

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

COMPARAÇÃO DE DESEMPENHO E EFICIÊNCIA ENERGÉTICA ENTRE MPSOC DE BAIXO CONSUMO E UM COMPUTADOR PESSOAL¹

**Ricardo Klein Lorenzoni², Edson Luiz Padoin³, Philippe Olivier Alexandre Navaux⁴,
Marlon Vinícius Machado⁵, Manuel Osório Binelo⁶.**

¹ estudo desenvolvido na UNIJUI sendo parcialmente financiado pelo projeto HPC4E

² Bolsista do programa Strictu Sensu em Modelagem Matemática - UNIJUI. E-mail: ricardo.lorenzoni@unijui.edu.br

³ Professor Orientador do Departamento de Ciências Exatas e Engenharias - UNIJUI. E-mail: padoin@unijui.edu.br

⁴ Professor do Instituto de Informática - UFRGS. E-mail: navaux@inf.ufrgs.br

⁵ Professor da UNIJUI, Mestre em Modelagem Matemática pela UNIJUI. E-mail: marlon.vinicius@unijui.edu.br

⁶ Professor do Programa de Pós-graduação em Modelagem Matemática - UNIJUI. E-mail: manuel.binelo@unijui.edu.br

INTRODUÇÃO E ESTADO DA ARTE

O desenvolvimento tecnológico sempre esteve muito ligado às necessidades da indústria. Na era da informação, uma das indústrias que mais se desenvolve, é a indústria da tecnologia da informação (TI). O constante crescimento do volume de dados a serem processados pelas grandes empresas de TI, gerou a necessidade por computadores com maior poder de processamento. Com isso, a indústria de processadores evoluiu, desenvolvendo processadores e computadores com cada vez mais desempenho, porém, este desenvolvimento teve como consequência o aumento do consumo de energia por estes equipamentos (Reis, Rostirolla, & Righi, 2016)

O consumo de energia é uma das principais preocupações para a concepção de sistemas exascale (exaFLOPS - Quintilhão de operações de ponto flutuante por segundo). Em resposta, pesquisadores precisam encontrar alternativas para reduzir o consumo de energia, sem reduzir a velocidade de processamento (Padoin et al. 2014).

Em decorrência disto, encontrar alternativas para aumentar a eficiência energética dos sistemas computacionais é um dos principais desafios para os pesquisadores e para a comunidade da computação de alto desempenho (Domenico & Lima, 2016). Estes têm por meta alcançar um nível de eficiência energética de 50 GFLOPS/Watt, que é o nível de eficiência energética definido por especialistas como aceitável para supercomputadores.

Iniciativas recentes consideram velocidade e consumo de energia para ranquear supercomputadores. A lista Green500, normaliza a velocidade de processamento pelo consumo de energia (FLOPS/W) (Padoin et al. 2014). De acordo com a lista Green500 de novembro de 2015, Shoubu, o supercomputador com melhor eficiência energética da época, atingia um índice de eficiência de 7,03 GFLOPS/W. Já Tianhe-2, supercomputador com maior capacidade de processamento da época, possui uma eficiência energética de 3,38 GFLOPS/W ficando na 17^a posição na classificação do ranking. Desta forma, utilizando o Tianhe-2 como referencia, é necessário melhorar a eficiência energética em 14,7 vezes para atingir a recomendação (Padoin et al. 2014).

Na busca pela melhoria da eficiência energética, uma das abordagens mais comuns, é o uso de processadores de baixo consumo, tais como os processadores da linha ARM com a micro-

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

arquitetura Cortex. Corroborando com esta ideia, (Domenico & Lima, 2016) afirmam que "O uso de processadores ARM em HPC (High Performance Computing) vem crescendo, pois eles comprovadamente consomem muito menos que os processadores convencionais". Segundo (Padoin et al. 2014) estes processadores são desenvolvidos respeitando as limitações de consumo de energia para melhorar a vida da bateria de dispositivos autônomos, tais como smartphones e tablets.

"o Projecto Mont-Blanc (PROJECT.EU, 2015) é um dos primeiros a introduzir a idéia de um supercomputador baseado em ARM. As apostas do projeto estão em um SoC - System-on-Chip altamente heterogêneo sendo uma combinação de um processador ARM e um processador gráfico para atingir alta velocidade de processamento com baixo consumo de energia" (Silva, 2015).

Sabendo-se que nos últimos anos os processadores de baixo consumo energético têm sido estudados para a solução de problemas de eficiência energética em HPC, o objetivo deste trabalho é avaliar a capacidade de dispositivos com processadores de baixo consumo comparando-os com processadores comumente utilizados em computadores de propósito geral, para avaliar a possibilidade de utilização dos mesmos no dia a dia.

Como trabalhos relacionados, Silva Jr. 2015, realizou medições de desempenho e consumo de um cluster formado com placas Cubietruck. Para tanto foram utilizados sensores presentes na placa do dispositivo. Em seus testes, foram alcançados 67,1 MFLOPS/W em execução sequencial e 85,41 MFLOPS/W na execução em paralelo para o benchmark BT e no benchmark LU os resultados foram de 48,95 MFLOPS/W sequencial e 65,67 MFLOPS/W em paralelo.

METODOLOGIA

O benchmark NAS para computação paralela NPB é largamente utilizado no estado da arte da computação de alto desempenho. Devido à facilidade de adaptação de seus programas para variação da complexidade do problema a ser resolvido, escolheu-se esta ferramenta como plataforma de testes para este estudo.

O ambiente em que os benchmarks foram executados é composto por um computador convencional equipado com um processador Intel Core i7 de 64bits, 8GB de memória DDR3 e sistema operacional Linux Ubuntu 14.04 kernel 4.2.0-38-generic O segundo equipamento é uma Cubietruck, um dispositivo MPSoC equipado com processadores ARM Cortex-A7 DualCore de 32 bits, 2GB de memória DDR3 de baixo consumo e sistema operacional Linux Debian Kernel 3.4.106. A Tabela 1 apresenta a descrição detalhada dos dispositivos.

| Equipamento | Computador | Cubietruck |
|-----------------------|---------------|-----------------------|
| Processador | Intel Core i7 | ARM Cortex A7 |
| Arquitetura | X86 | ARM |
| Microarquitetura | Ivy Bridge | ARMv7 |
| Modelo do Processador | i7 3632QM | AllWinnerTech SoC A20 |
| Litografia (nm) | 22 | 40 |
| Frequência de Clock | 3.2GHz | 960MHz |
| Cores/Processador | 4 | 2 |
| Cache L1/core (KB) | 256 | 64 |
| Cache L2/core (KB) | 1024 | 1024 |
| Cache L3 | 6 | - |
| Memória (GB) | 8GB DDR3 | 2GB Low Power DDR3 |

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Tabela 1 - Descrição dos Equipamentos

Utilizando o ambiente descrito anteriormente, foram mensurados os tempos de execuções de dois dos benchmarks do NAS. O primeiro BT (block tri-diagonal) resolve três conjuntos de sistemas de equações desacoplados, primeiro em x, em seguida em y, e finalmente em z, usando um solucionador de bloco Tri-diagonal. O segundo benchmark, conhecido como LU (lower upper) é um solucionador de equações lineares, que utiliza o método Lower-Upper de Gauss-Seidel. Os programas foram configurados para utilizar um volume de dados de classe A. Os Programas foram compilados para executar de forma sequencial e paralelo, utilizando todos os núcleos do processador com OpenMP, em ambas as execuções foi utilizada a flag de otimização -O3.

O consumo de energia dos dispositivos para a execução das tarefas foi feita utilizando-se o Dranetz Power Platform 4300 que é um equipamento de alta precisão, que fornece inúmeros tipos de dados ao usuário. Suas medidas podem ser extraídas através de memória flash e analisadas por meio do software Dran-View, uma ferramenta de software proprietária do fabricante do equipamento.

Para evitar que ocorram incoerências nas execuções dos testes, os mesmos foram realizados a partir de um script desenvolvido de forma que os programas fossem executados na seguinte ordem, BT sequencial, LU sequencial, BT OpenMP e por fim LU OpenMP. Devido as diferenças de arquitetura entre os dispositivos, no computador a execução com processamento paralelo utilizou 8 threads e na Cubietruck utilizou-se 2 threads. Ao final das execuções, o benchmark gera e salva um arquivo, no qual são detalhadas informações tais como qual o programa utilizado, a classe de carga de dados, o tempo de execução, o número de operações de ponto flutuante executadas por segundo, entre outras. Este último valor, é a informação utilizada para determinar o desempenho do equipamento.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Inicialmente foram realizadas medições com os equipamentos em estado ocioso. Os resultados são os seguintes: a Cubietruck possui uma demanda de potência em estado ocioso de 4,31 W, já o computador apresenta uma demanda de potência de 26,40 W. A partir destas medições, pode-se constatar que o computador consome 6,11 vezes mais energia do que a Cubietruck em estado ocioso.

Na Tabela 2 apresenta-se os resultados da execução dos benchmarks na Cubietruck, mostrando-se a potência média consumida por segundo durante a execução, o tempo de execução do mesmo, o consumo para realizar a execução do benchmark, o desempenho do dispositivo em MFLOPS(milhões de operações de ponto flutuante por segundo) e a relação MFLOPS/W.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico
Evento: XXI Jornada de Pesquisa

| Cubietruck - Resultados de execução | | | | |
|-------------------------------------|------------|--------|------------|--------|
| | BT | | LU | |
| | sequencial | OpenMP | sequencial | OpenMP |
| Potência (W) | 6,52 | 8,85 | 6,42 | 8,46 |
| Tempo (s) | 1.017,60 | 548,32 | 1.006,65 | 565,18 |
| Consumo (KJ) | 6,63 | 4,85 | 6,46 | 4,78 |
| Desempenho (MFLOPS) | 165,38 | 306,91 | 118,51 | 211,09 |
| Eficiência Energética (MFLOPS/Watt) | 25,36 | 34,67 | 18,46 | 24,94 |

Tabela 2 - Resultados da Cubietruck

Pode-se ver na Tabela 2 que a paralelização do processamento dos benchmarks reduziu o tempo de processamento em ambos os benchmarks, além disso, levou a um aumento de desempenho de aproximadamente 85% para o benchmark BT e de 78% para o benchmark LU. Com relação ao consumo de energia, essa diferença foi de cerca de 27% menos energia para o benchmark BT e 26% menos para o benchmark LU.

Na Tabela 3 apresenta-se os resultados da execução dos benchmarks no computador, mostrando-se a potência média consumida por segundo durante a execução, o tempo de execução do mesmo, o consumo para realizar a execução do benchmark, o desempenho do dispositivo em MFLOPS e a relação MFLOPS/W.

| Computador - Resultados de execução | | | | |
|-------------------------------------|------------|----------|------------|----------|
| | BT | | LU | |
| | sequencial | OpenMP | sequencial | OpenMP |
| Potência (W) | 37,06 | 54,44 | 37,77 | 54,89 |
| Tempo (s) | 133,49 | 33,11 | 85,91 | 19,86 |
| Consumo (KJ) | 4,94 | 1,80 | 3,24 | 1,08 |
| Desempenho (MFLOPS) | 1.260,81 | 5.082,01 | 1.388,53 | 6.024,76 |
| Eficiência Energética (MFLOPS/Watt) | 34,02 | 93,35 | 36,75 | 109,74 |

Tabela 3 - Resultados do Computador

Pode-se ver na tabela 3 que a paralelização do processamento dos benchmarks reduziu o tempo de processamento em aproximadamente 4 vezes, além disso, o desempenho teve um ganho de

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

aproximadamente 303% para o benchmark BT e de 334% para o benchmark LU. Com relação ao consumo de energia, essa diferença não foi tão grande, consumindo cerca de 64% menos energia para o benchmark BT e 67% menos para o benchmark LU.

Percebe-se que o tempo de execução sequencial dos benchmarks no computador é 7 vezes menor para o benchmark BT e 11 vezes menor no LU do que a execução na Cubietruck (Tabelas 2 e 3). Esta diferença é ainda maior nas execuções paralelas, ficando em 16,5 vezes menor para o BT e 28,5 vezes para o LU.

As diferenças entre os tempos de execução sequencial podem ser explicadas pela diferença de frequência dos processadores, enquanto que o crescimento desta diferença entre os tempos de execução em paralelo podem ser explicadas principalmente pela quantidade de núcleos que cada processador possui, sendo que no computador é possível executar até 8 threads, enquanto na Cubietruck são apenas 2. A diferença de quantidade de threads que pode ser executada também explica as diferenças no tempo de execução dos benchmarks em paralelo, que no Computador é de 4,03 no BT e de 4,3 no LU, enquanto que na Cubietruck essa diferença foi de apenas 1,85 no BT e de 1,78 no LU.

Quando observados os dados referentes ao consumo de energia (Tabelas 2 e 3), percebe-se que o Computador possui uma demanda de potência de 5,68 vezes maior que a Cubietruck no benchmark BT sequencial e 6,15 vezes maior em paralelo, na execução do benchmark LU estas diferenças são de 5,88 vezes maior em sequencial e 6,48 vezes maior em paralelo.

A execução do benchmark BT sequencial o Computador consome 4,94 W e 1,80 W no paralelo, enquanto a Cubietruck consome 6,63 W sequencial e 4,85 W em paralelo. E, na execução do benchmark LU sequencial o Computador consumiu 3,24 W e 1,08 W na execução em paralelo, enquanto a Cubietruck consumiu 6,46 W para a execução sequencial e 4,78 W em paralelo. As tabelas apresentam também as informações de desempenho dos dispositivos na execução dos benchmarks, sendo que o Computador apresentou-se melhor em todas as execuções.

Com relação à eficiência energética, o Computador também apresentou-se melhor que a Cubietruck, sendo que o mesmo apresentou uma eficiência de 34,01 MFLOPS/W no benchmark BT sequencial e de 93,35 MFLOPS/W em paralelo contra 25,36 MFLOPS/W sequencial e 34,67 MFLOPS/W em paralelo na Cubietruck. E nas execuções do algoritmo LU os desempenhos foram de 36,75 MFLOPS/W sequencial e 109,74 MFLOPS/W em paralelo para o Computador e apenas 18,46 MFLOPS/W sequencial e 24,93 MFLOPS/W em paralelo na Cubietruck.

Devido a diferença na capacidade de processamento e o tempo de processamento dos benchmarks realizados, a Cubietruck consumiu maior quantidade de energia para concluir a execução dos benchmarks nos quatro ambientes propostos. Porém, considerando-se um ambiente em que os dispositivos fiquem grandes períodos de tempo em estado ocioso, torna-se vantajoso o uso de dispositivos como a Cubietruck, visto que o consumo em estado ocioso da mesma é 6 vezes menor que o consumo do computador.

CONCLUSÃO

O computador apresentou melhor desempenho que a Cubietruck, esta diferença ocorre principalmente devido a arquitetura do processador, que é desenvolvida priorizando principalmente ao alto desempenho, enquanto que a arquitetura do processador da Cubietruck foi desenvolvida priorizando principalmente a eficiência energética.

Modalidade do trabalho: Relatório técnico-científico

Evento: XXI Jornada de Pesquisa

Processadores de baixo consumo apresentam-se na literatura como alternativa para melhorar a eficiência energética na computação de alto desempenho. Porém, os resultados do presente trabalho apontam que estes processadores embarcados em dispositivos de baixo consumo ainda não apresentam eficiência energética semelhante à de computadores de uso cotidiano.

É necessário salientar que apesar da pequena diferença de desempenho por W entre os dispositivos, ainda assim os processadores de arquitetura ARM possuem capacidade computacional abaixo da apresentada por processadores da arquitetura X86, desta forma, o uso como computadores de propósito geral ainda não é uma tendência para estes processadores, sendo que por hora, estes processadores devem continuar tendo como principal mercado, os sistemas embarcados, e outros mercados nos quais o dispositivo passa a maior parte do tempo esperando por uma interação do usuário, do que processando informações.

BIBLIOGRAFIA

Domenico, D. D., & Lima, J. V. (13 de abril de 2016). Eficiência energética de programas OpenMP em arquiteturas ARM com GPU embarcada. Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul, pp. 169-170.

Padoin, E. L., Pilla, L. L., Castro, M., Boito, F. Z., Navaux, P. O., & Jean-François, M. (2014). Performance/energy trade-off in scientific computing: the case of ARM big.LITTLE and Intel Sandy Bridge. IET Computers & Digital Techniques, 1-9.

Padoin, E. L., Velho P., Oliveira, D. A. G. de., Navaux, P. O. A., Mehaut JF. (2014) Tuning Performance and Energy Consumption of HPC Applications on ARM MPSoCs. WAMCA 5th Workshop on Applications for Multi-Core Architectures. October, 2014 University Pierre et Marie Curie, Paris, France

Reis, E. S., Rostirolla, G., & Righi, R. d. (13 de Abril de 2016). Análise do Consumo de Energia de um Cluster ARM Utilizando o Benchmark NAS. Escola Regional de Alto Desempenho do Estado do Rio Grande do Sul, pp. 227-230.

Silva, J. X. Jr. Avaliação do consumo energético do benchmark NAS em processadores ARM. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Instituto de Informática, Porto Alegre, 2015.