

Sistemas Concurrentes y Distribuidos.

Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

Dpt. Lenguajes y Sistemas Informáticos
ETSI Informática y de Telecomunicación
Universidad de Granada

Curso 15-16

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

Índice

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

- 1 Concepto e Implementaciones de Hebras
- 2 Hebras POSIX
- 3 Introducción a los Semáforos
- 4 Sincronización de hebras con semáforos POSIX

Introducción

Este seminario tiene cuatro partes, inicialmente se repasa el concepto de hebra, a continuación se da una breve introducción a la interfaz (posix) de las librerías de hebras disponibles en linux. A continuación, se estudia el mecanismo de los semáforos como herramienta para solucionar problemas de sincronización y, por último, se hace una introducción a una librería para utilizar semáforos con hebras posix.

- ▶ El objetivo es conocer algunas llamadas básicas de dicho interfaz para el desarrollo de ejemplos sencillos de sincronización con hebras usando semáforos (práctica 1)
- ▶ Las partes relacionadas con hebras posix están basadas en el texto disponible en esta web:
<https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/>

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 3/63.

Sistemas Concurrentes y Distribuidos, curso 2015-16.
Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos

Sección 1

Concepto e Implementaciones de Hebras

Procesos: estructura

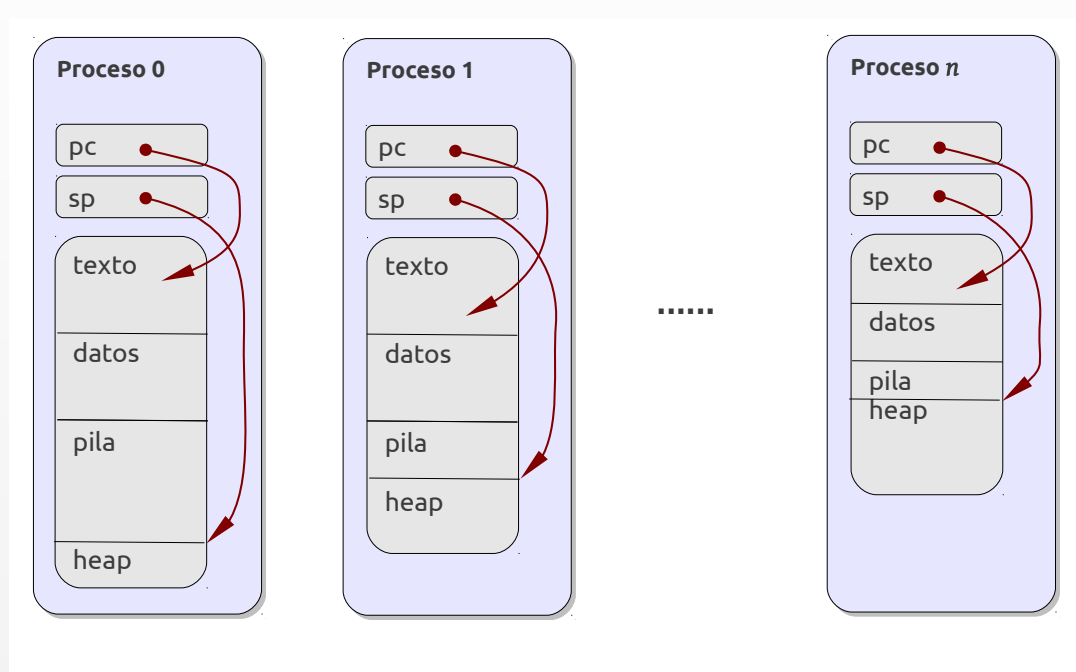
En un sistema operativo pueden existir muchos procesos ejecutándose concurrentemente, cada proceso corresponde a un programa en ejecución y tiene su propio flujo de control.

- Cada proceso ocupa una zona de memoria con (al menos) estas partes:
 - **texto**: zona con la secuencia de instrucciones que se están ejecutando.
 - **datos**: espacio (de tamaño fijo) ocupado por variables globales.
 - **pila**: espacio (de tamaño cambiante) ocupado por variables locales.
 - **mem. dinámica (*heap*)**: espacio ocupado por variables dinámicas.
- Cada proceso tiene asociados (entre otros) estos datos:
 - **contador de programa (pc)**: dir. en memoria (zona de texto) de la siguiente instrucción a ejecutar.
 - **puntero de pila (sp)**: dir. en memoria (zona de pila) de la última posición ocupada por la pila.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 5/63.

Diagrama de la estructura de los procesos

Podemos visualizarla (simplificadamente) como sigue:



SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 6/63.

Ejemplo de un proceso

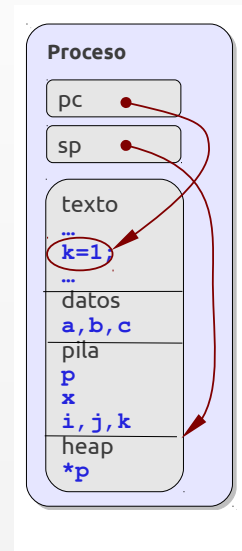
En el siguiente programa escrito en C/C++, el estado del proceso (durante la ejecución de **k=1;**) es el que se ve a la derecha:

```
int a,b,c ; // variables globales

void subprograma1()
{
    int i,j,k ; // vars. locales (1)
    k = 1 ;
}

void subprograma2()
{
    float x ; // vars. locales (2)
    subprograma1() ;
}

int main()
{
    char * p = new char ; // "p" local
    *p = 'a'; // "*p" en el heap
    subprograma2() ;
}
```



SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 7/63.

Procesos y hebras

La gestión de varios procesos no independientes (cooperantes) es muy útil pero consume una cantidad apreciable de recursos del SO:

- ▶ Tiempo de procesamiento para repartir la CPU entre ellos
- ▶ Memoria con datos del SO relativos a cada proceso
- ▶ Tiempo y memoria para comunicaciones entre esos procesos

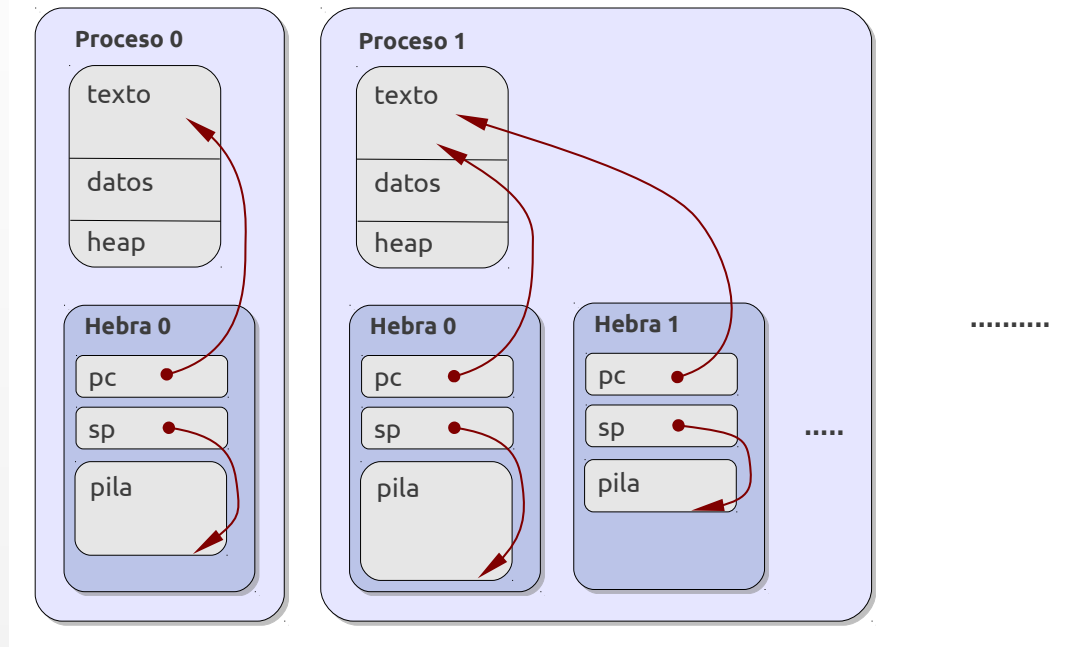
para mayor eficiencia en esta situación se diseñó el concepto de **hebra**:

- ▶ Un proceso puede contener una o varias hebras.
- ▶ Una hebra es un flujo de control en el texto (común) del proceso al que pertenecen.
- ▶ Cada hebra tiene su propia pila (vars. locales), vacía al inicio.
- ▶ Las hebras de un proceso comparten la zona de datos (vars. globales), y el *heap*.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 8/63.

Diagrama de la estructura de procesos y hebras

Podríamos visualizarlos (simplificadamente) como sigue:



SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 9/63.

Inicio y finalización de hebras

Al inicio de un programa, existe una única hebra (que ejecuta la función **main** en C/C++). Durante la ejecución del programa:

- ▶ Una hebra *A* en ejecución puede crear otra hebra *B* en el mismo proceso de *A*.
- ▶ Para ello, *A* designa un subprograma *f* (una función C/C++) del texto del proceso, y después continúa su ejecución. La hebra *B*:
 - ▶ ejecuta el subprograma *f* concurrentemente con el resto de hebras.
 - ▶ termina normalmente cuando finaliza de ejecutar dicho subprograma
- ▶ Una hebra puede finalizar en cualquier momento (antes de terminar el subprograma con que se inició).
- ▶ Una hebra puede finalizar otra hebra en ejecución *B*, sin esperar que termine
- ▶ Una hebra puede esperar a que cualquier otra hebra en ejecución finalice.

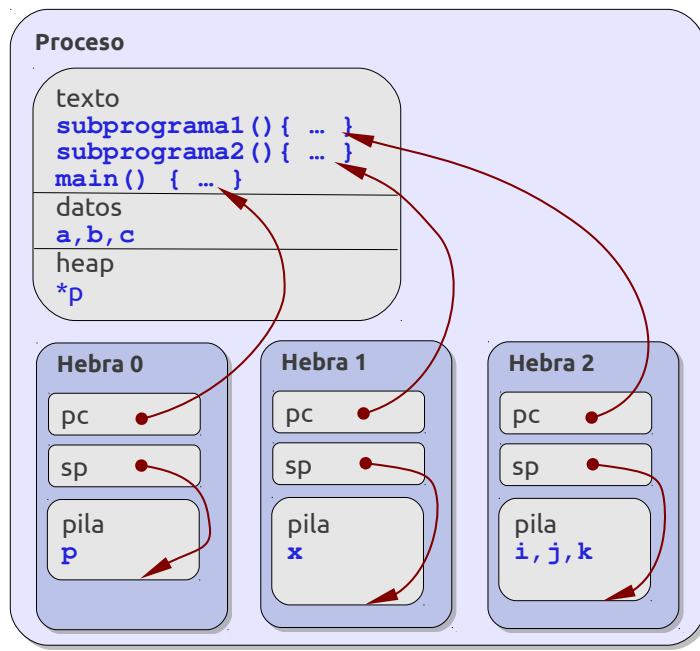
Ejemplo de estado de un proceso con tres hebras

En **main** se crean dos hebras, después se llega al estado que vemos:

```
int a,b,c ;

void subprograma1()
{
    int i,j,k ;
    // ...
}
void subprograma2()
{
    float x ;
    // ...
}

int main()
{
    char * p = new char ;
    // cr.he.subp.2
    // cr.he.subp.1
    // ...
}
```



SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 11/63.

Sistemas Concurrentes y Distribuidos, curso 2015-16.
Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos

Sección 2 Hebras POSIX

- 2.1. Introducción
- 2.2. Creación y finalización de hebras
- 2.3. Sincronización mediante unión
- 2.4. Parámetros e identificación de hebras
- 2.5. Ejemplo de hebras: cálculo numérico de integrales

Subsección 2.1

Introducción

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

└─ Hebras POSIX

└─ Introducción

Introducción

En esta sección veremos algunas llamadas básicas de la parte de hebras de POSIX (IEEE std 1003.1), en la versión de 2004:

- El estándar POSIX define los parámetros y la semántica de un amplio conjunto de funciones para diversos servicios del SO a los programas de usuario.
 - <http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/>
- Una parte de las llamadas de POSIX están dedicadas a gestión (creación, finalización, sincronización, etc...) de hebras, son las que aparecen aquí:
 - <http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/idx/threads.html>

La librería NPTL

Los ejemplos se han probado usando la *Native POSIX Thread Library* (NPTL) en Linux (ubuntu), que implementa la parte de hebras de la versión de 2004 de POSIX

- Está disponible para Linux desde el kernel 2.6 (2004).
- En esta implementación una hebra POSIX se implementa usando una *hebra del kernel* de Linux (se dice que las hebras POSIX son 1-1).
- Como consecuencia de lo anterior, hebras distintas de un mismo proceso pueden ejecutarse en procesadores distintos,
- Por tanto, este tipo de hebras constituyen una herramienta ideal para el desarrollo de aplicaciones que pueden aprovechar el potencial de rendimiento que ofrecen los sistemas multiprocesador (o multinúcleo) con memoria compartida.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 15/63.

Sistemas Concurrentes y Distribuidos, curso 2015-16.
Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos
Sección 2. Hebras POSIX

Subsección 2.2

Creación y finalización de hebras

Creación de hebras con *pthread_create*

Esta función sirve para crear una nueva hebra, su declaración es como sigue:

```
int pthread_create( pthread_t *thread, const pthread_attr_t *attr,
void *(*start_routine)(void*), void *arg);
```

Parámetros (más información aquí):

nombre	tipo	descripción
thread	pthread_t *	para referencias posteriores en las operaciones sobre la hebra
attr	pthread_attr_t *	atributos de la hebra (puede ser NULL para valores por def.)
start_routine	void * <i>nombre</i> (void *)	función a ejecutar por la hebra
arg	void *	puntero que se pasa como parámetro para start_routine (puede ser NULL).

Ejemplo de creación de hebras.

En el siguiente ejemplo se crean dos hebras:

```
#include <iostream>
#include <pthread.h>
using namespace std ;

void* proc1( void* arg )
{ for( unsigned long i = 0 ; i < 5000 ; i++ )
    cout << "hebra 1, i == " << i << endl ;
    return NULL ;
}

void* proc2( void* arg )
{ for( unsigned long i = 0 ; i < 5000 ; i++ )
    cout << "hebra 2, i == " << i << endl ;
    return NULL ;
}

int main()
{
    pthread_t hebra1, hebra2 ;
    pthread_create(&hebra1, NULL, proc1, NULL);
    pthread_create(&hebra2, NULL, proc2, NULL);
    // ... finalizacion ....
}
```

Finalización de hebras

Una hebra cualquiera A finaliza cuando:

- A acaba de ejecutar la función f que se designó al crearla, de dos formas posibles:
 - A ejecuta un **return** en f
 - A llega al final de f
- A llama explícitamente a **pthread_exit** durante su ejecución.
- otra hebra B llama a **pthread_cancel**(A) (la hebra B mata a la hebra A)

Todas las hebras de un programa finalizan cuando:

- Cualquiera de ellas llama a **exit**
- Termina de ejecutarse la hebra principal sin haber llamado a **pthread_exit**. (por tanto, si la hebra principal debe acabar mientras pueden continuar las demás, es necesario que la principal acabe llamando a **pthread_exit**).

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 19/63.

La función **pthread_exit**

La función **pthread_exit** causa la finalización de la hebra que la llama:

```
void pthread_exit( void* value_ptr );
```

Parámetros:

nombre	tipo	descripción
value_ptr	void *	puntero que recibirá la hebra que espere (vía <i>join</i>) la finalización de esta hebra (si hay alguna) (puede ser NULL)

más información:

http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/functions/pthread_exit.html

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 20/63.

Ejemplo de *pthread_exit*

El ejemplo anterior se puede completar así:

```
#include <iostream>
#include <pthread.h>
using namespace std ;

void* proc1( void* arg )
{   for( unsigned long i = 0 ; i < 5000 ; i++ )
    cout << "hebra 1, i == " << i << endl ;
    return NULL ;
}
void* proc2( void* arg )
{   for( unsigned long i = 0 ; i < 5000 ; i++ )
    cout << "hebra 2, i == " << i << endl ;
    return NULL ;
}
int main()
{
    pthread_t hebra1, hebra2 ;
    pthread_create (&hebra1, NULL, proc1, NULL) ;
    pthread_create (&hebra2, NULL, proc2, NULL) ;
    pthread_exit (NULL) ; // permite continuar a hebra1 y hebra2
}
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 21/63.

Subsección 2.3

Sincronización mediante unión

La operación de unión.

POSIX provee diversos mecanismos para sincronizar hebras, veremos dos de ellos:

- Usando la operación de *unión* (*join*).
- Usando semáforos.

La operación de unión permite que (mediante una llamada a **pthread_join**) una hebra *A* espere a que otra hebra *B* termine:

- *A* es la hebra que invoca la unión, y *B* la hebra *objetivo*.
- Al finalizar la llamada, la hebra objetivo ha terminado con seguridad.
- Si *B* ya ha terminado, no se hace nada.
- Si la espera es necesaria, se produce sin que la hebra que llama (*A*) consuma CPU durante dicha espera (*A* queda suspendida).

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 23/63.

La función *pthread_join*

La función **pthread_join** está declarada como sigue:

```
int pthread_join( pthread_t thread, void **value_ptr );
```

Parámetros y resultado:

nombre	tipo	descripción
thread	thread_t	identificador de la hebra objetivo
value_ptr	void **	puntero a la variable que recibirá el dato (de tipo void *) enviado por la hebra objetivo al finalizar (vía return o pthread_exit)
<i>resultado</i>	int	0 si no hay error, en caso contrario se devuelve un código de error.

más información aquí:

http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/functions/pthread_join.html

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 24/63.

Ejemplo de *pthread_join*

Puede ser útil, por ejemplo, para que la hebra principal realice algún procesamiento posterior a la finalización de las hebras:

```
#include <pthread.h>

void* proc1( void* arg ) { /* ... */ }
void* proc2( void* arg ) { /* ... */ }

int main()
{
    pthread_t hebra1, hebra2 ;

    pthread_create (&hebra1, NULL, proc1, NULL) ;
    pthread_create (&hebra2, NULL, proc2, NULL) ;

    pthread_join (hebra1, NULL) ;
    pthread_join (hebra2, NULL) ;

    // calculo posterior a la finalizacion de las hebras....
}
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 25/63.

Subsección 2.4

Parámetros e identificación de hebras

Hebras idénticas

En muchos casos, un problema se puede resolver con un proceso en el que varias hebras distintas ejecutan el mismo algoritmo con distintos datos de entrada. En estos casos

- Es necesario que cada hebra reciba parámetros distintos
- Esto se puede hacer a través del parámetro de tipo **void *** que recibe el subprograma que ejecuta una hebra.
- Dicho parámetro suele ser un índice o un puntero que permita a la hebra recuperar el conjunto de parámetros de entrada de una estructura de datos en memoria compartida, inicializada por la hebra principal (si es un índice entero, es necesario convertirlo hacia/desde el tipo **void ***)
- La estructura puede usarse para guardar también resultados de la hebra, o en general datos de la misma que deban ser leídos por otras.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 27/63.

Ejemplo básico de paso de parámetros a hebras

10 hebras ejecutan concurrentemente **fun_hebra(0), fun_hebra(1), ...**,

```
#include <iostream>
#include <pthread.h>
using namespace std ;
const unsigned num_hebras = 10 ;

// función que ejecuta cada hebra (cálculo arbitrario)
void* fun_hebra( void* arg_ptr )
{
    unsigned long arg_ent = (unsigned long) arg_ptr ; // convertir puntero en entero
    unsigned long res_ent ;                          // resultado (entero)
    void *        res_ptr ;                          // resultado (puntero)

    // aquí se incluye cualquier cálculo que le asigne
    // un valor a res_ent usando el valor de arg_ent, por ejemplo este:
    res_ent = arg_ent*arg_ent + 5*arg_ent + 2 ;

    // valor ya calculado: devolver resultado como un puntero
    res_ptr = (void *) res_ent ; // convertir entero en puntero
    return res_ptr ;            // devolver resultado (puntero)
}
...
```

nota: solo funciona si **sizeof(unsigned long)==sizeof(void *)**, es lo usual.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 28/63.

Ejemplo de paso de parámetros (2)

```
....  
int main()  
{  
    pthread_t id_hebra[num_hebras] ; // vector de identificadores de hebra  
  
    // lanzar hebras  
    for( unsigned long i = 0 ; i < num_hebras ; i++ )  
    {  
        void * arg_ptr = (void *) i ; // convertir entero a puntero  
        pthread_create( &(id_hebra[i]), NULL, fun_hebra, arg_ptr );  
    }  
  
    unsigned long res_ent ; // guardará el resultado de cada hebra  
    void ** ptr_res_ent = (void **) &res_ent; // puntero a var. con result.  
  
    // esperar hebras e imprimir resultados  
    for( unsigned i = 0 ; i < num_hebras ; i++ )  
    {  
        pthread_join( id_hebra[i], ptr_res_ent ); // asigna a res_ent  
        cout << "func(" << i << ") == " << res_ent << endl ;  
    }  
}
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 29/63.

Sistemas Concurrentes y Distribuidos, curso 2015-16.
Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos
Sección 2. Hebras POSIX

Subsección 2.5

Ejemplo de hebras: cálculo numérico de integrales

Cálculo de numérico de integrales

La programación concurrente puede ser usada para resolver más rápidamente multitud de problemas, entre ellos los que conllevan muchas operaciones con números flotantes

- Un ejemplo típico es el cálculo del valor I de la integral de una función f de variable real (entre 0 y 1, por ejemplo) y valores reales positivos:

$$I = \int_0^1 f(x) dx$$

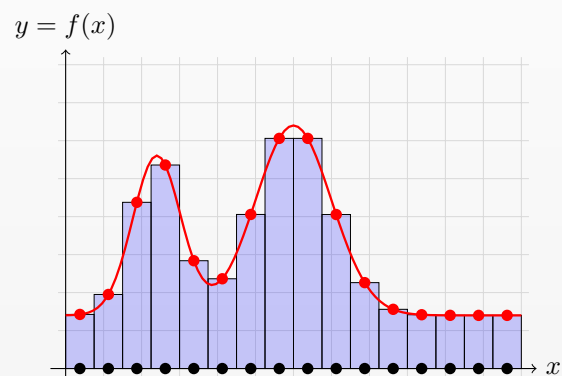
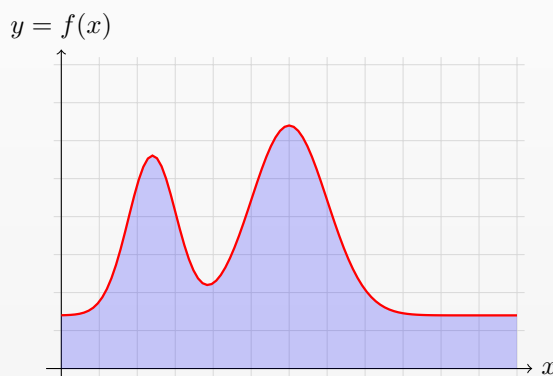
- El cálculo se puede hacer evaluando la función f en un conjunto de m puntos uniformemente espaciados en el intervalo $[0,1]$, y aproximando I como la media de todos esos valores:

$$I \approx \frac{1}{m} \sum_{i=0}^{m-1} f(x_i) \quad \text{donde: } x_i = \frac{i + 1/2}{m}$$

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 31/63.

Interpretación geométrica

Aproximamos el área azul (es I) (izquierda), usando la suma de las áreas de las m barras (derecha):



- Cada punto de muestra es el valor x_i (puntos negros)
- Cada barra tiene el mismo ancho $1/m$, y su altura es $f(x_i)$.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 32/63.

Cálculo secuencial del número π

Para verificar la corrección del método, se puede usar una integral I con valor conocido. A modo de ejemplo, usaremos una función f cuya integral entre 0 y 1 es el número π :

$$I = \pi = \int_0^1 \frac{4}{1+x^2} dx \quad \text{aquí } f(x) = \frac{4}{1+x^2}$$

una implementación secuencial sencilla sería mediante esta función:

```
unsigned long m = ..... ; // número de muestras

double f( double x )      // implementa función f
{ return 4.0/(1+x*x) ;    // f(x) = 4/(1+x^2)
}

double calcular_integral_secuencial( )
{ double suma = 0.0 ;      // inicializar suma
  for( unsigned long i = 0 ; i < m ; i++ ) // para cada i entre 0 y m-1
    suma += f( (i+0.5)/m ) ; // añadir f(x_i) a la suma actual
  return suma/m ;          // devolver valor promedio de f
}
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 33/63.

Versión concurrente de la integración

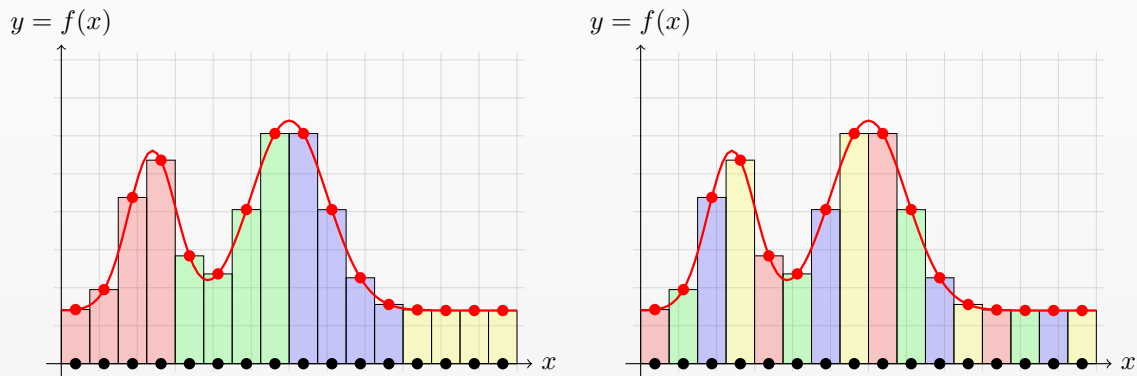
El cálculo citado anteriormente se puede hacer mediante un total de n hebras idénticas (asumimos que m es múltiplo de n)

- Cada una de las hebras evalúa f en m/n puntos del dominio
- La cantidad de trabajo es similar para todas, y los cálculos son independientes.
- Cada hebra calcula la suma parcial de los valores de f
- La hebra principal recoge las sumas parciales y calcula la suma total.
- En un entorno con k procesadores o núcleos, el cálculo puede hacerse hasta k veces más rápido. Esta mejora ocurre solo para valores de m varios órdenes de magnitud más grandes que n .

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 34/63.

Distribución de cálculos

Para distribuir los cálculos entre hebras, hay dos opciones simples, hacerlo de forma **contigua** (izquierda) o de forma **entrelazada** (derecha)



Cada valor $f(x_i)$ es calculado por:

- **Contigua:** la hebra número i/n .
- **Entrelazada:** la hebra número $i \bmod n$.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 35/63.

Esquema de la implementación concurrente

```
const unsigned long m = .... ; // número de muestras
const unsigned long n = .... ; // número de hebras
double resultado_parcial[n] ; // vector de resultados parciales

double f( double x )           // implementa función f:
{ return 4.0/(1+x*x) ;          // f(x) = 4/(1+x^2)
}

void * funcion_hebra( void * ih_void ) // función que ejecuta cada hebra
{
    unsigned long ih = (unsigned long) ih_void ; // número o índice de esta hebra
    double sumap = 0.0 ;
    // calcular suma parcial en "sumap"
    ....
    resultado_parcial[ih] = sumap ; // guardar suma parcial en vector.
}

double calcular_integral_concurrente( )
{
    // crear y lanzar n hebras, cada una ejecuta "funcion.hebra"
    ....
    // esperar (join) a que termine cada hebra, sumar su resultado
    ....
    // devolver resultado completo
    ....
}
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 36/63.

Medición de tiempos

Para apreciar la reducción de tiempos que se consigue con la programación concurrente, se pueden medir los tiempos que tardan la versión secuencial y la concurrente. Para hacer esto con la máxima precisión, se puede usar la función `clock_gettime` en linux:

- Forma parte de POSIX, en concreto de la extensiones de tiempo real.
- Sirve para medir tiempo real transcurrido entre instantes de la ejecución de un programa con muy alta precisión (nanosegundos).
- Para facilitar su uso, en lugar de usarla directamente se pueden usar indirectamente a través de otras funciones (que se proporcionan) que permiten calcular ese tiempo como un valor real en segundos, haciendo abstracción de los detalles no relevantes.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 37/63.

Uso de las funciones de medición de tiempos

Para medir el tiempo que tarda un trozo de programa, se puede usar este esquema en C++

```
#include "fun_tiempos.h"
// ....
void funcion_cualquiera ( /*.....*/ )
{
    ....
    struct timespec inicio = ahora() ; // inicio = inicio del tiempo a medir
    ....                               // actividad cuya duracion se quiere medir
    struct timespec fin = ahora() ;    // fin = fin del tiempo a medir
    ....
    cout << "tiempo transcurrido == " // escribe resultados:
         << duracion( &inicio, &fin ) // tiempo en segundos entre "inicio" y "fin"
         << " seg." << endl ;
}
```

los archivos `fun_tiempo.h` (cabeceras) y `fun_tiempo.c` (implementación) se encuentran disponibles para los alumnos.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 38/63.

Compilando programas con hebras POSIX

Para compilar un archivo `ejemplo.cpp`, que use las funciones definidas en `fun_tiempos.c` (y use hebras posix), y obtener el archivo ejecutable `ejemplo`, podemos dar estos pasos:

```
gcc -g -c fun_tiempos.c      # compila "fun_tiempos.c" y genera "fun_tiempos.o"
g++ -g -c ejemplo.cpp       # compila "ejemplo.cpp" y genera "ejemplo.o"
g++ -o ejemplo ejemplo.o fun_tiempos.o -lrt -lpthread # enlaza, genera "ejemplo"
```

- el *switch* `-lrt` sirve para enlazar las librerías correspondientes a la extensión de tiempo real de POSIX (incluye `clock_gettime`)
- el *switch* `-lpthreads` sirve para incluir las funciones de hebras POSIX
- también es posible integrarlo todo en un `makefile` y usar `make`

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 39/63.

Actividad: medición de tiempos de cálculo concurrente.

Como actividad para los alumnos en este seminario se propone realizar y ejecutar una implementación sencilla del cálculo concurrente del número π , tal y como hemos visto aquí:

- El programa aceptará como parámetros en la línea de comandos el número de hebras a lanzar y el número de muestras
- En la salida se presenta el valor exacto de π y el calculado (sirve para verificar si el programa es correcto, ya que deben diferir por muy poco para un número de muestras del orden de cientos o miles)
- Asimismo, el programa imprimirá la duración del cálculo concurrente y el secuencial.

Se debe razonar acerca de como el número de procesadores disponibles y el número de hebras afecta al tiempo del cálculo concurrente en relación al secuencial (en Linux, para conocer el número de CPUs disponibles y sus características, se puede ver el archivo `/proc/cpuinfo`)

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 40/63.

Sección 3

Introducción a los Semáforos

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

└─ Introducción a los Semáforos

Semáforos

Los **semáforos** constituyen un mecanismo de nivel medio que permite solucionar los problemas derivados de la ejecución concurrente de procesos no independientes. Sus características principales son:

- permite bloquear los procesos sin mantener ocupada la CPU
- resuelven fácilmente el problema de exclusión mutua con esquemas de uso sencillos
- se pueden usar para resolver problemas de sincronización (aunque en ocasiones los esquemas de uso son complejos)
- el mecanismo se implementa mediante instancias de una estructura de datos a las que se accede únicamente mediante subprogramas específicos.

Estructura de un semáforo

Un semáforo es un instancia de una estructura de datos (un registro) que contiene los siguientes elementos:

- Un conjunto de procesos bloqueados (se dice que están esperando en el semáforo).
- Un valor natural (entero no negativo), al que llamaremos *valor del semáforo*

Estas estructuras de datos residen en memoria compartida. Al principio de un programa que use semáforos, debe poder inicializarse cada uno de ellos:

- el conjunto de procesos asociados (bloqueados) estará vacío
- se deberá indicar un valor inicial del semáforo

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 43/63.

Operaciones sobre los semáforos

Además de la inicialización, solo hay dos operaciones básicas que se pueden realizar sobre una variable de tipo semáforo (que llamamos *s*) :

- **sem_wait(s)**
 - Si el valor de *s* es mayor que cero, decrementar en una unidad dicho valor
 - Si el valor de *s* es cero, bloquear el proceso que la invoca en el conjunto de procesos bloqueados asociado a *s*
- **sem_signal(s)**
 - Si el conjunto de procesos bloqueados asociado a *s* no está vacío, desbloquear uno de dichos procesos.
 - Si el conjunto de procesos bloqueados asociado a *s* está vacío, incrementar en una unidad el valor de *s*.

En un semáforo cualquiera, estas operaciones se ejecutan de forma atómica, es decir, no puede haber dos procesos distintos ejecutando estas operaciones a la vez sobre un mismo semáforo (excluyendo el período de bloqueo que potencialmente conlleva la llamada a **sem_wait**).

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 44/63.

Problema básico de sincronización

Un problema frecuente ocurre cuando:

- Un proceso **P2** no debe pasar de un punto de su código hasta que otro proceso **P1** no haya llegado a otro punto del suyo.
- El caso típico es: **P1** debe escribir una variable compartida y después **P2** debe leerla.

```
{ variables compartidas y valores iniciales }
var compartida : integer ; { variable compartida: P1 escribe y P2 lee }
```

```
process P1 ;
  var local1 : integer ;
begin
  .....
  local1 := ..... ;
  compartida := local1 ;
  .....
end
```

```
process P2 ;
  var local2 : integer ;
begin
  .....
  .....
  local2 := compartida ;
  .....
end
```

Este programa **no funciona correctamente**, por la hipótesis de progreso finito.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 45/63.

Solución con un semáforo

La solución es usar un semáforo, cuyo valor será:

- 1 si **P1** ha terminado de escribir, pero **P2** no ha comenzado a leer.
- 0 en cualquier otro caso (antes de terminar de escribir y después de comenzar a leer).

```
{ variables compartidas y valores iniciales }
var compartida : integer ; { variable compartida: P1 escribe y P2 lee }
var puede_leer : semaphore := 0 ; { 1 si la var. esta pte. de leer, 0 en otro caso }
```

```
process P1 ;
  var local1 : integer ;
begin
  .....
  local1 := ..... ;
  compartida := local1 ;
  sem_signal( puede_leer ) ;
  .....
end
```

```
process P2 ;
  var local2 : integer ;
begin
  .....
  .....
  sem_wait( puede_leer ) ;
  local2 := compartida ;
  .....
end
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 46/63.

Uso de semáforos para exclusión mutua

Los semáforos se pueden usar para EM usando un semáforo inicializado a 1, y haciendo **sem_wait** antes de la sección crítica y **sem_signal** después de la sección crítica:

```
{ variables compartidas y valores iniciales }
var sc_libre : semaphore := 1 ; { 1 si SC esta libre, 0 si SC esta ocupada }

process ProcesosEM[ i : 0..n-1 ] ;
begin
  while true do begin
    sem_wait( sc_libre ); { esperar bloqueado hasta que 'sc_libre' sea 1 }
    { seccion critica: ..... }
    sem_signal( sc_libre ); { desbl. proc. en espera o poner 'sc_libre' a 1 }
    { resto seccion: ..... }
  end
end
```

En cualquier instante de tiempo, la suma del valor del semáforo más el número de procesos en la SC es la unidad. Por tanto, solo puede haber 0 o 1 procesos en SC, y se cumple la exclusión mutua.

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 47/63.

Uso de semáforos para sincronización

El problema del Productor-Consumidor se puede resolver fácilmente con semáforos:

```
{ variables compartidas }
var
  x          : integer ; { contiene cada valor producido }
  puede_leer : semaphore := 0 ; { 1 si se puede leer "x", 0 si no }
  puede_escribir : semaphore := 1 ; { 1 si se puede escribir "x", 0 si no }
```

```
Process Productor ; { calcula "x" }
var a : integer ;
begin
  while true begin
    a := ProducirValor ;
    sem_wait( puede_escribir );
    x := a ; { sentencia de escritura E }
    sem_signal( puede_leer ) ;
  end
end
```

```
Process Consumidor ; { lee "x" }
var b : integer ;
begin
  while true do begin
    sem_wait( puede_leer ) ;
    b := x ; { sentencia de lectura L }
    sem_signal( puede_escribir ) ;
    UsarValor(b) ;
  end
end
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 48/63.

Sección 4

Sincronización de hebras con semáforos POSIX

- 4.1. Funciones básicas.
- 4.2. Exclusión mutua
- 4.3. Sincronización

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

└ Sincronización de hebras con semáforos POSIX

Introducción

Una parte de las llamadas del estándar POSIX son útiles para gestionar semáforos para sincronización de hebras o de procesos. Veremos las llamadas básicas que permiten sincronizar hebras en un proceso. Son las siguientes:

- **sem_init**: inicializa un semáforo (dando el valor inicial)
- **sem_wait**: realiza la operación **wait** sobre un semáforo
- **sem_post**: realiza la operación **signal** sobre un semáforo
- **sem_destroy**: destruye un semáforo y libera la memoria ocupada.

Subsección 4.1

Funciones básicas.

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

└ Sincronización de hebras con semáforos POSIX

└ Funciones básicas.

La función *sem_init*

La función **sem_init** está declarada como sigue:

```
int sem_init( sem_t* sem, int pshared, unsigned value );
```

Parámetros y resultado:

nombre	tipo	descripción
sem	sem_t *	puntero al identificador del semáforo
pshared	int	distinto de cero solo si el semáforo será compartido con otros procesos.
value	unsigned	valor inicial
<i>resultado</i>	int	0 si se ha inicializado el semáforo, en caso contrario es un código de error.

- Se debe usar **antes** de cualquier otra operación con el semáforo.

más información aquí:

http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/functions/sem_init.html

La función *sem_wait*

La función **sem_wait** está declarada como sigue:

```
int sem_wait( sem_t* sem );
```

Parámetros y resultado:

nombre	tipo	descripción
sem	sem_t *	puntero al identificador del semáforo
<i>resultado</i>	int	0 solo si no ha habido error

más información aquí:

http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/functions/sem_wait.html

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 53/63.

La función *sem_post*

La función **sem_post** está declarada como sigue:

```
int sem_post( sem_t* sem );
```

Parámetros y resultado:

nombre	tipo	descripción
sem	sem_t *	puntero al identificador del semáforo
<i>resultado</i>	int	0 solo si no ha habido error

- La selección de la hebra a desbloquear (si hay alguna) depende de los parametros de *scheduling* asignados a la hebra (**normalmente será FIFO**).

Más información aquí:

http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/functions/sem_post.html

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 54/63.

La función *sem_destroy*

La función **sem_destroy** está declarada como sigue:

```
int sem_destroy( sem_t* sem );
```

Parámetros y resultado:

nombre	tipo	descripción
sem	sem_t *	puntero al identificador del semáforo
resultado	int	0 solo si no ha habido error

- Solo se puede llamar para semáforos (inicializados con **sem_init**) en los cuales no haya hebras esperando.
- Después de destruir un semáforo, se puede volver a usar haciendo **sem_init**.

Más información aquí:

http://pubs.opengroup.org/onlinepubs/009695399/functions/sem_destroy.html

Ejemplo de exclusión mutua con semáforos POSIX

Los semáforos se pueden usar para exclusión mutua, por ejemplo, En este ejemplo, se usa un semáforo (de nombre **mutex**) inicializado a 1, para escribir en la salida estándar una línea completa sin interrupciones.

```
#include <iostream>
#include <pthread.h>
#include <semaphore.h>
using namespace std ;

sem_t mutex ; // semaforo en memoria compartida

void* proc( void* p )
{
    sem_wait( &mutex );
    cout << "hebra numero: " << ((unsigned long) p) << ". " << endl ;
    sem_post( &mutex );
    return NULL ;
}

....
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 57/63.

Ejemplo de exclusión mutua con semáforos POSIX (2)

El procedimiento principal debe inicializar el semáforo y crear las hebras, como se incluye aquí:

```
...

int main()
{
    const unsigned num_hebras = 50 ;
    pthread_t id_hebra[num_hebras] ;

    sem_init( &mutex, 0, 1 );

    for( unsigned i = 0 ; i < num_hebras ; i++ )
        pthread_create( &(id_hebra[i]), NULL, proc, (void *)i );

    for( unsigned i = 0 ; i < num_hebras ; i++ )
        pthread_join( id_hebra[i], NULL );

    sem_destroy( &mutex );
}
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 58/63.

Subsección 4.3

Sincronización

Sistemas Concurrentes y Distribuidos. Seminario 1. Programación multihebra y sincronización con semáforos.

└ Sincronización de hebras con semáforos POSIX

└ Sincronización

Ejemplo de sincronización con semáforos POSIX

En este otro ejemplo, hay una hebra que escribe una variable global y otra que la lee (cada una en un bucle). Se usan dos semáforos para evitar dos lecturas o dos escrituras seguidas, y además otro para exclusión mutua en las escrituras al terminal:

```
sem_t
    puede_escribir, // inicializado a 1
    puede_leer,     // inicializado a 0
    mutex ;         // inicializado a 1

unsigned long
    valor_compartido ; // valor para escribir o leer

const unsigned long
    num_iter = 10000 ; // numero de iteraciones

.....
```

Ejemplo de sincronización con semáforos POSIX (2)

La hebra escritora espera que se pueda escribir, entonces escribe y señala que se puede leer:

```
...  
  
void* escribir( void* p )  
{  
    unsigned long contador = 0 ;  
  
    for( unsigned long i = 0 ; i < num_iter ; i++ )  
    {  
        contador = contador + 1 ; // genera un nuevo valor  
        sem_wait( &puede_escribir ) ;  
        valor_compartido = contador ; // escribe el valor  
        sem_post( &puede_leer ) ;  
  
        sem_wait( &mutex ) ;  
        cout << "valor escrito == " << contador << endl << flush ;  
        sem_post( &mutex ) ;  
    }  
    return NULL ;  
}  
  
...
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 61/63.

Ejemplo de sincronización con semáforos POSIX (3)

La hebra lectora espera a que se pueda leer, entonces lee y señala que se puede escribir:

```
....  
  
void* leer( void* p )  
{  
    unsigned long valor_leido ;  
  
    for( unsigned long i = 0 ; i < num_iter ; i++ )  
    {  
        sem_wait( &puede_leer ) ;  
        valor_leido = valor_compartido ; // lee el valor generado  
        sem_post( &puede_escribir ) ;  
  
        sem_wait( &mutex ) ;  
        cout << "valor leído == " << valor_leido << endl << flush ;  
        sem_post( &mutex ) ;  
    }  
    return NULL ;  
}  
  
...
```

SCD (15-16). Fecha creación: September 30, 2015. Página: 62/63.

Ejemplo de sincronización con semáforos POSIX (4)

El procedimiento **main** crea los semáforos y hebras y espera que terminen:

```
....  
  
int main()  
{  
    pthread_t hebra_escritora, hebra_lectora ;  
  
    sem_init( &mutex,          0, 1 ); // semaforo para EM: inicializado a 1  
    sem_init( &puede_escribir, 0, 1 ); // inicialmente se puede escribir  
    sem_init( &puede_leer,     0, 0 ); // inicialmente no se puede leer  
  
    pthread_create( &hebra_escritora, NULL, escribir, NULL );  
    pthread_create( &hebra_lectora,   NULL, leer,     NULL );  
  
    pthread_join( hebra_escritora, NULL );  
    pthread_join( hebra_lectora,   NULL );  
  
    sem_destroy( &puede_escribir );  
    sem_destroy( &puede_leer );  
    sem_destroy( &mutex );  
}
```