



# Programación de Sistemas CCPG1008

Federico Domínguez, PhD.

Unidad 6 – Sesión 5: Consideraciones con hilos

# Contenido

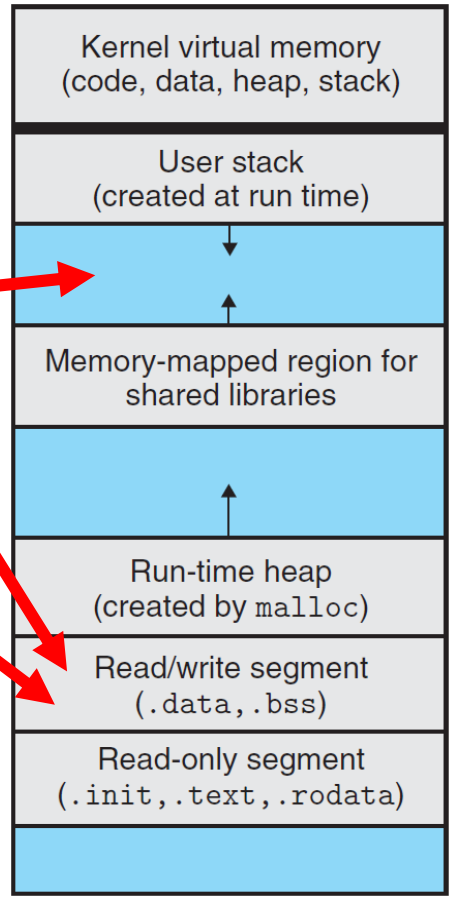
- Variables compartidas
- Secciones críticas
- Semáforos y POSIX
- Thread safety
- Tipos de funciones *thread-unsafe*
- Funciones *reentrants*
- Races

# La ventaja del modelo de concurrencia con hilos es la capacidad de **compartir variables** entre hilos.

Las variables en C se pueden dividir de acuerdo a como son almacenadas en la memoria virtual:

- **Globales**: Declaradas fuera de una función. Almacenadas en *.data* o *.bss* de la memoria virtual y pueden ser referenciadas por cualquier hilo. **Una instancia por proceso.**
- **Locales automáticas**: Declaradas dentro de una función sin `static`. Almacenadas en el *stack* de cada hilo, cada hilo tiene su propia copia. **Una instancia por hilo.**
- **Locales estáticas:** Declaradas dentro de una función con `static`. Almacenadas en *.data* o *.bss* de la memoria virtual y pueden ser referenciadas por cualquier hilo. **Una instancia por proceso.**

Una variable es **compartida** si y solo si una instancia de la misma es compartida por más de un hilo.



code/conc/sharing.c

```c
#include "csapp.h"
#define N 2
void *thread(void *vargp);

char **ptr;  /* Global variable */

int main()
{
    int i;
    pthread_t tid;
    char *msgs[N] = {
        "Hello from foo",
        "Hello from bar"
    };

    ptr = msgs;
    for (i = 0; i < N; i++)
        Pthread_create(&tid, NULL, thread, (void *)i);
    Pthread_exit(NULL);
}

void *thread(void *vargp)
{
    int myid = (int)vargp;
    static int cnt = 0;
    printf("[%d]: %s (cnt=%d)\n", myid, ptr[myid], ++cnt);
    return NULL;
}
```

code/conc/sharing.c

Compartir variables entre hilos introduce complicaciones inherentes a la programación con concurrencia.

code/conc/badcnt.c

```
1  #include "csapp.h"
2
3  void *thread(void *vargp);  /* Thread routine prototype */
4
5  /* Global shared variable */
6  volatile int cnt = 0; /* Counter */
7
8  int main(int argc, char **argv)
9  {
10     int niters;
11     pthread_t tid1, tid2;
12
13     /* Check input argument */
14     if (argc != 2) {
15         printf("usage: %s <niters>\n", argv[0]);
16         exit(0);
17     }
18     niters = atoi(argv[1]);
19
20     /* Create threads and wait for them to finish */
21     Pthread_create(&tid1, NULL, thread, &niters);
22     Pthread_create(&tid2, NULL, thread, &niters);
23     Pthread_join(tid1, NULL);
24     Pthread_join(tid2, NULL);
25
26     /* Check result */
27     if (cnt != (2 * niters))
28         printf("BOOM! cnt=%d\n", cnt);
29     else
30         printf("OK cnt=%d\n", cnt);
31     exit(0);
32 }
33
34 /* Thread routine */
35 void *thread(void *vargp)
36 {
37     int i, niters = *((int *)vargp);
38
39     for (i = 0; i < niters; i++)
40         cnt++;
41
42     return NULL;
43 }
```

code/conc/badcnt.c

# Demo *badcnt.c*

# Al inspeccionar el código que accede e incrementa la variable compartida en ensamblador, se puede apreciar que para lograr esto se necesitan como mínimo tres instrucciones.

*C code for thread i*

```
for (i=0; i <niters; i++)
    cnt++;
```

*Asm code for thread i*

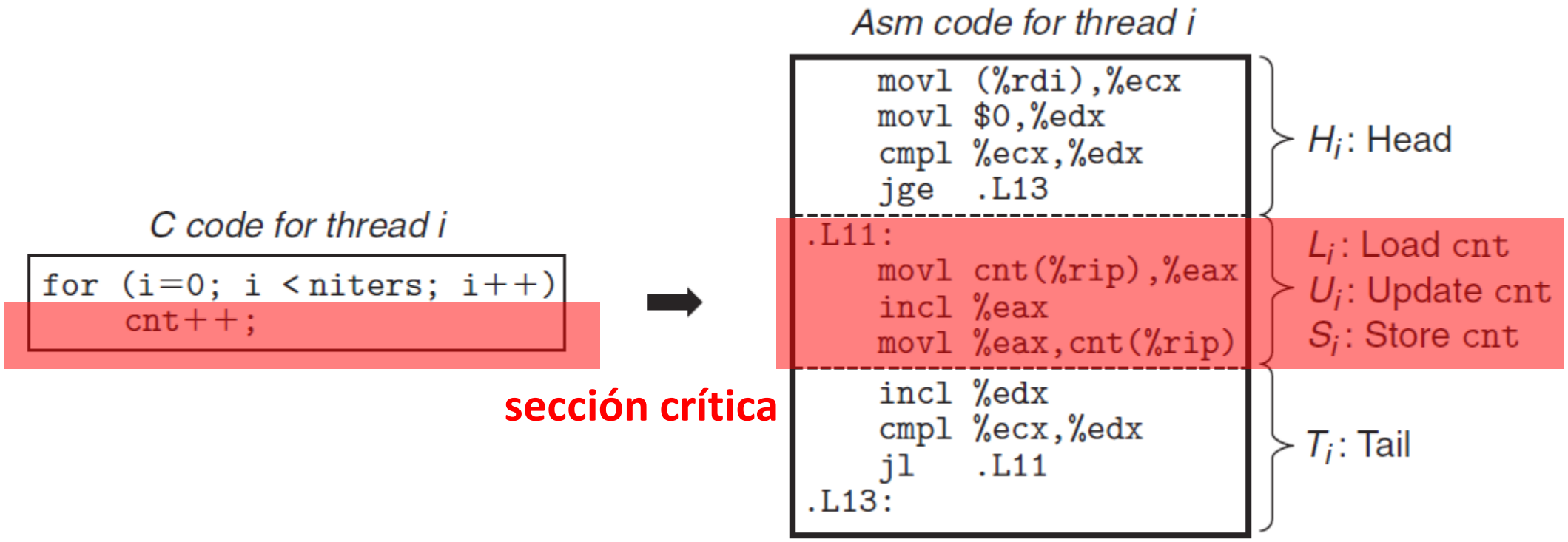
```
    movl (%rdi),%ecx
    movl $0,%edx
    cmpl %ecx,%edx
    jge  .L13
.L11:
    movl cnt(%rip),%eax
    incl %eax
    movl %eax,cnt(%rip)
    incl %edx
    cmpl %ecx,%edx
    jl   .L11
.L13:
```

$H_i$: Head

$L_i$: Load cnt
$U_i$: Update cnt
$S_i$: Store cnt

$T_i$: Tail

# Al inspeccionar el código que accede e incrementa la variable compartida en ensamblador, se puede apreciar que para lograr esto se necesitan como mínimo tres instrucciones.



# El orden en que ambos hilos ejecutan las instrucciones que acceden y modifican una variable compartida es crítico para obtener resultados correctos.

| Step | Thread | Instr | %eax$_1$ | %eax$_2$ | cnt |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | $H_1$ | — | — | 0 |
| 2 | 1 | $L_1$ | 0 | — | 0 |
| 3 | 1 | $U_1$ | 1 | — | 0 |
| 4 | 1 | $S_1$ | 1 | — | 1 |
| 5 | 2 | $H_2$ | — | — | 1 |
| 6 | 2 | $L_2$ | — | 1 | 1 |
| 7 | 2 | $U_2$ | — | 2 | 1 |
| 8 | 2 | $S_2$ | — | 2 | 2 |
| 9 | 2 | $T_2$ | — | 2 | 2 |
| 10 | 1 | $T_1$ | 1 | — | 2 |

(a) Correct ordering

| Step | Thread | Instr | %eax$_1$ | %eax$_2$ | cnt |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | $H_1$ | — | — | 0 |
| 2 | 1 | $L_1$ | 0 | — | 0 |
| 3 | 1 | $U_1$ | 1 | — | 0 |
| 4 | 2 | $H_2$ | — | — | 0 |
| 5 | 2 | $L_2$ | — | 0 | 0 |
| 6 | 1 | $S_1$ | 1 | — | 1 |
| 7 | 1 | $T_1$ | 1 | — | 1 |
| 8 | 2 | $U_2$ | — | 1 | 1 |
| 9 | 2 | $S_2$ | — | 1 | 1 |
| 10 | 2 | $T_2$ | — | 1 | 1 |

(b) Incorrect ordering

# El orden en que ambos hilos ejecutan las instrucciones que acceden y modifican una variable compartida es crítico para obtener resultados correctos.

| Step | Thread | Instr | %eax$_1$ | %eax$_2$ | cnt |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | $H_1$ | — | — | 0 |
| 2 | 1 | $L_1$ | 0 | — | 0 |
| 3 | 1 | $U_1$ | 1 | — | 0 |
| 4 | 1 | $S_1$ | 1 | — | 1 |
| 5 | 2 | $H_2$ | — | — | 1 |
| 6 | 2 | $L_2$ | — | 1 | 1 |
| 7 | 2 | $U_2$ | — | 2 | 1 |
| 8 | 2 | $S_2$ | — | 2 | 2 |
| 9 | 2 | $T_2$ | — | 2 | 2 |
| 10 | 1 | $T_1$ | 1 | — | 2 |

(a) Correct ordering

| Step | Thread | Instr | %eax$_1$ | %eax$_2$ | cnt |
|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | $H_1$ | — | — | 0 |
| 2 | 1 | $L_1$ | 0 | — | 0 |
| 3 | 1 | $U_1$ | 1 | — | 0 |
| 4 | 2 | $H_2$ | — | — | 0 |
| 5 | 2 | $L_2$ | — | 0 | 0 |
| 6 | 1 | $S_1$ | 1 | — | 1 |
| 7 | 1 | $T_1$ | 1 | — | 1 |
| 8 | 2 | $U_2$ | — | 1 | 1 |
| 9 | 2 | $S_2$ | — | 1 | 1 |
| 10 | 2 | $T_2$ | — | 1 | 1 |

(b) Incorrect ordering

# El concepto del semáforo ofrece una solución a la sincronización de acceso a secciones críticas de código.

Un semáforo, *s,* es una variable global no-negativa la cual puede ser manipulada por tan solo dos operaciones: *P* y *V*.

- *P(s)*: Si *s* es diferente de cero, *P* decrementa *s* y retorna inmediatamente. Si *s* es cero, el hilo se bloquea hasta que una llamada a *V* lo desbloquee. En ese caso, el hilo decrementa el valor de *s* y *P* retorna.
- *V(s): V* incrementa *s* en 1. Si existen hilos esperando en *P*, *V* reinicia exactamente un solo hilo, el cuál procede a decrementar *s* y continua.

Las operaciones *P* y *V* son indivisibles (atómicas) y esto es usualmente garantizado por hardware o el sistema operativo.

La operación *V* no define que hilo bloqueado en *P* debe reactivar, esto no es necesariamente predecible.

# El estándar POSIX define varias funciones para la manipulación de semáforos.

```
#include <semaphore.h>

int sem_init(sem_t *sem, 0, unsigned int value);
int sem_wait(sem_t *s);   /* P(s) */
int sem_post(sem_t *s);   /* V(s) */
```

Returns: 0 if OK, −1 on error

# Las funciones “wrapper” usadas en el libro guía mantienen la nomenclatura original.

```
#include "csapp.h"

void P(sem_t *s); /* Wrapper function for sem_wait */
void V(sem_t *s); /* Wrapper function for sem_post */
```

Returns: nothing

# Los semáforos proveen una manera conveniente para asegurar acceso exclusivo a variables compartidas.

Si inicializamos *s* en 1, *s* se convierte en un semáforo binario.

Si rodeamos una sección crítica con *P(s)* y *V(s)* de un semáforo binario, tenemos una zona de exclusión mutua.

El uso de un semáforo de esta forma, se conoce como *mutex* (mutual exclusión).

```
for (i = 0; i < niters; i++) {
    P(&mutex);
    cnt++;
    V(&mutex);
}
```

# Demo *goodcnt.c*

# Seguridad en hilos (Thread Safety)

Una función es *thread-safe* si y solo si produce resultados correctos cuando es llamada de manera concurrente por diferentes hilos.

Al desarrollar una aplicación con concurrencia debemos asegurarnos que todas las funciones sean *thread-safe*.

Existen varias formas como una función podría ser *thread-unsafe*…

# Tipos de funciones *thread-unsafe*

**Tipo 1:** Funciones que no protegen variables compartidas con semáforos o métodos equivalentes.

**Tipo 2:** Funciones que mantienen estados a través de múltiples invocaciones. Usan variables locales estáticas o similares.

**Tipo 3:** Funciones que retornan punteros a variables estáticas.

**Tipo 4:** Funciones que llaman a otras funciones *thread-unsafe*.

# Thread-unsafe tipo 2

*code/conc/rand.c*

```
1   unsigned int next = 1;
2
3   /* rand - return pseudo-random integer on 0..32767 */
4   int rand(void)
5   {
6       next = next*1103515245 + 12345;
7       return (unsigned int)(next/65536) % 32768;
8   }
9
10  /* srand - set seed for rand() */
11  void srand(unsigned int seed)
12  {
13      next = seed;
14  }
```

*code/conc/rand.c*

# Gestión de una función *thread-unsafe* tipo 3.

*code/conc/ctime_ts.c*

```
1   char *ctime_ts(const time_t *timep, char *privatep)
2   {
3       char *sharedp;
4
5       P(&mutex);
6       sharedp = ctime(timep);
7       strcpy(privatep, sharedp); /* Copy string from shared to private */
8       V(&mutex);
9       return privatep;
10  }
```

*code/conc/ctime_ts.c*

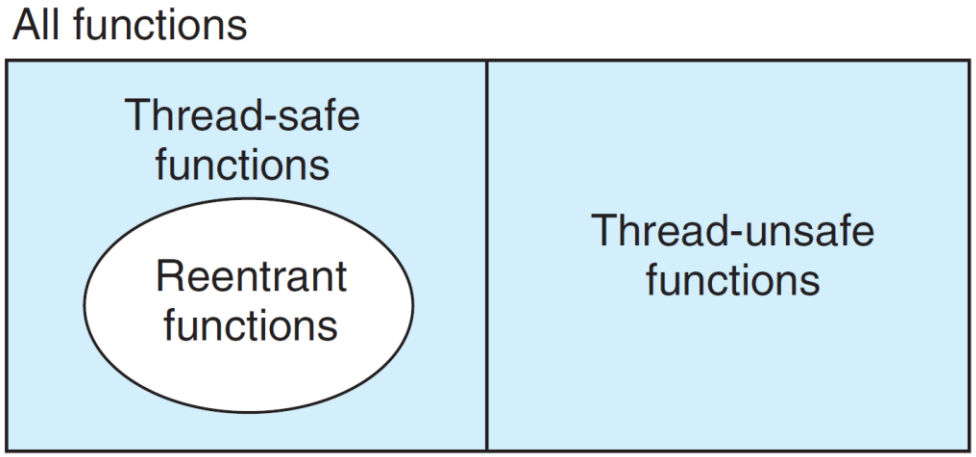
# Demo función thread unsafe

# Funciones re-entrantes

Una función es re-entrante (*reentrant*) cuando no referencia a ningún tipo de variables o recursos compartidos.

El nombre proviene de la propiedad que una función re-entrante puede ser interrumpida en cualquier momento durante su ejecución y ser ejecutada por otro hilo (re-entrada) de manera segura.

No todas las funciones *thread-safe* son re-entrantes…



# Funciones re-entrantes

Una función es re-entrante explícita si no usa ninguna variable compartida y no usa argumentos pasados por referencia (usando punteros).

Una función es re-entrante implícita si no usa ninguna variable compartida pero contiene parámetros pasados por referencia.

La única forma de corregir una función *thread-unsafe* tipo 2 es reescribirla como re-entrante.

*code/conc/rand_r.c*

```
1   /* rand_r - a reentrant pseudo-random integer on 0..32767 */
2   int rand_r(unsigned int *nextp)
3   {
4       *nextp = *nextp * 1103515245 + 12345;
5       return (unsigned int)(*nextp / 65536) % 32768;
6   }
```

*code/conc/rand_r.c*

# ¿Es esta función re-entrante?

*code/conc/ctime_ts.c*

```
1   char *ctime_ts(const time_t *timep, char *privatep)
2   {
3       char *sharedp;
4
5       P(&mutex);
6       sharedp = ctime(timep);
7       strcpy(privatep, sharedp); /* Copy string from shared to private */
8       V(&mutex);
9       return privatep;
10  }
```

*code/conc/ctime_ts.c*

# Algunas funciones de librerías estándares en sistemas UNIX son *thread-unsafe*, sin embargo se proveen versiones *thread-safe* y son demarcadas con el sufijo _r.

| Thread-unsafe function | Thread-unsafe class | Unix thread-safe version |
|---|---|---|
| `rand` | 2 | `rand_r` |
| `strtok` | 2 | `strtok_r` |
| `asctime` | 3 | `asctime_r` |
| `ctime` | 3 | `ctime_r` |
| `gethostbyaddr` | 3 | `gethostbyaddr_r` |
| `gethostbyname` | 3 | `gethostbyname_r` |
| `inet_ntoa` | 3 | (none) |
| `localtime` | 3 | `localtime_r` |

Figure 12.39 **Common thread-unsafe library functions.**

# Demo Race

# Races

Una carrera (*race*) es una de las causas de resultados erróneos más comunes en sistemas concurrentes.

Una carrera ocurre cuando el resultado correcto de un programa depende de que hilo llega primero a un punto especifico del flujo lógico del programa.

# Referencias

Libro guía Computer Systems: A programmer’s perspective. Secciones 12.4,5,7