# Procesy

Procesy umożliwiają w systemach operacyjnych (quasi)równoległe wykonywanie wielu zadań. Mogą być wykonywane naprzemiennie i/lub jednocześnie.

Zatem system operacyjny musi to (quasi)równoległe wykonywanie zapewnić.

Poza tym musi umożliwić procesom pewne operacje, których nie mogą one sobie zapewnić same, np. dostęp do globalnych zasobów systemu jak port komunikacyjny.

Idąc dalej, systemy operacyjne mogą również dostarczać procesom dalszych usług, jak np. komunikacja międzyprocesowa, a także pewnych funkcji synchronizacji, jak blokady, semafory, itp.

# Model procesów systemu UNIX (standard POSIX)

- Proces uniksowy:
  - kod programu w pamięci (obszar programu i danych)
  - **środowisko** (zestaw zmiennych i przypisanych im wartości)
  - zestaw dalszych informacji utrzymywanych przez jądro Uniksa o wszystkich istniejących procesach, m.in. tablicę otwartych plików, maskę sygnałów, priorytet, i in.

- Funkcja `main()` wywoływana przez procedurę startową z następującymi argumentami:
  - liczbą argumentów wywołania: `int argc`
  - wektorem argumentów wywołania: `char *argv[]`
  - środowiskiem: `char **environ`
    rzadko używanym ponieważ dostęp do środowiska możliwy jest również poprzez funkcje: `getenv()/putenv()`

- Proces charakteryzują: `pid, ppid, pgrp, uid, euid, gid, egid.`
  Wartości te można uzyskać funkcjami `get...()`

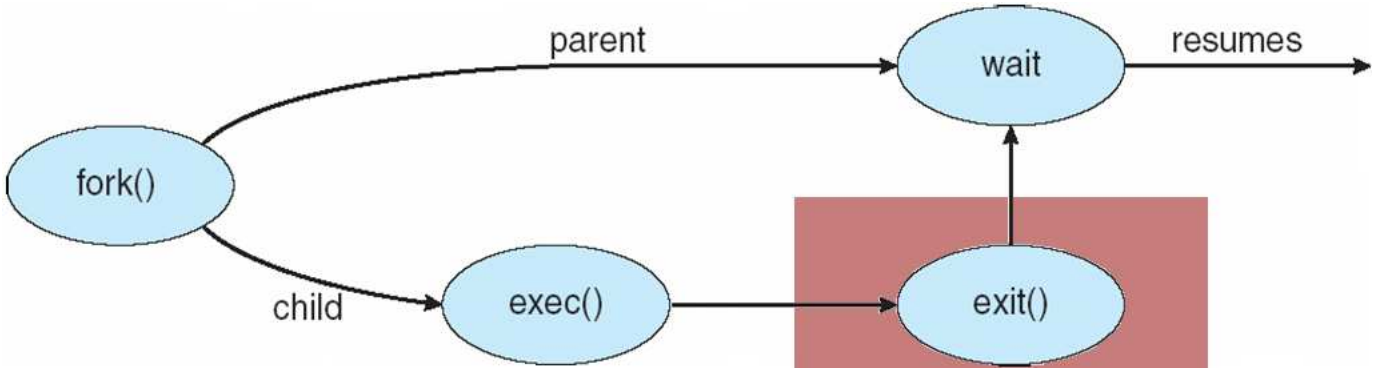
# Tworzenie procesów

- Procesy tworzone są przez klonowanie istniejącego procesu funkcją `fork()`, zatem każdy proces jest podprocesem (*child process*) jakiegoś innego procesu nadrzędnego, albo inaczej rodzicielskiego (*parent process*).

- Jedynym wyjątkiem jest proces numer 1 — **init** — tworzony przez jądro Uniksa w chwili startu systemu. Wszystkie inne procesy w systemie są bliższymi lub dalszymi potomkami inita.

- Podproces dziedziczy i/lub współdzieli pewne atrybuty i zasoby procesu nadrzędnego, a gdy kończy pracę, Unix zatrzymuje go do czasu odebrania przez proces nadrzędny statusu podprocesu (wartości zakończenia).

# Tworzenie procesów — funkcja `fork`




```
switch (pid = fork()) {
 case -1:
   fprintf(stderr, "Blad, nieudane fork, errno=%d\n", errno);
   exit(-1);

 case 0:
   /* jestem potomkiem, teraz sie przeobraze ... */
   execlp("program", "program", NULL);
   fprintf(stderr, "Blad, nieudane execlp, errno=%d\n", errno);
   _exit(0);

 default:
   /* jestem szczesliwym rodzicem ... */
   fprintf(stderr, "Sukces fork, pid potomka = %d\n", pid);
   wait(NULL);
}
```

# Tworzenie procesów — funkcja `fork` (cd.)

- Funkcja `fork()` tworzy nowy podproces, który jest kopią procesu macierzystego.
- Od momentu utworzenia oba procesy pracują równolegle i kontynuują wykonywanie tego samego programu. Jednak funkcja `fork()` zwraca w każdym z nich inną wartość. Poza tym różnią się identyfikatorem procesu PID (rodzic zachowuje oryginalny PID, a potomek otrzymuje nowy).
- Po sklonowaniu się podproces może wywołać jedną z funkcji grupy `exec` i rozpocząć w ten sposób wykonywanie innego programu.
- Po sklonowaniu się oba procesy współdzielą dostęp do plików otwartych przed sklonowaniem, w tym do terminala (plików `stdin, stdout, stderr`).
- Funkcja `fork()` jest jedyną metodą tworzenia nowych procesów w systemach uniksowych.

# Własności procesu i podprocesu

Dziedziczone (podproces posiada kopię atrybutu procesu):

- real i effective UID i GID, proces group ID (PGRP)
- kartoteka bieżąca i `root`
- środowisko
- maska tworzenia plików (umask)
- maska sygnałów i handlery
- ograniczenia zasobów

Wspólne (podproces współdzieli atrybut/zasób z procesem):

- terminal i sesja
- otwarte pliki (deskryptory)
- otwarte wspólne obszary pamięci

Różne:

- PID, PPID
- wartość zwracana z funkcji fork
- blokady plików nie są dziedziczone
- ustawiony alarm procesu nadrzędnego jest kasowany dla podprocesu
- zbiór wysłanych (ale nieodebranych) sygnałów jest kasowany dla podprocesu

Atrybuty procesu, które nie zmieniają się po exec:

- PID, PPID, UID(real), GID(real), PGID
- terminal, sesja
- ustawiony alarm z biegnącym czasem
- kartoteka bieżąca i `root`
- maska tworzenia plików (umask)
- maska sygnałów i oczekujące (nieodebrane) sygnały
- blokady plików
- ograniczenia zasobów

# Kończenie pracy procesów

- Zakończenie procesu uniksowego może być **normalne**, wywołane przez zakończenie funkcji `main()`, lub funkcję `exit()`. Wtedy:
  - następuje wywołanie wszystkich handlerów zarejestrowanych przez funkcję `atexit()`,
  - następuje zakończenie wszystkich operacji wejścia/wyjścia procesu i zamknięcie otwartych plików,
  - można spowodować normalne zakończenie procesu bez kończenia operacji wejścia/wyjścia ani wywoływania handlerów `atexit`, przez wywołanie funkcji `_exit()`.

- Zakończenie procesu może też być **anormalne** (ang. *abnormal*), przez wywołanie funkcji `abort()`, lub otrzymanie sygnału (funkcje `kill(), raise()`).

# Status procesu

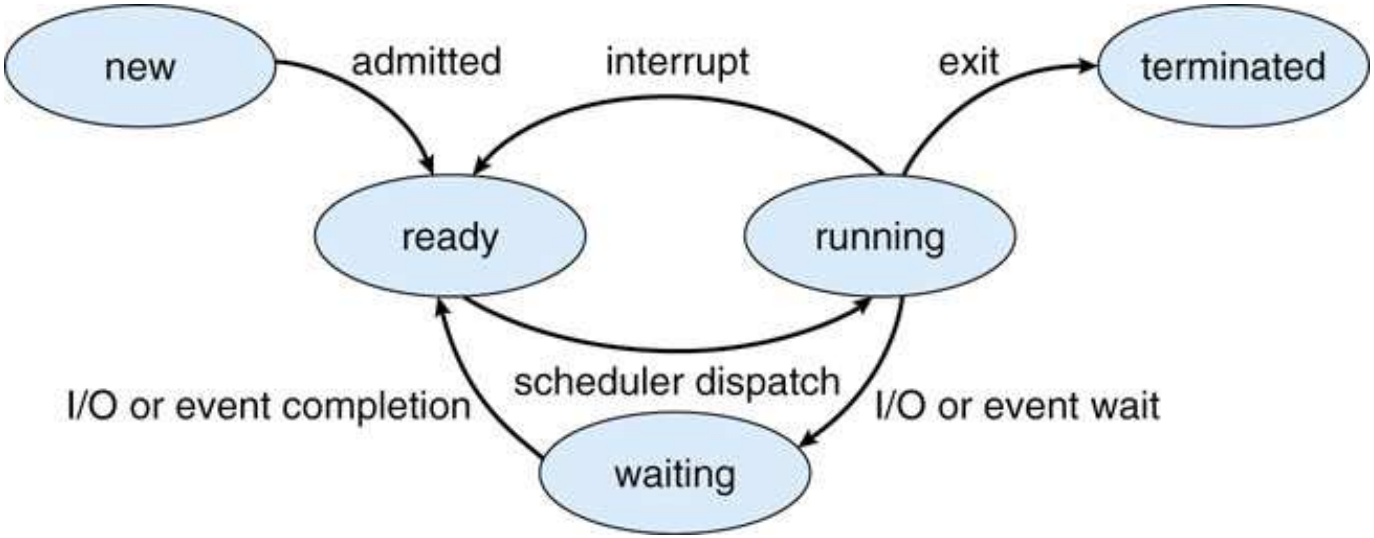
- W chwili zakończenia pracy proces generuje kod zakończenia, tzw. **status**, który jest wartością zwróconą z funkcji `main()` albo `exit()`. W przypadku śmierci przez otrzymanie sygnału system generuje dla procesu status o wartości 128+nr_sygnału.
- Rodzic normalnie powinien po śmierci potomka odczytać jego status wywołując funkcję systemową `wait` (lub `waitpid()`). Aby to ułatwić (w nowszych systemach) w chwili śmierci potomka jego rodzic otrzymuje sygnał `SIGCLD` (domyślnie ignorowany).
- Gdy proces nadrzędny żyje w chwili zakończenia pracy potomka, i nie wywołuje funkcji `wait()`, to potomek pozostaje (na czas nieograniczony) w stanie zwanym **zombie**. Może to być przyczyną wyczerpania jakichś zasobów systemu, np. zapełnienia tablicy procesów, otwartych plików, itp.
- Istnieje mechanizm adopcji polegający na tym, że procesy, których rodzic zginął przed nimi (sieroty), zostają adoptowane przez proces numer 1, init. Init jest dobrym rodzicem (chociaż przybranym) i wywołuje okresowo funkcję `wait()` aby umożliwić poprawne zakończenie swoich potomków.

# Stany procesów

**wykonywany (*running*)** — proces aktualnie wykonujący się na procesorze

**wykonywalny/gotowy (*runnable/ready*)** — proces pod każdym względem gotowy do wykonywania, ale nie jest wykonywany przez decyzję planisty

**oczekujący/uśpiony (*waiting/sleeping*)** — proces na coś czeka, np. na dane do przeczytania, na sygnał, na dostęp do zasobu, lub dobrowolnie zawiesił się

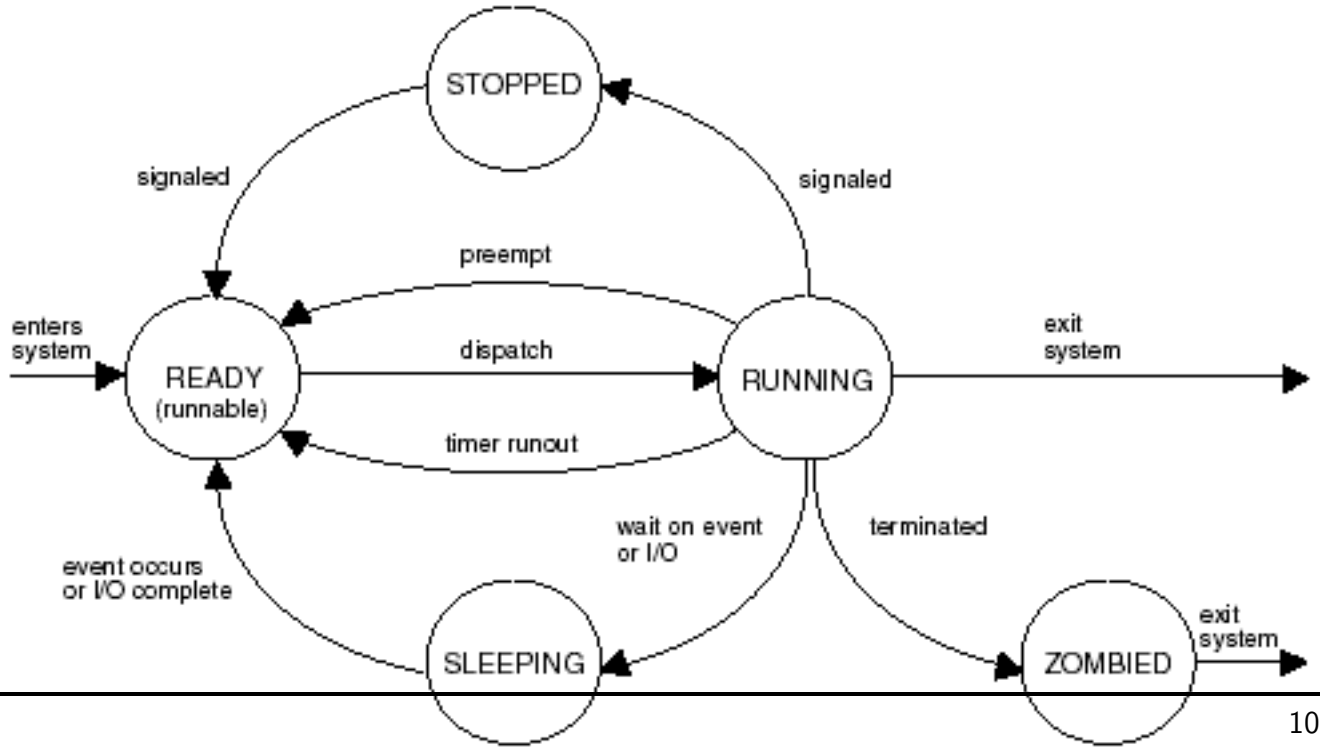



System przenosi proces w stan uśpienia jeśli nie może mu czegoś dostarczyć, np. dostępu do pliku, danych, itp. W stanie uśpienia proces nie zużywa czasu procesora, i jest *budzony* i wznawiany w sposób przez siebie niezauważony.

**zatrzymany (*stopped*)** — proces gotowy do wykonywania lecz zatrzymany na skutek otrzymania sygnału `SIGSTOP` lub `SIGTSTP`, może to być skutek: dobrowolnego żądania procesu, wysłania sygnału (np. przez użytkownika), lub odwołania się procesu pracującego w tle do terminala sterującego; wznowienie pracy procesu następuje po otrzymaniu sygnału `SIGCONT`

**nieusuwalny (*zombie*)** — proces nie może się zakończyć

**wymieciony (*swapped out*)** — proces usunięty okresowo z kolejki procesów gotowych do wykonywania wskutek działania algorytmu obsługi pamięci wirtualnej; stan wymiecenia nie jest właściwym stanem procesu — pozostaje on w jednym z powyższych właściwych stanów; wymiecenie procesu jest skutkiem braku dostatecznej ilości pamięci fizycznej na jednoczesne skuteczne wykonywanie wszystkich procesów wykonywalnych



# Priorytety procesów

Procesy uniksowe posiadają **priorytety** określające kolejność ich wykonywania w procesorze. To znaczy, proces o niższym priorytecie zawsze musi czekać na zakończenie lub wstrzymanie procesu o priorytecie wyższym.

Element systemu operacyjnego — zwykle zlokalizowany w jądrze — odpowiedzialny za decyzje o szeregowaniu/kolejkowaniu procesów, nazywa się **planistą** (*scheduler*). Planista uniksowy opiera się na priorytetach procesów, ale jednocześnie może je dynamicznie zmieniać. Ogólnie, procesy interakcyjne zyskują wyższe priorytety, co powoduje szybką reakcję na zdarzenia, ale jednocześnie ich interakcje typowo powodują częste przerwy w pracy, które zwykle pozwalają na wykonywanie innych procesów.

# Ingerencja w mechanizm priorytetów

Wszelkie ingerencje w wyznaczanie wartości priorytetów przez planistę — zarówno jednorazowe w momencie uruchamiania procesów, jak i dynamiczne w czasie ich pracy — są zaawansowanymi operacjami, dla zwykłych użytkowników trudnymi i niebezpiecznymi. Albowiem dla złożonych systemów ustawienie poprawnej, optymalnej struktury priorytetów jest niezwykle trudne, a ich niewłaściwe wyznaczenie często prowadzi do zakleszczeń, przerw w pracy systemu, i ogólnie jego niepoprawnej pracy.

Jednak w systemach uniksowych istnieje prosty mechanizm pozwalający użytkownikowi wspomagać planistę w wyznaczaniu priorytetów procesów. Tym mechanizmem jest liczbą **nice** każdego procesu dodawana do jego priorytetu. Użytkownik może uruchamiać procesy z zadaną liczbą nice (służy do tego polecenie `nice`), lub zmieniać liczbę nice wykonującego się procesu (polecenie `renice`). Co prawda zwykli użytkownicy mogą tylko zwiększać ujemną wartość nice co obniża priorytet procesu. Jednak uruchamiając procesy „obliczeniowe” z priorytetem obniżonym można efektywnie jakby zwiększyć priorytet procesów „interakcyjnych”.

# Grupy procesów

- **Grupa procesów:** wszystkie podprocesy uruchomione przez jeden proces nadrzędny. Każdy proces w chwili utworzenia automatycznie należy do grupy procesów swojego rodzica.

- Pod pewnymi względami przynależność do grupy procesów jest podobna do przynależności do partii politycznych. Każdy proces może:
  - założyć nową grupę procesów (o numerze równym swojemu PID),
  - wstąpić do dowolnej innej grupy procesów,
  - włączyć dowolny ze swoich podprocesów do dowolnej grupy procesów (ale tylko dopóki podproces wykonuje kod rodzica).

- Grupy procesów mają głównie znaczenie przy wysyłaniu sygnałów.

# Zasoby procesu

System operacyjny może i powinien ograniczać wielkość zasobów zużywanych przez procesy, w celu realizacji swoich funkcji zapewnienia sprawnej i efektywnej pracy. Systemy uniksowe definiują szereg zasobów które mogą być kontrolowane. Na poziomie interpretera poleceń ograniczenia można ustawiać poleceniem `limit` (C-shell) lub `ulimit` (Bourne shell). Programowo do kontrolowania zasobów służą funkcje: `getrlimit()/setrlimit()`.

| ulimit | limit | nazwa zasobu | opis zasobu |
|---|---|---|---|
| -c | coredumpsize | RLIMIT_CORE | plik core (zrzut obrazu pamięci) w kB |
| -d | datasize | RLIMIT_DATA | segment danych procesu w kB |
| -f | filesize | RLIMIT_FSIZE | wielkość tworzonego pliku w kB |
| -l | memorylocked | RLIMIT_MEMLOCK | obszar, który można zablokować w pamięci w kB |
| -m | memoryuse | RLIMIT_RSS | zbiór rezydentny w pamięci w kB |
| -n | descriptors | RLIMIT_NOFILE | liczba deskryptorów plików (otwartych plików) |
| -s | stacksize | RLIMIT_STACK | wielkość stosu w kB |
| -t | cputime | RLIMIT_CPU | wykorzystanie czasu CPU w sekundach |
| -u | maxproc | RLIMIT_NPROC | liczba procesów użytkownika |
| -v | vmemoryuse | RLIMIT_VMEM | pamięć wirtualna dostępna dla procesu w kB |

Dla każdego zasobu istnieją dwa ograniczenia: miękkie i twarde. Zawsze aktualnie obowiązujące jest ograniczenie miękkie, i użytkownik może je dowolnie zmieniać, lecz tylko do maksymalnej wartości ograniczenia twardego. Ograniczenia twarde można również zmieniać, lecz procesy zwykłych użytkowników mogą je jedynie zmniejszać. Ograniczenia zasobów są dziedziczone przez podprocesy.

# Konta użytkownika

Konta użytkownika istnieją dla zapewnienia izolacji i zabezpieczenia działających procesów. W systemach uniksowych istnieje jedno główne konto użytkownika o numerze 0 zwane `root`. Główne programy zapewniające funkcjonowanie systemu, i uruchamiane przez jądro, działają w ramach konta użytkownika `root`.

Może istnieć dowolna liczba innych kont, zarówno dla ludzi-użytkowników systemu, jak i dla określonych programów lub ich grup, których uruchamianie wymaga izolacji lub zabezpieczenia przez innymi użytkownikami.

Z kontem użytkownika jest związany katalog dyskowy, do którego wyłączne prawo ma użytkownik. Jest możliwe przyznawanie praw dostępu procesom innych użytkowników. Poza tym istnieje szereg dalszych ustawień związanych z kontem użytkownika, pozwalających konfigurować jego uprawnienia, parametry pracy, itp.

Konto użytkownika jest chronione hasłem, które system przechowuje w postaci **zahaszowanej**, tzn. zaszyfrowanej w sposób nieodwracalny. Weryfikacja hasła jest możliwa przez zahaszowanie podanego przez użytkownika stringa i porównanie z hasłem posiadanym przez system. Nie jest natomiast możliwe odtworzenie wersji oryginalnej hasła.

# Konta użytkownika — zabezpieczenia

Procesy jednego użytkownika nie mogą ingerować w procesy innego użytkownika. To znaczy, nie mogą ich zatrzymywać, wysyłać im sygnałów, czytać/zapisywać ich pamięci, zmieniać ich ustawień, zasobów, priorytetów, tworzyć ani usuwać blokad, itp. Nie dotyczy to konta użytkownika `root`, który jest użytkownikiem uprzywilejowanym, i jego procesy mogą ingerować w procesy innych użytkowników systemu.

Procesy różnych użytkowników mogą brać udział w komunikacji międzyprocesowej (np. wysyłać sobie komunikaty), o ile dobrowolnie taką komunikację podejmą.

Warto dodać, że mechanizm zabezpieczeń systemu Unix, składający się ze zbioru zwykłych użytkowników, których procesy są przed sobą nawzajem zabezpieczone, oraz użytkownika `root`, przed którym nic nie jest zabezpieczone, jest uproszczony, dość ubogi i często niewystarczający. Występują sytuacje pośrednie, kiedy proces potrzebuje pewnych zwiększonych uprawnień, ale nie powinien posiadać nieograniczonej władzy w systemie. Ten problem jest rozwiązywany przez szereg dodatkowych mechanizmów.

# Krótkie podsumowanie — pytania sprawdzające

Odpowiedz na poniższe pytania:

1. Jaka jest rola procesów w systemach operacyjnych?

2. W jaki sposób tworzone są procesy w modelu Unix/POSIX?

3. Co to jest status procesu, jak jest tworzony, i co się z nim potem dzieje?

4. Jakie związki istnieją pomiędzy procesem rodzicielskim a potomkiem?

5. W jakim celu ustawiane są ograniczenia zasobów procesu?

6. W jaki sposób na priorytet procesu wpływa ustawienie liczby nice?

7. Jakie mechanizmy lub zjawiska powodują przechodzenie procesu między stanami: wykonywalnym i uśpionym?

# Sygnały

- Sygnały są mechanizmem asynchronicznego powiadamiania procesów przez system o błędach i innych zdarzeniach.

- Domyślną reakcją procesu na otrzymanie większości sygnałów jest natychmiastowe zakończenie pracy, czyli śmierć procesu. Oryginalnie sygnały miały służyć do sygnalizowania błędów i sytuacji nie dających się skorygować. Niektóre sygnały powodują również, tuż przed uśmierceniem procesu, wykonanie zrzutu jego obrazu pamięci do pliku dyskowego o nazwie `core`.

- Proces może zadeklarować własną procedurę obsługi, ignorowanie sygnału, albo czasowe wstrzymanie otrzymania sygnału (z wyjątkiem sygnałów `SIGKILL` i `SIGSTOP`, których nie można przechwycić, ignorować, ani wstrzymywać). Proces może również przywrócić reakcję domyślną.

- W trakcie wieloletniego rozwoju systemów uniksowych mechanizm sygnałów wykorzystywano do wielu innych celów, i wiele sygnałów nie jest już w ogóle związanych z błędami. Zatem niektóre sygnały mają inne reakcje domyślne, na przykład są domyślnie ignorowane.

| nr | nazwa | domyślnie | zdarzenie |
|---|---|---|---|
| 1 | SIGHUP | śmierć | rozłączenie terminala sterującego |
| 2 | SIGINT | śmierć | przerwanie z klawiatury (zwykle: Ctrl-C) |
| 3 | SIGQUIT | zrzut | przerwanie z klawiatury (zwykle: Ctrl-\) |
| 4 | SIGILL | zrzut | nielegalna instrukcja |
| 5 | SIGTRAP | zrzut | zatrzymanie w punkcie kontrolnym (breakpoint) |
| 6 | SIGABRT | zrzut | sygnał generowany przez funkcję abort |
| 8 | SIGFPE | zrzut | nadmiar zmiennoprzecinkowy |
| 9 | SIGKILL | śmierć | bezwarunkowe uśmiercenie procesu |
| 10 | SIGBUS | zrzut | błąd dostępu do pamięci |
| 11 | SIGSEGV | zrzut | niepoprawne odwołanie do pamięci |
| 12 | SIGSYS | zrzut | błąd wywołania funkcji systemowej |
| 13 | SIGPIPE | śmierć | błąd potoku: zapis do potoku bez odbiorcy |
| 14 | SIGALRM | śmierć | sygnał budzika (timera) |
| 15 | SIGTERM | śmierć | zakończenie procesu |
| 16 | SIGUSR1 | śmierć | sygnał użytkownika |
| 17 | SIGUSR2 | śmierć | sygnał użytkownika |
| 18 | SIGCHLD | ignorowany | zmiana stanu podprocesu (zatrzymany lub zakończony) |
| 19 | SIGPWR | ignorowany | przerwane zasilanie lub restart |
| 20 | SIGWINCH | ignorowany | zmiana rozmiaru okna |
| 21 | SIGURG | ignorowany | priorytetowe zdarzenie na gniazdku |
| 22 | SIGPOLL | śmierć | zdarzenie dotyczące deskryptora pliku |
| 23 | SIGSTOP | zatrzymanie | zatrzymanie procesu |
| 24 | SIGTSTP | zatrzymanie | zatrzymanie procesu przy dostępie do terminala |
| 25 | SIGCONT | ignorowany | kontynuacja procesu |
| 26 | SIGTTIN | zatrzymanie | zatrzymanie na próbie odczytu z terminala |
| 27 | SIGTTOU | zatrzymanie | zatrzymanie na próbie zapisu na terminalu |
| 30 | SIGXCPU | zrzut | przekroczenie limitu CPU |
| 31 | SIGXFSZ | zrzut | przekroczenie limitu rozmiaru pliku |

# Mechanizmy generowania sygnałów

- wyjątki sprzętowe: nielegalna instrukcja, nielegalne odwołanie do pamięci, dzielenie przez 0, itp. (`SIGILL, SIGSEGV, SIGFPE`)
- naciskanie pewnych klawiszy na terminalu użytkownika (`SIGINT, SIGQUIT`)
- wywołanie komendy `kill` przez użytkownika (`SIGTERM`, i inne)
- funkcje `kill()` i `raise()`
- mechanizmy software-owe (`SIGALRM, SIGWINCH`)

Sygnały mogą być wysyłane do konkretnego pojedynczego procesu, do wszystkich procesów z danej grupy procesów, albo wszystkich procesów danego użytkownika.
W przypadku procesu z wieloma wątkami sygnał jest doręczany do jednego z wątków procesu.

# Reakcje na sygnał

Proces może zadeklarować jedną z następujących możliwości reakcji na sygnał:

- ignorowanie,
- wstrzymanie doręczenia mu sygnału na jakiś czas, po którym odbierze on wysłane w międzyczasie sygnały,
- obsługa sygnału przez wyznaczoną funkcję w programie, tzw. handler,
- przywrócenie domyślnej reakcji na dany sygnał.

W przypadku skryptów zestaw możliwych reakcji na sygnał jest bardziej ograniczony (np. Bourne shell: polecenie `trap`).

Dla sygnałów `SIGKILL` i `SIGSTOP/SIGCONT` proces nie może w żaden sposób zmienić domyślnej reakcji na sygnał.

# Obsługa sygnałów

Jakkolwiek procedura obsługi sygnału może być napisana dowolnie i podjąć dowolne akcje, typowa funkcja handlera jest krótka i ogranicza się do wykonania minimalnych, niezbędnych w związku z powstałym zdarzeniem czynności, np. zamknięcia plików zapisywanych, skasowania plików roboczych, itp.

Po ich wykonaniu handler ma do wyboru następujące opcje:

- zakończenie procesu,
- kontynuowanie procesu od miejsca przerwania, jednak niektórych funkcji systemowych nie można kontynuować, i zostają one przedterminowo zakończone (ale proces kontynuuje),
- wznowienie procesu od określonego zapamiętanego wcześniej punktu (funkcje `setjmp()/longjmp()`); przy czym zapamiętany zostaje jedynie stos obliczeń, ale nie wartości zmiennych globalnych itp. stan (np. deskryptory plików nie cofają wykonanych operacji wejścia/wyjścia).

W przypadku kontynuowania lub wznowienia procesu istnieje możliwość przekazania informacji o fakcie obsługi sygnału przez ustawienie jakiejś zmiennej globalnej.

# Sygnały — funkcje obsługi (tradycyjne)

Istnieje kilka różnych modeli generowania i obsługi sygnałów. Jednym z nich jest tzw. model tradycyjny, pochodzący z wczesnych wersji Uniksa. Jego cechą charakterystyczną jest, że zadeklarowanie innej niż domyślna obsługi sygnału ma charakter jednorazowy, tj., po otrzymaniu pierwszego sygnału przywracana jest reakcja domyślna.

Funkcje tradycyjnego modelu obsługi sygnałów:

- `signal()` – deklaruje jednorazową reakcję na sygnał: ignorowanie (`SIG_IGN`), obsługa, oraz reakcja domyślna (`SIG_DFL`)
- `kill()` – wysyła sygnał do innego procesu
- `raise()` – wysyła sygnał do własnego procesu
- `pause()` – czeka na sygnał
- `alarm()` – uruchamia „budzik”, który przyśle sygnał `SIGALRM`

# Handlery sygnałów

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

void ouch(int sig)
{
    printf("OUCH! - I got signal %d\n", sig);
}
int main()
{
    (void) signal(SIGINT, ouch);

    while(1) {
        printf("Hello World!\n");
        sleep(1);
    }
}
```

Zwróćmy uwagę:

- deklaracja handlera: funkcja typu `void` z pojedynczym argumentem `int`
- powrót z handlera — wznowienie pracy programu

# Handlery sygnałów — alarm

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

jmp_buf stan_pocz;
int obudzony = 0;

void obudz_sie(int syg) {
  signal(syg, SIG_HOLD);
  fprintf(stderr,
          "Sygnal %d!\n",
          syg};
  obudzony = 1;
  longjmp(stan_pocz, syg);
}
```

```
int main() {
  int syg;

  ...
  syg = setjmp(stan_pocz);  /* np.poczatek petli */
  signal(SIGTERM, obudz_sie);
  signal(SIGINT, obudz_sie);
  signal(SIGALRM, obudz_sie);

  ...
  if (obudzony == 0) {
    alarm(30);              /* limit 30 sekund */
    DlugieObliczenia();
    alarm(0);               /* zdazylismy */
  }
  else
    printf("Program wznowiony po ");
    printf("przerwaniu sygnalem %d\n", syg);
```

# Obsługa sygnałów — inne modele

Tradycyjny model generowania i obsługi sygnałów jest uproszczony i nieco niewygodny (istnieje okno czasowe w czasie którego brak jest zadeklarowanego handlera). Dlatego powstały alternatywne modele funkcjonowania sygnałów. Niestety, są one wzajemnie niekompatybilne.

**Model BSD** nie zmienia deklaracji handlera po otrzymaniu sygnału, natomiast w trakcie wykonywania handlera kolejne sygnały tego samego typu są automatycznie blokowane. Deklaracji handlera w tym modelu dokonuje się funkcją `sigvec()`.

**Niezawodny model Systemu V** ma podobne własności do modelu BSD, tzn. również pozwala na trwałą deklarację handlera. Wprowadza więcej funkcji i opcji obsługi sygnałów. Do deklaracji handlera w tym modelu służy funkcja `sigset()`.

Pomimo iż powyższe modele istnieją w wielu systemach uniksowych, ich stosowanie nie ma sensu w programach, które mają być przenośne. Sytuację uporządkował dopiero nowy model generowania i obsługi sygnałów — model POSIX.

# Obsługa sygnałów — model POSIX

Standard POSIX zdefiniował nowy model generowania sygnałów i zestaw funkcji oferujący możliwość kompleksowego i bardziej elastycznego deklarowania ich obsługi:

- funkcja `sigaction()` – deklaruje reakcję na sygnał (trwale)
- automatyczne blokowanie na czas obsługi obsługiwanego sygnału i dowolnego zbioru innych sygnałów
- dodatkowe opcje obsługi sygnałów, np. handler sygnału może otrzymać dodatkowe argumenty: strukturę informującą o okolicznościach wysłania sygnału i drugą strukturę informującą o kontekście przez odebraniem sygnału

  rozszerzony prototyp handlera:
  ```
  void handler(int sig, siginfo_t *sip, ucontext_t *uap);
  ```

- `sigprocmask()/sigfillset()/sigaddset()` – operacje na zbiorach sygnałów

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

void joj(int sig, siginfo_t *sip, ucontext_t *uap) {
  printf("Dostalem signal numer %d\n", sig);
  if (sip->si_code <= 0)
    printf("Od procesu %d\n", sip->si_pid);
  printf("Kod sygnalu %d\n", sip->si_code);
}

void main() {
  struct sigaction act;

  act.sa_handler = joj;
  sigemptyset(&act.sa_mask);
  act.sa_flags = SA_SIGINFO;
  sigaction(SIGINT, &act, 0);

  while(1) {
    printf("Hello World!\n");
    sleep(1);
  }
}
```

# Krótkie podsumowanie — pytania sprawdzające

Odpowiedz na poniższe pytania:

1. Co to są sygnały i jak są generowane?

2. Jakie są możliwe reakcje procesu na otrzymanie sygnału?

3. W jaki sposób proces może przeprowadzić obsługę sygnału?