση

◆ **FOR** (i, lower **TO** upper)

for (i = lower; i <= upper; i++)

αν $\text{lower} \leq \text{upper}$, θα γίνουν $\text{upper} - \text{lower} + 1$
επαναλήψεις, αλλιώς καμία

◆ **FOR** (i, upper **DOWNTO** lower)

for (i = upper; i >= lower; i--)

αν $\text{lower} \leq \text{upper}$, θα γίνουν $\text{upper} - \text{lower} + 1$
επαναλήψεις, αλλιώς καμία

◆ Παραλλαγές: αύξηση και μείωση με βήμα

◆ **FOR** (i, 1 **TO** 20 **STEP** 3)

for (i = 1; i <= 20; i += 3)

i παίρνει τις τιμές: 1, 4, 7, 10, 13, 16, 19

◆ **FOR** (i, 100 **DOWNTO** 50 **STEP** 5)

for (i = 100; i >= 50; i -= 5)

i παίρνει τις τιμές: 100, 95, 90, 85, ..., 60, 55, 50

◆ Ειδικές περιπτώσεις: μία φορά

```
FOR (i, 10 TO 10)
```

```
for (i = 10; i <= 10; i++)
```

```
FOR (i, 10 DOWNTO 10)
```

```
for (i = 10; i >= 10; i--)
```

◆ Ειδικές περιπτώσεις: καμία φορά

```
FOR (i, 12 TO 10)
```

```
for (i = 12; i <= 10; i++)
```

```
FOR (i, 10 DOWNTO 12)
```

```
for (i = 10; i >= 12; i--)
```


◆ Κακή ιδέα #1:

- ◆ Να αλλάζουμε τη μεταβλητή ελέγχου (π.χ. με ανάθεση) μέσα στο σώμα του βρόχου

```
FOR (i, 1 TO 10) {  
    if (i > 5) i = 20;  
    WRITELN(i) ;  
}
```

- ◆ Δεν απαγορεύεται, κάνει όμως δύσκολη την κατανόηση των βρόχων!

for: συγκεκριμένο, εκ των προτέρων γνωστό πλήθος επαναλήψεων!

◆ Κακή ιδέα #2:

- ◆ Να αλλάζουμε το (άνω ή κάτω) όριο (π.χ. με ανάθεση) μέσα στο σώμα του βρόχου

```
n = 10;  
FOR(i, 1 TO n) {  
    n--;                // ή χειρότερα n++;  
    WRITELN(i) ;  
}
```

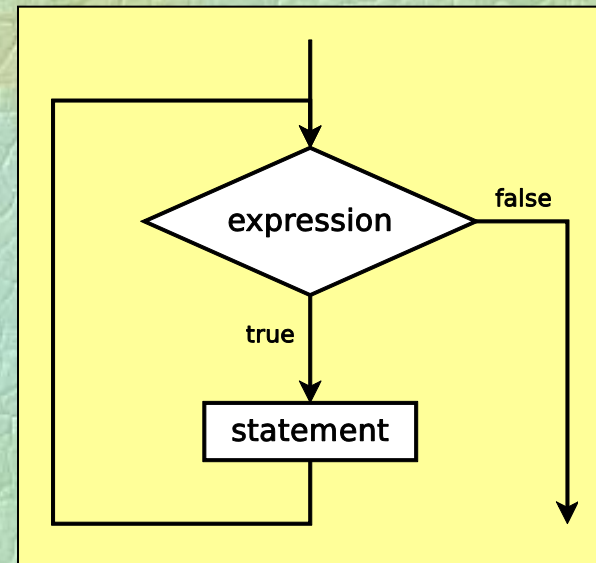
- ◆ Ούτε αυτό απαγορεύεται, κάνει όμως δύσκολη την κατανόηση των βρόχων!

for: συγκεκριμένο, εκ των προτέρων γνωστό πλήθος επαναλήψεων!

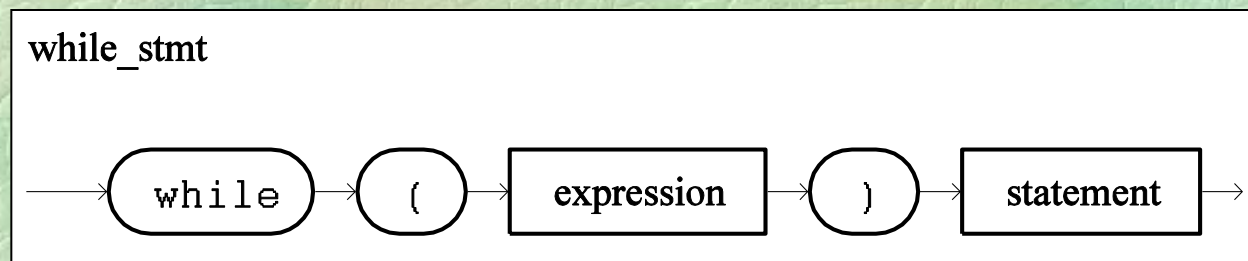
Εντολή while

(i)

- ◆ Βρόχος όσο ικανοποιείται μια συνθήκη
- ◆ Λογικό διάγραμμα



- ◆ Συντακτικό διάγραμμα



Εντολή while

(ii)

- ◆ Ο αριθμός επαναλήψεων γενικά δεν είναι γνωστός εκ των προτέρων
- ◆ Αν η συνθήκη είναι αρχικά ψευδής, ο βρόχος τερματίζεται χωρίς να εκτελεστεί το σώμα
- ◆ Η ροή ελέγχου μπορεί να μεταβληθεί με τις εντολές **break** και **continue**

Εντολή while

(iii)

◆ Δυνάμεις του δύο, ξανά

```
PROGRAM { // more powers of two
    int i, p;
    p = 1; i = 0;
    while (p <= 100000000) {
        WRITELN(2, "^", i,
                "=", p);
        p = p * 2;
        i = i + 1;
    }
}
```

Αναλλοίωτη: $p = 2^i$

$$2^0 = 1$$

$$2^1 = 2$$

$$2^2 = 4$$

$$2^3 = 8$$

...

$$2^{22} = 4194304$$

$$2^{23} = 8388608$$

Εντολή while

(iv)

◆ Άπειρος βρόχος

```
PROGRAM { // line punishment  
    while (true)  
        WRITELN("I must not tell lies");  
}
```

```
I must not tell lies  
I must not tell lies  
I must not tell lies  
...
```

Break

Διακόπτουμε ένα πρόγραμμα με **Ctrl+C** ή **Ctrl+Break**

Εντολή while

(v)

◆ Άπειρος βρόχος, λιγότερο προφανής

```
PROGRAM { // another_infinite_loop
  int x = 17;
  while (x > 0)
    x = (x + 42) MOD 2012;
}
```

*Αναλλοίωτη: το x είναι θετικός και
περιττός ακέραιος*

x
17
59
101
143
185
...
1991
21
63
105
...

Εντολή while

(vi)

◆ Πρώτοι αριθμοί

```
PROGRAM { // primes
  int p, t;
  WRITELN(2);
  FOR(p, 3 TO 1000 STEP 2) {
    t = 3;
    while (p MOD t != 0)
      t = t + 2;
    if (p == t) WRITELN(p);
  }
}
```

*Αναλλοίωτη του **while**: το p δε διαιρείται με κανέναν αριθμό ≥ 2 και $\leq t$*

<u>Output</u>	p	t
2	3	3
3	5	3
5		5
7	7	3
11		5
...		7
997	9	3
	11	3
		5
		7

	997	997
	999	3

Εντολή while

(vii)

- ◆ Μέγιστος κοινός διαιρέτης των a και b , ένας απλός αλγόριθμος

```
z = min(a, b) ;  
while (a % z != 0 OR b % z != 0)  
    z = z - 1 ;  
WRITELN(z) ;
```

*Αναλλοίωτη: δεν υπάρχει αριθμός $w > z$
που να διαιρεί και τον a και τον b*

Πολυπλοκότητα: $O(\min(a, b))$

◆ Μέγιστος κοινός διαιρέτης των a και b , αλγόριθμος με αφαιρέσεις

- Ιδέα 1: αν $a > b$ τότε $\gcd(a, b) = \gcd(a-b, b)$

```
while (a > 0 AND b > 0)  
    if (a > b) a = a - b; else b = b - a;  
WRITELN (a+b) ;
```

- Στη χειρότερη περίπτωση, η πολυπλοκότητα είναι τώρα $O(\max(a, b))$
- Στη μέση περίπτωση όμως, αυτός ο αλγόριθμος είναι καλύτερος του προηγούμενου

◆ Μέγιστος κοινός διαιρέτης των a και b , αλγόριθμος του Ευκλείδη

- Ιδέα 2: αν $a > b$ τότε $\text{gcd}(a, b) = \text{gcd}(a \bmod b, b)$

```
while (a > 0 AND b > 0)
    if (a > b) a = a % b; else b = b % a;
WRITELN (a+b) ;
```

- $\text{gcd}(54, 16) = \text{gcd}(6, 16) = \text{gcd}(6, 4) = \text{gcd}(2, 4) = \text{gcd}(2, 0) = 2$
- $\text{gcd}(282, 18) = \text{gcd}(12, 18) = \text{gcd}(12, 6) = \text{gcd}(0, 6) = 6$
- Πολυπλοκότητα: $O(\log(a+b))$

Εντολή while

(x)

```
PROGRAM { // gcd
    int a, b;

    WRITE("Give a: "); a = READ_INT();
    WRITE("Give b: "); b = READ_INT();
    WRITE("gcd(", a, ", ", b, ") =");

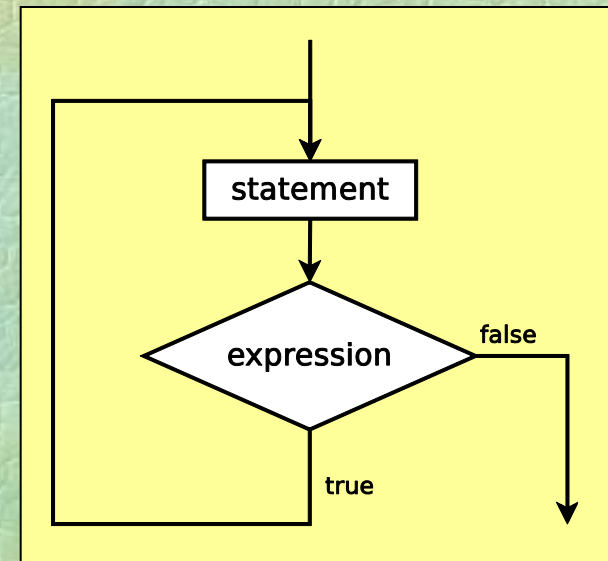
    a = abs(a); b = abs(b);

    while (a > 0 AND b > 0)
        if (a > b) a = a % b; else b = b % a;
    Writeln(a+b);
}
```

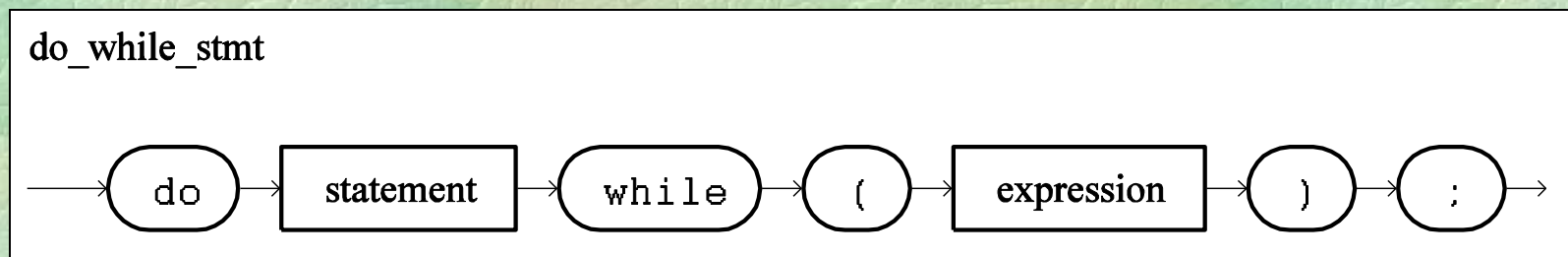

Εντολή do ... while

(i)

- ◆ Βρόχος με τη συνθήκη να αποτιμάται στο τέλος κάθε επανάληψης
- ◆ Λογικό διάγραμμα



- ◆ Συντακτικό διάγραμμα



Εντολή do ... while

(ii)

- ◆ Ο έλεγχος της συνθήκης γίνεται στο τέλος κάθε επανάληψης (και όχι στην αρχή)
- ◆ Το σώμα του βρόχου εκτελείται τουλάχιστον μία φορά
- ◆ Ο αριθμός επαναλήψεων γενικά δεν είναι γνωστός εκ των προτέρων
- ◆ Η ροή ελέγχου μπορεί να μεταβληθεί με τις εντολές **break** και **continue**

Εντολή do ... while

(iii)

◆ Αριθμοί Fibonacci

$$F_0 = 0, \quad F_1 = 1$$

$$F_{n+2} = F_n + F_{n+1}, \quad \forall n \in \mathbf{N}$$

0, 1, 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89, 144,
233, 377, 610, 987, 1597, 2584, 4181, ...

◆ Πρόβλημα: ποιος είναι ο μεγαλύτερος αριθμός Fibonacci που δεν υπερβαίνει το n ;

$$F_k \leq n \quad \text{και} \quad F_{k+1} > n$$

◆ NB: Η ακολουθία Fibonacci είναι **αύξουσα**

Εντολή do ... while

(iv)

```
PROGRAM { // fibonacci
    int n, current, previous, next;
    WRITE("Give n: "); n = READ_INT();
    if (n <= 1) WRITELN(n);
    else {
        previous = 0; current = 1;
        do {
            next = current + previous;
            previous = current;
            current = next;
        } while (current <= n);
        WRITELN(previous);
    }
}
```

Give n: 20↓
13
Give n: 100↓
89
Give n: 987↓
987

Αναλλοίωτη;

Εντολή do ... while

(v)

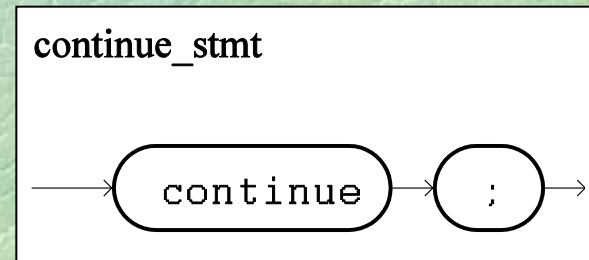
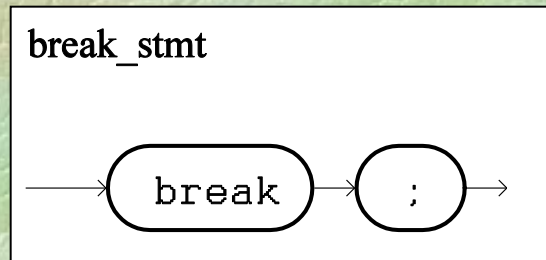
```
PROGRAM { // bigsum
    int sum, number; char symbol;
    do {
        sum = 0;
        do {
            number = READ_INT();
            sum = sum + number;
            do symbol = getchar();
            while (symbol != '+' AND
                  symbol != '=');
        } while (symbol == '+');
        WRITELN(sum);
    } while (true);
}
```

8+↵
9=↵
17
6+↵
3+↵
12+↵
21=↵
42

Break

Εντολές break και continue (i)

- ◆ Η **break** προκαλεί τον άμεσο (πρόωρο) τερματισμό ενός βρόχου
- ◆ Η **continue** προχωράει αμέσως στην επόμενη επανάληψη ενός βρόχου



Εντολές break και continue

(ii)

◆ Η ατυχής εικασία...

Ένας φίλος μας μαθηματικός ισχυρίζεται ότι για κάθε πρώτο αριθμό p ισχύει:

$$(17p) \bmod 4217 \neq 42$$

◆ Θα προσπαθήσουμε να βρούμε αντιπαράδειγμα!

◆ Δηλαδή έναν πρώτο αριθμό p τέτοιον ώστε $(17p) \bmod 4217 = 42$

Εντολές break και continue

(iii)

- ◆ Θα τροποποιήσουμε το πρόγραμμα υπολογισμού των πρώτων αριθμών

```
PROGRAM { // primes
    int p, t;
    WRITELN(2);
    FOR(p, 3 TO 1000 STEP 2) {
        t = 3;
        while (p MOD t != 0) t = t + 2;
        if (p == t) WRITELN(p);
    }
}
```


Εντολές break και continue

(iv)

```
PROGRAM { // prime_conj
  int p, t;
  FOR(p, 3 TO 1000000 STEP 2) {
    t = 3;
    while (p MOD t != 0) t = t+2;
    if (p != t) continue;
    if ((17 * p) MOD 4217 == 42) {
      WRITELN("Counterexample:", p);
      break;
    }
  }
}
```

Counterexample: 95009

αν το p δεν
είναι πρώτος,
προχώρησε
στο επόμενο p

μόλις βρεις
αντιπαράδειγμα
σταμάτησε

$$17 \times 95,009 = 1,615,153 = 383 \times 4217 + 42$$

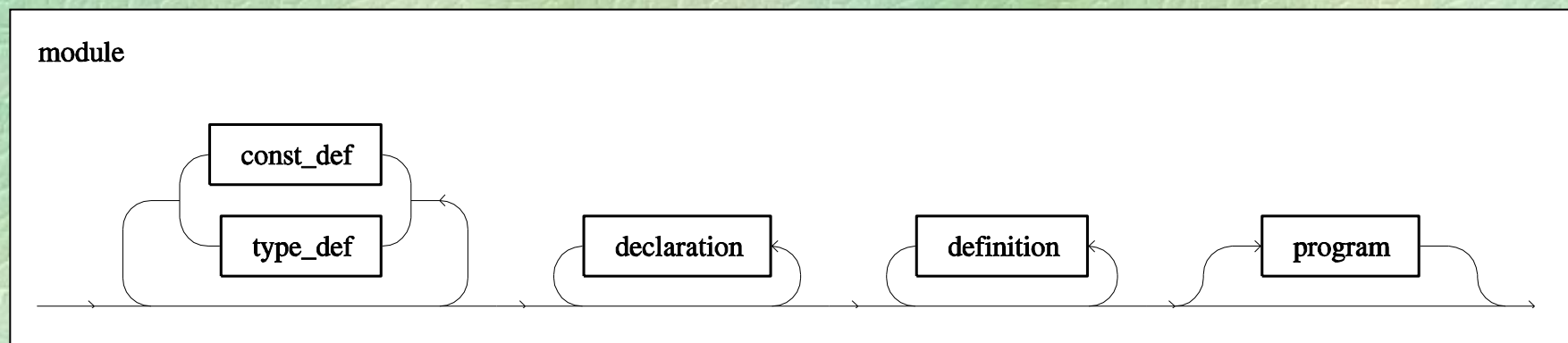
Κενή εντολή

- ◆ Συμβολίζεται με ένα semicolon
- ◆ Δεν κάνει τίποτα όταν εκτελείται
- ◆ Παράδειγμα

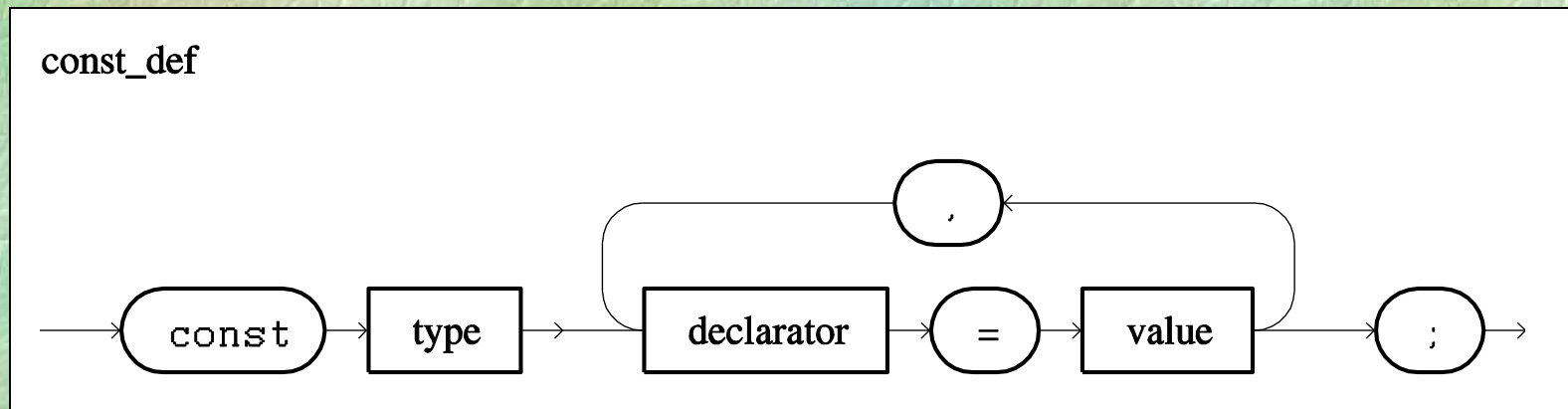
```
if (x>4) {  
    y = 1;  
    x = x-5;  
    ;           // κενή εντολή  
}
```


Δομή του προγράμματος, ξανά

- ◆ Μονάδα κώδικα **module**
 - ◆ βρίσκεται σε ξεχωριστό αρχείο προγράμματος
- ◆ Αποτελείται από:
 - ◆ δηλώσεις σταθερών και τύπων
 - ◆ δηλώσεις και ορισμούς υποπρογραμμάτων
 - ◆ τον ορισμό ενός (απλού) προγράμματος



- ◆ Σαν μεταβλητές, αλλά:
 - ◆ προηγείται η λέξη-κλειδί **const**
 - ◆ υποχρεωτική αρχικοποίηση
 - ◆ απαγορεύεται η ανάθεση



◆ Παραδείγματα

```
const int N = 100000;
```

```
const REAL pi = 3.1415926535,  
           e  = 2.7182818284;
```

```
const char SPACE = ' ';
```

◆ Χρήση αντί των σταθερών εκφράσεων

◆ π.χ. **FOR** (i, 1 **TO** N) ...

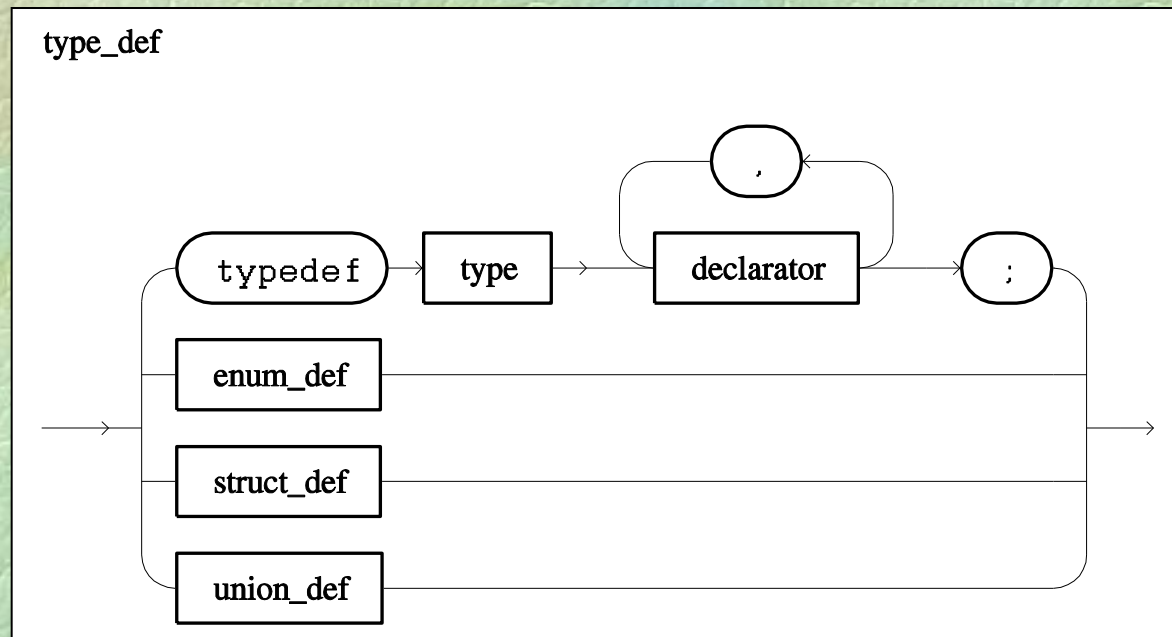
◆ Προκαθορισμένες σταθερές

◆ π.χ. **INT_MIN**, **INT_MAX**

Συνώνυμα τύπων

(i)

- ◆ Σαν δηλώσεις μεταβλητών, αλλά:
 - ◆ προηγείται η λέξη-κλειδί **typedef**
 - ◆ όχι αρχικοποίηση
 - ◆ δηλώνουν ονόματα τύπων, όχι μεταβλητών



◆ Παραδείγματα

```
typedef int number;  
typedef bool bit;  
typedef REAL real;
```

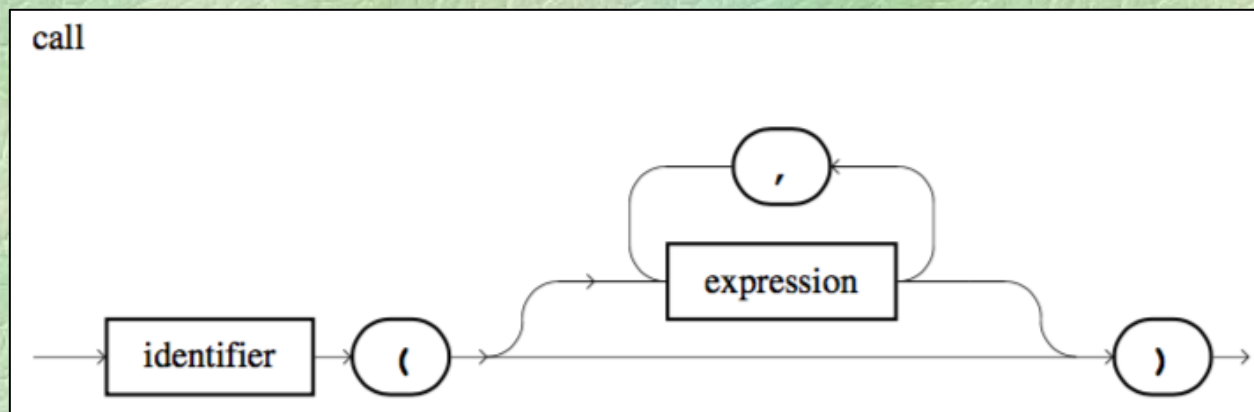
◆ Χρήση αντί των τύπων

```
number n;  
bit b;    real r;
```

◆ Προκαθορισμένοι τύποι

◆ π.χ. **int, REAL, bool, char**

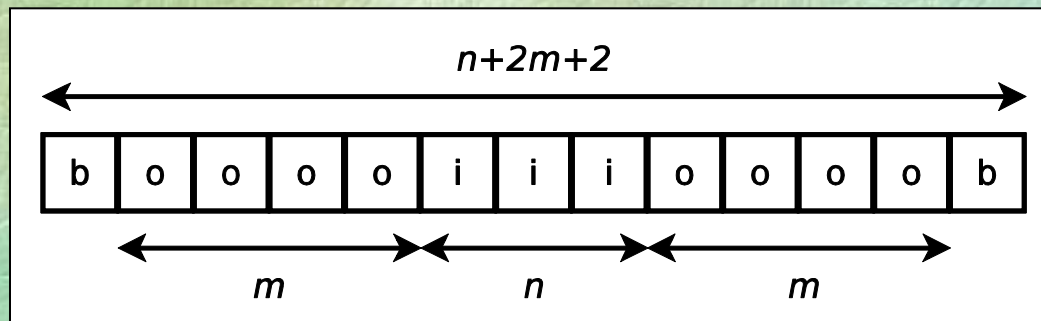
- ◆ Ορίζονται στο τμήμα δηλώσεων
- ◆ Κάθε ορισμός διαδικασίας περιέχει:
 - την επικεφαλίδα της
 - το σώμα της
- ◆ Καλούνται με αναγραφή του ονόματός τους και απαρίθμηση των παραμέτρων



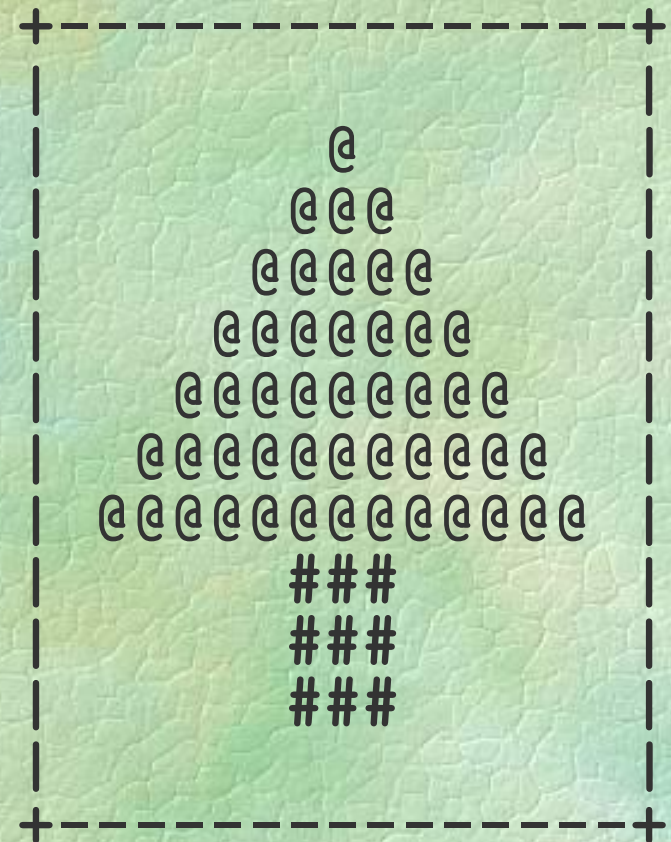
- ◆ **Εμβέλεια** ενός ονόματος (π.χ. μεταβλητής) είναι το τμήμα του προγράμματος όπου επιτρέπεται η χρήση του
- ◆ **Τοπικά (local)** ονόματα είναι αυτά που δηλώνονται σε ένα υποπρόγραμμα
- ◆ **Γενικά (global)** ονόματα είναι αυτά που δηλώνονται έξω από υποπρογράμματα και έχουν εμβέλεια σε ολόκληρο το module

- ◆ **Τυπικές (formal)** παράμετροι ενός υποπρογράμματος είναι οι αυτές που ορίζονται στην επικεφαλίδα του
- ◆ **Πραγματικές (actual)** παράμετροι ενός υποπρογράμματος είναι αυτές που δίνονται κατά την κλήση του
- ◆ Σε κάθε κλήση, οι πραγματικές παράμετροι πρέπει να αντιστοιχούν μία προς μία στη σειρά και στον τύπο με τις τυπικές

- ◆ Χριστουγεννιάτικη καρτ ποστάλ
- ◆ Κάθε γραμμή έχει τη μορφή:



- ◆ **b**, **i**, **o** : άκρα, μέσο και υπόλοιπο γραμμής
- ◆ **n**, **m** : διαστάσεις



Διαδικασίες

(v)

```
PROC line (char border, int n, char inside,  
          int m, char outside)
```

```
{
```

```
int i;
```

τοπική μεταβλητή

```
WRITE (border); // αριστερό πλαίσιο  
FOR (i, 1 TO m) WRITE (outside);  
FOR (i, 1 TO n) WRITE (inside);  
FOR (i, 1 TO m) WRITE (outside);  
WRITELN (border); // δεξιό πλαίσιο
```

```
}
```

όνομα διαδικασίας

*εμβέλεια
του i*

*τυπικές
παράμετροι*

Διαδικασίες

(vi)

```
PROC line (char border, int n, char inside,  
           int m, char outside)  
{ ... }
```

```
PROGRAM { // tree_postcard  
  int i;  
  line ('+', 15, '-', 0, ' '); // πάνω πλαίσιο  
  line ('|', 15, ' ', 0, ' ');  
  FOR (i, 1 TO 13 STEP 2)  
    line ('|', i, '@', (15-i)/2, ' ');  
  FOR (i, 1 TO 3)  
    line ('|', 3, '#', 6, ' ');  
  line ('|', 15, ' ', 0, ' ');  
  line ('+', 15, '-', 0, ' '); // κάτω πλαίσιο  
}
```

πραγματικές
παράμετροι

- ◆ Σύγκρουση ονομάτων
 - ◆ όταν μία παράμετρος ή τοπική μεταβλητή έχει ένα όνομα που χρησιμοποιείται ήδη σε εξωτερικότερη εμβέλεια
 - ◆ το όνομα στο εσωτερικότερο block **κρύβει** αυτό στο εξωτερικότερο block
- ◆ Εκτέλεση με το χέρι
- ◆ Trace tables


```
int a, b, c;
```

```
PROC p42 (int y, int b) {  
    int c = 42;  WRITELN(a, b, c, y);  
    a = a + b; c = c + 1; b = c + b; y = y-1;  
    WRITELN(a, b, c, y);  
}
```

```
PROC p17 (int a, int x) {  
    int b = 17; WRITELN(a, b, c, x);  
    p42(b, x);  WRITELN(a, b, c, x);  
}
```

```
PROGRAM {  // proc_example  
    a = 1; b = 2; c = 3; p17(b, c); p42(c, a);  
}
```


Διαδικασίες

(ix)

Global	a	b	c
	1	2	3
	4		
	8		
p17	a	x	b
	2	3	17
p42	y	b	c
	17	3	42
	16	46	43
p42	y	b	c
	3	4	42
	2	47	43

Output
2 17 3 3
1 3 42 17
4 46 43 16
2 17 3 3
4 4 42 3
8 47 43 2


```
int a, b, c;
```

```
PROGRAM { // proc_example
```

```
    a = 1; b = 2; c = 3; p17(b, c); p42(c, a);
}
```

Global	a	b	c
	1	2	3
	4		
	8		

p17	a	x	b
	2	3	17

p42	y	b	c
	17	3	42
	16	46	43

p42	y	b	c
	3	4	42
	2	47	43

```
PROC p17 (int a, int x) {
    int b = 17;
    WRITELN(a, b, c, x);
    p42(b, x);
    WRITELN(a, b, c, x);
}
```

```
PROC p42 (int y, int b) {
    int c = 42;
    WRITELN(a, b, c, y);
    a = a + b;
    c = c + 1;
    b = c + b;
    y = y-1;
    WRITELN(a, b, c, y);
}
```

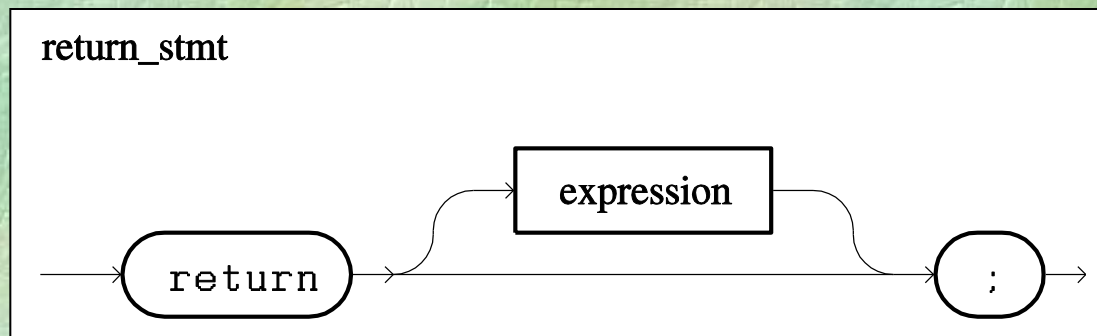
Output

```
2 17 3 3
1 3 42 17
4 46 43 16
2 17 3 3
4 4 42 3
8 47 43 2
```


Συναρτήσεις

(i)

- ◆ Όπως οι διαδικασίες, αλλά επιστρέφουν μια τιμή ως **αποτέλεσμα**
- ◆ Δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως εντολές αλλά μόνο σε παραστάσεις
- ◆ Επιστροφή αποτελέσματος με την εντολή **return** (και χωρίς παράσταση, για διαδικασίες)



Συναρτήσεις

(ii)

```
FUNC int gcd (int a, int b) {  
    a = abs(a); b = abs(b);  
    while (a > 0 AND b > 0)  
        if (a > b) a = a % b;  
        else      b = b % a;  
    return a+b;  
}
```

```
PROGRAM { // gcd_func  
    int x, y;  
  
    WRITE("Give x: "); x = READ_INT();  
    WRITE("Give y: "); y = READ_INT();  
    WRITELN("gcd is:", gcd(x, y));  
}
```


Δομημένος προγραμματισμός

- ◆ **Ιδέα:** κάθε ανεξάρτητη λειτουργία του προγράμματος πρέπει να αντιστοιχεί σε ανεξάρτητο υποπρόγραμμα
- ◆ **Πλεονεκτήματα**
 - Ευκολότερη ανάπτυξη προγραμμάτων («διαίρει και βασίλευε»)
 - Ευκολότερη ανίχνευση σφαλμάτων
 - Επαναχρησιμοποίηση έτοιμων υποπρογραμμάτων

Βαθμιαία συγκεκριμενοποίηση

◆ Περιγραφή επίλυσης προβλήματος

- Εισαγωγή και αποθήκευση δεδομένων
 - τρόπος εισαγωγής δεδομένων
 - έλεγχος ορθότητας δεδομένων
- Αλγόριθμος επεξεργασίας
 - περιγραφή του αλγορίθμου
 - κωδικοποίηση στη γλώσσα προγραμματισμού
- Παρουσίαση αποτελεσμάτων
 - τρόπος και μορφή παρουσίασης αποτελεσμάτων

Παρουσίαση και συντήρηση (i)

◆ Ποιοτικά χαρακτηριστικά προγραμμάτων

- Αναγνωσιμότητα

- απλότητα
- κατάλληλη επιλογή ονομάτων, π.χ.

`monthly_income` `incomeBeforeTaxes`

- στοίχιση
- σχόλια

- Φιλικότητα προς το χρήστη
- Τεκμηρίωση
- Συντήρηση
- Ενημέρωση

Παρουσίαση και συντήρηση (ii)

◆ Στοιχισή

- Πρόγραμμα και υποπρογράμματα

PROGRAM {
 δηλώσεις
 εντολές
}

PROC ... {
 δηλώσεις
 εντολές
}

FUNC ... {
 δηλώσεις
 εντολές
}

- Απλές εντολές

if (...) εντολή
else εντολή

while (...) εντολή

FOR (...) εντολή
for (...) εντολή

◆ Στοιχείωση (συνέχεια)

- Σύνθετες εντολές

```
if (...) {  
    εντολές  
}  
else {  
    εντολές  
}
```

```
while (...) {  
    εντολές  
}
```

```
FOR (...) {  
    εντολές  
}
```

```
do {  
    εντολές  
} while (...);
```

```
for (...) {  
    εντολές  
}
```


◆ Στοιχείωση (συνέχεια)

- Σύνθετες εντολές (συνέχεια)

```
switch (...) {  
    case τιμή1 : εντολές1  
    case τιμή2 : εντολές2  
    . . .  
    case τιμήn : εντολέςn  
    default : εντολέςn+1  
}
```


Έξοδος με μορφοποίηση

◆ Ακέραιες τιμές

```
WRITELN (FORM (42, 4) );
```

		4	2
--	--	---	---

◆ ... αλλά και οτιδήποτε άλλο

```
WRITELN (FORM ("hello", 8) );
```

			h	e	l	l	o
--	--	--	---	---	---	---	---

◆ Πραγματικές τιμές

```
WRITELN (FORM (3.1415926, 8, 4) );
```

		3	.	1	4	1	6
--	--	---	---	---	---	---	---

Αρχεία κειμένου

◆ Ανακατεύθυνση εισόδου και εξόδου

```
PROGRAM { // redirection  
    int n, i, sum = 0;
```

```
    INPUT("file-to-read-from.txt");  
    OUTPUT("file-to-write-to.txt");
```

```
    n = READ_INT();  
    FOR(i, 1 TO n)  
        sum = sum + READ_INT();  
    WRITELN(sum);  
}
```


Τακτικοί τύποι

◆ Οι τύποι **int**, **bool** και **char**

◆ Απαριθμητοί τύποι

```
enum color {white, red, blue, green,  
             yellow, black, purple};
```

```
enum sex    {male, female};
```

```
enum day    {mon, tue, wed, thu,  
             fri, sat, sun};
```

```
color c = green;
```

```
day d = fri;
```

◆ Πράξεις με τακτικούς τύπους

- τελεστές σύγκρισης ==, !=, <, >, <=, >=

- ◆ **Δομημένη μεταβλητή**: αποθηκεύει μια συλλογή από τιμές δεδομένων
- ◆ **Πίνακας (array)**: δομημένη μεταβλητή που αποθηκεύει πολλές τιμές του ίδιου τύπου

```
int n[5];
```

ορίζει έναν πίνακα πέντε ακεραίων, τα στοιχεία του οποίου είναι:

```
n[0] , n[1] , n[2] , n[3] , n[4]
```

και έχουν τύπο **int**

◆ Παραδείγματα

```
REAL a[10];
```

```
int b[20];
```

```
char c[30];
```

```
...
```

```
a[1] = 4.2;
```

```
a[3] = READ_REAL();
```

```
a[9] = a[1];
```

```
b[2] = b[2]+1;
```

```
c[26] = 't';
```


◆ Διάβασμα ενός πίνακα

- γνωστό μέγεθος

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

- πρώτα διαβάζεται το μέγεθος

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

- στα παραπάνω πρέπει να προηγηθούν

```
int a[100];    // κάτι όχι μικρότερο του 10  
int i, n;
```


◆ Διάβασμα ενός πίνακα (συνέχεια)

- τερματισμός με την τιμή 0 (φρουρός/sentinel)

```
x = READ_INT(); i=0;  
while (x != 0) {  
    a[i] = x; i = i+1; x = READ_INT();  
}
```

- στο παραπάνω πρέπει να προηγηθούν

```
int a[100], x;  
int i;
```

- Προσοχή: δε γίνεται έλεγχος για το πλήθος των στοιχείων που δίνονται!

Πράξεις με πίνακες

◆ Απλές πράξεις, π.χ.

```
a[k] = a[k]+1;
```

```
a[k] = a[1]+a[n];
```

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

```
if (a[k] > a[k+1]) ...
```

◆ Αρχικοποίηση (με μηδενικά)

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

◆ Εύρεση ελάχιστου στοιχείου

```
x = a[0];
```

```
for (i=1; i<10; i++)
```

```
    if (a[i] < x) x = a[i];
```


Γραμμική αναζήτηση

(i)

- ◆ **Πρόβλημα** (αναζήτησης): δίνεται ένας πίνακας ακεραίων **a** και ζητείται να βρεθεί αν υπάρχει ο ακέραιος **x** στα στοιχεία του

```
PROGRAM { // linsearch  
  int x, n, a[100];  
  άλλες δηλώσεις;  
  τίτλος επικεφαλίδα;  
  οδηγίες στο χρήστη;  
  x = READ_INT();  
  διάβασμα του πίνακα;  
  ψάξιμο στον πίνακα για τον x;  
  παρουσίαση αποτελεσμάτων  
}
```


◆ Μια δυνατή συγκεκριμενοποίηση

```
n = READ_INT();  
for (i=0; i<n; i++) a[i] = READ_INT();  
i=0;  
while (i < n AND a[i] != x) i=i+1;  
if (i < n)  
    WRITELN("Το βρήκα στη θέση", i);  
else  
    WRITELN("Δεν το βρήκα");
```

- Στη χειρότερη περίπτωση θα ελεγχθούν όλα τα στοιχεία του πίνακα
- Απαιτούνται $a n + b$ βήματα \Rightarrow γραμμική (a, b σταθερές, n το μέγεθος του πίνακα)

◆ Εναλλακτική συγκεκριμενοποίηση #1

```
i = 0;  
do  
    if (a[i] == x) break; else i = i+1;  
while (i < n);  
  
if (i < n)  
    WRITELN("Το βρήκα στη θέση", i);  
else  
    WRITELN("Δεν το βρήκα");
```


◆ Εναλλακτική συγκεκριμενοποίηση #2

```
i = 0;  
do  
    if (a[i] == x) found = true;  
    else { found = false; i = i+1; }  
while (NOT found AND i < n);  
  
if (found)  
    WRITELN("Το βρήκα στη θέση", i);  
else  
    WRITELN("Δεν το βρήκα");
```


◆ Εναλλακτική συγκεκριμενοποίηση #3

```
i = 0; found = false;
do
    if (a[i] == x) found = true;
    else i = i+1;
while (NOT found AND i < n);

if (found)
    WRITELN("Το βρήκα στη θέση", i);
else
    WRITELN("Δεν το βρήκα");
```


◆ Εναλλακτική συγκεκριμενοποίηση #4

```
i = 0;  
do {  
    found = a[i] == x;  
    i = i+1;  
} while (NOT found AND i < n);  
  
if (found)  
    WRITELN("Το βρήκα στη θέση", i-1);  
else  
    WRITELN("Δεν το βρήκα");
```


Δυαδική αναζήτηση

(i)

- ◆ Προϋπόθεση: ο πίνακας να είναι ταξινομημένος, π.χ. σε αύξουσα διάταξη
- ◆ Είναι πολύ πιο αποδοτική από τη γραμμική αναζήτηση
 - Στη χειρότερη περίπτωση απαιτούνται $a \log_2 n + b$ βήματα
(a, b σταθερές, n το μέγεθος του πίνακα)

◆ Το πρόγραμμα

```
const int N = 100;
```

```
PROGRAM { // binsearch
```

```
int i, x, n, first, last, mid, a[N];
```

Μήνυμα επικεφαλίδα και οδηγίες χρήσης;

```
n = READ_INT(); // κατά αύξουσα σειρά
```

```
for (i=0; i<n; i++)
```

```
    a[i] = READ_INT();
```

```
x = READ_INT();
```

Αναζήτηση και εμφάνιση αποτελέσματος

```
}
```


◆ Αναζήτηση και εμφάνιση αποτελέσματος

```
first = 0; last = n-1;
while (first <= last) {
    mid = (first + last) / 2;
    if (x < a[mid]) last = mid-1;
    else if (x > a[mid]) first = mid+1;
    else break;
}
if (first <= last)
    WRITELN("Το βρήκα στη θέση", mid);
else
    WRITELN("Δεν το βρήκα");
```


Πολυδιάστατοι πίνακες

◆ Παράδειγμα

```
int a[10][16];
```

```
...
```

```
a[1][13] = 42;
```

```
...
```

```
for (i=0; i<10; i++)
```

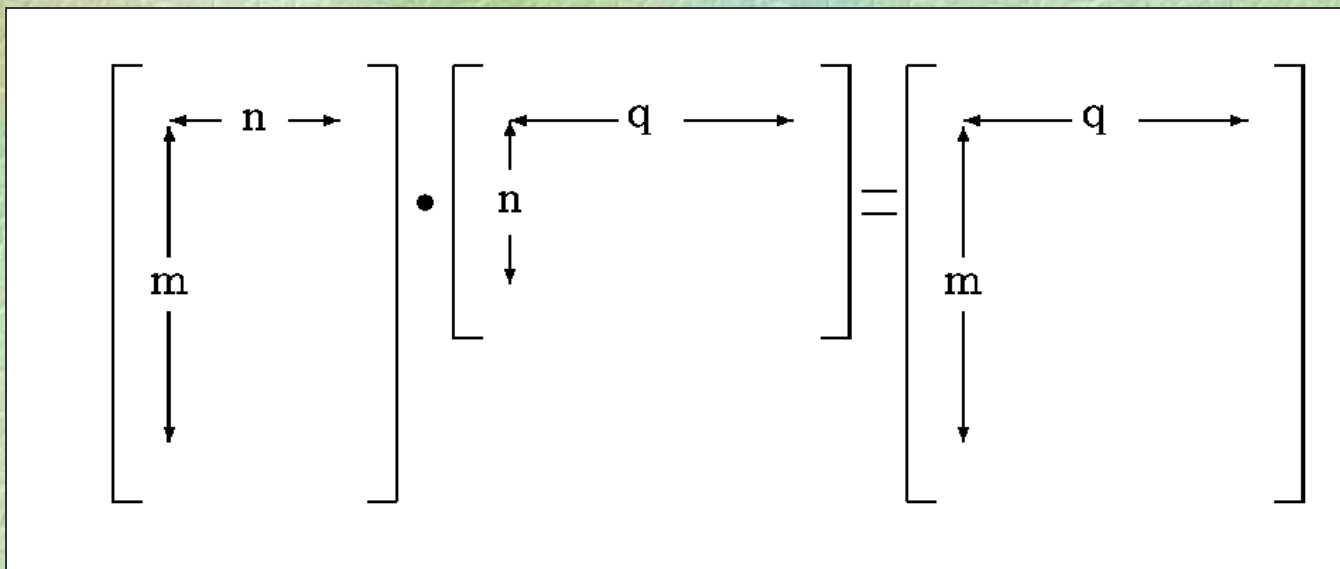
```
    for (j=0; j<16; j++)
```

```
        a[i][j] = READ_INT();
```


Πολλαπλασιασμός πινάκων (i)

- ◆ Δίνονται οι πίνακες: $a (m \times n)$, $b (n \times q)$
- ◆ Ζητείται ο πίνακας: $c = a b (m \times q)$ όπου:

$$c_{i,j} = \sum_{k=1}^n a_{i,k} b_{k,j}$$



◆ Το πρόγραμμα

```
REAL a[m][n], b[n][q], c[m][q];
```

```
...
```

```
for (i=0; i<m; i++)
```

```
    for (j=0; j<q; j++) {
```

```
        c[i][j] = 0;
```

```
        for (k=0; k<n; k++)
```

```
            c[i][j] = c[i][j] +
```

```
                a[i][k]*b[k][j];
```

```
    }
```


Μαγικά τετράγωνα

(i)

- ◆ Διδιάστατοι πίνακες ($n \times n$) που περιέχουν όλους τους φυσικούς μεταξύ 0 και n^2-1
 - το άθροισμα των στοιχείων κάθε στήλης, γραμμής και διαγωνίου είναι σταθερό

- ◆ Πρόβλημα: κατασκευή μαγικού τετραγώνου ($n \times n$) για **περιττό** n

10	9	3	22	16
17	11	5	4	23
24	18	12	6	0
1	20	19	13	7
8	2	21	15	14

Μαγικά τετράγωνα

(ii)

				0

				0
1				

				0
1				
	2			

		3		
				0
1				
	2			

		3		
			4	
				0
1				
	2			

		3		
		5	4	
				0
1				
	2			

		3		
		5	4	
			6	0
1				
	2			

		3		
		5	4	
			6	0
1				7
	2			

		3		
		5	4	
			6	0
1				7
8	2			

	9	3		
		5	4	
			6	0
1				7
8	2			

10	9	3		
		5	4	
			6	0
1				7
8	2			

10	9	3		
	11	5	4	
			6	0
1				7
8	2			

◆ Κατασκευή για περιττό n

```
int a[17][17], i, j, k, h, m, n=5;
i = n/2; j = n; k = 0;
FOR (h, 1 TO n) {
    j = j-1; a[i][j] = k; k = k+1;
    FOR (m, 2 TO n) {
        j = (j+1) % n; i = (i+1) % n;
        a[i][j] = k; k = k+1;
    }
}

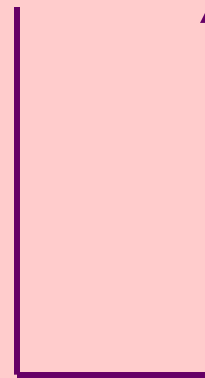
FOR (i, 0 TO n-1) {
    FOR (j, 0 TO n-1) WRITE (FORM(a[i][j], 4));
    WRITELN();
}
```


- ◆ Αναδρομικές διαδικασίες ή συναρτήσεις: αυτές που **καλούν τον εαυτό τους**
- ◆ Το αρχικό πρόβλημα ανάγεται στην επίλυση ενός ή περισσότερων **μικρότερων προβλημάτων του ίδιου τύπου**
- ◆ Παράδειγμα: παραγοντικό
 - $n! = n * (n-1) * (n-2) * ... * 2 * 1$
 - **Αναδρομικός ορισμός**
 $0! = 1 \quad (n+1)! = (n+1) * n!$

◆ Παράδειγμα: παραγοντικό (συνέχεια)

```
FUNC int fact (int n) {  
    if (n==0) return 1;  
    else      return fact(n-1) * n;  
}
```

πρόγραμμα καλεί `fact(3)`
`fact(3)` καλεί `fact(2)`
`fact(2)` καλεί `fact(1)`
`fact(1)` καλεί `fact(0)`
`fact(0)`



συνεχίζει...
επιστρέφει 6
επιστρέφει 2
επιστρέφει 1
επιστρέφει 1

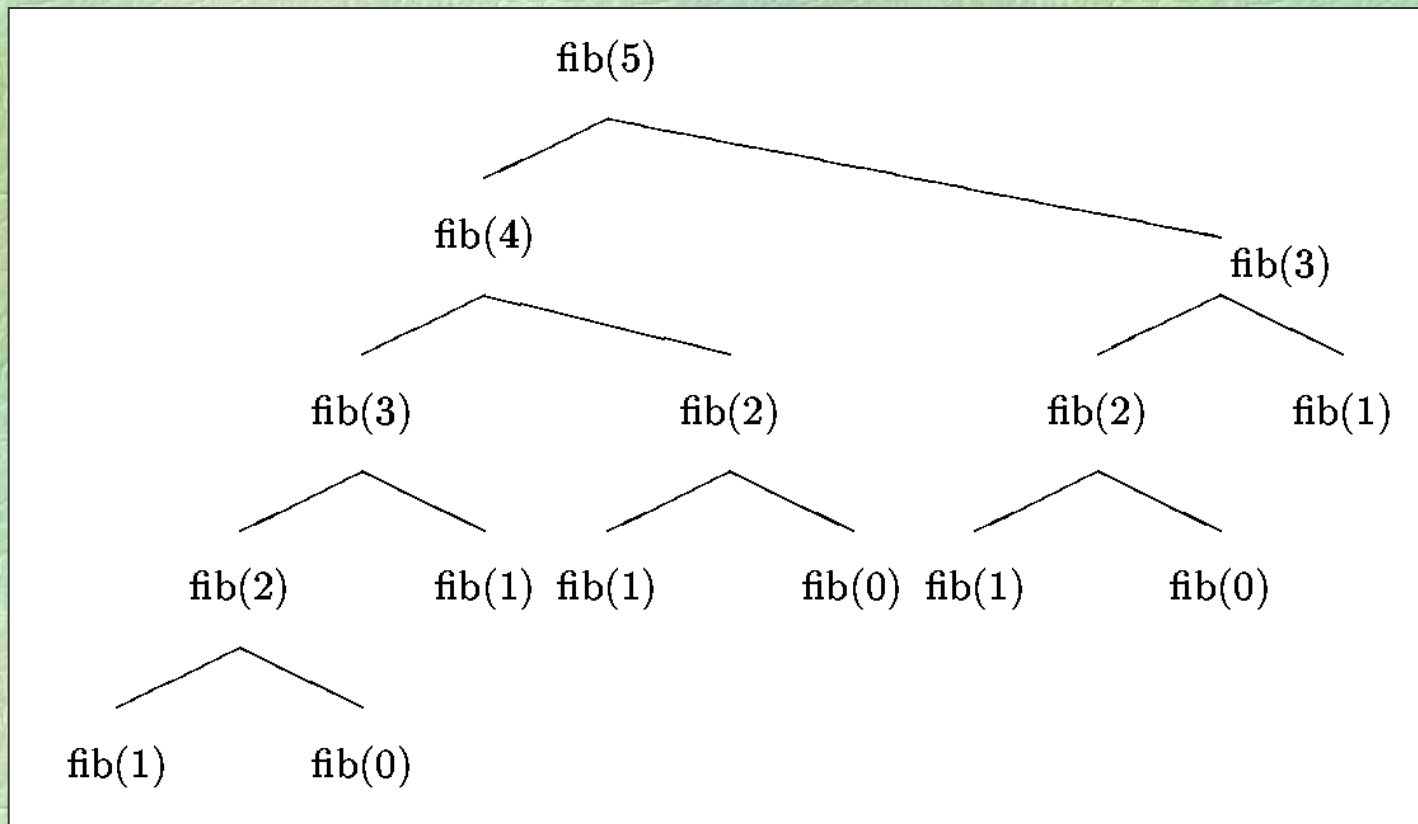
◆ Αριθμοί Fibonacci

- $F_0 = 0$, $F_1 = 1$
- $F_{n+2} = F_n + F_{n+1}$, $\forall n \in \mathbb{N}$

◆ Αναδρομική συνάρτηση υπολογισμού

```
FUNC int fib (int n) {  
    if (n==0 OR n==1)  
        return n;  
    else  
        return fib(n-1) + fib(n-2);  
}
```


- ◆ Αυτός ο αναδρομικός υπολογισμός των αριθμών Fibonacci δεν είναι αποδοτικός



◆ Μέγιστος κοινός διαιρέτης

- Αναδρομική υλοποίηση του αλγορίθμου του Ευκλείδη

```
FUNC int gcd (int i, int j) {  
    if (i==0 OR j==0)  
        return i+j;  
    else if (i > j)  
        return gcd(i%j, j);  
    else  
        return gcd(i, j%i);  
}
```


◆ Συνάρτηση παρόμοια με του Ackermann

$$z(i, j, 0) = j+1 \quad z(i, 0, 1) = i$$

$$z(i, 0, 2) = 0 \quad z(i, 0, n+3) = 1$$

$$z(i, j+1, n+1) = z(i, z(i, j, n+1), n) \quad , \forall i, j, n \in \mathbb{N}$$

```
FUNC int z (int i, int j, int n) {  
    if (n==0) return j+1;  
    else if (j==0)  
        if (n==1) return i;  
        else if (n==2) return 0;  
        else return 1;  
    else return z(i, z(i, j-1, n), n-1);  
}
```


Αμοιβαία αναδρομή

```
FUNC int f2 (int n) ;      // function prototype
```

```
FUNC int f1 (int n) {  
    if (n==0) return 5;  
    else      return f1 (n-1) * f2 (n-1) ;  
}
```

```
FUNC int f2 (int n) {  
    if (n==0) return 3;  
    else      return f1 (n-1) + 2*f2 (n-1) ;  
}
```


◆ Τύπος **REAL**

- προσεγγίσεις πραγματικών αριθμών
- **trunc**: ακέραιο μέρος (αποκοπή)
- **floor**: ακέραιος που δεν υπερβαίνει
- **round**: στρογγυλοποίηση

◆ Παράσταση κινητής υποδιαστολής

- mantissa και εκθέτης $\pm m \cdot 2^x$
όπου $0.5 \leq m < 1$ και $x \in \mathbf{Z}$ ή $m = x = 0$
- το m είναι περιορισμένης ακρίβειας,
π.χ. 8 **σημαντικά ψηφία**

Αριθμητικοί υπολογισμοί (ii)

◆ Αριθμητικά σφάλματα

$$1000000 + 0.0000000001 = 1000000 \quad \text{γιατί;}$$

◆ Αναπαράσταση των αριθμών

$$1000000 \approx 0.95367432 \cdot 2^{20}$$

$$0.0000000001 \approx 0.53687091 \cdot 2^{-29}$$

$$\approx 0.000000000 \cdot 2^{20}$$

$$\text{άθροισμα} \approx 0.95367432 \cdot 2^{20}$$

Εύρεση τετραγωνικής ρίζας (i)

- ◆ Χωρίς χρήση της συνάρτησης **sqrt**
- ◆ Μέθοδος Βαβυλωνίων
- ◆ Καταγράφεται για πρώτη φορά από τον Έρωνα τον Αλεξανδρέα
- ◆ Ειδική περίπτωση της γενικότερης μεθόδου του **Newton**, για την εύρεση της ρίζας οποιασδήποτε συνεχούς συναρτήσεως $f(y) = 0$ εδώ: $f(y) = y^2 - x$ για κάποιο δοθέν x

Εύρεση τετραγωνικής ρίζας (ii)

◆ Περιγραφή της μεθόδου

- Δίνεται ο αριθμός $x > 0$
- Έστω προσέγγιση y της ρίζας, με $y \leq \sqrt{x}$
- Έστω $z = x / y$
- Το z είναι προσέγγιση της ρίζας, με $\sqrt{x} \leq z$
- Για να βρω μια καλύτερη προσέγγιση, παίρνω το μέσο όρο των y και z
- Επαναλαμβάνω όσες φορές θέλω

Εύρεση τετραγωνικής ρίζας (iii)

- ◆ Χωρίς χρήση της συνάρτησης **sqrt**

$$y_0 = 1 \qquad y_{i+1} = \frac{1}{2} \left(y_i + \frac{x}{y_i} \right)$$

- ◆ Παράδειγμα: $\sqrt{37}$ (6.08276253)

$$y_0 = 1$$

$$y_4 = 6.143246$$

$$y_1 = 19$$

$$y_5 = 6.083060$$

$$y_2 = 10.473684$$

$$y_6 = 6.082763$$

$$y_3 = 7.003174$$

$$\dots$$

Εύρεση τετραγωνικής ρίζας

(iii)

```
FUNC REAL sqroot (REAL x) {  
    const REAL epsilon = 0.00001; // 1E-5  
    REAL older, newer = 1;  
  
    do {  
        older = newer;  
        newer = (older + x/older) / 2;  
    } while (NOT ( /* συνθήκη τερματισμού */ ));  
    return newer;  
}
```


Εύρεση τετραγωνικής ρίζας (iv)

◆ Εναλλακτικές συνθήκες τερματισμού

- Σταθερός αριθμός επαναλήψεων

`n == 20`

- Επιτυχής εύρεση ρίζας

λάθος!

`newer * newer == x`

- Απόλυτη σύγκλιση

`abs(newer * newer - x) < epsilon`

- Σχετική σύγκλιση

`abs(newer * newer - x) / newer < epsilon`

Εύρεση τετραγωνικής ρίζας (v)

◆ Εναλλακτικές συνθήκες τερματισμού

- Απόλυτη σύγκλιση κατά Cauchy

$$\text{abs}(\text{newer} - \text{older}) < \text{epsilon}$$

- Σχετική σύγκλιση

$$\text{abs}(\text{newer} - \text{older}) / \text{newer} < \text{epsilon}$$

Τριγωνομετρικές συναρτήσεις (i)

- ◆ Συνημίτονο με ανάπτυγμα Taylor

$$\cos(x) = \sum_{i=0}^{\infty} (-1)^i \frac{x^{2i}}{(2i)!}$$

- ◆ για τον όρο με δείκτη $i+1$ έχουμε:

$$(-1)^{i+1} \frac{x^{2i+2}}{(2i+2)!} = - \left[(-1)^i \frac{x^{2i}}{(2i)!} \right] \frac{x^2}{(2i+1)(2i+2)}$$

- ◆ οπότε αν $n = 2i+1$ έχουμε:

$$newterm = -oldterm \frac{x^2}{n(n+1)}$$

Τριγωνομετρικές συναρτήσεις (ii)

```
FUNC REAL mycos (REAL x) {  
    const REAL epsilon = 1E-5;  
    REAL sqx = x * x, term = 1, sum = 1;  
    int n = 1;  
  
    do {  
        n = n + 2;  
        term = -term * sqx / (n*(n+1));  
        sum = sum + term;  
    } while (abs(term/sum) >= epsilon);  
    return sum;  
}
```


◆ Τύποι δεδομένων

- Ακέραιοι αριθμοί
`int` `char`
- Καθορισμός προσήμανσης
`signed` `unsigned`
- Καθορισμός μεγέθους
`short` `long`
- Αριθμοί κινητής υποδιαστολής
`float` `double`

Από το **PZhelp** στη C++

(ii)

char , signed char , unsigned char
signed short int , unsigned short int
signed int , unsigned int
signed long int , unsigned long int
float
double (REAL)
long double

Με **κόκκινο** χρώμα όσα μπορούν να παραλειφθούν.

Από το **PZhelp** στη C++

(iii)

◆ Πρόγραμμα και υποπρογράμματα

```
int main () {  
    ...  
    // προαιρετικό  
    return 0;  
}
```

```
void p (...)  
{ ... }
```

```
int f (...)  
{ ... }
```

```
PROGRAM {  
    ...  
}
```

```
PROC p (...)  
{ ... }
```

```
FUNC int f (...)  
{ ... }
```


Από το **PZhelp** στη C++

(iv)

◆ Ανάθεση

```
x += 42;  
i %= n+1;
```

```
x = y = z = 0;
```

```
y = (x = 17) + 25;
```

```
i++; /* ή */ ++i;  
i--; /* ή */ --i;
```

```
i = 3; x = i++;  
i = 3; x = ++i;
```

```
i = i++; // λάθος!
```

```
x = x + 42;  
i = i % (n+1);
```

```
x = 0; y = 0; z = 0;
```

```
x = 17; y = x + 25;
```

```
i = i+1;  
i = i-1;
```

```
i = 3; x = i; i = i+1;  
i = 3; i = i+1; x = i;
```


Από το **PZhelp** στη C++

(v)

◆ Βρόχος for

```
for (i=1; i<=10; i++)  
...  
for (i=8; i>=1; i--)  
...  
for (i=1; i<=10; i+=2)  
...
```

```
FOR (i, 1 TO 10)  
...  
FOR (i, 8 DOWNT0 1)  
...  
FOR (i, 1 TO 10  
    STEP 2)  
...
```

*// Στη C++ κανείς δε μας εμποδίζει να γράψουμε αυτό:
// (πολλές κακές ιδέες μαζεμένες...)*

```
n=100; s=1;  
for (i=1; i<=n; i+=s) {  
    n-=i; s++; if (i+s>n) i=1;  
}
```


Από το **PZhelp** στη C++

(vi)

◆ Βρόχος for

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

```
s = 0;
```

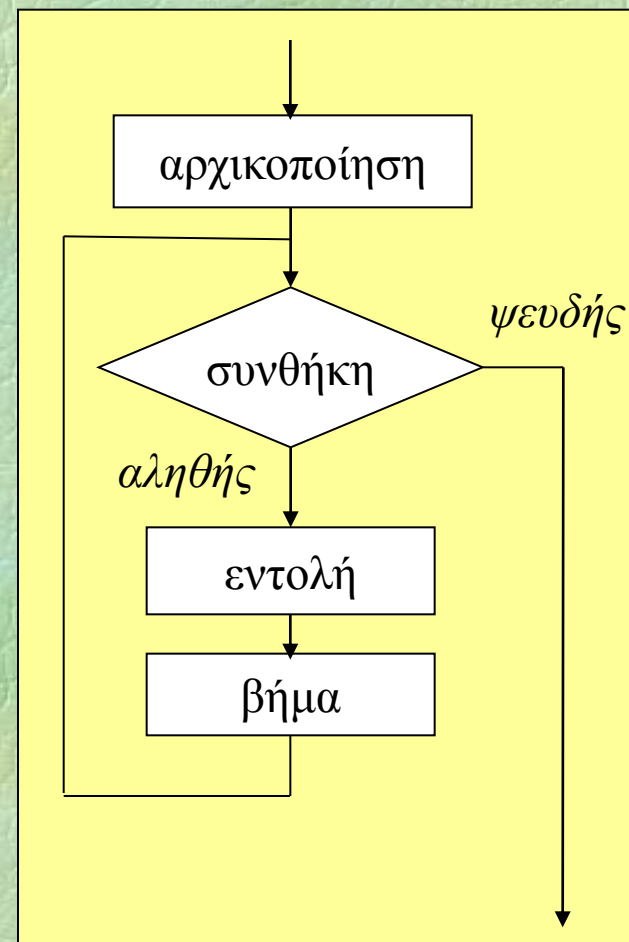
```
// εσωτερική δήλωση της μεταβλητής i
```

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

```
// προσέξτε τον τελεστή , (κόμμα)
```

```
int i, s;
```

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



Από το **PZhelp** στη C++

(vii)

◆ Έξοδος στην οθόνη στη C++

```
#include <iostream>
using namespace std;
...
```

```
cout << "Hello\n";
/* ή */
cout << "Hello" << endl;
```

```
cout << i+1;
cout << i << " " << r;
cout << c;
```

```
WRITELN("Hello");
```

```
WRITE(i+1);
WRITE(i, r);
WRITE(c);
```


Από το **PZhelp** στη C++

(viii)

◆ Είσοδος από το πληκτρολόγιο στη C++

```
#include <iostream>
using namespace std;
...
```

```
cin >> i;
cin >> r;
```

```
cin >> c;
    /* ή */
c = cin.get();
```

```
cin.ignore(
    numeric_limits<streamsize>::max(),
    '\\n'); // τρομακτικό λίγο, έτσι δεν είναι;
```

```
i = READ_INT();
r = READ_REAL();
```

```
c = getchar();
```

```
SKIP_LINE();
```


Από το **PZhelp** στη C++

(ix)

◆ Έξοδος στην οθόνη στη C++ (και στη C)

```
#include <cstdio>
```

```
...
```

```
printf("Hello\n");  
printf("%d", i+1);  
printf("%d %lf", i, r);  
printf("%c", c);
```

```
printf("%5d", i);  
printf("%5.3lf", r);
```

```
printf("%c %d %c %d\n",  
      'a', 97, 97, 'a');
```

```
WRITELN("Hello");  
WRITE(i+1);  
WRITE(i, r);  
WRITE(c);
```

```
WRITE(FORM(i,5));  
WRITE(FORM(r,5,3));
```

```
a 97 a 97
```


Από το **PZhelp** στη C++

(X)

- ◆ Είσοδος από το πληκτρολόγιο στη C++ (και στη C)

```
#include <cstdio>
```

```
...
```

```
scanf ("%d", &i);
```

```
scanf ("%lf", &r);
```

```
c = getchar();
```

```
/* ή */
```

```
scanf ("%c", &c);
```

```
while (getchar() != '\n');
```

```
i = READ_INT();
```

```
r = READ_REAL();
```

```
c = getchar();
```

```
SKIP_LINE();
```


- ◆ **Δείκτης** (pointer): η διεύθυνση μιας περιοχής της μνήμης όπου βρίσκεται μια μεταβλητή
- ◆ Παράδειγμα

```
int *p;
```

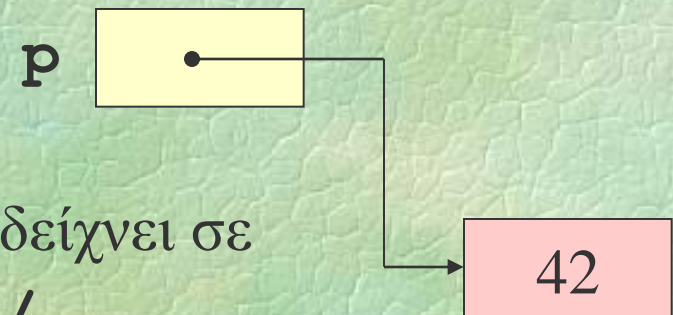
```
...
```

```
/* ο δείκτης p τοποθετείται να δείχνει σε  
κάποια ακέραια μεταβλητή */
```

```
...
```

```
*p = 42;
```

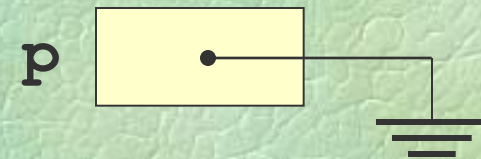
```
WRITELN(*p + 1);
```



- ◆ Κενός δείκτης (**nullptr** ή **NULL**):
ειδική τιμή δείκτη που «δε δείχνει πουθενά»

- ◆ Παράδειγμα

```
int *p;  
...  
p = nullptr;
```



- ◆ Απαγορεύεται η προσπέλαση της μνήμης μέσω ενός κενού δείκτη

```
p = nullptr;  
WRITELN(*p);    // λάθος!
```


Δεικτοδότηση: &

η διεύθυνση μιας μεταβλητής

```
int x = 17, *p;
```

```
p = &x;
```

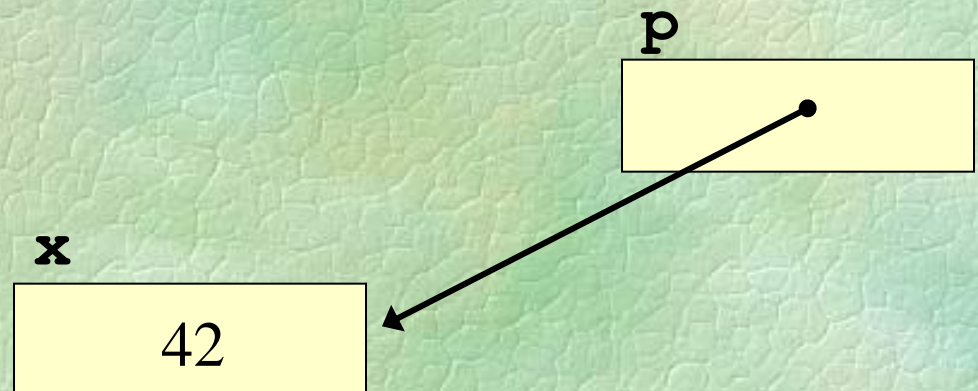
Αποδεικτοδότηση: *

το περιεχόμενο μιας διεύθυνσης

```
WRITELN(*p);
```

```
*p = 42;
```

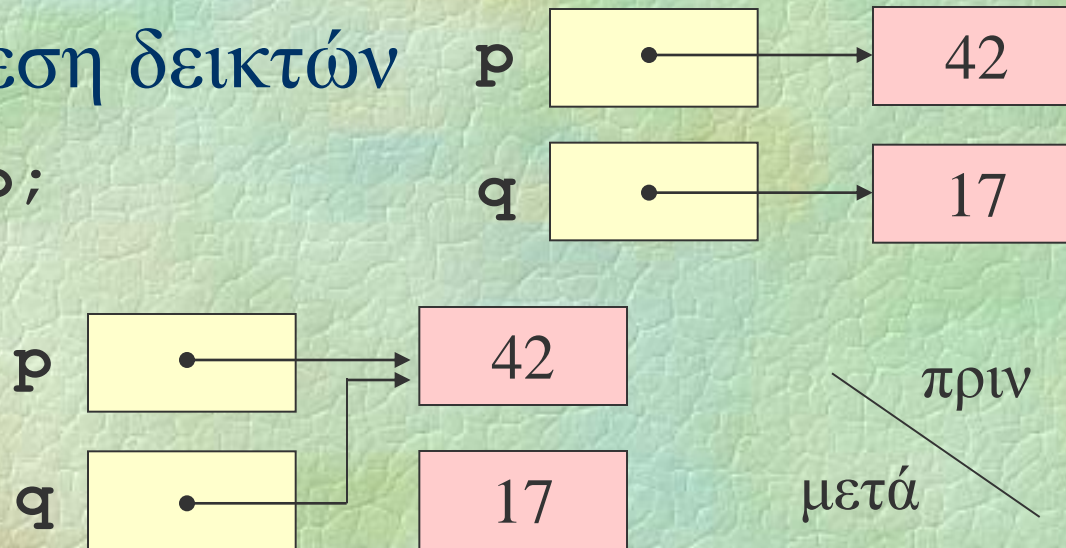
```
WRITELN(x);
```



Δείκτες και ανάθεση

◆ Ανάθεση δεικτών

$q = p;$



◆ Ανάθεση περιεχομένων

$*q = *p;$



Παράδειγμα με δείκτες

```
PROGRAM { // pointers
    int x = 42, y = 17;
    int *p, *q;

    p = &x; q = &y;

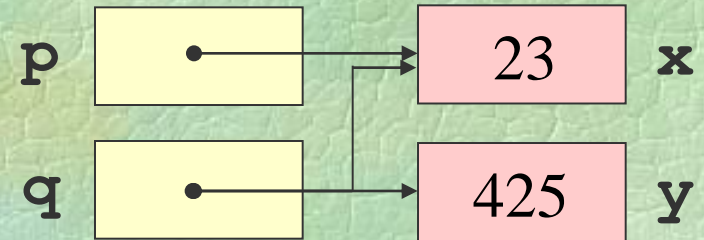
    *p = *p - *q;

    *q = *p *y;

    q = p;

    (*q)++; *p -= 3;

    WRITELN(x, y);
}
```



23 425

Πέρασμα παραμέτρων με αναφορά

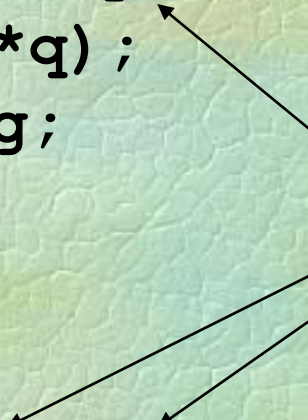
```
FUNC int gcd (int a, int b);
```

```
PROC normalize (int &p, int &q) {  
    int g = gcd(p, q);  
    p /= g;  q /= g;  
}
```

```
PROGRAM { // call_by_ref  
    int x = READ_INT();  
    int y = READ_INT();  
    normalize(x, y);  
    WRITELN(x, y);  
}
```


Δείκτες αντί περάσματος με αναφορά

```
int gcd (int a, int b);  
  
void normalize (int *p, int *q) {  
    int g = gcd(*p, *q);  
    *p /= g;  *q /= g;  
}  
  
int main () {  
    int x, y;  
    scanf("%d %d", &x, &y);  
    normalize(&x, &y);  
    printf("%d %d\n", x, y);  
    return 0;  
}
```



Η C δεν υποστηρίζει
πέρασμα με αναφορά!

Πίνακες και δείκτες

(i)

Αριθμητική δεικτών

```
int a[3] = {7, 6, 42};
```

```
int *p;
```

```
p = &(a[0]);
```

```
p = &a;
```

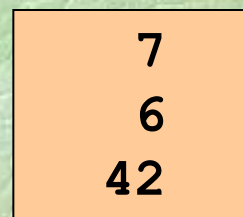
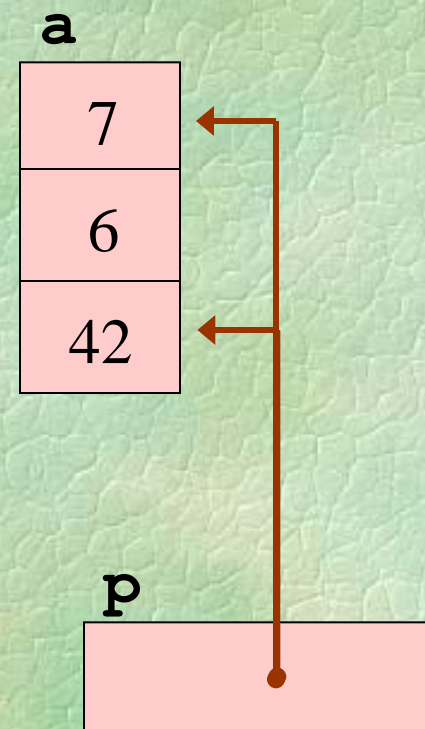
```
p = a;
```

```
WRITELN(*p);
```

```
WRITELN(*(p+1));
```

```
p = p+2;
```

```
WRITELN(*p);
```



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++;    /* σωστό */
```

```
a++;    /* λάθος! */
```


Συμβολοσειρές

```
char a[15] = "Hello world!", b[15];  
// a[12] == '\0'  
  
void strcpy (char *t, char *s) {  
    while ((*t++ = *s++) != '\0');  
}  
  
int main () {  
    strcpy(b, a);  
    printf("%s\n", b);  
}
```


Εκτύπωση συμβολοσειράς

```
void putchar (char c) ;

void puts (char *p) {
    while (*p != '\0') putchar(*p++);
}

int main () {
    char s[] = "Hello world!\n";
    puts(s);
}
```


Επεξεργασία κειμένου

(i)

- ◆ Διάβασμα και επεξεργασία όλων των χαρακτήρων της εισόδου, π.χ. μέτρημα

```
int n = 0;
```

```
while (getchar() != EOF) n++;
```

```
printf("%d characters were read.\n", n);
```

- ◆ Η τιμή **EOF** σημαίνει το τέλος της εισόδου (**Ctrl-D** ή **Ctrl-Z** από το πληκτρολόγιο)

- ◆ Π.χ. αντιγραφή της εισόδου στην έξοδο

```
while (true) {  
    int c = getchar();  
    if (c == EOF) break;  
    putchar(c);  
}
```

- ◆ Η τιμή **EOF** πρέπει να ανατεθεί σε μεταβλητή **int**, όχι **char**! Ισοδύναμα:

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


- ◆ Διάβασμα και επεξεργασία όλων των **ακεραίων** της εισόδου, π.χ. άθροιση

```
int i, sum = 0;
while (true) {
    if (scanf("%d", &i) != 1) break;
    sum += i;
}
```

- ◆ Η **scanf** επιστρέφει το πλήθος των στοιχείων που διαβάστηκαν. Ισοδύναμα:

```
int i, sum = 0;
while (scanf("%d", &i) == 1) sum += i;
```


- ◆ **Παράδειγμα 1:** πρόγραμμα που
 - διαβάζει ένα κείμενο από την είσοδο
 - μετράει τον αριθμό των χαρακτήρων και τον αριθμό των γραμμών
 - υπολογίζει το μέσο όρο μήκους γραμμής
- ◆ Μετράμε τα '**\n**' και τους υπόλοιπους χαρακτήρες
- ◆ Ελέγχουμε για τέλος εισόδου (**EOF**)
- ◆ Για το μέσο όρο, κάνουμε διαίρεση!

(v)

```
int lines = 0, chars = 0;

while (true) {
    int c = getchar();
    if (c == EOF) break;
    if (c == '\n') lines++; else chars++;
}

printf("%d lines were read\n", lines);

if (lines > 0)
    printf("%0.3lf characters per line\n",
           1.0 * chars / lines);
```

◆ Καλύτερα: `(double) chars` μετατροπή τύπου
(type cast)

◆ Παράδειγμα 2: πρόγραμμα που

- διαβάζει ένα κείμενο από την είσοδο
- μετράει τον αριθμό των χαρακτήρων, των λέξεων και των γραμμών

◆ Τι σημαίνει «λέξη»; Διαδοχικά γράμματα!

◆ Συνάρτηση για τον εντοπισμό γραμμάτων

```
FUNC bool isletter (char c) {  
    return c >= 'a' AND c <= 'z'  
        OR c >= 'A' AND c <= 'Z';  
}
```


◆ Παράδειγμα 2

```
int c, lines = 0, chars = 0, words = 0;

c = getchar();
while (c != EOF)
    if (isletter(c)) { words++;
        do { chars++; c = getchar(); }
        while (isletter(c));
    }
    else { chars++;
        if (c == '\n') lines++;
        c = getchar();
    }
```

◆ Έχουμε διαβάσει ένα χαρακτήρα «μπροστά»!

- ◆ **Παράδειγμα 3:** πρόγραμμα που
 - διαβάσει ένα κείμενο από την είσοδο
 - μετράει τις συχνότητες εμφάνισης λέξεων με μήκος από 1 μέχρι 20 γράμματα
- ◆ Μέτρηση μήκους λέξης
- ◆ Μετρητές λέξεων ανά μήκος: πίνακας!
- ◆ Εδώ δε χρειάζεται να ασχοληθούμε με τις αλλαγές γραμμών!

◆ Παράδειγμα 3

```
int i, c, freq[21];  
FOR (i, 1 TO 20) freq[i] = 0;  
c = getchar();  
while (c != EOF)  
    if (isletter(c)) {  
        int n = 0;  
        do { n++; c = getchar(); }  
        while (isletter(c));  
        if (n <= 20) freq[n]++;  
    }  
    else c = getchar();
```


◆ Παράδειγμα 3 (συνέχεια)

```
FOR (i, 1 TO 20)
    printf("%4d words of length %2d\n",
        freq[i], i);
```

◆ Μετατροπή κεφαλαίων γραμμάτων σε πεζά

```
FUNC char tolower (char ch) {
    if (ch >= 'A' AND ch <= 'Z')
        return ch - 'A' + 'a';
    else
        return ch;
}
```


- ◆ **Παράδειγμα 4:** πρόγραμμα που
 - διαβάζει ένα κείμενο από την είσοδο
 - γράφει τους χαρακτήρες κάθε γραμμής αντίστροφα
- ◆ Αποθήκευση των χαρακτήρων κάθε γραμμής: πίνακας!
- ◆ Πρέπει να υποθέσουμε ένα μέγιστο μήκος γραμμής — θα έπρεπε να κάνουμε έλεγχο υπέρβασής του!

◆ Παράδειγμα 4

```
const int MAX = 80;
int i, c, line[MAX];

while ((c = getchar()) != EOF) {
    int n = 0;

    while (c != '\n') {
        line[n++] = c; c = getchar();
    }

    FOR (i, n-1 DOWNTO 0) putchar(line[i]);
    putchar('\n');
}
```


◆ Εύρεση εμφάνισης λέξης-κλειδιού

...

// η λέξη-κλειδί έχει 3 χαρακτήρες

```
FOR (j, 0 TO 2) key[j] = getchar();
```

...

// έστω i το μήκος της γραμμής

```
FOR (k, 0 TO i-3)
```

```
    if (line[k] == key[0]
```

```
        AND line[k+1] == key[1]
```

```
        AND line[k+2] == key[2])
```

```
        WRITELN("keyword found!");
```


Συμβολοσειρές

(i)

- ◆ Πίνακες χαρακτήρων `char []`
- ◆ Δείκτες σε χαρακτήρα `char *`
- ◆ Τελειώνουν με το χαρακτήρα `'\0'`
- ◆ Παράδειγμα

```
char name[30];
```

```
printf("What's your name?\n");
```

```
scanf("%s", name);
```

```
printf("Hi %s, how are you?\n", name);
```


◆ Χρήσιμες συναρτήσεις βιβλιοθήκης

#include <cstring>

◆ Μέτρηση μήκους: **strlen**

```
printf("Your name has %d letters.\n",  
      strlen(name) );
```

◆ Λεξικογραφική σύγκριση: **strcmp**

```
if (strcmp(name, "John") == 0)  
    printf("I knew you were John!\n");
```

◆ Quiz: **strcmp("ding", "dong") == ?**

◆ Αντιγραφή:

strcpy

```
char a[10];  
strcpy(a, "ding");  
a[1] = 'o';  
printf("%s\n", a);           // dong
```

◆ Συνένωση:

strcat

```
char a[10] = "abc";  
strcat(a, "def");  
printf("%s\n", a);           // abcdef
```


Ταξινόμηση

(i)

- ◆ **Πρόβλημα:** να αναδιαταχθούν τα στοιχεία ενός πίνακα ακεραίων σε αύξουσα σειρά
- ◆ Μια από τις σημαντικότερες εφαρμογές των ηλεκτρονικών υπολογιστών
- ◆ Βασική διαδικασία: εναλλαγή τιμών

```
PROC swap (int &x, int &y) {  
    int save;  
    save = x; x = y; y = save;  
}
```

5	7	2	1	8	3	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Συγκριτικές Μέθοδοι Ταξινόμησης

- **Αντιμετάθεση** κάθε ζεύγους στοιχείων εκτός διάταξης (bubble sort).
- **Εισαγωγή** στοιχείου σε κατάλληλη θέση ταξινομημένου υποπίνακα (insertion sort).
- **Επιλογή** μεγαλύτερου στοιχείου και τοποθέτηση στο τέλος (selection sort, heapsort).
- **Συγχώνευση** ταξινομημένων πινάκων :
Διαίρεση στη μέση, ταξινόμηση, συγχώνευση (mergesort).
- **Διαίρεση** σε μικρότερα και μεγαλύτερα από
στοιχείο-διαχωρισμού και ταξινόμηση (quicksort).

5	7	2	1	8	3	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---

◆ Ταξινόμηση με επιλογή (selection sort)

```
FOR (i, 0 TO n-2) {  
    int minj = i;  
    FOR (j, i+1 TO n-1)  
        if (a[j] < a[minj]) minj = j;  
    swap(a[i], a[minj]);  
}
```

◆ Πλήθος συγκρίσεων;

της τάξης του $n^2 \Rightarrow O(n^2)$

5	7	2	1	8	3	6	4
---	---	---	---	---	---	---	---

Ταξινόμηση

(iii)

◆ Ταξινόμηση με εισαγωγή (insertion sort)

```
FOR (i, 1 TO n-1) {  
    int x = a[i], j = i;  
    while (j > 0 AND a[j-1] > x) {  
        a[j] = a[j-1]; j = j-1;  
    }  
    a[j] = x;  
}
```

5	7	2	1	8	3	6	4	$i = 1$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

5	7	2	1	8	3	6	4	$i = 2$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

2	5	7	1	8	3	6	4	$i = 3$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

1	2	5	7	8	3	6	4	$i = 4$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

1	2	5	7	8	3	6	4	$i = 5$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

1	2	3	5	7	8	6	4	$i = 6$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

1	2	3	5	6	7	8	4	$i = 7$
---	---	---	---	---	---	---	---	---------

1	2	3	4	5	6	7	8	
---	---	---	---	---	---	---	---	--

◆ Ταξινόμηση με εισαγωγή (insertion sort)

```
FOR (i, 1 TO n-1) {  
    int x = a[i], j = i;  
    while (j > 0 AND a[j-1] > x) {  
        a[j] = a[j-1]; j = j-1;  
    }  
    a[j] = x;  
}
```

◆ Πλήθος συγκρίσεων;

της τάξης του $n^2 \Rightarrow O(n^2)$

◆ Μέθοδος της φουσαλίδας (bubble sort)

```
FOR (i, 0 TO n-2)
  FOR (j, n-2 DOWNT0 i)
    if (a[j] > a[j+1])
      swap(a[j], a[j+1]);
```

◆ Πλήθος συγκρίσεων

$$(n-1) + (n-2) + \dots + 2 + 1 = n(n-1) / 2$$

της τάξης του $n^2 \Rightarrow O(n^2)$

Ταξινόμηση

(vi)

◆ Παράδειγμα εκτέλεσης ($n = 7$)

input: 12 4 9 8 6 7 5

12 4 9 8 6 **5** 7
12 4 9 8 **5** 6 7
12 4 9 **5** 8 6 7
12 4 **5** 9 8 6 7
12 **4** 5 9 8 6 7
 $i = 0$ **4** 12 5 9 8 6 7

4 12 5 9 8 **6** 7
4 12 5 9 **6** 8 7
4 12 5 **6** 9 8 7
4 12 **5** 6 9 8 7
 $i = 1$ **4** 5 12 6 9 8 7

4 5 12 6 9 **7** 8
4 5 12 6 **7** 9 8
4 5 12 **6** 7 9 8
 $i = 2$ 4 5 **6** 12 7 9 8

4 5 6 12 7 **8** 9
4 5 6 12 **7** 8 9
 $i = 3$ 4 5 6 **7** 12 8 9

4 5 6 7 12 **8** 9
 $i = 4$ 4 5 6 7 **8** 12 9

$i = 5$ 4 5 6 7 8 **9** 12

◆ Βελτίωση με έλεγχο εναλλαγών

```
FOR (i, 0 TO n-2) {  
    bool swaps = false;  
    FOR (j, n-2 DOWNT0 i)  
        if (a[j] > a[j+1]) {  
            swaps = true;  
            swap(a[j], a[j+1]);  
        }  
    if (NOT swaps) break;  
}
```

◆ Στην καλύτερη περίπτωση απαιτούνται $O(n)$ συγκρίσεις, στη χειρότερη $O(n^2)$

◆ Ταξινόμηση με συγχώνευση (merge sort)

- Διαιρώ την ακολουθία των αριθμών σε δύο μέρη
- Με αναδρομικές κλήσεις, ταξινομώ τα δύο μέρη ανεξάρτητα
- Συγχωνεύω τα δύο ταξινομημένα μέρη

◆ Στη χειρότερη περίπτωση απαιτούνται $O(n \log n)$ συγκρίσεις

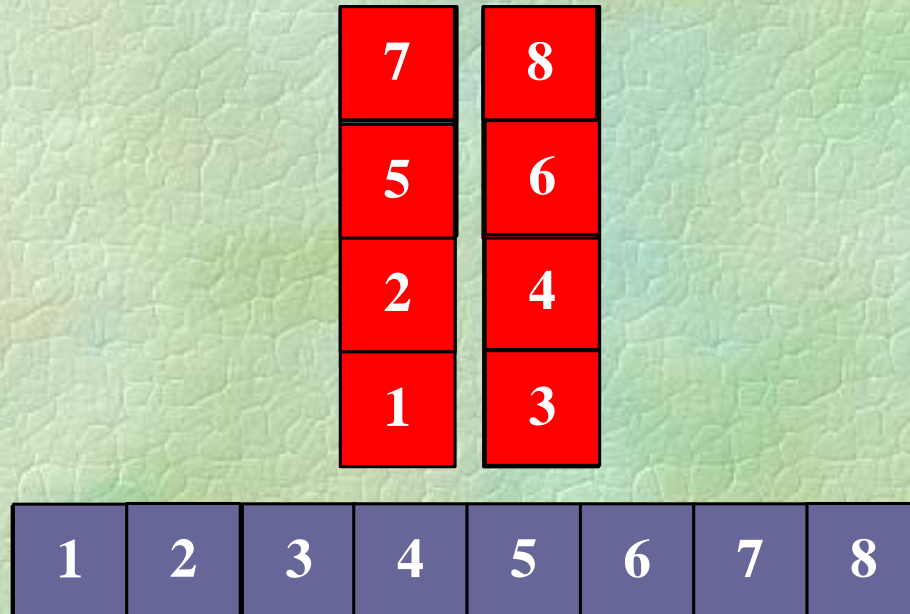
◆ Ταξινόμηση με συγχώνευση

```
PROC mergesort (int a[], int first,  
               int last) {  
    int mid;  
  
    if (first >= last) return;  
  
    mid = (first + last) / 2;  
    mergesort(a, first, mid);  
    mergesort(a, mid+1, last);  
    merge(a, first, mid, last);  
}
```


Ταξινόμηση

(x)

◆ Συγχώνευση



◆ Συγχώνευση

```
PROC merge (int a[], int first,
           int mid, int last) {
    int b[last-first+1];

    int i = first, j = mid+1, k = 0;
    while (i <= mid AND j <= last)
        if (a[i] < a[j]) b[k++] = a[i++];
        else             b[k++] = a[j++];

    while (i <= mid)     b[k++] = a[i++];
    while (j <= last)   b[k++] = a[j++];

    FOR (i, 0 TO k-1)   a[first+i] = b[i];
}
```


Ταξινόμηση

(xii)

◆ Διαδοχικές ταξινομήσεις και συγχωνεύσεις



◆ Ταξινόμηση με συγχώνευση (διαφορετικά)

```
PROC mergesort (int n, int *a) {  
    int mid;  
  
    if (n <= 1) return;  
  
    mid = n/2;  
    mergesort(mid, a);  
    mergesort(n-mid, a+mid);  
    merge(a, a+mid, a+n);  
}
```


◆ Συγχώνευση (διαφορετικά)

```
PROC merge (int *first, int *mid,
            int *last) {
    int b[last-first];
    int *i = first, *j = mid, *k = b;

    while (i < mid AND j < last)
        if (*i < *j) *k++ = *i++;
        else         *k++ = *j++;

    while (i < mid) *k++ = *i++;
    while (j < last) *k++ = *j++;

    i = first; j = b;
    while (j < k) *i++ = *j++;
}
```


◆ Ταξινόμηση με διαμέριση (quick sort)

```
PROC quicksort (int a[], int first,  
               int last) {  
    int i;  
    if (first >= last) return;  
    i = partition(a, first, last);  
    quicksort(a, first, i);  
    quicksort(a, i+1, last);  
}
```


◆ Διαμέριση (partition)

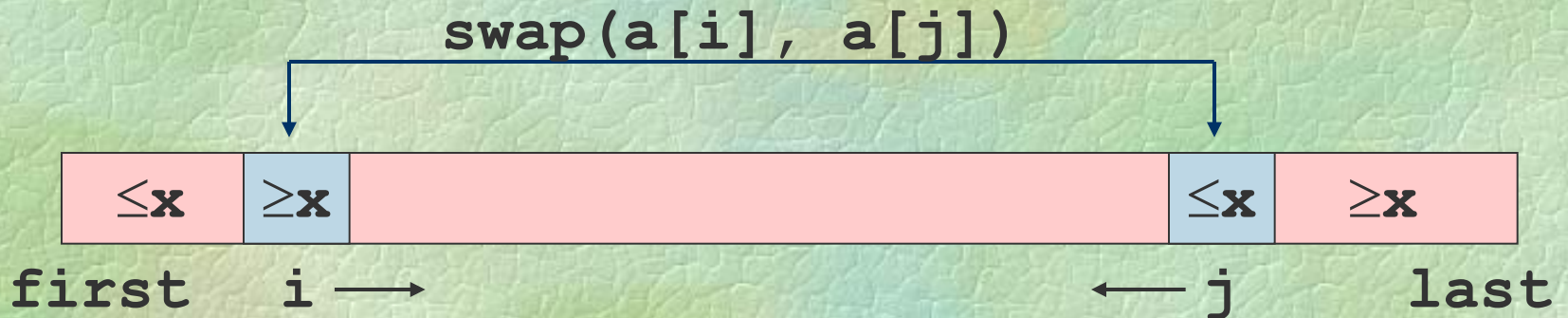
```
FUNC int partition (int a[], int first,
                  int last) {
    // επιλογή ενός στοιχείου
    int x = a[(first + last)/2];
    int i = first, j = last;

    while (true) {
        while (a[i] < x) i++;
        while (x < a[j]) j--;
        if (i >= j) break;
        swap(a[i], a[j]); i++; j--;
    }
    return j;
}
```

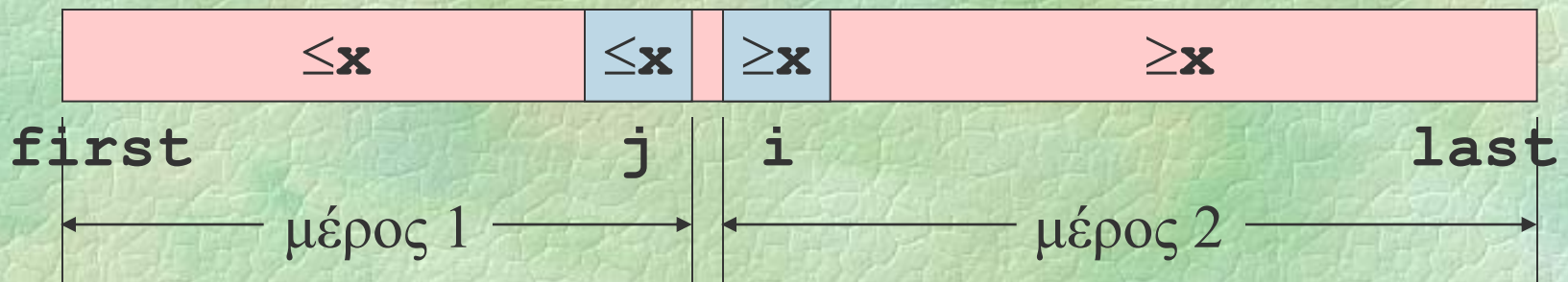

Ταξινόμηση

(xvii)

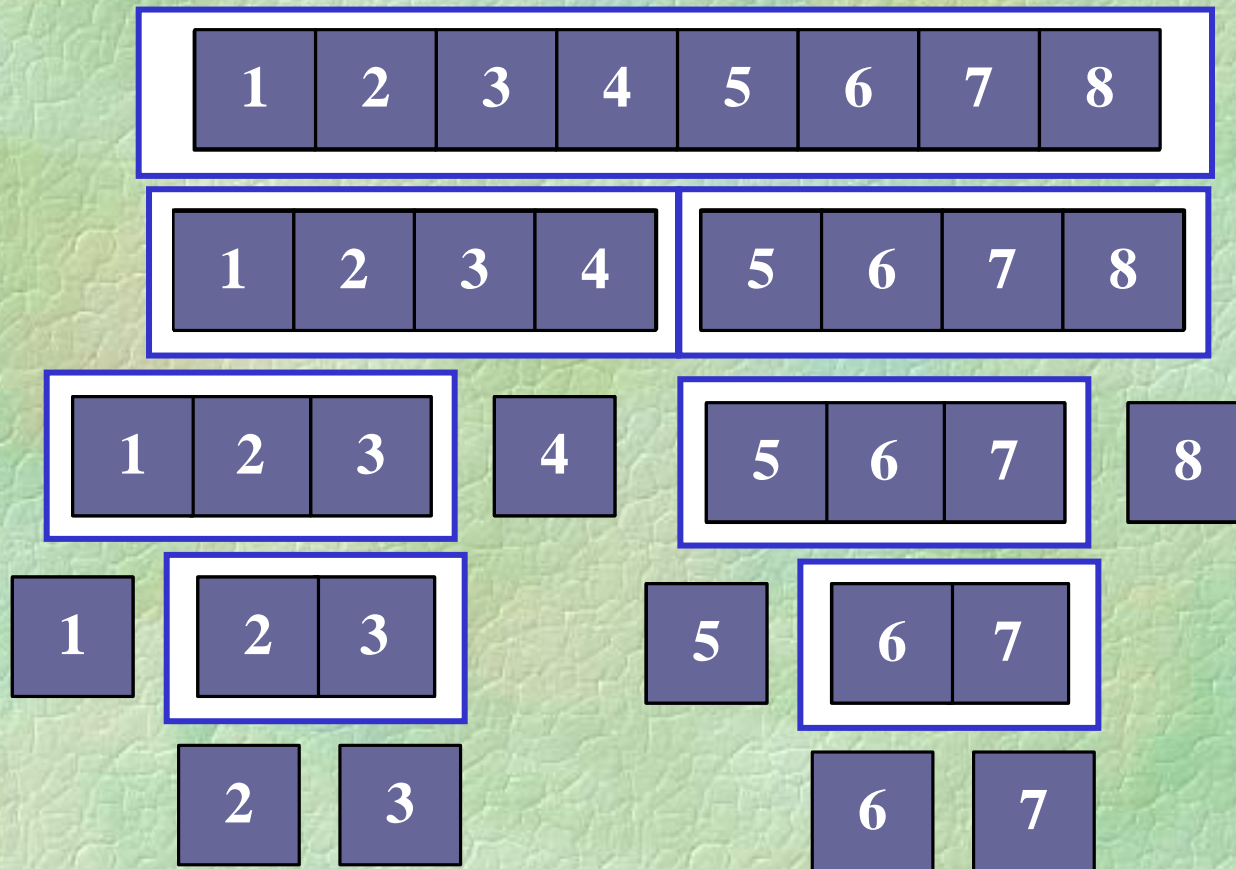
- ◆ Σε κάθε βήμα της διαμέρισης



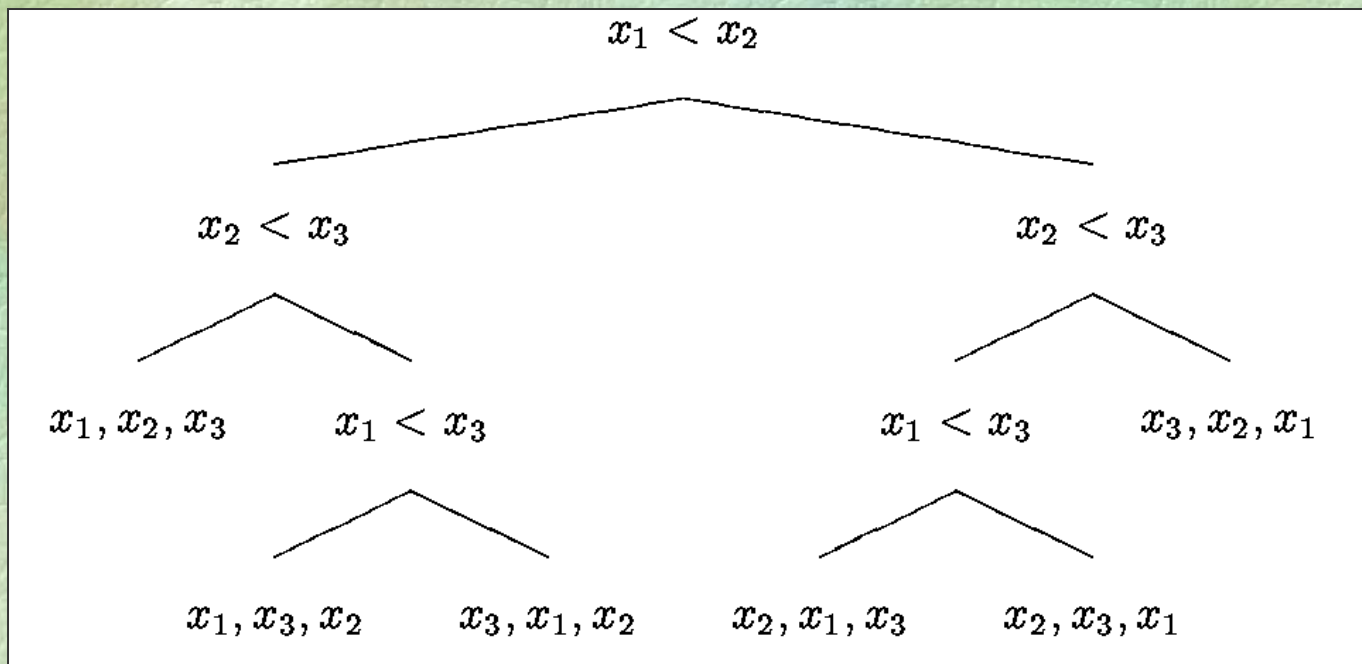
- ◆ Μετά τη διαμέριση



◆ Διαδοχικές διαμερίσεις και ταξινομήσεις



- ◆ Οποιοσδήποτε αλγόριθμος ταξινόμησης n αριθμών χρειάζεται τουλάχιστον $O(n \log n)$ συγκρίσεις



◆ Είδη ορθότητας

- Συντακτική
- Νοηματική
- Σημασιολογική

◆ Σημασιολογική ορθότητα ελέγχεται:

- με δοκιμές (testing)
- με μαθηματική επαλήθευση

◆ Παράδειγμα: εύρεση γινομένου

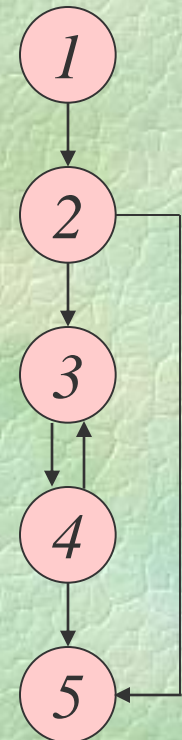
```
FUNC int mult (int x, int y) {  
    int i, z = 0;  
    FOR (i, 1 TO x) z = z+y;  
    return z;  
}
```

◆ Ισχυρισμός:

- Η συνάρτηση υπολογίζει το γινόμενο δυο φυσικών αριθμών x και y

- ◆ Εντοπισμός σημείων όπου θα γραφούν βεβαιώσεις

```
FUNC int mult (int x, int y) {  
    int i, /*1*/ z = 0; /*2*/  
    FOR (i, 1 TO x)  
        /*3*/ z = z+y /*4*/;  
    /*5*/ return z;  
}
```



- ◆ Καταγραφή όλων των δυνατών τρόπων ροής ελέγχου

◆ Βεβαιώσεις

*/*1 – Βεβαίωση εισόδου: $x \geq 0, y \geq 0$ */*

z = 0;

*/*2 : $x \geq 0, y \geq 0, z = 0$ */*

FOR (i, 1 TO x)

*/*3 – Αναλλοίωτη βρόχου:*

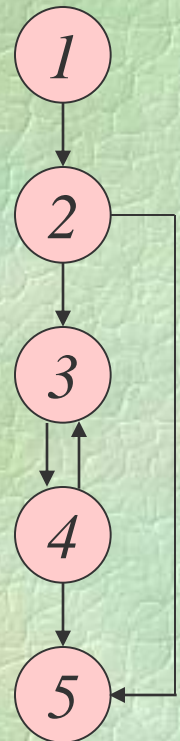
$x \geq 0, y \geq 0, i \leq x, z = y * (i-1)$ */

z = z+y

*/*4 : $x \geq 0, y \geq 0, z = y * i$ */ ;*

*/*5 – Βεβαίωση εξόδου: $x \geq 0, y \geq 0, z = y * x$ */*

return z;



◆ Επαλήθευση: για κάθε δυνατό τρόπο ροής

$1 \rightarrow 2, 2 \rightarrow 3, 2 \rightarrow 5, 3 \rightarrow 4, 4 \rightarrow 3, 4 \rightarrow 5$

- ◆ Παράδειγμα: υπολογισμός δύναμης με επαναλαμβανόμενο τετραγωνισμό (Gauss)

```
FUNC REAL power (REAL y, int j) {  
    /*1*/ REAL x=y, z; int i=j; /*2*/  
    if (i<0) { /*3*/ x=1/x; i=abs(i); }  
    /*4*/ z=1;  
    while (i>0) {  
        /*5*/ if (i%2 != 0) z=z*x;  
        /*6*/ x=x*x; i=i/2; /*7*/  
    }  
    /*8*/ return z;  
}
```


Ορθότητα

(vi)

◆ Ροή ελέγχου

◆ Βεβαιώσεις

/*1 – Βεβαίωση εισόδου: REAL y, int j */

/*2 : $x = y, i = j$ */

/*3 : $i < 0$ */

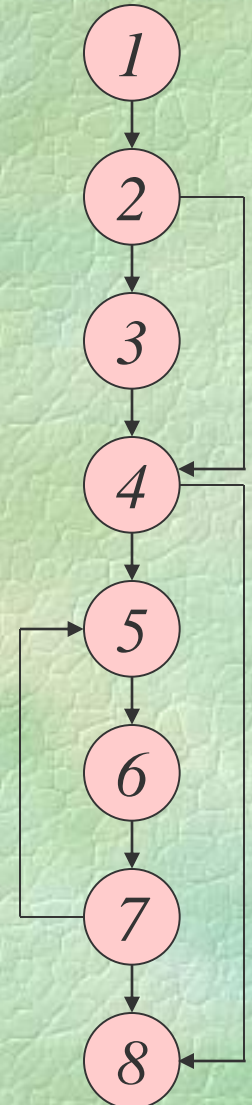
/*4 : $i \geq 0, y^j = x^i$ */

/*5 – Αναλλοίωτη βρόχου: $i \geq 0, y^j = z * x^i$ */

/*6 : $i \geq 0, y^j = z * x^i$ αν i άρτιος,
 $y^j = z * x^{i-1}$ αν i περιττός */

/*7 : $y^j = z * x^i$ */

/*8 – Βεβαίωση εξόδου: $y^j = z$ */



◆ Μερική ορθότητα (partial correctness)

- αν το πρόγραμμα σταματήσει, τότε το αποτέλεσμα θα είναι ορθό

◆ Ολική ορθότητα (total correctness)

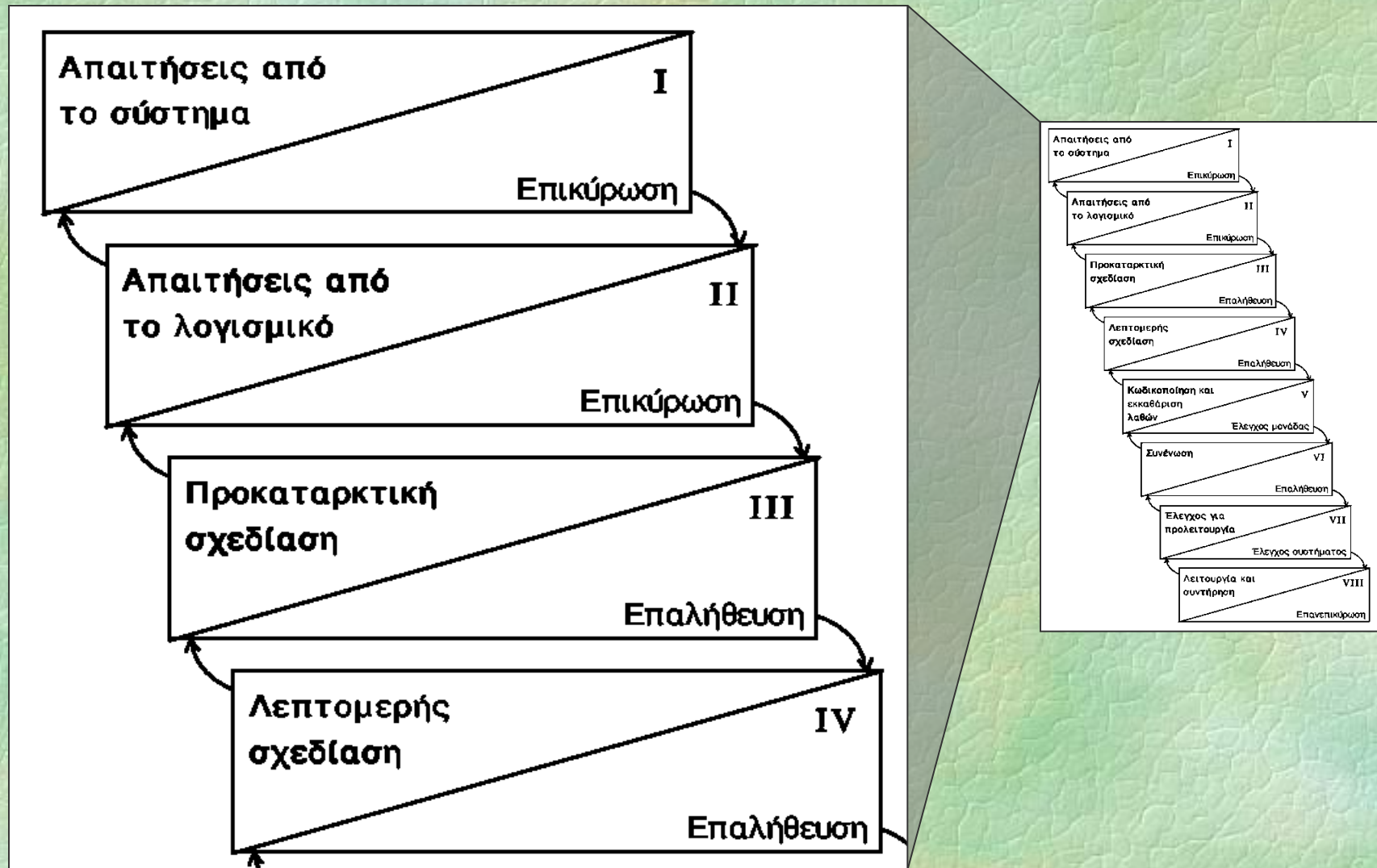
- το πρόγραμμα θα σταματήσει και το αποτέλεσμα θα είναι ορθό

Τεχνολογία λογισμικού

- ◆ Software engineering
- ◆ Ανάπτυξη λογισμικού που να εξασφαλίζει:
 - παράδοση μέσα σε προδιαγεγραμμένα χρονικά όρια
 - κόστος μέσα σε προδιαγεγραμμένα όρια
 - καλή ποιότητα
 - αξιοπιστία
 - δυνατή και όχι δαπανηρή συντήρηση
- ◆ Μοντέλα κύκλου ζωής λογισμικού

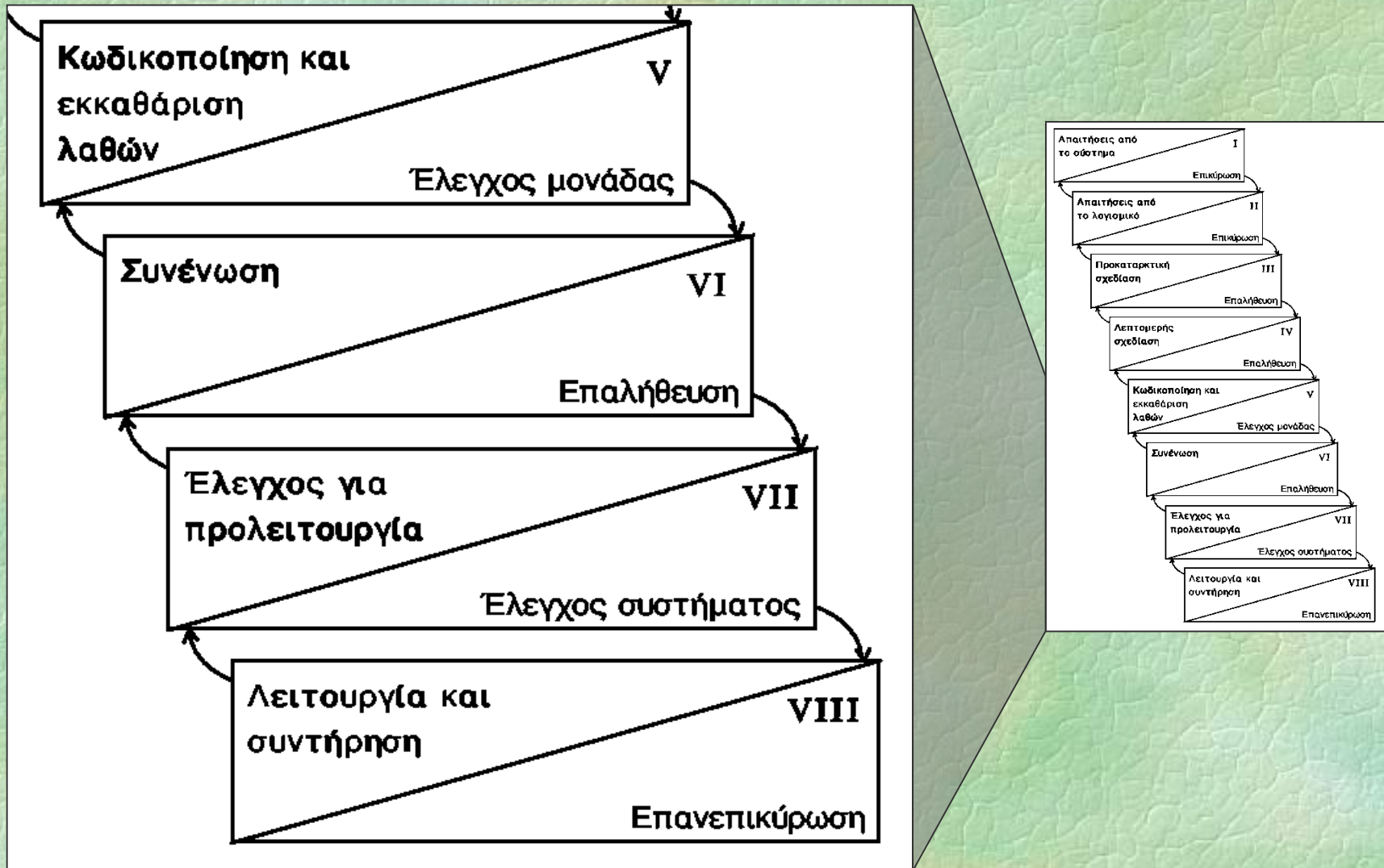
Μοντέλο του καταρράκτη

(i)

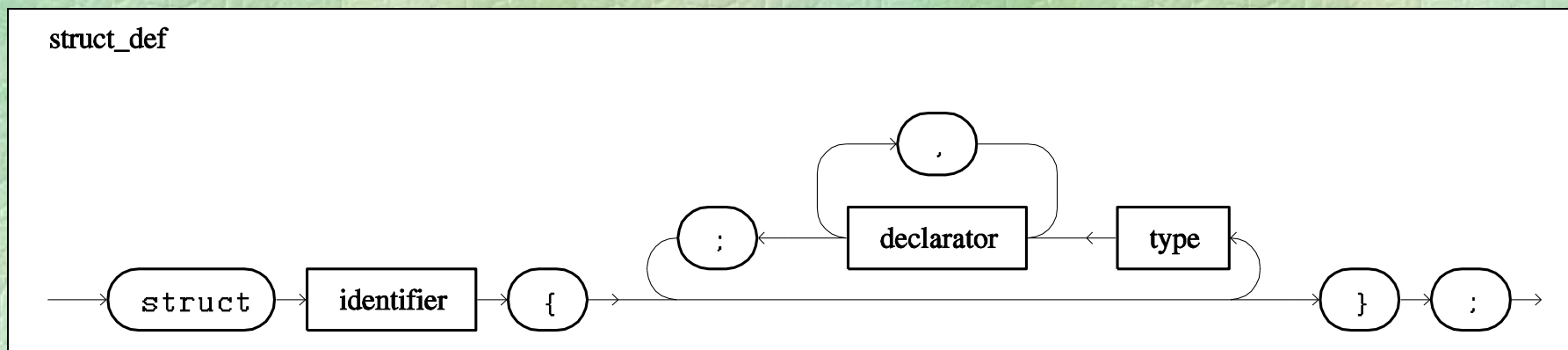


Μοντέλο του καταρράκτη

(ii)



- ◆ **Δομή** (struct): δομημένη μεταβλητή που αποτελείται από πλήθος επιμέρους μεταβλητών πιθανώς διαφορετικών τύπων
- ◆ Οι επιμέρους μεταβλητές λέγονται **πεδία** και φέρουν ξεχωριστά ονόματα
- ◆ **Σύνταξη**



◆ Παράδειγμα

```
struct student {
    char firstName[20];
    char lastName[30];
    int  class, room;
    int  grade[15];
};
```

```
student s;
```

```
...
```

```
s.class = 3;
```

```
WRITELN(s.firstName, s.lastName);
```

s

firstName

lastName

class

room

grade[0]

grade[1]

...

grade[14]

◆ Παράδειγμα: μέσος όρος βαθμολογίας

```
FUNC REAL average (student s) {  
    REAL sum = 0.0;  
    int i;  
  
    FOR (i, 0 TO 14) sum += s.grade[i];  
    return sum / 15;  
}
```


Δομές μέσα σε δομές

(iv)

```
struct date {  
    int day, month, year;  
};
```

```
struct student {  
    ...  
    date birthDate;  
    ...  
};  
...
```

```
WRITELN(s.birthDate.day, "/",  
        s.birthDate.month, "/",  
        s.birthDate.year);
```


Τι είναι οι μιγαδικοί αριθμοί;



Wikipedia: Στα μαθηματικά, οι μιγαδικοί αριθμοί είναι μία επέκταση του συνόλου των πραγματικών αριθμών με την προσθήκη του στοιχείου i , που λέγεται φανταστική μονάδα, και έχει την ιδιότητα:

$$i^2 = -1$$

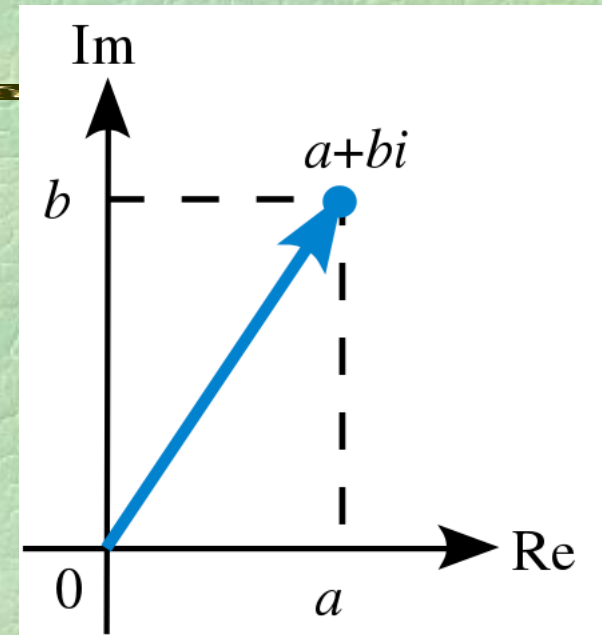
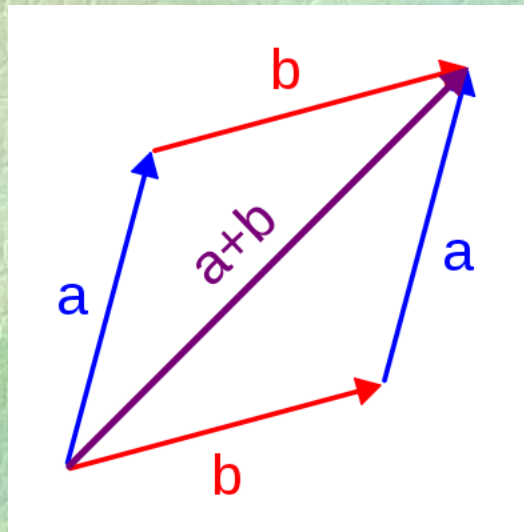
Κάθε μιγαδικός αριθμός μπορεί να γραφτεί στη μορφή $a + i b$, όπου $a, b \in \mathbf{R}$

Μιγαδικοί αριθμοί

a: πραγματικό μέρος

b: φανταστικό μέρος

Αριθμητικές πράξεις, π.χ.
πρόσθεση



Για περισσότερα, *ρωτήστε το μαθηματικό σας!*

Μιγαδικοί αριθμοί

```
struct complex { REAL re, im; };

FUNC complex cMult(complex x, complex y) {
    complex result;
    result.re = x.re * y.re - x.im * y.im;
    result.im = x.re * y.im + x.im * y.re;
    return result;
}

FUNC REAL cNorm(complex x) {
    return sqrt(x.re * x.re + x.im * x.im);
}
```


Ενώσεις

- ◆ Ένωση (union): όπως η δομή αλλά μόνο ένα από τα πεδία χρησιμοποιείται κάθε στιγμή!
- ◆ Παράδειγμα

```
union number { int i; REAL r; };
```

```
number n;
```

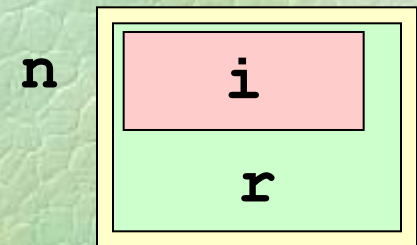
```
n.r = 1.2;
```

```
printf("%lf\n", n.r);
```

```
n.i = 42;
```

```
printf("%d\n", n.i);
```

```
printf("%lf\n", n.r);    /* λάθος! */
```



◆ Αρχείο (file): αποτελείται από

- μεταβλητό πλήθος στοιχείων
- αποθηκευμένων το ένα μετά το άλλο
- συνήθως στην περιφερειακή μνήμη (π.χ. στο δίσκο)
- εν γένει περιέχει δυαδικά δεδομένα (binary)
- ειδική περίπτωση: αρχείο κειμένου

◆ Παράδειγμα

```
#include <stdio>  
  
FILE *f;
```


◆ Άνοιγμα και κλείσιμο αρχείου

`fopen` `fclose`

◆ Διάβασμα και γράψιμο

`fputc` `fgetc`

`fputs` `fgets`

`fprintf` `fscanf`

`fwrite` `fread`

χαρακτήρες

συμβολοσειρές

οτιδήποτε

ακολουθίες byte

◆ Έλεγχος τέλους αρχείου

`feof`

Αρχεία κειμένου στη C++ (i)

- ◆ Παράδειγμα: μέτρηση αριθμού γραμμών και χαρακτήρων πολλών αρχείων που ονομάζονται στη γραμμή εντολών

```
#include <cstdio>

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

    for (i=1; i<argc; i++)
        // επεξεργασία του αρχείου argv[i]
}
```


◆ Παράδειγμα (συνέχεια)

```
// επεξεργασία του αρχείου argv[i]

FILE *f;
int chars = 0, lines = 0, c;

if ((f = fopen(argv[i], "rt")) == nullptr)
    return 1;

while ((c = fgetc(f)) != EOF) {
    chars++;
    if (c == '\n') lines++;
}
fclose(f);
printf("%d chars, %d lines, %s\n",
       chars, lines, argv[i]);
```


Δυναμικά αρχεία στη C++

(i)

◆ Παράδειγμα: αντιγραφή δυαδικών αρχείων

```
#include <cstdio>
```

```
int main (int argc, char * argv[]) {  
    FILE *fin, *fout;
```

```
    fin = fopen(argv[1], "rb");
```

```
    if (fin == nullptr) return 1;
```

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

```
    if (fout == nullptr) return 2;
```


◆ Παράδειγμα (συνέχεια)

```
while (!feof(fin)) {  
    unsigned char buffer[1000];  
    unsigned int count;  
  
    count = fread(buffer, 1, 1000, fin);  
    fwrite(buffer, 1, count, fout);  
}  
  
fclose(fin);  
fclose(fout);  
}
```


- ◆ Κόστος της εκτέλεσης ενός αλγορίθμου που επιλύει κάποιο πρόβλημα, συναρτήσει του μεγέθους του προβλήματος
 - **χρόνος**: αριθμός υπολογιστικών βημάτων
 - **χώρος**: απαιτούμενο μέγεθος μνήμης
- ◆ Συναρτήσεις πολυπλοκότητας
 - θετικές και αύξουσες
 - π.χ. $f(n) = n(n-1) / 2$

◆ Άνω φράγμα: O

$$O(f) = \{ g \mid \exists c. \exists n_0. \forall n > n_0. g(n) < c f(n) \}$$

◆ Κάτω φράγμα: Ω

$$\Omega(f) = \{ g \mid \exists c. \exists n_0. \forall n > n_0. g(n) > c f(n) \}$$

◆ Τάξη μεγέθους: Θ

$$\Theta(f) = \{ g \mid \exists c_1, c_2. \exists n_0. \forall n > n_0. \\ c_1 < g(n) / f(n) < c_2 \}$$

- Γράφουμε $g = O(f)$ αντί $g \in O(f)$
- π.χ. $5n^2 + 4n - 2n \log n + 7 = \Theta(n^2)$

Πολυπλοκότητα

(iii)

$$\begin{aligned} O(1) &< O(\alpha(n)) < O(\log^* n) < O(\log n) < O(\sqrt{n}) \\ &< O(n) < O(n \log n) \\ &< O(n^2) < O(n^2 \log^5 n) \\ &< O(n^3) < \dots < \text{Poly} \\ &< O(2^n) < O(n!) < O(n^n) \\ &< O(2^{2^n}) < \dots < O(A(n)) \end{aligned}$$

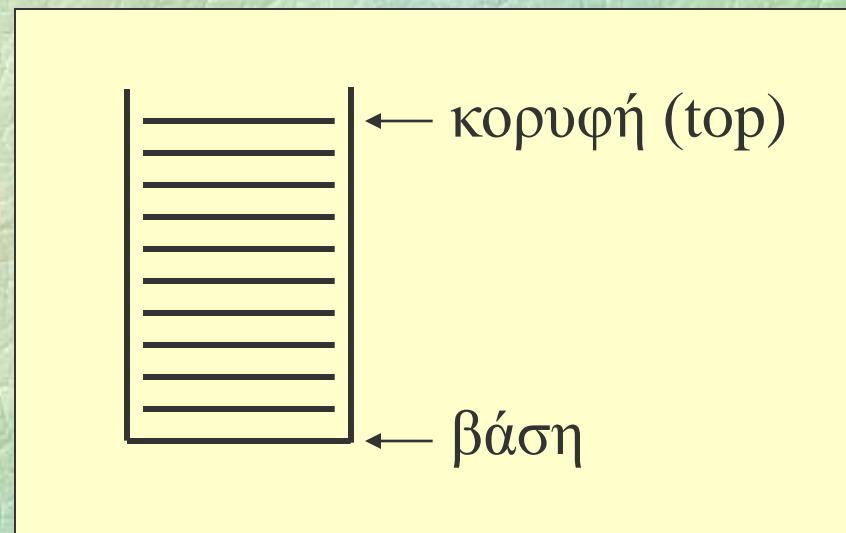
$$\text{Poly} = n^{O(1)}$$

2^{2^n} η υπερεκθετική συνάρτηση: $2^{2^{2^{\dots^2}}}$ (n φορές)
και $\log^* n$ η αντίστροφή της

$A(n)$ η συνάρτηση Ackermann και $\alpha(n)$ η αντίστροφή της

◆ Last In First Out (LIFO)

ό,τι μπαίνει τελευταίο, βγαίνει πρώτο



◆ Αφηρημένος τύπος δεδομένων

- **stack**: υλοποιεί τη στοίβα (ακεραίων αριθμών)
- Ορίζονται οι απαραίτητες πράξεις:
 - **(stack)** δημιουργεί μια άδεια στοίβα
 - **empty** ελέγχει αν μια στοίβα είναι άδεια
 - **push** προσθήκη στοιχείου στην κορυφή
 - **pop** αφαίρεση στοιχείου από την κορυφή

- Ο τρόπος υλοποίησης των παραπάνω δεν ενδιαφέρει αυτούς που θα τα χρησιμοποιήσουν
- Τέτοιοι τύποι λέγονται **αφηρημένοι** (ΑΤΔ)

- ◆ Αντικείμενα (objects) στη C++
Υλοποίηση στοίβας με πίνακα

```
class stack {  
public:  
    stack () ,  
    bool empty () ;  
    void push (int x) ;  
    int pop () ;  
private:  
    const int size = 100 ;  
    int data[size] ;  
    int top ;  
};
```

κατασκευαστής (constructor)

μέθοδοι (methods)

πεδία (fields)
όπως στο struct

◆ Παράδειγμα χρήσης

```
PROGRAM { // stack_demo

    stack s; // καλείται ο κατασκευαστής
    int i;

    FOR (i, 1 TO 10) s.push(i);

    while (!s.empty())
        WRITELN(s.pop());
}
```


◆ Κατασκευή άδειας στοίβας

```
stack::stack () {  
    top = 0;  
}
```

◆ Έλεγχος αν μια στοίβα είναι άδεια

```
bool stack::empty () {  
    return top == 0;  
}
```


◆ Προσθήκη στοιχείου

```
void stack::push (int x) {  
    data[top++] = x;  
}
```

◆ Αφαίρεση στοιχείου

```
int stack::pop () {  
    return data[--top];  
}
```


◆ Στατικές μεταβλητές: γενικές ή τοπικές

- ο χώρος στη μνήμη όπου τοποθετούνται δεσμεύεται κάθε φορά που καλείται η ενότητα όπου δηλώνονται και αποδεσμεύεται στο τέλος της κλήσης

◆ Δυναμικές μεταβλητές

- ο χώρος στη μνήμη όπου τοποθετούνται δεσμεύεται και αποδεσμεύεται δυναμικά, δηλαδή με φροντίδα του προγραμματιστή
- η προσπέλαση σε δυναμικές μεταβλητές γίνεται με τη χρήση δεικτών (pointers)

- ◆ Με τη βοήθεια των δυναμικών μεταβλητών υλοποιούνται **δυναμικοί τύποι δεδομένων**
 - συνδεδεμένες λίστες,
 - δέντρα, γράφοι, κ.λπ.
- ◆ Πλεονεκτήματα των δυναμικών τύπων
 - μπορούν να περιέχουν **απεριόριστο πλήθος** στοιχείων (αν το επιτρέπει η διαθέσιμη μνήμη)
 - κάποιες πράξεις υλοποιούνται **αποδοτικότερα** (π.χ. προσθήκη και διαγραφή στοιχείων σε ενδιάμεση θέση)

Δυναμική παραχώρηση μνήμης (i)

◆ Δέσμευση

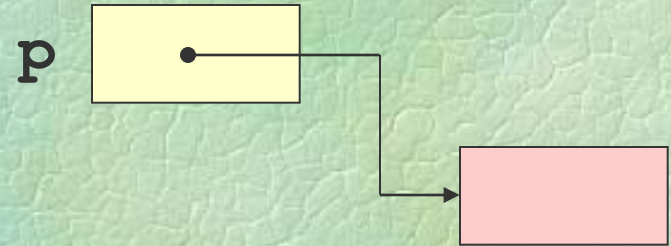
(C++)

- δημιουργία μιας νέας δυναμικής μεταβλητής

```
int *p;
```

```
...
```

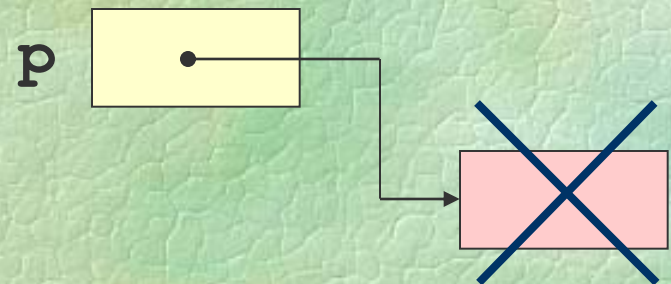
```
p = new int;
```



◆ Αποδέσμευση

- καταστροφή μιας δυναμικής μεταβλητής

```
delete p;
```



Δυναμική παραχώρηση μνήμης (ii)

◆ Δέσμευση

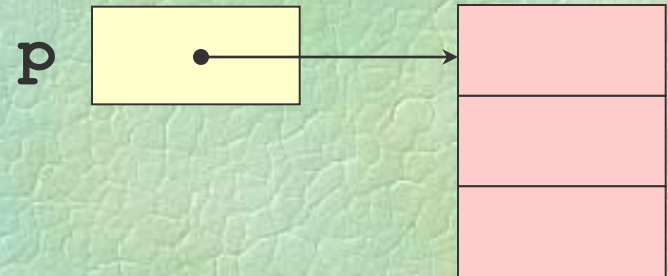
- δημιουργία πίνακα μεταβλητού μεγέθους

```
int *p, n;
```

```
...
```

```
n = 3;
```

```
p = new int[n];
```



// αν δεν υπάρχει αρκετή μνήμη, προκύπτει **εξαίρεση**

// σε αυτό το μάθημα δε θα μιλήσουμε για εξαιρέσεις στη C++

◆ Αποδέσμευση

```
delete [] p;
```


Δυναμική παραχώρηση μνήμης (iii)

◆ Δέσμευση και αποδέσμευση σε C

```
#include <stdlib.h>
```

```
int *p;
```

```
...
```

```
p = new int[42];
```

```
...
```

```
delete [] p;
```

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

```
if (p == NULL) {
```

```
    printf("Out of memory!\n");
```

```
    exit(1);
```

```
}
```

```
...
```

```
free(p);
```

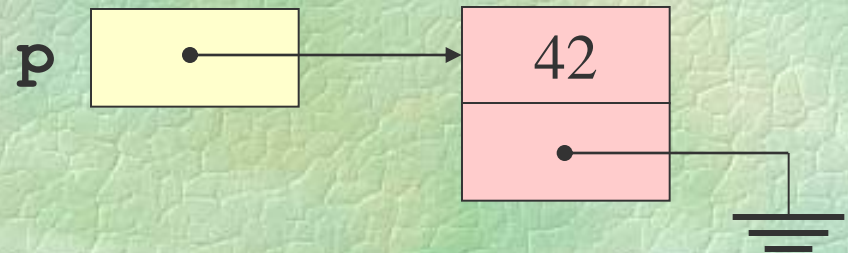

Σύνθετες δυναμικές μεταβλητές (i)

◆ Παράδειγμα

```
struct thing {  
    int num;  
    int *ptr;  
};
```

```
thing *p;
```

```
p = new thing;  
p->num = 42;  
p->ptr = nullptr;
```



p->something ισοδύναμο με **(*p).something**

Σύνθετες δυναμικές μεταβλητές (ii)

◆ Παράδειγμα (συνέχεια)

`q = p;`

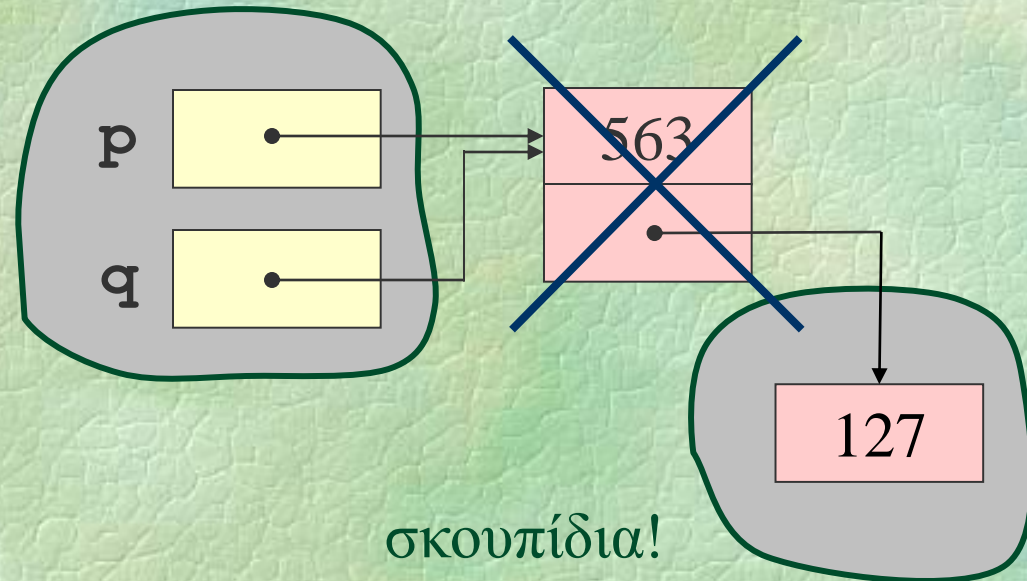
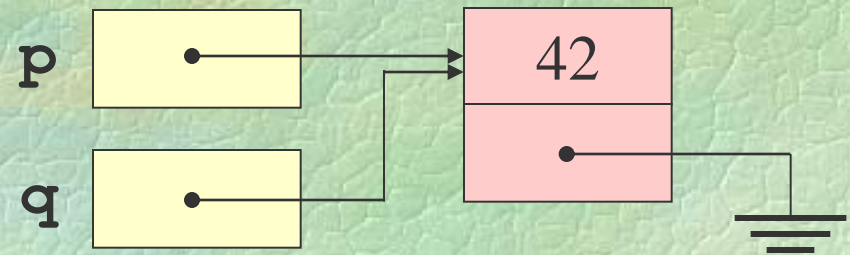
`q->num = 563;`

`q->ptr = new int;`

`*(q->ptr) = 127;`

`delete p;`

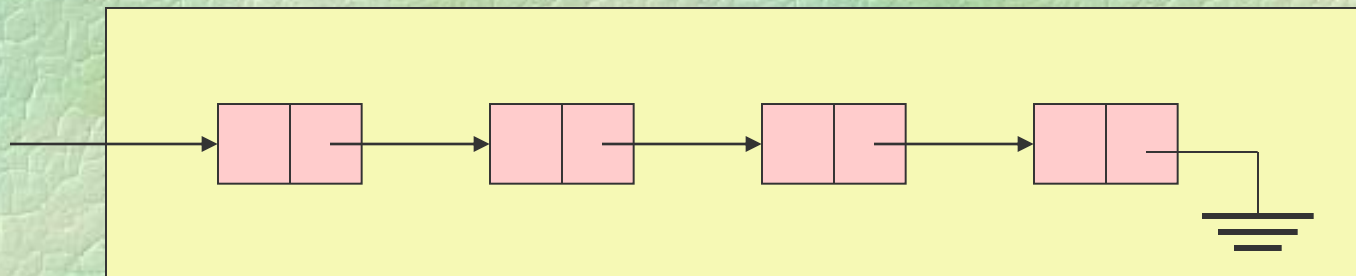
ξεκρέμαστοι δείκτες!



Συνδεδεμένες λίστες

(i)

- ◆ Είναι γραμμικές διατάξεις
- ◆ Κάθε κόμβος περιέχει:
 - κάποια πληροφορία
 - ένα σύνδεσμο στον **επόμενο** κόμβο
- ◆ Ο τελευταίος κόμβος έχει **κενό** σύνδεσμο

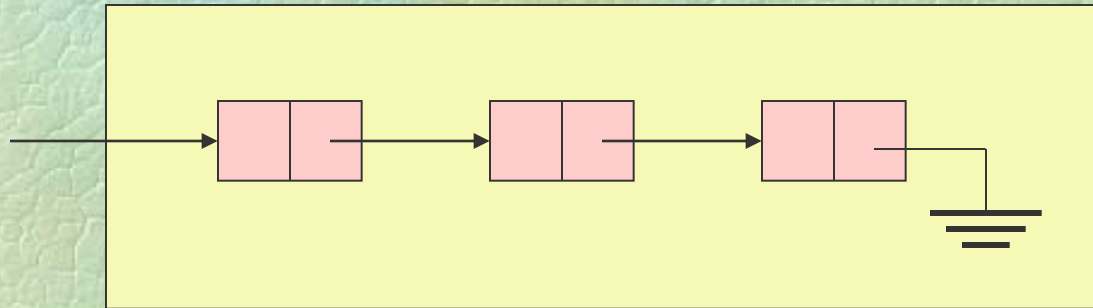


Συνδεδεμένες λίστες

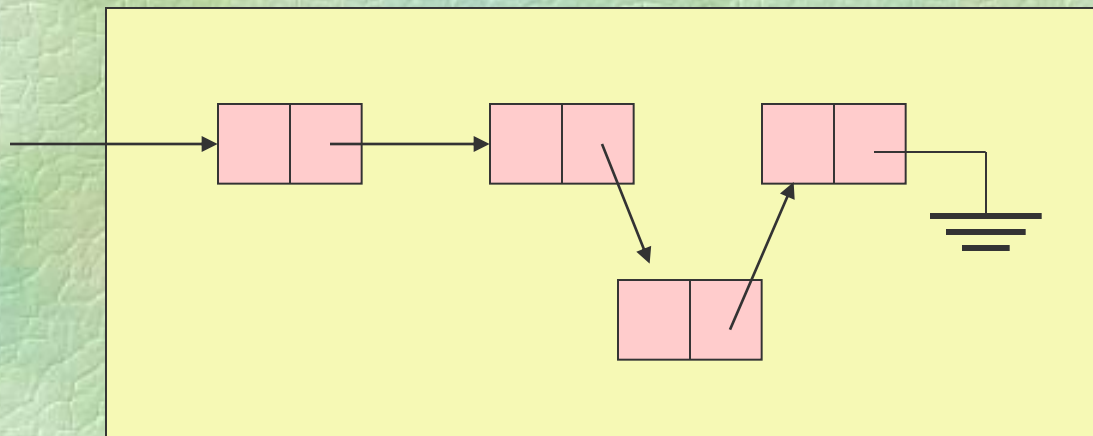
(ii)

◆ Ευκολότερη προσθήκη στοιχείων

- πριν



- μετά

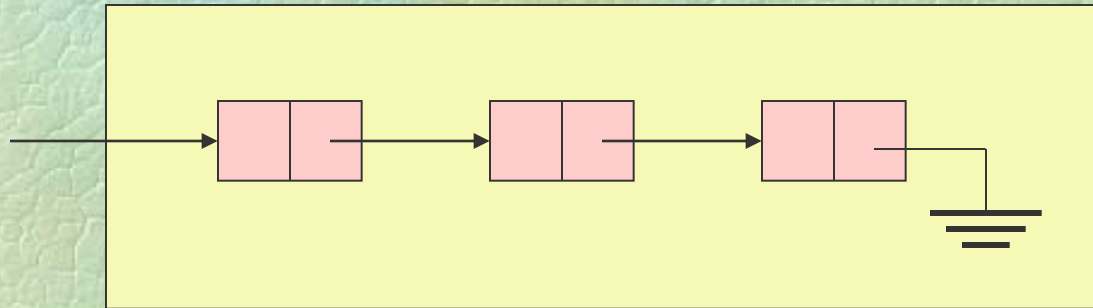


Συνδεδεμένες λίστες

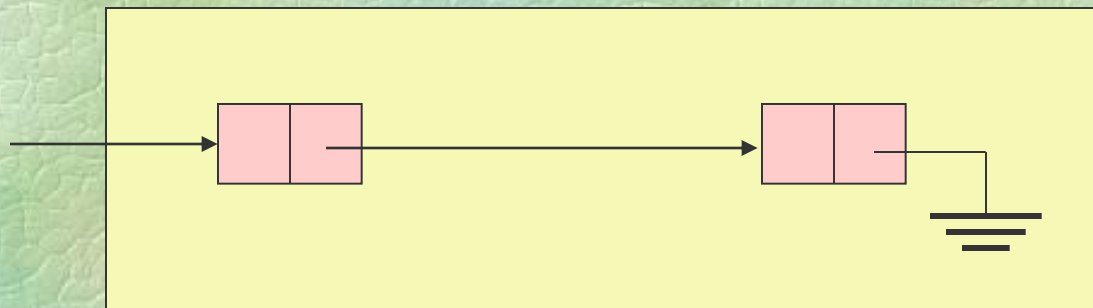
(iii)

◆ Ευκολότερη διαγραφή στοιχείων

- πριν



- μετά



◆ Τύπος κόμβου συνδεδεμένης λίστας

```
struct node {  
    int info;  
    node *next;    ← αυτοαναφορά!  
};
```

◆ Μια συνδεδεμένη λίστα παριστάνεται συνήθως με ένα δείκτη στο πρώτο της στοιχείο

```
node *head;
```


◆ Παράδειγμα κατασκευής λίστας

```
FUNC node* readListReversed () {  
    node *head = nullptr, *n;  
    int data;  
  
    while (scanf("%d", &data) == 1) {  
        n = new node;  
        n->info = data;  
        n->next = head;  
        head = n;  
    }  
    return head;  
}
```


◆ Εκτύπωση λίστας

```
PROC print (node *p) {  
    while (p != nullptr) {  
        WRITELN(p->info);  
        p = p->next;  
    }  
}
```

◆ Ισοδύναμα (για να μη «χαθεί» η αρχή **p**):

```
for (node *q = p; q != nullptr;  
     q = q->next)  
    WRITELN(q->info);
```


◆ Εκτύπωση λίστας με αναδρομή

```
PROC print (node *p) {  
    if (p != nullptr) { WRITELN(p->info) ;  
        print(p->next) ;  
    }  
}
```

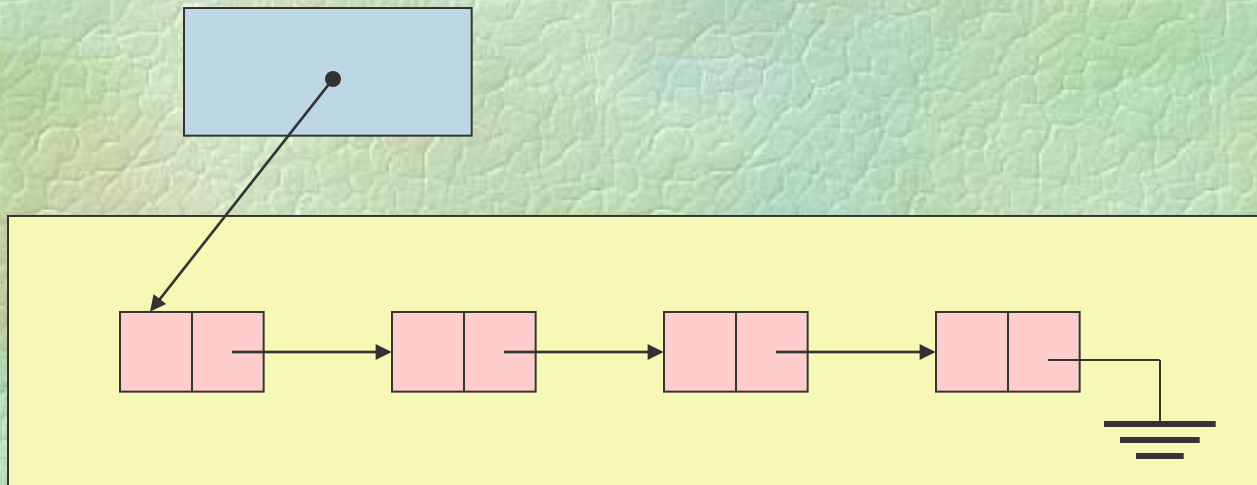
◆ Εκτύπωση λίστας αντίστροφα με αναδρομή

```
PROC printBack (node *p) {  
    if (p != nullptr) { printBack(p->next) ;  
        WRITELN(p->info) ;  
    }  
}
```


Στοιίβες (ξανά)

(i)

◆ Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα



Στοιίβες (ξανά)

(ii)

- ◆ Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα

```
class stack {  
public:  
    stack ();  
    bool empty ();  
    void push (int x);  
    int pop ();  
private:  
    struct node {  
        int info;  
        node *next;  
    };  
    node *head;  
};
```

ίδια όπως πριν!



◆ Κατασκευή άδειας στοίβας

```
stack::stack () {  
    head = nullptr;  
}
```

◆ Έλεγχος αν μια στοίβα είναι άδεια

```
bool stack::empty () {  
    return head == nullptr;  
}
```


◆ Προσθήκη στοιχείου

```
void stack::push (int x) {  
    node *p = new node;  
    p->info = x;  
    p->next = head;  
    head = p;  
}
```


◆ Αφαίρεση στοιχείου

```
int stack::pop () {  
    node *p = head;  
    int result = head->info;  
    head = head->next;  
    delete p;  
    return result;  
}
```


◆ Παράδειγμα χρήσης

```
PROGRAM { // stack_demo

    stack s; // καλείται ο κατασκευαστής
    int i;

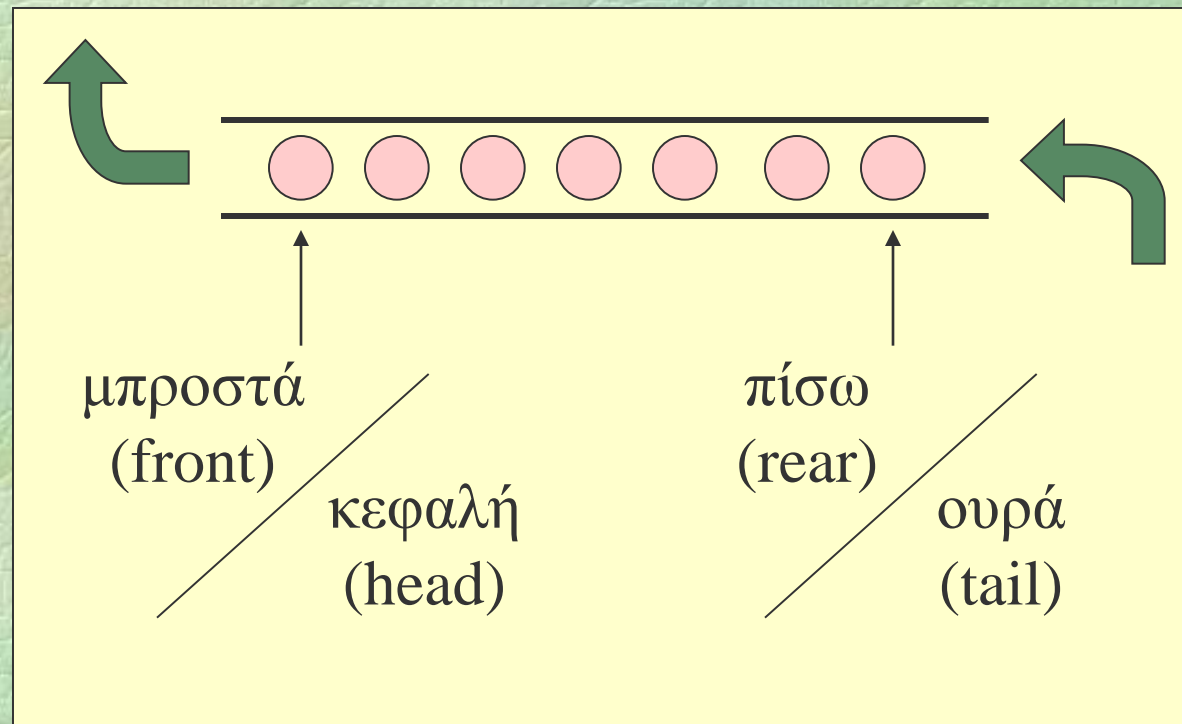
    FOR (i, 1 TO 10) s.push(i);

    while (!s.empty())
        WRITELN (s.pop());
}
```

Δεν άλλαξε
τίποτα!

◆ First In First Out (FIFO)

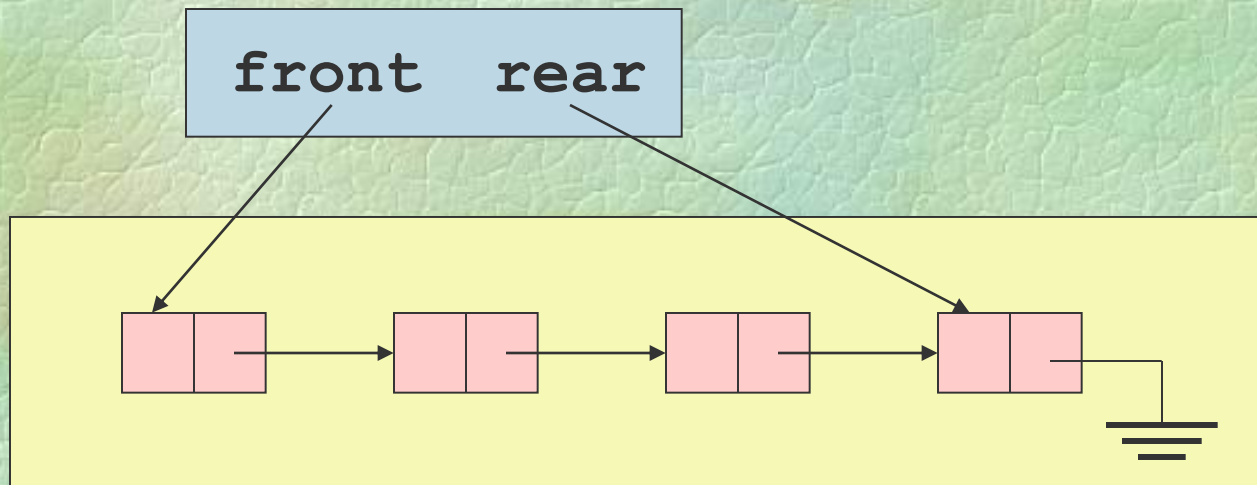
ό,τι μπαίνει πρώτο, βγαίνει πρώτο



◆ Αφηρημένος τύπος δεδομένων

- Ορίζεται ο τύπος **queue** που υλοποιεί την ουρά (ακεραίων αριθμών)
- Ορίζονται οι απαραίτητες πράξεις:
 - **(queue)** δημιουργεί μια άδεια ουρά
 - **empty** ελέγχει αν μια ουρά είναι άδεια
 - **enqueue** προσθήκη στοιχείου στο τέλος
 - **dequeue** αφαίρεση στοιχείου από την αρχή

◆ Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα



◆ Υλοποίηση με απλά συνδεδεμένη λίστα

```
class queue {  
public:  
    queue ();  
    bool empty ();  
    void enqueue (int x);  
    int dequeue ();  
private:  
    struct node {  
        int info;  
        node *next;  
    };  
    node *front, *rear;  
};
```


◆ Κατασκευή άδειας ουράς

```
queue::queue () {  
    front = rear = nullptr;  
}
```

◆ Έλεγχος αν μια ουρά είναι άδεια

```
bool queue::empty () {  
    return front == nullptr;  
}
```


◆ Προσθήκη στοιχείου

```
void queue::enqueue (int x) {  
    node *p = new node;  
    p->info = x;  
    p->next = nullptr;  
    if (front == nullptr)  
        front = p;  
    else  
        rear->next = p;  
    rear = p;  
}
```

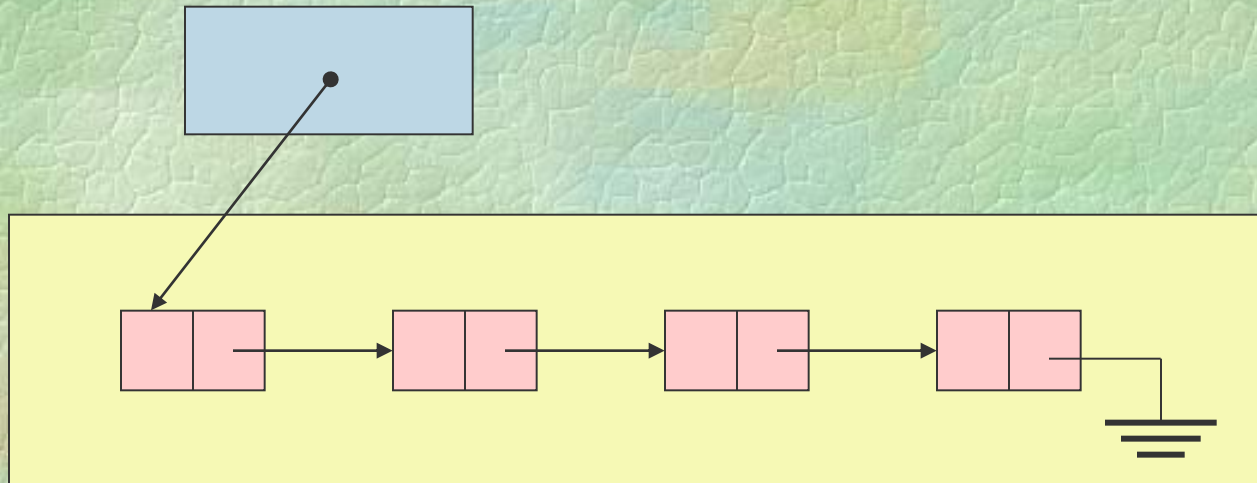

◆ Αφαίρεση στοιχείου

```
int queue::dequeue () {  
    node *p = front;  
    int result = front->info;  
    if (front == rear)  
        rear = nullptr;  
    front = front->next;  
    delete p;  
    return result;  
}
```


Γραμμικές λίστες

(i)

◆ Γενική μορφή απλά συνδεδεμένης λίστας



```
struct node {  
    int info;  
    node *next;  
};  
  
typedef node *list;
```


◆ Εισαγωγή στο τέλος $O(n)$

```
PROC insertAtRear (list &l, int data) {  
    node *p, *q;  
  
    p = new node;  
    p->info = data; p->next = nullptr;  
    if (l == nullptr) l = p;  
    else {  
        q = l;  
        while (q->next != nullptr)  
            q = q->next;  
        q->next = p;  
    }  
}
```

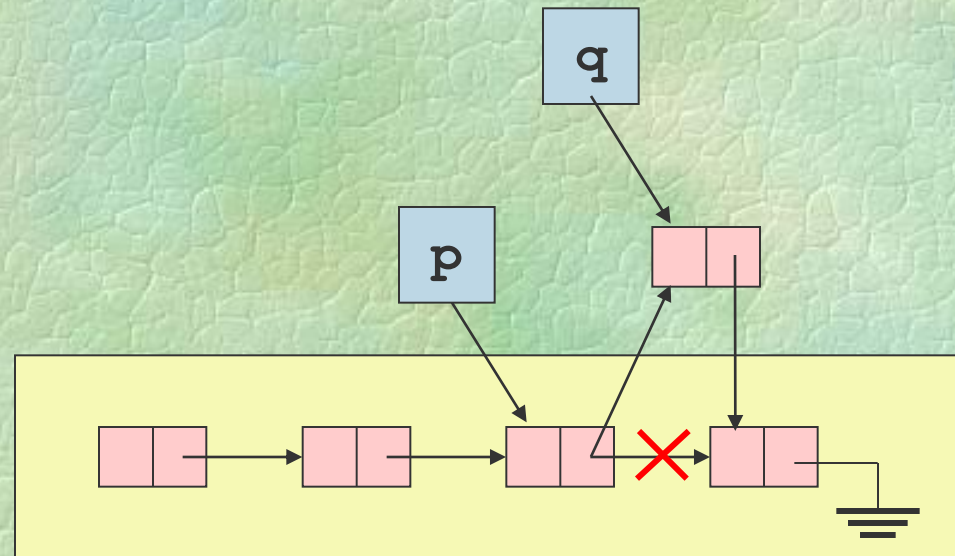

Γραμμικές λίστες

(iii)

◆ Εισαγωγή μετά τον κόμβο p

$O(1)$

```
PROC insertAfter (node *p, int data) {  
    if (p != nullptr) {  
        node *q = new node;  
        q->info = data;  
        q->next = p->next;  
        p->next = q;  
    }  
}
```

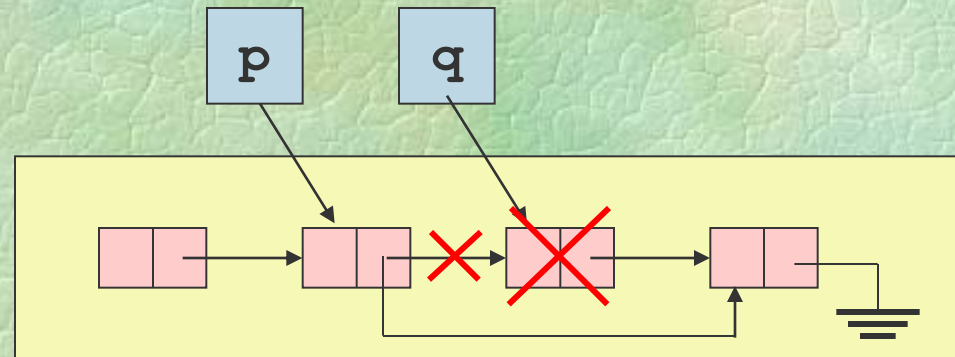


Γραμμικές λίστες

(iv)

◆ Διαγραφή του κόμβου μετά τον p O(1)

```
PROC deleteAfter (node *p) {  
    if (p != nullptr AND  
        p->next != nullptr) {  
        node *q = p->next;  
        p->next = q->next;  
        delete q;  
    }  
}
```



◆ Εύρεση στοιχείου

$O(n)$

```
FUNC node *search (list l, int data) {  
    node *p;  
  
    for (p = l; p != nullptr; p = p->next)  
        if (p->info == data) return p;  
    return nullptr;  
}
```


◆ Αντιστροφή λίστας

$O(n)$

```
PROC reverse (list &l) {  
    node *p, *q;  
  
    q = nullptr;  
    while (l != nullptr) {  
        p = l;  
        l = p->next;  
        p->next = q;  
        q = p;  
    }  
    l = q;  
}
```

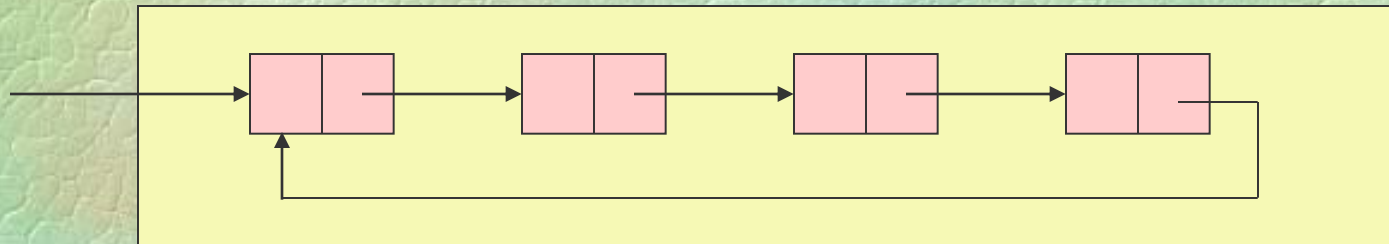

◆ Συνένωση δύο λιστών

$O(n)$

```
PROC concat (list &l1, list l2) {  
    node *p;  
  
    if (l2 == nullptr) return;  
    if (l1 == nullptr) l1 = l2;  
    else {  
        p = l1;  
        while (p->next != nullptr)  
            p = p->next;  
        p->next = l2;  
    }  
}
```

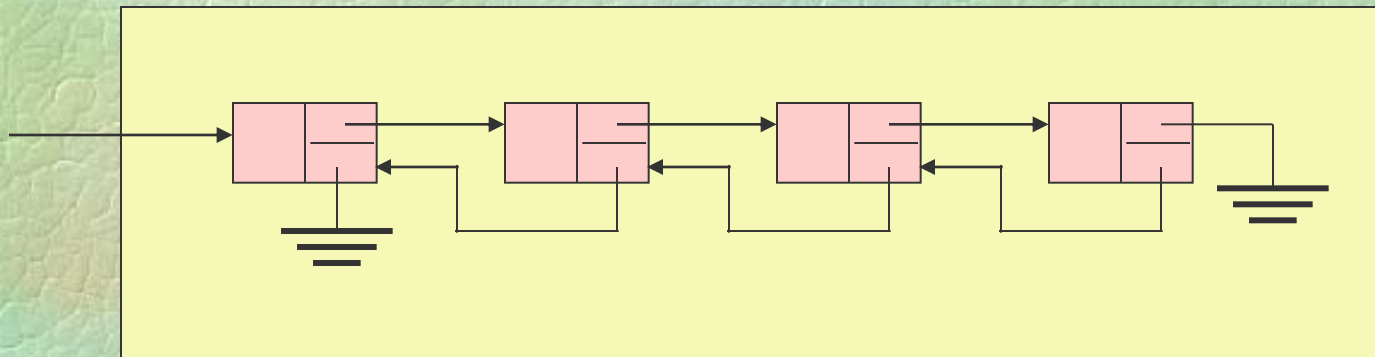

Κυκλικές λίστες

- ◆ Ο επόμενος του τελευταίου κόμβου είναι πάλι ο πρώτος



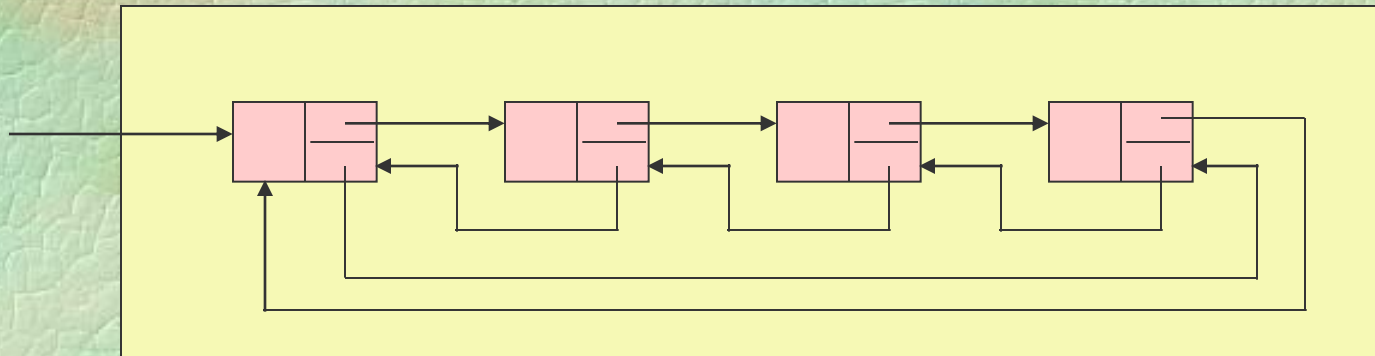
Διπλά συνδεδεμένες λίστες

- ◆ Δυο σύνδεσμοι σε κάθε κόμβο, προς τον επόμενο και προς τον προηγούμενο



Διπλά συνδεδεμένες κυκλικές λίστες

- ◆ Δυο σύνδεσμοι σε κάθε κόμβο, προς τον **επόμενο** και προς τον **προηγούμενο**
- ◆ Ο επόμενος του τελευταίου είναι ο πρώτος
- ◆ Ο προηγούμενος του πρώτου είναι ο τελευταίος



◆ Γράφος ή γράφημα (graph) $G = (V, E)$

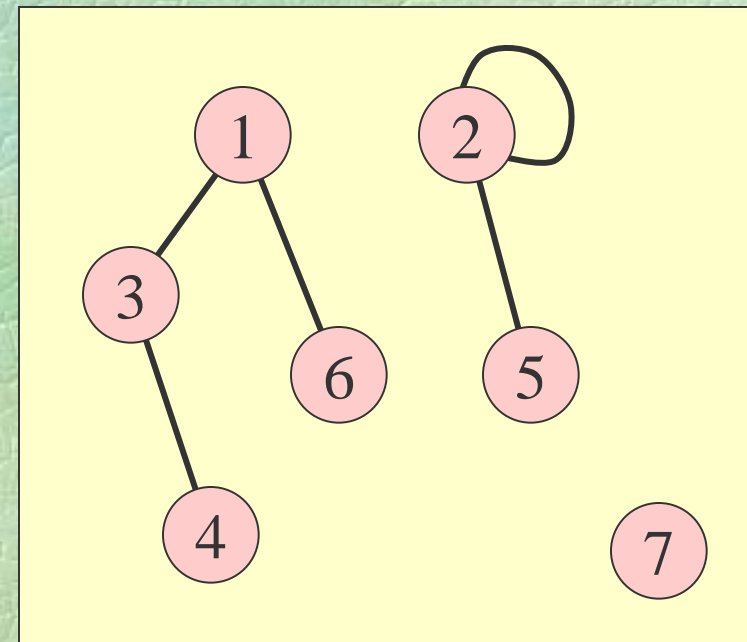
- V Σύνολο **κόμβων** ή **κορυφών**
- E Σύνολο **ακμών**, δηλαδή ζευγών κόμβων

◆ Παράδειγμα

$$V = \{ 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 \}$$

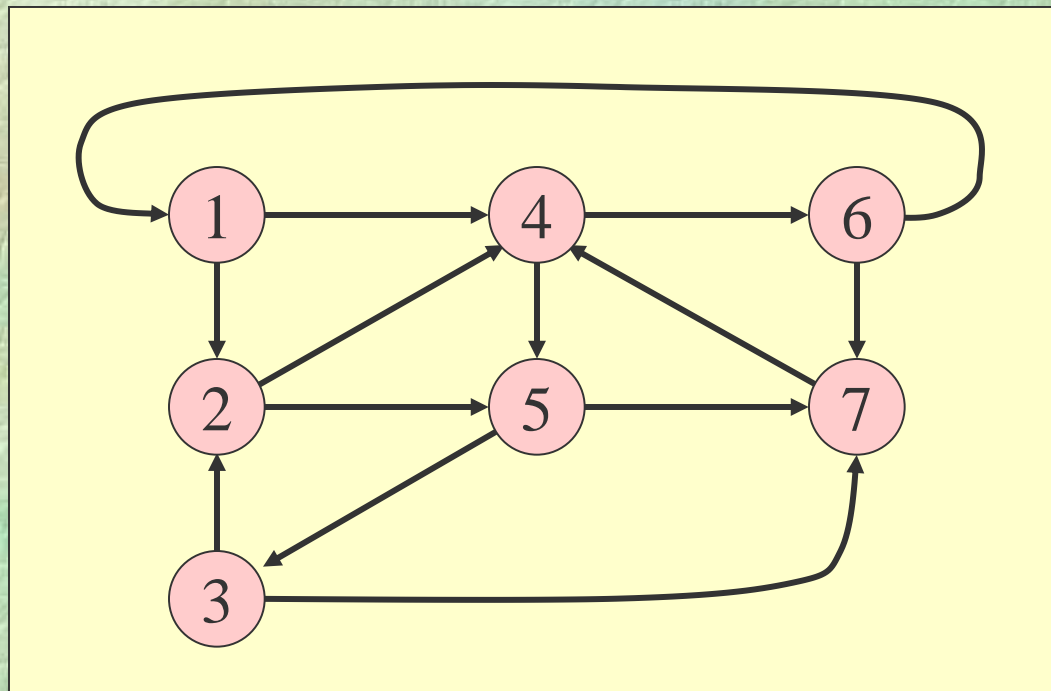
$$E = \{ (x, y) \mid x, y \in V, \\ x+y=4 \text{ ή } x+y=7 \}$$

◆ Γραφική παράσταση



◆ Κατευθυνόμενος γράφος (directed graph)

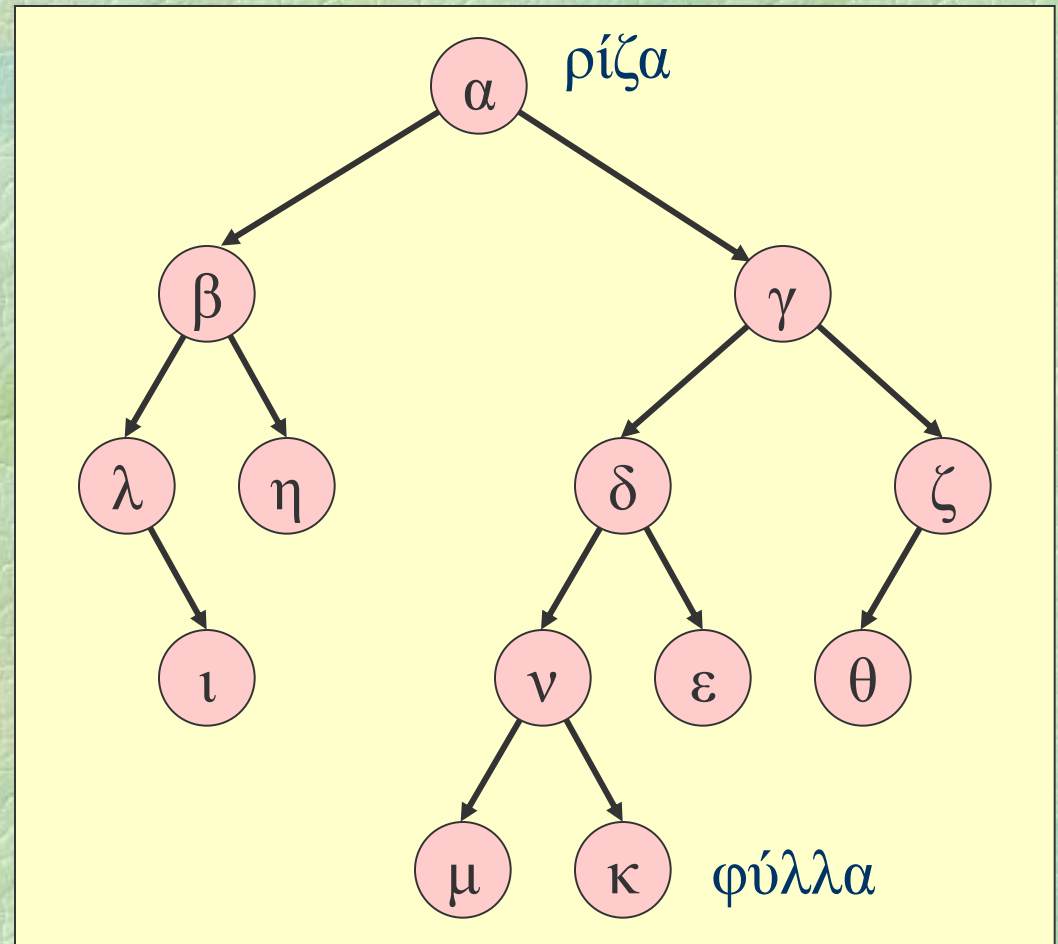
- Οι ακμές είναι διατεταγμένα ζεύγη
- Μπορούν να υλοποιηθούν με δείκτες



Δυαδικά δέντρα

(i)

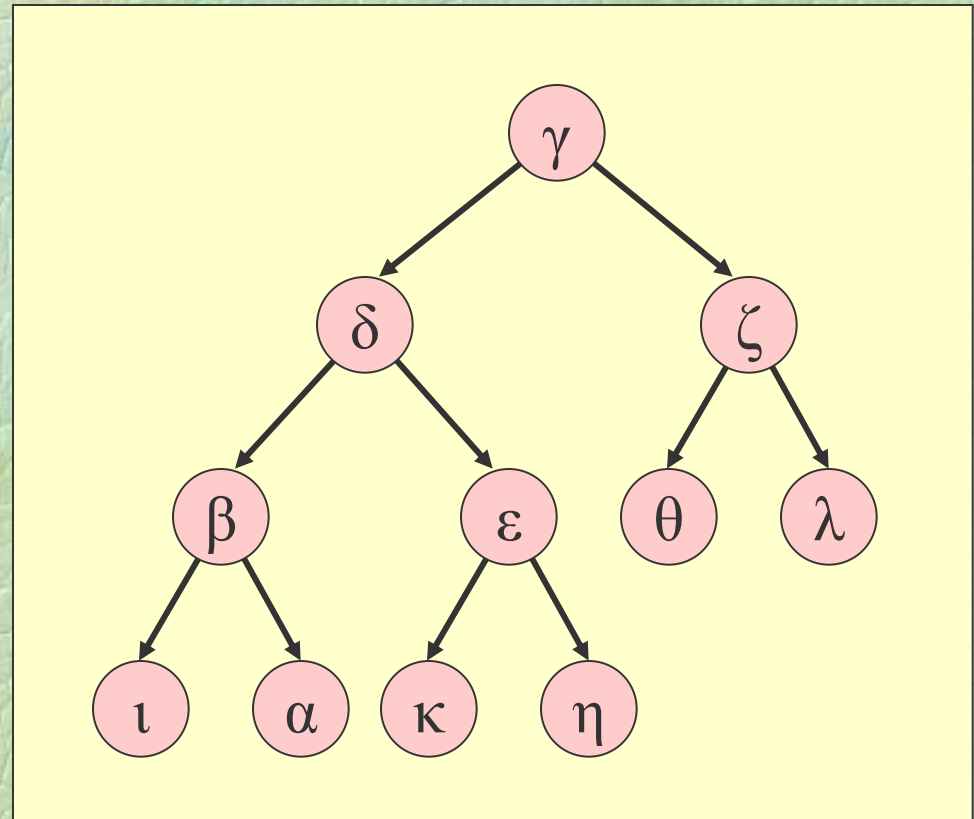
- ◆ Ειδικοί γράφοι της μορφής:
- ◆ Κάθε κόμβος έχει 0, 1 ή 2 παιδιά
- ◆ **Ρίζα**: ο αρχικός κόμβος του δένδρου
- ◆ **Φύλλα**: κόμβοι χωρίς παιδιά



Δυαδικά δέντρα

(ii)

- ◆ Πλήρες δυαδικό δέντρο:
- ◆ Μόνο το **κατώτατο** επίπεδο μπορεί να μην είναι πλήρες



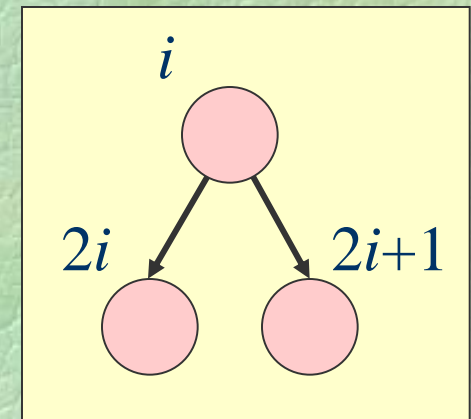
- ◆ Πλήθος κόμβων = $n \Rightarrow \text{ύψος} = O(\log n)$

Δυαδικά δέντρα

(iii)

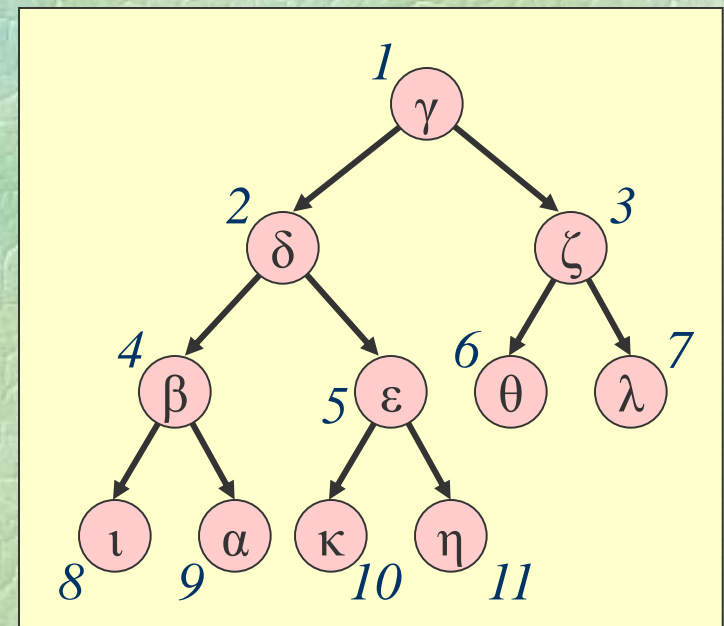
◆ Υλοποίηση με πίνακα

- Αν ένας κόμβος αποθηκεύεται στη θέση i του πίνακα, τα παιδιά του αποθηκεύονται στις θέσεις $2i$ και $2i+1$



◆ Παράδειγμα

$a[1] = '\gamma'; a[7] = '\lambda';$
 $a[2] = '\delta'; a[8] = '\iota';$
 $a[3] = '\zeta'; a[9] = '\alpha';$
 $a[4] = '\beta'; a[10] = '\kappa';$
 $a[5] = '\epsilon'; a[11] = '\eta';$
 $a[6] = '\theta'$

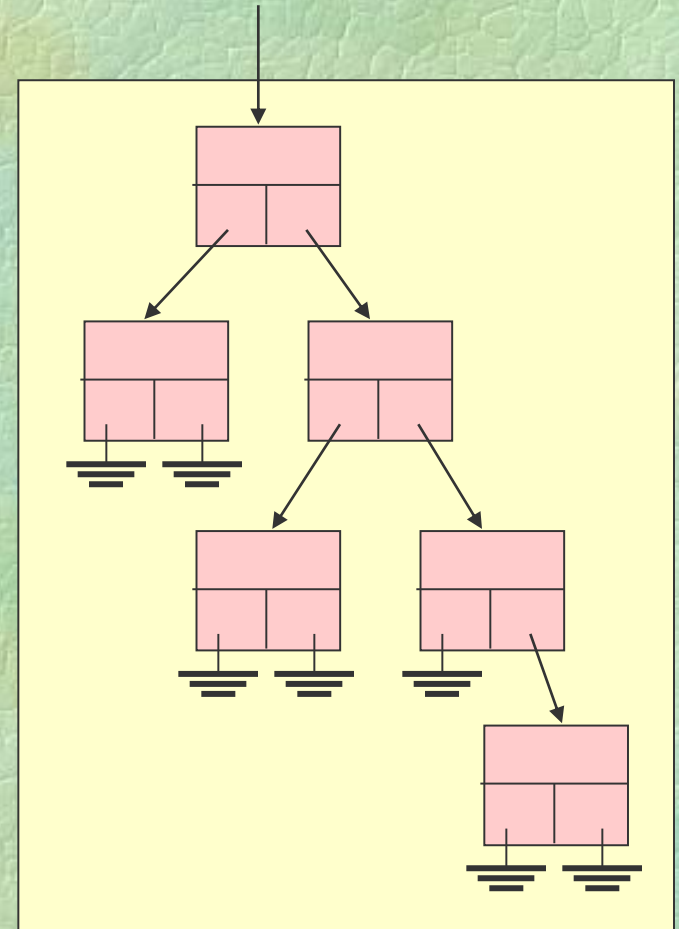
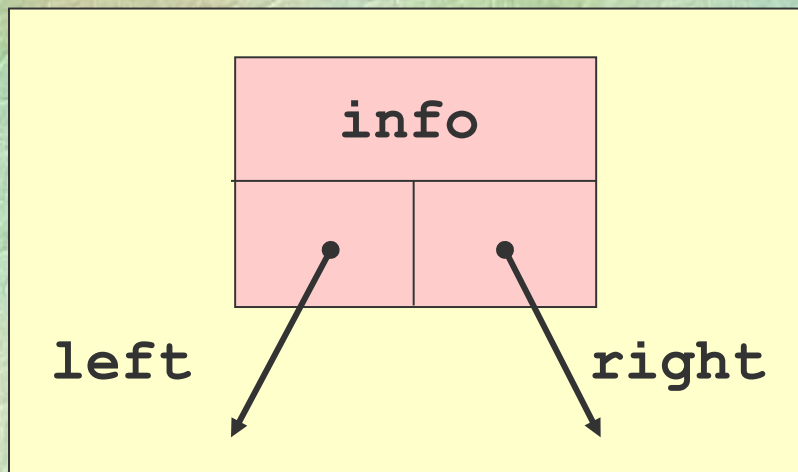


Δυαδικά δέντρα

(iv)

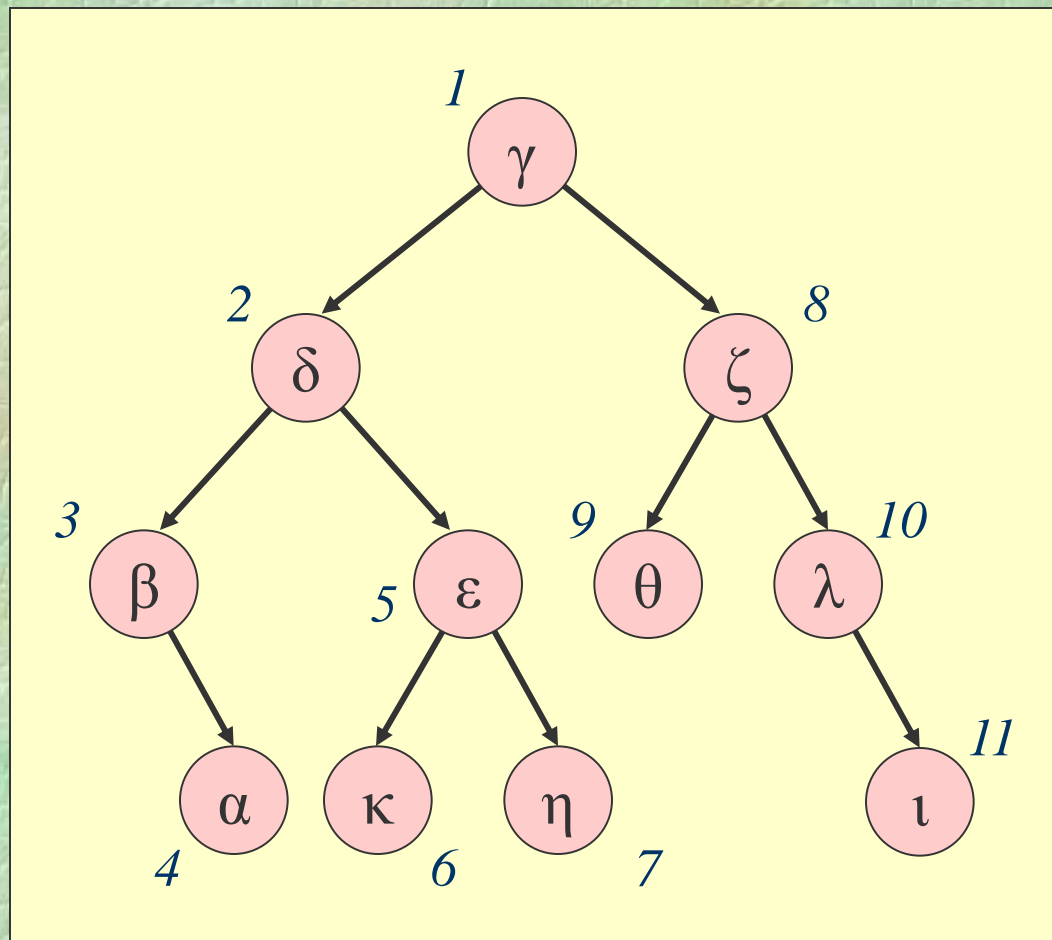
◆ Υλοποίηση με δείκτες

```
struct node {  
    int info;  
    node *left, *right;  
};  
typedef node *tree;
```

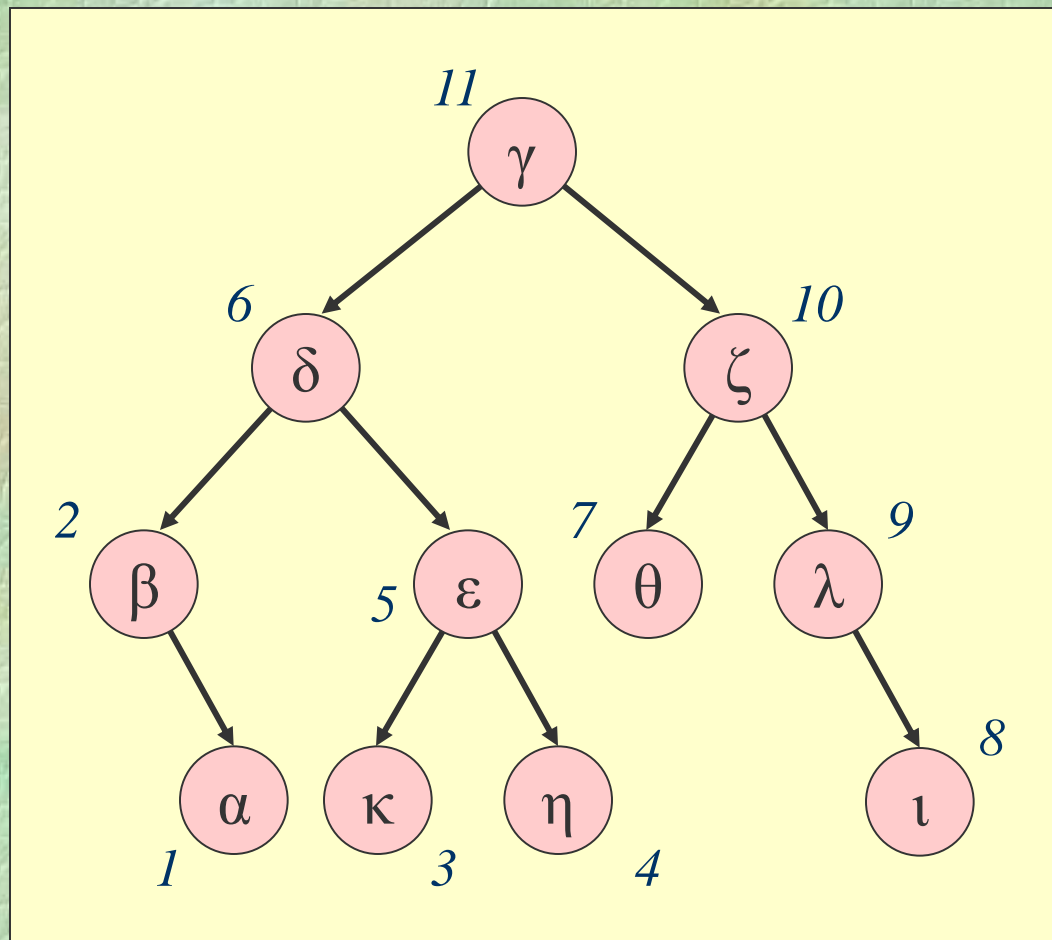


- ◆ Διάσχιση όλων των κόμβων ενός δέντρου
 - προθεματική διάταξη (**preorder**)
για κάθε υποδέντρο, πρώτα η ρίζα,
μετά το αριστερό υποδέντρο και μετά το δεξιό
 - επιθεματική διάταξη (**postorder**)
για κάθε υποδέντρο, πρώτα το αριστερό
υποδέντρο, μετά το δεξιό και μετά η ρίζα
 - ενθεματική διάταξη (**inorder**)
για κάθε υποδέντρο, πρώτα το αριστερό
υποδέντρο, μετά η ρίζα και μετά το δεξιό

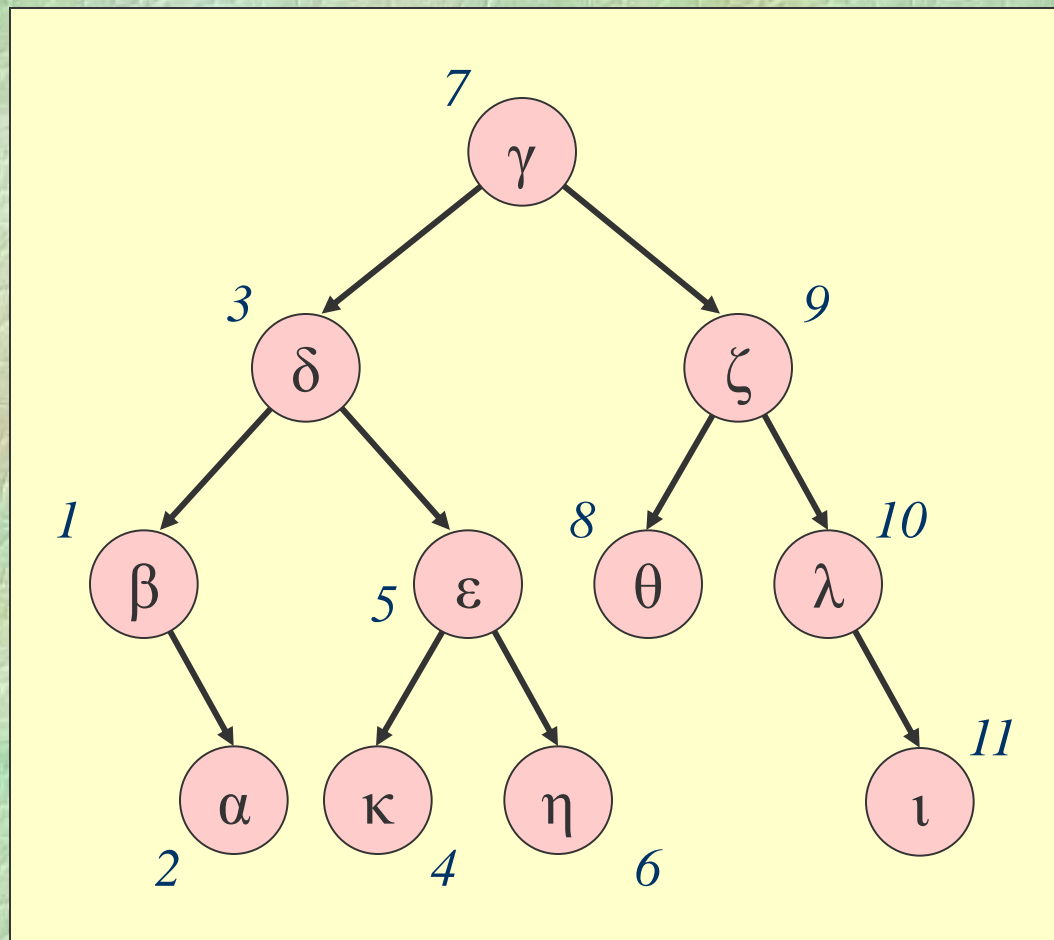
◆ Διάσχιση preorder



◆ Διάσχιση postorder



◆ Διάσχιση inorder



◆ Υλοποίηση της διάσχισης preorder

```
PROC preorder (tree t) {  
    if (t != nullptr) { WRITELN(t->info);  
                           preorder(t->left);  
                           preorder(t->right);  
    }  
}
```

◆ Η παραπάνω διαδικασία είναι αναδρομική

◆ Η μη αναδρομική διάσχιση είναι εφικτή αλλά πολύπλοκη (threading)

◆ Πλήθος κόμβων και ύψος δέντρου

```
FUNC int size(tree t) {  
    if (t == nullptr) return 0;  
    return 1 + size(t->left)  
           + size(t->right);  
}
```

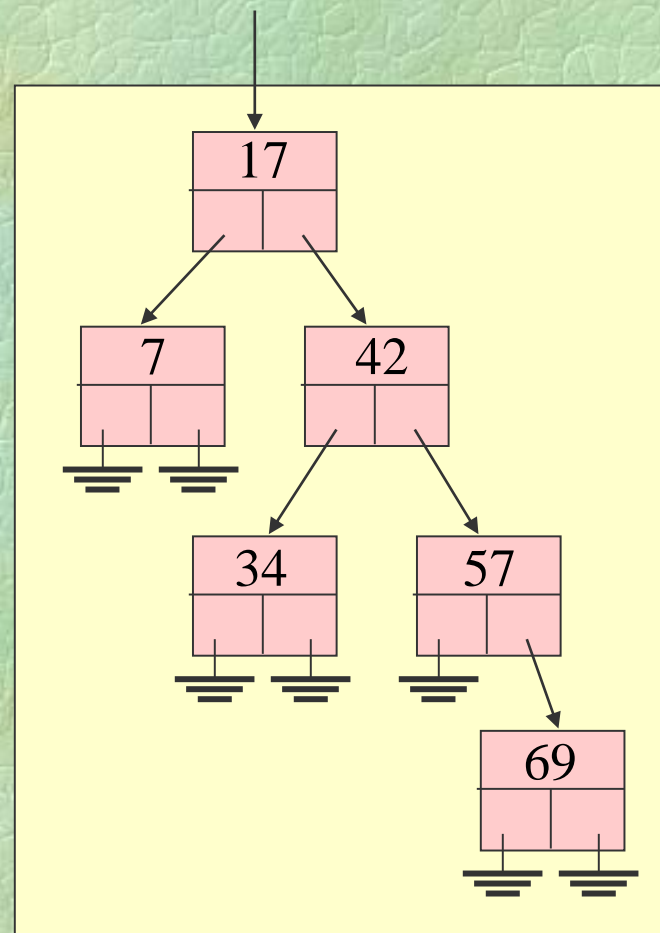
```
FUNC int height(tree t) {  
    if (t == nullptr) return 0;  
    return 1 + max(height(t->left),  
                   height(t->right));  
}
```

Πολυπλοκότητα;
 $O(n)$

Δυαδικά δέντρα αναζήτησης

(i)

- ◆ Binary search trees
- ◆ Για κάθε κόμβο ισχύουν οι παρακάτω ιδιότητες:
 - όλοι οι κόμβοι του αριστερού υποδέντρου έχουν τιμές **μικρότερες ή ίσες** της τιμής του κόμβου
 - όλοι οι κόμβοι του δεξιού υποδέντρου έχουν τιμές **μεγαλύτερες ή ίσες** της τιμής του κόμβου



Δυαδικά δέντρα αναζήτησης

(ii)

- ◆ Τα δυαδικά δέντρα 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, εισαγωγής, διαγραφής:
 $O(k)$, όπου k είναι το ύψος του δέντρου

◆ Αναζήτηση

```
node *search (node *t, int key) {  
    if (t == nullptr)  
        return nullptr;    // not found  
  
    if (t->info == key) return t;    // found  
  
    if (t->info > key)  
        return search(t->left, key);  
    else  
        return search(t->right, key);  
}
```


◆ Εισαγωγή

```
node *insert(node *t, int key) {  
    if (t == nullptr) {  
        node *p = new node;  
        p->info = key;  
        p->left = p->right = nullptr;  
        return p;  
    }  
    if (t->info > key)  
        t->left = insert(t->left, key);  
    else if (t->info < key)  
        t->right = insert(t->right, key);  
    return t;  
}
```


◆ Ισοζύγισμα

- Εφόσον το κόστος των πράξεων είναι $O(k)$ θέλουμε να κρατάμε μικρό το ύψος k του δέντρου
- **Ισοζυγισμένα δένδρα** (balanced trees): το βάθος δυο φύλλων διαφέρει το πολύ κατά 1
- Διάφορες παραλλαγές ορίζουν διαφορετικά την έννοια του ισοζυγίσματος: AVL, red-black trees
- Σε ένα ισοζυγισμένο δυαδικό δέντρο αναζήτησης με n κόμβους, μπορούμε να βρεθούμε από τη ρίζα σε οποιοδήποτε κόμβο με κόστος $O(\log n)$

Το λειτουργικό σύστημα Unix (i)

◆ Bell Labs, ~1970

◆ Δομή του Unix

- πυρήνας (kernel)
- φλοιός (shell)
- βοηθητικά προγράμματα (utilities)

◆ Ιεραρχικό σύστημα αρχείων

- Δενδρική δομή
- Ένας κατάλογος (directory) μπορεί να περιέχει αρχεία (files) ή άλλους (υπο)καταλόγους

Το λειτουργικό σύστημα Unix (ii)

◆ Απόλυτα ονόματα

/

/etc

/home/nickie/book

/home/paul

/etc/passwd

◆ Σχετικά ονόματα

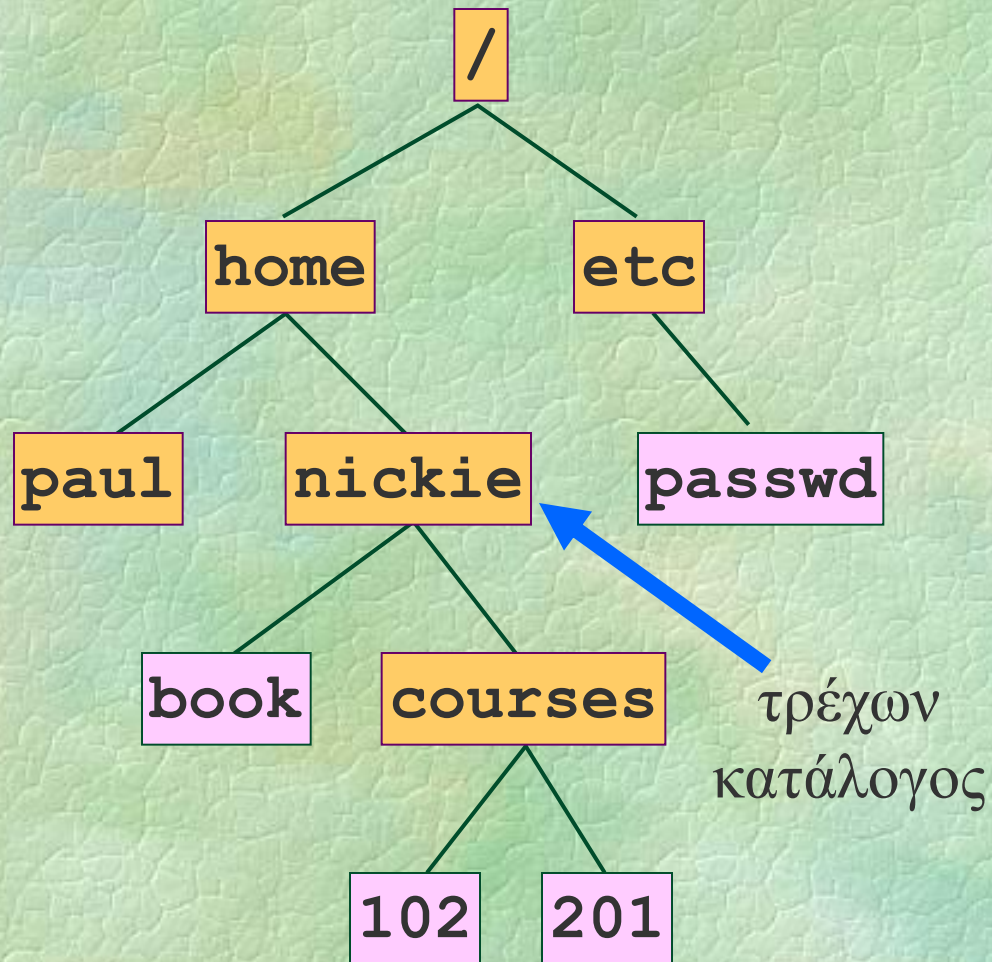
book

courses/201

./courses/102

../paul

../../etc/passwd



Το λειτουργικό σύστημα Unix (iii)

◆ Θετικά στοιχεία του Unix

- ιεραρχικό σύστημα αρχείων
- πολλοί χρήστες συγχρόνως (multi-user)
- πολλές διεργασίες συγχρόνως (multi-tasking)
- επικοινωνίες και υποστήριξη δικτύου

◆ Αρνητικά στοιχεία του Unix

- κρυπτογραφικά ονόματα εντολών
- περιορισμένη και συνθηματική βοήθεια

Σύστημα αρχείων του Unix

(i)

◆ Αντιγραφή αρχείων

cp

cp *oldfile newfile*

cp *file₁ file₂ . . . file_n directory*

cp -r *directory₁ directory₂*

cp -i *oldfile newfile*

◆ Μετονομασία ή μετακίνηση αρχείων

mv

mv *oldfile newfile*

mv *file₁ file₂ . . . file_n directory*

mv -i *oldfile newfile*

Σύστημα αρχείων του Unix

(ii)

◆ Διαγραφή αρχείων

rm

rm *file₁ file₂ . . . file_n*

rm -i *file₁ file₂ . . . file_n*

rm -f *file₁ file₂ . . . file_n*

rm -r *directory*

◆ Δημιουργία directories

mkdir

mkdir *directory₁ . . . directory_n*

◆ Διαγραφή άδειων directories

rmdir

rmdir *directory₁ . . . directory_n*

◆ Αλλαγή directory

cd

cd *directory*

◆ Εμφάνιση πληροφοριών για αρχεία

ls

ls

ls *file₁ file₂ directory₃ . . .*

- **Επιλογές** (options)

- l εκτεταμένες πληροφορίες
- a εμφανίζονται και τα κρυφά αρχεία
- t ταξινόμηση ως προς το χρόνο τροποποίησης
- F εμφανίζεται ο τύπος κάθε αρχείου
- d εμφανίζονται πληροφορίες για ένα directory, όχι για τα περιεχόμενά του
- R αναδρομική εμφάνιση πληροφοριών

Προγράμματα εφαρμογών Unix (i)

◆ Εμφάνιση manual page

man

man *command*

whatis *command*

◆ Εμφάνιση περιεχομένων αρχείου

cat

cat *file₁ file₂ . . . file_n*

◆ Εμφάνιση περιεχομένων αρχείου ανά σελίδα

more

less

more *file₁ file₂ . . . file_n*

less *file₁ file₂ . . . file_n*

Προγράμματα εφαρμογών Unix (ii)

◆ Εμφάνιση πρώτων γραμμών

head

head *file₁ file₂ ... file_n*

head -10 *file₁ file₂ ... file_n*

◆ Εμφάνιση τελευταίων γραμμών

tail

tail *file₁ file₂ ... file_n*

tail -10 *file₁ file₂ ... file_n*

◆ Πληροφορίες για το είδος αρχείου

file

file *file₁ file₂ ... file_n*

◆ Εμφάνιση ημερομηνίας και ώρας

date

date

Προγράμματα εφαρμογών Unix (iii)

◆ Εκτύπωση αρχείου

lpr

lpr *file₁ file₂ . . . file_n*

◆ Μεταγλωττιστής Pascal

pc

pc -o *executable program.p*

gpc -o *executable program.p*

◆ Μεταγλωττιστής C

cc

cc -o *executable program.p*

gcc -o *executable program.p*

◆ Επεξεργασία αρχείου κειμένου

vi

vi *file₁ file₂ . . . file_n*

Βασική λειτουργία του vi (i)

- ◆ Δύο καταστάσεις λειτουργίας
 - κατάσταση εντολών
 - κατάσταση εισαγωγής κειμένου
- ◆ Στην κατάσταση εισαγωγής κειμένου
 - πηγαίνουμε με συγκεκριμένες εντολές (π.χ. **i**, **a**)
 - μπορούμε μόνο να εισάγουμε χαρακτήρες
- ◆ Στην κατάσταση εντολών
 - πηγαίνουμε με το πλήκτρο **ESC**
 - μπορούμε να μετακινούμαστε και να δίνουμε εντολές

Βασική λειτουργία του vi

(ii)

◆ Μετακίνηση μέσα σε αρχείο

← ↓ ↑ → κατά ένα χαρακτήρα

h j k l (ομοίως)

w μια λέξη δεξιά

CTRL+F μια σελίδα μετά

CTRL+B μια σελίδα πριν

CTRL+D μισή σελίδα μετά

CTRL+U μισή σελίδα πριν

0 \$ στην αρχή ή στο τέλος της γραμμής

^ στον πρώτο χαρακτήρα της γραμμής

◆ Μετακίνηση μέσα σε αρχείο (συνέχεια)

- + στην αρχή της προηγούμενης ή της επόμενης γραμμής
- () στην αρχή της προηγούμενης ή της επόμενης πρότασης
- { } στην αρχή της προηγούμενης ή της επόμενης παραγράφου
- n G στην n-οστή γραμμή
- G στην τελευταία γραμμή

◆ Εισαγωγή κειμένου

- i a** εισαγωγή πριν ή μετά τον cursor
- I A** εισαγωγή στην αρχή ή στο τέλος της γραμμής
- o O** εισαγωγή σε νέα κενή γραμμή κάτω ή πάνω από την τρέχουσα
- r** αντικατάσταση ενός χαρακτήρα
- R** αντικατάσταση πολλών χαρακτήρων

Βασική λειτουργία του vi (v)

◆ Διαγραφή κειμένου

- x** του τρέχοντα χαρακτήρα
- X** του προηγούμενου χαρακτήρα
- dw** μέχρι το τέλος λέξης
- dd** ολόκληρης της τρέχουσας γραμμής
- n dd** *n* γραμμών αρχίζοντας από την τρέχουσα
- Οι λέξεις και οι γραμμές που διαγράφονται τοποθετούνται στο buffer (**cut**)

Βασική λειτουργία του vi

(vi)

◆ Εύρεση συμβολοσειράς

- / xxx εύρεση προς τα εμπρός
- ? xxx εύρεση προς τα πίσω
- n N επόμενη εύρεση ορθής ή αντίθετης φοράς

◆ Άλλες εντολές

- CTRL-L επανασχεδίαση της εικόνας
- u ακύρωση της τελευταίας εντολής
- . επανάληψη της τελευταίας εντολής
- J συνένωση της τρέχουσας γραμμής με την επόμενη

Βασική λειτουργία του vi

(vii)

◆ Αντιγραφή και μετακίνηση κειμένου

yy αντιγραφή μιας γραμμής στο buffer
(**copy**)

n yy αντιγραφή *n* γραμμών στο buffer

p P επικόλληση των περιεχομένων του buffer κάτω ή πάνω από την τρέχουσα γραμμή (**paste**)

◆ Αποθήκευση και έξοδος

:w αποθήκευση του αρχείου

:q έξοδος

:wq αποθήκευση του αρχείου και έξοδος

:q! έξοδος χωρίς αποθήκευση

◆ Δίκτυο υπολογιστών (computer network)

◆ Ονόματα και διευθύνσεις υπολογιστών

- Διεύθυνση IP 147.102.1.1

- Όνομα

theseas.softlab.ece.ntua.gr

ο υπολογιστής

στο δίκτυο του Εργαστηρίου
Τεχνολογίας Λογισμικού

στο δίκτυο της Σ.Η.Μ.Μ.Υ.

στο δίκτυο του Ε.Μ.Π.

στο δίκτυο της Ελλάδας

- Επικράτειες
(domains)

◆ Ηλεκτρονικό ταχυδρομείο (e-mail)

- ηλεκτρονική ταχυδρομική διεύθυνση

nickie @ **softlab.ntua.gr**

όνομα χρήστη



όνομα υπολογιστή
ή επικράτειας



- υπάρχει πληθώρα εφαρμογών που διαχειρίζονται το ηλεκτρονικό ταχυδρομείο

◆ Πρόσβαση σε απομακρυσμένους υπολογιστές (telnet)

```
maya$ telnet theseas.softlab.ntua.gr
```

```
SunOS 5.7
```

```
login: nickie
```

```
Password:
```

```
Last login: Thu Jan 16 12:33:45
```

```
Sun Microsystems Inc.      SunOS 5.7
```

```
You have new mail.
```

```
Fri Jan 17 03:16:45 EET 2003
```

```
There are 28 messages in your mailbox.
```

```
There are 2 new messages.
```

```
theseas$
```


◆ Μεταφορά αρχείων (FTP)

- **κατέβασμα αρχείων** (download)
μεταφορά αρχείων από τον απομακρυσμένο υπολογιστή προς τον τοπικό υπολογιστή
- **ανέβασμα αρχείων** (upload)
μεταφορά αρχείων από τον τοπικό υπολογιστή προς τον απομακρυσμένο υπολογιστή
- **anonymous FTP**
π.χ. `ftp.ntua.gr`

◆ Ηλεκτρονικά νέα (news)

- ομάδες συζήτησης (newsgroups)
η συζήτηση συνήθως περιστρέφεται
γύρω από συγκεκριμένα θέματα
π.χ. `comp.lang.pascal`
- οι ομάδες συζήτησης λειτουργούν σαν
πίνακες ανακοινώσεων
- καθένας μπορεί να διαβάζει τις ανακοινώσεις
των άλλων και να βάλει την ανακοίνωσή του
(posting)

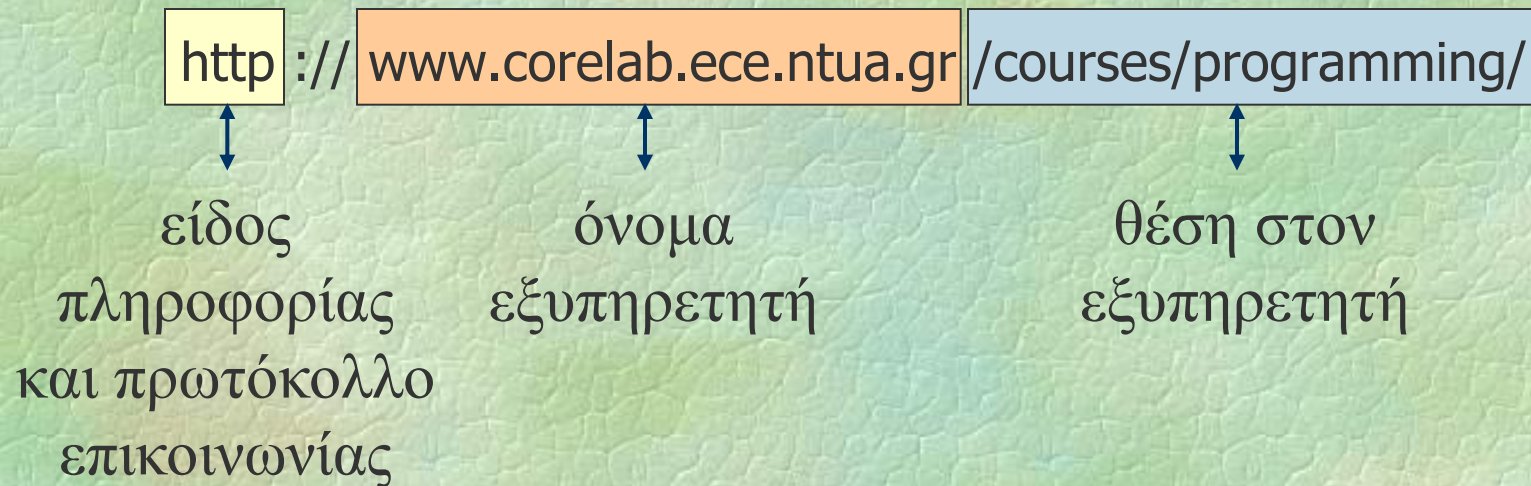
◆ Κουτσομπολιό (chat ή IRC)

- **κανάλια** (channels)
η συζήτηση περιστρέφεται γύρω από ένα θέμα κοινού ενδιαφέροντος
- είναι όμως **σύγχρονη**, δηλαδή γίνεται σε συγκεκριμένο χρόνο και δεν τηρείται αρχείο των λεχθέντων
- καθένας μπορεί να «ακούει» τα λεγόμενα των άλλων και να «μιλά» προς αυτούς

◆ Παγκόσμιος ιστός World-Wide Web (WWW)

- ένα σύστημα αναζήτησης **υπερμεσικών πληροφοριών** (hypermedia information)
- **ιστοσελίδες** (web pages),
υπερμέσα (hypermedia),
σύνδεσμοι (links),
εξυπηρετητές (servers), και
περιηγητές (browsers)

◆ Διευθύνσεις στον παγκόσμιο ιστό (URL)



◆ Παραδείγματα διευθύνσεων

http://www.ntua.gr/

ftp://ftp.ntua.gr/pub/linux/README.txt

news://news.ntua.gr/comp.lang.pascal