

# Προγραμματισμός συστημάτων UNIX/POSIX

---

*Σήματα (signals)*



# Σήματα (signals)

- ❖ Τα σήματα είναι «διακοπές» λογισμικού (software interrupts) οι οποίες διακόπτουν την κανονική λειτουργία μίας διεργασίας.
- ❖ Προκαλούνται από διάφορες συνθήκες, π.χ. κάποιο πρόβλημα στο hardware, κάποια παράνομη λειτουργία (π.χ. διαίρεση δια μηδέν ή προσπέλαση σε θέση μνήμης που δεν επιτρέπεται) ή και από τον χρήστη (π.χ. πάτημα CTRL-C).
- ❖ Τα περισσότερα σήματα προκαλούν τον άμεσο τερματισμό της διεργασίας, εκτός και αν έχει προβλεφτεί τρόπος «διαχείρισής» τους από την ίδια την εφαρμογή.
- ❖ Υπάρχουν πολλά διαφορετικά είδη σημάτων, π.χ.

SIGINT 2 /\* interrupt \*/, SIGQUIT 3 /\* quit \*/,  
SIGILL 4 /\* illegal instruction \*/, SIGKILL 9 /\* hard kill \*/,  
SIGALRM 14 /\* alarm clock \*/, SIGCHLD 20 /\* to parent on child exit \*/

# Οι «φάσεις» ενός σήματος

- ❖ **Signal generation**  
Εφόσον συμβεί κάποιο γεγονός (π.χ. διαίρεση δια 0) τότε **παράγεται** ένα σχετικό σήμα (π.χ. SIGFPE)
- ❖ **Signal delivery**  
Το σήμα **παραδίδεται** στη διεργασία που πρέπει
- ❖ **Signal action**  
Με την παράδοση, προκαλείται κάποια **ενέργεια** (π.χ. τερματίζει τη διεργασία)
- ❖ **Pending signal**  
Μεταξύ της στιγμής που παράγεται και της στιγμής που παραδίδεται στη διεργασία, το σήμα βρίσκεται σε φάση **εκκρεμότητας** (συνήθως αμελητέος χρόνος).
- ❖ Τα μόνα πράγματα που μπορεί να κάνει μία διεργασία είναι:
  - Να αλλάξει την ενέργεια (action) που προκαλείται από το σήμα
  - Να κρατάει ένα σήμα σε κατάσταση εκκρεμότητας επ' αόριστο, «**μπλοκάροντάς**» το (**blocked**). Το σήμα θα παραδοθεί όταν και εφόσον η διεργασία το «**ξεμπλοκάρει**» (**unblocked**)
  - ... κι αυτά, όχι για όλους τους τύπους σημάτων.

# Παραδείγματα από σήματα

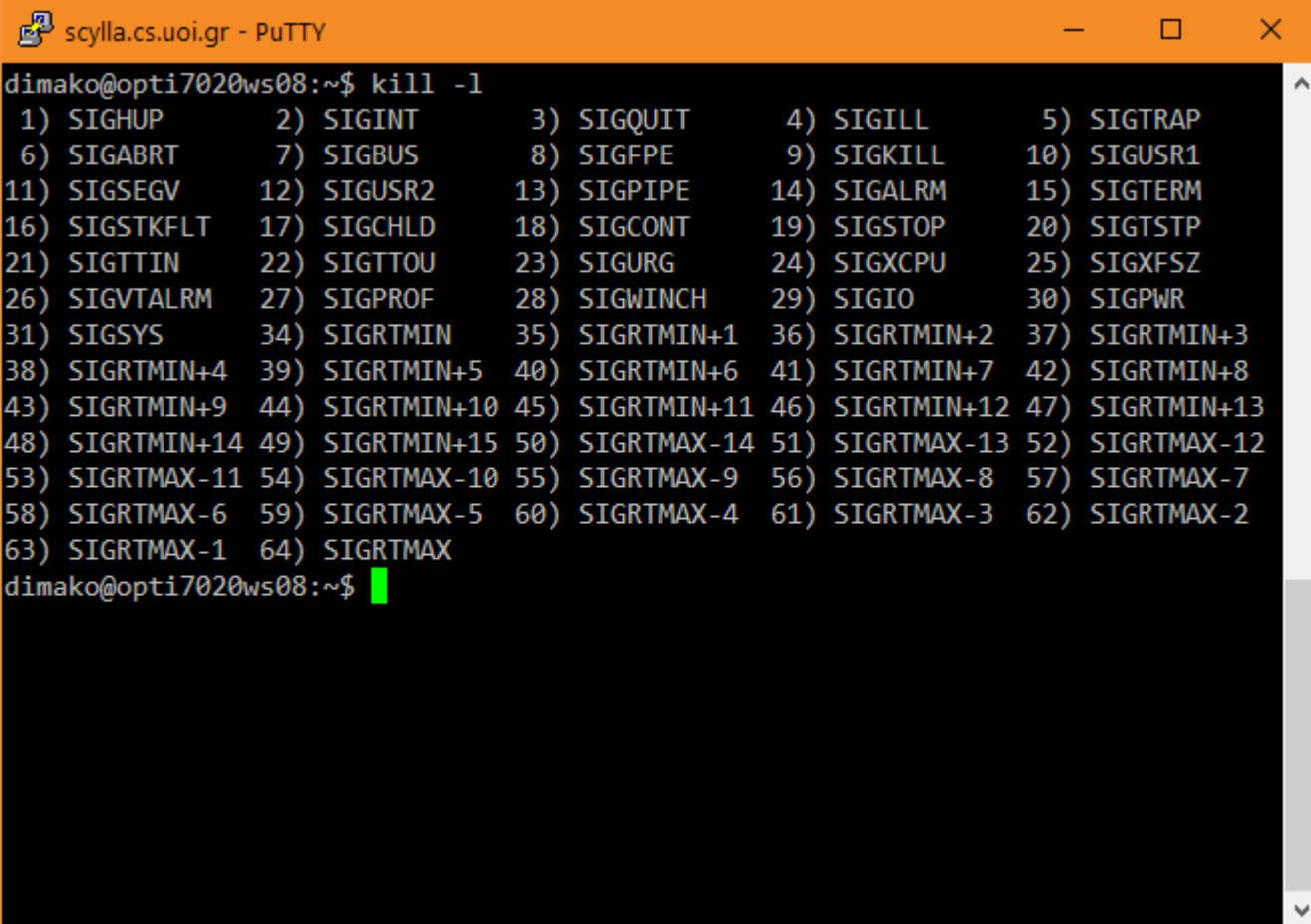
ΑΙΤΙΟ	ΣΗΜΑ	DEFAULT ACTION	ΜΠΛΟΚΑΡΕΤΑΙ;	ΑΛΛΑΖΕΙ Η ΕΝΕΡΓΕΙΑ;
Αριθμητικό σφάλμα (διαίρεση δια 0, υπερχείλιση κλπ)	SIGFPE	Τερματισμός διεργασίας	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Πρόσβαση σε μνήμη που δεν κατέχει	SIGSEGV	Τερματισμός διεργασίας	ΝΑΙ	ΝΑΙ
Ο χρήστης πάτησε CTRL-C	SIGINT	Τερματισμός διεργασίας	ΝΑΙ	ΝΑΙ
\$ kill -9	SIGKILL	Τερματισμός διεργασίας	ΟΧΙ	ΟΧΙ
Τερματίζει μία θυγατρική διεργασία	SIGCHLD	Αγνοείται	ΝΑΙ	ΝΑΙ

❖ Για περισσότερα:

`$ man signal`      ή  
`$ man 7 signal`

# Μια λίστα από τα διαθέσιμα σήματα

- ❖ Τα κλασικά και συνηθισμένα σήματα είναι μέχρι το 31 (SIGSYS).
- ❖ Από το 32 και μετά είναι τα λεγόμενα σήματα πραγματικού χρόνου (Real Time Signals) που δεν μας αφορούν εδώ.



```
scylla.cs.uoi.gr - PuTTY
dimako@opti7020ws08:~$ kill -l
 1) SIGHUP      2) SIGINT      3) SIGQUIT     4) SIGILL      5) SIGTRAP
 6) SIGABRT     7) SIGBUS      8) SIGFPE      9) SIGKILL     10) SIGUSR1
11) SIGSEGV    12) SIGUSR2    13) SIGPIPE    14) SIGALRM     15) SIGTERM
16) SIGSTKFLT  17) SIGCHLD    18) SIGCONT    19) SIGSTOP     20) SIGTSTP
21) SIGTTIN    22) SIGTTOU    23) SIGURG     24) SIGXCPU    25) SIGXFSZ
26) SIGVTALRM  27) SIGPROF    28) SIGWINCH   29) SIGIO       30) SIGPWR
31) SIGSYS     34) SIGRTMIN   35) SIGRTMIN+1 36) SIGRTMIN+2 37) SIGRTMIN+3
38) SIGRTMIN+4 39) SIGRTMIN+5 40) SIGRTMIN+6 41) SIGRTMIN+7 42) SIGRTMIN+8
43) SIGRTMIN+9 44) SIGRTMIN+10 45) SIGRTMIN+11 46) SIGRTMIN+12 47) SIGRTMIN+13
48) SIGRTMIN+14 49) SIGRTMIN+15 50) SIGRTMAX-14 51) SIGRTMAX-13 52) SIGRTMAX-12
53) SIGRTMAX-11 54) SIGRTMAX-10 55) SIGRTMAX-9  56) SIGRTMAX-8  57) SIGRTMAX-7
58) SIGRTMAX-6 59) SIGRTMAX-5 60) SIGRTMAX-4 61) SIGRTMAX-3 62) SIGRTMAX-2
63) SIGRTMAX-1 64) SIGRTMAX
dimako@opti7020ws08:~$
```

# Πώς μπλοκάρω/ξεμπλοκάρω ένα σήμα;

- ❖ Κάθε διεργασία διαθέτει ένα σύνολο από σήματα που μπλοκάρει (και άρα δεν επιτρέπει στο σύστημα να της παραδίδονται), το λεγόμενο **signal mask**.
  - Αν παραχθεί κάποιο από τα σήματα που είναι στο signal mask, δεν θα της παραδοθεί και άρα δεν θα προκληθεί καμία ενέργεια από αυτό.
  - Το σήμα είναι pending. Θα παραδοθεί όταν (αν) η διεργασία το ξεμπλοκάρει.
- ❖ Για να μπλοκάρουμε ένα σήμα, αρκεί να το βάλουμε στο signal mask και για να το ξεμπλοκάρουμε αρκεί να το βγάλουμε από αυτό το σύνολο.
- ❖ Το signal mask αλλάζει με τη συνάρτηση: [ επιστρέφει  $< 0$  αν αποτύχει ]

```
#include <signal.h>
```

```
int sigprocmask(int how, sigset_t *newmask, sigset_t *oldmask);
```

όπου το newmask είναι το νέο σύνολο, ενώ στο oldmask θα επιστραφεί το παλαιό (αν oldmask ≠ NULL). Το how καθορίζει πώς θα γίνει η αλλαγή:

- SET\_SIGMASK: το νέο signal mask είναι ακριβώς αυτό που δίνεται στο newmask
- SET\_SIGBLOCK: πρόσθεσε στο υπάρχον signal mask ότι έχει το newmask
- SET\_SIGUNBLOCK: αφαίρεσε από το υπάρχον mask ότι έχει το newmask

- ❖ Το `sigset_t` είναι μία δομή που καταγράφει ποια σήματα μπλοκάρονται.
- ❖ Οι συναρτήσεις που μπορούν να προσθαφαιρέσουν σήματα στη δομή αυτή είναι οι εξής:

<code>sigemptyset(sigset_t *set)</code>	Άδειασε το σύνολο. Κανένα σήμα δεν θα μπλοκαριστεί.
<code>sigfillset(sigset_t *set)</code>	Βάλε όλα τα σήματα μέσα στο σύνολο. Όλα μπλοκάρονται.
<code>sigaddset(sigset_t *set, int sigid)</code>	Πρόσθεσε το σήμα <code>sigid</code> στο σύνολο (θα μπλοκάρεται)
<code>sigdelset(sigset_t *set, int sigid)</code>	Αφαίρεσε το σήμα <code>sigid</code> από το σύνολο (ξεμπλοκάρεται)
<code>sigismember(sigset_t *set, int sigid)</code>	Έλεγξε αν το σήμα <code>sigid</code> είναι στο σύνολο

- ❖ Έλεγχος αν η τρέχουσα signal mask περιέχει το SIGINT και αν ναι, το ξεμπλοκάρουμε:

```
#include <signal.h>
...

int main() {
    sigset_t newmask, oldmask;

    ...a

    sigprocmask(SIG_SETMASK, NULL, &oldmask); /* Just get the current mask */
    if (sigismember(&oldmask, SIGINT)) {      /* Check if SIGINT is blocked */
        sigemptyset(&newmask);                /* Create an empty set */
        sigaddset(&newmask, SIGINT);           /* Add the SIGINT signal */
        sigprocmask(SIG_UNBLOCK, &newmask, NULL); /* Remove from current mask */
    }

    ...
}
```



# Πώς αλλάζω την ενέργεια που θα προκληθεί;

- ❖ Προκειμένου να προσδιορίσουμε την ενέργεια που θα προκληθεί όταν και αν μας παραδοθεί κάποιο σήμα, θα πρέπει να χρησιμοποιήσουμε τη συνάρτηση `sigaction()`: [ επιστρέφει  $< 0$  αν αποτύχει ]

```
#include <signal.h>
int sigaction(int sigid,
               struct sigaction *newact,
               struct sigaction *oldact);
```

όπου το `sigid` είναι το σήμα που μας ενδιαφέρει, και `newact` είναι μία δομή που περιγράφει τη νέα ενέργεια που θέλουμε να προκαλείται. Εφόσον το `oldact` δεν είναι NULL, κατά την επιστροφή θα περιέχει την περιγραφή της παλιάς ενέργειας.

- ❖ Οι ενέργειες που μπορούμε να ορίσουμε (μέσω του `newact`) είναι μία από τις παρακάτω τρεις:
  - Να αγνοηθεί το σήμα (και άρα να μην προκαλέσει τίποτε)
  - Να γίνει η ενέργεια που έχει εξ ορισμού το σύστημα (default action), όποια και να είναι αυτή
  - Να κληθεί μία δική μας συνάρτηση, κάτι που είναι γνωστό ως *διαχειριστής σήματος* (*signal handler*)

# Καθορίζοντας την ενέργεια

Η δομή που περιγράφει την ενέργεια έχει ως εξής:

```
struct sigaction {  
    void (*sa_handler)(int); /* SIG_DFL, SIG_IGN ή handler δικό μας */  
    sigset_t sa_mask;        /* Επιπρόσθετα σήματα προς μπλοκάρισμα */  
    int sa_flags;            /* 0 συνήθως */  
    ...  
};
```

Λεπτομέρειες:

1. Το πεδίο `sa_handler` είναι δείκτης σε συνάρτηση δική μας (διαχειριστής σήματος) ή του δίνουμε την τιμή `SIG_DFL` (ώστε να εκτελεστεί η default action του συστήματος) ή του δίνουμε την τιμή `SIG_IGN` (ώστε να αγνοηθεί το σήμα).
2. Η συνάρτηση που ορίζουμε ως διαχειριστή θα έχει ως μοναδικό όρισμα την ταυτότητα του σήματος.

# Καθορίζοντας την ενέργεια (συνέχεια)

Η δομή που περιγράφει την ενέργεια έχει ως εξής:

```
struct sigaction {  
    void (*sa_handler)(int); /* SIG_DFL, SIG_IGN ή handler δικό μας */  
    sigset_t sa_mask;        /* Επιπρόσθετα σήματα προς μπλοκάρισμα */  
    int sa_flags;            /* 0 συνήθως */  
    ...  
};
```

Λεπτομέρειες (συνέχεια):

3. Εφόσον εκτελεστεί η ενέργεια (π.χ. ο δικός μας handler), το σήμα που μας ενδιαφέρει θα είναι μπλοκαρισμένο μέχρι την ολοκλήρωσή της, οπότε και το σήμα θα ξεμπλοκαριστεί αυτόματα.
4. Αν μας ενδιαφέρει, προσωρινά, όσο εκτελείται η ενέργεια, να μπλοκαριστούν επιπρόσθετα σήματα, αυτά πρέπει να τα συμπεριλάβουμε στη μάσκα `sa_mask`. Με το τέλος της ενέργειας, αυτά τα σήματα ξεμπλοκάρονται αυτόματα.

# Παράδειγμα διαχειριστή σήματος

- ❖ Η παρακάτω εφαρμογή δεν μπορεί να τερματιστεί με CTRL-C διότι έχει ορίσει ένα χειριστή για το σήμα SIGINT:

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

void handlectrlc(int sigid) {
    printf("You cannot stop me with CTRL-C!\n");
}

int main() {
    struct sigaction sact;

    sact.sa_handler = handlectrlc; /* Our handler to catch CTRL-C */
    sigemptyset(&sact.sa_mask);    /* No other signal to block */
    sact.sa_flags = 0;             /* Nothing special, must be 0 */
    if (sigaction(SIGINT, &sact, NULL) < 0)
        perror("could not set action for SIGINT");

    /* Loop for ever */
    while(1) {
        sleep(1);    /* Let it sleep for a while */
    }
    return 0;
}
```

# Σημειώσεις (I): η συνάρτηση `signal()`

- ❖ Ο ορισμός ενός διαχειριστή σήματος γινόταν με πιο απλό (αλλά πλέον ξεπερασμένο τρόπο) με την κλήση `signal()`.

```
void (*signal(int sig, void (*func)(int)))(int);
```

Η οποία βασικά λέει στη `signal()` ότι αν συμβεί το σήμα `sig`, θα πρέπει να κληθεί η συνάρτηση `func`. Αν όλα πάνε καλά η `signal()` επιστρέφει δείκτη προς τον παλιό handler, αλλιώς `SIG_ERR`.

- Η `signal` πρέπει να αποφεύγεται και να χρησιμοποιείται η `sigaction`, έστω κι αν φαίνεται πιο πολύπλοκη.
- ❖ Μέσα στον διαχειριστή, πρέπει να αποφεύγονται «επικίνδυνες» κλήσεις συστήματος (ακόμα και η `printf()` πρέπει να αποφεύγεται) και γενικότερα τα πράγματα πρέπει να γίνονται πολύ προσεκτικά – ψάξτε να μελετήσετε τις λεπτομέρειες και τους λόγους για αυτό.

# Σημειώσεις (II): σήματα ως διαδικεργασιακή επικοινωνία

- ❖ Μία διεργασία μπορεί να δημιουργήσει και να στείλει ένα σήμα σε μία άλλη (δεν επιτρέπονται όλα).

```
#include <signal.h>
```

```
int kill(pid_t pid, int signal);
```

- ❖ Υπάρχουν τα SIGUSR1 και SIGUSR2.
- ❖ Με αυτό τον τρόπο, αν η διεργασία που το λαμβάνει έχει ορίσει τον αντίστοιχο διαχειριστή, είναι σαν να έχουμε «επικοινωνήσει» στέλνοντάς της έναν (συγκεκριμένο) ακέραιο αριθμό.
- ❖ Τα σήματα δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν για ανταλλαγή δεδομένων – το μόνο που μπορεί να «στείλει» ένα σήμα είναι ο εαυτός του και τίποτε άλλο.
- ❖ Περισσότερο για συγχρονισμό παρά επικοινωνία.

