



UNIVERSIDADE
FEDERAL DE
SERGIPE



DEPARTAMENTO
DE COMPUTAÇÃO

Multiprocessamento

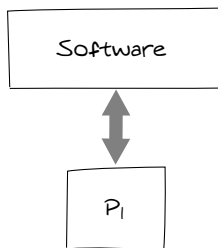
Arquitetura de Computadores

Bruno Prado

Departamento de Computação / UFS

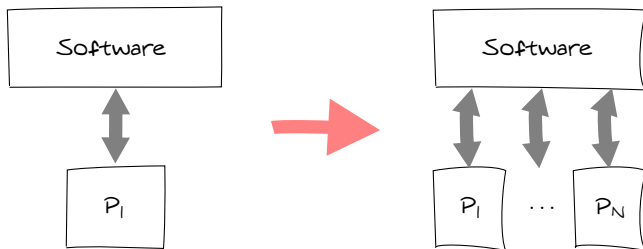
Introdução

- ▶ O que é multiprocessamento?
 - ▶ É uma organização que utiliza múltiplas unidades de processamento para a execução do software
 - ▶ Este paradigma emergiu da exaustão da capacidade de paralelismo em nível de instrução



Introdução

- ▶ O que é multiprocessamento?
 - ▶ É uma organização que utiliza múltiplas unidades de processamento para a execução do software
 - ▶ Este paradigma emergiu da exaustão da capacidade de paralelismo em nível de instrução



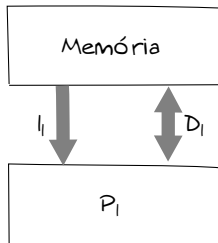
Introdução

- ▶ Categorização de fluxos de instruções e de dados
 - ▶ *Single Instruction Single Data (SISD)*
 - ▶ *Single Instruction Multiple Data (SIMD)*
 - ▶ *Multiple Instruction Single Data (MISD)*
 - ▶ *Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)*

	Única instrução	Múltiplas instruções
Único dado	SISD	MISD
Múltiplos dados	SIMD	MIMD

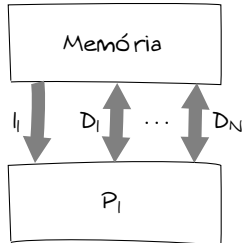
Introdução

- ▶ *Single Instruction Single Data (SISD)*
 - ▶ Uma única instrução é buscada na memória e executava no processador por vez
 - ▶ Somente um dado da memória pode ser acessado para escrita ou leitura em cada operação realizada



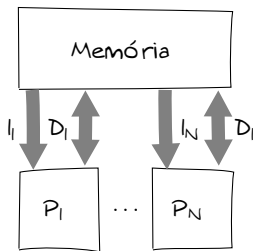
Introdução

- ▶ *Single Instruction Multiple Data (SIMD)*
 - ▶ A instrução em execução no processador é capaz manipular múltiplos dados simultaneamente
 - ▶ Este tipo de organização permite a execução sequencial da instrução com acesso e processamento paralelo dos dados
 - ▶ Extensões multimídia dos processadores



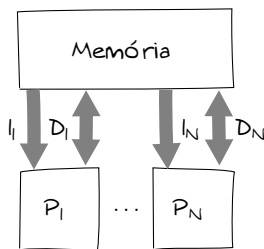
Introdução

- ▶ *Multiple Instruction Single Data (MISD)*
 - ▶ Uma sequência de instruções são executadas por múltiplos processadores executando sobre um mesmo conjunto de dados (redundância)
 - ▶ Apesar de ser uma organização possível, é utilizada apenas em sistemas especializados tolerantes a falhas



Introdução

- ▶ *Multiple Instruction Multiple Data (MIMD)*
 - ▶ Os múltiplos processadores executam diferentes sequências de instruções operando sobre conjuntos distintos de dados centralizados ou distribuídos
 - ▶ É o multiprocessamento de propósito geral

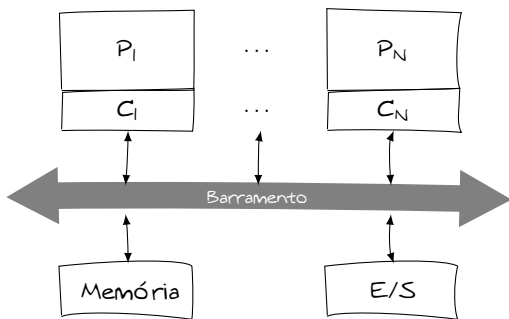


Introdução

- ▶ Como é feita a comunicação entre os processadores em uma organização multiprocessada?
 - ▶ Memória compartilhada
 - ▶ Cada processador acessa as instruções e os dados armazenados em uma mesma memória com tempo de acesso uniforme (UMA) e a troca de informações entre eles é feita por variáveis compartilhadas

Introdução

- ▶ Como é feita a comunicação entre os processadores em uma organização multiprocessada?
 - ▶ Memória compartilhada
 - ▶ Cada processador acessa as instruções e os dados armazenados em uma mesma memória com tempo de acesso uniforme (UMA) e a troca de informações entre eles é feita por variáveis compartilhadas



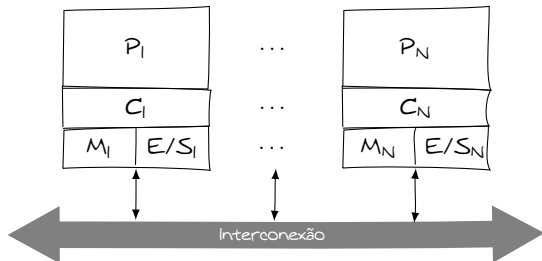
Multiprocessamento simétrico (SMP)

Introdução

- ▶ Como é feita a comunicação entre os processadores em uma organização multiprocessada?
 - ▶ Memória distribuída
 - ▶ Os processadores possuem seu próprio espaço de endereçamento para acesso não uniforme a memória (NUMA) e realizando a comunicação entre si de forma explícita através da troca de mensagens

Introdução

- ▶ Como é feita a comunicação entre os processadores em uma organização multiprocessada?
 - ▶ Memória distribuída
 - ▶ Os processadores possuem seu próprio espaço de endereçamento para acesso não uniforme a memória (NUMA) e realizando a comunicação entre si de forma explícita através da troca de mensagens



Multiprocessamento assimétrico (AMP)

Multiprocessamento

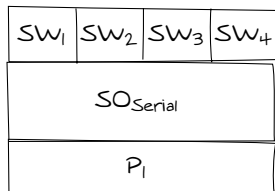
- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Problema
 - ▶ Limitações cada vez maiores do paradigma ILP
 - ▶ Crescente demanda por desempenho dos sistemas

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Problema
 - ▶ Limitações cada vez maiores do paradigma ILP
 - ▶ Crescente demanda por desempenho dos sistemas
 - ▶ Contexto
 - ▶ Existe uma grande quantidade de software desenvolvido para executar em plataformas uniprocessadas
 - ▶ É muito complexa a modificação de todo o software existente para suportar múltiplos processadores

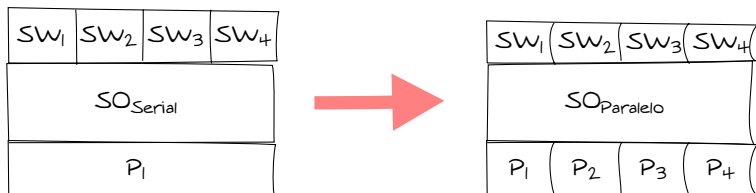
Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ O conceito de multiprocessamento simétrico é uma resposta para o problema de demanda por desempenho e compatibilidade com o software desenvolvido para execução uniprocessada



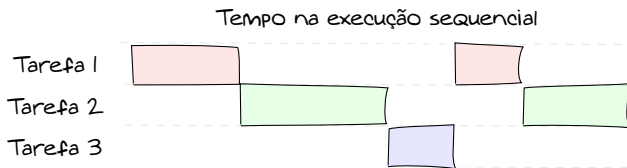
Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ O conceito de multiprocessamento simétrico é uma resposta para o problema de demanda por desempenho e compatibilidade com o software desenvolvido para execução uniprocessada



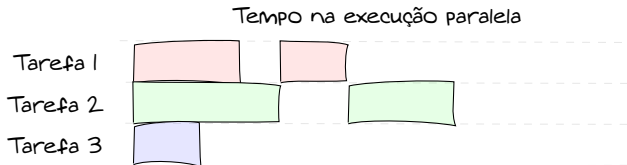
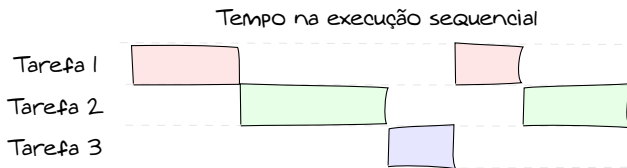
Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Cada processo do sistema possui seu próprio espaço de endereçamento na memória virtual e o sistema operacional faz o escalonamento dos processos entre os núcleos de processamento disponíveis



Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Cada processo do sistema possui seu próprio espaço de endereçamento na memória virtual e o sistema operacional faz o escalonamento dos processos entre os núcleos de processamento disponíveis



Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Características chave
 - ▶ Existem pelo menos dois processadores com instruções compatíveis e com recursos de hardware similares

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Características chave
 - ▶ Existem pelo menos dois processadores com instruções compatíveis e com recursos de hardware similares
 - ▶ Estes processadores compartilham o mesmo espaço de endereçamento físico da memória principal e para os recursos de E/S, utilizando um barramento

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Características chave
 - ▶ Existem pelo menos dois processadores com instruções compatíveis e com recursos de hardware similares
 - ▶ Estes processadores compartilham o mesmo espaço de endereçamento físico da memória principal e para os recursos de E/S, utilizando um barramento
 - ▶ Todos os processadores possuem a mesma função ou papel na plataforma (simétricos)

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Vantagens potenciais
 - ▶ Aumento do desempenho com execução paralela do software através dos processos do sistema

Multiprocessamento

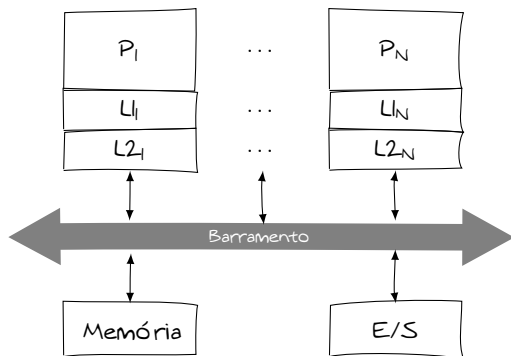
- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Vantagens potenciais
 - ▶ Aumento do desempenho com execução paralela do software através dos processos do sistema
 - ▶ Disponibilidade do sistema é melhorada em caso de falha de um dos núcleos de processamento

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Vantagens potenciais
 - ▶ Aumento do desempenho com execução paralela do software através dos processos do sistema
 - ▶ Disponibilidade do sistema é melhorada em caso de falha de um dos núcleos de processamento
 - ▶ Escalabilidade com crescimento incremental, permitindo diferentes quantidades de processadores

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Como cada processador é um mestre do barramento, são necessárias técnicas de arbitração para tratar as requisições concorrentes, o que pode causar retenção no tráfego de informações
 - ▶ Para reduzir o tráfego é utilizada uma hierarquia de cache com múltiplos níveis com escrita atrasada



Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Hierarquia de cache
 - ▶ Cada nível da hierarquia representa uma cópia do conteúdo armazenado na memória principal

Multiprocessamento

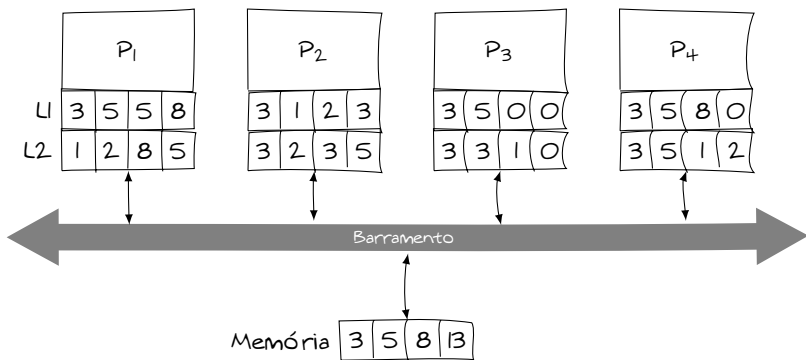
- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Hierarquia de cache
 - ▶ Cada nível da hierarquia representa uma cópia do conteúdo armazenado na memória principal
 - ▶ Para a execução concorrente do software pelos processadores, é necessário que variáveis compartilhadas em memória sejam utilizadas

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Hierarquia de cache
 - ▶ Cada nível da hierarquia representa uma cópia do conteúdo armazenado na memória principal
 - ▶ Para a execução concorrente do software pelos processadores, é necessário que variáveis compartilhadas em memória sejam utilizadas
 - ▶ Como cada processador possui sua própria cópia da memória em seus níveis de cache, é possível que os mesmos endereços de memória estejam mapeados em blocos com diferentes valores (inconsistência)

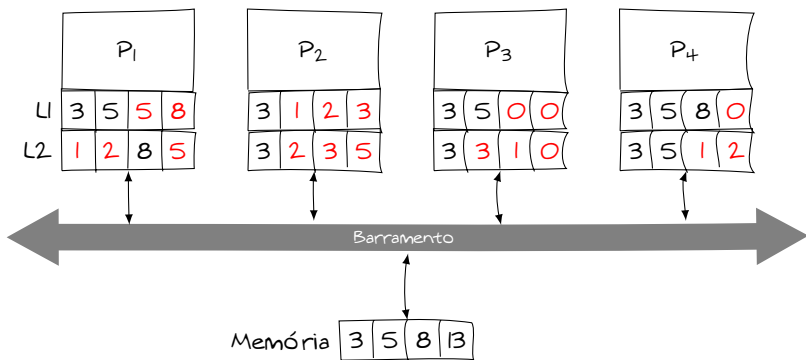
Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Hierarquia de cache



Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento simétrico (SMP)
 - ▶ Hierarquia de cache



Inconsistência de dados

Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ São técnicas aplicadas em tempo de execução para tratar condições de inconsistência dos dados
 - ▶ Estes mecanismos são baseados em protocolos para transmissão de metadados das caches
 - ▶ Distribuído com protocolo *snoopy*
 - ▶ Centralizado com utilização de diretório

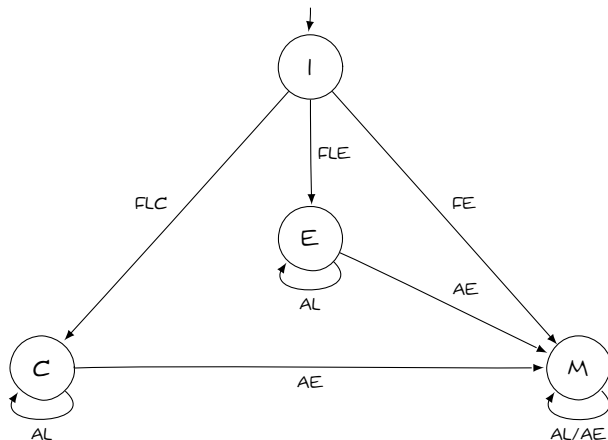
Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Campos de metadados

Campo	Descrição
C	Outras caches podem possuir cópias deste mesmo conjunto de dados, mas os dados são idênticos aos armazenados na memória
E	Os dados contidos nesta cache não estão presentes em nenhuma outra cache e não possuem modificações com relação a memória
I	Este campo é utilizado para marcar se uma determinada linha da cache foi invalidada ou possui dados que não válidos
M	Quando é feita uma modificação na cache com política de escrita atrasada, este campo sinaliza que o dado difere do armazenado na memória

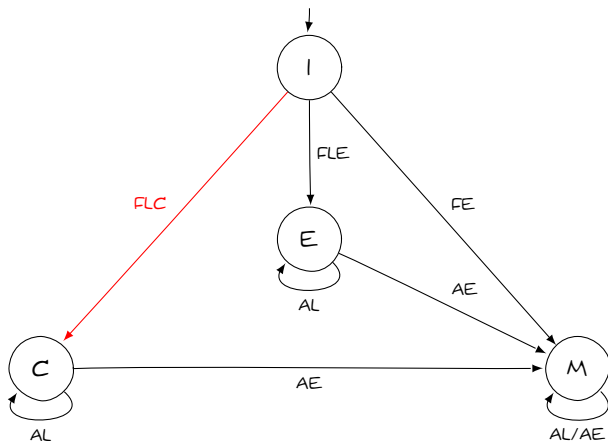
Multiprocessamento

- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Multiprocessamento

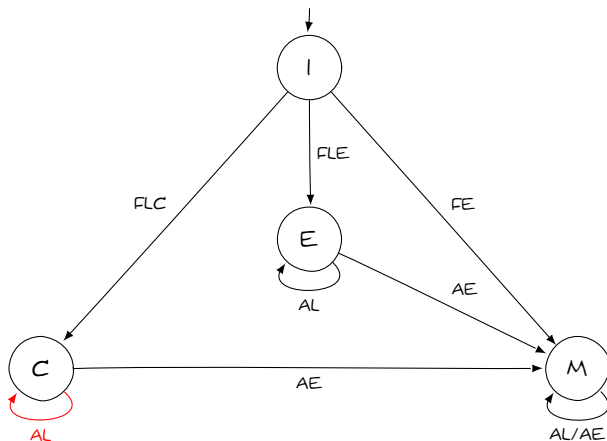
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Falta de leitura compartilhada (FLC)

Multiprocessamento

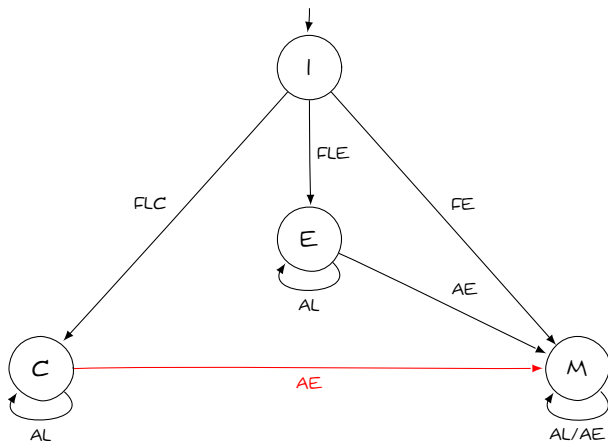
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Acerto de leitura (AL)

Multiprocessamento

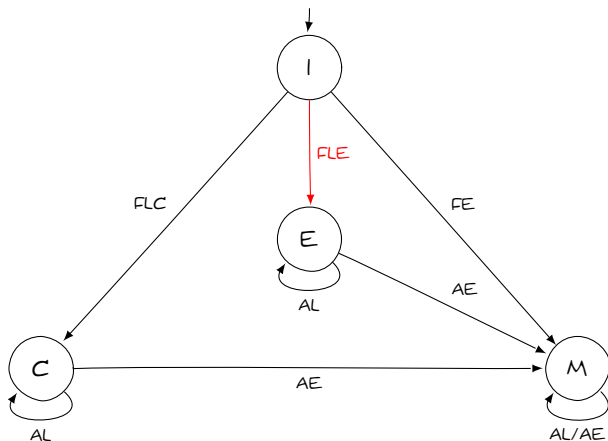
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Acerto de escrita (AE)

Multiprocessamento

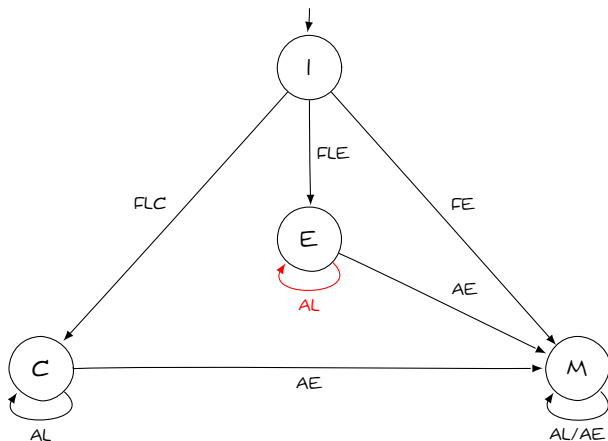
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Falta de leitura exclusiva (FLE)

Multiprocessamento

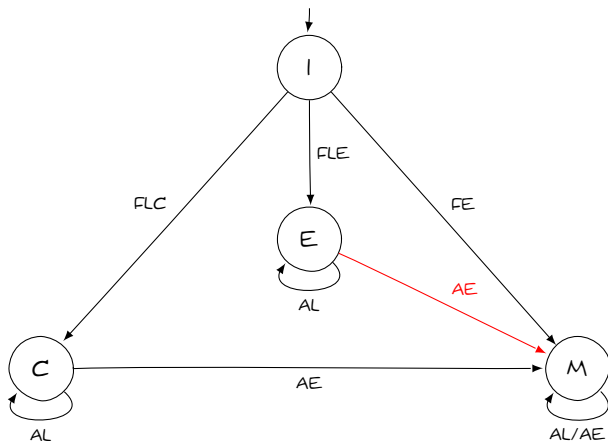
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Acerto de leitura (AL)

Multiprocessamento

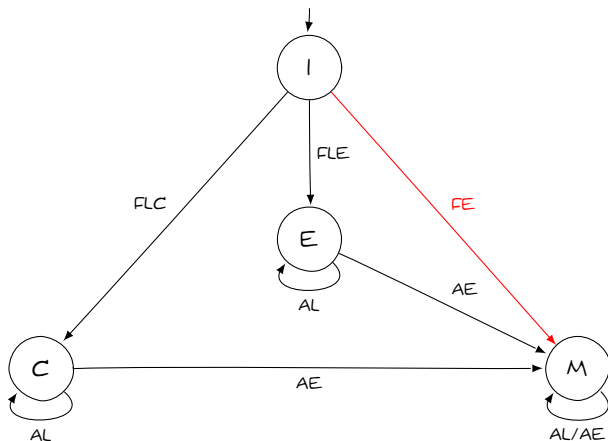
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Acerto de escrita (AE)

Multiprocessamento

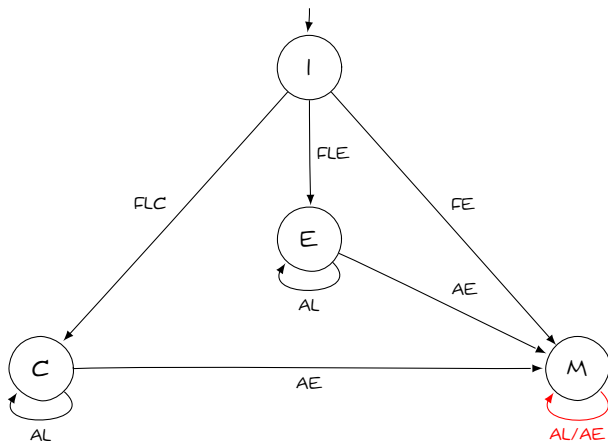
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Falta de escrita (FE)

Multiprocessamento

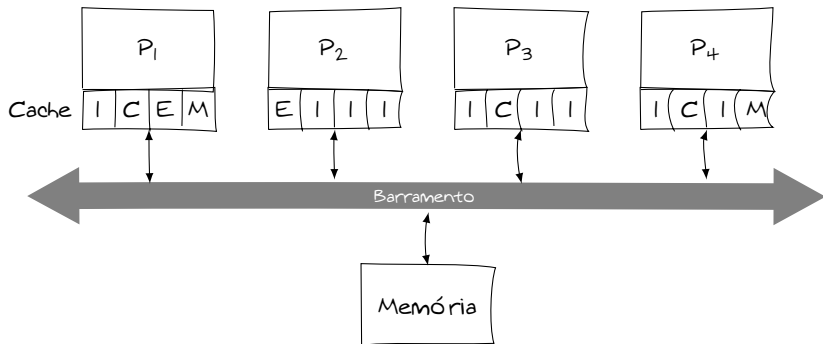
- Coerência de cache
 - Campos de metadados



Acerto de leitura (AL) ou de escrita (AE)

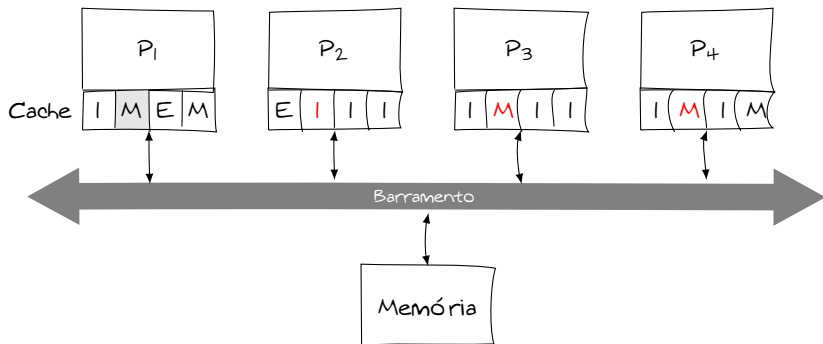
Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Cada cache é responsável por armazenar os metadados das linhas de dados através de uma organização distribuída por mensagens



Multiprocessamento

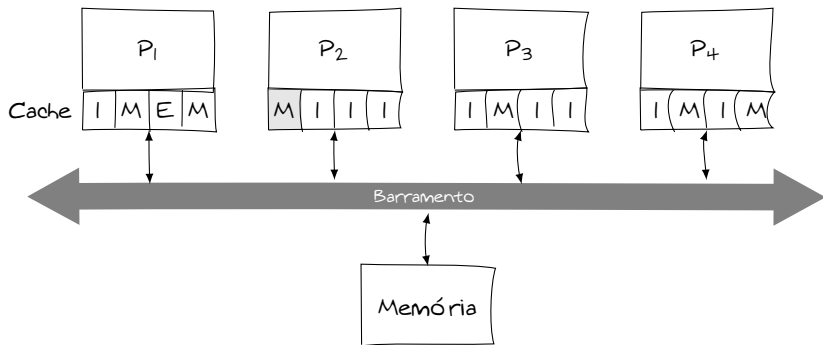
- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Cada cache é responsável por armazenar os metadados das linhas de dados através de uma organização distribuída por mensagens



Modificação de bloco compartilhado

Multiprocessamento

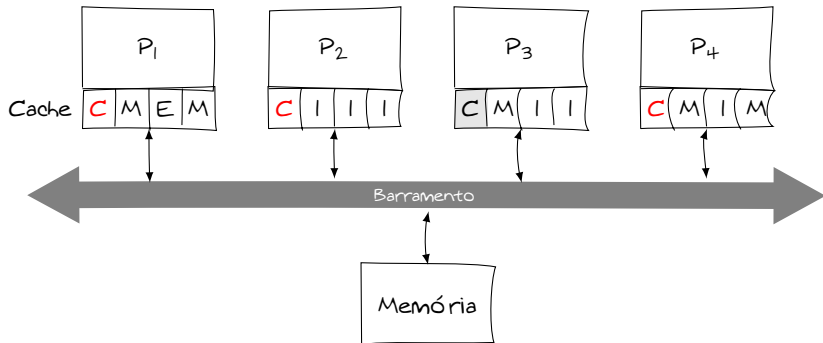
- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Cada cache é responsável por armazenar os metadados das linhas de dados através de uma organização distribuída por mensagens



Modificação de bloco exclusivo

Multiprocessamento

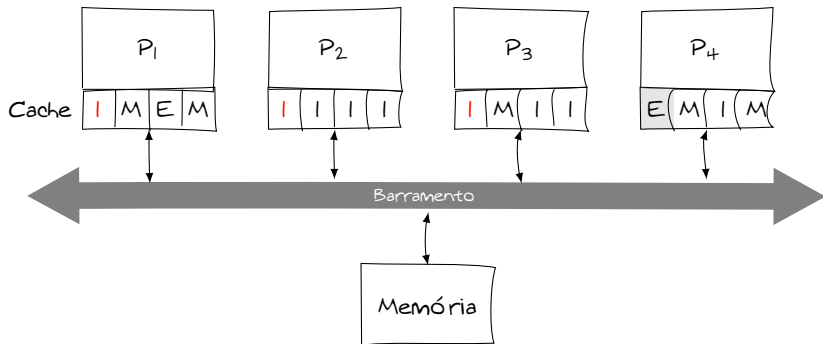
- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Cada cache é responsável por armazenar os metadados das linhas de dados através de uma organização distribuída por mensagens



Compartilhamento de bloco modificado

Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Cada cache é responsável por armazenar os metadados das linhas de dados através de uma organização distribuída por mensagens



Leitura exclusiva de bloco

Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Organização distribuída x Robustez contra falhas

Multiprocessamento

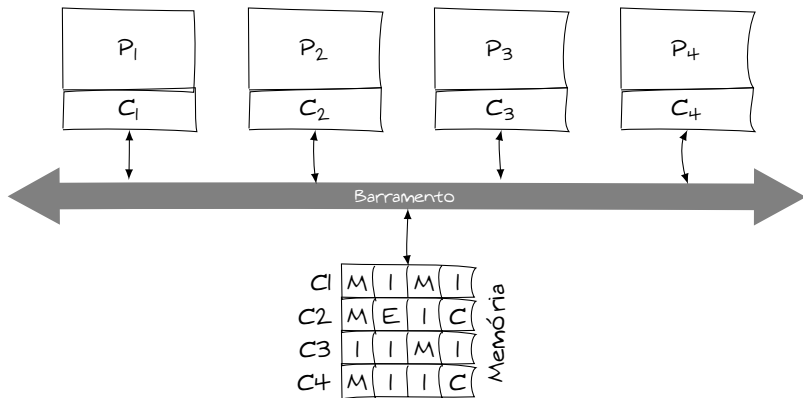
- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Organização distribuída x Robustez contra falhas
 - ▶ Todas as operações são sincronizadas com envio de mensagens para todos os componentes

Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo *snoopy*
 - ▶ Organização distribuída x Robustez contra falhas
 - ▶ Todas as operações são sincronizadas com envio de mensagens para todos os componentes
 - ▶ Não é escalável, uma vez que quanto mais processadores, maior é a quantidade de mensagens de controle que precisam ser transmitidas

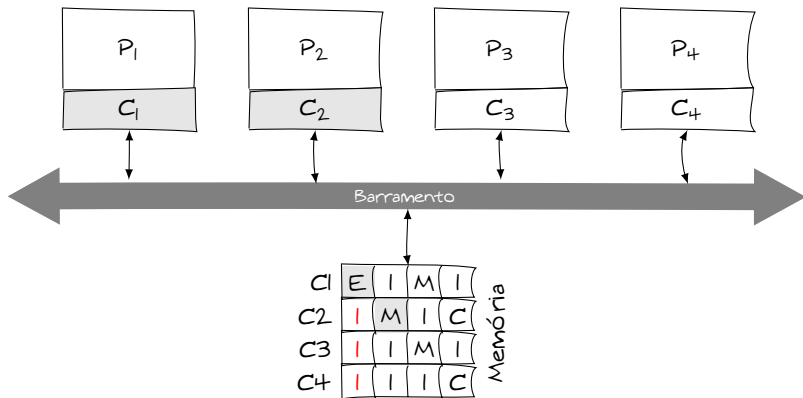
Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Uma estrutura chamada diretório coleta e armazena as informações de acesso a memória, mantendo os metadados sobre as linhas de dados das caches



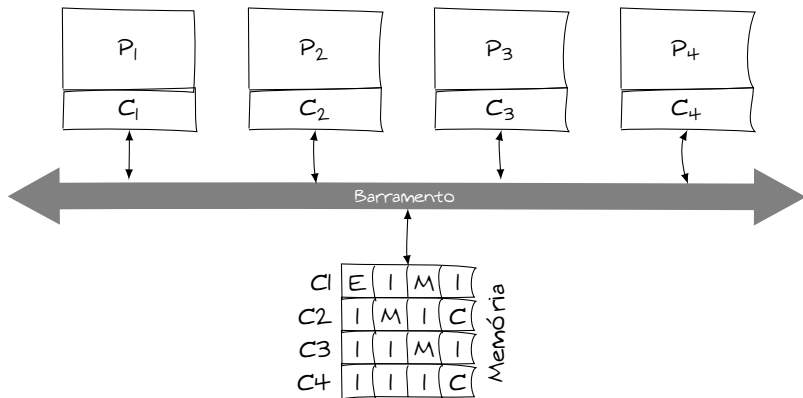
Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Uma estrutura chamada diretório coleta e armazena as informações de acesso a memória, mantendo os metadados sobre as linhas de dados das caches



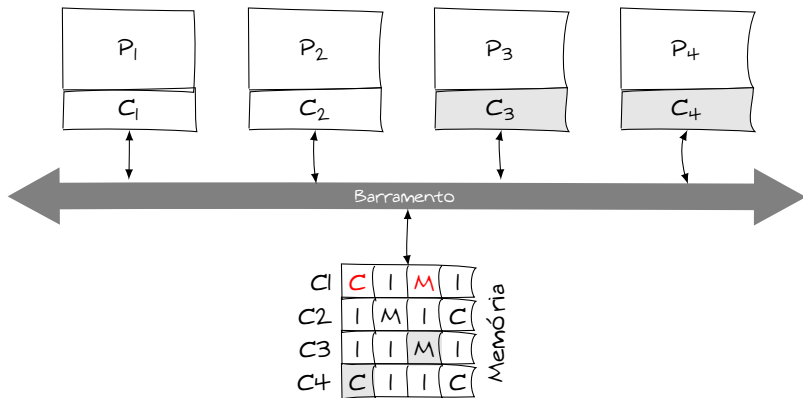
Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Uma estrutura chamada diretório coleta e armazena as informações de acesso a memória, mantendo os metadados sobre as linhas de dados das caches



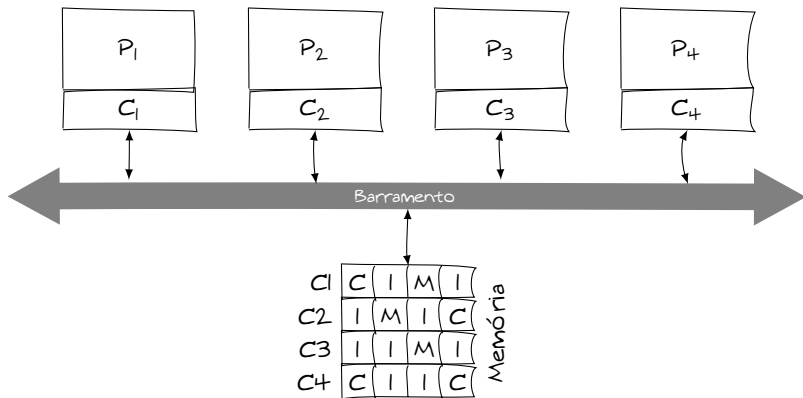
Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Uma estrutura chamada diretório coleta e armazena as informações de acesso a memória, mantendo os metadados sobre as linhas de dados das caches



Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Uma estrutura chamada diretório coleta e armazena as informações de acesso a memória, mantendo os metadados sobre as linhas de dados das caches



Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Organização centralizada x Falha do dispositivo

Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Organização centralizada x Falha do dispositivo
 - ▶ Não demanda envio de mensagens para todos os componentes do barramento para sincronização

Multiprocessamento

- ▶ Coerência de cache
 - ▶ Protocolo de diretório
 - ▶ Organização centralizada x Falha do dispositivo
 - ▶ Não demanda envio de mensagens para todos os componentes do barramento para sincronização
 - ▶ Por este motivo é escalável, sendo adequado para plataformas com grande número de processadores

Multiprocessamento

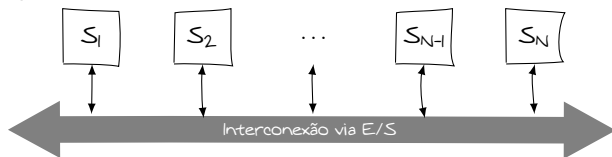
- ▶ Multiprocessamento assimétrico (AMP)
 - ▶ Esta classe de multiprocessamento oferece uma alternativa de alto desempenho e escalabilidade em comparação a abordagem simétrica

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento assimétrico (AMP)
 - ▶ Esta classe de multiprocessamento oferece uma alternativa de alto desempenho e escalabilidade em comparação a abordagem simétrica
 - ▶ Os *clusters* são um dos exemplos mais representativos deste paradigma, onde um grupo de computadores interconectados por interfaces de entrada e saída cooperam como se fossem um único sistema

Multiprocessamento

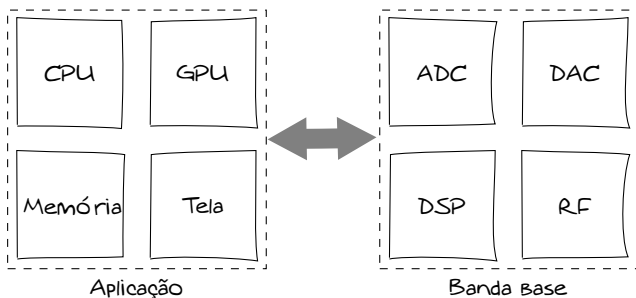
- ▶ Multiprocessamento assimétrico (AMP)
 - ▶ Esta classe de multiprocessamento oferece uma alternativa de alto desempenho e escalabilidade em comparação a abordagem simétrica
 - ▶ Os *clusters* são um dos exemplos mais representativos deste paradigma, onde um grupo de computadores interconectados por interfaces de entrada e saída cooperam como se fossem um único sistema



Alta disponibilidade
+
Escalabilidade
+
Relação custo \times desempenho

Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento assimétrico (AMP)
 - ▶ Os processadores do sistema possuem papéis distintos e com organizações de memória geralmente isoladas



Multiprocessamento

- ▶ Multiprocessamento assimétrico (AMP)
 - ▶ Arquitetura híbrida de processadores com mesmo repertório de instruções, mas com diferentes níveis de desempenho e de consumo de potência

