

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.

Pipe anonime

—

Piping

Il piping connette l'output (stdout e stderr) di un comando all'input (stdin) di un altro comando, consentendo dunque la comunicazione tra i due. Esempio:

```
ls . | sort -R          #stdout -> stdin
ls nonExistingDir |& wc    #stdout e stderr -> stdin
cat /etc/passwd | wc | less #out -> in, out-> in
```

I processi sono eseguiti in **concorrenza** utilizzando un buffer:

- Se pieno lo scrittore (left) si sospende fino ad avere spazio libero
- Se vuoto il lettore si sospende fino ad avere i dati

Esempio

```
// output.out
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main(){
    for (int i = 0; i<3; i++) {
        sleep(2);
        fprintf(stdout,
            "Written in buffer");
        fflush(stdout);
    };
};
```

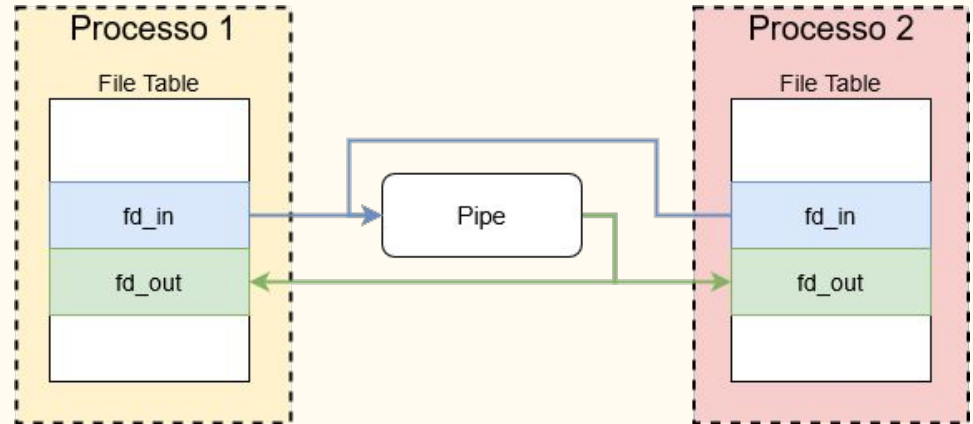
```
// input.out
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main() {
    char msg[50]; int n=3;
    while((n--)>0){
        int c = read(0,msg,49);
        if (c>0) {
            msg[c]=0;
            fprintf(stdout,
                "Read: '%s' (%d)\n",msg,c);
        };
    };
};
```

```
$ ./output.out | ./input.out
```

Pipe anonime

Le pipe anonime, come quelle usate su shell, ‘uniscono’ due processi aventi un antenato comune (oppure tra padre-figlio). Il collegamento è unidirezionale ed avviene utilizzando un buffer di dimensione finita.

Per interagire con il buffer (la pipe) si usano due file descriptors: uno per il lato in scrittura ed uno per il lato in lettura. Visto che i processi figli ereditano i file descriptors, questo consente la comunicazione tra i processi.



Creazione pipe

`int pipe(int pipefd[2]);` //fd[0] lettura, fd[1] scrittura

```
#include <stdio.h> //pipe.c
#include <unistd.h>
int main(){
    int fd[2], cnt = 0;
    while(pipe(fd) == 0){ //Create unnamed pipe using 2 file descriptors
        cnt++;
        printf("%d,%d,",fd[0],fd[1]);
    }
    printf("\n Opened %d pipes, then error\n",cnt);
    int op = open("/tmp/tmp.txt",O_CREAT|O_RDWR,S_IRUSR|S_IWUSR);
    printf("File opened with fd %d\n",op);
}
```

Lettura pipe: `int read(int fd[0], char * data, int num)`

La lettura della pipe tramite il comando `read` restituisce valori differenti a seconda della situazione:

- In caso di successo, `read()` restituisce il numero di bytes effettivamente letti
- Se il lato di scrittura è stato chiuso (da ogni processo), con il buffer vuoto restituisce 0, altrimenti restituisce il numero di bytes letti.
- Se il buffer è vuoto ma il lato di scrittura è ancora aperto (in qualche processo) il processo si sospende fino alla disponibilità dei dati o alla chiusura
- Se si provano a leggere più bytes (**num**) di quelli disponibili, vengono recuperati solo quelli presenti

Esempio lettura pipe

```
#include <stdio.h> //readPipe.c
#include <unistd.h>
int main(void){
    int fd[2]; char buf[50];
    int esito = pipe(fd); //Create unnamed pipe
    if(esito == 0){
        write(fd[1],"writing",8); // Writes to pipe
        int r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
        printf("Last read %d. Received: '%s'\n",r,buf);
        // close(fd[1]); // hangs when commented
        r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
        printf("Last read %d. Received: '%s'\n",r,buf);
    }
}
```

Scrittura: `int write(int fd[1], char * data, int num)`

La scrittura della pipe tramite il comando `write` restituisce il numero di bytes scritti. Tuttavia, se il lato in lettura è stato chiuso viene inviato un segnale `SIGPIPE` allo scrittore (default handler quit) e la chiamata restituisce `-1`.

In caso di scrittura, se vengono scritti meno bytes di quelli che ci possono stare (`PIPE_BUF`) la scrittura è “atomica” (tutto assieme), in caso contrario non c’è garanzia di atomicità e la scrittura sarà bloccata (in attesa che il buffer venga svuotato) o fallirà se il flag `O_NONBLOCK` viene usato.

Per modificare le proprietà di una pipe, possiamo usare la system call `fcntl`, la quale manipola i file descriptors.

```
int fcntl(int fd, F_SETFL, O_NONBLOCK);
```

Esempio scrittura pipe

```
#include <unistd.h> <stdio.h> <signal.h> <errno.h> <stdlib.h> //writePipe.c
void handler(int signo){
    printf("SIGPIPE received\n");    perror("Error in handler");
}
int main(void){
    signal(SIGPIPE,handler);
    int fd[2]; char buf[50];
    int esito = pipe(fd); //Create unnamed pipe
    close(fd[0]); //Close read side
    printf("Attempting write\n");
    int numOfWritten = write(fd[1],"writing",8);
    printf("I've written %d bytes\n",numOfWritten);
    perror("Error after write");
}
```

Esempio comunicazione unidirezionale

Un tipico esempio di comunicazione unidirezionale tra un processo scrittore P1 ed un processo lettore P2 è il seguente:

- P1 crea una `pipe()`
- P1 esegue un `fork()` e crea P2
- P1 chiude il lato lettura: `close(fd[0])`
- P2 chiude il lato scrittura: `close(fd[1])`
- P1 e P2 chiudono l'altro fd appena finiscono di comunicare.

Esempio unidirezionale

```
#include <stdio.h> <unistd.h> <sys/wait.h>           //uni.c
int main(){
    int fd[2]; char buf[50];
    pipe(fd); //Create unnamed pipe
    int p2 = !fork();
    if(p2){
        close(fd[1]);
        int r = read(fd[0],&buf,50); //Read from pipe
        close(fd[0]); printf("Buf: '%s'\n",buf);
    }else{
        close(fd[0]);
        write(fd[1],"writing",8); // Write to pipe
        close(fd[1]);
    }
    while(wait(NULL)>0);
}
```

Esempio comunicazione bidirezionale

Un tipico esempio di comunicazione bidirezionale tra un processo scrittore P1 ed un processo lettore P2 è il seguente:

- P1 crea due `pipe()`, *pipe1* e *pipe2*
- P1 esegue un `fork()` e crea P2
- P1 chiude il lato lettura di *pipe1* ed il lato scrittura di *pipe2*
- P2 chiude il lato scrittura di *pipe1* ed il lato lettura di *pipe2*
- P1 e P2 chiudono gli altri fd appena finiscono di comunicare.

Esempio bidirezionale

```
#include <stdio.h> <unistd.h> <sys/wait.h>    #define READ 0 #define WRITE 1    //bi.c
int main(){
    int pipe1[2], pipe2[2]; char buf[50];
    pipe(pipe1); pipe(pipe2); //Create two unnamed pipe
    int p2 = !fork();
    if(p2){
        close(pipe1[WRITE]); close(pipe2[READ]);
        int r = read(pipe1[READ],&buf,50); //Read from pipe
        close(pipe1[READ]); printf("P2 received: '%s'\n",buf);
        write(pipe2[WRITE],"Msg from p2",12); // Writes to pipe
        close(pipe2[WRITE]);
    }else{
        close(pipe1[READ]); close(pipe2[1]);
        write(pipe1[WRITE],"Msg from p1",12); // Writes to pipe
        close(pipe1[WRITE]);
        int r = read(pipe2[READ],&buf,50); //Read from pipe
        close(pipe2[READ]); printf("P1 received: '%s'\n",buf);
    }
    while(wait(NULL)>0);
}
```

Esercizi

- Impostare una comunicazione bidirezionale tra due processi con due livelli di complessità:
 - Alternando almeno due scambi ($P1 \rightarrow P2$, $P2 \rightarrow P1$, $P1 \rightarrow P2$, $P2 \rightarrow P1$)
 - Estendendo il caso a mo' di “ping-pong”, fino a un messaggio convenzionale di “fine comunicazione”

Gestire la comunicazione

Per gestire comunicazioni complesse c'è bisogno di definire un “protocollo”. Esempio:

- Messaggi di lunghezza fissa (magari inviata prima del messaggio)
- Marcatore di fine messaggio (per esempio con carattere NULL o newline)

Più in generale occorre definire la sequenza di messaggi attesi.

Esempio: reindirige lo stdout di cmd1 sullo stdin di cmd2

```
#include <stdio.h> <unistd.h> #define READ 0 #define WRITE 1 //redirect.c
int main (int argc, char *argv[]) {
    int fd[2];
    pipe(fd); // Create an unnamed pipe
    if (fork() != 0) { // Parent, writer
        close(fd[READ]); // Close unused end
        dup2(fd[WRITE], 1); // Duplicate used end to stdout
        close(fd[WRITE]); // Close original used end
        execlp(argv[1], argv[1], NULL); // Execute writer program
        perror("error"); // Should never execute
    } else { // Child, reader
        close(fd[WRITE]); // Close unused end
        dup2(fd[READ], 0); // Duplicate used end to stdin
        close(fd[READ]); // Close original used end
        execlp(argv[2], argv[2], NULL); // Execute reader program
        perror("error"); // Should never execute
    }
}
```

Pipe con nome/FIFO

FIFO

Le pipe con nome, o FIFO, sono delle pipe che corrispondono a dei file speciali nel filesystem grazie ai quali i processi, senza vincoli di gerarchia, possono comunicare. Un processo può accedere ad una di queste pipe se ha i permessi sul file corrispondente ed è vincolato, ovviamente, dall'esistenza del file stesso.

Le FIFO sono interpretate come dei file, perciò si possono usare le funzioni di scrittura/lettura dei file viste nelle scorse lezioni. Restano però delle pipe, con i loro vincoli e le loro capacità. NB: non sono dei file effettivi, quindi lseek non funziona, il loro contenuto è sempre vuoto e non vi ci si può scrivere con un editor!

Normalmente aprire una FIFO blocca il processo finchè anche l'altro lato non è stato aperto. Le differenze tra pipe anonime e FIFO sono solo nella loro creazione e gestione.

Creare una FIFO

```
int mkfifo(const char *pathname, mode_t mode);
```

Crea una FIFO (un file speciale), solo se non esiste già, con il nome **pathname**. Il parametro **mode** può definire i privilegi del file nella solita maniera.

```
#include <sys/stat.h><sys/types.h><unistd.h><fcntl.h><stdio.h> //fifo.c
int main(void){
    char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
    perror("Created?");
}
```

Comunicazione bloccata

```
#include <sys/stat.h><sys/types.h><unistd.h><fcntl.h><stdio.h> //fifo.c
int main(void){
    char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
    perror("Created?");
    if (fork() == 0){ //Child
        open(fifoName,O_RDONLY); //Open READ side of pipe...stuck!
        printf("Open read\n");
    }else{
        sleep(3);
        open(fifoName,O_WRONLY); //Open WRITE side of pipe
        printf("Open write\n");
    }
}
```

Esempio comunicazione: writer (1/2)

```
#include<sys/stat.h><sys/types.h><unistd.h><fcntl.h><stdio.h><string.h>

//fifoWriter.c
int main (int argc, char *argv[]) {
    int fd;    char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    char str1[80], * str2 = "I'm a writer";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if it doesn't exist
    fd = open(fifoName, O_WRONLY); // Open FIFO for write only
    write(fd, str2, strlen(str2)+1); // write and close
    close(fd);
    fd = open(fifoName, O_RDONLY); // Open FIFO for Read only
    read(fd, str1, sizeof(str1)); // Read from FIFO
    printf("Reader is writing: %s\n", str1);
    close(fd);
}
```

Esempio comunicazione: reader (2/2)

```
#include<sys/stat.h><sys/types.h><unistd.h><fcntl.h><stdio.h><string.h>

//fifoReader.c
int main (int argc, char *argv[]) {
    int fd; char * fifoName = "/tmp/fifo1";
    mkfifo(fifoName,S_IRUSR|S_IWUSR); //Create pipe if doesn't exist
    char str1[80], * str2 = "I'm a reader";
    fd = open(fifoName , O_RDONLY); // Open FIFO for read only
    read(fd, str1, 80); // read from FIFO and close it
    close(fd);
    printf("Writer is writing: %s\n", str1);
    fd = open(fifoName , O_WRONLY); // Open FIFO for write only
    write(fd, str2, strlen(str2)+1); // Write and close
    close(fd);
}
```


Comunicazione sul terminale

È possibile usare le FIFO da terminale, leggendo e scrivendo dati tramite gli operatori di redirectione.

```
echo "message for pipe" > /path/nameOfPipe
```

```
cat /path/nameOfPipe
```

NB: non si possono scrivere dati usando editor di testo! Una volta consumati i dati, questi non sono più presenti sulla fifo.

Pipe anonime vs FIFO

	pipe	FIFO
Rappresentazione	Buffer	Buffer
Riferimento	anonimo	File
Accesso	2 File descriptors	1 File descriptor
Persistenza	Eliminata alla terminazione di tutti i processi	Esiste finchè esiste il file
Vincoli accesso	Antenato comune	Permessi sul file
Creazione	pipe()	mkfifo()
Max bytes per atomicità	PIPE_BUF = 4096 on Linux, minimo 512 Bytes POSIX	

Esercizi

- Impostare una comunicazione bidirezionale tra due processi con due livelli di complessità:
 - Alterna due scambi ($P1 \rightarrow P2$, $P2 \rightarrow P1$, $P1 \rightarrow P2$, $P2 \rightarrow P1$)
 - Mantenendo una comunicazione fino alla ricezione di un carattere di terminazione (da decidere)
- Creare un programma che prenda come argomento 'n' il numero di figli da generare. Ogni figlio creato comunicherà al genitore (tramite pipe) un numero casuale e il genitore calcolerà la somma di tutti questi numeri, inviandola a stdout.

CONCLUSIONI

PIPE e FIFO (“named pipes”) sono sistemi di comunicazione tra processi (“parenti”, tipicamente padre-figlio, nel primo caso e in generale nel secondo caso) che consentono scambi di informazioni (messaggi) e sincronizzazione (grazie al fatto di poter essere “bloccanti”).