Análise de Viabilidade do Perfilamento de Aplicações de HPC Baseada em Contadores de *Hardware* na AWS

Luiz Fernando Althoff¹, Vanderlei Munhoz¹, Márcio Castro¹

¹Laboratório de Pesquisa em Sistemas Distribuídos (LaPeSD) Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) - Florianópolis/SC

Resumo. Este artigo apresenta um estudo preliminar sobre a viabilidade do uso da técnica de perfilamento de aplicações de HPC baseada em contadores de hardware na AWS. O objetivo é entender as limitações e os impactos dessa técnica quando aplicada em um ambiente virtualizado. Os resultados evidenciam algumas limitações da AWS e uma pequena variação nos resultados quando a virtualização é utilizada.

1. Introdução

A Computação em Nuvem pode ser definida como "a entrega sob demanda de recurso computacional com o mínimo de esforço ou interação" [Mell et al. 2011]. Esse modelo de negócio democratizou o acesso a grandes infraestruturas de TI para milhões de pessoas e empresas, permitindo com que uma grande quantidade de serviços e produtos possam ser disponibilizados ao público de forma rápida e com baixo custo [Varghese and Buyya 2018].

As nuvens computacionais podem ser uma opção atrativa também para pesquisadores da área de Computação de Alto Desempenho (*High Performance Computing* – HPC), pois permite que grupos de pesquisa menores, com acesso limitado a *clusters* de HPC, possam fazer experimentos em larga escala de forma ágil e com custo muito inferior ao necessário para compra, gestão e manutenção de infraestruturas físicas *on-premise* [Saini and Sainis 2021]. Com intuito de facilitar a construção e configuração de *clusters* de HPC em nuvens computacionais de forma agnóstica de provedor, foi desenvolvida a ferramenta *open-source* denominada HPC@Cloud [Munhoz and Castro 2022]. A ferramenta automatiza todo o processo de alocação e configuração da infraestrutura, permitindo que os pesquisadores possam executar suas aplicações de HPC na nuvem sem se preocuparem com questões técnicas que envolvem a criação do ambiente.

Atualmente, a ferramenta HPC@Cloud não possui nenhum módulo de perfilamento de aplicações. Este módulo seria de grande valia para os pesquisadores da área de HPC, pois forneceria informações importantes sobre a execução das aplicações na nuvem e permitiria que otimizações específicas para a nuvem pudessem ser implementadas. As informações coletadas poderiam, por exemplo, ser utilizadas para a escolha dos tipos de máquinas a serem alocadas na nuvem que tivessem um melhor custo-benefício em função das características da carga de trabalho a ser executada.

Neste artigo é apresentado um estudo preliminar sobre a viabilidade do uso da técnica de perfilamento de aplicações de HPC baseada em contadores de *hardware* na AWS. Algumas métricas de desempenho foram coletadas durante a execução de aplicações do *NAS Parallel Benchmarks* [Bailey et al. 1991] em máquinas padrão (sem virtualização) e virtualizadas na AWS. Os resultados mostram que a técnica de perfilamento baseada em contadores de *hardware* só pode ser utilizada em um determinado

subconjunto de máquinas da AWS e que existe um pequeno impacto da virtualização nos resultados coletados.

Este artigo está organizado da seguinte forma. Na Seção 2 é apresentada, de forma sucinta, a ferramenta HPC@Cloud e é descrito como foi adicionado o suporte ao perfilamento de aplicações. Na Seção 3 é apresentada uma análise comparativa dos resultados obtidos com as aplicações do NAS quando executadas em máquinas virtualizada e *baremetal* na AWS. Por fim, na Seção 4 são apresentadas as conclusões e discutidas algumas possibilidades de trabalhos futuros.

2. Perfilamento na Ferramenta HPC@Cloud

A ferramenta HPC@Cloud [Munhoz and Castro 2022] é um *software* de código aberto¹ que está sendo desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisa em Sistemas Distribuídos (La-PeSD) da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) para facilitar a construção de *clusters* para HPC em nuvens computacionais públicas. Atualmente, a ferramenta suporta a execução de aplicações paralelas implementadas em OpenMP e MPI² nos provedores Amazon Web Services (AWS) e Vultr Cloud, incluindo a capacidade de construir *clusters* do tipo *spot* na AWS [Munhoz and Castro 2022]. Além da interface, a ferramenta também disponibiliza imagens e *snapshots* de máquinas virtuais previamente construídas para acelerar a construção da infraestrutura, reduzindo-se assim os custos. Por fim, a ferramenta também possui suporte a criação e gestão de instâncias do tipo *spot* da AWS.

As ferramentas de perfilamento que fazem uso de contadores de *hardware* extraem informações diretamente da Unidade de Monitoramento de Desempenho (*Performance Monitoring Unit* – PMU) disponível nos processadores atuais. Uma das ferramentas mais utilizadas para coletar essas informações é a Perf³. A ferramenta Perf permite a coleta de diversas métricas relacionadas às unidades lógicas e aritméticas do processador, à memória *cache*, ao barramento, à memória RAM e entre outras. Neste trabalho, os arquivos de configuração da ferramenta HPC@Cloud foram modificados para incluir a instalação dos pacotes necessários para o funcionamento do Perf. Desta forma, os *clusters* criados pela ferramenta HPC@Cloud já possuirão o ambiente pronto para capturar as métricas das aplicações.

Durante a implementação do suporte ao perfilamento na ferramenta HPC@Cloud foi detectada uma limitação na AWS quanto ao acesso ao PMU em instâncias virtualizadas. Com a virtualização, há um suporte existente no nível do *hypervisor* para monitorar as máquinas virtuais (vPMU). Todavia, esse suporte está habilitado somente em instâncias da AWS que utilizem processadores Intel, e que tenham quantidade de vCPUs igual ao número de núcleos físicos do processador utilizado na máquina virtual.

3. Resultados Experimentais

Nesta seção é apresentada uma avaliação preliminar das limitações e impactos do uso da técnica de perfilamento baseado em contadores de *hardware* na AWS. Primeiro são apresentadas as informações sobre a infraestrutura e as aplicações utilizadas nos testes. Então, os resultados obtidos são discutidos.

¹http://github.com/lapesd/hpcac-toolkit

²A ferramenta HPC@Cloud utiliza a implementação MVAPICH do MPI, disponível em http://mvapich.cse.ohio-state.edu

³https://github.com/torvalds/linux/tree/master/tools/perf

3.1. Infraestrutura e Aplicações

Foram utilizadas duas máquinas nos experimentos, ambas equipadas com processadores *Intel Xeon Platinum* e com sistema operacional Amazon Linux 2, porém com configurações ligeiramente diferentes⁴: (i) *c5n.9xlarge*: instância virtualizada da AWS composta por um processador Intel Xeon Platinum 8124M de 3.00GHz com 18 núcleos físicos (36 *threads* com *hyperthreading*) e 96 GB de memória RAM; e (ii) *c5.metal*: instância *baremetal* (não virtualizada) da AWS composta por dois processadores Intel Xeon Platinum 8275CL de 3.00GHz com 24 núcleos físicos cada (total de 96 *threads* com *hyperthreading*) e 192 GB de memória RAM.

As aplicações executadas são provenientes do NAS Parallel Benchmarks⁵ [Bailey et al. 1991] (versão 3.4.2) e todos os testes foram executados com a classe de problema "B" e com as versões paralelas das aplicações implementadas com Message Passing Interface (MPI). Cada aplicação foi executada com 2, 4, 8, 16 e 32 processos MPI. A ferramenta Perf foi utilizada de forma a monitorar cada processo MPI individualmente. Os resultados apresentados representam a média dos valores coletados em cada um dos processos MPI. Foram realizados experimentos com três aplicações do NAS bastante distintas: Embarrassingly Parallel (EP), Integer Sort (IS) e 3D Fourier Transform (FT). A aplicação EP se destaca por quase não haver dependência ou comunicação entre os processos, servindo, portanto, para evidenciar parte do impacto do hypervisor em comparação aos casos sem virtualização (baremetal). A aplicação IS realiza a ordenação de valores inteiros utilizando o algoritmo bucket sort e apresenta um grau moderado de comunicação entre os processos MPI. Por fim, a aplicação FT resolve numericamente equações diferenciais parciais usando transformada rápida de Fourier e é caracterizada por muitas comunicações do tipo 'todos para todos". Os testes foram realizados uma vez cada.

As métricas coletadas com a ferramenta Perf foram: *CPU Clock* - que coleta a quantidade de ciclos necessários para cumprir a execução da aplicação; *CPU Task Clock* - que mede em milissegundos o tempo que a CPU demora para realizar a execução da aplicação; *Cache References* - que informa o total de requisições à memória *cache* e *Cache Misses* - que coleta a quantidade de vezes em que uma informação foi solicitada na *cache* mas não foi encontrada (faltas de *cache*).

3.2. Análise dos Resultados

Os resultados preliminares obtidos são apresentados na Figura 1. De forma geral, observase que as aplicações apresentam desempenho um pouco superior quando executadas na instância sem virtualização (c5.metal). Todavia, não é possível determinar com precisão que esta diferença refere-se somente a um sobrecusto oriundo da virtualização, pois as instâncias c5.metal e c5n.9xlarge possuem algumas diferenças em suas configurações, apesar de ambas utilizarem processadores Intel de mesma geração.

Com relação às métricas de *cache*, nota-se que, de maneira geral, as aplicações apresentaram um percentual de faltas *cache* bastante similar nos dois tipos de instâncias (*baremetal* e virtualizada), com exceção da aplicação IS que apresentou uma diferença mais significativa.

⁴Não havia disponibilidade de instâncias virtualizadas e não virtualizadas com *hardware* idêntico no momento em que este artigo foi elaborado.

⁵https://www.nas.nasa.gov/software/npb.html

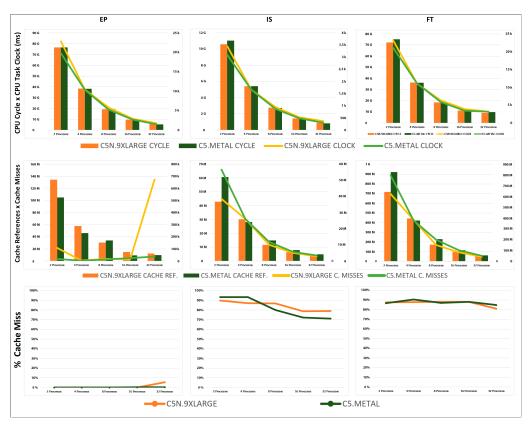


Figura 1. Resultados dos benchmarks EP, IS e FT do NAS.

4. Conclusão

O trabalho trabalho mostrou que é possível fazer o perfilamento de aplicações baseado em contadores de *hardware* na AWS, apesar das limitações impostas pelo provedor de nuvem. Os resultados obtidos com as métricas selecionadas mostraram pouca diferença entre as instâncias virtualizada e a não virtualizada utilizadas, com exceção da aplicação IS para a métrica de *cache*. Futuramente, almeja-se realizar experimentos mais completos com outras aplicações do NAS, com instâncias virtualizadas e não virtualizadas da AWS que utilizem exatamente o mesmo *hardware* e realizando diversas repetições.

Referências

Bailey, D. H., Barszcz, E., Barton, J. T., Browning, D. S., Carter, R. L., Dagum, L., Fatoohi, R. A., Frederickson, P. O., Lasinski, T. A., Schreiber, R. S., et al. (1991). The nas parallel benchmarks. *The International Journal of Supercomputing Applications*, 5(3):63–73.

Mell, P., Grance, T., et al. (2011). The nist definition of cloud computing.

Munhoz, V. and Castro, M. (2022). HPC@Cloud: A provider-agnostic software framework for enabling hpc in public cloud platforms. In *Anais do XXIII Simpósio em Sistemas Computacionais de Alto Desempenho (WSCAD)*, pages 157–168. SBC.

Saini, R. and Sainis, N. (2021). Enable high performance computing in cloud: A review. *International Journal of Scientific Research*, 10:44–45.

Varghese, B. and Buyya, R. (2018). Next generation cloud computing: New trends and research directions. *Future Generation Computer Systems*, 79:849–861.