

ESTUDO DE DIFERENTES TECNOLOGIAS DE MEMÓRIAS PARA USO EM SISTEMAS EMBARCADOS

TÚLIO BARBOSA¹; LEOMAR ROSA JR.¹, JÚLIO C. B. MATTOS¹

*¹Grupo de Arquiteturas e Circuitos Integrados - GACI
Curso de Engenharia de Computação – CDTec - UFPel
{tidsbarbosa, leomarjr, julius}@inf.ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

O uso da tecnologia digital tem sido cada vez maior interagindo com os mais diversos equipamentos para auxílio das atividades do cotidiano. Estes aparelhos tem se feito presente nos momentos de lazer e trabalho das pessoas, seja na escola, escritório, casa ou até mesmo no traslado entre estes locais, dificilmente não há algum dispositivo eletrônico que faça parte da rotina das pessoas.

Juntamente com esse crescimento tecnológico, houve o crescimento do uso dos sistemas computacionais. Quando estes sistemas fazem parte de um projeto maior, diz-se que este sistema é um sistema embarcado. Estes, atendem à tarefas específicas de sistemas maiores, são dedicados e possuem uma funcionalidade restrita (MARWEDEL, 2006). Podemos citar como exemplos de sistemas embarcados os seguintes equipamentos: computadores de bordo automotivos; smartphones; sistemas de controle de acesso biométrico; impressoras; equipamentos de rede e sistemas de monitoramento médico.

Tanto sistemas embarcados como computadores desktop são sistemas computacionais. A principal diferença entre eles é escopo de atuação. Os computadores desktops são de propósito geral, já os sistemas embarcados realizam tarefas pré-determinadas. Os sistemas restritos a tarefas específicas, executam funções dedicadas, muitas vezes com restrições de computação em tempo real. Em suma, enquanto o computador é feito para realizar uma vasta gama de aplicações, os sistemas embarcados controlam vários dispositivos (GAJSKI, ABDI, GERSTLAUER, & SCHIRNER, 2009).

As características dos sistemas embarcados implicam certas restrições nos projetos destes sistemas. Pelo fato dos sistemas embarcados serem parte de um projeto maior, terem restrições de tamanho, tempo de resposta, desempenho, entre outros, as características não-funcionais também adquirem grande importância no projeto. Assim sendo, o projeto de sistemas embarcados deve lidar com suas questões funcionais, problemas relacionados à tecnologia e com requisitos não funcionais, como desempenho, custo, consumo de energia, tamanho físico e peso (WOLF, 2001).

Segundo Wolf (WOLF & KANDEMIR, 2003) um dos principais fatores do desempenho e consumo energético é o sistema de memória, tendo maior impacto nos sistemas que utilizam bateria. Dada a restrições nos projetos de sistemas embarcados, há uma importância muito grande nas escolhas das tecnologias de memória utilizada. Desta forma, este artigo realiza um estudo das principais tecnologias de memória e suas características com objetivo de no futuro analisar o impacto destas em arquiteturas embarcadas.

2. METODOLOGIA

Todos os sistemas computacionais atualmente apresentam o uso intensivo de memória. No modelo von Neumann, utilizado inclusive nos dias de hoje, dados e instruções são armazenados em memória, assim os programadores necessitam de uma quantidade ilimitada de memória. A solução para isso foi o uso de conceito de hierarquia de memória, onde utiliza-se o princípio da localidade aliado custo/desempenho de diferentes tecnologia de memória.

A Figura 1 apresenta um modelo simplificado de hierarquia de memória onde a hierarquia é organizada em diferentes níveis onde as memórias mais rápidas, menores em tamanho e mais caras estão mais próximas do processador (FINK, 2014b).

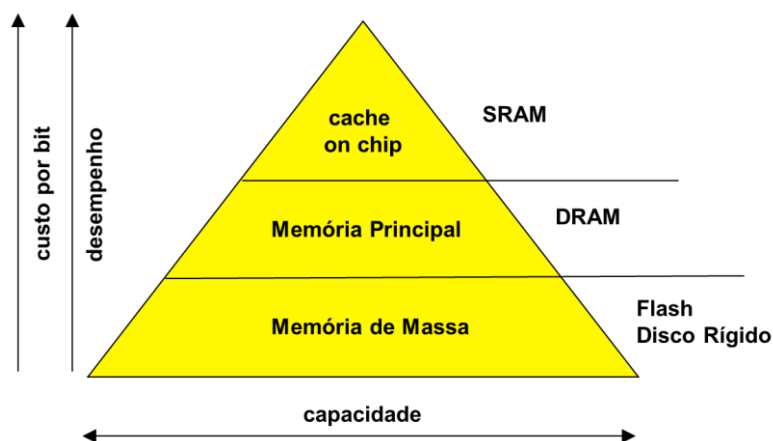


Figura 1: Modelo de Hierarquia de Memória Simplificado.

Esta hierarquia consiste em três níveis:

- **SRAM (Statically RAM):** estas memórias são utilizadas para memória cache on-chip e cada bit é armazenado, normalmente, em uma rede de seis transistores. Estas memórias devem possuir um grande desempenho pois trabalham a frequência do processador e como problemas apresentam a ocupação de uma grande área e de operação em baixas voltagens e altas frequências (sendo caras para fabricação);
- **DRAM (Dynamic RAM):** são memórias utilizadas como memória principal nos computadores atuais e armazenam a informação como uma carga elétrica em um capacitor. Entre os problemas estão a necessidade de refresh do capacitor (devido a descarga deste) e perda de tempo devido esta operação. Além disso, as memórias DRAM não possuem boa escalabilidade para novas tecnologias;
- **Memória não-voláteis:** diferentemente da SRAM e DRAM, as tecnologias de memória flash e disco rígido são não-voláteis (mantem o dado armazenado) independente da alimentação do circuito porém são memórias muito lentas. As memórias flash são populares como dispositivos de armazenamento de massa e são bem mais rápidas que discos rígidos porém bem mais lentas que memória DRAM. Além disso, memória flash devem ler e escrever grandes blocos de memória e também apresentam limite de escritas. Os discos rígidos são os dispositivos que são lentos e energeticamente ineficientes.

Apesar de muito utilizadas no mercado atual, as memória SRAM, DRAM (mesmo nas suas evoluções como EDO RAM, BEDO RAM e nas atuais Synchronous DRAM) e Memórias Flash apresentam problemas tecnológicos para a demanda e crescimento da indústria de microeletrônica (MUTLU, 2014). As tecnologias Flash de DRAM possuem problemas de “*scaling*”.

Algumas tecnologias emergentes são mais escaláveis. Algumas destas tecnologias são as seguintes: phase-change memory (PCM) (LEE, 2009), spin-transfer torque magnetoresistive RAM (STT-RAM) (CHEN, 2010) and resistive RAM (RRAM). Estas tecnologias são superiores as tecnologias Flash e DRAM, como exemplo, a PCM é superior em relação a DRAM nos seguintes fatores (MUTLU, 2014):

- Possui uma capacidade de integração (*scaling*) muito maior em tecnologias menores;
- É não volátil e não necessita o mecanismo de refresh;
- Possui um baixo consumo em *idle*;

Contudo a phase-change memory (PCM) possui algumas deficiências em relação a memória DRAM:

- Maior latência de leitura e consumo de energia de escrita;
- Limite de escritas (*endurance*).

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Estas tecnologias emergentes necessitam de pesquisa em todos os níveis de hierarquia para verificar se podem substituir a memória DRAM, Flash ou até mesmo o disco rígido. A Tabela 1 (adaptada de FINK, 2014a) apresenta um conjunto de características das tecnologias PCM e SST-RAM em comparação as tecnologias atuais como DRAM, Flash e Disco Rígido.

Com apresentado na Tabela 1, estas memória possuem vantagens em relação as tecnologias atuais porém também possuem desvantagens. O tempo de escrita de uma memória PCM é bem maior do que uma DRAM, porém em comparação ao uma SST a diferença não é grande. Já em termos energéticos a SST apresenta um consumo menor que a DRAM.

Tabela 1: Comparação de Tecnologias de Memória.

	PCM	SST-TAM	DRAM	Flash	HD
Área do chip (F ²)	8-16	14-64	6-8	4-8	N/D
Energia por bit (pJ) ²	2-100	0,1-1	2-4	10 ¹ -10 ⁴	10 ⁶ -10 ⁷
Tempo de leitura (ns)	20-70	10-30	10-50	25.000	5-8x10 ⁶
Tempo de escrita (ns)	50-500	13-95	10-50	200.000	5-8x10 ⁶
Retenção da informação	< 10 anos	Semanas	< segundo	~10 anos	~10 anos
Endurance (ciclos)	10 ⁷ -10 ⁸	10 ¹⁵	> 10 ¹⁷	10 ³ -10 ⁶	10 ¹⁵ ?
Volátil	Não	Não	Sim	Não	Não

* Adaptado de (FINK, 2014a).

Estes dados serão utilizados para a caracterização de aplicações embarcadas com diferentes tecnologias e inclusive composto de hierarquia de memórias híbridas.

4. CONCLUSÕES

Como abordado anteriormente, há diversos fatores que influenciam nos projetos de sistemas embarcados como o elevado impacto da memória nos sistemas embarcados. Esta implicação tornou viável a pesquisa do impacto das diferentes tecnologias de memória. Desta forma, este artigo apresentou os principais problemas relativos às tecnologias atuais e também apresentou novas tecnologias que estão sendo pesquisadas. Estas tecnologias devem ser analisadas do ponto de vista dos sistemas embarcados.

Como trabalhos futuros, pretende-se a partir da caracterização destas novas tecnologias utilizar estes dados de memória em benchmarks embarcados para obter dados como desempenho e consumo de energia.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHEN, E. et al., "Advances and future prospects of spin-transfer torque random access memory," **IEEE Transactions on Magnetics**, vol. 46, no. 6, 2010.

FINK, Martin. **Beyond DRAM and Flash**. HP Next, Agosto, 2014. Acesso em Julho, 2015. <http://www8.hp.com/hpnext/posts/beyond-dram-and-flash-part-2-new-memory-technology-data-deluge>

FINK, Martin. **The End of a Necessary Evil: Collapsing the Memory Hierarchy**. HP Next, Julho, 2014. Acesso em Julho, 2015. <http://www8.hp.com/hpnext/posts/end-necessary-evil-collapsing-memory-hierarchy>

GAJSKI, D., ABDI, S., GERSTLAUER, A., SCHIRNER, G. **Embedded System Design: modeling, synthesis and verification**. Springer, 2009.

LEE, B. C. et al., "Architecting phase change memory as a scalable DRAM alternative," in **ISCA**, 2009.

MARWEDEL, P. **Embedded Systems Design**. Dordrecht, The Netherlands: Springer, 2006.

MUTLU, Onur, SUBRAMANIAN, Lavanya. **Research Problems and Opportunities in Memory Systems**. Supercomputing Frontiers and Innovations. Vol. 1, No. 3, 2014.

WOLF W., Kandemir, M. Memory System Optimization of Embedded Software. **Proceedings of the IEEE**, pp. 165-182, 2003.

WOLF, W. **Computers As Components: Principles of Embedded Computing System Design**. San Francisco: Morgan Kaufmann, 2001.