

ESTUDO DO ACESSO À MEMÓRIA EM PROCESSADORES EMBARCADOS

LISANDRO LUIZ DA SILVA¹; LIZANDRO OLIVEIRA²; LISANE BRISOLARA³,
JÚLIO C. B. MATTOS³

¹*Universidade Federal de Pelotas, Curso de Engenharia de Computação –
lldsilva@inf.ufpel.edu.br*

²*Universidade Federal de Pelotas, Programa de Pós-Graduação em Computação –
lsoliveira@inf.ufpel.edu.br*

³*Universidade Federal de Pelotas, Centro de Desenvolvimento Tecnológico –
{lisane, julius}@inf.ufpel.edu.br*

1. INTRODUÇÃO

Com o passar do tempo o crescimento tecnológico tem se mostrado cada vez mais abrangente em diversas áreas distintas, como em telecomunicações, meios de transporte, eletrônica de consumo, equipamentos médicos, entretenimento, entre outras. Este desenvolvimento trouxe consigo um grande uso de sistemas computacionais, nos quais facilitam o cotidiano da sociedade. Como exemplo, tem-se o avanço dos aparelhos celulares, os quais acabam se tornando cada vez mais complexos, possuindo diversas outras funcionalidades se comparado com aparelhos celulares de poucos anos atrás. Houve um aumento significativo na venda de celulares nos últimos anos. Tal fato se justifica pela convergência de diversas funcionalidades em um único aparelho. Os primeiros aparelhos telefônicos móveis tinham função somente de realizar ligações telefônicas. Com o passar do tempo, estes aparelhos foram ganhando mais funcionalidades como, por exemplo, a inserção de câmera digital, MP3 *player*, e principalmente o acesso à internet. Os sistemas computacionais quando utilizados em sistemas ainda mais complexos, são chamados de sistemas embarcados (MARWEDEL, 2006).

A diferença entre um computador de uso geral para um sistema embarcado é que, um sistema embarcado realiza um conjunto de tarefas predefinidas, geralmente com requisitos específicos. Já que o sistema é dedicado a tarefas específicas, também são projetados para executar funções dedicadas muitas vezes com restrições de computação em tempo real, ou seja, enquanto um computador de uso geral é concebido para ser flexível e para executar uma vasta gama de aplicações, sistemas embarcados são utilizados para controlar vários dispositivos (GAJSKI et al., 2009), tal que mais de 13 bilhões processadores embarcados foram vendidos em 2013.

Um sistema embarcado é um dispositivo no qual um sistema computacional é completamente encapsulado ou dedicado ao dispositivo ou equipamento que ele controla. Possui uma funcionalidade restrita para atender uma tarefa específica em sistemas maiores nos quais estão inseridos (MARWEDEL, 2006). Atualmente, as aplicações destes sistemas tornam-se cada vez mais complexas, contudo mesmo com o aumento da capacidade dos sistemas digitais modernos, o tempo para comercialização (*time-to-market*) torna-se cada vez menor.

Estes sistemas caracterizam-se por apresentar muitas restrições e requisitos. De um modo geral a descrição dos requisitos funcionais não é suficiente para o projeto de um sistema embarcado, devendo ser considerados também requisitos não-funcionais, tais como desempenho, custo, consumo de energia, tamanho físico

e peso (WOLF, 2001). Estas e outras características têm um forte impacto, tanto no projeto do *hardware* como no projeto do *software*.

Em um sistema de computador moderno o gargalo dominante na obtenção do alto desempenho e da eficiência energética é a distância tecnológica entre o desempenho do processador e o da memória tradicional, como apresentado na figura 1.

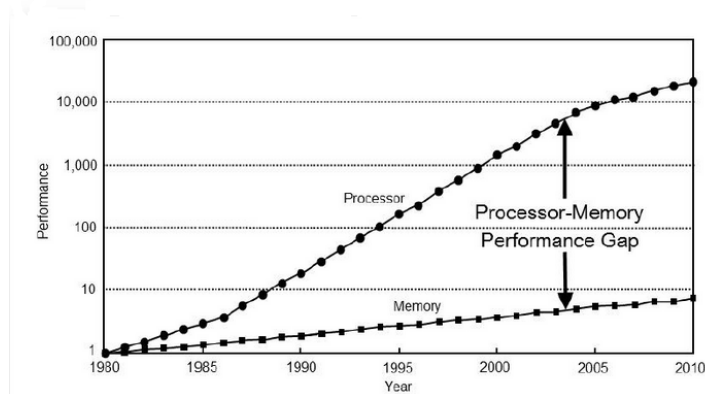


Figura 1: Gap de desempenho existente entre Memória e Processador (HENNESSY et. al, 2011)

Com o crescimento da complexidade, os sistemas embarcados necessitam de processadores de alto desempenho e com o mesmo gap de memória/processador dos sistemas de propósito geral. Esta distância torna-se ainda mais significativa em sistemas embarcados. Segundo WOLF (2003), o sistema de memória é o principal fator de desempenho e consumo de energia, especialmente nos sistemas embarcados que utilizam bateria. Como dito anteriormente, o projeto de sistemas embarcados apresenta muitas restrições e requisitos rígidos. Sendo assim, os projetistas possuem limitações em suas decisões, por causa desses requisitos não-funcionais extras, os quais não podem considerar só o desempenho, mas também o consumo de energia.

O objetivo deste trabalho é a investigação do acesso à memória em processadores embarcados através do estudo de processadores embarcados principalmente no que se refere à arquitetura da memória e análise dos acessos à memória realizados e o impacto dos acessos à memória no consumo e desempenho de *softwares* embarcados executando em diferentes arquiteturas de processadores.

2. METODOLOGIA

Com a alta contribuição da energia gasta para o acesso à memória no consumo total da mesma em sistemas embarcados, a arquitetura de memória possui uma forte influência sobre os objetivos do projeto em sistema embarcados, como citado anteriormente. As memórias caches são normalmente utilizadas para melhorar o desempenho e consumo de energia, fazendo uma ligação entre a velocidade e o consumo de energia da memória principal da CPU. Entretanto, o desempenho total do sistema e o consumo de energia são severamente relacionados com o tempo de acesso à memória e o consumo de energia média, o que faz com que a arquitetura de uma memória cache seja uma grande

preocupação em projetos de processadores embarcados. Portanto, o projetista do sistema precisa realizar uma exploração do espaço de projeto abrangente para a arquitetura de memória.

Na literatura existe um leque muito grande de diversos tipos de otimizações de memória, as mesmas estão focadas não só em *hardware* ou *software*, mas podem ser uma combinação das duas abordagens, *hardware* e *software* (PANDA et. al, 2001). No *hardware*, são citados exemplos de técnicas arquiteturais. Muitos trabalhos possuem como o objetivo o melhoramento do consumo energético de memórias cache, entretanto, outros trabalhos visam o melhoramento de outras características do sistema, como a arquitetura ou as tecnologias envolvidas como os trabalhos de WONG (2004) e HUANG (2011). Em *hardware* foram classificadas abordagens de otimização como, técnicas de exploração, separação da memória, extensão da hierarquia de memória.

As otimizações de *software* possuem diferentes vantagens para os dispositivos embarcados, essas otimizações possuem técnicas como fusão e permutação de loop podem melhorar a dependências de dados entre as instruções, como por exemplo o trabalho de WOLF e KANDEMIR (2003).

Existem também os projetos de *hardware* e *software*, que buscam muitas vezes, a otimização para uma determinada aplicação com o objetivo de reduzir o consumo energético, podemos citar o trabalho de PANDA et. al (2001).

Após o estudo e revisão bibliográfica do problema, a metodologia do trabalho se baseia em: seleção de ferramentas/programas necessários para análise do código de aplicações de forma a identificar o comportamento de benchmarks em relação ao acesso a memória e seleção de um conjunto de *benchmarks* e arquiteturas de processadores para execução nas ferramentas selecionadas com vistas a observação do acesso de memória nos diferentes processadores embarcados e possíveis gastos energéticos.

Desta forma, pretende-se realizar uma análise do impacto dos acessos à memória no consumo e desempenho de *softwares* embarcados executando em diferentes arquiteturas de processadores.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados são parciais, visto que o desenvolvimento do trabalho está em fase inicial. Estão sendo vistos os possíveis *benchmarks* para a realização do projeto juntamente com algumas ferramentas, como por exemplo, a utilização das ferramentas Simics (VIRTUTECH, 2013) e o pacote profissional de produtos Imperas (IMPERAS, 2013) para a geração do *trace* de instruções dos *benchmarks* analisados, além da ferramenta analítica CACTI (HP, 2013) para a modelagem de memórias cache.

4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou um estudo do acesso à memória em processadores embarcados. Assim observou-se a importância da memória em um dispositivo embarcado que é um dos principais fatores que influenciam o desempenho e o gasto energético em sistemas embarcados. Foram estudadas diversas técnicas de otimização de memória na literatura para os sistemas embarcados e atualmente o trabalho encontra-se na fase de seleção de *benchmarks* e ferramentas para análise destes.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

GAJSKI D.D, ABDI S, GERSTLAUER A, SCHIRNER G, "**Embedded system design, modeling, synthesis and verification**", springer 2009.

HENNESSY, J., PATTERSON, D. **Computer Architecture: a quantitative approach**. New York: Morgan Kaufmann, 2011.

HP. **CACTI**. Acessado em 26 jul. 2014. Online. Disponível em <http://www.hpl.hp.com/research/cacti>

IMPERAS. **DEV – Virtual Platform Development and Simulation**. Acessado em 26 jul. 2014. Online. Disponível em: <http://www.imperas.com/dev-virtual-platform-development-and-simulation>

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

PANDA, P. R., CATHOOR, F N., DUTT, D., DANCKAERT, K.,. BROCKMEYER, E., KULKARNI, C., VANDERCAPPELLE, A. AND P. G. KJELDSBERG, "**Data and memory optimization techniques for embedded systems**," pp. 149-206, April 2001.

VIRTUTECH. **Wind River Simics – Product Note**. Acessado em 26 jul. 2014. Online. Disponível em: <http://www.windriver.com/products/simics>

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.

Y. HUANG, T. LIU and C. J. XUE, "**Register Allocation for Write Activity Minimization**", 16th ASP-DAC, pp. 129 - 134, 2011.

Z. GE, H. B. LIM and W. F. WONG, "Memory Hierarchy Hardware-Software Co-design," **Journal of Computer Science**, pp. 1-9, 2004.