Programação concorrente em Sistemas de Memória compartilhada

Prof: Álvaro L. Fazenda
(alvaro.fazenda@unifesp.br)

Concorrência em nível de Processos

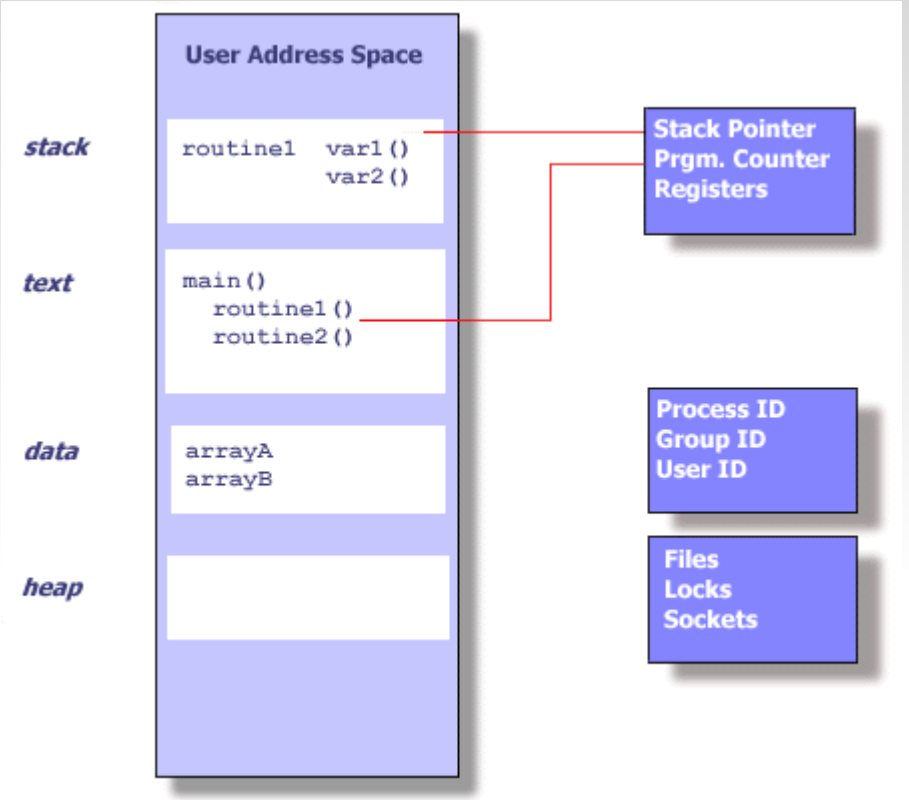
- Um processo é um programa em execução
- Processo é a unidade de computação que sistemas operacionais manipulam (criam, destroem, atribuem a processadores, retiram de processadores, etc)
- Processos tem espaço de endereçamento (memória) próprios e distintos
- Processos concorrentes podem ter execução simultânea ou não
- Os processos podem ser cooperantes ou não

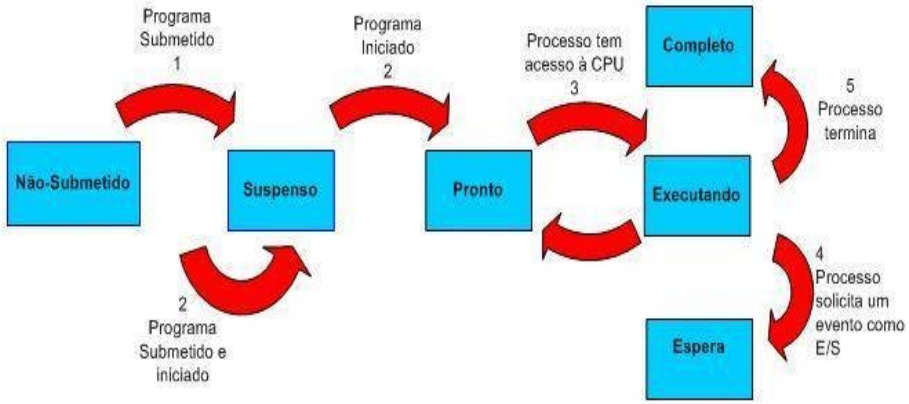
Conceitos importantes a revisar

- Processos
- SO multitarefas
- *Threads*

Processo

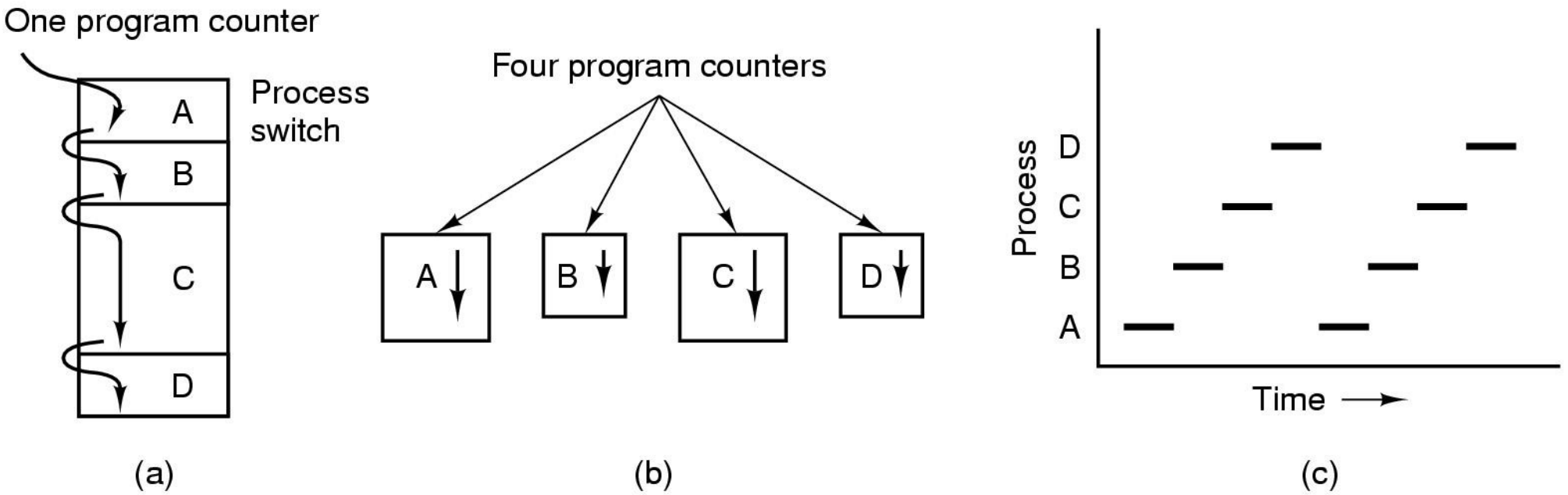
- Módulo executável carregavel em um dado SO
- Assume diferentes estados
- Caracteristicas: Código, Espaço de endereçamento, Registradores de uso geral, Apontador de programa indicando próxima instrução, Apontador de pilha, etc.





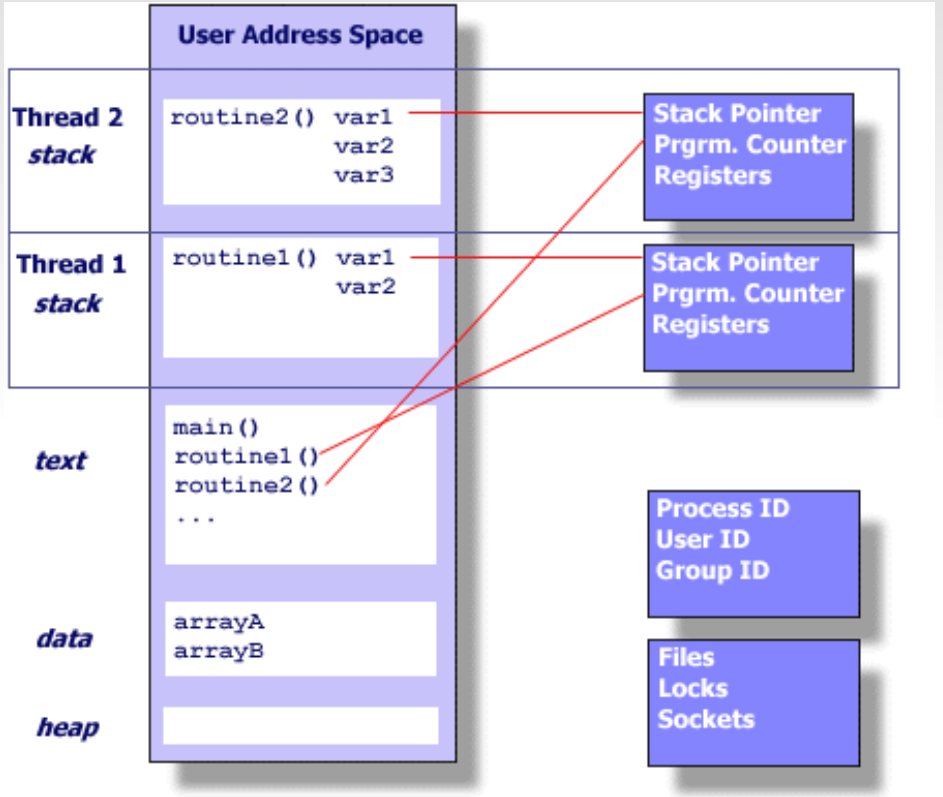
SO Multitarefa

- Chaveia o processo em execução e escalona diversos processos
  - impressão de simultaneidade na execução dos processos.
- Troca de contexto:
  - Registradores de uso geral e apontadores devem ser preservados na memória
  - Os valores dos registradores de uso geral e dos apontadores do novo processo devem ser recuperados



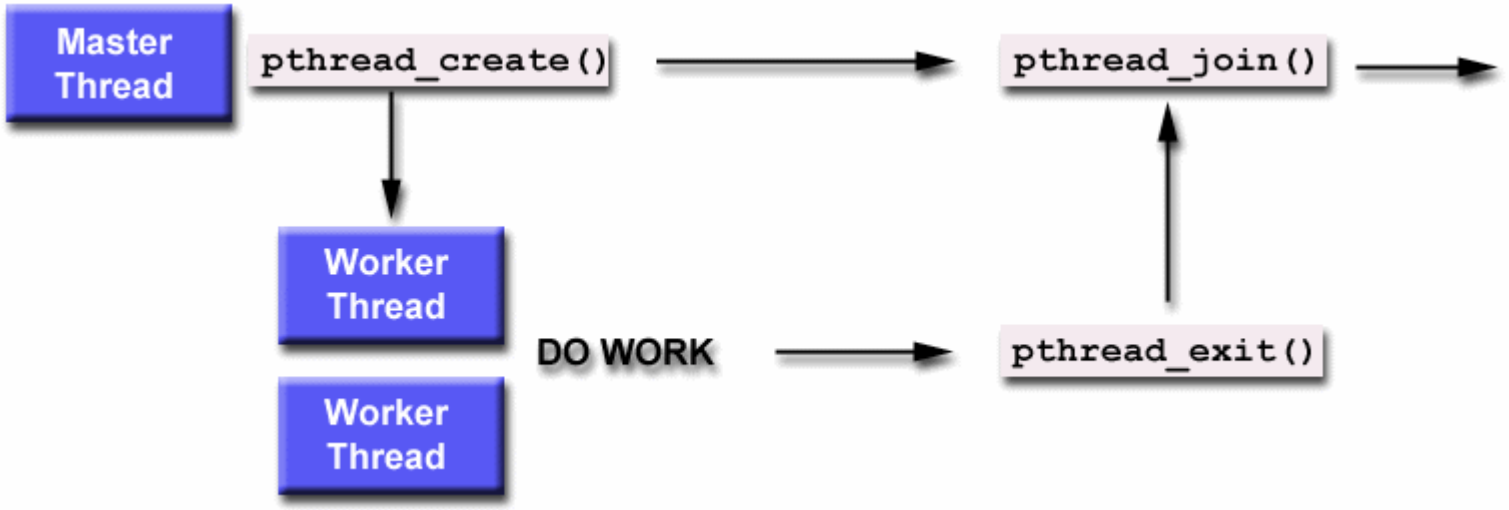
Threads

- ”Processo leve”
  - fluxo de execução interno a um dado processo
- Características:
  - Apontadores de programa e de pilha próprios;
  - Herdam do processo pai:
    - Espaço de endereçamento e arquivos abertos.



Processos e *Threads*

- Criação dinâmica de Processos requer grande tempo de execução
- Criação de threads é mais rápida (thread é um processo leve)
- Padronização para Threads: POSIX Standard 1003.1c, “System Application Program Interface, Amendment 2: Threads Extension”

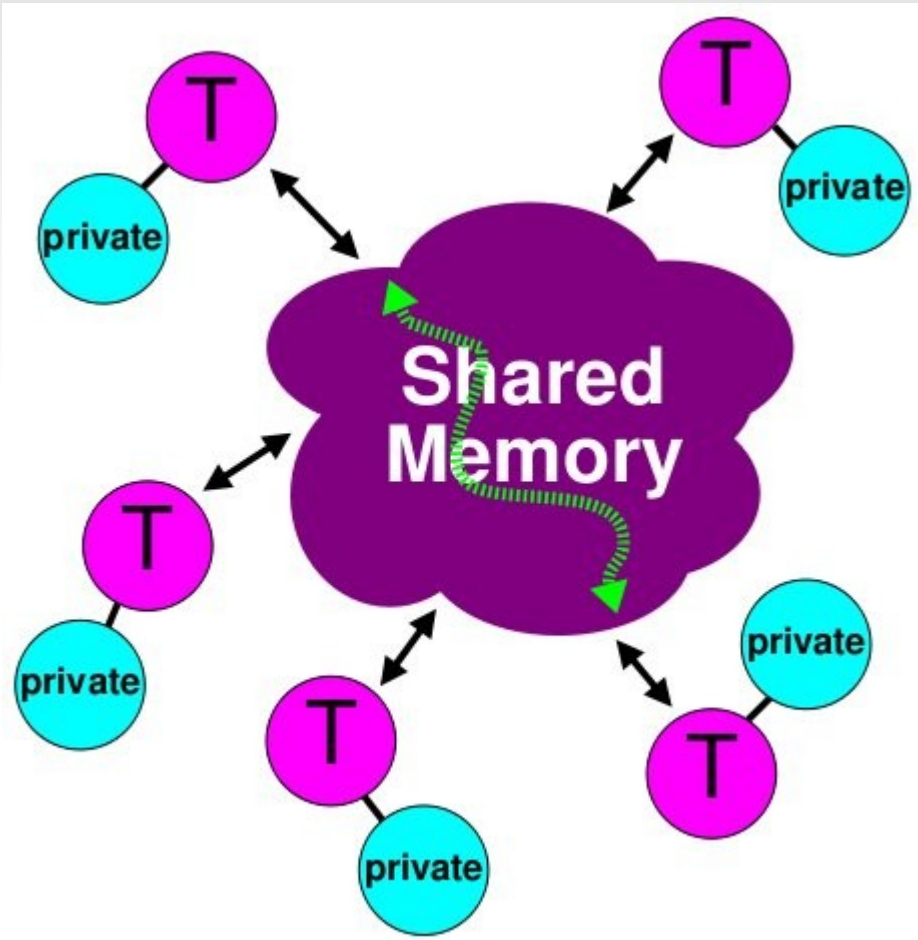


Formas de expressar concorrência em vários níveis

Granularity	*Technology*	*Programming Model*
Instruction Level	*Superscalar*	*Compiler*
Chip Level	*Multicore*	*Compiler, OpenMP, MPI*
System Level	*SMP/cc-NUMA*	*Compiler, OpenMP, MPI*
Grid Level	*Cluster*	*MPI*

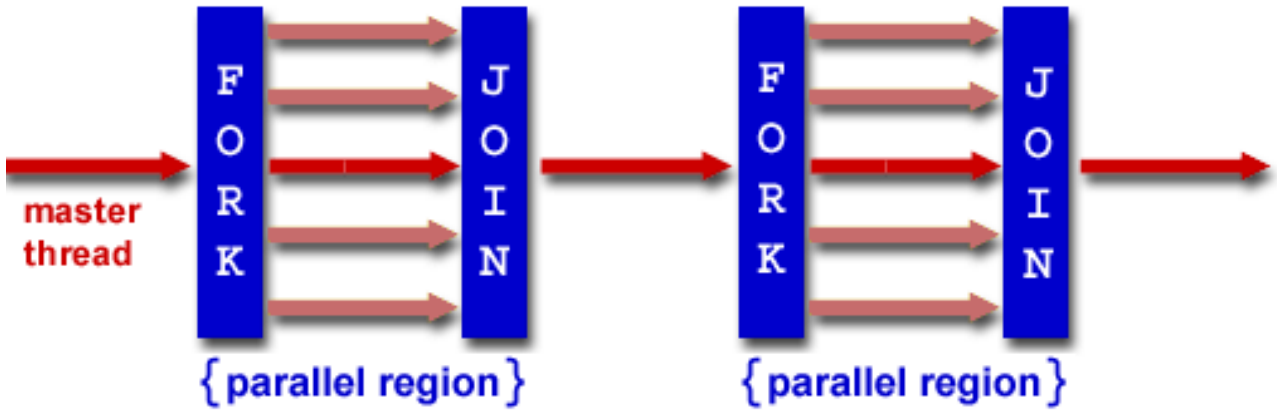
Expressando Concorrência Sist.Memória Compartilhada

- Comunicações entre processos concorrentes através de acessos a dados em memória
- *Modelo Fork-Join*
  - *Diretivas: fork()*
  - *Threads (Posix Threads* e *Java Threads)*
  - *.NET System Threading*
  - OpenMP
- Outros modelos derivados: Intel *Threading Building Blocks* (TBB), etc.



Modelo de programação *Fork-Join*

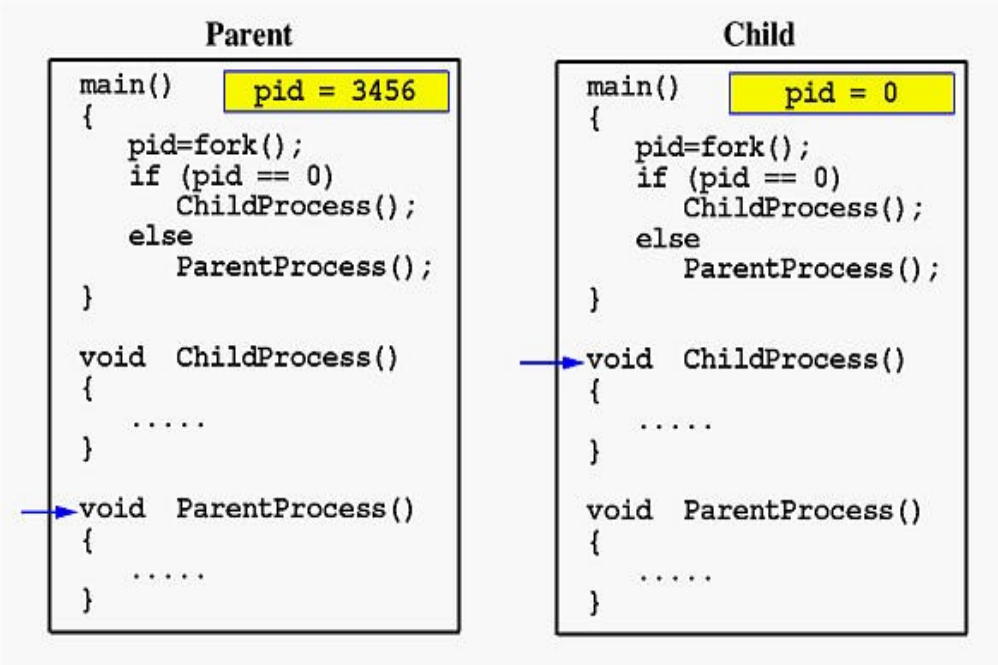
- *Connway, 1963 e Dennis & Van Horn, 1966*
- Um processo cria outros (*fork*)
- Processos executam concorrentemente
- Processos possuem o mesmo espaço de endereçamento
- Processo “pai” aguarda os “filhos” terminarem (*join*)



Usando *fork()* para criar novo processo

- Primitiva ***fork()*** cria um novo processo
  - Filho do processo que executou a instrução
  - Sem argumentos de entrada
  - Retorna um *ID* de processo do SO

(ID=0 no contexto do processo filho; ID=identificador do processo recem criado no contexto do processo pai; -1 em caso de erro)



Exemplo 1: Fork()

```
#include  <stdio.h>
#include  <sys/types.h>

#define   MAX_COUNT  10

void  ChildProcess(void);
/* child process prototype  */
void  ParentProcess(void);
/* parent process prototype */

void  main(void)
{
  pid_t pid;

  pid = fork();
  if(pid==-1) /* erro */
      perror("impossivel de criar um
filho\n");
  else if (pid==0)
    ChildProcess();
  else
    ParentProcess();
}
```

```
void  ChildProcess(void)
{
  int i, pid, parent;

  pid = getpid();
  parent = getppid();
  for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++)
    Printf(" Line from child, value=
%d\n", i);
  printf(" *** Child process (PID: %d,
parent: %d) is done ***\n", pid,
parent);
}

void  ParentProcess(void)
{
  int i, pid, parent;

  pid = getpid();
  parent = getppid();
  for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++)
    printf("Line from parent, value=
%d\n", i);
  printf("*** Parent (PID: %d, parent:
%d) is done ***\n",
     pid, parent);
}
```

Saída – Exemplo 1

```
./fork.x
This line is from parent, value = 1
This line is from parent, value = 2
This line is from parent, value = 3
This line is from parent, value = 4
This line is from parent, value = 5
 This line is from child, value = 1
 This line is from child, value = 2
 This line is from child, value = 3
This line is from parent, value = 6
 This line is from child, value = 4
This line is from parent, value = 7
This line is from parent, value = 8
This line is from parent, value = 9
This line is from parent, value = 10
 This line is from child, value = 5
 This line is from child, value = 6
*** Parent (PID: 1297, parent: 20532) is done ***
 This line is from child, value = 7
 This line is from child, value = 8
 This line is from child, value = 9
 This line is from child, value = 10
 *** Child process (PID: 1298, parent: 1297) is done ***
```

Posix Threads vs Fork Desempenho

Criar novas Threads é muito mais rápido que criar novos processos com *fork()*

Platform	fork()			pthread_create()		
	real	user	sys	real	user	sys
AMD 2.3 GHz Opteron (16cpus/node)	12.5	1.0	12.5	1.2	0.2	1.3
AMD 2.4 GHz Opteron (8cpus/node)	17.6	2.2	15.7	1.4	0.3	1.3
IBM 4.0 GHz POWER6 (8cpus/node)	9.5	0.6	8.8	1.6	0.1	0.4
IBM 1.9 GHz POWER5 p5-575 (8cpus/node)	64.2	30.7	27.6	1.7	0.6	1.1
IBM 1.5 GHz POWER4 (8cpus/node)	104.5	48.6	47.2	2.1	1.0	1.5
INTEL 2.4 GHz Xeon (2 cpus/node)	54.9	1.5	20.8	1.6	0.7	0.9
INTEL 1.4 GHz Itanium2 (4 cpus/node)	54.5	1.1	22.2	2.0	1.2	0.6

Fonte: POSIX Threads Programming.
(https://computing.llnl.gov/tutorials/pthreads/#CreatingThreads)

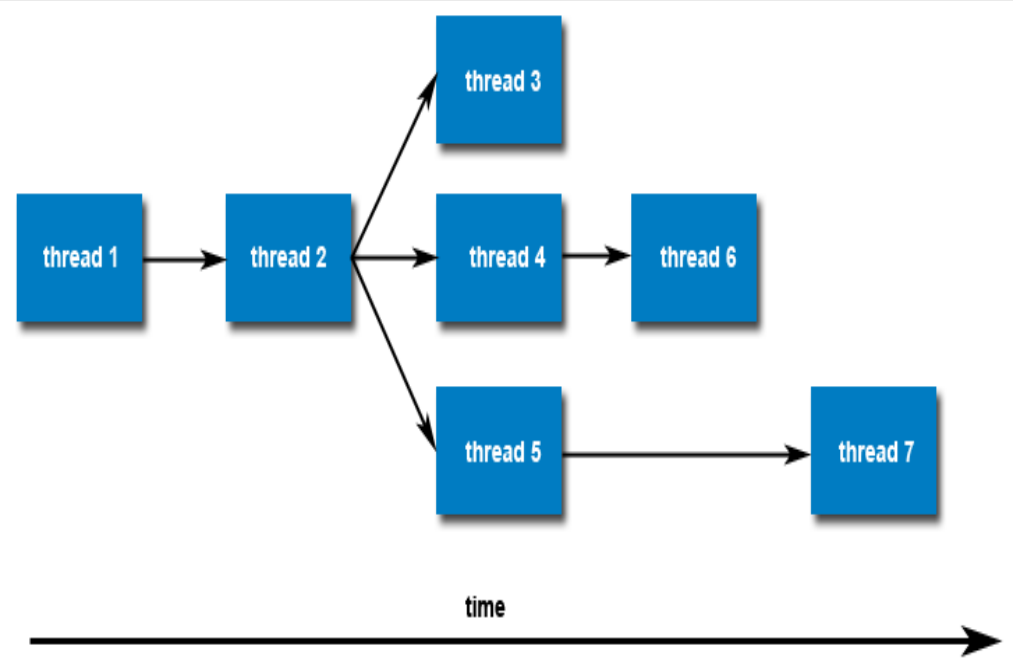
POSIX (*Portable Operating System Interface, 1985*) é uma família de normas definidas pelo IEEE (IEEE 1003), que tem como objetivo garantir a portabilidade do código-fonte em diferentes SOs aderentes a norma. A designação internacional da norma é ISO/IEC 9945. Sumariamente, define APIs para SOs tipo UNIX.

Posix threads (PThreads) API: Criação de Threads

- `pthread_create(thread, attr, start_routine, arg)`
  - Cria uma nova thread e a executa imediatamente
    - Pode ser chamada qualquer número de vezes de qualquer local no código
  - Argumentos:
    - `thread`: Objeto do tipo `pthread_t` que permite a identificação da thread criada;
    - `attr`: atributo que deve ser utilizado para definir algumas características específicas da thread. (default=`NULL`);
    - `start_routine`: nome da função em C que será executada como um thread;
    - `arg`: único argumento que deve ser passado a função `start_routine` como dado de entrada/saída. Deve ser passado como referencia a um ponteiro do tipo `void`. Pode-se usar `NULL` se nenhum argumento for passado e uma `struct` caso se deseje passar um conjunto de dados.

Criação de *Threads* (cont.)

- O número máximo de *threads* é dependente da implementação
- Um *thread* existente pode criar outras *threads*. Não existe hierarquia explícita entre nenhum *thread* criado



- O escalonamento das *threads* é dependente do SO ou pode ser imposto pela implementação.

Pthreads API: Destruição de *Threads*

- Várias formas possíveis:
  - Retorno automático da thread após a execução da `start_routine`;
  - `thread_exit(status)`: explicitamente termina uma thread.
    - Tipicamente utilizada quando o trabalho da thread finalizou-se e não mais será utilizada.
    - Deve ser chamada de dentro da própria thread;
  - Uma thread pode ser cancelada por outra através de `pthread_cancel()`;
  - O processo inteiro é cancelado por uma chamada a `exit` ou `exec`.

Destruição de *threads* (cont.)

- Caso o programa principal (`main`) termine antes da *thread* que ele mesmo criou, através de uma chamada dele próprio a `pthread_exit`, as outras *threads* continuam executando normalmente;
- Caso o programa principal termine de forma usual todas as *threads* por ele criadas serão terminadas automaticamente quando `main` termina.

Exemplo 2 - *Pthread*

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

#define   MAX_COUNT   10
#define   MAX_THREADS  2

void  *ThreadProcess(void *th);  /* thread process prototype */

void  main(void)
{
  pthread_t t[MAX_THREADS];  // duas threads
  int i;

  for(i=0; i<MAX_THREADS; i++)
    pthread_create(&t[i], NULL, &ThreadProcess, (void *) (i+1));

  pthread_exit(NULL);
}

void  *ThreadProcess(void *th)
{
  int i, thid;

  thid = (int) th;
  for (i=1; i<=MAX_COUNT; i++)
    printf("Line from thread %d,value=%d\n", thid, i);

  pthread_exit(NULL);
}
```

Compilação de programas em C com *PThreads*

- Usando GCC:

```
gcc -o <executavel> <fonte.c> -pthread
```

Saída para o Exemplo 2

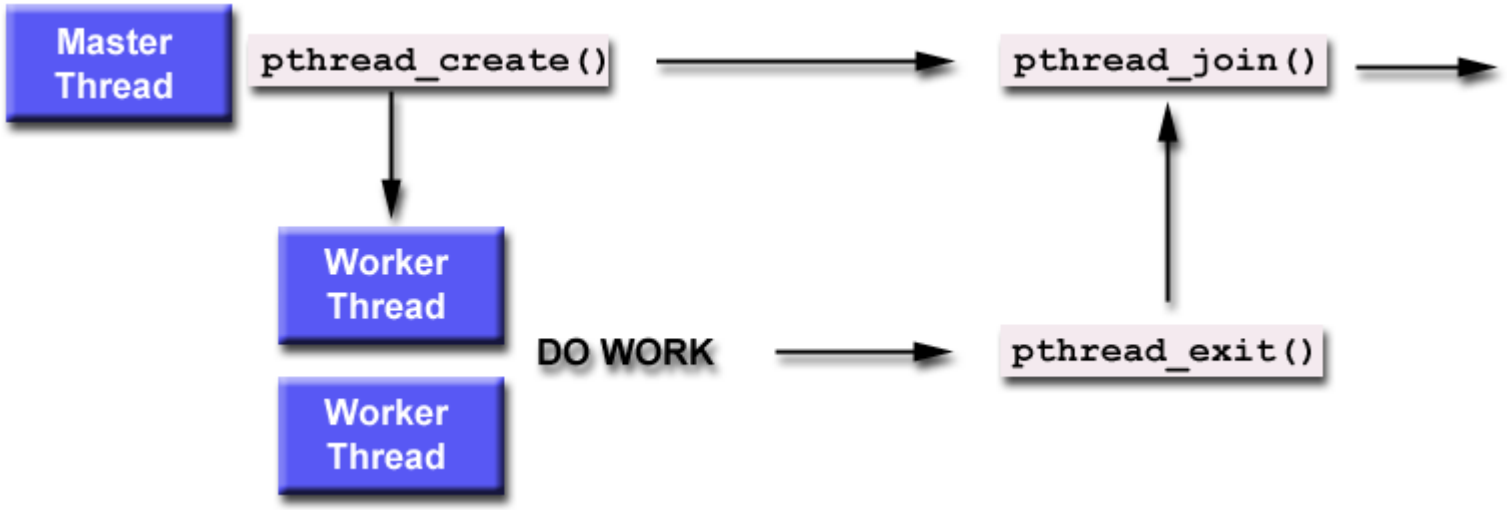
```
./pthreads-inicial-v2.x
Line from thread 1,value=1
Line from thread 1,value=2
Line from thread 1,value=3
Line from thread 1,value=4
Line from thread 1,value=5
Line from thread 1,value=6
Line from thread 1,value=7
Line from thread 1,value=8
Line from thread 1,value=9
Line from thread 1,value=10
Line from thread 2,value=1
Line from thread 2,value=2
Line from thread 2,value=3
Line from thread 2,value=4
Line from thread 2,value=5
Line from thread 2,value=6
Line from thread 2,value=7
Line from thread 2,value=8
Line from thread 2,value=9
Line from thread 2,value=10
```

Exemplo 3: Passagem de argumentos

```
struct thread_data{
   int  thread_id;
   int  sum;
   char *message;
};
struct thread_data thread_data_array[NUM_THREADS];
void *PrintHello(void *threadarg)
{
   struct thread_data *my_data;
   ...
   my_data = (struct thread_data *) threadarg;
   taskid = my_data->thread_id;
   sum = my_data->sum;
   hello_msg = my_data->message;
   ...
}
int main (int argc, char *argv[])
{
   ...
   thread_data_array[t].thread_id = t;
   thread_data_array[t].sum = sum;
   thread_data_array[t].message = messages[t];
   rc = pthread_create(&threads[t], NULL, PrintHello,
        (void *) &thread_data_array[t]);
   ...
}
```

Pthreads API: Juntando *Threads*

- `pthread_join(threadid, status)`
- A rotina `pthread_join` bloqueia o chamador até que a *thread* especificada por `threadid` termine;
  - Permite sincronização entre *threads*
  - Cada thread pode atender a uma única ação “join”
  - `Threadid`: ID da thread
  - `Status`: status da operação “join”



Exemplo 4: *Join*

```
#include <pthread.h>
#include <stdio.h>
#include <math.h>
#define NUM_THREADS   4

void *BusyWork(void *t)
{
  int i;
  long tid;
  double result=0.0;
  tid = (long)t;
  printf("Thread %ld
starting\n",tid);
  for (i=0; i<1000000; i++)
    result = result + sin(i)*tan(i);
  printf("Thread %ld done.", tid);
  printf("Result = %e\n", result);
  pthread_exit((void*) t);
}
```

```
int main (int argc, char *argv[])
{
  pthread_t thread[NUM_THREADS];
  int rc;
  long t;
  void *status;

  for(t=0; t<NUM_THREADS; t++) {
    printf("Main:create thread %ld\n",t);
    rc = pthread_create(&thread[t], NULL,
BusyWork, (void *)t);
    if (rc) {
      printf("ERROR:create=%d\n", rc);
      exit(-1); }
  }

  for(t=0; t<NUM_THREADS; t++) {
    rc = pthread_join(thread[t],
&status);
    if (rc) {
      printf("ERROR:join code=%d\n", rc);
      exit(-1); }
    printf("Main:join thread %ld", t);
    Printf(" status=%ld\n",(long)status);
  }

  printf("Main:Exiting.\n");
  pthread_exit(NULL);}
```

Saída para exemplo 4

```
./join-simples.x
Main:create thread 0
Main:create thread 1
Thread 0 starting...
Thread 1 starting...
Main:create thread 2
Thread 2 starting...
Main:create thread 3
Thread 3 starting...
Thread 0 done. Result = -3.153838e+06
Main:join thread 0 status=0
Thread 2 done. Result = -3.153838e+06
Thread 1 done. Result = -3.153838e+06
Main:join thread 1 status=1
Main:join thread 2 status=2
Thread 3 done. Result = -3.153838e+06
Main:join thread 3 status=3
Main:Exiting.
```

Thread "juntável" ou não

- *Threads* podem ser *joinable* (juntáveis) ou *detached* (destacadas)
- Esta característica é definida pelo atributo `attr` (de `pthread_create`)
- O padrão POSIX especifica que *threads* por padrão (*default*) devem ser juntáveis
- A função `pthread_detach` é usada para tornar uma *thread* destacada (independente do atributo)

Definindo os atributos `attr`

- Passos necessários:
  - Declaração de uma variável de atributo do tipo `pthread_attr_t`
  - Inicialização do atributo com `pthread_attr_init()`
  - Definição do *status* com `pthread_attr_setdetachstate()`:
    - `PTHREAD_CREATE_JOINABLE`
    - `PTHREAD_CREATE_DETACHED`
  - Liberação do atributo, após o termino, com: `pthread_attr_destroy()`

Multithreads para melhorar desempenho - exemplo

- Lembrando que $\lim_{n\to\infty}\left(1+\frac{1}{n}\right)^n = e = 2.71828182846\ldots$
- Pode-se calcular $\left(1+\frac{1}{n}\right)^n$ para n grande

- Cálculo sequencial: cálculo direto
- Cálculo multithread:
- Calcular:

$$x_i = \left(1+\frac{1}{n}\right)^{n/M} \qquad x = \prod_{i=1}^{M}\left(1+\frac{1}{n}\right)^{n/M}$$

Exemplo 6 – *Pthreads* - e

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

#define N 1000000000
#define MAX_THREADS 8

void *calcula(void *res){
  int k;
  double p = 1 , x , y;
  x = 1 + 1.0/N;
  for(k=0; k<(N/MAX_THREADS); k++)
      p = p*x;
  //copia valor p/variável de retorno
  *( (double*)res ) = p;
}
```

```c
int main(void){
  pthread_t t[MAX_THREADS];
  double v[MAX_THREADS];
  double final;
  int i;

  for(i=0; i<MAX_THREADS; i++) {
    pthread_create(&t[i], NULL,
                   &calcula,
                   (void *) &v[i]);
  }

  final = 1.;
  for(i=0; i<MAX_THREADS; i++) {
    pthread_join(t[i],NULL);
    final = final*v[i];
  }

  printf("Resultado=%lf\n",final);
  return 0;
}
```

Desempenho (*PThreads*):

- Configuração:
  - CPU: Intel(R) Core(TM)2 Quad
    - Q8200 @ 2.33GHz
  - Memória principal: 2Gb
- 1 Thread: 4.759s
- 2 Threads: 2.401s
- 4 Threads: 1.219s
- 8 Threads: 1.315s !!

OpenMP (http://openmp.org)

- Padrão ***de fato*** para o modelo de programação de memória compartilhada *fork-join*
  - *OpenMP API specification for parallel programming*
  - Portabilidade garantida devido ao padrão
- Paralelismo explícito
  - Diretivas de programação com interface para linguagem C e Fortran
- Compiladores traduzem as diretivas para as primitivas do sistema operacional baseadas em threads
  - diretivas expressas como comentários
    - Permite execução seqüencial do programa paralelizado se o compilador não for munido com OpenMP.
  - Combina código seqüencial com código paralelo
  - Permite aplicação incremental

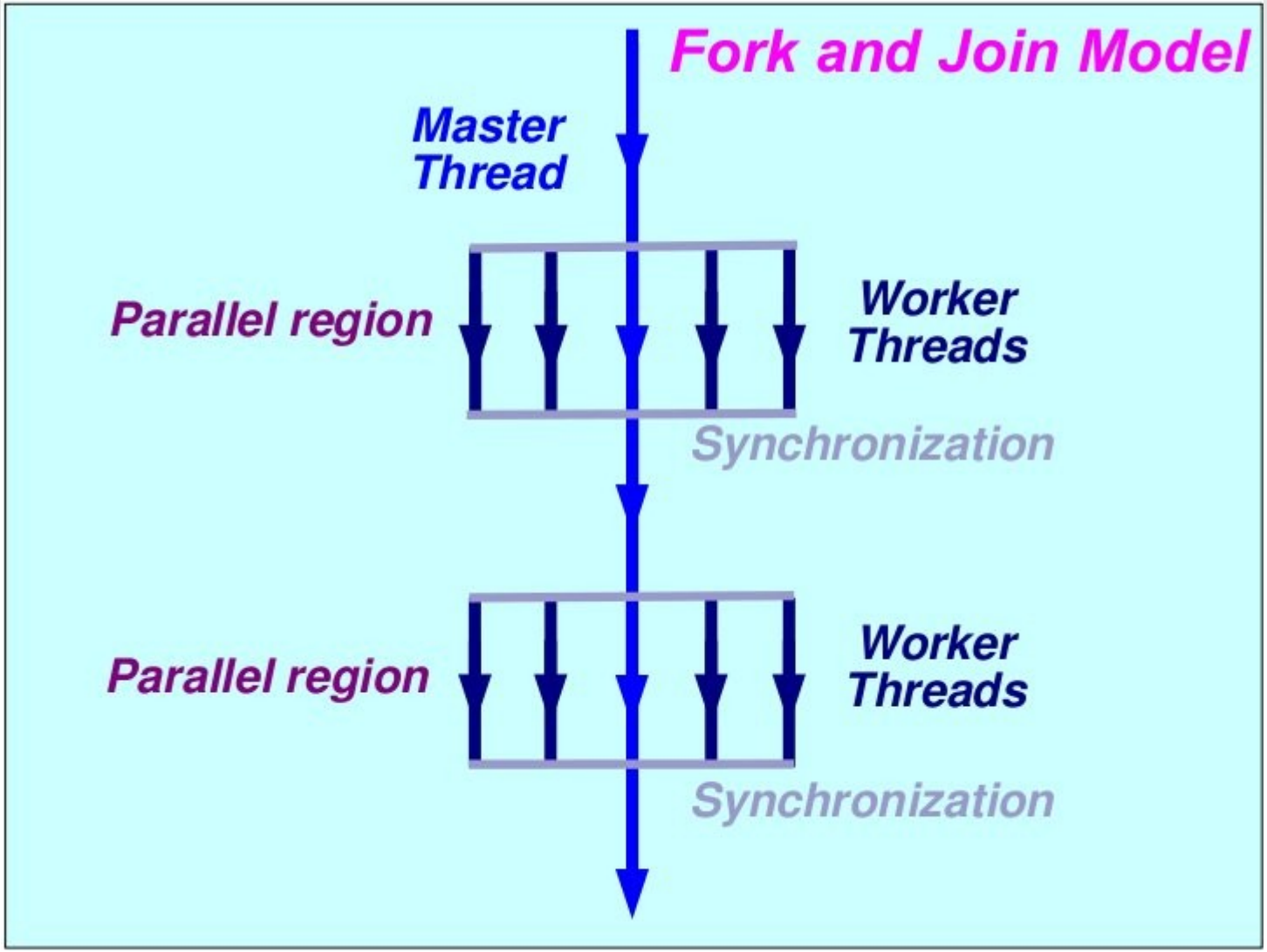
Modo de operação do OpenMP

- Uma região paralela é a estrutura básica do paralelismo *OpenMP*
  - Define uma seção paralela do programa
- Inicia a execução com uma única *thread*
  - Denominada *thread master*
- Criação automática de *threads* em regiões paralelas
  - *Overhead* para criação e destruição
    - Importante minimizar o número de regiões paralelas abertas
  - Existência de variáveis privadas ou compartilhadas
-

Uso do OpenMP

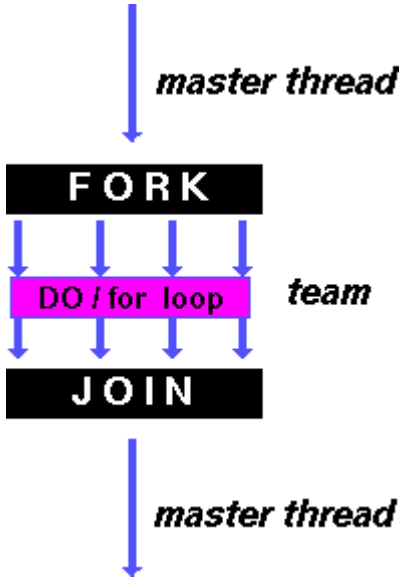
- Fácil utilização
- Trata, freqüentemente, de paralelismo de dados em laços
- Construção *work-sharing*
  - Processamento concorrente para cada conjunto de dados
- Sincronização de *threads* implícita
  - Barreira implícita no término de cada laço.
  - Processos aguardam o final da execução do último conjunto de dados para continuar
- O sincronismo pode se tornar explícito se desejado
- Seções criticas sobre dados compartilhados podem ser definidas pelo programador

Modo de execução do OpenMP

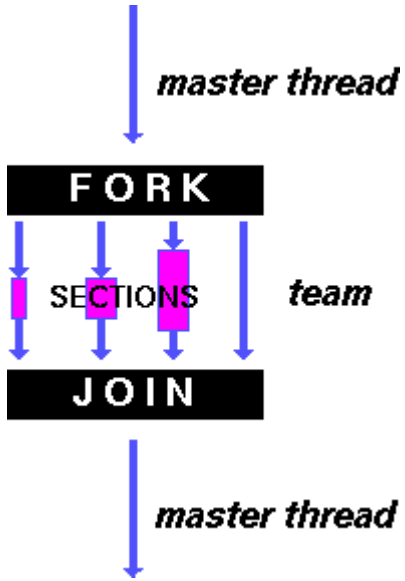


Tipos de paralelismo
Work-Share

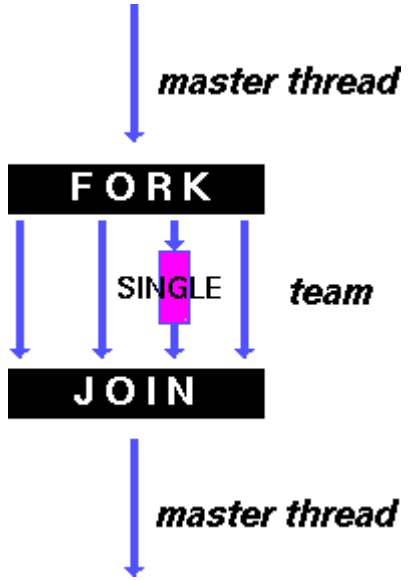
Laços paralelos.
Paralelismo de dados



Seções paralelas: cada *thread* executa uma seção
Paralelismo funcional



Execução serial dentro de uma seção paralela



Diretivas e Sentinelas

- Uma diretiva é uma linha especial de código fonte com significado especial apenas para determinados compiladores
- Uma diretiva se distingue pela existência de uma sentinela no começo da linha.
- As sentinelas do OpenMP são:
  - Fortran: `!$OMP` (ou `C$OMP` ou `*$OMP`)
    - O início e fim das seções devem ser indicadas por diretivas específicas
  - C/C++: `#pragma omp`
    - Seguem o padrão de diretivas de compilação para C/C++
    - Cada diretiva se aplica no máximo a próxima instrução, que deve ser um bloco estruturado

Regiões Paralelas

- Um código dentro da região paralela é executado por todas as threads.

- Sintaxe em C/C++:
  - Exige incluir a biblioteca: <omp.h>

```
#pragma omp parallel
    {
    // bloco executado em paralelo
    }
```

Cláusulas

- Especificam informação adicional na diretiva de região paralela:
- C/C++:
  - `#pragma omp parallel [clausulas]`
- Cláusulas são separadas por vírgula ou espaço no Fortran, e por espaço no C/C++

Atributos de dados

- Dentro de uma região paralela as variáveis podem ser compartilhadas (todas as *threads* vêem a mesma cópia) ou privada (cada *thread* tem a sua própria cópia).
  - Definidas como cláusulas na diretiva OpenMP
- Cláusulas *SHARED*, *PRIVATE e DEFAULT em* C/C++:
  - **`shared(list)`**
    - Todas as threads acessam o mesmo endereço de memória
  - **`private(list)`**
    - Nenhuma associação com o dado global
      - Valores são indefinidos na entrada e saída
      - Referencias são sempre para o dado local
  - **`default(shared|none)`**
    - Define valores default:
      - *Shared* implica em todas os dados compartilhados
      - *None* implica que nada será definido por default
        - » Todos os dados necessitam de atributos

Definindo Paralelismo no OpenMP

- *OpenMP Team := Master + Workers*
- Uma região paralela é um bloco de código executado por todas as *threads* simultaneamente
  - A *thread* Mestre tem ID = 0
  - Ao iniciar uma região paralela todos os *threads* estão sincronizados
  - Regiões paralelas podem ser aninhadas, mas esta característica é dependente da implementação
  - Regiões paralelas podem ser condicionadas por "if"

Funções úteis em OpenMP

Função	Utilidade
omp_get_num_threads()	Retorna o número de threads em execução
omp_set_num_threads(n)	Define o número de threads (n)
omp_get_thread_num()	Retorna o ID da Thread
omp_get_num_procs()	Retorna o número de processadores do sistema
omp_in_parallel()	Retorna verificação se no dado ponto do programa está-se ou não em uma região paralela
omp_get_wtime()	Retorna o *Wall Clock Time* do sistema
omp_get_wtick()	Retorna o número de *ticks* ou intervalos regularmente espaçados ditados pela freqüência do *clock* entre um segundo, no sistema

Muitas outras mais...

Hello World com OpenMP

```
#include <omp.h>
#include <stdio.h>
int main (int argc, char *argv[]) {
  int th_id, nthreads;
#pragma omp parallel private(th_id)
  {
    th_id = omp_get_thread_num();
    printf("Hello World from thread %d\n", th_id);
    if (th_id==0) {
      nthreads = omp_get_num_threads();
      printf("There are %d threads\n", nthreads);
    }
  }
  Return 0;
}
```

Compilação de programas em C/C++ com OpenMP

- Compiladores disponíveis: Intel C/C++ e Fortran-95, GCC e GFORTRAN, G95, PGI, PathScale, Absoft

- Usando GCC:

```
gcc -fopenmp -o <executavel> <fonte.c>
```

Laços Paralelos

- Principal fonte de paralelismo em muitas aplicações
- Se as iterações de um laço são independentes (podem ser executadas em qualquer ordem), então pode-se executar iterações diferentes em threads diferentes
- Exemplo: considerando 2 *threads* e o laço:

```
for (i = 0; i<100; i++) {
    a[i] = a[i] + b[i]; }
```

- Pode-se fazer as iterações 0-49 em uma thread e as iterações 50-99 na outra

Laços Paralelos (cont.)

- Usa-se uma diretiva que aparece dentro de uma região paralela e indica como o trabalho deve ser compartilhado entre as threads
- Sintaxe C/C++:
  - `#pragma omp for [clausulas]`
- Sem cláusulas adicionais, a diretiva DO/FOR particionará as iterações o mais igualmente possível entre as threads
  - Contudo, isto é dependente de implementação e ainda há alguma ambigüidade:
    - Ex:. 7 iterações, 3 threads. Pode ser particionado como 3+3+1 ou 3+2+2

Exemplo ilustrativo

For-loop with independent iterations

```
for (int i=0; i<n; i++)
  c[i] = a[i] + b[i];
```

For-loop parallelized using an OpenMP pragma

```
#pragma omp parallel for
for (int i=0; i<n; i++)
    c[i] = a[i] + b[i];
```

Thread 0	Thread 1	Thread 2	Thread 3	Thread 4
i=0-199	i=200-399	i=400-599	i=600-799	i=800-999
a[i]	a[i]	a[i]	a[i]	a[i]
+	+	+	+	+
b[i]	b[i]	b[i]	b[i]	b[i]
=	=	=	=	=
c[i]	c[i]	c[i]	c[i]	c[i]

Paralelizando laço

```
/* Exemplo 3 */
/* Laco perfeitamente paralelizavel */
#pragma omp parallel
#pragma omp for
for (i=1; i<n; i++) {
    b[i]= (a[i] - a[i-1])*0.5; }
/* end parallel for */
```

A diretiva DO/FOR paralela

- Esta construção é tão comum que existe uma forma que combina a região paralela e a diretiva DO/FOR:
- Sintaxe C/C++:
  - `#pragma omp parallel for [clausulas]`

C/C++

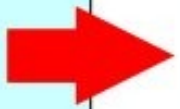
```
#pragma omp parallel
#pragma omp for
   for (...)
```

```
#pragma omp parallel for
for (....)
```

Single PARALLEL loop

Fortran

```
!$omp parallel
!$omp do
        ...
!$omp end do
!$omp end parallel
```



```
!$omp parallel do
        ...
!$omp end parallel do
```

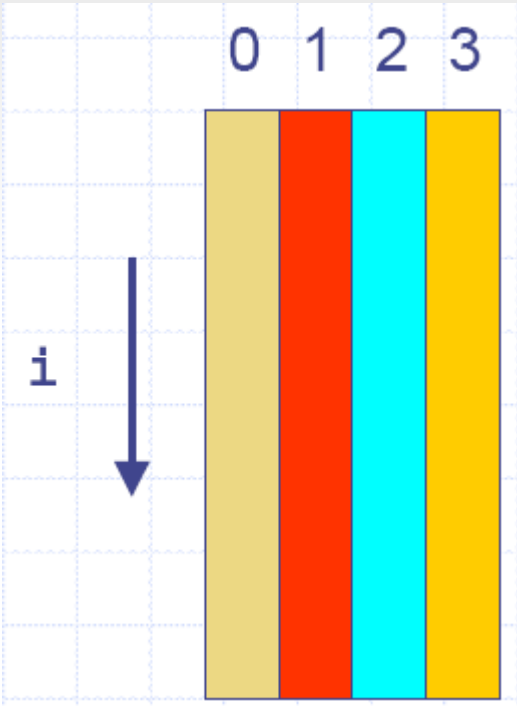
Aplicando a diretiva DO/FOR paralela

```
/* Exemplo 3 - Laco paralelizavel */
#pragma omp parallel for
for (i=1; i<n; i++) {
    b[i]= (a[i] - a[i-1])*0.5; }
/* end parallel for */

/* Exemplo 4 */
#pragma omp parallel for
for (i=0; i < n; i++) {
    z[i] = a * x[i] + y; }
```

Variáveis Privadas e Compartilhadas (exemplo)

- Exemplo: cada *thread* inicia a sua própria coluna de uma matriz compartilhada:

```
#pragma omp parallel default(none) \
    private (i, myid) shared(a,n)
{
myid = omp_get_thread_num();

for(i = 0; i < n; i++){
   a[i][myid] = 1.0; }
} /* end parallel */
```



Quais variáveis devem ser compartilhadas e privadas?

- A maioria das variáveis são compartilhadas
  - *Defaults*:
    - O índices dos laços são privados
    - Variáveis temporárias dos laços são compartilhadas
    - Variáveis apenas de leitura são compartilhadas
    - Arrays principais são compartilhadas
    - Escalares do tipo *write-before-read* são usualmente privados
  - A decisão pode ser baseada em fatores de desempenho

Valor inicial de variáveis privadas

- Variáveis privadas não tem valor inicial no início da região paralela.
- Para dar um valor inicial deve-se utilizar a cláusula *FIRSTPRIVATE*:
  - Exemplo:

```
b = 23.0;
. . . . .
#pragma omp parallel firstprivate(b) private(i,myid)
{
myid = omp_get_thread_num();
#pragma omp for
for (i=0; i<n; i++) {
    b += c[i]*2; }
d[myid] = b;
}
```

Reduções

- Uma redução produz um único valor a partir de operações associativas como soma, multiplicação, máximo, mínimo, e , ou.
  - Exemplo:

```
b = 0;
for (i=0; i<n; i++){
    b += a[i]; }
```

  - Permitir que apenas uma *thread* por vez atualize a variável b impede todo o paralelismo
  - Ao invés disto, cada *thread* pode acumular sua própria cópia privada, então essas cópias são reduzidas para dar o resultado final

Reduções (cont.)

- Uso da cláusula REDUCTION:
  - C/C++:reduction(op:list)
    - Onde ***op*** pode ser:

Operador (op)	Operação	Valor inicial
+	adição	0
-	subtração	0
*	Multiplicação	1
&	E lógico	Todos os bits em 1
|	OU lógico	Todos os bits em 0
^	Equivalente (lógica)	Todos os bits em 0
&&	Não equivalente (lógico)	Todos os bits em 1
||	Máximo	0

Redução – Exemplo:

```
b = 0;
#pragma parallel private (i) reduction (+:b)
{
#pragma omp for
for (i = 0; i < n; i++) {
    b = b + c[i]; }
}
/* omp end parallel */
/* b retorna soma de todos os elementos da matriz
  */
```

Variáveis de ambiente do SO para OpenMP

- `OMP_NUM_THREADS` – especifica o número de threads para serem usadas durante a execução de regiões paralelas
  - O valor padrão para esta variável é o número de processadores
  - Pode-se definir um número de threads independente do número de processadores físicos disponíveis

Exemplo 7 – OpenMP - e

```
#include <stdio.h>
#include <omp.h>
#define N 1000000000


int main(int argc, char
  *argv[]){
  double x, final;
  int i;


  final = 1;
  x = 1 + 1.0/N;
```

```
#pragma omp parallel
  default(none) private(i)
  shared(x) reduction(*:final)
  {
#pragma omp for
    for(i=0; i<N; i++) {
      final = final*x;
    }
  }


  printf("Resultado=
  %lf\n",final);
  return 0;
}
```

Seções paralelas (paralelismo funcional)

Cada seção é executada por uma *thread*

```
#pragma omp parallel default(none)\
        shared(n,a,b,c,d) private(i)
  {
    #pragma omp sections nowait
    {
      #pragma omp section
        for (i=0; i<n-1; i++)
            b[i] = (a[i] + a[i+1])/2;

      #pragma omp section
        for (i=0; i<n; i++)
            d[i] = 1.0/c[i];

    } /*-- End of sections --*/

  } /*-- End of parallel region --*/
```