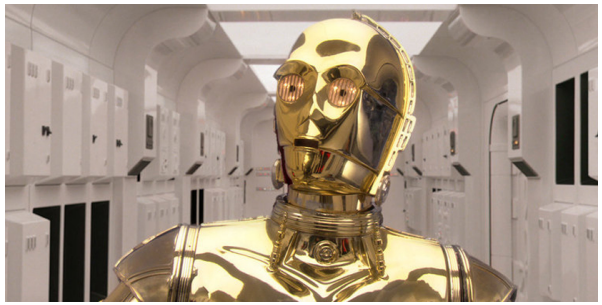
Introdução a paralelização de aplicações com OpenMP

Leonardo Araujo[1], Luan Teylo[1] e Cristiana Bentes[2]

[1]Instituto de Computação
Universidade Federal Fluminense
[2]Engenharia de Sistemas e Computação
Universidade do Estado do Rio de Janeiro

III Escola Regional de Alto Desempenho do Rio de Janeiro 2017

Quem somos nós?



Leonardo Araujo (Foto ilustrativa)

- Bacharel em Ciência da Computação pela UFF.
- Mestrando pela mesma instituição.
- Trabalha com computação distribuída, HPC, cloud computing e tolerância a falhas para *workflows* científicos.

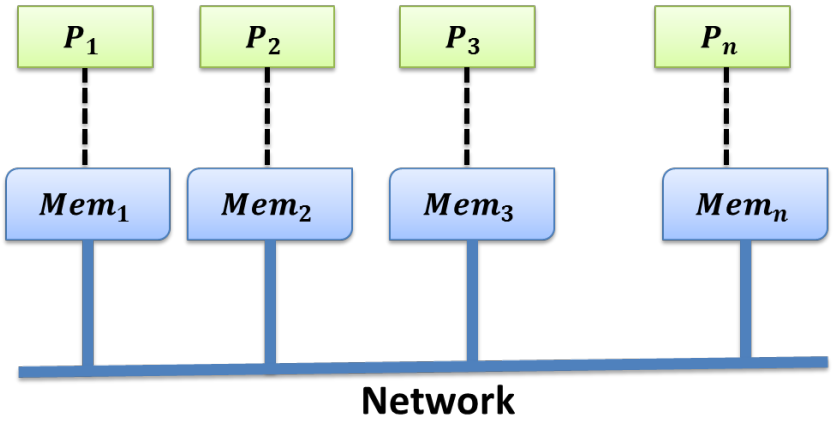
Luan Teylo (Foto ilustrativa)

- Mestre em Computação pela UFF.
- Doutorando pela mesma instituição.
- Trabalha com computação distribuída, metaheurísticas, HPC e escalonamento de aplicações em nuvens computacionais.

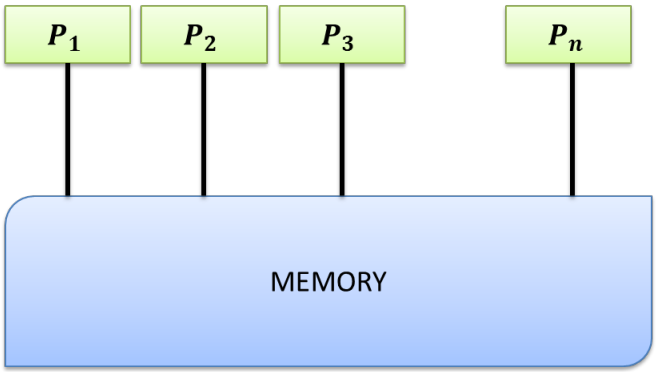
Não importa o quão rápido os computadores são. Neste momento, novas tecnologias estão sendo desenvolvidas para que eles sejam ainda mais rápidos. Nosso apetite por processamento e capacidade de memória parece insaciável.

Chapman *et al.* (2008)

Memória Distribuída vs Memória Compartilhada



Arquitetura de memória distribuída.



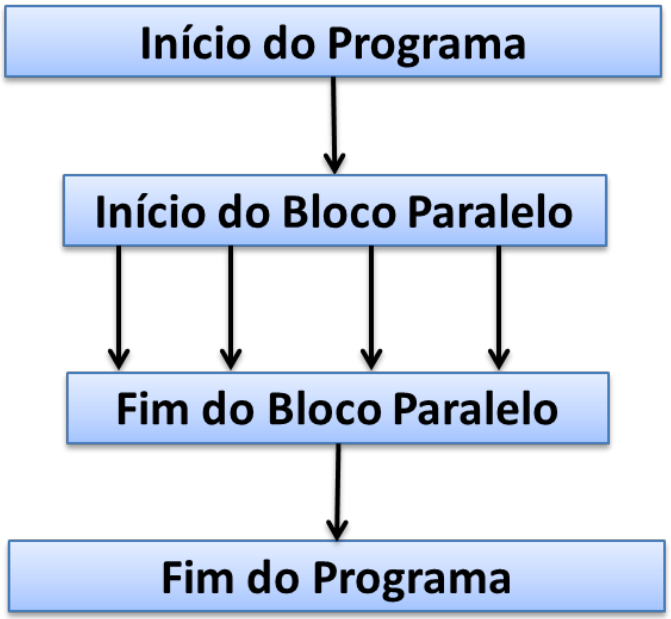
Arquitetura de memória compartilhada.

Introdução ao OpenMP

Open specification for Multiprocessing

O que é OpenMP?

- Sistemas de memória compartilhada
- Diretivas
- Funções
- Variáveis de Ambiente
- Fork-Join



Algumas bibliotecas

- MPI, Pthreads, OpenMP, OpenCL, CUDA

Por que OpenMP?

Razões Técnicas:

- Linguagens suportadas: Fortran e C/C++
- Mesmo código para implementação serial e paralela
- Implementação portátil e intuitiva

Por que OpenMP?

Por que deveríamos paralelizar os nossos códigos?

- Quantos cores tem o seu computador?
- Os programas que você escreve aproveitam TODO o poder de processamento disponível?
- Você quer ganhar desempenho?

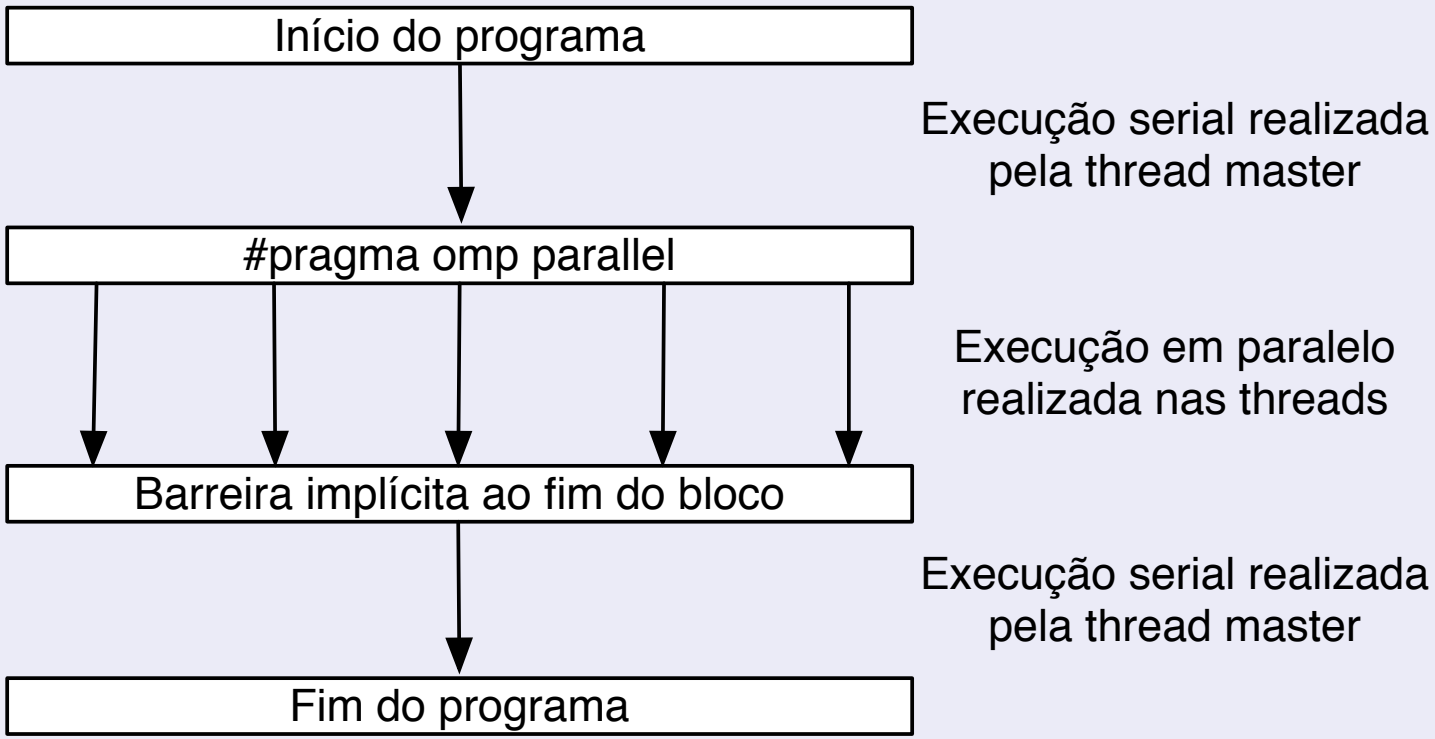
Principais Componentes do OpenMP

- Diretivas
  - *#pragma omp parallel*
  - *#pragma omp master*
  - *#pragma omp single*
  - *#pragma omp for*
  - *#pragma omp critical*
  - *#pragma omp atomic*
  - Etc
- Biblioteca
  - *omp_get_num_threads()*
  - *omp_set_num_threads()*
  - *omp_get_thread_num()*
- Variáveis de ambiente
  - OMP_NUM_THREADS

Expressando paralelismo

Bloco paralelo

- *#pragma omp parallel*
- Inicia bloco de código que será executado por todas as *threads* disponíveis



Exemplo

Hello World Paralelo

- A execução é inicializada na *thread master*
- A diretiva *#pragma omp parallel* inicia um bloco paralelo (*fork*)
- Cada thread executa os comandos contidos no bloco paralelo
- Barreira implícita ao fim do bloco (*join*)
- *Thread master* retoma o processamento serial
- *g++ -fopenmp -o <exe> <source.c>*

Exemplo

Hello World

Perguntas:

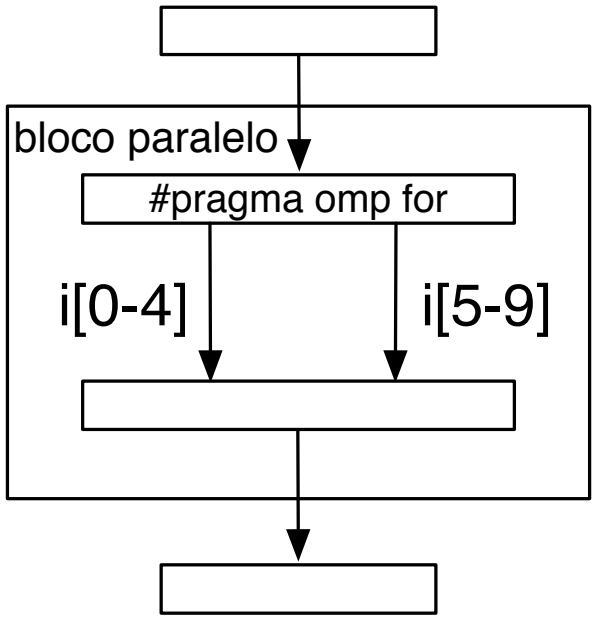
1. O que acontece na linha 11 do exemplo helloworld1.c ?
2. Como paralelizar um bloco de código maior?
3. Como preparar um código OpenMP para máquinas que não tem a biblioteca instalada?
4. O que é escrito na tela na linha 19, helloworld3.c ?
5. Como alterar o número de *threads* sem alterar o código?
   - *export OMP_NUM_THREADS=N*

Exemplo

Divisão de um vetor

- Como dividir o trabalho a ser realizado em um vetor entre as *threads* disponíveis?

```
int i[10];
omp_set_num_threads(2);
```



Contexto dos Dados

- Contexto das threads
  - Variáveis locais
  - Variáveis globais
- Variáveis privadas
  - Private
  - Firstprivate
- Variáveis compartilhadas
  - Default
  - Shared
- Variáveis de ambiente
  - OMP_STACKSIZE
  - Default: entre 2MB e 4MB

Exemplo

Contexto de variáveis

- Inicialização da variável X
- Criação de 20 threads

Pergunta: Qual o comportamento esperado do programa?

Reduções

Redução é uma operação computacional que, aplicada a um conjunto de valores, resulta em um único valor.

Exemplos

- Soma: $[1, 2, 3, 4, 5] \rightarrow 15$
- Multiplicação: $[1, 2, 3, 4, 5] \rightarrow 120$
- Mínimo: $[1, 2, 3, 4, 5] \rightarrow 1$
- Máximo: $[1, 2, 3, 4, 5] \rightarrow 5$

Exemplo

Redução de um vetor

- Dado um vetor de N posições
- Retornar a soma dos valores contidos em cada uma das N posições

Pergunta: Como essa tarefa pode ser dividida?

Sincronização

Como estabelecer uma ordem na execução das *threads*?

Barreira

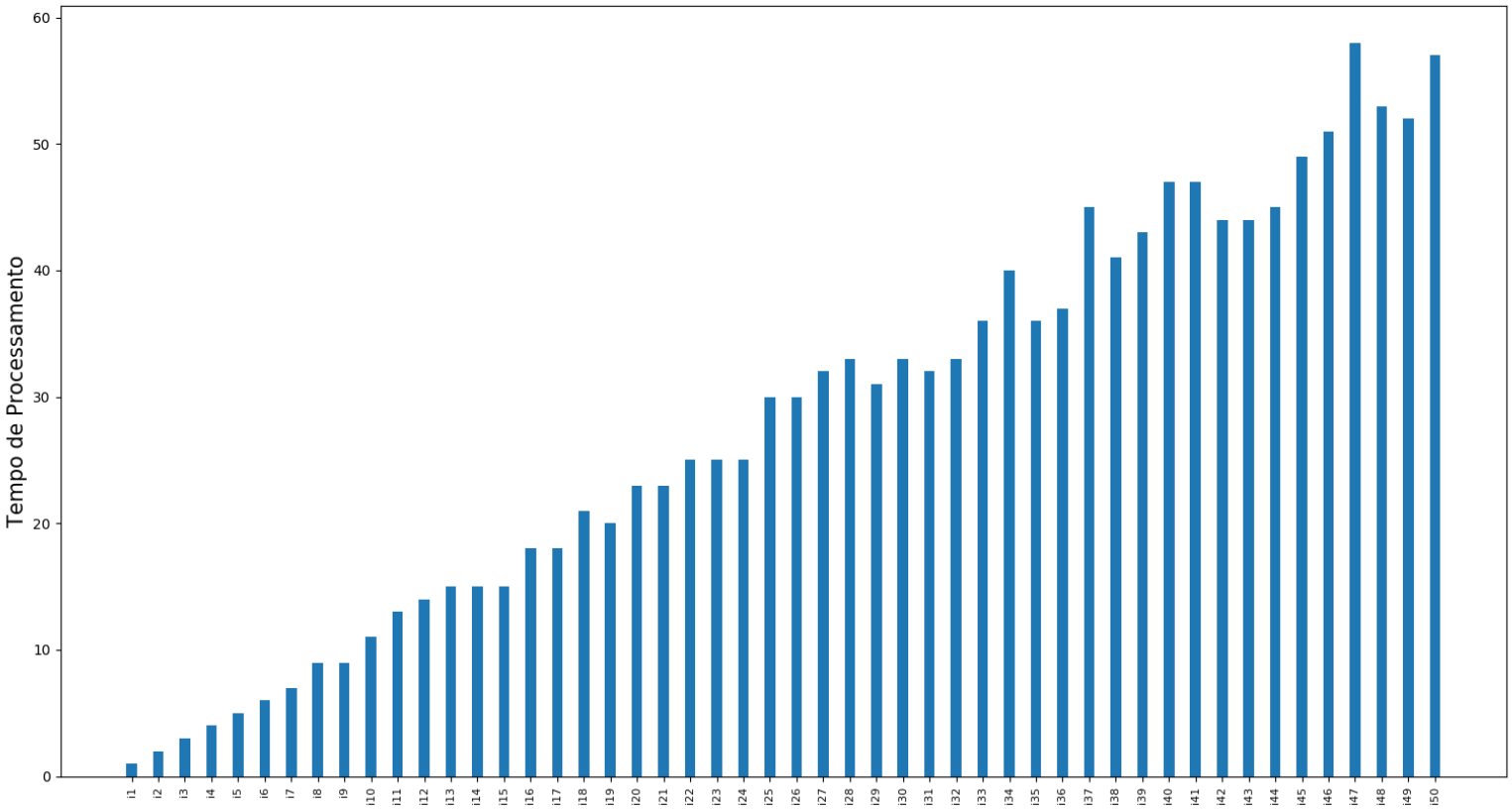
- *#pragma omp barrier*
- Todas as *threads* devem alcançar a barreira para que a execução possa seguir
- Garante consistência

Sessão crítica

- *#pragma omp critical*
- Trecho executado por somente uma *thread* por vez
- Garante exclusão mútua, evita condição de corrida

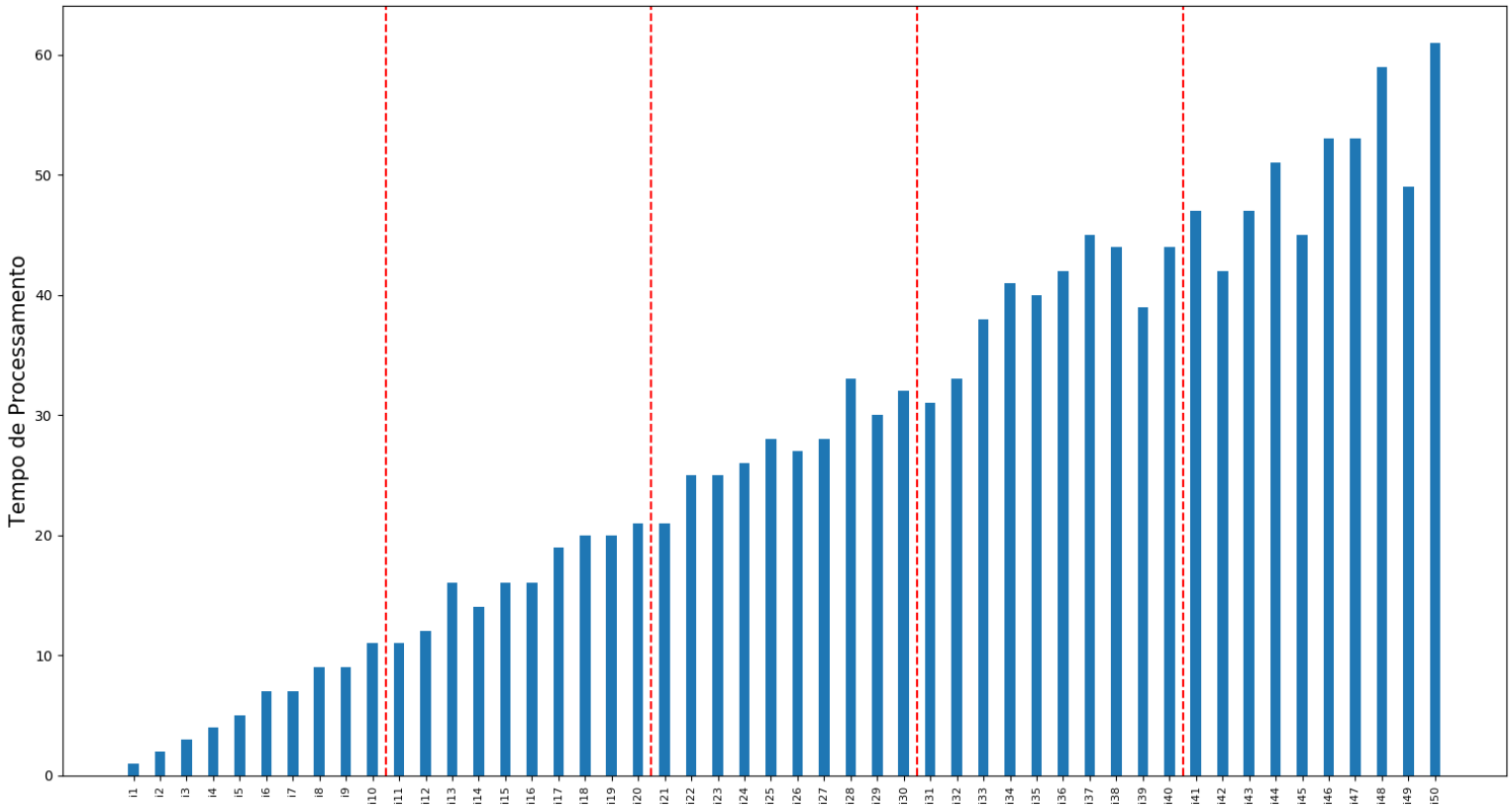
Escalonamento de Iterações

O que ocorre quando o processamento das iterações não é constante?



Escalonamento de Iterações

O que ocorre quando o processamento das iterações não é constante?



Escalonamento de Iterações

Escalonamento Estático

- Escalonamento default
- Chunksize default = número de iterações / número de threads
- *#pragma omp parallel for schedule(static[,chunksize])*

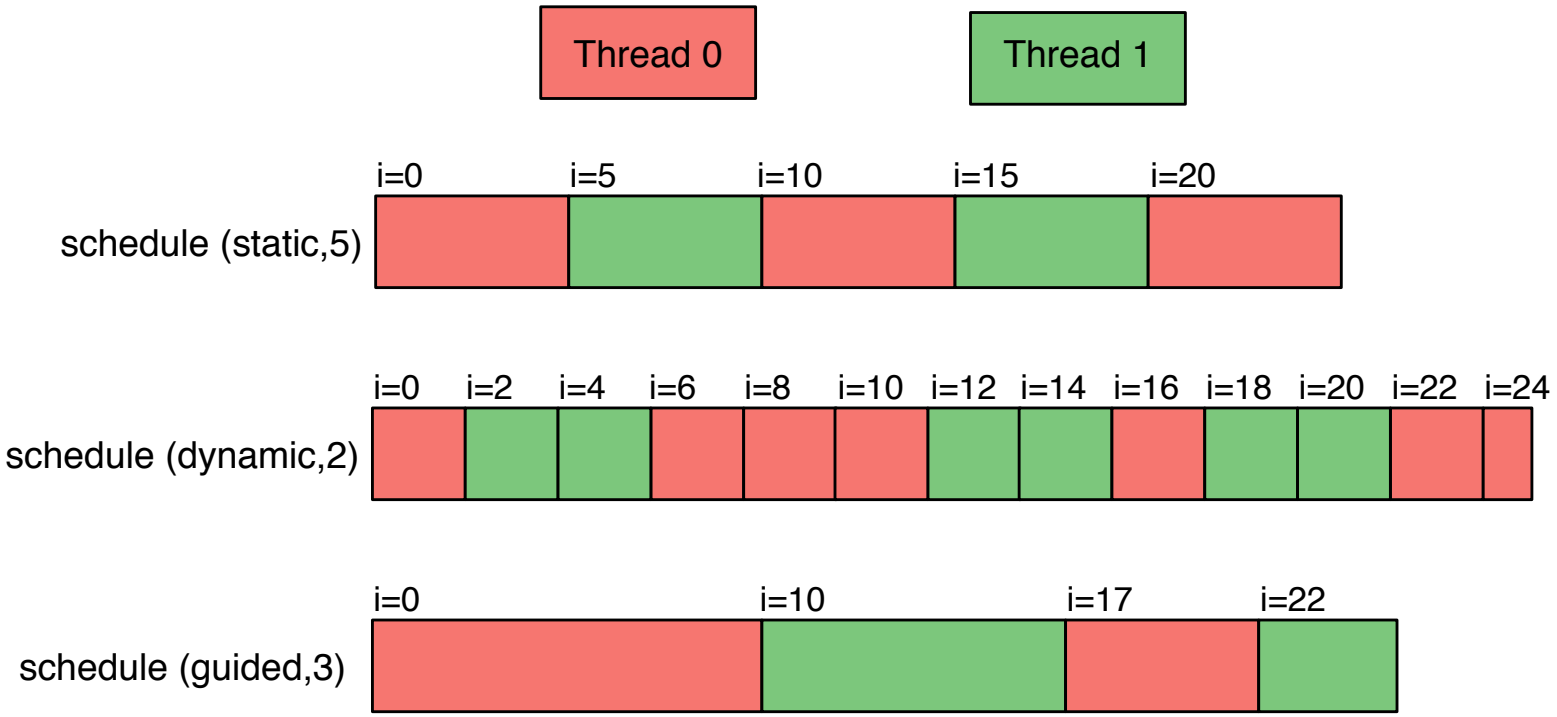
Escalonamento Dinâmico

- Chunksize default = 1
- *#pragma omp parallel for schedule(dynamic[,chunksize])*

Escalonamento Guiado

- Compilador define tamanho dos chunks, de forma decrescente
- Lastchunksize define o tamanho do último chunk
- *#pragma omp parallel for schedule(guided[,lastchunksize])*

Escalonamento de Iterações



Exemplo

Contar números primos

- Dado um valor N
- Qual o número de primos no intervalo [1,N]?

Perguntas:

- Como dividir este problema?

Exemplo

Contar números primos

- Dado um valor N
- Qual o número de primos no intervalo [1,N]?

Perguntas:

- Como dividir este problema?
- Esta solução está correta?

Exemplo

Contar números primos

- Dado um valor N
- Qual o número de primos no intervalo [1,N]?

Perguntas:

- Como dividir este problema?
- Esta solução está correta?
- Todas as *threads* terão o mesmo trabalho?

Outras formas de divisão de trabalho

- Como paralelizar problemas irregulares?
  - Algoritmos recursivos
  - *Loops* sem limite definido

Seções

- *#pragma omp sections*
- Define seções a serem processadas por uma única *thread*
- *Threads* executam seções sequencialmente

Tarefas

- *#pragma omp task*
- Tarefas são criadas de acordo com uma determinada condição
- *Threads* executam tarefas sequencialmente

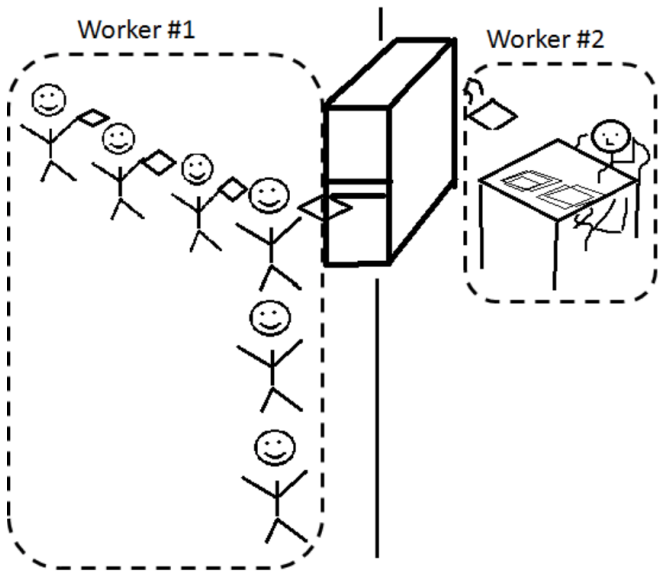
Exemplo

Padrão produtor-consumidor

- Lista é preenchida com itens produzidos em tempo de execução
- Itens da lista são consumidos
- Tempo de consumo é variável
- Tempo de produção é sempre menor que o tempo de consumo

Pergunta:

- Como dividir este problema?



Desafio!

Mutually Friendly Numbers

Dois números são considerados *mutually friendly* se a razão entre a soma de todos os divisores de um número e ele próprio é igual a mesma razão do outro número.

Exemplo:

$$\frac{1+2+3+5+6+10+15+30}{30} = \frac{72}{30} = \frac{12}{5}$$

$$\frac{1+2+4+5+7+10+14+20+28+35+70+140}{140} = \frac{336}{140} = \frac{12}{5}$$

30 e 140 são *mutually friendly*

Problema:

Dados um limite inferior e um limite superior, retornar todos os números *mutually friendly* contidos no intervalo.

Desafio!

Detalhes da máquina

- 24 cores
- 60 GB RAM

Soluções

- Enviar código-fonte para **leonardoaj@ic.uff.br** e **luanteylo@ic.uff.br**
- Dúvidas?

Referências

- Chandra, Rohit. **Parallel programming in OpenMP**. Morgan Kaufmann, 2001.
- http://openmp.org

Dúvidas e Sugestões

- leonardoaj@ic.uff.br
- luanteylo@ic.uff.br