

# 비부호화 블록의 개수를 이용하여 최적 공급 전압을 결정하는 저전력 동영상 복호화 기법

이 성 수<sup>†</sup>

## 요 약

본 논문에서는 멀티미디어 휴대 통신을 위한 새로운 저전력 동영상 복호화 기법을 제안한다. 일반적으로 동영상 압축에서는 양자화된 DCT 계수가 모두 0이 되기 때문에 부호화되지 않는 블록이 다수 존재한다. 만약 복호화기가 프레임을 복호화하기 시작하는 시점에서 이들 부호화되지 않는 블록의 개수를 미리 알 수 있다면 프레임 전체를 복호화하는데 필요한 실제 연산량이 얼마나 감소하는지를 정확하게 추정할 수 있다. 연산량이 감소하면 복호화기 VLSI 회로의 동작 속도를 감소시킬 수 있고, 이에 따라 VLSI 회로의 공급 전압을 감소시킴으로써 전력 소모를 줄일 수 있다. 본 논문에서 제안하는 기법에서는 부호화되지 않는 블록의 개수를 비트열의 프레임 헤더에 저장하고, 복호화기는 이 정보를 이용하여 전력 소모를 효과적으로 줄일 수 있다. 모의실험에 따르면 제안하는 기법은 기존 기법에 비해 전력 소모를 약 1/20으로 줄일 수 있었다.

## Low-Power Video Decoding with Optimal Supply Voltage Determination Based on the Number of Non-Coded Blocks

Seongsoo Lee<sup>†</sup>

## ABSTRACT

This paper proposed a novel low-power video decoding scheme for mobile multimedia communication. In general, there are quite a large number of non-coded blocks in the encoded bitstream where all quantized DCT coefficients are truncated into zero. When the number of the non-coded blocks are known at the start of frame decoding, the amount of computation reduction can be precisely estimated for frame decoding. When the computation reduces, the operation speed and the corresponding supply voltage of VLSI circuits in the decoder also reduce, thus the power consumption also reduces. In the proposed scheme, the number of the non-coded blocks is stored in the frame header of the encoded bitstream, and the decoder efficiently reduces the power consumption exploiting this information. Simulation results show that the proposed scheme reduces the power consumption to about 1/20.

**Key words:** Video Decoding(동영상 복호화), Low-Power(저전력), Mobile Multimedia Communication (멀티미디어 휴대 통신), Dynamic Voltage Scaling(동적 전압 제어)

※ 교신저자(Corresponding Author): 이성수, 주소: 서울 특별시 동작구 상도5동(156-743), 전화: 02)820-0692, FAX: 02)821-7653, E-mail: ssllee@ssu.ac.kr  
접수일: 2004년 11월 8일, 완료일: 2005년 3월 22일  
<sup>†</sup> 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수  
※ 본 연구는 한국학술진흥재단 선도연구자 지원과제(KRF-2004-041-D00513)의 지원으로 수행되었음.

## 1. 서 론

최근 들어 IT 기술의 발달에 따라 통신도 점차 음성 통신 위주에서 데이터 통신 위주로 바뀌어가고 있는 추세이며, 이중에서도 동영상, 방송, 멀티미디어 데이터 등을 휴대 단말기로 송수신하는 멀티미디어

어 휴대 통신(mobile multimedia communication)의 중요성이 날로 증가하고 있다. 이러한 멀티미디어 휴대 통신에서 단말기 하드웨어를 구현할 때 가장 중요한 관심 분야의 하나는 전력 소모이다. 멀티미디어 휴대 통신 단말기는 전력 소모가 매우 크기 때문에 한번 배터리를 충전했을 때 사용 가능한 시간이 기존의 이동 통신 단말기에 비해 매우 짧으며, 이러한 문제점이 상용화 과정에서 큰 걸림돌의 하나라 작용하기 때문이다[1]. 특히 디지털 멀티미디어 방송(digital multimedia broadcasting: DMB)과 같은 멀티미디어 방송의 경우, 동영상 전화기(mobile videophone)이나 휴대용 웹 단말기(mobile web terminal)보다 사용 시간이 길고 영상이 크기 때문에 최신 배터리 기술을 적용하더라도 배터리 연속 사용 가능 시간이 1시간을 넘기 어려운 실정이다.

대부분의 멀티미디어 방송에서 휴대 단말기가 수행하는 연산은 크게 무선 통신(wireless communication), 멀티미디어 신호 처리(multimedia signal processing) 및 사용자 인터페이스로 나눌 수 있으며, 무선 통신 기술의 발달에 따라 무선 통신의 전력 소모는 점차 감소하는 반면, 멀티미디어 신호 처리의 전력 소모는 고화질 및 고해상도 추세에 따라 점차 증가하고 있다. 그림 1(a)는 DMB 단말기에서 멀티미디어 신호 처리의 전력 소모를 나타낸 것인데, 대부분의 전력이 동영상 복호화(video decoding)에서 소모되고 있음을 알 수 있다. 그림 1(b)는 동영상 복호화의 전력 소모를 나타낸 것인데, 매크로블록 헤더의 복호화, 매크로블록 데이터의 가변길이 복호화(variable length decoding: VLD), 역양자화(inverse quantization: IQ), 역DCT(inverse discrete cosine transform: IDCT)등 매크로블록 수준 복호화(macroblock-level decoding)가 전력 소모의 거의 대부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 따라서 매크로블록 수준 복호화의 저전력화가 필수적이다.

최근 들어 동적 전압 제어(dynamic voltage scaling: DVS)[2]가 멀티미디어 신호 처리를 비롯한 많은 실시간 어플리케이션에서 VLSI 회로의 전력 소모를 줄이는데 효과적인 기법으로 주목받고 있다. 실시간 어플리케이션에서는 일반적으로 실제 수행 시간이 최악 수행 시간(worst-case execution)보다 작기 때문에, 마감 시간(deadline)을 어기지 않는 범위 내에서 시스템의 동작 주파수를 낮출 수 있다. 동작 주파수는 대체적으로 공급 전압(supply voltage)에

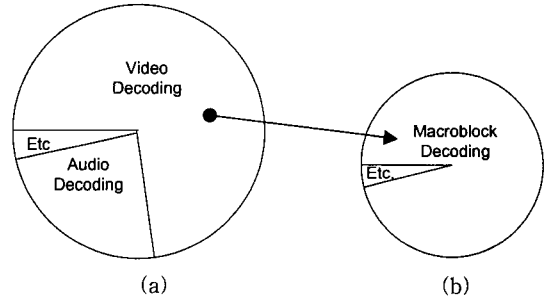


그림 1. DMB 단말기에서 멀티미디어 신호 처리의 전력 소모: (a) DMB 어플리케이션, (b) 동영상 복호화.

비례하기 때문에 공급 전압도 함께 낮출 수 있으며, 전력 소모는 공급 전압의 제곱에 비례하기 때문에 결과적으로 전력 소모를 크게 낮출 수 있다.

MPEG-4, H.264를 비롯한 대부분의 동영상 압축 기법에서는 부호화된 비트열 내에 양자화된 DCT 계수가 모두 0이 되기 때문에 부호화되지 않는 블록이 다수 존재한다. 이러한 블록은 복호화기에서 복호되지 않고 건너뛰어도 되기 때문에, 이러한 블록이 많으면 많을수록 최악 수행 시간에 비해 실제 수행 시간이 작아지며 결과적으로 전력 소모도 감소한다. 그러나 실제로는 VLSI 회로의 특성상 공급 전압을 바꾸는데 상당한 시간이 소요되기 때문에 블록 단위로 공급 전압을 바꾸기는 매우 어려우며, 부호화된 비트열에서 적절한 추가 정보를 공급해주지 않으면 동적 전압 제어를 적용하기는 거의 불가능하다.

본 논문에서는 멀티미디어 휴대 통신을 위한 저전력 동영상 복호화 기법인 Zero-Block Skipping Macroblock Decoding(ZBSMD)을 제안한다. 제안하는 기법은 부호화기에서 부호화되지 않은 블록의 개수를 세어 비트열에 실어서 전송한다. 이 정보는 동적 전압 제어를 지원하는 복호화기에서 전력 소모를 낮추는데 사용되며, 동적 전압 제어를 지원하지 않는 복호화기에서는 무시된다.

## 2. 동적 전압 제어

일반적인 VLSI 시스템에서 CMOS 회로의 전력 소모  $E$ 는  $E \propto V_{DD} \times f$  [2]으로 주어지는데, 이때  $V_{DD}$ 는 공급 전압,  $f$ 는 동작 주파수를 나타낸다. 전력 소모가 공급 전압의 제곱에 비례하기 때문에 공급 전압을 낮추는 것은 전력 소모를 줄이는 데 매우 효과적이지만, 공급 전압이 낮아짐에 따라 CMOS 회로의 지연

시간(delay)이 증가하기 때문에 무조건 공급 전압을 낮추기는 곤란하다. CMOS 회로의 지연 시간  $T_D$ 는  $T_D \propto V_{DD}/(V_{DD}-V_T)^a$  [3] ( $a \sim 1.3$ )로 주어지기 때문에 그림 2(a)에서 보듯이 공급 전압을 감소시키면 지연 시간이 증가하고, 이에 따라 동작 주파수가 감소하여 결과적으로 시스템의 처리 능력(throughput)이 떨어지게 된다. 여기서  $V_{DD}$ 는 공급 전압,  $V_T$ 는 CMOS 트랜지스터의 문턱 전압(threshold voltage),  $a$ 는 속도 포화 계수(velocity saturation index)를 나타낸다.

주어진 어플리케이션이 수행해야 할 일(work-load)의 양이 시스템의 최대 처리 능력보다 작으면 어플리케이션의 마감 시간(deadline)을 넘기지 않는 한도 내에서 시스템의 동작 주파수를 낮출 수 있다. 이때, 그림 2(b)와 같이 동작 주파수가 낮아지는 정도에 맞추어 공급 전압도 낮출 수 있으며 결과적으로 전력 소모를 크게 줄일 수 있다. 이것이 동적 전압 제어의 기본 원리이다.

그림 3은 실제 예를 들어 동적 전압 제어를 자세하게 설명한 것이다. 마감 시간이  $t=25$ , 시스템의 동작 주파수가 50 MHz, 어플리케이션이 수행해야 할 일의 양이  $5 \times 10^8$  사이클, 공급 전압이 5.0 V, 매 사이클마다 소모되는 전력이 1 nJ/cycle이라고 가정하자.

이때, 어플리케이션은 그림 3(a)와 같이  $t=10$ 에서 주어진 일을 완료하고  $t=25$ 까지 쉬게 되며, 전체 전력 소모는 0.5 J이 된다. 만약 공급 전압과 동작 주파수가 그림 3(b)와 같이  $t=0$ 에서  $t=5$ 까지가 4.0 V와 40 MHz로,  $t=5$ 에서  $t=25$ 까지가 1.5 V와 15 MHz로 낮아진다면 매 사이클당 소모되는 전력은 각각 0.64 nJ/cycle과 0.09 nJ/cycle으로 낮아지며, 전체 전력 소모는 0.155 J까지 낮아진다. 만약 공급 전압과 동작 주파수가 그림 3(c)와 같이 단일값인 2.0 V와 20 MHz로 낮아지면 최소 전력 소모인 0.08 J까지 낮아지게 된다.

동적 전압 제어를 효과적으로 수행하기 위해서는 마이크로프로세서에서 공급 전압 및 클럭 주파수를 제어하기 위한 하드웨어를 갖추고 있어야 한다. 현재 휴대 단말기에 널리 사용되는 저전력 마이크로프로세서인 인텔사의 Xscale 프로세서나 Transmeta사의 Crusoe 프로세서는 칩 내부에 공급 전압 및 클럭 주파수를 제어하는 회로를 내장하고 있으며, 이로 인해 추가되는 칩 면적 및 연산량은 칩 전체로 볼 때 거의 무시할만하다. 다만 공급 전압을 조절하기 위한 회로인 DC-DC 변환기(DC-DC converter)에서 수%정도의 전력이 추가로 소모되는데, 동적 전압 제어로 인해 감소되는 전력 소모가 50~95%임을 감안한

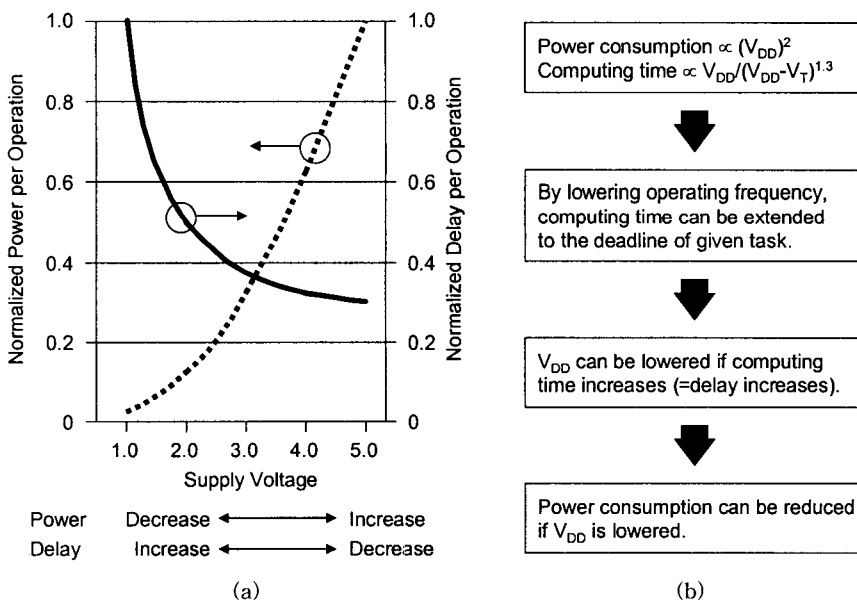


그림 2. 가변 공급 전압을 이용한 전력 소모 감소: (a) 공급 전압 변화에 따른 전력 소모 및 지연 시간 변화. (b) 공급 전압 감소에 따른 전력 소모 감소.

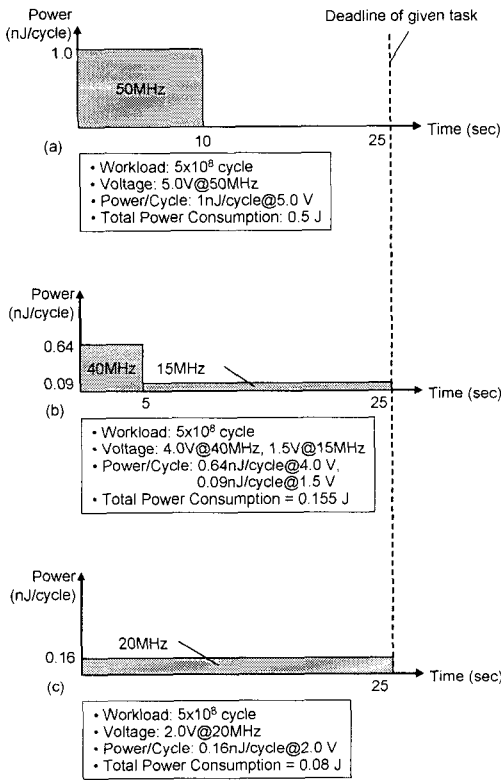


그림 3. 동적 전압 제어

다면 이 부분 역시 무시할만하다.

### 3. 동적 전압 제어를 매크로블록 복호화에 적용했을 때 발생하는 문제점

MPEG-4[4]를 비롯한 대부분의 동영상 압축 기법에서 일부 DCT 계수는 양자화(quantization) 과정에서 0으로 잘려진다. 만약  $8 \times 8$  블록의 64개 DCT 계수가 모두 0이면 그 블록은 부호화되지 않고, 복호화기에서는 이 블록을 복호화할 때 역DCT(inverse discrete cosine transformation)와 역양자화(inverse quantization) 과정을 건너뛰고 움직임 보상(motion compensation)만 수행한다. 이렇게 부호화되지 않은 블록의 정보는 MPEG-4의 경우 비트열 내부의 *cbpy* 및 *mcbpc* 필드에 저장되는데, 이들 값이 매크로블록 헤더에 위치하고 있기 때문에, 복호화기에서는 이들 블록의 역DCT와 역양자화를 건너뛰지 말지를 매크로블록 헤더를 복호화한 후에야 알 수 있다.

동적 전압 제어를 적용하기 위해서는 복호화기가

매 매크로블록 헤더를 복호화하여 *cbpy* 및 *mcbpc* 필드를 읽어들이어서 몇 개의 블록이 부호화되지 않았는지를 알아낸 다음에야 해당 매크로블록을 처리할 때 얼마나 시간이 소요될지를 알 수 있으며 이에 따라 공급 전압을 얼마나 낮출 수 있는지 결정할 수 있다. 복호화기는 해당 매크로블록 다음에 나오는 매크로블록들에 몇 개의 블록이 부호화되지 않았는지 알 수 없으며 이론상으로는 해당 매크로블록 다음에 나오는 모든 매크로블록에 부호화되지 않는 블록이 하나도 없을 수가 있기 때문에, 실시간 동작을 보장하려면 해당 매크로블록의 복호화는 해당 매크로블록에 할당된 시간 안에 처리해야만 한다.

그림 4는 동적 전압 제어를 매크로블록 복호화에 그대로 적용했을 때 발생하는 문제점을 자세하게 설명한 것이다. 입력 영상이 CIF( $352 \times 288$  픽셀, 30 frame/s)이라고 가정할 때, 매 프레임에는 396개의 매크로블록이 존재하기 때문에 각 매크로블록에 할당된 시간은  $84.2 \mu\text{s}$ 가 된다. 복호화기가 매크로블록을 복호화하는데 걸리는 시간은 크게 (1) 매크로블록 헤더를 복호화하는데 걸리는 시간, (2) 각 블록을 복호화하여 DCT 계수를 원래의 화소값으로 변환하는데 걸리는 시간, (3) 원래의 화소값을 가지고 움직임 보상을 수행하는데 걸리는 시간으로 나눌 수 있는데, 대체적으로 (1)이 (2), (3)에 비해 무시할 만큼 짧으므로 매크로블록의 복호화는 각 블록의 복호화 및 움직임 보상만으로 이루어져 있다고 생각해도 무방하다.

먼저 그림 4(a)와 같이 매크로블록 #0은 모든 블록이 부호화되었고, 매크로블록 #1은 0, 3번째 블록만이 부호화 되었고, 매크로블록 #2는 0, 5번째 블록만이 부호화되었다고 가정하자. 이때 움직임 보상은 각각의 블록이 부호화되었는지 않았는지에 상관없이 수행된다. 동적 전압 제어가 적용되지 않았다면 복호화기는 그림 4(b)와 같이  $156.4 \mu\text{s}$ 만큼 동작한 후에  $96.2 \mu\text{s}$ 만큼 쉬게 된다.

만약 공급 전압을 바꾸는데 소요되는 천이 시간(transition time)이 0이라고 가정하고 동적 전압 제어를 적용하면 복호화기는 매크로블록 #1과 매크로블록 #2에 대해 6개의 블록 중에서 3개만 복호화를 수행하면 되며, 어플리케이션이 수행해야 할 일의 양은 3/7로 감소하게 된다. 따라서 그림 4(c)와 같이 매크로블록 #1, 매크로블록 #2를 각각  $84.2 \mu\text{s}$  동안에 복호화할 수 있도록 시스템의 동작 주파수와 공급 전압을 각각 약 1/2 정도로 낮추게 된다. 전력 소모는

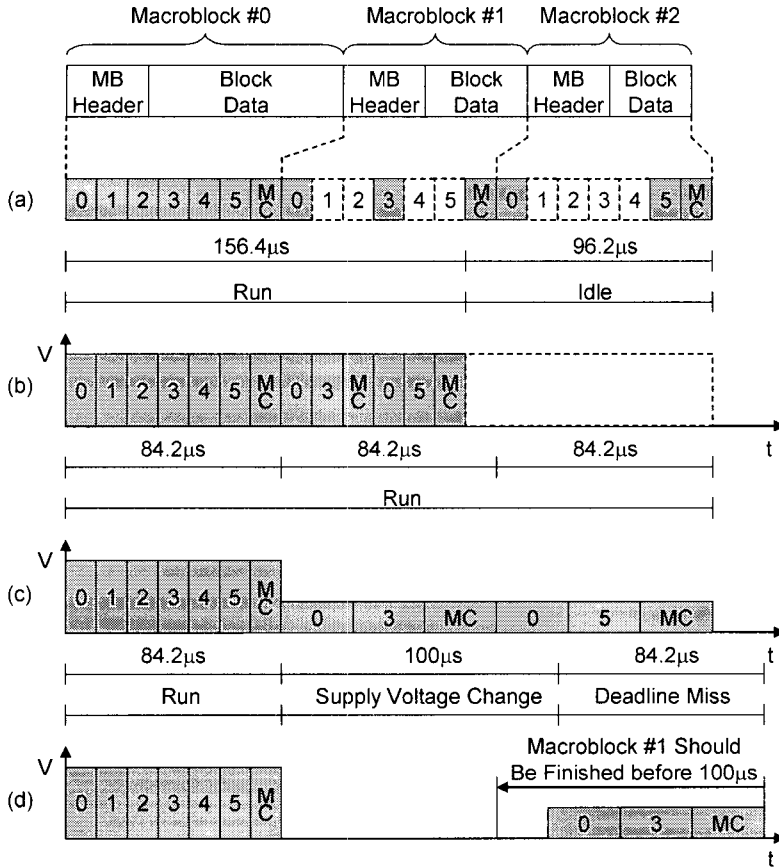


그림 4. 동적 전압 제어를 매크로블록 복호화에 적용하였을 때 발생하는 문제점: (a) 매크로블록 내부의 각 블록의 부호화 상태, (b) 동적 전압 제어를 적용하지 않았을 때 복호화기의 동작, (c) 천이 시간이 0이라고 가정하고 동적 전압 제어를 적용했을 때 복호화기의 동작, (d) 천이 시간이 100 µs라고 가정하고 동적 전압 제어를 적용했을 때 복호화기의 동작.

공급 전압의 제곱 및 동작 주파수에 비례하기 때문에 시간당 전력 소모는 약 1/8 정도로 감소하게 되지만 수행 시간이 2배로 늘어나기 때문에 실제 전력 소모는 약 1/4 정도로 감소하게 된다.

그러나, 공급 전압을 바꾸는데 소요되는 천이 시간을 감안하면 이러한 방법에는 큰 문제가 있다. 하나의 매크로블록을 처리하기 위한 시간은 84.2 µs이지만, 현재까지 나온 가장 빠른 DC-DC 변환기 회로가 공급 전압을 바꾸는데 소요되는 천이 시간이 100 µs를 넘기 때문에 매 매크로블록마다 공급 전압을 바꾼다는 것은 사실상 불가능하다. 그림 4(d)와 같이 복호화기가 100µs 걸려서 공급 전압을 바꾼다면 매크로블록 #1은 시작 시간으로부터 268.4µs 후에 복호화를 끝내게 되며, 이때 매크로블록 #1의 마감 시간인 168.4 µs를 100 µs 초과하게 된다. 따라서 기존의

동적 전압 제어로는 해당 매크로블록의 복호화를 해당 매크로블록의 마감 시간 안에 처리할 수 없는 문제점이 발생하게 된다.

#### 4. Zero-Block Skipping Macroblock Decoding

최근 들어 이러한 문제점을 해결하기 위해서 프레임의 복호화하는 과정에서 프레임의 복호화가 마감 시간을 넘으면 해당 프레임의 복호화를 건너뛰는 방법[5]과 프레임의 복호화 상태를 관찰한 후 프레임을 버퍼링하여 프레임의 지연 시간이 일정 수준을 넘지 않게 하는 방법[6] 등이 제안된 바 있다. 그러나 이들 방법은 프레임 속도(frame rate)가 시시각각으로 달라져서 눈으로 느끼는 주관적 화질이 나빠지고 디스

플레이 하드웨어에도 부담을 주는 단점을 가지고 있기 때문에 실제 휴대 단말기에 적용하기에는 어려움이 있다.

본 논문에서는 프레임 속도와 화질에 영향을 미치지 않으면서 이러한 문제점을 해결하기 위해 부호화기가 부호화를 수행할 때 매 프레임 전체에 부호화되지 않은 블록의 개수를 세어 비트열의 프레임 헤더에 실어보내는 방법을 제안한다. MPEG-4의 경우, 향후 확장성을 위해서 사용자가 필요한 정보를 실어보낼 수 있도록 *pei* 및 *psupp* 필드가 마련되어 있으며, 다른 동영상 압축 기법도 비슷한 필드가 마련되어 있다. 이들 정보는 기존의 복호화기에서는 무시되는 정보이기 때문에 이들 필드에 데이터를 실어보내도 기존의 복호화기에서는 아무런 문제가 되지 않는다.

본 논문에서는 저전력 동영상 복호화 기법인

Zero-Block Skipping Macroblock Decoding 기법을 제안한다. 부호화기에서는 부호화 과정 중에 부호화되지 않는 블록의 개수를 세어 비트열의 *pei* 및 *psupp* 필드에 실어서 보낸다. 동적 전압 제어를 지원하는 복호화기에서는 이들 필드를 읽어서 프레임 전체의 부호화되지 않은 블록의 개수를 알아내고, 이에 따라서 프레임 전체를 처리하는데 필요한 일의 양 및 소요 시간을 예측할 수 있다. 이러한 소요 시간을 알면 프레임 전체를 복호화하는데 필요한 최소 동작 주파수와 최소 공급 전압을 알아낼 수 있고, 이에 따라서 전력 소모를 크게 줄일 수 있다. 이때 시스템의 동작 주파수와 공급 전압은 프레임 복호화를 시작할 때 한번만 바뀌고 프레임 복호화 과정 내내 일정하다. 이 경우, 프레임을 복호화하는데 필요한 시간인 33333.3  $\mu$ s는 공급 전압을 바꾸는데 필요한 천이 시

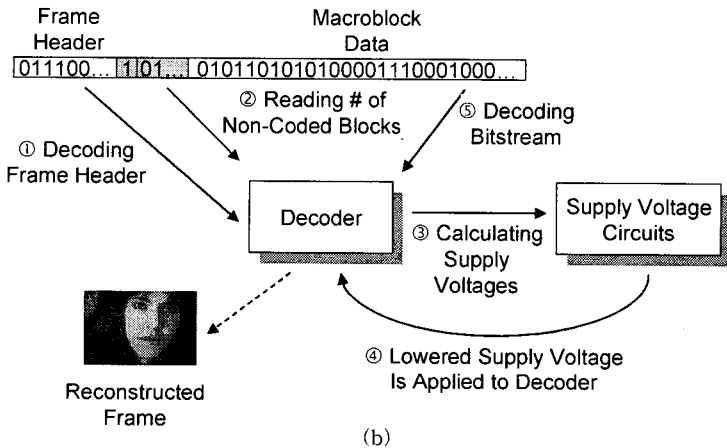
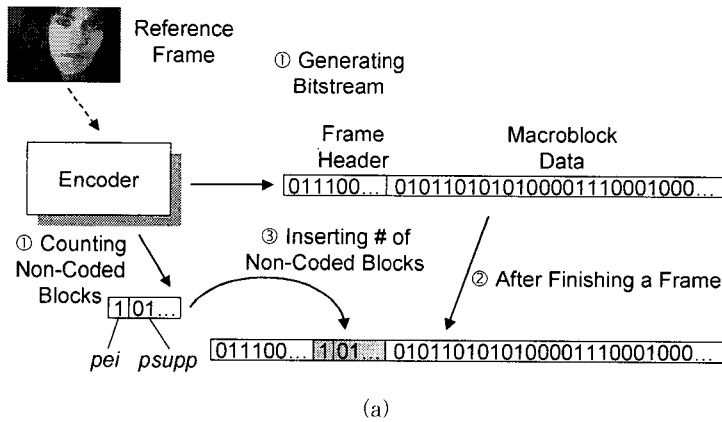


그림 5. 제안하는 Zero-Block Skipping Macroblock Decoding 기법: (a) 부호화기 측, (b) 복호화기 측.

간인 100 μs에 비해 매우 크기 때문에 아무런 문제가 발생하지 않는다.

그림 5는 제안하는 기법을 자세히 설명한 것이다. 부호화기에서는 그림 5(a)에서처럼 해당 프레임을 부호화하면서 동시에 부호화되지 않은 블록의 개수를 센다(그림 5(a)①). 이 개수는 부호화기가 프레임 부호화를 마칠 때까지 부호화기의 메모리에 저장되어 있다(그림 5(a)②). 부호화를 마친 후에 부호화기는 부호화되지 않는 블록의 개수를 프레임 헤더의 *pei* 및 *psupp* 필드에 써넣는다(그림 5(a)③). 프레임 하나에 포함된 블록의 개수는 CIF 영상의 경우 2376 개, CCIR601 영상의 경우 9504 개이므로, 제안하는 기법에서 매 프레임당 추가되는 비트수는 18 비트 (*pei* 2비트, *psupp* 16비트)이며, 비트율이 1 Mbit/s 이고 프레임율이 30 frame/s일 때 전체 비트수는 0.0054% 증가하는 것에 불과하다.

복호화기에서는 그림 5(b)와 같이 프레임 헤더를 먼저 복호화하여 *pei* 및 *psupp* 필드를 읽고(그림 5(b)①,②), 주어진 프레임을 주어진 마감 시간 내에 처리할 수 있도록 하는 최소 동작 주파수와 최소 공급 전압을 계산한다(그림 5(b)③). 이렇게 결정된 최소 동작 주파수와 최소 공급 전압은 복호화기에 가해지고(그림 5(b)④), 복호화기는 단일 동작 주파수와 단일 공급 전압을 사용하여 프레임을 복호화한다(그림 5(b)⑤). 이 과정에서 공급 전압이 크게 낮아지게 되므로 전력 소모 또한 크게 감소하게 된다. 만약 동적 전압 제어를 지원하지 않는 복호화기라면 *pei* 및 *psupp* 필드에 저장된 정보는 무시되며, 복호화기는 기존의 동영상 복호화를 수행하게 된다.

### 5. 최소 동작 주파수 및 공급 전압의 결정

최소 동작 주파수 및 최소 공급 전압을 계산하는 방법은 다음과 같다. 시스템이 최대 동작 주파수  $f_{MAX}$ 와 최대 공급 전압  $V_{MAX}$ 로 동작할 때 8×8 블록 하나를 복호화하는데 걸리는 시간과 16×16 매크로블록 하나를 움직임 보상하는데 걸리는 시간을 각각  $t_B$ ,  $t_{MC}$ 라고 하자. 또한 프레임 하나에 들어있는 블록의 총 개수를  $N$ , 부호화되지 않은 블록의 총 개수를  $N_{NC}$ 라고 하자. 이때 프레임 헤더를 복호화하는 시간이 무시할 만큼 작다면 최소 동작 주파수  $f_{SYS}$ 는 식

(1)과 같이 결정된다. 이때,  $N_{NC}$ 가 증가하면 복호화하는데 걸리는 시간이 작아지므로  $f_{SYS}$ 는 작아지며, 이때 공급 전압  $V_{SYS}$ 도 작아져서 전력 소모는 감소하게 된다. 식 (1)은 매 프레임마다 한번만 계산하므로 여기에 필요한 계산량은 무시할 만하다.

$$f_{SYS} = f_{MAX} \times \frac{(N - N_{NC}) \times T_B + \frac{N}{6} \times t_{MC}}{N \times t_B + \frac{N}{6} \times t_{MC}} \quad (1)$$

$f_{SYS}$ 가 계산되면  $V_{SYS}$ 는  $T = 1/f \propto V/(V - V_T)^a$ 에서 식 (2)와 같이 결정된다. 여기서  $V$ 는 공급 전압,  $V_T$ 는 CMOS 트랜지스터의 문턱 전압,  $a$ 는 속도 포화 계수( $a \sim 1.3$ )를 나타낸다. 이때,  $f_{MAX}$ ,  $V_{MAX}$ ,  $V_{TH}$ ,  $a$ 는 주어진 CMOS 회로에서 상수값을 가지므로,  $V_{SYS}$ 는 미리  $f_{SYS}$ 에 대한 테이블로 계산할 수 있다. 따라서 식 (2)의 계산량도 무시할 만하다.

$$f_{MAX} \times \frac{V_{SYS}}{(V_{SYS} - V_{TH})^a} = f_{SYS} \times \frac{V_{MAX}}{(V_{MAX} - V_{TH})^a} \quad (2)$$

그림 6은  $t_B = t_{MC}$ 이고  $N_{NC} = (5/12)N$ 일 때 제안하는 기법에 의한 전력 감소를 자세히 나타낸 것이다. 동적 전압 제어가 적용되지 않을 때, 복호화기는 그림 6(a)와 같이 동작하다가 쉬었다가를 반복하며, 이때의 공급 전압과 전력 소모는 그림 6(b) 및 그림 6(c)와 같다. 동적 전압 제어가 적용되었을 때,  $f_{SYS} = (1/2) f_{MAX}$ 이고  $V_{SYS} \sim (1/2) V_{MAX}$ 가 되며, 이때의 공급 전압과 전력 소모는 그림 6(d) 및 그림 6(e)와 같다. 전력 소모는 공급 전압의 제곱 및 동작 주파수에 비례하기 때문에 시간당 전력 소모는 약 1/8 정도로 감소하게 되지만 수행 시간이 2배로 늘어나기 때문에 실제 전력 소모는 약 1/4 정도로 감소하게 된다.

### 6. 모의실험 결과

본 논문에서는 MPEG-4 SP@L2 동영상 압축 기법을 CIF 영상인 "Claire" 및 "Miss America"에 적용하여 모의실험을 수행하였다. 공급 전압  $V_{MAX}$ , 문턱 전압  $V_{TH}$ , 속도 포화 계수  $a$ 는 각각 2.5 V, 0.5 V, 1.3으로 가정하였으며, 공급 전압천이 시간  $T_{TD}$ 는 100μs로 가정하였다. 부호화기의 비트율(bitrate)은 192 kbps로 가정하였다.

본 연구팀은 아직까지 동적 전압 제어를 실험하기

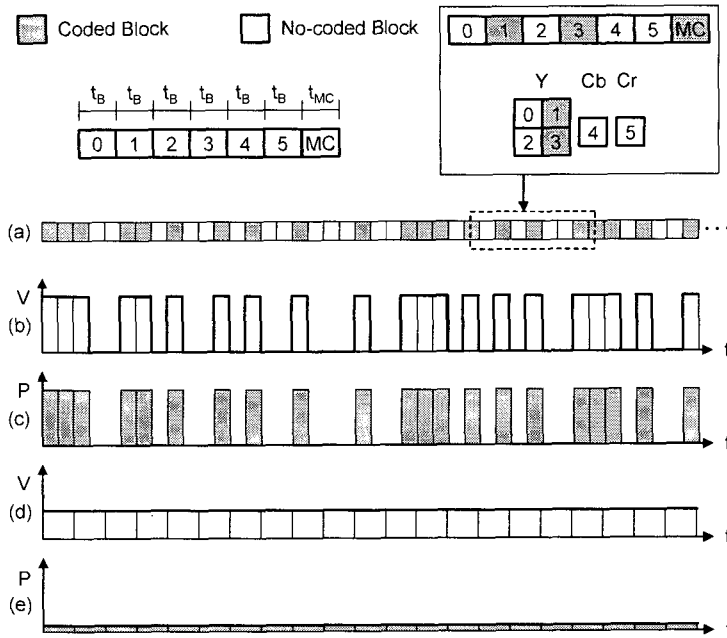


그림 6. 제안하는 Zero-Block Skipping Macroblock Decoding 기법에 의한 전력 감소: (a) 동적 전압 제어가 적용되지 않을 때 복호화기의 동작, (b) 동적 전압 제어가 적용되지 않을 때의 공급 전압, (c) 동적 전압 제어가 적용되지 않을 때의 전력 소모, (d) 제안하는 기법이 적용되었을 때의 공급 전압, (e) 제안하는 기법이 적용되었을 때의 전력 소모.

위한 가변 전압 프로세서 플랫폼을 구비하지 못하였으므로 모의실험은 다음과 같은 방법으로 수행되었다. 먼저, MPEG-4 부호화기 프로그램을 수행하여 비트열을 생성하였으며, 이때 부호화되지 않은 블록의 개수를 프레임별로 측정하였다. 다음 단계로 생성된 비트열을 가지고 고정 전압 프로세서 플랫폼에서 복호화를 수행하여 동적 전압 제어를 적용하지 않은 경우의 각 블록의 복호화 시간을 측정하였다. 복호화 시간은 프로세서 내부에 있는 실시간 클럭(real-time clock)을 읽어들이므로 측정하였다. 다음 단계로 동적 전압 제어가 가능한 가변 전압 프로세서 플랫폼의 에뮬레이터를 작성하여 이 에뮬레이터에서 제안하는 기법으로 비트열을 복호화하고 공급 전압과 전력 소모를 모의실험하였다.

표 1은 모의실험 결과 얻어진 정규화된 부호화되지 않은 블록의 개수  $N_{NC}/N$ , 정규화된 공급 전압  $V_{SYS}/V_{MAX}$ , 정규화된 전력 소모  $P_{SYS}/P_{MAX}$ 를 나타낸 것이다. 표 1에서 보듯이 부호화되지 않은 블록의 개수는 전체 블록의 약 65%임을 알 수 있다. 부호화

기가 멀티미디어 휴대 통신의 일반적인 비트율인 192kbps로 부호화하였으므로 양자화 계수(quantization parameter)가 꽤 큰 값을 가지고, 이에 따라 많은 DCT 계수가 0으로 양자화된다. 따라서 부호화하지 않은 블록의 개수인  $N_{NC}$ 는 꽤 높은 값을 가지게 된다.

식 (1)로부터  $N_{NC}$ 가 높을 때 공급 전압은 크게 낮아지게 되며, 이에 따라 전력 소모도 크게 낮아지게 된다. 표 1에서 보듯이 실제 공급 전압  $V_{SYS}$ 는 최대 공급 전압  $V_{MAX}$ 의 약 25%로 감소하며, 실제 전력 소모  $P_{SYS}$ 는 최대 전력 소모  $P_{MAX}$ 의 약 5%로 감소함을 알 수 있었다.

표 1. 모의실험 결과

| 파라미터                            | Claire 영상 | Miss America 영상 |
|---------------------------------|-----------|-----------------|
| 정규화된 부호화되지 않은 블록 개수 $N_{NC}/N$  | 0.66      | 0.65            |
| 정규화된 실제 공급 전압 $V_{SYS}/V_{MAX}$ | 0.24      | 0.25            |
| 정규화된 실제 전력 소모 $P_{SYS}/P_{MAX}$ | 0.054     | 0.057           |



## 7. 결 론

본 논문에서는 새로운 저전력 동영상 복호화 기법을 제안한다. 부호화된 비트열에서 몇몇 블록은 양자화된 DCT 계수가 모두 0이 되어 부호화하지 않게 되며, 복호화기는 이런 블록에 대해서는 연산을 수행할 필요가 없으므로 연산 수행 시간이 짧아지게 된다. 복호화기에 동적 전압 제어를 적용하게 되면 짧아지는 연산 수행 시간을 이용하여 공급 전압을 낮춤으로서 전력 소모를 낮출 수 있다. 기존의 동영상 복호화 기법에서는 매크로블록별로 동적 전압 제어를 적용하기 때문에 공급 전압이 변하는 천이 시간을 고려하면 실제적으로 동적 전압 제어 기법을 적용하기가 거의 불가능하였지만, 제안하는 기법에서는 부호화기에서 부호화되지 않는 블록의 개수를 세어 프레임 헤더에 저장하여 복호화기에 전달함으로써 프레임별로 동적 전압 제어를 적용하는 것이 가능하다. 제안하는 기법은 복잡한 알고리즘이나 하드웨어가 필요없고, 추가되는 연산량 부담이 거의 없으며 MPEG-4를 비롯한 대부분의 동영상 압축 기법에 적용이 가능하다. 모의실험 결과, 제안하는 기법은 전력 소모를 약 1/20 정도로 감소시킬 수 있었다.

## 참 고 문 헌

[1] J. Rabaey, "Low-power silicon architectures for wireless communications," *Proceedings of Asia and South Pacific Design Automation Conference*, pp. 379-380, 2000.  
 [2] A. Chandrakasan and R. Brodersen, *Low*

*Power Digital CMOS Design*, Kluwer Academic Publishers, 1995.

[3] T. Sakurai and A. Newton, "Alpha-power law MOSFET model and its application to CMOS inverter delay and other formulas," *IEEE Journal of Solid State Circuits*, Vol. 25, No. 2, pp. 584-594, Apr. 1990.  
 [4] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 14496-2, "Coding of audio-visual objects: Visual," 1998.  
 [5] S. Hua, G. Qu, and S. Bhattacharyya, "Energy reduction techniques for multimedia applications with tolerance to deadline misses," *Proceedings of Design Automation Conference*, pp. 131-136, 2003.  
 [6] C. Im and S. Ha, "Energy optimization for latency- and quality-constrained video applications," *IEEE Design and Test of Computers*, Vol. 21, No. 5, pp. 358-366, Sep. 2004.



이 성 수

1991년 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
 1993년 서울대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1998년 서울대학교 전기공학부 (박사)  
 1998년~2000년 Research Associate, University of Tokyo  
 2000년~2002년 이화여자대학교 정보통신학과 전임강사  
 2002년~현재 숭실대학교 정보통신전자공학부 조교수  
 관심분야: 저연산량 비디오 코딩, 저전력 비디오 코딩, 멀티미디어 SoC 설계, 저전력 SoC 설계