Programação Concorrente (IC/CCMN/UFRJ)

Construindo algoritmos concorrentes - Agosto de 2025

Profa. Silvana Rossetto

Definição de programação concorrente/paralela

- *Navarro et al.* definem a programação concorrente/paralela como a tarefa de resolver um problema de tamanho n dividindo o seu domínio em $k \geq 2$ ($k \in \mathbb{N}$) partes que deverão ser executadas em p processadores físicos simultaneamente
- Seguindo essa definição, um problema P_D com domínio D é dito paralelizável se for possível decompor P_D em k subproblemas:

$$D = d_1 \oplus d_2 \oplus \cdots \oplus d_k = \sum_{i=1}^{k} d_i$$

- Dependendo das características do problema, há diferentes formas de realizar essa decomposição

Paralelismo de dados e paralelismo de tarefas

- Dizemos que o problema P_D é um problema com paralelismo de dados se D é composto de elementos de dados e é possível aplicar uma função $f(\cdots)$ para todo o domínio:

$$f(D) = f(d_1) \oplus f(d_2) \oplus \cdots \oplus f(d_k) = \sum_{i=1}^{k} f(d_i)$$

- Por outro lado, se D é composto por funções e a solução do problema consiste em aplicar cada função sobre um fluxo de dados comum S, dizemos que o problema P_D é um problema com paralelismo de tarefas:

$$D(S) = d_1(S) \oplus d_2(S) \oplus \cdots \oplus d_k(S) = \sum_{i=1}^{k} d_i(S)$$

Etapas do desenvolvimento de aplicações concorrentes

1. Dividir a aplicação em tarefas que podem ser submetidas à execução concorrente
2. Definir a estratégia de interação (comunicação e sincronização) entre os **fluxos de execução concorrentes**
3. Minimizar os custos associados à execução concorrente

Etapas propostas por Ian Foster

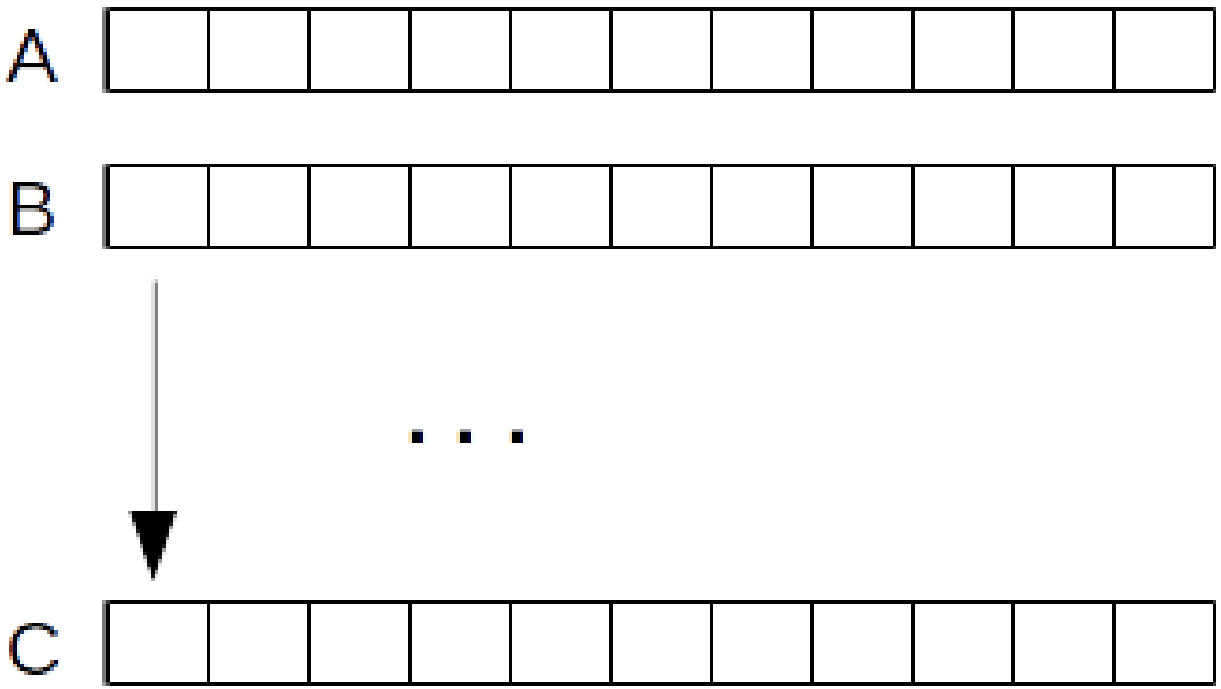
- **1-Particionamento**: a tarefa (e o conjunto de dados associado a ela) é decomposta em subtarefas menores
- **2-Comunicação**: as demandas para coordenar a execução das subtarefas são levantadas
- **3- Aglomeração**: as subtarefas e estruturas de comunicação são avaliadas e, se necessário, agrupadas
- **4- Mapeamento**: cada subtarefa é designada para uma unidade de processamento (depende da arquitetura alvo)

Exemplo inicial (operação SAXPY)

*Single precision A * X plus Y*

- Considere a operação $\mathbf{C = A * k + B}$, sendo A, B e C vetores de tamanho N e k um número
- Para encontrar o vetor de saída C, precisamos calcular cada elemento desse vetor fazendo: $\mathbf{C[i] = A[i] * k + B[i]}$, $0 <= i < N$

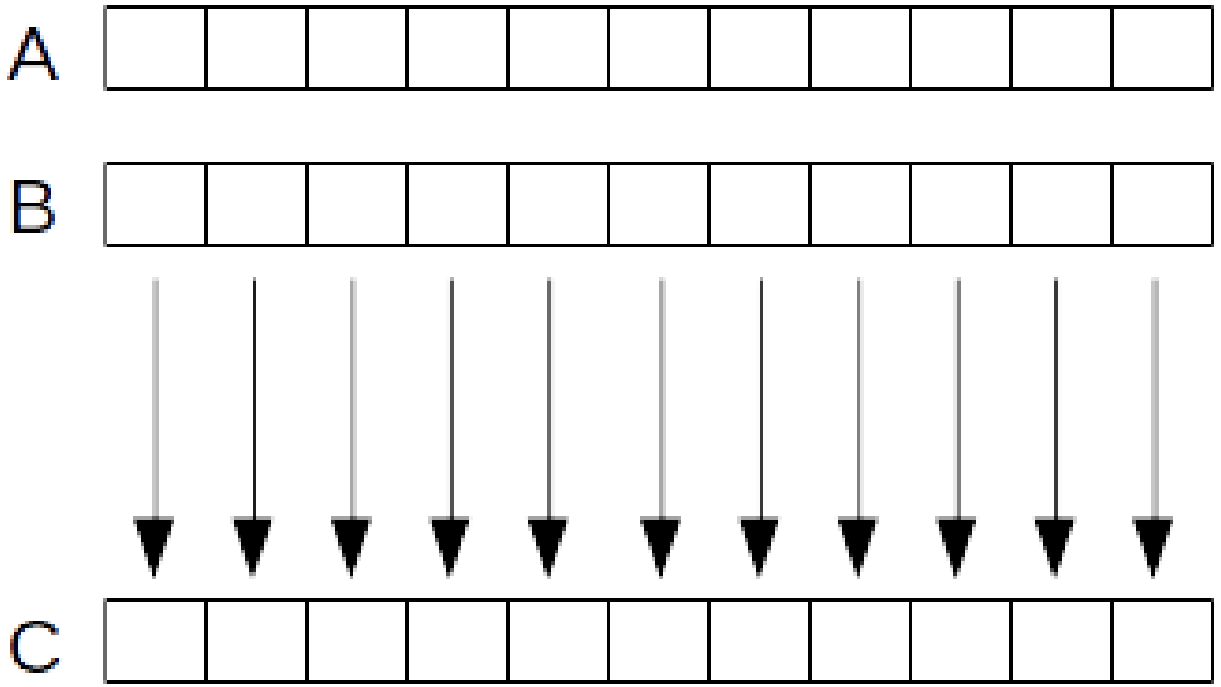
Algoritmo sequencial



Algoritmo sequencial

```
void somaVetoresSeq(const float a[], const float b[],
                    float c[], float k, int n) {
   for(int i=0; i<n; i++) {
      c[i] = a[i] * k  + b[i];
   }
}
void main() {
   float a[N], b[N], c[N];
   //inicializa os vetores a e b
   ...
   somaVetoresSeq(a, b, c, 2.0, N);
}
```

Algoritmo concorrente



Algoritmo concorrente inicial

```
float a[N], b[N], c[N];
void *calculaElementoVetor(void * args) {
   t_args *arg = (t_args*) args;
   int pos = arg->id;
   c[pos] = a[pos] * arg->k + b[pos];
}
void main() {
   //inicializa os vetores a e b
   short int nthreads = N;
   pthread_t tid[nthreads];
   for(int i=0; i<nthreads; i++) {
      pthread_create(&tid[i], NULL,
            calculaElementoVetor, (void*) args);
   }
   for(int i=0; i<nthreads; i++)
      pthread_join(tid[i], NULL);
}
```

Execução sequencial versus execução concorrente

O que fizemos foi reduzir a complexidade de processamento de $O(N)$ para $O(1)$, assumindo que N fluxos de execução poderão estar ativos ao mesmo tempo

Ambiente de execução concorrente

..mas, se não tivermos processadores em número suficiente para permitir que todos os fluxos de execução estejam ativos ao mesmo tempo?

- em geral, os ambientes de execução concorrente se encarregam de "enfileirar" as execuções
- **qual seria o custo e a vantagem de se criar tantos fluxos?**

- então, vale a pena pensar em outras formas de dividir a tarefa principal?
- quais seriam essas outras formas? (*propor alternativas*)

Métricas de desempenho

- **Tempo de processamento**
- **Aceleração**:

$$A(n,p) = T_s(n)/T_p(n,p)$$

  - **linear, sublinear e superlinear**
- **Eficiência**:

$$E(n,p) = A(n,p)/p$$

  - como a carga de trabalho extra do algoritmo concorrente cresce quando o número de fluxos de execução aumenta

Referências bibliográficas

1. Introdução à programação paralela em GPU para a implementação de métodos numéricos, D. Alfaro e S. Rossetto, Notas em Matemática Aplicada, vol 84, 2016
2. *A Survey on Parallel Computing and its Applications in Data-Parallel Problems Using GPU Architectures*, C. A. Navarro, N. Hitschfeld-Kahler e L. Mateu, Communications in Computational Physics, vol 15, 2014