

Organização de Computadores

Aula 26

Máquinas paralelas

INF01113 - Organização de Computadores

Máquinas paralelas

1. Introdução
2. Máquinas SIMD
3. Processadores vetoriais
4. Máquinas MIMD
5. Processadores dataflow

INF01113 - Organização de Computadores

1. Introdução

- classificação de máquinas paralelas – Flynn, 1966
 - SISD – single instruction, single data
 - SIMD – single instruction, multiple data
 - MISD – multiple instruction, single data
 - MIMD – multiple instruction, multiple data
- SISD
 - máquinas convencionais, apesar do paralelismo proporcionado por pipelines e superescalaridade
- SIMD
 - processadores vetoriais
 - processadores de array
- MIMD
 - multiprocessadores

INF01113 - Organização de Computadores

2. Máquinas SIMD

- processador opera sobre vetores de dados
- controle único
 - 1 contador de programa
 - 1 bloco de controle
 - 1 instrução sendo executada
- múltiplas unidades de execução (blocos operacionais) – cada um tem ...
 - ALU
 - registradores de dados
 - registradores de endereço
 - memória de dados local
 - interconexões com unidades vizinhas

INF01113 - Organização de Computadores

Máquinas SIMD

- máquinas SIMD reais têm uma mistura de instruções SISD e SIMD
- processador hospedeiro SISD
 - executa operações sequenciais
 - calcula endereços
 - acessa memória de instruções
- máquinas SIMD são mais eficientes quando processam arrays em laços do tipo “for”
 - mais eficientes quando aplicação tem paralelismo de dados massivo
- máquinas SIMD são mais ineficientes em aplicações do tipo “case”
 - cada unidade de execução executa operação diferente, dependendo do dado

INF01113 - Organização de Computadores

Máquinas SIMD

- exemplo: somar 128.000 números em máquina SIMD com 128 unidades de execução
- primeiro passo: dividir dados entre unidades de execução
 - processador hospedeiro armazena cada sub-conjunto de dados na memória local de cada unidade
- segundo passo: obter a soma de cada sub-conjunto
 - laço executado internamente a cada unidade
 - ler dado da memória local, somar, armazenar em variável local

```
sum = 0 ;  
for i = 0 step 1 until 999  
do sum = sum + A1 [ i ] ;
```

INF01113 - Organização de Computadores

Máquinas SIMD

- terceiro passo
 - somar os resultados parciais
 - problema: cada resultado está numa unidade diferente
 - estratégia
 - enviar resultados parciais para unidade vizinha e lá somar 2 parcelas
 - repetir processo recursivamente até restar um único resultado
- ```
limit = 128 ; half = 128 ;
repeat
 half = half / 2 ;
 if (Pn >= half & Pn < limit)
 then send (Pn / 2, sum) ;
 if (Pn < half)
 then sum = sum + receive () ;
 limit = half ;
until (half = 1) ;
```

INF01113 - Organização de Computadores

### 3. Processadores vetoriais

- caso particular de máquinas SIMD
- “processador vetorial” com pipeline associado a um processador hospedeiro escalar convencional
- processador vetorial ...
  - busca dados vetoriais de “registradores vetoriais” ou diretamente da memória
  - executa operações sobre os vetores através de 1 ou mais pipelines funcionais paralelos
- exemplo: Cray C-90
  - registrador vetorial tem 64 x 64 bits
  - 2 pipelines funcionais vetoriais
- outras máquinas vetoriais
  - Convex C3, DEC VAX 9000, Fujitsu VP2000, Hitachi S-810, IBM 390/VF

INF01113 - Organização de Computadores

### 4. Máquinas MIMD

- multiprocessadores
  - memória compartilhada
  - memória distribuída
- cada um destes modelos de multiprocessador tem um correspondente ...
  - modelo de comunicação entre os processadores
  - modelo de sincronização entre os processadores
- máquinas escaláveis
  - número de processadores pode ser configurado
- eventual tolerância a falhas
- aplicação em servidores

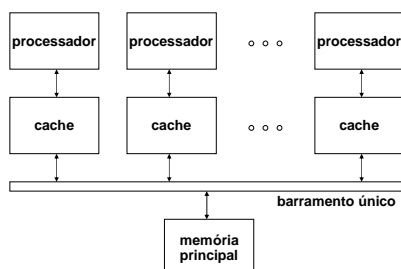
INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD: problemas

- encontrar aplicações que possam ser paralelizadas para um multiprocessador com ganho significativo de desempenho
- custo da comunicação entre os processadores diminui desempenho
- complexidade da programação paralela

INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD com memória compartilhada



INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD com memória compartilhada

- exemplo da soma de 128.000 números
  - supondo multiprocessador com 16 processadores
- todos os processadores têm acesso à mesma memória global
  - não é necessário dividir os dados entre memórias locais
- cada processador acessa uma parte dos dados a partir de um endereço diferente da memória global
- seja  $P_n$  o número do processador
- primeiro passo
  - cada processador soma os dados de seu subconjunto

```
sum [Pn] = 0 ;
for i = 8000 * Pn step 1 until 8000 * (Pn + 1)
do sum [Pn] = sum [Pn] + A [i] ;
```

INF01113 - Organização de Computadores

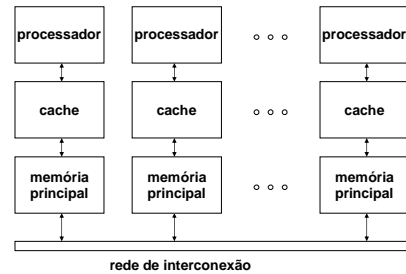
### Máquinas MIMD com memória compartilhada

- segundo passo
  - somar resultados parciais
- diferenças em relação à solução SIMD
  - somas parciais não precisam ser enviadas e recebidas – cada processador simplesmente acessa o valor na memória global
  - processadores precisam se sincronizar explicitamente
    - processador só pode utilizar soma parcial de outro quando este tiver terminado de calcular a mesma

```
half = 16 ;
repeat
 synch () ;
 half = half / 2 ;
 if Pn < half
 then sum [Pn] = sum [Pn] + sum [2 * Pn] ;
until half = 1 ;
```

INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD com memória distribuída



INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD com memória distribuída

- comunicação através da rede ocorre apenas para efeito de sincronização entre os processadores
  - processamento paralelo “fracamente acoplado”
  - pouca transferência de dados entre processadores
- barramento único: é utilizado em cada acesso à memória
  - gargalo na comunicação
  - processamento paralelo “fortemente acoplado”
- “memória compartilhada” x “memória distribuída” é uma falsa dicotomia
  - o oposto de “memória distribuída” é “memória centralizada” (localização física da memória)
  - o oposto de “espaço de memória compartilhado” é “espaços de memória múltiplos privados”
  - estas duas questões são ortogonais

INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD com memória distribuída

- exemplo da soma de 128.000 números
  - supondo multiprocessador com 128 processadores
- cada processador tem acesso a parte dos dados, em sua memória local
  - código é então similar ao da solução SIMD
- primeiro passo: dividir dados entre processadores
  - processador que tem os dados faz a distribuição
- segundo passo: obter a soma de cada sub-conjunto
  - laço executado internamente a cada processador
  - idêntico à solução SIMD

```
sum = 0 ;
for i = 0 step 1 until 999
 do sum = sum + A1 [i] ;
```

INF01113 - Organização de Computadores

### Máquinas MIMD com memória distribuída

- terceiro passo: somar os resultados parciais
- estratégia e código da solução SIMD funcionam
  - “send” e “receive” devem ser considerados como funções não apenas de comunicação, como no SIMD, mas também de sincronização
  - processador que executa “receive” irá trancar enquanto dado não vier

```
limit = 128 ; half = 128 ;
repeat
 half = half / 2 ;
 if (Pn >= half & Pn < limit)
 then send (Pn / 2, sum) ;
 if (Pn < half)
 then sum = sum + receive () ;
 limit = half ;
until (half = 1) ;
```

INF01113 - Organização de Computadores

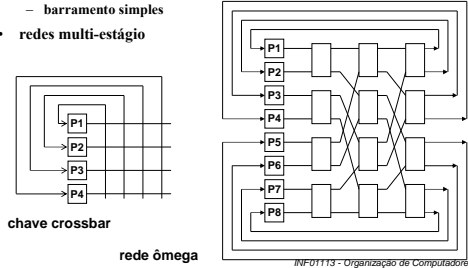
### Máquinas MIMD com memória distribuída

- máquinas comerciais
  - Intel iPSC/2, 128 processadores, 1988
  - nCube, 1024 processadores, 1987
  - Intel Delta, 540 processadores, 1991
  - Thinking Machines CM-5, 1024 processadores, 1991

INF01113 - Organização de Computadores

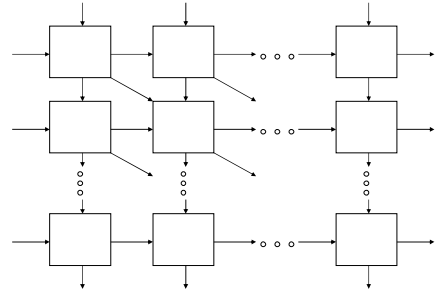
### Topologias da rede de interconexão

- casos extremos de compromisso custo x desempenho
  - rede completamente conectada
  - barramento simples
- redes multi-estágio



INF01113 - Organização de Computadores

### 5. Processadores dataflow



INF01113 - Organização de Computadores

### Processadores sistólicos

- processamento “data-flow”
  - cada processador executa operação quando dados de entrada estão disponíveis
- processadores elementares
  - executam operação única, não programáveis
- aplicações em processamento digital de sinais
  - processamento de imagens, voz, ...
- integração num único chip
- utilizados ...
  - em sistemas eletrônicos dedicados
  - como unidade funcional especializada de um processador hospedeiro convencional

INF01113 - Organização de Computadores