

## 멀티미디어 서버에서 에너지 절약을 위한 데이터 배치 및 전원 관리

이 경진<sup>1</sup> · 김은삼<sup>2\*</sup><sup>1</sup>SK 인포섹, <sup>2</sup>홍익대학교 컴퓨터공학과

### Data placement and power management for energy saving in multimedia servers

Kyung-Jin Lee<sup>1</sup> · Eunsam Kim<sup>2\*</sup><sup>1</sup>SK Infosec, Bundang-si, Kyunggi-do 13486, Korea,<sup>2</sup>Department of Computer Engineering, Hongik University, Seoul 02044, Korea

#### [요 약]

최근 인터넷 기반 대용량 데이터 서비스에 수요가 급증함에 따라 대규모 데이터 센터의 필요성이 커지고 있다. 하지만 이러한 데이터 센터에서는 수많은 서버와 장비를 운영하기 위해 막대한 에너지를 소모한다. 따라서 본 논문에서는 멀티미디어 서버에서 시스템의 부하 수준에 따라서 특정 서버들에 부하를 집중시킨 후 서버를 즉시 종료함으로써 에너지를 절약하는 기법을 제안한다. 이를 위해 비디오 재생 요청이 전체 시스템에 균등하게 배분될 수 있도록 인기도에 따라 각 비디오가 저장되는 서버 그룹 수를 결정한다. 마지막으로 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 멀티미디어 서버에서 데이터 배치 및 전원 관리 기법이 서비스 품질을 유지하면서 기존의 방법에 비해 전원을 켜는 서버 수를 줄임으로써 에너지를 크게 감소시킨다는 것을 보인다.

#### [Abstract]

Recently, with the rapid increasing demands for data services on the Internet, the need for large-scale data centers has been increased. However, these data centers consume enormous amounts of energy to run numerous servers and equipment. In this paper, we therefore propose a novel scheme to save energy in multimedia servers by concentrating the load on specific servers according to the current load level of the overall system and turning them off immediately. To this end, the number of server groups in which each video is stored is determined according to its popularity so that video playback requests can be evenly distributed to the entire system. Finally, through extensive simulations, we show that our proposed data placement and power management scheme in multimedia servers significantly reduces energy consumption by decreasing the number of servers whose powers are on when compared with the existing method, while maintaining the service quality.

색인어 : 데이터 배치, 에너지 절약 기법, 멀티미디어 서버, 전원 관리

Key word : Data placement, Energy saving, Multimedia servers, Power management

<http://dx.doi.org/10.9728/dcs.2018.19.1.43>

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 18 December 2017 ; Revised 23 January 2018

Accepted 29 January 2018

\*Corresponding Author; Eunsam Kim

Tel: +82-02-320-3011

E-mail: eskim@hongik.ac.kr

## I. 서론

최근 IPTV, UCC 등의 인터넷 기반 대용량 데이터 서비스에 수요가 급증하고 있으므로[1] 이러한 데이터 요구를 수용하기 위해 대규모 데이터 센터의 필요성이 커지고 있다. 하지만 이러한 데이터 센터에서는 수많은 서버와 장비를 운영하기 위해 막대한 에너지를 소모한다.

현재 데이터 센터의 전력 사용량은 전 세계 전력 생산량의 약 3%정도를 차지하고 있다[2]. 또한 데이터 센터의 전력 사용량은 5년마다 두 배씩 증가하여[3] 2020년에는 전 세계 전력 생산량의 약 8%를 소비할 것으로 추정 된다[4]. 따라서 데이터 센터에서는 에너지 소비를 줄이는 것이 중요한 과제로 주목받고 있다. 하지만 에너지 소비 절약을 위해 단순히 서비스 용량을 줄이는 것은 서비스 품질을 저하를 초래할 수 있다.

비디오는 가장 용량이 큰 데이터 타입이기 때문에 일반적으로 데이터 센터에서 지원하는 데이터 타입 중에서 가장 높은 비중을 차지한다. 따라서 이러한 비디오 서비스에 대해 재생 품질 저하를 최대한 낮추면서 에너지 소비를 절약하기 위한 여러 방법들이 제안되었다[5, 6]. 하지만 서버 전원을 종료해서 에너지 소비를 절약하는 방법에 대한 연구는 진행되지 않았다.

한편, 기존의 멀티미디어 서버에서는 시스템 성능을 향상시키기 위해서 저장 장치 간 부하 균등(load balancing)을 지원하는 방법들이 제안되었다[7-9]. 모든 디스크에 부하(load)를 균등하게 분배하여 전체 디스크의 활용도(utilization)를 최대한 증가시킴으로써 전체 시스템의 성능을 높이는 것이다.

본 논문에서는 데이터 센터에서 에너지를 절약하기 위해 기존 멀티미디어 서버에서 제공하는 부하 균등과 달리 현재 시스템의 부하 수준에 따라서 특정 서버들에 부하를 집중시킨 후 서버를 즉시 종료함으로써 에너지를 절약하는 기법을 제안한다.

마지막으로 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 멀티미디어 서버에서 데이터 배치 및 전원 관리 기법이 서비스 품질을 유지하면서 기존의 방법에 비해 사용하는 서버의 수를 줄임으로써 에너지를 크게 감소시킨다는 것을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서 본 논문과 관련된 연구에 대해 기술한다. 3장에서는 본 논문이 제안하는 멀티미디어 서버에서 데이터 배치 및 전원 관리 기법에 대해 기술한다. 4장에서는 실험을 통하여 본 논문에서 제안하는 기법과 기존 방법의 성능을 비교 분석한다. 마지막으로 5장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

## II. 관련 연구

최근 인터넷의 에너지 소비량이 빠른 속도로 증가하면서 서버 에너지 사용의 효율적인 설계, 분석 및 서비스에 관한 연구가 주목받고 있다[10]. 특히 비디오 트래픽은 네트워크 트래픽에서 차지하는 비율이 점점 커짐에 따라 비디오 전송 비용을 줄이는 방법이 제안되었다. 먼저 사용 용량과 네트워크 전송 비용 절약을 위한 기법이 제안되었다[5]. 저장 에너지와 전송 에너지를 비교하여 각각 중앙 서버 또는 분산 캐시 서버에 저장하고 사용자에게 가까운 스토리지에 인기도가 높은 비디오를 가까운 서버에 복제하고 인기도가 낮은 비디오는 중앙 서버에 복제함으로써 에너지를 감소시켰다. 또한 에너지 소비량 분석을 통하여 인기도에 따라 비디오 저장 시에 적절한 서버를 분석하여 저장하였다. 이와 함께 대규모 스트리밍 스토리지 시스템의 에너지 소비를 줄이기 위해 디스크 냉각과 EESDC라는 새로운 기법이 제안되었다[11,12].

또한 데이터센터의 에너지 효율을 높이기 위해 데이터 센터의 유휴상태를 활용하거나 데이터 센터의 전력을 최소화하는 연구도 진행되었다[13,14]. 서비스의 수요를 충족하기 위해 에너지 소비에 최적화된 기법에 대한 연구도 진행되었다[15]. 하지만 본 논문에서 제안하는 기법처럼 서버의 전원을 종료하여 에너지를 절약하는 연구는 진행되지 않았다.

한편 최근 DRAM과 비슷한 성능을 가지는 반면 전원이 꺼지더라도 데이터가 삭제되지 않는 비휘발성 메모리(Non-volatile random access memory)가 개발되었다[16]. 따라서 최소한의 오버헤드로 시스템을 켜는 것이 가능하기 때문에 부팅 시간을 크게 줄일 수 있다. 이러한 비휘발성 메모리를 이용한다면 본 논문에서 제안하는 서버 에너지 절약을 위한 기법을 위해서 서버의 전원을 종료한 후 재공급할 경우 부팅 시간을 최소화할 수 있을 것이다.

## III. 데이터 배치 및 전원 관리 기법

본 논문에서는 데이터 센터에서 에너지를 절약하기 위해 기존 멀티미디어 서버에서 제공하는 부하 균등과 달리 현재 시스템의 부하 수준에 따라서 특정 서버들에 부하를 집중시킨 후 서버를 즉시 종료함으로써 에너지를 절약하는 기법을 제안한다.

### 3-1 서버 그룹 수

시스템 내의 서버 그룹 수는 시스템의 부하(load)가 최대인 시점과 최소인 시점의 비율을 이용해서 구한다. 부하가 최소인 시점에 하나의 서버 그룹만이 전원이 켜지고 나머지 서버 그룹은 모두 전원을 종료해서 에너지를 절약하도록 그룹 수를 구하는 것이다. 즉, 부하가 최소인 시점에 모든 비디오 파일을 저장하고 있는 첫 번째 서버 그룹만이 동작하도록 하는 것이다. 그

룹 수를  $g$ , 시스템의 최대  $L_{max}$ , 최소 부하를  $L_{min}$  라고 할 때 시스템의 전체 서버 그룹 수는 (1)와 같이 구한다.

$$g = \left\lfloor \frac{L_{max}}{L_{min}} \right\rfloor \quad (1)$$

Zipf 분포에서 skew 파라미터인  $\theta$  값이 주어질 때  $i$ 번 비디오 오  $v_i$ 의 재생 요청 빈도(frequency)인  $f_i$ 는 수식 (2)와 같이 구할 수 있다.

$$f_i = \frac{1}{i^{1-\theta}} \quad (2)$$

총 비디오의 수를  $V$ 개라고 할 때, 재생 요청 빈도가  $f_1$ 인  $v_1$ 이  $V$ 개의 비디오 들 중 가장 인기도가 높으며 재생 요청 빈도가  $f_V$ 인  $v_V$ 가 가장 인기도가 낮다. 이때 전체 비디오들 중에서 각 비디오의 상대적인 인기도인  $P_i$ 는 각 비디오의 재생 요청 빈도( $f_i$ )를 이용하여 수식 (3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_i = \frac{f_i}{\sum_{j=1}^V f_j} \quad (3)$$

즉, 각 비디오  $i$ 의 인기도  $P_i$ 는 각 비디오의 재생 요청 빈도  $f_i$ 를 모든 비디오의 재생 요청 빈도의 총합( $\sum_{j=1}^V f_j$ )으로 나누어서 구한다.

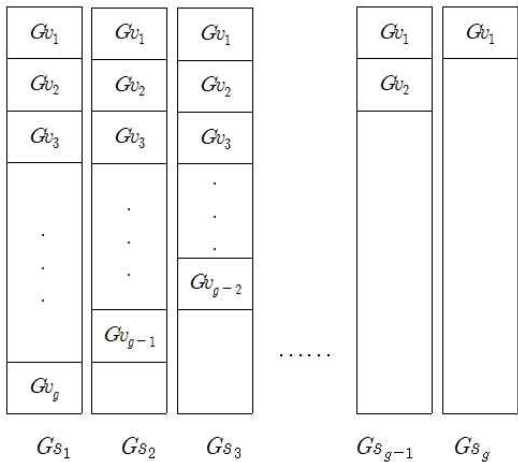


그림 1. 서버그룹 내 데이터가 저장된 비디오 그룹  
Fig. 1. Video groups where data in each video group are stored

### 3-2 비디오 배치

각 비디오는 인기도  $P_i$ 에 따라서 몇 개의 서버 그룹에 저장될지 결정된다. 높은 인기를 가지고 있는 비디오 데이터는 요청 수가 많기 때문에 상대적으로 많은 서버 그룹에 저장되는 반면 인기도가 낮은 비디오는 상대적으로 적은 서버 그룹에 저

장된다.

먼저 각 서버에 저장해야 할 비디오 그룹을 결정하기 위해서 한 그룹의 비디오 개수를 먼저 구한다.  $V$ 를 총 비디오의 수,  $g$ 를 그룹의 수라고 할 때, 한 그룹의 비디오 개수  $Vg$ 는 (4)로 구할 수 있다.

$$Vg = \left\lceil \frac{V}{g} \right\rceil \quad (4)$$

모든 비디오는 인기도에 따라 정렬한 후  $Vg$ 개 각 비디오 그룹에 할당한다.  $i$ 번째 비디오 그룹을  $Gv_i$ 라고 하고  $i$ 번째 서버 그룹을  $Gs_i$ 라고 할 때 (그림 1)은 각 서버 그룹  $Gs_i$ 에 어느 비디오 그룹이 배치되는지를 보여준다.

가장 인기도가 높은 비디오 그룹  $Gv_1$ 는 모든 서버 그룹  $g$ 개에 저장된다. 반면 가장 인기도가 낮은 비디오 그룹  $Gv_g$ 는  $Gs_1$  하나의 서버 그룹에만 저장되어 있다는 것을 알 수 있다.

### 3-3 비디오 재생 요청

높은 번호를 가진 서버 그룹은 상대적으로 인기도가 높은 비디오 그룹들만을 저장하고 있는 반면 서버 그룹 번호가 낮아질수록 인기도가 낮은 비디오 그룹들을 포함해서 저장하게 된다. 따라서 높은 번호를 가진 서버 그룹은 인기도가 높은 비디오 요청만 할당받을 수 있는 반면 낮은 번호를 가진 서버 그룹은 인기도가 낮은 비디오 요청만 처리할 수 있다. 따라서 비디오 요청이 도착하면 그 비디오가 저장되어 있는 서버 그룹 중 가장 높은 서버 그룹부터 라운드-로빈 방식으로 할당함으로써 전체 시스템의 부하를 분산한다. 다시 말해서 비디오 그룹  $Gv_j$ 에 속하는 비디오에 대한 요청이 발생하면 서버 그룹들 중 가장 높은 번호를 가진  $Gs_{g-j+1}$ 에 요청을 할당하게 된다.

### 3-4 서버 그룹 전원 종료 조건

$i$ 번 서버 그룹의 가용 서비스 용량과 현재 부하를 각각  $Ug_i$ 와  $Lg_i$ 로 나타내고 현재 전원이 켜져 마지막 서버 그룹 번호를  $cur$ 이라고 할 때  $cur$ 번째 서버 그룹의 전원을 끄기 위한 조건은 (5)과 같다.

$$\sum_{i=1}^{cur-1} Ug_i > Lg_i \quad (5)$$

$Gs_{cur}$ 에 요청되어 있는 전체 비디오의 재생 요청 수보다  $Gs_{cur}$ 을 제외한 나머지 서버 그룹들, 즉,  $Gs_1$ 부터  $Gs_{cur-1}$ 까지의 가용 서비스 용량  $Ug_i$ 의 총합이 크다면  $Gs_{cur}$ 의  $Lg_i$ 를 나머지  $cur-1$ 개의 서버 그룹에서 서비스할 수 있기 때문에  $Gs_{cur}$ 의 전원을 종료해도 된다. 이때  $Gs_{cur}$ 에서 서비스 중인 비디오 요청들은 나머지 서버 그룹에 균등하게 배분하여 계속 서비스를 제공한다.

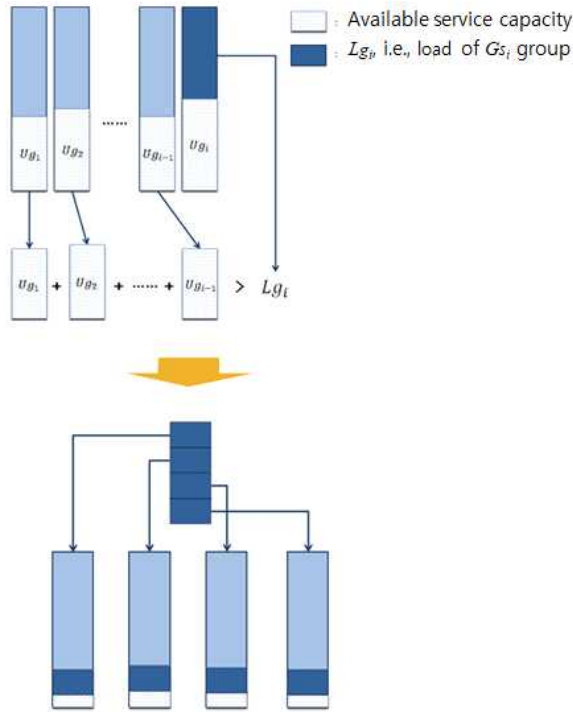


그림 2. 서버 그룹 전원 종료 동작  
 Fig. 2. Power off operation for server groups

(그림 2)는 비디오 데이터 요청이 감소할 때 서버 그룹의 전원 종료 조건과 종료되는 서버 그룹에서 서비스 중인 비디오 요청들을 배분하는 과정을 보여준다.

3-5 서버 그룹 전원 켜는 조건

비디오 데이터의 요청이 증가하여 현재 전원이 켜진 서버 그룹의 가용 서비스 용량이 부족하게 되면 추가로 서버 그룹의 전원을 켜는 것이 필요하게 된다. 추가로 서버 그룹 전원을 켜기 위한 임계값(threshold)을  $U_{th}$  라고 할 때 그 조건은 (6)과 같다.

$$\sum_{i=1}^{cur} U_{G_i} < U_{th} \quad (6)$$

$U_{th}$  값이 현재 전원이 켜진 모든 서버 그룹의 가용 서비스 용량, 즉,  $G_{s_1}$  부터  $G_{s_{cur}}$  까지의 가용 서비스 용량  $U_{G_i}$  의 총합보다 크다면  $cur + 1$  번째 서버 그룹의 전원을 켜야 한다. 이때 기존의  $cur$  개의 그룹에서 서비스 중인 재생 요청들 중에서  $cur + 1$  번째 서버 그룹에 저장되어 있는 비디오에 해당하는 것을 각 서버 그룹으로부터 균등하게 할당받아서  $G_{s_{cur+1}}$  로 이동시켜서 계속 서비스를 제공한다.

(그림 3)은 서버 그룹의 전원을 켜는 조건과 기존 서버 그룹에서 서비스 중인 비디오 요청들을 새롭게 전원을 켜는 서버 그룹에 배분하는 과정을 보여준다.

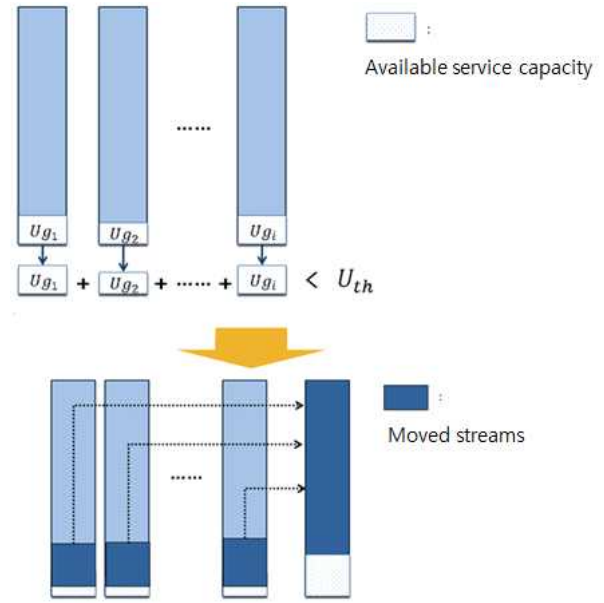


그림 3. 서버 그룹 전원 켜는 동작  
 Fig. 3. Power on operation for server groups

IV. 성능 평가

4-1 실험 환경

본 논문에서 제안하는 기법의 우수성을 보이기 위해 시뮬레이션 실험을 진행하였다. 먼저 총 비디오 수는 100개, 서버의 수는 30개로 설정하였다. 서버 그룹의 수에 따른 성능을 보이기 위해 그룹 수를 3, 6, 9로 나누어 전원이 켜진 서버 비율과 서버 활용도를 측정하였다. 또한 비디오의 인기도의 변화에 따른 결과를 측정하기 위하여 Zipf 파라미터의 skew 값인  $\theta$  를 0.1, 0.271, 0.6, 0.9로 변경하면서 실험하였다.

본 논문에서 제안하는 기법을 적용했을 경우와 기존의 방식에 비해 전원이 켜진 서버 비율과 서버 활용도를 향상시킴으로써 멀티미디어 서버의 에너지를 크게 줄일 수 있다는 것을 보인다.

4-2 실험 결과

1) 전원이 켜진 서버 비율

(그림 4)는 서버 그룹의 수가 3인 환경에서 본 논문에서 제안하는 기법과 기존 방식의 인기도에 따른 전원이 켜진 서버 비율을 보인다. 이때 비디오 인기도 값을 반화하기 위해  $\theta$  값을 0.1, 0.271, 0.6, 0.9로 변경하였다. 기존 VOD 서비스에서 비디오 인기도 분포로 알려진  $\theta$  값인 0.271을 적용한 경우 본 논문에서 제안하는 기법에서 전원이 켜진 서버 비율은 평균 비디오 재생 요청 간격이 2초, 3초, 5초, 6초일 때 각각 100%,

66.6%, 40%, 33.3%였다. 반면 기존 기법에서는 항상 모든 서버의 전원을 공급되기 때문에 전원이 켜진 서버 비율은 100%이다. 비디오 재생 요청 간격이 길어질수록 시스템 전체의 부하가 감소하게 되므로 본 논문에서 제안하는 기법에서 전원을 켜서 사용하는 서버 수가 줄어들게 된다. 특히, 비디오 재생 요청 간격이 6초인 경우에는 전체 서버의 1/3만 전원을 켜더라도 재생 품질의 저하시키지 않고 에너지 소비를 크게 절약한다는 것을 알 수 있다.

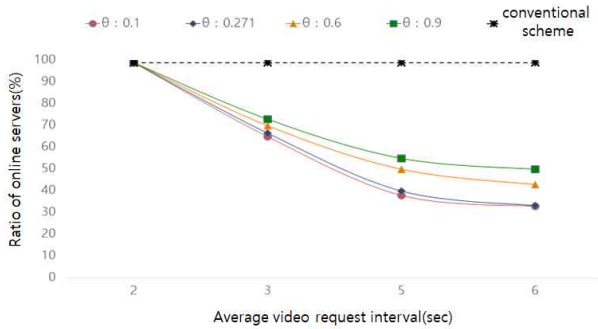


그림 4. 서버 그룹 수가 3 일 때 전원이 켜진 서버 비율  
Fig. 4. The ratio of servers whose powers are on when the number of server groups is 3

$\theta$  값이 1에 가까워질수록 인기 비디오와 비인기 비디오의 인기도 차이가 작게 되므로 비인기 비디오도 상대적으로 많은 서버에서 데이터를 저장하고 있게 된다. 본 논문에서 제안하는 기법은 각 비디오를 저장하고 있는 서버들 중 가장 높은 번호를 가진 서버 그룹부터 라운드-로빈 방식으로 할당하기 때문에 상대적으로 현재 전원 켜진 마지막 서버 그룹에 부하가 더 커지게 된다. 또한 현재 전원 켜진 마지막 서버 그룹의 서비스 부하를 기반으로 전원을 종료할지를 판단하게 되므로  $\theta$  값이 1에 가까울수록 전원이 종료되는 조건을 만족하기 쉽지 않게 된다. 이에 따라  $\theta$  값이 커질수록 전원이 종료되는 서버 그룹의 수가 상대적으로 줄어들게 되어 전원이 켜진 서버 비율이 조금 높은 결과를 보였다.

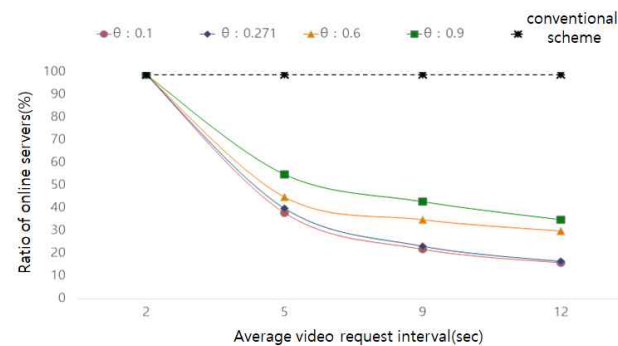


그림 5. 서버 그룹 수가 6 일 때 전원이 켜진 서버 비율  
Fig. 5. The ratio of servers whose powers are on when the number of server groups is 6

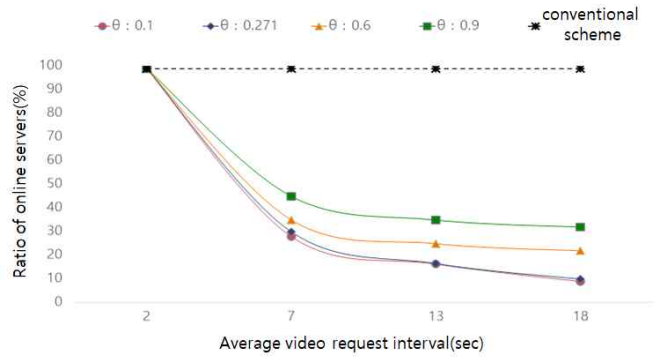


그림 6. 서버 그룹 수가 9 일 때 전원이 켜진 서버 비율  
Fig. 6. The ratio of servers whose powers are on when the number of server groups is 9

(그림 5), (그림 6)은 서버 그룹의 수를 6과 9로 변경하여 실험한 결과를 나타낸다. 위 (그림 4)의 결과와 마찬가지로 비디오 재생 요청 간격이 커질수록 비디오의 요청의 빈도가 감소하기 때문에 제안하는 기법에서는 전원이 켜진 서버 비율이 크게 감소하는 것을 확인할 수 있다.  $\theta$  값 0.271을 적용 하였을 경우 제안하는 기법에서는 서버 그룹 수가 6일 경우 비디오 요청 간격이 5초, 9초, 12초 일 때 각각 40%, 23.3%, 16.6%, 그룹의 수가 9일 경우에는 비디오 요청 간격이 7초, 13초, 18초에서 30%, 16.6%, 10%의 서버가 전원을 켜진 상태였다.

## 2) 서버 활용도

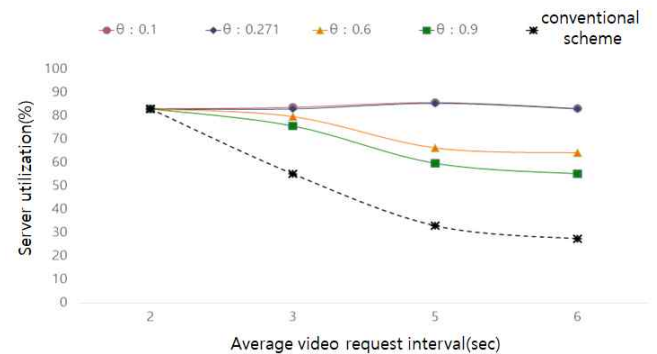


그림 7. 서버 그룹 수가 3 일 때 서버 활용도  
Fig. 7. Server utilization when the number of server groups is 3

(그림 7)은 서버 그룹 수가 3일 때 본 논문에서 제안하는 기법과 기존 방식의 실험 결과를 비교한 것이다. 기존 방식에서는 항상 모든 서버의 전원을 공급하게 되므로 비디오 재생 요청 간격이 증가할수록 각 서버의 활용도는 줄어드는 것을 알 수 있다. 반면 제안하는 기법에서는 비디오 재생 요청 빈도에 맞게 전원이 켜지는 서버 그룹 수도 변하게 되므로 각 서버의 평균 활용도는 크게 높아진다는 것을 알 수 있다.

서버 활용도의 경우에도 서버 전원 공급의 결과와 마찬가지로 비디오 간의 인기도 차이가 작아지게 되는 경우인  $\theta$  값이 1에 가까워질수록 전 서버의 활용 비율이 작아짐을 확인할 수 있다.

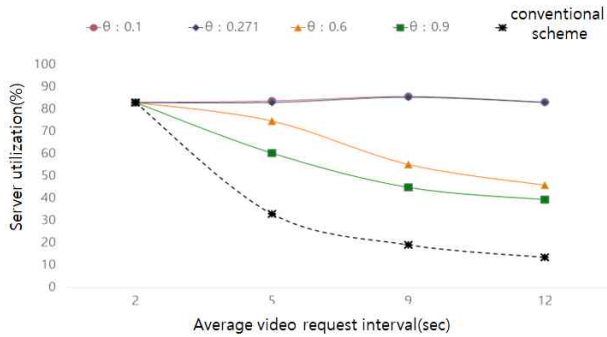


그림 8. 서버 그룹 수가 6 일 때 서버 활용도  
 Fig. 8. Server utilization when the number of server groups is 6

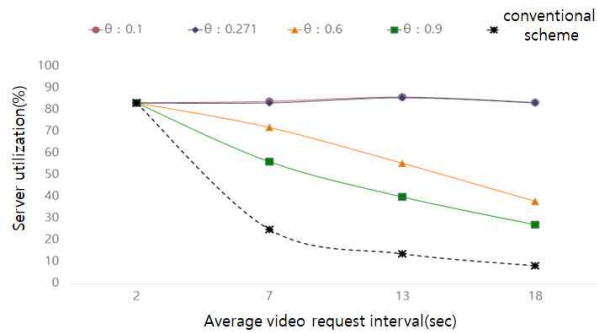


그림 9. 서버 그룹 수가 9 일 때 서버 활용도  
 Fig. 9. Server utilization when the number of server groups is 9

(그림 8), (그림 9)는 서버 그룹 수를 6과 9로 변경하여 서버 활용도를 측정된 결과이다. 서버 그룹 수가 3인 경우와 비슷한 추세를 나타낸다는 것을 알 수 있다. 즉, 기존 방식에서는 항상 모든 서버가 작동하므로 서버 활용도는 비디오 재생 요청 빈도가 감소할수록 역시 줄어들었다. 반면 제안하는 기법에서는 상대적으로 높은 비율을 유지하고 있음을 확인할 수 있다.

## V. 결론

본 논문에서는 멀티미디어 서버에서 에너지 절약을 위한 데이터 배치 및 전원 관리 기법을 제안하였다. 이 기법에서는 인기도에 따라 각 비디오를 저장해야 할 서버 그룹 수를 결정하였고 시스템 전체의 부하에 따라 전원이 켜지는 서버 그룹 수를 결정하였다. 즉 필요한 서버 그룹을 제외한 나머지 서버 그룹을 모두 전원을 종료함으로써 서비스 품질은 유지하면서 에

너지를 크게 증가시킬 수 있었다. 또한, 실험을 통해 본 논문에서 제안하는 기법이 기존 방식에 비해 전원이 켜지 서버 비율과 서버 활용도에서 성능 향상을 크게 증가했다는 것을 보였다.

## 감사의 글

이 논문은 2017학년도 홍익대학교 학술연구진흥비와 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2016R1D1A1A09917396).

## 참고문헌

- [1] J. Park, H. Kang, "A Content-based Audio Retrieval System Supporting Efficient Expansion of Audio Database," *Journal of Digital Contents Society*, Vol 18, No. 5, pp. 811-820, 2017.
- [2] A. Rallo, "Industry Outlook: Data Center Energy Efficiency," Available: <http://www.datacenterjournal.com/>.
- [3] D. Shaw, "EPA's 2007 Report on the Environment: Science Report (SAB Review Draft)," 2005.
- [4] N. Deng, C. Stewart, and J. Li, "Concentrating renewable energy in grid-tied datacenters," *IEEE International Symposium on Sustainable Systems and Technology*, pp. 1-6, 2011.
- [5] C. Jayasundara, A. Nirmalathas, E. Wong, and C. Chan, "Energy efficient content distribution for VoD services," *Optical Fiber Communication Conference. Optical Society of America*, pp1-3, 2011.
- [6] C. Chan, E. Wong, A. Nirmalathas, and C. Jayasundara, "Energy efficient delivery methods for video-rich services over next generation broadband access networks," *IEEE International Conference on Communications*, pp. 1-5, 2011.
- [7] X. Zhou and C. Xu, "Optimal video replication and placement on a cluster of video-on-demand servers," *IEEE Conference on Parallel Processing*, pp. 547-555, 2002.
- [8] K. Salem and H. Garcia-Molina, "Disk striping," *IEEE Conference on Data Engineering*, pp. 336-342, 1986.
- [9] P. Shenoy and H. Vin, "Efficient striping techniques for variable bit rate continuous media file servers," *Performance Evaluation*, Vol.38, No.3, pp. 175-199, 1999..
- [10] J. Shuja, S. Madani, K. Bilal, K. Hayat, S. Khan, and S. Sarwar, "Energy-efficient data centers," *Computing*, Vol.94, No.12, pp. 973-994, 2012.
- [11] Y. Chai, Z. Du, D. Bader, and X. Qin, "Efficient data migration to conserve energy in streaming media storage systems," *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, Vol.23, No.11, pp. 2081-2093, 2012.
- [12] D. Forte and A. Srivastava, "Energy-aware video storage

and retrieval in server environments," IEEE Conference on Green Computing, pp. 1-6, 2011.

[13] E. Pakbaznia and M. Pedram, "Minimizing data center cooling and server power costs," ACM/IEEE symposium on Low power electronics and design, pp. 145-150, 2009.

[14] M. Song, Y. Lee, and E. Kim, "Data prefetching to reduce energy use by heterogeneous disk arrays in video servers," ACM Workshop on Network and Operating Systems Support for Digital Audio and Video, pp. 1-6, 2013.

[15] W. Binder and N. Suri, "Green computing: Energy consumption optimized service hosting," Current Trends in Theory and Practice of Computer Science Conference, pp. 117-128, 2009.

[16] R. Freitas and W. Wilcke, "Storage-class memory: The next storage system technology," IBM Journal of Research and Development, Vol.52, No.4/5, pp. 439-447, 2008.



**이경진(Kyung-Jin Lee)**

2015년 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 (공학학사)  
 2017년 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)

2017년 ~ 현재 : SK인포섹

관심분야 : P2P 스토리지, P2P 비디오 스트리밍 시스템, 분산 멀티미디어 시스템 등



**김은삼(Eunsam Kim)**

1994년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학학사)  
 1999년 : 서울대학교 컴퓨터공학과 (공학석사)  
 2005년 : Univ. of Florida 컴퓨터공학과 (공학박사)

1996년~2002년: LG전자 선임연구원

2006년~2007년: LG전자 책임연구원

2007년~현재 : 홍익대학교 컴퓨터공학과 부교수

관심분야 : 분산 멀티미디어 시스템, P2P 클라우드 시스템, 컴퓨터 저장시스템 등