

Processamento

Descrição

Apresentação do vínculo entre o alto desempenho da computação e o processamento em paralelo, identificando tipos de organização de processadores e a propensão para o uso da tecnologia multicore em busca do aumento de desempenho.

Propósito

Apontar as arquiteturas multiprocessadas e multicore como uma alternativa às limitações da eficiência e do custo de desenvolvimento dos computadores com um único processador e único núcleo de execução, melhorando o desempenho do hardware com o aumento da frequência do clock do processador.

Objetivos

Módulo 1

Computação de alto desempenho por meio do processamento em paralelo

Reconhecer as vantagens da computação de alto desempenho por meio do processamento em paralelo.

[Acessar módulo](#)

Módulo 2

Tipos de organizações de processadores paralelos

Identificar os tipos de organizações de processadores paralelos.

[Acessar módulo](#)

Módulo 3

Desempenho do hardware

Identificar as questões de desempenho do hardware que direcionam o movimento para os computadores multicore.

[Acessar módulo](#)

Introdução

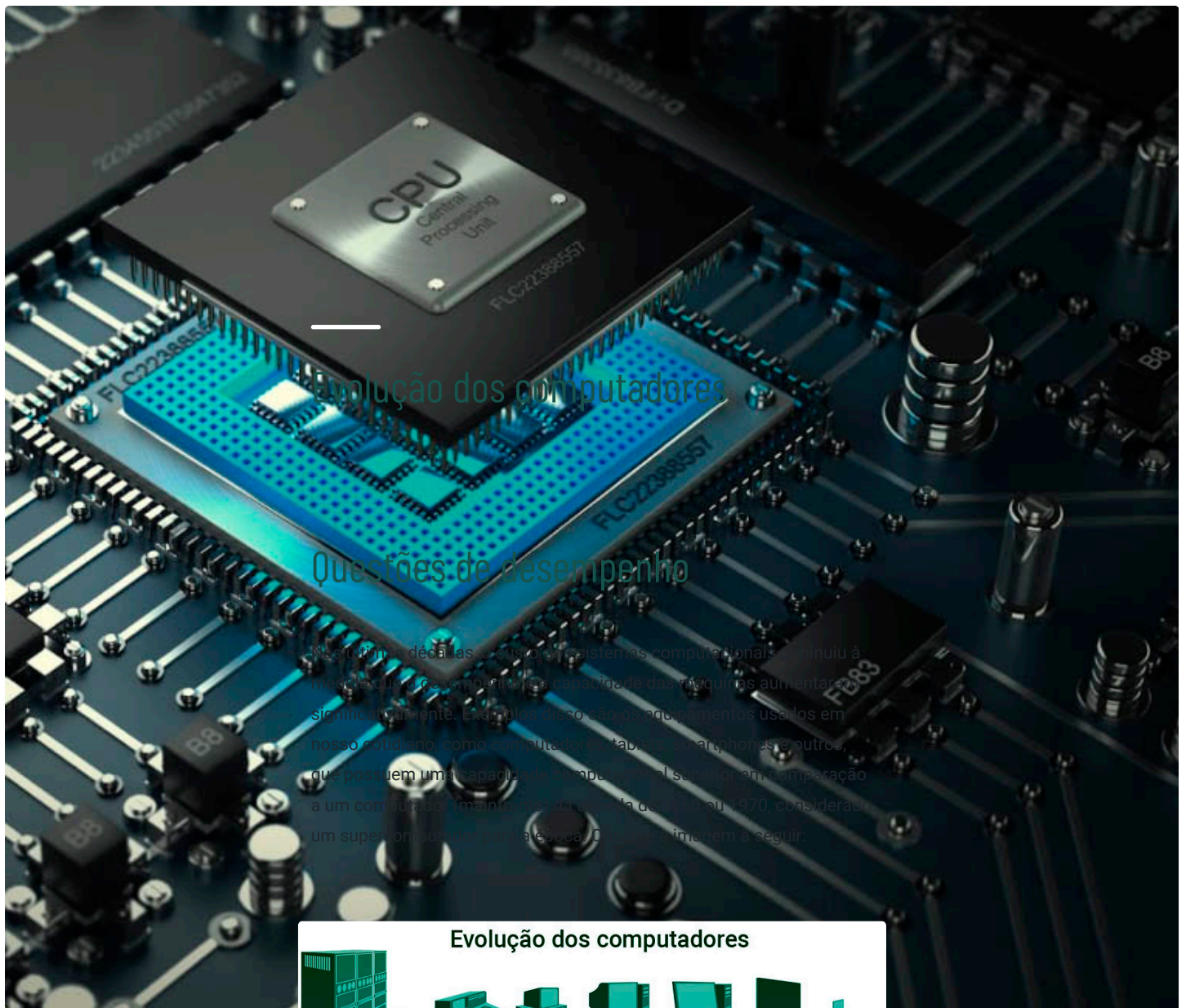
Com os avanços tecnológicos houve uma crescente necessidade em aumentar o desempenho dos equipamentos usados em nosso cotidiano. Exemplo disso são processos executados em nossos celulares, tablets e notebooks. Para atender a essas demandas, o processamento em paralelo fez com que as operações pudessem ser executadas independentemente, minimizando o tempo de execução. Assim, veremos o vínculo entre o alto desempenho da computação e o processamento em paralelo.

O vídeo introdutório a seguir nos faz compreender a importância por soluções paralelizáveis de modo a responder: o que é o processamento em paralelo?

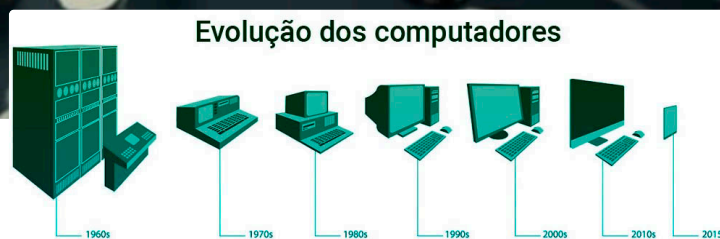
1

Computação de alto desempenho por meio do processamento em paralelo

Ao final deste módulo, você reconhecerá as vantagens da computação de alto desempenho por meio do processamento em paralelo.



Nas últimas décadas, o custo dos sistemas computacionais diminuiu à medida que o desempenho e a capacidade das máquinas aumentaram significativamente. Exemplos disso são os equipamentos usados em nosso cotidiano, como computadores, tablets, smartphones e outros, que possuem uma capacidade computacional superior em comparação a um computador (mainframe) da década de 1970 ou 1970, considerado um supercomputador para a época. O fluxo a seguir é o seguinte:



A evolução da máquina.

As limitações do passado foram colocadas de lado, tanto pelo custo quanto pela capacidade de processamento. Podemos citar algumas aplicações que, atualmente, possuem uma grande capacidade de processamento em sistemas baseados em microprocessadores:



Processamento de imagem



Reconhecimento de linguagem



Videoconferência



Modelagem e simulação

Agora, responda: **qual seria o resultado se determinada tarefa fosse realizada por várias pessoas ao invés de apenas uma?**

As respostas poderiam ser várias, inclusive a possibilidade de não conclusão dessa tarefa. Mas, se olhássemos a distribuição das ações que compõem a tarefa de forma organizada, buscando controlar a sua eficiência, poderíamos obter as seguintes respostas:



Resposta

A tarefa será realizada no mesmo tempo.

O tempo de conclusão da tarefa será reduzido.

A partir dessa análise, podemos compreender a importância da busca por soluções paralelizáveis, já que, atualmente, a maior parte das aplicações com software e hardware é implementada dessa forma.

Paralelismo em nível de instruções e processadores superescalares

Superescalar e pipeline



Superescalar

O termo **superescalar** foi criado em 1987, por Agerwala e Cocke (*apud* STALLINGS, 2017), em função do projeto de uma máquina, cujo foco estava ligado à melhoria no desempenho da execução das instruções escalares.

Veja a comparação:



Superescalar

Nesta organização, as instruções comuns (aritméticas de inteiros e pontos flutuantes), a carga do valor da memória em um registrador o



Pipeline

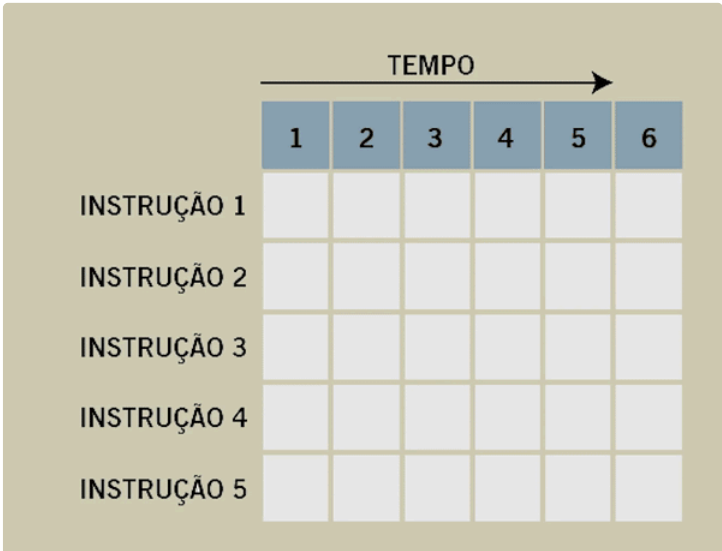
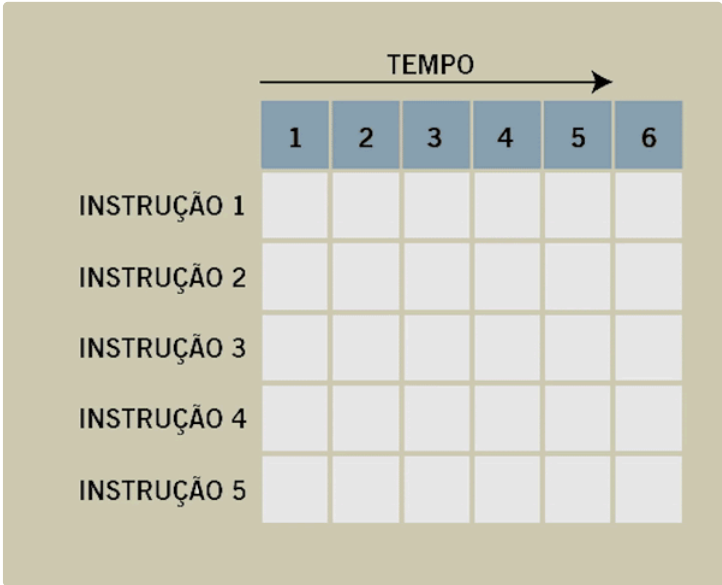
Nesta técnica, o caminho executável de uma instrução é dividido em estágios discretos, permitindo ao processador efetuar várias instruções



memória e os desvios
condicionais poderão
ser iniciados e
executados de forma
independente.

uma delas ocupe cada
estágio durante um
ciclo de relógio.

Como exemplo, vamos representar a decomposição do processamento de instruções em um pipeline de seis estágios. Presumindo que os estágios tenham a mesma duração, um pipeline de seis estágios pode reduzir o tempo de execução de 9 instruções de 54 para 14 unidades de tempo. Veja o diagrama:





Execução de uma instrução em pipeline

Vejamos agora esse processo passo a passo no vídeo abaixo.

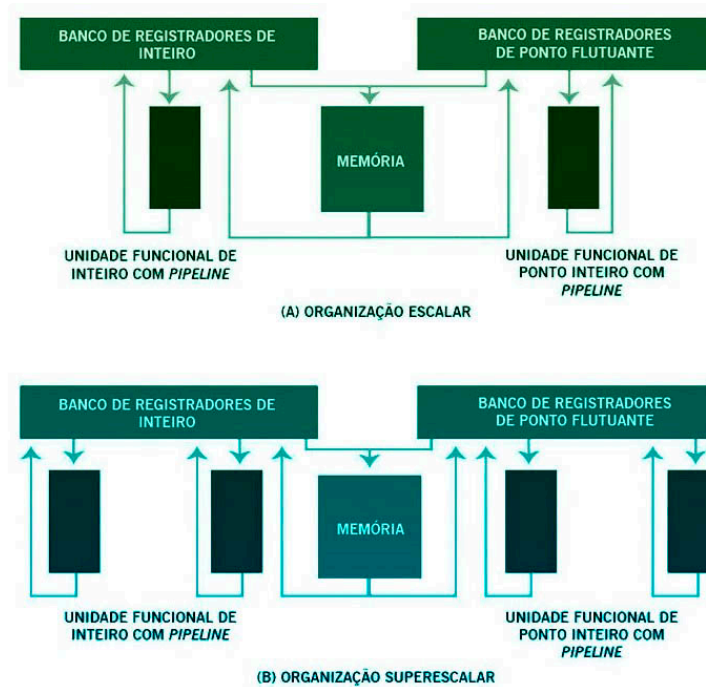
As técnicas **VLIW** (Very Long Instruction Word) e **superescalar** emitem várias instruções independentes (de um fluxo de instruções) que são realizadas simultaneamente em diferentes unidades de execução.

A VLIW depende de um compilador para determinar quais instruções emitir a qualquer ciclo de relógio, enquanto um projeto superescalar requer que um processador tome essa decisão. A tecnologia Hyper-Threading (HT) da Intel introduziu paralelismo ao criar dois processadores virtuais a partir de um único processador físico, dando ao sistema operacional habilitado a multiprocessador a impressão de executar em dois processadores, cada um com pouco menos da metade da velocidade do processador físico.

Processadores vetoriais contêm uma unidade de processamento que executa cada instrução vetorial em um conjunto de dados, processando a mesma operação em cada elemento de dados. Eles dependem de pipelines profundos e altas velocidades de clock.

Um processador matricial, também denominado processador maciçamente paralelo, contém diversas unidades de processamento que executam a mesma instrução em paralelo sobre muitos elementos de dados. Esse modelo pode conter dezenas de milhares de elementos de processamento. Portanto, esses processadores são mais eficientes quando manipulam grandes conjuntos de dados.

Veja o esquema a seguir:



Organização escalar e superescalar.

A essência da abordagem superescalar é a possibilidade de execução independente e concorrente em pipelines diferentes, inclusive em ordem diversa daquela definida no programa.

Pipelines profundos

Pipelines profundos permitem que o processador realize trabalho em diversas instruções simultaneamente, de modo que muitos elementos de dados possam ser manipulados de uma só vez.



Atenção!

O paralelismo é obtido quando as múltiplas instruções são habilitadas para estarem em diferentes estágios do pipeline no mesmo momento, diferente da organização escalar tradicional, na qual existe uma unidade funcional em um pipeline único para as operações inteiras e outra para as operações de ponto flutuante.

Superescalar X superpipeline

Na abordagem conhecida como superpipeline — em que múltiplos estágios do pipeline executam tarefas que necessitam de menos da metade de um ciclo de clock — é possível dobrar a velocidade do clock interno, aumentando o desempenho, ao executar duas tarefas em um ciclo de clock externo. Veja o exemplo a seguir:



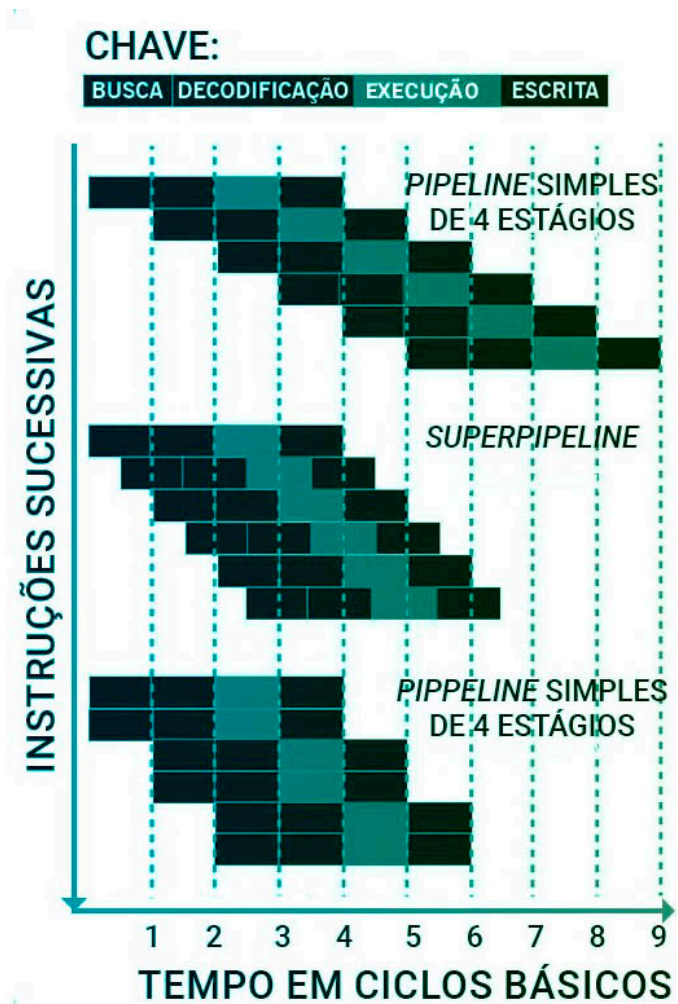
MIPS R4000.

No esquema a seguir, podemos visualizar uma comparação entre as organizações superpipeline e superescalar, tendo um pipeline comum na parte superior do diagrama que será utilizado apenas como referência:

No caso apresentado, o pipeline inicia a instrução e executa um estágio, ambos por ciclo de clock. Nesse exemplo, o pipeline possui quatro estágios (busca por instrução, decodificação da operação, execução da operação-quadro com linhas cruzadas e atualização do resultado).

Note que, mesmo que várias instruções sejam executadas simultaneamente, apenas uma está no seu estágio de execução em determinado tempo.

Na representação do superpipeline, temos execução de dois estágios de pipeline por ciclo de clock. Repare que as funções executadas em cada estágio podem ser divididas em duas partes, que não se sobrepõem, e



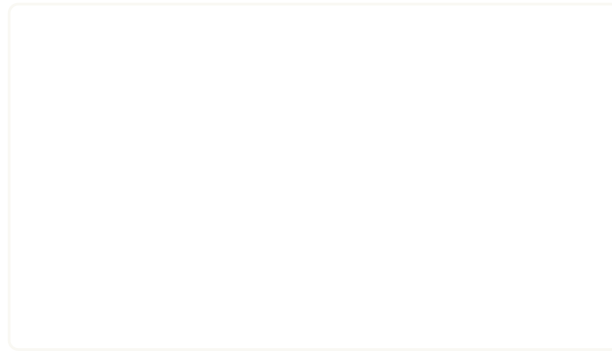
Superescalar X superpipeline

A parte final do diagrama ilustra a implementação superescalar, em que é possível perceber a execução de duas instâncias de cada estágio em paralelo.



Atenção!

Nesse diagrama, tanto o superpipeline como o superescalar possuem o mesmo número de instruções executadas ao mesmo tempo em determinado estado. Assim, o processador superpipeline “perde” quando comparado ao superescalar no início do programa e a cada alvo de desvio.



Falta pouco para
atingir seus
objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Considere um processador com pipeline ideal de 4 estágios, em que cada estágio ocupa um ciclo de processador. A execução de um programa com 9 instruções, utilizando os 4 estágios, levará

- A 28 ciclos.
- B 18 ciclos.
- C 24 ciclos.
- D 12 ciclos.
- E 16 ciclos

Responder

Com os avanços tecnológicos, tornou-se possível a construção de máquinas multiprocessadas para atender às demandas em função do aumento do desempenho. Essa arquitetura nos possibilitou compreender a importância por soluções paralelizáveis, pois

I- a tarefa será realizada no mesmo tempo.

II- o tempo de conclusão da tarefa será reduzido.

III- minimizou o custo na construção de máquinas pessoais.

Considerando as afirmações acima, são verdadeira(s)

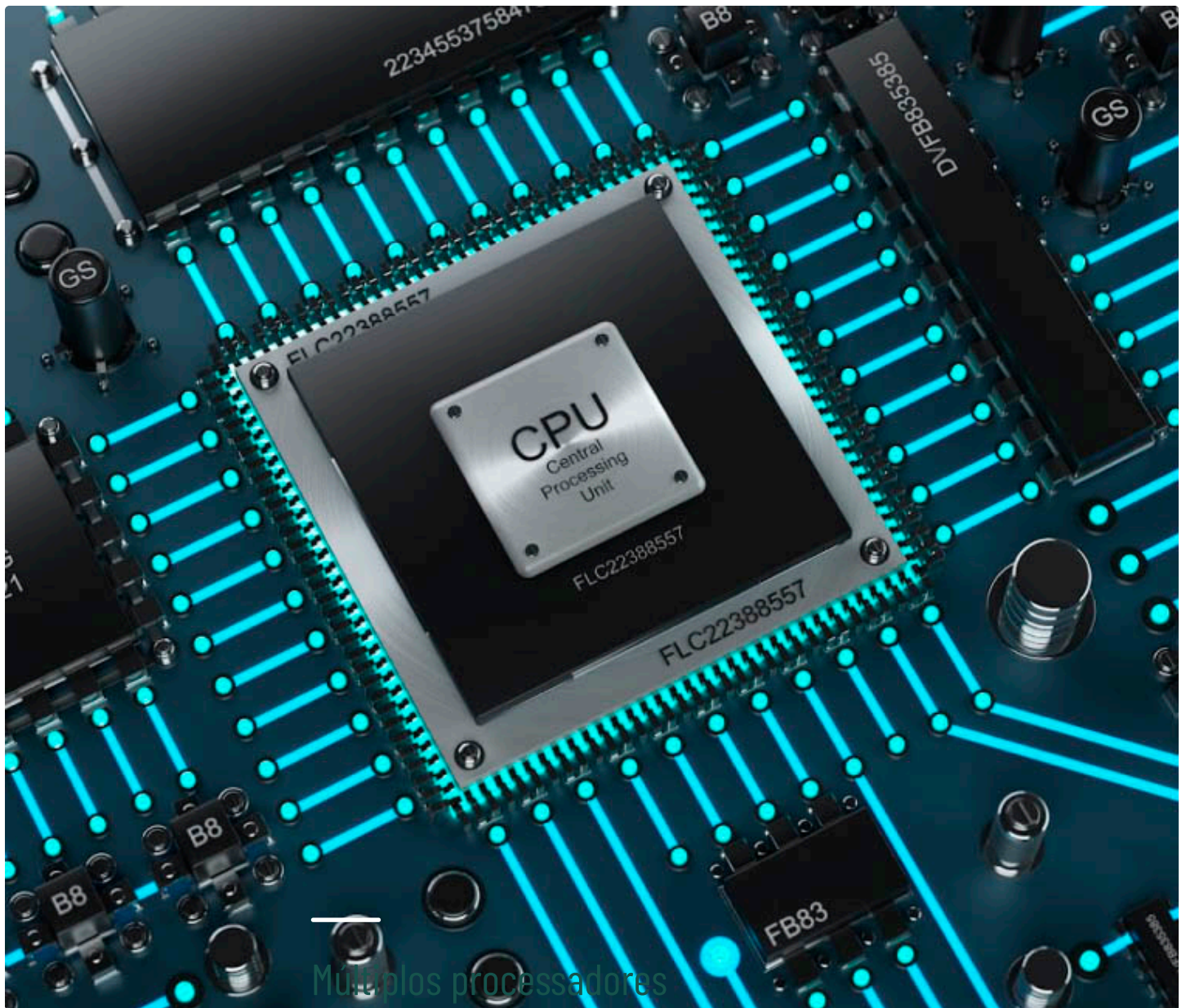
- A somente a I.
- B somente a II.
- C somente a I e a II.
- D somente a II e a III.
- E I, II e III.

Responder

2

Tipos de organizações de processadores paralelos

Ao final deste módulo, você identificará os tipos de organizações de processadores paralelos.



Arquitetura clássica

A maior parte dos usuários considera o computador uma máquina sequencial, já que a maioria das linguagens de programação exige que o programador especifique os algoritmos com instruções ordenadas de modo contínuo. Seguindo essa linha de raciocínio, podemos concluir que:

Os processadores executam programas com instruções de máquina em sequência porque cada instrução traz uma sequência de operações.

Essa percepção poderia ser revertida se o conhecimento sobre a operação dessas máquinas fosse analisado com maiores detalhes. Como, por exemplo, no nível da realização de várias micro-operações, as quais possuem diferentes sinais de controle que são gerados de forma paralela (ao mesmo tempo) e de forma transparente (invisível). Um exemplo disso é o pipeline de instruções, no qual ocorre a sobreposição das operações de leitura e de execução, ambas refletindo a implementação de funções paralelas.

Por outro lado, um dos fatores que permitiu a implementação de soluções para ampliar a eficiência nos computadores foi a redução do custo de hardware, mediante projetos de arquiteturas que realizassem as operações demandadas de forma mais rápida, robusta e com maior disponibilidade. As soluções paralelizadas vêm ao encontro dessas demandas.

Tipos de processadores paralelos – taxonomia de Flynn

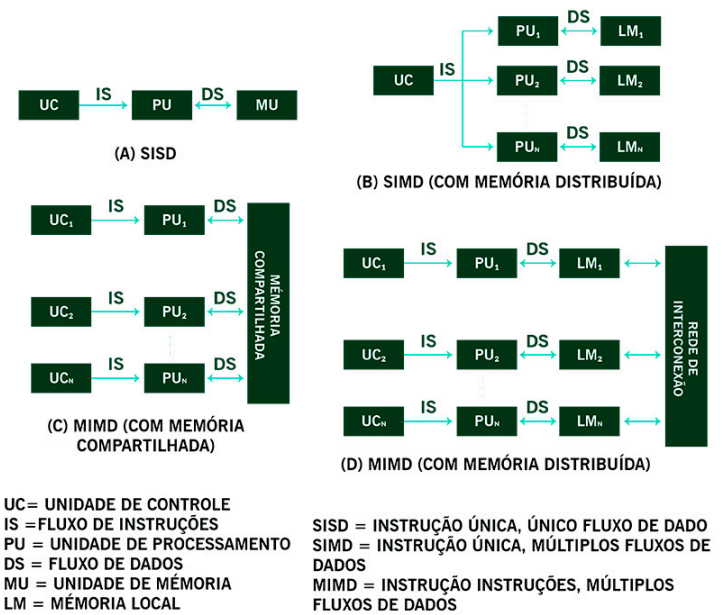
Levando em consideração a possibilidade de implementar uma solução de múltiplos processadores, Michael J. Flynn (foto) propôs, em 1966, a taxonomia de Flynn, esquema considerado pioneiro na classificação de computadores em configurações de paralelismo crescente.

Esse esquema é composto de quatro categorias baseadas em tipos diferentes de fluxos (sequência de bytes) usados por processadores, os quais podem aceitar dois tipos de fluxos — de instruções ou de dados.

Vamos conhecer essas categorias, a seguir, na tabela da classificação de Flynn:

		Nº FLUXO DE INSTRUÇÕES
		ÚNICO
Nº FLUXO DE DADOS	ÚNICO	SISD (Single Instruction Single Data) Monoprocessador
	MÚLTIPLOS	SIMD (Single Instruction Multiple Data) Máquinas Vetor

Veja o esquema seguir:



Organizações alternativas de computadores.

Multiprocessadores simétricos

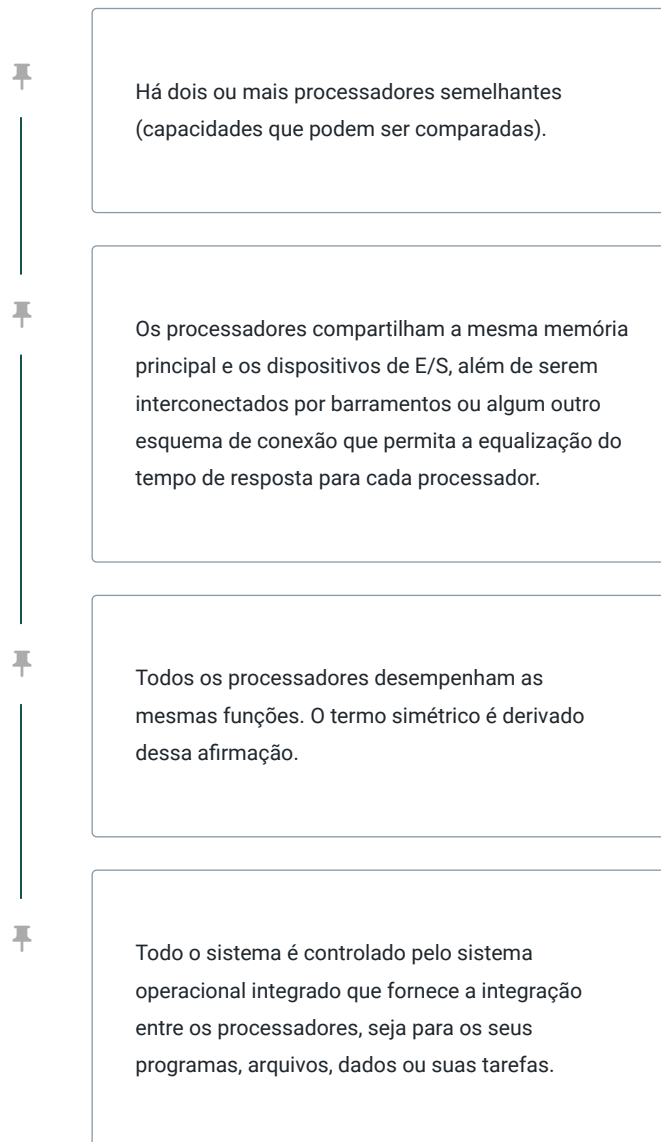


Multiprocessadores Simétricos

Há algumas décadas, os computadores pessoais e as máquinas com capacidade computacional similar eram construídas com um único processador de uso geral. A partir da evolução das tecnologias envolvidas na construção dos componentes de hardware e a redução do

Os fabricantes introduziram sistemas com uma organização SMP – sigla para o termo symmetric multiprocessing, traduzido do inglês para multiprocessamento simétrico –, relacionada à arquitetura do hardware e ao comportamento dos sistemas operacionais.

Um sistema SMP pode ser definido como uma **arquitetura independente** com as seguintes características:



As máquinas construídas com um único processador executavam instruções em sequência. Com a inclusão dos multiprocessadores, as operações poderiam ser executadas independentemente, minimizando o tempo de execução. No entanto, a conexão dos processadores em máquinas multiprocessadoras pode gerar gargalos em relação à performance de máquinas multiprocessadas. Dessa forma, temos que analisar as formas de conexões físicas. O vídeo a seguir tratará de tais conceitos.

Esquemas de interconexão de processadores

Veja o vídeo a seguir, com a apresentação dos esquemas de interconexão de processadores.

Coerência de cache

A coerência de memória passou a ser uma consideração de projeto quando surgiram os caches, porque as arquiteturas de computador permitiam caminhos de acesso diferentes aos dados, ou seja, por meio da cópia do cache ou da cópia da memória principal. Em sistemas multiprocessadores, o tratamento da coerência é complexo porque cada processador mantém um cache privado.

Entenda melhor:

Coerência de cache UMA

▼

NUMA com cache coerente (CC-NUMA)

▼

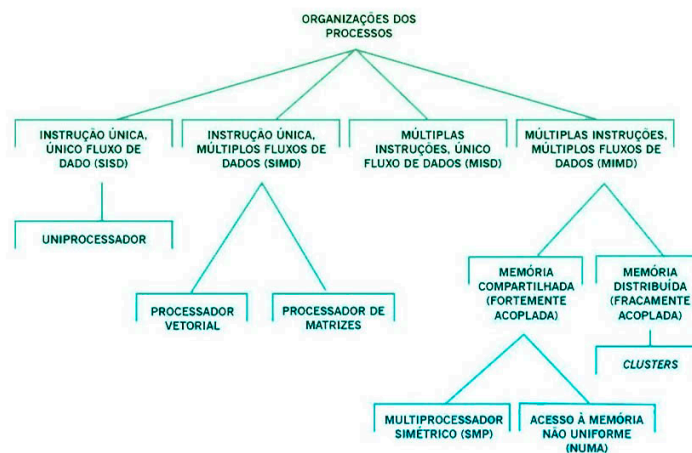
Dentre as arquiteturas de máquinas multiprocessadas, existem diferentes formas de classifica-las. No vídeo a seguir vamos abordar estes tipos de classificação.



Arquiteturas de acesso à memória

Assista o vídeo a seguir para conhecer os tipos de arquiteturas de acesso à memória.

A seguir, apresentamos a taxonomia de múltiplos processadores e classificação segundo o acesso à memória:



Taxonomia de múltiplos processadores e classificação segundo o acesso à memória.

Falta pouco para atingir seus objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Em relação ao multiprocessamento simétrico (SMP), é correto afirmar:

- I. Os processadores compartilham a mesma memória principal, mas cada um deles usa os seus próprios recursos de E/S;
- II. O termo "simétrico" faz alusão ao fato de que todos os processadores executam as mesmas funções;
- III. Existem, no mínimo, dois processadores com capacidades semelhantes.

Assinale a alternativa correta.

- A Somente a I está correta.
- B I e II estão corretas.
- C Somente a III está correta.
- D II e III estão corretas.
- E Somente a II está correta.

Responder

Questão 2

Quanto à comparação entre organizações de acesso uniforme à memória (UMA) e acesso não uniforme à memória (NUMA), pode-se afirmar:

- I. No UMA, a uniformidade do acesso à memória é garantida em

II. No NUMA, há barramentos independentes entre os módulos de memória e os processadores. Além disso, poderá haver um barramento compartilhado para permitir a comunicação entre os processadores.

III. Tanto no UMA como no NUMA, não haverá limitações em função da taxa de processadores nessas estruturas.

Assinale a alternativa correta:

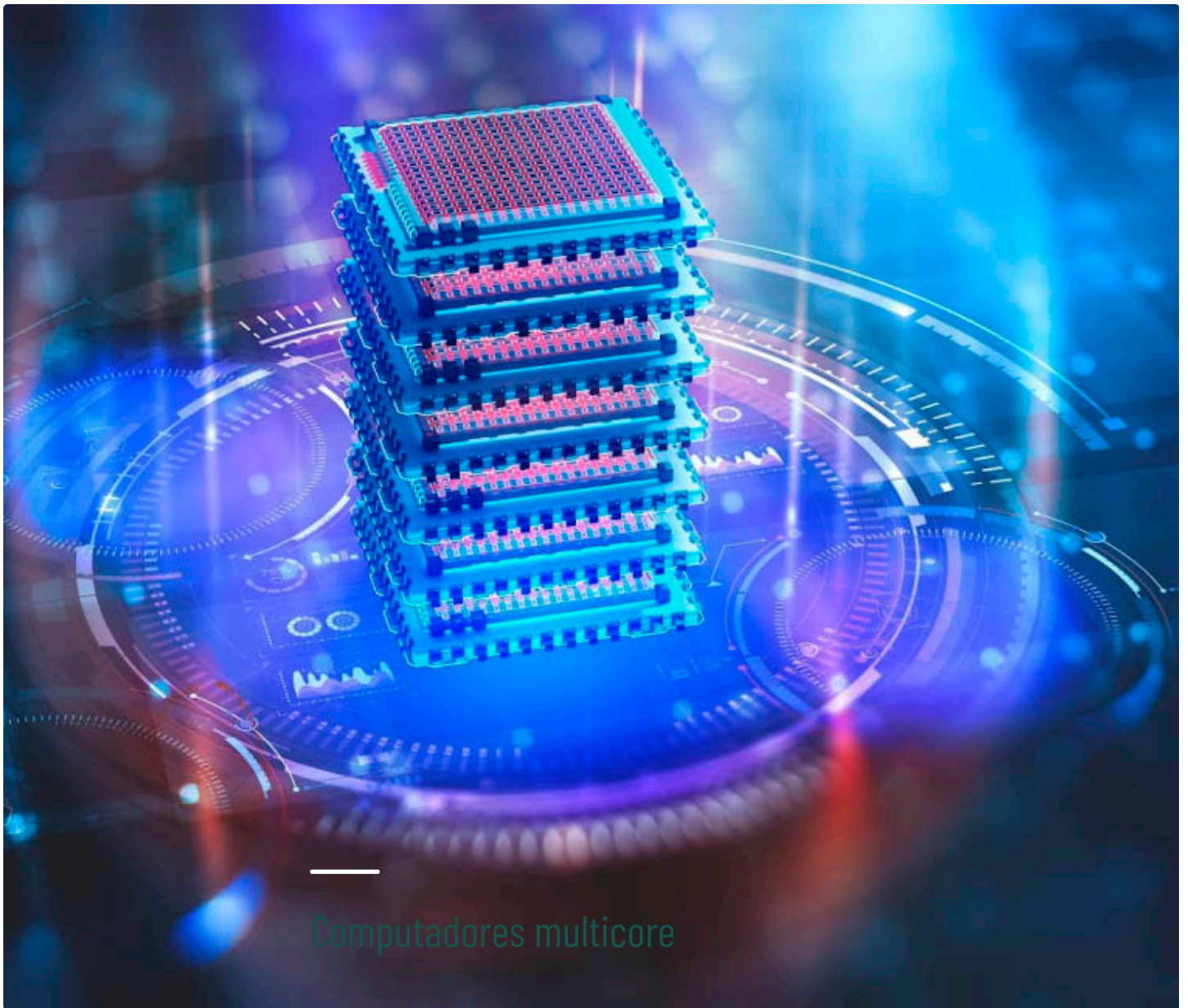
- A I, II e III estão corretas.
- B I, II e III estão incorretas.
- C Somente I e II estão corretas.
- D Somente II está correta.
- E Somente II e III estão corretas.

Responder

3

Desempenho do hardware

Ao final deste módulo, você identificará as questões de desempenho do hardware que direcionam o movimento para os computadores multicore.



Computadores multicore

Um processador é considerado multicore quando combina duas ou mais unidades de processamento (chamados de core) em uma única pastilha de silício. De modo geral, cada um dos cores possui os componentes de um processador de forma independente, tais como registradores, ULA, hardware de pipeline e UC, além das caches L1 de dados e instruções e caches L2 e L3.



Saiba mais

Alguns processadores multicore também incluem memória e controladores de periféricos.

Desempenho do hardware



Desempenho do Hardware

O projeto de evolução dos processadores se baseou, inicialmente, no aumento de paralelismo em nível das instruções, buscando realizar mais trabalho em cada ciclo do clock, o que resultou em soluções como o pipeline, estrutura superescalar e SMT (multithreading simultâneo). Em cada uma delas, os projetistas tentaram aumentar o desempenho do sistema incrementando a complexidade das soluções.

Entretanto, muitas dessas soluções se depararam com algumas limitações (nos processos de fabricação, nos materiais utilizados) e exigência de melhores controles para que fosse possível garantir a sua eficiência.

Com a construção de novos processadores, houve o acréscimo do número de transistores por chip e altas frequências de clock. Nesse contexto, o aumento do consumo de energia cresceu exponencialmente e, por conseguinte, a produção de calor, entre outras inúmeras situações.

Observe a comparação:



Superescalar

< 1 de 3 >

Seguindo essa linha de raciocínio, podemos referenciar a **Regra de Pollack**. Ela determina que o aumento de desempenho é diretamente proporcional à raiz quadrada do aumento da complexidade. Nesse caso, se a lógica utilizada em um core do processador for dobrada, apenas conseguirá um aumento de 40% no seu desempenho. Logo, com o uso de vários cores, cria-se **potencial para aumentar o desempenho de forma quase linear**, caso o software possa usar essa vantagem.

Outro ponto importante deve-se à capacidade de integração das pastilhas, o que permite aumentar proporcionalmente o espaço destinado ao uso das caches, reduzindo, assim, o consumo de energia.

Desempenho do software



Desempenho no Software

Diferentes análises podem ser realizadas para medir o desempenho em softwares, partindo das medições do tempo necessário para realizar as partes serial e paralelizável, considerando a sobrecarga de escalonamento.

Estudos apontam que, mesmo com uma pequena parte do código

softwares desenvolvidos para servidores também podem utilizar de forma eficiente uma estrutura multicore paralela, pois os servidores geralmente lidam com numerosas transações em paralelo e, em muitos casos, independentes.

É possível identificar vantagens nos softwares de uso geral para servidores, de acordo com a habilidade de dimensionar o rendimento em função do número de cores. Stallings (2017) lista vários exemplos:

Aplicações multithread nativas (paralelismo em nível de thread)	▼
Aplicações com múltiplos processos (paralelismo em nível de processo)	▼
Aplicações Java	▼
Aplicações com múltiplas instâncias (paralelismo em nível de aplicação)	▼

Organização multicore

As principais variáveis em uma organização multicore são:



Número de cores processadores no chip



Número de níveis da memória cache



Quantidade de memória cache compartilhada



Emprego do multithreading simultâneo (SMT)

Níveis de cache e cache compartilhada

Dada a importância dos caches em uma arquitetura multicore, ilustramos as organizações de cache a seguir:

Cache L1 dedicada



Cache L2 dedicada



Cache L2 compartilhada



Cache L3 compartilhada



Arquitetura Multicore

No vídeo a seguir o especialista fala sobre arquitetura multicore ou multi-núcleo.

Multithreading simultâneo

Outro ponto importante, que deve ser considerado no projeto de sistemas multicore, são as cores individuais e a possibilidade de implementação de multithreading simultâneo (SMT), também conhecido comercialmente como hyper-threading.

Veja a comparação entre as duas arquiteturas:



Intel Core Duo

Utiliza cores
superescalares puros.

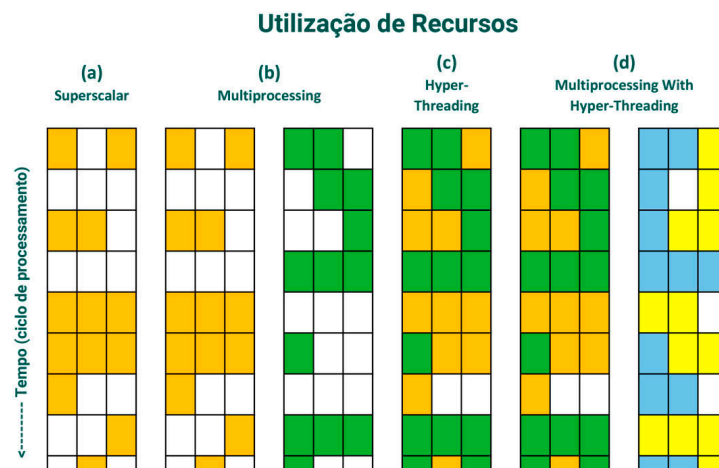


Intel Core i7

Utiliza cores SMT.



Veja, a seguir, a comparação da execução de várias threads com a implementação de um processador de diferentes arquiteturas:



Exemplo de execução de threads com: (a) um processador escalar; (b) dois processadores; (c) um processador habilitado com hyper-threading; (d) dois processadores habilitados com hyper-threading.

Observe a descrição:



(a) Superescalar

No primeiro exemplo, com um único processador superescalar – o processador está em uso, mas cerca de metade do tempo do processador permanece sem uso.



(b) Multiprocessing

No multiprocessamento, é possível verificar um sistema de CPU dupla trabalhando em dois threads separados. No entanto, novamente cerca de 50% do tempo de ambas as CPUs permanecem sem uso.



(c) Hyper-threading

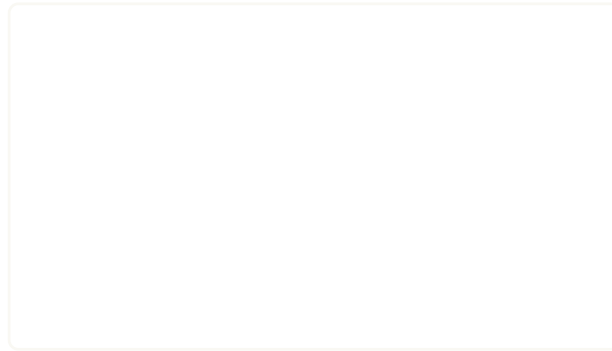
No terceiro caso, um único processador está habilitado para hyper-threading, os dois threads estão sendo computados simultaneamente e a eficiência da CPU aumentou de cerca de 50% para mais de 90%.



(d) Multiprocessing with hyper-threading

No último exemplo, há dois processadores habilitados para hyper-threading que podem funcionar em quatro threads independentes ao mesmo tempo. Novamente, a eficiência da CPU é de cerca de 90%. Nesse caso, teríamos quatro processadores lógicos e dois processadores físicos.

Para concluir, devemos avaliar os benefícios quando os softwares forem desenvolvidos com a capacidade de usufruir de recursos paralelos, valorizando a abordagem SMT.



Falta pouco para
atingir seus
objetivos.

Vamos praticar alguns conceitos?

Questão 1

Dentre as alternativas abaixo, qual delas não é considerada uma das principais variáveis na organização multicore?

- A Número de cores processadores no chip.
- B Número de níveis da memória cache.
- C Cache L1 compartilhada.
- D Quantidade de memória cache compartilhada.
- E O emprego do multithreading simultâneo.

Responder

Questão 2

Considere os termos abaixo e relacione-os aos respectivos significados:

I. Simultaneous Multiprocessing (SMP)

II. Multithreading

III. Multithreading simultâneo SMT

IV. Multicore

A. Processador possui a capacidade de executar mais de uma thread no mesmo instante.

B. Técnica que permite explorar TLP (paralelismo a nível de threads) e ILP (paralelismo a nível de instrução).

C. Múltiplos núcleos de execução em um processador.

D. Arquitetura que permite a mais de um processador compartilhar recursos de memória, discos e rodar no mesmo SO.

Assinale a alternativa correta:

A I (A) - II (B) - III (C) - IV (D)

B I (B) - II (C) - III (D) - IV (A)

C I (C) - II (D) - III (A) - IV (B)

D I (D) - II (B) - III (A) - IV (C)

E I (A) - II (C) - III (D) - IV (B)

Responder

Considerações finais

problema de controle da temperatura gerada pelos seus componentes, isto é, com transistores menores, buscava-se construir processadores mais rápidos e, como consequência, esses dispositivos consumiam mais energia, produzindo um aumento de calor (energia térmica).

Soluções que buscavam aumentar o desempenho, simplesmente com o objetivo de serem mais rápidos, produziam processadores instáveis e não confiáveis. Além disso, outros fatores inibiam o desenvolvimento, seja em função de restrições físicas, como a estabilidade dos materiais utilizados, ou da redução de suas dimensões (litografia).

As arquiteturas paralelas vieram ao encontro desses objetivos, por trazerem a possibilidade de integrar elementos do hardware, permitindo que o aumento do desempenho estivesse vinculado não somente à velocidade de processamento desses dispositivos, mas à capacidade de tratar as suas execuções de forma paralelizada.

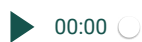
As diferentes soluções idealizadas em processamento paralelo, como as estruturas superescalares, superpipeline e multiprocessadores simétricos, permitiram a construção de computadores e dispositivos que convergissem na direção de soluções de alto desempenho.

Os processadores multicore, por sua vez, são economicamente viáveis para a produção em larga escala de dispositivos, que buscam uma alta capacidade de processamento, por serem confiáveis e estáveis, além de permitir a sua integração com os demais componentes de cada equipamento.



Podcast

Ouça o podcast para reforçar os principais pontos abordados no estudo deste conteúdo!



06:33



1x

Explore +

- Pesquise o modo de fabricação do processador Intel.
- Visite o site da Multicore Association (MCA), que promove o desenvolvimento e o uso de tecnologia multicore.

empresariais exigentes.

- Veja, no site da Intel, a ferramenta de diagnóstico para um processador Intel.
- Leia o capítulo 17, intitulado **Processamento Paralelo**, do livro **Arquitetura e organização de computadores**, do autor William Stallings.
- Pesquise a biografia de Michael Flynn.

Referências

MONTEIRO, M. **Introdução à Organização de Computadores**. 5. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2007.

STALLINGS, W. **Arquitetura e organização de computadores**. 10. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2017.

TANENBAUM, A. S.; STEEN, M. **Sistemas Distribuídos: Princípios e Paradigmas**. 2. ed. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2007.

Material para download

Clique no botão abaixo para fazer o download do conteúdo completo em formato PDF.

Download material

O que você achou do conteúdo?



Relatar problema