Προγραμματισμός συστημάτων UNIX/POSIX

Χρονομέτρηση, καθυστέρηση και ανάλυση επιδόσεων

Ανάγκη

- Πάρα πολύ συχνά υπάρχει η ανάγκη να χρονομετρήσουμε κάτι, π.χ.
  - Πόσο χρειάστηκε ένα πρόγραμμα για να εκτελεστεί
  - Πόσος χρόνος απαιτείται για συγκεκριμένα κομβικά τμήματα του κώδικά μας
  - Σύγκριση προγραμμάτων, benchmarking για επιδόσεις υλικού / λογισμικού
  - Profiling (στατιστικά χρονομέτρησης για να βρούμε που ένα πρόγραμμα καταναλώνει τον χρόνο του).

  - Η χρονομέτρηση δεν είναι κάτι απλό και χρειάζεται μεγάλη προσοχή.

- Ξεκινώντας από το τέλος (profiling), μπορούμε να βρούμε (μεταξύ άλλων) πόσο χρόνο σπαταλάει η εφαρμογή μας σε κάθε συνάρτηση.

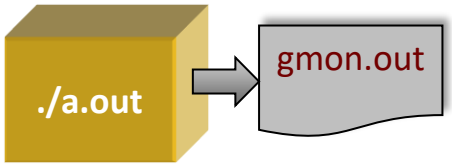
- Το εργαλείο ονομάζεται **`gprof`** (GNU profiler)
  - Για τη χρήση του απαιτείται να δοθεί το flag `-pg` κατά τη μετάφραση με τον `gcc`.
  - Κατά την εκτέλεση του `a.out` (η οποία *είναι αρκετά πιο αργή* από ότι θα περιμέναμε) δημιουργείται ένα αρχείο "`gmon.out`".
  - Εκτελούμε το `gprof`, το οποίο με βάση το αρχείο αυτό μας δείχνει ενδιαφέρουσες πληροφορίες.

Profiling με το gprof

1. Μετάφραση με –pg

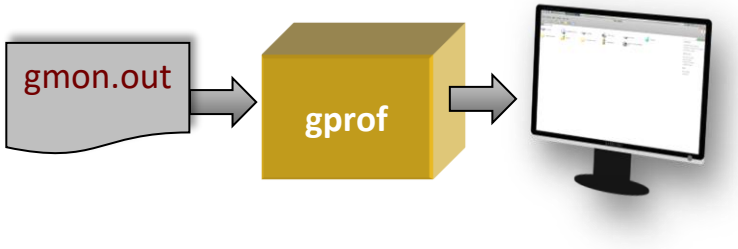

```
gcc –pg prog.c
```

2. Εκτέλεση προγράμματος




```
./a.out
```

3. Εκτέλεση gprof




```
gprof a.out gmon.out …
```

Παράδειγμα

testprof.c

```
int a() {
  int i, sum=0;
  for (i = 0; i < 100000; i++)
    sum += i;
  return sum;
}
int b(void) {
  int i, sum=0;
  for (i = 0; i < 400000; i++)   /* should be x4 the time of a() */
    sum += i;
  return sum;
}
int main() {
  int iterations = 1000;
  printf("profiling example.\n");
  for ( ; iterations > 0; iterations--) {
    a();
    b();
  }
  return 0;
}
```

ΤΕΡΜΑΤΙΚΟ

```
$ gcc -pg testprof.c
$ ./a.out
$
```

Προβολή πληροφοριών

- Μπορούμε να δούμε τα αποτελέσματα με 3 τρόπους:
  1. **Flat profile**

     Δείχνει πόσος χρόνος σπαταλήθηκε στην κάθε συνάρτηση και πόσες φορές έγινε κλήση στη συνάρτηση αυτή.
  2. **Call graph**

     Για κάθε συνάρτηση, δείχνει ποιες συναρτήσεις την κάλεσαν, ποιες κάλεσε αυτή και πόσες φορές έγιναν αυτά.
  3. **Annotated source**

     Δείχνει τον κώδικα και πόσες φορές εκτελέστηκαν διάφορα τμήματά του. Για τη συγκεκριμένη προβολή, *πρέπει να έχουμε δώσει και το όρισμα –g κατά τη μετάφραση.*

Flat profile

Περίοδος "δειγματοληψίας".

Όποιο αποτέλεσμα είναι μικρότερο από αυτόν το χρόνο, θεωρείται ανακριβές.

```
$ gprof a.out gmon.out -p

Flat profile:

Each sample counts as 0.01 seconds.
  %   cumulative   self              self     total
 time   seconds   seconds    calls  us/call  us/call  name
 81.38      0.83     0.83     1000   830.12   830.12  b
 19.85      1.03     0.20     1000   202.47   202.47  a

...
```

Ποσοστό του χρόνου εκτέλεσης που σπαταλήθηκε στην κάθε συνάρτηση.

Πόσος χρόνος (sec) αφιερώθηκε στην κάθε συνάρτηση

Και οι δύο κλήθηκαν 1000 φορές

Χρόνος (μsec) για την κάθε κλήση

Call graph

```
$ gprof a.out gmon.out -q

 Call graph (explanation follows)

granularity: each sample hit covers 2 byte(s) for 0.97% of 1.03 seconds

index % time    self  children    called     name
                                                 <spontaneous>
[1]    100.0    0.00    1.03                 main [1]
                0.83    0.00    1000/1000        b [2]
                0.20    0.00    1000/1000        a [3]
-----------------------------------------------
                0.83    0.00    1000/1000        main [1]
[2]     80.4    0.83    0.00    1000         b [2]
-----------------------------------------------
                0.20    0.00    1000/1000        main [1]
[3]     19.6    0.20    0.00    1000         a [3]
-----------------------------------------------
...
```

Η συνάρτηση

Ακολουθούν αυτές που καλεί

Προηγούνται αυτές που την καλούν

Η συνάρτηση

Πόσος χρόνος (sec) αφιερώθηκε στις συναρτήσεις που κάλεσε (τις ονομάζει "παιδιά" της)

Η `printf()` πού είναι;

Πρέπει όλες οι συναρτήσεις να έχουν μεταφραστεί με -pg

Annotated source

```
$ gcc -pg -g testprof.c
$ ./a.out
$ gprof a.out gmon.out -A

*** File /home/dimako/testprof.c:
                #include <stdio.h>
        1000 -> int a() {
                  int i, sum=0;
                  for (i = 0; i < 100000; i++)
                    sum += i;
                  return sum;
                }
        1000 -> int b(void) {
                  int i, sum=0;
                  for (i = 0; i < 400000; i++)
                    sum += i;
                  return sum;
                }
      ##### -> int main() {
                  int iterations = 1000;
                        printf("profiling example\n");
                  for ( ; iterations > 0; iterations--) {
                    a();
                    b();
                  }
                }
...
```

Κάθε block του κώδικα πόσες φορές εκτελέστηκε

Χρονομέτρηση (I)

- Πρώτα από όλα, **τι ακριβώς θέλουμε να μετρήσουμε;**
  - Μας ενδιαφέρει ο χρόνος που ο επεξεργαστής αφιέρωσε σε ένα πρόγραμμα ή σε ένα συγκεκριμένο τμήμα του;
    - ***Χρόνος επεξεργαστή (χρόνος καθαρών υπολογισμών).***
  - Ή μας ενδιαφέρει πόση ώρα περνάει από ένα συγκεκριμένο γεγονός;
    - ***Πραγματικός χρόνος που παρήλθε.***

- Στην πρώτη περίπτωση, μας ενδιαφέρει μόνο πόσο χρόνο χρειάστηκε ο επεξεργαστής για καθαρούς υπολογισμούς, όχι πόσος χρόνος πέρασε από την ώρα που ξεκίνησε η χρονομέτρηση.
  - Ο χρόνος είναι *ανεξάρτητος του φόρτου του συστήματος – θα είναι πάντα ο ίδιος,* ακόμα και όταν εκτελούνται πολλές διεργασίες "ταυτόχρονα".
  - Μετρά "χρόνο επεξεργαστή" (CPU time) όχι πραγματικό χρόνο που παρήλθε (real/elapsed time).
  - Ίσως η πιο χρήσιμη περίπτωση όταν ενδιαφερόμαστε για εκτίμηση της επίδοσης του κώδικα.
- Στη δεύτερη περίπτωση μας ενδιαφέρει πόσος *πραγματικός* χρόνος παρήλθε.
  - *Εξαρτάται από τον φόρτο του συστήματος*! Όταν εκτελείται μόνο η εφαρμογή μας, η χρονομέτρηση θα είναι ακριβής, όταν εκτελούνται κι άλλες θα έχει διακυμάνσεις. Η χρονομέτρηση πρέπει να γίνεται σε ελεγχόμενο περιβάλλον.
  - Είναι χρήσιμο όταν μας ενδιαφέρει η συνολική συμπεριφορά, σε πραγματικές συνθήκες.

Χρονομέτρηση (II)

- **Τι τάξη μεγέθους είναι οι χρόνοι που μας ενδιαφέρουν;**
  - Είναι χρόνοι της τάξης των λεπτών/ωρών/ημερών κλπ ;
    - Εδώ δεν μπαίνει θέμα ακρίβειας.
  - Είναι χρόνοι τάξης δευτερολέπτων / δεκάτων ή εκατοστών του δευτερολέπτου;
    - Κι εδώ η ακρίβεια δεν είναι (συνήθως) ουσιαστικό θέμα, οι περισσότεροι μηχανισμοί χρονομέτρησης είναι εφαρμόσιμοι.
  - Είναι χρόνοι της τάξης του msec / μsec / nsec?
    - Εδώ απαιτείται χρονομέτρηση με κατάλληλη υποστήριξη από το υλικό. Οι χρονομετρητές πρέπει να έχουν αυξημένη ακρίβεια και ανάλυση (resolution).
  - Στην τελευταία περίπτωση δεν υπάρχουν πάντα λύσεις τυποποιημένες που δουλεύουν σε όλα τα συστήματα.
  - Για τις υπόλοιπες περιπτώσεις μπορούν να χρησιμοποιηθούν αρκετοί και διαφορετικοί μηχανισμοί.

Χρονομέτρηση (III)

- **Τι μηχανισμούς χρονομέτρησης διαθέτουμε;**
  - Μετρούν χρόνο ("wall-clock" timers);
  - Μετρούν διαστήματα (interval timers);

- Στην πρώτη περίπτωση, οι χρόνοι που παίρνουμε είναι «έτοιμοι» για χρήση.
- Στη δεύτερη περίπτωση, θα πρέπει να ξέρουμε τη *διάρκεια του κάθε διαστήματος* προκειμένου να βρούμε τον πραγματικό χρόνο:
  - Π.χ. ρολόγια που αυξάνουν έναν μετρητή ανά τακτά διαστήματα.
  - Π.χ. μετρητές υψηλής ακρίβειας της CPU που μετρούν το πλήθος των παλμών του ρολογιού (clock cycles): *θα πρέπει να γνωρίζουμε τη συχνότητα του επεξεργαστή* για να βρούμε ποια είναι η διάρκεια του κάθε παλμού και άρα σε πόσο χρόνο αντιστοιχούν οι παλμοί που μετρήσαμε.

Δύο τρόποι χρονομέτρησης

1. Από το τερματικό
   - Εντολή time: μετρά την εκτέλεση ενός ολόκληρου προγράμματος

```
$ time ./a.out
…
real    0m5.316s
user    0m2.304s
sys     0m0.004s
```

Real: πραγματικός χρόνος που παρήλθε (εμπεριέχει ότι καθυστερήσεις υπήρχαν, π.χ. αναμονή να πληκτρολογήσει κάτι ο χρήστης)

User: χρόνος καθαρών υπολογισμών (CPU time) χωρίς τις κλήσεις συστήματος

Sys: χρόνος καθαρών υπολογισμών (CPU time) που δαπανήθηκαν σε κλήσεις συστήματος

2. Προγραμματιστικά
   - Για χρονομέτρηση ενός τμήματος του κώδικά μας:

```
<timing_call 1>    /* Record time t1 */
  <κώδικας>        /* The code we want to measure */
<timing_call 2>    /* Record time t2 */
```

   - *Η διαφορά των δύο χρόνων* t2, t1 θα μας δώσει την επιθυμητή μέτρηση

Χρονομέτρηση με την clock()

- Η **`clock()`** μετρά καθαρό χρόνο εκτέλεσης (CPU time)
  - Συνήθως ακρίβεια *εκατοστού του δευτερολέπτου*

- Η `clock()` είναι interval-based και επιστρέφει τον χρόνο που αφιέρωσε η CPU από τη στιγμή που ξεκίνησε το πρόγραμμά σας, μετρημένο σε «*κύκλους*» (clocks).
  - Για να βρείτε το χρόνο σε δευτερόλεπτα θα πρέπει να διαιρέσετε με τη σταθερά **`CLOCKS_PER_SEC`**.
  - Προσοχή στη διαίρεση γιατί και το `CLOCKS_PER_SEC` και η τιμή επιστροφής της `clock()` είναι ακέραιοι.

- Θα πρέπει να κάνετε `#include <time.h>`.

- Προσοχή: επειδή η `clock()` επιστρέφει ακέραιο, αν το πρόγραμμά σας χρειάζεται πολλή ώρα να τρέξει υπάρχει κίνδυνος να μηδενιστεί ο χρονομετρητής και να λάβετε λάθος μετρήσεις. Π.χ. στο solaris αναφέρεται ότι ο χρονομετρητής μηδενίζεται και μετρά πάλι από την αρχή κάθε 36 λεπτά καθαρού χρόνου εκτέλεσης!

```
$ man clock
```

Παράδειγμα χρονομέτρησης με την clock()

```
#include <stdio.h>
#include <time.h> /* Για την clock() */

int main() {
  double t1, t2;  /* Για αποφυγή ακέραιας διαίρεσης */
  int i, sum = 0;

  t1 = (double) clock(); /* επιστρέφει clock_t (συνήθως int ή long) */
  for (i = 0; i < 100000000; i++)
    sum += i;
  t2 = (double) clock();

  printf("Added 10000000 numbers in %lf sec (CPU time).\n",
         (t2 - t1) / CLOCKS_PER_SEC );
  return 0;
}
```

Χρονομέτρηση με την times()

- Η **`times()`** μετρά και πραγματικό χρόνο αλλά και καθαρό χρόνο εκτέλεσης (CPU time).
  - Ο πραγματικός χρόνος που επιστρέφει είναι το χρονικό διάστημα που παρήλθε από κάποιο απροσδιόριστο σημείο στο παρελθόν (π.χ. system boot time).
  - `#include <sys/times.h>`.

- Και η `times()` είναι interval-based. Όμως επιστρέφει χρόνους μετρημένους σε «*χτύπους ρολογιού*» (clock ticks).
  - Για να βρείτε το χρόνο σε δευτερόλεπτα θα πρέπει να διαιρέσετε με το πλήθος των χτύπων ρολογιού ανά δευτερόλεπτο, το οποίο το βρίσκεται μόνο προγραμματιστικά ως εξής:

```
ticspersec = sysconf(_SC_CLK_TCK);    /* unistd.h */
```

  - Προσοχή πάλι στις διαιρέσεις γιατί και οι χτύποι ανά δευτερόλεπτο και η τιμή επιστροφής της `times()` είναι ακέραιοι.

- Επιστρέφει τον *πραγματικό χρόνο που παρήλθε.*
- Παίρνει ως παράμετρο ένα **struct tms** από όπου μπορούμε να μάθουμε για τους καθαρούς χρόνους εκτέλεσης:

```
struct tms {
  clock_t tms_utime, tms_stime     /* for me */
  clock_t tms_cutime, tms_cstime;  /* for my child processes */
};
```

```
$ man -s 3 times
```

Παράδειγμα χρονομέτρησης με την times()

```
#include <stdio.h>
#include <sys/times.h>        /* Για την times() */
#include <unistd.h>           /* Για την sysconf() */

int main() {
  double t1, t2, cpu_time;    /* Για αποφυγή ακεραίας διαίρεσης */
  struct tms tb1, tb2;        /* Το χρειάζεται η times() */
  long   ticspersec;
  int    i, sum = 0;

  t1 = (double) times(&tb1); /* Η times() επιστρέφει (long) int */
  for (i = 0; i < 100000000; i++)
    sum += i;
  t2 = (double) times(&tb2);

  cpu_time = (double) ((tb2.tms_utime + tb2.tms_stime) -
                       (tb1.tms_utime + tb1.tms_stime));
  ticspersec = sysconf(_SC_CLK_TCK);     /* # clock ticks / sec */

  printf("Real time: %lf sec; CPU time: %lf sec.\n",
         (t2 - t1) / ticspersec, cpu_time / ticspersec);
  return 0;
}
```

Χρονομέτρηση με την gettimeofday()

- Η **gettimeofday()** μετρά τον *πραγματικό* χρόνο που παρήλθε…
  - … από την 1/1/1970, ώρα 00:00 (το λεγόμενο «**Epoch**»).
  - `#include <sys/time.h>  /* Όχι το sys/times.h !! */`
  - Πολύ συχνή η χρήση της στην πράξη.

- Η `gettimeofday()` επιστρέφει χρόνο (wall-clock time).
  - Υλοποιείται συνήθως (όχι πάντα) με αρκετά μεγάλη ανάλυση (της τάξης του 1μsec).

- Παίρνει δύο παραμέτρους, με τη δεύτερη συνήθως NULL. Η πρώτη παράμετρος είναι δείκτης σε ένα **struct timeval** με τα εξής πεδία:

```
struct timeval {
  time_t tv_sec;          /* seconds */
  unsigned int tv_usec;   /* microseconds */
};
```

Το time_t ήταν μέχρι πρότινος ένας ακέραιος 32bit. Σε 68 χρόνια γίνεται overflow!

-- βλ. “year 2038 problem”

```
$ man gettimeofday
```

Παράδειγμα χρονομέτρησης με την gettimeofday()

```
#include <stdio.h>
#include <sys/time.h>       /* Για την gettimeofday() */

int main() {
  struct timeval tv1, tv2;
  int    i, sum = 0;
  double t;

  gettimeofday(&tv1, NULL);
  for (i = 0; i < 100000000; i++)
    sum += i;
  gettimeofday(&tv2, NULL);

  t = (tv2.tv_sec - tv1.tv_sec) +         /* seconds */
      (tv2.tv_usec - tv1.tv_usec)*1.0E-6; /* convert μsec to sec */

  printf("real time: %lf sec.\n", t);
  return 0;
}
```

Τεχνική: εύρεση της ανάλυσης της gettimeofday()

- Πώς μπορώ να βρω τι ανάλυση (resolution) έχει η `gettimeofday();`
  - Δηλαδή, ποιος είναι ο μικρότερος χρόνος που μπορεί να μετρήσει;

```
struct timeval tv1, tv2;
int resolution;

gettimeofday(&tv1, NULL);
do {
  gettimeofday(&tv2, NULL);
}
while (tv1.tv_usec == tv2.tv_usec);     /* Μέχρι να αλλάξει! */

resolution = tv2.tv_usec - tv1.tv_usec; /* Σε μsec */
```

(θεωρώντας ότι ο χρόνος για την κλήση της gettimeofday() είναι αμελητέος σε σχέση με την ανάλυση)

Χρονομέτρηση με την clock_gettime()

- Η **clock_gettime()** είναι η πλέον σύγχρονη κλήση:
  - Μετρά με βάση κάποιο από τα παρεχόμενα ***ρολόγια***.
  - Σε όλα τα συστήματα POSIX εγγυημένα υπάρχει ένα ρολόι που μετρά πραγματικό χρόνο (**CLOCK_REALTIME**).
  - Διάφορα συστήματα παρέχουν επιπλέον ρολόγια.
    - Π.χ. στο Solaris υπήρχε το CLOCK_HIGHRES (πραγματικού χρόνου με υπερυψηλή ανάλυση)
    - Σε πρόσφατες εκδόσεις του Linux υπάρχει το CLOCK_PROCESS_CPUTIME_ID (για χρόνους καθαρών υπολογισμών στη CPU).
  - `#include <time.h>`.

- Κλήση:

```
clock_gettime(clockid_t clk, struct timespec *tp);

 struct timespec {
    time_t tv_sec;        /* seconds */
    long   tv_nsec;       /* nanoseconds */
 };
```

(στο tv_nsec μπορούμε να βάλουμε από 0 μέχρι 999.999.999).

- Επιπλέον ευκολία:

```
clock_getres(clockid_t clk, struct timespec *tp);
```

  - Στο tp λαμβάνουμε την ανάλυση (resolution) του ρολογιού clk.

```
$ man clock_gettime
```

Παράδειγμα χρονομέτρησης με την clock_gettime()

```
#include <stdio.h>
#include <time.h>       /* Για την clock_gettime() */

int main() {
  struct timespec ts1, ts2;
  int    i, sum = 0;
  double t;

  clock_gettime(CLOCK_REALTIME, &ts1);
  for (i = 0; i < 100000000; i++)
    sum += i;
  clock_gettime(CLOCK_REALTIME, &ts2);

  t = (ts2.tv_sec - ts1.tv_sec) +          /* seconds */
      (ts2.tv_nsec - ts1.tv_nsec)*1.0E-9;  /* convert nsec to sec */
  printf("real time: %lf sec.\n", t);

  clock_getres(CLOCK_REALTIME, &ts1);
  printf("clock resolution: %lf nsec.\n", ts1.tv_sec*1.0E9 + ts1.tv_nsec);
  return 0;
}
```

Καθυστέρηση – αναμονή (I)

- Μια πρακτική αναγκαιότητα είναι η τεχνητή *καθυστέρηση.*
  - Είτε ενδιαφερόμαστε να καθυστερήσουμε τα πρόγραμμά μας για λίγο (π.χ. για να προλάβει να γίνει κάποιο γεγονός)
  - Είτε θέλουμε να αφήσουμε να περάσει ένα προκαθορισμένο διάστημα προκειμένου να χρονομετρήσουμε κάτι.

- Και στις δύο περιπτώσεις, μπορούμε να πούμε στο σύστημα να "κοιμίσει" τη διεργασία μας για ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
  - Η διεργασία σταματά προσωρινά να εκτελείται
  - Το σύστημα εκτελεί ότι άλλες διεργασίες έχει (για να μην κάθετε)
  - Όταν παρέλθει το χρονικό διάστημα που ορίσαμε, συνεχίζει την εκτέλεση της διεργασίας μας

- Συναρτήσεις τύπου "sleep()"

Καθυστέρηση – αναμονή (II)

```
#include <unistd.h>
unsigned int sleep(unsigned int seconds);
int usleep(unsigned int microsecs);  /* μsec */
```

- Η `sleep()` είναι η πιο κλασική κλήση, αλλά είναι για σχετικά μεγάλα διαστήματα (>= 1 sec)
- Η `usleep()` είναι για διαστήματα *μέχρι 1 sec* (δεν δουλεύει για μεγαλύτερα διαστήματα, το όρισμα πρέπει να είναι <= 1.000.000).

```
#include <time.h>
int nanosleep(struct timespec *req, struct timespec *rem);
```

- Το `req` προδιορίζει το πλήθος των nanoseconds για το διάστημα αναμονής (όπως στην `clock_gettime()`)

```
struct timespec {
    time_t tv_sec;        /* seconds */
    long   tv_nsec;       /* nanoseconds */
};
```

- Ναι μεν προσδιορίζουμε nsec, αλλά αν το διάστημα αναμονής είναι μικρότερο από την ανάλυση του ρολογιού του συστήματος, ο χρόνος αναμονής θα είναι μεγαλύτερος από αυτόν που ζητήσαμε.
- Το `rem` είναι συνήθως `NULL`.

```
$ man nanosleep
```

Χρονόμετρο – αντίστροφη μέτρηση

- Πολλές φορές υπάρχει η ανάγκη να γνωρίζουμε πότε παρέρχεται ένα συγκεκριμένο χρονικό διάστημα.
  - Παραδείγματα:
    - Θέλουμε να υλοποιήσουμε αντίστροφη μέτρηση
    - Θέλουμε κάθε 15 λεπτά να εκτυπώνεται ένα ενημερωτικό μήνυμα προς τον χρήστη.
    - Θέλουμε σε ένα παιχνίδι να μετρήσουμε πόσες φορές ο χρήστης πάτησε ένα πλήκτρο μέσα σε 10 δευτερόλεπτα.
    - κλπ
  - Κατά τη διάρκεια αυτού του διαστήματος, θέλουμε η εφαρμογή μας να συνεχίζει την εκτέλεσή της
  - Επομένως οι συναρτήσεις τύπου `sleep()` δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν
- Οι συναρτήσεις που παρέχονται για τέτοιες περιπτώσεις είναι οι συναρτήσεις «ξυπνητηριών»
  - `alarm()`
  - `setitimer()`
- Η βασική ιδέα πίσω από αυτές είναι:
  - Ενεργοποίηση ενός ξυπνητηριού / χρονομετρητή (timer) που μετράει αντίστροφα
  - Όταν παρέλθει το δοθέν χρονικό διάστημα, προκαλείται διακοπή (interrupt) στη διεργασία
  - Έχουμε φροντίσει να έχουμε δική μας συνάρτηση για την εξυπηρέτηση της διακοπής

alarm()

- Η «κλασική» κλήση είναι η `alarm()`, η οποία όμως μπορεί να μετρήσει μόνο δευτερόλεπτα:

```
#include <unistd.h>
unsigned int alarm(unsigned int sec);
```

- Η παράμετρος `sec` καθορίζει το χρονικό διάστημα σε δευτερόλεπτα.

- Όταν ολοκληρωθεί το χρονικό διάστημα προκαλείται σήμα / διακοπή τύπου `SIGALRM`.

- Παρατηρήσεις:
  1. Αν η συνάρτηση κληθεί πριν τελειώσει το προηγούμενο χρονικό διάστημα που είχε τεθεί, ακυρώνεται το παλιό και ορίζεται νέο διάστημα.
  2. Καλώντας την με παράμετρο 0, ***ακυρώνεται*** το χρονόμετρο.
  3. Επιστρέφει το χρόνο που έμενε μέχρι να ολοκληρωθεί το προηγούμενο διάστημα.
  4. Επειδή και η `sleep()` μπορεί να υλοποιηθεί με χρήση των ίδιων χρονομέτρων με την alarm(), δεν πρέπει να γίνεται `sleep()` πριν την ολοκλήρωση του χρονικού διαστήματος από την `alarm()`.

setitimer() - I

- Η συνιστώμενη κλήση είναι η `setitimer()` :

```
#include <sys/time.h>
int setitimer(int which,   /* ποιο χρονόμετρο να χρησιμοποιηθεί */
              struct itimerval *new,
              struct itimerval *old);
```

- Επιστρέφει 0 αν πέτυχε, ή < 0 σε περίπτωση αποτυχίας.

- Για κάθε διεργασία ορίζονται 3 διαφορετικά χρονόμετρα
  - **`ITIMER_REAL`**, για αντίστροφη χρονομέτρηση σε πραγματικό χρόνο.
  - `ITIMER_VIRTUAL`, για αντίστροφη χρονομέτρηση σε χρόνο εκτέλεσης (CPU user time)
  - `ITIMER_PROF`, για αντίστροφη χρονομέτρηση σε χρόνο εκτέλεσης που περιλαμβάνει και κλήσεις συστήματος (CPU user + system time, κυρίως για profiling και debugging).
  - *Μόνο ένα χρονόμετρο* μπορεί να έχετε ενεργό σε οποιαδήποτε χρονική στιγμή.

- Το `ITIMER_REAL` είναι το ίδιο με αυτό που χρησιμοποιεί και η `alarm()`, οπότε δεν πρέπει να μπλέκονται οι δύο κλήσεις.

setitimer() - II

```
int setitimer(int which,
              struct itimerval *new,
              struct itimerval *old);
```

- Το old είναι συνήθως NULL, αλλιώς εκεί επιστρέφεται ο χρόνος που απέμενε από το προηγούμενο χρονόμετρο.
- Το χρονικό διάστημα προσδιορίζεται στο new που έχει τύπο:

```
struct itimerval {
   struct timeval it_interval; /* next value */
   struct timeval it_value;    /* current value */
};
```

Στο `it_value` δίνουμε το χρονικό διάστημα που πρέπει να παρέλθει. Όταν ολοκληρωθεί, **ΤΟ ΧΡΟΝΟΜΕΤΡΟ ΞΑΝΑΡΧΙΖΕΙ ΝΑ ΜΕΤΡΑΕΙ ΑΝΤΙΣΤΡΟΦΑ** για διάστημα ίσο με `it_interval`.

- Αν μας ενδιαφέρει μόνο μία χρονομέτρηση, θα πρέπει το `it_interval` να το θέσουμε σε **μηδενική** τιμή,
- αλλιώς θα έχουμε <u>συνεχώς</u> ξυπνήματα κάθε `it_interval` χρόνο.

Το `struct timeval` είναι γνωστό από την `gettimeofday()`:

```
struct timeval {
  time_t tv_sec;
  unsigned int tv_usec;
};
```

- Όταν ολοκληρωθεί το διάστημα, παράγεται διαφορετικό signal ανάλογα με το χρονόμετρο που χρησιμοποιήθηκε:
  - SIGALRM για το ITIMER_REAL.
  - SIGVTALRM για το ITIMER_VIRTUAL
  - SIGPROF για το ITIMER_PROF

Πιθανή υλοποίηση της alarm() μέσω setitimer()

```
unsigned int myalarm (unsigned int sec) {
  struct itimerval old, new;

  new.it_value.tv_sec     = (long int) sec;
  new.it_value.tv_usec    = 0;
  new.it_interval.tv_sec  = 0; /* do not repeat */
  new.it_interval.tv_usec = 0;
  if (setitimer(ITIMER_REAL, &new, &old) < 0)
    return 0;
  else
    return old.it_value.tv_sec;
}
```

Απλό παράδειγμα χρήσης

```
#include <stdio.h>      /* for printf */
#include <sys/time.h>   /* for setitimer */
#include <signal.h>     /* for signal */

void handleAlarm(int);

int main() {
   struct itimerval it_val;                        /* for setting itimer */

   /* sigaction() should actually be used – I use signal() due to lack of slides space */
   if (signal(SIGALRM, handleAlarm) == SIG_ERR) {  /* Set SIGALRM handler */
     perror("Unable to catch SIGALRM");
     exit(1);
   }
   it_val.it_value.tv_sec =  0;           /* Set the timer */
   it_val.it_value.tv_usec = 500000;      /* 0.5 sec */
   it_val.it_interval = it_val.it_value;  /* repeat every 0.5 sec */
   if (setitimer(ITIMER_REAL, &it_val, NULL) == -1) {
     perror("error calling setitimer()");
     exit(1);
   }
   while (1)
     ;
   return (1);
}

void handleAlarm(int ignore) {
  printf("0.5 sec passed..\n");
}
```