

# 전력 효율성을 고려한 다수의 가상머신 배치

최찬호, 엄현상, 엄현영  
 서울대학교 컴퓨터공학과  
 e-mail : {chchoi, hseom, yeom}@dclslab.snu.ac.kr

## The Power Efficiency of Consolidating Numerous Virtual Machines

Chanho Choi, Hyeonsang Eom, Heon Y. Yeom  
 Dept. of Computer Science Engineering, Seoul University

### 요 약

최근 클라우드 컴퓨팅에 대한 관심이 높아짐에 따라, 많은 데이터 센터들이 세워졌으며 그럼으로써 데이터 센터의 전력 소모가 이슈가 되고 있다. 한편 현대의 하드웨어에서 CPU 코어의 수와 메모리의 용량은 점차 증가하는 추세이다. 이 논문에서 우리는 다수의 가상머신을 한 개 물리노드에 배치하였을 때의 전력 효율성과 성능 하락에 대해 연구하였다. 결론적으로 우리는 메모리 사용률이 올라갈수록 성능이 하락하며 전력 효율성이 떨어지는 것을 확인할 수 있었다.

### 1. 서론

요즘 클라우드 컴퓨팅은 계속해서 이슈가 되고 있으며 많은 서비스 제공자들이 이를 사용자들에게 제공하고 있다. 이에 따라 데이터 센터 역시 증가하고 있다. 이러한 상황에서 QoS(Quality of Service)를 유지하고 에너지 소모를 최소화하는 것은 경제, 환경적으로 매우 중요한 이슈이다.[3] 한편, CPU 코어의 숫자는 점점 증가하고 있으며 DRAM의 가격이 낮아짐에 따라 대규모 메모리 시스템을 구축할 수 있게 되었다. [6] 이와 같이, 최신 하드웨어는 다수의 가상머신을 한 개 물리노드에 배치하기에 충분한 용량을 가지고 있다. 그러므로 이러한 환경에서 에너지 소모를 줄일 수 있는 방안을 연구하는 것이 필요하다. 이 논문에서는 다수의 가상머신이 한 개 물리노드에 존재할 때, 워크로드 별 에너지 소모를 분석하고 에너지 효율성과 성능 하락에 대해 연구하였다.

### 2. 가상머신 배치 효과

다수의 가상머신을 한 개 물리노드에 배치했을 때의 에너지 효율성과 성능 하락은 이미 이전에 연구된 바 있다.[4] 하지만 이러한 이전의 연구에서는 단지 전체 시스템의 전력 소모를 측정하여 워크로드의 특징에 따른 효과를 분석하였다. 그리고 소수의 가상머신들을 사용하였기 때문에 현대의 서버에 적합하지 않다. 그래서 우리는 새로운 하드웨어 로직이 내장된 Intel Reference Board와 Sandy Bridge CPU의 최신 하드웨어와 CPU와 Memory의 전력소모를 측정할 수 있는 Intel Performance Counter Monitor[1]를 사용하여 CPU와 메모리의 전력소모를 따로 분석할 수 있었다. 또한, 16개의 가상머신을 사용하여 배치 효과를 평가하였다. 사용된 기기는 다음과 같다.

- Intel Reference Board S2600CP
- 2 Intel Sandy-Bridge E2670 CPU(각 8 core)
- 128GB DRAM
- YOKOGAWA WT210(전체 전력 측정용)

가상화 환경은 KVM[5]을 사용하여 구축하였으며, 워크로드는 SPEC CPU2006 시리즈의 워크로드 중 확인한 차이를 보이는 5개의 워크로드들을 사용하였다.

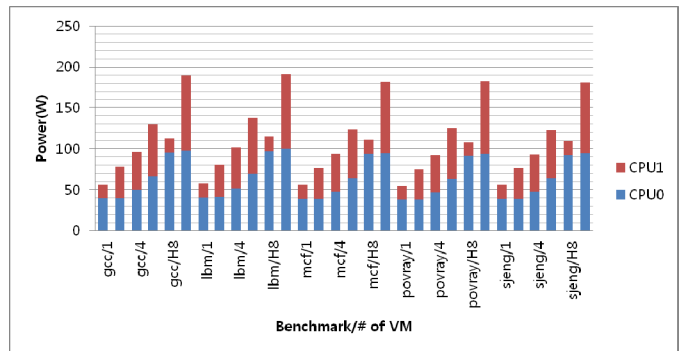


그림 1 CPU 전력 소모

### 3. 가상머신 배치 효과

우리는 가상머신들을 최고의 성능을 보일 수 있도록 배치하였다. 하지만 불균형 설정(H8)에서는 한 CPU에 8개의 가상머신을 pinning 함으로써 최악의 성능을 확인할 수 있도록 하였다.

먼저 그림 1에서는 전반적으로 CPU의 전력 소모량이 워크로드에 관계없이 거의 비슷한 것을 확인할 수 있었다. H8의 경우에도 워크로드가 가해지지 않은 CPU의 전력 소모를 제외하면 같은 결과를 보이는 것을 알 수 있다. 반면에, 메모리 전력

소모는 크게 다른 것을 볼 수 있다. povray 와 sjeng 의 메모리 전력 소모는 CPU 전력 소모에 비해 무시할만한 수준이지만 lbm 과 mcf 의 메모리 파워 소모량은 가상머신의 수에 따라 크게 증가하는 것을 볼 수 있다. (그림 2) 이 결과는 lbm 과 mcf 가 메모리 접근이 많은 워크로드라는 것을 보여주는 이전 연구[2]와도 일치한다. 메모리 전력 소모의 차이 때문에 전체 전력 소모에서도 차이가 나타남을 알 수 있다. (그림 3) 이러한 상황에서, 메모리가 더 많은 전력을 소모할수록 더욱 성능은 나빠짐을 볼 수 있다. (그림 4) 예를 들어, povray 는 성능 저하가 거의 없는 반면 lbm 은 심각하게 낮은 성능을 보여 준다. 이것은 워크로드들 사이의 메모리 접근 경쟁이 성능 저하와 메모리 전력 소모를 야기함을 의미한다. 결론적으로는 많은 일을 동시에 수행할수록 가상머신 개별 에너지 소모에서는 효율적임을 알 수 있다. 하지만 16 개의 lbm 을 동시에 수행한 워크로드는 8 개의 lbm 을 사용했을 때보다 더 비효율적이다. 그 이유는 메모리 접근 경쟁이 발생하기 때문이다.

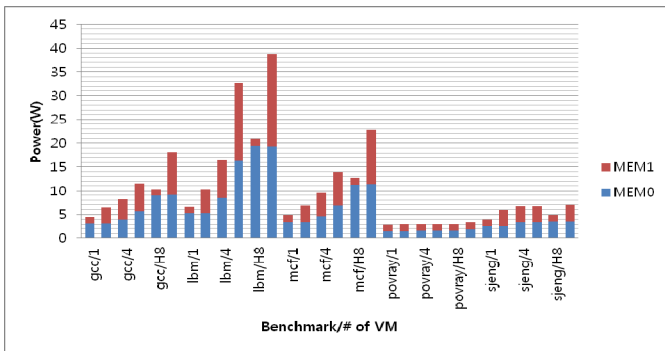


그림 2 메모리 전력 소모

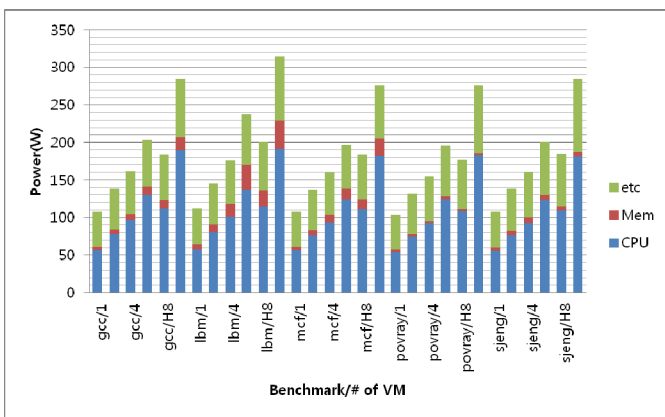


그림 3 전체 전력 소모

#### 4. 결과

우리는 실험을 통해 다수의 가상머신을 같은 노드에 배치할 때 많은 메모리 접근 경쟁은 이득을 적게 만드는 것을 확인할 수 있었다. 하지만 심지어 최악의 경우에도 워크로드를 하나씩 수행하는

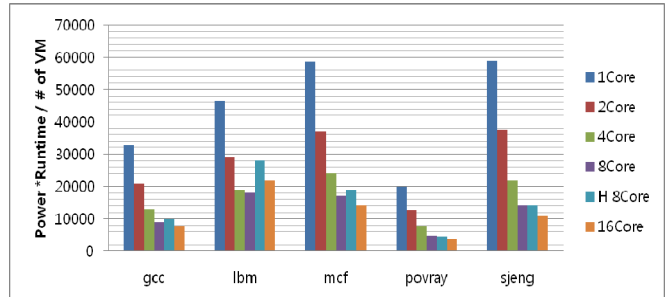


그림 4 가상머신 개별 에너지 소모량

것보다는 동시에 수행하는 것이 전체 에너지 측면에서는 더 나은 것을 볼 수 있었다. 결론적으로, 메모리 사용률이 낮은 가상머신들을 함께 배치하는 것이 성능 저하를 줄이고 에너지 효율성을 높이는 방법이다. 만약 메모리 경쟁이 많이 발생하는 경우에도 에너지 측면에서는 이득이지만 서비스의 질을 낮추는 결과를 초래할 수 있다.

차후에는 메모리 대역폭을 performance counter 를 이용해 모니터링하여 주요 특성이 될 수 있는지 확인하고 가상머신의 배치에 따른 전력 소모를 모델링하여 전력 소모가 예측이 가능하도록 할 예정이며 추가적으로 이를 사용하여 전력 인지형 스케줄링 알고리즘을 작성할 수 있을 것으로 보인다.

#### 감사의 글

본 연구는 방송통신정책센터운영지원사업의 연구 결과로 수행되었음(KCA-2011-1194100004-110010100)

#### 참고문헌

- [1] <http://software.intel.com/en-us/articles/intel-performance-counter-monitor>
- [2] Shin-gyu Kim, Hyeonsang Eom, Heon Y. Yeom, Virtual Machine Scheduling for Multicores Considering Effects of Shared On-chip Last Level Cache Interference, Workshop on Green Cloud Computing (GreenCloud) in conjunction with IGCC'12, San Jose, CA, Jun 2012.A, 1994.
- [3] Vouk, M. A. Cloud computing Issues, research and implementations, 30th International Conference on Information Technology Interfaces(ITI 2008), Cavtat/Dubrovnik, Croatia, June 2008, 31-40.
- [4] Frank Yong-kyung Oh, Hyenong S Kim et al. Balancing Power and Performance in Server Consolidation, 4th International Conference on Cloud Computing(CLOUD 2011), Washington DC, USA, July 2011.
- [5] A. Kivity, Y. Kamay, D. Laor, U. Lublin, and A. Liguori. KVM: The Linux Virtual Machine Monitor. In Proceedings of the Linux Symposium, pages 225–230, 2007.
- [6] Ousterhout, J., et al. The Case for RamClouds: Scalable HighPerformance Storage Entirely in DRAM. In SIGOPS OSR. December, 2009.