UNIVERSIDAD
DE GRANADA

Sistemas Concurrentes y Distribuidos: Práctica 4. Implementación de Sistemas de Tiempo Real.

Carlos Ureña / Jose M. Mantas / Pedro Villar

2021-22

Grado en Ingeniería Informática / Grado en Ingeniería Informática y Matemáticas.
Dpt. Lenguajes y Sistemas Informáticos
ETSI Informática y de Telecomunicación
Universidad de Granada

Práctica 4. Implementación de Sistemas de Tiempo Real.
Índice.

Objetivos

Los objetivos de esta práctica son:

- Conocer las características de C++11 que ayudan a la programación de sistemas de tiempo real.
- Aprender a implementar en C++11 un sistema de restricciones temporales usando planificación estática *offline* (ejecutivo cíclico)

En este documento, primero se hace una breve introducción a los relojes en C++11, las duraciones y los instantes de tiempo. Después veremos como se puede implementar un ejecutivo cíclico sencillo, y finalmente se propone implementar uno al alumno.

Sección 1.
Relojes, instantes y duraciones..

Subsección 1.1. Relojes.

Usaremos las características de C++11 para poder hacer implementaciones sencillas y portables a diferentes SS.OO. Las características son:

- Varias clases que representan relojes, incluyendo el reloj del sistema (no monotónico) y relojes monotónicos y/o de alta precisión.
- Tipos de datos para instantes de tiempo absolutos y para duraciones de tiempo. Una duración es la diferencia entre dos instantes de tiempo absolutos.
- Posibilidad de dejar una hebra bloqueada durante un intervalo de tiempo o bien hasta un instante de tiempo.

Atributos de los relojes

Un reloj es una abstracción que usamos para medir el tiempo real transcurrido desde un determinado instante de inicio. Los relojes en C++11 son clases portables, que constituyen abstracciones sobre los relojes de bajo nivel proporcionados por el SS.OO subyacente, que funcionan produciendo *ticks* a intervalos regulares de tiempo. Los relojes C++11 se caracterizan por estos atributos:

- **Período** (precisión): mínimo intervalo de tiempo que es capaz de medir, o equivalentemente, intervalo de tiempo entre dos *ticks* consecutivos del reloj.
- **Época**: instante de inicio absoluto del reloj, es decir, el instante en el que el reloj empezó a contar ticks. Los tiempos proporcionados por el reloj están referidos al instante de inicio.
- **Monotonicidad**: un reloj es **monotónico** (o **sostenido**) cuando podemos asegurar que una lectura posterior a otra siempre proporciona un tiempo mayor al de la primera.

Relojes concretos ofrecidos en C++11

Los tres relojes existentes son estas tres clases C++ (en el *namespace* `std::chrono`)

- `system_clock`: reloj del sistema, no es monotónico (ya que puede ser atrasado), su época es conocida para el SS.OO, y normalmente estándar (suele ser el 1 de enero de 1970 a las 0 horas UTC)). Por tanto, sus medidas se pueden interpretar como fechas y horas concretas.
- `steady_clock`: reloj monotónico (se garantiza que nunca atrasa). Su época puede ser cualquier instante previo al inicio del proceso.
- `high_precision_clock`: es el reloj con la máxima precisión del sistema, puede ser equivalente a cualquiera de los dos anteriores o a otro. Su época puede ser cualquiera.

El programa C++ `relojes.cpp` muestra los tres atributos de cada uno de los tres relojes.

Características de los relojes C++11 (mac OS)

Probamos en mac OS High Sierra (con clang++), con este resultado:

```
-------------------------------------------------
Características del reloj: system_clock
-------------------------------------------------
Período (precisión)                = 1000 nanosegundos.
Tiempo desde el inicio de la época = 420091 horas.
Es un reloj monotónico             = no
-------------------------------------------------
Características del reloj: steady_clock
-------------------------------------------------
Período (precisión)                = 1 nanosegundos.
Tiempo desde el inicio de la época = 70.7731 horas.
Es un reloj monotónico             = sí
-------------------------------------------------
Características del reloj: high_resolution_clock
-------------------------------------------------
Período (precisión)                = 1 nanosegundos.
Tiempo desde el inicio de la época = 70.7731 horas.
Es un reloj monotónico             = sí
```

Vemos que el reloj de alta precisión coincide con el monotónico.

Carácterísticas de los relojes (Ubuntu 17 64 bits)

En Ubuntu 17 de 64 bits (con clang++ o g++), obtenemos:

```
-------------------------------------------------
Características del reloj: system_clock
-------------------------------------------------
Período (precisión)                = 1 nanosegundos.
Tiempo desde el inicio de la época = 420090 horas.
Es un reloj monotónico             = no
-------------------------------------------------
Características del reloj: steady_clock
-------------------------------------------------
Período (precisión)                = 1 nanosegundos.
Tiempo desde el inicio de la época = 272.649 horas.
Es un reloj monotónico             = sí
-------------------------------------------------
Características del reloj: high_resolution_clock
-------------------------------------------------
Período (precisión)                = 1 nanosegundos.
Tiempo desde el inicio de la época = 420090 horas.
Es un reloj monotónico             = no
```

Ahora, el reloj de alta precisión coincide con el del sistema.

Selección de un reloj

Para implementar el ejecutivo cíclico, usaremos el reloj monotónico (`steady_clock`), ya que:

- Su resolución es más que suficiente para nuestro propósito en los SS.OO. en los que lo hemos probado.
- No podemos usar el reloj del sistema, al no ser monotónico: habría errores al cambiar la hora del sistema.
- En algunos SS.OO., el reloj de alta precisión puede no ser monotónico (es el caso de mac OS), si lo usamos, el programa podría no ser portable.

En C++11 los valores de duraciones e instantes tienen siempre asociado un reloj, ya que solo podemos operar dos de esos valores si su época y precisión coinciden. Por tanto, usaremos instantes y duraciones relativos a `steady_clock` en todos los casos.

Subsección 1.2.
Instantes y duraciones.

Tipos para instantes de tiempo

En C++11, un instante de tiempo absoluto se representa como la duración del intervalo de tiempo transcurrido desde la época de un reloj (es un punto en la línea de tiempo del reloj)

- El tipo de datos C++11 se llama **time_point**<*reloj*> (usaremos concretamente el tipo **time_point<steady_clock>**).
- Para medir el tiempo actual de un reloj podemos usar el método **now** de la clase del reloj, devuelve el instante de tiempo del momento de la llamada, por ejemplo:

```
// declara la variable ahora y la inicializa con el instante actual
// (requiere using namespace std::chrono)
time_point<steady_clock> ahora = steady_clock::now() ;
```

- Los instantes de tiempo relativos a un mismo reloj son comparables entre sí (podemos saber cual es anterior y cual es posterior con los operadores de comparación de C++).

Tipos para duraciones

Una **duración** es una medida del tiempo que transcurre entre dos instantes.

- Una variable de un tipo duración contiene un valor numérico, entero o real, interpretable en una unidad de tiempo determinada.
- El nombre de un tipo de datos para las duraciones es de la forma **`duration`**<*Rep*`,`*Per*`>`, donde:
  - *Rep* es el tipo de datos usado para representar la duración, puede ser un tipo flotante (**`float`** o **`double`**), o bien un tipo entero (**`int`**,**`unsigned`**,**`long`**, etc...)
  - *Per* es la duración de una unidad de tiempo, expresada como una fracción de la duración de un segundo (un valor racional p/q escrito de la forma **`ratio`**<p`,`q`>`, donde p y q son enteros no nulos, tales que p/q puede ser mayor, menor o igual que la unidad).

Tipos para duraciones (2)

C++11 incluye varios tipos ya predefinidos para duraciones, y podemos definir otros.

- Los tipos predefinidos se denominan **`nanoseconds`**, **`microseconds`**, **`milliseconds`**, **`seconds`**, **`minutes`** y **`hours`** (todos ellos representados con enteros). Usaremos **`milliseconds`** en esta práctica.
- Es posible definir tipos nuevos, por ejemplo, es útil definir un tipo llamado **`milliseconds_f`** para duraciones en milisegundos, pero expresadas en coma flotante (con parte fraccionaria), lo hacemos con:

```
typedef duration<float,ratio<1,1000>> milliseconds_f ;
```

- El método **`count`** devuelve un valor de tipo *Rep* (**`int`**,**`float`**, etc....) con la medida de una duración **d** (se debe usar para imprimir una duración, o por ejemplo para compararla con un valor).

Operaciones con duraciones e instantes

Un instante menos otro instante produce una duración (el primero debe ser posterior al segundo, y ambos deben de corresponder al mismo reloj). La duración resultante es de tipo *reloj*`::duration`, donde *reloj* es el reloj los instantes. En este ejemplo se mide lo que tarda una secuencia de instrucciones cualquiera:

```
time_point<steady_clock> instante1 = steady_clock::now() ;
//..... sentencias
time_point<steady_clock> instante2 = steady_clock::now() ;
// obtenemos el tiempo transcurrido entre instante1 e instante2
// (es un float, con unidades de milisegundos y con parte fraccionaria)
float tiempo_ms_f = milliseconds_f( instante2 - instante1 ).count();
cout << "Duración == " << tiempo_ms_f <<" milisegundos." << endl;
```

Un instante más una duración produce un instante posterior al primero (relativo al mismo reloj). En este ejemplo se calcula un instante en el futuro (`instf`), 200 milisegundos después:

```
time_point<steady_clock> instf = steady_clock::now() + milliseconds(200);
```

Subsección 1.3.
Esperas bloqueadas.

Las funciones `sleep_for` y `sleep_until`

La función **`sleep_for`** (que ya hemos usado) deja a la hebra que la llama bloqueada un intervalo de tiempo cuya duración mínima la especificamos como parámetro. Por ejemplo:

```
sleep_for( milliseconds(200) ); // duerme durante al menos 200 milisegundos
```

La función **`sleep_until`** deja a la hebra que la llama bloqueada hasta un instante no anterior al instante final que pasamos como parámetro:

```
time_point<steady_clock> instante_futuro = ..... ; // calcular un instante
sleep_until( instante_futuro ) ; // duerme hasta después de instante_futuro
```

Ambas funciones están en el namespace **`std::this_thread`**, es decir, debemos de poner el prefijo **`std::this_thread::`** o bien hacer **`using namespace std::this_thread;`**.

Retraso de `sleep_for` y `sleep_until`

Usaremos estas funciones para la implementación de la simulación de un ejecutivo cíclico, pero hay que tener en cuenta que:

- Nuestras pruebas se hacen en sistemas operativos de propósito general (Linux, macOS, Windows), en los cuales el proceso que llama a estas funciones convive con otros muchos procesos, compartiendo el tiempo de las CPUs disponibles.
- Como consecuencia, cuando acaba el tiempo especificado para **`sleep_for`** o **`sleep_until`**, la hebra no tiene garantizado que pueda reanudar su ejecución de forma inmediata en una CPU.
- Así que el tiempo que realmente tardan estas funciones podrá ser ligeramente superior al valor exacto especificado.

En el archivo `tiempos.cpp` usamos **`now`** para medir los tiempos de **`sleep_for`** y **`sleep_until`**, en todos los casos se observa un retraso de entre 0 y 5 milisegundos aproximadamente.

Sección 2.
Implementación de un ejecutivo cíclico..

Subsección 2.1.
Ejemplo de implementación.

Sistema y planificación de ejemplo

En primer lugar consideramos una implementación de referencia de un ejecutivo cíclico, que ilustra el esquema a seguir. Consideramos el siguiente conjunto de tareas y restricciones temporales (tiempos en unidades de milisegundos)

Tarea	T	C
A	250	100
B	250	80
C	500	50
D	500	40
E	1000	20

- Se asume que $D_i = T_i$
- El ciclo principal dura $T_M = 1000$ ms, ya que

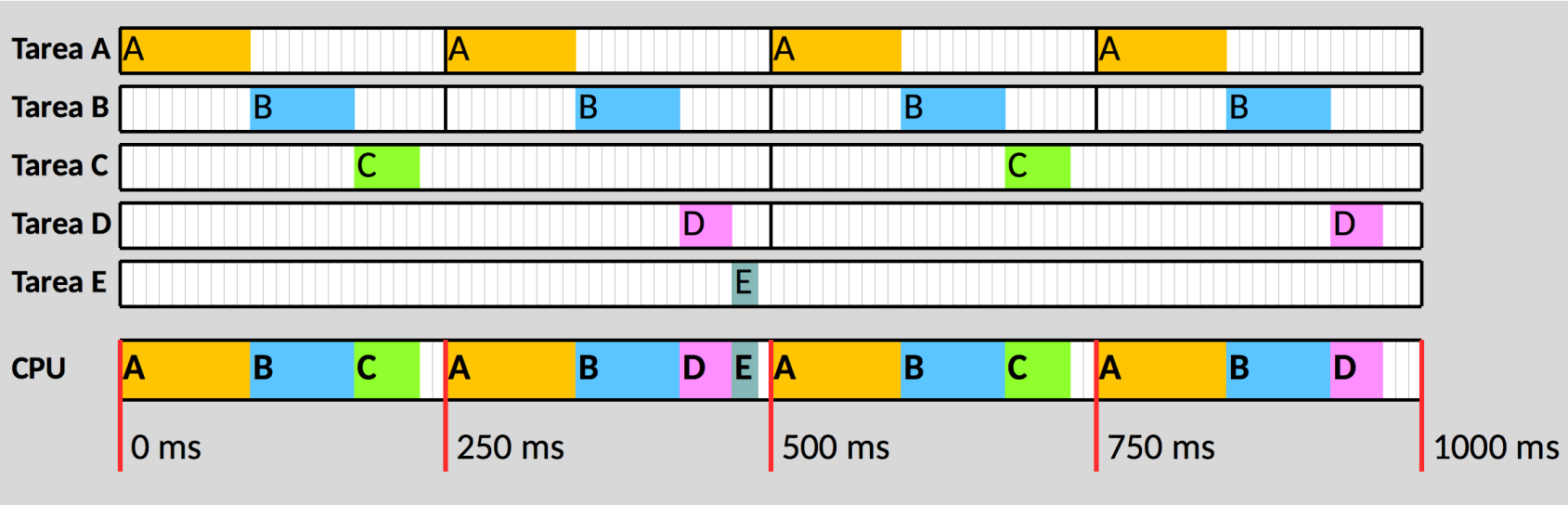
$$T_M = \text{mcm}(250, 250, 500, 500, 1000) = 1000$$

Planificación del sistema

Diseñamos una planificación manualmente, de forma que

- Cada tarea se ejecuta una única vez completamente dentro de cada repetición de su período.
- Si una tarea se inicia dentro de una iteración del ciclo secundario, acaba antes del final de dicha iteración.

Una posible planificación con $T_S = 250$ ms para este sistema es esta:



Implementacion del ejemplo

Esquema de una posible implementación (en `ejecutivo1.cpp`)

```
int main( int argc, char *argv[] )
{
  // Ts es la duración del ciclo secundario (la damos en milisegundos)
  const milliseconds Ts( 250 );
  // ini_sec es el instante inicial de cada iteración del ciclo secundario
  time_point<steady_clock> ini_sec = steady_clock::now() ;

  while( true ) // ciclo principal
  { for( int i = 1 ; i <= 4 ; i++ ) // ciclo secundario
    { // ejecutamos las tareas correspondientes a esta iteración del c.s.
      switch( i )
      { case 1 : TareaA(); TareaB(); TareaC();           break ;
        case 2 : TareaA(); TareaB(); TareaD(); TareaE(); break ;
        case 3 : TareaA(); TareaB(); TareaC();           break ;
        case 4 : TareaA(); TareaB(); TareaD();           break ;
      }
      ini_sec += Ts ;      // calcular instante inicial para siguiente iteración
      sleep_until( ini_sec ); // esperamos hasta el instante inicial
    }
  }
}
```

Subsección 2.2. Actividades.

Actividad 1: nueva funcionalidad

En la simulación (en `ejecutivo1.cpp`) cada tarea es una simple espera bloqueada de duración igual a su tiempo de cómputo. También hay una espera al final del ciclo secundario.

- Sabemos que, en la práctica, en una ejecución el tiempo de duración actual de cada una de esas esperas puede ser algo mayor que el argumento de **`sleep_for`**.
- Copia el código en `ejecutivo1-compr.cpp` y ahí extiéndelo de forma que, cada vez que acaba un ciclo secundario, se informe del retraso del instante final actual respecto al instante final esperado.
- La comprobación se hará al final del bucle, inmediatamente después de **`sleep_until`**.

Actividad 2: nuevo ejemplo

Diseña una planificación para las tareas y restricciones que se indican en esta tabla (tiempos en milisegundos). Copia `ejecutivo1-compr.cpp` en `ejecutivo2.cpp` y en este último implementa la planificación.

Tarea	T	C
A	500	100
B	500	150
C	1000	200
D	2000	240

Responde en tu portafolios a estas cuestiones:

- ¿ cual es el mínimo tiempo de espera que queda al final de las iteraciones del ciclo secundario con tu solución ?
- ¿ sería planificable si la tarea D tuviese un tiempo cómputo de 250 ms ?

Fin de la presentación.