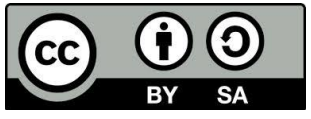
Gestión de Procesos en Linux

Arquitectura Interna de Linux - 2016



J.C. Sáez, M. Prieto
High Performance Computing Division
ArTeCs Group
Universidad Complutense de Madrid

El Proceso (I)

- Una de las abstracciones más importantes de Unix/Linux
  - **Conceptualmente**: programa (código objeto almacenado en algún medio) en ejecución / programa activo.
- El SO proporciona dos abstracciones fundamentales:
  1. Procesador Virtual (gracias al planificador)
     - Proporciona la ilusión al proceso de que monopoliza el sistema
  2. Memoria Virtual
     - Los procesos de usuario y el propio kernel (el procesador) generan direcciones de memoria virtuales, no físicas
     - El HW (MMU) realiza la traducción de direcciones (d. virtual $\rightarrow$ d. física) bajo la gestión del SO
     - El proceso puede utilizar la memoria como si fuera el "propietario" de toda la memoria del sistema

El Proceso (II)

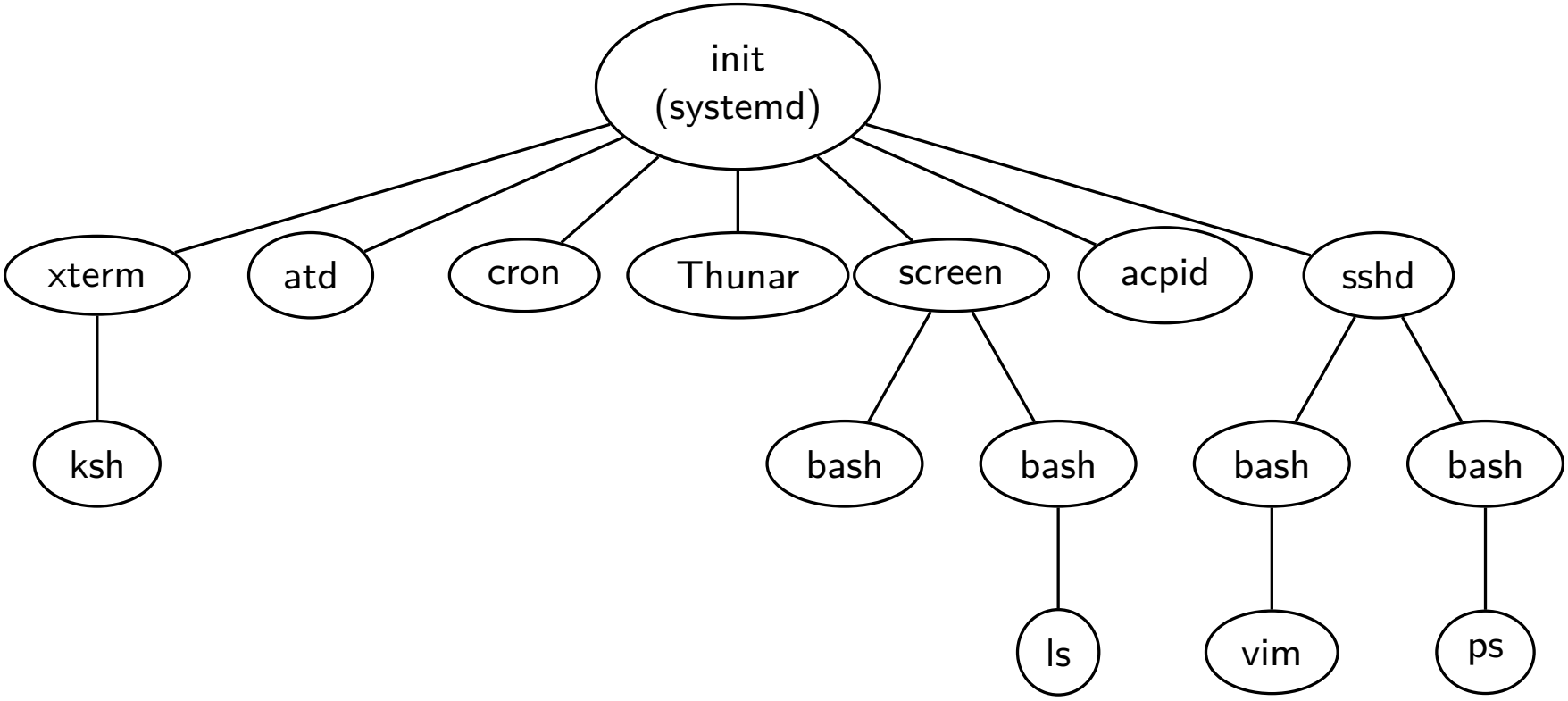
- Programa en ejecución: no sólo texto, incluye otros "recursos":
  - Ficheros abiertos
  - Señales pendientes
  - Espacio de direcciones (Mapa de memoria)
  - Uno o más Hilos/Threads de ejecución
    - Cada hilo: PC único, pila, registros del procesador y estado
  - Recursos de sincronización (semáforos, mútexes,...)
  - Datos internos del kernel
- El SO "anota" los recursos asociados a un proceso en el *Bloque de Control de Proceso* (BCP)
  - Estructura que mantiene el SO para cada proceso

El Proceso (III)

Llamadas al sistema

- `fork()`: La creación de un nuevo proceso se realiza mediante una copia del proceso actual (difiere en el PID, PPID, BCP y algunos recursos y estadísticas).
  - Todos los procesos tienen a init (pid=1) como ancestro común.
  - En Linux se implementa vía la llamada `clone()`
- `exec*()`: Crear un nuevo espacio de direcciones y cargar un programa en él.
- `exit()`: Termina el proceso y libera todos los recursos asignados a él.
- `wait*()`: Permite que un proceso espere la terminación de un proceso hijo

Árbol de procesos en UNIX/Linux



El árbol de procesos se puede consultar con `pstree`

El Proceso (IV)

- Cuando se crea un proceso mediante `fork()`:
  - Es "casi" idéntico a su padre
  - Recibe un copia (lógica) del espacio de direcciones del padre
  - Ejecuta el mismo código que el padre (comienza en la siguiente instrucción a fork())
- Aunque padre e hijo pueden compartir ciertas páginas (texto/código), tienen copias separadas de stack, bss, ...
  - Los cambios realizados por el padre en stack, bss,... son invisibles al hijo y viceversa

El Proceso (V)

Concepto de hilo o *thread*

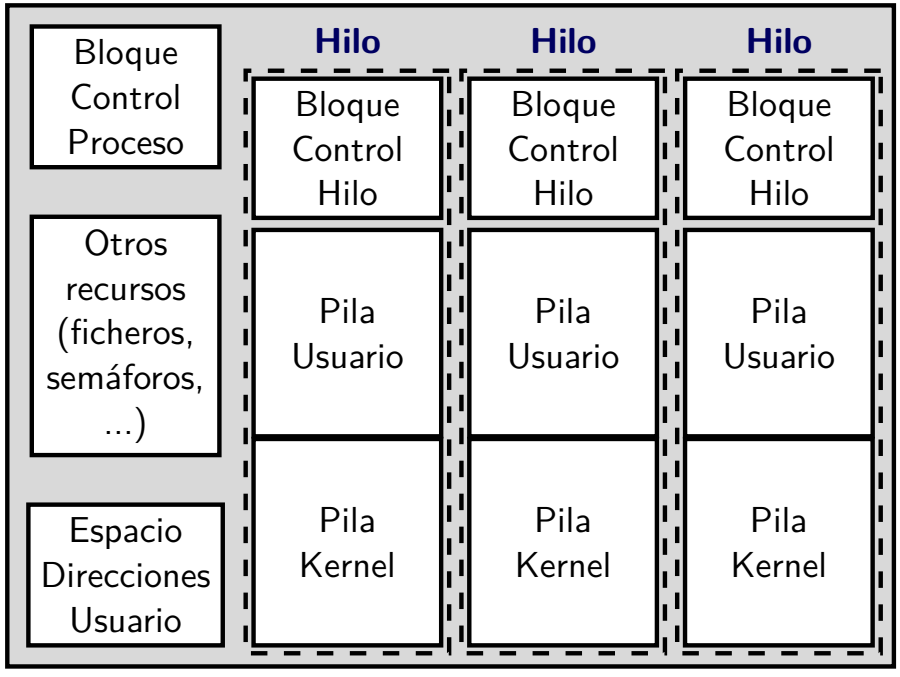
- Unidad mínima planificable en una CPU
  - Proceso: Contenedor de recursos (ficheros, señales, memoria, ...)
- Cada hilo:
  - PC único
  - Pila
  - Registros del procesador
  - Estado (bloqueado, listo para ejecutar, en ejecución, ...)
- Los hilos de un mismo proceso comparten un mismo espacio de direcciones (ED)
  - Los "cambios" realizados en el ED por un hilo son visibles a otros hilos

Creación de hilos

- En Linux es posible crear hilos mediante la biblioteca POSIX Threads
  - `pthread_create()`
  - `pthread_join()`
  - `pthread_exit()`
  - ...
- `pthread_create()` (función de biblioteca) se implementa usando llamada al sistema clone()
  - `clone()` permite especificar de forma precisa qué recursos se comparten entre hilo creador y creado
    - `clone()` también permite crear procesos

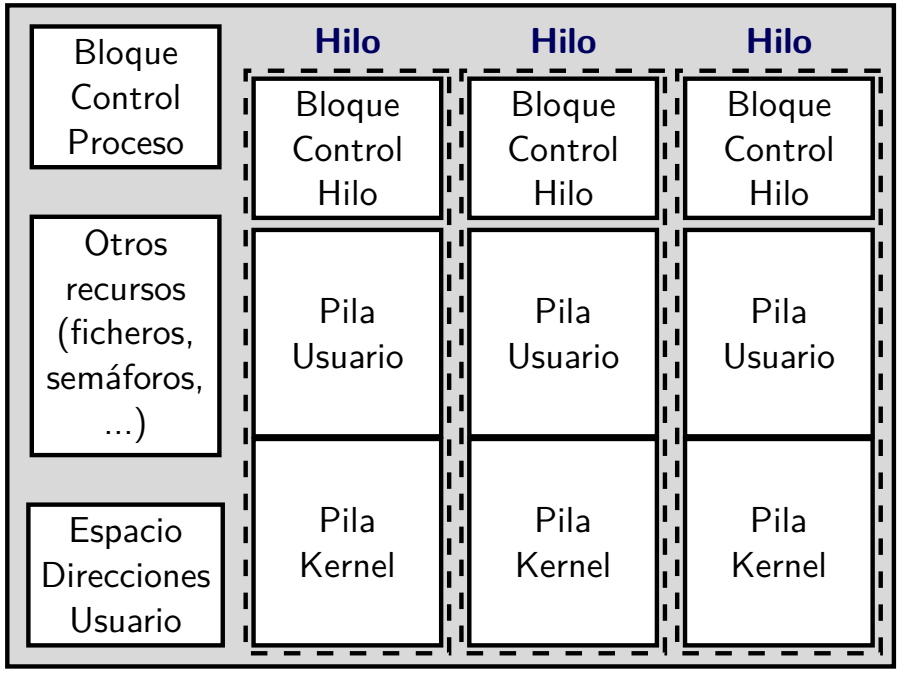
El Proceso (VI)

Modelo de proceso multihilo



El Proceso (VI)

Modelo de proceso multihilo

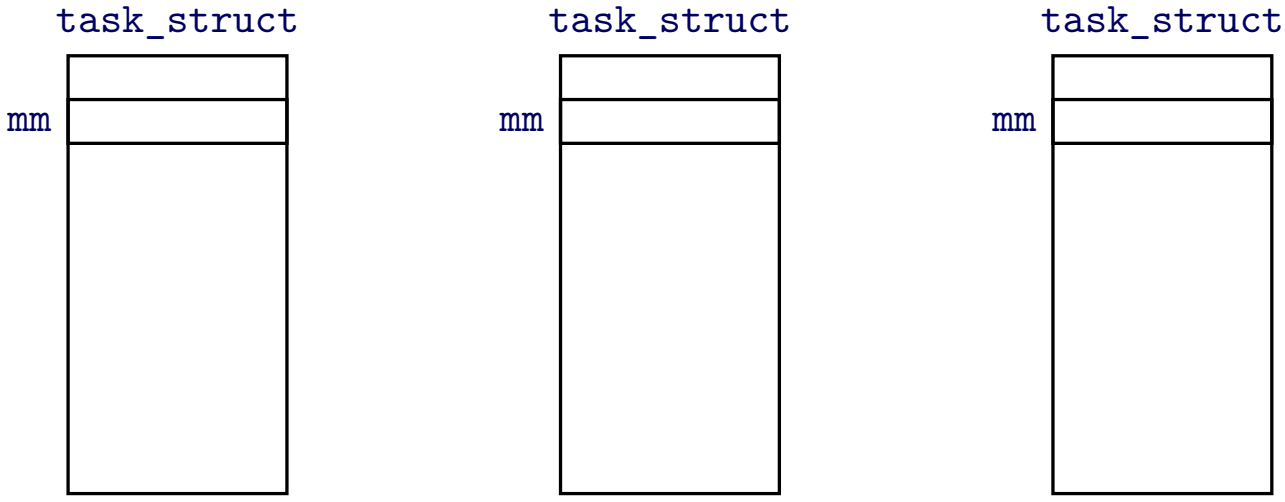


- El kernel de muchos SSOO derivados de UNIX, como Solaris, representa el BCP y el BCH mediante estructuras C distintas
  - Ejemplo: `proc_t` y `kthread_t` en Solaris

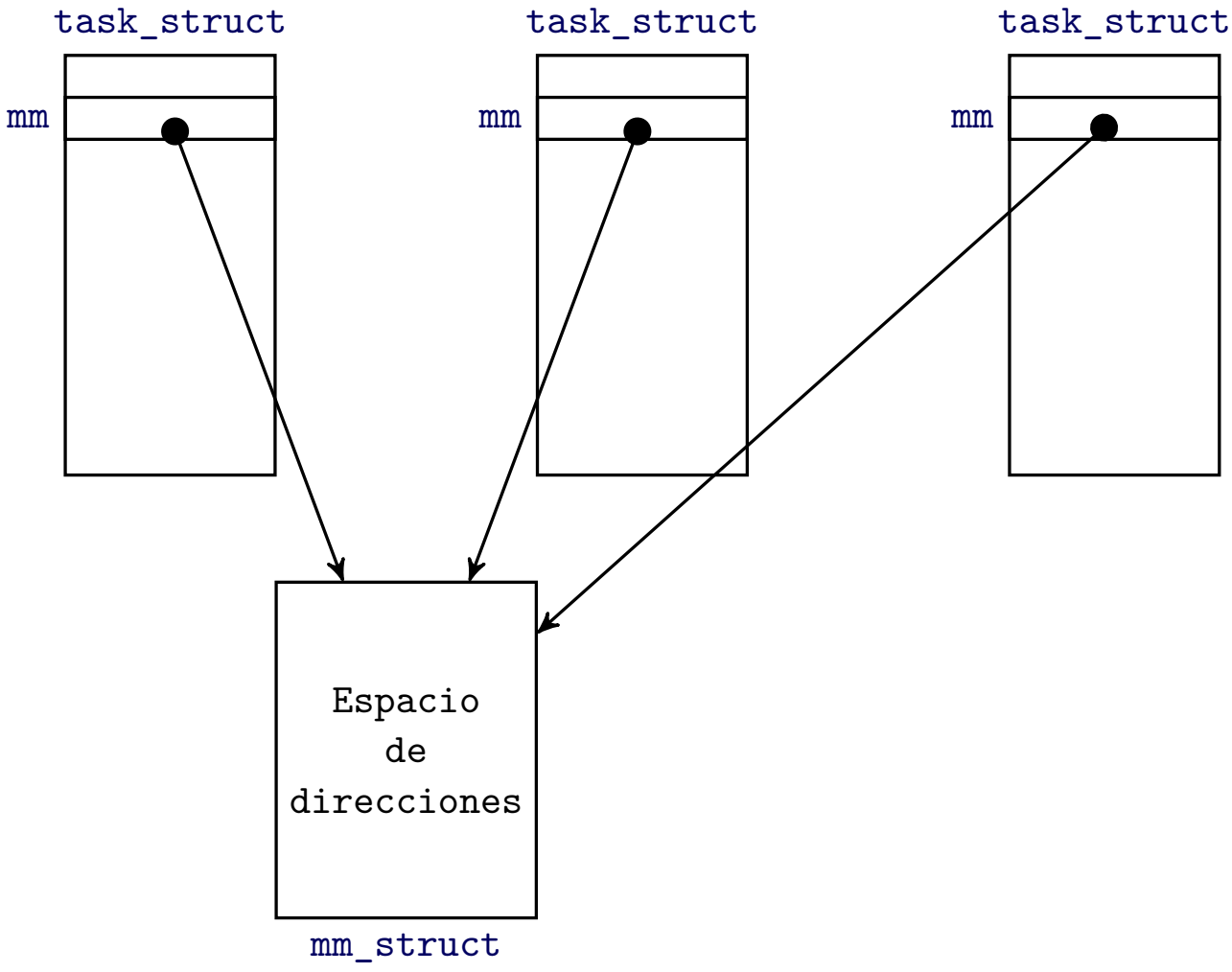
El Proceso (VII)

- En el kernel Linux tanto el BCP como el BCH están "descritos" mediante una estructura `task_struct`
  - Hay tantos `task_struct` como hilos a nivel de kernel (KLTs) tenga el proceso
    - Cada task_struct tiene un valor distinto para campo `pid`
    - Para que hilos de un mismo proceso compartan recursos, algunos campos tipo puntero tienen el mismo valor en todos los `task_struct` (ej: `mm` apunta a la misma dirección)
  - Para procesos con un solo hilo, el proceso tiene asociado un único `task_struct`, que se comporta como BCP+BCH
- La estructura task_struct se emplea también para describir *kernel threads* (hilos especiales del SO)
  - Ojo: *kernel threads* != hilos a nivel de kernel (KLTs)

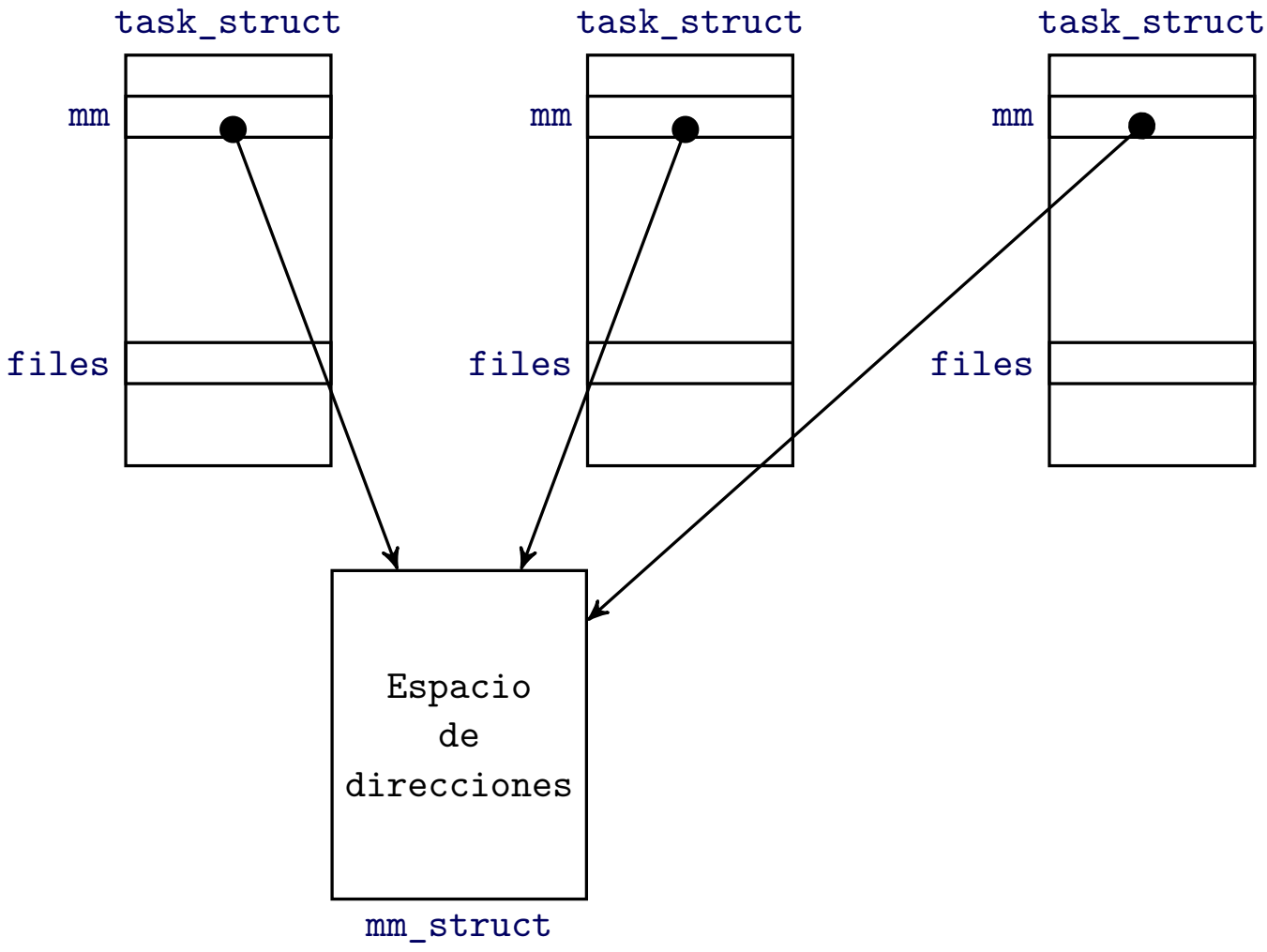
Compartición de recursos entre *threads*



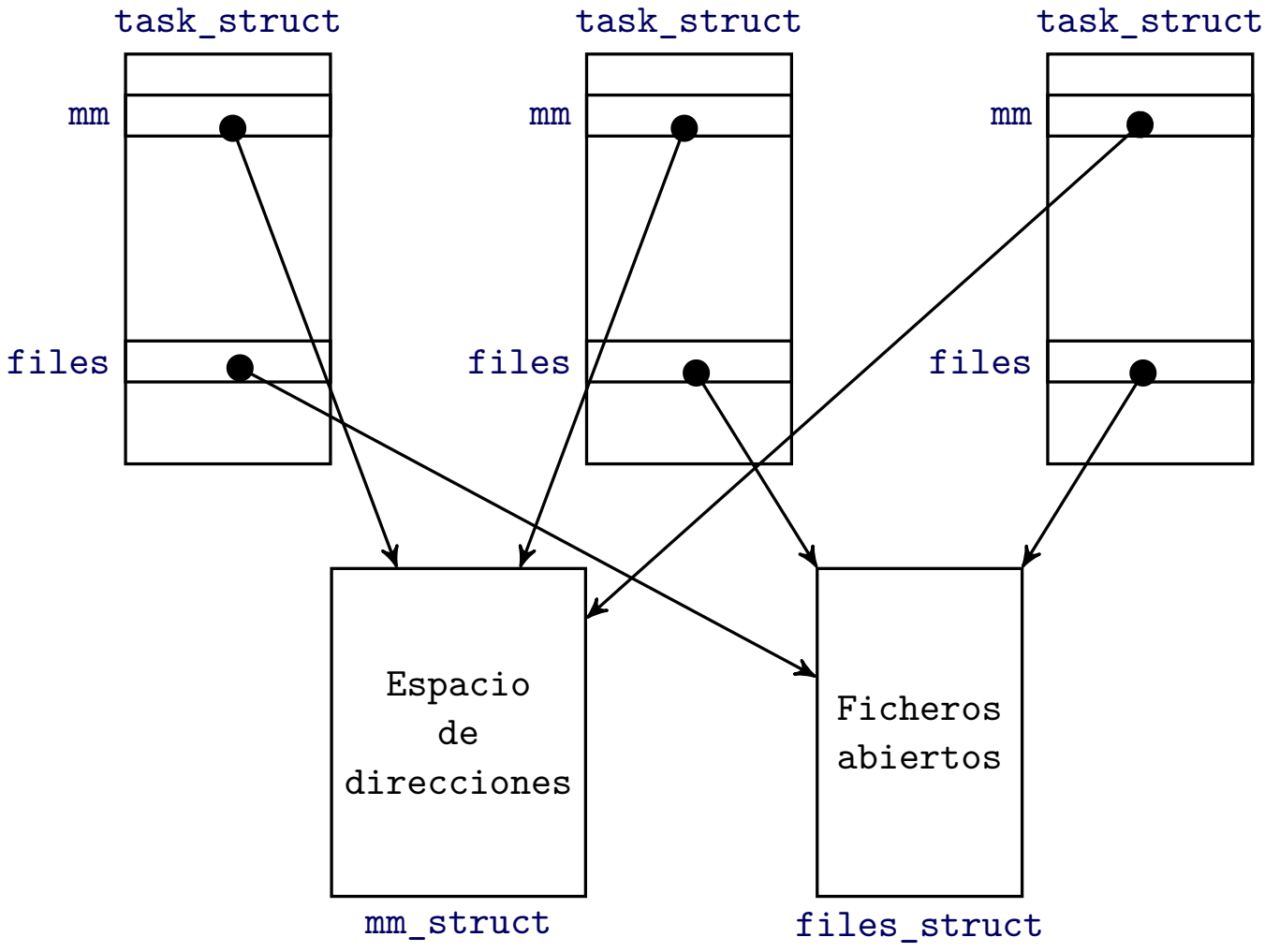
Compartición de recursos entre *threads*



Compartición de recursos entre *threads*



Compartición de recursos entre *threads*



Task Structure (I)

struct task_struct (<linux/sched.h>)

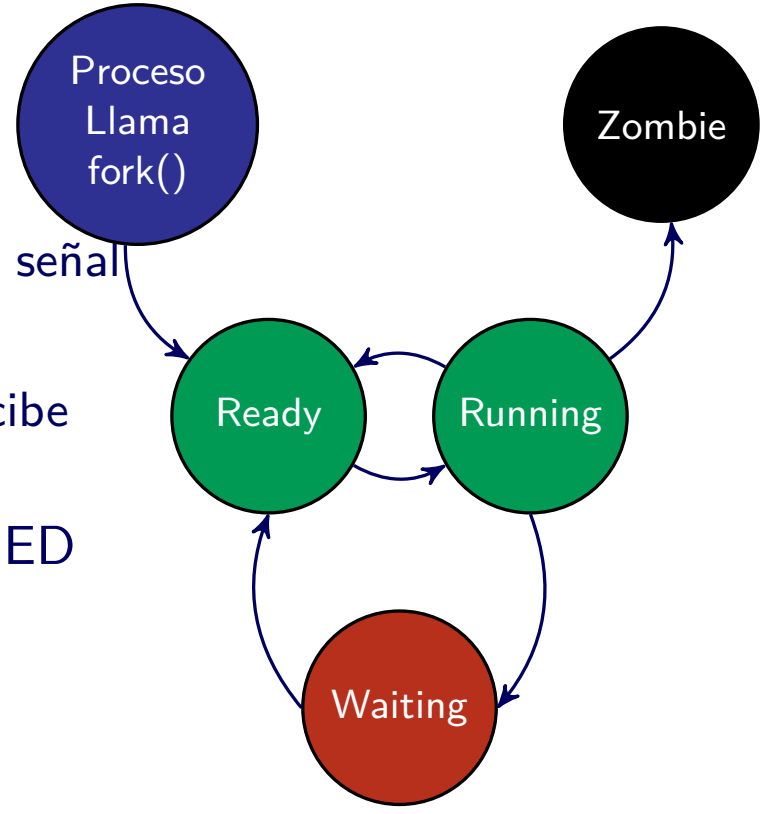
```
struct task_struct {
    volatile long state; /* -1 unrunnable, 0 runnable, >0 stopped */
    void *stack;
    atomic_t usage;
    unsigned int flags;
    /* per process flags, defined below */
    ...
    int prio, static_prio, normal_prio;
    unsigned int rt_priority;
    const struct sched_class *sched_class;
    ...
    pid_t pid;
    ...
}
```

Task Structure (II)

- Información de Estado/Ejecución
  - Estado (state, exit_state)
  - Información de *scheduling* (prioridades)
  - Información temporal (CPU time,..)
  - pid, tgid
  - Punteros a padres, hijos, hermanos, ...
  - ...
- Credenciales
  - Usuario / usuario efectivo ...
- Información sobre recursos
  - Memoria virtual asignada
  - Ficheros abiertos por el proceso
  - Recursos IPC (*Inter-Process Communication*)
  - Señales (Manejadores, señales pendientes, ...)

Estado

- Estados (state, exit_state):
  - TASK_RUNNING (Ready, Running)
  - TASK_INTERRUPTIBLE (Waiting)
    - Espera evento. Se "despierta" si recibe señal
  - TASK_UNINTERRUPTIBLE (Waiting)
    - Espera evento. No se "despierta" si recibe señal
  - __TASK_TRACED / __TASK_STOPPED (Waiting)
    - Se ha detenido la ejecución
  - EXIT_ZOMBIE (Zombie)
    - El proceso ha terminado pero no wait*()
  - EXIT_DEAD
    - Después de wait*(), antes de eliminación completa



__TASK_STOPPED

- La ejecución del proceso ha sido detenida:
  - Señal SIGSTOP: para la ejecución del proceso (no se puede capturar ni ignorar)
  - Señal SIGTSTP: parado desde el terminal (tty) ^Z (no se puede capturar ni ignorar)
  - Señal SIGTTIN: proceso en background requiere entrada
  - Señal SIGTTOU: proceso en background requiere salida
- Para que un proceso en TASK_STOPPED continúe requiere la señal SIGCONT
  - Es ignorada por los procesos que ya están en TASK_RUNNING
  - Se puede capturar (acción especial)

Identificación Procesos (I)

- En el kernel, la mayor parte de las referencias se hacen vía puntero a `task_struct`
- Por ejemplo, la macro `current` permite obtener puntero al `task_struct` del proceso/hilo que se está ejecutando en la CPU donde se invoca la macro
  - La implementación de esta macro depende de la arquitectura

```
struct task_struct* p=current;
printk(KERN_INFO "PID of current process=%d\n",p->pid);
```

Identificación Procesos (II)

- Los usuarios suelen identificar los procesos vía PID
  - Se numeran de forma secuencial (habitualmente nuevoPID = PID_previo +1)
    - En UNIX se usaba un `short int` (16 bits) para representar el PID en el BCP
    - Límite superior `/proc/sys/kernel/pid_max` (32767 por defecto)
    - Si se supera el límite se reciclan (`pidmap` array)

Grupos de Threads (I)

- El estándar POSIX define el concepto de grupos de *threads*
- En Linux cada hilo se representa mediante un `task_struct`
  - Para identificar el grupo, todos los *threads* de un mismo grupo comparten el mismo valor en el campo `tgid`
  - `tgid`= PID del "group leader"
  - `pid` es el ID del `task_struct`
- En Linux `getpid()` devuelve el valor de `tgid`

Grupos de Threads (II)

- Por defecto, al crear un proceso con fork() se crea un grupo de hilos nuevo formado por un único *thread*:
  - `tgid = pid`
- Si creamos una aplicación multi-hilo con POSIX threads en LINUX, todos los hilos creados pertenecen al mismo grupo de *threads* que el hilo main
  - `getpid()` devuelve el mismo valor para todos (mismo `tgid`)

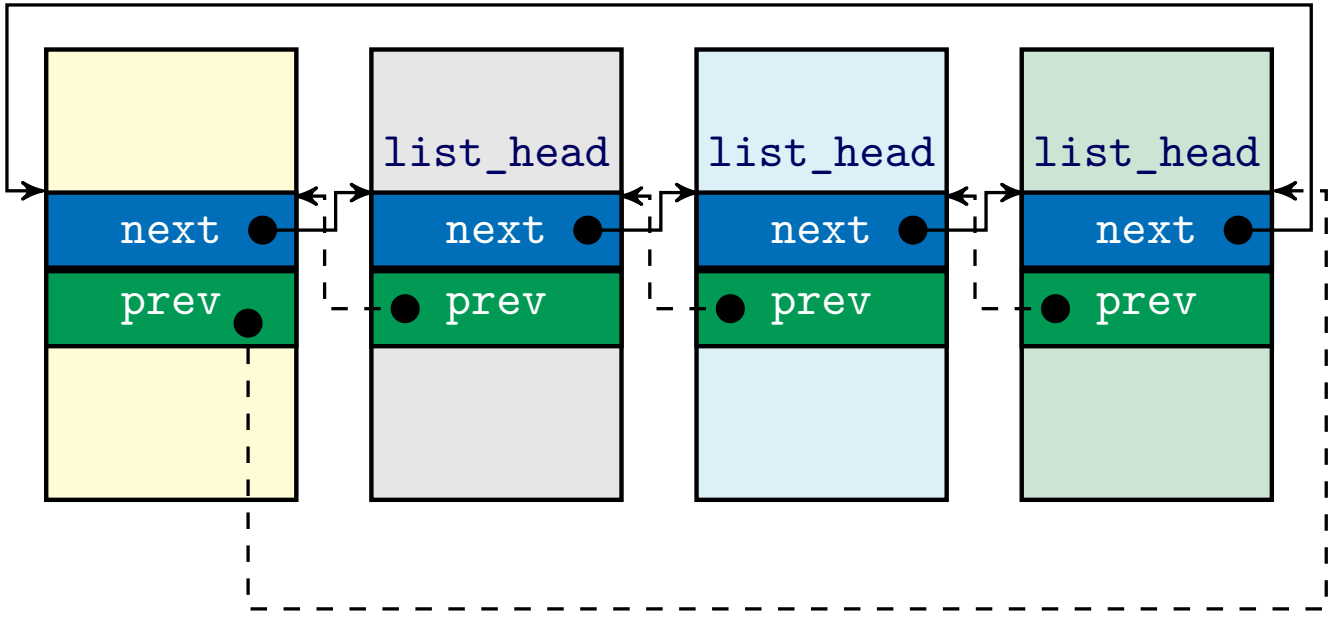
Grupos de Threads (III)

- El valor del campo `pid` de todos los hilos de un proceso puede consultarse listando el directorio `/proc/<pid_proceso>/task`
  - Una entrada (subdirectorio) por cada hilo del proceso
  - El nombre del subdirectorio es el valor del campo `pid` del *task struct* correspondiente

```
terminal
kernel@debian:~$ ps -ef | grep blast
bench    31985 31952 70 16:32 pts/2    00:00:13 ../bin/blastall -
bench    31996 31942  0 16:32 pts/1    00:00:00 grep blast
bench@pineta:~$ ls /proc/31985/task/
31985  31991  31992  31993  31994
kernel@debian:~$
```

Implementación task_list (I)

- El kernel mantiene una lista doblemente enlazada con la descripción de todos los "procesos" del sistema - `task list` -
  - Cada elemento de `task list` es de tipo `struct task_struct`
  - `task_struct` incluye `struct list_head tasks`
    - `list_head`: implemementación genérica lista doblemente enlazada



Implementación task_list (II)

- Primer elemento: descriptor de tarea `init`
  - Definido estáticamente en `init/init_task.c`:
    - `struct task_struct init_task = INIT_TASK(init_task);`

```
/*
 *  INIT_TASK is used to set up the first task table, touch at
 * your own risk!. Base=0, limit=0x1fffff (=2MB)
 */
#define INIT_TASK(tsk) \
{                                                       \
    .state      = 0,                                    \
    .stack      = &init_thread_info,                    \
    .usage      = ATOMIC_INIT(2),                       \
    .flags      = PF_KTHREAD,                           \
    .prio       = MAX_PRIO-20,                          \
    .static_prio  = MAX_PRIO-20,                        \
    .normal_prio  = MAX_PRIO-20,                        \
    .policy     = SCHED_NORMAL,                         \
    .cpus_allowed = CPU_MASK_ALL,                       \
    ...
```

Implementación task_list (III)

```
#define for_each_process(p)                                    \
for (p=&init_task; (p=list_entry((p)->tasks.next, \
struct task_struct, tasks))                                    \
!= &init_task; )
```

```
struct task_struct *task;
int counter=1; /* for init_task */
for_each_process(task){
    if (task->state==TASK_RUNNING)
        ++counter;
}
```

Parentescos (I)

- task_struct incluye también

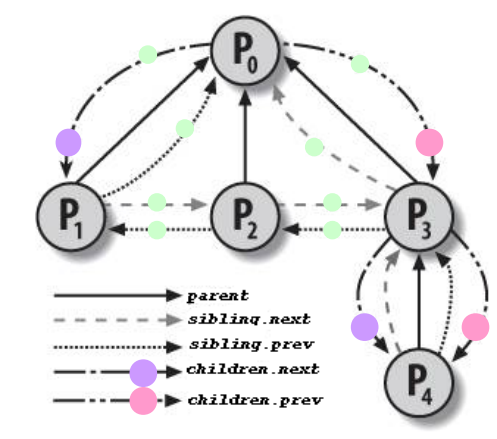
```
/*
* pointers to (original) parent process, youngest child,
    younger sibling,
* older sibling, respectively. (p->father can be replaced with
* p->real_parent->pid)
*/
struct task_struct *real_parent; /* real parent process */
struct task_struct *parent; /* recipient of SIGCHLD, wait4()
    reports*/

/*
* children/sibling forms the list of my natural children
*/
struct list_head children;  /* list of my children */
struct list_head sibling; /* linkage in my parent's children
    list */
```

Parentescos (II)

- Para iterar por los hijos de un proceso:

```
struct task_struct *task;
struct list_head *list;
list_for_each(list, &current->children)
{
    task = list_entry(list, struct task_struct, sibling);
    /* task now points to one of current's children */
}
```



Referencias

- Linux Kernel Development
  - Cap. 3 *"Process Management"*
- Professional Linux Kernel Architecture
  - Cap. 2 *"Process Management and Scheduling"*
- IBM Developer Works
  - Anatomy of Linux process management

Licencia

Arquitectura Interna de Linux - Gestión de Procesos en Linux
Versión 0.3

Este documento (o uno muy similar) está disponible en
`https://cv4.ucm.es/moodle/course/view.php?id=70009`