

서버 클러스터 환경에서 에너지 절약을 위한 동적 서버 전원 모드 제어

김 호 연[†] · 함 치 환^{**} · 광 후 근^{***} · 권 희 웅^{****} · 김 영 종^{*****} · 정 규 식^{*****}

요 약

기존의 서버 클러스터 환경에서는 모든 서버가 항상 On된다. 만일 서버 요청 부하가 최대가 되면 서버 클러스터에서 얻을 수 있는 가능한 최대 성능을 얻게 되며, 그렇지 않으면 가능한 최대 성능의 일부만을 사용하게 되면서 서버 전력 소비의 효율성은 떨어지게 된다. 부하 상황에 따라 서버의 전력 모드를 제어함으로써 전력 소비의 효율성을 높일 수 있다. 다시 말하면 현재 부하를 처리하는데 필요한 대수의 서버들만 On 하고 나머지 서버들은 Off 한다. 기존의 서버 전원 모드 제어 방법에서는 고정된 주기로 서버 전원 모드를 제어하는 정적인 정책을 적용함으로써 동적으로 변하는 부하 환경에 잘 적응하지 못한다.

이를 개선하기 위해 본 논문에서는 동적 서버 전원 제어 알고리즘을 제안한다. 제안 방법에서는 서버 소비 전력의 이력을 갖고서 가까운 장래에 서버 소비 전력이 증가할 것인가를 예측한다. 이 예측에 따라 서버 모드 제어 주기를 동적으로 변경한다. 30대의 PC 클러스터를 이용하여 실험을 수행하였다. 실험을 통하여 일반적인 클러스터링 환경과 비교하여 제안된 방법은 동일한 성능을 유지하면서 29%까지 소비 전력을 절감했다. 또한, 서버 클러스터에서 서버 CPU 사용률 평균은 66% 증가하였다.

키워드 : 부하 분산, 서버 클러스터링, 그린IT, 전력절감, 서버 전원 제어

A Dynamic Server Power Mode Control for Saving Energy in a Server Cluster Environment

Hoyeon Kim[†] · Chihwan Ham^{**} · Hukeun Kwak^{***} · Huiung Kwon^{****} · Youngjong Kim^{*****} · Kyusik Chung^{*****}

ABSTRACT

All the servers in a traditional server cluster environment are kept On. If the request load reaches to the maximum, we exploit its maximum possible performance, otherwise, we exploit only some portion of maximum possible performance so that the efficiency of server power consumption becomes low. We can improve the efficiency of power consumption by controlling power mode of servers according to load situation, that is, by making On only minimum number of servers needed to handle current load while making Off the remaining servers. In the existing power mode control method, they used a static policy to decide server power mode at a fixed time interval so that it cannot adapt well to the dynamically changing load situation.

In order to improve the existing method, we propose a dynamic server power control algorithm. In the proposed method, we keep the history of server power consumption and, based on it, predict whether power consumption increases in the near future. Based on this prediction, we dynamically change the time interval to decide server power mode. We performed experiments with a cluster of 30 PCs. Experimental results show that our proposed method keeps the same performance while reducing 29% of power consumption compared to the existing method. In addition, our proposed method allows to increase the average CPU utilization by 66%.

Keywords : Load Balancing, Server Clustering, Green IT, Energy Saving, Server Mode Control

1. 서 론

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 대

※ 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 이루어졌음.
† 준 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정(교신저자)
** 준 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정
*** 정 회 원 : 펌킨 네트워크 기술이사
**** 정 회 원 : 펌킨 네트워크 개발이사
***** 정 회 원 : 펌킨 네트워크 대표이사
***** 정 회 원 : 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수
논문접수 : 2011년 11월 8일
수정일 : 1차 2012년 1월 30일
심사완료 : 2012년 3월 2일

응 역량 강화(IT for Green)” 분야들을 포함하는 포괄적 의미이다[1].

그런 IT 기술이 저탄소 녹색 사회 구현에 핵심적인 이유는 IT 부문이 차지하는 온실 가스 방출량은 2%에 불과하나 기존 타 산업 분야의 85%에 이를 적용 및 활용하여 상대적인 이산화탄소 방출량의 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.

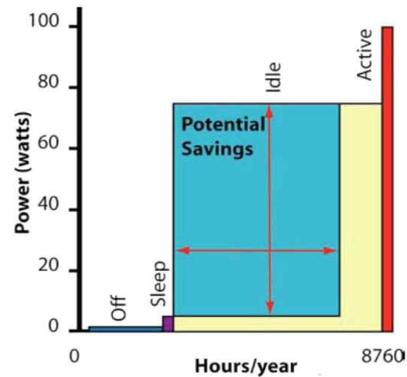
특히 서버, 스토리지 및 네트워크 장비들을 직접 운영하는 데이터 센터는 “전기 먹는 하마”로 불릴 정도로 전력 소비량이 많은 곳으로 그런 IT를 실현하는 데 있어 우선적인 고려 대상이다. 데이터 센터는 크게 IT 장비와 이를 안정적으로 운용하기 위한 기반 설비로 나눌 수 있다. IT 장비는 데이터 센터마다 약간의 차이는 있으나 데이터 센터에서 사용하는 전체 에너지 소비량의 약 50% 이상을 차지한다. IT 장비의 에너지 효율은 데이터 센터의 기반 시설에 비해 낮은 편이다. 플랫폼에 따라 차이는 있겠지만 서버의 평균 사용률이 20%를 넘지 않는다는 것은 에너지 사용량을 줄일 수 있는 여지가 상당히 있다는 것을 의미한다[2].

데이터 센터에서 서버들 에너지 소모를 줄이기 위해서는 1) 에너지 절감형 서버 하드웨어를 준비하는 방법[3], 2) 멀티코어/멀티프로세서를 사용하는 서버를 사용하는 경우 한 서버 내 CPU 전력 소모를 최소화하도록 서버 운영체제에서 에너지 절감형 스케줄링을 사용하는 방법[4], 3) 많은 수의 서버들로 구성된 서버 클러스터에서 서버들 전체 총 전력 소모를 최소화하도록, 필요하면 일부 서버를 Off하는 에너지 절감형 부하 분산기를 사용하는 방법[5]들이 있다.

본 논문은 데이터 센터에서 서버들 에너지 소모를 줄이는 방법 중에 3)에 관련된다. 데이터 센터에는 규모에 따라 서버 수백/수천/수만대로 구성되어 있고, 이 서버들이 담당하는 서비스별로 그룹으로 나뉘는데 이 그룹을 각각 하나의 서버 클러스터라고 부른다. 서버 클러스터 규모에 따라 하나의 부하 분산기가 하나의 서버 클러스터 또는 여러 서버 클러스터의 부하분산을 담당한다. 한 대의 부하 분산기가 수십/수백/수천대의 서버를 담당한다는 점을 고려할 때 부하 분산기를 통한 에너지 절감효과는 매우 클 것이다.

(그림 1)은 미국 로렌스 버클리 국가 연구소에서 분석한 PC에서 에너지 사용 패턴을 보여준다. PC 에너지 사용 패턴을 보면 PC가 idle한 상태에서도 전력 사용률은 60%가 넘으며, Sleep 모드에서는 약 5%의 전력 사용률을 가진다. 또한 상업적인 서버의 활용률은 15~20% 정도로 분석되었다[6]. PC 에너지 사용 패턴을 기반으로 상업 서버의 에너지 사용 패턴을 유추해보면 비슷할 것으로 보이므로 많은 서버들이 들어있는 서버 클러스터에서 시간별 부하 특성에 따라 다른 부하 분산 정책을 적용할 수 있다. 전체 부하가 많은 경우에는 모든 서버를 On하여 기존 방식처럼 부하를 균등하게 배분하며 전체 부하가 작을 경우에는 일부 서버들은

Off하고 나머지 서버들에 한해서 부하를 균등하게 배분할 수 있다. 이렇게 함으로써 같은 부하 분산 정책을 항상 적용하는 것보다 서버들의 에너지 소모를 줄일 수 있다. 이러한 접근 방식을 서버 클러스터링 환경에 적용하여 에너지 절감을 위한 서버 전원 모드 제어 알고리즘을 개발하는 것이 본 논문의 요지이다.



(그림 1) PC 에너지 사용 패턴

본 논문에서는 기존 서버 전원 제어 알고리즘이 가지는 문제점을 분석하고 이를 해결할 새로운 서버 전원 제어 방법을 제안한다. 본 논문의 구성은 다음과 같다. 제 2장에서는 기존 서버 전원 제어 알고리즘 및 이들이 가지는 문제점을 소개한다. 3장에서는 기존 서버 전원 제어 알고리즘이 가지는 문제점을 해결하는 새로운 서버 전원 모드 제어 방법을 설명하고, 4장에서는 실험 및 토론을, 5장에서는 결론 및 향후 연구 방향을 제시한다.

2. 연구 배경

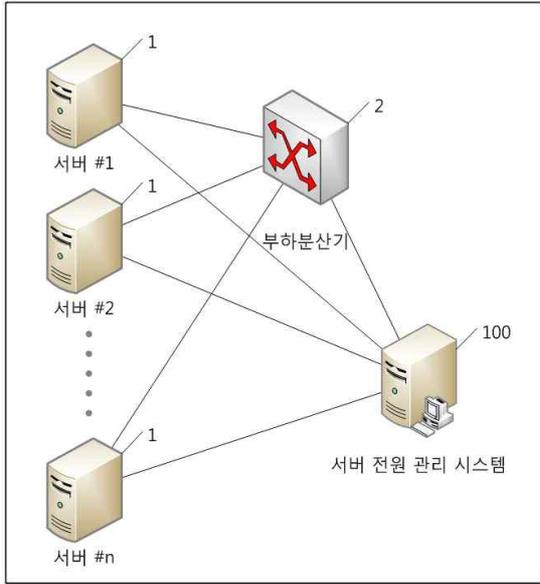
2.1 기존 연구

기존 연구에서는 (그림 2)에 보이는 것과 같이 서버 전원을 제어하는 시스템이 제안되었다[7]. 기존의 방법은 부하 분산기에 연결된 다수의 서버의 부하를 모니터링 하는 트래픽 모니터링 모듈과 다수의 서버에 인가되는 총 부하가 미리 설정된 임계값 이하로 감소하면 부하 분산기의 설정을 변경함으로써 기동중인 서버 가운데 미리 정해진 순서에 따라 어느 하나의 서버에 대하여 부하의 분산을 중단시키는 트래픽 제어 모듈이 존재한다. 또한 트래픽 제어 모듈에 의하여 부하의 분산이 중단된 서버의 트래픽이 미리 설정된 임계값 이하로 떨어지면 해당 서버에 대하여 서버 종료 신호를 발생시키는 서버 전원 제어 모듈로 구성된다.

기존의 서버 전원 모드 제어 방법의 단점은 다음과 같다.

(1) 모드 제어(mode control)

기존의 서버 전원 제어 알고리즘은 현재의 상황만을 고려하여 미리 정해진 소비 전력 임계값을 근거로 하여 동작함으로써 다음과 같은 문제점이 발생할 수 있다.



(그림 2) 기존의 서버 전원 모드 제어 방법 구조

· On/Off시 서버의 상황을 고려하지 않은 채 미리 정해진 순서로 모드 제어를 한다. 서버들의 트래픽 처리 상황을 파악하여 더 적은 부하를 처리중인 서버를 Off/Sleep 으로 모드 제어를 시킨다면 더 효율적인 서버 전원 제어가 가능할 것임은 명백하다.

· 미래의 상황을 예측 및 대처할 수 없다. 트래픽의 패턴을 파악하여 변화를 예측한다면 더 효율적인 모드 제어를 보장할 수 있을 것이다

· 현재의 트래픽 패턴이 정상적인가 그렇지 않은가를 판단할 근거가 없다. 이것은 예외적인 트래픽 상황인 갑작스런 요청의 급등(DDoS) 및 급감에 대처할 수 없음을 의미한다. 파악된 패턴에 근거하여 예외적인 트래픽 상황을 감지하고 대처할 수 있다면, 더 효율적인 서버 전원 제어가 가능할 것이다.

(2) 부하 분산(load balancing)

서버의 성능이 각기 다를 경우, 각 서버마다 처리할 수 있는 총 부하량이 다르다. 또한 서버의 모드 제어가 발생하는 과정에서 각 서버가 처리중인 부하량의 균형이 이루어질 수 없다. 각 서버들이 처리하는 부하량이 균등하지 않고 특정서버에게 집중되는 현상이 발생한다면, 소비 전력뿐만 아니라 QoS 측면에서도 비효율적임이 명백하다. 기존의 서버 전원 제어 알고리즘은 각 서버들이 처리하는 부하량의 균형을 보장하기 위한 방법을 제시하지 않는다.

2.2 접근 방식

본 논문에서의 접근 방식은 다음과 같다.

· 현 상황에 적합한 서버를 선정하고, 전환될 모드(Off/Sleep)를 결정한다.

· 현재/미래의 상황에 동적으로 대처 및 예측함으로써 효율적인 서버 운용을 보장한다.

· 트래픽 변화 정보를 근거로 하여 요청의 급등/급감에 대처한다.

· 전력정보에 기반한 에너지 절감형 부하 분산(DS-SPB) 알고리즘[8]을 적용함으로써 균등한 부하 분산을 보장한다.

본 논문에서는 서버 클러스터 환경에서 소비 전력을 절감하기 위한 동적 서버 전원 모드 제어 방법을 제안한다. 제안된 방법은 소비 전력 효율 및 서버 클러스터 성능 측면에서 기존의 방법에 비해 장점을 가진다.

3. 제안된 서버 전원 제어 알고리즘

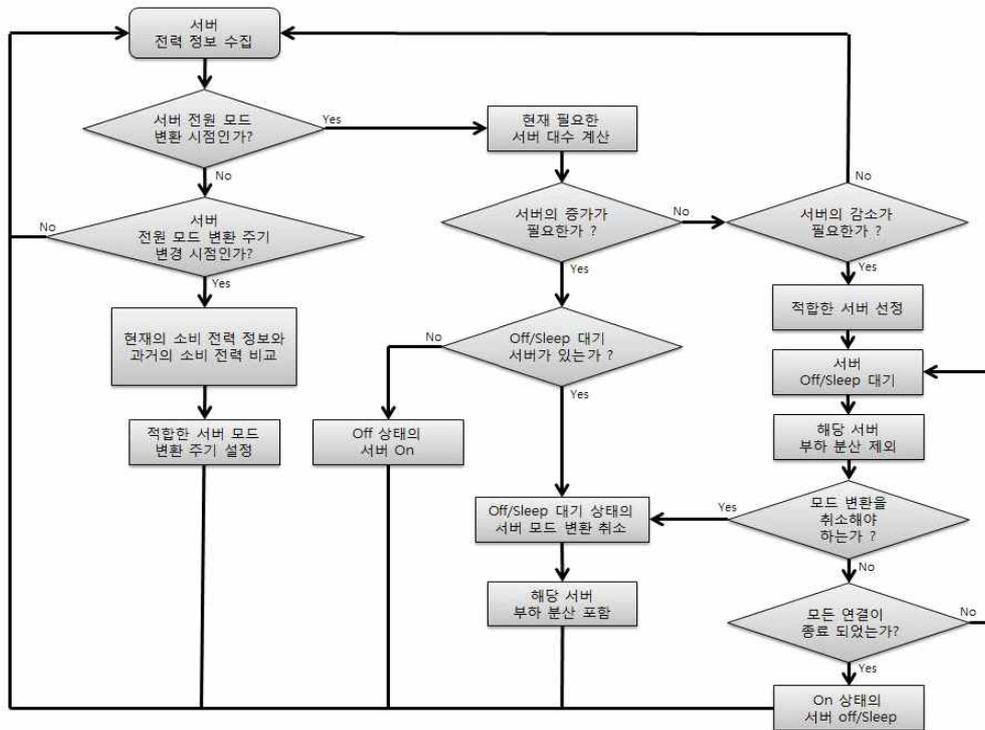
제안된 알고리즘은 서버의 소비 전력 이력을 소비 전력 DB로 유지 및 갱신하며, 소비 전력 DB 정보와 현재의 소비 전력 정보를 통하여 미래의 트래픽양을 예측한다. 예측된 내용을 통하여 서버 모드 제어 주기를 동적으로 변경한다. 서버의 모드 제어 주기를 동적으로 변경함으로써 서비스 품질 보장 및 효율적인 소비 전력 절감을 기대할 수 있다. 트래픽의 변화가 클 경우, 모드 제어 주기를 짧게 설정함으로써 트래픽이 급증하는 경우에는 서비스 품질을 보장하고 트래픽이 급감하는 경우에는 효율적인 소비 전력 절감을 기대할 수 있다. 또한 트래픽양의 변화가 거의 없을 경우, 모드 제어 주기를 길게 설정함으로써 불필요한 서버 모드 제어를 방지하여 안정적인 서비스 제공이 가능하다.

예를 들어, 1시간을 20분 단위로 3개의 시점으로 나누어 소비 전력을 저장할 수 있다. 이 경우, 제 1 시점은 “1시 20분, 2시 20분, 3시 20분 …”으로 설정되어 소비 전력을 저장하고, 제 2 시점은 “1시 40분, 2시 40분, 3시 40분 …”으로 설정되어 소비 전력을 저장하고, 제 3 시점은 “2시, 3시, 4시 …”로 설정되어 소비 전력을 저장할 수 있다. 이 경우, 1시 1분부터 1시 20분 사이의 소비 전력 평균과 소비 전력 DB에 저장된 과거의 제 1시점의 값(12시 20분에 갱신된 값) 사이의 소비 전력 값의 평균값을 소비 전력 DB에 제 1 시점 값으로 갱신하고, 1시 21분부터 1시 40분 사이의 소비 전력 평균과 소비 전력 DB에 저장된 과거의 제 2 시점의 값(12시 40분에 갱신된 값) 사이의 평균값을 소비 전력 DB에 제 2 시점 값으로 갱신하며, 1시 41분부터 2시 사이의 소비 전력 평균과 소비 전력 DB에 저장된 과거의 제 3 시점의 값(1시에 갱신된 값) 사이의 평균값을 소비 전력 DB에 제 3 시점 값으로 갱신한다. 또한 각 시점마다 현재의 소비 전력 정보와 소비 전력 DB의 소비 전력 이력을 비교하여 트래픽 양을 예측하고 서버 모드 제어 주기를 변경한다.

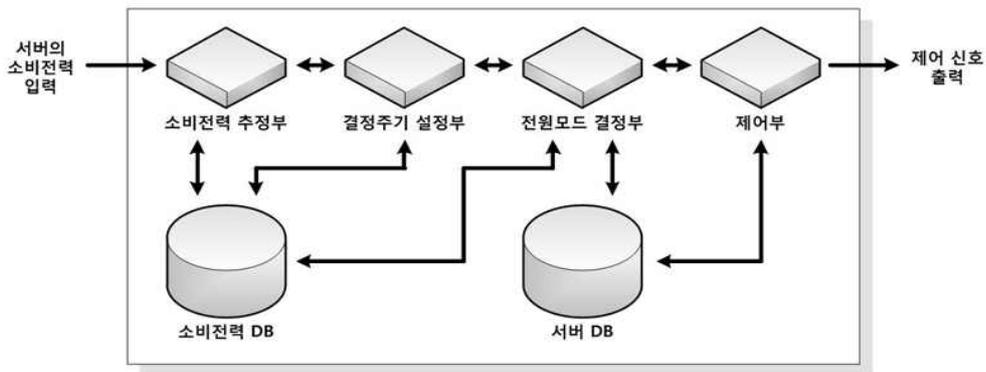
(그림 3)은 제안된 알고리즘의 동작 흐름도를 나타내고, 이를 구조와 동작 과정으로 나누어 설명하면 다음과 같다.

3.1 구조

제안된 알고리즘은 부하 분산기 내부에 (그림 4)과 같은



(그림 3) 알고리즘 동작 흐름도



(그림 4) 부하 분산기 내부의 서버제어 시스템 구성도

구조의 서버 전원 제어 시스템을 갖는다. 각 서버가 송신하는 소비 전력 정보를 수신하여 서버의 전원 모드 제어 및 부하 분산에 사용할 수 있도록 해당 정보를 가공 및 저장하는 소비 전력 추정부가 있으며, 효율적인 서버 전원 제어를 위하여 소비 전력 DB에 서버의 전원 모드 제어 주기를 설정하는 결정 주기 설정부, 설정된 전원 모드 결정 주기마다 각 서버의 요청 처리 상황을 확인하여 모드 제어에 적합한 서버를 결정하는 전원 모드 결정부, 서버의 부하량을 균등하게 분산하도록 제어하고 전원 모드 결정부로부터 결정된 서버들의 전원을 제어하는 제어부로 구성되며, 추가적으로 미래의 트래픽량을 예측하고 서버의 전원 모드 결정 주기 및 결정 여부를 판단하는데 사용하기 위한 소비 전력에 관련된 데이터를 저장하는 소비 전력 DB와 서버의 모드 제

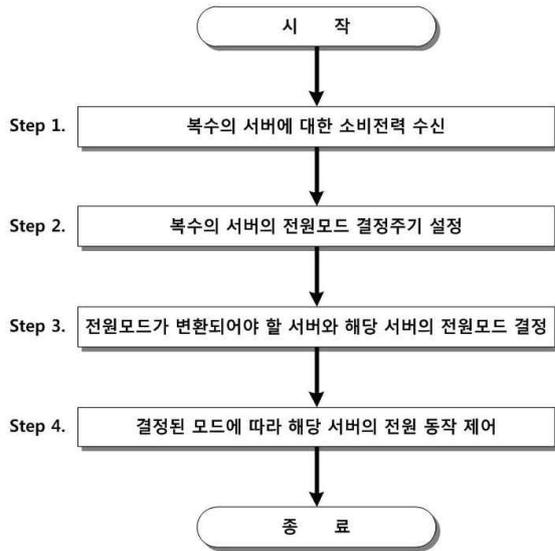
어 시점에서 가장 적합한 서버를 선택할 수 있도록 관련된 데이터를 저장하는 서버 DB를 포함한다. <표 1>은 각각의 기능을 요약한 표이다.

<표 1> 소비 전력 DB에 저장되는 데이터

명칭	기능
소비 전력 추정부	소비 전력정보 수신, 가공 및 저장
결정 주기 설정부	서버의 전원 모드 제어 주기 설정
전원 모드 결정부	모드 제어할 서버를 결정
제어부	부하 분산 조절 및 서버 전원 제어
소비 전력 DB	소비 전력 관련 데이터 저장
서버 DB	서버 관련 데이터 저장

3.2 동작

(그림 5)는 (그림 4)에 따른 전원 모드 제어를 이용한 서버 제어 방법의 흐름도이다. 각 단계를 설명하면 다음과 같다.



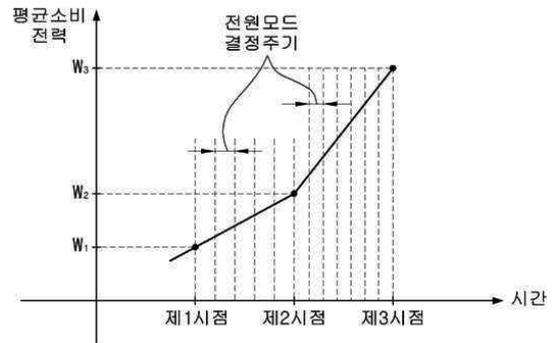
(그림 5) 서버 전원 제어 흐름도

Step 1. 소비 전력 추정부가 각 서버로부터 소비 전력을 수신하여, 일정 시간 동안 수신된 총 소비 전력의 평균을 얻는다. 이 평균값은 미리 설정된 시간 간격의 시점에서 이전 시점과 현재 시점 사이 동안 각 서버로부터 수신한 총 소비 전력의 평균값을 의미하며, 전원 모드 결정 주기 설정부에서 서버의 전원 모드 결정 주기를 결정하기 위해 사용된다. <표 2>는 소비 전력 DB에 저장되는 데이터의 내용이다.

Step 2. 전원 모드 결정 주기 설정부가 Step 1에서 얻어진 총 소비 전력과 기존에 소비 전력 DB에 저장되어 있던 과거의 다음 시점에서의 총 소비 전력을 비교하여 서버의 전원 모드 결정 주기를 설정한다. 그 후, 소비 전력 추정부는 얻어진 총 소비 전력과 소비 전력 DB의 기존 값의 평균으로 소비 전력 DB를 갱신한다.

전원 모드 결정 주기란 각각의 서버의 전원 모드의 변경 여부에 대한 판단을 하는 시간 주기를 말한다. (그림 6)은

전원 모드 결정 주기 설정을 보다 상세하게 설명하기 위한 예시도이다. (그림 6)에서 제 1 시점에서 측정된 전력 W_1 과 제 2 시점에서 측정된 전력 W_2 를 비교하면, 소비 전력이 점차 증가하고 있음을 알 수 있다. 이는 현재 복수의 서버에 대한 트래픽이 증가할 것임을 나타낸다. 이 경우, 현재 설정된 전원 모드 결정 주기를 단축시킴으로써 트래픽 증가에 따른 서버 수의 증가를 대비할 수 있다. 제 1 시점과 제 2 시점의 시간 간격은 전원 모드 결정 주기를 설정하는 시간 간격으로써 사용자 설정에 의하여 주기적으로 설정될 수 있다. 그러나 제 1 시점과 제 2 시점 사이의 전원 모드 결정 주기는 전원 모드 결정 주기 설정부에 의해 가변적으로(동적으로) 설정된다. 또한 제 2 시점의 소비 전력과 과거의 제 3 시점의 소비 전력을 비교하여 계산된 소비 전력의 차이(W_3-W_2)가 제 1 시점과 제 2 시점의 소비 전력의 차이(W_2-W_1) 보다 큰 경우에는 전원 모드 결정 주기가 더욱 짧게 설정된다.



(그림 6) 전원 모드 결정 주기 설정 예시도

Step 3. 전원 모드 결정부가 Step 2에서 설정된 서버 전원 모드 결정 주기마다 각 서버로부터 수신한 소비 전력을 이용하여, 전원 모드가 변환되어야 할 서버와 해당 서버의 전원 모드를 결정한다. 소비 전력 DB에 저장된 총 소비 전력을 참조하여 필요한 최소의 서버수를 결정하고, 각 서버들의 소비 전력을 이용하여 모드 제어 될 서버를 선정한다. 손실을 최소화하기 위하여, On 모드에서 Off/Sleep 모드로 변환할 경우, 가장 소비 전력이 적은 서버를 선택한다. 이때 서버 DB의 각 서버 모드를 참고하여 서버를 선정한다.

<표 2> 소비 전력 DB에 저장되는 데이터

시점 \ 서버	제1 서버	제2 서버		제n 서버	총 소비 전력	현재 전원 모드 결정 주기	예상 전원 모드 결정 주기
제1 시점	50W	65W	...	70W	250W	20 sec	20 sec
제2 시점	60W	70W	...	70W	310W	20 sec	15 sec
:	:	:	:	:	:	:	:
제n-1 시점	55W	55W		50W	300W	15 sec	15 sec
제n 시점	50W	55W	...	55W	300W	15 sec	25 sec

Step 4. 제어부가 전원 모드 결정부에서 결정된 서버의 전원 동작을 제어하며, 모드 제어될 서버에 대한 부하 분산을 조절한다. 이때 제안된 알고리즘은 전력정보에 기반한 에너지 절감형 부하 분산(DS-SPB) 알고리즘을 사용함으로써 서버의 가중치를 변경하여 부하 분산을 조절한다. Sleep/Off 모드의 서버를 On 모드로 변환하는 경우에는 변환된 서버에 더 많은 부하를 분산하여 다른 서버와의 부하량을 균등하게 한다. 한편 On 모드의 서버를 Sleep/Off 모드로 변환하는 경우에는 서버의 모드를 변환하기 전에 부하 분산 리스트에서 제거함으로써 부하의 분산을 막고, 서버의 연결이 완전히 종료되었을 때 서버의 모드를 Sleep/Off로 변환한다.

에너지 절감형 부하 분산(DS-SPB) 알고리즘이란 전력 정보에 기반하여 부하 분산을 수행하는 알고리즘이다. 예를 들어, 전력 정보가 큰 서버는 일을 많이 하고 있다고 판단하여 부하를 적게 분산하고, 반대의 경우 더 많은 부하를 분산한다. DS-SPB에서 서버는 정보 수집 모듈을 통해 주기적으로 서버의 CPU 상태 필드별 사용량(Utilization) 정보를 측정하고, 부하 분산 기능을 담당하는 LVS(Linux Virtual Server)[9]는 서버들로부터 주기적으로 소비 전력 정보를 수집하여 각 서버에 대한 가중치 테이블을 주기적으로 갱신한다. 사용자 요청을 받은 LVS는 현재 각각의 서버들에 대한 가중치 테이블을 검사하여 가중치에 비례하는 방식으로 요청을 분산한다.

4. 실험 및 토론

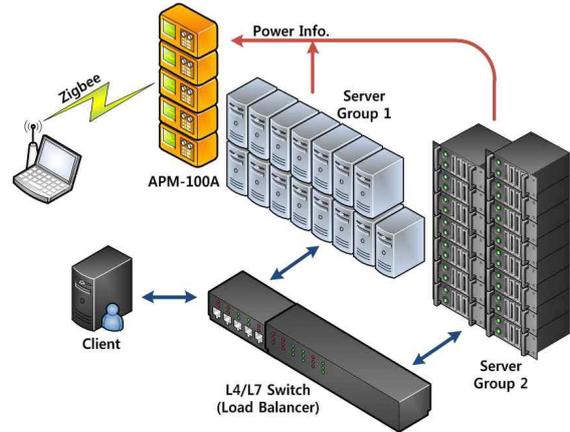
4.1 실험 환경

(1) 하드웨어 및 소프트웨어

<표 3>는 실험에 사용된 하드웨어와 소프트웨어를 나타낸다. 클러스터는 성능이 다른 두 개의 서버 그룹으로 구성하였으며, 각각 PC 15대씩 총 30대의 서버를 사용했다. 클러스터링 환경에서 부하 분산을 위한 부하 분산기로서 LVS를 사용하였고, 부하 분산 방식으로 전력정보에 기반한 에너지 절감형 부하 분산(DS-SPB) 알고리즘을 적용하였다. 클라이언트에서 서버로 부하를 생성하기 위한 벤치마크 툴로서 SPECweb[10]을 사용하여 실험을 진행하였다.

(2) 구성도

(그림 7)은 실험에 사용된 클러스터의 구성도를 나타낸다.



(그림 7) 실험에 사용된 구성도

(3) 실험 변수

실험에 사용된 변수를 정리하면 다음과 같다.

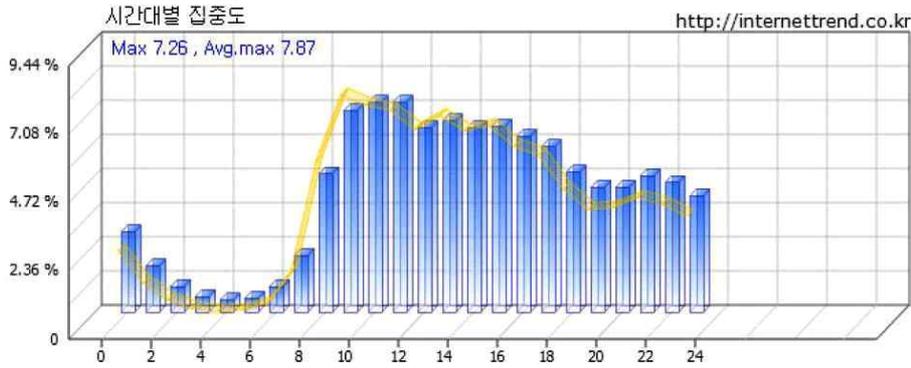
- 최소 모드 제어 간격 : 10초
- 최대 모드 제어 간격 : 50초
- 시점 개수 : 24개 (하루의 24시간을 기준)
- 실험 시간 : 2시간 (2시간을 하루로 봄)

4.2 실험 방법

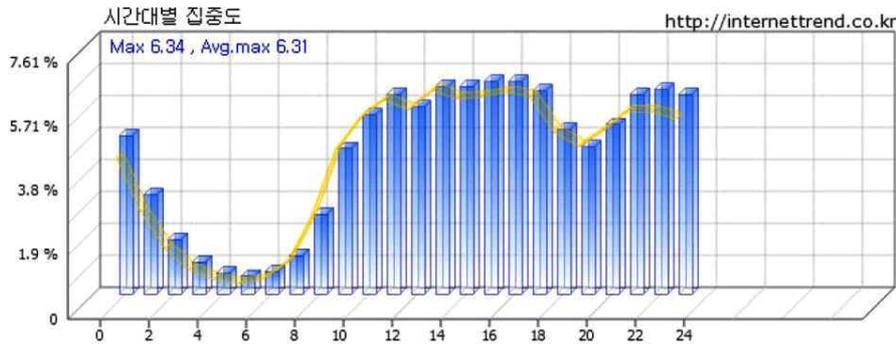
본 실험은 전문 벤치마킹 툴인 SPECweb 2005를 활용하였다. SPECweb 2005는 원하는 패턴 흐름을 생성할 수 있으므로 실제 클러스터 환경에서 발생하는 시간대별 트래픽 양에 맞추어 트래픽을 발생시킬 수 있다. 또한, Banking과 E-Commerce 시나리오를 제공함으로써 실제 클러스터에서 사용자의 요청 패턴과 유사하게 트래픽의 종류 또한 조절이 가능하다. 예를 들어, Banking 시나리오의 경우 사용자가 로그인하고 예금을 확인하며 이체를 시키는 등의 시나리오를 제공하며, E-commerce 시나리오의 경우 사용자가 로그인하고 상품을 살펴본 뒤 대금을 결제하는 등의 시나리오를 제공한다. 그러므로 SPECweb 2005에 의하여 설정된 트래픽의 패턴과 발생하는 트래픽의 종류는 실제 웹서버에서 발생하는 것과 유사하다고 할 수 있다.

<표 3> 실험용 하드웨어 및 소프트웨어

		하드웨어		소프트웨어	개수
		CPU (Hz)	RAM (MB)		
LVS		Quad Q9450 2.66G	2048	DS-SPB	1
SPEC web	Client(Prime Client)	Quad Q6600 2.4G	4096	SPECweb	1
	Real Server	Intel P-4 1.8GHz	512	apache	15
		Intel P-4 2.26GHz	2048	apache	15



(그림 8) Banking Pattern(<http://trend.logger.co.kr/trendForward.jsp>)



(그림 9) Shopping Pattern(<http://trend.logger.co.kr/trendForward.jsp>)

패턴 흐름의 근거로 InternetTrend™[11]의 카테고리별 방문특성 자료 중 금융권(그림 8)과 쇼핑사이트(그림 9)의 시간대별 집중도를 참고하여 패턴을 생성하였으며, 시나리오는 각각 SPECweb 2005에서 제공하는 Banking과 E-commerce를 적용 하였다.

실험 방법을 정리하면 다음과 같다.

- 1) 서버 클러스터 환경을 구축한다.
- 2) LVS에 서버 전원 제어 알고리즘과 부하 분산 방식을 설정한다.
- 3) 실험을 시작한다. (SPECweb을 이용하여 발생한 부하를 LVS에 전달한다. LVS는 그 부하를 서버들에게 분산시킨다.)
- 4) 계측기를 이용하여 각 서버의 소비 전력을 측정 및 수집한다.
- 6) 실험을 종료한다. (SPECweb이 설정된 패턴의 부하발생을 완료한다.)
- 7) SPECweb에서 생성된 결과와 계측기로부터 수집된 소비 전력 정보 및 각 서버로부터 수집한 CPU 사용률을 확인한다.
- 8) 시나리오를 변경하여 3)부터 반복한다.

4.3 실험 결과

(1) Banking

<표 4>에서 알 수 있듯이 전력량이 4167.5 Wh에서 3028.9 Wh로 줄어들어 27.3%의 절감 효과 및 평균 CPU 사용률이 15.77%에서 25.02%로 증가하여 58.6% 사용률 향상을 보였다. 또한 QoS와 평균 응답 시간 측면에서 살펴본 결과 성능 측면에서 손실이 거의 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

(2) E-commerce

<표 5>에서 알 수 있듯이 전력 면에서 30.7%의 절감 효과 및 평균 CPU 사용량 측면에서 56.5% 향상을 보였다. 또한 QoS와 평균 응답 시간 측면에서 살펴본 결과 성능 측면에서 손실이 크게 발생하지 않음을 확인할 수 있다.

(3) 제안한 방법 적용 vs. 비적용

<표 6>은 위의 실험을 평균으로 정리한 것이다. 본 논문에서 제안한 클러스터링 환경에서 서버 전원 모드 제어 방법은 기존의 클러스터링 환경과 비교할 때 동일한 성능을 유지하면서 에너지 절감 효과를 가짐을 확인할 수 있다. <표 6>에서 알 수 있듯이 구체적으로 서버 30대 기준의 서버 클러스터 환경에서 서버 평균 전력 소모량을 평균 29% 절감하였고 서버 평균 CPU 사용률은 평균 66% 상승하였다.

〈표 4〉 기존 클러스터 환경과 에너지 절감형 클러스터 환경의 결과 비교

알고리즘	누적 소비 전력 [Wh]	평균 응답 시간 [S]	평균 CPU 사용량 [%]	Total Request [#]	Time Tolerable [S]	Fail [#]
기존	4167.5	0.356	15.77	1683228	25	15 (0%)
에너지 절감형	3028.9	0.358	25.02	1682047	25	5 (0%)

〈표 5〉 기존 클러스터 환경과 에너지 절감형 클러스터 환경의 결과 비교

알고리즘	누적 소비 전력 [Wh]	평균 응답 시간 [S]	평균 CPU 사용량 [%]	Total Request [#]	Time Tolerable [S]	Fail [#]
기존	4149	1.361	14.88	1362176	4	0 (0%)
에너지 절감형	2872	1.362	24.91	1361544	75	7 (0%)

〈표 6〉 제안된 방법 적용 전/후 비교

평가항목 (주요성능 Spec)	단위	평가방법	기술 적용		최종 결과
			전	후	
서버 클러스터 내 서버 평균 전력 소모량	wpw or wpd	계측기	4158	2950	29% 절감
서버 클러스터 내 서버 평균 CPU 사용률	ppw or ppd	소프트웨어 툴	15%	25%	66% 상승

4.4 토론

본 연구에서는 소비 전력을 절감하고 QoS를 보장하는 동적 서버 전원 모드 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 하루 24시간을 기준으로 일정한 트래픽 패턴이 반복된다는 사실에 입각하여, 클러스터로 발생하는 트래픽의 패턴을 DB에 저장하도록 하였다. 저장된 과거의 트래픽 패턴을 근거로 미래의 트래픽을 예측할 수 있으며 서버 모드 제어 간격을 동적으로 조정함으로써 예측되는 상황에 미리 대처하여 불필요한 서버의 모드 제어를 줄일 수 있도록 하였다. 서버의 모드 제어는 QoS 문제와 밀접하므로, 불필요한 서버의 모드 제어를 줄인다는 것은 곧 효율적인 서버 전원 제어를 의미한다고 할 수 있다.

또한 DB에 저장된 트래픽 정보를 근거로 현재의 트래픽이 정상적인 패턴인가 혹은 예외적인 패턴인가를 판단할 수 있으며, 트래픽이 급증하는 상황에서는 더 빠른 서버의 On이 가능하여 QoS가 보장되고, 트래픽이 급감하는 상황에서는 더 빠른 서버의 Off가 가능하여 더 많은 소비 전력을 절감할 수 있도록 하였다. 실험을 통하여 소비 전력의 절감, CPU 사용률의 증가 및 QoS 보장을 확인하였다.

본 논문에서 제안하는 방법의 단점은 다음과 같다.

- 서버의 모드 제어 과정에서 특정 서비스 중단 : 특정 서버에서 On 모드에서 Off 혹은 Sleep 모드로 변환이 즉시 적용될 경우, 그 서버에서 처리중인 서비스가 중단될 수 있

으며 이 서비스는 다른 서버에서 다시 수행되어야 한다. 서버 모드 전환을 즉시 적용하는 대신에 그 서버에서 처리중인 서비스가 다 종료된 뒤 서버 모드를 전환해주는 Graceful Shutdown(연결 상태를 남기지 않고 세션 종료) 기능을 사용할 필요가 있다. 또한 Off 혹은 Sleep 모드에서 On 모드로 변환이 수행될 경우, 부팅 혹은 복귀에 소요되는 지연 시간으로 인하여 서버의 신속한 서비스가 지연될 수 있다.

5. 결 론

본 논문에서는 기존의 방법을 개선한 동적 서버 전원 제어 알고리즘을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 서버의 소비 전력 이력을 소비 전력 DB로 유지 및 갱신하며, 소비 전력 DB 정보와 현재의 소비 전력 정보를 이용하여 미래의 소비 전력의 증감을 예측한다. 예측된 내용을 통하여 서버 모드 제어 주기를 동적으로 변경하여 적응적으로 대처한다.

30대의 PC 클러스터를 이용하여 실험을 수행하였다. 기존의 클러스터 환경과 에너지 절감형 알고리즘이 적용된 클러스터 환경을 다양한 측면에서 비교하였다. SPECweb에서 제공하는 Banking과 E-Commerce 시나리오를 적용하였고, 실제 금융권 및 쇼핑 사이트의 패턴을 적용함으로써 실제 데이터센터에 적용시킬 수 있는 알고리즘을 구현하였다. 또한, QoS 측면에서 기존 클러스터 환경과 크게 차이가 없는

알고리즘을 구현함으로써 성능과 On/Off/Sleep의 상관관계를 적절하게 조절하였다.

제안된 알고리즘을 통해 클러스터의 자원을 상황에 맞게 효과적으로 조절함으로써 클러스터 내 서버들의 평균 CPU 사용량이 기존 알고리즘에 비해 66% 상승하였으며, 소비 전력은 29% 절감하였다. 전력에 기반한 에너지 절감형 부하 분산 알고리즘(DS-SPB)을 적용함으로써 기존 클러스터 환경과 QoS(Quality of Service) 측면에서 큰 차이를 보이지 않음을 실험을 통해 확인할 수 있었다.

향후 연구 방향은 서버의 모드 제어 과정에서 데이터 손실 방지이다. 서버 모드 제어 과정에서 발생할 수 있는 데이터 손실을 막을 수 있는 방법으로, 서버의 모드 제어 이전에 그것을 예측하고 적절히 대처할 수 있는 방향을 연구한다.

참 고 문 헌

- [1] 김태일, 박우구, 양선희, 김성운, “에너지 절감형 그린 네트워크 기술 동향”, 한국통신학회지:정보와통신, 제 26권 제 9호, pp.8-15, 2009.
- [2] 이상학, 문성준, 김진환, 신상용, 서용원, 최영진, “공공부문의 그린 데이터 센터 구현 방안에 관한 연구”, 한국정보과학회지, 제 27권 제 11호, pp.48-57, 2009.
- [3] Chenguang Liu, Jianzhong Huang, Qiang Cao, Shenggang Wan, Changsheng Xie, “Evaluating Energy and Performance for Server-Class Hardware Configurations”, 6th IEEE International Conference on Networking, Architecture and Storage, 2011.
- [4] J. Mair, K. Leung, Z. Huang, “Metrics and task scheduling policies for energy saving in multicore computers”, 11th IEEE/ACM International Conference on Grid Computing (GRID), 2010.
- [5] Xinying Zheng, Yu Cai, “Markov Model Based Power Management in Server Clusters”, IEEE/ACM Int’l Conference on Green Computing and Communications (GreenCom), 2010.
- [6] Bruce Nordman, “What the Real World Tells Us about Saving Energy in Electronics”, Symposium on Energy Efficient Electronic Systems, 2009.
- [7] 서버 전원 관리 시스템 및 그 방법, 엔씨소프트, 공개특허 10-2010-0113383.
- [8] 김동준, 강남용, 권희웅, 광후근, 김영중, 정규식, “서버 클러스터 환경에서 에너지 절약을 전력 정보 기반의 동적 서버 부하 분산”, 한국정보처리학회 춘계학술발표대회 논문집 제 18권 제 1호, pp.171-174, 2011.
- [9] LVS(Linux Virtual Server), <http://www.linuxvirtualserver.org>
- [10] SPECweb, <http://www.spec.org>
- [11] InternetTrendTM, <http://trend.logger.co.kr>



김 호 연

e-mail : hykim@q.ssu.ac.kr

2012년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)

2011년~현 재 펌킨 네트워크

개발 엔지니어

2011년~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안



함 치 환

e-mail : hch@q.ssu.ac.kr

2009년 숭실대학교 전자계산원(학사)

2009년~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 석사과정

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

2007년~2011년 숭실대학교 정보통신전자공학부 겸임교수

2003년~현 재 펌킨 네트워크 기술이사

관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안



권 희 웅

e-mail : didorito@q.ssu.ac.kr

1997년 숭실대학교 정보통신전자공학부 (학사)

1999년 숭실대학교 전자공학과 (석사)

1999년~2009년 숭실대학교 정보통신전자공학부(박사)

1999년~현 재 펌킨 네트워크 개발이사

관심분야: 네트워크 및 어플리케이션에 대한 부하 분산, 가속, 보안



김 영 종

e-mail : opensys@q.ssu.ac.kr

1996년 7월~1998년 4월 (주)한글과컴퓨터
연구원

2000년 9월~2004년 11월 (주)케스트와이즈
대표이사

2006년 1월~2008년 4월 (주)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



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 방문연구원

1990년 9월~현 재 숭실대학교 정보통신전자공학부 교수

관심분야: 네트워크 컴퓨팅 및 보안