System call per il controllo dei processi (fork, exit, wait)

Anno Accademico 2010-2011

Prof. Claudio Cilli

Sommario delle system call relative ai processi

- `getpid, getppid, getgid, .....` : forniscono gli attributi dei processi (PID, PPID, gruppo, ecc.)
- **`fork`**: crea un processo figlio duplicando il processo chiamante
- **`exec`**: trasforma un processo sostituendo un nuovo programma nello spazio di memoria del chiamante.
- **`wait`**: permette la sincronizzazione fra processi.
- **`exit`**: termina un processo.

Identificatore di processo

- **Identificatore di processo**
  - ogni processo ha un identificatore **univoco** (intero non negativo) detto *Process Identifier* o brevemente *PID*
  - Generalmente il PID è un numero a 16 bit (di tipo **`pid_t`**) assegnato sequenzialmente dal kernel ogni volta che un nuovo processo è creato
  - ogni processo ha anche un *Parent Process Identifier (PPID)* associato, cioè il pid del processo da cui è stato generato (vedremo a breve il meccanismo di creazione di un nuovo processo)
- Identificatori standard:
  - PID 0: Non assegnato o assegnato a un processo del kernel
  - PID 1: Processo `init (/sbin/init)`
    - viene creato dal kernel al termine della procedura di bootstrap
    - effettua tutta una serie di azioni per portare il sistema ad un certo stato (ad es. multiuser)

Funzioni relative agli identificatori di processo

```
pid_t getpid(); // Process ID of calling process
pid_t getppid();// Process ID of parent process

#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
int main()
{
        printf("Il PID del processo è %d.\n",(int)getpid());
        printf("Il PID del processo padre è %d.\n",(int)getppid());
return(0);
}
```

User-ID e group-ID

- Ad ogni processo sono anche associati degli identificatori di utente *(user-IDs)* e di gruppo *(group-IDs)* che ne determinano i privilegi, ovvero quali system call ha il diritto di invocare e su quali risorse
- Gli identificatori sono sei (o più, considerando i *supplementary group IDs*):
  - *real user ID, real group ID*: utente che ha lanciato il processo e gruppo associato all'utente
  - *effective user ID, effective group ID, supplementary group IDs*: utente e gruppo che il kernel considera per determinare i privilegi per l'accesso ai file; potrebbero non coincidere con real user ID, real group ID nel caso in cui il file eseguibile ha il *set-use-id* o il *set-group-id* bit attivo (leggi **`info coreutils 'File permissions' 'Mode Structure'`**)
  - *saved set-user-ID, saved set-group-ID*: salvati dalla system call **`exec`**, sono i valori di *effective user ID* e *effective group ID* subito dopo una **`exec`** di un file eseguibile i cui *set-user-id* o *set-group-id* sono attivi

User-ID e group-ID

- Generalmente i valori del *real user-id* e *real group-id* non cambiano per tutta la sessione di login (solo superuser ha il potere di cambiarli)

- Nella maggior parte dei casi l'*effective user ID* e l'*effective group ID* coincidono rispettivamente con il *real user-id* ed il *real group-id*

- Ogni file (e quindi ogni file di programma) ha un *owner* e un *group owner*: se il file di un programma ha attivo il bit dei permessi noto come *set-user-id* (*set-group-id*), allora, quando viene invocato con una chiamata **`exec`**, l'*effective user-id* (*effective group-id*) diventerà quello dell'*owner* del file e non quello dell'utente che lo ha lanciato

- Ad esempio, se un file di programma appartiene al superuser ed ha il bit *set-user-ID* attivo, l'utente che lancia il programma ottiene i privilegi del superuser durante l'esecuzione del programma stesso
- Un caso tipico è l'eseguibile **`passwd`** per cambiare la propria password:

```
$ ls -l /usr/bin/passwd
-r-s--x--x 1 root root 19336 Sep   7    2004  /usr/bin/passwd
```

Funzioni di set dello user-ID e group-ID

```
int setuid(uid_t uid);
int setgid(gid_t gid);
```

- Cambiano real user/group ID ed effective user/group ID
- Esistono delle regole per permettere al programma di cambiare questi ID:
  - se il processo ha privilegi da superutente, la funzione **`setuid`** cambia real uid / effective uid / saved-set-uid con uid
  - se il processo non ha privilegi da superutente e uid è uguale a real uid o a saved-set-uid, la funzione **`setuid`** cambia effective uid
  - se nessuna di queste condizioni è vera, viene ritornato un errore ed **`errno`** è settato uguale a EPERM
- Per quanto riguarda group ID, le regole sono del tutto simili

Funzioni relative agli attributi dei processi

- `uid_t getuid();    // get real user id`
- `gid_t getgid();    // get real group id`
- `uid_t geteuid();   // get effective user id`
- `gid_t getegid();   // get effective group id`
- `int getresuid(uid_t *ruid, uid_t *euid, uid_t *suid);`
  `// get real, effective and saved user id`
- `int getresgid(gid_t *rgid, gid_t *egid, gid_t *sgid);`
  `// get real, effective and saved group id`

- `int setuid(uid_t uid);     // set real user id`
- `int setgid(gid_t gid);     // set real group id`
- `int seteuid(uid_t euid);   // set effective user id`
- `int setegid(gid_t egid);   // set effective group id`
- `int setresuid(uid_t ruid, uid_t euid, uid_t suid);`
  `// set real, effective and saved user id`
- `int setresgid(gid_t rgid, gid_t egid, gid_t sgid);`
  `// set real, effective and saved group id`

Esempio

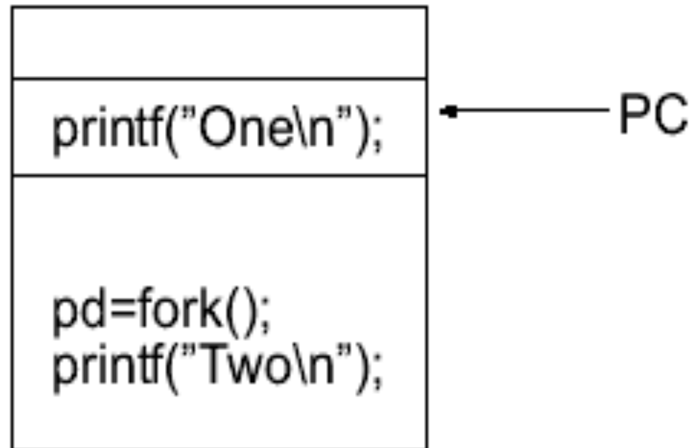
```
#include <unistd.h>
main()
{
    uid_t uid, euid, newuid;
    gid_t gid, egid, newgid;
    int status;

    uid = getuid();
    euid = geteuid();
    gid = getgid();
    egid = getegid();
    printf(“real uid: %d, effective uid: %d\n”,(int)uid,(int)euid);
    printf(“real gid: %d, effective gid: %d\n”,(int)gid,(int)egid);
    if ((status = setuid(newuid))==0) /* cambio effective uid */
         printf(“nuovo effective uid: %d\n”, (int)newuid);
    if ((status = setgid(newgid))==0) /* cambio effective gid */
         printf(“nuovo effective gid: %d\n”, (int)newgid);
}
```

Creazione di processi

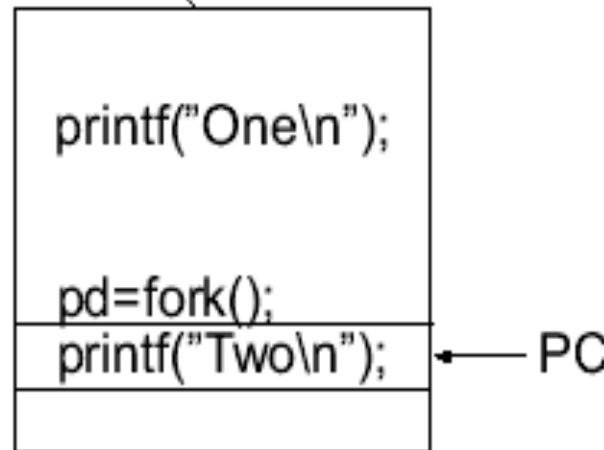
- **`pid_t fork();`**
  crea un nuovo processo figlio, copiando completamente l'immagine di memoria del processo padre:
  - data, heap, stack vengono copiati
  - per ottimizzare le prestazioni, il codice viene spesso condiviso e in alcuni casi, si esegue copy-on-write, cioè le pagine di memoria del processo padre vengono effettivamente copiate solo al momento in cui sono modificate
- Sia il processo figlio che il processo padre continuano ad eseguire l'istruzione successiva alla **`fork`**
- **`fork`** viene chiamata una volta dal processo padre, ma ritorna due volte
  - al processo figlio ritorna con return code=0
  - al processo padre ritorna il PID del processo figlio
  - in caso di errore ritorna un valore negativo

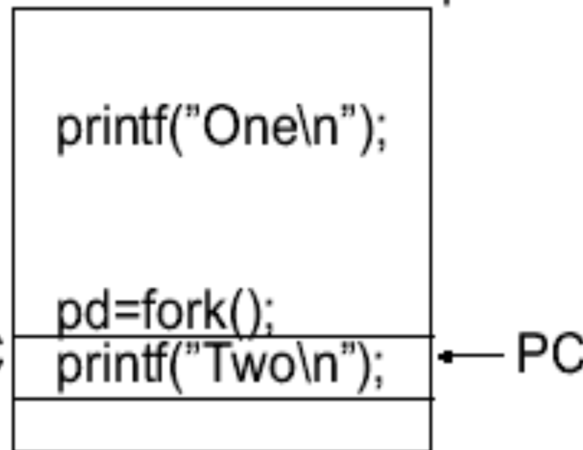
Creazione di processi

PID=3627
PPID=3282



PID=3627
PPID=3282





PID=3630
PPID=3627

Esempio di utilizzo di fork

```
#include <stdio.h>
#include <unistd.h>
#include <sys/types.h>
main()
{
    pid_t pid;
    printf("Un solo processo con PID %d.\n",(int)getpid());
    printf("Chiamata a fork...\n");
    pid=fork();
    if(pid == 0)
        printf("Sono il processo figlio (PID: %d).\n",(int)getpid());
    else if(pid>0)
        printf("Sono il genitore del processo con PID %d.\n",pid);
    else
    printf("Si e' verificato un errore nella chiamata a fork.\n");
}
```

Proprietà ereditate dal processo figlio

- real user ID, real group ID, effective user ID, effective group ID
- group IDs supplementari
- ID del gruppo di processi
- session ID
- terminale di controllo
- set-user-ID flag e set-group-ID flag
- directory corrente
- directory root
- maschera di creazione file (umask)
- maschera dei segnali
- flag close-on-exec per tutti i descrittori aperti
- environment
- segmenti di memoria condivisi (shared memory segments)
- limiti sulle risorse

Proprietà NON ereditate dal processo figlio

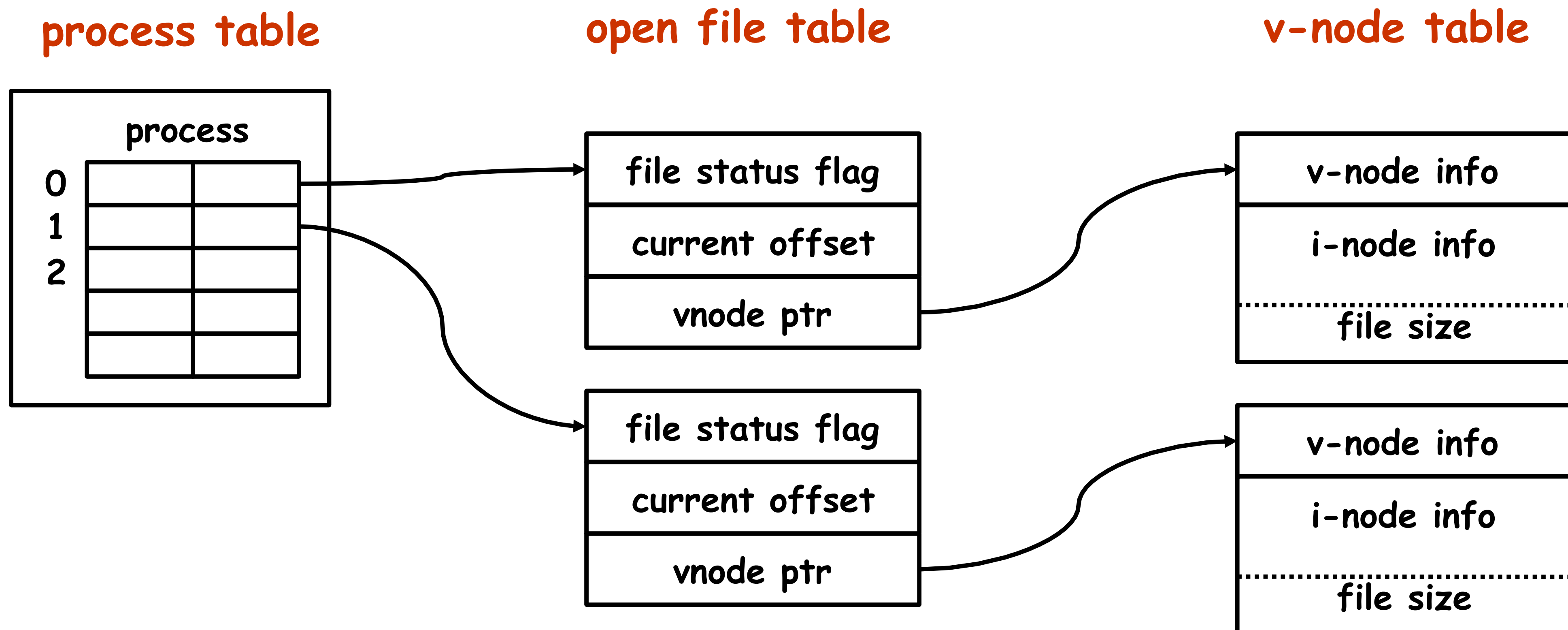
- valore di ritorno di fork
- process ID
- process ID del processo parent
- valori di timings del processo
- file locks
- allarmi in attesa (annullati nel figlio)
- insieme di segnali in attesa (svuotato)

Errori nella fork

- **Ragioni per il fallimento di `fork`**
  - il numero massimo di processi nel sistema è stato raggiunto
  - il numero massimo di processi per user id è stato raggiunto
- **Utilizzo di `fork`**
  - quando un processo vuole duplicare se stesso in modo che padre e figlio eseguano parti diverse del codice, ad esempio:
    - *network servers (demoni):*
      il padre è sempre in attesa di richieste dalla rete;
      quando una richiesta arriva, viene assegnata ad un figlio,
      mentre il padre può tornare immediatamente ad attendere una nuova richiesta
  - quando un processo vuole eseguire un programma diverso (utilizzo della chiamata **`exec`**)

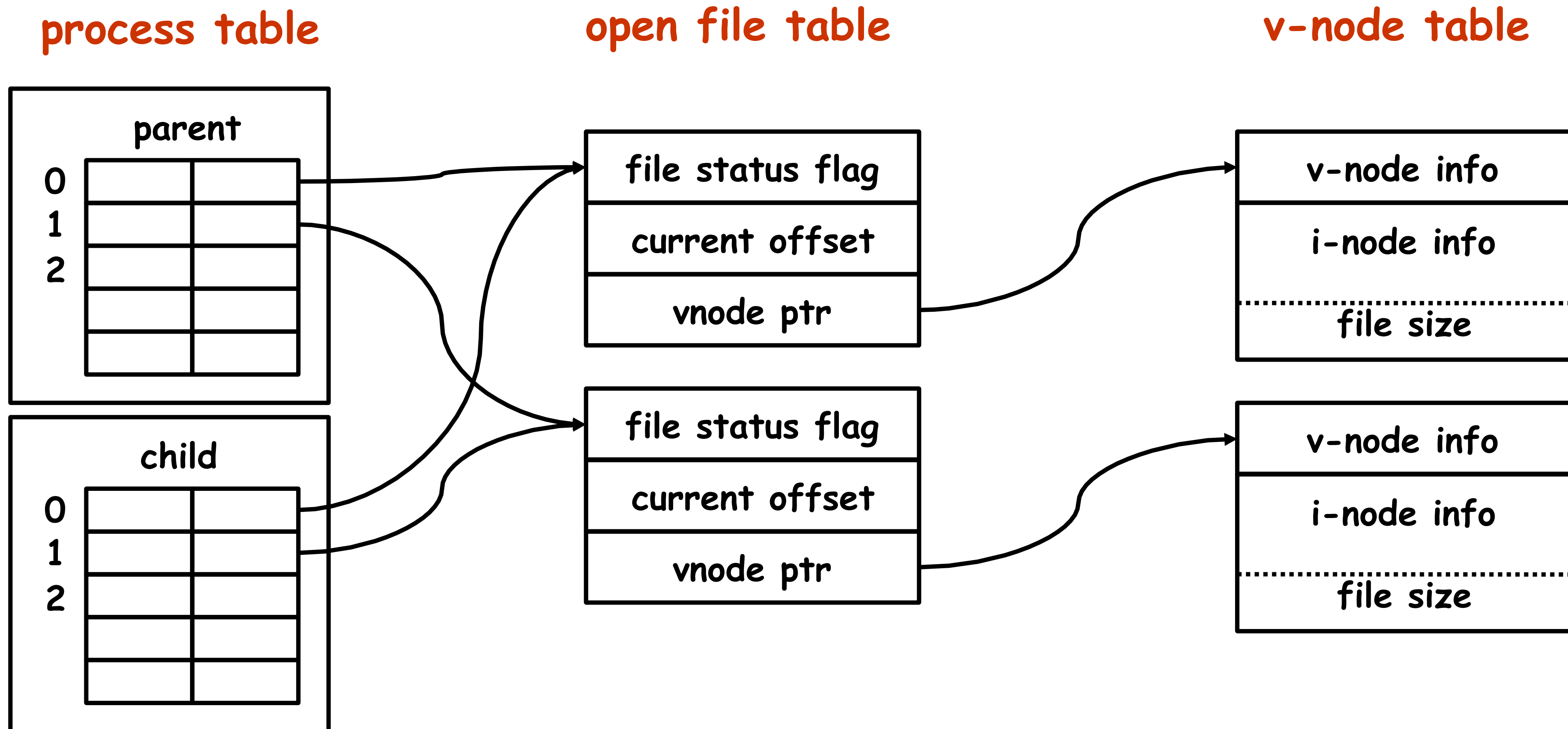
Relazione tra fork e file aperti (I)

- Una caratteristica della chiamata **`fork`** è che tutti i descrittori che sono aperti nel processo parent sono duplicati nel processo child
- Prima della **`fork`**:



Relazione tra fork e file aperti (II)

- Dopo la fork:



Relazione tra fork e file aperti (III)

- E' importante notare che padre e figlio condividono **lo stesso file offset**
- Consideriamo il seguente caso:
  - un processo esegue **`fork`** e poi attende che il processo figlio termini (system call **`wait`**)
  - supponiamo che lo **`stdout`** sia rediretto ad un file, e che entrambi i processi scrivano su **`stdout`**
  - se padre e figlio non condividessero lo stesso offset, avremmo un problema:
    - il figlio scrive su **`stdout`** e aggiorna il proprio current offset
    - il padre sovrascrive **`stdout`** e aggiorna il proprio current offset

Come gestire i descrittori di file

- **Caso 1: il processo padre aspetta che il processo figlio termini**
  - in questo caso, i file descriptor vengono lasciati immutati
  - eventuali modifiche ai file fatte dal processo child verranno riflesse nella file table entry e nella v-node entry del processo padre
- **Caso 2: i processi padre e figlio sono indipendenti**
  - in questo caso, ognuno chiuderà i descrittori non necessari e proseguirà opportunamente

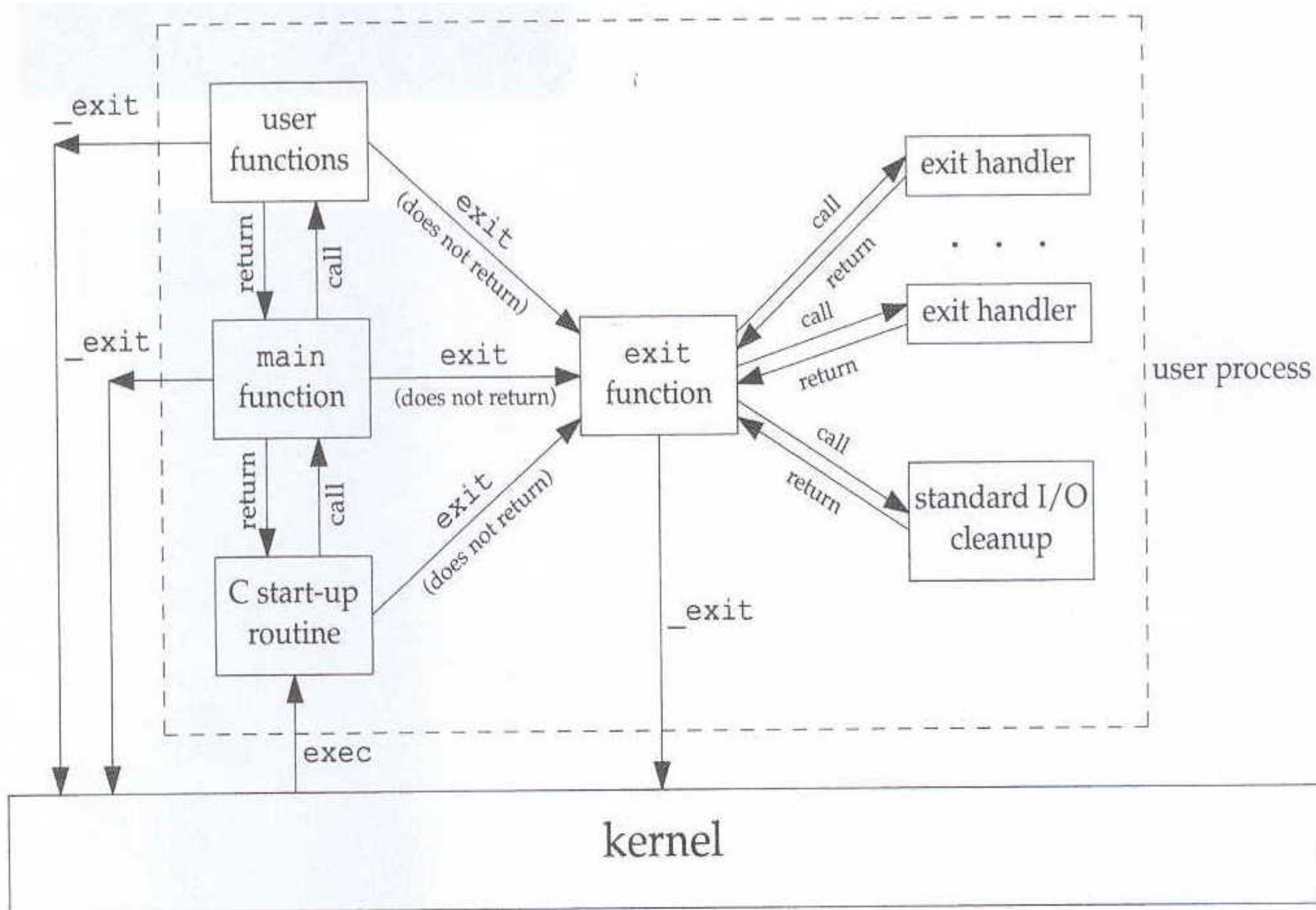
Esercizi

- Scrivere un programma C che apre un file, effettua una **`fork`** e scrive messaggi diversi sul file a seconda che sia padre o figlio. Come si alternano i messaggi nel file?
- Nel programma prima descritto spostare la open dopo la **`fork`** e verificare se il contenuto del file è cambiato rispetto al programma precedente e spiegarne il perché

Terminazione di processi (I)

- Esistono tre modi per terminare in modo **NORMALE**:
  - eseguire un return da main (è equivalente a chiamare **`exit`**)
  - chiamare la funzione **`exit`**:
    - **`void exit(int status);`**
      - invoca di tutti gli exit handlers che sono stati registrati
      - chiude di tutti gli I/O stream standard
      - è specificata in ANSI C
  - chiamare la system call **`_exit`**:
    - **`void _exit(int status);`**
      - ritorna al kernel immediatamente
      - è chiamata come ultima operazione da **`exit`**
      - è specificata nello standard POSIX.1

Terminazione di processi (II)



Terminazione di processi (III)

- Esistono due modi per terminare in modo **ANOMALO**:
  - Quando un processo riceve certi segnali
    - generati dal processo stesso
    - generati da altri processi
    - generati dal kernel
  - Chiamando **`abort`**:
    - **`void abort();`**
    - La chiamata ad **`abort`** costituisce un caso speciale del primo caso dei tre sopra elencati, in quanto genera il segnale **`SIGABRT`**
- NOTA: per informazioni sui segnali usa **`man 7 signal`**

Azioni del kernel alla terminazione del processo

- Sia nel caso di terminazione normale che in quella anormale le azioni attuate dal kernel sono le stesse:
  - rimozione della memoria utilizzata dal processo
  - chiusura dei descrittori aperti

Valori di ritorno alla terminazione del processo

- Exit status:
  - Valore che viene passato ad **`exit`** (e **`_exit`**) e che notifica il padre su come è terminato il processo (successo, con errore)
- Termination status:
  - Valore che viene generato dal kernel nel caso di una terminazione normale/anormale
  - Nel caso si parli di terminazione anormale, si specifica la ragione per questa terminazione anormale
  - L'*exit status* è convertito dal kernel in *termination status* quando alla fine viene chiamata **`_exit`**
- Come ottenere questi valori?
  - Tramite le funzioni **`wait`** e **`waitpid`** (descritte in seguito)

Processi zombie

- Cosa succede se il padre termina prima del figlio?
  - il processo figlio viene "adottato" dal processo `init` (PID=1), in quanto il kernel vuole evitare che un processo divenga "orfano" (cioè senza un PPID)
  - quando un processo termina, il kernel esamina la tabella dei processi per vedere se aveva figli; in tal caso, il PPID di ogni figlio viene posto uguale a 1
- Cosa succede se il figlio termina prima del padre?
  - generalmente il padre aspetta mediante la funzione **`wait`** che il figlio finisca ed ottiene le varie informazioni sull'exit status
  - se il figlio termina senza che il padre lo “aspetti”, il padre non avrebbe più modo di ottenere informazioni sull'exit status del figlio
  - per questo motivo, alcune informazioni sul figlio vengono mantenute in memoria e il processo diventa uno zombie

Lo stato di zombie

- Quando un processo entra nello stato di zombie, il kernel mantiene le informazioni che potrebbero essere richieste dal processo padre tramite **`wait`** e **`waitpid`**
    - process ID
    - termination status
    - accounting information (tempo impiegato dal processo)
- Il processo resterà uno zombie fino a quando il padre non eseguirà una delle system call **`wait`** o **`waitpid`**
- Per quanto riguarda i figli del processo `init`:
    - non possono diventare zombie
    - tutte le volte che un figlio di `init` termina, `init` esegue una chiamata `wait` e raccoglie eventuali informazioni: questo è il modo in cui gli zombie vengono eliminati dal sistema

System call `wait` e `waitpid`

```
pid_t wait(int *status);
pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int
options);
```

- La **`wait`** e **`waitpid`** sono utilizzate per ottenere informazioni sulla terminazione dei processi figli
- Quando un processo chiama **`wait`** o **`waitpid`**:
  - può bloccarsi, se tutti i suoi figli sono ancora in esecuzione
  - può ritornare immediatamente con il termination status di un figlio, se un figlio ha terminato ed il suo termination status è in attesa di essere raccolto
  - può ritornare immediatamente con un errore, se il processo non ha alcun figlio
- Nota:
  - se eseguiamo una system call **`wait`** quando abbiamo già ricevuto **`SIGCHLD`**, essa termina immediatamente, altrimenti si blocca

System call `wait` e `waitpid`

- Significato degli argomenti:
  - **`status`** è un puntatore ad un intero; se diverso da **`NULL`**, il termination status viene messo in questa locazione
  - Il valore di ritorno è il process id del figlio che ha terminato
- Differenza tra `wait` e `waitpid`:
  - **`wait`** blocca il chiamante fino a quando un qualsiasi figlio non sia terminato
  - **`waitpid`** ha delle opzioni per evitare di bloccarsi
  - **`waitpid`** può mettersi in attesa di uno specifico processo
- Il contenuto del termination status dipende dall'implementazione:
  - bit per la terminazione normale, bit per l'exit status, etc.

Note sulla system call `waitpid`

```
pid_t waitpid(pid_t pid, int *status, int options);
```

- Argomento `pid`:
  - `pid == -1` si comporta come **`wait`**
  - `pid > 0` attende la terminazione del figlio con process id uguale a **`pid`**
  - `pid == 0` attende la terminazione di qualsiasi figlio con process group ID uguale a quello del chiamante
  - `pid < -1` attende la terminazione di qualsiasi figlio con process group ID uguale a **`-pid`**
- Opzioni (parametro **`options`**):
- **`WNOHANG`** non si blocca se il child non ha terminato

Notifica della terminazione di un figlio

- Quando un processo termina (normalmente o no), il padre viene informato dalla ricezione di un segnale SIGCHLD
- La notifica è asincrona
- Il padre ha la possibilità di:
  - ignorare il segnale (default)
  - predisporre una funzione speciale, detta **signal handler**, che viene invocata automaticamente quando il segnale viene ricevuto

Esercizi

- Scrivere un programma che esegue una **`fork`**, rimane in attesa che il figlio stampi un messaggio a video con successo e stampa un altro messaggio prima di uscire
- Modificare il programma precedente affinché vengano generati un numero di figli dato sulla linea comandi. Cosa succede agli altri figli?