

시스템 부하를 고려한 효율적인 가상 머신 배치

정 성 민*

Efficient Virtual Machine Placement Considering System Load

Jung Sungmin

〈Abstract〉

Cloud computing integrates computing resources such as servers, storage, and networks with virtualization technology to provide suitable services according to user needs. Due to the structural characteristics of sharing physical resources based on virtualization technology, threats to availability can occur, so it is essential to respond to availability threats in cloud computing. Existing over-provisioning method is not suitable because it can generate idle resources and cause under-provisioning to degrade or disconnect service. System resources must be allocated in real-time according to the system load to guarantee the cloud system's availability. Through appropriate management measures, it is necessary to reduce the system load and increase the performance of the system. This paper analyzes the work response time according to the allocation or migration of virtual machines and discusses an efficient resource management method considering the system load.

Key Words : Cloud Computing, System Load, Resource Management

I. 서론

클라우드 컴퓨팅(Cloud computing) 환경에서 서버, 스토리지, 네트워크와 같은 물리적인 컴퓨팅 자원은 사용자의 요구에 따라 네트워크를 통해 가상화된 형태의 서비스로 제공된다. 사용자에게 실시간으로 안정적인 서비스를 제공하기 위하여 확장성과 가상화는 클라우드 컴퓨팅의 필수적인 요건이다. 확장성은 컴퓨팅 자원에 대해 사용자의 요구가 급격하게 변화할 때 신속하고 유연하게 처리할 수 있는 것을 말하고, 가상화는 물리적으로 다른 위치에 있는 여러

컴퓨팅 자원을 가상화 기술로 통합하여 사용자에게 제공하는 것을 말한다. 사용자는 확장성과 가상화를 바탕으로 컴퓨팅 자원을 필요한 만큼 빌려서 사용하게 되고 서비스 부하에 따라 자원을 할당받으며 서비스를 사용한 만큼 비용을 지급한다[1].

최근 클라우드 컴퓨팅 기술이 대중화되면서 데이터 손실이나 가용성 저하, 그리고 공유 기술 취약점과 같은 다양한 위협이 증가하였다. 특히, 클라우드를 구성하는 프로세서, 메모리, 스토리지, 그리고 네트워크와 같은 물리적인 컴퓨팅 자원의 가용성에 대한 위협은 안정적으로 서비스를 제공하기 위해 반드시 해결되어야 할 문제이다[2, 3]. 가용성을 보장하기 위해

* 한국원자력연구원 선임연구원

클라우드 시스템의 부하에 따라 적절하게 가상 머신을 할당하거나 이전시켜 시스템의 전체적인 부하를 조정해야 한다.

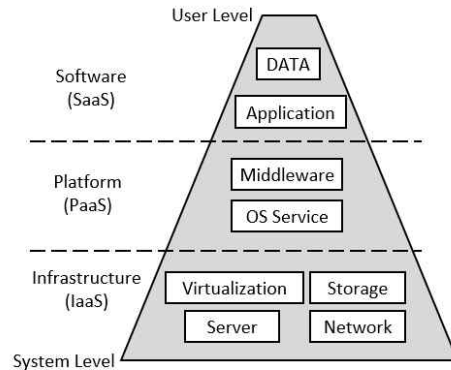
본 논문에서는 클라우드 시스템에서 주어진 가상 머신의 부하에 따라 새로운 가상 머신을 할당(Provisioning)하거나 성능 저하의 원인이 되는 가상 머신을 이전(Migration)하고 시스템의 전체적인 성능을 분석하기 위해 단위 작업 응답시간과 가상 머신의 개수를 이용한다. 2장에서는 클라우드 컴퓨팅의 일반적인 서비스 구조와 기존의 자원 관리 기법을 알아보고, 3장에서는 클라우드 시스템의 가상 머신 할당과 이전에 따라 응답시간을 정량적으로 분석한다. 4장에서는 제안된 방법을 적용하여 시뮬레이션 분석 결과를 살펴보고, 5장에서 연구내용을 정리하였다.

II. 클라우드 컴퓨팅 자원 관리

2.1 클라우드 컴퓨팅 개요

클라우드 컴퓨팅은 제공하는 서비스의 형태에 따라 인프라 서비스, 플랫폼 서비스, 그리고 소프트웨어 서비스로 구분한다. <그림 1>은 서버, 스토리지, 네트워크와 같은 시스템 레벨의 하드웨어 자원부터 애플리케이션과 소프트웨어까지 사용자 레벨까지 추상화된 서비스 계층 구조를 보여준다[4].

인프라 서비스(IaaS, Infrastructure as a Service)는 사용자에게 가상화된 서버, 스토리지, 네트워크와 같은 물리적인 컴퓨팅 자원을 하나의 서비스로 제공하는 형태이다. 클라우드 시스템에서는 컴퓨팅 자원을 할당해서 가상 머신의 형태로 제공하는데, 가상 머신에 사용자가 선택한 운영 체제와 소프트웨어가 설치되어 필요한 작업을 실행한다. 인프라 서비스는 일반적으로 클라우드 컴퓨팅 서비스 구조의 가장 아래의 단계에 위치하고, 사용자는 제공된 컴퓨팅 자원을 직



<그림 1> 클라우드 컴퓨팅 서비스 구조

접 관리할 수 있다.

플랫폼 서비스(PaaS, Platform as a Service)는 사용자에게 편리한 프로그래밍 환경을 위해 애플리케이션을 개발하는데 필요한 개발 환경과 관련 플랫폼을 제공하고 사용자는 제공된 플랫폼상에서 컴퓨팅 자원을 이용하여 새로운 애플리케이션을 개발한다. 이때 사용자는 프로그램 개발에 필요한 프로세서나 메모리에 대해 고려할 필요가 없다.

소프트웨어 서비스(SaaS, Software as a Service)에서 클라우드 서비스 제공자는 온라인을 통해 소프트웨어를 제공하고, 사용자는 로컬 컴퓨터에 설치된 소프트웨어 대신에 온라인으로 제공되는 소프트웨어를 이용한다. 즉, 사용자는 클라우드 시스템에서 동작하는 프로그램만 사용하고, 플랫폼이나 인프라를 직접 관리하지 않는다. 또한, 사용자의 데이터는 모두 원거리의 클라우드 서버에 저장되고 관리된다.

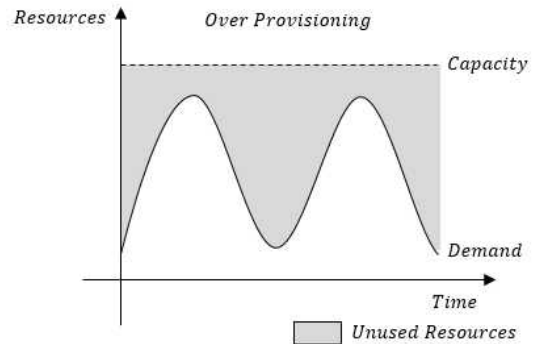
네트워크 및 가상화 기술의 발전에 따라 클라우드 컴퓨팅 환경이 일반화되면서 가상화 구현을 위한 하이퍼바이저(hypervisor)의 사용, 클라우드 시스템의 큰 규모, 그리고 자원 격리와 같은 클라우드 컴퓨팅 환경의 구조적인 특징에 따라 다양한 위험이 존재한다[5]. 특히 인프라 서비스에 대한 위험은 클라우드 시스템의 가용성에 심각한 영향을 줄 수 있다. 인프

라 서비스에서는 물리적인 컴퓨팅 자원에 다수의 가상 머신이 동작하기 때문에 가용성을 보장하기 위해 작업의 할당이나 이전과 같은 작업 관리가 필수적이다. 클라우드 시스템을 구성하는 하나의 서버에서 부하가 발생한다고 가정할 때 그 서버와 자원을 공유하는 나머지 가상 머신 또한 해당 부하에 영향을 받게 된다. 가상화 기술을 이용해 컴퓨팅 자원을 통합하거나 분배하여 사용자에게 제공하기 때문에 이런 위험이 발생한다. 따라서, 클라우드 시스템의 부하가 정해진 임계값 도달하여 가용성에 영향을 준다면 새로운 가상 머신을 할당하거나 부하가 발생하는 가상 머신을 이전하여 클라우드 시스템의 부하를 줄이고 안정적인 서비스를 제공해야 한다.

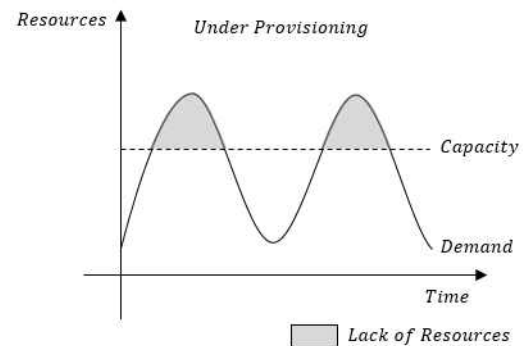
2.2 클라우드 컴퓨팅 자원 관리

클라우드 컴퓨팅에서 컴퓨팅 자원의 동적인 이용을 위해 가상화 기술을 사용한다. 가상화를 적용하는 물리적인 컴퓨팅 자원과 서비스 구조에 따라서 애플리케이션 가상화, 데스크톱 가상화, 서버 가상화, 스토리지 가상화, 그리고 네트워크 가상화 등으로 구분할 수 있다. 사용자에게 서비스를 제공하기 위해 초기에 가상 머신의 생성에 필요한 프로세서, 메모리, 스토리지 등을 할당하는 과정을 거친다[6]. 반대로 사용자의 요구에 비해 많은 자원이 할당된 상태에는 추후 가용 자원을 확보하여 동적으로 가상 머신을 반납하고 자원을 이전한다. 컴퓨팅 자원의 동적인 할당을 위해 클라우드 컴퓨팅에서 적절히 가상 머신을 할당하고 이전하여 자원을 실시간으로 관리해야 한다.

효율적으로 자원을 관리하기 위해 확장성을 고려해야 하는데 기존에는 확장성을 지원하기 위해 <그림 2>와 같이 개별 애플리케이션이 자원을 고정적으로 오버 프로비저닝(over provisioning) 하는 방법을 사용하였다[7]. 오버 프로비저닝에서는 사용자가 요구하는 컴퓨팅 자원의 양을 예측하여 예상 최대치 이



<그림 2> 오버 프로비저닝

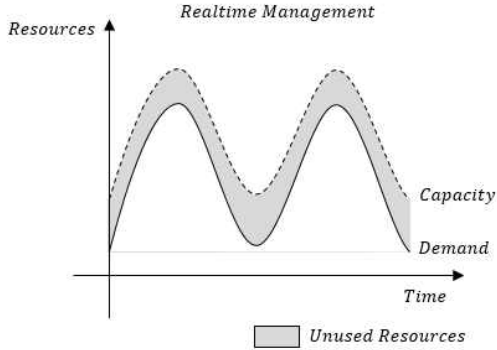


<그림 3> 언더 프로비저닝

상의 자원을 할당한다. 이 방법은 자원의 사용량을 실시간으로 감시할 필요가 없어 추가적인 비용이 들지 않지만, 유휴 자원이 발생하기 때문에 비효율적이다.

특히 자원의 사용량에 대한 예측이 실제 요구량에 비해 적다면 <그림 3>과 같이 언더 프로비저닝(Under provisioning)의 문제가 발생할 수 있다. 언더 프로비저닝은 할당된 자원에 비해 사용자가 요구하는 자원의 양이 큰 경우에 컴퓨팅 자원의 가용성을 보장할 수 없어 서비스 저하가 발생하고 최악의 경우에는 서비스의 단절을 가져올 수 있다[8].

가장 이상적으로 자원을 관리하는 방법은 <그림 4>와 같이 실시간으로 자원을 할당하고 이전하는 방법이다. 이것은 클라우드 시스템 내의 컴퓨팅 자원의



<그림 4> 실시간 자원 관리

사용량, 유휴 자원, 부하 등을 실시간으로 감시하고 필요한 자원에 대해 예측하는 등 추가적인 비용이 필요하지만, 유휴 자원을 줄이고 서비스 저하를 방지할 수 있어서 안정적인 서비스 제공을 위해 적합한 방법이다. 실시간으로 자원을 관리하기 위해 자원의 요구 정도 및 가용 여부를 파악하고 가상 머신을 적절히 할당 또는 이전해야 한다[9].

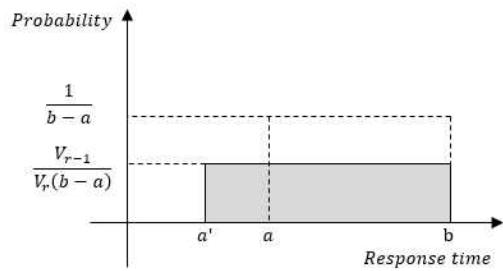
클라우드 시스템의 부하에 따라 가상 머신을 할당하거나 이전하는 경우, 시스템의 전체 응답시간을 분석하기 위해서 시스템에서 주어진 단위 작업을 처리하기 위한 응답시간과 가상 머신의 개수를 이용할 수 있다. 클라우드 시스템 내에 부하가 예상된다면 가상 머신 할당을 통해 사용자에게 서비스를 제공한다. 만약, 가용할 수 있는 컴퓨팅 자원이 부족하거나 클라우드 시스템 내에 부하가 줄어들 것으로 예상된다면 가상 머신 간의 작업이나 데이터를 이전하여 클라우드 시스템의 전체적인 부하를 줄이고, 가용 자원을 확보할 수 있다. 가상 머신의 응답시간, 가상 머신의 개수, 단위 작업의 수와 같은 파라미터를 이용하여 전체적인 클라우드 시스템의 응답시간 변화를 분석할 수 있다[10].

III. 클라우드 시스템 응답시간 분석

클라우드 시스템의 응답시간 변화를 정량적으로 분석하기 위해 할당과 이전에 따른 단위 응답시간과 가상 머신의 개수를 이용한다. 초기 클라우드 시스템의 단위 작업에 대해 가상 머신의 최소 응답시간 a 부터 최대 응답시간 b 까지 균일하다고 가정한다. 이때 가상 머신의 응답시간의 분포 함수는 $U(a,b)$ 가 된다. 현재 r 라운드에서 할당된 가상 머신의 개수가 V_r 이고 작업 개수가 m 이므로, 전체 응답시간(T_{cr})은 식 (1)과 같다.

$$T_{cr} = \frac{m}{V_r} \left(\frac{a+b}{2} \right) \quad (1)$$

이와 같은 상황에서 가용성의 영향으로 부하가 발생한다면 가상 머신의 최대 응답시간은 증가하게 된다. 따라서 최대 응답시간 b 가 정해진 임계값을 넘어 서면 클라우드 시스템의 부하를 줄이기 위해 자원을 할당하거나 이전하여야 한다. 클라우드 시스템의 가상 머신 개수에 따라 전체 응답시간이 영향을 받는다.



<그림 5> 가상 머신 할당

새로운 가상 머신을 할당하는 경우 클라우드 시스템에 기존에 균등분포를 이루고 있던 확률 분포는 <그림 5>와 같이 새로운 확률 분포로 변경된다. 가상

머신의 개수가 클라우드 시스템의 응답시간에 영향을 주므로 현재 r 라운드에서 할당된 가상 머신의 개수를 V_r 이라고 하면 이전의 가상 머신 개수와 현재 가상 머신 개수의 비율(V_r/V_{r-1})에 따라 응답시간의 최소값(a)은 새로운 값(a')으로 바뀌고 가상 머신의 할당 시 새로운 분포 함수는 $U(b-(b-a) \cdot (V_r/V_{r-1}), b)$ 가 된다. 할당 후 새로운 분포 함수의 평균은 식(1)과 같다.

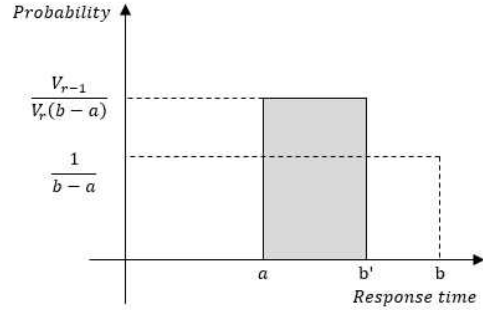
$$Mean = b - \frac{V_r}{2V_{r-1}} \cdot (b-a) \quad (1)$$

그리고 클라우드 시스템으로 입력되는 작업의 개수가 m 개이고 현재 가상 머신의 개수가 V_r 이므로 처리해야 할 작업의 개수는 m/V_r 이 되고 따라서 새로운 가상 머신이 할당되는 경우에 전체 응답시간(T_{pr})은 식(2)와 같다.

$$T_{pr} = \frac{m}{V_r} \left(b - \frac{V_r \cdot (b-a)}{2V_{r-1}} \right) \quad (2)$$

클라우드 시스템에 가용할 수 있는 컴퓨팅 자원이 부족한 경우에는 새로운 가상 머신을 할당하지 못하고 부하가 발생하는 가상 머신에 할당된 작업을 다른 가상 머신으로 이전하여 전체적으로 부하를 줄이고 가용 자원을 확보할 수 있다.

<그림 6>은 응답시간이 최대인 가상 머신부터 일정 부분을 이전하는 경우 새로운 확률 분포 함수를 나타낸다. 가상 머신을 이전하기 전후의 가상 머신 개수의 비율 (V_r/V_{r-1})에 따라 가상 머신의 최대 응답시간(b)은 새로운 값(b')으로 바뀌고 새로운 분포 함수는 $U(a, a+(b-a) \cdot (V_r/V_{r-1}))$ 가 된다.



<그림 6> 가상 머신 이전

식(3)은 이전 후 새로운 분포 함수의 평균을 나타낸다.

$$Mean = a + \frac{V_r}{2V_{r-1}} \cdot (b-a) \quad (3)$$

가상 머신을 할당하는 경우와 마찬가지로 작업의 개수가 m 개이고, 가상 머신의 개수가 V_r 이므로 가상 머신을 이전하기 위한 응답시간 (T_{mr})은 식(4)와 같다.

$$T_{mr} = \frac{m}{V_r} \left(a + \frac{V_r \cdot (b-a)}{2V_{r-1}} \right) \quad (4)$$

클라우드 시스템 내에 부하가 발생한다면 최대 응답시간이 증가하게 되고 할당과 이전을 선택하기 위한 기준을 최소 응답시간에 대한 최대 응답시간의 비율로 정의한다. 해당 비율이 할당 임계값이나 이전 임계값에 도달하게 되면 정해진 방법에 따라 가상 머신을 할당하거나 이전한다. 이때, 주어진 가중치를 적용하여 할당하거나 이전해야 할 가상 머신의 수를 계산한다. 제시한 방법에 따라 다음 장에서는 다양한 파라미터를 바탕으로 클라우드 시스템 부하의 영향에 따른 응답시간의 변화를 정량적으로 분석하고 비교한다.

IV. 클라우드 시스템 자원 관리 방안

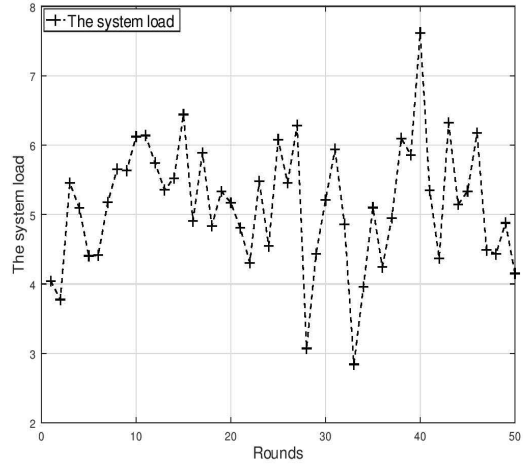
가상 머신의 개수에 따른 클라우드 시스템의 응답 시간을 비교하기 위해 가상 머신의 개수 및 응답시간을 분석한다. <표 1>은 시뮬레이션을 위한 변수이다.

<표 1> 시뮬레이션 파라미터

파라미터	의미	값
a	단위 작업 최소 응답시간	0.001
b	단위 작업 최대 응답시간	0.002~0.009
P_t	가상 머신 할당 임계값	1.2
M_t	가상 머신 이전 임계값	0.8
V_r	가상 머신의 개수(r 라운드)	1,000~1,500
m	시스템 작업 수	1,000,000
P_w	가상 머신 할당 가중치	0.2
M_w	가상 머신 이전 가중치	0.3

클라우드 시스템에 할당된 가상 머신의 응답시간의 최소값 (a)은 0.001로 가정한다. 그리고 응답시간의 최대값 (b)은 0.002부터 0.009 사이의 값을 갖는다고 가정한다. 가상 머신을 할당하는 기준(P_t)은 1.2로 가정하고, 클라우드 시스템 내에 가용할 자원이 부족하거나 추후 가용한 자원을 확보하기 위한 이전 기준(M_t)은 0.8로 가정한다.

최초에 주어지는 가상 머신의 개수(V_0)는 1,000개이고 클라우드 컴퓨팅 환경에서 최대로 할당 가능한 가상 머신의 개수(V_θ)는 1,500개로 가정한다. 그리고, 클라우드 시스템에서 처리해야 할 작업의 개수(m)는 1,000,000개라고 하고 가상 머신을 할당하기 위한 가중치(P_w)는 0.2이고 이전하기 위한 가중치(M_w)는 0.3으로 가정한다. <그림 7>은 클라우드 컴퓨팅에서 라운드마다 가정된 최소 응답시간에 대한 최대 응답시간의 비율이다.



<그림 7> 최대 응답시간의 비율

<그림 8>과 같이 수식을 바탕으로 최소 응답시간에 대한 최대 응답시간의 비율을 이용하여 50라운드 동안 가상 머신 할당, 이전 그리고 가상 머신의 개수가 변화가 없는 경우의 응답시간을 계산한다.

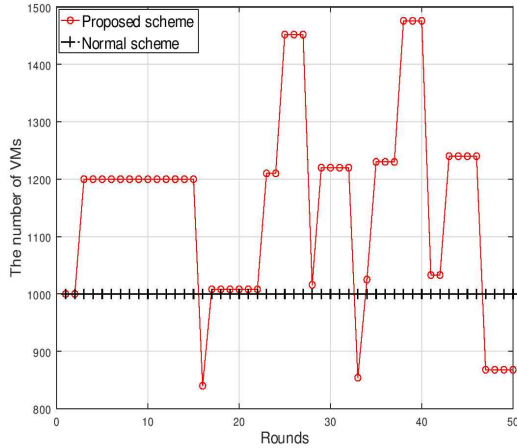
```

a = 0.001, V0 = 1,000, m = 1,000,000
FOR r=1 to 50
  IF b/a ≥ Pt AND Vθ ≥ Vr-1(1+Pw) THEN
    Vr = Vr-1 + Pw · Vr-1
    Calculate Tpr(m, Vr)
  ELSEIF b/a < Mt THEN
    Vr = Vr-1 - Mw · Vr-1
    Calculate Tmr(m, Vr)
  ELSE
    Vr = Vr-1
    Calculate Tcr(m, Vr)
  ENDIF
ENDFOR
    
```

<그림 8> 응답시간 비율에 따른 가상 장비 관리

<그림 9>는 기존의 방법과 제안된 방법에 따른 라운드별 가상 머신 개수의 변화를 보여준다. 점선은 기존의 방법을 적용하여 가상 머신 개수의 변화 없이 그대로 유지하는 것을 나타낸다. 실선은 제안된 방법

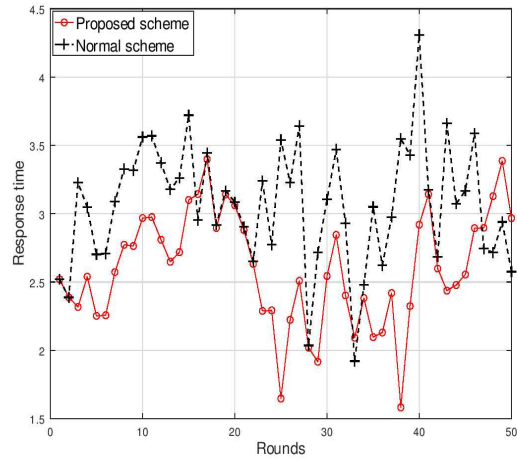
에 따라 할당과 이전을 반복하면서 가상 머신 개수의 변화를 보여준다.



<그림 9> 가상 머신의 개수

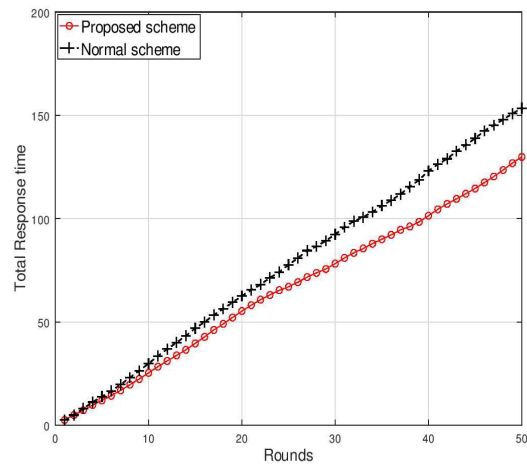
예를 들어 3라운드에서 최대 응답시간의 비율은 1.44로써 할당의 임계값을 초과하기 때문에 이전 1,000개에서 가중치를 적용하여 200개가 새롭게 할당되어 총 1,200개가 된다. 이후 15라운드까지 최대 응답시간의 비율이 크게 변화하지 않으므로 가상 머신의 개수를 유지한다. 16라운드에서는 부하가 0.76이 되어 클라우드 시스템에서는 가중치가 이전의 임계값에 도달하였으므로 가상 머신을 이전시켜 총 개수는 840개가 되고 가용할 수 있는 가상 머신을 확보한다. 17라운드는 1.20으로 제안된 방법에 따라 다시 가상 머신을 할당하여 가상 머신의 개수는 1,008개가 된다.

50라운드까지 같은 방법으로 가상 머신의 개수를 부하에 따라 변화시킨다. 가상 머신의 할당과 이전에 따라 제안된 방법과 기본적인 방법의 응답시간의 차이를 비교한다. <그림 10>은 기존 방법과 제안된 방법에 따른 응답시간의 변화를 보여준다.



<그림 10> 응답시간의 비교

점선은 가상 머신의 개수를 그대로 유지할 때 응답시간의 변화를 나타내고, 실선은 제안된 방법에 따라 가상 머신의 할당과 이전의 경우 응답시간을 계산한 그래프이다. 제안된 방법이 라운드별로 기존의 방법보다 나은 응답시간을 보여주고 있다.



<그림 11> 응답시간의 누적값 비교

<그림 11>에서 점선은 기존의 방법을 적용하는 경우의 누적된 응답시간이고 실선은 제안된 방법을 적용하는 경우 누적된 응답시간이다. 부하에 따라 각

라운드에서 할당과 이전을 통해 가상 머신의 개수를 조절하여 응답시간을 줄일 수 있었다. 시뮬레이션에서 50라운드까지 총 누적 응답시간은 기존의 방법이 153.45초이고 제안된 방법은 129.87초로서 각 라운드에서 부하에 따라 새로운 가상 머신을 할당하거나 기존의 가상 머신을 이전하면 전체 응답시간이 약 18.2% 향상됨을 알 수 있다.

V. 결론

클라우드 컴퓨팅은 서버, 스토리지, 네트워크와 같은 컴퓨팅 자원을 사용자의 요구에 따라 네트워크를 통해 가상화하여 서비스를 제공하는 것을 말한다. 클라우드 시스템에서 사용자는 신속하게 인프라를 구축하여 유연하게 컴퓨팅 자원을 관리할 수 있다. 또한, 원하는 만큼 컴퓨팅 자원을 활용하고 자원을 사용한 만큼만 비용을 지급한다. 클라우드 컴퓨팅에서 안정적인 서비스를 제공하기 위하여 확장성과 가상화는 필수적인 요건으로 이를 보장하기 위해 자원 관리의 중요한 문제이다. 특히 클라우드 시스템 일부의 부하가 가용성에 영향을 준다면 시스템 전체의 성능에 영향을 줄 수 있으므로 적절한 가상 머신 배치를 통해 부하를 줄여야 한다.

본 논문에서는 효율적인 자원 관리를 위해 먼저 부하에 따른 클라우드 시스템의 영향을 고려하였다. 부하가 일정한 설정값을 넘는다면 정해진 가중치 만큼 가상 머신을 할당한다. 만약, 클라우드 시스템 내에 가용할 자원이 부족하거나 시스템의 부하가 감소하면 정해진 가중치 만큼 가상 머신을 이전한다. 그리고 일정한 수의 가상 머신이 할당되거나 이전된 각각의 경우에 클라우드 시스템의 성능을 판단하기 위해 가상 머신의 개수, 시스템 내의 작업의 수, 가상 머신의 응답시간의 비율을 이용하여 정량적으로 시스템의 응답시간을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 제안하

는 방법의 기존의 방법보다 전체 응답시간에서 나은 성능을 보인다.

참고문헌

- [1] F. Fatemi Moghaddam, M. B. Rohani, M. Ahmadi, T. Khodadadi and K. Madadipouya, "Cloud computing: Vision, architecture and Characteristics," 2015 IEEE 6th Control and System Graduate Research Colloquium (ICSGRC), Shah Alam, 2015, pp.1-6.
- [2] H. Tsai, M. Siebenhaar, A. Miede, Y. Huang and R. Steinmetz, "Threat as a Service?: Virtualization's Impact on Cloud Security," in IT Professional, Vol. 14, No. 1, 2011, pp.32-37.
- [3] S. Subashini, V. Kavitha, "A survey on security issues in service delivery models of cloud computing," Journal of Network and Computer Applications, Vol. 34, No. 1, 2011, pp.1-11.
- [4] F. Fowley, C. Pahl, P. Jamshidi, D. Fang and X. Liu, "A Classification and Comparison Framework for Cloud Service Brokerage Architectures," in IEEE Transactions on Cloud Computing, Vol. 6, No. 2, 2016, pp.358-371.
- [5] K. Beaty, A. Kundu, V. Naik and A. Acharya, "Network-Level Access Control Management for the Cloud," 2013 IEEE International Conference on Cloud Engineering (IC2E), Redwood City, CA, 2013, pp.98-107.
- [6] S. Chaisiri, B. Lee and D. Niyato, "Optimization of Resource Provisioning Cost in Cloud Computing," in IEEE Transactions on Services Computing, Vol. 5, No. 2, 2011, pp.164-177.
- [7] S. B. Shaw and A. K. Singh, "A survey on

scheduling and load balancing techniques in cloud computing environment,” 2014 International Conference on Computer and Communication Technology (IC CCT), Allahabad, 2014, pp.87-95.

[8] S. Chaisiri, Bu-Sung Lee and D. Niyato, “Optimal virtual machine placement across multiple cloud providers,” 2009 IEEE Asia-Pacific Services Computing Conference (APSCC), Singapore, 2009, pp.103-110.

[9] Xiuzhen Chen, Shenghong Li, Jin Ma and Jianhua Li, “Quantitative threat assessment of denial of service attacks on service availability,” 2011 IEEE International Conference on Computer Science and Automation Engineering, Shanghai, 2011, pp.220-224.

[10] S. Yeo and H. Lee, “Using Mathematical Modeling in Provisioning a Heterogeneous Cloud Computing Environment,” IEEE Computer, Vol. 44, No. 8, 2011, pp.55-62.

■ 저자소개 ■



정 성 민
Jung, Sungmin

2014년 3월~현재
한국원자력연구원 선임연구원
2014년 2월
성균관대학교
전자전기컴퓨터공학과 (공학박사)
2008년 2월
성균관대학교
전자전기컴퓨터공학과 (공학석사)
2005년 2월
성균관대학교
정보통신공학부(공학사)
관심분야 : 산업시설보안, 제어시스템보안,
센서네트워크, 클라우드 컴퓨팅
E-mail : smjung@kaeri.re.kr

논문접수일: 2020년 5월 22일
게재확정일: 2020년 6월 12일