

논문 2010-47CI-1-4

IPTV 셋톱박스 환경에서 스트리밍 데이터 재생을 위한 전력 소모 감소 기법

(Low Power Consumption Technology for Streaming Data Playback in
the IPTV Set-top Box)

고 영 욱*, 양 준 식*, 김 덕 환**

(Young-Wook Go, Junsik Yang, and Deok-Hwan Kim)

요 약

IPTV 셋톱박스에서 가장 많이 사용하는 저장장치인 하드디스크는 가격에 비해 저장용량이 크고 입출력 속도가 빠르지만 스핀들 모터의 기계적 동작으로 인해 전력 소모가 많다는 단점이 있다. 셋톱박스에서 스트리밍 데이터를 재생하기 위하여 하드디스크의 스핀들 모터는 최대 전력을 사용하는 활성모드를 계속 유지해야 한다. 본 논문에서는 스트리밍 데이터 재생 시 전력 소모를 감소시키는 오프셋-버퍼링(Offset-Buffering)과 다중모드 스핀-다운(Multi Mode Spin-Down) 기법을 제안한다. 오프셋-버퍼링은 사용자의 시청 패턴을 분석하고 분석된 결과를 통해 버퍼링을 하므로 스핀들 모터의 모드를 대기모드로 길게 유지할 수 있다. 또한 오프셋 버퍼의 크기에 따라 다양한 모드로 스핀-다운을 하여 전력 소모를 줄일 수 있다. 실험 결과 본 논문에서 제안한 오프셋-버퍼링과 다중모드 스핀-다운은 기존의 풀-버퍼링(Full-Buffering)보다 28.3% 전력 소모량을 감소시켰으며, 스핀-업 횟수를 12.5% 줄였다.

Abstract

The hard disk is one of the most frequently used storage in IPTV sep-top box. It has large storage capacity and provides fast I/O speed compared to its price whereas it causes high power consumption due to mechanical characteristics of spindle motor. In order to play streaming data in the set-top box, spindle motor of hard disk keeps active mode and it causes high power consumption. In this paper, We propose an offset-buffering and multi-mode spin-down method to reduce power consumption for streaming data playback. The offset-buffering inspects the user's viewing pattern and performs buffering based on the analysis of viewing pattern. So, it can maintain the status of spindle motor as idle mode for long time. Besides, it can reduce power consumption by spinning down according to offset-buffer size. The experimental result shows that proposed offset-buffering and multi mode spin-down method is about 28.3% and 12.5% lower than the full-Buffering method in terms of the power consumption and spin-down frequency, respectively.

Keywords : IPTV, Set-top box, Low power consumption, Offset-buffering, Multi-mode spin-down

* 학생회원, ** 정회원, 인하대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering,
Inha University)

※ 본 논문은 정보통신부 출연금으로 ETRI, SOC산업
진흥센터에서 수행한 IT SOC 핵심설계인력양성사
업의 연구 결과입니다.

※ 이 논문은 2008년 정부(교육인적자원부)의 재원으로
한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임
(KRF-2008-313-D00822).

※ 본 과제는 지식경제부와 한국산업기술진흥원의 전
략기술인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

접수일자: 2009년12월16일, 수정완료일: 2010년1월11일

I. 서 론

최근 DTV(Digital Television)시장에서 IPTV
(Internet Protocol Television)가 빠르게 보급되고 있다.
IPTV는 IP(Internet Protocol)망을 이용하여 정보 서비
스, 스트리밍 데이터 재생, 다양한 개인 맞춤형 서비스
및 양방향 데이터 서비스를 TV로 제공하는 것을 말한
다. 이중 가장 많이 사용되는 기능은 HD(High

Definition)급의 스트리밍 데이터를 재생하는 기능이다 [1~2].

IPTV를 이용하기 위해서는 셋톱박스가 필요하다. 사용자들이 많이 사용하는 IPTV 서비스는 HD급의 스트리밍 데이터 재생, 개인용 영상 녹화기(Personal Video Recorder)기능, 타임 시프팅(Time Shifting)기능, 방송 녹화 기능 등이 있으며 이 기능들을 원활히 제공하기 위해서는 셋톱박스에 저장장치가 내장되어야 한다^[3]. IPTV 셋톱박스에서 가장 많이 사용하는 저장장치는 하드디스크이다. 하드디스크는 가격에 비해 저장 용량이 크고 속도가 빠르다는 장점이 있다. 하지만 하드디스크는 기계적 장치를 사용하여 입출력 요청을 수행하기 때문에 발열, 소음, 진동이 있고 특히 전력 소모가 많다는 문제점이 있다. 기존의 하드디스크는 셋톱박스의 총 전력 소모량의 10~20%를 차지하며, 그 중 약 80~90%는 하드디스크의 스핀들 모터에서 발생한다^[4]. 그림 1은 하드디스크 스핀들 모터의 모드 변화를 보여준다. 기존의 스핀들 모터는 활성(Active), 유휴(Idle), 대기(Standby), 휴면(Sleep)모드로 구분되어 있다. 이 중 입출력이 가능한 활성모드 일 때 가장 많은 전력 소모가 발생하는 문제점이 있다.

이를 개선하기 위해 기존의 스핀들 모터는 입출력 요청이 발생하였을 경우와 요청이 발생하지 않을 경우로 구분하여, 발생할 경우에는 하드디스크의 스핀들 모터를 구동하고 요청이 발생하지 않을 경우에는 구동을 하지 않는다. 하드디스크 스핀들 모터가 구동할 때를 스핀-업, 구동하지 않을 때를 스핀-다운이라 하는데, 이 동작을 반복하면 오히려 전력 소모가 많아지고 스핀들 모터의 모드 변화를 위한 회전대기시간이 길어지는 문제점이 있다^[5]. 따라서 스핀들 모터의 전력 소모를 줄이기 위해서는 활성모드에 머물러 있는 시간과 모드 변화 횟수를 효과적으로 줄여야 한다.

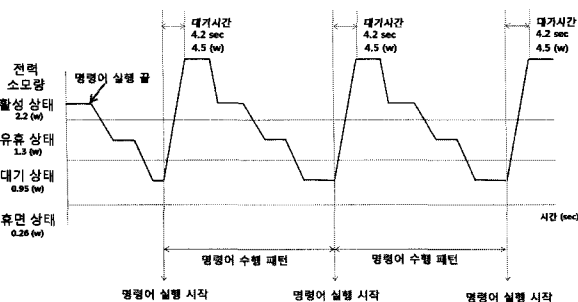


그림 1. 하드디스크의 전력 소모와 응답성
Fig. 1. Power consumption and responses of hard disk.

본 논문은 IPTV 셋톱박스 하드디스크의 전력 소모를 줄이기 위해 오프셋-버퍼링(Offset-Buffering)과 다중모드 스핀-다운(Multi Mode Spin-Down)을 제안한다. 오프셋-버퍼링은 사용자의 시청 패턴에 따라 버퍼를 두 개의 구역으로 나누어 순차적인 스트리밍 데이터 블록(Streaming Data Block)과 예측된 스트리밍 데이터 블록을 선반입한다. 다중모드 스핀-다운은 오프셋 버퍼 크기에 따라 스핀들 모터의 스핀-다운 시 진입할 모드를 결정한다. 제안하는 기법을 통해 최소 전력으로 스트리밍 데이터를 지연, 지터 현상 없이 재생할 수 있도록 한다.

본 논문의 순서는 먼저 II장에서 관련 연구에 대해 소개하고 III장에서 오프셋-버퍼링, 다중모드 스핀-다운 기법을 설명한다. IV장에서는 설계 및 구현에 대해 설명하고, V장에서는 기존의 재생 기법, 선행 연구된 풀-버퍼링(Full-Buffering), Adaptive Spin-Down과 제안하는 기법의 전력 소모량을 비교한다. 마지막으로 VI장에서 결론을 맺는다.

II. 관련 연구

2.1 IPTV 셋톱박스의 스트리밍 데이터 재생 방법
스트리밍 데이터 재생 시 재생률에 맞게 초당 전송해야 하는 블록의 양은 정해져 있다. 그림 2와 같이 스트

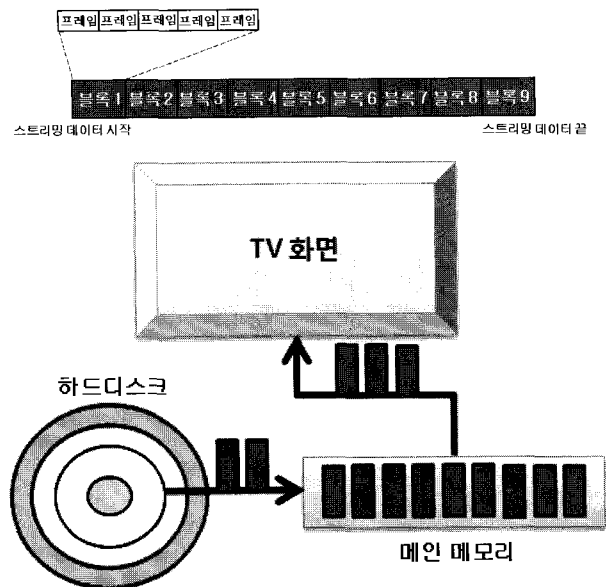
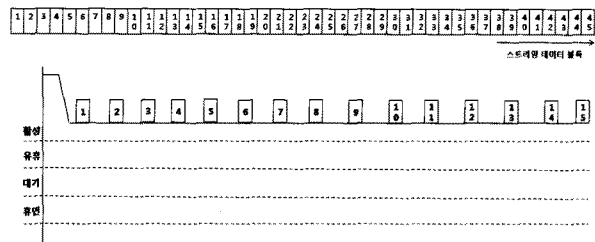


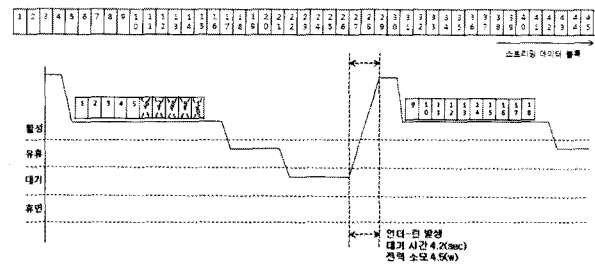
그림 2. 스트리밍 데이터 블록 구성 및 이동
Fig. 2. The block structure and movement of streaming data.

리밍 데이터 블록은 프레임들로 구성되어 있고, 각각의 블록은 번호가 부여되어 있다. 이 번호를 통해서 사용자가 원하는 화면에 해당하는 블록을 불러올 수 있다^[6].

스트리밍 데이터 블록은 하드디스크로부터 메인메모리의 버퍼로 옮겨지고, 재생이 되면 버퍼에서 제거된다. 만약 재생률 보다 블록이 버퍼에 채워지는 시간이 오래 걸린다면 화면 지연 현상이 생기고, 버퍼에 블록이 범람하면, 화면 지터 현상이 발생하게 된다. 하드디스크에 저장되어 있는 스트리밍 데이터를 실시간으로 재생하는데 있어서 중요한 점은 블록의 손실, 지연, 지터 현상 없이 재생하는 것이다. 따라서 기존의 하드디스크는 순환주기 기반의 스케줄링을 통해 스트리밍 데이터를 재생하였다^[7]. 이 재생 방법을 일반 재생(Normal Playback) 기법이라 부르며 그림 3(a)은 기존의 IPTV 셋톱박스에서 일반 재생 시 스피들 모터의 움직임을 보여준다. 스트리밍 데이터 재생 시작되고 완료될 때까지 스피들 모터는 최대전력을 사용하는 활성모드를 유지한다. 즉, 스트리밍 데이터가 재생되는 동안 스피들 모터는 스피들-다운을 하지 못하므로 전력 소모량이 많다.



(a) 일반 재생 시 스피들 모터 전력 소모 형태
(a) The formation of spindle motor power consumption during playback



(b) 풀-버퍼링의 스피들 모터 전력 소모 형태와 문제점
(b) Spindle motor power consumption and problems of full-buffering

그림 3. 스피들 모터의 전력 소모 형태와 문제점
Fig. 3. Power consumption of spindle motor and its problem.

2.2 IPTV 셋톱박스의 스트리밍 데이터 재생 방법

일반 재생 기법으로 재생 시 발생하는 전력 소모를 줄이기 위해서 한양대학교에서는 풀-버퍼링 기법을 고안하였다^[8].

풀-버퍼링 기법은 버퍼에 스트리밍 데이터 블록이 가득 채워질 때까지 하드디스크에서 블록을 읽어 들인 후, 버퍼가 블록으로 가득 채워지면 스피들 모터를 스피들-다운한다. 버퍼에 선반입된 스트리밍 데이터 블록이 다 소진되면 스피들 모터를 스피들-업하여 버퍼를 다시 채우게 된다. 풀-버퍼링 기법을 사용하여 재생하였을 때의 스피들 모터의 전력 소모 형태를 그림 3(b)에 정리하였다.

풀-버퍼링 기법은 사용자가 순차적인 시청으로 선반입된 블록을 다 사용하는 경우 전력 소모를 줄이는데에는 효율적이다. 그러나 이 기법은 사용자의 시청 패턴을 고려하지 않았기 때문에 그림 3(b)같은 문제점을 보여준다. 풀-버퍼링된 블록을 사용하지 않게 되면 다시 버퍼링을 시도하므로 ① 스피들 모터를 다시 스피들-업해야 한다. 이때 스피들 모터 전력 소모에 오버헤드가 발생하고, 대기모드 유지 시간이 짧아 전력 소모량이 증가하게 된다. 다시 버퍼링을 시도할 때 버퍼에 가득 채울 때 까지 걸리는 시간이 존재 한다. 이 시간을 언더-런(Under-run)이라고 하는데 다시 버퍼링을 시도하게 되면 스피들-업을 위한 회전대기 시간 + 언더-런 시간 때문에 화면 끊김 현상이 발생한다. ③ 선반입된 블록을 사용하지 않는다면 버퍼의 공간을 낭비하게 된다^[9].

따라서 사용자 패턴에 따른 효율적인 선반입과 스피들-다운 기법이 필요하다.

III. 저전력 스트리밍 데이터 재생

3.1 IPTV 셋톱박스의 스트리밍 데이터 재생 기능

최근 IPTV는 Full HD급의 스트리밍 데이터 서비스를 제공한다. Full HD 스트리밍 데이터는 H.264의 코덱을 이용한다. IPTV에서 서비스 하는 스트리밍 데이터 특성은 표 1에 있다.

가장 많이 사용되는 것은 H.264 분류번호 4의 1280×720×60p 해상도를 가진 스트리밍 데이터이다. 이 스트리밍 데이터의 전체 크기는 약 4033MB이고, 블록의 크기는 약 6.3MB이다. 일반적인 IPTV 셋톱박스의 버퍼의 크기는 64MB와 크기를 가지며, 버퍼에 약10개의 블록을 선반입할 수 있다^[10].

표 1. Full HD급 스트리밍 데이터 특성
Table 1. The characteristics of Full HD streaming data.

H.264 분류 번호	해상도	전송률
4	1920×1080×30i 1280×720×60p 2000×1000×30p	20Mbps(max)
4.1	1920×1080×30i 1280×720×60p	50Mbps(max)
4.2	1920×1080×30i 2000×1000×60p	50Mbps(max)

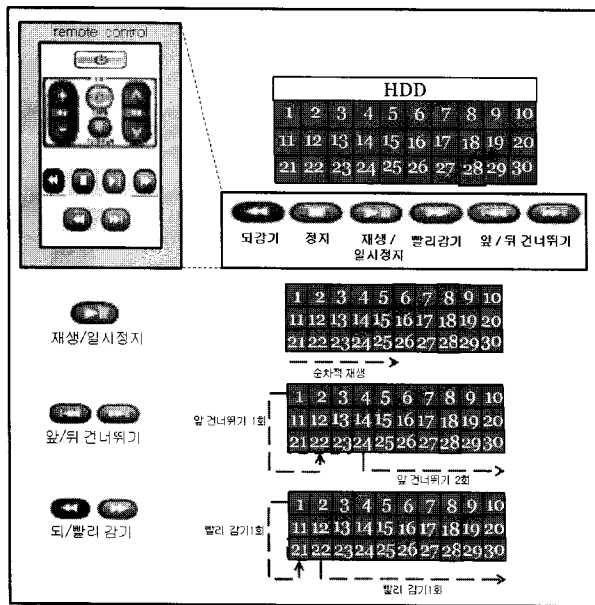


그림 4. IPTV 셋톱박스 재생 방법
Fig. 4. Three methods of using IPTV set-top box.

예를 들어, IPTV 서비스를 제공하는 업체 중 하나인 SK 브로드밴드 TV 셋톱박스에서 스트리밍 데이터를 TV화면에 재생하는 방법은 3가지가 있다. 그림 4는 30개의 블록이 있다고 가정할 때 3가지 기능을 사용하여 스트리밍 데이터가 화면에 재생되는 블록을 보여준다.

첫째, 일반적인 재생 기능으로 스트리밍 데이터의 블록을 순차적으로 재생하는 방법이다. 이 기능사용 시 스트리밍 데이터 블록은 1~30까지 순차적으로 요청된다.

둘째, 앞/뒤 건너뛰기 기능으로 일반적인 재생과 달리 일정한 간격으로 건너뛰면서 재생하는 방법이다. IPTV 셋톱박스는 20초의 간격으로 건너뛰고, 건너뛴 화면을 표현하는데 3개의 블록을 사용한다. 1번 블록 재생 후 20초에 해당하는 20개의 블록을 건너뛰고 21, 22, 23을 재생한다. 다시 건너뛰기 기능을 사용하면 20개의 블록을 건너뛴다.

셋째, 뒤/빨리 감기 기능이다. 이 기능은 앞/뒤 건너

뛰기 기능과 같은 방법을 이용한다. 차이점은 앞/뒤 건너뛰기 기능은 3개의 블록을 화면에 보여주지만, 뒤/빨리 감기 기능은 빠른 블록 이동을 위해 1개의 블록을 화면에 보여준다.

IPTV 시청 시 사용자가 순차적으로 재생하지 않고 위와 같은 기능을 연속적으로 사용한다면 새로운 블록 요청 패턴이 발생하게 된다.

3.2 오프셋-버퍼링 기반의 스트리밍 데이터 재생

오프셋-버퍼링은 버퍼를 정규 버퍼, 오프셋 버퍼로 영역을 나누어 선반입한다. 정규 버퍼에는 순차적인 블록을, 오프셋 버퍼에는 연속적인 건너뛰기 기능사용 시 요청이 예상 되는 블록을 선반입한다. 사용자가 건너뛰기 기능을 사용하여 원하는 화면을 찾았다면 그 다음엔 순차적으로 시청하기 때문에 이를 대비하기 위해 정규 버퍼에 순차적인 블록을 저장하여 다시 버퍼링을 시도하는 것을 방지한다.

오프셋 버퍼에는 블록 이동에 따른 예측된 블록을 저장한다. 시청 중에 건너뛰기 기능을 사용하면 20개의 블록을 건너뛰게 되는데, 이 기능을 연속적으로 사용하면 건너뛰는 블록의 수는 기능사용 횟수에 비례하기 때문에 다음 건너뛰기 기능사용 시 요청될 블록을 예측할 수 있다. 그리고 오프셋-버퍼링은 연속적으로 건너뛰기 기능을 사용하는 횟수에 따라 오프셋 버퍼의 크기를 변화시키고, 변화된 크기에 맞게 다음 건너뛰기 요청 시 필요한 블록을 선반입한다.

그림 5는 본 논문에서 제안하는 버퍼의 크기와 IPTV 셋톱박스에서 Full HD급의 스트리밍이 데이터 재생 시 건너뛰기 기능을 8회 연속적으로 사용하였을 때의 블록 입출력 과정을 보여준다. 버퍼링 1회는 사용자가 1~4번 블록까지 시청한 후 앞건너뛰기를 요청한다. 5~10번 블록은 건너뛰기를 요청이 발생하였으므로 사용하지 않는다. 버퍼링 2회는 사용자가 건너뛰기를 요청한 블록부터 선반입한다. 풀-버퍼링은 시작 블록 25~34블록까지 순차적으로 블록을 선반입한다. 이 경우 25, 26, 27의 블록을 사용하고, 다시 건너뛰기 요청이 오면 28~34블록은 사용하지 않게 되어서 7개의 블록을 낭비하게 된다. 반면에 오프셋-버퍼링은 시작 블록 25~31까지 순차적인 블록을 정규 버퍼에, 다음 건너뛰기 요청 시 필요한 48, 49, 50의 블록을 오프셋 버퍼에 버퍼링한다. 다시 건너뛰기 요청이 오면 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 48, 49, 50을 재생하므로 다시 버퍼링을 시도하지 않아

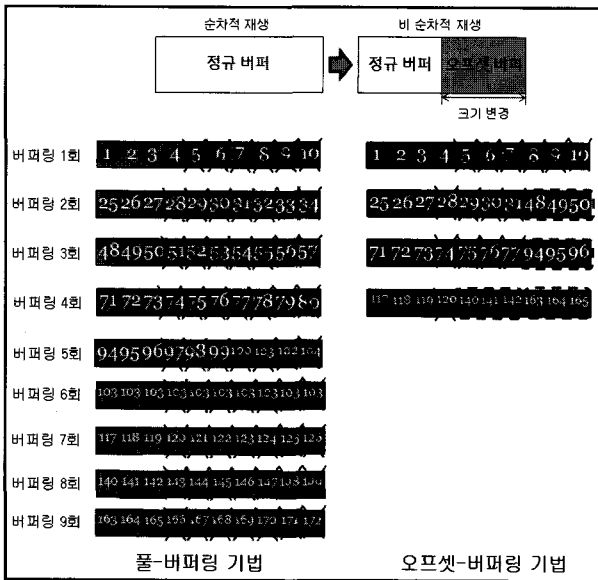


그림 5 오프셋-버퍼링과 풀-버퍼링의 버퍼링 횟수
Fig. 5. Buffering frequencies of offset-buffering and full-buffering methods.

도 된다. 사용자가 건너뛰기 기능을 연속적으로 사용하면 앞으로도 계속 건너뛰기 기능을 사용할 확률이 높기 때문에 버퍼링 4회에서는 오프셋 버퍼의 크기를 키워 두 번의 건너뛰기 기능사용 시 요청 예상되는 (140, 141, 142) (163, 164, 165) 블록을 선반입한다. 이와 같은 방법으로 오프셋-버퍼링은 풀-버퍼링 보다 5번의 버퍼링 횟수를 줄일 수 있다.

결론적으로 사용자가 연속적으로 2회 이상 건너뛰기 기능을 사용한다면 버퍼링 횟수를 효율적으로 줄일 수 있게 된다.

3.3 오프셋 버퍼 크기 결정

사용자가 연속적으로 건너뛰기 기능을 사용할 경우 오프셋 버퍼의 크기를 키워 건너뛰기에 필요한 블록을 많이 선반입하면 스피들 모터의 대기 시간을 길게 유지할 수 있다. 반면에 사용자의 시청 패턴이 순차적 시청 이라면 오프셋 버퍼의 크기를 줄여서 순차적인 블록을 많이 선반입함으로써 스피들 모터의 대기 시간을 길게 유지할 수 있다. 버퍼의 공간을 효율적으로 사용하면서 본 논문에서는 사용자의 시청 패턴에 따라 오프셋 버퍼의 크기를 변화시키는 방법을 제안한다. 오프셋 버퍼의 크기는 오프셋에 선반입된 블록의 사용률에 따라 결정 된다. 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률이 높으면 연속적으로 건너뛰기 기능을 사용할 확률이 높고, 사용률이 낮으면 순차적으로 시청할 확률이 높다고 볼 수

있다.

오프셋 버퍼에 선반입된 블록의 사용률을 판단하는 식은 다음과 같다. $BlockSize$ 는 선반입된 블록의 크기, $UsedBlockNumber$ 는 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 중 사용된 블록의 개수, $OffsetBufferSize$ 는 전체 버퍼 중 오프셋 버퍼가 차지하는 크기를 나타낸다.

$$OffsetRate = \frac{BlockSize \times UsedBlockNumber}{OffsetBufferSize} \times 100\% \quad (1)$$

식 1을 사용하여 버퍼 사용률에 의한 오프셋 크기의 최대치와 최소치 범위는 Full HD급의 스트리밍 데이터 재생 시 실험 결과 값으로 정했다. 그림 6은 오프셋 크기를 20, 40, 60, 80%로 고정 했을 때의 오프셋 버퍼에 선반입된 블록의 사용률에 따른 전력 소모량을 보여준다. 오프셋 버퍼의 크기 0%는 정규버퍼만을 사용한 경우와 같고, 100%는 순차적인 블록을 선반입할 수 없기 때문에 제외하였다.

그림 6에서 오프셋 버퍼의 크기가 20~50%, 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률이 30~100%일 때 전반적으로 전력 소모가 감소함을 알 수 있다. 또한, 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률이 낮으면 전력 소모가 증가함을 볼 수 있다. 즉, 사용자의 건너뛰기 기능사용 횟수에 따라 오프셋 크기를 변경한다면 전력 소모에 이득을 볼 수 있게 된다. 하지만 오프셋 버퍼의 크기를 60~80%로 했을 경우 블록 사용률이 높다 하더라도 사용자가 건너뛰기 기능사용 후 순차적으로 시청 했을 경우를 대비하지 못하기 때문에 전력 소모가 전체적으로 많다. 그래서 오프셋 버퍼의 크기는 최소 0%에서 최대 50%까지로 정했다.

그림 7은 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률에 따른

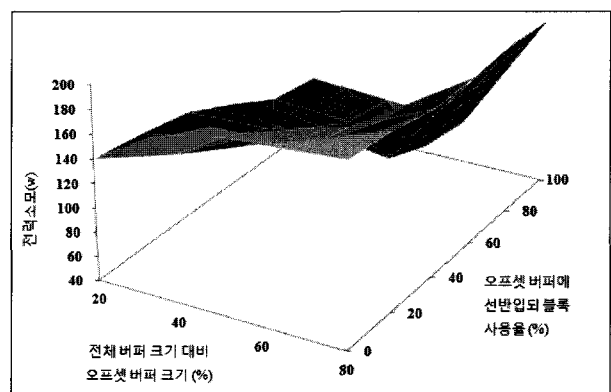


그림 6. 오프셋 버퍼 크기와 사용률에 따른 전력 소모
Fig. 6. Power consumption based on offset buffer size and block usage.

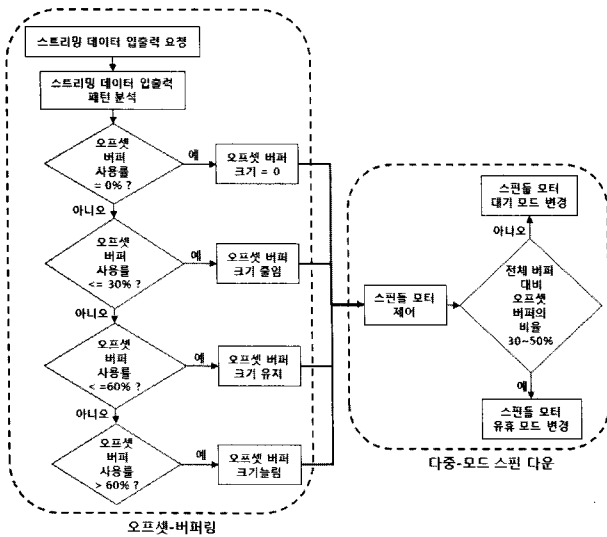


그림 7. 오프셋 버퍼 크기 변경 흐름도
Fig. 7. The flow chart of buffer size alteration.

오프셋 버퍼의 크기 변경 흐름도를 보여준다. 사용자가 스트리밍 데이터 시청을 시작하면 실시간으로 입출력 요청 패턴을 분석한다. 스트리밍 데이터 블록은 고유번호가 있으므로 분석을 통해서 사용자가 순차적인 시청을 하고 있는지, 비순차적인 시청을 하고 있는지 판단을 할 수 있다.

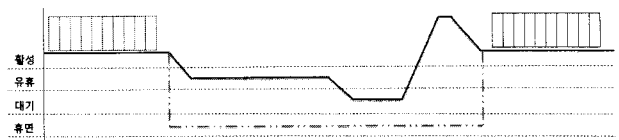
사용자가 순차적으로 시청할 때에는 오프셋 버퍼 크기를 전체 버퍼 크기의 0%로 설정한다.

사용자가 비순차적으로 시청할 때에는 오프셋 버퍼의 크기를 전체 버퍼의 20%로 우선 설정하고, 오프셋 버퍼에 선반입된 블록의 사용률에 따라 오프셋 버퍼의 크기를 최대 50%까지 늘릴 수 있다. 또, 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률이 30%이하이면 오프셋 버퍼의 크기를 10% 줄이고, 60%이상이면 오프셋 버퍼의 크기를 10% 늘린다. 30~60%일 경우에는 오프셋 버퍼의 크기를 유지하도록 하였다.

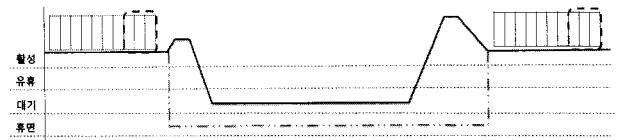
3.4 다중모드 스핀-다운

하드디스크의 전력 소모는 스핀들 모터의 모드 변경 횟수와 각 모드에 머물러 있는 시간에 영향을 많이 받는다.

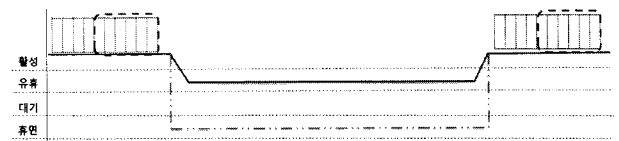
기존의 스핀-다운 기법은 입출력 실행이 끝나면 스핀들 모터를 활성 → 유휴 → 대기모드 순으로 변경하는데 이때 활성에서 유휴모드로 변경, 유휴모드에 머물러 있을 시간, 유휴에서 대기모드로 변경 시 전력 소모가 발생한다. 또한 잦은 스핀-다운은 다시 잦은 스핀-업을 자주 유발하기 때문에 전력 소모 오버헤드가 발생



(a) 풀-버퍼링 기법에 의한 전력 소모 형태
(a) Power consumption formation of full-buffering method



(b) 다중모드 스핀-다운 기법의 대기모드 시 전력 소모 형태
(b) Power consumption formation of multi-mode spin-down method during idle mode



(c) 다중모드 스핀-다운 기법의 유휴모드 시 전력 소모 형태
(b) Power consumption formation of multi-mode spin-down method during standby mode

그림 8. 스핀들 모터 전력 소모 형태
Fig. 8. Power consumption formation of spindle motor.

한다.

본 논문에서 제안하는 다중모드 스핀-다운 기법은 사용자의 시청 패턴과 오프셋 버퍼의 크기에 따라 진입하는 모드를 변경한다.

순차적인 시청을 할 경우, 오프셋 버퍼의 크기가 전체 버퍼 크기에 20~30%를 사용하는 경우 : 스핀들 모터는 활성 → 대기모드로 진입한다. 이 경우 다시 버퍼링을 시도할 확률이 거의 없기 때문에 가장 전력 소모가 적은 대기모드로 바로 진입시켜 대기모드에 머물러 있는 시간을 길게 유지하므로 전력 소모에 이득을 볼 수 있다.

오프셋 버퍼의 크기가 전체 버퍼 크기에 30~50%를 사용하는 경우 : 스핀들 모터는 활성 → 유휴모드로 진입한다. 이 경우 다시 버퍼링을 시도할 확률이 높기 때문에 스핀들 모터를 유휴모드로 진입 하여 다음 버퍼링 요청을 기다리면, 스핀들 모터의 회전대기시간 때문에 발생하는 언더-런 현상과 전력 소모 오버헤드를 방지할 수 있다.

그림 8은 기법에 따른 전력 소모 형태를 보여준다.

빨간색 점선 부분의 면적이 전력 소모량을 나타낸다. 그림 8(a)는 일반적인 스핀-다운을 사용하는 폴-버퍼링 기법을 사용할 때 전력 소모 형태를 보여준다. 유틸모드에 머물러 있는 시간과 스핀-업 과정에서 발생하는 전력 소모 오버헤드 때문에 전력 소모가 많음을 알 수 있다. 그림 8(b), (c)는 다중모드 스핀-다운 기법을 사용하였을 때 전력 소모 형태를 보여준다. 이 두 경우 8(a)의 전력 소모량보다 적음을 볼 수 있다.

3.5 하드디스크 스핀들 모터의 스핀-다운 시간 결정

하드디스크가 활성모드일 경우 명령어 대기 시간이 이미 정해져 있기 때문에 대기 시간으로 인한 전력 소모가 증가한다. 이러한 문제를 해결하기 위해 선행 연구된 Adaptive Spin-Down 기법은 일반적인 컴퓨터에서 사용자의 하드디스크 접근 패턴에 따라 활성모드에서 명령어 대기시간을 변경하여 전력 소모를 줄인다^[11]. 하지만 스트리밍 데이터 재생 시 그림 3(a)와 같이 일정한 순환주기로 이루어지기 때문에 스핀-다운이 일어나지 않는다. 따라서 Adaptive Spin-Down 기법은 일반적인 재생과 동일한 전력 소모 형태를 가진다.

본 논문에서는 제안하는 기법에 적합한 활성모드 대기시간을 실험을 통해서 찾아 적용하였다.

그림 9는 Adaptive Spin-Down 기법과 하드디스크 활성모드 대기시간을 0, 5, 10, 15초로 시간을 적용한 4개의 기법을 비교 하였다. 스트리밍 데이터 재생 패턴은 일반적인 컴퓨터 패턴과 달리 순환 주기에 기반하기 때문에 5초 일 때 가장 전력 소모가 적다. 0초일 경우 스핀들 모터의 모드 변경이 자주 일어나기 때문에 전력 소모가 많고 10, 15초는 버퍼의 블록 소모 시간 보다 길어 스핀-다운을 하지 않는다. 따라서 활성모드 대

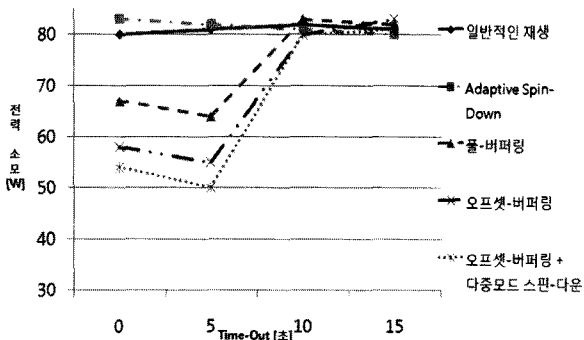


그림 9. 스핀-다운 시간별 전력 소모량
Fig. 9. Power consumption based on spin-down time out.

기시간을 5초로 할 때 전력 소모가 가장 적음을 알 수 있다.

IV. 오프셋-버퍼링 및 다중모드 스핀-다운 기법 구현 및 설계

4.1 오프셋-버퍼링 입출력 구조

본 장에서는 오프셋-버퍼링 기법의 입출력 구조에 대해 설명한다. 그림 10의 회색 모듈 부분은 본 논문에서 제안하는 구성 요소이며, 흰색 모듈은 리눅스 커널의 구성 요소이다.

본 논문에서 구현한 모듈은 크게 3가지로 나누어진다.

버퍼 관리자는 리눅스 커널의 파일 시스템과 입출력 스케줄러 중간 위치에 모듈로 구성되어 있다. 이 모듈은 스트리밍 데이터 입출력의 모든 정보를 수집하고 하드디스크 스핀-다운 시 스핀들 모터가 진입할 모드를 결정한다.

입출력 관리는 오프셋 버퍼의 크기 및 선반입할 스트리밍 데이터 블록을 알려주는 입출력 요청 분석기, 오프셋 버퍼에 선반입된 스트리밍 데이터 블록의 사용률을 판단하는 오프셋 버퍼 사용률 분석기, 오프셋 버퍼 사용률에 따라 오프셋 버퍼의 오프셋 크기를 조정하는 오프셋 버퍼 크기 관리자로 구성된다.

스핀들 모터 제어는 스핀들 모터를 제어하는 하드디스크 스핀들 모터 관리자, 스핀들 모터 동작에 따른 전력 소모량을 알 수 있는 전력 측정 관리자로 구성된다.

오프셋-버퍼링 기법의 입출력 시스템 모듈은 아래에

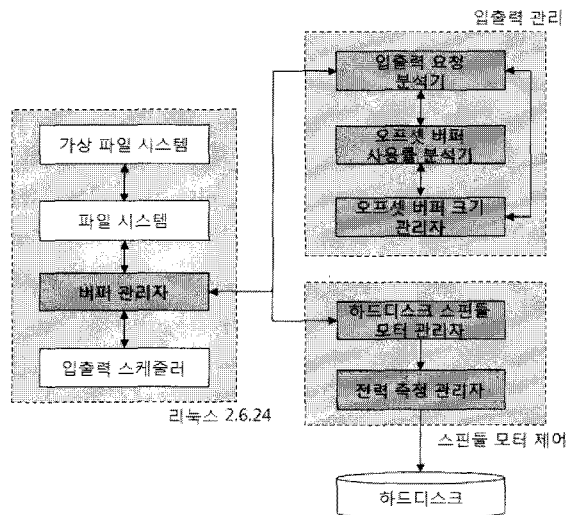


그림 10. 오프셋-버퍼링 시스템 구조도
Fig. 10. The structure of offset-buffering system.

같이 설명 한다.

4.1.1 입출력 분석에 따른 버퍼 크기 관리자

그림 10의 입출력 관리는 입출력 요청 분석기, 오프셋 버퍼 사용률 분석기, 오프셋 버퍼 크기 관리자로 구성되어 있다.

리눅스 커널의 입출력 스케줄러에서 스트리밍 데이터 입출력 요청을 버퍼 관리자가 받고, 다시 입출력 요청 분석기에 전해 준다. 입출력 요청 분석기는 스트리밍 데이터의 입출력을 관리한다. 오프셋 버퍼 사용률 분석기를 통해 사용자의 시청 패턴 정보와, 버퍼 크기 관리자에서 결정해준 오프셋 버퍼 크기의 정보를 실시간으로 수집하고, 다음 버퍼링할 때 선반입할 블록을 결정하고 다시 버퍼 관리자에게 알려준다.

오프셋 버퍼 사용률 분석기는 오프셋 버퍼 크기를 결정해 주기 위해 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률을 판단한다. 사용률 정보를 버퍼 크기 관리자에게 전송하고, 버퍼 크기 관리자는 오프셋 버퍼 크기를 결정하게 된다.

4.1.2 하드디스크 스핀들 모터 관리자

그림 10의 하드디스크 스핀들 모터 관리자는 버퍼 관리자에 의해 동작되는 모듈이다. 버퍼 관리자가 입출력 요청 분석기를 통해 오프셋 버퍼 크기를 확인 하고, 확인된 오프셋 버퍼 크기에 따라 하드디스크 스핀들 모터의 모드를 결정하게 된다. 하드디스크 스핀들 모터 관리자는 리눅스에서 제공하는 hdpram을 통해서 제어 한다.

4.1.3 하드디스크 전력 측정 관리자

그림 11은 하드디스크의 전력 소모량을 측정 할 수 있는 모듈을 보여준다. 하드디스크가 사용한 총 전력 소모량은 스핀들 모터의 모드별 유지 시간, 모드 변경 횟수를 이용해서 측정할 수 있다^[4].

$$E_{disk} = \sum_j P_j \cdot T_j + \sum_k \sum_l N_{kl} \cdot E_{kl} \quad (2)$$

식 2에서 j는 하드디스크의 스핀들 모터의 활성, 유힬, 휴면모드를 나타내고 P_j 는 각각의 하드디스크 스핀들 모터 모드에 대한 서로 다른 전력 소모량을 나타낸다. T_j 는 각각의 모드에 대한 유지 시간을 나타낸다. E_{kl} 는 모드가 k에서 l모드로 변할 때 전력 소모를 나타

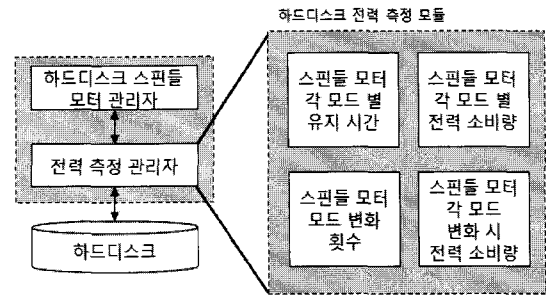


그림 11. 하드디스크 전력 측정 모듈 구조
Fig. 11. The structure of hard disk power measurement module.

내며 N_{kl} 는 k에서 l모드로 변경 횟수를 나타낸다.

V. 실험

본 논문에서 제안한 오프셋-버퍼링 및 다중 모드 스핀-다운 기법과 Adaptive Spin-Down 기법, 풀-버퍼링, 그리고 일반 재생 방법을 비교 및 평가하였다. 리눅스 커널 2.6.24 환경에서 MPlayer 멀티미디어 재생기를 기반으로 C언어를 사용하여 시스템을 구현하였다. 실험에 사용한 하드디스크의 응답 속도, 전력 소모에 관한 특성은 표 2와 같다^[12].

표 2. 실험에 사용된 하드디스크 특성
Table 2. Characteristics of hard disk used in the experiment.

변수	모델	Seagate ST3160815A
플래터 크기(인치)		3.5
용량 (GB)		160
분당 디스크 회전 수 (RPM)		7200
평균 탐색 시간(ms)		12
평균 대기 시간(ms)		4.16
전력 소비 (W)	활성상태	2.20
	유힬상태	1.30
	대기상태	0.60
	휴면상태	0.20
	탐색상태	2.10

5.1 버퍼 크기 대비 전력 소모량

그림 12는 2108.7MB, 25프레임/초를 가지는 스트리밍 데이터를 재생할 때 서로 다른 버퍼 크기 대비 전력

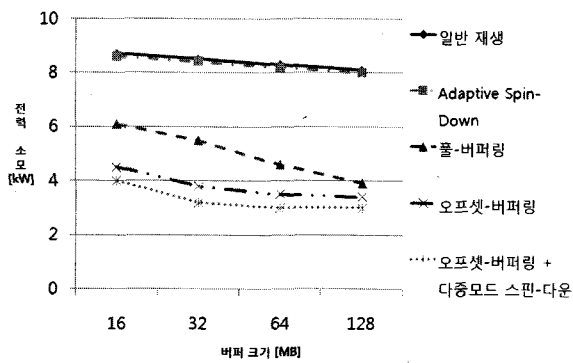


그림 12. 버퍼크기 대비 전력 소모량
Fig. 12. Power consumption based on buffer size.

소모량을 나타낸다. 버퍼의 크기가 크면, 많은 양의 스트리밍 데이터 블록을 선반입할 수 있으므로 전력 소모가 줄어든다는 것을 알 수 있다. 즉 버퍼의 크기와 전력 소모량은 반비례한다. 하지만 일반적인 재생과 Adaptive Spin-Down 기법은 버퍼 크기에 영향을 받지 않는다. 하드디스크 스핀들 모터가 재생이 끝날 때까지 활성모드를 유지하기 때문이다.

오프셋-버퍼링 + 다중모드 스핀-다운 기법은 버퍼 크기가 16M 일 때 풀-버퍼링 대비 33.3%, 128M 일 때 26.2% 전력 소모량을 감소시켰다. 버퍼 크기가 16M일 때 128M 보다 전력 소모 감소 효과가 좋은 이유는 풀-버퍼링 시 버퍼의 크기가 크면 연속적인 건너뛰기 기능 사용 시 사용될 블록을 포함해 선반입할 확률이 높기 때문이다.

5.2 스트리밍 데이터 길이 대비 전력 소모량

그림 13은 버퍼의 크기가 64MB이고, 3202.8MB, 27프레임/초를 가지는 스트리밍 데이터를 재생 시간 대비

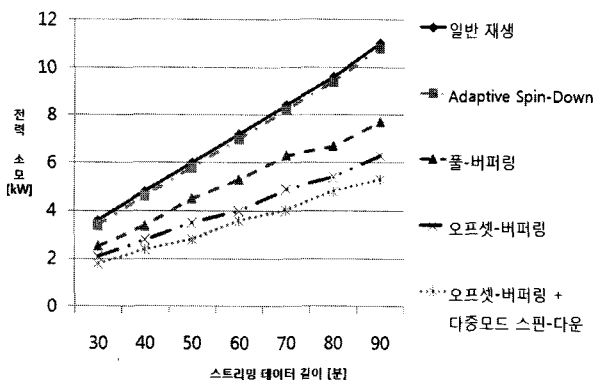


그림 13. 스트리밍 데이터 길이 대비 전력 소모량
Fig. 13. Power consumption based on streaming data length.

전력 소모량을 보여준다. 오프셋-버퍼링과 풀-버퍼링은 버퍼가 가득 채워지면 스핀들 모터는 스핀-다운한다. 그러나 일반 재생 기법, Adaptive Spin-Down 기법은 하드디스크 스핀들 모터가 계속 활성모드를 유지한다. 따라서 일반 재생 기법과 Adaptive Spin-Down 기법은 스핀들 모터 활성모드 시 소모되는 전력 소모량을 점점 수렴한다.

스트리밍 데이터의 길이가 길수록 오프셋-버퍼링이 풀-버퍼링보다 전력 소모 효율성이 좋음을 볼 수 있다. 스트리밍 데이터의 재생 시간이 길수록 사용자가 건너뛰기 기능을 연속적으로 사용할 확률이 높기 때문이다.

5.3 하드디스크 스핀들 모터 스핀-업 횟수

하드디스크 스핀들 모터 스핀-업 횟수는 전력 소모를 결정하는 요소이다. 때문에 버퍼의 크기가 64MB이고, 4028.7MB, 26프레임/초를 가지는 스트리밍 데이터 재생 시 스핀-업 횟수에 대한 실험을 진행 하였다.

그림 14에서 세 가지 방법에 대해 건너뛰기 기능 사용회수 대비 스핀-업 횟수를 나타낸다. 일반 재생 기법, Adaptive Spin-Down 기법은 스트리밍 데이터 재생이 시작될 때 1회 스핀-업을 하고 계속 활성모드를 유지한다. 오프셋-버퍼링 + 다중모드 스핀-다운 기법은 풀-버퍼링보다 스핀-업 횟수가 평균 12.5% 적음을 보여준다.

풀-버퍼링 기법은 순차적으로 선반입을 하므로 연속적인 건너뛰기 기능사용 시 다시 스핀들 모터를 스핀-업을 해야 하기 때문에 스핀-업 횟수가 증가한다. 반면 오프셋-버퍼링은 건너뛰기 기능을 연속적으로 사용 시 필요한 스트리밍 데이터 블록을 오프셋 버퍼에 저장하기 때문에 스핀-업 횟수가 적다.

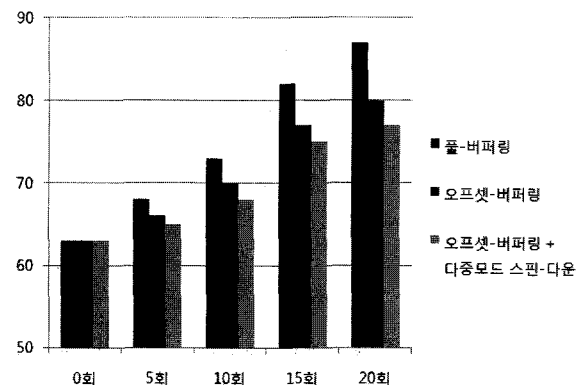


그림 14. 건너뛰기 기능사용 횟수 대비 스핀-업 횟수
Fig. 14. Spin-up frequency based on frequency of fast forward (FF) function usage.

5.4 각 기법 별 전력 소모량

IPTV에서 제공하는 Full HD급의 스트리밍 데이터 4개를 사용해 전력 소모를 측정하였다. 표 3은 실험에 사용한 스트리밍 데이터의 특성을 보여준다.

실험은 사용자가 스트리밍 데이터 1~4 전체를 시청하고, 건너뛰기 기능을 임의의 횟수만큼 사용하도록 하였다. 그림 15는 5개의 기법으로 스트리밍 데이터 재생했을 때의 전력 소모량 결과를 보여준다. 오프셋-버퍼링, 오프셋-버퍼링 + 다중모드 스핀-다운 기법은 풀-버퍼링, Adaptive Spin-Down 기법, 일반 재생 기법보다 전력 소모가 효율적임을 알 수 있다.

표 3. 스트리밍 데이터 특성
Table 3. Characteristics of streaming data.

이름	프레임 속도	재생시간
스트리밍 데이터 1	29 프레임/초	78.4 (분)
스트리밍 데이터 2	25 프레임/초	43.3 (분)
스트리밍 데이터 3	27 프레임/초	60.5 (분)
스트리밍 데이터 4	23 프레임/초	38.8 (분)

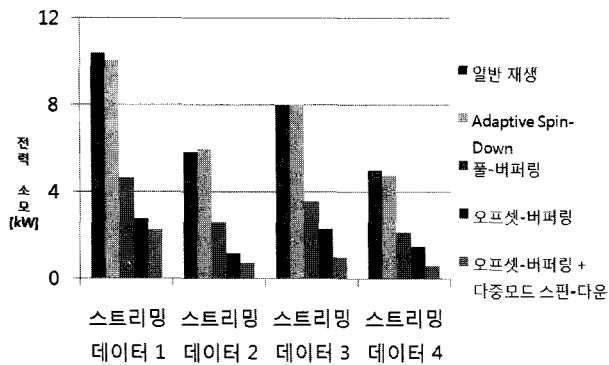


그림 15. 각 기법별 전력 소모량
Fig. 15. Comparison of power consumption.

VI. 결 론

본 논문에서는 IPTV 셋톱박스 환경에서 저장장치인 하드디스크의 전력 감소를 위해 사용자의 시청 패턴 분석과 오프셋-버퍼링 기반의 서브시스템을 설계 및 구현하고 일반적인 재생, 풀-버퍼링, Adaptive Spin-Down과 제안한 오프셋-버퍼링, 다중모드 스핀-다운의 전력 소모량을 평가하였다. 본 논문에서 제안한 오프셋-버퍼링, 다중모드 스핀-다운은 사용자의 시청 패턴을 분석해 예측되는 스트리밍 데이터 블록을 오프셋 버퍼에 선반입 하고, 오프셋 버퍼에 선반입된 블록 사용률에 따라

오프셋 버퍼 크기, 하드디스크 스핀-다운 시 진입할 모드를 결정한다. 실험 결과 오프셋-버퍼링 + 다중모드 스핀-다운 기법은 Adaptive Spin-Down 기법 대비 43.2%, 풀-버퍼링 기법 대비 28.3%의 전력 소모를 감소시켰으며, 스핀-업 횟수는 풀-버퍼링 기법 보다 12.5% 줄었다. 오프셋-버퍼링 기법을 통해 IPTV 셋톱박스의 하드디스크 전력 소모량을 효율적으로 감소시킬 수 있음을 알 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] W. Goralski, ADSL and DSL Technologies, McGraw-Hill, 1998.
- [2] Y. Hu, A. Nanda, and Q. Yang, "Measurement, analysis, and performance improvement of the Apache Web server," Technical Report 1097-0001, Department of Electrical and Computer Engineering, University of Rhode Island, 1997.
- [3] 최진수, 정세운, 차지훈, 문경애, 이태진, 강경욱, 이용일, "모바일 리치미디어 서비스 기술 특허 동향 분석," [ETRI]전자통신동향분석, 2008.
- [4] 고영욱, 이근형, 박광희, 김덕환, "모바일 컴퓨팅 시스템에서 하드디스크의 전력 소모 측정 시뮬레이터 설계 및 구현," 한국정보과학회, 추계종합 학술대회, 2008년 10월.
- [5] 양준식, 고영욱, 이찬근, 김덕환, "저전력과 입출력 성능이 향상된 n-블록 선반입 기반의 하이브리드 하드디스크 입출력 시스템 설계 및 구현," 정보과학회논문지, 시스템 및 이론, 36권 6호 pp.451-461, 2009년 12월.
- [6] P. Kiejn, M. Hiroki, U. Toshihiro, O. Haruo, and K. Sungsoo, "Performance Estimation of an HDD for Multimedia Service Using an HDD Simulator," IEICE TRANS ELECTRON, Vol. E85-C, No.6 June 2002.
- [7] Y. Won, J. Kim, and W. Jung. "Energy-aware disk scheduling for soft real-time I/O requests," Multimedia System Journal, 13(5):409-428, Feb. 2008.
- [8] 최정완, 원유집, 정원민, "저전력 환경에서 멀티미디어 자료 재생을 위한 디스크 스케줄링 기법," 정보과학회논문지, 시스템 및 이론, 2006.
- [9] 박광희, 이근형, 김덕환, "하이브리드 하드디스크를 위한 효율적인 데이터 블록 교체 및 재배치 기법," 한국정보과학회, 컴퓨팅의 실제 및 레터, 2010.
- [10] L. Singleton, R. Nathuji, and K. Schwan, "Flash on Disk for Low-Power Multimedia Computing," Multimedia computing and networking 2007.

[11] D. P. Helmbold, D. D.E.Long, T. L. Sconyers, and B. Sherrod, "Adaptive disk spin-down for mobile computers," *Mobile Networks and Applications*, vol. 5, no. 4, pp. 285 - 297, 2000.

[12] Seagate, "ST3160815A Hard Disk," <http://seagate.custkb.com/seagate/crm/selfservice/>

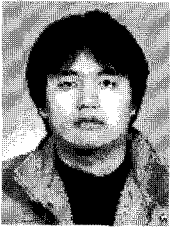
— 저 자 소 개 —



고 영 욱(학생회원)
 2008년 강원대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2008년~현재 인하대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 임베디드시스템,
 스토리지 시스템>



김 덕 환(정회원)-교신저자
 2003년 한국과학기술원 컴퓨터
 공학 박사.
 2006년~현재 인하대학교
 전자공학부 부교수
 <주관심분야 : 추천 시스템, 스토
 리지 시스템, 임베디드 시스템>



양 준 식(학생회원)
 2008년 인하대학교 전자공학과
 학사 졸업.
 2008년~현재 인하대학교
 전자공학과 석사과정
 <주관심분야 : 임베디드시스템,
 스토리지 시스템>