

Monitoramento Energético em Ambientes Virtualizados

Raul Dias Leiria¹, Claudio Schepke¹, Aline Vieira de Mello¹

¹Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA)
Av. Tiaraju, 810 – 97.546-550 – Alegrete – RS – Brasil

rdleiria@gmail.com, {claudioschepke, alinemello}@unipampa.edu.br

Abstract. *Over the last years the number of people who have access to the Internet has increased. In order to reduce costs, majority of ISPs adopted the virtualization technology in their data centers, action that was not enough to reduce the high electrical energy consumption. This paper aims to describe and exemplify how the PowerAPI tool can be used in virtualized environments to estimate the energy consumption of Linux's KVM hypervisor's virtual machines.*

Resumo. *Nos últimos anos o número de pessoas com acesso à Internet aumentou. Para reduzir custos, a maioria dos ISPs adotou a virtualização em seus data centers, o que ainda não foi suficiente para reduzir o alto consumo de energia elétrica. Este trabalho descreve e exemplifica como a ferramenta PowerAPI pode ser utilizada em ambientes virtualizados para estimar o consumo energético de máquinas virtuais do hipervisor KVM do Linux.*

1. Introdução

Nos últimos anos o número de usuários da Internet aumentou. Isso fez com que as infraestruturas computacionais crescessem de forma proporcional, gerando para os provedores de serviços *online* maiores custos com energia elétrica. Quanto maior o consumo de energia elétrica, maior é o número de emissões de gases poluentes oriundos de sua geração.

Em razão dos custos financeiros e da preservação do meio ambiente, a virtualização, que possibilita implementar computadores virtuais (máquinas virtuais) em um ou mais computadores físicos [Tanenbaum 2010], reduziu de maneira significativa o consumo energético dos *data centers*. Apesar disso, ainda é alta a quantidade de energia elétrica consumida por eles [Schulz 2009], e ínfima a quantidade de recursos e técnicas existentes para realizar o monitoramento energético na granularidade de máquina virtual.

O monitoramento do consumo energético dos computadores físicos, sejam servidores ou não, pode ser feito via *hardware*, o que se considera medição, ou via *software*, o que se considera estimativa. Atualmente não há *hardware* específico para medir o consumo energético de máquinas virtuais, o que torna as soluções de *software* como a ferramenta PowerAPI [Group 2016] propícias a esse fim.

O objetivo deste trabalho é descrever e exemplificar como a ferramenta PowerAPI pode ser utilizada em ambientes virtualizados para estimar o consumo energético de máquinas virtuais do hipervisor KVM (Kernel-based Virtual Machine) do Linux [Torvalds 2016].

2. PowerAPI

A ferramenta PowerAPI estima o consumo energético de processos do sistema operacional Linux. Apesar da sua não especificidade para ambientes virtualizados, é possível utilizá-la para estimar o consumo energético de máquinas virtuais do KVM.

Os dados, utilizados pela ferramenta para geração da estimativa do consumo de energia elétrica, podem vir de meios externos como medidores de energia que interceptem o consumo energético do servidor físico, dos *performance counters* do kernel do Linux ou diretamente da interface RAPL da Intel. Os dados coletados são aplicados em um modelo energético, que poderá gerar o consumo de energia elétrica do processo ou de um grupo de processos.

A ferramenta em questão está disponível para *download* e utiliza uma abordagem modular, descomplicando possíveis novas implementações e integrações com outras aplicações. É possível utilizá-la dentro de um shell ou como uma biblioteca de funções, dando interoperabilidade ao *software*.

3. Trabalhos Relacionados

A virtualização diminui o consumo exacerbado de recursos físicos nos *data centers*, mas não dispõe de meios físicos embarcados para medir o consumo energético de máquinas virtuais. Em razão disso, nesta seção constam trabalhos científicos que descrevem as ferramentas e técnicas de *software* mais relevantes para estimar o consumo energético em ambientes virtualizados.

[Bohra and Chaudhary 2010] apresentam uma ferramenta denominada VMeter, capaz de estimar o consumo energético de máquinas virtuais do hipervisor Xen. É necessário que o sistema operacional hospedeiro possua em seu kernel o módulo que suporte esse hipervisor. Os dados energéticos são obtidos por meio dos *performance counters* e do *software* de monitoramento de disco nativo do Linux, o iostat. Essa ferramenta não está disponível para *download* e não é informado se ela é *open source*.

[Kansal et al. 2010] apresentam uma ferramenta genérica para sistemas operacionais hospedeiros Microsoft Windows. A dita ferramenta denomina-se Joulemeter e possibilita estimar o consumo energético de processos. A obtenção dos dados de consumo de energia elétrica ocorre por meio de modelos energéticos, que utilizam como parâmetro as estatísticas de uso dos recursos do sistema.; Cada consumo pode ser atribuído a seu respectivo processo. A Joulemeter está disponível para *download*, mas não é *open source*.

[Chengjian et al. 2013] apresentam uma solução que é específica para o hipervisor L4. Os consumos de energia das máquinas virtuais são estimados por um modelo energético que infere os dados a partir dos *performance counters*, que por sua vez em mais baixo nível coletam as estatísticas de uso da memória e da unidade de processamento central, utilizando para isso a ferramenta Linux perf. Segundo o autor desse trabalho, o consumo energético de disco e de rede para a maioria dos servidores é praticamente pequeno e estático, não sendo tão consideráveis numa estimativa total. Não consta no trabalho dos autores um *link* para *download* dessa ferramenta.

[Zhai et al. 2014] apresentam uma ferramenta chamada HaPPy (Hyperthread-aware Power Profiling Dynamically), compatível com versões do kernel do Linux iguais ou superiores à 3.14. Sua funcionalidade é estimar o consumo energético de processos

por meio do consumo de energia individual de suas *threads*. Os dados energéticos são coletados por meio da ferramenta Linux perf, que após ser modificada pelos autores, passou a acessar em um nível mais baixo a interface Intel RAPL. Apesar dessa interface não prover informações energéticas sobre os *cores* do processador de forma individualizada, o HaPPy utiliza uma técnica de isolamento, implementada com base nos *performance counters* para prever o consumo energético individual das *threads*. No trabalho dos autores, não encontra-se nenhum *link* para *download* da ferramenta.

4. Resultados

A utilização prática da PowerAPI via shell do Linux mostrou que é possível monitorar o consumo energético de uma máquina virtual através de seu PID (Identificador de Processo). Os experimentos práticos foram realizados em um computador Dell Optiplex 755, equipado com 8GB de memória RAM, disco rígido de 120GB e processador Intel Dual Core com *clock* de 2GHz.

A Figura 1 é uma impressão de tela que mostra o uso da ferramenta PowerAPI. Nessa utilização, os dados para geração do consumo energético do processo 4579 (máquina virtual do KVM) estão sendo obtidos por meio da interface RAPL da Intel, em intervalos de um segundo. O consumo energético é exibido em *joules/s* via console.

```
[root@ldrl bin]# ./powerapi modules rapl monitor --pids 4579 --console --frequency 1000
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387621991;target=4579;devices=cpu;power=0.0
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387622983;target=4579;devices=cpu;power=6.77630615234375
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387623995;target=4579;devices=cpu;power=12.458251953125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387624973;target=4579;devices=cpu;power=5.877593994140625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387625993;target=4579;devices=cpu;power=3.9432373046875
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387626994;target=4579;devices=cpu;power=3.8627471923828125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387627994;target=4579;devices=cpu;power=4.103424072265625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387628994;target=4579;devices=cpu;power=4.1673126228703125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387629994;target=4579;devices=cpu;power=4.098052978515625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387630994;target=4579;devices=cpu;power=4.0236053466796875
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387631994;target=4579;devices=cpu;power=3.9107818603515625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387632994;target=4579;devices=cpu;power=3.85943603515625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387633994;target=4579;devices=cpu;power=3.859161376953125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387634994;target=4579;devices=cpu;power=3.8740386962890625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387635994;target=4579;devices=cpu;power=3.8023223876953125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387636994;target=4579;devices=cpu;power=3.870361328125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387637994;target=4579;devices=cpu;power=3.822784423828125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387638994;target=4579;devices=cpu;power=3.789581298828125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387639994;target=4579;devices=cpu;power=3.84405517578125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387640994;target=4579;devices=cpu;power=3.9763946533203125
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387641994;target=4579;devices=cpu;power=3.936187744140625
muid=d3e23a59-2c72-406f-8199-d081ee67e7d0;timestamp=1448387642994;target=4579;devices=cpu;power=4.1864471435546875
```

Figura 1. PowerAPI monitorando o consumo energético de uma máquina virtual representada pelo identificador de processo 4579

De acordo com os autores da ferramenta, quando a mesma é comparada a outras de seu mesmo segmento, a sua precisão nas estimativas está entre as maiores. Ainda segundo os autores, isso é possível graças ao uso de um canal de comunicação com baixo *overhead* para trafegar as estimativas geradas pelos modelos energéticos.

5. Conclusão

A ferramenta PowerAPI possibilita estimar o consumo energético de processos do sistema do sistema operacional Linux, e em razão disso, também o de máquinas virtuais do hipervisor KVM. O uso eficiente da energia elétrica é uma grande contribuição por parte dos *data centers* ao planeta. Através do monitoramento energético de ambientes virtualizados, que são realidade na maioria dos *data centers* atualmente, é possível saber quais

máquinas virtuais estão consumindo maior quantidade de energia elétrica, e por conseguinte, realizar ações que possam diminuir esse consumo, garantindo assim a eficiência energética.

Dentre os trabalhos relacionados analisados, a PowerAPI é a ferramenta que menos possui limitações e a que mais está apta a ser implantada em cenários reais, já que está a disposição para *download* e é *open source*. Essas características também fazem com que suas funcionalidades possam ser estendidas e que a mesma ainda possa ser utilizada como biblioteca em outras aplicações.

Como trabalhos futuros serão feitos estudos acerca da utilização da ferramenta PowerAPI em nuvens computacionais compatíveis com o KVM. O propósito final será a integração da ferramenta com o gerenciador de nuvem OpenNebula [Community 2016], que atualmente não disponibiliza formas de exibir o consumo energético dos recursos utilizados pela nuvem.

Referências

- Bohra, A. E. H. and Chaudhary, V. (2010). *VMeter - Power Modelling for Virtualized Clouds*. IEEE.
- Chengjian, W., Xiang, L., Yang, Y., Ni, F., and Mu, Y. (2013). *System Power Model and Virtual Machine Power Metering for Cloud Computing Pricing*. 3rd International Conference on Intelligent System Design and Engineering Applications.
- Community, O. (2016). OpenNebula, Flexible Enterprise Cloud Made Simple. <http://openebula.org/>.
- Group, S. R. (2016). PowerAPI. <http://www.powerapi.org>.
- Kansal, A., Zhao, F., Liu, J., Kothari, N., and Bhattacharya, A. A. (2010). *Virtual Machine Power Metering and Provisioning*. SoCC'10.
- Schulz, G. (2009). *The Green and Virtual Data Center*.
- Tanenbaum, A. S. (2010). *Sistemas Operacionais Modernos*.
- Torvalds, L. (2016). The source for Linux information. <http://www.linux.com>.
- Zhai, Y., Zhang, X., Eranian, S., Tang, L., and Mars, J. (2014). *HaPPy - Hyperthreaded-aware Power Profiling Dynamically*. USENIX Annual Technical Conference.