

서버 클러스터 환경에서 에너지 절약을 위한 향상된 서버 전력 소비 추정 모델

김 동 준^{*} · 곽 후 근^{**} · 권 희 웅^{***} · 김 영 종^{****} · 정 규 식^{*****}

요 약

서버 클러스터 환경에서 에너지 절약을 위한 방법 중 하나는 서버의 전원을 트래픽 상황에 맞게 제어하는 전원 제어 기술이다. 이는 현재 데이터 센터의 전체 에너지 사용량과 각 서버의 에너지 사용량을 파악하여 적절하게 ON/OFF 상태로 관리하는 기술이다. 이를 위해서 각 서버의 전력을 효과적으로 추정하는 방식이 필요한데, 본 논문에서는 비용 면과 에너지 면에서 효율적인 소프트웨어 방식의 추정 모델을 사용하여 전력을 추정한다. 또한 기존의 전력 추정 모델은 CPU의 유휴(idle) 사용량만을 사용함으로써 현재 서버의 세부적인 CPU 상태나 I/O 장치의 사용량을 정확히 파악하지 못하고, 이는 해당 서버의 전력을 효과적으로 추정하지 못하는 단점으로 이어진다.

본 논문에서는 CPU의 다양한 상태 필드를 활용하여 서버의 CPU 및 시스템의 전반적인 상태를 보다 정확히 파악하고, 이에 따라 서버의 전력을 기존의 두 소비전력 추정 모델(CPU/디스크/메모리 기반의 전력 소비 추정 모델 및 CPU 유휴값 기반의 전력 소비 추정 모델)보다 정확히 측정하는 CPU 필드(field) 기반의 전력 추정 모델을 제안한다. 2대의 서버를 사용하여 실험을 수행하였으며, 전력계를 통해 측정한 실제 전력과 각 추정 모델의 추정 값을 비교하여 평균 오차율을 계산하였다. 실험 결과 기존 소비전력 추정 모델이 평균 8-15%대의 오차율을 보이는 반면, 본 논문에서 제안하는 서버 전력 추정 모델은 2%대의 오차율을 보여 주었다.

키워드 : 서버 클러스터, 에너지 절감, 서버 ON/OFF, 전력 추정 모델, CPU 필드

An Improved Estimation Model of Server Power Consumption for Saving Energy in a Server Cluster Environment

Dongjun Kim^{*} · Hukeun Kwak^{**} · Huiung Kwon^{***} · Youngjong Kim^{****} · Kyusik Chung^{*****}

ABSTRACT

In the server cluster environment, one of the ways saving energy is to control server's power according to traffic conditions. This is to determine the ON/OFF state of servers according to energy usage of data center and each server. To do this, we need a way to estimate each server's energy. In this paper, we use a software-based power consumption estimation model because it is more efficient than the hardware model using power meter in terms of energy and cost. The traditional software-based power consumption estimation model has a drawback in that it doesn't know well the computing status of servers because it uses only the idle status field of CPU. Therefore it doesn't estimate consumption power effectively.

In this paper, we present a CPU field based power consumption estimation model to estimate more accurate than the two traditional models (CPU/Disk/Memory utilization based power consumption estimation model and CPU idle utilization based power consumption estimation model) by using the various status fields of CPU to get the CPU status of servers and the overall status of system. We performed experiments using 2 PCs and compared the power consumption estimated by the power consumption model (software) with that measured by the power meter (hardware). The experimental results show that the traditional model has about 8-15% average error rate but our proposed model has about 2% average error rate.

Keywords : Server Cluster, Saving Energy, Server On/Off, Power Estimation Model, CPU Fields

* 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음.
* 본 과제는 중소기업청에서 지원하는 2010년도 산학연 공동기술개발사업 (No.00042268)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.
† 준 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정(교신저자)
†† 정 회 원 : 펌킨네트웍스 기술이사
††† 정 회 원 : 펌킨네트웍스 개발이사

†††† 정 회 원 : 펌킨네트웍스 대표이사
††††† 정 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
논문접수 : 2012년 2월 1일
수정일 : 1차 2012년 3월 7일, 2차 2012년 3월 23일
심사완료 : 2012년 3월 23일

1. 서론

지난 수년 동안 IT의 급속화된 발전과 함께 인프라를 이루는 데이터 센터의 서버 장비들의 성능 또한 향상되고 있다. 서버의 성능이 향상됨에 따라 데이터 센터의 전력 소모 또한 꾸준히 증가하고, 이에 따라 배출되는 이산화탄소 또한 매년 증가하고 있다. 이러한 배경으로 최근 IT 분야에서 녹색 성장을 추구하는 그린 IT[1]가 주목을 받고 있다. 2009년 5월 13일에 발표된 국가 녹색 성장 위원회의 "저탄소 녹색 성장을 위한 그린 IT 국가 전략"에서 정의한 그린 IT는 녹색(Green)과 정보통신기술(IT)의 합성어로 규정하고 "IT 부문 녹색화(Green of IT)", "IT 융합 경제 사회 저탄소화(Green by IT)", "IT를 활용한 기후 변화 대응 역량 강화(IT for Green)" 분야들을 포함하는 포괄적 의미이다.

그린 IT 기술이 저탄소 녹색 사회 구현에 핵심적인 이유는 IT 부문이 차지하는 온실 가스 배출량은 2%에 불과하나 기존 타 산업 분야의 85%에 이를 적용 및 활용하여 상대적인 이산화탄소 배출량의 감축이 가능하기 때문이다. 또 다른 이유는 세계적으로 폭발적인 IT 장비 확산으로 인터넷에서 활용되는 트래픽량이 2006년 637 Gbps에서 2025년은 190배인 121 Tbps로 예측됨에 따라 2025년경에 전 세계 전기 사용량의 15% 이상이 IT 장비에 의하여 소비될 것이라는 진단 예측에 기인한다. 특히 서버, 스토리지 및 네트워크 장비들을 직접 운용하는 데이터 센터는 "전기 먹는 하마"로 불릴 정도로 전력 소비량이 많은 곳으로 그린 IT를 실현하는 데 있어 우선적인 고려 대상이다. 데이터 센터는 크게 IT 장비와 이를 안정적으로 운용하기 위한 기반 설비로 나눌 수 있다. IT 장비는 데이터 센터마다 약간의 차이는 있으나 데이터 센터에서 사용하는 전체 에너지 소비량의 약 50% 이상을 차지한다[2].

데이터 센터 내에서 그린 IT를 실현하기 위한 기술 중 하나는 실시간 서버 전원 관리 기술이다. 이는 현재 데이터 센터의 전체 에너지 사용량을 파악하여 필요한 적정량의 서버만을 ON 상태로 운영하고 나머지 서버는 OFF 상태로 관리하는 것이다[3]. 이를 위해선 현재 데이터 센터의 전체 전력량을 파악해야 할 것이며, 또한 각 서버의 전력 상태를 파악하여 관리가 필요한 시점에 어떠한 서버를 ON/OFF 하는 것이 유리할지 주기적으로 결정할 수 있어야 할 것이다.

이러한 방법을 시행하기 위해선 결국 각 서버의 전력을 효율적으로 파악할 수 있어야 한다. 정확한 전력을 측정하기 위한 방법은 크게 하드웨어적인 방법과 소프트웨어적인 방법으로 나눌 수 있다. 하드웨어적인 방법은 각 서버마다 전력계를 설치하여 전력을 파악하는 것이다. 이러한 방법은 정확한 전력을 산출할 수 있으나 전력계 구입비용과 전력계 운영으로 인한 소비 전력이 추가로 발생함으로 데이터 센터의 운영 비용 및 에너지 절감 측면에서 효율적이지 못한 방법이다.

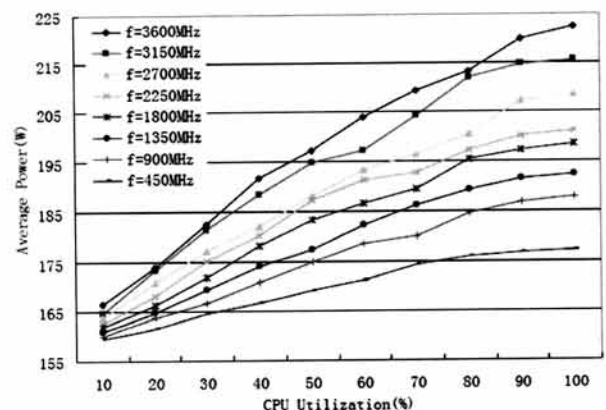
전력을 측정하는 다른 방법으로는 소프트웨어적으로 각 서버의 전력을 추정하는 전력 추정 모델을 활용하는 것이

다. 소프트웨어적인 방법이므로 비용과 소비 전력이 추가적으로 발생하지 않기에 데이터 센터의 운영 비용 및 에너지 절감 측면에서 효율적인 방법일 것이다. 이에 본 논문에서는 비용 및 에너지 측면에서 보다 효율적인 소프트웨어적인 방법에 초점을 맞추고, 전력 추정 모델에 대해 세부적으로 논의 해 나갈 것이다. 기존의 CPU/디스크/메모리 사용량 기반의 전력 추정 모델 및 CPU 유휴값 기반의 전력 추정 모델이 가지는 서버 전력 추정 오차에 대한 원인 분석 및 각 모델의 단점을 보완하여 서버의 소비전력을 보다 정확히 추정하는 CPU 필드 기반의 전력 추정 모델을 소개한다.

본 논문에서 제안하는 전력 추정 모델은 멀티코어가 아닌 싱글코어로 제안한다. 이유는 싱글코어의 경우 CPU 사용률과 전력 소비가 선형적인데 반해, 멀티코어는 CPU 사용률과 전력 소비가 비선형적이기 때문이다. 이러한 이유는 다음과 같다. 싱글코어의 경우 하나의 CPU가 모든 리소스를 독점해서 독립적으로 사용한다. 그러나 멀티코어의 경우 여러 개의 CPU가 리소스들을 공유해서 사용하기도 하고 독립적으로(독점해서) 사용하기도 한다. 모두 독립적으로 사용한다면 CPU 사용률과 소비 전력의 관계가 선형적일 수 있으나 공유해서 사용되는 부분이 존재하여 CPU 사용률과 소비 전력의 관계가 비선형적이 됨을 추론할 수 있다. 예를 들어 모든 CPU가 독립적인 캐시를 가지고 있다면 독립적으로 캐시를 사용하기 때문에 이에 대한 전력 소모는 선형적이다. 그러나 모든 CPU가 하나의 캐시를 공유한다면 각 CPU가 캐시를 이용해 수행한 일이 서로에게 영향을 주기 때문에(그만큼 전력을 많이 사용하기도 하기 때문에) 이에 대한 전력 소모는 비선형적이 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장은 기존의 전력 추정 모델에 대한 특징 및 단점에 대해 설명하고, 3장에선 CPU 필드에 기반한 향상된 서버 전력 추정 모델에 대해 기술한다. 4장은 실험 환경, 실험 결과 및 토론을, 5장은 결론 및 향후 연구 방향을 기술한다.

2. 연구 배경



(그림 1) CPU 사용량과 소비 전력과의 관계

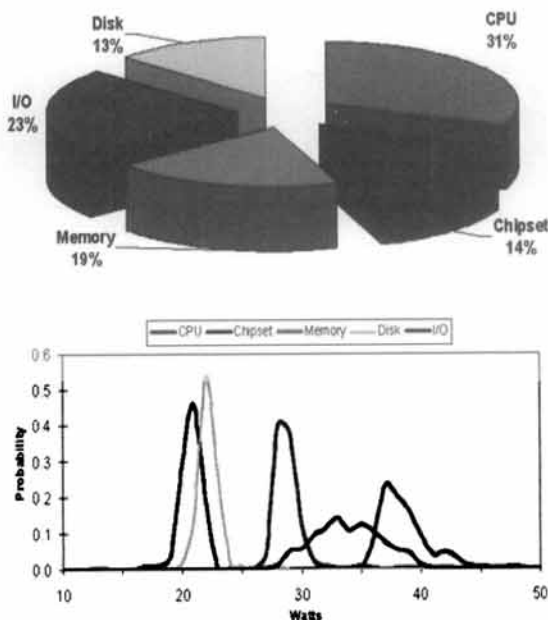
전력 추정 모델은 서버 내 CPU를 비롯한 컴퓨터 구성요소의 부하 수준에 따라 에너지 소모 정도를 측정 및 모델화하는 작업을 의미한다. 기존의 소비 전력 추정 모델은 서버 내 장치인 디스크, 메모리, CPU의 사용량을 기준으로 소비 전력을 추정하는 방식[4]과 CPU의 유휴 상태만을 이용한 전력 추정 방식[5]으로 나누어 볼 수 있다. 두 방식 중 전자인 디스크, 메모리, CPU의 사용량을 기준으로 소비전력을 추정하는 소비 전력 추정 모델은 (그림 1)에서 처럼 CPU의 사용량과 소비 전력이 선형적으로 증가한다는 사실을 전제하고 있다.

해당 전력 소비 추정 모델은 CPU와 마찬가지로 디스크, 메모리 또한 소비 전력과 선형적으로 비례한다는 가정을 기반으로 아래의 수식을 적용하여 소비 전력을 추정 한다.

$$P_i = B_i + \sum_r M_{r,i} \times \frac{R_{r,i}}{C_{r,i}}$$

- P_i = i번째 서버의 소비 전력
- B_i = i번째 서버의 유휴 상태 소비 전력
- $M_{r,i}$ = i번째 서버 r장치의 최대 사용량에서의 소비 전력
- $R_{r,i}$ = i번째 서버 r장치의 사용량
- $C_{r,i}$ = i번째 서버 r장치의 용량

그러나 (그림 2)에 보인 연구 결과[6]에 따르면, CPU 작업의 정도에 따라 에너지 소모 범위가 크고, I/O 장치도 작업 정도에 따른 에너지 소모가 가변되나, 디스크, 메모리, 칩셋 등은 상대적으로 변화 정도가 작다. 따라서 CPU 및 I/O 영역에서의 작업 조절/스케줄링이 에너지 효율을 높이는데 효력을 발휘할 수 있다. 그러므로 CPU 및 I/O 영역에서의



(그림 2) 구성요소별 전력소모 비율 및 진폭 분포도

가동 상태에 따라 전력 소모율이 달라지는 것을 측정하고 모델링할 수 있도록, 기존의 CPU, 메모리 및 디스크를 활용하는 방법에서 탈피하여 소비 전력의 가변에 크게 영향을 주는 CPU 및 I/O 활용에 집중하여 전력 비중을 구하는 것이 효율적인 추정방법일 것이다.

기존의 소비 전력 추정 모델은 디스크, 메모리, CPU라는 요소를 모두 활용하고 있는데, (그림 2)를 통해 설명한 바와 같이 서버의 소비 전력 소모 범위는 CPU 및 I/O의 작업 정도에 따라 크게 영향을 받는다. 또한 2010년 연구 결과[7]에 따르면 CPU가 서버의 주된 전력 소비원이며, CPU에 비해 다른 시스템(디스크, I/O, 메모리 등)은 CPU에 비해 동적으로 소비전력이 변하는데 영향을 주지 않거나, CPU에 밀접하게 관련되어서 수행되기 때문에 CPU 만으로 효율적인 소비전력 추정이 가능하다는 연구 결과를 발표하였다.

$$P(u) = P_{idle} + (P_{busy} - P_{idle})(2u - u^r)$$

- u = CPU 유휴값
- r = Calibration parameter (실험을 통해 얻은 상수 값으로 장비마다 틀리다)
- $P(u)$ = CPU 유휴값이 u 일 때 소비 전력
- P_{idle} = 서버의 사용량이 최소 상태일 때 서버의 소비 전력
- P_{busy} = 서버의 사용량이 최대 상태일 때 서버의 소비 전력

또한 이 연구 결과에 따르면 CPU의 유휴값만을 사용하는 위의 수식을 활용한 전력 추정 모델이 측정 소비 전력 대비 5% 정도의 오차율을 보임을 확인할 수 있다. 이는 앞서 설명하였듯이 컴퓨터를 구성하는 다양한 요소 중 CPU가 소비 전력에 가장 큰 영향을 미치기 때문이며, 이에 본 연구에서는 다른 장치(메모리, 디스크 등)의 사용량은 활용하지 않고 기본적으로 CPU의 사용량만을 활용하는 전력 추정 모델을 채택한다. 또한 기존의 CPU의 사용량만을 활용하는 전력 추정 모델은 CPU의 유휴값만을 기준으로 소비 전력을 추정하는데, 이는 CPU의 다양한 상태 필드를 활용하지 못하는 단점을 가지고 있다. 상태 필드를 활용하게 되면 CPU에 밀접하게 관련되어 수행되는 다른 시스템들의 상태(예, I/O)를 세부적으로 파악할 수 있게 되고, 이는 시스템의 전반적인 상태를 고려하는 방법으로써 효율적인 소비전력 추정이 가능하게 된다.

본 논문에서는 기존 소비 전력 추정 모델들의 단점을 보완하기 위해 여러 시스템 장치 중, CPU의 사용량을 활용하는데 집중하고, CPU의 유휴값만을 활용하는 것이 아닌 다양한 상태 필드(Sys, User, I/O)를 소비 전력 추정에 활용함으로써 기존의 소비 전력 추정 모델보다 현재의 시스템 상황을 보다 정교하게 파악할 수 있는 전력 추정 모델을 설계하였다. 즉, CPU의 유휴값은 Sys, User, I/O의 수치적인 합이지만 이를 개별적으로 분리하여 가중치를 적용하면 CPU의 상태와 더불어 I/O 장치 등의 시스템의 전반적인 상태에 대해 정교하게 파악할 수 있게 되며, 이는 소비 전력을 더

속 효율적으로 추정할 수 있는 근거가 된다. CPU의 각 상태 필드의 의미는 <표 1>과 같다.

<표 1> CPU 상태 필드 의미

필드	의 미
User (us)	CPU가 사용자 수준 코드를 실행한 시간 (단위 : 백분율)
Sys (sy)	CPU가 시스템 수준 코드를 실행한 시간 (단위 : 백분율)
I/O (wa)	입출력 대기 (단위 : 백분율)

3. 제안된 서버 전력 추정 모델

본 연구에서는 CPU의 상태 필드를 활용한 소비 전력 추정 모델을 제안한다. CPU의 Sys, User, I/O의 3가지 필드는 <표 1>에서 설명했듯이 현재 서버가 어떤 시스템 상태에 처해있는지 알려주는 지표가 될 수 있다.

User는 사용자 영역에서 코드 수행으로 CPU가 구동된다. 하지만 I/O가 실행되는 경우에 대해서는 시스템 콜을 통해 커널 영역에서 수행해야 하므로 Sys에 대한 점유율이 나타나게 된다. 그러므로 실질적으로 User 모드는 사용자 영역에서 코드 수행만을 수행할 뿐이며, 따라서 전체 시스템 중 CPU 사용에 대한 전력만 계산될 뿐이다.

Sys는 커널 영역에서 시스템 수준 코드를 실행하는 시간으로써 코드 수행으로 CPU가 구동이 되며, 이를 통해 각종 I/O까지 구동된다. 두 경우(I/O 장치의 실행 혹은 커널 레벨의 실행) 모두 커널 영역에서 실행되기 때문에 Sys에 대한 점유율만 나타나게 된다.

I/O는 I/O에 일을 시켜놓고 대기 중인 상태이다. I/O가 작동하고 있는 시간으로써 실질적으로 CPU 자원은 적게 소모된다. 이로 인해 전력 소비량은 동일한 사용량 대비 세 필드 중 가장 적게 나타난다.

이러한 시스템 상태의 차이로 인해 각 필드의 최대 사용량에서의 전력 소비 정도는 모두 다르다. 앞서 언급했듯이 기존의 추정모델은 CPU의 유휴값만을 활용하여 전력을 추정한다. 유휴값은 아래의 수식과 같이 각 CPU 필드의 합으로 계산된다. 때문에 현재의 컴퓨팅 상황에 대해 정확한 이해가 불가능하고 소비 전력의 추정에 오차가 발생하게 된다.

$$U_{idle} = 100 - (U_{sys} + U_{user} + U_{io wait})$$

U_{idle} = CPU가 유휴상태에 있는 비율

U_{sys} = CPU가 시스템 수준 코드를 사용하는 시간의 비율

U_{user} = CPU가 사용자 수준 코드를 사용하는 시간의 비율

$U_{io wait}$ = CPU가 입출력 대기를 위해 사용하는 시간의 비율

본 연구에서는 각 CPU의 필드별 전력 추정 모델을 사용함으로써 다양한 컴퓨팅 환경에서 정밀한 전력 추정이 가능

하도록 소비 전력 추정 모델을 설계하였다. 이때 $R_{f,i}$ 는 $R_{f,i} = 100 - U_{f,i}$ 로 계산되고 $U_{f,i}$ 는 I번째 서버 CPU 필드 f의 유휴값을 의미한다.

$$P_i = B_i + \sum_f M_{f,i} \times \frac{R_{f,i}}{100}$$

P_i = i번째 서버의 소비 전력

B_i = i번째 서버의 유휴 상태 소비 전력

$M_{f,i}$ = i번째 서버 CPU 필드 f의 최대 사용량에서의 소비 전력

$R_{f,i}$ = i번째 서버 CPU 필드 f의 사용량

위의 수식은 본 연구에서 제안하는 소비 전력 추정 모델이다. CPU의 Sys, User, I/O 필드의 최대 사용량(100%)에서의 소비 전력과 Sys, User, I/O 필드의 현재 사용량을 각각 곱하여 합산하는 방식이다. 각 필드의 최대 사용량에서의 소비전력과 유휴 상태의 소비전력은 실험을 통해 얻는다. 리눅스의 Stress 툴[8]을 활용하여 CPU, 메모리, I/O 장치에 부하를 가하는 방식으로 각 필드의 사용량을 최대치로 설정하고 그때의 소비 전력을 전력 측정기를 통해 측정된 값을 수식에 적용하였다.

4. 실험 및 토론

기존의 전력 추정 모델과 새로운 전력 추정 모델을 실제 컴퓨팅 환경에서 비교 실험하였다. 2 종류의 서버를 대상으로 시험하였으며, AD-Power 사의 HPM-100A를 사용하여 실제 전력을 측정하였다. 실험 환경은 <표 2>와 같다.

<표 2> 전력 모델 실험 환경

Number	서버			전력 측정기	부하 소프트웨어
	CPU (Hz)	메모리	운영체제		
1	P-4 1.8G	512 MB	Fedora 13	HPM-100 A	Stress
2	P-4 2.26G	2 GB			

실험은 리눅스에서 제공하는 Stress 툴을 사용하여 서버의 CPU, 메모리 및 I/O 장치에 부하를 가하여 다양한 컴퓨팅 상황을 만들어 주고, 이러한 상황에서 전력계의 측정값과 소비 전력 추정 모델의 값을 비교하였다. 각 추정 모델의 상수에 해당하는 값은 실험을 통해 측정하였다.

전력 추정 모델의 실험 방법을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 기존의 서버 전력 추정 모델과 본 논문에서 제안된 전력 추정 모델을 서버에 적용한다.

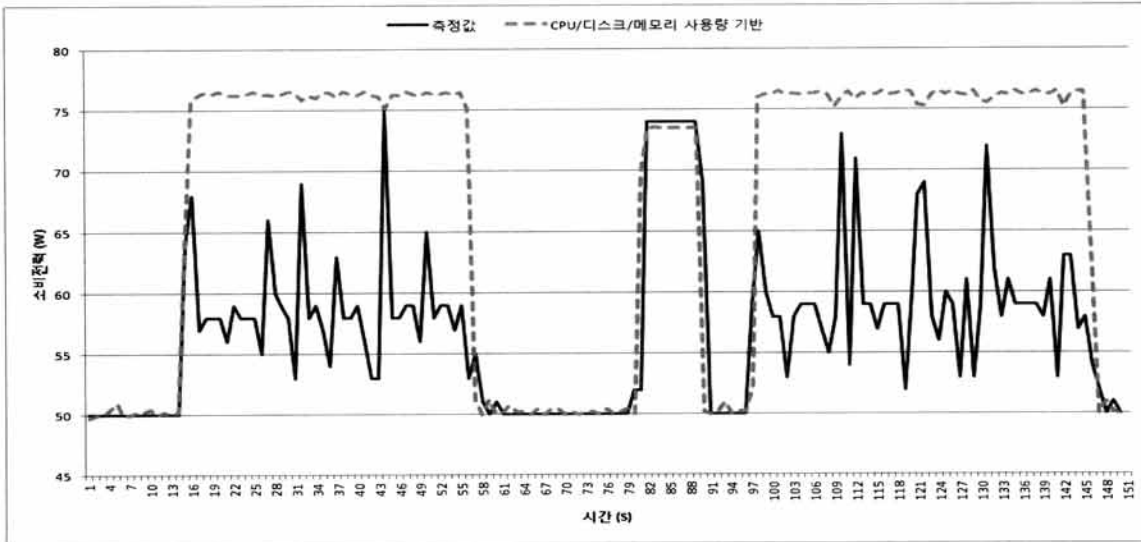
- 2) 전력계(HPM-100A)를 연결하여 실제 서버의 소비 전력을 측정한다.
- 3) Stress 툴을 사용하여 임의적으로 서버에 부하를 발생시킨다.
- 4) 이때 측정된 소비 전력과, 기존의 서버 전력 추정 모델(CPU/디스크/메모리 사용량 기반 및 CPU 유휴값 기반) 및 본 논문에서 제안된 전력 추정 모델에서 추정된 소비 전력을 파일로 기록한다.
- 5) 파일에 기록된 데이터를 비교하여 측정값 대비 평균 오차를 계산한다.

실험 결과 기존의 CPU/디스크/메모리 사용량 기반의 소비 전력 추정 모델(그림 3과 그림 6) 및 CPU 유휴값 기반의 소비 전력 추정 모델(그림 4와 그림 7)에 비해 새로 제

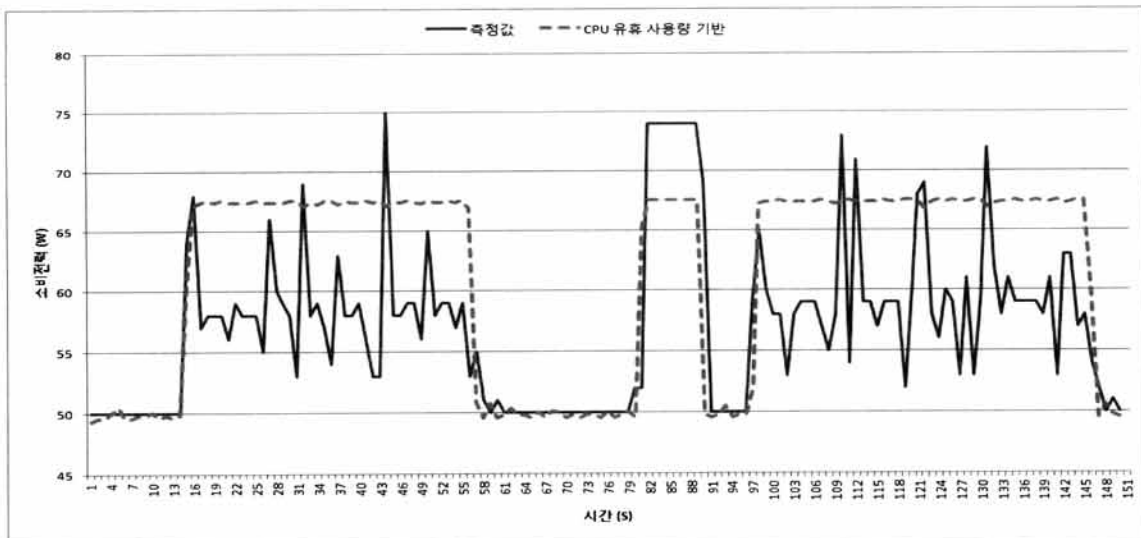
안하는 소비 전력 추정 모델(그림 5와 그림 8)이 월등한 소비 전력 추정 능력을 보여줌을 알 수 있다. <표 3>에 기술하였듯이, 기존 알고리즘 대비 본 연구의 제안 알고리즘이 평균오차를 측면에서 나은 소비 전력 추정 성능을 보여주고 있다.

<표 3> 각 알고리즘의 측정값 대비 소비 전력 평균 오차율

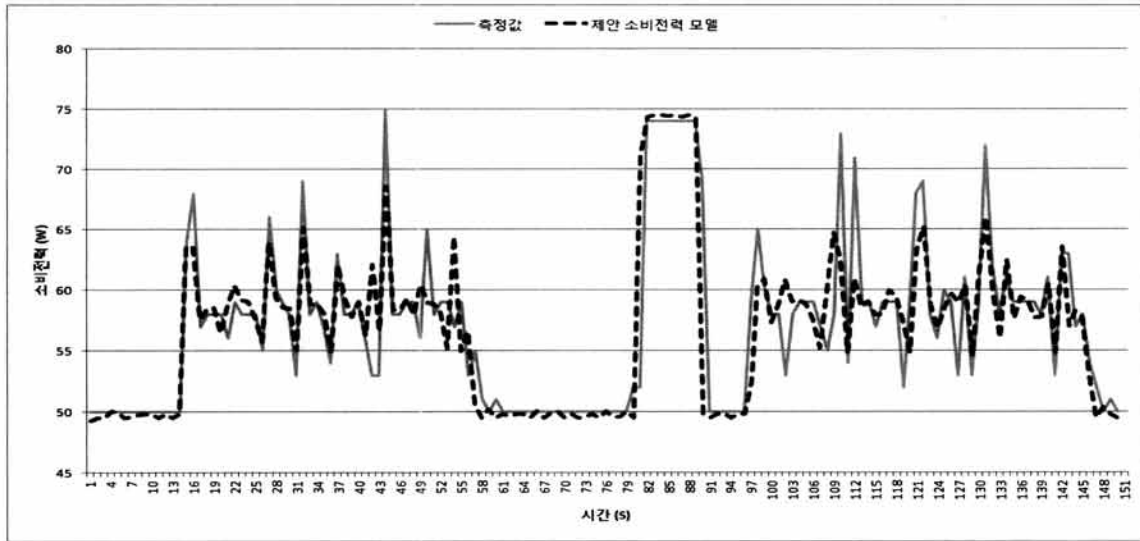
1번 서버			2번 서버		
CPU/디스크/메모리 사용량 기반	CPU 유휴값 기반	제안 알고리즘	CPU/디스크/메모리 사용량 기반	CPU 유휴값 기반	제안 알고리즘
18%	10%	3%	11%	6%	2%



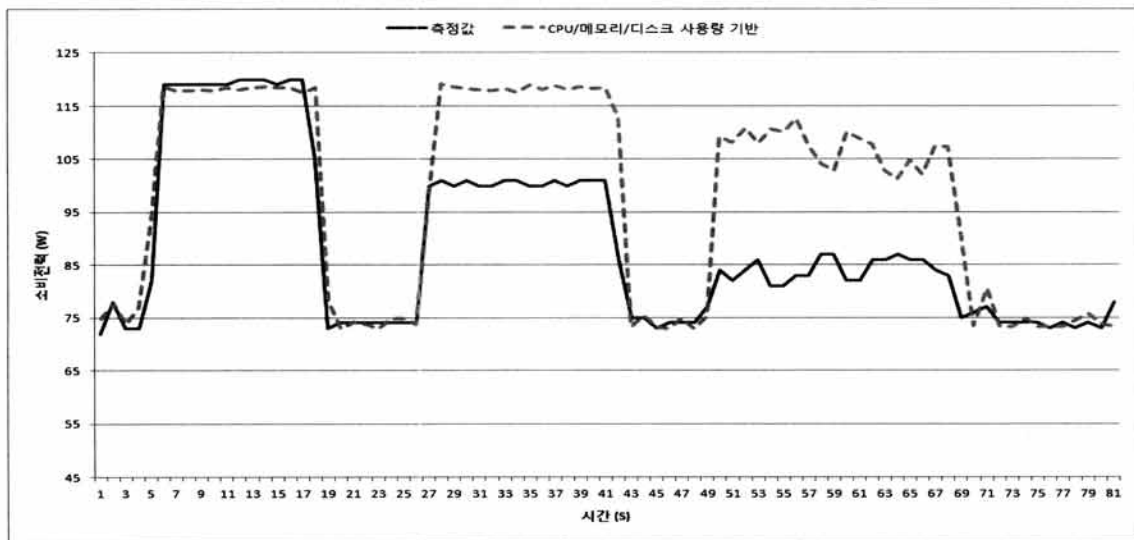
(그림 3) CPU/디스크/메모리 사용량 기반의 전력 추정 모델과 측정값과의 비교 (1번 서버)



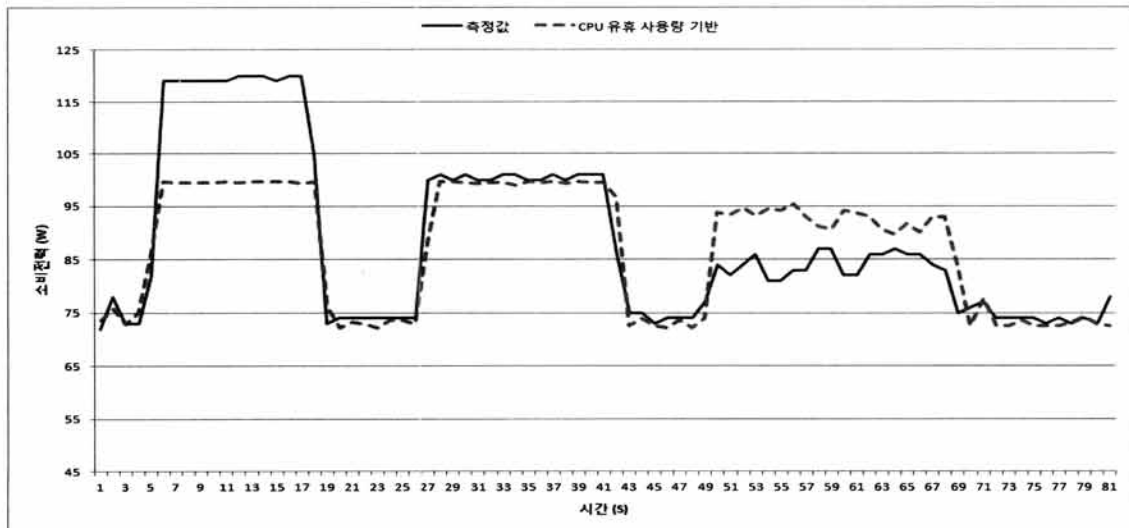
(그림 4) CPU 유휴값 기반의 전력 추정 모델과 측정값과의 비교 (1번 서버)



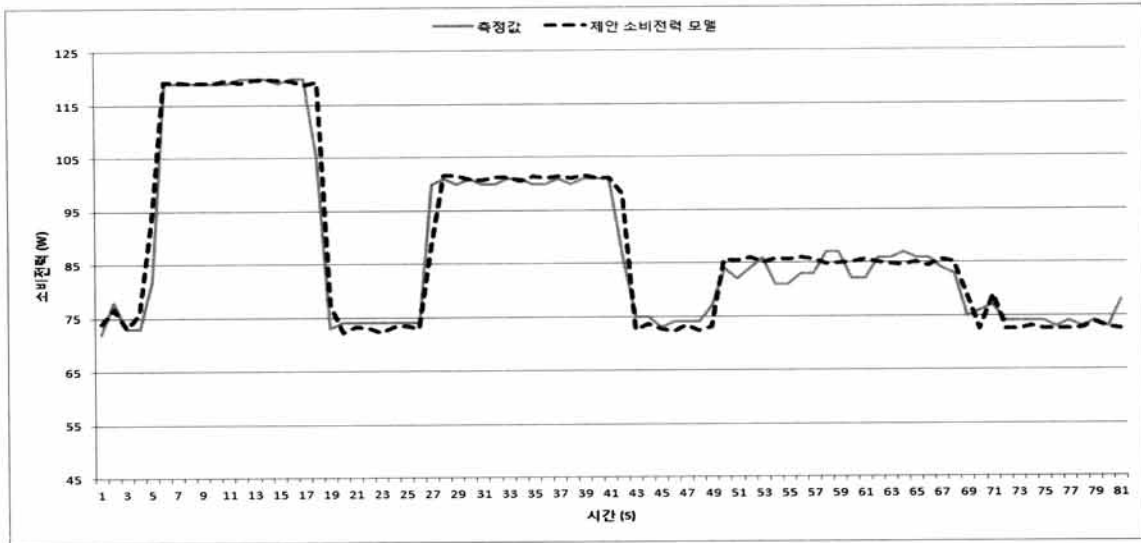
(그림 5) 제안 소비 전력 추정 모델과 측정값과의 비교 (1번 서버)



(그림 6) CPU/디스크/메모리 사용량 기반의 전력 추정 모델과 측정값과의 비교 (2번 서버)



(그림 7) CPU 유휴값 기반의 전력 추정 모델과 측정값과의 비교 (2번 서버)



(그림 8) 제안 소비 전력 추정 모델과 측정값과의 비교 (2번 서버)

제안된 서버 소비 전력 추정 모델은 기존의 소비 전력 추정 모델에 비해 측정값 대비 평균 오차율 측면에서 향상된 성능을 보임을 확인할 수 있다. 이는 기존의 소비 전력 추정 모델이 CPU의 유휴값만을 활용하기 때문에 서버의 시스템 상태를 정확히 파악하지 못하며, 이는 부정확한 소비 전력의 추정으로 이어진다. 이에 본 논문에서는 CPU의 User, Sys, I/O 필드를 활용함으로써 서버의 시스템 상태를 보다 정확히 파악하게 되었고, 이는 기존 소비 전력 추정 모델 대비 상대적으로 정확한 소비 전력을 추정할 수 있는 바탕이 되었다.

본 논문에서 제안한 전력 추정 모델은 CPU의 사용률과 소비 전력이 선형적인 관계라는 가정이 전제되어 있다. 그러한 이유로 암달의 법칙[9]을 따르는 멀티코어는 CPU와 소비 전력의 관계가 선형적이지 않기 때문에 본 논문에서 제안한 전력 모델의 오차율이 싱글코어에 비해 증가하게 되는 문제점을 안고 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 서버 클러스터 환경에서 사용되는 기존의 전력 추정 모델들의 문제점을 지적하고, 이를 개선하는 모델 제안하였다. 전력계를 통해 측정된 실제 소비 전력과 측정값을 비교하였고 기존 전력 추정 모델이 가지는 문제를 해결하기 위해 CPU의 User, Sys, I/O 필드를 활용한 새로운 전력 추정 모델을 제안하였다. 실험을 통해 제안된 전력 추정 모델이 기존 모델에 비해 소비 전력을 추정함에 있어 오차율을 줄일 수 있음을 확인하였다.

향후 연구는 멀티코어 CPU에서의 전력 추정 모델을 구하는 것이다. 멀티코어 CPU에서는 CPU의 사용률과 소비 전력의 관계가 선형적이지 않아(싱글코어에서는 선형적이다) 이를 고려한 전력 추정 모델을 만들어야 한다. 이러한

이유는 싱글코어의 경우 하나의 CPU가 모든 리소스를 독립적으로 사용하는데 반해, 멀티코어의 경우 여러 개의 CPU가 리소스를 독립 혹은 공유해서 사용하기 때문이다. 이를 위해서 전반적인 향후 연구에서 멀티코어에 대한 추정 모델을 연구한다.

참 고 문 헌

- [1] Green computing, http://en.wikipedia.org/wiki/Green_computing/.
- [2] Data center efficiency in the scalable enterprise, Dell, Feb., 2007.
- [3] 함치환, 김호연, 박후근, 권희용, 김영중, 정규식, "서버 클러스터 환경에서 에너지 절약을 위한 학습기반의 서버 전원 모드 제어", 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집 제 18권 제 1호, pp. 175-178, 2011.
- [4] T. Heath et. al, "Energy Conservation in Heterogeneous Server Clusters", Proceedings of the tenth ACM SIGPLAN symposium on Principles and practice of parallel programming, pp.186-195, 2005.
- [5] LI li, TIAN RuiXiong, Yang Bo, and Gao ZhiGuo, "A model of Web Server's Performance-Power Relationship", ICCSN, pp.260-264, 2009.
- [6] W. L. Bircher and L. K. John, "Power Phase Variation in a Commercial Server Workload", Procs. International Symposium on Low-Power Electronics, pp.350-353, 2006.
- [7] A. Beloglazov et al. "A Taxonomy and Survey of Energy-Efficient Data Centers and Cloud Computing Systems", Univ. of Melbourne, Tech. Rep. CLOUDS-TR-2010-3, pp.8-10, 2010.
- [8] A simple workload generator for POSIX systems, <http://weather.ou.edu/~apw/projects/stress/>.
- [9] Amdahl's Law, http://en.wikipedia.org/wiki/Amdahl%27s_Law/.



김 동 준

e-mail : djkim@q.ssu.ac.kr
2005년~2012년 숭실대학교 정보통신전자공학부(학사)
2011년 8월~현 재 펌킨네트웍스 개발엔지니어
2012년 3월~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안



김 영 종

e-mail : opensys@q.ssu.ac.kr
1996년 7월~1998년 4월 ㈜한글과컴퓨터 연구원
2000년 9월~2004년 11월 ㈜캐스트와이즈 대표이사
2006년 1월~2008년 4월 ㈜하우리 대표이사
2007년 7월~2009년 3월 열린사이버대학교 정보지원처장
2007년 12월~2009년 3월 오픈소스커뮤니티연구소 소장
2009년 4월~현 재 펌킨네트웍스 대표이사
관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안



곽 후 근

e-mail : gobarian@q.ssu.ac.kr
1998년 숭실대학교 전자공학과(석사)
1998년~2006년 숭실대학교 전자공학과(박사)
1998년~2000년 (주) 3R 부설 연구소 주임 연구원

2003년~현 재 펌킨네트웍스 기술이사
관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안



정 규 식

e-mail : kchung@q.ssu.ac.kr
1979년 서울대학교 전자공학과(공학사)
1981년 한국과학기술원 전산학과(이학석사)
1986년 미국 University of Southern California(컴퓨터공학석사)
1990년 미국 University of Southern California(컴퓨터공학박사)
1998년 2월~1999년 2월 미국 IBM Almaden 연구소 방문 연구원
1990년 9월~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안



권 희 응

e-mail : didorito@q.ssu.ac.kr
1997년 숭실대학교 정보통신전자공학부(학사)
1999년 숭실대학교 전자공학과(석사)
1999년~2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부(박사)

1999년~현 재 펌킨네트웍스 개발이사
관심분야: 네트워크 및 어플리케이션에 대한 부하 분산, 가속, 보안