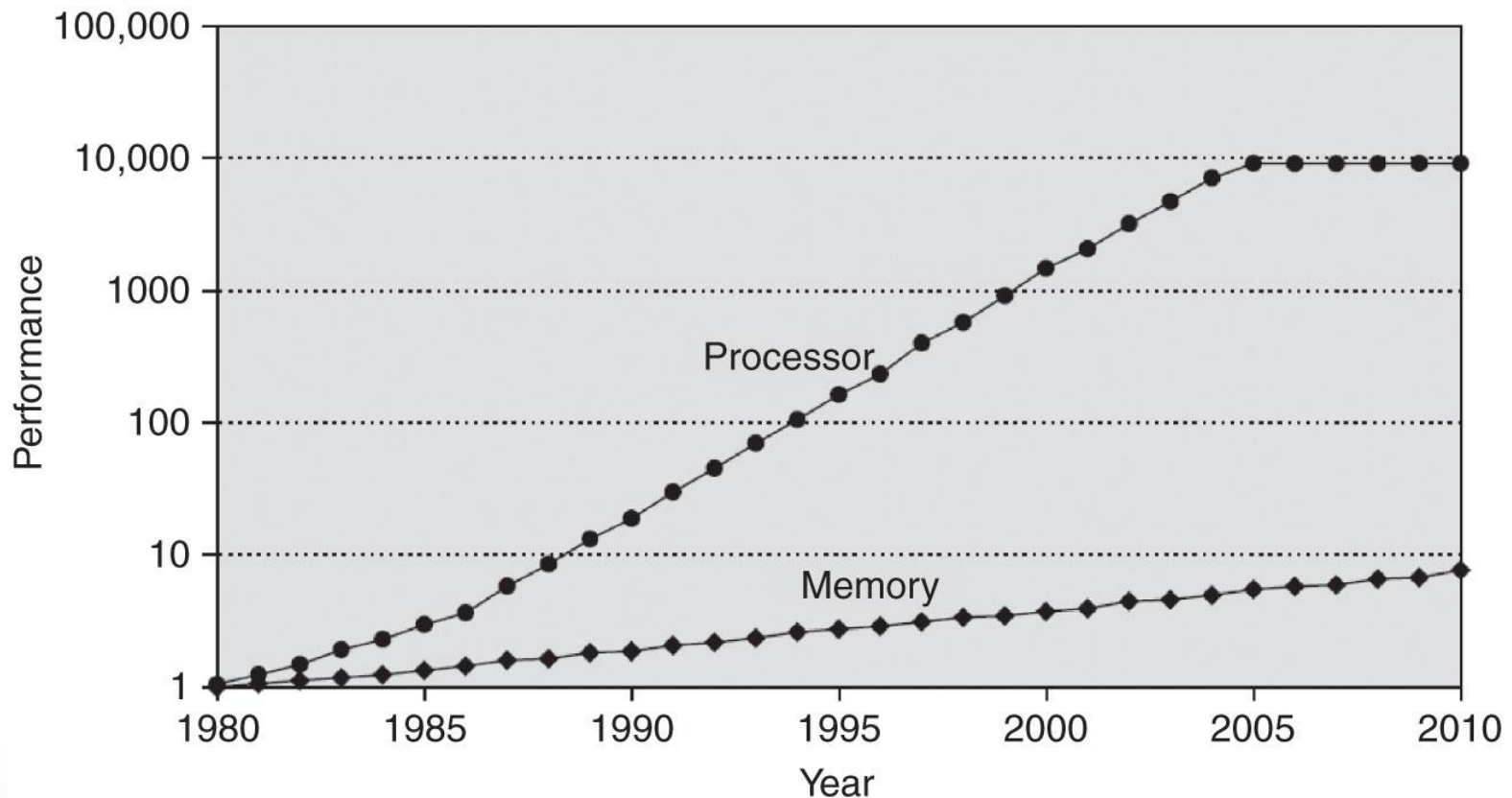


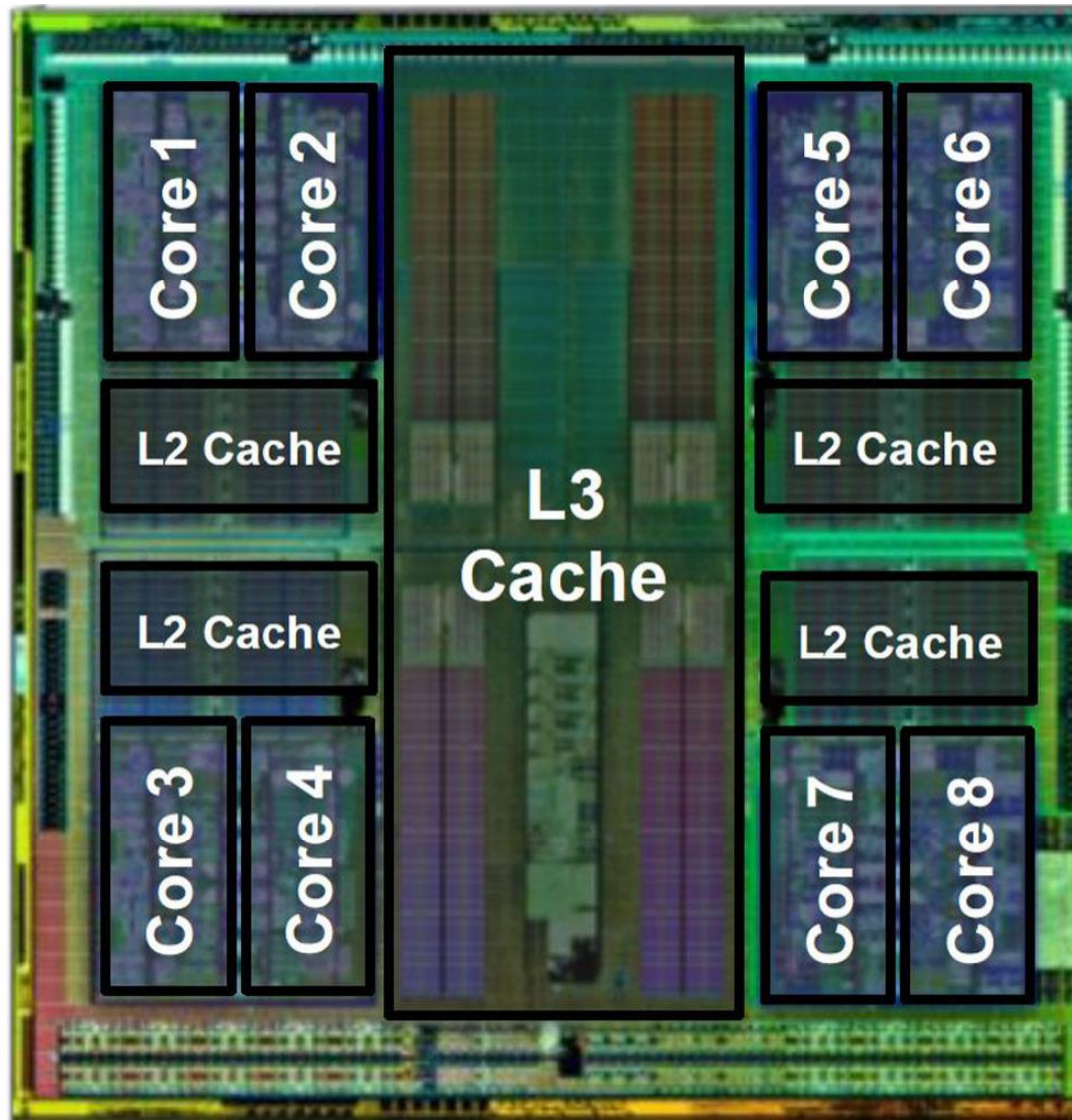
Tecnologias de memória avançadas e tendências

Gustavo Girão

Memory Wall



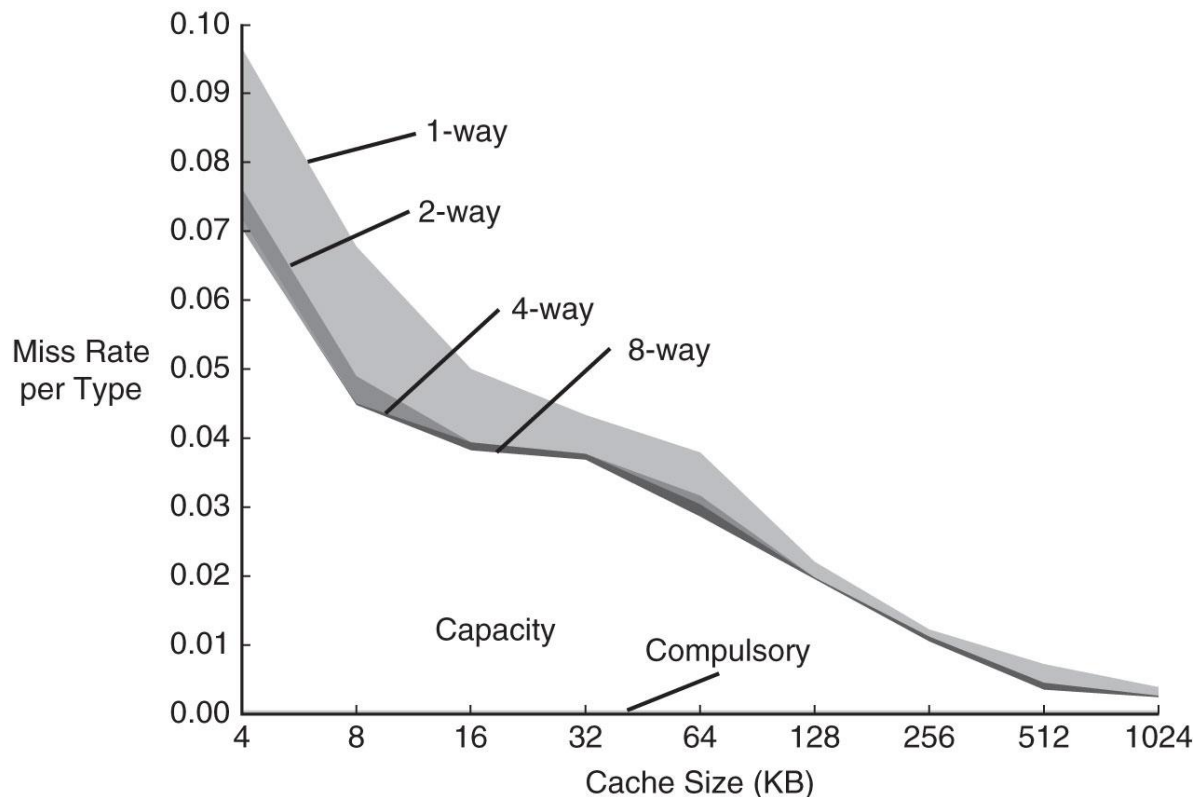
Ao longo dos anos....



Caches para sistemas monoprocessados

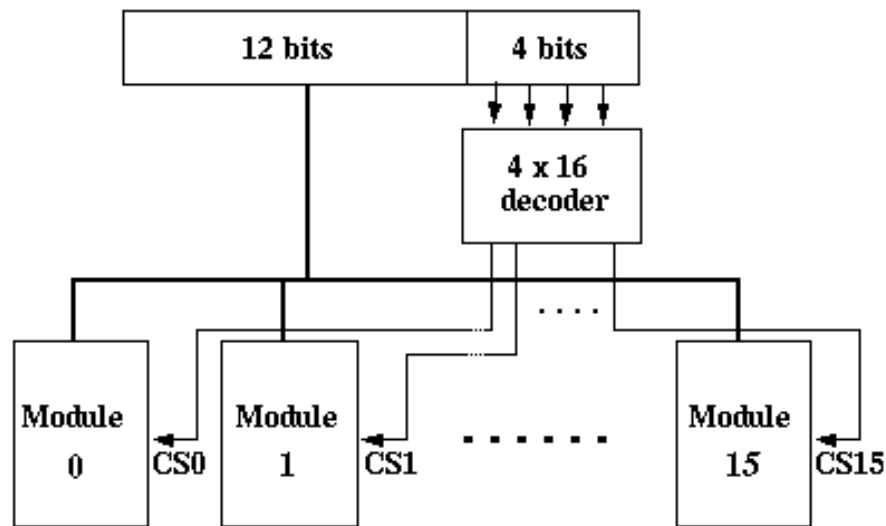
Caches

- Como melhorar? Arquiteturas
- Tamanho, associatividade, políticas de substituição



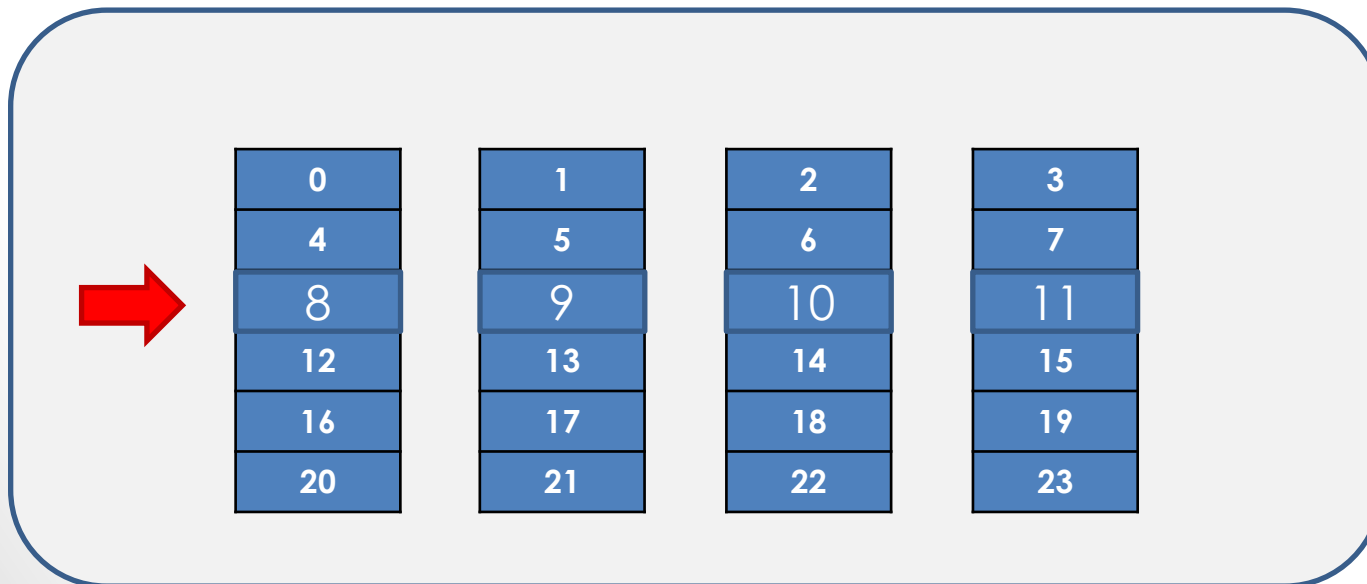
Caches

- Como melhorar? Diminuir o tempo de acesso
- Memórias entrelaçadas



Memory Interleaving
($2^{16}=64\text{ K words}$, 16 modules)

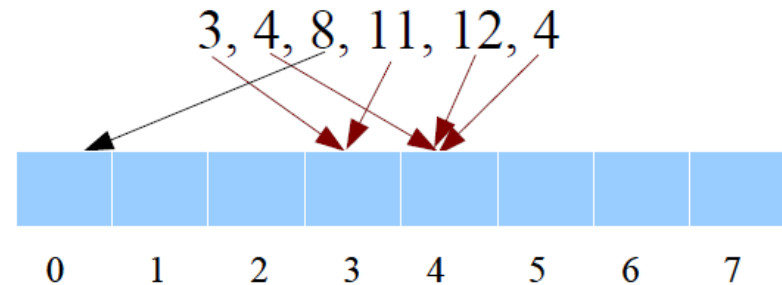
Memory Interleaving



Cache Miss – Os 4 Cs

- Compulsória
 - *Cold Start Misses*
 - *First reference Misses*
 - Há pouco a se fazer aqui...

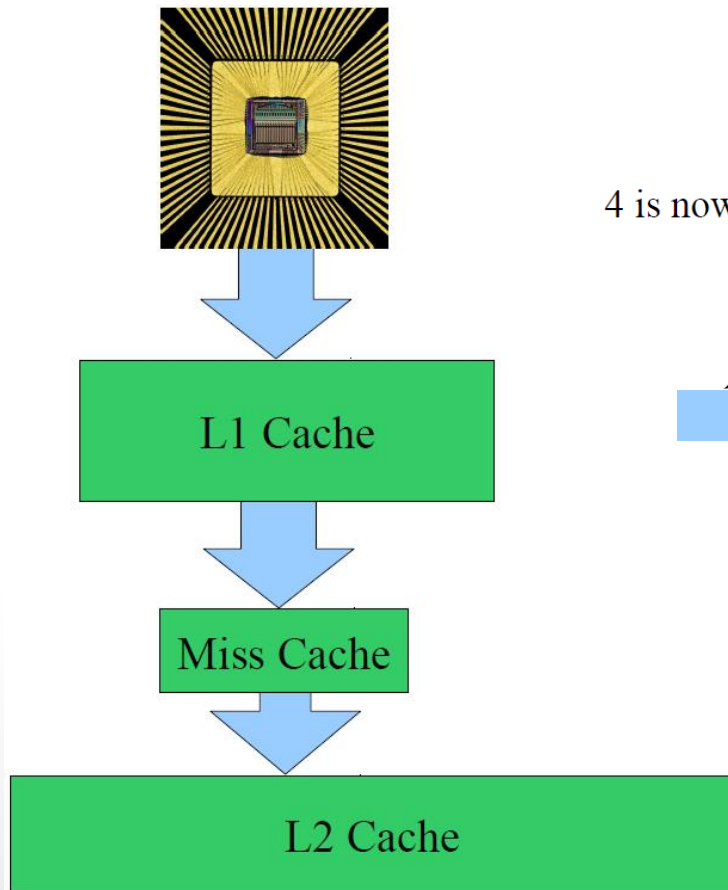
- Conflito
(associatividade)



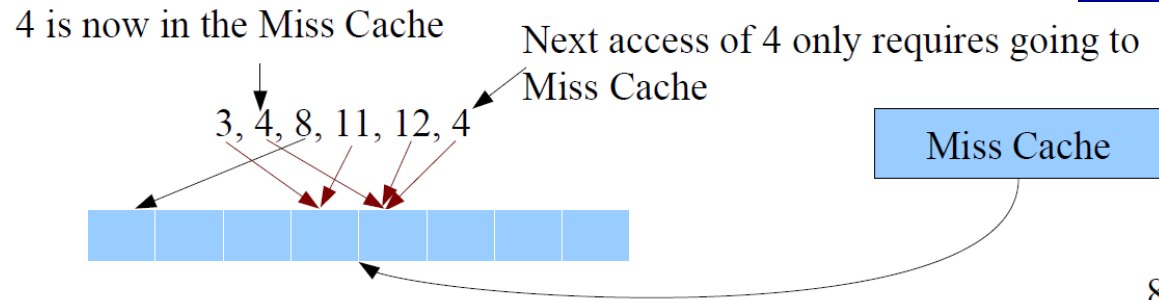
- Capacidade
 - Cache não tem espaço
 - Mal-dimensionada ou...
 - ...Software mal-programado

- Coerência
 - Uso de coerência por invalidação
 - Um mal necessário

Miss Cache (Norman Jouppi et al.)

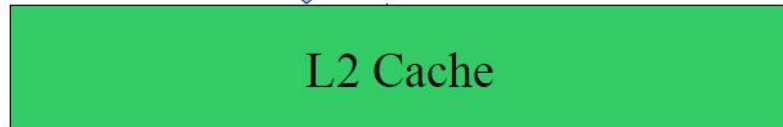
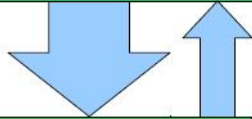
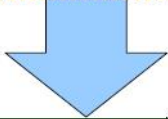
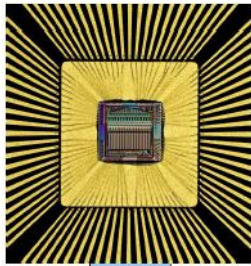


- Completamente associativa
- Contem entre 2 e 5 linhas
- Objetivo é reduzir conflito



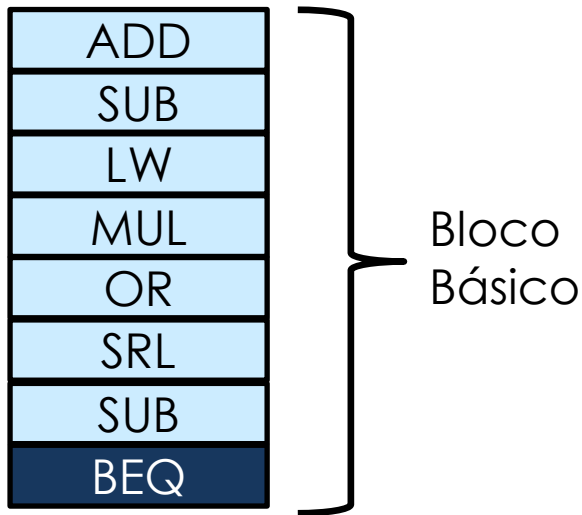
- 2 linhas -> 25% menos misses
- 4 linhas -> 36% menos misses
- E se dobrarmos o tamanho da cache??
 - Muito caro: apenas 0,13% por linha

Victim Cache (Norman Jouppi et al.)



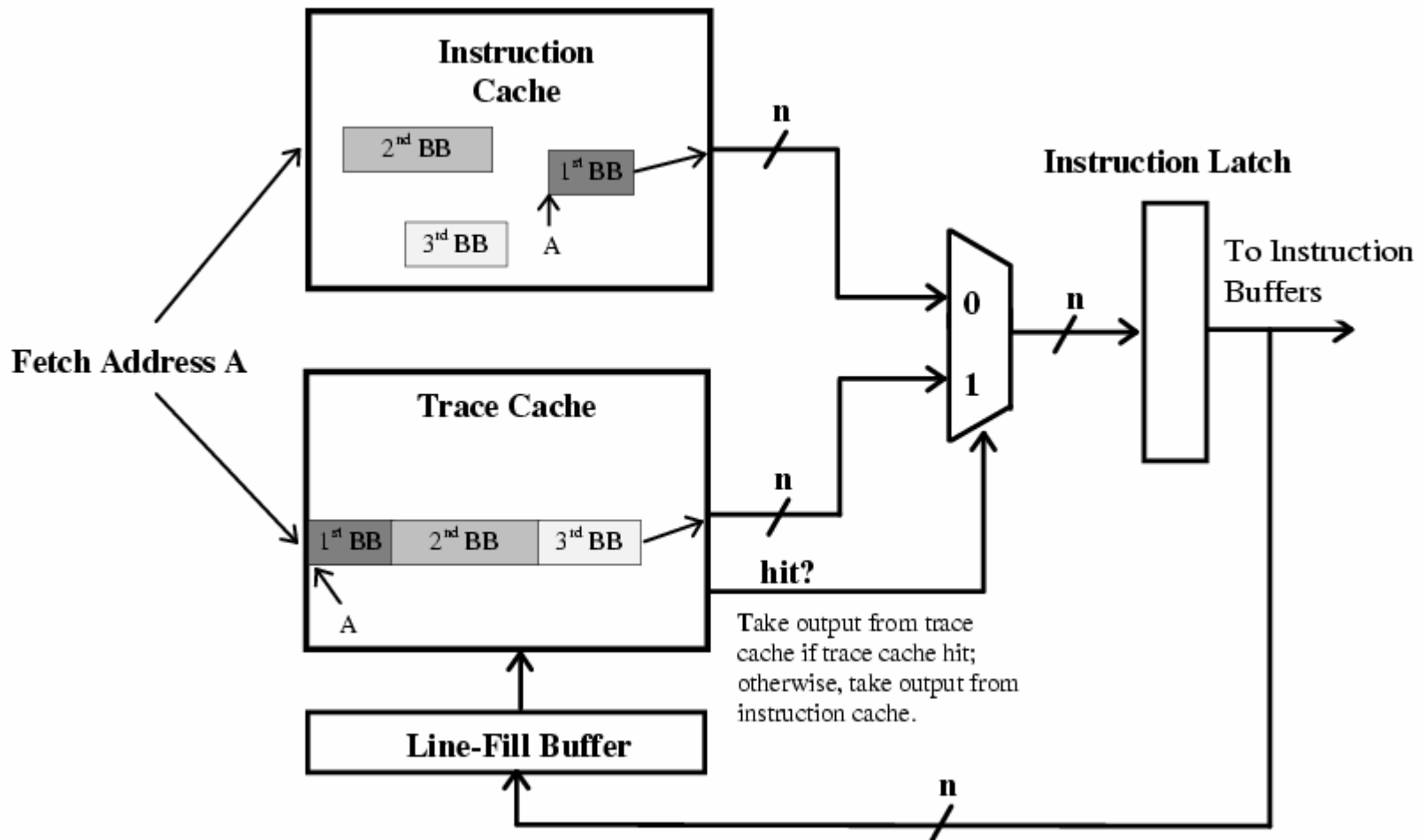
- Completamente associativa
- Parecida com a miss cache
- Quando o dado não é achado na L1:
 - Verifica Victim Cache
 - Traz o dado encontrado para L1
 - Envia um dado substituído para a Victim Cache
- Melhor do que a Miss Cache

Trace Caches (Rottenberg et al)



- Acessada em paralelo com a cache de instruções
 - Hit -> Trace é lido
 - Miss -> busca da cache de instruções
- Hit ocorre quando:
 - Endereço de busca é igual
 - Predições de desvio são as mesmas
- Não está no caminho crítico!

Trace Caches (Rottenberg et al)

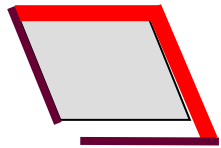


Non-Uniform Cache Architectures – NUMA

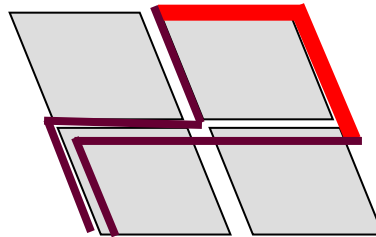
(Arquiteturas de Cache Não-Uniformes)

NUCA

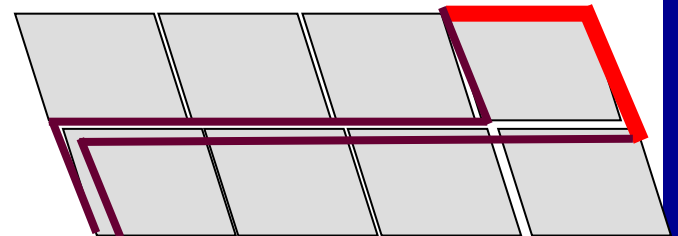
- Grandes caches L2 dentro do chip
- Atraso devido ao tamanho dos fios dominam o tempo de acesso (uma única L2 em 2010)



3 cycles
1MB
180nm, 1999



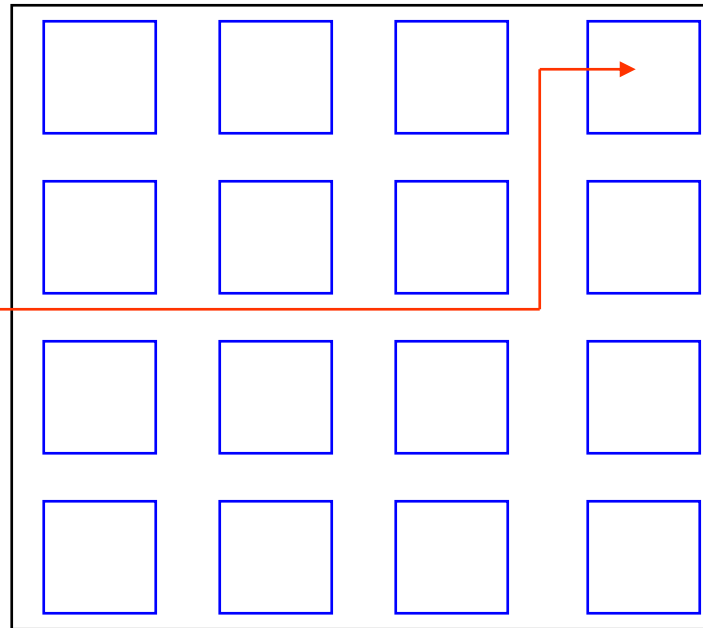
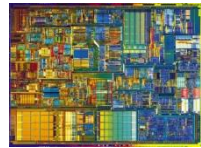
11 cycles
4MB
90nm, 2004



24 cycles
16MB
50nm, 2010

NUCA

- Cache L2 em múltiplos nós

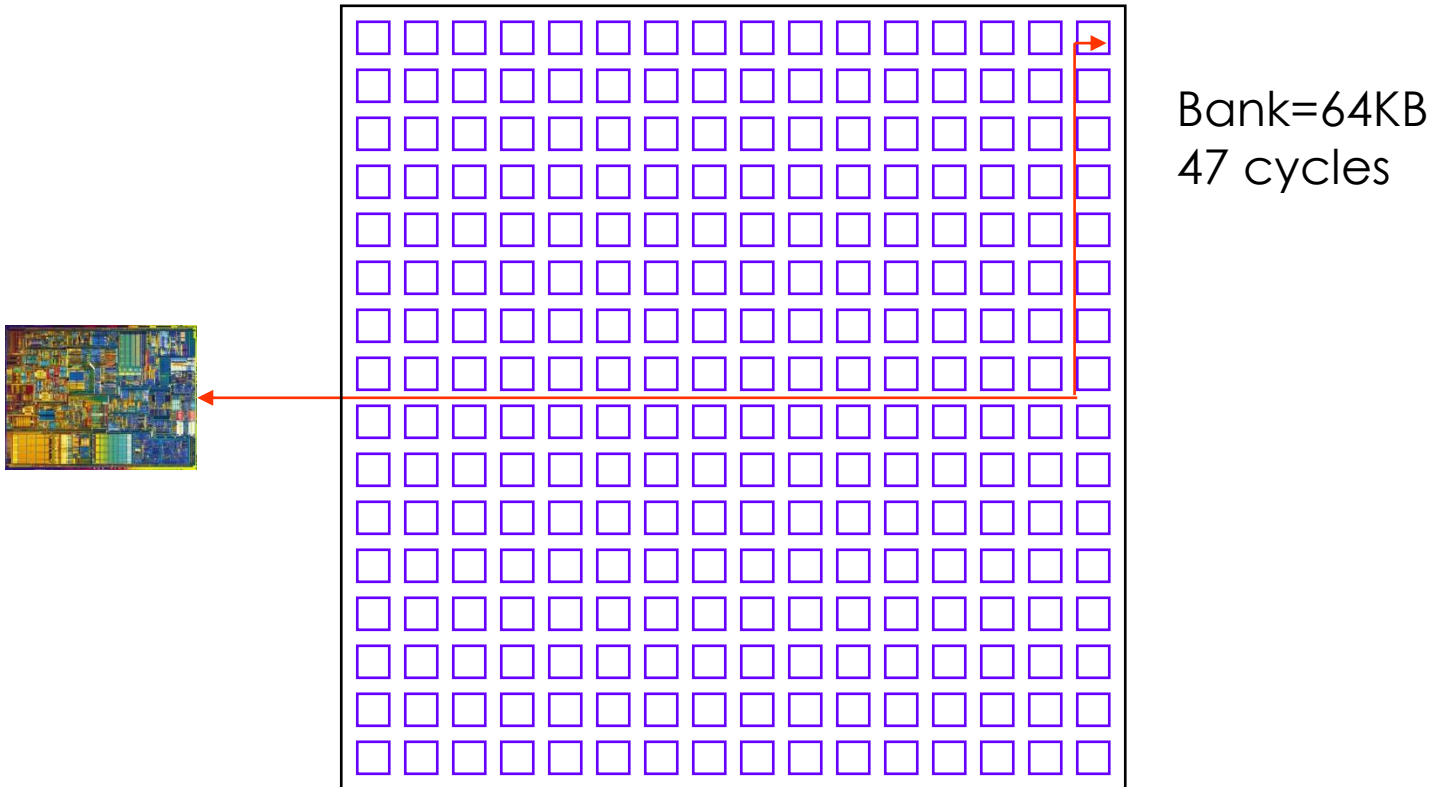


Bank=128KB
11 cycles

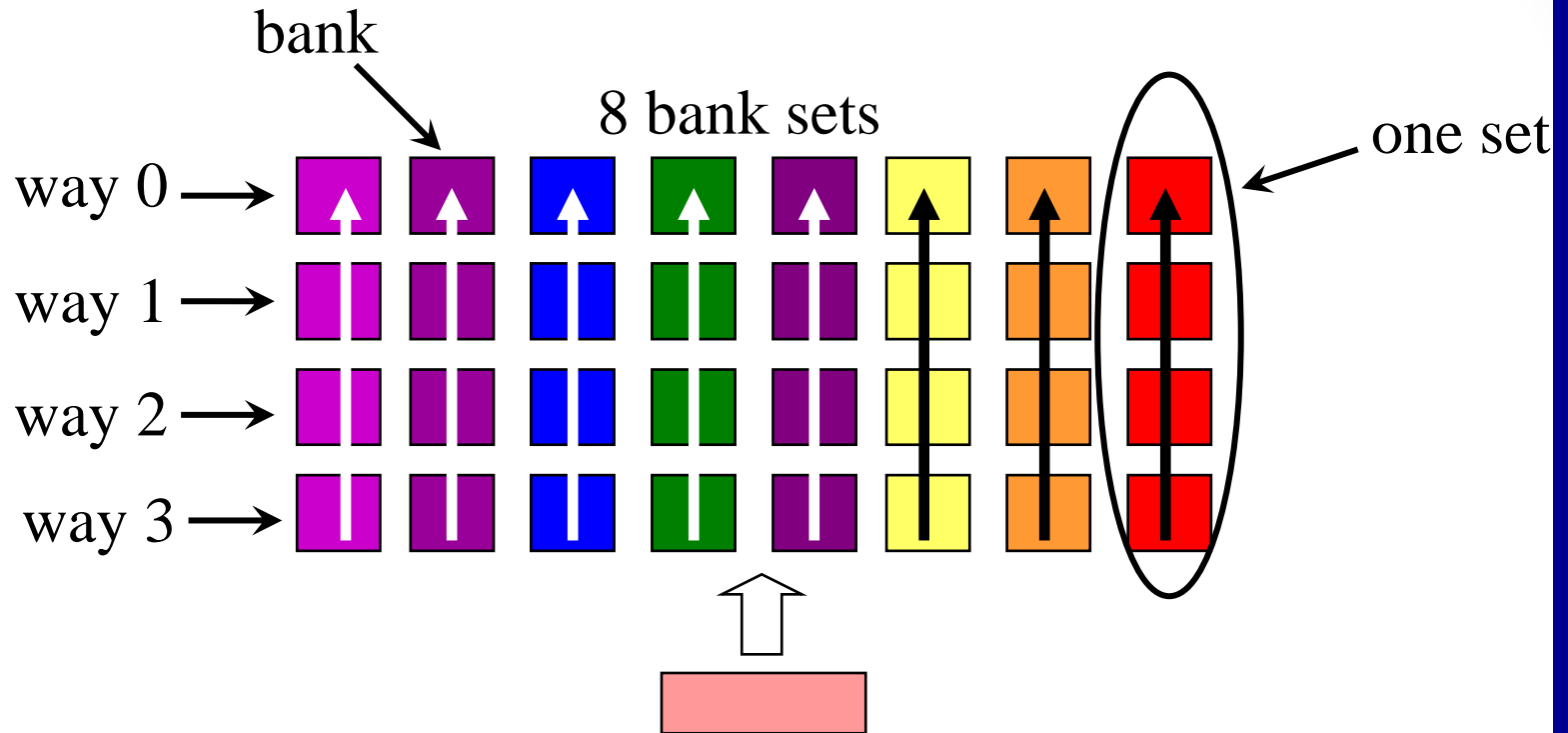
2MB @ 130nm

Bank Access time = 3 cycles
Interconnect delay = 8 cycles

NUCA

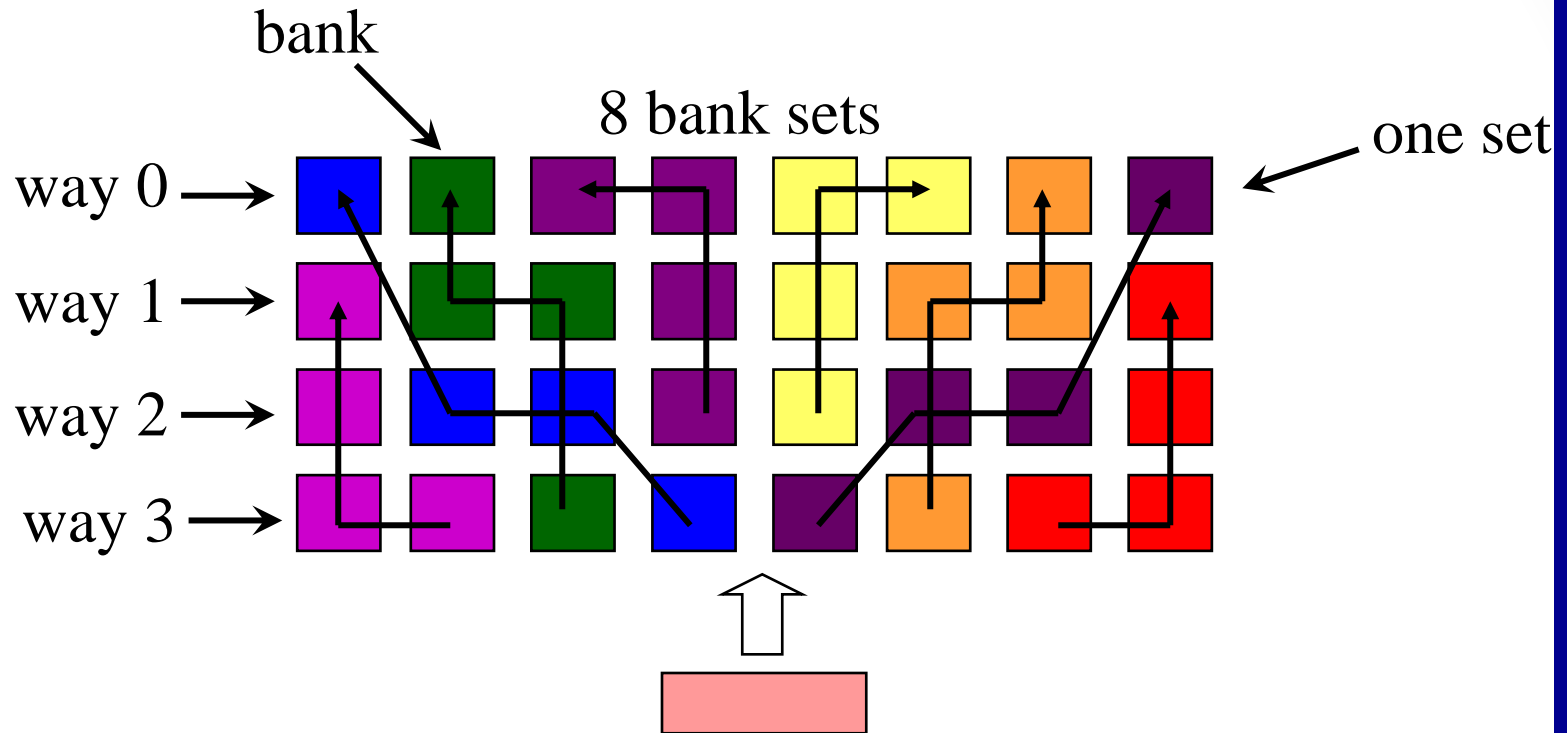


Dynamic NUCA



- Quanto mais usado, mais próximo do processador

Dynamic NUCA



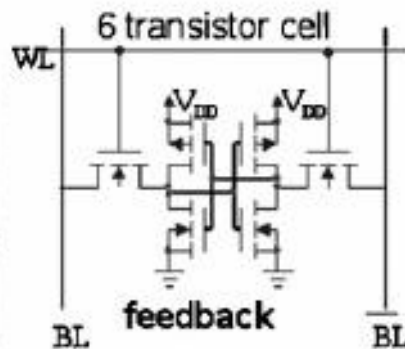
- **Mapeamento justo**

- Tempo médio de acesso igual para todos os processadores

Memórias Flash

Comparando tecnologias de memória

SRAM

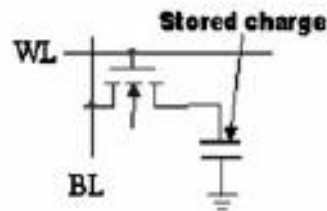


- + very fast read/write
- + no refresh
- + std. CMOS devices

- volatile
- very large cell

DRAM

1 transistor - / 1 capacitor cell

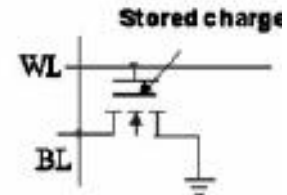


- + fast read/write
- + small cell

- volatile
- complicated technology

FLASH

1 transistor cell



- + nonvolatile
- + very small cell

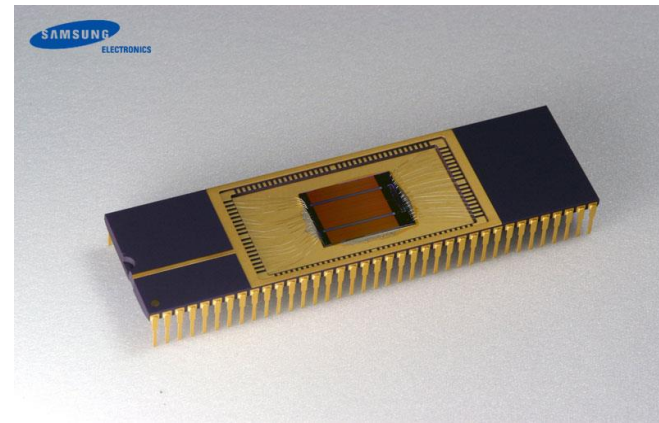
- slow write/erase
- only block erase
- limited endurance

Características



Leitura / Escrita

- (+) Baixo custo por bit**
- (-) Movimento mecânico**
- (-) Alto consumo de potencia (10-15W)**
- (-) Pesado se comparado com flash**



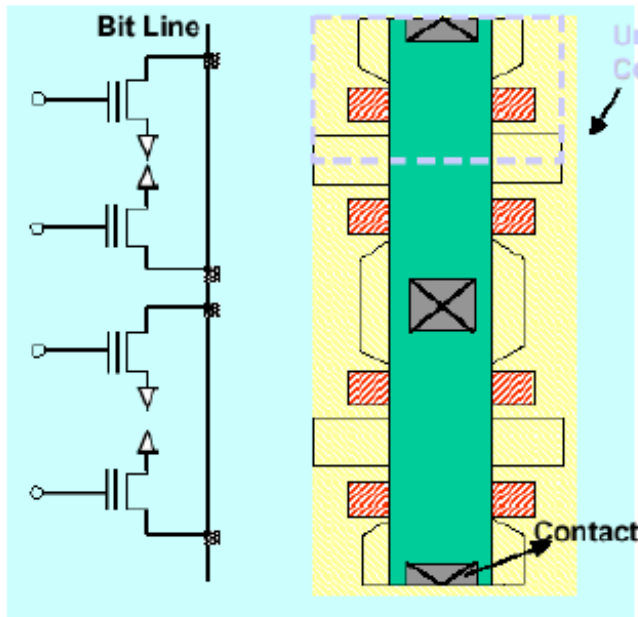
Leitura / Programar / Apagar

- (+) Acesso aleatório**
- (+) Não volátil**
- (+) Baixo consumo de potência (2W)**
- (-) Apagar antes de escrever**
- (-) Apagar é feito em toda a unidade do bloco e não na página**
- (-) Limite no número de escritas**
- (-) Alto custo por bit**

NOR vs. NAND

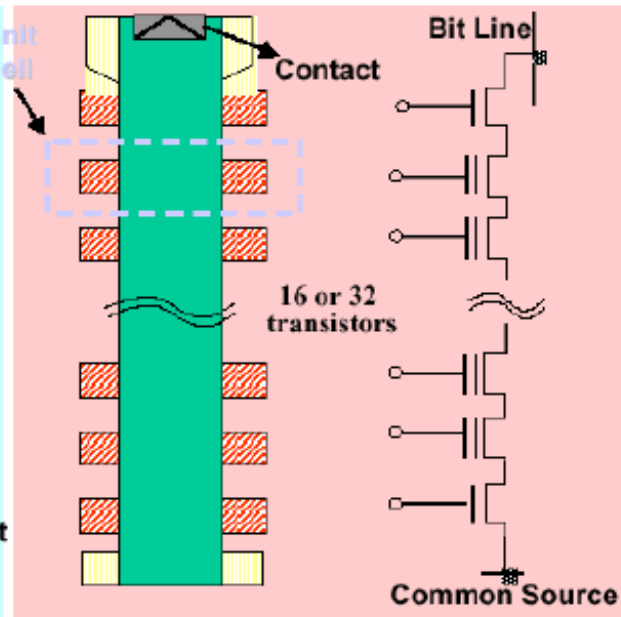
NOR TYPE

- Large cell and fast random access



NAND TYPE

- Small cell, but fast sequential access



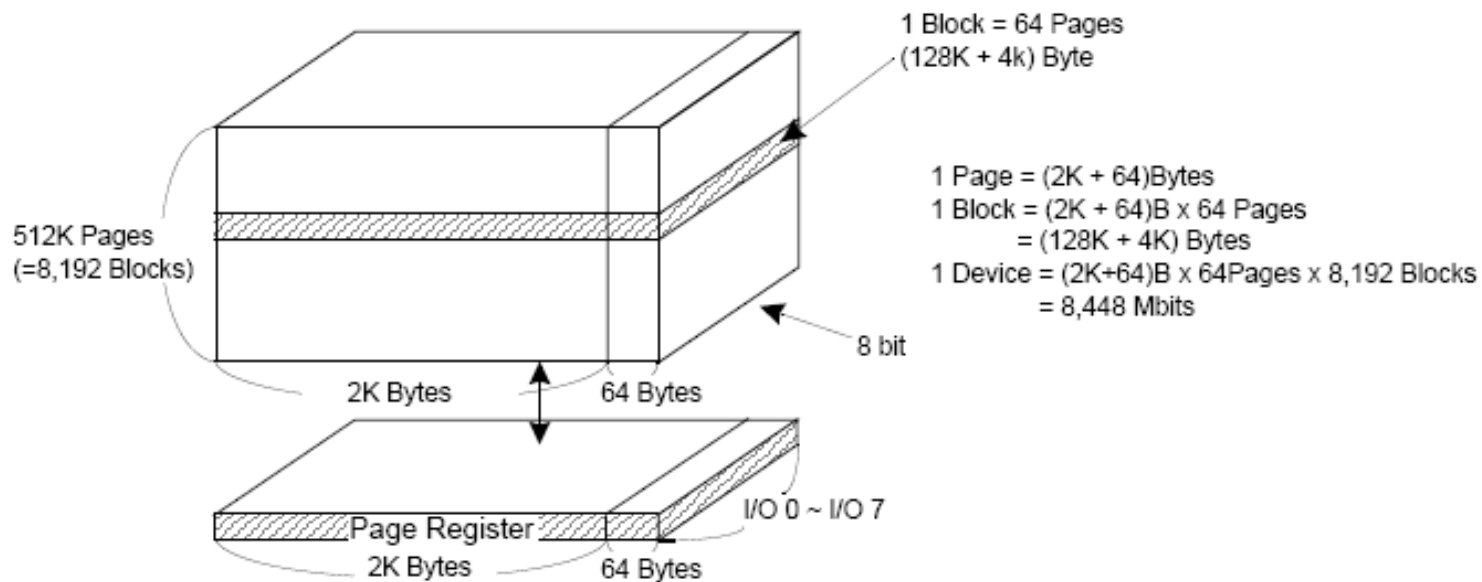
- Contact is the limiting factor for scale-down.
- Easy to Scale Down.

NOR vs. NAND

- NOR (Código pode ser executado onde se encontra)
 - Leitura rápida, escrita lenta
- NAND (Armazenamento de dados)
 - Escrita rápida e baixo custo

	Flash Type	Performance	Application
Armazenamento de código	NOR -Intel/Sharp -AMD/Fujitsu/Toshiba	Importante: -Alto acesso aleatório -Programação por byte Aceitável: -Programação lenta -Lento ao apagar	Armazenamento de programas -Celulares -DVDs, BIOS de Set TOP Box
Armazenamento de arquivos	NAND -Samsung/Thoshiba	Importante: -Alta velocidade de programação -Alta velocidade ao apagar -Alta velocidade de leitura Aceitável: -Acesso aleatório lento	Dispositivos de tamanho limitado -Cameras digitais -Silicon Audio, PDAs -Armazenamento massivo

Array de NAND flash



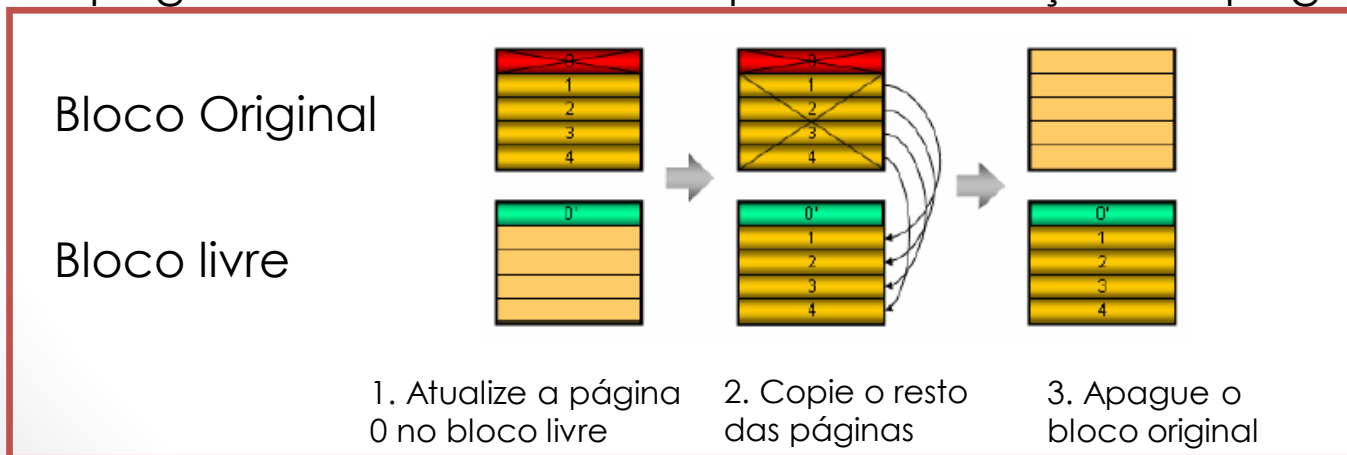
- Operação de **apagar** utiliza a unidade de **bloco**
- **Página** é a unidade **endereçável**

Comparação com outros tipos de memória

	Read	Write	Erase	Cost/MB
DRAM	60ns (2B) 2.6μs (512B)	60ns (2B) 2.6μs (512B)	-	30~40
NOR-type Flash	150ns (1B) 15μs (512B)	211μs (1B) 3.5ms (512B)	1.2s (128KB)	20~30
NAND-type Flash	10μs (1B) 36μs (512B)	226μs (1B) 266μs (512B)	2ms (16KB)	10~20
Magnetic Disk	12.4ms (512B)	12.4ms (512B)	-	1

Escritas

- Operação
 - Leitura/Escrita
 - ✧ Unidade de página (tamanho de uma pagina = tamanho de um setor de um disco rígido)
 - Apagar
 - ✧ Unidade de bloco (um conjunto de páginas)
- Características
 - Atualização “fora de lugar”
 - ✧ Apagar um um bloco inteiro para atualização da página



Discos SSD

Vantagens

- Confiabilidade no uso portátil e silencioso.
 - Não utiliza partes móveis
- Inicialização rápida
 - Não necessita atingir uma velocidade nominal de rotação
- Latência de leitura muito baixa
 - Não há tempo de busca (25 us per page/4KB)
- Desempenho determinístico de leitura
 - O desempenho não depende da localização do dado.

Desvantagens

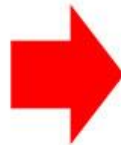
- Custo significativamente maior por unidade de armazenamento
 - US\$3/GB vs. US\$0.15/GB
- Tempo de limpeza de escrita limitado
 - 100.000 escritas. Celulas de alta resistencia podem chegar 5 milhões
 - Entretanto, alguns arquivos podem precisar de mais
 - E necessário espalhar as escritas por todo o disco
- Lentidão de escrita por ter que apagar blocos são cada vez maiores (1.5 ms por bloco apagado)
- Consumo de potência e dissipação de calor são não linearmente proporcionais à capacidade do disco.

SSD vs. HDD

- HDDs (discos magnéticos tradicionais) realizam leituras sequenciais muito mais rapidamente do que leituras aleatórias.
 - É de bom senso evitar acesso aleatório o máximo possível



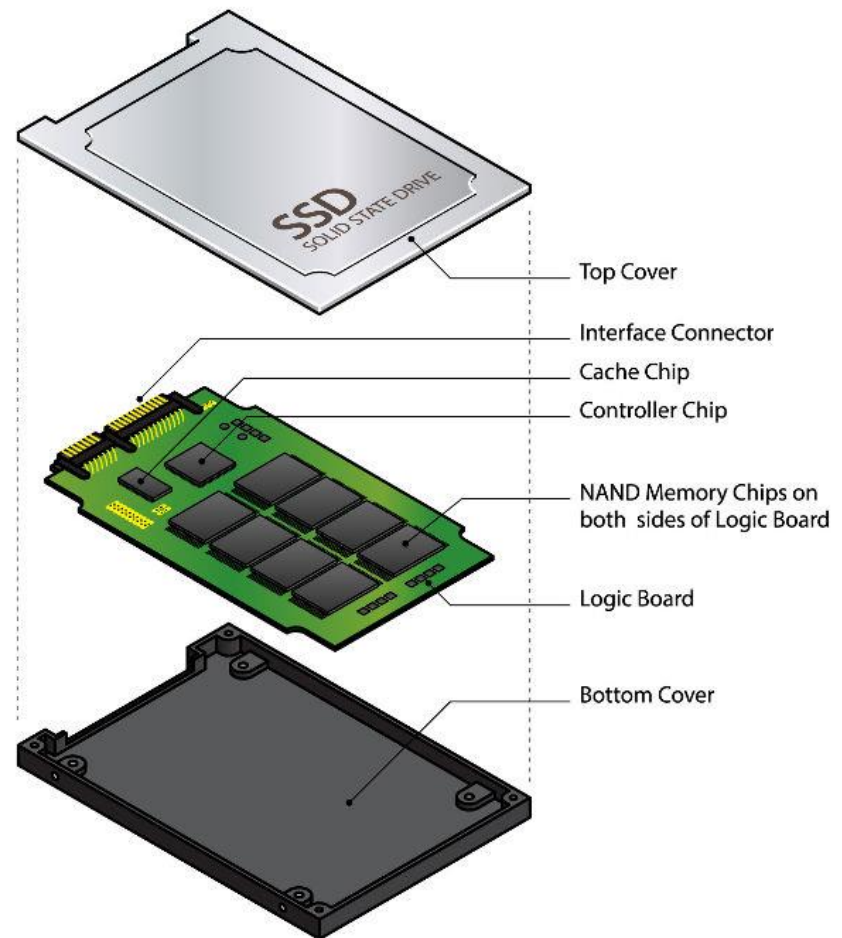
HDD



SSD

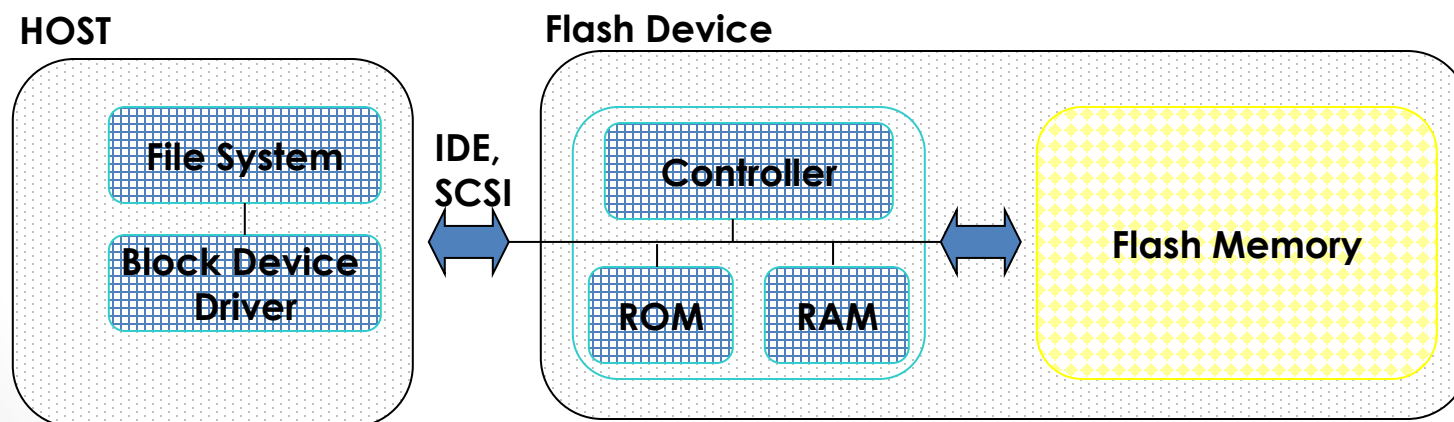
SSD vs. HDD

- SSDs realizam **leituras aleatórias** mais de 100x mais rápido do que HDDs e oferecem **leituras e escritas sequenciais** com desempenho **parecido**.
- O desempenho de **escritas aleatórias** dos SSDs é **muito pior** do que **leituras aleatórias**.



Flash SSDs

- Flash Translation Layer
 - Emula completamente discos magnéticos em memórias Flash
 - Deve considerar
 - ✧ Número máximo de escritas
 - ✧ Espalhar as escritas para evitar desgaste (wear down)
 - ✧ Diferença entre Blocos e Páginas



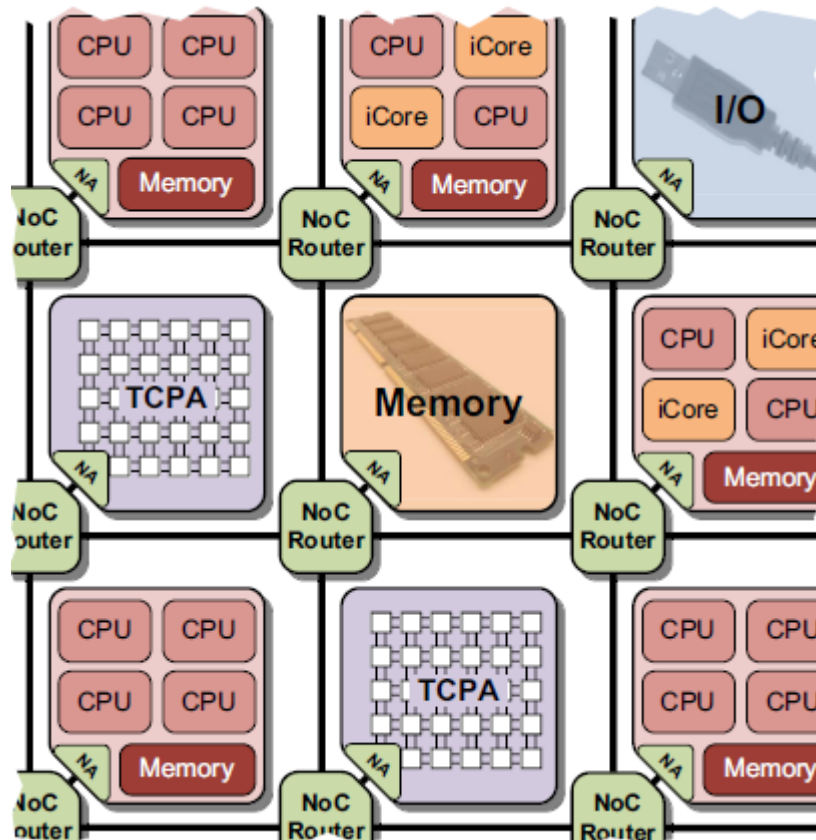
Tendências Futuras

Tendencias

- Gerenciamento de recursos
 - Avaliação holística do sistema
 - ✧ Sensores
 - Distribuir os recursos de acordo com a demanda
 - Em nível de
 - ✧ Tarefas/Processadores
 - ✧ Memória
 - ✧ Mecanismos de interconexão

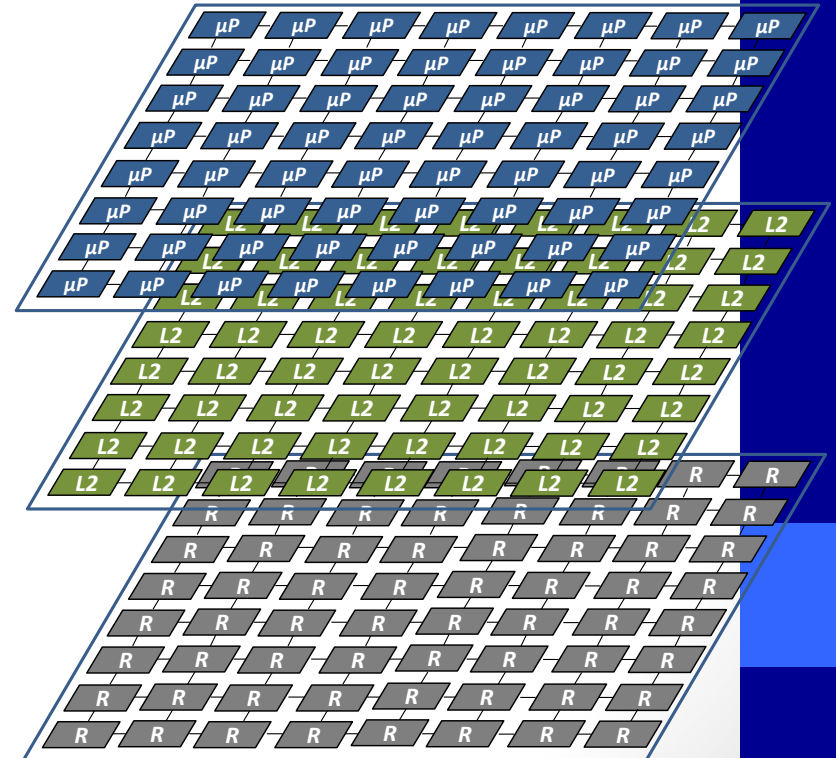
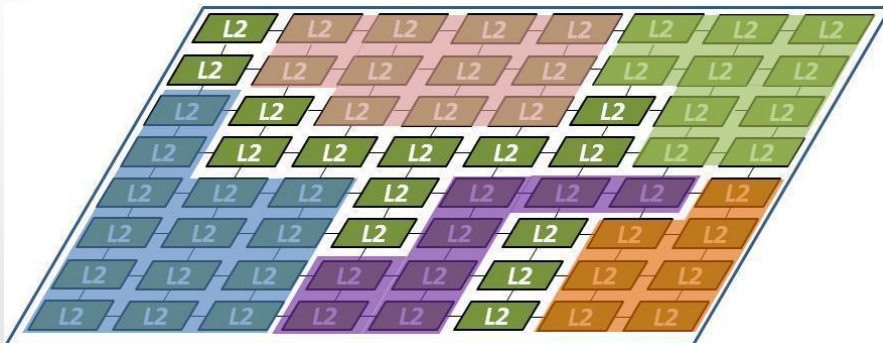
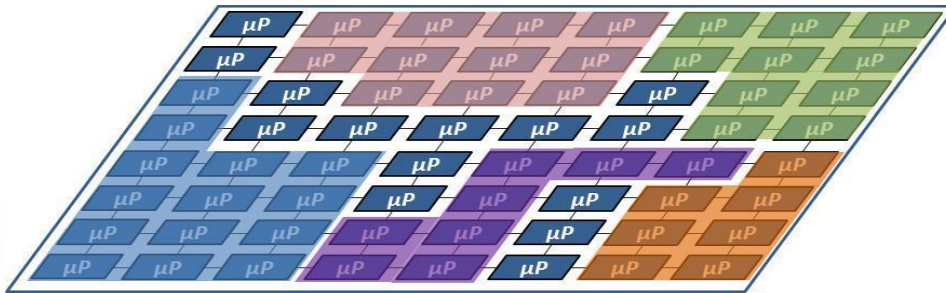
Tendencias

- Projeto baseado em Clusters/Regiões/Seções
 - Projeto Invasic - Invasive Computing



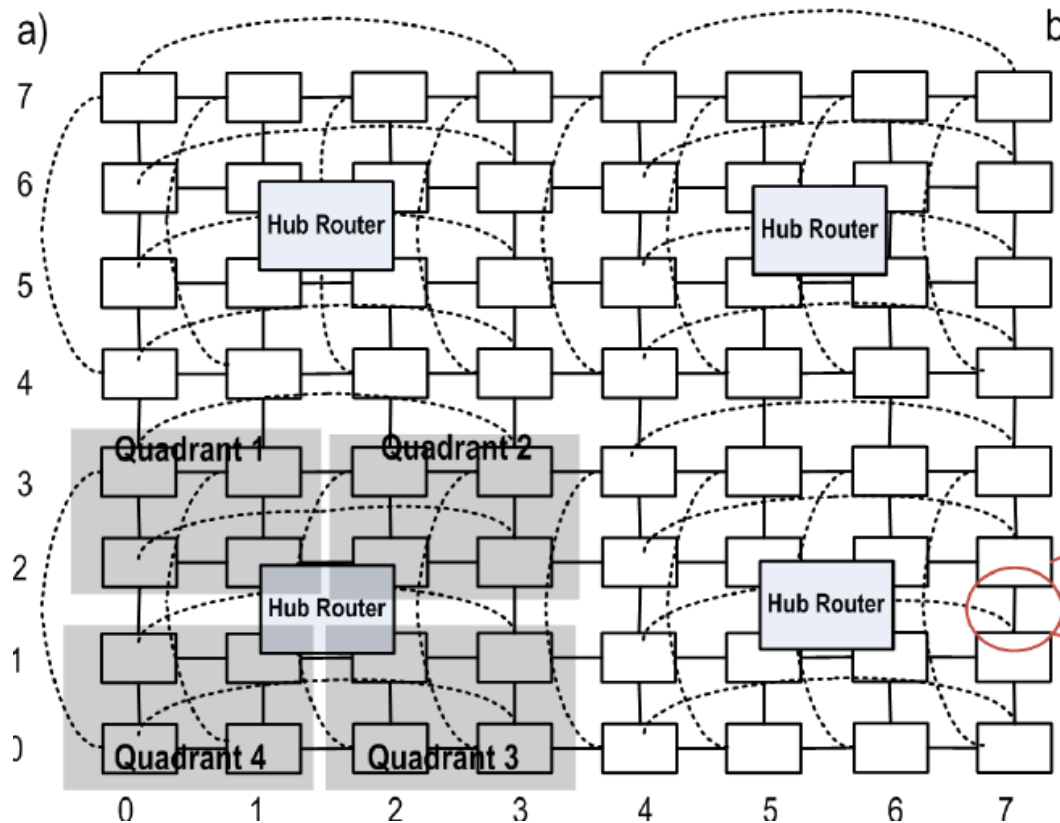
Tendências

- Projeto baseado em Clusters/Regiões/Seções
 - Multi-Level Dynamic Clustering



Tendencias

- Projeto baseado em Clusters/Regiões/Seções
 - Traffic-Aware NoC (R. Marculescu, ESWEEK 2012)





Próxima aula

- Tendências Tecnológicas Futuras

Networks-on-Chip

○ Tendencias

✧ GALS (Globally Asynchronous Locally Synchronous)

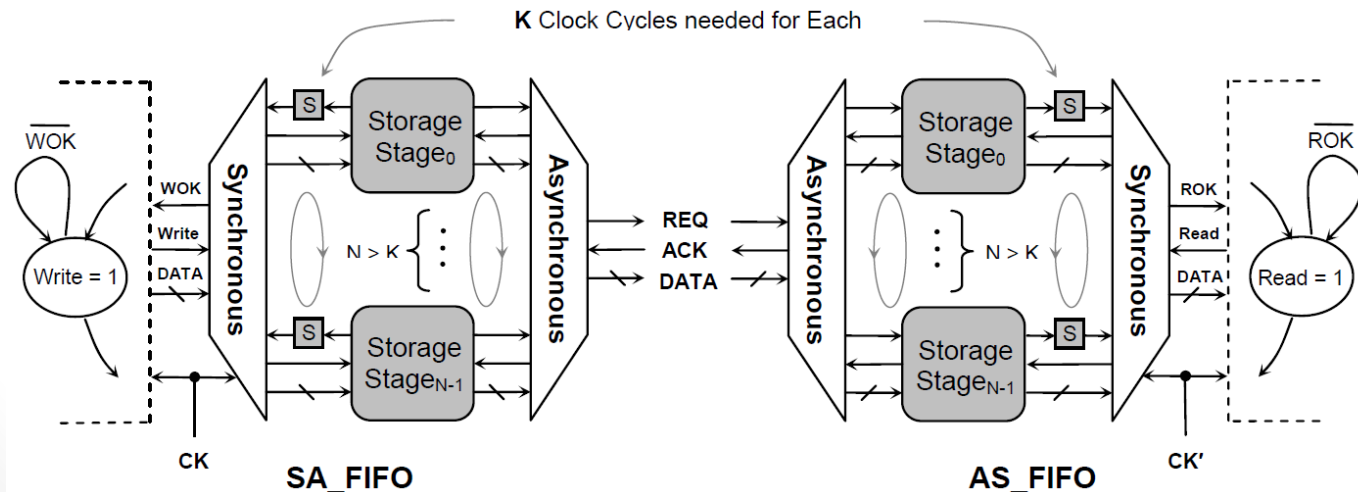
- Radu Marculescu, Carnegie Mellon University, PA, USA

✧ Photonic NoCs

- Luca Carloni, Columbia University, NY, USA

✧ 3D NoCs

- Luca Benini, Bologna University, Italy



Tendencias

- Variabilidade
 - Variação no processo de fabricação leva a variações das especificações dos componentes
 - Até 30% na variação da frequência de operação
 - Até 20x na dissipação de potência estática
 - Heterogeneidade em potencial
 - Escalonamento de Tarefas
 - Remapeamento de recursos
- Tolerância a Falhas
 - Homogeneidade cria situações ideais para tolerar falhas
 - Voltage scale agressivo
 - ✧ Falhas mais frequentes

Tendencias

- Virtualização
 - Virtualização é tipicamente utilizado para descrever a virtualização da plataforma de hardware do ponto de vista do SO
 - ✧ Vários SOs executando na mesma plataforma.
 - Virtualização de processadores
 - Virtualização de memória
 - Virtualização de dispositivos externos
- Segurança
 - Codificação de dados que circulam internamente ao chip
 - ✧ Várias aplicações executando no mesmo chip!
 - Usuários diferentes

Tendencias

- Reconfiguração
 - Apesar de se utilizar de TLP, MPSoCs abrem espaço para ILP
 - Certas aplicações podem obter melhores resultados a partir de um modelo ou de outro
- Adaptabilidade
 - MPSoCs adaptáveis são abundantes
 - Modelo Big Little
 - Multicore
 - ✧ Simétrico
 - 1 core / N cores
 - ✧ Assimétrico
 - 1 grande core / 1 grande core + N pequenos cores
 - ✧ Dinamico
 - 1 grande core / N pequenos cores