

# 데이터 센터 환경에서의 전력 절감을 위한 마이그레이션 기법

김용현\*, 김정선\*

\*한양대학교 컴퓨터공학과

e-mail:hpcyhkim84@hanyang.ac.kr

## Migration Scheme for Power Saving in Data Center Environments

Yong-Heon Kim\*, Jung-Sun Kim\*

\*Dept of Computer Science and Engineering, Hanyang University

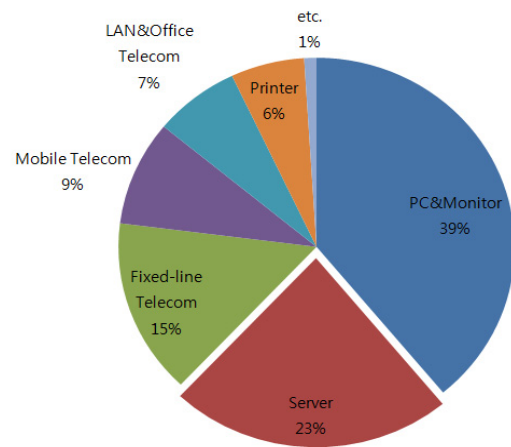
### 요 약

그린 컴퓨팅의 일환으로 데이터 센터(Data Center)의 전력 효율을 고려한 소프트웨어/하드웨어 기술 연구가 활발하게 진행되고 있다. 데이터 센터에서는 부하 분산(Load Balancing) 서비스의 마이그레이션(Migration) 기법을 통해 서비스의 품질을 높이고 데이터 센터의 효율성을 극대화 시킨다. 본 논문에서는 데이터 센터에서 냉각으로 소모되는 전력 절감을 위해 데이터 센터의 환경과 시스템 부하(Work Load)량에 기반을 둔 프로세스 마이그레이션(Process Migration) 기법을 제안한다.

### 1. 서론

Green IT란 에너지 절약 및 온실 가스 배출 감소를 위해 IT부분 혹은 IT를 활용한 친환경 기술과 활동을 말한다. (그림 1)과 같이 IT는 전 세계 온실 가스의 2%를 배출하는 원인이 되며 이 중 23%는 서버가 차지하고 있다. 이러한 서버 대부분이 데이터 센터에 집중해서 존재하고, 대용량의 디지털 미디어와 웹 기반 서비스, 웹 어플리케이션의 증가로 데이터 센터는 단순한 데이터의 송/수신 책임과 더불어 데이터 센터 내에서의 프로세싱(Processing)이 급격히 늘어나 그 규모 또한 점점 증가하고 있다. 이러한 흐름 속에서 데이터 센터의 소비 전력은 그 유지 보수비용과 함께 빠르게 증가하고 있는데, 실제로 미국의 경우 국가 전체 사용량 대비 데이터 센터의 전력 사용량이 1.2%, 영국은 1.9%, 우리나라의 경우는 1.1%의 비율을 보이고 있다[1].

이미 데이터 센터를 운영하고 있는 많은 IT기업들은 거대한 데이터 센터의 출현과 modular 데이터 센터의 출현으로 데이터 센터가 소비하는 소유 총비용(TCO)중 전력/냉각 비용의 증가를 무시하지 못하고 새로운 데이터 센터 레벨의 전력 및 냉각 시스템이 필요하다고 판단하고 있다[2].



(그림 1) IT 기기별 CO2 배출 비율

CRAC(Computing Room Air Conditioners)은 데이터 센터 내부에서 센서를 통해 온도 정보를 수집하고 조절하는 장치이다[3]. 만약 CRAC이 불균등한 온도 분포로 인해서 부정확한 정보를 사용해 내부 온도를 조절하게 된다면 과(過)냉각으로 불필요한 전력 소모가 많아지게 되며, 반대로 시기적절 하게 냉각하지 못하면 IT 장비의 손실을 가져올 수 있다. 이 문제는 이미 많은 데이터 센터에서 일어나는 현상이고, 이런 문제의 발생을 방지하고자 본 논문에서는 기존의 시스템 부하량에 기반을 둔 마이그레이

\* 이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (No. 20100000215)

선 기법에 데이터 센터의 온도 분포와 시스템의 온도 정보를 추가 포함해서 데이터 센터 내의 프로세싱에 의한 열 발생을 균등하게 한다. 이로써 온도 조절을 관리하는 CRAC이 정확한 온도 정보를 수집하여 과냉각 현상을 미연에 방지하고 불필요하게 소모되는 냉각 전력을 절감하기 위한 마이그레이션 기법이다.

본 논문의 2장에서는 관련 연구에 대해 살펴보고 3장에서는 전반적인 마이그레이션 모델을 마이그레이션 정책, 마이그레이션 대상을 결정하는 방법, 그리고 마이그레이션이 어떠한 과정으로 진행되는지에 대한 메커니즘으로 나누어 살펴본다. 마지막으로 4장에서는 본 논문의 결론과 향후 과제에 대해 살펴본다.

## 2. 관련 연구

데이터 센터의 전력 효율을 높이고 전력 소모를 줄이는 그린 데이터 센터에 관한 연구가 활발하다. 그린 그리드(the green grid)와 같은 컨소시엄은 이러한 목적으로 IT기업과 전문가들이 모인 대규모 컨소시엄으로 데이터 센터 운영 및 구축, 설계와 관련한 방법론을 제안하고 규명하는 등의 활동을 하고 있다. 또한 이외에 세계 각지의 연구기관 및 데이터 센터 관련 업계 기업들도 관련 연구 활동을 활발하게 수행하고 있다[4].

부하 분산(Load Balancing)은 병렬처리 컴퓨팅에서 다른 프로세서들은 처리해야 할 작업들이 쌓여 있는데 반해 일부 프로세서들이 유휴 상태에 있어 효율을 떨어뜨리는 현상을 방지하기 위해 프로세서들 간에 작업들을 고루 분배하는 기술이다. 부하 분산은 다른 프로세서들에게 작업을 전달하거나, 유휴 상태에 있는 프로세서가 다른 프로세서들에게 작업을 요청하거나, 중앙에 있는 작업 분배 장치가 개입되거나 또는 이 모든 것들의 조합을 통해 이루어질 수 있다. 부하 분산을 위한 소프트웨어로는 Linux의 LVS (Linux Virtual Server), Microsoft의 NBL(Network Load Balancer), MSCS(Microsoft Cluster Service), CLB(Component Load Balancing) 등이 있다.

부하 분산을 위해서는 마이그레이션 기술이 필요한데 서버가 작업을 받아서 다른 서버로 이 작업을 옮기는 작업을 가리켜 마이그레이션이라 하고 마이그레이션을 통해서 각 노드에 할당되는 부하를 분산시켜 분산 시스템 환경에서 성능을 향상시키는 기법

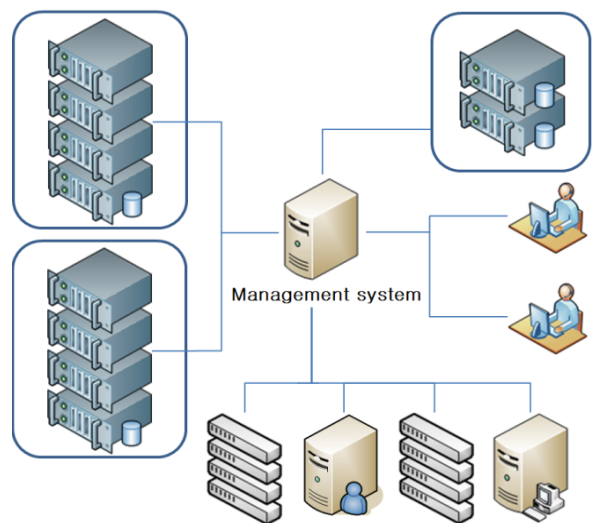
이다. 마이그레이션은 정책과 메커니즘으로 구성 되는데 정책은 언제, 어느 프로세스를, 어디로 이주시킬 것인가에 관한 결정이고, 메커니즘은 실제로 프로세스를 이주시키는 프로토콜을 말한다.[5]

부하 분산을 위한 마이그레이션 기법으로는 서비스 품질(QoS: Quality of Service)를 고려한 기법, 시스템 부하 정보를 교환하여 부하량을 균등하게 분배하는 방법 등의 성능 위주의 기법들이 소개 되었다 [5][6][7]. 하지만 그린 IT 동향에 발맞춰 데이터 센터 내부 환경을 고려한 마이그레이션 기법은 연구가 미진하였다. 본 논문에서는 공조 시스템인 CRAC이 감지하는 온도 정보와 열을 발생 시키는 IT 장비를 연관시킨 마이그레이션을 통해 그린 IT의 취지에 부합하는 마이그레이션 기법을 소개한다.

## 3. 마이그레이션 모델

본 논문에서 제안하는 마이그레이션 기법은 부하 분산을 통한 성능 향상과 더불어 데이터 센터의 환경 모니터링과 시스템 상태에 대한 모니터링 정보를 기반으로 정책을 결정하는 모델이다. 데이터 센터 환경에 대해서는 온도 분포를 모니터링 하며 단일 시스템에 대해서는 시스템 온도, CPU 사용량, 메모리 사용량, 디스크 I/O, 네트워크 이용률 등을 모니터링 한다. 이렇게 수집된 모니터링 데이터는 중앙 관리 시스템의 컴포넌트에 의해 가공되어 마이그레이션을 수행하는 기준이 되며 마이그레이션 대상 프로세스와 목적지 프로세스를 정하는 기준이 된다.

### 3.1 마이그레이션 정책



(그림 2) Management System

마이그레이션 정책을 수립하기 위해서는 (그림 2)와 같이 중앙에서 데이터 센터 온도 분포 정보와 각 시스템에 대한 온도 및 부하 정보를 모니터링 하여 수집하고 마이그레이션을 수행하는 중앙 관리 시스템이 필요하다.

마이그레이션은 관리 시스템에서 임계값을 설정하고 각 시스템에서 측정한 모니터링 값을 (식 1)을 통해 계산해서 데이터 센터 내에 있는 시스템이 임계값에 도달하거나 임계값보다 높으면 수행된다. 임계값 설정에 있어서 임계값이 너무 작으면 빈번하게 프로세스 마이그레이션이 발생하게 되고 과도한 마이그레이션 비용이 발생될 수 있고, 반대로 너무 높으면 온도가 과도하게 상승하거나 지나치게 많은 부하가 걸려도 마이그레이션이 수행되지 않아서 효과를 볼 수 없기 때문에 적절한 임계값을 설정해야 한다. 전산망 기술 기준 규칙의 IT 정보시설 보호지침에 따르면 “전산실 서버룸은 오동작의 최소화와 시스템 다운의 사전 예방 및 안정성 유지를 위하여 24시간 365일 16℃~28℃의 일정한 온도 유지가 필요하다”고 되어있다. 따라서 28℃를 온도 임계치로 설정하였다. (식 1)의 마이그레이션 결정 상수  $k$ 는  $0 < k < 1$  이고 시스템 온도와 부하량의 비중에 따라 결정 될 수 있다. 본 논문에서는  $k$ 값을 0.5로 고정하여 온도와 부하량의 비중을 동등하게 했다[8]. 이에 따라서 데이터 센터 적정 온도는 28℃, 시스템 부하량은 50%, 마이그레이션 상수  $k$ 는 0.5로 정하여 임계치를 계산하면 0.75 값이 나오며 각 시스템의 마이그레이션 결정값이 이 임계치에 도달하거나 더 높은 값을 나타내는 경우 마이그레이션이 수행된다. 또 하나의 제약사항은 모든 시스템이 임계치 이상의 값을 나타내고 있지만 모든 시스템의 온도와 부하량이 고루 분포되어 있으면 마이그레이션을 하지 않아야 한다는 것이다. 이는 데이터 센터의 사용량이 최대치 일 때 많은 시스템이 임계치 이상의 값을 가질 수 있고 이 때문에 빈번하게 발생하는 마이그레이션에 의한 추가적인 부하가 없도록 하기 위해서이다.

어떤 경우에는 시스템의 온도는 높지만 부하량이 적거나 온도는 낮지만 부하량이 많아서 임계치에 도달하지 못하는 경우가 발생할 수 있다. 하지만 전자(前者)의 경우 부하량이 작아 데이터 센터내의 냉각 시설을 통해 시스템 온도가 자연적으로 낮아질 수 있으며 후자(後者)의 경우에는 많은 부하량 때문에 시스템 온도가 올라가면 임계치에 도달하여 자연스럽게 마이그레이션이 될 수 있다.

3.2 마이그레이션 프로세스의 결정

(그림 3)의 마이그레이션 결정자(Migration Decision Maker)는 모니터링 컴포넌트로부터 각 시스템 및 데이터 센터의 온도 분포 정보를 받아 모든 시스템의 마이그레이션 결정 값을 (식 1)에 의해 실시간으로 계산한다. 각 서버의 마이그레이션 결정값을 임계값과 비교하여 마이그레이션이 결정 되면 각 시스템의 결정 값을 알고 있는 마이그레이션 결정자는 값이 가장 큰 프로세스를 Victim으로 지정하게 된다. Destination을 결정하기 위해서는 물리적인 위치를 고려하기 위해 (그림 3)과 같은 미리 작성된 거리표를 참고한다. Destination은 Victim의 거리 값이 가장 큰 랙(Rack)들에 포함된 서버들을 후보로 하고 후보군 중에서 임계치를 넘지 않으면서 가장 작은 값을 Destination으로 선정한다. 만약 첫 번째 후보군이 모두 임계치를 넘은 상태라면 다음으로 거리 값이 큰 후보군을 상대로 이와 같은 과정을 반복한다. (그림 3)에서 Victim프로세스가 포함된 랙과 첫 번째 후보군이 음영처리 되어있다.

6	5	4	3	4	5	6
5	4	3	2	3	4	5
4	3	2	1	2	3	4
3	2	1	0	1	2	3
4	3	2	1	2	3	4
5	4	3	2	3	4	5
6	5	4	3	4	5	6

(그림 3)거리표

마이그레이션결정 값 =

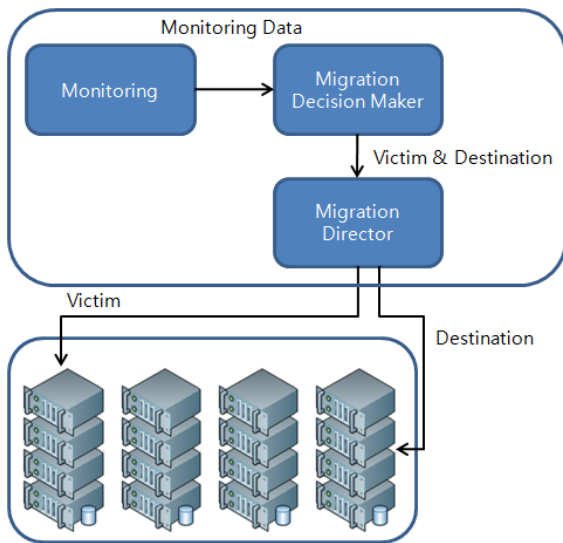
$$\left( \frac{\text{시스템 온도}}{\text{데이터 센터 적정 온도}} \times k \right) + (\text{시스템 부하량} \times (1 - k))$$

$(0 < k < 1)$

(식 1) 마이그레이션 결정 값

데이터 센터는 소비자에게 제공하는 서비스의 품질 또한 고려돼야 하기 때문에 마이그레이션을 결정할 때에는 온도뿐만 아니라 시스템이 얼마만큼의 부하량을 갖고 있는지 포함시켜서 계산한다. 부하량은 CPU 사용량, 디스크 I/O, 네트워크 I/O, 메모리 사용량 등을 포함한다.

### 3.3 마이그레이션 메커니즘



(그림 3) 마이그레이션 구조

모니터링 컴포넌트에서 모니터링 한 데이터를 마이그레이션 결정자에게 제공한다. 마이그레이션 결정자는 각 시스템의 마이그레이션 결정 값을 계산하고 관리하게 되며 임계값과 결정 값의 비교를 통해 마이그레이션을 수행할 것인가를 결정한다. 우선 마이그레이션 결정자는 데이터 센터의 모든 시스템이 임계치를 넘지 않는지를 검사하고 모든 시스템이 임계치를 넘는다면 마이그레이션을 수행하지 않는다. 데이터센터의 온도분포 및 부하량이 불균형하게 분포되어 마이그레이션이 수행되어야 한다면 마이그레이션 결정자는 결정 값을 참고해 Victim 프로세스와 Destination 프로세스를 정하게 되고 두 개의 대상 프로세스를 마이그레이션 관리자(Migration Director)에게 알린다. 마이그레이션 관리자는 마이그레이션을 위한 준비를 하도록 Victim 프로세스와 Destination 프로세스에게 수행 메시지를 보내게 된다. Victim 프로세스는 마이그레이션 될 작업을 정하고 rescheduling을 하며 Destination 프로세스는 마이그레이션을 위한 메모리 확보와 함께 rescheduling을 하게 된다. 마이그레이션을 위한 준비가 끝나면 두 대상 시스템은 마이그레이션 관리자에게 준비완료 메시지를 보내고, 두 시스템 모두가 준비되면 마이그레이션을 수행하도록 한다.

### 4. 결론 및 향후 연구과제

본 논문에서는 데이터 센터 환경에서 온도 분포와 열이 발생하는 근원인 프로세싱 부하를 모니터링

함으로써 온도 정보와 부하량을 근거로 하여 마이그레이션 대상을 정한다. 이 기법은 데이터 센터 내의 온도 분포 불균형을 해소하고 이를 통해서 데이터 센터의 온도 조절 장치인 CRAC이 정확한 온도 정보를 수집하고 조절하게 하여 과냉각 현상으로 소모되는 전력을 절감 하는 기법이다. 또한 마이그레이션 결정에 있어서 온도와 각 시스템의 부하를 함께 참조하여 서비스의 품질과 전력 절감이라는 두 가지 이점을 취할 수 있을 것으로 기대된다.

향후 연구과제로는 여러 가지의 플랫폼으로 구성되어 있는 데이터 센터에서의 모니터링 방법과 플랫폼에 적절한 임계치 설정에 관련한 연구가 필요할 것이다. 또한 데이터 센터로 요청되는 서비스의 워크로드와 요청에 대한 응답 처리 작업이 발생하게 되는 열을 예측가능 하게 설계하여 부하를 분산 시키고, 가급적 마이그레이션이 일어나지 않도록 해서 마이그레이션에 소모되는 전력도 절감하여 소프트웨어를 활용하거나 최적화해서 데이터 센터의 에너지 효율을 높이는 연구가 필요하다.

### 참고문헌

- [1]Gartner. "Green IT: A New Industry Shock Wave". 2008 Green IT Grand
- [2]김대원, 김선욱, 김성운. "그린 데이터센터를 위한 전력 관리 기술". 2009 한국전자통신연구원
- [3]ASHRAE. "Real-Time Energy Consumption Measurements in Data Centers". 2010 the green grid
- [4]Victor Smith, Ali Moinuddin. "The Green Grid Webinar". 2010 the green grid
- [5]엄태범, 송주석. "분산시스템에서 프로세스 이주 기능의 설계와 성능평가". 1991 한국통신학회
- [6]문원식, 홍영식. "분산 시스템에서 부하 균등을 고려한 파일 이전". 1994 한국정보과학회
- [7]김진석, 한세영, 박석용. "데이터센터 환경에서 서비스 품질을 고려한 가상머신 마이그레이션 기법", 2008 한국정보과학회
- [8]"전산망기술기준에 관한 규칙" 제 13조. 1988 체신부