

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.

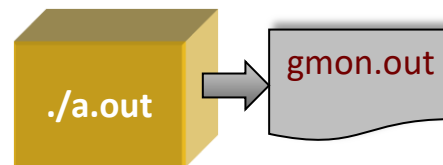
Profiling με το gprof

1. Μετάφραση με `-pg`



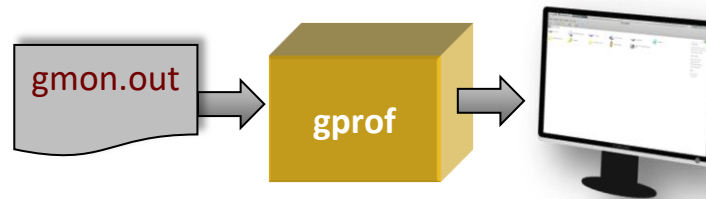
```
gcc -pg prog.c
```

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
$
```

❖ 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.

% time	cumulative seconds	self seconds	calls	self us/call	total 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

Χρόνος (μsec) για την κάθε κλήση

Και οι δύο κλήθηκαν 1000 φορές

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	
[1]	100.0	0.00	1.03		<spontaneous>	
		0.83	0.00	1000/1000	main [1]	← Η συνάρτηση
		0.20	0.00	1000/1000	b [2]	← Ακολουθούν
					a [3]	← αυτές που καλεί

[2]	80.4	0.83	0.00	1000/1000	main [1]	
		0.83	0.00	1000	b [2]	

[3]	19.6	0.20	0.00	1000/1000	main [1]	← Προηγούνται
		0.20	0.00	1000	a [3]	← αυτές που την
						καλούν
						← Η συνάρτηση

...						

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

Η printf() πού είναι;

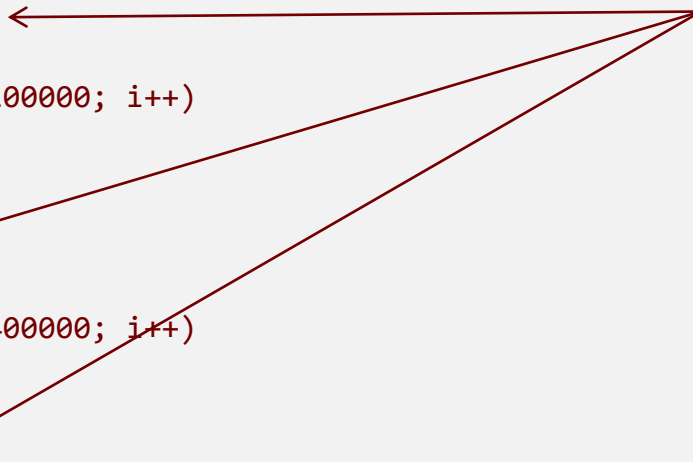
Annotated source

```
$ 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.

❖ 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 / msec / 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.

❖ 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 t_2, t_1 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 100000000 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 */
};
```

To `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 msec */
```

(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;
}
```

- ❖ 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 κάθεται)
 - 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 $\leq 1.000.000$).

```
#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

- ❖ 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 απέμεινε 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 συνεχώς ξυπνήματα κάθε it_interval χρόνο.

❖ 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

```
To struct timeval είναι γνωστό
από την gettimeofday():
struct timeval {
    time_t tv_sec;
    unsigned int tv_usec;
};
```

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 */

    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");
}
```