

LabSO 2023

Laboratorio Sistemi Operativi - A.A. 2022-2023

Michele Grisafi - michele.grisafi@unitn.it

Nota sugli “snippet” di codice

Alcuni esempi di codice possono essere semplificati, ad esempio omettendo il blocco principale con la funzione `main` (che andrebbe aggiunto) oppure elencando alcune o tutte le librerie da includere tutte su una riga o insieme (per cui invece occorre trascrivere correttamente le direttive `#include` secondo la sintassi corretta) o altre semplificazioni analoghe. In questi casi occorre sistemare il codice perché possa essere correttamente compilato e poi eseguito.

Message Queues

Message queues

Una coda di messaggi, message queue, è una lista concatenata memorizzata all'interno del kernel ed identificata con un ID (un intero positivo univoco), chiamato **queue identifier**.

Questo ID viene condiviso tra i processi interessati, e viene generato attraverso una chiave univoca.

Una coda deve essere innanzitutto generata in maniera analoga ad una FIFO, impostando dei permessi. Ad una coda esistente si possono aggiungere o recuperare messaggi tipicamente in modalità “autosincrona”: la lettura attende la presenza di un messaggio, la scrittura attende che via sia spazio disponibile. Questi comportamenti possono però essere configurati.

Queue identifier e queue key

Quanto trattiamo di message queue, abbiamo due identificativi:

- **Key**
- **Queue identifier**

Key: intero che identifica un insieme di risorse condivisibili nel kernel, come semafori, memoria condivisa e **code**. Questa chiave univoca deve essere nota a più processi, e viene usata per ottenere il queue identifier.

Queue identifier: id univoco della coda, generato dal kernel ed associato ad una specifica *key*. Questo ID viene usato per interagire con la coda.

Creazione coda

```
int msgget(key_t key, int msgflg)
```

Restituisce l'identificativo di una coda basandosi sulla chiave “key” e sui flags:

- `IPC_CREAT`: crea una coda se non esiste già, altrimenti restituisce l'identificativo di quella già esistente;
- `IPC_EXCL`: (da usare con il precedente) fallisce se coda già esistente;
- `0xxx`: permessi per accedere alla coda, analogo a quello che si può usare nel file system. In alternativa si possono usare `S_IRUSR` etc.

```
#include <sys/types.h> <sys/ipc.h> <sys/msg.h> //msgget.c
key_t queueKey = 56; //Unique key
int queueId = msgget(queueKey, 0777 | O_CREAT | IPC_EXCL);
```

Ottenere chiave univoca

```
key_t ftok(const char *path, int id)
```

Restituisce una chiave basandosi sul *path* (una cartella o un file), esistente ed accessibile nel file-system, e sull'id numerico. La chiave dovrebbe essere univoca e sempre la stessa per ogni coppia **<path, id>** in ogni istante sullo stesso sistema.

Un metodo d'uso, per evitare possibili conflitti, potrebbe essere generare un path (es. un file) temporaneo univoco, usarlo, eventualmente rimuoverlo, ed usare l'id per rappresentare diverse “categorie” di code, a mo' di indice.

```
#include <sys/ipc.h>                                     //ftok.c
key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
key_t queue2Key = ftok("/tmp/unique", 2); ...
```

Esempio creazione

```
<sys/types.h><sys/ipc.h> <sys/msg.h><stdio.h><fcntl.h> //ipcCreation.c
void main(){
    remove("/tmp/unique"); //Remove file
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1); //Get unique key → fail
    creat("/tmp/unique", 0777); //Create file
    queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1); //Get unique key → ok
    int queueId = msgget(queue1Key ,0777 | IPC_CREAT); //Create queue → ok
    queueId = msgget(queue1Key , 0777); //Get queue → ok
    msgctl(queue1Key,IPC_RMID,NULL); //Remove non existing queue → fail
    msgctl(queueId,IPC_RMID,NULL); //Remove queue → ok
    queueId = msgget(queue1Key , 0777); //Get non existing queue → fail
    queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT); //Create queue → ok
    queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT); //Get queue → ok
    queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT | IPC_EXCL); /* Create
                                                                    already existing queue -> fail */
}
```


Le queue sono persistenti

```
#include <sys/ipc.h> <stdio.h> <sys/msg.h>           //persistent.c

void main(){
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
    int queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT | IPC_EXCL);
    perror("Error:");
}
```

Se eseguiamo questo programma dopo aver eseguito il precedente “*ipcCreation.c*” verrà generato un errore dato che la coda esiste già ed abbiamo usato il flag **IPC_EXCL**!

Comunicazione - 1

Ogni messaggio inserito nella coda ha:

- Un tipo, categoria, rappresentato da un intero > 0
- Una grandezza non negativa
- Un payload, un insieme di dati (bytes) di lunghezza corretta

Al contrario delle FIFO, i messaggi in una coda possono essere recuperati anche sulla base del tipo e non solo del loro ordine “assoluto” di arrivo. Così come i files, le code sono delle strutture persistenti che continuano ad esistere, assieme ai messaggi in esse salvati, anche alla terminazione del processo che le ha create. L’eliminazione della coda deve essere esplicita.

```
struct msg_buffer{  
    long mtype;  
    char mtext[100];  
} message;
```

Comunicazione - 2

Il payload del messaggio non deve essere necessariamente un campo testuale: può essere una qualsiasi struttura dati. Infatti, un messaggio può anche essere senza payload.

```
typedef struct book{
    char title[10];
    char description[100];
    unsigned short chapters;
} Book;

struct msg_buffer{
    long mtype;
    Book mtext;
} message_rcv;

struct msg_empty{
    long mtype;
} message_empty;
```

Inviare messaggi

```
int msgsnd(int msqid, const void *msgp, size_t msgsz, int msgflg);
```

Aggiunge una copia del messaggio puntato da `msgp`, con un payload di dimensione `msgsz`, alla coda identificata da `msqid`. Il messaggio viene inserito immediatamente se c'è abbastanza spazio disponibile, altrimenti la chiamata si blocca fino a che abbastanza spazio diventa disponibile. Se `msgflg` è `IPC_NOWAIT` allora la chiamata fallisce in assenza di spazio.

NB: `msgsz` è la grandezza del payload del messaggio, non del messaggio intero (che contiene anche il tipo)! Per esempio, `sizeof(msgp.mtext)`

Ricevere messaggi - 1

```
ssize_t msgrcv(int msqid, void *msgp, size_t msgsz, long msgtyp, int msgflg)
```

Rimuove un messaggio dalla coda `msqid` e lo salva nel buffer `msgp`. `msgsz` specifica la lunghezza massima del payload del messaggio (per esempio `mtext` della struttura `msgp`). Se il payload ha una lunghezza maggiore e `msgflg` è `MSG_NOERROR` allora il payload viene troncato (viene persa la parte in eccesso), se `MSG_NOERROR` non è specificato allora il payload non viene eliminato e la chiamata fallisce.

Se non sono presenti messaggi, la chiamata si blocca in loro attesa. Il flag `IPC_NOWAIT` fa fallire la syscall se non sono presenti messaggi.

Ricevere messaggi - 2

```
ssize_t msgrcv(int msqid, void *msgp, size_t msgsz, long msgtyp, int msgflg)
```

A seconda di `msgtyp` viene recuperato il messaggio:

- `msgtyp = 0`: primo messaggio della coda (FIFO)
- `msgtyp > 0`: primo messaggio di tipo `msgtyp`, o primo messaggio di tipo diverso da `msgtyp` se `MSG_EXCEPT` è impostato come flag
- `msgtyp < 0`: primo messaggio il cui tipo `T` è $\min(T \leq |msgtyp|)$

Esempio comunicazione - 1

```
#include <sys/types.h><sys/ipc.h><sys/msg.h><string.h><stdio.h> //ipc.c
struct msg_buffer{
    long mtype;
    char mtext[100];
} msgp, msgp2; //Two different message buffers
int main(void){
    msgp.mtype = 20;
    strcpy(msgp.mtext,"This is a message");
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
    int queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT | IPC_EXCL);
    int esito = msgsnd(queueId , &msgp, sizeof(msgp.mtext),0);
    esito = msgrcv(queueId , &msgp2, sizeof(msgp2.mtext),20,0);
    printf("Received %s\n",msgp2.mtext);
}
```

Esempio comunicazione - 2

```
#include <sys/types.h> <sys/ipc.h> <sys/msg.h> <string.h> //ipcBook.c

typedef struct book{
    char title[10];
    char description[200];
    short chapters;
} Book;

struct msg_buffer{
    long mtype;
    Book mtext;
} msgp_snd, msgp_rcv; //Two different message buffers
```


Esempio comunicazione - 2

```
...
int main(void){
    msgp_snd.mtype = 20;
    strcpy(msgp_snd.mtext.title, "Title");
    strcpy(msgp_snd.mtext.description, "This is a description");
    msgp_snd.mtext.chapters = 17;
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
    int queueId = msgget(queue1Key, 0777 | IPC_CREAT);
    int esito = msgsnd(queueId, &msgp_snd, sizeof(msgp_snd.mtext), 0);
    esito = msgrcv(queueId, &msgp_rcv, sizeof(msgp_rcv.mtext), 20, 0);
    printf("Received: %s %s %d\n", msgp_rcv.mtext.title,
        msgp_rcv.mtext.description, msgp_rcv.mtext.chapters);
}
```

Esempio comunicazione - 3

```
#include <sys/types.h> <sys/ipc.h> <sys/msg.h> <string.h> //ipcType.c

struct msg_buffer{
    long mtype;
    char mtext[100];
} msgp_snd,msgp_rcv; //Two different message buffers

int main(int argc, char ** argv){
    int to_fetch = atoi(argv[1]); //Input to decide which msg to get
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
    int queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT);
```

Esempio comunicazione - 3

```
...
msgp_snd.mtype = 20;
strcpy(msgp_snd.mtext, "A message of type 20");
int esito = msgsnd(queueId , &msgp_snd, sizeof(msgp.mtext), 0);
msgp_snd.mtype = 10; //Re-use the same message
strcpy(msgp_snd.mtext, "Another message of type 10");
esito = msgsnd(queueId , &msgp_snd, sizeof(msgp.mtext), 0);
esito = msgrcv(queueId , &msgp_rcv, sizeof(msgp_rcv.mtext),
               to_fetch, 0);
printf("Received: %s %s %d\n", msgp_rcv.mtext.title,
       msgp_rcv.mtext.description, msgp_rcv.mtext.chapters);
}
```

Modificare la coda

```
int msgctl(int msqid, int cmd, struct msqid_ds *buf);
```

Modifica la coda identificata da **msqid** secondo i comandi **cmd**, riempiendo **buf** con informazioni sulla coda (ad esempio timestamp dell'ultima scrittura, dell'ultima lettura, numero messaggi nella coda, etc...). Valori di **cmd** possono essere:

- **IPC_STAT**: recupera informazioni da kernel
- **IPC_SET**: imposta alcuni parametri a seconda di **buf**
- **IPC_RMID**: rimuove immediatamente la coda
- **IPC_INFO**: recupera informazioni generali sui limiti delle code nel sistema
- **MSG_INFO**: come **IPC_INFO** ma con informazioni differenti
- **MSG_STAT**: come **IPC_STAT** ma con informazioni differenti

msqid_ds structure

```
struct msqid_ds {  
    struct ipc_perm msg_perm; /* Ownership and permissions */  
    time_t msg_stime; /* Time of last msgsnd(2) */  
    time_t msg_rtime; /* Time of last msgrcv(2) */  
    time_t msg_ctime; //Time of creation or last modification by msgctl  
    unsigned long msg_cbytes; /* # of bytes in queue */  
    msgqnum_t msg_qnum; /* # of messages in queue */  
    msglen_t msg_qbytes; /* Maximum # of bytes in queue */  
    pid_t msg_lspid; /* PID of last msgsnd(2) */  
    pid_t msg_lrpid; /* PID of last msgrcv(2) */  
};
```

ipc_perm structure

```
struct ipc_perm {  
    key_t __key;      /* Key supplied to msgget(2) */  
    uid_t uid;        /* Effective UID of owner */  
    gid_t gid;        /* Effective GID of owner */  
    uid_t cuid;       /* Effective UID of creator */  
    gid_t cgid;       /* Effective GID of creator */  
    unsigned short mode; /* Permissions */  
    unsigned short __seq; /* Sequence number */  
};
```

Esempio modifica coda

```
int main(void){
    struct msqid_ds mod;
    int esito = open("/tmp/unique",O_CREAT,0777);
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
    int queueId = msgget(queue1Key , IPC_CREAT | S_IRWXU );
    msgctl(queueId,IPC_RMID,NULL);
    queueId = msgget(queue1Key , IPC_CREAT | S_IRWXU );
    esito = msgctl(queueId,IPC_STAT,&mod); //Get info on queue
    printf("Current permission on queue: %d\n",mod.msg_perm.mode);
    mod.msg_perm.mode = 0000;
    esito = msgctl(queueId,IPC_SET,&mod); //Modify queue
    printf("Current permission on queue: %d\n\n",mod.msg_perm.mode);
}
```

Esempio 4

```
#include <sys/types.h><sys/ipc.h><sys/msg.h><string.h><stdio.h><unistd.h><wait.h>
//ipc4.c
struct msg_buffer{
    long mtype;
    char mtext[100];
} msgpSND,msgpRCV;
void main(){
    struct msqid_ds mod;
    msgpSND.mtype = 1;
    strcpy(msgpSND.mtext,"This is a message from sender");
    key_t queue1Key = ftok("/tmp/unique", 1);
    int queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT);
    msgctl(queueId,IPC_RMID,NULL); //Remove queue if exists
    queueId = msgget(queue1Key , 0777 | IPC_CREAT); //Create queue
```



```
msgsnd(queueId, &msgpSND, sizeof(msgpSND.mtext),0); //Send msg
msgsnd(queueId, &msgpSND, sizeof(msgpSND.mtext),0); //Send msg
msgsnd(queueId, &msgpSND, sizeof(msgpSND.mtext),0); //Send msg

msgctl(queueId,IPC_STAT,&mod); //Modify queue
printf("Msg in queue: %ld\nCurrent max bytes in queue: %ld\n\n",
      mod.msg_qnum, mod.msg_qbytes);

mod.msg_qbytes = 200; //Change buf to modify queue bytes
msgctl(queueId,IPC_SET,&mod); //Apply modification

printf("Msg in queue: %ld --> same number\nCurrent max bytes in
      queue: %ld\n\n",mod.msg_qnum, mod.msg_qbytes);

if( fork() != 0 ){ //Parent keep on writing on the queue
    printf("[SND] Sending 4th message with a full queue...\n");
    msgsnd(queueId, &msgpSND, sizeof(msgpSND.mtext),0); //Send msg
    printf("[SND] msg sent\n");
```

...

```
printf("[SND] Sending 5th message with IPC_NOWAIT\n");
if(msgsnd(queueId, &msgpSND, sizeof(msgpSND.mtext),IPC_NOWAIT )
    == -1){ //Send msg
    perror("Queue is full --> Error");
}
} else { // Child keeps reading the queue every 3 seconds
    sleep(3); msgrcv(queueId, &msgpRCV, sizeof(msgpRCV.mtext),1,0);
    printf("[Reader] Received msg 1 with msg '%s'\n",msgpRCV.mtext);
    sleep(3); msgrcv(queueId, &msgpRCV, sizeof(msgpRCV.mtext),1,0);
    printf("[Reader] Received msg 2 with msg '%s'\n",msgpRCV.mtext);
    sleep(3); msgrcv(queueId, &msgpRCV, sizeof(msgpRCV.mtext),1,0);
    printf("[Reader] Received msg 3 with msg '%s'\n",msgpRCV.mtext);
    sleep(3); msgrcv(queueId, &msgpRCV, sizeof(msgpRCV.mtext),1,0);
    printf("[Reader] Received msg 4 with msg '%s'\n",msgpRCV.mtext);
```

...

```
sleep(3);
if(msgrcv(queueId, &msgpRCV, sizeof(msgpRCV.mtext), 1, IPC_NOWAIT)
    == -1){
    perror("Queue is empty --> Error");
}else{
    printf("[Reader] Received msg 5 with msg '%s'\n",
        msgpRCV.mtext);
}
}
while(wait(NULL)>0);
}
```

Conclusioni ed esercizi

Le code sono un comodo metodo di comunicazione per l'invio e la ricezione di informazioni anche "complesse" tra generici.

Esercizio:

Implementare in C una coda di messaggi basata sulla priorità, che consenta di aggiungere messaggi con livelli di priorità diversi e di eliminarli in base al loro livello di priorità.