SISTEMAS PARALELOS

Clase 3 – Programación en memoria compartida // Pthreads

Prof. Dr Enzo Rucci

FACULTAD DE INFORMATICA
UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

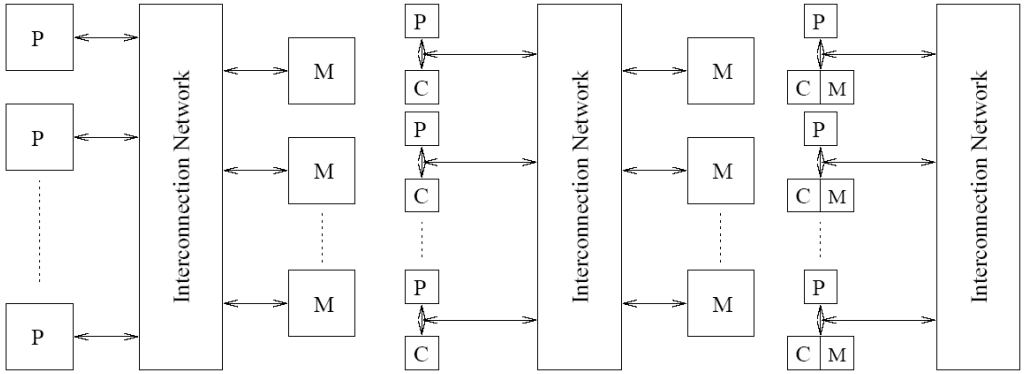
Agenda de esta clase

- Fundamentos de programación en memoria compartida
- Estándar Pthreads

PROGRAMACIÓN EN MEMORIA COMPARTIDA

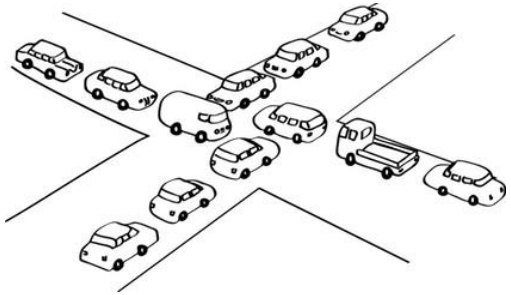
Plataformas de memoria compartida

- Los procesadores se comunican leyendo y escribiendo variables en un espacio de datos común (memoria compartida)
- Los módulos de memoria pueden ser locales (exclusivos a un procesador) o globales (comunes a todos los procesadores)
- Sub-clasificación por modo de acceso a memoria
  - Acceso uniforme a memoria (UMA)
  - Acceso no uniforme a memoria (NUMA)
- Se necesita un mecanismo de coherencia de caché
- Modelo de programación asociado: memoria compartida. Pasaje de mensajes también es una posibilidad.

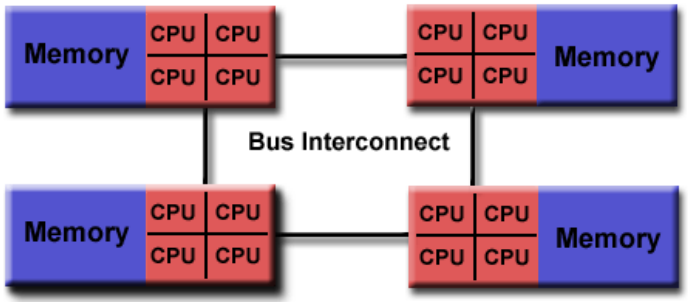


Modelo de memoria compartida

- El problema de la sincronización en memoria compartida (con sus efectos indeseables como los deadlocks) es responsabilidad del programador, utilizando las herramientas que provea el lenguaje.
- Toda sincronización disminuye la eficiencia.



- La localidad de los datos será muy importante en el rendimiento (en particular en arquitecturas NUMA).
- En algunos lenguajes el programador podrá actuar sobre la localidad de los datos, en otros tendrá que re-estructurar el código.



Modelo de memoria compartida

- El programador en general no maneja la distribución de los datos ni lo relacionado a la comunicación de los mismos.
  - Ventaja: Transparencia para el programador. La ubicación de los datos, su replicación y su migración son transparentes.

  - Desventaja: A veces es necesario trabajar sobre esos aspectos para mejorar el rendimeinto. Además, resulta difícil la predicción de performance a partir de la lectura del algoritmo.

Modelo de memoria compartida

Los modelos de programación proveen un soporte para expresar la concurrencia y sincronización:

- Los modelos basados en procesos suponen datos locales (privados) de cada proceso.
- Los modelos basados en threads o procesos “livianos” suponen que toda la memoria es global → *Pthreads*.
- Los modelos basados en directivas extienden el modelo basado en threads para facilitar su manejo (creación, sincronización, etc) → *OpenMP*.

Fundamentos del modelo de hilos

- Un thread es un único hilo de control en el flujo de un programa.
- Por ejemplo (multiplicación de matrices):

```
for (row = 0; row < n; row++)
     for (col = 0; col < n; col++)
           c[row][column] = dot_product( get_row(a, row), get_col(b, col));
```

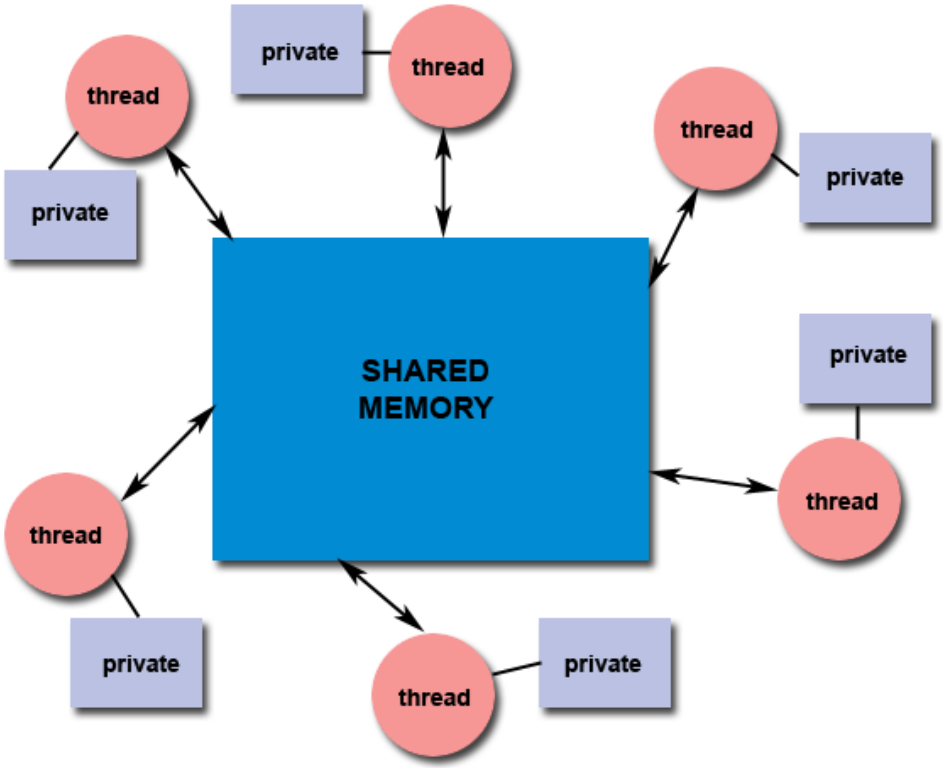
- Puede transformarse en:

```
for (row = 0; row < n; row++)
    for (col = 0; col < n; col++)
        c[row][column] = create_thread(dot_product(get_row(a,row),get_col(b,col)));
```

- En este caso el *Thread* funciona como una instancia de una función que retorna antes que la función se haya terminado de ejecutar.

Fundamentos del modelo de hilos

- Todos los hilos tienen acceso a una memoria compartida global.
- Los hilos a su vez tienen su propio espacio de memoria privada.



Ventajas del modelo de hilos frente al de procesos

- ***"Liviandad"*** → ***Rendimiento:*** los hilos son más livianos que los procesos; su intercomunicación es más rápida por compartir memoria y su cambio de contexto resulta menos costoso.
- ***Ocultamiento de latencia*** → ***Multi-tasking:*** múltiples hilos en ejecución contribuyen a reducir la latencia ocasionada por los accesos a memoria, la E/S y la comunicación.
- ***Planificación y balance de carga:*** las APIs de hilos suelen permitir la creación de una gran cantidad de tareas concurrentes, que luego pueden ser mapeadas dinámicamente a través de primitivas a nivel de sistema → minimiza el overhead por ociosidad. Al mismo tiempo, facilita la distribución de trabajo ante cargas irregulares.
- **Facilidad de programación y uso extendido:** más fácil de programar que pasaje de mensajes (no requiere el manejo de la comunicación de datos).
- ***Portabilidad:*** permite migrar aplicaciones entre arquitecturas. Útil para desarrollo.

POSIX THREADS

POSIX Threads

- Hasta mediados de los años 90, existían numerosas APIs para el manejo de hilos (incompatibles entre ellas).
- En 1995, IEEE especifica el estándar POSIX Threads (normalmente llamado Pthreads). Básicamente, un conjunto de tipos de datos y funciones para el lenguaje de programación C.
- POSIX se ha establecido como una API estándar para manejo de Threads, provista por la mayoría de los desarrolladores de sistemas operativos.
- Los conceptos que se discutirán son independientes de la API y son mayormente válidos para utilizar hilos en Java, Python, Go, etc.

Pthreads

- Las rutinas más utilizadas de Pthreads se pueden dividir en 3 grupos:
  - **Manejo de threads:** Creación, terminación, join, asignación y recuperación de atributos, entre otros.
  - **Mutexes:** mecanismos para exclusión mutua.
  - **Variables condición:** mecanismos para sincronización por condición.

Pthreads – Creación de hilos

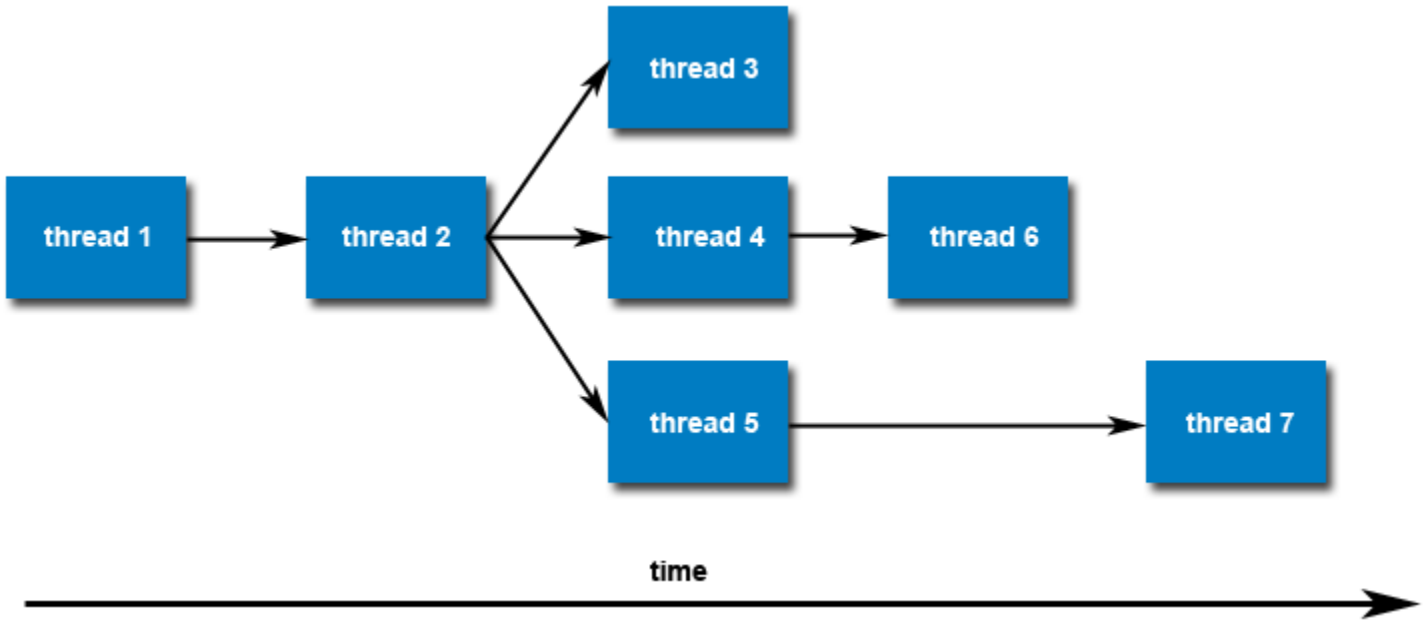
- Inicialmente hay un sólo hilo de ejecución (*hilo main*).
- Todos los demás hilos deben ser creados explícitamente por el programador.
- La función *pthread_create* crea un hilo y lo pone en ejecución:

```
int pthread_create ( pthread_t   *thread_handle,
                     const pthread_attr_t *attribute,
                     void * (*thread_function)(void *),
                     void *arg);
```

- *thread_handle* es la dirección de un objeto *pthread_t*, el cual representa al hilo.
- *attribute* es la dirección de un objeto *pthread_attr*. NULL para valores por defecto.
- *thread_function* es la función que contiene el código que ejecutará el hilo creado
- *arg* es el único argumento que se le puede pasar directamente al hilo creado. Debe ser de tipo (void *).

Pthreads – Creación de hilos

- Una vez creados, los hilos son pares y pueden crear otros hilos.
- No hay jerarquías o dependencias predefinidas entre los hilos.



Pthreads – Terminación de hilos

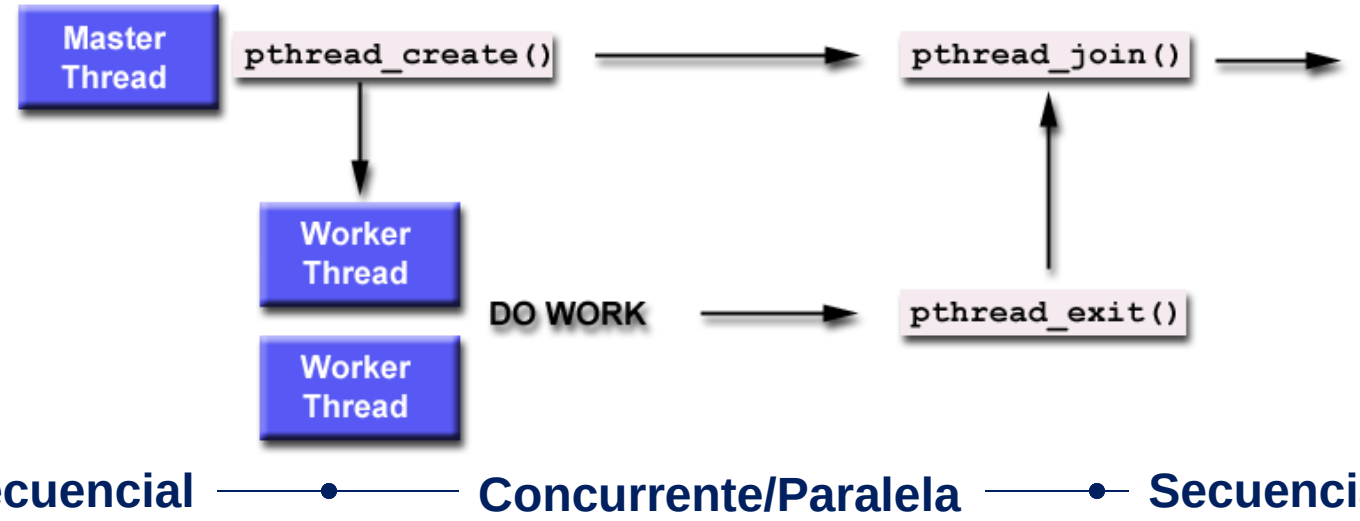
- Para terminar su ejecución los hilos deben invocar a la función *pthread_exit*:

```
int pthread_exit (void *res);
```

- Esta función finaliza la ejecución del hilo y retorna un valor que puede ser posteriormente leído por otro hilo (en general el hilo que lo creó).

Pthreads – *Join* de hilos

- El hilo que invoca a la función *pthread_create* continúa con su ejecución luego del llamado → se requiere sincronización para evitar que el programa termine de forma incorrecta.
- Para ello se emplea la función *pthread_join*. Esta función bloquea al hilo llamador hasta que el hilo especificado como argumento termine su ejecución.



Pthreads – ¡Hola Mundo!

```c
#include <stdio.h>
#include <pthread.h>

#define NUM_THREADS 10

void * hello_world (void * ptr);

int main(){
    int i, ids[NUM_THREADS];
    pthread_attr_t attr;
    pthread_t threads[NUM_THREADS];

    pthread_attr_init(&attr);

    /* Crea los hilos */
    for (i = 0; i < NUM_THREADS; i++) {
        ids[i] = i;
        pthread_create(&threads[i], &attr, hello_world, &ids[i]);
    }

    /* Espera a que los hilos terminen */
    for (i = 0; i < NUM_THREADS; i++)
        pthread_join(threads[i], NULL);

    return 0;
}
```

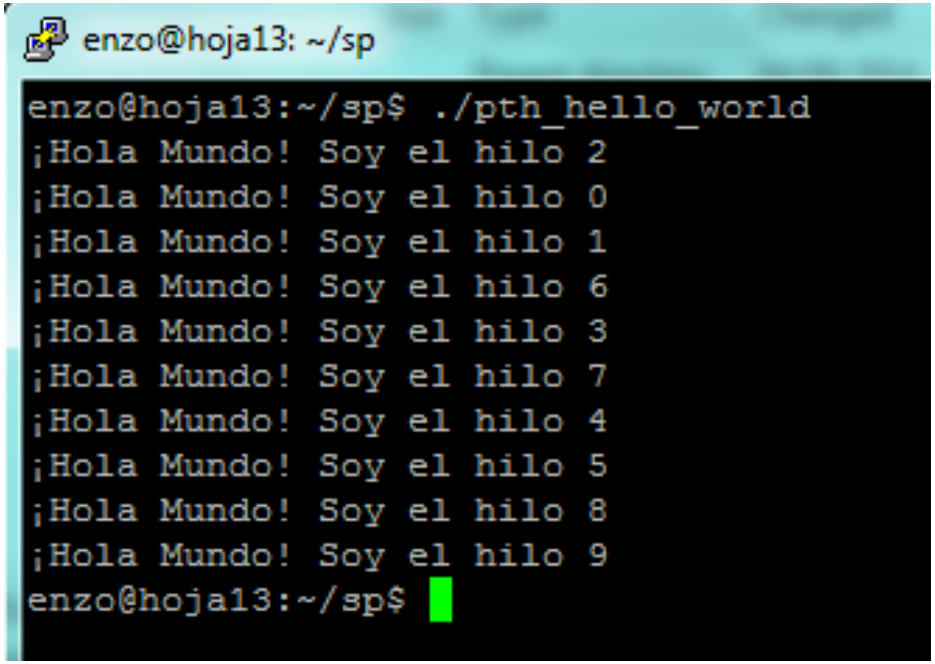
Pthreads – ¡Hola Mundo!

```
void * hello_world (void * ptr) {

    int * p, id;
    p = (int *) ptr;
    id = *p;

    printf("\n¡Hola Mundo! Soy el hilo %d",id);

    pthread_exit(0);
}
```



Pthreads – Pasaje de parámetros a los hilos

- *pthread_create* permite pasar un único parámetro a cada hilo:

```
int pthread_create ( pthread_t   *thread_handle,
                     const pthread_attr_t *attribute,
                     void * (*thread_function)(void *),
                     void *arg);
```

- Analicemos el pasaje de argumentos en el ejemplo anterior…

Pthreads – Pasaje de parámetros a los hilos

- En el llamado a *pthread_create:*

```
/* Crea los hilos */
for (i = 0; i < NUM_THREADS; i++) {
    ids[i] = i;
    pthread_create(&threads[i], &attr, hello_world, &ids[i]);
}
```

- En la función *hello_world* se debe «castear» al tipo adecuado:

```
void * hello_world (void * ptr) {

    int * p, id;
    p = (int *) ptr;
    id = *p;
```

¿Por qué usar un arreglo auxiliar en el llamado a *pthread_create*?

Pthreads – Pasaje de parámetros a los hilos

- En el caso en que haya que pasar múltiples parámetros a cada hilo, hay al menos 2 posibilidades:
  - Pasarle un *struct* a cada hilo que contenga todos los argumentos que necesita
  - Mantener uno o más arreglos globales y pasarle el ID a cada hilo para que sepa a qué posición debe acceder

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua

- Comunicación implícita → se pone el esfuerzo en sincronizar tareas concurrentes.
- Cuando múltiples hilos tratan de manejar los mismos datos, el resultado puede ser incoherente si no se sincroniza adecuadamente:

```
if (mi_costo < mejor_costo)
        mejor_costo = mi_costo;
```

- Si tenemos 2 hilos y el valor inicial de *mejor_costo* (memoria compartida) es 100, y cada hilo tiene su *mi_costo* en 50 y 75, el valor a guardar en memoria global podría ser cualquiera de los dos.
- Esto depende del scheduling de los hilos → Condiciones de carrera (*Race conditions)*

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua

- El código anterior funcionaría correctamente si fuese una sentencia atómica → corresponde a una sección crítica.
- Las secciones críticas se implementan en Pthreads utilizando *mutex_locks* (bloqueo por exclusión mutua).
- *mutex_locks* tienen dos estados: *locked* (bloqueado) y *unlocked* (desbloqueado). En cualquier instante, sólo un hilo puede bloquear un *mutex_lock* (*lock* es una operación atómica).
- Para entrar en la sección crítica un hilo debe lograr tener control del *mutex_lock* (bloquearlo).
- Cuando un hilo sale de la sección crítica debe desbloquear el *mutex_lock*.
- Todos los *mutex_lock* deben inicializarse como desbloqueados.

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua

- Pthreads provee las siguientes funciones para manejar los mutex-locks:

```
int pthread_mutex_lock ( pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_unlock (pthread_mutex_t *mutex);

int pthread_mutex_init (pthread_mutex_t *mutex,
                const pthread_mutexattr_t *lock_attr);
```

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua

Ahora se puede escribir el código para calcular el mínimo de una lista de números:

```
pthread_mutex_t     minimum_value_lock;
   ...
   int main(){
      ...
      pthread_mutex_init(&minimum_value_lock, NULL);
      ...
      /* Create y join de threads */
      ...
     }

   void *find_min(void *list_ptr){
       ...
       pthread_mutex_lock(&minimum_value_lock);
       if (my_min < minimum_value) minimum_value = my_min;
       pthread_mutex_unlock(&minimum_value_lock);
       ...
    }
```

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua: Problema de productores y consumidores

- Ejemplo: el escenario de productores-consumidores impone las siguientes restricciones:
  - Un hilo productor no debe sobrescribir el buffer compartido cuando el elemento anterior no ha sido consumido por un hilo consumidor.
  - Un hilo consumidor no puede tomar nada de la estructura compartida hasta no estar seguro de que se ha producido algo anteriormente.
  - Los consumidores deben excluirse entre sí.
  - Los productores deben excluirse entre sí.
  - En este ejemplo el buffer es de tamaño 1.

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua: Problema de productores y consumidores

Main de la solución al problema de productores-consumidores.

```
pthread_mutex_t    task_queue_lock;
int task_available;
...
int main() {
   task_available = 0;
   …
   pthread_mutex_init(&task_queue_lock, NULL);
   /* Create y join de threads productores y consumidores*/
   …
}
```

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua: Problema de productores y consumidores

Código para los productores

```
void *producer(void *producer_thread_data){
   /* local data structure declarations */
   int inserted;
   struct task my_task;
   while (!done()){
        inserted = 0;
        create_task(&my_task);
        while (inserted == 0) {
                pthread_mutex_lock(&task_queue_lock);
                if (task_available == 0) {
                        insert_into_queue(my_task);
                        task_available = 1;
                        inserted = 1;
                }
                pthread_mutex_unlock(&task_queue_lock);
        }
    }
}
```

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua: Problema de productores y consumidores

Código para los consumidores

```
void *consumer(void *consumer_thread_data) {
   /* local data structure declarations */
   int extracted;
   struct task my_task;
   while (!done()){
        extracted = 0;
        while (extracted == 0){
                pthread_mutex_lock(&task_queue_lock);
                if (task_available == 1)  {
                        extract_from_queue(&my_task);
                        task_available = 0;
                        extracted = 1;
                }
                pthread_mutex_unlock(&task_queue_lock);
        }
        process_task(my_task);
   }
}
```

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua: Tipos de exclusión

- Pthreads soporta tres tipos de *locks*: *Normal*, *Recursive* y *Error Check*
  - Un mutex con el atributo *Normal* NO permite que un hilo que lo tienen bloqueado vuelva a hacer un lock sobre él (*deadlock*).
  - Un mutex con el atributo *Recursive* SI permite que un hilo que lo tienen bloqueado vuelva a hacer un lock sobre él (simplemente incrementa una cuenta de control).
  - Un mutex con el atributo *Error Check* responde con un reporte de error al intento de un segundo bloqueo por el mismo hilo.
- El tipo de Mutex puede setearse entre los atributos antes de su inicialización.

Pthreads – Primitivas para exclusión mutua: Overhead por el uso de locks

- Los locks representan puntos de serialización → si dentro de las secciones críticas ponemos segmentos largos de programa tendremos una degradación importante del rendimiento.

- A menudo se puede reducir el overhead por espera ociosa, utilizando la función *pthread_mutex_trylock,* la cual retorna el control informando si pudo hacer o no el lock:

```
int pthread_mutex_trylock  (pthread_mutex_t *mutex_lock)
```

- Evita tiempos ociosos.
- Menos costoso por no tener que manejar las colas de espera.

- ¿Cuándo usarlo?

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición

- Los *locks* representan un mecanismo útil para sincronizar hilos. Sin embargo, un uso indiscriminado de los mismos puede provocar un overhead inaceptable.
  - Por ejemplo, cuando un hilo debe esperar a que ocurra una determinada condición para continuar con su trabajo → el uso de locks para esta situación implica realizar *busy waiting*
- Una solución posible a este problema consiste en emplear *variables condición*.
- Las variables condición permiten que uno o más hilos se autobloqueen hasta que se alcance un estado determinado del programa.
- Cada variable condición estará asociada con un predicado (estado). Cuando el predicado se convierte en verdadero (*True*), la variable condición se utiliza para avisar a el/los hilo/s que están esperando por el cambio de estado de la condición.
- Una única variable condición puede asociarse a varios predicados (aunque dificulta la comprensión y el *debugging*).

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición

- Una variable condición siempre tiene un lock asociada a ella. Cada hilo bloquea este lock y evalúa el predicado asociado a la variable compartida.
- Si el predicado es falso, el hilo espera en la variable condición (se «duerme» por lo que no usa CPU → se evita *busy waiting*).
- Al usar variables condición en lugar de locks, estamos reemplazando un mecanismo de sincronización basado en consultas (*polling*) por uno dirigido por interrupciones.

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición

La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar las variables condición:

```
int pthread_cond_wait ( pthread_cond_t *cond,
                        pthread_mutex_t *mutex)
```

- El llamado a esta función bloquea al hilo hasta tanto reciba una señal de otro hilo o sea interrupido por el sistema operativo.
- Para poder invocarla, el hilo debe tener el control del mutex asociado
- Una vez dormido en la variable condición, el mutex se libera (permitiendo que otros puedan usarlo)
- Cuando el hilo se “despierta” (recibe una señal), espera a que el mutex esté disponible nuevamente para continuar su ejecución.

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición

La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar las variables condición:

```
int pthread_cond_signal (pthread_cond_t *cond)
```

- El llamado a esta función “despierta” a un hilo que esté “dormido” en la variable condición (el hilo a despertar depende de las políticas de planificación)
- Para poder invocarla, el hilo debe tener el control del mutex asociado
- Usualmente el mutex asociado se libera (permitiendo que otros puedan usarlo)

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición

La API Pthreads provee las siguientes funciones para manejar las variables condición:

```
int pthread_cond_init ( pthread_cond_t *cond,
                        const pthread_condattr_t *attr)

int pthread_cond_destroy (pthread_cond_t *cond)
```

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición: Problema de productores y consumidores

Main de la solución al problema de productores-consumidores.

```
pthread_cond_t cond_queue_empty, cond_queue_full;
pthread_mutex_t task_queue_cond_lock;
int task_available;
...
int main(){
   ...
   task_available = 0;
   pthread_cond_init(&cond_queue_empty, NULL);
   pthread_cond_init(&cond_queue_full, NULL);
   pthread_mutex_init(&task_queue_cond_lock, NULL);
   /* Create y join de threads productores y consumidores*/
   ...
}
```

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición: Problema de productores y consumidores

Código para los *productores*.

```
void *producer(void *producer_thread_data) {
   int inserted;
   struct task my_task;
   while (!done()) {
        my_task = create_task ();
        pthread_mutex_lock (&task_queue_cond_lock);
        while (task_available == 1)
                pthread_cond_wait (&cond_queue_empty,
                                   &task_queue_cond_lock);
        insert_into_queue (my_task);
        task_available = 1;
        pthread_cond_signal (&cond_queue_full);
        pthread_mutex_unlock (&task_queue_cond_lock);
    }
}
```

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición: Problema de productores y consumidores

Código para los *consumidores*.

```
void *consumer(void *consumer_thread_data) {
   struct task my_task;
   while (!done()) {
        pthread_mutex_lock (&task_queue_cond_lock);
        while (task_available = = 0)
                pthread_cond_wait (&cond_queue_full,
                                   &task_queue_cond_lock);
        my_task = extract_from_queue ();
        task_available = 0;
        pthread_cond_signal (&cond_queue_empty);
        pthread_mutex_unlock (&task_queue_cond_lock);
        process_task (my_task);
   }
}
```

Pthreads – Primitivas para sincronización por condición

La API Pthreads provee variantes para *wait* y *signal*:

```
int pthread_cond_timedwait ( pthread_cond_t *cond,
                             pthread_mutex_t *mutex,
                             const struct timespec *abstime)
```

- El hilo se duerme a lo sumo una determinada cantidad de tiempo (*abstime*).

```
int pthread_cond_broadcast (pthread_cond_t *cond)
```

- Se despiertan a todos los hilos que están dormidos en la variable condición.

Pthreads – Barreras

Pthreads provee las siguientes funciones para implementar puntos de sincronización que involucren a múltiples hilos (barreras):

```
int pthread_barrier_wait(pthread_barrier_t *barrier);
```

- El hilo llamador se bloquea hasta tanto el número de hilos implicados en la barrera hayan alcanzado este punto.
- El número de hilos asociados a una barrera se especifica en su inicialización.

```
int pthread_barrier_init(pthread_barrier_t *restrict barrier,
                         const pthread_barrierattr_t *restrict attr,
                                                 unsigned count);

int pthread_barrier_destroy(pthread_barrier_t *barrier);
```

Pthreads – Semáforos

- Un semáforo es una estructura de datos que permite sincronizar hilos (tanto para exclusión mutua como para sincronización por condición).
- POSIX definió una API para el uso de semáforos que se puede emplear con Pthreads, aun cuando no es parte del estándar.
- Los tipos de datos y funciones para usar semáforos se encuentran en *semaphore.h*
- Para declarar un semáforo, se usa el tipo *sem_t*

Pthreads – Semáforos

- Los semáforos deben inicializarse usando la función *sem_init*:

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

- Para decrementar un semáforo (P) se debe usar *sem_wait*:

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

- Para incrementar un semáforo (V) se debe usar *sem_post*:

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

- Para destruir un semáforo se debe usar *sem_destroy*:

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

Pthreads – Semáforos: cálculo del mínimo de una lista de números

Ahora se puede escribir el código para calcular el mínimo de una lista de números pero usando semáforos:

```
sem_t    sem;
 ...
 int main() {
    ...
    sem_init(&sem, NULL, 1);
    ...
    /* Create y join de threads */
    ...
 }

 void *find_min(void *list_ptr){
    ...
    sem_wait(&sem);
    if (my_min < minimum_value) minimum_value = my_min;
    sem_post(&sem);
     ...
 }
```

Pthreads – Semáforos: Problema de productores y consumidores

Main de la solución al problema de productores-consumidores.

```
sem_t sem_empty, sem_full;
...
int main(){
   ...
   sem_init(&sem_empty, 1);
   sem_init(&sem_full, 0);
   /* Create y join de threads productores y consumidores*/
   ...
}
```

Pthreads – Semáforos: Problema de productores y consumidores

Código para los *productores*.

```
void *producer(void *producer_thread_data) {

   struct task my_task;
   while (!done()) {
        my_task = create_task ();
        sem_wait(sem_empty);
        insert_into_queue (my_task);
        sem_post(sem_full);
   }
}
```

Pthreads – Semáforos: Problema de productores y consumidores

Código para los *consumidores*.

```
void *consumer(void *consumer_thread_data) {

struct task my_task;
   while (!done()) {
        sem_wait(sem_full);
        my_task = extract_from_queue ();
        sem_post(sem_empty);
        process_task (my_task);
   }
}
```

Costo de programación y rendimiento?

Pthreads – Planificación de hilos

- El sistema operativo es responsable de planificar la ejecución de los hilos. Sin embargo, el programador puede influenciarlo usando los *atributos de planificación*.
- La prioridad de planificación de un hilo determina qué nivel de privilegio tendrá el mismo sobre los demás en la planificación.
- El planificador mantiene una cola separada de hilos por cada prioridad definida.
- Al momento de seleccionar un hilo para ejecutar, se elige alguno que esté listo de la cola que tenga mayor prioridad.
- Si hay varios hilos posibles en la cola seleccionada, se elige uno de ellos de acuerdo a la política de planificación.

Pthreads – Planificación de hilos

- Para asignar y recuperar los atributos de planificación, la API de Pthreads ofrece las siguientes funciones:

```
int pthread_attr_getschedparam (const pthread attr t *attr,
                                struct sched param *param)

int pthread_attr_setschedparam (pthread attr t *attr,
                            const struct sched param *param)
```

- Para asignar y recuperar la prioridad mínima y máxima de una de terminada política de planificación, se pueden usar las siguientes funciones:

```
int sched_get_priority_min (int policy)
int sched_get_priority_max (int policy)
```

Pthreads – Planificación de hilos

- La política de planificación determina cómo se ejecutan y comparten recursos los hilos de una misma prioridad (en especial, el tiempo que cada uno se ejecuta).

- Pthreads soporte tres políticas de planificación diferentes:

  - SCHED_FIFO (*first-in, first-out*): una vez en ejecución, el hilo se ejecuta hasta que termina, se bloquea o hasta que un hilo de mayor prioridad pueda ejecutarse. Los hilos de la misma prioridad son ejecutados *en orden.*

  - SCHED_RR (*round-robin*): Similar a SCHED_FIFO pero los hilos se ejecutan a lo sumo una determinada cantidad de tiempo (configurable).

  - SCHED_OTHER: política adicional, no definida en el estándar. Su comportamiento depende completamente de la implementación.

MULTIHILADO EN OTROS LENGUAJES

Multithreading en Python

```python
import threading
import numpy as np

# Tamaño del vector
N = 1000

# Crear dos vectores aleatorios
a = np.random.rand(N)
b = np.random.rand(N)

# Vector donde se almacenará la suma
result = np.zeros(N)

# Número de hilos a usar
num_threads = 4

# Función que realiza la suma en un rango de índices
def sum_vectors(start, end):
    for i in range(start, end):
        result[i] = a[i] + b[i]

# Crear y lanzar los hilos
threads = []
chunk_size = N // num_threads
for i in range(num_threads):
    start = i * chunk_size
    end = N if i == num_threads - 1 else (i + 1) * chunk_size
    thread = threading.Thread(target=sum_vectors, args=(start, end))
    threads.append(thread)
    thread.start()

# Esperar a que todos los hilos terminen
for thread in threads:
    thread.join()

# Verificar el resultado con numpy
expected = a + b
print("Diferencia máxima:", np.max(np.abs(result - expected)))
```

Multithreading en Java

```
import java.util.Random;

class VectorSumThread extends Thread {
    private double[] a, b, result;
    private int start, end;

    public VectorSumThread(double[] a, double[] b, double[] result, int start, int end) {
        this.a = a;
        this.b = b;
        this.result = result;
        this.start = start;
        this.end = end;
    }

    @Override
    public void run() {
        for (int i = start; i < end; i++) {
            result[i] = a[i] + b[i];
        }
    }
}
```

```
public class SumVectorsMultithreading {
    private static final int N = 1000;
    private static final int NUM_THREADS = 4;

    public static void main(String[] args) {
        double[] a = new double[N];
        double[] b = new double[N];
        double[] result = new double[N];
        Random rand = new Random();

        // Inicializar los vectores con valores aleatorios
        for (int i = 0; i < N; i++) {
            a[i] = rand.nextDouble();
            b[i] = rand.nextDouble();
        }

        VectorSumThread[] threads = new VectorSumThread[NUM_THREADS];
        int chunkSize = N / NUM_THREADS;

        // Crear y ejecutar los hilos
        for (int i = 0; i < NUM_THREADS; i++) {
            int start = i * chunkSize;
            int end = (i == NUM_THREADS - 1) ? N : (i + 1) * chunkSize;
            threads[i] = new VectorSumThread(a, b, result, start, end);
            threads[i].start();
        }
```

```
        // Esperar a que todos los hilos terminen
        for (VectorSumThread thread : threads) {
            try {
                thread.join();
            } catch (InterruptedException e) {
                e.printStackTrace();
            }
        }

        // Mostrar algunos valores para verificar el resultado
        System.out.println("Primeros 10 valores de la suma:");
        for (int i = 0; i < 10; i++) {
            System.out.printf("%.4f + %.4f = %.4f\n", a[i], b[i], result[i]);
        }
    }
}
```

Bibliografía usada para esta clase

- POSIX Threads tutorial. Blaise Barney, Lawrence Livermore National Laboratory. https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/
- Capítulo 7, An Introduction to Parallel Computing. Design and Analysis of Algorithms (2da Edition). Grama A., Gupta A., Karypis G. & Kumar V. (2003) Inglaterra: Pearson Addison Wesley.
- Capítulo 6, Parallel Programming for Multicore and Cluster Systems. Rauber, T. & Rünger, G. (2010). EEUU: Springer-Verlag Berlin Heidelberg.