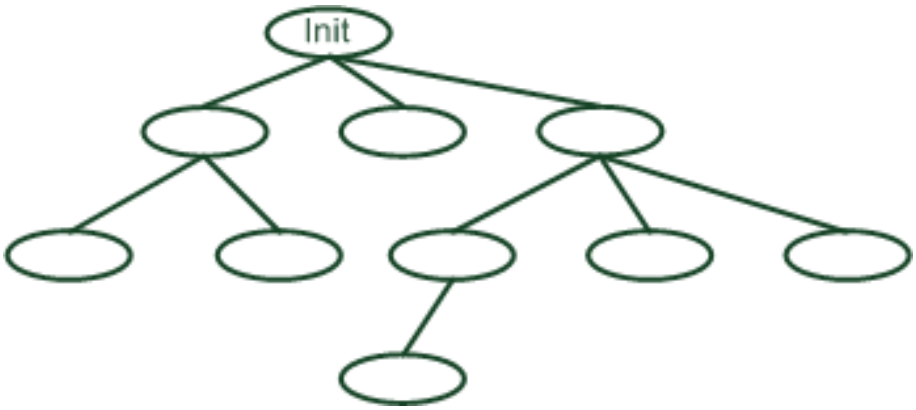
1. Procesy i współbieżność

Opracował: Sławomir Samolej
Politechnika Rzeszowska,
Katedra Informatyki i Automatyki,
Rzeszów, 2013.

1.1. Wprowadzenie

Proces to przestrzeń adresowa i pojedynczy wątek sterujący, który działa w tej przestrzeni, oraz potrzebne do tego zasoby systemowe. Minimalne zasoby do wykonywania się procesu to: procesor, pamięć i urządzenia wejścia-wyjścia. We współczesnych wielozadaniowych systemach operacyjnych w istocie każda instancja działającego programu jest procesem. Podczas uruchamiania programu w systemie operacyjnym następuje przeniesienie kodu programu z jakiegoś nośnika (najczęściej systemu plików) do pamięci operacyjnej. Kod programu jest „otaczany" pewnymi strukturami danych identyfikującymi go na czas wykonywania i zapewniającymi jego ochronę (tzw. blok kontrolny procesu). Następuje także powiązanie (planowanie przydziału) z programem zasobów systemu mikroprocesorowego, z których będzie korzystał. Zasobami przyszłego procesu są czas procesora, pamięć, system plików oraz urządzenia wejścia-wyjścia. Tak przygotowany program staje się procesem, który jest gotowy do wykonywania. Procesy w systemie operacyjnym tworzą drzewo (rys. 1). Każdy proces ma dokładnie jeden proces-rodzic. Procesy mogą posiadać wiele procesów-dzieci. W systemach uniksowych (w tym Linux) wszystkie procesy są dziećmi pewnego pierwotnego procesu (Init). Procesy wykonywane są współbieżnie. Są albo przydzielane do różnych rdzeni procesora, albo wykonywane naprzemiennie na jednym procesorze w taki sposób, że użytkownik ma wrażenie, jakby wykonywały się ciągle.



Rys. 1. Drzewo procesów systemu operacyjnego.

Podstawowymi usługami systemu operacyjnego są uruchamianie i nadzorowanie procesów. Istnieje również możliwość zatrzymywania (typowego lub awaryjnego) procesu, jak również monitorowania wykonywanych procesów. Kolejną usługą systemu jest dostarczenie mechanizmów komunikacji i synchronizacji procesów. Komunikacja pozwala na przesyłanie danych pomiędzy działającymi procesami, zaś synchronizacja to możliwość decydowania, kiedy pewne porcje obliczeń

mogą się odbywać w zależności od obliczeń wykonanych przez inne procesy. W dalszej części opracowania pokazane zostaną podstawowe programy monitorujące i zarządzające procesami oraz elementarne techniki komunikacji i synchronizacji pomiędzy procesami w systemie Linux.

1.2. Narzędzia do monitorowania systemu i procesów

Najbardziej uniwersalnymi narzędziami do monitorowania systemu Linux są pewne polecenia konsoli. W tabeli 1 wymienione zostały najważniejsze z nich.

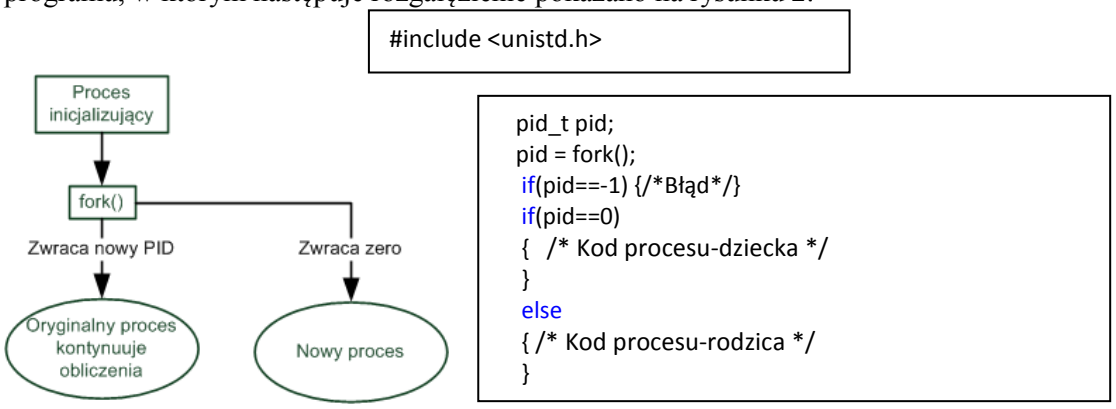
Tab. 1. Wybrane polecenia konsoli do monitorowania stanu systemu.

Nazwa	Opis
ps warianty wywołania: ps –ef ps –axjf ps –eLf	pobieranie informacji o aktywnych procesach wszystkie procesy w systemie drzewo procesów informacja o wątkach
Top	dynamiczna lista aktywnych procesów w systemie
pstre	drzewo procesów w systemie
Nice	uruchomienie programu z zadanym priorytetem
Renice	zmiana priorytetu uruchomionego procesu
kill	przesłanie sygnału do procesu pracującego w systemie operacyjnym (domyślnie jest to sygnał nakazujący zakończenie pracy procesu)

Za pomocą wymienionych poleceń istnieje możliwość analizy systemu operacyjnego jako zbioru wykonywanych procesów. Pewne polecenia pozwalają na usuwanie procesów z systemu (np. kill) lub modyfikowanie ich priorytetów (np. nice, renice). W większości interfejsów graficznych systemu Linux dostępne jest również narzędzie o nazwie „Monitor sytemu” (w wersji Linux LUbuntu: Menadżer zadań). Pozwala ono na monitorowanie procesów na poziomie interfejsu graficznego.

1.3. Tworzenie aplikacji wieloprocesowych

W systemach uniksowych istnieje możliwość rozgałęzienia programu na dwa (lub więcej) współbieżnie wykonywane procesy. Służy do tego specjalna funkcja o nazwie fork(). Schemat programu, w którym następuje rozgałęzienie pokazano na rysunku 2.



Rys. 2. Technika rozgałęziania procesów z zastosowaniem instrukcji fork().

Rozgałęzienie procesu na proces macierzysty i na proces potomny następuje po wywołaniu funkcji fork(). Jeśli funkcja zwróci wartość -1, to rozgałęzienie zakończyło się fiaskiem. Jeśli rozgałęzienie zakończyło się sukcesem, to wartość zwrócona przez funkcję fork() informuje nas, w którym procesie w danej chwili jesteśmy. Jeśli funkcja zwróciła 0, to jesteśmy w procesie potomnym (dziecku), jeśli funkcja zwróciła inną wartość, to jesteśmy w procesie-rodzicu. Należy zwrócić uwagę, że tworzony jest **jeden** program, który opisuje zachowanie dwu (lub kilku) procesów. W szablonie na rysunku 1 pokazano, jak zidentyfikować instrukcje wykonywane przez rodzica, a jak te wykonywane przez dziecko z zastosowaniem instrukcji if.

Kod źródłowy 1 zawiera pełny program, w którym następuje rozdzielenie na dwa procesy. Każdy z procesów pięciokrotnie wypisuje pewien tekst na ekranie i zawiesza swoje działanie na 1 sekundę (sleep(1)). Warto zwrócić uwagę na fakt, że po rozdzieleniu programu z zastosowaniem instrukcji fork(), proces potomny dziedziczy po procesie-rodzicu wszystkie zmienne i ewentualne uchwyty do kanałów komunikacyjnych i plików. Procesy jednak nie współdzielą tych zmiennych. Każdy z nich ma dostęp do swojej kopii zmiennych lokalnych i globalnych. Funkcja exit() służy do prawidłowego kończenia procesów.

Kod źródłowy 1. Program tworzący 2 procesy.

```
#include <sys/wait.h>
#include <unistd.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
int main()
{
   pid_t pid;
   int i;
   printf("Start programu\n");
   pid = fork();
   if(pid==-1) {exit(EXIT_FAILURE);}
   if(pid==0)
   {
      for(i=0;i<5;i++) {printf("Tu dziecko\n"); sleep(1);}
      exit(EXIT_SUCCESS);
   }
   else
   {
      for(i=0;i<5;i++) {printf("Tu rodzic\n"); sleep(1);}
      exit(EXIT_SUCCESS);
   }
}
```

1.4. Komunikacja

W systemach uniksowych możliwe jest zorganizowanie komunikacji pomiędzy procesami na wiele sposobów. Jednym z prostszych jest zastosowanie potoków. Potok tworzy się za pomocą specjalnej funkcji pipe(), do której przekazywana jest dwuelementowa tablica liczb typu całkowitego. Kiedy funkcja jest wywoływana, wypełnia ona tę tablicę specjalnymi wartościami, będącymi uchwytami do potoku (systemowego kanału komunikacyjnego). Dwa zwrócone uchwyty połączone są w specjalny sposób. Wszystkie dane zapisane przy pomocy uchwytu 1 mogą być odczytane z

wykorzystaniem uchwytu 0. Przesyłanie danych z i do takiego potoku musi się odbywać z zastosowaniem funkcji read(), write().

Kod źródłowy 2 reprezentuje pełny program, w którym jeden proces wysyła dane do drugiego z zastosowaniem potoku.

Kod źródłowy 2. Komunikacja między procesami z zastosowaniem potoku.

```
#include <sys/wait.h>
#include <unistd.h>
#include <stdlib.h>
#include <stdio.h>

int main()
{
   int potoki[2];
   char dane_wysylane[10] = "0";
   char dane_odbierane[10] = "0";
   int dane_przetworzone = 0;
   pid_t pid;
   int pipe_result;
   int i;

   pipe_result=pipe(potoki);
   if(pipe_result!=0) {exit(EXIT_FAILURE);}

   pid = fork();
   if(pid==-1) {exit(EXIT_FAILURE);}
   if(pid==0)
   {  for(i=0;i<5;i++)
      {  dane_przetworzone = read(potoki[0], dane_odbierane, 10);
         printf("Odczytano %s bajtów: %d\n", dane_odbierane, dane_przetworzone);
         sleep(1);
      }
      exit(EXIT_SUCCESS);
   }
   else
   {
      for(i=0;i<5;i++)
      {
         dane_przetworzone = write(potoki[1], dane_wysylane, 10);
         printf("Wyslano %d bajtów\n", dane_przetworzone);
         dane_wysylane[0]++;
      }
      exit(EXIT_SUCCESS);
   }
}
```

Jest to modyfikacja programu podanego w kodzie źródłowym 1. W programie jest zdefiniowana tablica „potoki” do przechowywania uchwytów do kanału komunikacyjnego. Tablice „dane_wysyłane”, „dane_odbierane” oraz zmienna „dane_przetworzone” są stosowane jako bufory, które odpowiednio zawierają: dane do wysłania, dane odebrane, informację ile danych przesłano. Zmienna „pid” służy do rozpoznawania, w którym procesie wykonywane jest przetwarzanie, zaś zmienna „pipe_result” pozwala na przechwycenie rezultatu działania funkcji pipe() i sprawdzenie, czy potok został prawidłowo zdefiniowany. W programie następuje najpierw utworzenie potoku, a następnie rozdzielenie na dwa procesy. Ponieważ proces potomny dziedziczy zmienne po procesie-rodzicu, otrzymuje on dostęp do kanału komunikacyjnego zdefiniowanego przez rodzica (tablica

„potoki” u dziecka zawiera już wcześniej utworzone uchwyty do potoku). Proces-dziecko próbuje 5-krotnie odczytać dane z potoku (wywołanie funkcji read()), przy czym po każdym odczycie zawiesza swoje wykonywanie na 1 sekundę. Proces rodzica pięciokrotnie wysyła dane do potoku (wywołanie funkcji write()). Opisy nowych funkcji zastosowanych w kodzie źródłowym 2 zawarto w tablicy 2.

Tab. 2. Specyfikacje wybranych funkcji zastosowanych w kodzie źródłowym 2.

int pipe(int potoki[2]); potoki[] tablica uchwytów do potoku wypełniania przez funkcję pipe Funkcja zwraca: 0, jeśli utworzenie potoku zakończyło się sukcesem, kod błędu w przeciwnym wypadku
size_t write(int fildes, const void *buf, size_t nbytes); fildes – uchwyt do pliku/potoku buf – bufor z danymi do zapisu nbytes – ilość danych do zapisu Funkcja zwraca ilość zapisanych bajtów, 0 gdy koniec pliku, -1 gdy błąd
size_t read(int fildes, void *buf, size_t nbytes); fildes – uchwyt do pliku/potoku buf – bufor na dane nbytes – maksymalna ilość bajtów do odczytania Funkcja zwraca ile bajtów odczytała, 0 gdy nic nie przeczytano koniec pliku, -1 gdy błąd.

1.5. Synchronizacja

Synchronizacja to wypełnienie ograniczeń dotyczących kolejności wykonywania pewnych akcji przez procesy (np. pewna akcja wykonywana przez jeden proces może nastąpić tylko wtedy, gdy pewna inna akcja została wykonana w innym procesie). Podstawowym mechanizmem umożliwiającym synchronizację procesów jest semafor.

Semafor S jest obiektem systemu operacyjnego, z którym związany jest licznik L zasobu przyjmujący wartości nieujemne. Na semaforze zdefiniowane są operacje atomowe (takie, których nie może przerwać żadne zdarzenie w systemie operacyjnym) sem_init, sem_wait i sem_post. Definicje operacji na semaforze pokazano w tabeli 3.

Tab. 3. Definicje operacji na semaforze.

Operacja	Oznaczenie	Opis
Inicjalizacja semafora S	sem_init(S,N)	Ustawienie licznika semafora S na początkową wartość N.
Zajmowanie	sem_wait(S)	Gdy licznik L semafora S jest dodatni (L>0), zmniejsz go o 1 (L=L–1). Gdy licznik L semafora S jest równy zero (L=0), zablokuj proces bieżący.
Sygnalizacja	sem_post(S)	Gdy istnieje jakiś proces oczekujący na semaforze S, to odblokuj jeden z czekających procesów. Gdy brak procesów oczekujących na semaforze S, zwiększ jego licznik L o 1 (L=L+1).

Schemat posługiwania się semaforem do synchronizacji pracy pomiędzy dwoma procesami pokazano na rysunku 3. Celem synchronizacji jest zapewnienie, że instrukcja Y wykona się po zakończeniu instrukcji A, przy czym instrukcje A i Y należą do różnych współbieżnie wykonywanych procesów. W celu zapewnienia takiej synchronizacji należy powołać do życia semafor i zainicjować go wartością początkową 0. Możliwe są dwa scenariusze. W pierwszym instrukcja X wykona się szybciej, niż instrukcja A i w konsekwencji instrukcja sem_wait() wykona się wcześniej niż instrukcja sem_post(). Spowoduje to zatrzymanie pracy procesu P1 do momentu zakończenia instrukcji A i wykonania instrukcji sem_post() w procesie P2. Taką sekwencję synchronizacji ilustruje przebieg czasowy znajdujący się po lewej stronie rysunku 3. W drugim scenariuszu założono, że instrukcja A wykona się przed zakończeniem instrukcji X. W konsekwencji operacja sem_post() wykona się przed wykonaniem operacji sem_wait(). W tym przypadku proces P1 nie zostanie zatrzymany, ponieważ przed wykonaniem instrukcji sem_wait() semafor zostaje zwiększony o 1. W każdym przypadku zapewnione jest osiągnięcie założonego celu (instrukcja Y rozpoczyna wykonywanie po zakończeniu instrukcji A).

```
sem_init(cosyn, 1, 0) /* wartość początkowa 0 */
```

```
P2(){
  /* process sygnalizujący */
  instrukcja A;
  sem_post (consyn)
  instrukcja B;
}
```

```
P1(){
  /* process czekający */
  instrukcja X;
  sem_wait (consyn)
  instrukcja Y;
}
```

Rys. 3. Synchronizacja procesów z zastosowaniem semafora.

Kod źródłowy 3 pokazuje sposób realizacji synchronizacji 2 procesów z zastosowaniem semaforów. Program stosuje semafory z biblioteki pthreads. Musi być on skompilowany z opcją kompilatora -lpthread. Funkcja sem_open() tworzy semafor. Funkcja sem_init() ustala jego początkową wartość. W programie proces-dziecko oczekuje w pętli niekończonej na sygnalizację semafora, która odbywa się pięciokrotnie w procesie-rodzicu. Komunikat „Nastąpiła synchronizacja" jest wysyłany na konsolę po synchronizacji.
Tabela 4 zawiera specyfikację wybranych funkcji biblioteki pthreads, sterujących pracą semaforów.

Tab. 4. Wybrane funkcje sterujące semaforami w bibliotece pthreads.

Utworzenie semafora: **sem_t *sem_open(const char *name, int oflag, …);**

name – nazwa semafora w systemie, powinna zacząć się od znaku „/” oflag – jest ustawiana na O_CREAT, gdy chcemy utworzyć semafor (jeśli dodamy flagę O_EXCL funkcja zwróci błąd, w przypadku, gdy taki semafor już istnieje) mode_t – ustalenie kontroli dostępu do semafora value – ustalenie wartości początkowej semafora Funkcja zwraca „uchwyt” do semafora.
Inicjalizacja semafora: **int sem_init(sem_t *sem, int pshared, unsigned int value);** pshared– 0 - semofor jest dzielony pomiędzy wątki, >0 - może być dzielony pomiędzy procesy value – początkowa wartość semafora
Czekanie na semaforze: **int sem_wait(sem_t *sem);**
Sygnalizacja: **int sem_post(sem_t *sem);**

Kod źródłowy 3. Synchronizacja 2 procesów z zastosowaniem semafora.

```
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/file.h>
#include <sys/times.h>
#include <semaphore.h>

int main()
{
int a=0,i;
pid_t pid;
sem_t *sem;

sem=sem_open("/thesem", O_CREAT);
sem_init(sem, 1, 0);
pid = fork();

   if(pid==-1) {exit(EXIT_FAILURE);}
   if(pid==0)
   {  while(1)
      {
         sem_wait(sem);
         printf("Nastapila synchronizacja\n");
      }
   }
   else
   {  for(i=0;i<5;i++)
      {
         printf("Zaraz zezwole na odblokwanie drugiego procesu...\n");
         sem_post(sem);
         sleep(1);
      }

   }
    exit(EXIT_SUCCESS);
}
```

1.6. Proponowany przebieg ćwiczenia

1. Uruchomić konsolę i przetestować działanie poleceń ps, top, pstree na domyślnym zbiorze procesów w systemie Linux. Uruchomić polecenie: „man ps" oraz „man top" w celu zrozumienia, jakie parametry procesów są wyświetlane w poszczególnych kolumnach odpowiedzi polecenia ps i top.
2. Napisać program wykonujący pętlę nieskończoną, np.:

```
int main()
{  while(1);
   return 0;
}
```

Uruchomić program i zaobserwować jego zachowanie w systemie z zastosowaniem poleceń ps, top, pstree oraz menadżera zadań. Usunąć proces za pomocą polecenia kill (w poleceniu należy podać numer PID procesu, który chcemy „zabić"). Do usunięcia procesu można się posłużyć drugą konsolą.
3. Uruchomić przykładową aplikację „two_processes.c". Zaobserwować, czy z chwilą jej uruchomienia rzeczywiście w systemie następuje utworzenie dwu nowych procesów. Aby wydłużyć działanie aplikacji, można zwiększyć ilość wykonywanych pętli.
4. Uruchomić przykładową aplikację „two_processes_pipe.c". Zwrócić uwagę, w jaki sposób następuje przesyłanie danych pomiędzy procesami. Zmodyfikować aplikację w taki sposób, aby dane były nadawane co 5 sekund. Jak to wpłynie na tempo odbierania danych i zachowanie procesu odbierającego?
5. Uruchomić przykładową aplikację „two_processes_sync.c". Zwrócić uwagę, w jaki sposób zrealizowana jest synchronizacja dwu procesów.
6. Zaproponować program, który tworzy 2 procesy. Pierwszy proces w sposób nieskończony generuje kolejne liczby parzyste i wysyła je na konsole, drugi w sposób nieskończony – kolejne liczby nieparzyste i wysyła je na konsolę. Pierwszy proces po wygenerowaniu liczby oczekuje 2 sekundy, drugi – 3. Po pewnym czasie „zabić" jeden z procesów.
7. Zaproponować program, który stworzy 3 procesy. Pierwszy, co 1 sekundę wypisuje tekst „Pozdrowienia", drugi – co 2 sekundy „Czesc", a trzeci – co 5 sekund „Witam".

1.7. Literatura

[1] Linux : programowanie / Neil Matthew, Richard Stones, RM, 1999
[2] Linux. Niezbędnik programisty/ John Fusco, Helion 2009
[3] Programowanie w Linuksie / K. Kuźniar, K. Lal, T. Rak, Helion, 2012