

## Diseño de Sistemas Operativos. Septiembre de 2008.

### Ejercicio de procesos y memoria

---

Se pretende analizar la validez de una serie de trazas de ejecución en tres sistemas operativos diferentes que usan un algoritmo de planificación basado únicamente en la prioridad de cada proceso (no hay rodaja o, dicho de otra forma, ésta es infinita):

- Sistema **NN**: Núcleo no expulsivo con un algoritmo de planificación por prioridades no expulsivo.
- Sistema **NE**: Núcleo no expulsivo con un algoritmo de planificación por prioridades expulsivo.
- Sistema **EE**: Núcleo expulsivo con un algoritmo de planificación por prioridades expulsivo.

La notación utilizada para especificar las trazas es la siguiente:

- **P(U|S)**: Proceso **P** ejecuta en modo usuario|sistema.
- **[CC]**: Cambio de contexto.
- **[IXX]**: Inicio del tratamiento del evento **XX**, donde **XX** puede ser: una llamada al sistema (**LL**), un fallo de página (**FP**), una interrupción de reloj (**RL**), una interrupción del terminal (**TE**), una interrupción por fin de lectura en el disco (**LD**), una interrupción por fin de escritura en el disco (**ED**) o una interrupción software (**SW**).
- **[FXX]**: Fin del tratamiento del evento **XX**, donde **XX** toma los mismos valores que en el caso anterior.

Por cada una de las siguientes trazas, hay que determinar, en primer lugar, en cuál o cuáles de los tres sistemas (**NN**, **NE** y **EE**) es válida. En caso de no ser válida en ninguno, se debe explicar el motivo. Si es válida en uno o más sistemas, se debe especificar qué ocurre durante la ejecución de la traza planteando un ejemplo real que encaje en la misma e identificando los siguientes aspectos en el ejemplo planteado:

- El tipo de cada cambio de contexto, en caso de que los haya.
- En qué momentos se producen desbloques de procesos, si es que los hay.
- Qué hace cada llamada al sistema en el ejemplo planteado (ejemplos hipotéticos: *getpid*, lectura de tubería vacía,...).
- Qué características tiene cada fallo de página en el ejemplo planteado (con o sin reemplazo, fallo en página de región con o sin soporte,...).
- Cuando aparece la notación **[F??]**, debe explicar de qué evento podría tratarse.

a) P(U) [ILL] P(S) [CC] Q(U) ...

b) P(U) [IRL] P(S) [FRL] [ISW] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) ...

c) P(U) [IRL] P(S) [IFP] P(S) [FFP] P(S) [FRL] P(U) ...

d) P(U) [ILL] P(S) [IFP] P(S) [FFP] P(S) [FLL] P(U) ...

e) P(U) [ITE] P(S) [IRL] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) ...

f) P(U) [ILL] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILD] Q(S) [FLD] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [CC] Q(S) [FSW] Q(U) [ILD] Q(S) [FLD] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [FLL] P(U) ...

g) P(U) [ILL] P(S) [ISW] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILL] Q(S) [CC] P(S) [FSW] P(S) [FLL] P(U) ...

h) P(U) [IFP] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILL] Q(S) [IED] Q(S) [FED] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [FFP] P(U) ...

## Solución

a) P(U) [ILL] P(S) [CC] Q(U) ...

Se trata de una traza errónea puesto que en la misma se produce un cambio de contexto donde el proceso al que se le cede el control está en modo usuario. Los cambios de contexto se producen siempre entre dos procesos que están en modo sistema. Nótese que esto se cumple incluso aunque el segundo proceso (Q, en el ejemplo) no haya ejecutado nunca, puesto que cuando se crea un proceso, su contexto inicial se establece de manera que arranque en modo sistema.

b) P(U) [IRL] P(S) [FRL] [ISW] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) ...

Esta traza representa una situación en la que se produce una interrupción de reloj mientras un proceso está ejecutando en modo usuario, tal que esta interrupción provoca un cambio de contexto involuntario, que se difiere ejecutándose en el contexto de una interrupción software. Dado que se usa un algoritmo de planificación por prioridades, el cambio de contexto debe producirse por el desbloqueo de un proceso más prioritario (Q) dentro de la interrupción de reloj. Podría tratarse de un proceso bloqueado en una llamada al sistema “dormir” que se desbloquea al transcurrir el tiempo requerido. Por tanto, en ese caso, el evento [F??] correspondería al final de la llamada “dormir”.

Esta traza no podría darse en un sistema NN, ya que implica el uso de un algoritmo de prioridad expulsivo. En cambio, sí sería factible en los otros dos sistemas, incluso en el sistema NE, puesto que el cambio de contexto involuntario se activa estando el proceso en modo usuario, no requiriendo, por tanto, que el núcleo sea expulsivo.

c) P(U) [IRL] P(S) [IFP] P(S) [FFP] P(S) [FRL] P(U) ...

La traza planteada es errónea puesto que durante la misma se produce un fallo de página dentro del contexto de una rutina de tratamiento de interrupción, hecho que no es admisible bajo ninguna circunstancia.

d) P(U) [ILL] P(S) [IFP] P(S) [FFP] P(S) [FLL] P(U) ...

La traza propuesta representa una situación en la que se produce un fallo de página durante la ejecución de una llamada al sistema. Esta circunstancia ocurre habitualmente cuando la llamada recibe parámetros que corresponden a direcciones de memoria del mapa de usuario y debe acceder a las mismas para obtener o depositar información. En el momento en el que la llamada realice el acceso al mapa de usuario, puede producirse un fallo si la página no está residente. Como ejemplos de llamadas al sistema de UNIX que implican acceso de escritura al mapa de usuario, pueden considerarse las llamadas *times*, *stat* o *read*, mientras que ejemplos de llamadas con acceso de lectura al mapa de usuario, pueden ser *open*, *utime* o *write*.

En cuanto al fallo de página, puede observarse en la traza que se trata de un fallo que no genera ninguna operación de entrada/salida, por lo que debe ser un fallo sin reemplazo o tal que la página reemplazada no está modificada, y que no requiere leer la página del disco, ya sea porque se trate de una página de una región anónima que todavía no se ha modificado o porque la página se encuentre en la caché de páginas. Dado que no hay cambios de contexto, la traza es válida en los tres sistemas propuestos.

e) P(U) [ITE] P(S) [IRL] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) ...

Es una traza inválida puesto que incluye un cambio de contexto dentro del ámbito de una rutina de interrupción, lo que no es factible ya que dejaría inacabadas esa rutina de tratamiento (la del reloj), así como las que estuvieran anidadas (la del terminal, en el ejemplo).

f) P(U) [ILL] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILD] Q(S) [FLD] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [CC] Q(S) [FSW] Q(U) [ILD] Q(S) [FLD] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [FLL] P(U) ...

Analizando la traza se puede observar que el proceso P invoca una llamada al sistema que requiere dos operaciones de lectura de disco, que conllevan dos cambios de contexto voluntarios, que corresponden al primer y tercer cambio de contexto en la traza. Podría tratarse de una operación de lectura de un fichero que conlleva acceder a dos bloques del disco. El proceso Q, que es de menor prioridad según muestra la traza, está ejecutando en modo usuario siempre que P está bloqueado.

Después de programar la primera operación de lectura de disco, P cede el control a Q en un cambio de contexto voluntario, y este proceso termina el tratamiento del evento donde se quedó la última vez que ejecutó ([F??]), que podría ser una llamada al sistema ([FLL]) o un fallo de página ([FFP]), si dejó el procesador en un cambio de contexto voluntario, o una interrupción software, en caso de tratarse de un cambio de contexto involuntario ([FSW]), pasando a modo usuario.

Cuando se completa la operación de lectura, se produce la interrupción correspondiente que desbloquea al proceso P. Al tratarse de un proceso con mayor prioridad, se produce un cambio de contexto involuntario diferido en el contexto de una interrupción software.

P continúa ejecutando en modo sistema la llamada correspondiente que requiere un nuevo acceso al disco, produciéndose un nuevo cambio de contexto voluntario a Q. Nótese que durante este turno de ejecución, P se ha mantenido en modo sistema.

Cuando llega la segunda interrupción del disco se vuelve a producir un cambio de contexto involuntario de Q a P, que completa la llamada al sistema y vuelve a modo usuario.

Esta traza no puede producirse en un sistema NN, ya que en el transcurso de la misma hay cambios de contexto involuntarios. Sin embargo, es factible en sistemas NE, puesto que los cambios de contexto involuntarios se producen cuando el proceso afectado ejecuta en modo usuario. Evidentemente, la traza es válida en un sistema EE.

g) P(U) [ILL] P(S) [ISW] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILL] Q(S) [CC] P(S) [FSW] P(S) [FLL] P(U) ...

En esta traza se produce un cambio de contexto involuntario durante una llamada al sistema, lo que implica que dicha llamada provoca el desbloqueo de un proceso más prioritario. Durante el desbloqueo, se detecta que el proceso despertado es más prioritario y se activa una interrupción software para realizar el cambio de contexto involuntario. Podría tratarse, por ejemplo, de una escritura en una tubería vacía, tal que el proceso Q, de mayor prioridad, está bloqueado en una lectura de la misma y se desbloquea cuando P escribe datos en la misma. Cuando Q prosigue su ejecución, completa la llamada de lectura de la tubería ([F??] corresponde, por tanto, a [FLL]) y retorna a modo usuario.

Más adelante, Q realiza una llamada al sistema bloqueante (por ejemplo, una segunda lectura de la tubería que vuelve a estar vacía) y cede el control a P en un cambio de contexto voluntario. El proceso P retorna de la interrupción software donde se había quedado detenido, completando la llamada de escritura en la tubería y retornando a modo usuario.

Esta traza no puede producirse en un sistema NN, ya que en el transcurso de la misma hay cambios de contexto involuntarios. Tampoco es factible en sistemas NE, dado que se produce un cambio de contexto involuntario durante una llamada al sistema, lo que sólo es posible en núcleos expulsivos (EE). Si se hubiera tratado de un núcleo no expulsivo (NE), la traza hubiera sido la siguiente:

- P(U) [ILL] P(S) [FLL] [ISW] P(S) [CC] Q(S) [FLL] Q(U) [ILL] Q(S) [CC] P(S) [FSW] P(U) ...

h) P(U) [IFP] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILL] Q(S) [IED] Q(S) [FED] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [FFP] P(U) ...

La traza corresponde al tratamiento de un fallo de página del proceso P que se produce mientras dicho proceso está ejecutando en modo usuario. En la misma se puede observar que la resolución del fallo de página sólo lleva a cabo una operación de escritura en disco, con su consiguiente cambio de contexto voluntario. Se trata, por tanto, de un fallo de página que provoca el reemplazo de una página modificada, pero que no requiere leer la página del disco, ya sea porque se trate de una página de una región anónima que todavía no se ha modificado o porque la página se encuentre en la caché de páginas.

Después de programar la operación de escritura en disco, P cede el control a Q en un cambio de contexto voluntario, y este proceso termina el tratamiento del evento donde se quedó la última vez que ejecutó ([F??]), que podría ser una llamada al sistema ([FLL]) o un fallo de página ([FFP]), si dejó el procesador en un cambio de contexto voluntario, o una interrupción software, en caso de tratarse de un cambio de contexto involuntario ([FSW]), pasando a modo usuario.

El proceso Q realiza una llamada al sistema cualquiera (pongamos como ejemplo *getpid*) y durante la misma se produce la interrupción del disco que indica el final de la operación de escritura, que desbloquea al proceso P. Al tratarse de un proceso de mayor prioridad, como se puede apreciar en la traza, se activa una interrupción software y se produce un cambio de contexto involuntario diferido a P en el ámbito de la rutina de tratamiento de la interrupción software, dejando interrumpida la llamada al sistema de Q. P completa el tratamiento del fallo de página y retorna a modo usuario.

Esta traza no puede producirse en un sistema NN, ya que en el transcurso de la misma hay cambios de contexto involuntarios. Tampoco es factible en sistemas NE, dado que se produce un cambio de contexto involuntario durante una llamada al sistema, lo que sólo es posible en núcleos expulsivos (EE). Si se hubiera tratado de un núcleo no expulsivo (NE), la traza hubiera sido la siguiente:

- P(U) [IFP] P(S) [CC] Q(S) [F??] Q(U) [ILL] Q(S) [IED] Q(S) [FED] Q(S) [FLL] [ISW] Q(S) [CC] P(S) [FFP] P(U) ...