

고밀도 클라우드 컴퓨팅 환경에서 에너지 절감 및 열섬 방지를 위한 가상 머신 배치 알고리즘

최정열*

Virtual Machine Placement Algorithm for Saving Energy and Avoiding Heat Islands in High-Density Cloud Computing Environment

JungYul Choi*

요약

고밀도 클라우드 컴퓨팅 환경에서 서버에서 소비되는 에너지를 절감하기 위해서는 운용되는 서버의 수를 최소화하도록 가상 머신을 배치하는 것이 바람직하다. 하지만 밀집된 서버 운영으로 인해서 열섬이 발생할 수 있다. 본 논문은 서버의 전력 소비와 서버 발열이 가상 머신의 배치에 따른 서버 이용률에 관계됨을 밝히고, 이를 토대로 에너지 절감과 열섬을 방지할 수 있는 가상 머신 배치 알고리즘을 제안한다.

Key Words : cloud computing, energy saving, heat islands, virtual machine placement

ABSTRACT

It is desirable to place virtual machines for minimizing the number of operational servers in order to save energy in high-density cloud computing environment. However, the compacted servers can incur heat islands. This paper firstly finds out the relationship between the server utilization by the virtual machine placement and the energy

consumption of servers and heat from servers. Then, this paper proposes a virtual machine placement algorithm to save energy consumed and avoid heat islands.

1. 서론

급변하는 IT 서비스 환경과 다양한 사용자의 요구를 수용하기 위해서 클라우드 컴퓨팅 기술이 활발히 사용되고 있다. 클라우드 데이터센터는 ICT 자원을 효율적으로 운영하기 위해서 가상화 기술에 기반하여 자원을 통합 운영하며, 사용자의 서비스 요구에 따라서 유연하게 ICT 자원을 제공할 수 있다^[1]. 사용자의 IT 서비스 요구는 가상화된 서버에 가상 머신을 배치함으로써 수용된다. 데이터센터의 입장에서는 가능한 많은 수의 가상 머신을 수용하되, 에너지 소비를 최소화하면서 서비스 제공을 위한 지연 등의 성능을 만족시키고, 운용이 용이하도록 가상 머신을 배치하려고 한다^[2].

클라우드 데이터센터는 고밀도, 고집적화된 서버를 운영하므로 막대한 양의 에너지를 소비하고 있어 에너지 절감이 중대하다^[1]. 서버 동작에 따라 높은 열이 배출되므로 서버가 정상적으로 가동되도록 데이터센터는 공조시스템을 통해서 적절한 수준의 냉각 공기를 제공해야 한다. 이 때문에 데이터센터는 IT 장비로부터 소비되는 전력은 물론 공조 및 기타 기반 시설로부터 소비되는 전력을 절감하기 위한 노력을 기울이고 있다.

따라서 본 논문에서는 고밀도 클라우드 컴퓨팅 환경에서 서버가 소비하는 에너지를 절감시키고, 서버로부터 발생하는 발열을 고려하여 열섬을 방지하는 가상 머신 배치 방안을 제안한다. 기존의 연구에서는 서버의 에너지 절감을 위한 노력에 치중하거나^[2], 서버로부터 발생하는 발열을 고려한 가상 머신 배치 방안을 주로 고려하였다^{[3][4]}. 에너지 절감을 위해서는 가상 머신을 소수의 서버에 밀집 배치하는 것이 바람직하나, 발열로 인한 열섬을 방지하기 위해서는 가상 머신을 다수의 서버에 분산 배치하는 것이 유리하다. 본 논문에서는 이러한 상충관계를 고려한 가상 머신 배치 방안을 제안한다.

* First Author : Division of Computer Engineering, Sungkyul University, passjay@gmail.com, 중신회원
논문번호 : KICS2016-08-186, Received August 5, 2016; Revised September 2, 2016; Accepted September 9, 2016

II. 서버 이용률과 전력 소비 및 발열 관계 모델링

2.1 서버 이용률과 서버의 전력 소비와의 관계

서버의 전력 소비를 최소화하기 위해서는 가상 머신을 소수의 서버에 밀집하여 배치하는 것이 바람직하다. 데이터센터 내의 서버들의 실제 이용률은 극히 낮은 실정이므로, 낮은 이용률의 서버를 다수 운영하기 보다는 가상화 기술을 이용하여 소수의 서버로 통합 운영하고, 대부분의 서버 운영을 차단함으로써 서버의 전력 소비를 줄일 수 있다. 가상 머신을 배치함에 따라 서버의 이용률이 증가하는데, 서버 이용률과 서버의 전력 소비와는 다음과 같은 선형적인 관계가 있다²⁾.

$$P_s(u) = P_{idle} + u(P_{max} - P_{idle}) \quad (1)$$

여기서, u 는 서버의 이용률, P_{idle} 은 서버가 유휴 상태에서 소비되는 전력량, 그리고 P_{max} 은 서버가 최대로 가동 중일 때, 즉 서버 이용률이 100%일 때의 전력 소비량을 나타낸다.

2.2 서버 이용률과 서버의 발열과의 관계

데이터센터에서 소비되는 많은 전력은 서버에서 발생한 열을 제거하기 위해서 소비된다. 일반적인 데이터센터의 경우 IT 부문에서 소비되는 전력과 공조 장치 및 기타 장치에서 소비되는 비율이 거의 같다 (PUE) 2.0이라 가정할 경우). 이는 서버로부터 발생한 많은 열을 제거하기 위해서 공조 장치가 부단히 가동됨을 의미하기 때문에, 서버 자체의 에너지 소비 절감은 물론 서버에서 발생하는 열을 감소시키는 것이 데이터센터의 전체적인 측면에서 중요하다. 서버에서 발생하는 열은 다음과 같이 서버가 소비하는 전력과 선형적인 관계가 있다⁴⁾.

$$T_{out} = T_{in} + K \cdot P_s(u) \quad (2)$$

여기서, T_{in} 은 서버에 공급되는 냉기의 온도, $P_s(u)$ 는 서버에서 소비되는 전력, 그리고 K 는 $1/\rho f c_p$ 로 나타낼 수 있는 상수이다⁴⁾. 여기서 ρ 는 공기 밀도(air density, 1.19Kg/m^3), f 는 송풍량(airflow rate, $0.2454\text{m}^3/\text{s}$), c_p 는 공기의 비열(specific heat of air,

$1005\text{J/Kg}\cdot\text{K}$)를 나타낸다.

항온항습기로부터 서버에 공급되는 냉기의 온도 (T_{in})가 정해져 있다고 가정할 때, 서버의 안정적인 동작과 신뢰성 등을 고려하여 열섬이 발생하지 않도록 서버에서 배출되는 공기의 온도(T_{out})를 특정 값 이상이 되지 않도록 조절할 필요가 있다. 수식 (2)에 따르면 열섬을 방지하기 위해서는 결국 서버가 소비하는 전력(P_s)에 제한을 둘 수밖에 없다. 높은 서버 이용률로 인해 서버의 소비 전력이 증가할 경우에는 공급 냉기의 온도를 낮추거나 별도의 랙 단위 공조시스템을 구축해야 한다. 전자의 경우에는 공조 시설에서 추가적인 전력 소비가 발생하고 후자의 경우에는 시설 투자가 요구된다. 본 논문은 운영 관점에서 에너지를 절감하면서 열섬을 방지하기 위한 방안을 연구한다.

III. 제안한 가상 머신 배치 알고리즘

본 절에서는 가상 머신 배치에 따른 서버 이용률과 서버의 전력 소비와 발열과의 관계를 바탕으로, 고밀도 클라우드 환경에서 에너지를 절감하면서 발열을 최소화시킬 수 있는 가상 머신 배치 방안을 제안한다. 제안한 알고리즘의 목표는 데이터센터 내에서 소비되는 서버의 전력을 최소화하되, 랙 단위로 측정된 서버의 발열의 최대 한계치를 초과하지 않도록 가상 머신을 서버에 배치하는 것이다.

```

1: given: a set of servers
2: input: a set of VM demands
3: sort VM demands in a descending order
4: for i = 0 to n // a set of VM demands
5:   Savailable = 1 - S; // available server capacity
6:   for j = 0 to m // a set of server
7:     if VM[i] <= Savailable[j]
8:       S[j] = S[j] + VM[i]; // add a VM demand
9:       calculate power consumption
10:      calculate temperature(To)
11:      if To[j] >= Tth
12:        go to the next available server
13:      S[j] = S[j] - VM[i];
14:     end-if
15:   else-if
16:     go to the next available server
17:   end-if
18: end-for
19: end-for
    
```

그림 1. 제안한 가상 머신 배치 알고리즘
Fig. 1. A proposed virtual machine placement algorithm

1) Power Usage Effectiveness (PUE): 전력 소비 효율 지수로, IT 부문에서 소비한 전력 대비 전체 데이터센터에서 소비한 전력의 비율.

제안한 가상 머신 배치 알고리즘은 그림 1과 같다. 데이터센터 내에 서버와 사용자로부터의 클라우드 서비스에 대한 요구가 가상 머신 요구로 주어진다(1~2행). 가상 머신의 요구량에 따라서 내림차순을 정렬한 뒤에(3행), 가상 머신을 배치할 수 있는 가용한 서버를 순차적으로 검색한다(7행). 가상 머신을 서버에 성공적으로 배치한 뒤(8행), 서버의 전력 소비량과 그에 따른 서버 발열을 측정한다(9~10행). 만약 열섬이 발생한 경우(11행), 가상 머신을 다른 가용한 서버에 배치한다.

IV. 모의 실험 결과

모의 실험 환경은 다음과 같다. 총 100대의 서버가 10대의 랙에 수용되며, 모든 서버의 규격은 동일하다. 가상 머신(VM)의 요구량은 서버의 최대 용량에 정규화되어 균일 분포를 갖는다. 미동작 서버의 대기 소비 전력은 5W, 유휴 상태의 소비 전력(P_{idle})은 120W, 최대 이용률에서의 소비 전력(P_{max})은 450W로 가정하였다. 서버에 공급되는 냉기의 온도(T_{in})는 20°C, 서버 발열의 목표치(T_{th})는 35°C로 가정하였다. 단, 서버에서 배출된 공기가 다시 서버로 유입되지는 않는다고 가정하였다.

Matlab 프로그래밍 언어를 이용하여 10회의 모의실험을 수행한 결과, 제안한 알고리즘은 MBFD (Modified Best Fit Decreasing)보다는 전력을 약간 더 소비하나 TASA (Thermal Aware Workload Scheduling Algorithm) 보다는 낮은 전력을 소비하는 것으로 나타났다. MBFD는 VM을 배치함으로써 소비되는 전력의 상승이 가장 낮은 서버에 우선 배

치하고^[2], TASA는 서버의 발열을 낮추기 위해서 미가동 중인 서버를 포함하여 이용률이 가장 낮은 서버에 VM을 우선 배치한다^[3]. MBFD는 전력 소비는 낮지만 열섬 발생 랙의 수가 가장 많았다. TASA는 발열을 고려하여 가상 머신을 분산 배치함으로써 열섬 발생 랙의 수가 상대적으로 낮았다. 제안한 방식은 발열의 목표치를 넘으면 다른 랙에 있는 서버에 가상머신을 배치함으로써 열섬이 발생한 랙이 발생하지 않았다. 가상머신 배치가 일부 실패하였지만 다른 방식에 비해서는 낮은 수준이었다.

V. 결 론

서버의 발열로 인한 열섬은 장비의 신뢰성 저하, 냉각 용량의 증설 및 추가 공조 시설을 도입해야 하므로 그 발생을 최소화해야 한다. 본 논문은 서버의 에너지 절감은 물론 열섬 방지를 위한 가상 머신 배치 알고리즘을 제안하였다. 모의 실험 결과 기존 방식에 비해서 낮은 전력을 소비하면서도 열섬이 발생하지 않는 것을 확인하였다.

References

- [1] TTA.KO-10.0762, "Evaluation framework for energy efficiency of cloud data centers," TTA standards, 2014.
- [2] A. Beloglazov, et al., "Energy-aware resource allocation heuristics for efficient management of data centers for cloud computing," *Future Gener. Comput. Syst.*, vol. 28, no. 5, pp. 755-768, 2012.
- [3] L. Wang, et al., "Towards thermal aware workload scheduling in a data center," *10th Int'l Symp. Pervasive Syst., Algorithms, and Netw.*, pp. 116-122, 2009.
- [4] Q. Tang, et al., "Energy-efficient thermal-aware task scheduling for homogeneous high-performance computing data centers: A cyber-physical approach," *IEEE Trans. Parallel Distrib. Syst.*, vol. 19, no. 11, pp. 1458-1472, Nov. 2008.

표 1. 모의 실험 결과
Table 1. Simulation results

Items	VMs	Proposed	MBFD ^[2]	TASA ^[3]
Energy consumed (W)	100	23,757.5	22,490.8	28,511.8
	150	34,685.1	35,079.6	36,372.2
	200	43,362.5	43,664.3	44,007.7
No. of racks with heat islands	100	0	2.8	0.2
	150	0	4.3	0.3
	200	0	6.5	5.1
No. of VM Allocation failure	100	0	0	0
	150	0	0	0
	200	6.3	12.1	8.7