

Sobre a simulação de algoritmos de escalonamento cientes de energia renovável

Artur E. L. e Cupelli, Miguel F. S. Vasconcelos, Karla Lima, Daniel Cordeiro

¹ Escola de Artes, Ciências e Humanidades — Universidade de São Paulo (USP)

{artur.cupelli, miguel.vasconcelos, ksampaiolima, daniel.cordeiro}@usp.br

Abstract. *The high demand for cloud computing services is worrying due to the elevated energy consumption and the resulting environmental impact. One possible strategy to deal with these impacts is the usage of renewable energy-aware scheduling algorithms. Nevertheless, the cost of testing and assessing such algorithms can be prohibitive in real platforms, which motivates the adoption of simulators. This paper presents the complexity of delimiting renewable energy-aware models and modern options to simulate computational infrastructures.*

Resumo. *A alta demanda por serviços de computação em nuvem é preocupante devido aos elevados gastos energéticos e o resultante impacto ambiental. Uma possível estratégia para reduzir esses impactos é empregar algoritmos de escalonamento cientes de energia renovável. No entanto, o custo de testar e avaliar tais algoritmos em infraestruturas reais pode ser muito alto, o que motiva o uso de simuladores. Neste trabalho é apresentada a complexidade na delimitação de um modelo de escalonamento ciente de energia renovável e algumas das opções modernas para simulação de infraestrutura computacional.*

1. Introdução e motivação

Nos últimos anos, a computação em nuvem se tornou um recurso imprescindível na distribuição de softwares e serviços on-line e é hoje a espinha dorsal da economia contemporânea [Chaurasia et al. 2021]. O enorme consumo elétrico — cerca de 1% do consumo global [IEA 2021] — é um dos principais obstáculos financeiros e estruturais da crescente expansão da computação em nuvem. Este grande gasto de energia gera não só uma preocupação com a viabilidade econômica, mas também um questionamento ambiental, visto que diversos processos geradores de energia tem grande *pegada ecológica*.

Uma das estratégias para amenizar este problema de energia seria reduzir o número de máquinas ativas necessárias, sem perder a eficiência e qualidade do serviço oferecido, com a utilização de máquinas virtuais. Tal estratégia é conhecida na literatura como *Consolidação de Servidores*. O uso de virtualização permite que a plataforma de computação em nuvem redistribua suas máquinas virtuais para diferentes máquinas físicas em tempo de execução. Essa redistribuição pode ocorrer tanto entre computadores de um mesmo centro, como entre computadores hospedados em *data centers* distribuídos geograficamente.

Outra estratégia é a adoção de fontes renováveis de energia (*energia verde*). Empresas como Google, Facebook e Apple já estão trabalhando em projetos para que seus data centers sejam totalmente alimentados por energia verde [Cook et al. 2017]. Nesse contexto, os algoritmos de escalonamento são essenciais para lidar com a variabilidade

da produção de energia verde, visto que eles são responsáveis por definir onde (em qual servidor de qual *data center*) e quando as máquinas virtuais serão executadas.

Entretanto, a avaliação de novos algoritmos de escalonamento em *data centers* reais é muito custosa, sendo a simulação a alternativa tipicamente empregada no desenvolvimento e avaliação de tais algoritmos. Alguns simuladores, como o SimGrid, ajudam na verificação do comportamento de um centro de processamento de dados real, verificando variáveis relevantes como tempo de processamento e gasto energético [Dutot et al. 2015]. A grande vantagem da simulação é a obtenção de resultados aproximados de uma execução real sem os diversos gastos que seriam gerados pelo teste em computadores reais.

O presente trabalho apresenta os principais desafios e as ferramentas existentes para simular e estudar algoritmos de escalonamento cientes de energia renovável para plataformas de computação em nuvem.

2. Desafios em realizar simulações

A forma mais amplamente utilizada para modelar o consumo de energia em plataformas de computação em nuvem é um modelo linear baseado no uso de CPU que, apesar de ser computacionalmente simples, apresenta resultados com excelente precisão [Heinrich et al. 2017]. Entretanto, monitorar o uso de recursos computacionais e o seu consumo de energia para calibrar os modelos de todas as configurações de hardware existentes é uma tarefa exaustiva. Estudos recentes com resultados promissores investigam o uso de aprendizado de máquina para automatizar esse processo [Fieni et al. 2021].

A virtualização também apresenta um desafio para a modelagem e simulação do consumo de eletricidade. Por um lado, a capacidade de mapear os recursos computacionais físicos em recursos virtuais permite consolidar mais aplicações em um único servidor. Por outro, se torna mais difícil monitorar qual é a real utilização de hardware dos recursos virtuais e seu consequente consumo elétrico [Cuadrado-Cordero et al. 2017].

Em relação a modelagem e simulação de geração de energia renovável, o maior desafio está na sua natureza intermitente, ou seja, ela não é disponível a todo momento. Fatores como as estações do ano, clima, temperatura, irradiação solar (para energia solar), velocidade dos ventos (para energia eólica) e a região geográfica influenciam na sua geração. Os algoritmos de escalonamento utilizam a produção de energia renovável para decidir onde e quando executar a carga de trabalho. Portanto, é essencial que os métodos para estimar a produção apresentem alta acurácia e precisão para evitar que o algoritmo tome decisões que gerem desperdício de energia renovável.

3. Simulação de sistemas distribuídos cientes de energia

A alternativa mais eficiente para testar algoritmos de escalonamento é através da simulação. Além do menor custo computacional de tempo e energia, a simulação oferece uma flexibilidade de cenários que podem ser construídos para testes [Dutot et al. 2015], obtendo resultados aproximados de uma execução real.

O Batsim [Dutot et al. 2015] define um protocolo baseado em eventos que permite que pesquisadores possam simular e comparar o desempenho de múltiplos algoritmos de escalonamento. Este simulador foi construído com base em outro projeto anterior, o

SimGrid, um *framework* para construção de simuladores de aplicações distribuídas usado para comparar o comportamento de diferentes configurações de plataformas, entre outras funções [Casanova et al. 2014].

A estrutura fornecida pelo SimGrid possibilita outras implementações com maior complexidade, como o WRENCH [Casanova et al. 2020]. Este *framework* oferece uma plataforma para implementação de sistemas de gerenciamento de carga de trabalho e de simuladores destinados a realizar testes com as aplicações desenvolvidas. A singularidade trazida pelo WRENCH é o provisionamento de abstrações de simulação de alto nível, com maior facilidade para implementação de sistemas complexos.

O CloudSim [Buyya et al. 2009] é outro exemplo de aplicação destinada ao mesmo propósito, porém, não baseado no SimGrid. Analogamente aos anteriores, o *framework* permite que os pesquisadores possam projetar e implementar cenários sem o detalhamento de baixo nível estrutural. Assim como o próprio nome sugere, este *software* foi idealizado à simulação de infraestrutura para computação em nuvem, ciente do uso da virtualização, além de traçar os gastos energéticos aproximados.

Em relação à simulação do consumo de energia dos servidores, os simuladores listados se baseiam no uso de CPU. O SimGrid (e seus derivados Batsim e WRENCH) utiliza um modelo linear. O CloudSim permite ao usuário escolher entre um modelo linear, quadrático, cúbico, de raiz quadrada ou modelos de servidores reais baseados no *benchmark* SPECpower¹. Ambas as ferramentas são de código aberto e permitem que o pesquisador implemente e estude modelos diferentes para calcular o consumo de energia.

Os simuladores apresentados não modelam a produção de energia renovável, uma vez que é um fator externo a simulação de plataformas de computação em nuvem. Essa informação pode ser integrada nos algoritmos de escalonamento por meio de arquivos de entrada que possuem dados de produção ao longo do tempo. Os dados de geração de energia verde podem ser obtidos em banco de dados (como o PVGIS²), ou produzidos por algoritmos de previsão baseados em dados meteorológicos (como irradiação solar).

A compreensão de plataformas de simulação já existentes como estas pode contribuir para o crescimento de soluções de grande importância proporcionando um avanço da área de consolidação de servidores.

4. Discussão final

Estudar algoritmos de escalonamento cientes de energia renovável é essencial para reduzir o impacto ambiental dos data centers que hospedam plataformas de computação em nuvem. O uso de simuladores apresenta diversos benefícios para os pesquisadores: i) viabiliza realizar os experimentos, uma vez que é difícil ter acesso a uma plataforma de computação em nuvem com a escala de plataformas reais; ii) proporciona economia de recursos (tempo, dinheiro e eletricidade); e iii) produz confiabilidade nos resultados, visto que os simuladores são amplamente validados pela comunidade científica.

Trabalhos futuros podem explorar a interação entre simuladores distintos, por exemplo, entre um simulador para a parte computacional (em que os algoritmos de escalonamento operam) e um simulador focado no sistema elétrico — que permita simular

¹Benchmark SPECpower: https://www.spec.org/power_ss_j2008

²PVGIS: https://re.jrc.ec.europa.eu/pvgis_tools/en/tools.html

baterias para armazenar energia renovável visando lidar com a intermitência. Por fim, é necessário que todas as etapas do trabalho de pesquisa sejam realizadas de forma a garantir a reprodutibilidade do trabalho.

Referências

- Buyya, R., Ranjan, R., and Calheiros, R. N. (2009). Modeling and simulation of scalable cloud computing environments and the cloudsim toolkit: Challenges and opportunities. In *2009 International Conference on High Performance Computing Simulation*, pages 1–11.
- Casanova, H., Ferreira da Silva, R., Tanaka, R., Pandey, S., Jethwani, G., Koch, W., Albrecht, S., Oeth, J., and Suter, F. (2020). Developing Accurate and Scalable Simulators of Production Workflow Management Systems with WRENCH. *Future Generation Computer Systems*, 112:162–175.
- Casanova, H., Giersch, A., Legrand, A., Quinson, M., and Suter, F. (2014). Versatile, scalable, and accurate simulation of distributed applications and platforms. *Journal of Parallel and Distributed Computing*, 74(10):2899–2917.
- Chaurasia, N., Kumar, M., Chaudhry, R., and Verma, O. P. (2021). Comprehensive survey on energy-aware server consolidation techniques in cloud computing. *The Journal of Supercomputing*, pages 1–56.
- Cook, G., Lee, J., Tsai, T., Kong, A., Deans, J., Johnson, B., and Jardim, E. (2017). Clicking clean: who is winning the race to build a green internet. *Greenpeace Inc., Washington, DC*, 5.
- Cuadrado-Cordero, I., Orgerie, A.-C., and Menaud, J.-M. (2017). Comparative experimental analysis of the quality-of-service and energy-efficiency of VMs and containers' consolidation for cloud applications. In *2017 25th International Conference on Software, Telecommunications and Computer Networks (SoftCOM)*, pages 1–6.
- Dutot, P.-F., Mercier, M., Poquet, M., and Richard, O. (2015). Batsim: a realistic language-independent resources and jobs management systems simulator. In *Job Scheduling Strategies for Parallel Processing*, pages 178–197. Springer.
- Fieni, G., Rouvoy, R., and Seiturier, L. (2021). Selfwatts: On-the-fly selection of performance events to optimize software-defined power meters. In *2021 IEEE/ACM 21st International Symposium on Cluster, Cloud and Internet Computing (CCGrid)*, pages 324–333.
- Heinrich, F. C., Cornebize, T., Degomme, A., Legrand, A., Carpen-Amarie, A., Hunold, S., Orgerie, A.-C., and Quinson, M. (2017). Predicting the Energy-Consumption of MPI Applications at Scale Using Only a Single Node. In *2017 IEEE International Conference on Cluster Computing (CLUSTER)*, pages 92–102.
- IEA (2021). Data centres and data transmission networks, <https://www.iea.org/reports/data-centres-and-data-transmission-networks>, Novembro.