Systemy Operacyjne 2017/18

Kolejki komunikatów - materiały pomocnicze

Mechanizmy IPC

Podobnie jak łącza, mechanizmy IPC (Inter Process Communication) jest grupą mechanizmów komunikacji i synchronizacji procesów działających w ramach tego samego systemu operacyjnego. Mechanizmy IPC obejmują:

- kolejki komunikatów — umożliwiają przekazywanie określonych porcji danych,
- pamięć współdzieloną — umożliwiają współdzielenie kilku procesom tego samego fragmentu wirtualnej przestrzeni adresowej,
- semafory — umożliwiają synchronizacje procesów w dostępie do współdzielonych zasobów (np. do pamięci współdzielonej)

SYSTEM V

Wprowadzenie

Kolejki komunikatów to specjalne listy (kolejki) w jadrze, zawierające odpowiednio sformatowane dane i umożliwiające ich wymianę poprzez dowolne procesy w systemie. Istnieje możliwość umieszczania komunikatów w określonych kolejkach (z zachowaniem kolejności ich wysyłania przez procesy) oraz odbierania komunikatu na parę różnych sposobów (zależnie od typu, czasu przybycia itp.).

W systemie V kolejki komunikatów reprezentowane są przez strukturę msqid_ds.

Do utworzenia obiektu potrzebny jest unikalny **klucz** w postaci 32-bitowej liczby całkowitej. Klucz ten stanowi nazwę obiektu, która jednoznacznie go identyfikuje i pozwala procesom uzyskać dostęp do utworzonego obiektu. Każdy obiekt otrzymuje również swój identyfikator, ale jest on unikalny tylko w ramach jednego mechanizmu. Oznacza to, że może istnieć kolejka i zbiór semaforów o tym samym identyfikatorze.

Wartość klucza można ustawić dowolnie. Zalecane jest jednak używanie funkcji **ftok**() do generowania wartości kluczy. Nie gwarantuje ona wprawdzie unikalności klucza, ale znacząco zwiększa takie prawdopodobieństwo.

```
key_t ftok(char *pathname, char proj);
```

gdzie:

pathname - nazwa ścieżkowa pliku,
proj - jednoliterowy identyfikator projektu.

Wszystkie tworzone obiekty IPC mają ustalane prawa dostępu na podobnych zasadach jak w przypadku plików. Prawa te ustawiane są w strukturze **ipc_perm** niezależnie dla każdego obiektu IPC.

Obiekty IPC pozostają w pamięci jądra systemu do momentu, gdy:

- jeden z procesów zleci jądru usunięcie obiektu z pamięci,
- nastąpi zamknięcie systemu.

Polecenia systemowe

Polecenie **ipcs** wyświetla informacje o wszystkich obiektach IPC istniejących w systemie, dokonując przy tym podziału na poszczególne mechanizmy. Wyświetlane informacje obejmują m.in. klucz, identyfikator obiektu, nazwę właściciela, prawa dostępu.

```
ipcs [ -asmq ] [ -tclup ]
ipcs [ -smq ] -i id
```

Wybór konkretnego mechanizmu umożliwiają opcje:

-s - semafory,
-m - pamięć dzielona,
-q - kolejki komunikatów,
-a - wszystkie mechanizmy (ustawienie domyślne).
Dodatkowo można podać identyfikator pojedyńczego obiektu **-i id**, aby otrzymać informacje tylko o nim.

Pozostale opcje specyfikują format wyświetlanych informacji.

Dowolny obiekt IPC można usunąć posługując się poleceniem:

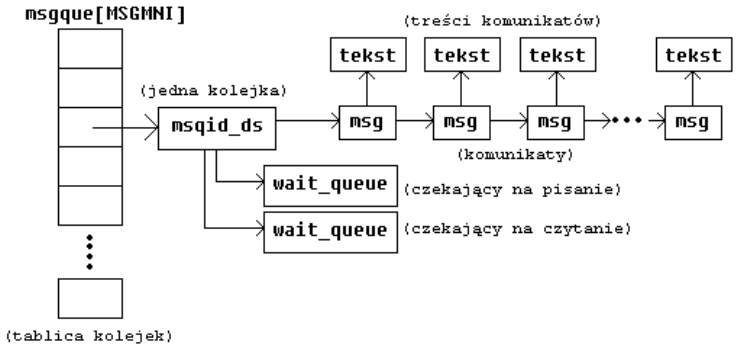
ipcrm [shm | msg | sem] id

gdzie:

shm, msg, sem - specyfikacja mechanizmu, kolejno: pamięć dzielona, kolejka komunikatów, semafory,
id - identyfikator obiektu.

Struktury danych

Za każdą kolejkę komunikatów odpowiada jedna struktura typu msqid_ds. Komunikaty danej kolejki przechowywane są na liście, której elementami są struktury typu msg - każda z nich posiada informacje o typie komunikatu, wskaźnik do następnej struktury msg oraz wskaźnik do miejsca w pamięci, gdzie przechowywana jest właściwa treść komunikatu. Dodatkowo, każdej kolejce komunikatów przydziela się dwie kolejki typu wait_queque, na których śpią procesy zawieszone podczas wykonywania operacji czytania bądź pisania do danej kolejki. Poniższy rysunek przedstawia wyżej omówione zależności:



W pliku include/linux/msg.h zdefiniowane są ograniczenia na liczbę i wielkość kolejek oraz komunikatów w nich umieszczanych:

```
#define MSGMNI 128   /* <= 1K    max # kolejek komunikatow          */
#define MSGMAX 4056  /* <= 4056  max rozmiar komunikatu (w bajtach) */
#define MSGMNB 16384 /* ?        max wielkosc kolejki (w bajtach)   */
```

Struktura msqid_ds

Dokładna definicja struktury msqid_ds z pliku include/linux/msg.h:

```
/* jedna struktura msg dla kazdej kolejki w systemie */
struct msqid_ds {
  struct ipc_perm     msg_perm;
  struct msg         *msg_first;    /* pierwszy komunikat w kolejce */
  struct msg         *msg_last;     /* ostatni komunikat w kolejce */
  __kernel_time_t     msg_stime;    /* czas ostatniego msgsnd */
  __kernel_time_t     msg_rtime;    /* czas ostatniego msgrcv */
  __kernel_time_t     msg_ctime;    /* czas ostatniej zmiany */
  struct wait_queue  *wwait;
  struct wait_queue  *rwait;
  unsigned short      msg_cbytes;   /* liczba bajtow w kolejce */
  unsigned short      msg_qnum;     /* liczba komunikatow w kolejce */
  unsigned short      msg_qbytes;   /* maksymalna liczba bajtow w kolejce */
  __kernel_ipc_pid_t  msg_lspid;    /* pid ostatniego msgsnd */
  __kernel_ipc_pid_t  msg_lrpid;    /* pid ostatniego receive*/
};
```

Dodatkowe wyjaśnienia:

`msg_perm`
Jest to instancja struktury `ipc_perm`, zdefiniowanej w pliku `linux/ipc.h`. Zawiera informacje o prawach dostępu do danej kolejki oraz o jej założycielu.

`wwait, rwait`
Przydzielone danej kolejce komunikatów dwie kolejki typu `wait_queue`, na których spią procesy zawieszone podczas wykonywania operacji odpowiednio czytania oraz pisania w danej kolejce komunikatów.

Struktura msg

Dokladna definicja struktury msg z pliku `include/linux/msg.h`:

```
/* jedna struktura msg dla kazdego komunikatu */
struct msg {
  struct msg *msg_next;   /* nastepny komunikat w kolejce */
  long        msg_type;
  char       *msg_spot;
  time_t      msg_stime;  /* czas wyslania tego komunikatu */
  short       msg_ts;     /* dlugosc wlasciwej tresci komunikatu */
};
```

Dodatkowe wyjaśnienia:

msg_type
Typ przechowywanego komunikatu. Wysyłanemu do kolejki komunikatowi nadawca przypisuje dodatnią liczbę naturalną, stającą się jego typem. Przy odbiorze komunikatu można zażądać komunikatów określonego typu (patrz opis funkcji msgrcv()).

msg_spot
Wskaźnik do miejsca w pamięci, gdzie przechowywana jest właściwa treść komunikatu. Na każdy komunikat przydzielane jest oddzielne miejsce w pamięci.

Funkcje i ich implementacja

Istnieją cztery funkcje systemowe do obsługi komunikatów:

`msgget()` uzyskanie identyfikatora kolejki komunikatów używanego przez pozostałe funkcje,

`msgctl()` ustawianie i pobieranie wartości parametrów związanych z kolejkami komunikatów oraz usuwanie kolejek,

`msgsnd()` wysłanie komunikatu,

`msgrcv()` odebranie komunikatu.

Funkcja msget()

Funkcja służy do utworzenia nowej kolejki komunikatów lub uzyskania dostępu do istniejącej kolejki.

```
DEFINICJA: int msgget(key_t key, int msgflg)
    WYNIK: identyfikator kolejki w przypadku sukcesu
           -1, gdy blad: errno = EACCESS (brak praw)
                                 EEXIST  (kolejka o podanym kluczu istnieje,
                                          wiec niemozliwe jest jej utworzenie)
                                 EIDRM   (kolejka zostala w miedzyczasie skasowana)
                                 ENOENT  (kolejka nie istnieje),
                                 EIDRM  (kolejka zostala w miedzyczasie skasowana)
                                 ENOMEM  (brak pamieci na kolejke)
                                 ENOSPC  (liczba kolejek w systemie jest rowna
                                          maksymalnej)
```

Pierwszym argumentem funkcji jest wartość klucza, porównywana z istniejacymi wartościami kluczy. Zwracana jest kolejka o podanym kluczu, przy czym flaga **IPC_CREAT** powoduje utworzenie kolejki w przypadku braku kolejki o podanym kluczu, zaś flaga **IPC_EXCL** użyta z **IPC_CREAT** powoduje błąd EEXIST, jeśli kolejka o podanym kluczu już istnieje. Wartość klucza równa **IPC_PRIVATE** zawsze powoduje utworzenie nowej kolejki.

W przypadku konieczności utworzenia nowej kolejki, alokowana jest nowa struktura typu msqid_ds.

Funkcja msgsnd()

Wysłanie komunikatu do kolejki.

```
DEFINICJA: int msgsnd(int msqid, struct msgbuf *msgp, int msgsz,
                      int msgflg)
    WYNIK: 0 w przypadku sukcesu
           -1, gdy blad: errno = EAGAIN (pelna kolejka (IPC_NOWAIT))
                                 EACCES (brak praw zapisu)
                                 EFAULT (zly adres msgp)
                                 EIDRM  (kolejka zostala w miedzyczasie skasowana)
                                 EINTR  (otrzymano sygnal podczas czekania)
                                 EINVAL (zly identyfikator kolejki, typ lub rozmiar
                                         komunikatu)
                                 ENOMEM (brak pamieci na komunikat)
```

Pierwszym argumentem funkcji jest identyfikator kolejki. msgp jest wskaźnikiem do struktury typu `msgbuf`, zawierającej wysyłany komunikat. Struktura ta jest zdefiniowana w pliku linux/msg.h nastepująco:

```
/* message buffer for msgsnd and msgrcv calls */
struct msgbuf {
  long mtype;         /* typ komunikatu   */
  char mtext[1];      /* tresc komunikatu */
};
```

Jest to jedynie przykładowa postać tej struktury; programista może zdefiniować sobie a następnie wysyłać dowolną inną strukturę, pod warunkiem, że jej pierwszym polem będzie wartość typu long, zaś rozmiar nie będzie przekraczać wartości MSGMAX (=4096). Wartość msgsz w wywołaniu funkcji msgsnd jest równa rozmiarowi komunikatu (w bajtach), nie licząc typu komunikatu (sizeof(long)). Flaga **IPC_NOWAIT** zapewnia, ze w przypadku braku miejsca w kolejce funkcja natychmiast zwróci błąd EAGAIN.

Funkcja msgrcv()

Odebranie komunikatu z kolejki.http://archive2.cel.agh.edu.pl/wiet/course/modedit.php?update=9533&return=1

```
DEFINICJA: int msgrcv(int msgqid, struct msgbuf *msgp, int msgsz,
                      long type, int msgflg)
    WYNIK: liczba bajtow skopiowanych do bufora w przypadku sukcesu
           -1, gdy blad: errno = E2BIG  (dlugosc komunikatu wieksza od msgsz)
                                 EACCES (brak praw odczytu)
                                 EFAULT (zly adres msgp)
                                 EIDRM  (kolejka zostala w miedzyczasie skasowana)
                                 EINTR  (otrzymano sygnal podczas czekania)
                                 EINVAL (zly identyfikator kolejki lub msgsz < 0)
                                 ENOMSG (brak komunikatu (IPC_NOWAIT))
```

Pierwszym argumentem funkcji jest identyfikator kolejki. mgsp wskazuje na adres bufora, do którego ma być przekopiowany odbierany komunikat. mgsz to rozmiar owego bufora, z wyłączeniem pola mtype (sizeof(long)). mtype wskazuje na rodzaj komunikatu, który chcemy odebrać. Jądro przydzieli nam najstarszy komunikat zadanego typu, przy czym:

- jeśli mtype = 0, to otrzymamy najstarszy komunikat w kolejce
- jeśli mtype > 0, to otrzymamy komunikat odpowiedniego typu
- jeśli mtype< 0, to otrzymamy komunikat najmniejszego typu mniejszego od wartości absolutnej mtype
- jeśli msgflg jest ustawiona na **MSG_EXCEPT**, to otrzymamy dowolny komunikat o typie rożnym od podanego

Ponadto, flaga **IPC_NOWAIT** w przypadku braku odpowiedniego komunikatu powoduje natychmiastowe wyjście z błędem, zaś **MSG_NOERROR** powoduje brak błędu w przypadku, gdy komunikat nie mieści się w buforze (zostaje przekopiowane tyle, ile się mieści).

Funkcja msgctl()

modyfikowanie oraz odczyt rozmaitych właściwości kolejki.

```
DEFINICJA: int msgctl(int msgqid, int cmd, struct msqid_ds *buf)
    WYNIK: 0 w przypadku sukcesu
           -1, gdy blad: errno = EACCES (brak praw czytania (IPC_STAT))
                                 EFAULT (zly adres buf)
                                 EIDRM  (kolejka zostala w miedzyczasie skasowana)
                                 EINVAL (zly identyfikator kolejki lub msgsz < 0)
                                 EPERM  (brak praw zapisu (IPC_SET lub IPC_RMID))
```

Dopuszczalne komendy to:

- **IPC_STAT**: uzyskanie struktury msgid_ds odpowiadającej kolejce (zostaje ona skopiowana pod adres wskazywany przez buf)
- **IPC_SET**: modyfikacja wartości struktury ipc_perm odpowiadającej kolejce
- **IPC_RMID**: skasowanie kolejki

Działanie funkcji sprowadza się do przekopiowania odpowiednich wartości od lub do użytkownika, lub skasowania kolejki. Usuniecie kolejki wygląda następująco:

```
{
   msqid_ds.ipc_perm.seq+=1;     /* patrz opis struktury ipc_perm w rozdziale
                                    o cechach wspolnych mechanizmow IPC */
   msg_seq+=1;        /* zwiekszenie wartosci globalnej zmiennej zwiazanej z
                         ipc_perm.seq - patrz tenze rozdzial */
   uaktualnienie statystyk;
   msgque[msqid]=IPC_UNUSED;
   obudzenie czekajacych na pisanie lub czytanie do/z usuwanej kolejki;
   zwolnienie struktur przydzielonych kolejce;
}
```

POSIX

POSIX (ang. ***P**ortable **O**perating **S**ystem **I**nterface for UNI**X***) - przenośny interfejs dla systemu UNIX. Jest to zestaw standardów opracowany przez stowarzyszenie IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) w 1985 roku w celu zapewnienia kompatybilności pomiędzy różnymi wersjami i dystrybucjami systemów operacyjnych. Standard ten definiuje zarówno interfejs programistyczny (API), jak i powłokę systemową oraz interfejs użytkownika.

Kolejki komunikatów

Służą do wymiany komunikatów (ciągu danych o ustalonej długości i priorytecie) pomiędzy procesami. Kolejka to tak naprawdę lista, z której w czasie odczytu pobieramy najstarszy komunikat o najwyższym priorytecie (wg standardu POSIX). Pojedynczy komunikat zawiera priorytet (unsigned int), długość (size_t) oraz same dane, o ile długość jest większa niż 0 (char*).

Funkcje do obsługi kolejek komunikatów

Plik nagłówkowy

```
#include <mqueue.h>
```

Struktura struct mq_attr

```
struct mq_attr {
    long mq_flags;    /* sygnalizator kolejki: 0, O_NONBLOCK */
    long mq_maxmsg;   /* maksymalna liczba komunikatów w kolejce */
    long mq_msgsize;  /* maksymalny rozmiar komunikatu (w bajtach)  */
    long mq_curmsgs;   /* liczba komunikatów w kolejce */
};
```

Otwieranie kolejki

mqd_t mq_open(const char *name, int oflag [, mode_t mode, struct mq_attr *attr]);

Funkcja ta próbuje otworzyć kolejkę komunikatów (która tak naprawdę jest plikiem o nazwie name). Zwraca deskryptor kolejki, jeśli się powiedzie lub -1 w przypadku błędu.

Uwaga! Nazwa musi zaczynać się od znaku /

Parametr oflag ma analogiczne znaczenie, jak w przypadku otwierania plików (unixowymi metodami obsługi plików). Zatem akceptuje jedną z wartości: O_RDONLY, O_WRONLY, O_RDWR, którą można zsumować logicznie z wartościami: O_CREAT, O_EXCL oraz O_NONBLOCK (aby używać tych stałych należy dołączyć plik nagłówkowy fcntl.h).

Parametr mode specyfikujemy, gdy tworzymy nową kolejkę i określa on prawa dostępu do niej. Możemy podać wartość ósemkowo lub dowolną sumę logiczną stałych: S_IRUSR, S_IWUSR, S_IRGRP, S_IWGRP, S_IROTH, S_IWOTH (aby korzystać z tych stałych należy dołączyć plik nagłówkowy sys/stat.h).

Ostatnim parametrem jest attr. Jest to struktura określająca parametry kolejki. Jeśli nie podamy tego parametru lub podamy NULL, to ustawione zostaną parametry domyślne.

Zamykanie kolejki

```
int mq_close(mqd_t mqdes);
```

Funkcja ta zamyka kolejkę o deskryptorze mqdes. Zwraca 0 w przypadku sukcesu lub -1 w przypadku błędu.

Warto zauważyć, że funkcja ta **nie niszczy** kolejki, która dalej jest dostępna w systemie operacyjnym, ale jedynie ją zamyka.

Gdy proces się kończy, automatycznie zamykane są wszystkie jego kolejki.

Usuwanie kolejki

```
int mq_unlink(const char *name);
```

Usuwa z systemu kolejkę o nazwie name. Zwraca 0 w przypadku sukcesu lub -1 w przypadku błędu.

Kolejka zostanie usunięta dopiero po zamknięciu jej przez wszystkie podłączone procesy.

Odczytywanie parametrów kolejki

```
int mq_getattr(mqd_t mqdes, struct mq_attr *attr);
```

Odczytuje parametry kolejki o deskryptorze mqdes i zapisuje je w miejscu wskazywanym przez attr. Zwraca 0 w przypadku sukcesu lub -1 w przypadku błędu.

Ustawianie parametrów kolejki

```
int mq_setattr(mqd_t mqdes, const struct mq_attr *attr, struct mq_attr *oattr);
```

Ustawia parametry kolejki o deskryptorze mqdes wskazywane przez attr. Jeśli oattr nie wskazuje na NULL, to zapisywane są w tym miejscu stare parametry kolejki. Zwraca 0 w przypadku sukcesu lub -1 w przypadku błędu.

Wysyłanie komunikatów

```
int mq_send(mqd_t mqdes, const char* ptr, size_t len, unsigned int prio);
```

Wysyła komunikat wskazywany przez ptr do kolejki o deskryptorze mqdes o długości len i priorytecie prio. Zwraca 0 w przypadku powodzenia lub -1 w przypadku błędu.

Priorytet nie może przekraczać MQ_PRIO_MAX!

Odbieranie komunikatów

```
ssize_t mq_receive(mqd_t mqdes, char *ptr, size_t len, unsigned int *priop);
```

Odbiera komunikat z kolejki o deskryptorze mqdes o długości len (co najmniej tyle, ile w polu mq_msgsize w strukturze struct mq_attr). Dane zapisuje do ptr, a priorytet do priop (o ile priop nie jest NULL). Zwraca liczbę odczytanych bajtów w przypadku powodzenia lub -1 w przypadku błędu.

Mechanizm powiadomień (*ang. notifications*)

Mechanizm powiadomień pozwala na asynchroniczne zawiadamianie procesu, że w pustej kolejce umieszczono komunikat. Może to się odbyć poprzez:

- wysłanie sygnału
- utworzenie wątku w celu wykonania określonej funkcji

Korzystanie z mechanizmu powiadomień

```
int mq_notify(mqd_t mqdes, const struct sigevent *notification);
```

Funkcja ta powoduje zarejestrowanie (gdy notification nie jest równe NULL) lub wyrejestrowanie (gdy notifiation jest NULL) mechanizmu powiadomień dla kolejki o deskryptorze mqdes. Zwraca 0 w przypadku powodzenia lub -1 w przypadku błędu. Struktura struct sigevent wygląda następująco:

```
struct sigevent {
    int          sigev_notify;  /* sygnał czy wątek: SIGEV_NONE, SIGEV_SIGNAL, SIGEV_THREAD */
    int          sigev_signo;   /* numer sygnału (dla SIGEV_SIGNAL) */
    union sigval sigev_value;   /* przekazywane procedurze obsługi sygnału lub wątkowi */
    /* dla SIGEV_THREAD występują jeszcze: */
    void (*sigev_notify_function)(union sigval);
    pthread_attr_t *sigev_notify_attributes;
};

union sigval {
    int   sival_int;   /* wartość całkowitoliczbowa */
    void *sival_ptr; /* wskaźnik */
};
```

Korzystając z mechanizmu powiadomień należy pamiętać, że:

- W jednym procesie możemy korzystać z powiadomień tylko z jednej kolejki.
- Rejestracja obowiązuje tylko na jedno powiadomienie. Po powiadomieniu trzeba zarejestrować się ponownie, gdyż rejestracja jest kasowana.
- Jeśli w pustej kolejce pojawi się komunikat, a jednocześnie proces oczekuje na rezultat funkcji mq_receive, to do procesu **nie zostanie** wysłane powiadomienie. Nie ma to większego sensu, gdyż proces i tak oczekuje na wiadomość.

Ostatnia modyfikacja: środa, 25 kwietnia 2018, 09:53

◄ Zadania - Zestaw 6

Przejdź do...

Zadania - Zestaw 7 ►

Platforma e-Learningowa obsługiwana jest przez:
Centrum e-Learningu AGH oraz Centrum Rozwiązań Informatycznych AGH

Pobierz aplikację mobilną