

# 클라우드 컴퓨팅에서 Bag-of-tasks 응용을 위한 전력량

## 고려 가상 머신 할당 기법

### (Power-aware Provisioning of Virtual Machines for Bag-of-tasks

### Applications in Cloud Computing)

최지은<sup>o</sup>, 안윤선, 김윤희

숙명여자대학교 컴퓨터과학과

[jechoi1205@gmail.com](mailto:jechoi1205@gmail.com), [ahnysun1@gmail.com](mailto:ahnysun1@gmail.com), [yulan@sm.ac.kr](mailto:yulan@sm.ac.kr)

## 요 약

최근 자원을 가상화하고 기업 또는 개인이 컴퓨터 시스템을 유지 보수하는 비용과 시간 및 인력을 줄일 수 있는 클라우드 컴퓨팅에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 또한 그런 컴퓨팅이 새로운 트렌드로 자리잡으면서 높은 컴퓨팅 수준을 보장하면서 전력량을 줄일 수 있는 연구가 이뤄지고 있다. Green500 과 같이 전세계의 슈퍼컴퓨터를 에너지 효율성이 높은 순으로 리스트를 제공하는 등 전세계의 관심이 증가하고 있어 에너지 효율적인 컴퓨팅 기법의 필요성이 대두되고 있다. 본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 대량의 Bag-of-tasks 응용을 처리하는데 있어서 전력 소모량을 고려한 가상 머신 할당하는 기법에 대해 제안한다. 선행 연구의 경우 빠른 수행시간 내에 작업을 끝낼 수 있는 자원 프로비저닝 기법을 제안하고 있지만 전력 소모량은 고려하고 있지 않다. 따라서 본 논문에서는 사용자의 데드라인 요구사항을 충족하면서 플랫폼 제공자의 전력 소모량을 감소시킬 수 있는 기법에 따라 실험을 진행하였다. 전산유체역학(CFD) 응용에 대해 데드라인 내에 작업을 완료할 수 있는 가장 낮은 주파수 가상 머신을 선택하는 알고리즘에 따라 줄어든 전력 소모량을 계산하여 선행연구와 비교하였다.

키워드: 프로비저닝, Bag-of-tasks, 클라우드 컴퓨팅, 가상 머신, 전력 소모량, 전산유체역학

## 1. 서론

클라우드 컴퓨팅은 사용자가 지불한 만큼 컴퓨팅 서비스를 사용할 수 있도록 하는 웹 기반의 컴퓨팅 패러다임이다. 클라우드 제공자가 제공하는 서비스의 형태에 따라 Infrastructure as a Service (IaaS), Platform as a Service (PaaS), Software as a Service (SaaS)로 구분된다. Service Level Agreements (SLAs)에 따라 사용자와 클라우드 제공자 사이의 컴퓨팅 성능에 대한 요구사항 및 성능 보장이 이루어진다[1]. 기존에는 컴퓨팅 성능에 중점을 둔 슈퍼컴퓨터가 존재했지만, 최근 Green500[6]과 같이 전세계의 슈퍼컴퓨터를 에너지 효율성이 높은 순으로 평가하여 리스트를 제공하는 등의 에너지 소모량에 관한 세계적인 관심이 높아지고 있는 수준이다[2]. 이처럼 그런 컴퓨팅이 새로운 트렌드로 자리하면서 클라우드 컴퓨팅 환경에서 데이터 센터의 전력량을 고려하는 연구의 중요성이 강조되고 있다.

클라우드 컴퓨팅에서 전력량을 고려한 기법은 Static Power Management (SPM)과 Dynamic Power

Management (DPM)로 크게 두 가지로 나눌 수 있다. SPM 기법은 저전력 에너지 효율적인 하드웨어를 사용하여 최대 전력 소비량과 에너지 사용량을 줄이는 기법이다. DPM 기법은 현재 자원 이용률과 응용의 작업배치를 기반으로 에너지 사용량을 줄이는 기법이다. DPM 기법의 대표적인 기술로는 CMOS 회로의 동적 전력을 줄여 전체 전력 소비량을 줄이는 Dynamic Voltage and Frequency Scaling (DVFS) 기술이 있다. DVFS는 CPU 주파수나 공급전압을 조절하여 CPU 동작 속도를 줄여 전체 에너지 사용량을 줄이는 기술이다[2]. 따라서 본 논문에서는 저전력 가상 머신 할당 기법을 위해 낮은 CPU 주파수의 VM을 스케줄링 하는 알고리즘을 제안한다.

한편 선행 연구에서는 데드라인 기반으로 작업을 스케줄링하고, 일정한 주기마다 자원 및 작업에 대한 모니터링을 통해 오토 스케일링을 수행하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 성능과 비용 지향 정책에 따라 자원을 적절히 프로비저닝 하여 자원 활용의 효율 극대화 및 효율적인 비용 산출을 목표로 하고 있다.

본 논문에서는 기존의 오토 스케일링 기법 연구에서는 고려하지 않았던 수행 응용에 대한 전력 소비량을 고려하여 적정 자원에 작업을 수행시키는 가상 머신 할당 기법을 개발하여 시뮬레이션을 진행하였으며, 각각의 전력량을 비교 실험하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2 장에서는 관련 연구에 대해 설명하며, 3 장에서는 제안하는 저전력 스케줄링 알고리즘을 소개한다. 4 장에서는 알고리즘을 클라우드 컴퓨팅 환경에서 구현하여 실험한 내용을 다루고, 5 장에서 결론을 맺는다.

## 2. 관련 연구

클라우드 컴퓨팅이 새로운 패러다임으로 화두가 되면서, 데이터센터에서 시스템 신뢰도와 운영비용을 절감시키는 저전력 기법이 중요해지고 있다. DVFS는 자원의 동작 전압과 동작 주파수를 조절하여 전력량을 감소시키는 기법으로 관련 연구가 활발히 진행되고 있다.

이와 관련하여 [1]연구에서는 실시간 클라우드 서비스에 대한 전력량을 고려한 가상 자원 프로비저닝 기법을 소개한다. 이 연구에서는 클라우드 환경의 실시간 서비스를 데드라인에 관점으로 구분하였으며, 데드라인에 따른 Hard Real-Time (HRT) 서비스와 Soft Real-Time (SRT) 각각에 적합한 DVFS 기법을 소개하고 있다. HRT 서비스에 적용 가능한 DVFS 기법은 또한 3 가지로 구분된다. 가상 머신 요청에 대해 가장 낮은 프로세서 속도를 가진 가상 머신을 할당하는 Lowest-DVFS 기법, 현재의 요구되는 MIPS 율을  $\delta$ 만큼 오버 스케일링 하여 가상 머신을 할당하는  $\delta$ -Advanced-DVFS 기법, 평균 응답시간과 평균 데드라인을 이용한 Adaptive-DVFS 기법이 있다. 이 경우 데드라인을 위반하는 서비스에 대해서는 거절 함으로서 정책을 유지한다. 반면 SRT 서비스는 데드라인을 넘어서는 서비스에 대해서 지연에 따라 패널티를 부과하는 정책을 소개한다. 이 기법은 태스크의 요구성능에 따라 가상 머신을 제공하여 사용자에게 불필요한 비용 부담을 안길 수 있다.

[3]연구는 기존의 DVFS 연구들이 하나의 주파수를 사용하는 것을 보완하여 최대 주파수와 최소주파수 2 개를 사용하여 동적으로 주파수를 변화시키는 DVFS 기법을 제안한다. 그러나 이 기법은 최대 주파수에서 최소 주파수로 주파수를 조절하는 시점을 계산하는 복잡한 계산과정이 존재하기 때문에 이에 따른 오버헤드가 발생할 수 있다.

[4]연구는 데드라인을 고려하고 Bag-of-tasks 응용에 대해 Dynamic Voltage Scaling (DVS) 기법을 적용한 스케줄링 알고리즘을 제안한다. 하지만 이는 클라우드 환경이 아닌 그리드 환경에서 진행되었다. 이와 관련하여 [8]연구에서는 보다 클라우드 환경에서 복잡한 응용인 워크플로우 응용을 대상으로 하여 사용자의 데드라인 요구 조건을 위반하지 않

면서 오토 스케일링 기술을 통해 비용을 감소시키는 연구를 진행하였다. 하지만 이 연구는 간단한 워크플로우만을 이용한 한계가 있으며 실험을 진행하지 않아 기법의 타당성 및 효율성을 검증할 수 없다.

[5]연구에서는 데드라인과 사용자 비용을 고려하여 자원을 할당하고, 사용자가 정의한 규칙을 기반으로 자원 규모의 확장과 축소를 결정하는 기법을 제안하지만 자원의 전력 소모를 고려하지 않는다.

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 전력량을 고려한 가상 자원 할당 기법을 제안한다. 고려되는 클라우드 서비스는 사용자가 요구하는 데드라인을 지켜야 하는 HRT 서비스이다. 제안한 알고리즘은 시뮬레이션을 통해 검증한다. 시뮬레이션에서 사용되는 응용은 많은 양의 Bag-of-tasks 응용으로 실험하였다.

## 3. Power-aware Scheduling

본 논문에서는 클라우드 컴퓨팅 환경에서 Bag-of-tasks 응용에 대한 가상 자원 할당 기법을 제안한다. 본 장에서는 제안하는 스케줄링 알고리즘을 소개한다.

### 1) 전력량 고려 스케줄링 알고리즘

본 논문에서 제안하는 전력량을 고려한 가상 머신 스케줄링 알고리즘은 그림 1 과 같다. 먼저 응용이 SLA 와 함께 사용자에게 의해 제출된다. 이후 제출된 응용은 작업의 형태로 기다리고 있고, 알고리즘에 따라 작업에 대한 가상 머신(VM)의 스케줄링이 제공된다.

---

#### Algorithm - Power-aware Scheduling

*Input* - Waiting jobs of the applications,

SLA = {a deadline  $D$ },

*Output* - Scheduling decision  $S = \{jobs \rightarrow VMs\}$

---

1: Sort waiting jobs in decreasing order of execution length;

2:  $VM \leftarrow null$ ;

3: **for** each job  $j$  **do**

4:   **for** each private  $vm$  **do**

5:     **If**  $vm\_AvailableTime < CurrentTime$  **then**

6:          $EST_{vm} = CurrentTime$ ;

7:     **Else**

8:          $EST_{vm} = vm\_AvailableTime$ ;

9:      $VM \leftarrow$  find a  $vm$  on which  $j$  can start the lowest frequency within the  $D$ ;

10:      $EFT_{vm} \leftarrow EST_{vm} + ET_{vm}$ ;

11:     schedule  $j$  to  $vm$ ;

12:     continue with the next job;

13:   **end for**

14: **end for**

15: **return**  $S$ ;

---

그림 1. 저전력 스케줄링 알고리즘

제출된 작업은 길이가 긴 순서대로 정렬된 다음 각 작업이 정책에 따라 자원에 할당 된다. 각 자원에 대해서는 가능한 가장 빨리 수행될 수 있는 시간 Earliest Start Time (EST)와 예상되는 작업의 종료 시간 Estimated Finish Time (EFT)을 고려하게 된다. 가상 머신의 이용 가능한 시간이 현재시간 보다 작은 경우, 즉 가상 머신이 시작하고 있지 않았던 경우 EST 를 현재시간으로 한다. 작업의 길이를 자원의 주파수로 나누면 각 작업의 실행시간 Execution time (ET)가 계산되는데 EST 에 ET 를 더한 시간이 해당 자원에서 작업을 실행하였을 때 EFT 가 된다. EF 가 데드라인 내에 존재하고 가장 낮은 주파수를 가진 VM 이 최종적으로 작업의 자원으로 선택되어 작업이 VM 에 스케줄 된다. 이어 대기하고 있는 모든 작업에 대해 알고리즘이 수행되고, 스케줄링 알고리즘의 결과 각 작업에 대한 VM 할당 결과가 결정된다.

#### 4. 실험

본 장에서는 제안한 알고리즘의 효율성을 검증하기 위해 진행한 실험을 소개한다. 진행된 실험은 CloudSim[7]으로 클라우드 환경에서 시뮬레이션 하였으며 Bag-of-tasks 형식의 CFD[9] 기반의 응용을 대상으로 하였다.

##### 1) 전력 소모량 계산식.

다음의 식(1)은 [1]연구의 Power Model 식으로 본 논문에서 전력 소모량을 계산하기 위해 사용하였다.

$$E = \alpha * S^2 * t \quad (1)$$

전체 에너지 소모량은 비례상수  $\alpha$ 와 상대속도  $S$ 의 제곱의 곱에 사용시간  $t$ 의 곱하여 계산할 수 있다. 상대속도  $S$ 는 각 VM의 주파수를 최대 주파수로 나눈 값으로 한다. 다음 표는 실험에서 사용된 가상 머신의 MIPS와 상대속도를 나타낸다.

표 1. 시뮬레이션에서 사용된 가상 머신의 동작점

No.(vm <sub>i</sub> )	MIPS (M <sub>i</sub> )	Relative Speed (S <sub>i</sub> )
0	200	0.28
1	400	0.57
2	500	0.71
3	600	0.85
4	700	1

##### 2) 성능 평가 및 비교

실험에서 사용된 응용은 Bag-of-tasks 형태의 전산유체역학(CFD) 응용으로 5,000 개의 작업을 가진

다. 각 작업의 길이는 최소 420,000MI (Million Instruction)부터 최대 1,200,000MI 길이 내에서 평균 길이 660,000MI 를 기준으로 정규 분포를 이용하여 랜덤하게 생성한다. 데드라인 조건은 100 만초로 하였다.

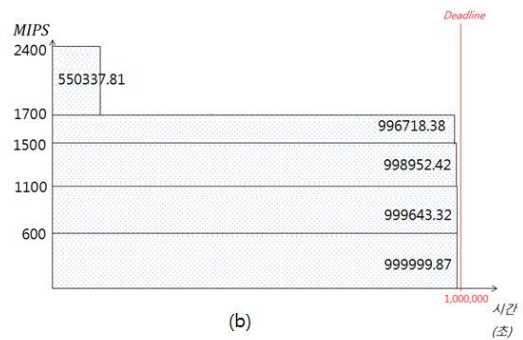
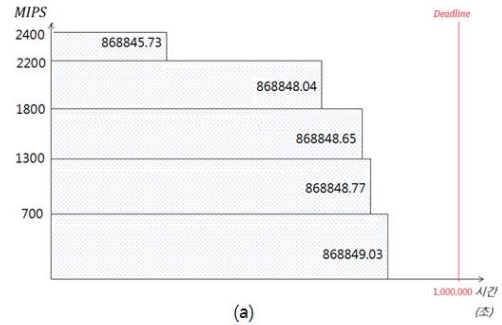
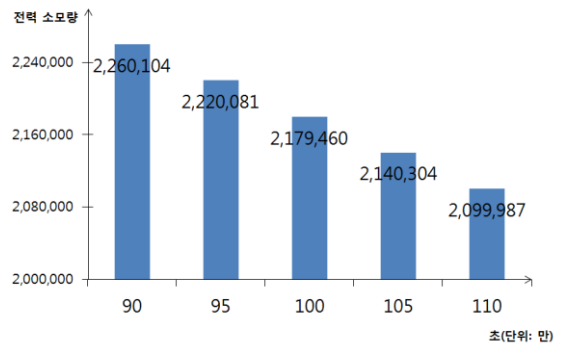


그림 2. VM 스케줄링 결과 비교 (a) EST, (b) lowest frequency

그림 2-(a)는 데드라인 내에 EST 를 고려하여 작업을 가장 빠른 시간에 시작할 수 있는 가상 머신에 작업을 할당할 경우를 나타낸다. 그림 2-(b)는 본 논문의 제안하는 알고리즘에 따라 데드라인 내에 가장 낮은 주파수의 VM에 작업을 할당한 경우를 보여준다. 식(1)에 따라 각각의 전력 소모량을 계산한 결과 그림 2-(a)의 전력 소모량은 22,849 이고, 그림 2-(b)에서는 21,794 로 본 논문에서 제안하는 알고리즘을 적용한 결과 약 10%의 전력 감소를 보였다.



3) 데드라인에 따른 전력 소모량 비교  
그림 3. 데드라인- 전력소모량 관계

그림 3 는 제안한 알고리즘에서 데드라인에 따른 전력 소모량의 변화를 보여준다. 데드라인을 90 만 초에서 110 만초로 변화시키면서 실험하였다. 그래프를 통해 데드라인이 길어질수록 전력 소모량이 줄어드는 것을 알 수 있다. 또한 데드라인의 증가에 따른 전력 소모량 감소율이 급격하게 변하는 것이 아니라 데드라인 증가 폭에 일정한 감소율을 보이고 있음을 알 수 있다.

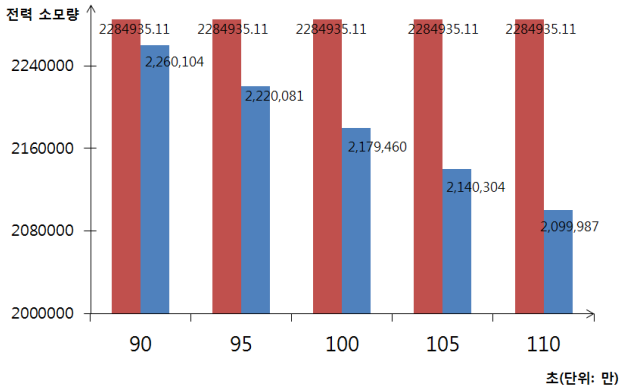


그림 4. 데드라인 별 전력소모량 비교

그림 4 는 그림 3 에서 데드라인 별로 변화하는 전력량을 전력량을 고려하지 않고 스케줄링 한 경우와의 비교를 보여주고 있다. EST 를 이용한 스케줄링은 데드라인 내에서 가장 빨리 작업을 시작할 수 있는 자원을 고려하기 때문에 전력 소모량이 변하지 않는다. 반면 본 논문에서 제안하는 저전력 기법을 사용한 경우 데드라인이 변함에 따라 전력 소모량이 달라지는 것을 알 수 있다. 따라서 본 논문의 기법을 이용하는 경우 데드라인을 충분히 길게 할 경우 전력소모량의 감소율이 높아진다.

## 5. 결론

현대의 클라우드 컴퓨팅 패러다임에서는 컴퓨팅 성능과 더불어 에너지 효율적인 관리 기법이 중요해지고 있다. 본 연구에서는 클라우드 환경에서 Bag-of-tasks 응용에 대한 전력량 고려 가상 자원 할당 기법을 제안하였다. 기존의 EST 를 고려한 오토 스케일링 기법에 저전력 기법을 적용하여 CloudSim 을 이용한 시뮬레이션을 통해 전산유체역학(CFD) 응용에 대해서 비교 실험하였다. CFD 응용에 대해 데드라인 내에 작업을 완료할 수 있는 가장 낮은 주파수 가상 머신을 선택하는 알고리즘에 따라 줄어든 전력 소모량에 대해 분석하였다. 정규분포를 이용하여 발생시킨 같은 작업에 대해 데드라인이 길어질수록 전력소모량은 줄어든다. 또한 EST 를 이용한 스케줄링은 데드라인에 따라 전력소모량이 변하지 않는 반면 본 논문에서 제안한 기법은 데드라인에 따라 전력소모량의 감소가 커짐을 비교하여 확인하였다. 따라서 제안한 기법은 데드라인을 위반하지 않아 사용자의 요구사항을 만족시키면서 전력

소모량을 감소시킴으로써 플랫폼 제공자의 운영 비용 감소 및 시스템 신뢰도의 향상을 가능하게 한다.

향후에는 본 연구에서 제안한 기법을 다양한 응용에서 수행할 수 있도록 확장하여 진행한다. 또한 시맨틱 기반의 온톨로지를 적용한 오토-스케일링이 가능하도록 연구할 것이다.

## 6. 참고 문헌

- [1] K. H. Kim, A. Beloglazov and R. Buyya, "Power-aware provisioning of virtual machines for real-time Cloud services", *Concurrency and computation: Practice and experience*, vol. 23, no. 13, pp. 1491-1505, Mar. 2011.
- [2] Valentini GL, Lassonde W, Khan SU, Min-Allah N, Madani SA, Li J, Zhang L, Wang L, Ghani N, Kolodziej J et al(2011), "An overview of energy efficiency techniques in cluster computing systems", *Cluster Computing*, vol. 16 no. 1, pp. 3-15, Mar. 2013.
- [3] N. B. Rizvandi, J. Taheri, A.Y. Zomaya, Y. C. Lee, "Linear Combinations of DVFS-enabled Processor Frequencies to Modify the Energy-Aware Scheduling Algorithms", *2010 10th IEEE/ACM International Conference on Cluster, Cloud and Grid Computing*, pp. 388-397, May 2010.
- [4] K. H. Kim, R. Buyya, J.Kim, "Power Aware Scheduling of Bag-of-Tasks Applications with Deadline Constraints on DVS-enabled Clusters", in: *Proceeding of the Seventh IEEE International Symposium on Cluster Computing and the Grid*, pp. 541-548, 2007
- [5] 강혜정, 고정인, 김윤희, "과학 계산 응용 실행을 위한 하이브리드 클라우드에서의 SLA 기반 VM 오토-스케일링 기법", 정보과학회논문지: 시스템 및 이론, 제 40 권 제 6 호, 2013 년 12 월.
- [6] Green500, <http://www.green500.org/>
- [7] W. Long, L. Yuqing and X. Qingxin, "Using CloudSim to Model and Simulate Cloud Computing Environment", 2013 Ninth International Conference on Computational Intelligence and Security, 978-1-47---2548-3/13, DOI 10.1109/CIS.2013.75
- [8] 이준영, 강혜정, 김윤희, "워크플로우 응용을 위한 에너지 효율적인 가상 자원 할당 기법", KNOM Review, 제 16 권 제 1 호, 2013 년.
- [9] Computational Fluid Dynamics, <http://222.cfd-online.com>