Lección 13: Introducción a los sistemas de tiempo real

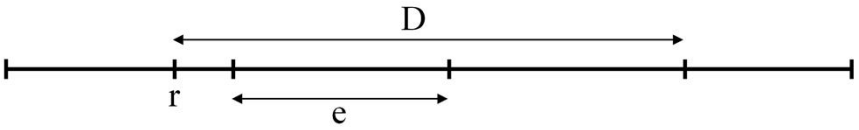
- Introducción
- Conceptos básicos
- Sistemas síncronos
- Sistemas asíncronos
- Sistemas dirigidos por interrupciones
- Algoritmos de *scheduling*

Introducción

- **Sistema reactivo**: bucle que recibe entradas de componentes hard y reacciona en consecuencia enviado salidas a componentes
- **Sistema tiempo real**: sistema reactivo con restricciones estrictas en los tiempos de respuesta
  - desde milisegundos hasta varios segundos
  - una especie de cliente-servidor
- Idea central: no se trata de hacer las cosas deprisa, sino cada cosa a tiempo

Conceptos básicos

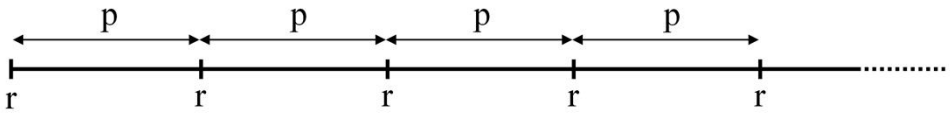
- **tarea**: proceso de un sistema TR
  - su especificación incluye requisitos temporales



  - **r**: ***release time***
  - **e**: ***execution time***
  - **D**: ***deadline*** (el máximo ***response time*** permitido)
- una tarea puede tener un **hard** o **soft deadline**

Conceptos básicos

- **tarea periódica**: se lanza cada cierto tiempo prefijado
  - el intervalo entre los sucesivos *release times* se llama **periodo**



- existen también tareas
  - esporádicas (*hard deadlines*)
  - aperiódicas (*soft deadlines*)

Sistemas síncronos

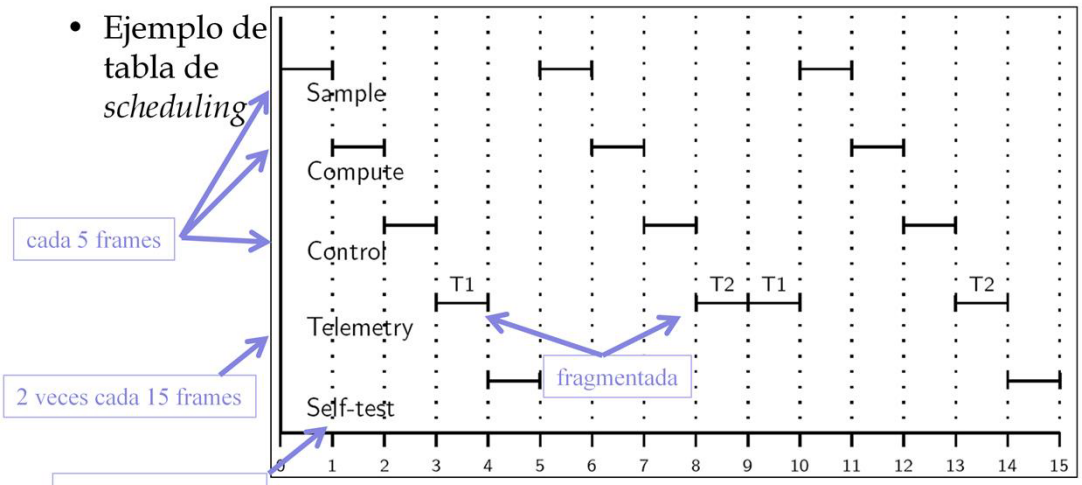
- un reloj síncrono divide el tiempo de CPU en ***frames***
- el sistema se divide en tareas que duren menos que un frame
- se construye una tabla de *scheduling*
  - asigna tareas con *frames*
  - cada señal del reloj debe iniciar la ejecución de la tarea correspondiente
  - exige que tareas largas tengan que dividirse en tareas que quepan en un *frame*

Sistemas síncronos

- Supongamos un sistema con las siguientes tareas
- Sample, Compute, Control
  - requieren 1 frame, una vez cada 5 frames
- Telemetry
  - requiere 2 frames, 2 veces cada 15 frames
- Self-test
  - requiere 1 frame, 1 vez cada 10 frames

Sistemas síncronos

- Ejemplo de tabla de *scheduling*



M. Ben-Ari. Principles of Concurrent and Distributed Programming, Second edition © M. Ben-Ari 2006

Sistemas síncronos

```
Process synchronous_scheduler
   taskAddressType array[0..#frames] tasks := [add_1,...]
   int currentFrame := 0

   loop
      await beginning of frame
      invoke tasks[currentFrame]
      increment currentFrame modulo #frames
```

señal de reloj

0	1	2	3	4
Sample	Compute	Control	Telemetry 1	Self-test
5	6	7	8	9
Sample	Compute	Control	Telemetry 2	Telemetry 1
10	11	12	13	14
Sample	Compute	Control	Telemetry 2	Self-test

Sistemas síncronos

- El algoritmo es sencillo y eficiente, pero
  - es complicado dividir las tareas para que encajen en *frames*
    - subtareas requieren cambios de contexto
    - generan *overhead*
  - además, un cambio del código de una tarea puede requerir recalcular la tabla de *scheduling*
  - puede que haya ratos malperdidos de uso del procesador
    - el *frame* requiere compromiso entre *deadlines* y caso peor
- Y hay que tener presente los problemas de sincronización
  - ya que puede haber tareas divididas

Sistemas asíncronos

- Sistemas en que las tareas no se han de ejecutar en *frames*
  - las tareas se ejecutan hasta que acaban, una detrás de otra

```
Process asynchronous_scheduler
   queue of taskAddressType readyQueue
   taskAddressType currentTask

   loop
      await readyQueue is not empty
      currentTask := head of readyQueue
      invoke currentTask
```

- eficiente
  - sencillo
  - procesador siempre ocupado
- difícil cumplir plazos
  - poco útil para TR

Sistemas asíncronos

- Se aplica un *scheduling* basado en
  - prioridades
  - ***preemption*** (apropiación)
  - *scheduling* events
    - llegada de nueva tarea a la cola
    - señal de reloj
    - timeslice consumido
    - …

Sistemas asíncronos

```
Process preemptive_scheduler
   queue of taskAddressType readyQueue
   taskAddressType currentTask

   loop
      await a scheduling event
      if currentTask.priority < highest priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := highest priority task from readyQueue
         invoke currentTask
      else if timeslice is past AND a task with same priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := a task with the same priority from readyQueue
         invoke currentTask
      else
         resume currentTask
```

Sistemas asíncronos

```
Process preemptive_scheduler
   queue of taskAddressType readyQueue
   taskAddressType currentTask

   loop
      await a scheduling event
      if currentTask.priority < highest priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := highest priority task from readyQueue
         invoke currentTask
      else if timeslice is past AND a task with same priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := a task with the same priority from readyQueue
         invoke currentTask
      else
         resume currentTask
```

Sistemas asíncronos

```
Process preemptive_scheduler
   queue of taskAddressType readyQueue
   taskAddressType currentTask

   loop
      await a scheduling event
      if currentTask.priority < highest priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := highest priority task from readyQueue
         invoke currentTask
      else if timeslice is past AND a task with same priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := a task with the same priority from readyQueue
         invoke currentTask
      else
         resume currentTask
```

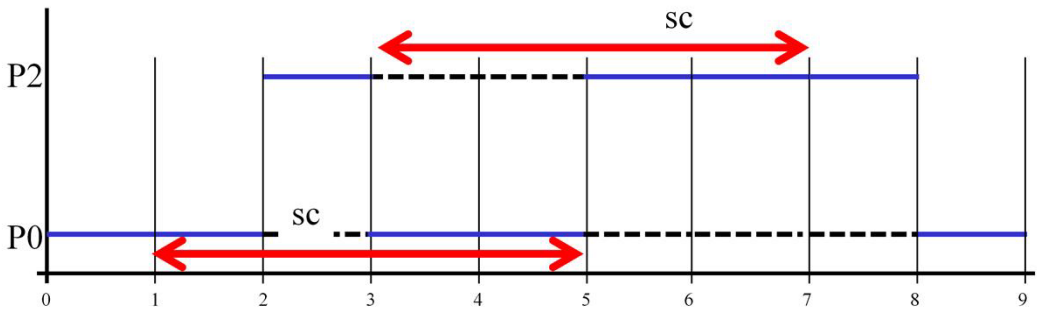
Sistemas asíncronos

```
Process preemptive_scheduler
   queue of taskAddressType readyQueue
   taskAddressType currentTask

   loop
      await a scheduling event
      if currentTask.priority < highest priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := highest priority task from readyQueue
         invoke currentTask
      else if timeslice is past AND a task with same priority in readyQueue
         save state of currentTask; insert currentTask into readyQueue
         currentTask := a task with the same priority from readyQueue
         invoke currentTask
      else
         resume currentTask
```

Sistemas asíncronos

- La interacción entre sincronización y *preemptive scheduling* basado en prioridades puede generar "inversión de prioridad"
  - procesos de menor prioridad "se cuelan" por la espera en sincronización

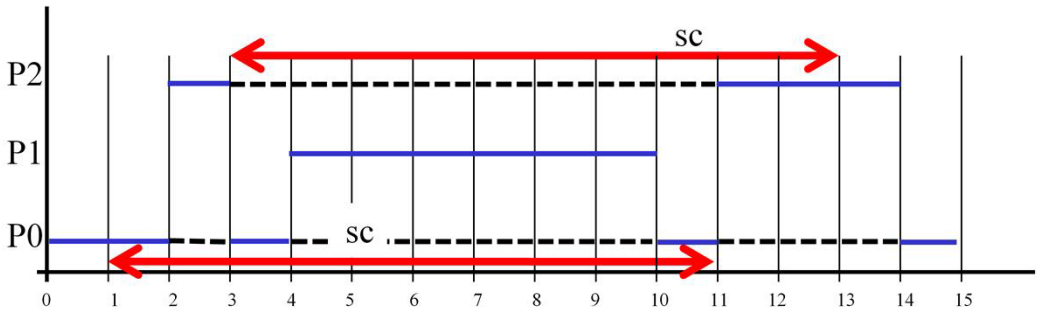


Sistemas asíncronos

- Pero este comportamiento es normal
  - cuando una tarea entra en una SC, ninguna otra puede actuar hasta que salga
    - para eso es una sección crítica
- Por eso
  - las secciones críticas deben ser tan cortas como se pueda

Sistemas asíncronos

- La inversión se produce cuando aparecen otras en discordia



- Una posible solución: la herencia de prioridad

Herencia de prioridad: cuando una tarea de alta prioridad (P2 en este caso) se tiene que bloquear por esperar a una SC que ocupa una tarea de menor prioridad (P0 en este caso) la de menor prioridad (P0) hereda la prioridad de la que se bloquea (P2), por lo que P1 ya no podrá "colarse"

Sistemas dirigidos por interrupciones

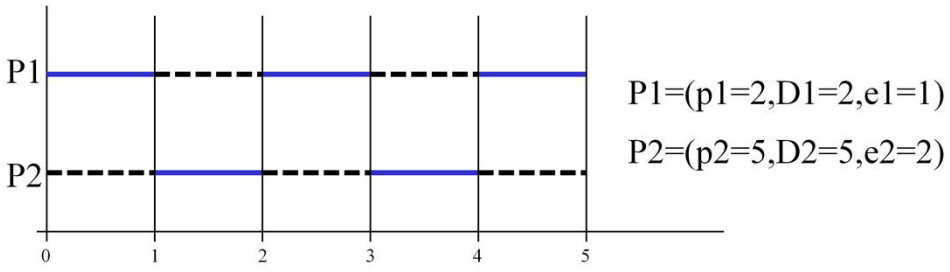
- **Interrupción**: invocación de una tarea por al *hardware*
  - *interrupt handler*
  - organización típica para sistemas empotrados
  - se puede ver el *handler* como una tarea con una prioridad mayor que cualquier tarea normal
    - no se interrumpe su ejecución: secciones críticas
  - el *hard* se puede programar para **enmascarar** interrupciones
    - alternativamente, dar prioridad entre interrupciones

Sistemas dirigidos por interrupciones

- Pero los *handlers* tienen que sincronizarse y comunicarse con el resto de tareas
  - mecanismos habituales como semáforos o monitores pueden ser muy "caros" o requerir demasiados recursos
  - uso de esquemas productor-consumidor no bloqueantes
    - ignorar datos recibidos cuando buffer lleno
    - sobreescritura de datos

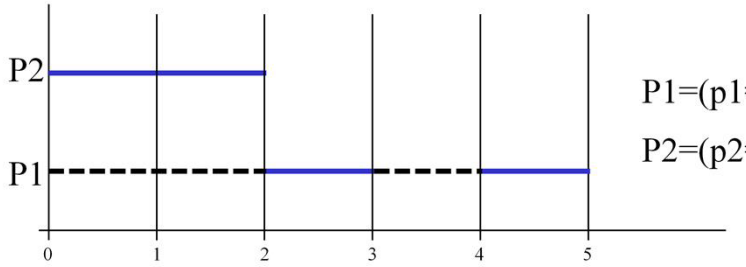
Algoritmos de *scheduling*

- Objetivo: encontrar la manera de asignar prioridades de forma que todas las tareas cumplan sus *deadlines*
  - no todas las asignaciones son viables
- Ejemplo 1: una asignación viable



Algoritmos de *scheduling*

- Ejemplo 2: una asignación no viable



P1=(p1=2,D1=2,e1=1)

P2=(p2=5,D2=5,e2=2)

Algoritmos de *scheduling*

- *Scheduling* mediante "rate monotonic algorithm" (RM)
  - asocia prioridades fijas en orden inverso al periodo requerido por la tarea
    - no considera la duración
  - si existe una asignación viable, el algoritmo la encuentra, bajo algunas restricciones
    - no recursos compartidos (no sincronización)

Algoritmos de *scheduling*

- *Scheduling* mediante "earliest deadline first algorithm" (EDF)
  - cada vez que sucede un evento de *scheduling*, se da prioridad máxima a la tarea con el *deadline* más próximo
  - si existe una asignación viable, el algoritmo encuentra también una
  - no siempre aplicable
    - interrupciones pueden tener prioridades estáticas
  - problemas de sobrecarga
    - prioridad dinámica, que requiere cálculos cada vez que hay un evento de *scheduling*