Computação Paralela

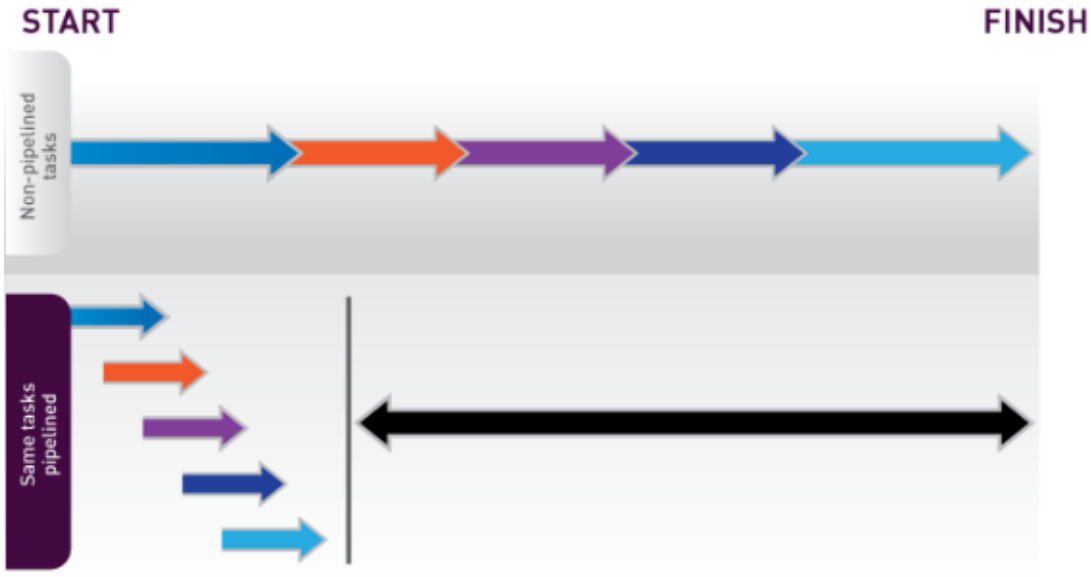
Tipos de Paralelismo

Paralelismo por *Bit*

- Relaciona-se com o aumento na capacidade de processamento de dados;
- **Mais bits permitem efetuar operações mais complexas de uma forma mais imediata.**

Paralelismo por Pipelining

- O pipeline pode ser comparado a uma linha de montagem:
  - Cada fase da linha poderá operar em paralelo caso não existam dependências entre as instruções;
  - Um *pipeline* eficiente possui instruções com durações semelhantes;
  - O *throughput* de um *pipeline* é o número de instruções finalizadas por unidade de tempo.



Paralelismo por *Functional Units* (FU)

- Existem várias unidades funcionais (ALU e FPU) independentes;
  - Estas unidades executam tarefas independente e paralelamente;

- O número de FU a utilizar paralelamente poderá ser limitado consoante a dependência dos dados;
- A sua utilização irá aumentar significativamente a complexidade do circuito.

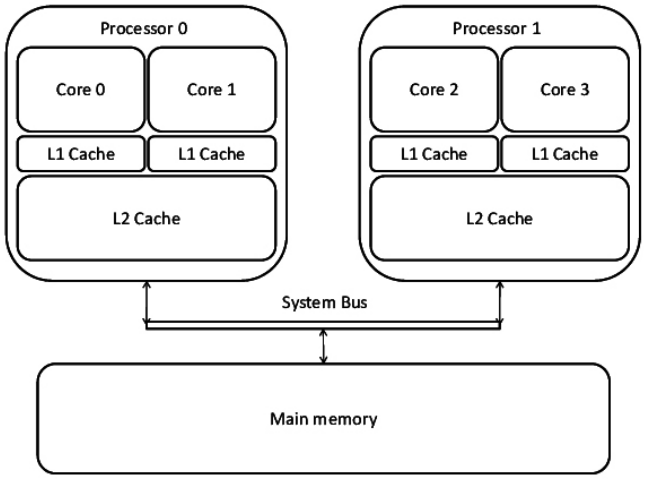
Paralelismo por Processos ou *Threads*

- Implica a utilização de sistemas *multicore/multiprocessor*;
  - Cada *core* acede à mesma memória partilhada;
  - Cada *core* executa um só fluxo;
  - Implica a utilização de técnicas de programação paralelas.

Processadores *Multicore*

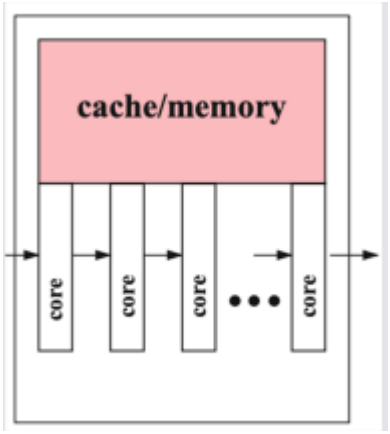
Arquitetura

- **Design hierárquico**: vários cores partilham várias *caches*, organizadas em forma de árvore, com o seu tamanho a aumentar desde as folhas até à raíz;



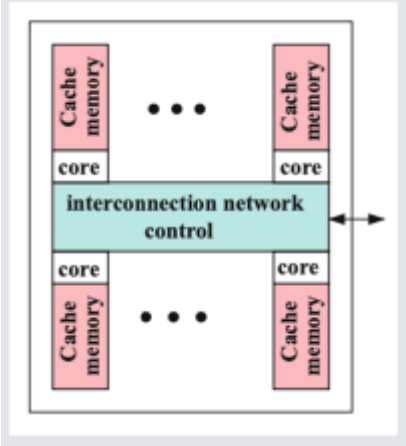
Arquitetura de sistemas *multicore*.

- **Design em *pipeline*:** os dados são processados por elemento sde processamento organizados em formato de *pipeline*; os dados são transferidos entre os *cores* de forma sucessiva até deixarem a unidade de processamento.



Arquitetura em *pipeline*.

- **Design em rede**: os *cores* de um processador e respetivas caches e memórias estão ligadas através de uma rede sob a qual ocorre a transferência de dados.



Conceitos Básicos

- A **decomposição da aplicaçao em *tasks*** é essencial para o design de um sistema paralelo;
  - O tamanho de cada *task* designa-se por **granularidade**;
  - As *tasks* são programadas através de processos ou *threads*, atribuídos posteriormente a diferentes *cores*;
    - ***Scheduling***.

Organização de Memória

- As *tasks* partilham “conhecimento” de maneiras distintas:

- **Memória Partilhada:**
  - Pode ser acedida por todos os *cores*;
  - É feita através de R/W em variáveis partilhadas;
    - O acesso a esta memória tem de ser sincronizada.
- **Memória Distribuída:**
  - Cada processo ou *thread* tem a sua memória privada;
  - A partilha de informação ocorre com a troca de mensagens.

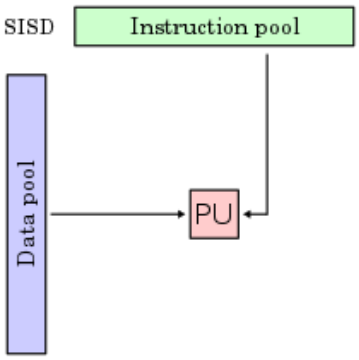
Execução

- O tempo de execução de um programa paralelo deverá ser menor que a execução das mesmas tarefas de forma sequencial;
- Existirão sempre *idle times* durante uma execução paralela:
  - O CPU está à espera do output de um evento;
  - Um **load balancing** equilibrado tenta mitigar os tempos de espera de um programa paralelo: distribuição de tarefas de maneira igual por todos os *cores*.

Arquiteturas

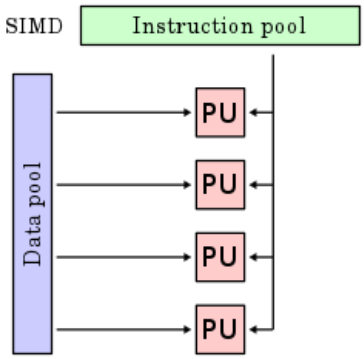
Single Instruction, Single Data

- Computador sequencial que não explora o paralelismo ao nível das instruções nem dos *stream* de dados;
- Uma única unidade de controlo (*control unit*, CU) carrega uma única instrução de memória;
- A CU gera os sinais de controlo apropriados para que uma única unidade de processamento (*processing element*, PE) opere sobre sobre uma único fluxo de dados (*data stream*, DS), i..e uma operação de cada vez.



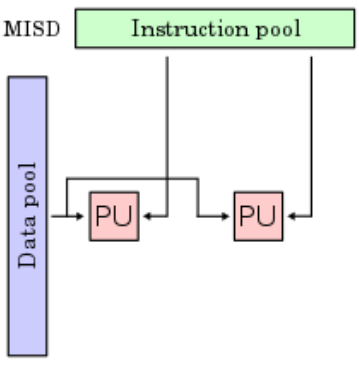
Single Instruction, Multiple Data

- Uma única instrução é simultaneamente aplicada a vários DS;
- As instruções podem ser executadas sequencialmente (e.g. via *pipelining* ou em parallelo por múltiplas FU).



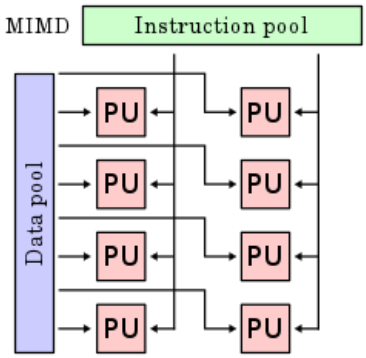
Multiple Instruction, Single Data

- Várias instruções operam sobre um único fluxo de dados;
- Sistemas deste tipo devem concordar no *output*/resultado;
- Arquitetura pouco comum, utilizada para tolerância de falhas.



Multiple Instruction, Multiple Data

- Vários CPU autonómos executam, simultaneamente, diferentes instruções em DS diferentes;
- Estas arquiteturas tipicamente incluem **sistemas distribuídos**.



Implementação

Modelos

- Podemos diferenciar os modelos para computação paralela de acordo com o seu nível de abstração.

Modelo Máquina

- Descreve o *hardware* e o SO (e.g. registos e *buffers*);
- Linguagens *assembly* usam estes tipos de modelos.

Modelo Arquitetural

- Descreve ligações entre processos, organização e sincronização de memória, bem como se as instruções são executadas por SIMD ou MIMD.

Modelo Computacional

- Fornece funções de custo para o tempo necessário para a execução do algoritmo;
- Modelo analítico para o desenho e avaliação de um algoritmo paralelo.

Modelo de Programação

- Representa a visão de um programador de um determinado sistema paralelo;
- **Deverá fornecer um mecanismo para o programador especificar um sistema paralelo**: especificar que operações são executadas em paralelo.
  - Como uma sequência de instruções aritméticas ou lógicas;
  - Conjuntos de *statements*;
  - Uma função ou método que contem diversos *statements*.

Paralelização de Programas

- Necessário considerar as estruturas de controlo e dependências de dados;
- **Garantir que a versão paralela do programa retorna o mesmo resultado para todos os inputs possíveis;**

Padrões

- Criação de processos e *threads*:
  - **Estaticamente**: número fixo de processos ou *threads* é criado quando o programa é iniciado, e finalizados quando o programa finaliza;
  - **Dinamicamente:** estes elementos poderão ser criados de forma arbitrária durante a execução do programa.

Fork-Join

- Uma thread T cria um conjunto de *threads* filhas $T_1, \ldots, T_n$:
  - Trabalham em paralelo e executam uma ou mais instruções/funções.
- T pode executar a mesma parte ou outra qualquer do programa:
- O comando `join` é utilizado para T esperar pelo resultado de $T_1, \ldots, T_n$.

Parbegin-Parend

- Na construção, são definidas uma série de instruções que deverão ser executadas em paralelo;
- Quando um programa chega a um comando `parbegin-parend`, um conjunto de *threads* é criado e as *statements* são atribuídas às mesmas;

- O restante prorama só é executado depois de todas as *threads* finalizarem as operações.

SPMD e SIMD

- Utilizam um número fixo de *threads*;
- **SIMD**: a mesma instrução é executada de forma síncrona por diferentes *threads* em diferentes conjuntos de dados;
- **SPMD**: diversas threads trabalham de forma assíncrona entre sí, podendo executar diferentes partes do programa.

Master-Slave e Master-Worker

- A *thread* **master** é responsável pela execução do programa (cria *workers* em diferentes partes do programa para realizar operações paralelas).

Client-Server

- Utilizado em sistemas distribuídos;
- Vários sistemas clientes comunicam com um main-frame que fornece acesso distribuído a uma base de dados;
- Devem ser criadas diversas *threads client*, que geram algum tipo de pedido ao *server*.

Task Pool

- Estrutura de dados onde são guardadas tarefas que têm de ser executadas;
- Nnúmero fixo de *threads* é utilizado para o processamento das tarefas (i.e. *threads* criadas no início do programa);

Pipelining

- Feature de *hardware* para computação paralela;
- As *threads* $T_1, \ldots, T_n$ são organizadas de forma a que uma *thread* T_i recebe como *input* o *output* da thread T_{i-1};
- As *threads* utilizadas no *pipelining* poderão ser utilizadas de forma paralela.

Producer-Consumer

- Os *Producers* geram dados que serão consumidos e processados pelos *Consumers*;
- É utilizado um *buffer* partilhado;
- O *producer* só conseguem adicionar dados ao *buffer* se este não estiver cheio;
- O *consumer* só consegue processar dados de um *buffer* não vazio.

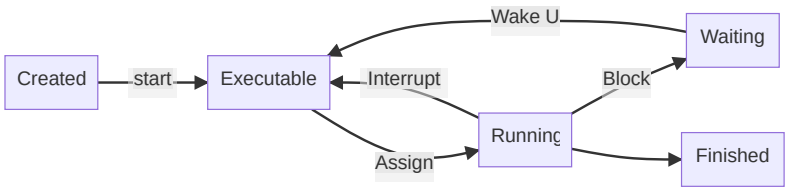
Processos

- Um processo pode ser considerado como a execução de um programa:
  - Contêm toda a informação necessária para a sua execução: dados, *stack*, registos e instruções a serem executadas;
  - Cada processo tem o seu próprio espao de endereçamento co macesso exclusivo (i.e. nenhum outro processo pode aceder a esta memória).

Threads

- A criação de *threads* é geralmente mais rápid que a criação de processos;
- As *threads* podem ser fornecidas pelo *runtime* (***user-level threads***) ou pelo SO (***kernel-level threads***):
  - *User-Level Threads*:
    - Correm em qualquer SO;
    - Menos privilégios *low-level*;
    - Não permite que aplicações *multithreaded* corram diferentes *threads* em diferentes processadores;
  - *Kernel-Level Threads*:
    - Gestão ocorre no kernel;
    - Permite que o mesmo processo seja escalonado em diferentes *kernel-level threads*;
    - Criação e gestão difícil.

Estados



- **Created:** a *thread* foi criada mas ainda não executou nenhuma operação;
- **Executable:** a *thread* está pronta para ser executada, não estando ainda associada a algum recurso;
- **Running:** a *thread* esta a correr;
- **Waiting:** a *thread* está à espera de um evento externo (i.e. I/O);
- **Finished:** A *thread* terminou a sua execução.

Controlo de Execução

- **Sincronização por barreira**: define um ponto em que cada *thread* terá que esperar pela execução das restantes;
- **Sincronização por condição**: uma *thread* T1 é bloqueada até que uma certa condição seja cumprimida.

Java

- Estender a classe `Thread`:
  - Mais flexível (permite a utilização de mais métodos);
  - Cada *thread* é uma instância nova da classe que estendeu `Thread`;
- Implementar a interface `Runnable`:
  - Possui apenas o método `run`;
  - Útil quando a classe em questão já estende outra classe qualquer.

Mecanismos de Sincronização

- **Race conditions:**
  - Acontecem quando o sistema tenta realizar 2 operações ao mesmo tempo;

- Poderão levar a estados indesejados num *software*.