클라우드 컴퓨팅 환경에서 전력 사용량 측정 및 비교 분석 방안

이규진*, 박상면*, 문영성*
*숭실대학교 컴퓨터학과
e-mail: kyujinlee@ssu.ac.kr

Scheme for Power Consumption Measurement and Comparative Analysis in Cloud Computing Environment

Kyu-Jin Lee*, Sang-Myeon Park*, Young-Song Mun*
*Dept of Computer Science, Soong-Sil University

요 약

클라우드 컴퓨팅 환경에서, 서비스 이용자는 기존의 컴퓨터 및 스토리지 자원을 소유하지 않고도 클라우드 컴퓨팅 서비스에서 제공하는 서비스를 효율적으로 이용할 수 있다. 클라우드 컴퓨팅 서비스가 발달함에 따라 클라우드 컴퓨팅이 구축되어 있는 데이터센터에서 사용하는 전력량도 증가하게 된다. 소비되는 전력량이 증가함으로 인해 발생하는 전력 관리 문제들을 해결하기 위해서 보다 효율적인 전력 관리 방안이 필요하게 되었다. 본 논문에서는 가상의 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하여 소비되는 컴퓨팅 자원의 정보를 통해 사용되는 전력량을 시뮬레이터로 측정하고 수식을 이용하여 계산하는 방안을 제시한다. 측정된 전력량을 바탕으로 향후 사용될 전력량을 예측하고 대비한다면 보다 효율적으로 전력을 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

1. 서론

클라우드 컴퓨팅 기술은 사업초기에 대규모 초기투자 비용에 대한 부담을 경감시키고, IT인프라에 대한 유지보수 부담을 경감시키는 등 기업의 IT혁신을 통한 비용절감을 이룰 수 있다는 기대로 관심이 증대되어왔다. 서비스 사용자가 IT 자원을 직접 소유하거나 구축할 필요 없이 필요할 때마다 인터넷을 통해 네트워크, 서버, 스토리지, 서비스, 애플리케이션 등 IT 자원을 서비스 형태로 이용하는 방식을 클라우드 컴퓨팅이라 한다. 클라우드 컴퓨팅 환경은 개인 컴퓨터나 모바일 단말기로 웹브라우저 등 필요한 애플리케이션을 구동해 원하는 작업을 수행하고, 개인 컴퓨터나 기업의 서버에 개별적으로 저장해 두었던 프로그램이나 문서 등을 인터넷으로 접속할 수 있는 대형 컴퓨터에 저장할 수 있는 이용자 중심의 컴퓨터 환경으로, 서버, 소프트웨어, 디스크 등을 사용자가 임대하여 사용한 만큼의 비용을 클라우드 서비스를 제공하는 회사에 지불한다. 이러한 클라우드 서비스의 규모가 커지고 발전함에 따라 클라우드 컴퓨팅 환경을 유지하기 위해 소비되는 전력관리로 인한 문제점들이 발생하고 있다. 이러한 문제들을 위해 데이터센터의 설치된 장비나 데이터저장에 소모되는 전력을 분석하는 연구가 진행되고 있으며, 데이터센터의 시설적인 측면에서 비용절감 연구가 진행되고 있다. 하지만, 클라우드 환경에서 서비스 이용자들이 클라우드 서비스를 이용할 때 전력을 측정하는 연구는 미비한 상황이다. 본 논문에서는 가상의 클라우드 컴퓨팅 환경에서 시뮬레이터를 이용해 사용 중인 컴퓨터 자원을 수집하고, 수집된 정보를 수식을 이용하여 전력을 측정하는 방안을 제시한다. 또한 전력공급계산 시뮬레이터를 이용해 전력을 측정한 값과 비교 분석한다.

2. 관련 연구

최근들어 네트워크 전력 소비에 관련된 연구들이 활발히 진행되고 있다. [1]에서는 인터넷 장비, 교체주기에 대한 조사를 통하여 에너지 사용량의 측정 및 분석을 하였고, [2]에서는 데이터 센터 서버들의 CPU 사용량 및 메모리, 네트워크 트래픽 분석 및 자원 사용량 변화 예측 알고리즘을 이용하여 전력 소비에 관해 연구했다. 또한, [3]에서는 IEEE 802.11 무선 네트워크 인터페이스 에너지 소비 분석에 대한 연구도 진행 하였다. 이러한 연구 동향들은 일반적인 유무선 네트워크 환경에서 네트워크 장비 및 데이터 저장에 소모되는 전력을 줄이는 방향으로 진행되고 있음을 알 수 있다.

3. 제안 방안

3.1 가상의 클라우드 컴퓨팅 환경 구축

가상의 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하기 위해 VMware에서 클라우드 컴퓨팅 서비스 모델인 IaaS를 구축하기 위해 리눅스 기반의 유칼립투스[4] 환경을 구축하

였다. 가상의 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하기 위해 사용된 컴퓨터 사양은 CPU i5-330s 2.70GHz이고, 4GB의 DDR3 RAM과 1TB 7200RPM HDD이다. VMware를 이용하여 가상의 클라우드 컴퓨팅 환경인 유칼립투스에 사용되는 컨트롤러(PC)의 OS는 리눅스 기반의 Cent OS를 설치하였다. 가상으로 설치한 유칼립투스 클라우드 컨트롤러의 사양은 다음 표 1과 같이 설정하였다.

<표 1> 유칼립투스 컨트롤러 주요 사양

CONTROLLER	CPU	MEMORY	HDD
Cloud Controller	8core/10core	64GB	1TB/4TB

3.2 시뮬레이터를 이용한 전력 측정 방안

가상의 클라우드 환경에서 전력을 측정하기 위해서 전력 측정 시뮬레이터인 Cloud Monitor[5]와 Power supply calculator[6]를 이용한다. 클라우드 환경에서 전력 사용량은 PC가 기본적으로 작동했을 때 소비되는 기본 전력과, 사용자들이 클라우드 서비스를 이용하는 상황을 가정하기 위해 특정 프로그램을 실행했을 때 소비되는 전력을 측정하여 두 값을 합산하여 얻어진다.

이러한 값을 구하기 위해 Cloud Monitor 시뮬레이터를 이용하여 주기적으로 컴퓨팅 자원의 정보를 얻는다. 실시간으로 얻어지는 정보는 CPU, HDD, 메모리 데이터이다. 수식(1)[7]과 수식(2)[8]를 이용하여 수식(3)을 도출하고 이 식을 이용하여 소비된 전력을 구할 수 있다.

$$P_{total} = P_{idle} + P_{cpu} + P_{mem} + P_{hdd} + P_{net} \quad (1)$$

$$P_{total} = P_{idle} + P_{peak} \times Active\% \quad (2)$$

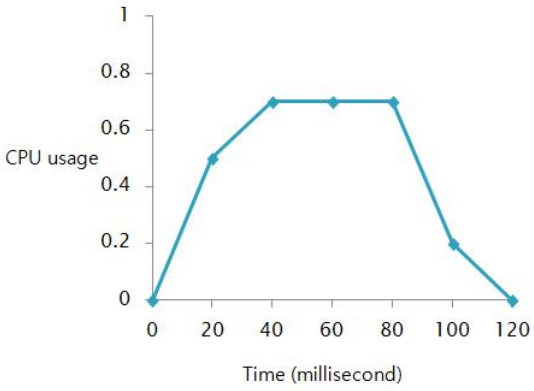
$$P_{total} = P_{idle} + M_{cpu}(\frac{U_{cpu}}{T_{cpu}}) + M_{mem}(\frac{U_{mem}}{T_{mem}}) + M_{hdd}(\frac{U_{hdd}}{T_{hdd}}) + M_{net}(\frac{U_{net}}{T_{net}}) \quad (3)$$

<표 2> 수식 파라미터 정의

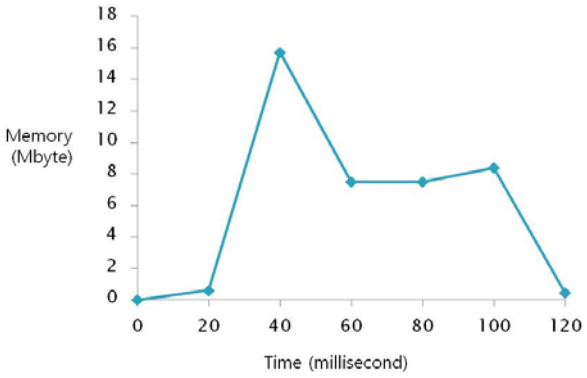
SYMBOL	DEFINITION
P_{total}	기본 소비 전력 과 특정 프로그램 실행 시 소비되는 전력 총합
P_{idle}	기본 소비 전력
P_{peak}	시스템을 100% 동작했을 때 소비 전력
$Active\%$	사용 중인 시스템의 전력 비율
M_i	자원i가 100% 동작했을 때 소비 전력
U_i	자원i의 사용량
T_i	자원i의 전체 용량

4. 성능 평가

이번 장에서는 Cloud Monitor를 통하여 클라우드 컴퓨팅 환경에서 소비되는 컴퓨팅 자원의 정보를 그래프로 나타낸다. 이 정보를 통하여 실시간으로 컴퓨팅 자원이 시간에 따라 얼마나 사용되는지 확인 할 수 있다. 클라우드 컴퓨팅 실행 시 소비되는 전력을 구하기 위해서 압축프로그램인 7zip을 실행하였다. 그림 1은 CPU가 10core, HDD가 1TB 일 때 시간에 따른 CPU와 메모리의 사용률을 나타내는 그래프이다.

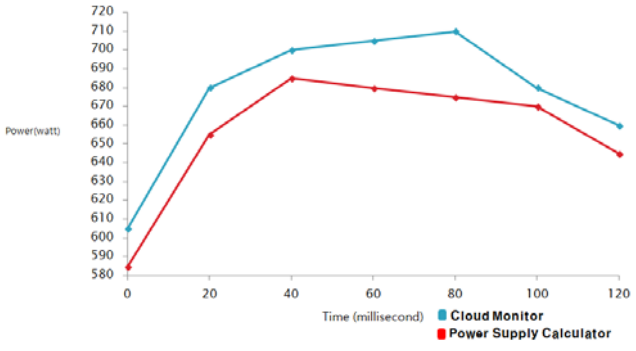


(a) 7zip 실행 시 CPU 사용률



(b) 7zip 실행 시 MEMORY 사용량

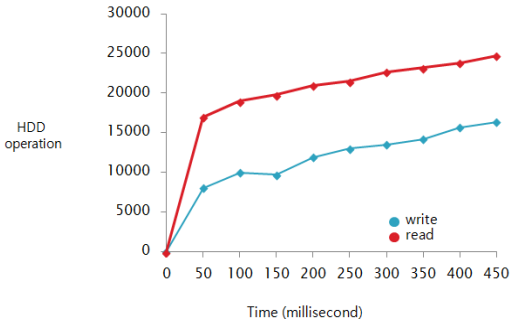
(그림 1) 7zip 실행 시 CPU 사용률과 MEMORY 사용량



(그림 2) 7zip 실행 시 전체 전력 사용량

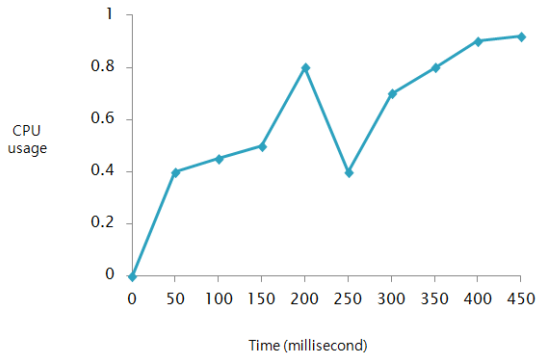
그림 2는 7zip 실행 시 소모된 전력 사용량을 Cloud

Monitor와 Power supply calculator를 이용하여 측정된 값으로 비교하여 보여준다. 7zip 프로그램을 CPU bounded 인 프로그램이므로 전체 전력 사용량이 CPU 사용율과 유사한 패턴을 나타나게 된다.

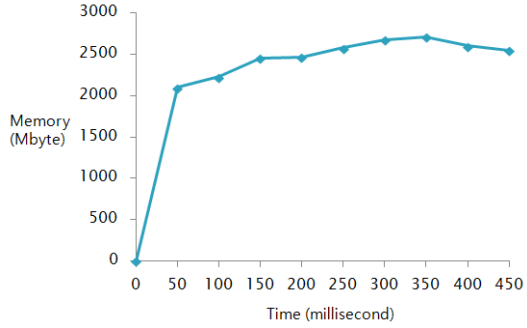


(그림 3) AIO-stress 실행 시 HDD 동작 수

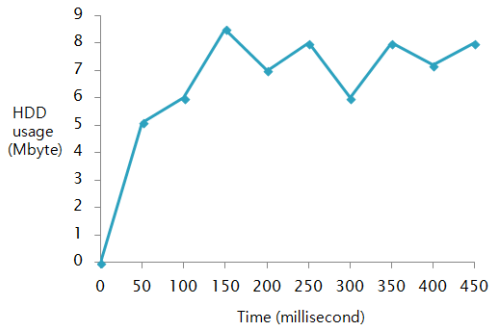
그림 3은 AIO-stress tool[9]을 사용하여 HDD의 동작횟수를 나타낸 그래프이다. CPU는 8core이고 HDD는 4TB이다. AIO-stress는 HDD를 연속적으로 읽기, 쓰기를 수행하게 해주는 워크로드 생성기이다. 이 tool을 사용하면 가상의 HDD를 만들고, 그 HDD상에서 정해진 시간 동안 읽기, 쓰기 횟수를 점진적으로 증가 시켜준다. 그림 4와 그림 5는 AIO-stress tool 사용 시 CPU 사용률과 Memory 사용률을 보여준다. 그림 6은 AIO-stress tool 사용 시 시간에 따른 HDD 사용량을 보여준다.



(그림 4) AIO-stress 실행 시 CPU 사용률



(그림 5) AIO-stress 실행 시 MEMORY 사용량



(그림 6) AIO-stress 실행 시 HDD 사용량

3.2 장에서 나온 수식을 이용하여 다음과 같은 실제 소비된 전력을 구하는 식을 유도하였다.

$$P_{consume} = M_{cpu}(\frac{U_{cpu}}{T_{cpu}}) + M_{mem}(\frac{U_{mem}}{T_{mem}}) + M_{hdd}(\frac{U_{hdd}}{T_{hdd}}) \quad (4)$$

AIO-stress를 통해 나온 각 자원의 전력과 자원별 100% 동작 할 때 사용전력을 유도한 수식(4)에 대입하면 소비한 전력이 얻어진다. 자원의 100% 동작 시 전력은 각 제조사의 설계모델의 의해 얻을 수 있다.

즉, M_{cpu}(CPU 100%동작 시 전력)은 105w[10], M_{mem}(MEMORY 100% 동작 시 전력)은 8.5w[11], M_{hdd}(HDD 100%동작 시 전력)은 84w[12]를 사용한다.

$$\frac{U_{cpu}}{T_{cpu}} = 0.5 \quad (5)$$

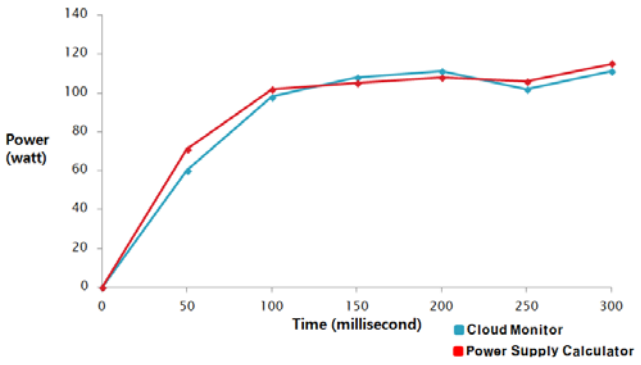
$$\frac{U_{mem}}{T_{mem}} = \frac{2516582}{67108864}(\text{kbyte}) = 0.037 \quad (6)$$

$$\frac{U_{hdd}}{T_{hdd}} = \frac{6291468}{10485760} = 0.6 \quad (7)$$

$$P_{consume} = 103.21\text{w} \quad (8)$$

위의 결과로 Cloud Monitor를 이용한 전력은 약 103w의 전력을 얻을 수 있다. Power Supply Calculator에 CPU, MEMORY, HDD의 사양을 입력하고 각각의 사용률 50%, 3.7%, 60% 입력하면 약 105w의 전력 사용량을 얻는다.

그림 7은 클라우드 환경에서 AIO-stress 실행 시 Cloud Monitor를 이용하여 얻은 전력 사용량과 Power Supply Calculator 통하여 얻은 전력 사용량을 보여준다. 두 값은 평균 2.3%의 차이밖에 보이지 않는 유사한 값을 나타낸다.



(그림 7) AIO-stress 실행 시 전력 사용량

AIO-stress 프로그램은 HDD-bounded 프로그램이므로 전력 사용량이 그림 6의 HDD 사용량과 유사한 패턴을 나타낸다.

5. 결론

클라우드 컴퓨팅 기술이 발전함에 따라 클라우드 컴퓨팅이 구축되어 있는 데이터센터의 전력 관련 문제가 점차 증가하고 있다. 정확한 전력관리를 위해서 클라우드 컴퓨팅 환경에서 소비되는 전력을 정확히 파악하는 것이 중요하다고 볼 수 있다.

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅의 대표적인 서비스 모델인 IaaS를 구축하여 가상의 클라우드 컴퓨팅 환경에서 소비되는 전력을 측정하기 위해 특정 프로그램을 실행하였다. 이때 사용된 컴퓨팅 자원의 정보를 수집하는 Cloud Monitor와 소비된 전력을 계산할 수 있는 Power Supply Calculator를 이용하여 각각의 소비된 전력을 측정하고 비교 분석 하였다.

CPU 자원을 주로 사용하는 프로그램인 7zip을 수행하는 동안 측정한 전력 사용량은 CPU 사용률과 유사한 패턴을 보였으며, HDD를 주로 사용하는 프로그램인 AIO-stress tool이 수행되는 동안 소비된 전력 사용량은 HDD 사용율과 유사한 패턴을 나타내었다.

이러한 측정방법으로 클라우드 컴퓨팅 환경에서 소비된 전력측정 뿐만 아니라 향후에 사용될 컴퓨팅 자원의 사용률을 예상할 수 있다면 이에 따른 전력 소비량도 예측 할 수 있을 것으로 보이며, 향후 데이터센터의 전력을 관리하는데 도움이 될 수 있다고 예상된다.

Acknowledgement

"이 논문은 2013년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2013R1A1A2009541)"

참고문헌

[1] R.Barath and M. Justin "The energy and energy of the internet" 10th ACM Workshop on Hot Topics in Networks Article No. 9, 2011

[2] 김영훈, 김태석, 심규석 "자원사용량 예측을 이용한 데이터 센터의 에너지 소비 절감" 정보과학회, 가을 학술 발표논문집 Vol 38, No. 2, Sep 2011

[3] L. M. Freeney and M. Nilson "Investigating the energy consumption of a wireless network interface in an ad hoc networking environment" IEEE Computer and Communications Societies, vol 3, PP1548-1557, Apr 2001

[4] http://www.yucalyptus.com

[5] J. W. Smith and I. Sommerville "Workload Classification & Software Energy Measurement for Efficient Scheduling on Private Cloud Platforms" The ACM Symposium on Cloud Computing 2011, May 2011

[6] http://www.extreme.outervision.com

[7] L. A. Barroso "The price of perfomance" ACM Queue, vol. 3, no. 7, pp. 48-53, Sep 2005

[8] L. A. Barroso and U. Holzle "The case for energy-proportional computing" Computer, vol. 30, No. 12, pp. 33-37, Dec 2007

[9] http://openbenchmarking.org

[10] http://ark.intel.com

[11] http://www.micron.com

[12] http://www.wdc.com/kr