

Arquitetura de Computadores

Microarquitetura Intel Haswell - 4ª Geração

10 de setembro de 2020



Grupo I

Gabriel Christo
Lucas Guimarães
Vinicius Lima

Introdução

A microarquitetura Haswell foi desenvolvida pela Intel e apresentada ao público em 4 de junho de 2013 na Computex, grande feira de tecnologia realizada anualmente no Taiwan onde empresas do segmento de tecnologia fazem apresentações de seus novos produtos. Ela é conhecida popularmente pelo nome de 4ª geração dentro da linha de processadores Intel. Essa arquitetura foi utilizada para criar processadores de computador, tendo modelos disponíveis para desktops, laptops e servidores. Ela veio como sucessora da arquitetura anterior de processadores Intel, a 3ª geração Ivy Bridge. A chegada da arquitetura Haswell não representou, porém, uma grande revolução, mas sim uma evolução na forma como a empresa produz seus processadores.

Sobre a arquitetura

Os processadores que implementam a arquitetura Haswell utilizam, como esperado, silício e transistores em sua fabricação. A litografia dessa iteração de processadores Intel é de 22nm, possibilitando o uso de, em média, 2.5 bilhões de transistores.


Unidades funcionais

Unidade funcional é um subconjunto do processador responsável por executar as instruções (também conhecido como Core). É composta de diversas subunidades, dentre elas:

AGU (Unidade de geração de endereço) - Calcula os endereços utilizados pela CPU quando necessário acesso na memória principal.

ALU (Unidade lógica e aritmética) - Realiza operações booleanas e de adição.

FPU (Unidade de ponto flutuante) - Responsável pelas operações básicas de números em ponto flutuante. Algumas unidades desse tipo podem até mesmo realizar operações transcendentais, como funções trigonométricas, por exemplo.



Branch Unit - Preditor de desvio, responsável por prever os comandos de desvio no intuito de melhorar o fluxo do pipeline de instruções.

Load Store Unit - Responsável por executar todas as instruções de load e store, gerando os endereços virtuais para estas operações.

Além destas unidades, cada Core também possui alguns registradores internos.

Como a arquitetura haswell implementa a tecnologia hyper threading, todas as unidades de cada core físico são compartilhadas com os núcleos virtuais.

Registradores

Com quase 600 registradores, a arquitetura haswell apresenta 15 registradores de uso geral e diversos registradores de controle e verificação, dentre os quais podemos citar:

Ring Buffer: Conjunto de registradores para tratar buffers circulares

NOP: Registrador que mantém o identificador da última chamada da função NOP

Current Context: Registrador que mantém o contexto lógico atual de execução do programa.

Page Fault: Contém o endereço que não pode ser encontrado na RAM

Virtual Page Address: Mantém o endereço virtual utilizado pelo TLB (Translation Lookaside Buffer)

Valid Bit: 32 registradores com bit de validade de dados

Interrupt Control: Mantém o bit global para ativar o sinal de interrupção dos dispositivos.

Entre muitos outros.

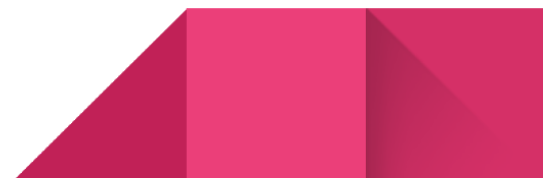


Conjunto de instruções

O conjunto de instruções disponíveis nessa arquitetura é conhecido como Intel 64, um conjunto que evolui constantemente nas diferentes iterações de processadores da Intel. Esse conjunto é constituído pelas operações básicas encontradas no x86 além de várias extensões que foram sendo acrescentadas pela fabricante conforme o desenvolvimento do x86 foi avançando. As principais inovações acrescentadas a esse superset de instruções com o advento da Haswell foram AVX2 (Advanced Vector Extensions), TSX (Transactional Synchronization Extensions), BMI (Bit Manipulation Instructions) e FMA3 (Fused Multiply-Add). O primeiro, AVX2, é um complemento ao AVX original. Ele adiciona um suporte mais robusto e generalizado para permutas e mudanças de vetores, além de simplificar o código de vetorização com 16 novas instruções de coletas de dados. O segundo, TSX, permite que programadores escrevam código paralelizado focado em corretude enquanto o hardware otimiza a execução para performance e concorrência. O terceiro, BMI, é uma extensão que adiciona instruções de manipulação escalar que operam nos registradores de dados inteiros. Por último, FMA3 é uma atualização do set já FMA utilizado para fazer operações SIMD (Single instruction, multiple data) de ponto flutuante e escalares.

Cache

Todos os processadores da linha Intel Haswell possuem caches L1, L2 e L3, com alguns possuindo até uma cache L4. Todos possuem a cache L1 separada entre dados e instruções. As exceções em que há cache L4 são processadores que possuem a tecnologia que a Intel chamou de Intel Iris Graphics, que consiste em um processador gráfico integrado com memória dedicada diretamente no chip. Isso faz com que ele possua um desempenho melhor que outros chipsets de gráficos integrados, mas continua tendo um desempenho muito aquém comparado a estes. As unidades de processadores que possuem somente os 3 primeiros níveis de cache seguem a seguinte lógica:



L1I Cache:

- 32 KB 8-way associação por conjunto
- 64 B tamanho de linha
- política de Write-back
- compartilhadas por duas threads, por núcleo

L1D Cache:

- 32 KB 8-way associação por conjunto
- 64 B tamanho de linha
- compartilhadas por duas threads, por núcleo
- 4 ciclos para o carregamento mais rápido
- 64 Bytes/ciclo para load
- 32 Bytes/ciclo para store
- política Write-back

L2 Cache:

- unificada, 256 KB 8-way associativa por conjunto
- 11 ciclos para o carregamento mais rápido
- 64B/ciclo de largura de banda para L1\$
- política Write-back

L3 Cache:

- 2 - 45 MB
- política de Write-back
- Por núcleo

Memória

A quarta geração de processadores Intel tem suporte para endereçamento em dois canais de até 32 GB de memória DDR3 em sua vasta maioria. Algumas exceções são modelos de processadores dedicados a servidores ou do segmento “entusiasta” que já aceitavam também o uso de memória DDR4.

Melhorias frente a seu antecessor


As melhorias apresentadas pela introdução da arquitetura Haswell aos processadores da Intel não foram estratosféricas, mas ainda merecem menção. Houve um incremento médio em performance de aproximadamente 10% quando consideramos todos os processadores da linha. Esse incremento de performance não foi a custo de eficiência energética, visto que os processadores da quarta geração também apresentam uma maior eficiência energética que seus antecessores. Os gráficos integrados também ganharam um leve boost de desempenho.

Unidades comerciais

A arquitetura Haswell foi vendida sobre duas principais bandeiras: a série Intel Core™, composta pelos famosos i3, i5 e i7, e a série Xeon™, composta pelos processadores equivalentes voltados para servidores, os E3, E5 e E7. Para a linha Core, dependendo da escolha de processador, ele pode ser dual-core (i3) ou quad-core (i5 e i7), ter um consumo que varia entre 35W e 88W e ter os clocks mais variados, com qualquer valor entre 1.9 GHz até 4.0 GHz. Para os processadores Xeon, há variância de 13W de TDP e 1.1 GHz de clock em modelos de baixo consumo até 135W e 3.7 GHz nos modelos de alto desempenho. Os clocks informados são sempre os nominais definidos pela fabricante, sendo possível chegar a frequência mais altas em processadores desbloqueados para overclock.

Haswell Refresh

Em 2014, um ano após o lançamento original dos processadores Haswell, a Intel lançou novos processadores, baseados na mesma arquitetura, que ficaram conhecidos como os Haswell Refresh. Essa atualização trouxe 3 novos processadores, o i3-4360, o i5-4690 e o i7-4790. A única grande diferença desse refresh para os Haswell originais é a melhora do desempenho térmico que o refresh trouxe. As versões i5 e i7 vinham também em modelos com o multiplicador de clock desbloqueado, o que permite overclock. Essas versões (i5-4690k e



i7-4790k) especificamente ficaram conhecidas Devil's Canyon e se tornaram extremamente populares entre entusiastas em videogames e usuários dedicados de desktop graças à sua excelente capacidade de overclock. Embora processadores atuais com valor mais acessível que a contrapartida da época desempenhem tão bem quanto os Devil's Canyon, não é incomum ver hoje, mesmo 6 anos depois de seu lançamento, pessoas buscando esses processadores para comprar.

Referências:

[https://en.wikipedia.org/wiki/Haswell_\(microarchitecture\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Haswell_(microarchitecture))

<https://www.intel.com/content/dam/www/public/us/en/documents/manuals/64-ia-32-architectures-software-developer-vol-2a-manual.pdf>

<https://www.youtube.com/watch?v=j9HV9V5nzOc>

[https://en.wikichip.org/wiki/intel/microarchitectures/haswell_\(client\)](https://en.wikichip.org/wiki/intel/microarchitectures/haswell_(client))

<https://www.realworldtech.com/haswell-cpu/2/>

<https://www.tomshardware.com/picturestory/710-history-of-intel-cpus-3.html>

https://01.org/sites/default/files/documentation/intel-gfx-prm-osrc-hsw-commandreference-registers_0.pdf

