

Microscopic Dynamic Voltage Scaling(DVS) 기반 저전력 MPEG-2 AAC 알고리즘 최적화 구현에 관한 연구

論 文
55D-12-5

Low Power Optimization of MPEG-2 AAC with Microscopic Dynamic Voltage Scaling(DVS)

李 殷 瑞* · 李 在 植** · 張 泰 奎†
(Eun-Seo Lee · Jae-Sik Lee · Tae-Gyu Chang)

Abstract - This paper proposes a new means of performance optimization for multimedia algorithm utilizing the Microscopic DVS (Dynamic Voltage Scaling). The Microscopic DVS technique controls the operating frequency and the supply voltage levels dynamically according to the processing requirement for each frame of multimedia data. The Huffman decoding algorithm of MPEG-2 AAC audio decoder is optimized to maximize the power saving efficiency of Microscopic DVS technique. The experimental results show the reduction of computational complexity by more than 30% and the reduction of power consumption by more than 17% compared with those of the conventionally fast method.

Key Words : Microscopic DVS, low power, Huffman decoding, MPEG-2 AAC

1. 서 론

고성능 CPU 및 멀티미디어 단말 등을 대상으로 높은 처리능력을 가지면서도 소비 전력을 최소화시키기 위한 관련 기술들의 연구가 다양한 분야에서 활발히 진행되고 있다. 특히 모바일 단말 보급의 확산과, 모바일 단말에서의 고품질 멀티미디어 서비스에 대한 요구 증가는 저전력 설계기술에 대한 중요성을 더욱 부각시키고 있다 [1][2].

Dynamic Voltage Scaling (DVS) 기법은 대표적인 전력 절감 기법 중 하나로서, processor의 작업량 변화를 반영하여 동적으로 공급 전압과 공급 주파수를 조절함으로써 digital signal processor의 전력 소모를 효과적으로 줄일 수 있는 방법이다 [3],[4]. DVS 기법 응용에 대한 대부분의 이전 연구들은 동작 전압 및 주파수를 적용하는 저전력 제어 기술들의 처리 및 연산량에 대해 상대적으로 긴 task 단위로 반영되는 macroscopic한 분포특성에 기반하여 이루어진다는 특징을 가지고 있다 [5].

본 논문에서는 수십 밀리초 내외의 짧은 멀티미디어 실시간 처리 단위, 즉 프레임 단위로 DVS 전력 제어를 수행하는 Microscopic DVS 기법을 제시 하였으며, 이는 멀티미디어 프레임 데이터의 처리 요구량 분포 특성을 충분히 활용하지 못했던 이전 연구와 비교해볼 때 전력 절감 효율면에서 큰 차이가 있다 하겠다. 멀티미디어 프레임 연산량 분포 특성을 기반으로 하는 Microscopic DVS 기법은 멀티미디어 전용 처리 시스템에 적용되었을 때 전력 절감 면에서

더욱 효과적이라 하겠다.

본 논문에서는 Microscopic DVS 기법의 전력 절감 효율을 극대화하기 위해 멀티미디어 데이터의 처리에 있어 많은 연산량을 필요로 하는 Huffman decoder (MPEG-2 AAC 오디오 decoder의 경우 40%이상[6])에 대한 최적 구현 구조 도출하고, 이를 실제 MPEG-2 AAC 오디오 디코더 상에 구현하여 전력 절감 효율을 분석하였다.

2. Microscopic Dynamic Voltage Scaling 기법

디지털 멀티미디어 데이터는 일정 시간 구간으로 나뉘어진 프레임 단위로 처리된다. 저전력 기법을 사용하지 않는 기존 멀티미디어 신호처리에서는 그림 1(a)에 보인 것과 같이 고정된 전압, 주파수를 사용하여 상대적으로 높은 동작 주파수와 공급 전원을 필요로 하기 때문에 많은 전력 소모가 일어나게 된다.

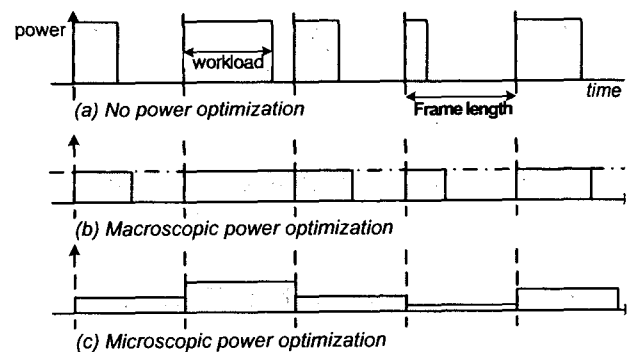


그림 1 본 연구에서 제시한 Microscopic DVS 제어 기법의 적용 예시

Fig. 1 An example of application of Microscopic DVS Power optimization techniques

* 正 會 員 : 中央大學 工科學科 博士課程

** 正 會 員 : 中央大學 工科學科 工博

† 교신저자, 正會員 : 中央大學 工科學科 教授 · 工博

E-mail : tgchang@cau.ac.kr

接受日字 : 2006年 10月 11日

最終完了 : 2006年 10月 31日

이에 그림 1(b)와 같이 파일 단위 혹은 레벨, 프로파일 등의 알고리즘 단위로 전압레벨을 조절하는 macroscopic 제어 기법을 사용하면 저전력 기법을 사용하지 않는 기존 방식에 비해 전력 레벨을 낮추어 에너지 소비를 절감할 수 있다. 하지만 이는 멀티미디어 알고리즘이 각기 다른 연산량 특성을 갖는 프레임단위로 연산을 수행하기 때문에 macroscopic 제어 기법만으로는 최대의 전력절감 효과를 얻기 어렵다.

따라서 본 연구에서는 멀티미디어 알고리즘의 프레임별 연산 특성을 고려하여 전력 절감 효과를 극대화 시킬 수 있는 microscopic DVS 제어기법을 그림 1(c)와 같이 제시하였다.

3. 허프만 디코딩 알고리즘 최적화

본 논문에서는 허프만 트리의 재구성을 통하여 데이터 처리량의 분산은 증가 시키지만, 검색 효율을 향상 시켜 데이터 평균 처리량을 획기적으로 낮출 수 있는 허프만 디코딩 최적화 기법을 제시하였다. Microscopic DVS 기법의 전력 절감 효율은 멀티미디어 데이터의 각 프레임별 처리 요구량의 분산이 클 때 더욱 좋게 나타난다 [7].

따라서, 허프만 디코더 최적화를 통해 평균 연산량을 낮추고, 동시에 증가된 분산은 Microscopic DVS 기법을 적용함으로써 전력 절감효율을 극대화 할 수 있게 된다.

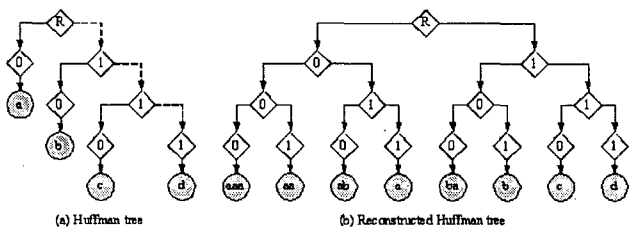


그림 2 본 연구에서 제시한 허프만 디코더의 재구성된 허프만 트리 예

Fig. 2 An example of Reconstructed Huffman tree of Compacted codeword based Huffman decoder

가장 널리 쓰이고 있는 허프만 디코딩 방식 중 하나인 이진 트리 검색 방식의 허프만 트리는 그림 2(a)의 예와 같이 한쪽방향으로 진행되는 구조를 가진다. 하지만 본 논문에서는 그림 2(b)와 같이 전 이진형태의 트리로 재구성하도록 설계하였다. 전 이진 트리는 구현 시 연속된 메모리에 할당하여 직접 어드레싱을 이용한 탐색을 가능케 한다. 이는 기존의 탐색과정에서 분기방향을 결정하는 비교문과 leaf-node 판별을 위해 이용되는 비교문을 제거함으로써 탐색효율을 향상시킬 수 있다. 또한 재구성한 이진 트리의 leaf-node 에는 다수의 심볼을 가지게 함으로써 한번의 탐색 시 찾아지는 단위 심볼의 수가 증가되어 탐색효율을 향상시킬 수 있다. 표 1과 2에서는 이진 검색 방식과 본 연구에서 제시한 방식의 허프만 트리의 1차원 배열 구조를 나타내었다.

본 논문에서는 순차 검색 방식, 최적 이진 트리 검색 방식[1], 본 논문에서 제안한 방식의 허프만 디코더를 MPEG-2 AAC Audio 디코더에 구현하고, 성능 분석을 실시하였다. 성능 시험 결과 제안된 방식의 허프만 디코더가 가장 좋은 성능을 나타내었으며, 다음 장에 이를 자세히 기술 하였다.

표 1 이진 검색 방식 허프만 트리의 1차원 배열 구조

Table 1 One-dimensional array structure of the Huffman tree of binary tree search method

index (Name of node)	Leaf_node	Left-child's address or return value	Right-child's address
0 (R)	False	1	2
1 (a)	True	A	-
2	False	3	4
3 (b)	True	B	-
4	False	5	6
5 (c)	True	C	-
6 (d)	True	D	-

표 2 본 논문에서 제안한 방식의 허프만 트리 1차원 배열 구조

Table 2 One-dimensional array structure reconstructed from the Huffman tree

index (Codeword)	Number of symbols	Sequence of Symbols	Pointer update
0 (0 0 0)	3	A,A,A	0
1 (0 0 1)	2	A,A	1
2 (0 1 0)	2	A,B	0
3 (0 1 1)	1	A	2
4 (1 0 0)	2	B,A	0
5 (1 0 1)	1	B	1
6 (1 1 0)	1	C	0
7 (1 1 1)	1	D	0

4. 실험 및 결과

첫 번째로, MPEG-2 오디오, 비디오 디코더에 대한 공급 전압 및 주파수 변화의 레벨에 따른 Microscopic DVS 기법의 전력 절감 효율을 분석하기 위해, Xscale processor를 타겟으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과 그림 3에서 볼 수 있듯이 AAC 오디오, CIF, QCIF 비디오 스트림에 대한 Microscopic DVS 기법에 의한 전력 절감 효율은 7단계의 voltage-frequency scaling의 경우 각각 30%, 20% 그리고 15% 이상으로 나타나는 것을 볼 수 있다.

다음으로는, MPEG-2 AAC 오디오 디코더를 대상으로 본 논문에서 제시한 허프만 디코딩 알고리즘과 Microscopic DVS 기법을 동시에 적용하였을 때의 전력 절감 효율을 분석하였다. 본 논문에서 제안한 방식의 허프만 디코더는 그림 4에서 볼 수 있듯이 기존의 최적화된 허프만 디코더[1] 보다 평균 연산량 측면에서는 좋은 성능을 보이지만, 동시에 분산이 커지는 현상이 나타나는 것을 볼 수 있다.

표 3에서 볼 수 있듯이 MPEG-2 AAC 오디오 디코더에 제시한 방식의 허프만 디코더 최적화 방식을 적용 하였을 때, 최근 헤시미안 방식보다도 성능이 좋다고 제시된 최적 이진트리 검색 방식의 허프만 디코딩 알고리즘 보다도 30% 이상 성능이 더 좋은 것을 확인하였으며, Microscopic DVS 기법의 적용시 전력 소모량 또한 기존의 최적화 된 허프만 디코딩 알고리즘 보다도 17% 감소했다는 연구 결과를 도출 하였다.

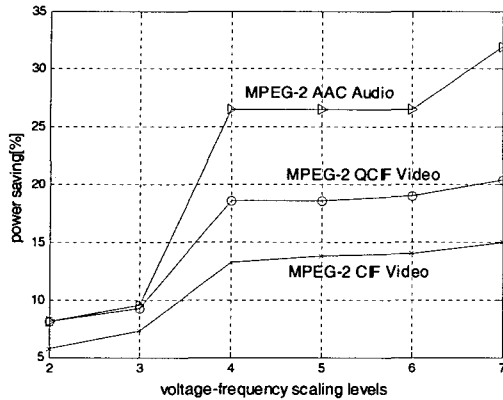


그림 3 Microscopic DVS 기법의 voltage-frequency scaling 레벨에 따른 MPEG-2 오디오, 비디오 알고리즘의 전력 절감 효율

Fig. 3 Power saving performance of MPEG-2 audio/video algorithm on the Microscopic DVS based MSP system

표 3 허프만 디코딩 알고리즘에 따른 1개의 허프만 심볼을 찾기 위한 평균 DSP 인스트럭션 수 및 전력 소모량 비교

Table 3 Mean of instructions for 1symbol search and Power consumption by Huffman decoding algorithms

	순차 검색방식	최적 이진 트리 검색방식	제안된 방식
1개의 허프만 심볼을 찾기 위한 평균 DSP 인스트럭션 수	26.9665	16.4729	11.7753
표준 편차	13.0367	2.4338	9.8239
DVS 기법 적용시 전력 소모량 (비율값)	5,548	1,750	1,454

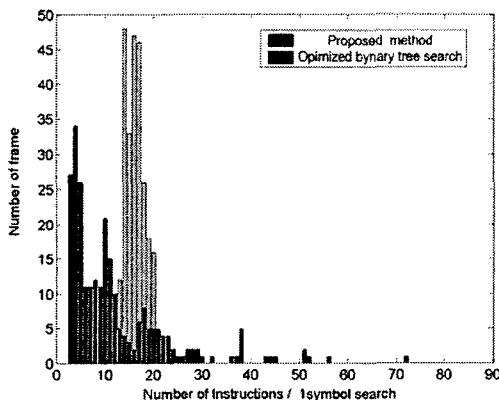


그림 4 MPEG-2 AAC decoder의 허프만 디코딩 방식에 따른 1개의 허프만 심볼을 찾기 위해 수행되는 평균 DSP 인스트럭션 수의 비교

Fig. 4 The comparison of the average number of DSP instructions for the one Huffman symbol search at the MPEG-2 AAC decoder

5. 결 론

본 논문에서 제안한 Microscopic DVS 전력 절감 기법은 멀티미디어 프레임별 계산량에 대한 통계적인 특성을 반영하여 전압-주파수 가변과 H/W-S/W Collaboration에 의해 소비전력을 절감 하여주는 새로운 기법이다. 이는 허용된 범위에서 프레임별로 계산량의 변화가 많은 분산 분포를 갖도록 멀티미디어 알고리즘 레벨까지 재설계함으로써 제시한 H/W-S/W Collaboration 기법의 전력 절감 효율을 극대화 시켜주는 방식이라 할 수 있다. 이는 종전에 단말의 저전력 동작을 위해 프로세서의 연산부담을 최소화시키는 알고리즘 최적화 기술과 ASIC 등 전용 하드웨어 설계 기술들의 단편적인 기술과는 달리 저전력 프로세서의 최적구현 구조를 제시하는 획기적인 기술로서 그 우수성이 매우 크다 하겠다. 특히 Microscopic DVS 기반의 알고리즘 최적화 연구를 통해 구현 완료한 허프만 디코딩 알고리즘은 현재 성능이 가장 우수하다고 제안된 최적 이진 검색 방식 보다 검색 효율 면에서 30% 이상, Microscopic DVS 기법 적용시 전력 소모 면에서 17%이상 좋은 성능을 나타냄을 확인 하였다. 이는 추후 멀티미디어 알고리즘 최적화 과정에 큰 파급 효과를 불러 일으킬 것으로 예상된다. 현재 DVS 기법 적용을 위한 하드웨어 구현이 진행 중에 있으며, 최적화된 알고리즘을 적용하여 실제 멀티미디어 단말 환경에서의 전력 절감 효율을 분석하고, 제안된 전력 절감 기법을 검증하는 연구가 필요하다 하겠다.

감사의 글

이 논문은 정보통신부의 지원을 받아 작성된 논문입니다.

참 고 문 헌

- [1] Jae-Sik Lee, Jong-Hoon Jeong, and Tae-Gyu Chang, "An Efficient Method of Huffman Decoding for MPEG-2 AAC and Its Performance Analysis", IEEE TRANSACTIONS ON SPEECH AND AUDIO PROCESSING, VOL. 13, NO. 6, NOVEMBER 2005.
- [2] Tse-Hua Lan, Tewfik, A.H, "A resource management strategy in wireless multimedia communications-total power saving in mobile terminals with a guaranteed QoS", IEEE Transactions on Multimedia, Vol., pp267 - 281, June 2003.
- [3] Nose, K.; Hirabayashi, M.; Kawaguchi, H.; Seong soo Lee; Sakurai, T., "VTH-Hopping Scheme to Reduce Subthreshold Leakage for Low-Power Processors," IEEE Journal of Solid-State Circuits, Vol. 37 , pp. 413-419, Mar. 2002.
- [4] Seongsoo Lee; Sakurai, T., "Run-time Voltage Hopping for Low-power Real-time Systems," Proceedings of Design Automation Conference, pp. 806-809, June 2000.
- [5] M. Weiser, B. Welch, A. Demers, and S. Shenker, "Scheduling for Reduced CPU Energy," First Symp. On Operating System Design and Implementation OSDI '94, pp. 13-23, NOV. 1994.
- [6] Watson, M.A., Buettner, P., "Design and implementation of AAC decoders", IEEE Transactions on Consumer Electronics, Volume 46, Issue 3, Aug. 2000 Page(s):819 - 824
- [7] Byung-Il Kim, Tae-Gyu Chang, "A Power reduction technique based on the microscopic Dynamic Voltage Scaling of Multimedia Signal Processors", ITC-CSCC, 2005.