Enrique López García

SISTEMAS OPERATIVOS

TEMA 2. Procesos y Hebras

Generalidades

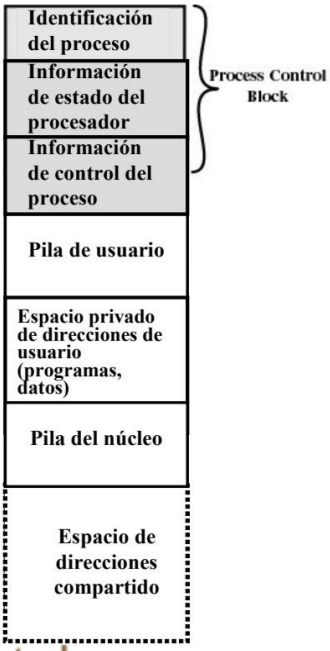
Ejecución del SO

Núcleo fuera de todo proceso:

- Ejecuta el núcleo del sistema operativo fuera de cualquier proceso.
- El código del sistema operativo se ejecuta como una entidad separada que opera en modo privilegiado.

Ejecución dentro de los procesos de usuario:

- Software del sistema operativo en el contexto de un proceso de usuario.
- Un proceso se ejecuta en modo privilegiado cuando se ejecuta el código del sistema operativo.

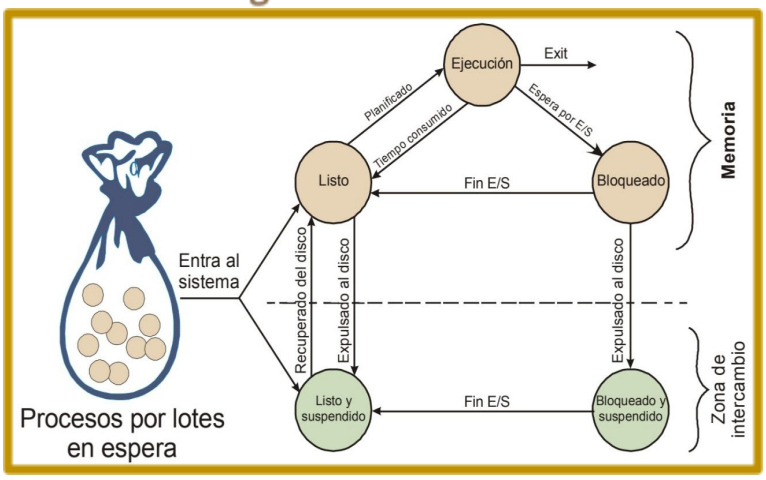


Cambio de contexto

- Cuando un proceso está ejecutándose, su PC, puntero a pila, registros, etc., están cargados en la CPU (es decir, los registros hardware contienen los valores actuales).
- Cuando el SO detiene un proceso ejecutándose, salva los valores actuales de estos registros (contexto) en el PCB de ese proceso.
- La acción de conmutar la CPU de un proceso a otro se denomina **cambio de contexto**.

Los sistemas de tiempo compartido realizan de 10 a 100 cambios de contexto por segundo. Este trabajo es **sobrecarga**.

Diagrama de estados



Operaciones sobre procesos

Creación de procesos

¿Qué significa crear un proceso?

- Asignarle el espacio de direcciones que utilizará
- Crear las estructuras de datos para su administración

Sucesos comunes para la creación :

- En sistemas batch: en respuesta a la recepción y admisión de un trabajo
- En sistemas interactivos: cuando el usuario se conecta, el SO crea un proceso que ejecuta el intérprete de órdenes
- El SO puede crear un proceso para llevar a cabo un servicio solicitado por un proceso de usuario
- Un proceso puede crear otros procesos formando un árbol de procesos. Hablamos de relación padre-hijo (creador-creado)

Obtención de recursos el proceso hijo:

a. Los obtiene directamente del SO: padre e hijo no comparten recursos.

b. Comparte todos los recursos con el padre.
c. Comparte un subconjunto de los recursos del padre.

Opciones de Ejecución:

a. Padre e hijo se ejecutan concurrentemente.
b. El padre espera a que el hijo termine.

Espacio de direcciones.

a. Hijo es un duplicado del padre (Unix, Linux).
b. Hijo tiene un programa que lo carga (VMS, W2K)

Pasos en una operación de creación.

1. Nombrar al proceso: asignarle un PID único
2. Asignarle espacio (en MP y/o memoria secundaria)
3. Crear el PCB e inicializarlo
4. Insertarlo en la Tabla de procesos y ligarlo a la cola de planificación correspondiente
5. Determinar su prioridad inicial

Terminación de procesos

Sucesos determinan la finalización de un proceso:

- Cuando un proceso ejecuta la última instrucción, solicita al SO su finalización (exit)
  - **a.** Envío de datos del hijo al padre
  - **b.** Recursos del proceso son liberados por el SO
- El padre puede finalizar la ejecución de sus hijos (abort o kill)
  - **a.** El hijo ha sobrepasado los recursos asignados
  - **b.** La tarea asignada al hijo ya no es necesaria
  - **c.** El padre va a finalizar: el SO no permite al hijo continuar (**terminación en cascada**)
- El SO puede terminar la ejecución de un proceso porque se hayan producido errores o condiciones de fallo

Hebras (threads, hilos o procesos ligeros)

Concepto

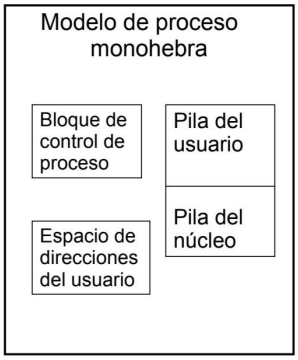
Una hebra (o proceso ligero) es la **unidad básica de utilización de la CPU**. Consta de:

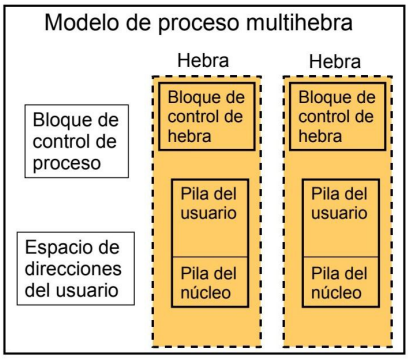
- Contador de programa.
- Conjunto de registros.
- Espacio de pila.
- Estado

Una hebra **comparte con sus hebras pares** una tarea que consiste en:

- Sección de código.
- Sección de datos.
- Recursos del SO (archivos abiertos, señales,..).

Un proceso pesado o tradicional es igual a una tarea con una hebra.





Ventajas

Se obtiene un **mayor rendimiento y un mejor servicio** debido a :

- Se reduce el tiempo de cambio de contexto, el tiempo de creación y el tiempo de terminación.
- En una tarea con múltiples hebras, mientras una hebra está bloqueada y esperando, una segunda hebra de la misma tarea puede ejecutarse (depende del tipo de hebras).
- La comunicación entre hebras de una misma tarea se realiza a través de la memoria compartida (no necesitan utilizar los mecanismos del núcleo).
- Las aplicaciones que necesitan compartir memoria se benefician de las hebras.

Funcionalidad

Al igual que los procesos las hebras poseen un estado de ejecución y pueden sincronizarse.

- **Estados** de las hebras: Ejecución, Lista o Preparada y Bloqueada.
- **Operaciones básicas** relacionadas con el cambio de estado en hebras: – Creación – Bloqueo – Desbloqueo – Terminación
- Sincronización entre hebras

Tipos de hebras

Hebras de usuario

➔ Todo el trabajo de gestión de hebras lo realiza la aplicación, el núcleo no es consciente de la existencia de hebras.

➔ Se implementan a través de una biblioteca en el nivel usuario. La biblioteca contiene código para gestionar las hebras:

- crear hebras, intercambiar datos entre hebras, planificar la ejecución de las hebras y salvar y restaurar el contexto de las hebras.

➔ La unidad de planificación para el núcleo es el proceso

Hebras Kernel (Núcleo)

➔ Toda la gestión de hebras lo realiza el núcleo.

➔ El SO proporciona un conjunto de llamadas al sistema similares a las existentes para los procesos (Mach, OS/2).

➔ El núcleo mantiene la información de contexto del proceso como un todo y de cada hebra.

➔ La unidad de planificación es la hebra.

➔ Las propias funciones del núcleo pueden ser multihebras.

Hebras Usuario vs Hebras Kernel	
• Evita la sobrecarga de cambios de modo cada vez que se pasa el control de una hebra a otra en sistemas que utilizan hebras núcleo. • Se puede tener una planificación para las hebras distinta a la planificación subyacente del SO. • Se pueden ejecutar en cualquier SO. Su utilización no supone cambio en el núcleo.	• Cuando un proceso realiza una llamada al sistema bloqueadora sólo se bloquea la hebra que realizó la llamada, el resto pueden seguir trabajando (en las usuario se bloquean todas) • En un entorno multiprocesador, una aplicación multi hebra no puede aprovechar las ventajas de dicho entorno ya que el núcleo asigna un procesador a un proceso.

Enfoques híbridos

- ➔ Implementan tanto hebras a nivel kernel como usuario (p. ej. Solaris 2).
- ➔ La creación de hebras, y la mayor parte de la planificación y sincronización se realizan en el espacio de usuario.
- ➔ Las distintas hebras de una aplicación se asocian con varias hebras del núcleo (mismo o menor número), el programador puede ajustar la asociación para obtener un mejor resultado.
- ➔ Las múltiples hebras de una aplicación se pueden paralelizar y las llamadas al sistema bloqueadoras no necesitan bloquear todo el proceso.

Planificación

PCB's y Colas de Estados

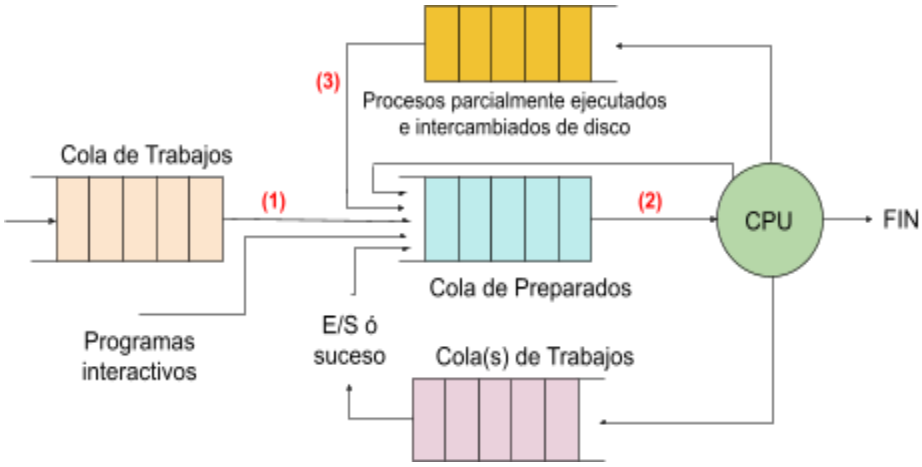
- El SO mantiene una colección de colas que **representan el estado** de todos los procesos en el sistema.
- Típicamente hay una cola por estado.
- Cada PCB está encolado en una cola de estado acorde a su estado actual.
- Conforme un proceso cambia de estado, su PCB es retirado de una cola y encolado en otra.

Tipos de Colas de estados

- **Cola de trabajos**. Conjunto de los trabajos pendientes de ser admitidos en el sistema (trabajos por lotes que no están en memoria).
- **Cola de preparados**. Conjunto de todos los procesos que residen en memoria principal, preparados y esperando para ejecutarse.
- **Cola(s) de bloqueados**.Conjunto de todos los procesos esperando por un dispositivo de E/S particular o por un suceso.

Planificador y Tipos de Planificadores

Un **planificador** es una parte del SO que controla la utilización de un recurso.



(1) **Planificador a largo plazo** (planificador de trabajos): selecciona los procesos que deben llevarse a la cola de preparados.
- Permite controlar el grado de multiprogramación.
- Se invoca poco frecuentemente (segundos o minutos), por lo que puede ser más lento.

(2) **Planificador a corto plazo** (planificador de la CPU): selecciona al proceso que debe ejecutarse a continuación, y le asigna la CPU.
- Trabaja con la cola de preparados.
- Se invoca muy frecuentemente (milisegundos) por lo que debe ser rápido.

(3) **Planificador a medio plazo**: Se encarga de devolver los procesos a memoria.
- A veces es necesario sacar procesos de la memoria (reducir el grado de multiprogramación), bien para mejorar la mezcla de procesos, bien por cambio en los requisitos de memoria, y luego volverlos a introducir (intercambio o swapping

Clasificación de procesos

Procesos limitados por E/S o **procesos cortos**. Dedican más tiempo a realizar E/S que computo; muchas ráfagas de CPU cortas y largos períodos de espera.

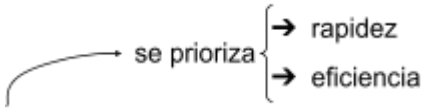
Procesos limitados por CPU o **procesos largos**. Dedican más tiempo en computación que en realizar E/S; pocas ráfagas de CPU pero largas.

Mezcla de trabajos

Es importante que el planificador a largo plazo seleccione una buena mezcla de trabajos, ya que:

- Si todos los trabajos están limitados por E/S, la cola de preparados estará casi siempre vacía y el planificador a corto plazo tendrá poco que hacer.
- Si todos los procesos están limitados por CPU, la cola de E/S estará casi siempre vacía y el sistema estará de nuevo desequilibrado

Despachador



El **despachador** (**dispatcher**) es el módulo del SO que da el control de la CPU al proceso seleccionado por el planificador a corto plazo; esto involucra:

- Cambio de contexto (se realiza en modo kernel).
- Conmutación a modo usuario.
- Salto a la posición de memoria adecuada del programa para su reanudación.

Latencia de despacho. Tiempo que emplea el despachador en detener un proceso y comenzar a ejecutar otro.

El despachador **actúa cuando**:

(a) Un proceso no quiere seguir ejecutándose (finaliza o ejecuta una operación que lo bloquea).
(b) Un elemento del SO determina que el proceso no puede seguir ejecutándose (ej. E/S o retiro de memoria principal).
(c) El proceso agota el quantum de tiempo asignado.
(d) Un suceso cambia el estado de un proceso de bloqueado a ejecutable.

Políticas de planificación: Monoprocesadores

Introducción

Objetivos:

- Buen rendimiento (productividad)
- Buen servicio

Para saber si un proceso obtiene un buen servicio, definiremos un conjunto de medidas:

dado un proceso P, que necesita un tiempo de servicio (ráfaga) t

- **Tiempo de respuesta** (**T**) − Tiempo transcurrido desde que entra en la cola de preparados hasta que se produce la primera respuesta / finaliza (no se considera el tiempo que tarda en dar la salida)
- **Tiempo de espera** (**M**) − Tiempo que un proceso ha estado esperando en la cola de preparados: T - t
- **Penalización** (**P**) − T / t
- **Índice de respuesta** (**R**) − Fracción de tiempo que P está recibiendo servicio: t / T

Otras medidas interesantes son:

- Tiempo del núcleo − Tiempo perdido por el SO tomando decisiones que afectan a la planificación de procesos y haciendo los cambios de contexto necesarios. En un sistema eficiente debe representar entre el 10% y el 30% del total del tiempo del procesador
- Tiempo de inactividad − Tiempo en el que la cola de ejecutables está vacía y no se realiza ningún trabajo productivo

- Tiempo de retorno − Cantidad de tiempo necesario para ejecutar un proceso completo

Las políticas de planificación se comportan de distinta manera dependiendo de la clase de procesos

Podemos clasificarlas en:

- **No apropiativas** (no expulsivas): una vez que se le asigna el procesador a un proceso, no se le puede retirar hasta que éste voluntariamente lo deje (finalice o se bloquee).
- **Apropiativas** (expulsivas): al contrario, el SO puede apropiarse del procesador cuando lo decida.

> Ninguna política de planificación es completamente satisfactoria, cualquier mejora en una clase de procesos es a expensas de perder eficiencia en los procesos de otra clase.

Políticas de planificación de la CPU

FCFS (First Come First Served)

- Los procesos son servidos según el orden de llegada a la cola de ejecutables.
- Es **no apropiativo**, cada proceso se ejecutará hasta que finalice o se bloquee.
- Fácil de implementar pero pobre en cuanto a prestaciones.
- Todos los procesos pierden la misma cantidad de tiempo esperando en la cola de ejecutables independientemente de sus necesidades.
- Procesos cortos muy penalizados.
- Procesos largos poco penalizados.

SJF (Shorter Job First)

- Es **no apropiativo**.
- Cuando el procesador queda libre, selecciona el proceso que requiera un tiempo de servicio menor.
- Si existen dos o más procesos en igualdad de condiciones, se sigue FCFS.
- Necesita conocer explícitamente el tiempo estimado de ejecución (tº servicio)
- Disminuye el tiempo de respuesta para los procesos cortos y discrimina a los largos.
- Tiempo medio de espera bajo.

SRTF (Short Remaining Time First – El más corto primero apropiativo)

- Cada vez que entra un proceso a la cola de ejecutables se comprueba si su tiempo de servicio es menor que el tiempo de servicio que le queda al proceso que está ejecutándose. Casos:
  - Si es **menor**: se realiza un cambio de contexto y el proceso con menor tiempo de servicio es el que se ejecuta.
  - **No** es **menor**: continúa el proceso que estaba ejecutándose.
- El tiempo de respuesta es menor excepto para procesos muy largos.
- Se obtiene la menor penalización en promedio.

Planificación por prioridades

- Asociamos a cada proceso un número de prioridad (entero).
- Se asigna la CPU al proceso con mayor prioridad (*enteros menores = mayor prioridad*)
- **Problema**: Inanición -- los procesos de baja prioridad pueden no ejecutarse nunca. } **Apropiativa**
- **Solución**: Envejecimiento -- con el paso del tiempo se incrementa la prioridad de los procesos. } **No apropiativa**

Por Turnos (Round-Robin)

- La CPU se asigna a los procesos en intervalos de tiempo (**quatum**).
- Procedimiento:
  - **(A)** Si el proceso finaliza o se bloquea antes de agotar el quantum, libera la CPU. Se toma el siguiente proceso de la cola de ejecutables (la cola es FIFO) y se le asigna un quantum completo.
  - **(B)** Si el proceso no termina durante ese quantum, se interrumpe y se coloca al final de la cola de ejecutables.
- Es **apropiativo**.
- Nota: En los ejemplos supondremos que si un proceso A llega a la cola de ejecutables al mismo tiempo que otro B agota su quantum, la llegada de A a la cola de ejecutables ocurre antes de que B lo agote.
- Los valores típicos del quantum están entre 1/60sg y 1sg.
- Penaliza a todos los procesos en la misma cantidad, sin importar si son cortos o largos.
- Las ráfagas muy cortas están más penalizadas de lo deseable.
- **¿valor del quantum?**
  - muy grande (excede del tº de servicio de todos los procesos) se convierte en FCFS
  - muy pequeño el sistema monopoliza la CPU haciendo cambios de contexto (tº del núcleo muy alto)

Colas múltiples

- La cola de preparados se divide en varias colas y cada proceso es asignado **permanentemente** a una cola concreta.
- Cada cola puede tener su propio algoritmo de planificación.
- Requiere una **planificación entre colas**
  - Planificación con prioridades fijas (primero una cola y luego otras).
  - Tiempo compartido − Cada cola obtiene cierto tiempo (porcentaje) de CPU que debe repartir entre sus procesos.

Colas múltiples con realimentación

- Un proceso se puede mover entre varias colas
- Requiere definir los siguientes **parámetros**:
  - Número de colas.
  - Algoritmo de planificación para cada cola.
  - Método utilizado para determinar cuándo trasladar a un proceso a otra cola.
  - Método utilizado para determinar en qué cola se introducirá un proceso cuando necesite un servicio.
  - Algoritmo de planificación entre colas.
- Mide en tiempo de ejecución el comportamiento real de los procesos
- Disciplina de planificación **más general** (Unix, Linux Windows NT)

Planificación en multiprocesadores

Tres aspectos interrelacionados:

- **Asignación de procesos a procesadores**
  - Cola dedicada para cada procesador
  - Cola global para todos los procesadores
- Uso de multiprogramación en cada procesador individual
- Activación del proceso

Planificación de procesos

Igual que en monoprocesadores pero teniendo en cuenta:

- **Número de CPU's**
- **Asignación/Liberación proceso-procesador**

Planificación de hilos

Permiten explotar el paralelismo real dentro de una aplicación.

1. Compartición de carga

Cola global de hilos preparados. Cuando un procesador está ocioso, se selecciona un hilo de la cola (método muy usado).

2. Planificación en pandilla

Se planifica un **conjunto de hilos afines** (de un mismo proceso) para ejecutarse **sobre un conjunto de procesadores** al mismo tiempo (relación 1 a 1).

Útil para aplicaciones cuyo rendimiento se degrada mucho cuando alguna parte no puede ejecutarse (los hilos necesitan sincronizarse).

3. Asignación de procesador dedicado

Cuando se planifica una aplicación, se asigna **un procesador a cada uno de sus hilos hasta que termine** la aplicación.

Algunos procesadores pueden estar ociosos –> No hay multiprogramación de procesadores

4. Planificación dinámica

La aplicación permite que varíe dinámicamente el número de hilos de un proceso.

El SO ajusta la carga para mejorar la utilización de los procesadores.

Sistemas de Tiempo Real

- La exactitud del sistema no depende sólo del resultado lógico de un cálculo sino también del instante en que se produzca el resultado.
- Las tareas o procesos intentan controlar o reaccionar ante sucesos que se producen en "tiempo real" (eventos) y que tienen lugar en el mundo exterior.

Características

- **Tarea de tº real duro**: debe cumplir su plazo límite.
- **Tarea de tº real suave**: tiene un tiempo límite pero no es obligatorio.
- **Periódicas**: se sabe cada cuánto tiempo se tiene que ejecutar.
- **Aperiódicas**: tiene un plazo en el que debe comenzar o acabar o restricciones respecto a esos tiempos pero son impredecibles.

Planificación de sistemas de Tº Real

Los distintos enfoques **dependen de**:

- Cuándo el sistema realiza un análisis de viabilidad de la planificación.
  - ➢ Estudia si puede atender a todos los eventos periódicos dado el tiempo necesario para ejecutar la tarea y el periodo.

- Si se realiza estática o dinámicamente.
- Si el resultado del análisis produce un plan de planificación o no.

Enfoques Estáticos Dirigidos por Tabla.

Análisis estático que genera una planificación que determina cuándo empezará cada tarea.

Enfoques Estáticos Expulsivos Dirigidos por Prioridad.

Análisis estático que no genera una planificación, sólo se usa para dar prioridad a las tareas. Usa planificación por prioridades.

Enfoques Dinámicos Basados en un Plan.

Se determina la viabilidad en tº de ejecución (dinámicamente): se acepta una nueva tarea si es posible satisfacer sus restricciones de tº.

Enfoques Dinámicos de Menor Esfuerzo (el más usado).

No se hace análisis de viabilidad. El sistema intenta cumplir todos los plazos y aborta ejecuciones si su plazo ha finalizado.

Problema: Inversión de Prioridad

Se da en un **esquema de planificación de prioridad** cuando:

Una tarea de mayor prioridad espera por una tarea de menor prioridad
debido al bloqueo de un recurso de uso exclusivo (no compatible).

Enfoques para **evitarla**:

- Herencia de prioridad: La tarea menos prioritaria hereda la prioridad de la tarea más prioritaria
- Techo de prioridad: Se asocia una prioridad a cada recurso de uso exclusivo que es más alta que cualquier prioridad que pueda tener una tarea de ese proceso, y esa prioridad se le asigna a la tarea a la que se le da el recurso.

En ambos, la tarea menos prioritaria vuelve a tener el valor de prioridad que tenía cuando libere el recurso.

Diseño e implementación de procesos e hilos en Linux

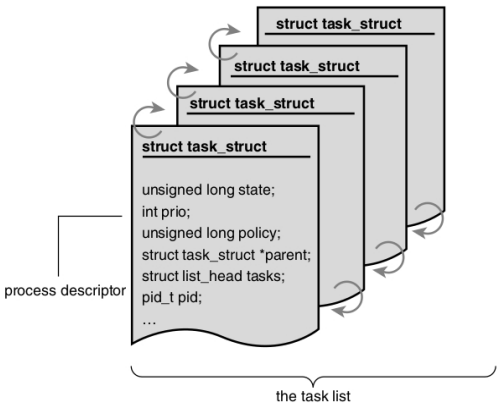
Nos basamos en el kernel 2.6 de Linux (Podemos descargar los fuentes de www.kernel.org).

- El núcleo identifica a los procesos (tareas - tasks) por su **PID**
- En Linux, proceso es la entidad que se crea con la llamada al sistema **fork** (excepto el proceso 0) y **clone**
- **Procesos especiales** que existen durante la vida del sistema:
  - Proceso 0 –> creado “a mano” cuando arranca el sistema. Crea al proceso 1.
  - Proceso 1 (Init) –> antecesor de cualquier proceso del sistema

Estructura Task

El Kernel almacena la lista de procesos como una lista circular doblemente enlazada: task list.

Cada elemento es un descriptor de proceso (PCB) definido en </include/linux/sched.h>.



Estados de un proceso en Linux

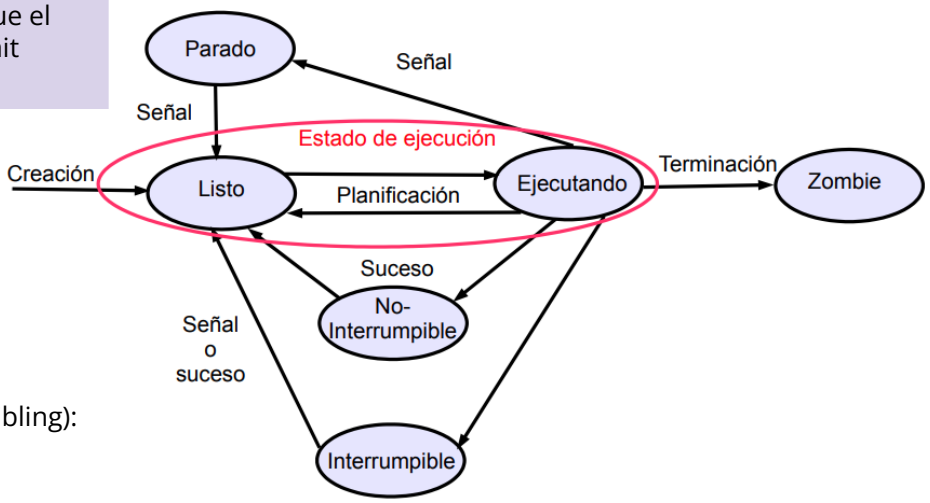
La variable state de task_struct especifica el estado actual de un proceso.

Ejecución TASK_RUNNING	Se corresponde con dos: ejecutándose o preparado para ejecutarse (en la cola de procesos preparados).
Interrumpible TASK_INTERRUPTIBLE	El proceso está bloqueado y sale de este estado cuando ocurre el suceso por el cual está bloqueado o porque le llegue una señal.
No interrumpible TASK_UNINTERRUPTIBLE	El proceso está bloqueado y sólo cambiará de estado cuando ocurra el suceso que está esperando (no acepta señales).
Parado TASK_STOPPED	El proceso ha sido detenido y sólo puede reanudarse por la acción de otro proceso (ejemplo, proceso parado mientras está siendo depurado).
TASK_TRACED	El proceso está siendo traceado por otro proceso.
Zombie EXIT_ZOMBIE	El proceso ya no existe pero mantiene la entrada de la tabla de procesos hasta que el padre haga un wait (**EXIT_DEAD**).

struct task_struct

```
struct task_struct {    /// del kernel 2.6.24
      volatile long state;    /* -1 unrunnable, 0 runnable,
                                 >0 stopped */
      /*...*/
/* Informacion para planificacion */
      int prio, static_prio, normal_prio;
      struct list_head run_list;
      const struct sched_class *sched_class;
      struct sched_entity se;
/*...*/
      unsigned int policy;
      cpumask_t cpus_allowed;
      unsigned int time_slice;
/*...*/
/* Memoria asociada a la tarea */
      struct mm_struct *mm, *active_mm;
/*...*/
      pid_t pid;
/* Relaciones entre task_struct */
      struct task_struct *parent;    /* parent process */
      struct list_head children;     /* list of my children */
      struct list_head sibling;      /* linkage in my parent's
                                        children list */
/* Informacion para planificacion y señales */
      unsigned int rt_priority;
      sigset_t blocked, real_blocked;
      sigset_t saved_sigmask;        /* To be restored with
                                        TIF_RESTORE_SIGMASK */
      struct sigpending pending;
/*...*/
}
```

Modelo de procesos/hilos en Linux



EL árbol de procesos

Cada task_struct tiene un puntero ...

a la task_struct de su **padre**:

```
struct task_struct *parent
```

a una lista de **hijos** (llamada children):

```
struct list_head children;
```

y a una lista de sus **hermanos** (llamada sibling):

```
struct list_head sibling
```

- Si el proceso P0 hace una llamada al sistema **fork**, genera el proceso P1, se dice que P0 es el proceso padre y P1 es el hijo.
- Si el proceso P0 hace varios fork, genera varios proceso hijos P1,P2,P3, la relación entre ellos es de **hermanos** (sibling)
- Todos los procesos son descendientes del proceso **init** (cuyo PID es 1)

Implementación de hilos en Linux

- Desde el punto de vista del kernel no hay distinción entre hebra y proceso.
- Linux implementa el concepto de hebra como un proceso sin más, que simplemente comparte recursos con otros procesos.
- Cada hebra tiene su propia **task_struct**.
- La llamada al sistema **clone** crea un nuevo proceso o hebra.

```
#include <sched.h>
int clone (int (*fn) (void *), void *child_stack, int flags, void *arg);
```

Hebras kernel

- A veces es útil que el kernel realice operaciones en segundo plano, para lo cual se crean **hebras kernel**.
- Las hebras kernel no tienen un espacio de direcciones (su puntero mm es NULL)
- Se ejecutan únicamente en el espacio del kernel.
- Son planificadas y pueden ser expropiadas.
- Se crean por el kernel al levantar el sistema, mediante una llamada a `clone()`.
- Terminan cuando realizan una operación `do_exit` o cuando otra parte del kernel provoca su finalización.

Creación de procesos

`fork() → clone() → do_fork() → copy_process()`

Actuación de `copy_process`:

1. **Crea** la estructura **`thread_info`** (pila Kernel) y la **`task_struct`** para el nuevo proceso con los valores de la tarea actual.
2. Para los elementos de `task_struct` del hijo que deban tener valores distintos a los del padre, se les dan los **valores iniciales correctos**.
3. Se establece el **estado** del hijo a **`TASK_UNINTERRUPTIBLE`** mientras se realizan las restantes acciones.
4. Se establecen **valores adecuados para los flags** de la `task_struct` del hijo:
   flag `PF_SUPERPRIV` = 0 (la tarea no usa privilegio de superusuario)
   flag `PF_FORKNOEXEC` =1 (el proceso ha hecho fork pero no exec)
5. Se llama a `alloc_pid()` para **asignar un PID** a la nueva tarea.
6. Según cuáles sean los flags pasados a clone(), **duplica o comparte recursos** como archivos abiertos, información de sistemas de archivos, manejadores de señales, espacio de direccionamiento del proceso...
7. Se establece el **estado** del hijo a **`TASK_RUNNING`**.
8. Finalmente `copy_process()` termina **devolviendo un puntero a la `task_struct`** del hijo.

Terminación de un proceso

- Cuando un proceso termina, el kernel libera todos sus recursos y notifica al padre su terminación.
- Normalmente un proceso **termina cuando**:
  1) realiza la llamada al sistema **`exit()`**;

- de forma explícita: el programador incluyó esa llamada en el código del programa,
- o de forma implícita: el compilador incluye automáticamente una llamada a `exit()` cuando `main()` termina.

2) **recibe una señal** ante la que tiene la acción establecida de terminar.

■ El trabajo de liberación lo hace la función `do_exit()` definida en *<linux/kernel/exit.c>*.

Actuación de `do_exit()`:

1. **Activa** el flag **`PF_EXITING`** de `task_struct`.
2. Para cada recurso que esté utilizando el proceso, se **decrementa el contador** correspondiente que indica el nº de procesos que lo están utilizando

   si vale 0 → se realiza la operación de destrucción oportuna sobre el recurso, por ejemplo si fuera una zona de memoria, se liberaría.
3. El valor que se pasa como argumento a `exit()` se **almacena en el campo `exit_code`** de `task_struct` (información de terminación para el padre)
4. Se manda una **señal al padre** indicando la finalización de su hijo.
5. **Si aún tiene hijos**, se pone como padre de éstos al proceso init (PID=1).

   (*dependiendo de las características del grupo de procesos al que pertenezca el proceso, podría ponerse como padre a otro miembro de ese grupo de procesos*)
6. Se establece el **campo `exit_state`** de `task_struct` **a `EXIT_ZOMBIE`**.
7. Se **llama a `schedule()`** para que el planificador elija un nuevo proceso a ejecutar.

★ Puesto que este es el último código que ejecuta un proceso, do_exit nunca retorna.

Planificación de la CPU en Linux

Clases de planificación:

I. Planificación de **tiempo real**
II. Planificación neutra o limpia (***CFS**: Completely Fair Scheduling*)
III. Planificación de la tarea **"idle"** (no hay trabajo que realizar)

Características

- Cada clase de planificación tiene una **prioridad**.
- Se usa un algoritmo de planificación entre las clases de planificación por **prioridades apropiativo**.
- Cada clase de planificación usa una o varias **políticas** para gestionar sus procesos
- La planificación no opera únicamente sobre el concepto de proceso, sino que maneja conceptos más amplios en el sentido de manejar grupos de procesos: **Entidad de planificación**.
- Una entidad de planificación se representa mediante una instancia de la estructura **`sched_entity`**

Política de planificación

```
unsigned int policy; // política que se aplica al proceso
```

Políticas manejadas por el planificador **CFS – `fair_sched_class`**:

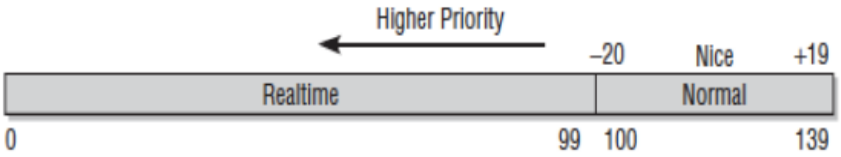
- `SCHED_NORMAL`: se aplica a los procesos normales de tiempo compartido.
- `SCHED_BATCH`: tareas menos importantes, menor prioridad. Son procesos batch con gran proporción de uso de CPU para cálculos.
- `SCHED_IDLE`: estas tareas tienen una prioridad mínima para ser elegidas para asignación de CPU.

Políticas manejadas por el planificador de **tiempo real – `rt_sched_class`**:

- `SCHED_RR`: uso de una política Round-Robin (Por turnos)
- `SCHED_FIFO`: uso de una política FCFS

Prioridades

- Siempre se cumple que **el proceso que está en ejecución es el más prioritario**.
- Rango de **valores** de prioridad para **static_prio**:
  - **[0, 99]** Prioridades para procesos de tiempo real
  - **[100, 139]** Prioridades para los procesos normales o regulares.



El planificador periódico

- Se implementa en **`scheduler_tick`**, función llamada automáticamente por el kernel con frecuencia HZ (constante cuyos valores están normalmente en el rango 1000 y 100Hz)
- **Tareas principales**:
  - ➢ actualizar estadísticas del kernel
  - ➢ activar el método de planificación periódico de la clase de planificación a que corresponde el proceso actual (`task_tick`, contabiliza en tº de CPU consumido)
- Si hay que **replanificar**, el planificador de la clase concreta activará el flag **`TIF_NEED_RESCHED`** asociado al proceso en su thread_info, y provocará que se llame al planificador principal.

El planificador principal

- Se implementa en la función **`schedule`**, invocada en diversos puntos del kernel para tomar decisiones sobre asignación de la CPU.
- La función schedule es invocada de forma explícita cuando un proceso se bloquea o termina.
- El kernel chequea el flag **`TIF_NEED_RESCHED`** del proceso actual al volver al espacio de usuario desde modo kernel (ya sea al volver de una llamada al sistema o en el retorno de una interrupción o excepción y si está activo se invoca al **`schedule`**)

Actuación del `shedule` (función que elige el siguiente proceso a ejecutar)

- **Determina** la actual **`runqueue`** y establece el puntero **`prev`** a la **`task_struct`** del proceso actual.
- **Actualiza** estadísticas y limpia el flag **`TIF_NEED_RESCHED`**
- **Si** el proceso actual **estaba** en un estado **`TASK_INTERRUPTIBLE`** y ha recibido la señal que esperaba, se **establece** su estado a **`TASK_RUNNING`**
- Se **llama** a **`pick_next_task`** de la clase de planificación a la que pertenezca el proceso actual para que se seleccione el siguiente proceso a ejecutar, se establece **`next`** con el puntero a la **`task_struct`** de dicho proceso seleccionado.
- Si hay **cambio en la asignación de CPU**, se realiza el cambio de contexto llamando a **`context_switch`**

La clase de planificación CFS

- **Idea general**: repartir el tiempo de CPU de forma imparcial, garantizando que todos los procesos se ejecutarán y, dependiendo del número de procesos, asignarles más o menos tiempo de uso de CPU.
- Por lo tanto, mantiene datos sobre los tiempos consumidos por los procesos.
- El kernel calcula un **peso** para cada proceso. Cuanto mayor sea el valor de la prioridad estática de un proceso, menor será el peso que tenga.
- **`vruntime`** (virtual runtime) de una entidad es el tiempo virtual que un proceso ha consumido y se calcula a partir del tiempo real que el proceso ha hecho uso de la CPU, su prioridad estática y su peso.
- El valor **`vruntime`** del proceso actual **se actualiza**:
  - ➢ periódicamente (el planificador periódico ajusta los valores de tiempo de CPU consumido)

- ➢ cuando llega un nuevo proceso ejecutable
- ➢ cuando el proceso actual se bloquea

- Cuando se decide qué proceso ejecutar a continuación, se elige el que tenga un valor menor de **`vruntime`**.
- Para realizar esto CFS utiliza un **`rbtree`** (red black tree):

  *Estructura de datos que almacena nodos identificados por una clave y que permite una **eficiente búsqueda** dada una determinado valor de la clave.*
- Cuando un proceso va a **entrar en estado bloqueado**:
  - ➢ se añade a una cola asociada con la fuente del bloqueo
  - ➢ se establece el estado del proceso a **`TASK_INTERRUPTIBLE`** o a **`TASK_NONINTERRUPTIBLE`**
  - ➢ es eliminado del `rbtree` de procesos ejecutables
  - ➢ se llama a **`schedule`** para que se elija un nuevo proceso a ejecutar
- Cuando un proceso **vuelve del estado bloqueado**:
  - ➢ se cambia su estado a ejecutable (**`TASK_RUNNING`**)
  - ➢ se elimina de la cola de bloqueo en que estaba
  - ➢ se añade al `rbtree` de procesos ejecutables

La clase de planificación de tiempo real

- Se define la clase de planificación **`rt_sched_class`**.
- Los procesos de tiempo real son **más prioritarios** que los normales, y mientras existan procesos de tiempo real ejecutables éstos serán elegidos frente a los normales.
- Un proceso de tiempo real queda determinado por la **prioridad** que tiene cuando se crea, el kernel no incrementa o disminuye su prioridad en función de su comportamiento.
- Las políticas de planificación de tiempo real `SCHED_RR` y `SCHED_FIFO` posibilitan que el kernel Linux pueda tener un comportamiento *soft real-time* (Sistemas de tiempo real no estricto).
- Al crear el proceso también se especifica la política bajo la cual se va a planificar. Existe una llamada al sistema para cambiar la política asignada.

Particularidades en SMP

- Para realizar correctamente la planificación en un **entorno SMP** (**multiprocesador**), el kernel deberá tener en cuenta:
  - ➢ Se debe repartir equilibradamente la carga entre las distintas CPUs
  - ➢ Se debe tener en cuenta la afinidad de una tarea con una determinada CPU
  - ➢ El kernel debe ser capaz de migrar procesos de una CPU a otra (puede ser una operación costosa)
- Periódicamente una parte del kernel deberá comprobar que se da un **equilibrio** entre las cargas de trabajo de las distintas CPUs y si detecta que una tiene más procesos que otra, reequilibra pasando procesos de una CPU a otra.