SISTEMAS PARALELOS

Clase 4 – Programación en memoria compartida // OpenMP

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LA PLATA

Agenda de la clase anterior

- Fundamentos de programación en memoria compartida
- Estándar Pthreads

Agenda de esta clase

- Estándar OpenMP

PROGRAMACIÓN EN MEMORIA COMPARTIDA // OPEN MULTI-PROCESSING

Modelo de programación basado en directivas: OpenMP

- Modelos basados en threads → primitivas de bajo nivel.
- Modelos basados en directivas → constructores de alto nivel → Idea básica: liberar al programador del manejo explícito de hilos.
- OpenMP:
  - Es un estándar para programación paralela basado en directivas que puede ser usado con C, C++ y FORTRAN.
  - Tiene 3 componentes primarios: directivas, funciones de librerías y variables de entorno.
  - Sus directivas proveen soporte para concurrencia, sincronización y manejo de datos obviando el uso explícito de locks, variables condición, alcance de los datos e inicialización de threads.
  - Sus directivas son traducidas a código Pthreads

Modelo de programación basado en directivas: OpenMP

- OpenMP fue diseñado en 1997 por el consorcio *OpenMP Architecture Review Board* (OpenMP ARB) y aun hoy es mantenido por el mismo.

- La motivación principal radicaba en la dificultad de escribir programas paralelos de gran escala usando las herramientas del momento, como por ejemplo Pthreads → El objetivo era diseñar un estándar para programas de memoria compartida que pudieran ser desarrollados con un mayor nivel de abstracción

- OpenMP sigue una filosofía *incremental* de desarrollo

Modelo de programación basado en directivas: OpenMP

- Inicialmente, las especificaciones para Fortran y C eran lanzadas en forma separada. A partir del 2005, son lanzadas juntas.

Fecha	Versión
Oct 1997	Fortran 1.0
Oct 1998	C/C++ 1.0
Nov 1999	Fortran 1.1
Nov 2000	Fortran 2.0
Mar 2002	C/C++ 2.0
May 2005	OpenMP 2.5
May 2008	OpenMP 3.0
Jul 2011	OpenMP 3.1
Jul 2013	OpenMP 4.0
Nov 2015	OpenMP 4.5

Modelo de programación basado en directivas: OpenMP

- Soporte de compiladores:

Vendedor	Compilador	Soporte
GNU	GCC	Desde GCC 6.1, OpenMP 4.5 es soportado completamente para C y C++. Compilar con *–fopenmp*
Intel	ICC	Desde versiones 18.0, OpenMP 4.5 es soportado completamente para C, C++ y Fortran. Compilar con *–qopenmp*

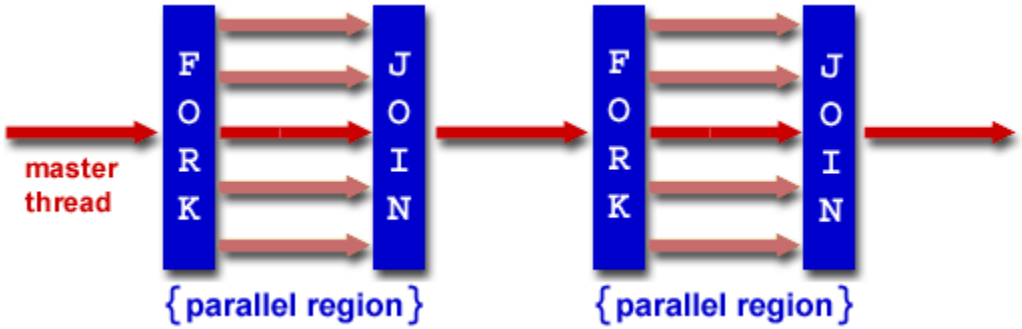
- Más info de soporte en: http://www.openmp.org/resources/openmp-compilers-tools/

OpenMP: Características básicas

- Sintaxis de las directivas.

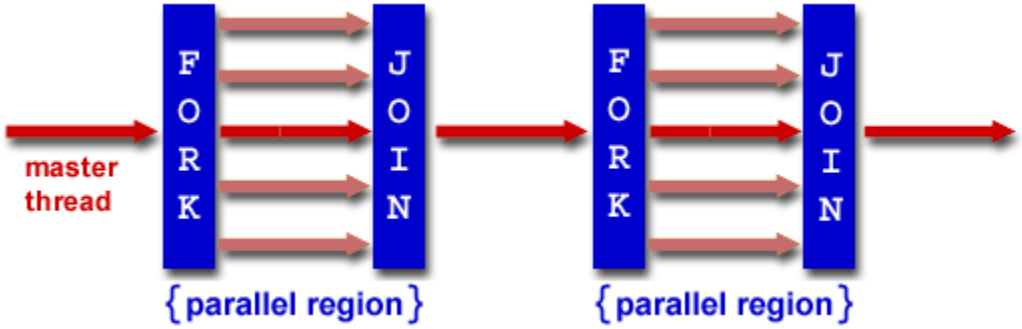
```
#pragma omp nombre_directiva [lista de cláusulas]
```

- Modelo Fork-Join



OpenMP: Modelo *Fork-Join*

- Comienza con un único hilo (hilo master).
- ***Fork***: Al encontrar un constructor paralelo (o directiva paralela), el hilo master crea un grupo de hilos
- El bloque encerrada por el constructor de la región paralela es ejecutada en paralelo entre todos los hilos.
- ***Join***: cuando el conjunto de hilos finaliza el bloque paralelo, se sincronizan y terminan, continuando únicamente el hilo master.



OpenMP: Constructor *parallel*

- Es el constructor más importante
- Permite especificar un bloque de código que será ejecutado en paralelo (*región paralela*)
- Asegura la creación de un equipo de hilos aunque la distribución del trabajo dentro de la región paralela es responsabilidad del programador
- Dentro de la región paralela, cada hilo mantiene un ID único (el ID 0 siempre corresponde al hilo master)
- Al final de la región paralela, hay una barrera implícita → sólo el hilo master continúa con la ejecución

```
#pragma omp parallel [lista de cláusulas]
{ … }
```

OpenMP: Constructor *parallel* – Cláusulas *private* y *firstprivate*

- Admite cláusulas que determinan cuáles datos serán privados a cada hilo y cuáles serán compartidos entre todos los hilos de una región paralela
- Las variables privadas de un hilo se especifican mediante la cláusula *private*:

```
#pragma omp parallel private(lista_de_variables)
{ … }
```

- Esta cláusula crea una copia local a cada hilo de cada variable especificada respetando su tipo y tamaño
- Esta copia local sólo puede ser accedida y modificada por el hilo que la posee
- Variante: *firstprivate*

OpenMP: Constructor *parallel* – Cláusulas *shared* y *default*

- Las variables que son compartidas entre todos los hilos de un equipo se especifican en la cláusula *shared*:

```
#pragma omp parallel shared(lista_de_variables)
{ … }
```

- En este caso, todos los hilos podrán leer y modificar la variable original.
- Por defecto, todas las variables son compartidas → Para alterar este comportamiento, se puede emplear la cláusula *default*:

```
#pragma omp parallel default(shared|private|none)
{ … }
```

OpenMP: Constructor *parallel* – Cláusula *num_threads*

- Para especificar el número de hilos a crear, se puede usar la cláusula *num_threads*:

```
#pragma omp parallel num_threads(T)
{ … }
```

- En caso de ausencia, el número de hilos a crear lo determina la variable de entorno OMP_NUM_THREADS

OpenMP: Ejemplo de traducción a Pthreds

```
int a, b;
main() {
  // serial segment
  #pragma omp parallel num_threads (8) private (a) shared (b)
  {
    // parallel segment
  }
  // rest of serial segment
}
```

Sample OpenMP program

Code inserted by the OpenMP compiler

```
int a, b;
main() {
  // serial segment

  for (i = 0; i < 8; i++)
      pthread_create (........, internal_thread_fn_name, ...);

  for (i = 0; i < 8; i++)
      pthread_join (.......);

  // rest of serial segment

}

void *internal_thread_fn_name (void *packaged_argument) [
    int a;
  // parallel segment
}
```

Corresponding Pthreads translation

OpenMP: ¡Hola Mundo!

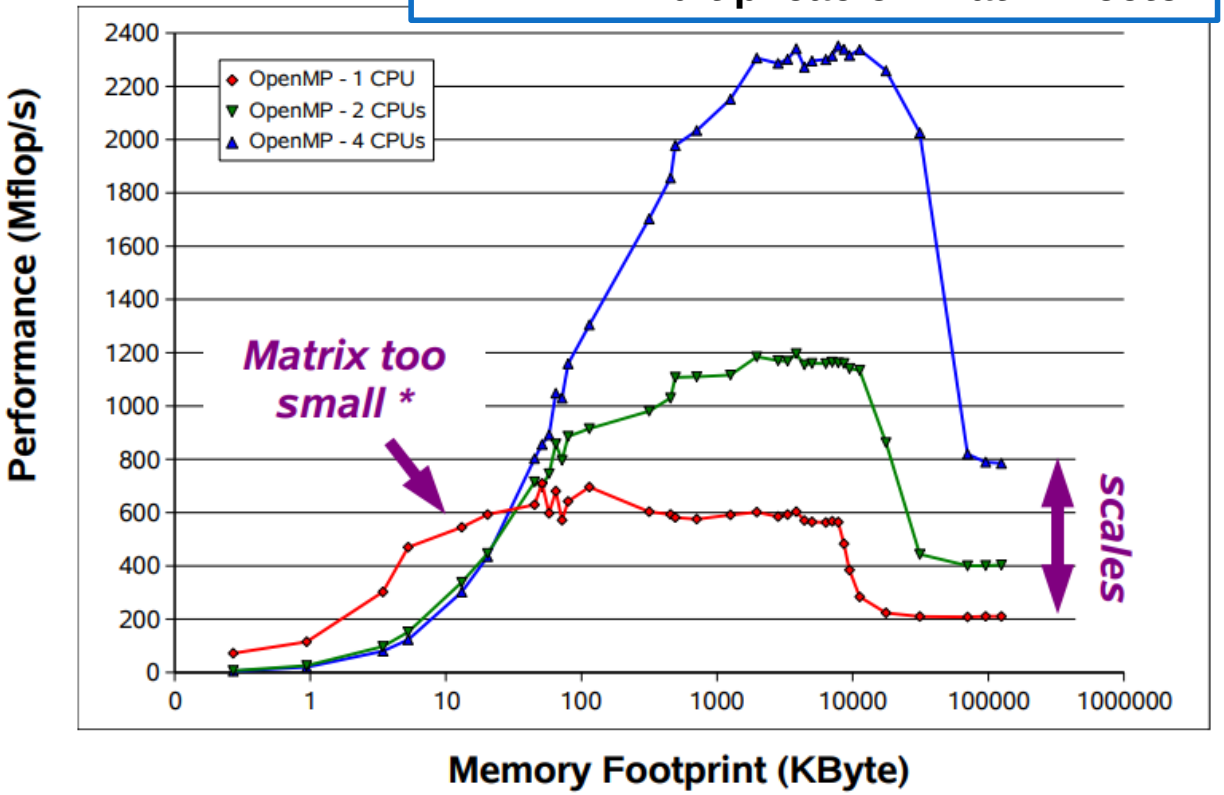
```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

int main () {
   int nthreads, tid;

     #pragma omp parallel private(tid)
     {  tid = omp_get_thread_num();
        printf("¡Hola Mundo! Soy el hilo = %d\n", tid);
        if (tid == 0) {
                nthreads = omp_get_num_threads();
                printf("Número de hilos = %d\n", nthreads);
        }
      }
 }
```

- En este ejemplo, cada hilo imprime su ID mientras que el master también imprime el número de hilos generados

OpenMP: Constructor *parallel* – Cláusula *if*

- La cláusula *if* permite condicionar la generación de hilos a la evaluación de una expresión escalar
  - Si la evaluación de la expresión resulta falsa, entonces el código se ejecuta en forma secuencial.
  - Puede resultar útil para paralelizar sólo cuando vale la pena.

Programa OpenMP que computa una multiplicación matriz-vector

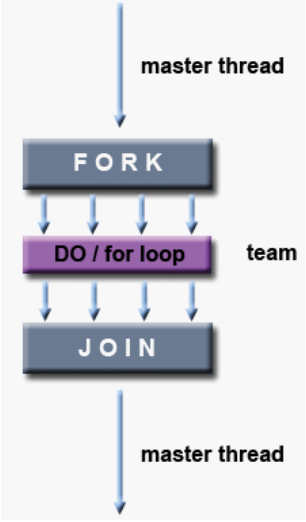


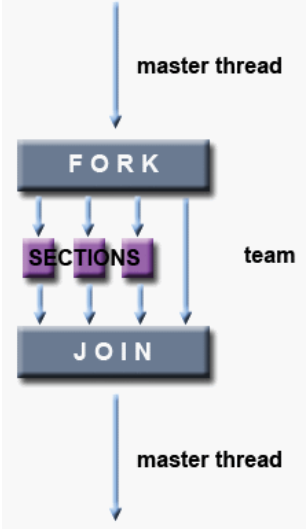
OpenMP: Constructor *parallel* - ¿Cuánto hilos se generan?

- El número de hilos a generar por un constructor *parallel* está determinado por lo siguientes factores en orden de precedencia:
  1. Evaluación de la cláusula *if*
  2. Inclusión de la cláusula *num_threads*
  3. Llamado a la función de librería *omp_set_num_threads*()
  4. Seteo de la variable de entorno OMP_NUM_THREADS
  5. Decisión de la implementación

OpenMP: Constructores para trabajo compartido

- La directiva *parallel* puede ser utilizada en conjunto con otras directivas para especificar concurrencia entre iteraciones y tareas (constructores de trabajo compartido) → No crea nuevos threads.
- Diferentes tipos de constructores.
  - Directiva *for* → Divide las iteraciones de un bucle entre los hilos (paralelismo de datos).
  - Directiva *sections* → Trabajo dividido en secciones separadas (paralelismo funcional).





OpenMP: Constructor *for*

- Sintaxis:

```
#pragma omp for [lista de cláusulas]
for ( init_exp; check_exp; mod_exp)
```

- El uso de esta directiva impone algunas restricciones:
  - Las iteraciones deben ser independientes entre sí
  - El número de iteraciones debe ser conocido de antemano
  - La variable índice se vuelve privada por defecto y no puede ser modificada por los hilos dentro del bucle
  - No se puede usar *break* dentro de las iteraciones
- El bucle paralelo finaliza con una sincronización implícita entre todos los hilos que lo integran

OpenMP: Constructor *for* – Cláusulas disponibles

- Cláusulas disponibles:
  - *shared*, *private*, *firstprivate*
  - *lastprivate* (lista de variables): funciona como *private*, sólo que la variable original queda con el valor de la última iteración del bucle
  - *reduction* (operador:variable, …): realiza una operación de reducción usando el operador indicado con las múltiples copias de la variable correspondiente

OpenMP: Constructor *for* – Cláusula *reduction*

Valid Operators and Initialization Values			
Operation	**Fortran**	**C/C++**	**Initialization**
Addition	+	+	0
Multiplication	*	*	1
Subtraction	-	-	0
Logical AND	.and.	&&	0
Logical OR	.or.	||	.false. / 0
AND bitwise	iand	&	all bits on / 1
OR bitwise	ior	|	0
Exclusive OR bitwise	ieor	^	0
Equivalent	.eqv.		.true.
Not Equivalent	.neqv.		.false.
Maximum	max	max	Most negative #
Minimum	min	min	Largest positive #

OpenMP: Constructor *for* – Cláusula *reduction*

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

#define N 1000

int main () {
   int v[N], i, sum=0;
   /* Inicializar v */
   #pragma omp parallel
   {
        #pragma omp for reduction(+:sum)
        for (i=0; i<N; i++)
                sum += v[i];
   }
   …
}
```

OpenMP: Constructor *for* – Cláusula *nowait*

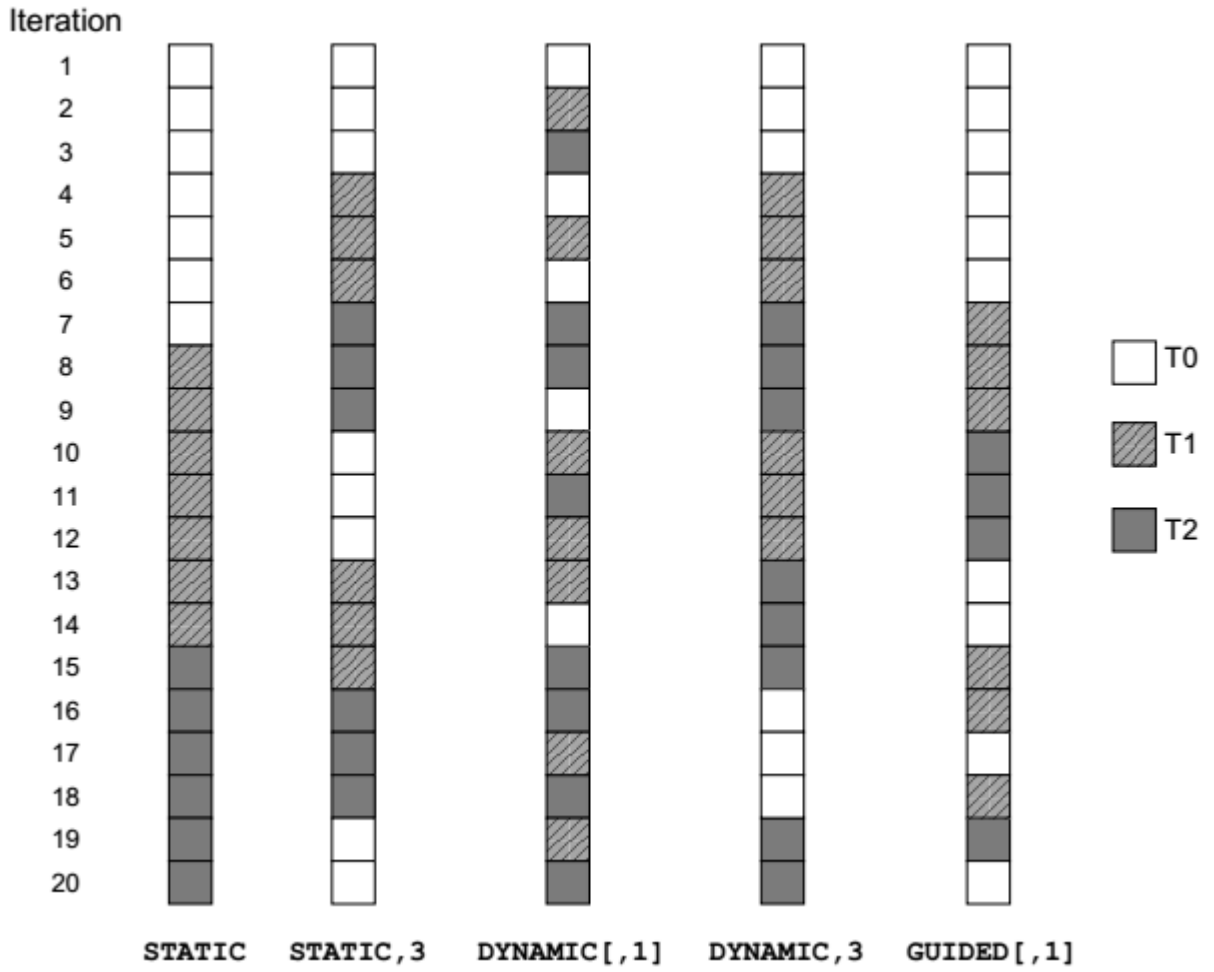
- Cláusulas disponibles:
  - nowait: evita la barra implícita al final del bucle

```
#pragma omp parallel
{
      #pragma omp for nowait
      for (i=1; i<n; i++)
            b[i] = (a[i] + a[i-1]) / 2.0;

      #pragma omp for nowait
      for (i=0; i<m; i++)
            y[i] = sqrt(z[i]);
}
```

OpenMP: Constructor *for* – Cláusula *schedule*

- schedule(política [,*chunk*]): especifica cómo se distribuyen las iteraciones entre los hilos.
  - *static*: divide en bloques de *chunk* iteraciones y las asigna en forma *round-robin*. Cuando *chunk* no se especifica, se dividen las iteraciones en bloques de tamaño aproximado.
  - *dynamic*: divide en bloques de *chunk* iteraciones y las asigna bajo demanda. Cuando *chunk* no se especifica, las iteraciones son asignadas de a 1.
  - *guided:* basado en *dynamic* pero decrementando *chunk* a medida que avanza el bucle. Cuando *chunk*=1, el bloque de iteraciones se asigna en forma proporcional a las iteraciones pendiente y los hilos que integran el bucle. Cuando *chunk* = *k* > 1, el bloque se asigna de igual manera pero nunca será menor a *k*.
  - *auto*: se delega la elección al compilador o al sistema
  - *runtime*: la planificación la determina la variable de entorno OMP_SCHEDULE

OpenMP: Constructor *for* – Cláusula *schedule*



OpenMP: Constructor *for* – Ejemplo

- Suma de dos vectores

```
#pragma omp parallel shared(a,b,c,chunk) private(i)
  {

  #pragma omp for schedule(dynamic,chunk) nowait
  for (i=0; i < N; i++)
    c[i] = a[i] + b[i];

  }   /* end of parallel region */

}
```

OpenMP: Constructor *sections*

- Sintaxis:

```
#pragma omp sections [lista de cláusulas]
{
    #pragma omp section
    { // bloque estructurado ... }
    [#pragma omp section]
    { // bloque estructurado ... }
    ...
}
```

- Útil para la distribución de trabajo no-iterativo. Por ejemplo, paralelismo funcional.
- Cada bloque de código indicado por la directiva *section* es independiente de los demás y es ejecutado una sóla vez por un único hilo, pudiendo hacerlo en paralelo con el resto de los hilos.
- Existe una barrera implícita al final de *sections*
- Cláusulas disponibles: *shared, private, firstprivate, lastprivate, reduction, nowait*

OpenMP: Constructor *sections* – Ejemplo

- Reducción de *a* y *b* a suma/producto en *c*/*d*, respectivamente.

```
#pragma omp parallel shared(a,b,c,d) private(i)
  {

  #pragma omp sections nowait
    {

    #pragma omp section
    for (i=0; i < N; i++)
      c[i] = a[i] + b[i];

    #pragma omp section
    for (i=0; i < N; i++)
      d[i] = a[i] * b[i];

    }  /* end of sections */

  }  /* end of parallel region */
```

OpenMP: Combinación de directivas

- Las directivas *for* y *sections* se pueden combinar con la directiva *parallel*:

```
#pragma omp parallel default (private) shared (n)
{
   #pragma omp for
   for (i=0; i<n; i++) {
        /* cuerpo del bucle paralelo */
   }
}
```

- Es equivalente a:

```
#pragma omp parallel for default (private) shared (n)
for (i=0; i<n; i++) {
   /* cuerpo del bucle paralelo */
}
```

OpenMP: Combinación de directivas

- Ambos códigos son equivalentes:

```
#pragma omp parallel
{
   #pragma omp sections
   {
        #pragma omp section
        { tareaA(); }
        #pragma omp section
        { tareaB(); }
        #pragma omp section
        { tareaC(); }
        …
   }
}
```

```
#pragma omp parallel sections
{
   #pragma omp section
   { tareaA(); }
   #pragma omp section
   { tareaB(); }
   #pragma omp section
   { tareaC(); }
   …
}
```

- Se pueden usar las cláusulas tanto de *parallel* como de *for* y *sections*.

OpenMP: Paralelismo anidado

- OpenMP permite habilitar el uso de paralelismo anidado:

```
#pragma omp parallel for default(private) shared (a, b, c, dim) \
                                                 num_threads(2)
for (i = 0; i < dim; i++) {
   #pragma omp parallel for default(private) shared (a, b, c, dim) \
                                                 num_threads(2)
   for (j = 0; j < dim; j++) {
        c[i,j] = 0;
        #pragma omp parallel for default(private) \
                                 shared (a, b, c, dim) num_threads(2)
        for (k = 0; k < dim; k++) {
                c[i,j] += a[i, k] * b[k, j];
        }
   }
}
```

Código OpenMP para multiplicar matrices cuadradas

- En este caso, cada directiva *parallel* genera un nuevo equipo de hilos.
- Se requiere que la variable de entorno OMP_NESTED tenga valor TRUE; de otra forma el código es ejecutado por un único hilo.

OpenMP: Constructores para sincronización

- OpenMP provee de constructores de alto nivel para diferentes tipo de sincronización:
  - Ejecución serial
  - Barreras
  - Secciones críticas
  - Atomicidad

OpenMP: Constructor *single*

- Permite que un bloque de código sea ejecutado por un único hilo dentro de una región paralela
- Sintaxis:

```
#pragma omp single [lista de cláusulas]
{ /* bloque estructurado */ }
```

- El bloque es ejecutado por el primer hilo del equipo que llega a ese punto de ejecución; el resto de los hilos espera al final del bloque (hay una barrera implícita).
- Cláusulas disponibles: *private, firstprivate, nowait*

OpenMP: Constructor *single* – Ejemplo

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>

#define N 1000

int main () {
   float v[N], sum=0, avg;
   int i;
   /* Inicializar v */
   #pragma omp parallel
   {
        #pragma omp for reduction(+:sum)
        for (i=0; i<N; i++)
                sum += v[i];
        #pragma omp single
        { avg = sum / N; }
        …
   }
   …
}
```

Promedio de N números

OpenMP: Constructor *master*

- Es una variante de la directiva *single*: el bloque de código es siempre ejecutado por el hilo master
- Sintaxis:

```
#pragma omp master
{ /* bloque estructurado */ }
```

- A diferencia de *single*, no hay barrera implícita al final del bloque

OpenMP: Constructor *barrier*

- Implementa un punto de sincronización global entre todos los hilos de un equipo (*barrera*)
- Sintaxis:

```
#pragma omp barrier
```

- Se debe usar con cuidado:
  - Puede causar deadlock
  - Incide en el rendimiento.

OpenMP: Constructor *critical*

- Permite implementar regiones críticas en forma sencilla.
- Sintaxis:

```
#pragma omp critical [nombre]
{ /* bloque estructurado */ }
```

- Garantiza que, en cualquier punto de ejecución del programa, a lo sumo un hilo estará dentro de la sección crítica *nombre*.
- Si un hilo alcanza un bloque *critical* y ya hay otro en la misma, el hilo espera a que la sección crítica se libere.
- El nombre es opcional. Si no se especifica uno, entonces se usa un nombre por defecto que es el mismo para todas las secciones críticas que no tengan nombre (no conveniente).

OpenMP: Constructor *critical* - Ejemplo

- Ejemplo: productor-consumidor con buffer de tamaño ilimitado

```
#pragma omp parallel sections private(task)
{
    #pragma omp section
    {
        /* productor */
        task = producir ();
        #pragma omp critical
         { insertar_en_buffer(task); }
    }
    #pragma omp section
    {
        /* consumidor */
        #pragma omp critical
        { task = extraer_de_buffer(task); }
        consumir(task);
    }
}
```

OpenMP: Constructor *atomic*

- Es una variante de la directiva *critical* para secciones críticas de una única instrucción
- Sintaxis:

```
#pragma omp atomic
x bin_op = expr
```

- Esta directiva analiza la disponibilidad de instrucciones atómicas por hardware, por lo que podría producir mejor rendimiento que *critical*.
- Sin embargo, impone algunas restricciones para su uso:
  - *bin_op* puede ser un operador aritmético o lógico.
  - Sólo la lectura (*load*) y la escritura (*store*) de *x* son atómicas; la evaluación de *expr* no lo es.
  - *expr* no puede contener una referencia a *x*.
- Uso poco frecuente debido a sus requisitos

OpenMP: Constructor *ordered*

- Útil para aquellos casos en que resulta necesario ejecutar cierto segmento de código en el mismo orden en que lo haría la versión secuencial.
- Sintaxis:

```
#pragma omp ordered
{ /* bloque estructurado */ }
```

- Se emplea en el ámbito de una directiva *for* o *parallel for*
  - Requiere incluir cláusula ordered

OpenMP: Constructor *ordered* - Ejemplo

- Ejemplo: cálculo de la suma acumulativa de una lista

```
cumul_sum[0] = list[0];

#pragma omp parallel for private (i) shared (cumul_sum, list, n) ordered
for (i = 1; i < n; i++) {

    /* otro procesamiento con list[i] */

    #pragma omp ordered
    { cumul_sum[i] = cumul_sum[i-1] + list[i]; }
    …
}
```

- Tener en cuenta que la directiva *ordered* representa un punto de serialización en la ejecución → el bloque de código debe contener la mínima cantidad de instrucciones posibles
- Sólo tiene sentido si los hilos realizan trabajo significativo fuera del constructor *ordered*

OpenMP: Directiva *flush*

- OpenMP adopta un modelo relajado de consistencia de memoria
  - Las variables suelen ser actualizadas en los registros o en la memoria caché, demorando su modificación en la memoria principal.
  - Si bien esto puede mejorar el rendimiento, también puede provocar una vista inconsistente de la memoria para un hilo
- La directiva *flush* representa un punto de sincronización de la memoria:
  - Todas las escrituras pendientes en memoria principal serán asentadas
  - Todas las lecturas pendientes serán realizadas desde memoria principal
- Sintaxis:

```
#pragma omp flush [(lista de variables)]
```

OpenMP: Directiva *flush*

- No suele ser muy usada ya que muchos de las directivas OpenMP incluyen un *flush* implícito:
  - En la directiva *barrier*;
  - a la entrada y a la salida de *critical*, *ordered*, *parallel*, *parallel for* y *parallel sections*;
  - y a la salida de las directivas *for*, *sections* y *single*.

- Excepciones: la cláusula *nowait* excluye a *flush*; tampoco está presente a la entrada de *for*, *sections* y *single*; ni a la entrada o salida de *master*.

OpenMP: Funciones de librería

- Además de las directivas, OpenMP soporta una serie de funciones que permite al programador controlar la ejecución del programa con mayor nivel de abstracción que Pthreads.

- Funciones básicas:

```
void omp_set_num_threads (int num_threads);
int omp_get_num_threads ();
int omp_get_max_threads ();
int omp_get_thread_num ();
int omp_get_num_procs ();
int omp_in_parallel();
```

OpenMP: Funciones de librería

- Funciones para controlar y monitorizar la creación de hilos:

```
void omp_set_dynamic (int dynamic_threads);
int omp_get_dynamic ();
void omp_set_nested (int nested);
int omp_get_nested ();
```

OpenMP: Funciones de librería

- OpenMP también ofrece funciones para el uso de *locks*, para aquellos casos en que las directivas *critical* y *atomic* no sean suficientes/convenientes.
- El tipo de dato para los *locks* es *omp_lock_t* y las funciones disponibles son:

```
void omp_init_lock (omp_lock_t *lock);

void omp_destroy_lock (omp_lock_t *lock);

void omp_set_lock (omp_lock_t *lock);

void omp_unset_lock (omp_lock_t *lock);

int omp_test_lock (omp_lock_t *lock);
```

- Funcionan en forma equivalente a los *locks* de Pthreads

OpenMP: Funciones de librería

- OpenMP también ofrece funciones para exclusión mutua recursiva.
- El tipo de dato para los *locks* de esta clase es *omp_nest_lock_t* y las funciones disponibles son:

```
void omp_init_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);

void omp_destroy_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);

void omp_set_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);

void omp_unset_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);

int omp_test_nest_lock (omp_nest_lock_t *lock);
```

- Funcionan en forma equivalente a los *locks* recursivos de Pthreads

OpenMP: Variables de entorno

- OpenMP también cuenta con un conjunto de variables de entorno para ayudar a controlar la ejecución del programa paralelo.
- OMP_NUM_THREADS: especifica la cantidad de hilos por defecto que se crearán.
- OMP_DYNAMIC: determina si el número de hilos puede ser modificado en forma dinámica.
- OMP_NESTED: especifica si se permite el paralelismo anidado.
- OMP_SCHEDULE: planificación para cuando la cláusula *schedule* es *runtine*.

OpenMP 3.0: *Tasking*

- El uso de tareas fue introducido en la versión 3.0 (principal cambio).
- Una **tarea** es una unidad de trabajo (porción de código) cuya ejecución *puede* ser diferida en el tiempo. Se compone de:
  - Código a ejecutar
  - Entorno de datos
  - Variables de control internas
- Pensado para paralelizar problemas irregulares:
  - Bucles *while*
  - Bucles *for* que no tienen una cantidad conocida de iteraciones
  - Algoritmos recursivos
  - Entre otros
- En realidad, OpenMP < 3.0 ya soportaba el uso de tareas aunque de manera implícita. Por ejemplo, al ejecutar un constructor *parallel*.

OpenMP 3.0: Constructor *task*

- El programador identifica las tareas encerrando los bloques de código correspondientes bajo la directiva *task* → Se asume que todas las tareas son independientes entre sí
- Sintaxis:

```
#pragma omp task [lista de cláusulas]
{ /* bloque estructurado */ }
```

- Cuando un hilo encuentra un constructor *task*, el sistema de ejecución genera una nueva tarea
- El momento en que esta tarea se ejecute dependerá del sistema de ejecución, el cual puede ser inmediato o diferido
- Se permite el anidamiento de tareas → Una tarea puede generar otras tareas

OpenMP 3.0: Constructor *task*

- Cláusulas disponibles:
  - *shared, private, firstprivate, default*
  - *untied*: por defecto la tarea es ejecutada de inicio a fin por un mismo hilo (no necesariamente el que la generó). *untied* permite que la tarea pueda ser completada por más de un hilo.
  - *if (expresión)*: evalúa la expresión.
    - Si el resultado es verdadero, se genera una tarea.
    - Si el resultado es falso, se ejecuta el código inmediatamente

OpenMP 3.0: Constructor *task* – Sincronización de tareas

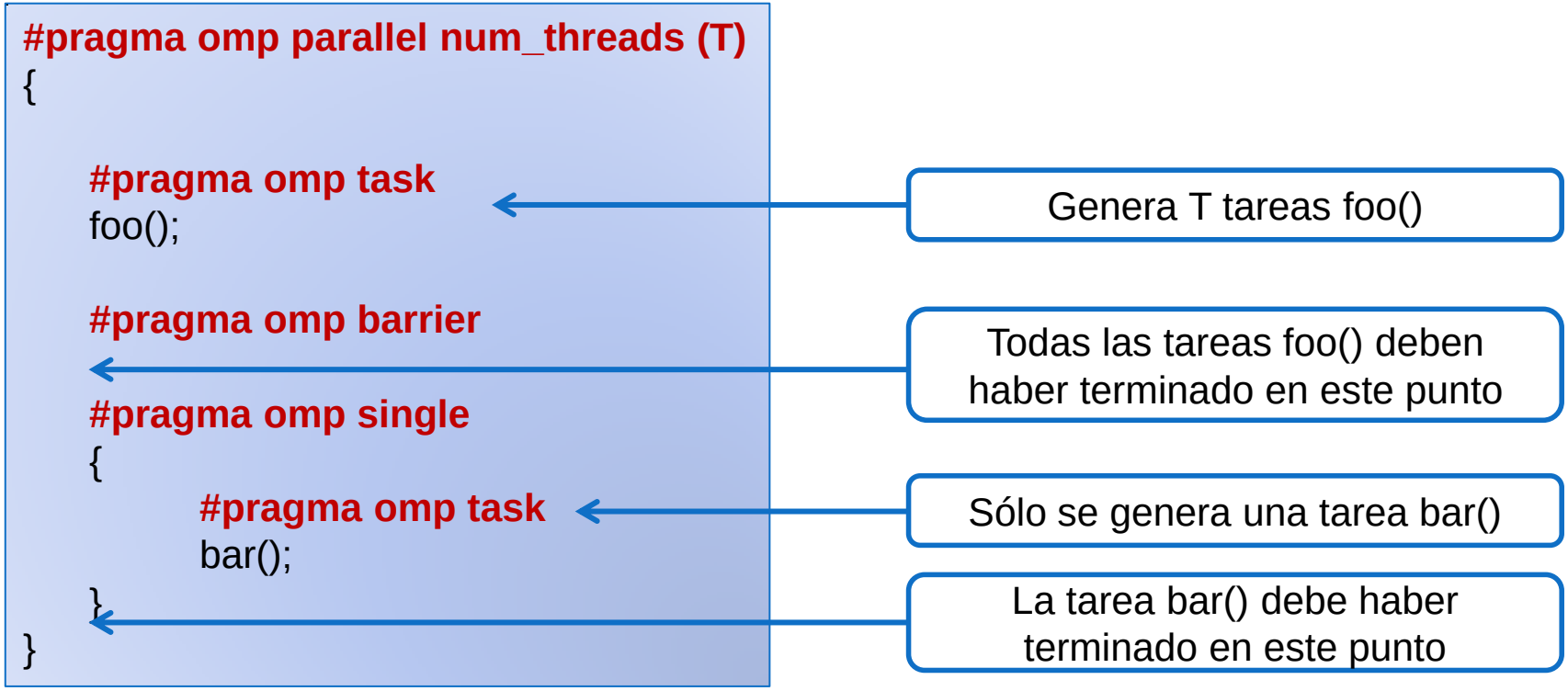
- Barreras para hilos (explícitas o implícitas) → Todas las tareas generadas por un hilo de un equipo deben haberse completado para que el hilo pueda superar la barrera

- Barreras para tareas → Específicas para un hilo de un equipo. Sintaxis:

```
#pragma omp taskwait
```

- Al llegar a una directiva *taskwait*, el hilo se suspende hasta que todas sus tareas hijas se hayan completado (sólo considera las hijas, no sus descendientes).

OpenMP 3.0: Constructor *task* – Ejemplo



OpenMP 3.0: Constructor *task* – Reglas de alcance

- Si la cláusula *default* no fue especificada, entonces:
  - Las variables no especificadas son *firstprivate* por defecto (esto es así para garantizar su posible ejecución diferida).
  - Las variables que fueron especificadas como *shared* en la directiva inmediatamente anterior, mantienen su condición.

```
#pragma omp parallel shared(A) private(B)
{
    ...
    #pragma omp task
    {
        int C;
        compute(A, B, C);
    }
}
```

A es *shared*
B es *firstprivate*
C es *private*

OpenMP 3.0: Constructor *task* – Ejemplo: recorrido de una lista

```
List l = cargar_lista();
while (l) {
        procesar(l->dato);
        l = l->next;
}
```

- Recorrido clásico de una lista
- Se debe hacer algún tipo de procesamiento con cada elemento de la lista
- El procesamiento de cada elemento es independiente de los demás
- No puede resolverse con un *parallel for*

OpenMP 3.0: Constructor *task* – Ejemplo: recorrido de una lista

```
#pragma omp parallel
#pragma omp single
{       List l = cargar_lista();
        while (l) {
                #pragma omp task
                { procesar(l->dato); }
                l = l->next;
        }
}
```

OpenMP 3.0: Constructor *task* – Ejemplo: sucesión de Fibonacci

```
int fib ( int n ) {
        int x,y;
        if ( n < 2 ) return n;
        x = fib(n-1);
        y = fib(n-2);
        return x+y;
}
```

- Sucesión infinita de números naturales que comienza con los números 1 y 1, y a partir de ellos, cada término se obtiene sumando los dos anteriores
- Algoritmo recursivo para calcular la sucesión de Fibonacci
- No puede resolverse con un *parallel for. ¿sections?*

OpenMP 3.0: Constructor *task* – Ejemplo: sucesión de Fibonacci

```
int fib ( int n ) {
    int x,y;
    if ( n < 2 ) return n;
    #pragma omp task shared(x)
    x = fib(n-1);
    #pragma omp task shared(y)
    y = fib(n-2);
    #pragma omp taskwait
    return x+y;
}
```

```
int main () {
    int n=30;
    #pragma omp parallel shared(n)
    {
        #pragma omp single
        printf ("fib(%d) = %d\n", n, fib(n));
    }
}
```

OpenMP 3.0: *Tasking* - Resumen

- Deducir el alcance de una variable puede resultar difícil:
  - Las reglas por defecto difieren de la de otros constructores
  - Usar *default(none)* es recomendable
- Usar *tasking* para lo que fue pensado; no para paralelismo que OpenMP soporta adecuadamente
  - Por ejemplo, bucles estándar
  - *Tasking* tiene un overhead mayor
- El rendimiento de estos programas depende del sistema de ejecución
  - En general, se obtienen mejores resultados cuando el usuario es capaz de controlar el número y la granularidad de las tareas

OpenMP 4.0: Nuevas características

- Soporte para aceleradores, como GPUs y Xeon Phi
  - Constructores *device, host device, target device, …*
- Soporte para vectorización guiada
  - Constructor *simd*
- Cancelación de hilos
  - Constructor *cancel*
- Afinidad de hilos
  - Mapeo dinámico de hilos a núcleos
- Más en www.openmp.org

Bibliografía usada para esta clase

- OpenMP. Sitio oficial. www.openmp.org
- OpenMP tutorial. Blaise Barney, Lawrence Livermore National Laboratory. https://computing.llnl.gov/tutorials/openMP/
- 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.
- Capítulo 6 y 7, Introduction to HPC for Scientists and Engineers. Hager, G. & Wellein, G. (2011) EEUU: CRC Press.
- Using OpenMP – Portable Shared Memory Parallel Programming. Chapman, B., Jost, G. & Van der Pas (2008). UK: MIT Press.