Κεφάλαιο 1
Εισαγωγή στη C

1.1 Ιστορία της C

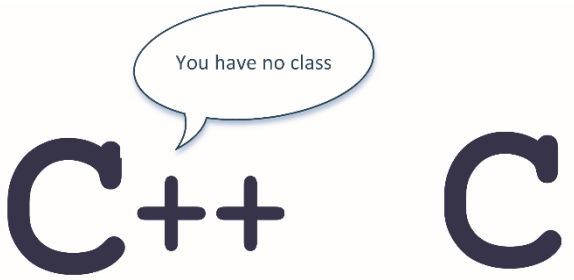
Η γλώσσα προγραμματισμού C δημιουργήθηκε στα εργαστήρια Bell στις αρχές της δεκαετίας του ‘70 για να μεταφερθεί το λειτουργικό σύστημα **Unix** από ένα σύστημα DEC PDP-7 σε ένα νεότερο PDP-11. Ο **Ken Thompson** είχε γράψει την αρχική έκδοση του Unix σε Assembly αλλά σύντομα συνειδητοποίησε πως έπρεπε να χρησιμοποιηθεί μία γλώσσα υψηλότερου επιπέδου. Αρχικά, προσπάθησε να χρησιμοποιήσει τη γλώσσα **B**, η οποία ήταν μια εξέλιξη της γλώσσας **BCPL** (Basic Combined Programming Language) που σχεδιάστηκε από τον Martin Richards. Ο **Dennis Ritchie**, ο οποίος συμμετείχε ως προγραμματιστής στην ομάδα, πρόσθεσε πάρα πολλά νέα στοιχεία στη γλώσσα B, ώστε τελικά η νέα γλώσσα να διαφέρει πολύ και να πάρει το όνομα **C**. Το Unix ξαναγράφτηκε σε C και έτσι ήταν πλέον πολύ ευκολότερο να μεταφερθεί σ’ ένα άλλο σύστημα.

Με την πάροδο του χρόνου έγινε μια από τις πιο δημοφιλείς γλώσσες προγραμματισμού. Αν και είναι στενά συνδεδεμένη με το Unix, όλα σχεδόν τα λειτουργικά συστήματα διαθέτουν μεταγλωττιστή για τη γλώσσα C και πολλές άλλες γλώσσες προγραμματισμού βασίζονται σ’ αυτή. Για παράδειγμα, η **C++** που αναπτύχθηκε από τον **Bjarne Stroustrup** το 1979 επίσης στα εργαστήρια Bell ως βελτίωση της γλώσσας προγραμματισμού C και αρχικά ονομάστηκε “C with Classes”.

Σε αντίθεση με την BASIC ή την Pascal η γλώσσα C δε δημιουργήθηκε για την εκμάθηση του προγραμματισμού αλλά ως προγραμματιστικό εργαλείο. Είναι μία γενικής χρήσης γλώσσα προγραμματισμού και υποστηρίζει τον προγραμματισμό μέσω διαδικασιών με τη μορφή συναρτήσεων.

Αποτελεί ένα μείγμα γλώσσας “υψηλού” επιπέδου με πολλά χαρακτηριστικά γλώσσας μηχανής (πρόσβαση σε διευθύνσεις μνήμης, πράξεις σε επίπεδο bit κ.τ.λ.). Οι γλώσσες προγραμματισμού διακρίνονται σε “υψηλού” και “χαμηλού” επιπέδου, ανάλογα με το πόσο πολύ μοιάζουν στην ανθρώπινη γλώσσα. Όσο πιο “χαμηλό” είναι το επίπεδο μιας γλώσσας προγραμματισμού, τόσο πιο κοντά είναι στη μηχανή και τόσο πιο πολύπλοκος είναι ο προγραμματισμός μ’ αυτή. Οι μεταγλωττιστές της γλώσσας C παράγουν όμως συμπαγή και ταχύτατα προγράμματα.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα της C είναι η ελευθερία που δίνει στον προγραμματιστή να εφαρμόσει το προσωπικό του στυλ και να εκμεταλλευτεί όλες τις δυνατότητες του υπολογιστή. Επίσης, είναι μια γλώσσα γνωστή για τη μεταφερσιμότητα της, δηλαδή ο κώδικάς της μπορεί αυτούσιος ή με ελάχιστες αλλαγές να χρησιμοποιηθεί σε μηχανήματα διαφορετικών αρχιτεκτονικών. Βεβαίως, η λανθασμένη χρήση αυτής της ελευθερίας οδηγεί συχνά σε προγραμματιστικά σφάλματα. Επιπλέον, ο πλούτος τελεστών και το μικρό λεξιλόγιο που διαθέτει μπορεί να οδηγήσει σε δυσνόητο κώδικα, ο οποίος είναι δύσκολο να συντηρηθεί.



Στην αρχική έκδοση της C (**K&R** - από τους Kernighan και Ritchie, συγγραφείς του βιβλίου "The C Programming Language", 1978) προστέθηκαν καινούρια χαρακτηριστικά από διάφορους κατασκευαστές μεταγλωττιστών, με αποτέλεσμα την ύπαρξη ασυμβατοτήτων. Έτσι, έγινε εμφανής η ανάγκη για δημιουργία ενός επίσημου προτύπου (standard) που θα περιέγραφε τα χαρακτηριστικά της γλώσσας και θα το ακολουθούσαν όλοι οι κατασκευαστές μεταγλωττιστών C.

Το 1983 οργανώθηκε μια επιτροπή από το ANSI (American National Standards Institute) για την καθιέρωση ενός προτύπου. Μετά από έξι χρόνια, το Δεκέμβριο του 1989 δημοσιεύθηκε το πρότυπο *ANSI X3.159-1989 Programming Language C*, που είναι γνωστό ως **C89**. Ένα χρόνο αργότερα, το 1990, κυκλοφόρησε (με μικρές αλλαγές) το πρότυπο *ISO/IEC 9899:1990* από το ISO (International Organization for Standardization) ως C90. Το 1995 έγιναν μικρές αλλαγές (C95), ενώ η επόμενη ελαφρά προσαρμοσμένη έκδοση διατέθηκε το 1999 ως **C99**. Η τελευταία έκδοση με ονομασία **C11** δημοσιεύθηκε ως πρότυπο ISO/IEC 9899:2011 και τυποποιεί πολλά χαρακτηριστικά των σύγχρονων μεταγλωττιστών. Η σημαντικότερη αλλαγή αφορά την τυποποίηση του πολυνηματικού προγραμματισμού (Multithreaded Programming).

Για να γράψουμε "φορητό" κώδικα, συνιστάται η χρήση του πρότυπου C89 (ANSI C), το οποίο υποστηρίζεται από όλους τους σύγχρονους μεταγλωττιστές.

Στο βιβλίο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε το πρότυπο ANSI C. Παρ' ότι πέρασε αρκετός χρόνος από την τελευταία τροποποίηση της γλώσσας, είναι σχετικά λίγοι οι μεταγλωττιστές που ακολουθούν πλήρως το νέο πρότυπο. Όπου γίνεται αναφορά σε νέα χαρακτηριστικά της γλώσσας, θα γίνεται ειδική σήμανση.

1.2 Ένα Απλό Παράδειγμα

Ας δούμε ένα απλό πρόγραμμα της C. Το παρακάτω πρόγραμμα είναι το λεγόμενο πρόγραμμα “Hello World” το οποίο τυπώνει τη φράση “hello, world” στην οθόνη. Χρησιμοποιείται συνήθως σε εισαγωγικά μαθήματα γλωσσών προγραμματισμού και δημοσιεύτηκε πρώτη φορά στο βιβλίο “The C Programming Language” των Brian Kernighan και Dennis Ritchie. Αν και διαφέρει λίγο από την αρχική έκδοση, η ουσία παραμένει η ίδια: να γνωρίσουμε τον τρόπο που συντάσσεται ένα απλό πρόγραμμα C.

```
1:   /* hello.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     printf("hello, world\n");
5:     return 0;
6:   }
```

Η 1η γραμμή του προγράμματος είναι ένα σχόλιο και δε λαμβάνεται υπόψη από τον μεταγλωττιστή. Τα σχόλια περικλείονται από τα σύμβολα **/*** (αρχή σχολίου) και ***/** (τέλος σχολίου) και βοηθούν στην κατανόηση ενός προγράμματος.

Η γραμμή 2 του προγράμματος

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

δεν είναι μια πραγματική εντολή της C, αλλά μια οδηγία προς τον προεπεξεργαστή (preprocessor directive) να ενσωματώσει το αρχείο επικεφαλίδας (header file) **stdio.h**, το οποίο περιέχει πληροφορίες για την πρότυπη βιβλιοθήκη εισόδου/εξόδου. Ο προεπεξεργαστής είναι ένα τμήμα του μεταγλωττιστή που αναλαμβάνει πριν απ’ αυτόν διάφορες οργανωτικές εργασίες. Η γραμμή αυτή εμφανίζεται σχεδόν σε κάθε αρχείο κώδικα της C.

Κάθε πρόγραμμα της C αποτελείται από μια βασική συνάρτηση που λέγεται **main**. Στις οριζόμενες από το χρήστη συναρτήσεις μπορούμε να δώσουμε ονόματα της επιλογή μας. Οι γραμμές 3 και 6 ορίζουν την αρχή και το τέλος της συνάρτησης main.

```
int main(void){

}
```

Μια συνάρτηση περιέχει μεταβλητές και εντολές και μπορεί να καλέσει άλλες συναρτήσεις. Τα άγκιστρα **{ }** υποδεικνύουν μια ενότητα (block) εντολών. Το σώμα όλων των συναρτήσεων πρέπει να περικλείεται σε άγκιστρα. Πολλοί προγραμματιστές τοποθετούν το αριστερό άγκιστρο **{** σε ξεχωριστή γραμμή:

```
int main(void)
{

}
```

Η C αδιαφορεί παγερά για το προσωπικό στυλ προγραμματισμού του καθενός, αρκεί να ακολουθούνται οι κανόνες σύνταξης της γλώσσας. Οι προγραμματιστές όμως, πρέπει να χρησιμοποιούν ένα καλό στυλ σύνταξης, ώστε ο κώδικάς τους να έχει ενιαία μορφή και να γίνεται εύκολα κατανοητός από άλλους αλλά και από τους ίδιους αργότερα.

Το **int** πριν από το όνομα της συνάρτησης προσδιορίζει τον τύπο της τιμής επιστροφής. Η συνάρτηση main θα επιστρέψει μια ακέραια τιμή (Integer) στο λειτουργικό σύστημα που την κάλεσε. Οι παρενθέσεις **( )** μετά το όνομα της συνάρτησης περικλείουν τη λίστα των ορισμάτων μέσω των οποίων η καλούσα συνάρτηση μεταβιβάζει στην καλούμενη μια λίστα από τιμές. Το **void** σημαίνει απουσία τιμής και στο συγκεκριμένο πρόγραμμα, δε μεταβιβάζονται τιμές στη συνάρτηση main. Οι εντολές της συνάρτησης περικλείονται ανάμεσα σε αγκύλες. Η συνάρτηση main περιέχει μία μόνο εντολή, την κλήση της συνάρτησης printf.

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

Η printf είναι μια συνάρτηση βιβλιοθήκης και εκτυπώνει στην έξοδο (στην οθόνη) τα ορίσματά της, που στην περίπτωσή μας είναι το αλφαριθμητικό (string) “hello, world” και μια αλλαγή γραμμής **\n**. Ο χαρακτήρας **** ονομάζεται χαρακτήρας διαφυγής και υποδεικνύει ότι ο χαρακτήρας που τον ακολουθεί έχει ειδική σημασία. Εδώ, η ακολουθία διαφυγής **\n** υποδηλώνει την αλλαγή γραμμής.

Η εντολή

```
return 0;
```

επιστρέφει την τιμή μηδέν “0” στη διεργασία που κάλεσε τη main. Το μηδέν εξ ορισμού συμβολίζει την επιτυχή εκτέλεση ενός προγράμματος.

Κάθε εντολή πρέπει να τερματίζει με το ελληνικό ερωτηματικό “**;**”.

Πληκτρολογούμε τον κώδικα σε έναν επεξεργαστή κειμένου και το αποθηκεύουμε σ’ ένα αρχείο με επέκταση **.c**, για παράδειγμα **hello.c**. Το αρχείο αυτό αποτελεί τον πηγαίο κώδικα (source code) του προγράμματος.

*Τα αρχεία πηγαίου κώδικα πρέπει να έχουν επέκταση **.c**.*

1.3 Κανόνες και Συμβάσεις

Συνοψίζοντας αναφέρουμε μερικούς κανόνες και κάποιες συμβάσεις που πρέπει να ακολουθούμε, ώστε να παράγουμε καλύτερο κώδικα:

- Τα προγράμματα της C αποτελούνται από εντολές, οι οποίες εκτελούνται με τη σειριακά.
- Κάθε εντολή πρέπει να τερματίζεται με ελληνικό ερωτηματικό.
- Κάθε οδηγία προεπεξεργαστή πρέπει να βρίσκεται στην ίδια γραμμή.
- Χρησιμοποιούμε μία γραμμή ανά πρόταση και αφήνουμε κενές γραμμές για να ξεχωρίζουμε διαφορετικά τμήματα κώδικα.
- Η C είναι μια case-sensitive γλώσσα, δηλαδή κάνει διάκριση μεταξύ πεζών και κεφαλαίων γραμμάτων.
- Οι σταθερές συνηθίζεται να γράφονται με κεφαλαίους χαρακτήρες.
- Οι εντολές μιας ενότητας κώδικα π.χ. μιας συνάρτησης οριοθετούνται από άγκιστρα και καλό είναι να έχουν μια εσοχή 2 ή 4 χαρακτήρων.
- Τα κενά διαστήματα διευκολύνουν την ευανάγνωση του κώδικα.
- Οι γραμμές δεν πρέπει να έχουν μέγεθος μεγαλύτερο από 80 χαρακτήρες.
- Προτείνεται η χρήση αγκίστρων για την οριοθέτηση τμημάτων κώδικα, ακόμα και όταν αυτά δεν είναι απαραίτητα.

Κάποιες καλές προγραμματιστικές τεχνικές είναι:

- Αποφεύγουμε να χρησιμοποιούμε εξειδικευμένες λειτουργίες του μεταγλωττιστή, ώστε ο κώδικάς μας να μπορεί να μεταγλωττιστεί χωρίς προβλήματα σε διαφορετικά συστήματα.
- Η C επιτρέπει να γράψουμε “συμπτυγμένες” εντολές, οι οποίες είναι δύσκολα κατανοητές. Αποφεύγουμε σύνθετες εντολές και προσπαθούμε να γράφουμε “καθαρά” και κατανοητά προγράμματα.
- Τεκμηριώνουμε πολύ καλά τον κώδικα. Βασική αρχή είναι να έχουμε ένα ευπαρουσίαστο και ευανάγνωστο πρόγραμμα, ώστε να είναι εύκολη η συντήρησή του. Για παράδειγμα, κάθε συνάρτηση θα πρέπει να τεκμηριώνεται λεπτομερώς, ώστε να είναι εύκολα κατανοητή η λειτουργία και ο τρόπος κλήσης της.
- Τα ονόματα των μεταβλητών και των συναρτήσεων, αν και μπορούν να επιλεγούν ελεύθερα, θα πρέπει να δηλώνουν το περιεχόμενο και τη λειτουργία τους αντίστοιχα.

Όπως γίνεται φανερό, υπάρχουν πολύ λίγοι περιορισμοί όσον αφορά τη διάταξη των εντολών που αποτελούν ένα πρόγραμμα της C. Μπορούμε να προσθέτουμε κενά διαστήματα και αλλαγές γραμμής κατά βούληση, αρκεί να μη “χωρίζουμε” τις δεσμευμένες λέξεις και τα ονόματα μεταβλητών, συναρτήσεων κ.τ.λ. Πρέπει, όμως, να χρησιμοποιούμε ένα ευανάγνωστο και ομοιόμορφο στυλ γραφής, αν δε θέλουμε να έχουμε προβλήματα κατανόησης των προγραμμάτων μας. Ειδικά σε μεγάλα έργα, όπου συμμετέχουν περισσότερα άτομα, θα πρέπει όλα τα μέλη που εργάζονται για το έργο να ακολουθούν ένα κοινό στυλ προγραμματισμού.

1.4 Μεταγλώττιση και Εκτέλεση σε Σύστημα Linux

Μεταγλώττιση είναι η διαδικασία μετατροπής ενός προγράμματος από τη μορφή του πηγαίου κώδικα σε γλώσσα μηχανής. Το “εκτελέσιμο” αρχείο που παράγεται καλείται πολλές φορές και δυαδικό αρχείο (binary), επειδή αποτελείται από μια ακολουθία 0 και 1. Η μετάφραση από μια γλώσσα υψηλού επιπέδου στη γλώσσα μηχανής γίνεται με τη βοήθεια ειδικών προγραμμάτων που ονομάζονται μεταγλωττιστές (compilers). Σ’ ένα σύστημα Linux ο μεταγλωττιστής της C είναι συνήθως ο **gcc**, από το πρόγραμμα ελεύθερου λογισμικού GNU Compiler Collection.

Η διαδικασία της μεταγλώττισης είναι πλήρως αυτοματοποιημένη. Καλούμε τον μεταγλωττιστή από τη γραμμή εντολών υποδεικνύοντας το πηγαίο αρχείο και ενδεχομένως κάποιες επιλογές. Αν δεν υπάρχουν συντακτικά λάθη, παράγεται το αντικείμενο αρχείο (object file), το οποίο όμως δεν είναι εκτελέσιμο. Τα αρχεία αυτά έχουν επέκταση **.o**.

Στη συνέχεια καλείται (αυτόματα) ο συνδέτης (linker), που έχει τη δυνατότητα να συνδέσει ένα ή περισσότερα αντικείμενα αρχεία για την παραγωγή του εκτελέσιμου αρχείου (executable file). Στη φάση αυτή συνδυάζεται ο δυαδικός κώδικας των συναρτήσεων βιβλιοθήκης που καλούνται στον πηγαίο κώδικα με το αντικείμενο πρόγραμμα.

Στο λειτουργικό σύστημα Linux μπορούμε να πάρουμε βοήθεια για τη σύνταξη μιας εντολής με την κλήση της εντολής man, για παράδειγμα:

```
$ man gcc
```

Αν θέλουμε να μη δημιουργήσουμε εκτελέσιμο αρχείο αλλά μόνο το αντικείμενο πρόγραμμα, θα εκτελέσουμε την εντολή:

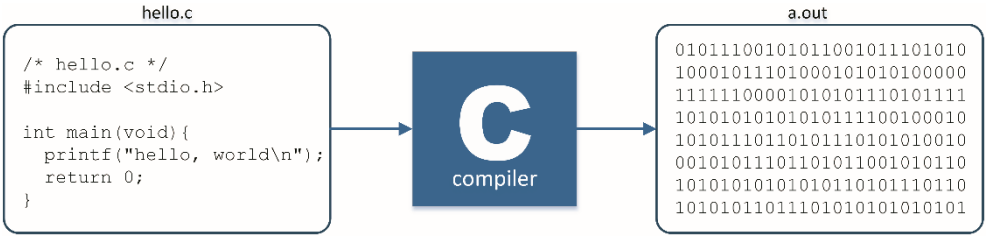
```
$ gcc -c filename.c
```

οπότε θα δημιουργηθεί μόνο το αρχείο **filename.o**.

Για να μεταγλωττίσουμε το πρόγραμμά μας πληκτρολογούμε την εντολή:

```
$ gcc hello.c
```

Αν δεν υπάρχουν στο πρόγραμμα συντακτικά λάθη, θα ανακαλύψουμε ότι στον τρέχοντα κατάλογο θα δημιουργηθεί ένα αρχείο με όνομα **a.out**.



Το αρχείο αυτό είναι εκτελέσιμο και μπορούμε να το τρέξουμε πληκτρολογώντας στη γραμμή εντολών του λειτουργικού συστήματος:

```
$ ./a.out
```

οπότε εμφανίζεται στην οθόνη μας η φράση **hello, world**.

Αν όμως θέλουμε το πρόγραμμα να έχει ένα διαφορετικό όνομα από το προκαθορισμένο a.out, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε τον διακόπτη **-o** στην εντολή μεταγλώττισης. Έτσι, η εντολή

```
$ gcc hello.c -o hello
```

θα δημιουργήσει το εκτελέσιμο αρχείο **hello**, το οποίο εκτελείται πληκτρολογώντας στη γραμμή εντολών:

```
$ ./hello
```

Η γλώσσα προγραμματισμού C είναι μια εξαιρετικά μικρή γλώσσα. Πολλές από τις λειτουργίες της δεν περιλαμβάνονται στη γλώσσα καθ' αυτή, αλλά παρέχονται μέσω βιβλιοθηκών συναρτήσεων. Κάθε βιβλιοθήκη (library) διαθέτει ένα αρχείο επικεφαλίδας, το οποίο περιέχει τα πρωτότυπα των συναρτήσεών της, δηλώσεις ειδικών τύπων δεδομένων και μακροεντολές. Για να χρησιμοποιήσει ένα πρόγραμμα μια συνάρτηση βιβλιοθήκης, θα πρέπει να ενσωματωθεί στον κώδικά του το αρχείο επικεφαλίδας της και κατά τη μεταγλώττιση να γίνει σύνδεση με τον διακόπτη **-l**. Για παράδειγμα, αν θέλουμε να χρησιμοποιήσουμε σ' ένα πρόγραμμα τη συνάρτηση **sqrt**, η οποία υπολογίζει την τετραγωνική ρίζα ενός αριθμού, πρέπει να συμπεριλάβουμε στον κώδικα την οδηγία

```
#include <math.h>
```

ώστε να συνδέσουμε τη βιβλιοθήκη μαθηματικών συναρτήσεων (libm.a) κατά τη μεταγλώττιση με την εντολή:

```
$ gcc calculate.c -o calculate -lm
```

1.5 Λάθη Μεταγλώττισης

Οι μεταγλωττιστές εντοπίζουν μόνο τα συντακτικά λάθη των προγραμμάτων μας. Ο εντοπισμός και η διόρθωση των λαθών αυτών ονομάζεται αποσφαλμάτωση και περιλαμβάνει διάφορα βήματα. Ο απλούστερος τρόπος αποσφαλμάτωσης κώδικα είναι να ζητήσουμε από το μεταγλωττιστή με τη χρήση κάποιου διακόπτη, να μας τυπώνει εκτός από τα λάθη (errors) όσο το δυνατόν περισσότερες προειδοποιήσεις (warnings). Ο διακόπτης **-Wall** συνδυάζει τα πιο συνηθισμένα είδη προειδοποιήσεων για πιθανά λάθη και συνιστάται να χρησιμοποιείται σε κάθε μεταγλώττιση.

Ας δούμε στη συνέχεια μερικά από τα συνηθισμένα λάθη που κάνουν οι αρχάριοι προγραμματιστές της C:

1) Κάνουμε ένα αντίγραφο του πρώτου μας προγράμματος και στη γραμμή 4 του κώδικα διαγράφουμε το ερωτηματικό της printf. Η αντιγραφή ενός αρχείου στα λειτουργικά συστήματα UNIX/Linux μπορεί να γίνει με την εντολή **cp** (copy):

```
$ cp 1-01.c 1-02.c
```

Ο κώδικας του νέου αρχείου τροποποιείται ως εξής:

```
1:   /* 1-02.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     printf ("Hello, world!\n")     /* missing semicolon*/
5:     return 0;
6:   }
```

Η μεταγλώττιση του προγράμματος θα εμφανίσει το επόμενο μήνυμα λάθους:

```
$ gcc 1-02.c -o 1-02
1-02.c: In function ‘main’:
1-02.c:5:3: error: expected ‘;’ before ‘return’
$
```

Το λάθος αυτό εντοπίζεται εύκολα, αφού το μήνυμα του μεταγλωττιστή είναι ξεκάθαρο: «Στο αρχείο 1-02.c και στη συνάρτηση “main”, λείπει στη γραμμή 5 το “**;**” πριν από την εντολή return».

Τα μηνύματα που παράγει το GCC έχουν τη μορφή αρχείο:γραμμή:μήνυμα.

2) Στο επόμενο παράδειγμα δεν έχουμε δηλώσει την ακέραια μεταβλητή y:

```
1:   /* 1-03.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     int x;
5:     x = y + 5;
6:     return 0;
7:   }
```

Το μήνυμα του μεταγλωττιστή είναι:

```
1-03.c: In function ‘main’:
1-03.c:5: error: ‘y’ undeclared (first use in this function)
1-03.c:5: error: (Each undeclared identifier is reported only
once
1-03.c:5: error: for each function it appears in.)
```

3) Στο παράδειγμα αυτό, θα κάνουμε κλήση της συνάρτησης **sqrt**, που όπως αναφέραμε υπολογίζει την τετραγωνική ρίζα ενός αριθμού. Στον κώδικα δεν θα συμπεριλάβουμε το αρχείο επικεφαλίδας **math.h**.

```
1:   /* 1-04.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     printf("Square root of 9 is %f\n", sqrt(9.0));
5:     return 0;
6:   }
```

Μεταγλωττίζουμε το πρόγραμμα με το διακόπτη **-lm** και στην οθόνη εμφανίζεται η παρακάτω προειδοποίηση:

```
1-04.c: In function ‘main’:
1-04.c:4: warning: incompatible implicit declaration of built-
in function ‘sqrt’
```

1.6 Αποσφαλμάτωση

Όπως αναφέραμε, οι μεταγλωττιστές δυστυχώς εντοπίζουν μόνο τα συντακτικά λάθη ενός προγράμματος. Για την ανίχνευση των λογικών λαθών μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε άλλα προγράμματα τα οποία ονομάζονται αποσφαλματωτές (**debuggers**). Ο αποσφαλματωτής είναι ένα πολύ χρήσιμο εργαλείο όταν τα προγράμματά μας δε συμπεριφέρονται, όπως επιθυμούμε. Με τη βοήθειά του μπορούμε να εντοπίσουμε την εντολή στην οποία το πρόγραμμα κατέρρευσε διατρέχοντάς το γραμμή γραμμή, να τυπώσουμε την τρέχουσα τιμή κάποιας μεταβλητής ή το αποτέλεσμα μιας έκφρασης κ.α.

Το πρόγραμμα **gdb** (GNU Debugger) είναι ο προκαθορισμένος αποσφαλματωτής των συστημάτων Unix/Linux και η αρχική του έκδοση δημιουργήθηκε από τον Richard Stallman. Λειτουργεί με διάφορες γλώσσες προγραμματισμού (Ada, Assembly, C++, Fortran, Java, Objective-C) και είναι διαθέσιμος ως ελεύθερο λογισμικό.

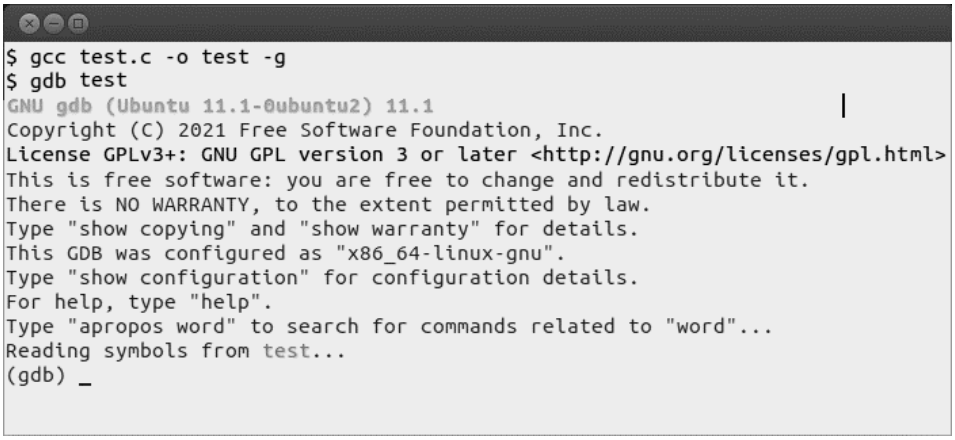
Πριν την αποσφαλμάτωση πρέπει να μεταγλωττίσουμε τον κώδικα με τη χρήση του διακόπτη **-g**, όπως δείχνει το παράδειγμα που ακολουθεί:

```
$ gcc test.c -o test -g
```

Στη συνέχεια καλούμε τον αποσφαλματωτή με την εντολή **gdb** και το όνομα του εκτελέσιμου αρχείου:

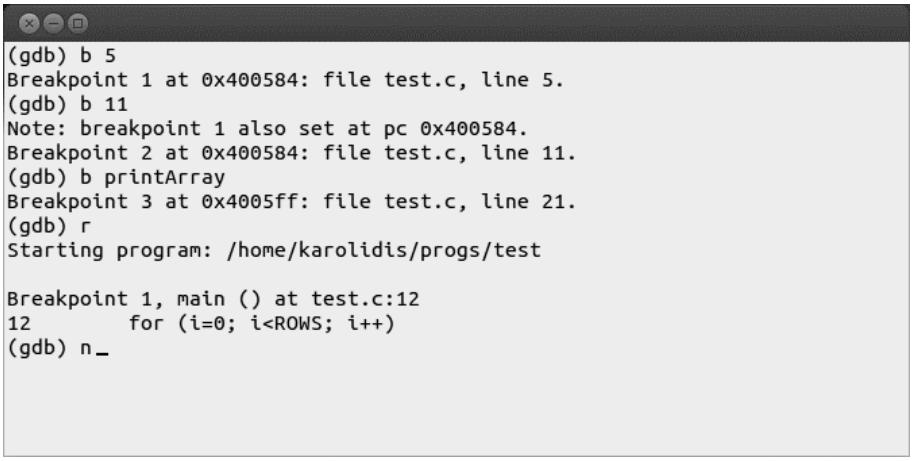
```
$ gdb test
```

Εμφανίζεται η αρχική οθόνη του debugger:



Στο σήμα προτροπής του gdb μπορούμε να πληκτρολογήσουμε τις επιθυμητές επιλογές. Για παράδειγμα, ο ορισμός ενός σημείου διακοπής (**breakpoint**) γίνεται με την εντολή **b** ή **break** συνοδευόμενη από τον αριθμό γραμμής ή το όνομα της συνάρτησης.

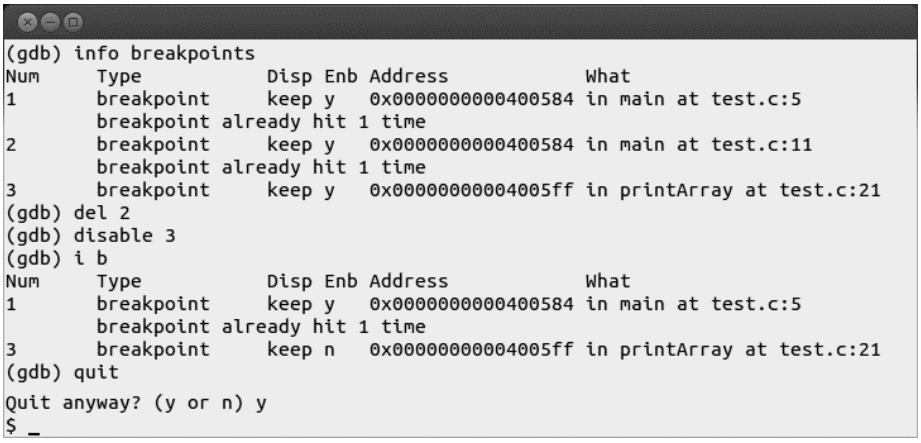
Για να εκτελέσουμε το πρόγραμμα πληκτρολογούμε την εντολή **r** ή **run**. Η εκτέλεση θα σταματήσει στο πρώτο σημείο διακοπής που έχουμε ορίσει. Προχωράμε στο επόμενο σημείο διακοπής με την εντολή **n** ή **next**.



```
(gdb) b 5
Breakpoint 1 at 0x400584: file test.c, line 5.
(gdb) b 11
Note: breakpoint 1 also set at pc 0x400584.
Breakpoint 2 at 0x400584: file test.c, line 11.
(gdb) b printArray
Breakpoint 3 at 0x4005ff: file test.c, line 21.
(gdb) r
Starting program: /home/karolidis/progs/test

Breakpoint 1, main () at test.c:12
12        for (i=0; i<ROWS; i++)
(gdb) n
```

Η λίστα των σημείων διακοπής εμφανίζεται με την εντολή **info breakpoints** ή πιο σύντομα **i b**. Με βάση τον αριθμό ενός σημείου διακοπής, έχουμε τη δυνατότητα να διαγράψουμε (**del**)**,** να απενεργοποιήσουμε (**disable**) ή να ενεργοποιήσουμε (**enable**) πάλι ένα σημείο διακοπής:



```
(gdb) info breakpoints
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep y   0x0000000000400584 in main at test.c:5
        breakpoint already hit 1 time
2       breakpoint     keep y   0x0000000000400584 in main at test.c:11
        breakpoint already hit 1 time
3       breakpoint     keep y   0x00000000004005ff in printArray at test.c:21
(gdb) del 2
(gdb) disable 3
(gdb) i b
Num     Type           Disp Enb Address            What
1       breakpoint     keep y   0x0000000000400584 in main at test.c:5
        breakpoint already hit 1 time
3       breakpoint     keep n   0x00000000004005ff in printArray at test.c:21
(gdb) quit
Quit anyway? (y or n) y
$
```

Οι εντολές **p** ή **print** και **disp** ή **display** ακολουθούμενες από το όνομα μιας μεταβλητής ή μιας παράστασης τυπώνουν την τιμή της στην οθόνη.

Μπορούμε επίσης να εμφανίσουμε τον κώδικα του προγράμματος με την εντολή **l** ή **list**. Εξ ορισμού εμφανίζονται οι επόμενες 10 γραμμές του κώδικα. Χρησιμοποιώντας αρχικό ή/και τελικό αριθμό γραμμής μαζί με την εντολή list, έχουμε τη δυνατότητα να εμφανίσουμε όποιο τμήμα του κώδικα επιθυμούμε. Η βοήθεια για κάποια εντολή δίνεται με τη χρήση της εντολής **help**. Τέλος μπορούμε να εγκαταλείψουμε το gdb με την επιλογή **quit**.

1.7 Το Αλφάβητο και το Λεξιλόγιο της C

Όπως κάθε φυσική γλώσσα διαθέτει ένα αλφάβητο για να σχηματίσει λέξεις, έτσι και κάθε γλώσσα προγραμματισμού έχει το δικό της αλφάβητο. Το αλφάβητο της γλώσσας C αποτελείται από τους 96 ακόλουθους χαρακτήρες:

- τα πεζά λατινικά γράμματα **abc … z**
- τα κεφαλαία λατινικά γράμματα **ABC … Z**
- τα ψηφία **0123456789**
- τους ειδικούς χαρακτήρες **! " # % & ' ( ) * + , - . / : ; < = > ? [\ ] ^ _ { | } ~** και το **κενό**
- και τους χαρακτήρες ελέγχου: οριζόντιο και κάθετο στηλοθέτη, αλλαγής σελίδας και νέας γραμμής.

Το προηγούμενο αλφάβητο αποτελεί ένα υποσύνολο του κώδικα ASCII (American Standard Code for Information Interchange). Το σύνολο των χαρακτήρων του κώδικα μπορεί να χρησιμοποιηθεί στα αλφαριθμητικά και στα σχόλια.

Κάθε γλώσσα σχηματίζει με τους χαρακτήρες του αλφαβήτου της, τις λέξεις ή τα σύμβολα που αποτελούν το λεξιλόγιό της. Διακρίνουμε τις παρακάτω σημαντικότερες κατηγορίες:

- **Δεσμευμένες λέξεις** (reserved words)

  Λέξεις κλειδιά (keywords):

  ANSI C (C89) / ISO C (C90)

auto	break	case	char	const
continue	default	do	double	else
enum	extern	float	for	goto
if	int	long	register	return
short	signed	sizeof	static	struct
switch	typedef	union	unsigned	void
volatile	while			

  ISO C (C99)

_Bool	_Complex	_Imaginary	inline	restrict

  ISO C (C11)

_Alignas	_Alignof	_Atomic	_Generic	_Noreturn
_Static_assert	_Thread_local			

  Εκτός από τις δεσμευμένες λέξεις, δεν πρέπει να χρησιμοποιούμε σε κώδικα τα ονόματα των συναρτήσεων της βιβλιοθήκης, μακροεντολών ή ονόματα οδηγιών του προ-επεξεργαστή.

- **Αναγνωριστικά** (identifiers)

  Στην κατηγορία αυτή ανήκουν τα ονόματα που αποδίδει ο προγραμματιστής σε μεταβλητές, σταθερές, συναρτήσεις και τύπους δεδομένων που ορίζει ο χρήστης. Τα ονόματα μπορεί να αποτελούνται από γράμματα, ψηφία και το χαρακτήρα υπογράμμισης. Η γλώσσα είναι “case sensitive”, αυτό σημαίνει ότι κάνει διάκριση μεταξύ πεζών και κεφαλαίων γραμμάτων. Τα ονόματα των μεταβλητών συνηθίζεται να αναγράφονται με πεζά γράμματα, σε αντίθεση με τις σταθερές που συνηθίζεται να χρησιμοποιούμε τα κεφαλαία. Το μήκος τους εξαρτάται από το μεταγλωττιστή, καλό είναι όμως να μην ξεπερνά τους 31 χαρακτήρες.

- **Τελεστές** (operators)

  Οι τελεστές είναι σύμβολα ή λέξεις που αναπαριστούν συγκεκριμένες διεργασίες, οι οποίες εκτελούνται σε δεδομένα και χρησιμοποιούνται στο σχηματισμό παραστάσεων. Χωρίζονται σε δύο κατηγορίες: ανάλογα με τον αριθμό των όρων στους οποίους επιδρούν (μοναδιαίοι - unary, δυαδικοί - binary, τριαδικοί - ternary) ή σύμφωνα με την εργασία που εκτελούν (αριθμητικοί, σχεσιακοί, λογικοί κ.τ.λ.).

- **Κυριολεκτικά** (literals)

  Ως κυριολεκτικό αναφερόμαστε στην αναπαράσταση μιας τιμής κάποιου από τους βασικούς τύπους της γλώσσας. Για κάθε τύπο δεδομένων ορίζονται διαφορετικές μορφές προσδιορισμού κυριολεκτικών. Έτσι για παράδειγμα το 7 και το 0x10 αποτελούν ακέραια κυριολεκτικά, το 3.14 και το 5e-10 αποτελούν κυριολεκτικά αριθμού κινητής υποδιαστολής και το 'A' αποτελεί κυριολεκτικό χαρακτήρα.

1.8 Σχόλια

Όπως ήδη αναφέραμε, τα σχόλια είναι ενσωματωμένες σημειώσεις στον πηγαίο κώδικα και χρησιμεύουν για να συνοψίζουν τη λειτουργία του ή να εξηγούν τις προθέσεις του προγραμματιστή. Στη γλώσσα προγραμματισμού C οτιδήποτε περικλείεται από τα σύμβολα **/*** και ***/** αγνοείται από το μεταγλωττιστή. Αν και υπάρχουν διάφορες απόψεις για το είδος και το πλήθος των σχολίων που πρέπει να περιέχει ένα πρόγραμμα, δεν έβλαψαν ποτέ κανέναν τα επιπλέον σχόλια. Το στυλ των σχολίων κάθε προγραμματιστή εξαρτάται προφανώς από τις προσωπικές του προτιμήσεις. Στα μεγάλα όμως έργα όπου συμμετέχουν πολλά άτομα, το στυλ των σχολίων συμφωνείται στην αρχή του έργου.

Στο βιβλίο αυτό θα χρησιμοποιήσουμε τον κλασικό τρόπο δημιουργίας σχολίων:

```
/*
  αυτό είναι σχόλιο που επεκτείνεται συνήθως σε
  δύο, τρεις ή και
  περισσότερες γραμμές
*/
```

αλλά και τον νεότερο τρόπο που υιοθετήθηκε από την C++ και υποστηρίζεται απ' όλους τους σύγχρονους μεταγλωττιστές, όπου όλοι οι χαρακτήρες μετά τις δύο πλάγιες **//** αγνοούνται:

```
// και αυτό είναι ένα σχόλιο μιας γραμμής
```

Κάθε αρχείο επικεφαλίδας (.h) και κώδικα (.c) θα πρέπει να περιέχει στην αρχή του πληροφορίες για τα περιεχόμενά του και τον δημιουργό. Επίσης κάθε συνάρτηση θα πρέπει να έχει και στα δύο είδη αρχείων σχόλια που περιγράφουν τη λειτουργία της, τις τιμές των παραμέτρων και την τιμή επιστροφής της. Προφανώς στο αρχείο κώδικα τα σχόλια της συνάρτησης θα είναι πιο αναλυτικά καθώς θα περιγράφουν και σημεία από την υλοποίησή της.

Η σωστή τεκμηρίωση του κώδικα επιτρέπει σε ειδικά εργαλεία την αυτόματη δημιουργία τεκμηρίωσης (documentation) μιας εφαρμογής. Μια τέτοια γεννήτρια τεκμηρίωσης είναι το **Doxygen**, το οποίο αναπτύχθηκε για τη C++ αλλά υποστηρίζει και άλλες γλώσσες προγραμματισμού όπως C, C#, PHP, Java, Python κ.α.

Το Doxygen διαβάζει ειδικά μορφοποιημένα σχόλια και δημιουργεί τεκμηρίωση σε διάφορες μορφές όπως είναι σελίδες HTML και αρχεία PDF. Η ειδική μορφοποίηση απαιτεί στα σχόλια τύπου μπλοκ την προσθήκη ενός ακόμη αστερίσκου στο αρχικό σύμβολο:

```
/**
...
*/
```

και στα σχόλια γραμμής της προσθήκης μιας ακόμη δεξιάς πλάγιας:

```
/// ...
```

1.9 Παραδείγματα

1) Το πρόγραμμα που ακολουθεί δεν εμφανίζει προειδοποιήσεις κατά τη μεταγλώττιση.

```
1:   /* 1-05.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     printf ("1 + 1 = %f\n", 2);
5:     return 0;
6:   }
```

Αν όμως το μεταγλωττίσουμε χρησιμοποιώντας το διακόπτη **-Wall**

```
$ gcc 1-05.c -o 1-05 -Wall
```

θα πάρουμε το εξής μήνυμα:

```
1-05.c: In function 'main':
1-05.c:4:3: warning: format '%f' expects type 'double', but
argument 2 has type 'int' [-Wformat]
```

2) Η μεταγλώττιση του επόμενου προγράμματος θα γίνει σύμφωνα με το πρότυπο ANSI C.

```
1:   /* 1-06.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     printf ("Compile with –std=c89 option.\n");
5:     return 0;
6:   }
```

Στην εντολή μεταγλώττισης χρησιμοποιούμε την επιλογή **-std=c89**:

```
$ gcc 1-06.c -o 1-06 –std=c89
```

Αν χρησιμοποιήσουμε και την επιλογή **-O**, ο μεταγλωττιστής θα προσπαθήσει επιπροσθέτως να μειώσει το μέγεθος του κώδικα και τον χρόνο εκτέλεσης.

```
$ gcc –O 1-06.c -o 1-06 –std=c89
```

Η έκδοση του μεταγλωττιστή εμφανίζεται με τη χρήση της επιλογής **--version**:

```
$ gcc --version
```

```
gcc (Ubuntu/Linaro 4.7.3-1ubuntu1) 4.7.3
Copyright (C) 2012 Free Software Foundation, Inc.
```

1.10 Ασκήσεις

1) Επιλέξετε το σωστό.
Κάθε πρόγραμμα της C έχει μια βασική συνάρτηση με το όνομα:
- BASIC
- main
- Begin

2) Πληκτρολογήστε τον επόμενο κώδικα και μεταγλωττίστε τον. Ποιες γραμμές κώδικα εμφανίζουν λάθη;

```
1:   /* 1-07.c */
2:   #include <studio.h>

3:   int main(void);{
4:     printf("Try to find the errors./n" );
5:     printf("/* Is this is a comment? */\n");
6:     return0;
7:   }
```

3) Βρείτε τα συντακτικά λάθη στο επόμενο πρόγραμμα.

```
1:   /* 1-08.c */
2:   include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     int i
5:     i:=66;
6:     printf("i=%d\n", i);
7:     ;
8:     return "0";
9:   }
```

4) Βρείτε τα συντακτικά λάθη στο επόμενο πρόγραμμα.

```
1:   /* 1-09.c */
2:   #include <stdio.h>

3:   int main(void){
4:     /* Πως σε λένε;
5:     printf "Με λένε Πόπη.\n";
6:     return 0;
7:   }
```

5) Πληκτρολογήστε τον ακόλουθο κώδικα και μεταγλωττίστε τον.

```
1:   /* 1-10.c */
2:   #include <stdio.h>
3:   #include <math.h>

4:   int main(void){
5:     int i;
6:     for (i = 1; i < 5; i++)
7:       printf("pow(2.5, %d) = %lf\n", i, pow(2.5, i));
8:     return 0;
9:   }
```

Σχολιάστε τα αποτελέσματα.

6) Γράψτε ένα πρόγραμμα που εμφανίζει το παρακάτω μενού επιλογών:

***** Τηλεφωνικός Κατάλογος *****
1) Εισαγωγή
2) Αναζήτηση
3) Διαγραφή
4) Έξοδος
Δώστε την επιλογή σας:

7) Βρείτε τα λάθη στο πρόγραμμα που ακολουθεί:

```
1:   /* 1-11.c
2:   #include <stdio.h>

3:   INT main(Void)
4:     INT sum = 0.0;
5:     sum = 5 + 3    // compute //
6:     printf("Result is %d\n" sum);
7:     return 666;
8:   }
```