

클라우드 컴퓨팅 환경에서 자원의 사용률을 이용한 소비전력 예측 방안

Prediction Method about Power Consumption by Using Utilization Rate of Resources in Cloud Computing Environment

박 상 면¹ 문 영 성*
Sang-myeon Park Young-song Mun

요 약

최근 클라우드 컴퓨팅 기술이 발전함에 따라, 언제 어디서나 스마트폰이나 컴퓨터로 접속하여 업무를 처리할 수 있다. 또한 IT 인프라를 구축하기 위한 초기투자비용과 유지보수에 대한 부담을 줄이는 방안으로 적합하다고 여겨지면서 클라우드 컴퓨팅은 발전하였다. 클라우드 컴퓨팅의 수요가 급격하게 늘어남에 따라, 데이터센터의 환경을 유지하기 위해 소비되는 전력에 관한 문제가 발생하였다. 이 문제를 해결하기 위해서는 먼저 소비전력을 측정할 수 있어야 한다. 비록 전력측정기를 이용하여 소비전력을 측정하는 것은 정확한 소비전력을 얻을 수 있지만, 추가비용이 발생한다. 따라서 본 논문에서는 전력측정기에 의존하지 않고 소비전력을 예측하는 방안을 제시한다. 제시한 방안의 정확성을 입증하기 위해 클라우드 컴퓨팅 환경에서 CPU와 Hard disk 테스트를 실시하였다. 테스트가 진행되는 동안, 제안한 방안과 전력측정기에 의해 예측 값과 실제 값을 얻고, 오차율을 계산하였다. 그 결과 CPU 테스트에서 예측 값과 실제 값의 차이는 약 4.22%이고, Hard disk 테스트에서는 약 8.51%을 보였다.

☞ 주제어 : 클라우드 컴퓨팅, 데이터센터, 소비전력, 전력측정기

ABSTRACT

Recently, as cloud computing technologies are developed, it enable to work anytime and anywhere by smart phone and computer. Also, cloud computing technologies are suited to reduce costs of maintaining IT infrastructure and initial investment, so cloud computing has been developed. As demand about cloud computing has risen sharply, problems of power consumption are occurred to maintain the environment of data center. To solve the problem, first of all, power consumption has been measured. Although using power meter to measure power consumption obtain accurate power consumption, extra cost is incurred. Thus, we propose prediction method about power consumption without power meter. To proving accuracy about proposed method, we perform CPU and Hard disk test on cloud computing environment. During the tests, we obtain both predictive value by proposed method and actual value by power meter, and we calculate error rate. As a result, error rate of predictive value and actual value shows about 4.22% in CPU test and about 8.51% in Hard disk test.

☞ keyword : cloud computing, data center, power consumption, power meter

1. 서 론

최근 클라우드 컴퓨팅 기술이 발전함에 따라, 많은 사람들이 클라우드 컴퓨팅을 사용하고 있다. 클라우드 컴퓨팅이란 인터넷 기반의 컴퓨팅 기술을 의미하며 네트워크, 서버, 스토리지, 서비스, 애플리케이션 등 IT 자원을 인터넷상에서 구축하여 사용자의 필요에 따라 언제 어디서나

컴퓨터 또는 스마트폰 등에 불러와서 사용하는 웹 기반 소프트웨어 서비스이다[1]. 또한 Gartner에서는 2014년 IT 분야 10대 전략기술에 클라우드 컴퓨팅 기술을 선정하였다[2]. 또한 클라우드 컴퓨팅 기술은 IT 인프라 구축에 대한 유지보수비용과 사업초기에 대규모 초기투자비용에 대한 부담을 경감시킬 수 있다는 기대로 관심이 증대되었고 현저히 발전했다. 다시 말해 기업이 IT자원을 소유하는 방식에서 클라우드 컴퓨팅을 이용하여 IT자원을 공유하는 방식으로 전환함에 따라 IT 인프라 구축에 대한 부담 없이 사용할 수 있게 해준다[3].

클라우드 컴퓨팅의 규모가 커지고 발전함에 따라, 클

¹ School of Computing Science and Engineering, Soongsil Univ., Seoul, 156-881, Korea.

* Corresponding author (mun@ssu.ac.kr)

[Received 16 September 2015, Reviewed 18 September 2015, Accepted 5 January 2016]

라우드 컴퓨팅 환경이 구축되어 있는 데이터센터를 유지하기 위해 소비되는 전력에 관한 문제점들이 발생했다. 특히 국내에서는 데이터센터가 소비하는 전력은 총 소비 전력의 2%에 달한다[4]. 이러한 문제점을 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었고, 데이터센터의 유지보수에 필요한 전력 중 가장 많은 부분을 차지하는 냉각의 효율을 높일 수 있는 강가나 극지방에 데이터센터를 건립함으로써 전력문제를 해결하고 있다[5]. 또한 데이터센터가 이용될 때 소비되는 전력을 줄이기 위한 연구도 진행되었는데, 그 중 하나는 J. W. Smith and I. Sommerville의 연구이다 [6]. 이는 하나의 데이터센터의 CPU와 Memory, Hard disk, Network의 자원 정보와 실제소비전력을 바탕으로 소비전력을 예측하는 연구이다. 하지만 이 연구에서 제안한 수식으로 소비전력을 예측하기 위해서는 전력측정기를 이용하여 실제소비전력을 측정해야하는 단점이 있다.

따라서 본 논문에서는 전력측정기 없이 클라우드 컴퓨팅 환경에서 소비되는 자원에 대한 정보를 이용하여 소비전력을 예측하는 수식을 제안하고, 수식의 정확성을 입증하기 위해 CPU 및 Hard disk 테스트를 진행 후 실제소비전력과 비교분석을 진행하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 2장에서는 본 논문에 사용된 관련 연구들이다. 테스트환경 구성을 하고, 본 논문에서 소비전력을 예측하기 위해 사용한 수식을 3장에서 제시한다. 4장에서는 각각의 테스트를 실시하여 예측한 소비전력과 실제소비전력을 비교분석하고, 마지막으로 5장은 결론으로 구성된다.

2. 관련 연구

2.1 클라우드 구축 플랫폼

2.1.1 Eucalyptus

Eucalyptus(Elastic Utility Computing Architecture for Linking Your Programs To Useful Systems)[7]는 리눅스 기반의 오픈소스 기반 소프트웨어 플랫폼으로 IaaS[1] 클라우드 컴퓨팅 서비스를 제공한다. Eucalyptus 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하는 방법은 사용하는 컴퓨터의 대수에 따라 2가지 방법이 존재한다. 첫 번째는 하나의 컴퓨터에 CLC(Cloud controller), CC(Cluster Controller), SC(Storage Controller), Walrus, NC(Network Controller)를 하나의 컴퓨터에 설치하여 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하는 Cloud-in-a-Box 방법이다. 두 번째는 하나의 컴퓨터에

CLC, CC, SC, Walrus를 설치하는 Front-End와 다른 하나의 컴퓨터에 Node Controller를 설치하여 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하는 방법이 있다.

2.1.2 OpenStack

OpenStack[8]은 사설 및 공용 클라우드 컴퓨팅 환경을 구축하기 위한 오픈소스 소프트웨어이며, 거대한 기반시설을 만들기 위해 NASA에서 개발한 플랫폼이다. OpenStack은 Nova(OpenStack Compute), Swift(OpenStack Storage), Glance(OpenStack Imaging Service)로 구성된다. Nova는 다수의 그룹이 사용할 수 있는 서버상의 가상머신을 운용, 관리하기 위한 인프라 클라우드 관리 소프트웨어이다. Swift는 OpenStack Object Storage 프로젝트로서, 대표적인 클라우드 스토리지 서비스 업체인 랙스페이스(Rackspace)의 핵심기술을 오픈 소스화하여 Amazon의 S3 서비스와 비슷한 Object Storage Service를 제공한다. Glance는 가상 머신 이미지에 대한 조회 및 검색 시스템이다.

2.2 J. W. Smith and I. Sommerville 연구

J. W. Smith and I. Sommerville의 연구에서는 데이터센터의 전력을 예측하는 방안으로 식 (1)을 제안했다.

$$P_{total} = \alpha + (\beta_1 * CPU) + (\beta_2 * RAM) + (\beta_3 * HDD) + \beta_4 * Network \quad (1)$$

식 (1)은 VMeter[9]의 Bohra and Chaundary의 식을 기반으로 만들어졌다. 식 (1)을 사용하기 위한 필요조건은 해당 서버의 실제소비전력과 자원의 사용률을 알아야 한다. PDU(Power Distribute Unit)를 이용하여 실제소비전력을 측정하여 P_{total} 에 대입하고, CPU의 사용률과 RAM, HDD, Network의 사용량을 구하기 위해 Cloud Monitor[6]를 이용하였다. Cloud Monitor는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 전력을 산출하기 위한 소프트웨어 기반의 모니터링 툴로써, 영국의 St Andrews 대학의 클라우드 컴퓨팅 연구실에서 컴퓨터 장비의 작업량에 따른 소비된 전력량을 연구하기 위해 개발되었다. 또한 Java의 SIGAR(System Information Gather) API를 사용하여 컴퓨터 자원의 정보를 수집하고, Mysql Database의 각 테이블에 저장된다. 저장된 자원의 정보를 식 (1)에 대입하고, Michael Thomas

Flanagan's Java Scientific Library의 Multiple Linear Regression을 이용하여 α , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 의 값을 구한다. 이처럼 서버의 실제 소비전력을 한번 측정하여 α , β_1 , β_2 , β_3 , β_4 의 값을 구하면 CPU의 사용률과 RAM, HDD, Network의 사용률을 이용하여 전체 데이터센터의 소비전력을 예측하는 연구이다.

3. 환경 구성 및 예측 방법

3.1 환경구성

클라우드 컴퓨팅 환경에서 소비전력을 측정하기 위해 먼저 서버 역할을 할 Host computer를 준비하였다.

(표 1) Host computer 사양
(Table 1) Specification of Host computer

Equipment	Specification
Operating System	CentOS 6.4
CPU	Intel(R) Core(TM) i7-4790 3.60GHz
Memory	32 GB
Hard disk	4TB

표 1과 같은 Host computer에 클라우드 구축 플랫폼인 Eucalyptus를 이용하여 클라우드 환경을 구축하였다. 구축된 클라우드에서 표 2와 같은 VM(Virtual Machine) instance를 생성하였다.

(표 2) VM instance 사양
(Table 2) Specification of VM instance

Equipment	Specification
Operating System	CentOS 6.4
CPU	4 CPU
Memory	16 GB
Hard disk	1 TB

마지막으로 서버의 실제소비전력을 구하기 위해 Host computer에 HPM-100A[10]를 연결하였다. HPM-100A는 연결된 장비의 실제소비전력을 LCD화면에 실시간으로 나타내며 RS232케이블을 이용하여 측정한 소비전력 데이터를 저장 및 관리 할 수 있는 전력측정기이다.

3.2 예측 방법

본 논문에서는 서버의 전력을 측정된 전력 값에 의존하지 않고 소비전력을 예측하는 새로운 방법을 제안하고자 한다. 또한 제안된 수식의 정확성을 실제 측정값과 비교하여 그 우수성을 입증한다.

본 논문에서는 식 (2)와 같이 기본 전력($P_{\{basic\}}$)과 실행 전력($P_{\{active\}}$)의 합으로 총 소비전력을 예측한다.

$$P_{\{prediction\}} = P_{\{basic\}} + \sum_1^k P_{\{active(k)\}} \quad (2)$$

기본 전력은 Mainboard, CPU cooler 등 클라우드 환경을 유지하기 위해 소비되는 전력이다. 실행 전력은 클라우드 컴퓨팅이 해당 작업을 수행할 때 CPU, Memory, Hard disk가 소비한 전력이다.

기본 전력은 식 (3)과 같이 Mainboard, CPU cooler, Case cooler, 그리고 ODD(Optical disc drive)로 구성된다.

$$P_{\{basic\}} = P_{\{Mainboard\}} + P_{\{CPU cooler\}} + P_{\{Case cooler\}} + P_{\{ODD\}} \quad (3)$$

실행전력은 CPU, Memory, Hard disk 자원의 사용률 ($Util_{\{x(i)\}} = \frac{Used_{\{x(i)\}}}{Total_{\{x(i)\}}}$)과 소비전력을 이용하는 수식을 아래와 같이 제안한다.

$$P_{\{active(i)\}} = P_{\{CPU\}} * Util_{\{CPU(i)\}} + P_{\{Memory\}} * Util_{\{Memory(i)\}} + P_{\{Hard disk\}} * Util_{\{Hard disk(i)\}} \quad (4)$$

따라서 본 논문에서 제안하는 소비전력 예측 방안은 다음과 같다.

$$P_{\{Prediction\}} = P_{\{basic\}} + P_{\{CPU\}} * Util_{\{CPU(i)\}} + P_{\{Memory\}} * Util_{\{Memory(i)\}} + P_{\{Hard disk\}} * Util_{\{Hard disk(i)\}} \quad (5)$$

$P_{\{CPU\}}$ 는 COMS 회로에서 전력을 측정하는 식 (6)을 이용하고[11], 나머지 장비들의 소비전력은 전력 및 전기 에너지 구하는 공식인 식 (7)을 이용하여 구한다.

$$P = nCFV^2 \quad (P = \text{power}, n = \text{number of core}, C = \text{capacitance}, \text{ and } F = \text{frequency}) \quad (6)$$

$$P = V * I \quad (P = \text{power}, V = \text{voltage}, \text{ and } I = \text{intensity}) \quad (7)$$

식 (5)와 식 (6)을 이용하여 구한 각 장비들의 소비전력은 표 3과 같다.

(표 3) 각 장비들의 소비전력
(Table 3) Power consumption of each equipment

Symbol		Value (watt)
$P_{\{baseline\}}$	$P_{\{Mainboard\}}$	25 w
	$P_{\{CPU\ cooler\}}$	2 w
	$P_{\{Case\ cooler\}}$	1 w
	$P_{\{ODD\}}$	5 w
$P_{\{CPU\}}$		66 w
$P_{\{Memory\}}$		8 w
$P_{\{Hard\ disk\}}$		7.5 w

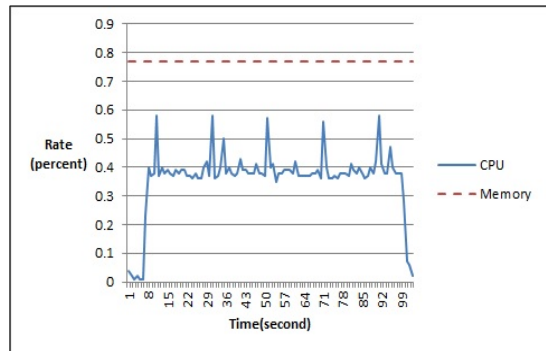
식 (5)에 대입할 각 자원의 사용률을 구하기 위해 Cloud Monitor를 사용하였다. Cloud Monitor는 SIGAR API를 이용하여 1초마다 CPU, Memory, Hard disk의 자원 정보 데이터를 얻은 후 Mysql Database의 각 테이블에 저장한다. 저장된 자원 정보 데이터를 이용하여 각 자원의 사용률을 구한 후 식 (5)에 대입하여 전체 소비전력을 예측하였다.

4. 성능 분석

본 논문에서 제시한 식 (5)을 이용하여 구한 예측 소비전력의 정확성을 입증하기 위해 CPU 및 Hard disk 테스트를 실시하였다. CPU 테스트에는 7-zip[12] 프로그램을 이용하였고, Hard disk 테스트에는 stress[13] 프로그램을 이용하였다. 두 프로그램은 오픈소스로 제공되는 것이 특징이다. 7-zip은 CPU 기반의 압축 소프트웨어이고, stress는 사용자에게 CPU 코어 개수 및 Hard disk의 용량을 받아 읽기 및 쓰기역할을 수행한다. 테스트를 진행하는 동안 Cloud Monitor를 이용하여 각 자원들의 사용률을 구한 후 식 (5)에 대입하여 전체 소비전력을 예측하였다. 또한 실제로 소비되는 전력을 구하기 위해 HPM-100A를 이용하여 측정하였고, 식을 이용한 예측 값과 전력측정기를 이용한 실제 값에 대한 비교분석을 실시하였다.

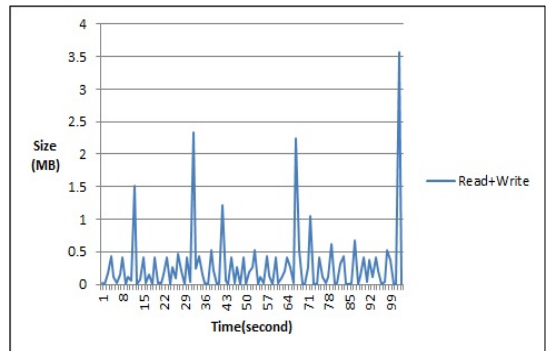
4.1 CPU 테스트

7-zip을 이용하여 CPU 테스트를 진행하기 위해 VM instance에 3GB 임의의 파일을 생성하였다. 그리고 압축하기 전에 Cloud Monitor를 이용하여 CPU와 Memory, Hard disk의 사용률을 측정하여 아래와 같이 구하였다. 그림 1은 CPU 테스트가 진행될 때 CPU와 Memory의 사용률이다.



(그림 1) CPU & Memory 사용률
(Fig. 1) Utilization rate of CPU & Memory

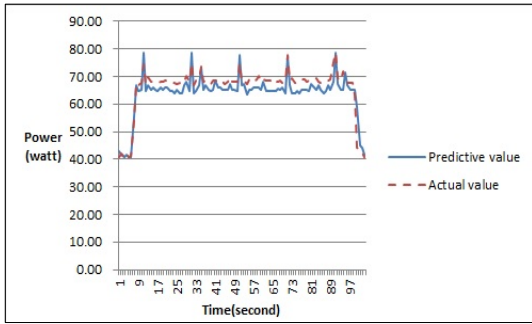
그림 2는 CPU 테스트가 진행될 때 사용된 Hard disk의 용량이다. 단위는 MB(Mega Byte)이며 총 약 28.72MB가 사용되었다.



(그림 2) 사용된 Hard disk 용량
(Fig. 2) Used volume of Hard disk

그림 3은 본 논문에서 제안한 수식에 사용률을 대입하여 얻은 예측 값과 HPM-100A를 이용하여 측정한 실제 값이다. 예측 값과 실제 값은 테스트가 진행되기 전, 즉

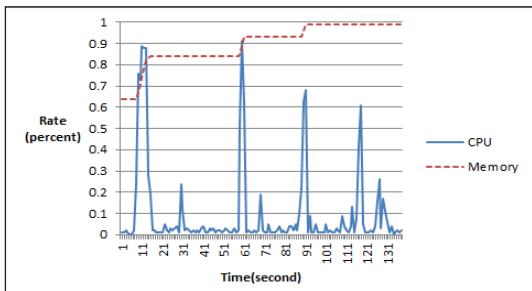
7-zip이 실행되기 전에는 비슷한 값을 지닌다. 테스트가 진행되는 시점부터는 예측 값이 최대값과 최소값의 폭이 크고 실제 값은 최대값과 최소값의 폭이 작다. 예측 값과 실제 값의 차이($\frac{|예측값 - 실제값|}{실제값} * 100$)는 4.22%이다.



(그림 3) 예측 값과 실제 값의 차이
(Fig. 3) Difference of predictive value and actual value

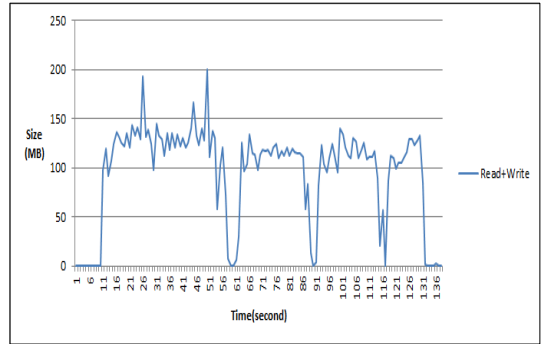
4.2 Hard disk 테스트

stress를 이용하여 Hard disk 테스트를 진행하였다. stress는 사용자에게 CPU 코어 개수 및 Hard disk의 용량을 받는다. Hard disk 테스트에는 CPU 코어 개수는 1개로 지정하고, Hard disk의 용량은 200GB로 지정하였다. 그림 4은 Hard disk 테스트가 진행될 때 CPU와 Memory의 사용률이다.



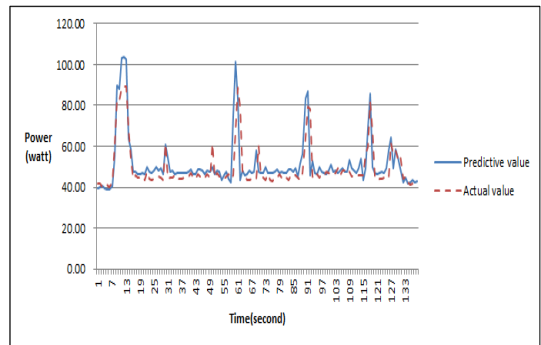
(그림 4) CPU & Memory 사용률
(Fig. 4) Utilization rate of CPU & Memory

그림 5는 CPU 테스트가 진행될 때 사용 된 Hard disk의 용량이다. 단위는 MB(Mega Byte)이며 총 약 13216.06MB (약 12.90GB)가 사용되었다.



(그림 5) 사용 된 Hard disk의 용량
(Fig. 5) Used volume of Hard disk

그림 6은 본 논문에서 제안한 수식에 사용률을 대입하여 얻은 예측 값과 HPM-100A를 이용하여 측정한 실제 값이다. stress가 실행되기 전에는 비슷한 값을 지니지만, 테스트가 진행되는 시점부터는 예측 값의 최고값은 실제 값의 최대값보다 크고 예측 값의 최소값도 실제 값의 최소값보다 크다. 예측 값과 실제 값의 차이($\frac{|예측값 - 실제값|}{실제값} * 100$)는 8.51%이다.



(그림 6) 예측 값과 실제 값의 차이
(Fig. 6) Difference of predictive value and actual value

4.3 테스트 결과 분석

본 논문에서 제안한 수식의 정확성을 증명하기 위해 CPU 및 Hard disk 테스트를 진행하였다. CPU 테스트에서 CPU의 사용률은 평균 37%를 사용하였고, Memory는 평균 77%의 사용률을 기록하였으며, Hard disk의 사용량

은 평균 0.25MB를 기록하였다. 표 4는 CPU 테스트의 결과이다.

(표 4) CPU 테스트 결과
(Table 4) Result of CPU test

	Minimum	Average	Maximum
CPU	1 %	37 %	58 %
Memory	77 %	77 %	77 %
Hard disk	0 MB	0.25 MB	2.34 MB
Predictive value	39.82 w	63.63 w	77.53 w
Actual value	40.76 w	66.80 w	78.77 w

Hard disk 테스트에서 CPU의 사용률은 평균 10%를 사용하였고, Memory는 평균 90%를 사용하였다. 또한 Hard disk의 사용량은 평균 95.8MB를 사용하였다. 다음은 Hard disk 테스트의 결과를 나타낸 표이다.

(표 5) Hard disk 테스트 결과
(Table 4) Result of Hard disk test

	Minimum	Average	Maximum
CPU	0 %	10 %	91 %
Memory	64 %	90 %	99 %
Hard disk	0 MB	95.8 MB	200 MB
Predictive value	39.12 w	50.5 w	102 w
Actual value	40.31 w	49.4 w	89.5 w

기존 J. W. Smith의 연구에서 시행한 소비전력 예측 방법과 본 논문에서 제안한 예측 방법을 비교하였다. 기존 Smith의 연구와 가장 큰 차이점은 전력측정기가 필요 없다는 것이다. 기존 Smith의 연구에서는 소비전력을 예측하기 위해서 제안한 수식은 최초 한 번의 실제전력을 대입하여 수식을 완성시킨 후 소비전력을 예측하는 방법이다. 따라서 전력측정기가 필요하다. 수식을 완성 한 후 서버의 소비전력을 예측하여 약 95%의 정확성을 보였다. 하지만 본 논문에서 제안하는 전력측정기 없이 소비전력을 예측하는 방법은 CPU 테스트에서 약 95%의 정확성을 보였으며 Hard disk 테스트에서는 약 90%의 정확성을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 방안은 별도의 장비

없이 소비전력을 90%이상의 정확도로 예측할 수 있다. 표 6은 Smith의 연구와 본 논문에서 제안한 방안을 비교한 것이다.

(표 6) Smith의 연구와 제안 방안의 비교
(Table 6) Compare Smith's work with proposed method

	Smith's works	Proposed method
Power meter	O	X
Accuracy	About 95%	CPU - about 95%
		Hard disk - about 90%

5. 결 론

클라우드 컴퓨팅 기술은 일상생활에서 편리함을 제공하고 있다. 클라우드 컴퓨팅의 특징인 언제 어디서나 접속하여 업무를 할 수 있다는 것이 가능하기 때문에 클라우드 컴퓨팅은 발전하였다. 하지만 클라우드 컴퓨팅이 구축되어 있는 데이터센터가 요구하는 환경을 유지하기 위해 소비되는 전력문제가 야기되었다. 이러한 전력문제를 해결하기 위해 많은 연구가 진행되었지만, 실제 소비전력을 측정하는 부분은 전력측정기를 사용하여 측정한다. 따라서 본 논문에서는 전력측정기에 의존하지 않고 실제 소비전력과 비슷하게 예측할 수 있는 방안을 제안한다. 제시한 방안의 정확성을 입증하기 위해 클라우드 환경을 구축하고 VM instance에서 CPU 테스트와 Hard disk 테스트를 실시하였고, 제안한 수식에 대입하여 예측 값을 구하였다. 또한 HPM-100A를 이용하여 실제 값을 구한 후 비교분석을 실시하였다. 그 결과 CPU 테스트에서 예측 값과 실제 값의 차이는 4.22%를 보였고, Hard disk 테스트는 8.51%를 보였다. CPU 테스트의 경우 예측 값의 최대값과 최소값 사이에 실제 값이 존재하며, Hard disk 테스트의 경우 실제 값이 예측 값보다 작게 나온다. 예측 값과 실제 값이 차이가 나는 이유 중 하나는 측정프로그램의 차이이다. 예측 값을 구하는 수식에 대입하기 위해 자원의 사용률을 구하는 프로그램인 Cloud Monitor를 사용하였는데, 이는 Java 기반의 프로그램이다. Java 프로그램은 실행 시 ms(milli-second)단위로 수행된다. 하지만 실제 소비전력을 측정하는 전력측정기인 HPM-100A는 전력을 측정하여 데이터화 하는 시간을 s(second)단위이기 때문에 최대 999ms만큼의 오차가 발생한다. 따라서 최악의 경우 예측 값이 실제 값보다 빠르거나 느릴 수 있기 때문

에 두 값의 차이가 커진다.

따라서 향후 이러한 오차를 줄이는 방안에 대해 연구가 진행되어야 할 것이다. 또한 CPU나 Hard disk 테스트 같은 단일 자원에 대한 테스트보다 2가지 이상 자원을 사용할 때 소비전력을 예측하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

Acknowledgement

이 논문은 2013년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2013R1A1A2009541)

참 고 문 헌 (Reference)

- [1] M. Armbrust et al., "A View of Cloud Computing", Communication of the ACM, New York, vol. 53, no. 4, April 2010, pp. 50-58.
<http://dl.acm.org/citation.cfm?id=1721672>
- [2] J. Rivera, "Gartner identifies the top 10 strategic technology trends for 2014", Gartner 2013.
<http://www.gartner.com/newsroom/id/2603623>
- [3] Song In Kuk, "Subjectivity Study on Cloud-based Smart Work Service of a Quasi-Governmental Agency," Journal of Internet Computing and Services, Vol. 15, no. 1, pp. 113-123, Feb. 2014.
<http://dx.doi.org/10.7472/jksii.2014.15.1.113>
- [4] Cho Chang-hee, Kim Kyung-nam, "Development of Package-type Datacenter Energy Monitoring & Optimization System for Power Efficiency Enhancement with building-block architecture," Korean Institute of Next Generation Computing Journal, pp. 36-43, April 2013.
<http://www.earticle.net/article.aspx?sn=198621>
- [5] R. Gelber, "Facebook showcases green datacenter", HPCwire, April 2012. http://www.hpcwire.com/2012/04/26/facebook_showcases_green_datacenter
- [6] J. W. Smith, I. Sommerville, "Workload Classification & Software Energy Measurement for Efficient Scheduling on Private Cloud Platforms", ACM SOCC, May 2011.
<http://arxiv.org/abs/1105.2584v1>
- [7] Nurmi D. et al., "The Eucalyptus Open-Source Cloud-Computing System", In: Proceedings of the 9th IEEE/ACM International Symposium on Cluster Computing and the Grid(CCGRID 2009), Shanghai, China, May 18-May21, 2010.
<http://dx.doi.org/10.1109/CCGRID.2009.93>
- [8] Jung Inhye, Seho Lee, Young Ik Eom, "Comparative Analysis of Open Source Cloud Computing Platforms", Korea Computer Congress, vol. 39, no. 1, 2012
<http://www.dbpia.co.kr/Article/NODE01901544>
- [9] A. E. M. Bohra, V. Chaudhary, "VMeter: Power Modelling for Virtualized Clouds", In: Parallel & Distributed Processing, Workshops and Phd Forum (IPDPSW), 2010 IEEE International Symposium on, April 2010, pp. 1-8.
<http://dx.doi.org/10.1109/IPDPSW.2010.5470907>
- [10] AD Power, HPM-100A, <http://www.adpower21.com/>
- [11] S. Ozga, "CMOS/SOS processors", American Institute of Aeronautics and Astronautics, October 1977. <http://dx.doi.org/10.2514/6.1977-1406>
- [12] I. Pavlov, 7-zip, <http://www.7-zip.org/>, 2012.
- [13] stress, <http://people.seas.harvard.edu/~apw/stress/>

● 저 자 소 개 ●



박 상 먼 (Sang-myeon Park)

2014년 숭실대학교 컴퓨터학부 졸업(학사)

2014~현재 숭실대학교 대학원 컴퓨터학과 재학(석사)

관심분야 : Cloud computing, Internet of Things, Mobile IPv6, etc.

E-mail : sangmyeon87@ssu.ac.kr



문 영 성 (Young-song Mun)

1983년 연세대학교 전자공학과 졸업(학사)

1986년 Univ. of Alberta 전자공학과 졸업(석사)

1987~1994년 한국통신 연구원

1993년 Univ. of Texas Arlington 컴퓨터공학과 졸업(박사)

1994~현재 숭실대학교 컴퓨터학부 교수

관심분야 : Mobile IPv6, Cloud computing, Mobile IPv6 Security, etc.

E-mail : mun@ssu.ac.kr