

UMA COMPARAÇÃO ENTRE FERRAMENTAS PARA MEDIÇÃO DE CONSUMO ENERGÉTICO

LUCAS MENDONÇA DE SOUZA XAVIER¹; BRUNO GIACOBO PINTO²;
GERSON GERALDO HOMRICH CAVALHEIRO³

¹Universidade Federal de Pelotas – Imdsxavier@inf.ufpel.edu.br

²Universidade Federal de Pelotas – bgpinto@inf.ufpel.edu.br

³Universidade Federal de Pelotas – gerson.cavalheiro@inf.ufpel.edu.br

1. INTRODUÇÃO

A redução do consumo de potência é, desde os primeiros computadores, um tópico de interesse no desenvolvimento de sistemas digitais em geral. Contudo, o estudo da eficiência energética de sistemas computacionais vem recebendo gradativamente mais atenção, acompanhando o aumento do número de aplicações em que a energia se apresenta como restrição de projeto. Para exemplificar essa importância crescente, basta considerar a multiplicação de aplicações usando sistemas embarcados, nas quais a funcionalidade do sistema tipicamente depende do gerenciamento de recursos energéticos escassos.

Os setores da indústria e da academia envolvidos com o desenvolvimento de hardware já responderam à necessidade de projetar sistemas minimizando o consumo de energia, direcionando vultosos esforços de pesquisa para a criação de técnicas que possibilitem a produção de equipamentos mais eficientes. Para o desenvolvimento de software, entretanto, o ferramental disponível ainda é incipiente ou inadequado às necessidades específicas dos desenvolvedores (SCHUBERT et al., 2012); assim, diversas possibilidades de otimização de software para redução do consumo de potência são desperdiçadas, seja por falta de conhecimento, de interesse, ou por indisponibilidade de ferramentas capazes de dar suporte às demandas dos desenvolvedores.

O presente estudo consiste em uma análise comparativa de algumas ferramentas selecionadas que podem ser utilizadas para a avaliação do consumo de energia no processo de desenvolvimento de software. Especificamente, foram escolhidas duas interfaces, incluídas pelas fabricantes de hardware em seus produtos, que reportam estatísticas de consumo do processador – componente responsável por uma fração significativa do consumo de uma máquina típica. Tais ferramentas foram validadas pela repetição de testes de eficiência energética realizados em outros trabalhos (ARAUJO, 2013). Os testes foram conduzidos com alguns benchmarks selecionados executados em máquinas UMA do tipo SMT.

A primeira ferramenta estudada foi a interface Running Average Power Limit (RAPL), introduzida pela Intel nos processadores da linha Sandy Bridge (INTEL, 2012). Essa interface, exclusiva aos processadores Intel, disponibiliza um conjunto de registradores não arquiteturais para leitura e escrita; tais registradores expõem estimativas de consumo do processador e permitem o ajuste de limites superiores para a dissipação de energia. A alimentação do processador é dividida em domínios que correspondem a diferentes áreas da placa (cores, processamento gráfico, memória) e podem ser gerenciados separadamente.

A segunda ferramenta é a interface Application Power Management (APM), introduzida pela AMD nos processadores da linha Bulldozer (AMD, 2012). Trata-se de uma interface de funcionalidade análoga à oferecida pela RAPL, permitindo o gerenciamento e o monitoramento de uma série de aspectos relacionados ao

consumo do processador. Particularmente, a APM disponibiliza uma estimativa para a potência instantânea dissipada pelo processador, que pode ser explorada para a obtenção de estimativas e indicadores para a análise da eficiência energética no processo de desenvolvimento de software.

2. METODOLOGIA

Posteriormente à determinação das ferramentas que seriam estudadas, procedeu-se a uma etapa de validação para avaliar a confiabilidade, a precisão e a viabilidade de uso dessas interfaces. Para isso, optou-se pela reprodução e pelo aprofundamento dos testes de eficiência energética do ambiente de programação e execução Anahy-3. Os testes abrangeram o Anahy-3 e o XKaapi (GAUTIER; BESSERON; PIGEON, 2007), outro ambiente de programação paralela avaliado para comparação. Os resultados obtidos com o uso das interfaces dos processadores foram, então, confrontados com aqueles obtidos pelo método anteriormente utilizado.

Os benchmarks escolhidos para iniciar os estudos foram o algoritmo recursivo para a combinação de 28 elementos 14 a 14 e o algoritmo Smith-Waterman para alinhamento de sequências. Foram empregadas versões similares desses algoritmos nos dois ambientes testados (Anahy-3 e XKaapi). Os testes já realizados foram executados em uma máquina com um processador Intel Core i7-2600 de 3,4 GHz, com quatro cores físicos simulando oito cores lógicas, e memória RAM de 8GB (DDR3, 1333 MHz), sob sistema operacional GNU-Linux Ubuntu 12.04LTS. Os resultados tomados representam o valor médio obtido após trinta execuções, não tendo sido observado desvio padrão superior a 6% nas medições com os multímetros ou superior a 1,7% nos testes com RAPL.

A metodologia empregada no estudo original (ARAUJO, 2013) – utilizada como referência – consistia no uso de um par de multímetros EZA modelo EZ-735, que realizavam o monitoramento da tensão e da corrente na entrada da fonte de alimentação. Os dados foram coletados por um segundo computador enquanto o sistema estudado executava os benchmarks propostos. Posteriormente, os valores de corrente foram relacionados com os valores de tensão e usados para a obtenção de valores de potência aparente média; os dados de potência correspondentes ao período de execução do algoritmo testado foram isolados e empregados na análise da eficiência energética do ambiente de execução.

Para a interface RAPL, dados relativos ao consumo do processador são expostos em um conjunto de registradores não arquiteturais que podem ser acessados pelo sistema operacional ou por drivers com as permissões adequadas. Particularmente, adaptamos um driver já existente (WEAVER et al., 2012) para efetuar a leitura da energia consumida – que é acumulada em um registrador determinado – antes do início e após o término da execução de cada benchmark.

A última interface testada foi a Application Power Management, da AMD. Como a APM disponibiliza, em vez de valores de energia, dados de potência instantânea dissipada, é necessária a realização de uma série de leituras repetidas ao longo de cada teste. No estágio atual, essa ferramenta foi avaliada sem que, contudo, tenham sido coletados resultados de desempenho.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O método originalmente empregado nos testes de eficiência energética do Anahy-3 – com o par de multímetros medindo corrente e tensão – apresenta

algumas deficiências que são superadas pelas outras ferramentas estudadas. Em primeiro lugar, os equipamentos usados possuem uma taxa de amostragem insuficiente, de cerca de três medições por segundo (a interface RAPL, por exemplo, atualiza os contadores a cada milissegundo). Além disso, a sincronização entre os dois medidores utilizados e entre os medidores e os benchmarks é problemática.

Por outro lado, as interfaces oferecidas pelas fabricantes são acessíveis por software e, por isso, representam alternativas mais convenientes quando comparadas aos medidores externos. Deve-se apenas observar que a leitura dos valores de energia ou potência é, nas interfaces APM e RAPL, um procedimento invasivo, impactando, ainda que de forma discreta, o desempenho do software testado. Por último, é necessário considerar que essas ferramentas são encontradas exclusivamente nos produtos das suas próprias fabricantes, apresentando portabilidade reduzida.

De forma geral, os resultados já obtidos, mostrados nas Figuras 1 e 2, mostram uma convergência satisfatória entre as medições dos multímetros e as estimativas da RAPL. Por considerar apenas o consumo do processador, a interface oferecida pela Intel registra um consumo inferior ao medido para toda a máquina; no entanto, as diferenças relativas entre os ambientes e entre os diferentes parâmetros usados mantiveram fidelidade razoável para os dois conjuntos de testes. Além disso, vale a pena mencionar o desvio padrão reduzido, verificado nos testes com a RAPL, como demonstração de que a conveniência trazida pela interface não sacrifica a qualidade dos resultados. Assim, a estimativa realizada pelo processador apresenta-se, a princípio, como ferramenta viável para oferecer suporte ao desenvolvimento de software energeticamente consciente.

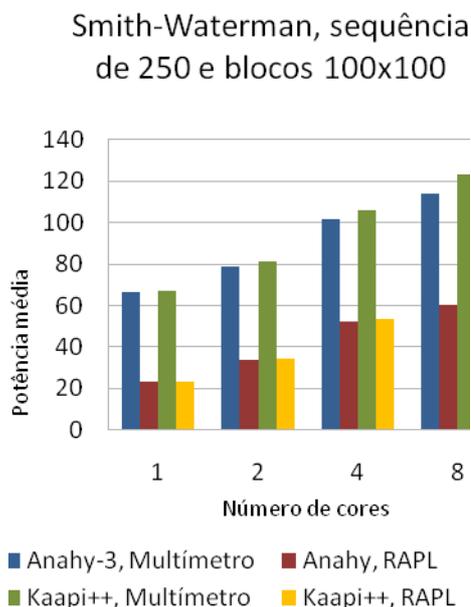


Figura 1 – Potência Média Dissipada Durante a Execução do Algoritmo Recursivo da Combinação

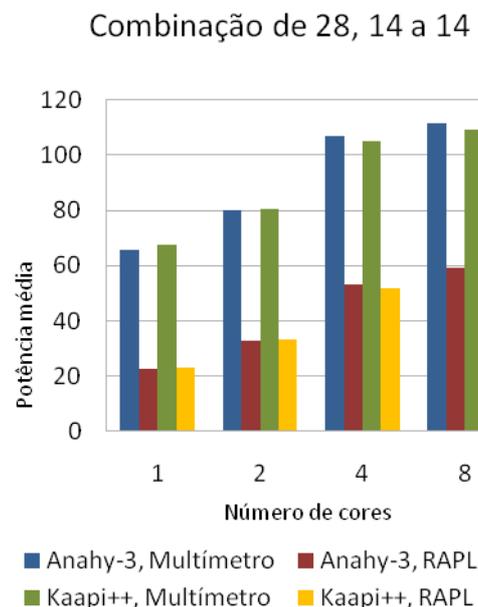


Figura 2 – Potência Média Dissipada Durante a Execução do Algoritmo de Alinhamento de Sequências

O objetivo seguinte é realizar um conjunto de testes similar utilizando a interface APM. Os resultados obtidos serão confrontados com as medições dos multímetros e com os valores obtidos por meio de uma terceira ferramenta, a

interface IPMI, cujo uso foi validado em trabalho equivalente ao presente dentro do mesmo projeto.

4. CONCLUSÕES

Conforme discutido, a redução do consumo de energia de computadores e dos demais sistemas digitais pode ser obtida mediante uma adequação do software que eles executam. Para que isso ocorra, porém, os desenvolvedores precisam de ferramentas que exponham os dados de consumo de energia dos seus programas. O presente trabalho mostra que, com poucas adaptações, é possível fazer uso, para esse fim, de interfaces que são incluídas por padrão nos processadores recentes. Assim, pretende-se combater a relativa falta de opções enfrentada pelos desenvolvedores interessados em produzir software energeticamente eficiente.

É necessário ressaltar que o acesso a essas interfaces é invasivo, interferindo nas medições. Com a etapa de validação, pretende-se quantificar essa intrusão e demonstrar a precisão e a conveniência das ferramentas analisadas no suporte ao processo de desenvolvimento. Dessa forma, será possível emitir um parecer final a respeito das interfaces estudadas e recomendar seu uso ou sugerir uma alternativa viável.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMD. **AMD Family 15h Processor BIOS and Kernel Developer Guide**. AMD Developer Central, 02 mar. 2012. AMD Developer Guides & Manuals. Acessado em 27 ago. 2013. Online. Disponível em: http://developer.amd.com/wordpress/media/2012/10/42301_15h_Mod_00h-0Fh_BKDG1.pdf

ARAUJO, A.S. **Anahy-3: Um novo Ambiente de Execução Otimizado para Arquiteturas Multicore**. 2013. 74f. Trabalho Acadêmico (Graduação) – Bacharelado em Ciência da Computação, Universidade Federal de Pelotas.

GAUTIER, T.; BESSERON, X.; PIGEON, L. Kaapi: A thread scheduling runtime system for data flow computations on cluster of multiprocessors. In: **2007 INTERNATIONAL WORKSHOP ON PARALLEL SYMBOLIC COMPUTATION**, Waterloo, Canada, 2007. **Proceedings...** New York: Association for Computing Machinery, 2007. p.15-23.

INTEL CORP. **Intel 64 and IA-32 Architectures Software Developer Manual**. 2012. 3v.

SCHUBERT, S. et al. **Profiling Software for Energy Consumption**. In: **2012 IEEE International Conference on Green Computing and Communications**, Besançon, França, 2012. **Proceedings...** Washington, DC: IEEE Computer Society, 2012. p.515-522.

WEAVER, V.M. et al. Measuring Energy and Power with PAPI. In: **PASA'12: THE 1ST INTERNATIONAL WORKSHOP ON POWER-AWARE SYSTEMS AND ARCHITECTURES**, Pittsburgh, 2012. **Proceedings of the 2012 41st International Conference on Parallel Processing Workshops**. Washington, DC: IEEE Computer Society, 2012. p.262-268.