

고속 비디오 코딩을 위한 효율적인 DCT 계산 방식

정회원 문 용 호*

An Efficient DCT Calculation Algorithm for Fast Video Coding

Yong-Ho Moon* *Regular Member*

요 약

본 논문에서는 고속 동영상 압축을 위한 효율적인 DCT 계산 알고리즘을 제안한다. 본 논문은 이론적 분석을 통하여 8x8블록뿐만 아니라 4x4블록 기반의 DCT 계산이 SAD에 따라 여러 가지 유형의 부분 DCT들로 분류될 수 있음을 보인다. 이를 토대로 제안 알고리즘에서는 움직임 추정과정에서 얻어진 SAD값에 따라 적합한 DCT 계산 방식을 적용함으로써 DCT 과정에서 소요되는 계산량을 감소시킨다. 모의 실험 결과는 복원 화질의 저하와 부가 계산량 없이 8x8블럭 및 4x4 블럭에 대하여 10%와 20%정도의 계산량 감소가 이루어짐을 보여준다.

ABSTRACT

In this paper, In this paper, we propose an efficient DCT calculation algorithm for fast video encoding. From the theoretical analysis, it is shown that the general DCT can be classified into several partial DCTs according to the SAD obtained in the motion estimation and compensation process. In the proposed algorithm, one of them is selected based on the SAD and applied to reduce the computations required in the DCT and quantization process. The simulation results show that the proposed algorithm achieves computational saving approximately 10% for the 8x8 block and 20% for the 4x4 block without any image degradation and computational overhead.

1. 서론

오늘날 정보 통신망의 발전과 함께 다양한 Multimedia 정보 서비스들이 출현하고 있다. 이러한 서비스의 대부분은 막대한 양의 영상 데이터를 효율적으로 저장, 전송할 수 있는 디지털 영상 처리 기술을 필요로 하고 있다. 이를 위하여 지금까지 MPEG-2,4, H.261, H.263 등과 같은 다양한 동영상 압축 표준안이 제정되어 왔으며 조만간 H.26L의 표준안도 결정될 것이다^[1-3]. 그런데 일반적으로 동영상 압축 표준안을 실제 구현하기 위해서는 많은 메모리와 상당한 계산량이 요구된다고 알려져 있다. 특히, 계산량 문제는 실제 구현에 있어서 넓은 대역폭(Band-Width)을 필요로 하는 제약을 지닌다. 따라서 대역폭 제한조건(Band-width constraints)하에서 RTP(Real-Time Processing)를 기반으로 하는 현

재의 Multimedia 환경에서는 고속 동영상 압축에 관한 연구가 중요시되고 있다.

이러한 추세 속에서, 기존 동영상 압축 과정에서 소요되는 계산량을 감소시키기 위한 다양한 연구들이 국내·외적으로 시도되어 왔다. 지금까지 발표된 연구들은 움직임 추정(Motion Estimation)과정에서의 속도 개선과 DCT (Discrete Cosine Transform) 및 양자화 과정에서의 계산량 감소로 크게 나눌 수 있다. 이 중에서도 움직임 추정에서의 속도 개선에 관한 연구는 그동안 널리 수행되어 많은 성과를 거두었다.^[4-7] 반면에 DCT 및 양자화 과정에서의 계산량 감소에 관한 연구는 그 중요성에도 불구하고 상대적으로 미미하였다.^[8-13] 일반적으로 DCT 및 양자화 과정은 동영상 압축에 있어서 화면간의 움직임 추정 및 보상에서 얻어진 예측 오차 블럭(Prediction Error Block)에 2차원-DCT를 수행한 후 각 계수

* 부산대학교 산업자동화 및 정보통신분야 인력양성 사업단(yhmoon5@pusan.ac.kr)

논문번호 : 020246-0520, 접수일자 : 2002년 5월 20일

※ 본 연구는 한국과학재단 목적기초연구(과제번호:R05-2002-000-00991-0)지원으로 수행되었습니다.

값을 특정 방식으로 양자화 하는 것이다. 이것은 많은 산술 연산들의 사용을 전제로 하고 있다. 따라서 전체 압축 과정에서 무시할 수 없는 많은 계산량이 DCT 및 양자화 과정에서 소요된다. 이를 극복하기 위하여 DCT 및 양자화 과정 자체를 생략하는 방식이 제시되었다.^[9-11]

일반적인 동영상 압축 부호화기(Encoder)에서는 예측 오차 블록의 DCT 주파수 성분들 모두가 '0'으로 양자화 될 때, 이러한 특정 상태를 나타내는 신호만을 복호화기(Decoder)로 전송한다. 이것은 각 계수들의 정보를 전송하지 않고 블록 전체의 상태를 특정 부호로 전송하기 때문에 압축 효율을 보다 향상시킬 수 있다. 그런데 이 같은 특정 상태는 DCT 및 양자화 과정을 거친 후에야 비로소 판정할 수 있다. 따라서 DCT 및 양자화 과정 이전에 미리 이러한 상태를 예측할 수 있다면 압축 효율의 향상과 더불어 생략된 블록 수만큼의 계산량을 감소시킬 수 있을 것이다. 이에 관한 연구 결과들이 최근에 발표되었다. Xuan은 H.263 방식에 있어서 움직임 추정 과정에서 얻어지는 SAD(Sum of Absolute Difference)를 이용하여 모든 DCT 계수 값들이 '0'으로 양자화 되는 충분 조건을 이론적으로 유도하였다^[9]. 그리고 이를 바탕으로 DCT 및 양자화 과정을 생략하고 이 상태를 나타내는 특정 부호를 전송하였다. 한편 Sousa는 Xuan의 조건에 비하여 보다 정확한 충분 조건을 이론적으로 유도하여 성능을 더욱 향상시켰다^[10]. 그리고 Shi는 실험 결과를 토대로 효율적인 계산량 감소 알고리즘을 제안하였다^[11]. 이러한 방식들은 별도의 부가 계산량을 사용하지 않는 특징을 지니고 있다.

그러나 기존 방식들에는 계산량 감소를 위하여 여전히 개선되어야 할 부분이 존재한다. 기존 방식들은 주파수 성분들이 동시에 모두 0으로 양자화 되는 상태만을 고려하여 DCT 및 양자화 과정의 계산량을 감소시키고자 하였다. 즉, 모든 성분들이 0으로 양자화 될 경우 DCT 및 양자화 과정을 생략하고 그 외의 경우에는 DCT 및 양자화 과정을 수행하였다. 따라서 지금까지의 방식들에는 DCT 및 양자화 과정의 적용에 있어서 불필요한 계산이 존재한다는 사실을 간과하였다. 본 논문에서는 기존 방식에 대한 이론적 분석을 수행하여 DCT 및 양자화 과정을 적용하는 경우에도 불필요한 계산량이 존재함을 밝힌다. 그리고 이를 토대로 보다 더 개선된 효율적인 DCT 계산 방식을 제안한다. H.263과 H.26L방식에 의하여 수행된 다양한 모의 실험 결과

는 제안 방식이 우수하다는 것을 객관적으로 보여준다.

II. 기존의 계산량 감소 방식

일반적인 동영상 압축 방식에서 부호화 과정은 그림 1과 같이 블록-기반의 움직임 예측 및 보상에 그 토대를 두고 있다.

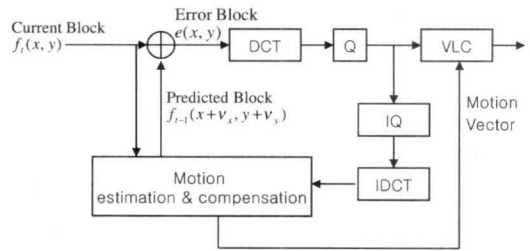


그림 1. 일반적인 동영상 부호화 과정

압축할 현재 프레임은 움직임 보상 예측(motion-compensated prediction)에 의하여 복호화된 이전 프레임들(previous decoded frames)로부터 예측되어진다. 그리고 이때 발생하는 예측 오차는 DCT 과정을 거쳐 압축되어진다. 다시 말해서 주어진 임의의 블록 $f_i(x, y)$ 에 대하여, 이전 프레임 (previous frame)내 존재하는 블록 $f_{i-1}(x+i, y+j)$ 들중에서 최소의 SAD값을 지니는 블록을 예측 블록 $f_{i-1}(x+v_x, y+v_y)$ 으로 선정한다. 그리고 두 블록들간의 차이 즉, 예측 오차 블록에 DCT 및 양자화 과정을 수행함으로써 압축이 이루어진다.

임의의 $N \times N$ 예측 오차 블록에 대한 SAD는 다음과 같이 정의된다.

$$SAD(i, j) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f_i(x, y) - f_{i-1}(x+i, y+j)|$$

$$SAD = \min SAD(i, j) = \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} |f_i(x, y) - f_{i-1}(x+v_x, y+v_y)|$$

$$= \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} |e(x, y)| \tag{1}$$

여기서, (v_x, v_y) 는 움직임 추정 과정에서 얻어진 움직임 벡터이다. 이와 같이 결정되는 예측 오차 블록 $e(x, y)$ 에 대하여 수행되는 DCT 과정은 식(2)와 같다.

$$E(u,v) = \frac{2}{N} k_u k_v \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} e(x,y) \cos\left(\frac{2x+1}{2N} u\pi\right) \cos\left(\frac{2y+1}{2N} v\pi\right) \quad (2)$$

$$k_u, k_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{for } u, v = 0 \\ 1 & \text{for } u, v \neq 0 \end{cases}$$

이다. 그리고 식(3)은 DCT 과정에서 구해진 각 계수들을 H.263방식으로 양자화하는 것을 나타낸다.

$$L = \lfloor E(u,v) \rfloor / 2Q \quad (3)$$

여기서, L은 양자화 된 DCT 계수이고 Q는 양자화 파라메타이다.

기존의 계산량 감소 방식들은 이러한 압축 과정에서 부가적인 계산량을 이용하지 않으면서 DCT 및 양자화 과정 자체를 생략할 수 있는 조건을 구하고 자 하였다. 이를 위하여 기존 방식들은 DCT 계수의 절대값이 지닐 수 있는 최대 범위를 이론적으로 분석하였다. 식(4)는 이를 보여준다.

$$\begin{aligned} |E(u,v)| &= \frac{2}{N} |k_u k_v| \left| \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} e(x,y) \cos\left(\frac{2x+1}{2N} u\pi\right) \cos\left(\frac{2y+1}{2N} v\pi\right) \right| \\ &< \frac{2}{N} \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} |e(x,y)| \cos\left(\frac{2x+1}{2N} u\pi\right) \cos\left(\frac{2y+1}{2N} v\pi\right)_{\max} \\ &< \frac{2}{N} \cos^2\left(\frac{\pi}{2N}\right) \sum_{x=0}^{N-1} \sum_{y=0}^{N-1} |e(x,y)| = \frac{2}{N} \cos^2\left(\frac{\pi}{2N}\right) \cdot SAD \quad (4) \end{aligned}$$

식(4)는 모든 DCT 계수에 대하여 그 절대값들이 지닐 수 있는 최대값의 상한이 SAD와 특정 상수값의 곱으로 정해짐을 보여준다. 이것은 식(4)에서의 상한값이 0으로 양자화 될 경우 모든 DCT 계수들이 동시에 '0'으로 양자화 됨을 의미한다. 즉, 이것은 DCT 및 양자화 과정을 수행할 필요가 없음을 암시한다. 식(3)에서 L을 1로 하고 식(4)를 식(3)에 대입할 경우 식(5)가 쉽게 유도된다.

$$SAD < NQ \sec^2\left(\frac{\pi}{2N}\right) = Th \quad (5)$$

여기서 Th는 임계값을 나타낸다. 식(5)는 모든 DCT 계수들이 동시에 0으로 양자화 되기 위한 충분 조건(sufficient condition)을 제시하고 있다. 즉, 주어진 SAD가 임계값보다 작을 경우 예측 오차 불력의 DCT계수는 모두 0으로 양자화 되므로 DCT 및 양자화 과정이 생략될 수 있다.

기존의 계산량 감소 방식은 이와 같은 이론적 배경하에서 제안되었다. 기존 방식에서는 움직임 예측 및 보상과정에서 구해지는 SAD값과 임계값을 비교한다. 그리하여 SAD가 임계값보다 작을 경우 DCT 및 양자화 과정을 생략하고, 클 경우에는 기존의 처리 과정을 적용한다. 따라서 기존 방식은 부가 계산량을 이용하지 않으면서 DCT 및 양자화 과정에서의 계산량을 감소시킨다. 그러나 기존 방식은 모든 DCT계수가 동시에 "0"으로 양자화 되는 조건에 기초한 것이다. 따라서 모든 DCT계수가 "0"으로 양자화 되지 못할 경우에도 계산량 감소가 이루어질 수 있다는 사실을 반영하지 못하였다.

III. 제안 알고리즘

기존에 제안된 동영상 압축 표준안들은 8x8 블록을 기반으로 하여 DCT를 수행한다. 그러나 차세대 동영상 압축 표준안으로 채택될 H.26L에서는 4x4 블록에 대하여 DCT를 적용하고 있다. 따라서 본 논문에서는 8x8 블록과 4x4 블록 모두에 적용될 수 있는 DCT 계산량 감소 알고리즘을 제안하고자 한다.

앞에서 언급한 바와 같이 기존 방식은 모든 DCT 계수가 동시에 "0"으로 양자화 되는 충분 조건에 기초한 것이다. 그러나 이러한 접근은 매우 특별한 상황에만 국한된 것이다. 즉, 각각의 계수들이 "0"으로 양자화 되는 일반적인 조건들을 고려하지 못하였다. 이 같은 사실에 근거하여 본 논문은 각각의 주파수 성분별로 그 계수값이 '0'으로 양자화 되는 조건을 유도하여 계산량 감소 여부를 검토하였다.

특정 주파수 (u_m, v_n)에 대하여 그 계수값의 절대치 상한은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned} |E(u_m, v_n)| &< \frac{1}{4} k_m \cos\left(\frac{2x+1}{16} u_m \pi\right) k_n \cos\left(\frac{2y+1}{16} v_n \pi\right) \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 |e(x,y)| \\ &= C \max(u_m, v_n) \cdot SAD, \quad 0 \leq u_m, v_n \leq 7 \quad (6) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} C \max(u_m, v_n) &= \frac{1}{4} k_m \cos\left(\frac{2x+1}{16} u_m \pi\right) k_n \cos\left(\frac{2y+1}{16} v_n \pi\right)_{\max} \quad (7) \end{aligned}$$

식 (7)은 특정 주파수에 있어서 $C \max(u_m, v_n)$ 가 주파수에 따라 서로 다른 상수값을 나타냄 보여준다. 식(3)과 식(6)으로부터 특정 주파수 성분의 계수

가 "0"으로 양자화 될 조건은 식(8)과 같이 쉽게 유도된다.

$$SAD < \frac{2Q}{Cmax(u_m, v_n)} = Th(u_m, v_n) \quad (8)$$

식(8)에서 $Th(u_m, v_n)$ 는 특정 주파수 성분에 대하여 그 계수값이 '0'이 양자화 되는 임계값을 나타낸다. 8x8 블록에 대하여 각 주파수 성분에 대한 임계값을 구해보면 다음과 같이 6가지로 분류됨을 알 수 있다.

$$Th(u_m, v_n) = \left\{ \frac{2Q}{0.2404}, \frac{2Q}{0.2265}, \frac{2Q}{0.2134}, \frac{2Q}{0.1734}, \frac{2Q}{0.1633}, \frac{2Q}{0.125} \right\} \quad (9)$$

이것은 모든 주파수 성분들에 동일한 조건을 적용하는 기존 방식과는 큰 차이를 보인다.

이러한 사실에 기초하여 SAD값에 따라서 0으로 양자화 되지 않는 주파수 성분들을 조사하였다. 표 1은 이를 정리한 것이다. 표 1에서 볼 때, 주어진 SAD가 제1항의 조건을 만족할 경우 모든 계수가 0으로 양자화 되므로 DCT 및 양자화 과정을 생략할 수 있음을 알 수 있다. 이것은 기존 방식에서 DCT 과정이 생략되는 경우와 동일하다. 따라서 기존 방식은 이 조건에 근거하여 주어진 SAD가 제 1항의 범위에 속할 때 DCT 및 양자화 과정을 생략하고 나머지 경우에는 기존의 DCT를 적용하는 것이다. 그런데 표 1은 주어진 SAD가 제2항-제6항일 경우에 몇몇 주파수 성분들이 0으로 양자화 되어서 기존 DCT를 수행하는 것이 불필요함을 보여준다. 한 예로 SAD가 제2항 조건을 만족하는 경우에는 48개의 주파수 성분에 대한 계수들이 0으로 양자화 되고 단지 16개의 주파수 성분만이 0이 아닌 계수값을 지닌다. 따라서 이들 16개의 주파수 성분들에 대하여 DCT 및 양자화 과정이 요구된다. 이러한 사실은 기존의 계산량 감소 방식에 있어서 여전히 불필요한 DCT 계산량이 존재함을 보여준다. 따라서 기존 방식에 존재하는 불필요한 계산을 효율적으로 제거할 수 있는 새로운 DCT 계산 방식이 고안되어야 한다.

일반적으로 DCT 과정은 수직·수평의 2차원 행렬(matrix) 연산으로 구현된다. 그림 2는 8x8 블록에 대한 DCT에 이용되는 행렬을 나타낸 것이다. 본 논문에서는 표 1의 각 항에서 DCT가 수행되어야 하는 주파수 성분들이 행렬 연산에서 어떻게 구

표 1. SAD값에 따른 0이 아닌 양자화 계수의 주파수 성분 분포

분류	범위 조건	양자화된 계수값이 '0'이 아닌 주파수 성분	갯수
제 1항	$SAD < \frac{2Q}{0.2404}$	없음	0
제 2항	$\frac{2Q}{0.2404} \leq SAD < \frac{2Q}{0.2265}$	(1,1), (3,1), (5,1), (7,1), (1,3), (3,3), (5,3), (7,3), (1,5), (3,5), (5,5), (7,5), (1,7), (3,7), (5,7), (7,7), (2,1), (6,1)	16
제 3항	$\frac{2Q}{0.2265} \leq SAD < \frac{2Q}{0.2134}$	(1,1), (3,1), (5,1), (7,1), (1,3), (3,3), (5,3), (7,3), (1,5), (3,5), (5,5), (7,5), (1,7), (3,7), (5,7), (7,7), (2,1), (6,1), (1,2), (3,2), (5,2), (7,2), (2,3), (6,3), (2,5), (6,5), (2,5), (6,5), (1,6), (3,6), (5,6), (7,6), (2,7), (6,7), (2,2), (6,2), (2,6), (6,6)	32
제 4항	$\frac{2Q}{0.2134} \leq SAD < \frac{2Q}{0.1734}$	(1,1), (3,1), (5,1), (7,1), (1,3), (3,3), (5,3), (7,3), (1,5), (3,5), (5,5), (7,5), (1,7), (3,7), (5,7), (7,7), (2,1), (6,1), (1,2), (3,2), (5,2), (7,2), (2,3), (6,3), (2,5), (6,5), (2,5), (6,5), (1,6), (3,6), (5,6), (7,6), (2,7), (6,7), (2,2), (6,2), (2,6), (6,6)	36
제 5항	$\frac{2Q}{0.1734} \leq SAD < \frac{2Q}{0.1633}$	(1,1), (3,1), (5,1), (7,1), (1,3), (3,3), (5,3), (7,3), (1,5), (3,5), (5,5), (7,5), (1,7), (3,7), (5,7), (7,7), (2,1), (6,1), (1,2), (3,2), (5,2), (7,2), (2,3), (6,3), (2,5), (6,5), (2,5), (6,5), (1,6), (3,6), (5,6), (7,6), (2,7), (6,7), (2,2), (6,2), (2,6), (6,6), (1,0), (3,0), (5,0), (7,0), (0,1), (4,1), (0,3), (4,3), (1,4), (3,4), (5,4), (7,4), (0,5), (4,5), (0,7), (4,7)	52
제 6항	$\frac{2Q}{0.1633} \leq SAD < \frac{2Q}{0.125}$	(1,1), (3,1), (5,1), (7,1), (1,3), (3,3), (5,3), (7,3), (1,5), (3,5), (5,5), (7,5), (1,7), (3,7), (5,7), (7,7), (2,1), (6,1), (1,2), (3,2), (5,2), (7,2), (2,3), (6,3), (2,5), (6,5), (2,5), (6,5), (1,6), (3,6), (5,6), (7,6), (2,7), (6,7), (2,2), (6,2), (2,6), (6,6), (1,0), (3,0), (5,0), (7,0), (0,1), (4,1), (0,3), (4,3), (1,4), (3,4), (5,4), (7,4), (0,5), (4,5), (0,7), (4,7), (2,0), (6,0), (0,2), (4,2), (2,4), (6,4), (0,6), (4,6)	60
제 7항	$\frac{2Q}{0.125} \leq SAD$	모든 주파수 성분	64

$$\begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{16}) & \cos(\frac{3\pi}{16}) & \cos(\frac{5\pi}{16}) & \cos(\frac{7\pi}{16}) & \cos(\frac{9\pi}{16}) & \cos(\frac{11\pi}{16}) & \cos(\frac{13\pi}{16}) & \cos(\frac{15\pi}{16}) \\ \cos(\frac{2\pi}{16}) & \cos(\frac{6\pi}{16}) & \cos(\frac{10\pi}{16}) & \cos(\frac{14\pi}{16}) & \cos(\frac{18\pi}{16}) & \cos(\frac{22\pi}{16}) & \cos(\frac{26\pi}{16}) & \cos(\frac{30\pi}{16}) \\ \cos(\frac{3\pi}{16}) & \cos(\frac{9\pi}{16}) & \cos(\frac{15\pi}{16}) & \cos(\frac{21\pi}{16}) & \cos(\frac{27\pi}{16}) & \cos(\frac{33\pi}{16}) & \cos(\frac{39\pi}{16}) & \cos(\frac{45\pi}{16}) \\ \cos(\frac{4\pi}{16}) & \cos(\frac{12\pi}{16}) & \cos(\frac{20\pi}{16}) & \cos(\frac{28\pi}{16}) & \cos(\frac{36\pi}{16}) & \cos(\frac{44\pi}{16}) & \cos(\frac{52\pi}{16}) & \cos(\frac{60\pi}{16}) \\ \cos(\frac{5\pi}{16}) & \cos(\frac{15\pi}{16}) & \cos(\frac{25\pi}{16}) & \cos(\frac{35\pi}{16}) & \cos(\frac{45\pi}{16}) & \cos(\frac{55\pi}{16}) & \cos(\frac{65\pi}{16}) & \cos(\frac{75\pi}{16}) \\ \cos(\frac{6\pi}{16}) & \cos(\frac{18\pi}{16}) & \cos(\frac{30\pi}{16}) & \cos(\frac{42\pi}{16}) & \cos(\frac{54\pi}{16}) & \cos(\frac{66\pi}{16}) & \cos(\frac{78\pi}{16}) & \cos(\frac{90\pi}{16}) \\ \cos(\frac{7\pi}{16}) & \cos(\frac{21\pi}{16}) & \cos(\frac{35\pi}{16}) & \cos(\frac{49\pi}{16}) & \cos(\frac{63\pi}{16}) & \cos(\frac{77\pi}{16}) & \cos(\frac{91\pi}{16}) & \cos(\frac{105\pi}{16}) \end{bmatrix}$$

그림 2. 8x8 DCT 행렬

$$\begin{bmatrix} \cos(\frac{\pi}{16}) & \cos(\frac{3\pi}{16}) & \cos(\frac{5\pi}{16}) & \cos(\frac{7\pi}{16}) & \cos(\frac{9\pi}{16}) & \cos(\frac{11\pi}{16}) & \cos(\frac{13\pi}{16}) & \cos(\frac{15\pi}{16}) \\ \cos(\frac{3\pi}{16}) & \cos(\frac{9\pi}{16}) & \cos(\frac{15\pi}{16}) & \cos(\frac{21\pi}{16}) & \cos(\frac{27\pi}{16}) & \cos(\frac{33\pi}{16}) & \cos(\frac{39\pi}{16}) & \cos(\frac{45\pi}{16}) \\ \cos(\frac{5\pi}{16}) & \cos(\frac{15\pi}{16}) & \cos(\frac{25\pi}{16}) & \cos(\frac{35\pi}{16}) & \cos(\frac{45\pi}{16}) & \cos(\frac{55\pi}{16}) & \cos(\frac{65\pi}{16}) & \cos(\frac{75\pi}{16}) \\ \cos(\frac{7\pi}{16}) & \cos(\frac{21\pi}{16}) & \cos(\frac{35\pi}{16}) & \cos(\frac{49\pi}{16}) & \cos(\frac{63\pi}{16}) & \cos(\frac{77\pi}{16}) & \cos(\frac{91\pi}{16}) & \cos(\frac{105\pi}{16}) \end{bmatrix}$$

(a) 제 2항에 대한 4x8 matrix

$\cos(\frac{\pi}{16})$	$\cos(\frac{3\pi}{16})$	$\cos(\frac{5\pi}{16})$	$\cos(\frac{7\pi}{16})$	$\cos(\frac{9\pi}{16})$	$\cos(\frac{11\pi}{16})$	$\cos(\frac{13\pi}{16})$	$\cos(\frac{15\pi}{16})$
$\cos(\frac{2\pi}{16})$	$\cos(\frac{6\pi}{16})$	$\cos(\frac{10\pi}{16})$	$\cos(\frac{14\pi}{16})$	$\cos(\frac{18\pi}{16})$	$\cos(\frac{22\pi}{16})$	$\cos(\frac{26\pi}{16})$	$\cos(\frac{30\pi}{16})$
$\cos(\frac{3\pi}{16})$	$\cos(\frac{9\pi}{16})$	$\cos(\frac{15\pi}{16})$	$\cos(\frac{21\pi}{16})$	$\cos(\frac{27\pi}{16})$	$\cos(\frac{33\pi}{16})$	$\cos(\frac{39\pi}{16})$	$\cos(\frac{45\pi}{16})$
$\cos(\frac{4\pi}{16})$	$\cos(\frac{12\pi}{16})$	$\cos(\frac{20\pi}{16})$	$\cos(\frac{28\pi}{16})$	$\cos(\frac{36\pi}{16})$	$\cos(\frac{44\pi}{16})$	$\cos(\frac{52\pi}{16})$	$\cos(\frac{60\pi}{16})$
$\cos(\frac{5\pi}{16})$	$\cos(\frac{15\pi}{16})$	$\cos(\frac{25\pi}{16})$	$\cos(\frac{35\pi}{16})$	$\cos(\frac{45\pi}{16})$	$\cos(\frac{55\pi}{16})$	$\cos(\frac{65\pi}{16})$	$\cos(\frac{75\pi}{16})$
$\cos(\frac{6\pi}{16})$	$\cos(\frac{18\pi}{16})$	$\cos(\frac{30\pi}{16})$	$\cos(\frac{42\pi}{16})$	$\cos(\frac{54\pi}{16})$	$\cos(\frac{66\pi}{16})$	$\cos(\frac{78\pi}{16})$	$\cos(\frac{90\pi}{16})$
$\cos(\frac{7\pi}{16})$	$\cos(\frac{21\pi}{16})$	$\cos(\frac{35\pi}{16})$	$\cos(\frac{49\pi}{16})$	$\cos(\frac{63\pi}{16})$	$\cos(\frac{77\pi}{16})$	$\cos(\frac{91\pi}{16})$	$\cos(\frac{105\pi}{16})$
$\cos(\frac{8\pi}{16})$	$\cos(\frac{24\pi}{16})$	$\cos(\frac{40\pi}{16})$	$\cos(\frac{56\pi}{16})$	$\cos(\frac{72\pi}{16})$	$\cos(\frac{88\pi}{16})$	$\cos(\frac{104\pi}{16})$	$\cos(\frac{120\pi}{16})$

(b) 제 3항과 제 4항에 대한 6x8 matrix

그림 3. 부분 DCT 행렬

현되는 지를 조사하였다. 그 결과, 제2항, 제3항 그리고 제4항의 주파수 성분들이 기존 행렬의 특정 부분만으로 계산될 수 있음을 알 수 있었다. 그림 3은 제 2항 및 제 3항, 그리고 제 4항의 주파수 성분들에 대하여 DCT를 수행하는 데 필요한 부분 DCT 행렬을 나타낸 것이다.

이러한 사실은 제2항, 제3항, 제4항의 경우 부가적인 계산량과 H/W의 추가 없이 부분 DCT 행렬 연산만으로 기존 DCT과정을 구현할 수 있음을 보여준다. 즉, 이 경우에 계산량 감소가 이루어질 수 있음을 의미한다. 일반적으로 8x8 행렬에 의한 DCT 계산에는 128번의 벡터 연산이 필요하다. 그러나 4x8 행렬에 의한 DCT계산은 48번의 벡터 연산만 요구되고, 6x8 행렬에 의한 DCT계산은 84번의 벡터 연산만이 요구된다. 따라서 제2항의 경우 62.5%의 계산량 이득을 얻을 수 있고 제3항 및 제4항의 경우는 약34.4%의 계산량 이득을 얻을 수 있다. 한편 제5항, 제6항의 경우에도 0으로 양자화되지 않는 주파수 성분들에 대한 DCT 계수 값을 계산할 수 있다. 그러나 이 경우에는 까다로운 구현에 비해 실제 얻어지는 계산량 이득이 없다. 따라서 기존 DCT 행렬을 이용하는 것이 타당하다.

이상의 내용을 바탕으로 본 논문에서는 보다 효율적인 DCT 계산 알고리즘을 제안한다. 제안 알고리즘은 움직임 추정 및 보상 과정에서 얻어지는 SAD가 표 1의 어느 항에 속하는가에 따라 다음과 같이 동작한다.

- 1항일 경우: 기존 방식에서와 같이 DCT 및 양자화 과정을 생략,
- 2항일 경우: 4x8 행렬에 의한 DCT를 수행한 후 양자화 과정을 수행,
- 3,4항일 경우: 6x8 행렬에 의한 DCT를 수행한 후 양자화 과정을 수행,
- 5,6,7항일 경우: 8x8 행렬을 이용한 일반적인 과

정을 수행.

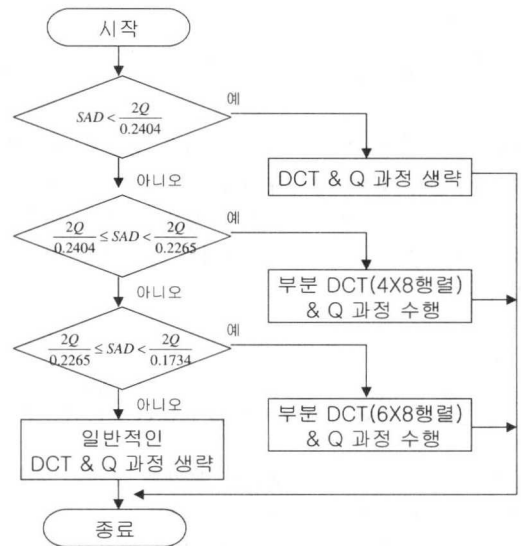


그림 4. 제안 알고리즘의 순서도

그림 4는 제안 알고리즘에 대한 전체 흐름도이다.

차세대 동영상 압축 표준인 h.26L에서는 4x4 블록 기반 2차원 정수형(2D-Integer) DCT를 사용하고, 양자화 과정도 새롭게 정의되었다. 예측 오차 블록에 대한 2D-Integer DCT는 아래와 같이 정의된다.

$$E_l(u,v) = \frac{1}{2} k_u k_v \sum_{x=0}^3 \sum_{y=0}^3 e(x,y) \left[26 \cdot \cos\left(\frac{2x+l}{8} u\pi\right) \right] \left[26 \cdot \cos\left(\frac{2y+l}{8} v\pi\right) \right]$$

$$k_u, k_v = \begin{cases} \frac{1}{\sqrt{2}} & \text{for } u,v = 0 \\ 1 & \text{for } u,v \neq 0 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 []는 반올림 연산을 나타낸다. 식(10)에 기초하여 4x4 블록에 대한 2D-Integer DCT 행렬은 그림 5와 같다.

13	13	13	13
17	7	-7	-17
13	-13	-13	13
7	-17	17	-7

그림 5. 4x4 정수형 DCT 행렬

한편 H.26L에서 DCT 계수에 대한 양자화는 식

(11)과 같이 수행된다.

$$|E_q(u,v)| = \left| \frac{|E_r(u,v) \cdot A(Q_p)|}{2^{20}} + |f| \right|, \begin{matrix} 0 \leq u, v \leq 3 \\ 0 \leq Q_p \leq 31 \end{matrix} \quad (11)$$

여기서, A(QP)는 양자화 파라메타(QP)에 따라 정해지는 양자화 스텝 크기이다.

앞에서 설명한 8x8 DCT에서와 동일한 방식으로 각 주파수 성분이 0으로 양자화 될 조건을 유도하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} C \max(u_m, v_n) &= \frac{1}{2} \left| k_m \cdot k_n \left[26 \cdot \cos\left(\frac{2x+1}{16} u_m \pi\right) \right] \cdot \left[26 \cdot \cos\left(\frac{2y+1}{16} v_n \pi\right) \right] \right|_{\max} \\ SAD &< \frac{(1-f)2^{20}}{A(Q_p)} \frac{I}{C \max(u_m, v_n)} \\ &= \frac{\alpha(Q_p)}{C \max(u_m, v_n)} = Th(u_m, v_n) \end{aligned} \quad (12)$$

표 2는 4x4 DCT에 있어서 SAD값에 따라서 0으로 양자화 되지 않는 주파수 성분들을 정리한 것이다. 표 2에서 볼 때 제 2항의 주파수 성분들은 그림 5에서 점선으로 표시된 2x4행렬을 이용하여 계산될 수 있음을 알 수 있다. 따라서 앞에서 설명한 8x8 블록의 경우와 마찬가지로 4x4 블록을 기반으로 하는 DCT 과정에서도 제안 방식에 의하여 계산량을 절약할 수 있다. 4x4블록의 경우에 SAD에 따른 동작 방식은 다음과 같다.

- 1항일 경우: 기존 방식에서와 같이 DCT 및 양자화 과정을 생략.

표 2. SAD 값에 따른 0이 아닌 양자화 계수의 주파수 성분 분포

분류	범위 조건	양자화된 계수값이 '0'이 아닌 주파수 성분	개수
제 1항	$SAD < \alpha(Q_p)/289$	없음	0
제 2항	$\alpha(Q_p)/289 \leq SAD < \alpha(Q_p)/221$	(1,1),(3,1),(1,3),(3,3)	4
제 3항	$\alpha(Q_p)/221 \leq SAD < \alpha(Q_p)/169$	(1,1),(1,3),(3,1),(3,3),(0,1),(0,3),(1,0),(1,3),(2,1),(2,3),(3,0),(3,2)	12
제 4항	$\alpha(Q_p)/169 \leq SAD$	모든 주파수 성분	16

- 2항일 경우: 2x4 행렬에 의한 DCT를 수행한 후 양자화 과정을 수행.
- 3,4항일 경우: 4x4 행렬을 이용한 일반적인 과정을 수행.

IV. 실험 결과 및 고찰

제안 방식의 우수성을 확인하기 위하여 본 논문에서는 H.263과 H.26L의 압축 방식에 대하여 기존 방식^[11]과 제안 방식의 성능을 비교, 평가하였다. 모의 실험은 QCIF형식의 'Claire', 'Miss America', 'Suzie' 시퀀스에 대하여 수행되었다. 표 3은 H.263 방식에 근거한 8x8 DCT에 대한 실험 결과이다. 양자화 값은 17, 21, 25 로 선택하였으며, 사용된 총 프레임(frame) 수는 100 프레임, 프레임 비율(frame rate)은 15Hz로 하였다.

여기서, M1, M2, 그리고 M3는 DCT 과정이 생략되는 블록 비율, 부분 DCT가 수행되는 블록의 비율, 기존 DCT 방식이 적용되는 블록 비율을 각각 나타낸다. 그리고 M2의 (a)와 (b)는 4x8 부분 DCT 행렬 연산과 6x8부분 DCT 행렬 연산이 수행된 블록 비율이다. 앞에서 언급한 바와 같이 기존 방식은 M2와 M3에 해당하는 블록들에 대하여 기존 DCT를 적용한다. 반면에 제안 방식에서는 M2에 속하는 블록들에 대하여 부분 DCT를 적용한다. 따라서 보다 정확한 성능 평가를 위하여 본 논문에서는 제안 방식에서의 계산량 이득을 식(13)과 같이 정의하였다.

표 3. 8x8 블록에 대한 실험 결과

	QP	17	21	25	
Miss America	M1	61.0	66.6	71.3	
	M2	(a)	1.6	2.0	1.5
		(b)	7.6	7.0	6.8
	M3	29.7	24.3	20.3	
	CS	10.4	12.2	13.0	
Claire	M1	54.1	57.7	64.3	
	M2	(a)	1.3	1.6	2.9
		(b)	6.2	12.2	8.7
	M3	22.2	28.4	24.0	
	CS	8.0	13.5	14.8	
Suzie	M1	28.2	32.1	36.4	
	M2	(a)	1.4	1.4	1.8
		(b)	6.5	8.6	10.4
	M3	63.8	57.9	51.4	
	CS	5.2	6.6	8.6	

CS(%)

$$= \frac{M2에서\ 감소된\ 계산량}{M2\ 와\ M3\ 에서의\ 기존\ DCT\ 계산량} \times 100 \quad (13)$$

표 3에서 볼 때 제안 방식이 평균적으로 약 10% 정도의 계산량 이득을 가져옴을 알 수 있다.

표 4는 H.26L방식에 근거한 4x4 DCT에 대한 실험 결과이다. 양자화 값은 15, 20, 25로 선택하였으며, 사용된 총 프레임 수는 100 프레임, 움직임 추정 및 보상에 사용된 참조 프레임은 5 프레임, 프레임 비율은 30Hz로 하였다. 표 4는 제안 방식에서 약 20%의 계산량 이득이 얻어짐을 보여준다.

표 3과 4의 실험 결과에서 보는 바와 같이 비디오 시퀀스 종류에 따라 결과는 다소 차이가 있지만, 제안 방식이 10-20 %정도의 계산량 이득을 가져옴을 확인할 수 있다. 특히 양자화 값이 증가할수록 성능 개선 비율이 좋아지는 실험 결과로 볼 때, 제안 방식이 저 전송률일수록 기존 방식보다 우수하다는 것을 예상할 수 있다.

표 4. 4x4 블록에 대한 실험 결과

		QP	17	21	25
Miss America	M1		61.0	66.6	71.3
	M2	(a)	1.6	2.0	1.5
		(b)	7.6	7.0	6.8
	M3		29.7	24.3	20.3
	CS		10.4	12.2	13.0
Claire	M1		54.1	57.7	64.3
	M2	(a)	1.3	1.6	2.9
		(b)	6.2	12.2	8.7
	M3		22.2	28.4	24.0
	CS		8.0	13.5	14.8
Suzie	M1		28.2	32.1	36.4
	M2	(a)	1.4	1.4	1.8
		(b)	6.5	8.6	10.4
	M3		63.8	57.9	51.4
	CS		5.2	6.6	8.6

V. 결론

본 논문에서는 고속 동영상 압축을 위한 효율적인 DCT 계산 알고리즘을 제안하였다. 이론적 분석을 통하여 기존의 DCT 계산이 SAD에 따라 여러 가지 유형의 부분 DCT로 분류될 수 있음을 보였다. 이를 토대로 본 논문에서는 기존 8x8블록 기반의 압축 표준뿐만 아니라 4x4 블록 기반의 H.26L

에서도 적용 가능한 효율적인 DCT 계산 알고리즘을 고안하였다. 제안 알고리즘의 우수성을 검증하기 위하여 다양한 Test Sequence에 대하여 모의 실험을 수행하였다. 그 결과, 8x8 블록의 경우에 기존 DCT 계산량의 10%정도가 제안 방식에 의하여 감소됨을 알 수 있었다. 그리고 4x4 블록의 경우에는 약 20%정도의 계산량 감소가 이루어짐을 알 수 있었다. 이러한 사실은 제안 알고리즘이 복원 영상의 화질을 저하시키지 않으면서 효과적으로 압축 속도를 증가시킴을 보여준다. 또한 제안 방식은 부가적인 계산량을 요구하지 않는 이점이 있다.

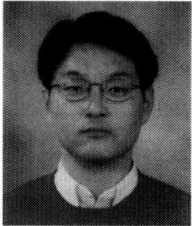
참고 문헌

- [1] ISO/IEC13818-2, *MPEG-2 video*, ITU-T Recommendation H.262, Jan.1995
- [2] ITU-T, *Video Coding for Low Bitrate Communication*, Draft Recommendation H.263, Dec. 1995
- [3] ITU-T, *H.26L Test Model Long-Term Number 9(TML-9)*, Dec. 2001
- [4] J.R. Jain and A.K. Jain, "Displacement measurement and its application in interframe image coding", *IEEE Journal on Selected Articles in Communications*, Vol. 29, pp.1799-1808, 1981.
- [5] M. Bierling, "Displacement estimation by hierarchical block matching", *SPIE*, Vol. 1001, pp. 942-951, 1988.
- [6] W. Li and E. Salari, "Successive elimination algorithm for motion estimation", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 4, No. 1, pp.105-107, 1995.
- [7] H.S. Wang and R.M. Mersereau, "Fast algorithm for the estimation of motion vectors", *IEEE Trans. on Image Processing*, Vol. 8, No. 3, pp.435-438, 1999.
- [8] S.D Chen, Abd. Rahman Ramli, M.R. Mukerjee, "All-Zero-AC block detection using energy preservation theorem for H.263 video coding", *TENCON 2000*, Vol.II, pp.425-430, 2000
- [9] Zhou Xuan, Yu Zhenghua and Yu Songyu, "Method for detecting all-zero DCT coefficients ahead of discrete cosine transformation and quantisation", *Electronics Letters*, Vol. 34, No. 19, pp.1839-1840, Sept. 1998

- [10] L.A Sousa, "General method for eliminating redundant computations in video coding", *Electronics Letters*, Vol. 36, No. 4, pp.306-307, Feb. 2000
- [11] Shi Jun and Songyu Yu, "Efficient method for early detection of all-zero DCT coefficients", *Electronics Letters*, Vol. 37, No. 3, pp.160-161, Feb. 2001
- [12] S.K.Jang, S.D.Kim, J.Lee, G.Y.Choi, and J.b.Ra, "Hardware-software co-implementation of a H.263 video codec", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 46, No. 1, pp. 191-200, Feb. 2000

문 옹 호(Yong-ho Moon)

정회원



1992년 2월 : 부산대학교
전자공학과 졸업
1994년 2월 : 부산대학교
전자공학과 석사
1998년 8월 : 부산대학교
전자공학과 박사

1998년 9월~2001년 8월 : 삼성전자 중앙 연구소
Digital Media Lab. 책임연구원

2001년 9월~현재 : 부산대학교 산업자동화 및
정보통신분야 인력양성 사업단 기금교수
<주관심 분야> 영상처리(정지영상 및 동영상 압축),
VLSI, 신호처리, 신경회로망