동적전압프로세서를 이용한 MPEG 시뮬레이션

신진아[0] 전성익
한국전자통신연구원
{jashin[0], sijun}@etri.re.kr

The Simulation of Dynamic Voltage Processor with MPEG decoding

Jin-Ah Shin[0] Sung-ik Jun
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

개인이동기기의 사용이 증가함에 따라, 보다 효율적이고 편리한 이동시스템을 위한 많은 연구가 진행되고 있다. 특히 에너지 소모의 절감에 대한 연구는 이동기기의 기동성을 위해 중요한 문제이다. 동적전압조정은 이동기기의 에너지 소모를 가장 많이 차지하는 요소 중 하나인 프로세서의 전력을 효율적으로 관리하고 감소시킬 수 있는 방법이다. 본 논문에서는 MPEG 프레임별 복호시간의 차이를 이용한 동적전압조정 알고리듬을 통해 프로세서가 MPEG디코더를 실행할 때 전력소모를 최소화하는 과정을 프로세서 시뮬레이터를 통해 확인한다. 논문에서 제안한 동적전압조정 알고리듬은 원래의 프로세서 에너지 소모와 비교하여 약 70%~85%의 감소효과를 볼 수 있었다.

1. 서 론

이동기기의 전력소모는 보다 긴 배터리사용시간을 요구하는 기기의 특성에 따라 이의 중요성이 더욱 부각되고 있다. 배터리수명의 증가를 위한 방법으로 하나는 이러한 휴대 시스템의 구성요소를 저전압으로 유지하는 것이다.

프로세서는 휴대 시스템의 전력을 가장 많이 소모하는 요소 중 하나이다. 게다가 프로세서는 급속한 성능향상에 따라 에너지 소모 또한 증가하였다. 대표적인 예로, 동일한 조건의 Intel의 386프로세서가 2Watts의 에너지를 소모하는 반면에 Pentium 4프로세서는 55Watts의 에너지를 소모하는 점을 보면 확인할 수 있다[1]. 프로세서의 높은 에너지 소모를 줄이기 위해 다음과 같은 몇 가지 방법이 제안되었다[2]: 먼저 shut-down 방법은 프로세서가 주어진 작업을 진행할 때는 *running mode*로, 작업이 없어 유휴상태일 경우 sleep mode를 취하여 에너지 소모를 줄일 수 있다. 그러나 이러한 방법은 모드 전환 시 많은 오버헤드가 발생하여 효율적이지 못하다. 프로세서의 진동수조정방법은 작업의 부하량에 따라 다양하게 진동수를 조정할 수 있지만, 이에따른 실역완료시간의 지연으로 전체 에너지소모의 감소효과를 기대하기는 어렵다. 동적전압기법은 진동수조정기법을 응용하여 진동수와 함께 공급전압을 낮추어 에너지 소모를 줄일 수 있다. 동적전압기법에 대해 보다 자세한 설명은 다음 장에서 한다.

동적전압기법이 프로세서에 적용될 때, 전압을 낮추어 진동수를 줄이면 실행완료시간이 지연되므로, 실시간 작업을 마감시간 내에 완료하기 위해선 정확한 전압 수준을 예측해야한다. 본 논문에서 제안한 알고리듬은 MPEG프레임을 해독하기 전 해당 프레임의 헤더의 정보를 이용하여 보다 정확한 해독시간을 예측하고 이에 타당한 전압을 구하여 전력소모 감소를 얻을 수 있다. 프로세서의 동적 전압을 적용하고, MPEG 디코더를 이 프로세서에 실행시키기 위해 SimpleScalar 프로세서 시뮬레이터[3]와 이의 전력측정 프로그램인 Wattch[4]를 사용하였다.

다음장은 동적전압기법에 관한 관련연구와 적용사례에 대해 설명하고, 3장에선 MPEG의 기본적인 특징과 본 논문에서 제안하는 알고리듬에 대해 기술한다. 4장은 실험을 위한 실행환경과 방법을, 5장은 이에대한 결과와 결론을 보여준다.

2. 동적전압조정(DVS)의 관련 연구 및 적용사례

동적전압조정(Dynamic Voltage Scaling)에 대한 대표적인 연구로 Weiser가 제안한 세가지 알고리듬: OPT, FUTURE, PAST가 있다[5]. 먼저 OPT는 주어진 모든 작업의 실행시간을 추적하여 가장 적합한 전압을 작업에 따라 결정하는 방법이다. 가장 에너지 소모를 줄일 수 있는 방법이지만 실제 정확한 작업의 실행시간을 미리 예측하기란 불가능하고, 각각의 작업시간만큼 전압을 불규칙적으로 조정하기란 어려우므로 현실에 적용하긴 어렵다. FUTURE알고리듬은 작업시간을 작은 시간단위로 나누어 각각의 시간단위에 적합한 전압을 할당하는 방법이다. 이는 OPT알고리듬보다 실용성은 있으나 미래의 시간을 예측해야하므로 현실성이 없다. PAST는 FUTURE알고리듬과 마찬가지로 시간단위로 전압을 조정하되, 과거의 전압은 앞으로의 전압과 유사하다는 가정하고 다음 시간단위에서의 전압을 유추하는 알고리듬이다. PAST알고리듬은 다른 알고리듬에 비해 전력소모의 효율성은 떨어지나 현실성과 실용성을 갖춘다. [6]에서 제안한 DVS-DM과 DVS-PD알고리듬은 각각 PAST알고리듬과 FUTURE알고리듬을 응용하여 MPEG디코더를 실행시 소모되는 전력을 절약한다.

CMOS디자인 측면에서 보았을 때, 프로세서의 에너지는 다음의 식을 따라 구해진다[2].

$$E = V_{DD}^2 C_{eff} fT \qquad (1)$$

이때 V_{DD}는 프로세서의 공급전압이고, C_{eff}는 평균 캐패시턴스, f는 프로세서의 진동수, 그리고 T는 작업수행시간이다. 위의 식

에서 프로세서의 에너지를 결정하는 가장 큰 요소가 공급전압임을 쉽게 알 수 있다. 진동수 역시 에너지 결정의 요소이나 전압 V_{DD}에 비해 그 영향이 적다.

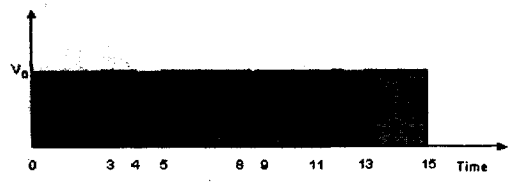

그림 1. 에너지 절약기법이 적용되지 않은 프로세서의 작업

위의 그림에서 보면 네 개의 작업(T1, T2, T3, T4)은 15안에 모두 끝내야한다. 각각의 작업은 고정전압에서 완료되야 하고, 에너지는 $V_0^2 \times 15$에 비례하게 된다. 이를 에너지 절약을 위해 shut-down을 적용한다면 전체 소모에너지는 각각의 작업이 실행하는 동안 발생하는 에너지와과 전압을 바꾸는 과정 중 발생하는 전환부하에너지의 합이다. 작업이 실행하는 동안 발생하는 에너지는 $V_0^2 \times (3+1+1+2)$와 비례하게 될 것이다. 그림2는 동적전압기법을 위의 그림에 적용한 것이다. 그림2의 총 에너지 소모는 $V_1^2 \times 4 + V_2^2 \times (3+4) + V_3^2 \times 3.5$ 와 비례한다. [2]에서도 역시 에너지 효율은 shut-down방법보다 DVS가 효율적임을 보여준다.

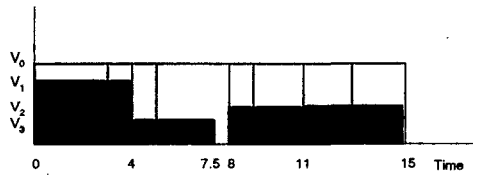

그림2. 동적전압기법이 적용된 프로세서의 작업

저전압의 프로세서는 작업시간 지연을 수반하게 되는데, 작업시간이 에너지소모를 결정하는 요인 중 하나이므로 전체 에너지 절약을 위해선 반드시 작업시간을 고려해야 한다. 동적전압기법에선 작업 중의 유휴시간을 이용한 프로세서 스케줄링으로 이러한 문제를 해결한다.

Mobile Intel 프로세서는 다른 전압에서 11~12단계의 진동수를 갖는다[7]. 이 프로세서는 저전력 이동기기를 위한 기법을 적용한 것으로 두개의 성능모드를 두고 작업의 부하량에 따라 실시간 모드 전환을 가능하게하여 전력소모를 줄인다. Transmeta사의 Crusoe프로세서는 표1에서 보는바와 같이 다양한 전압과 이에 따르는 진동수를 갖고 있다[8]. 이는 시스템성능의 요구에 따라 전압과 진동수를 연속적으로 전환하는 전력관리기법으로 저전력을 실현한다.

표1. 크루소 프로세서의 진동수와 전압[8]

667 MHz	1.6 V	5.3 W
600 MHz	1.5 V	4.2 W
533 MHz	1.35 V	3.0 W
400 MHz	1.225 V	1.9 W
300 MHz	1.2 V	1.3 W

3. MPEG의 특징과 동적전압기법의 적용

이 장에는 본 논문에서 동적전압기법을 적용하기 위한 응용프로그램인 MPEG의 특징과 이에 적용된 두 가지 알고리듬을 설명한다. 먼저 MPEG프레임의 특징에 따른 동적전압조정을 제시하고 다음은 MPEG프레임의 해독시간을 예측한 동적전압조정을 보여준다.

3.1 MPEG프레임의 특징

MPEG은 동영상의 표준으로 세 가지의 기본적인 프레임타입을 갖는다[9]. I프레임은 intra-coded 영상으로 다른 프레임과는 독립적으로 자체적으로 하나의 영상을 갖는다. P프레임은 predictive-coded 영상으로 과거의 I프레임이나 또 다른 P프레임으로부터 예측한 영상이다. 마지막으로 B프레임은 bi- directionally predictive-coded 영상으로 이는 과거의 혹은 미래의 I프레임이나 P프레임으로부터 영상을 예측한다. 프레임의 크기는 평균적으로 I프레임이 가장 크고, P프레임 B프레임 순으로 작아진다. 해독시간 관점에서 보면 일반적으로 I프레임이 다른 프레임보다 더 많은 시간을 요구하지만 이는 I프레임의 크기가 상대적으로 크기 때문이고, 실제 바이트당 해독시간은 I프레임이 가장 짧고, B프레임이 가장 길다. B프레임이나 P프레임은 특히 B프레임은 해독을 위한 산술작업을 요구하므로 크기단위당 해독시간이 길다.

영상그룹(Group of Pictures혹은 GOP)이란 하나의 I프레임으로부터 다음 I프레임까지 나열되는 영상들의 집합을 말하는데, 하나의 MPEG동영상은 일정한 영상그룹패턴을 갖고 있지만 서로 다른 동영상은 각각의 영상그룹패턴을 가질 수 있다.

3.2 프레임별 동적전압기법 (DVS-PFU(Per Frame Unit))

[6]에서 제시한 DVS-DM과 DVS-PD알고리듬은 GOP단위의 전압조정방법으로 DVS-DM은 프레임 탈락률과 지연률을 기반으로 GOP단위로 전압을 조정하고, DVS-PD는 GOP의 헤더로부터 그 크기의 정보를 얻어 전압을 조정하는 알고리듬이다. 그러나 한 MPEG동영상에서 GOP는 프레임보다 변동률이 현저히 적다[9]. 그러므로 동적전압기법의 적용시 프레임별 전압을 조정하는 것이 GOP단위의 조정기법보다 효율적이다.

위에서 설명한바와 같이 MPEG프레임 중 I프레임이 가장 해독시간이 길고 B프레임은 가장 짧다. 예를 들어 다음의 그림3은 스포츠동영상을 분석한 것으로 각 프레임의 평균 해독에 필요한 프로세서 클럭횟수는 I프레임은 715552, P프레임은 533147, 그리고 B프레임은 272160번을 나타내었다. 이러한 프레임의 특징에 따라 각 프레임타입에 따른 전압과 진동수를 할당하여 에너지 절약을 기대할 수 있다. 이러한 기법은 헤더에서 프레임타입의 정보만을 추출하여 전압을 결정하게 되므로 그 과정이 간단하지만, 작은크기의 I프레임이나 상대적으로 크기가 큰 B프레임의 경우를 고려하지 못한다는 단점이 있다. 크기가 큰 B프레임은 실제 I프레임보다 크기는 작지만 해독시간을 많이 요구하게 되어 잘못된 전압예측을 야기한다.

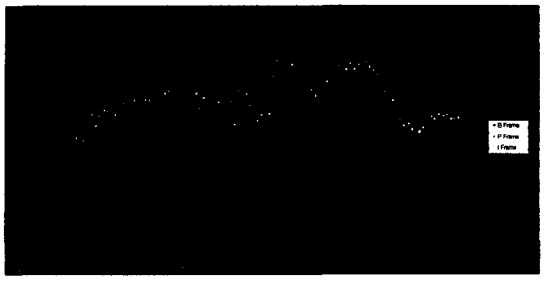

그림 3. 스포츠 MPEG동영상의 프레임별 해독 클럭 수

그림 4는 그림 3의 프레임 크기별 해독시간을 나타낸 그래프이다. 여기서 보는바와 같이 프레임의 크기는 해독에 요구되는 클럭횟수를 결정하는 가장 큰 요소이다. 하지만 같은 크기의 I프레임과 B프레임을 비교한다면 B프레임의 해독시간은 I프레임 그것보다 훨씬 긴 것을 알 수 있다. 바이트 단위당 해독시간의 차이를 이용, 프레임 타입별로 분류를 하여 세가지의 선형회귀모형을 유추한다면 보다 정확한 해독시간을 얻을 수 있을 것이다. 그림 4에서 나타난 프레임크기와 타입별에 따른 프로세서 클럭횟수의 선형회귀모형은 표 2와 같다.

그림 4. 그림3 동영상의 프레임 크기대비 해독 클럭 수

표 2. 그림 4의 선형회귀모형과 패턴상관계수

I frame	16x + 649365	0.96
B frame	25x + 404994	0.89
P frame	35x + 380179	0.93

4. 결과 및 결론

실험에는 네가지의 MPEG해독기를 적용한다. 처음의 해독기는 어떤 변경도 하지 않은 원래의 해독기이고, 두 번째는 [6]에서 제안한 DVS-PD방법을, 세 번째는 프레임 타입별 전압조정방법을, 마지막 해독기는 프레임의 크기로부터 선형회귀모형을 유추한 방법을 적용한다. 각 전력측정은 Wattch의 결과물로부터 얻고, 본 실험에선 SimpleScalar 프로세서가 다단계 전압을 지원하기위해 프로세서 시뮬레이터를 수정하였다.

실험결과는 선형회귀모형을 이용한 프레임별 동적전압기법을 적용한 MPEG해독기가 가장 적은 에너지를 소모하였으며 프로세서 타입별로 전압을 조정한 알고리듬, DVS-PD알고리듬 순으로 에너지 소모량이 많았다. 그림 5는 원형의 MPEG해독기가 100%의 전력소모를 한다는 기준으로 나머지 세종류의 해독기가 소모한 전력을 나타낸다.

DVS-PD는 최대 50%의 에너지 절약을 할 수 있었으나 프레임간의 변동률을 무시하여 많은 에너지 감소를 볼 수 없었다. 프레임 타입별 동적전압기법은 단순한 전압할당으로 60~70%의 에너지 절약을 기대할 수 있었고, 프레임 타입의 특징과 사이즈를 고려한 선형회귀모형을 적용한 알고리듬은 모두 약 70%이상의 에너지 절감을 나타내어 가장 효율적인 알고리듬임을 보여주었다.

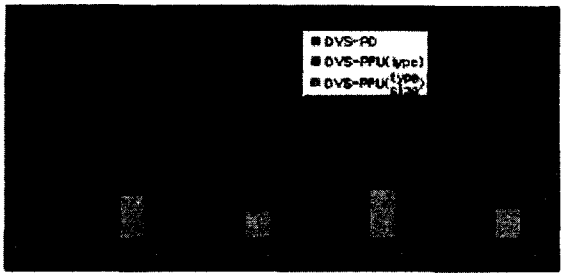

그림 5. MPEG스트림의 디코더별 전력소모의 비교

프로세서가 멀티미디어 응용프로그램을 실행할 때 실시간 스케줄링에 있어서 동적전압 기법은 프로세서의 전력관리를 가장 효과적으로 할 수 있는 방법이다. 에너지 절감은 응용프로그램의 실행시간과 이에 가장 적합한 전압선택으로 결정되는데 본 논문에선 네 가지 종류의 MPEG 해독기를 비교하여 이를 증명한다. 프로세서의 클럭횟수를 예측하여 전압을 결정하는 선형회귀모형은 그 패턴상관계수가 0.9의 정확도를 갖고, 약 70%~85%의 에너지를 절약하여 다른 MPEG해독기 중 좋은 성능과 효율을 보였다.

MPEG의 경우 그 헤더에서 정보를 추출할 수 있고, I프레임에서보다는 P혹은 B프레임에서 에너지 절감을 기대할 수 있다는 전제가 있다. 보다 폭넓은 전력조정기법을 위해서는 MPEG 이외의 다른 멀티미디어 응용프로그램에 적용할 수 있는 방법을 앞으로 고려해야 할 것이다.

참고문헌

[1] K. Flautner, S. Reinhardt, and T. Mudge, "Automatic Performance Se tting for Dynamic Voltage Scaling," *Int l Conf. On Mobile Computing and Networking*, July 2001, pp. 260-271

[2] A. Acquaviva, L. Benini, and B. Ricco, "An Adaptive Algorithm for Low-Power Streaming Multimedia Processing," *Design Automation and Test in Europe* , March 2001, pp 273-279

[3] D. Burgerj, T. Austin , "The SimpleScalar Tool Set, Version 2.0,"*Tech. Rep. 1342* , CS Department, University of Wisconsin Madison, June 1997.

[4] D. Brooks, V. Tiwari, and M. Martonosi, "Wattch: A framework for A rchitectural-Level Power Analysis and Optimizations," *27th ann. Int l Symp. on Computer Architecture*, pp. 83-94, June 2000

[5] I. Weiser, B. Welch, A. Demers, and S. Shenker, "Scheduling for R educed CPU Energy," *SOSDI*, November 1994, pp 13-23

[6] D. Son, C. Yu, and H. Kim, " Dynamic Voltage Scaling on MPEG Decoding," *Int l Conf. on Parallel and Distributed Systems*, June 2001, pp.633-640

[7] Mobile Intel PentiumIII Processor in BGA2 and Micro-PGA 2 Packages Datasheet, Intel Corporation

[8] The Technology Behind Crusoe Processors, Transmeta Corporation

[9] O. Rose, "Statistical properties of MPEG vide o traffic and their impact on traffic modeling in ATM systems," *Technical Report 101* , University of Wuerzburg, Insitute of Computer Science, February 1995