

ARQUITETURA DE SOLID STATE DRIVER (SSD)

Felipe Munhós Lima de Oliveira¹

RESUMO

A tecnologia de microcomputadores tem evoluído de forma bastante rápida. Lançamentos em diversas áreas da computação tem acontecido periodicamente, sejam eles em âmbito de arquitetura de processamento, placas gráficas, altas resoluções em monitores, e até mesmo novos padrões de armazenamento. Com foco nos padrões mais recentes de armazenamento, este artigo visa detalhar a arquitetura dos aclamados discos de estado sólido, ou *Solid State Drivers* (SSD): Uma nova tecnologia que promete, e de fato cumpre, um ganho muito significativo de velocidade em operações de leitura e escrita.

Palavras-chave: Armazenamento. *Solid State Drivers*. Memória *flash*.

ABSTRACT

The microcomputer's technology has been evolved quickly. Releases in many areas of the computation have happened frequently, whether in process architecture scope, graphics boards, displays with high resolution, and even new storage patterns. With focus in the last patterns of storage, this paper wants to detail the architecture of the acclaimed solid state drivers: A new technology that promises a really significant gain of velocity and performance in read/write operations.

Keywords: Storage. Solid State Drivers. Flash Memory.

INTRODUÇÃO

Discos de estado sólido tem ganhado cada vez mais espaço no mercado e tem sido alvo de um público exigente que busca novas tecnologias capazes de melhorar sua experiência digital.

Primeiramente, este artigo abordará o tradicional método de armazenamento por discos magnéticos, explanando o funcionamento de operações de escrita e leitura, bem como seu modelo de organização de dados, tempos de respostas, e demais características.

Na sequência, será apresentado o conceito de SSD, abrangendo o tema de memória *flash*, sua arquitetura e método de operação, modelos de organização e dados de performance.

Também será abordado o conceito de uma arquitetura híbrida, que mescla os dois padrões previamente mencionados, com determinada vantagem e propósito.

¹ Pós-graduando na disciplina de Arquitetura de Computadores da Universidade Estadual Paulista – Júlio de Mesquita Filho; e-mail: femoliver@hotmail.com

Por fim, análises de performance, comparações, vantagens e desvantagens procurarão distinguir as arquiteturas, identificando suas melhores aplicações de acordo com seu desempenho e comportamento.

HARD DISK: OS DISCOS MAGNÉTICOS

Por um longo intervalo de tempo, o *hard disk* foi o principal meio de armazenamento secundário dos computadores. Em seu interior, tem-se um conjunto mecânico responsável pelo abrigo dos dados, formado por componentes importantes conhecidos como prato, trilha, setor e preâmbulo.

Define-se como prato cada disco de alumínio magnetizado de sua estrutura, cujo o qual sempre estará presente combinado a mais de uma unidade. Estes discos trabalham sobre movimento rotacional, com frequências que podem alcançar 5400, 7200, 10000 ou até 15000 rotações por minuto.



Figura 1 – Imagem aproximada dos pratos de um *hard disk*.

Na figura 1 pode-se observar o arranjo dos pratos. Sobre cada um, temos a cabeça: Dispositivo responsável por escrever e ler os dados. Estas cabeças encontram-se sobre uma espécie de colchão de ar, onde, por indução, uma corrente elétrica possibilita a leitura dos bits armazenados.

Estando os pratos em movimento rotacional, os bits são escritos em uma sequência circular em torno de seu eixo/haste. Quando esta sequência é escrita durante uma rotação completa do prato, tem-se o que é conhecido por trilha.

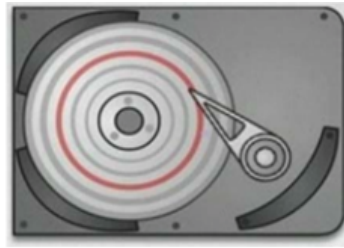


Figura 2 – Trilha de bits escrita durante a rotação completa de um prato.

Para fins de estudo, cada trilha formada pode ser dividida em partes mínimas, que geralmente abrigam 512 bytes de dados. Estas divisões são denominadas setores, cujo são precedidos pelo preâmbulo, possibilitando assim a leitura ou escrita de dados uma vez em sincronia com a cabeça. A área destacada em azul na Figura 3 demonstra o conceito de setor.

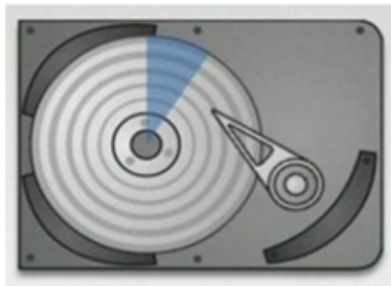


Figura 3 – Em destaque azul o conceito de setor.

Os dados escritos sobre uma trilha não se encontram organizados de forma exclusiva e sequencial na mesma. Há entre eles códigos de correção de erros e, adicionalmente, lacunas intersetoriais.

O desempenho de um *hard disk* é diretamente afetado pela latência na busca pela informação. Uma das principais latências é conhecida como rotacional, e é provocada pelo atraso no tempo de o setor desejado entrar em sincronia com o cabeçote. Além disso, há atrasos na busca pela informação, na meia rotação do prato para que entre em sincronia com o cabeçote e também na transferência de dados entre cabeçote e setor.

Nem só de pratos se compõe um disco rígido. Para que tudo isso funcione como o esperado, faz-se necessária a presença de uma unidade de processamento e controle presente no interior deste *drive*, o controlador de disco. Os controladores operam funções de leitura, escrita, movimentação do braço do cabeçote, formatação de preâmbulos, correção de erros, operam como buffer armazenando informações que possam ser utilizadas futuramente, dentre outras funções.

SSD: UM NOVO CONCEITO DE MEMÓRIA SECUNDÁRIA.

Com tudo o que foi informado até o momento, observa-se que um dos grandes desafios a ser superado pelos discos magnéticos é a latência na busca de informações.

Os discos de estado sólido (SSD) se diferenciam justamente neste ponto, tendo uma velocidade de resposta muito maior se comparada à tradicional arquitetura dos *hard disks*, como menciona Rino Micheloni e Kam Eshghi no livro *Inside Solid State Drives (SSDs)*:

Client applications are also in need of an alternative to electromechanical disk drives that can deliver faster response times, use less power, and fit in smaller mobile form factors (K. Eshghi and R. Micheloni, *Inside Solid State Drives (SSDs)*, 2012, p. 19-20).

Uma das principais razões para este ganho de velocidade de resposta está aplicada ao fato dos SSDs não possuírem uma arquitetura mecânica. Uma vez não havendo discos em altas rotações e sequer cabeçotes em movimento, o acesso aos dados pelos meios digitais certamente será muito mais performático.

Baseado no conceito de memórias voláteis, onde a informação não é perdida ao se desenergizar o circuito, o SSD utiliza de um banco de portas lógicas do tipo NAND para armazenar os dados, como visto na Figura 4.

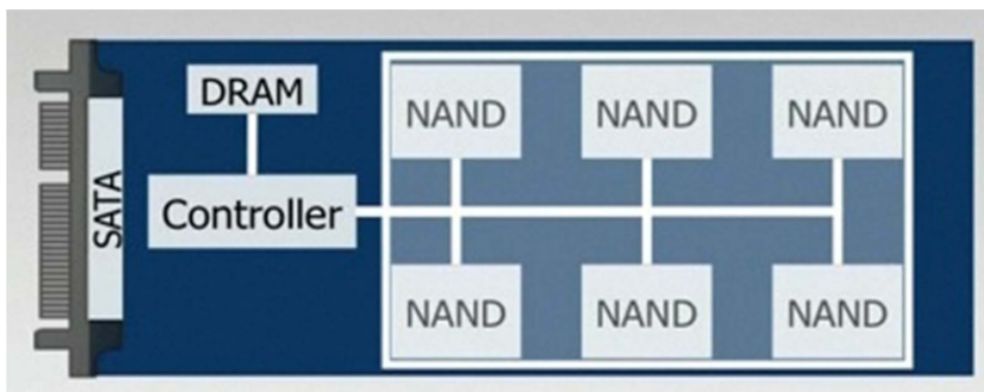


Figura 4: Estrutura interna de um disco de estado sólido.

Ainda na Figura 4, temos representado à esquerda uma interface de fluxo de dados do tipo Serial ATA, podendo esta atingir taxas de transferência de até 6 *gigabits* por segundo.

Adicionalmente, a arquitetura de um disco de estado sólido conta com uma memória do tipo DRAM (do inglês *Dynamic Random Access Memory*), que cumpre a função de *cache* de dados. A DRAM é capaz de armazenar temporariamente *bits* que futuramente possam ser entregues aos bancos de portas NANDs.

Logo após ao fluxo de dados da memória DRAM, nota-se a presença de um controlador de memória, que realiza principalmente duas funções:

- 1) Proporciona o caminho mais apropriado para o fluxo de dados entre as memórias *flash* e a interface de comunicação, bem como o protocolo para este transporte.
- 2) Maximiza a velocidade de transferência de dados, de forma também a garantir a consistência dos mesmos.

O CONTROLADOR DE MEMÓRIA

Como mencionado acima, o controlador de memória opera algumas funções cruciais no bom desempenho do SSD. Para que isso aconteça, faz necessário a presença de certos componentes em sua arquitetura, componentes estes que estão representados na Figura 5.

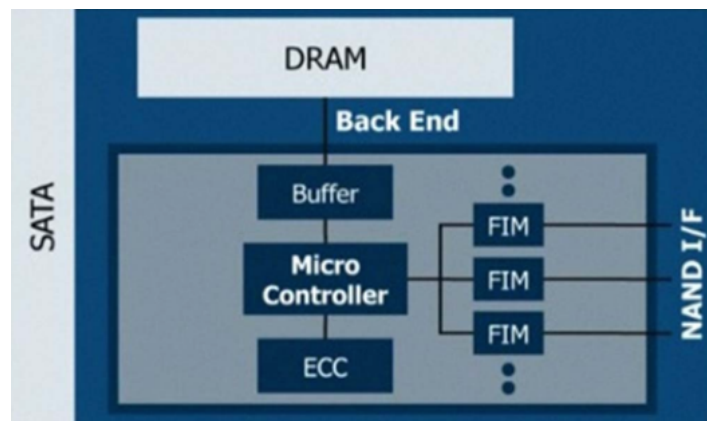


Figura 5: Estrutura interna do componente controlador de memória.

Os módulos de interface *flash*, ou “FIM”, são responsáveis por mapear os setores do banco de NANDs, transformando endereços lógicos que chegam na interface em endereços físicos. Para este fim, o componente faz uso de uma tabela de endereços, ou até mesmo de ponteiros.

Um micro controlador fica encarregado de capturar os dados de entrada e distribuir entre os canais de memória, além de poder atuar também no sentido inverso. Adicionalmente, o banco de NANDs é mapeado para garantir que tudo esteja em seu devido lugar.

Assim como a DRAM externa, o controlador de memória possui um *buffer* para

garantir o armazenamento temporário e pronto-acesso às informações pelo micro controlador. O tipo de memória que compõe este *buffer* também é o DRAM, cujo o qual é capaz de oferecer um baixo nível de latência.

Por fim temos o ECC (*Error Correction Code*), que atua diretamente na correção de erros a partir de propriedades de detecção. Como exemplo temos os algoritmos de *Reed-Salomon* e BCH.

O BANCO DE MEMÓRIAS NANDs

As portas lógicas NANDs do interior do SSD estão dispostas em barramentos paralelos, formando o que é conhecido como canais, ou banco de memórias. A disposição destes dispositivos pode assumir dois padrões estudados atualmente, o MLC (do inglês *Multi Level Cell*) ou o SLC (do inglês *Single Level Cell*).

O MLC representa uma arquitetura multicamadas, onde mais portas são arranjadas para assim obter uma maior densidade de armazenamento e também um ganho na performance de escrita/leitura.

O ganho de performance, entre outros fatores, pode estar associado ao fato do arranjo multi nível conseguir aplicar o princípio de *pipeline*. Durante a fase de carregamento de dados, o uso de canais é maximizado com a técnica de endereçar os *bits* em diferentes *chips* simultaneamente. A Figura 6 demonstra a lógica deste processo.

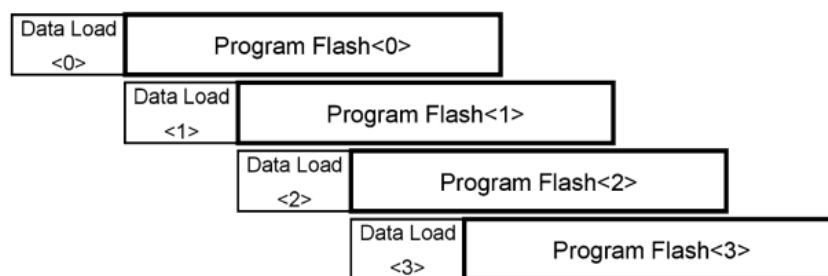


Figura 6: Conceito de *pipeline* no múltiplo endereçamento de dados em *chips* NANDs.

Na arquitetura do tipo SLC este múltiplo endereçamento não ocorre, uma vez que as memórias são desenhadas em um único nível lógico. Este padrão torna o sistema ligeiramente menos performático, outrora pode ser mais confiável em certos tipos de aplicações.

ARQUITETURA HÍBRIDA

Unindo os conceitos de discos de estado sólido e discos magnéticos, estas

duas tecnologias podem ser aliadas para se conseguir uma performance um pouco melhor se comparada aos tradicionais magnéticos.

Trata-se de um único dispositivo de armazenamento, onde em seu interior é encontrado discos magnéticos em conjunto aos velozes SSDs, como mostrado na Figura 7. Esta é uma opção a ser considerada para demandas que exigem um desempenho melhor, já que possui uma relação custo/benefício favorável ao *upgrade*.



Figura 7: Ilustração de um disco híbrido.

O próprio *firmware* do dispositivo seleciona o que ocupa o SSD, e o que é direcionado ao HDD. Estas técnicas de ocupação podem ser realizadas seguindo diversos algoritmos. Aqui será apresentado o *Dynamic Storage Tiering* (DST), ou hierarquização de armazenamento dinâmico.

O DST pode assumir duas formas de operação, seja a *Hot-DST* ou a *Cold-DST*. Na primeira, os dados do dispositivo de armazenamento inicialmente são alocados no disco magnético (HDD), posteriormente migram para o SSD os dados considerados mais relevantes, ou “quentes”, daí o nome *Hot*. Este processo de migração pode ocorrer por demanda ou em intervalos de tempo pré-definidos pelo *firmware*.

Já na técnica do algoritmo *Cold-DST*, todos os dados são inicialmente alocados no SSD e, em um segundo momento, os menos utilizados ou menos relevantes, são transferidos ao disco magnético.

Ambas as técnicas visam manter no componente mais rápido os dados mais relevantes de determinada operação, diminuindo assim a latência na escrita ou leitura das informações.

DESEMPENHO DOS MODELOS

A partir de todas as descrições de cada arquitetura neste artigo, nota-se uma certa vantagem ao disco de estado sólido, seja no quesito velocidade ou nos demais que a partir daqui serão apresentados.

Por não possuir mecanismos internos para a movimentação de cabeçote, braço de cabeçote, pratos e afins, o SSD torna-se superior. Esta ausência faz com que os discos baseados em memória *flash* tenham maior performance na leitura e na escrita de dados.

Adicionalmente, como não há discos sobre altíssimas rotações, o calor liberado pela atividade do dispositivo é menor e, conseqüentemente, seu consumo de energia torna-se consideravelmente inferior.

Este baixo consumo de energia é primordial na escolha deste tipo de arquitetura em dispositivos móveis, como *notebooks*. Cada vez mais, montadoras estão preocupadas em inserir esta tecnologia no mercado, tendo em vista que eficiência energética é um ponto decisivo na aquisição de *gadgets*.

A Figura 8 traz a representação gráfica dos resultados de comparação entre as arquiteturas de discos de estado sólido e discos magnéticos. O experimento foi feito com base em 10000 leituras e escritas não sequenciais de uma porção de 4KB de dados.

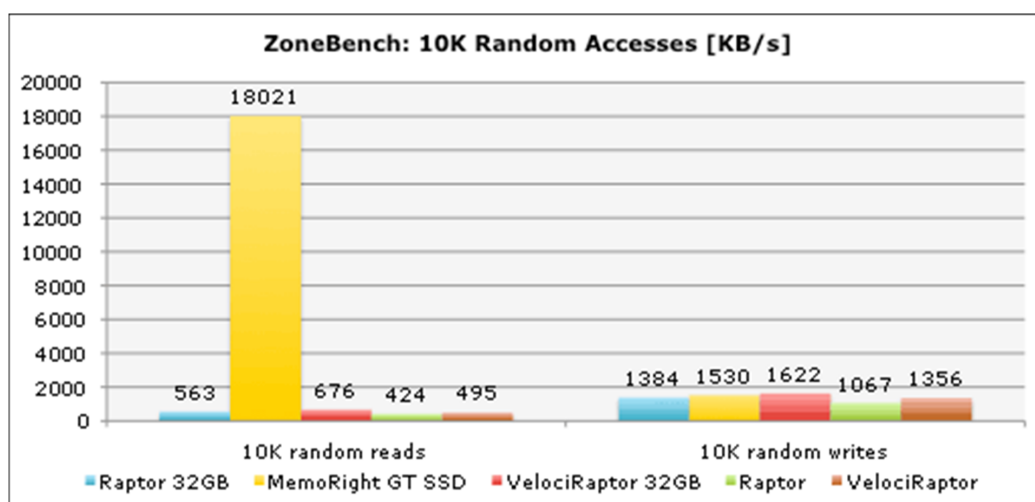


Figura 8: Gráfico demonstrativo de performance de diferentes dispositivos de armazenamento.

Como bem representado, nota-se uma superioridade bastante significativa na taxa de transferência de dados quando um dispositivo SSD modelo *MemoRight GT* está lendo a porção.

Por outro lado, quando a configuração é voltada para escrita, os ganhos são

mínimos e até mesmo podem ser menores do que um disco magnético tradicional. Como é o caso do SSD modelo *MemoRight* GT, que obteve uma taxa de transferência de 1530 KB/s contra o superior *VelociRaptor*, hdd, alcançados 1622 KB/s.

Este alto ganho em operações de leitura/escrita faz com que os discos de estado sólido sejam cobiçados para aumentar o desempenho da máquina. O que não pode ser dito é que o SSD aumenta o poder de processamento, pois este continua o mesmo. O que acontece é que ele supre a demanda de acesso ao meio, tornando a busca de informações bem mais rápidas e, assim, diminuindo o gargalo tecnológico de velocidade de acesso.

CONCLUSÃO

Por tudo que foi exposto neste artigo, pode-se concluir que a arquitetura de armazenamento em SSD é bastante vantajosa.

Este novo padrão fornece uma alta performance em operações de leitura e escrita, suprimindo o gargalo tecnológico que existe entre a velocidade de operação do processador e a velocidade de manipulação de dados na memória secundária.

Pelo fato de não haver uma estrutura mecânica complexa em seu interior, os SSDs se tornam dispositivos de baixa latência, silenciosos, resistentes a choques físicos e menos consumistas de energia.

Por outro lado, a relação de custo por unidade de armazenamento ainda é bem alta nos dias de hoje, o que não torna esta tecnologia algo tão popular. Além disso, a vida útil de unidades de estado sólido tende a ser menor se comparados aos discos magnéticos, pelo fato de ser definida por ciclos de leitura/escrita.

Logo, dentre vantagens e desvantagens, este novo padrão consiste em ser viável pela sua alta performance, e a relação de custo-benefício pode ser superada com o uso de arquiteturas híbridas.

REFERÊNCIAS

TANENBAUM, A. S. MOOLENBROEK, D. C. APPUSWAMY, R. **Integrating Flash-based SSD into the Storage Stack**. Disponível em: <<http://www.cs.vu.nl/~dcvmoole/docs/MSST2012.pdf>>. Acesso em: 28 maio 2015.

TANENBAUM, Andrew S. **Organização estruturada de computadores**. 5. ed. São Paulo: Ed. Pearson Education do Brasil: Prentice Hall, 2007.

THIEROLF, T. URIARTE, J. **Solid State Drive Architecture**, A comparison and evaluation of data storage mediums. Disponível em: <<http://meseec.ce.rit.edu/551-projects/fall2010/1-4.pdf>>. Acesso em: 26 maio 2015.