

논문 2006-43CI-4-13

# 동영상 대역폭 조절을 위한 DCT 영역의 퍼지 측정값

## ( Fuzzy Measures to Control Video Bit-rate in the DCT Domain )

김 태 용\*

(Tae Yong Kim)

## 요 약

본 연구에서는 DCT 영역에서 퍼지 측정값을 이용하여 동영상의 전송 대역폭을 조절하는 방법을 제안한다. 이 방법은 비트량 할당을 위한 퍼지 측정값과 최소 왜곡을 초래하는 비트량 축소 방법으로 구성되며, 퍼지 측정값은 코드 길이, 불연속 애매성 및 주변 블록의 모멘텀으로 계산된다. 이러한 측정값은 가중치를 곱하여 계산되며 대역폭 축소의 적절한 정도를 나타내며, 이러한 퍼지 애매성을 이용하여 각각의 DCT 블록은 최소 왜곡 방법에 의하여 필터링되어 동영상의 대역폭을 대상 네트워크 환경의 대역폭에 적합하도록 축소한다. 실험에서는 이러한 방법에 의하여 트랜스코딩된 영상의 화질이 시각적 및 양적으로 우월함을 나타내었고, 대역폭이 균일함을 보여준다.

## Abstract

In this paper, we propose a fuzzy method to control bit-rate in the DCT Domain. The method consists of a bit-rate allocation with fuzzy measures and a least-distortion bit-rate reduction. Fuzzy measures are calculated by the code length, the discontinuity ambiguity, and the neighborhood momentum in each DCT block. These measures are summed with weights and form a reduction fuzziness to indicate the degree of preferable reduction. Using the reduction fuzziness, each DCT block is filtered by the least-distortion reduction method to adjust the bit-rate for the target bandwidth. In the experiment, we show the results that the transcoded video quality by the method is better and the bandwidth is more regular than those of existing methods in both visually and quantitatively.

**Keywords:** 퍼지 측정값, 대역폭 조절, 비디오 트랜스코딩.

## I. 서 론

인터넷과 무선 접속 환경의 급속한 발달로 네트워크를 통한 멀티미디어 자료의 전송이 증가하고 있다. 그러나 많은 동영상 자료는 큰 대역폭을 필요로 하는 고화질로 압축되어 있고 ATM, TCP/IP, PSTN 등의 다양한 이질적인 네트워크가 서로 연결되어 있기 때문에 동영상 서비스에 필요한 대역폭을 보장하기 어렵다. 따라서 동영상의 비트율을 출력단의 대역폭으로 세밀하게 조절하는 방법이 필요하게 되었다<sup>[1]</sup>. 동적인 비트율 조절은 동영상 압축 표준<sup>[2]</sup>에서 스케일 코딩방법으로 제

안되어 있으나, 항상 레이어 개수의 한계로 삼 단계까지만 지원되고 있으며<sup>[3]</sup>, 많은 응용 분야는 이보다 정밀한 비트율 조절을 필요로 하고 있다.

트랜스코딩 비율을 정확하게 유지하기 위한 방식은 디코더와 인코더를 직렬로 연결하여 허용 대역폭에 맞도록 다시 인코딩하는 방법이 있다<sup>[4]</sup>. 하지만 입력 동영상을 픽셀 단위로 까지 디코딩한 후 파라미터를 조절하여 다시 인코딩해야 하며 많은 메모리 및 계산시간을 필요로 하므로 실시간 응용분야에서는 비효율적이다. 이러한 비효율성을 보완하기 위하여 압축된 동영상을 부분적으로 디코딩하여 DCT(Discrete Cosine Transform) 영역의 계수를 활용하는 방식인 저주파 통과 필터 및 제약자화 기법 등이 제안되었다<sup>[5]</sup>. 최근의 동영상 코딩에 관련된 연구는 비트율과 왜곡의 관계를 가정하고 마크로 블록 단위의 비트 할당을 수행하는

\* 정회원, 중앙대학교 첨단영상대학원  
(GSAIM Chung-Ang University)

※ 본 연구는 서울시 산학연 협력사업과 정보통신부의 ITRC 사업의 지원으로 수행되었음.

접수일자: 2006년1월4일, 수정완료일: 2006년6월29일

문제를 주로 다루고 있으며<sup>[6,7]</sup>, 프레임 누락을 위주로의 단순한 트랜스 코딩<sup>[8]</sup>, 비트율 할당을 위한 스케일링 방법<sup>[9,10]</sup>, 영상의 복잡도에 기반한 양자화 기법<sup>[11]</sup> 등의 연구도 제안되고 있다. 이러한 연구들은 압축된 동영상의 공간적인 정보를 거의 반영하지 않고 있으며, 분산이나 움직임 벡터의 차분 등 단순한 정보를 기반으로 트랜스코딩을 수행하므로 변환된 영상의 화질이 저하되는 문제점을 가지고 있다.

저자의 이전 연구<sup>[12,13]</sup>에서는 내용기반 트랜스코딩 방법을 제안하였으나 출력 비트율을 예측하는데 문제가 있었다. 본 연구에서는 DCT 영역에서 퍼지 측정값을 이용한 동영상 비트율 조절 방법과 최소왜곡 필터링 방법을 제안한다. 퍼지 측정값은 각각의 DCT 블록에서 코드 길이, 불연속 애매성 및 주변 블록 간의 모멘텀을 사용하여 계산되며, 이러한 측정값은 가중치를 사용하여 합하여 어느 정도 축소가 가능한가를 나타낸다. 이러한 압축 애매성을 사용하여 DCT 블록마다 할당된 비트율로 축소를 하기 위하여 최소 왜곡 필터링 방법을 사용하여 출력 대역폭에 맞도록 압축한다. 이러한 방법은 DCT 블록에서 수행되므로 매크로 블록 방법보다 섬세하고 정확한 비트율 조절이 가능하며, 다른 방법보다 같은 대역폭에서는 좋은 화질을 유지하고, 같은 화질에서는 적은 대역폭을 사용하며 빠른 처리가 가능하다.

II 장에서는 기존의 비트율 조절 기술을 살펴보고 최소 오류 필터링 방법을 제안한다. III 장에서는 DCT 영역에서 대표 불연속을 찾는 저자의 기존 연구<sup>[13]</sup>를 간단히 살펴보고, IV 장에서 퍼지 측정값과 퍼지 비트율 할당 방법을 제안한다. V 장에서는 실험 결과와 분석을 나타내었으며, VI 장에 결론과 향후 계획을 서술하였다.

## II. 비트율 조절과 DCT 블록 필터링

트랜스코더의 주요 기능 중 하나는 처음 코딩할 당시에는 알 수 없었던 현재의 가용 대역폭으로 압축되어 있는 동영상의 비트율을 조절하는 것이다. 비트율을 조절하기 위해서는 허용된 대역폭에 맞도록 각각의 DCT 블록을 필터링하여야 한다. 이 장에서는 기존의 비트율 제어 기법을 간략히 살펴보고, 최소 오류 필터링 방법을 제안한다.

### 1. 비트율 조절

비트율 조절 문제는 다음과 같은 두 단계로 구분할 수 있다.

1. 영상의 복잡도나 버퍼의 점유율에 따라서 각각의 프레임에 허용 비트수 할당 (프레임 레이어 비트율 조절, frame-layer rate control).
2. 각각의 DCT 블록에 실질적인 비트수를 할당하고 전체 영상의 총 비트수가 목표에 적합하도록 조절 (블록 레이어 비트율 조절, block-layer bit allocation).

블록 레이어 비트수 할당에서의 주요 목적은 화질의 왜곡은 최대한 줄이면서 각 DCT 블록의 비트수를 할당된 양만큼으로 줄이는 것으로 AC 성분을 효과적으로 필터링하는 방법이 많이 사용되고 있다. 블록 레이어의 비트율 할당 문제는 다음과 같이 정의할 수 있다.

비트율할당 문제(Bit-rate allocation problem)  $N$  개의 DCT 블록을 갖는  $t$  프레임 영상에 대해 현재  $R_t$  비트로 압축된 대역폭을 허용 대역폭  $B_t$ 로 줄일 경우 각 DCT 블록에서의 축소 비트는  $\Delta R_t = \{\Delta r_0, \Delta r_1, \dots, \Delta r_{N-1}\}$ 로 정의되며,  $R_t - \Delta R_t = R_t - \sum_{i=0}^{N-1} \Delta r_i \leq B_t$ 의 조건을 만족하면서 화질의 왜곡을 최소화할 수 있어야 한다.

이러한 비트율 할당 문제를 해결하기 위하여 Lagrangian 최적화 기법<sup>[14,15]</sup>, 다이나믹 프로그래밍 기법<sup>[16,17]</sup> 등이 제안되었으나, 이 방법들은 비트율 할당 전에 왜곡의 정도를 분석하기 위하여 미래의 프레임에 대한 가정과 분석이 필요하였으며 인코더를 복잡하게 만들었다. 또한 프레임간의 상관관계를 계산하기 위해서는 많은 계산을 필요로 하여 실시간 인코딩이 어려웠으며<sup>[18]</sup>, 블록의 콘텐츠를 반영하지 않고 균일한 파라미터를 사용하여 블록을 필터링함으로써 시각적인 왜곡을 많이 초래할 수 있었다<sup>[19]</sup>.

### 2. 저주파 통과 필터링

비트영역에서의 코드는 가변 길이 방식으로 표현되며 코드 디코딩과 역 양자화에 의하여 DCT 계수를 얻을 수 있다. 이 DCT 영역에서의 저주파 통과 필터링은 할당된 대역폭을 맞추기 위하여 DCT 고주파 성분을 제거하는 방법으로 압축영역에서 런-길이 코드워드를 곧바로 사용할 수 있다. 즉 할당된 대역폭에 적합하도록 마지막 코드워드에서 시작하여 연속된 0이 아닌 런-길이 코드를 제거하면 비트율을 축소할 수 있다. 현재

의  $i$  번째 DCT 블록의  $L$  코드워드 집합이  $C_i = c_1, \dots, c_L$  로 구성되어 있을 때 LPF(Low-Pass Filtering)는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{C}_i = c_1, \dots, c_j, \quad \sum_{k=j+1}^L \text{Length}(c_k) \geq \Delta r_i \quad (1)$$

여기에서  $\hat{C}_i$ 는 필터링된 코드워드의 집합이며  $j$ 는 필터링 후 마지막 코드워드이다.

### 3. 최소왜곡 필터링

인간 눈의 시간-공간 패턴에 대한 감지력은 고주파 성분으로 갈수록 떨어진다. 최소왜곡 필터링(Least-Distortion Filtering, LDF)에서는 시각적 중요도에 의하여 수립된 MPEG의 기본 양자 매트릭스를 이용하여 DCT 계수를 나눈다. 이렇게 나누어진 DCT 계수는 시각적 중요도와 깊은 연관이 있으며, 시각적 인지와 관련된 고주파의 영향은 줄이고 저주파의 영향은 상대적으로 증가시킨다. 또한 DCT 블록에 주요한 특징이 있을 경우 저주파 계수의 크기는 고주파 계수 크기에 비하여 상대적으로 큰 영향력을 나타내므로 이러한 나누기는 PSNR이나 DVQ(Digital Video Quality)<sup>[20]</sup>와 같은 품질측정 계수를 향상시킨다.

MPEG 매트릭스로 DCT 계수를 나눈 후 코드워드의 레벨의 크기에 따라 내림차순으로 정렬하고 이를 대상으로 LPF와 같은 원리의 필터링을 수행한다. 정렬된  $i$  번째 DCT 블록의  $L$  코드워드 집합이  $\tilde{C}_i = \tilde{c}_1, \dots, \tilde{c}_L$  로 구성되어 있을 때 LDF는 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{C}_i = \{c_1, \dots, c_j\}, \quad \sum_{k=j+1}^L \text{Length}(\tilde{c}_k) \geq \Delta r_i \quad (2)$$

여기에서  $\{c_1, \dots, c_j\}$ 는 원래순서의 코드워드이고,  $\{\tilde{c}_1, \dots, \tilde{c}_j\}$ 는 정렬된 코드워드,  $\hat{C}_i$ 는 필터링된 코드워드

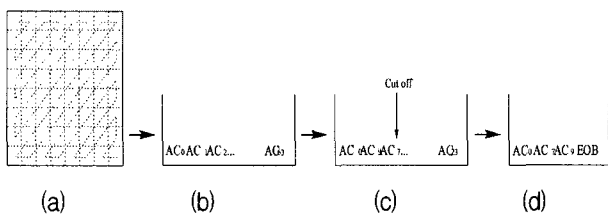


그림 1. 최소왜곡 필터링 절차: (a) 2차원 DCT 계수, (b) 지그재그 스캔 후의 DCT 순서, (c) 코드워드 크기로 정렬 후 순서, (d) LDF 후의 DCT 계수  
Fig. 1. Sequence of processing for the least-distortion filtering.

의 집합이다. LDF에서 코드워드는 시각적 중요도를 기반으로 필터링되었으므로 LPF의 코드워드보다 덜 왜곡되며, LDF의 수행 과정을 (그림 1)에 나타내었다.

## III. DCT 영역에서의 불연속 검출

영상의 내용을 이해하기 위해서는 물체의 경계가 중요한 근거를 제시하기 때문에 공간 영역에서 물체의 경계를 추출하는 연구가 많이 진행되어 왔다. 하지만 압축되어 코딩된 동영상을 디코딩하고 경계를 찾는 작업은 많은 계산 시간을 필요로 하므로 DCT 영역에서 특징을 추출하는 연구도 많이 진행되어 왔다<sup>[21,22]</sup>.

본 장에서는 DCT 영역에서 대표적인 불연속을 검출하는 저자의 이전 연구<sup>[13]</sup>를 간단히 소개하고 실시간 처리가 가능하도록 변경한 내용을 제안한다.

### 1. DCT 영역에서 불연속의 회전

DCT는 JPEG과 MPEG의 표준으로서 공간 중복의 제거로 압축을 수행하는데, 8x8 공간 픽셀에 적용되어 압축의 첫 단계에서 수행되며, 압축 해제시 마지막으로 IDCT(Inverse DCT)가 수행된다. 8x8 픽셀에 적용되는 DCT와 IDCT의 수학적 정의는 다음과 같다.

$$F(u, v) = \frac{1}{4} C(u)C(v) \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 f(i, j) \cos \frac{\pi u(2i+1)}{16} \cos \frac{\pi v(2j+1)}{16} \quad (3)$$

$$f(i, j) = \frac{1}{4} \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 C(u)C(v)F(u, v) \cos \frac{\pi u(2i+1)}{16} \cos \frac{\pi v(2j+1)}{16}$$

여기에서  $u, v=0$ 일 때  $C(u), C(v) = 1/\sqrt{2}$ , 그 이외에는 1이다.

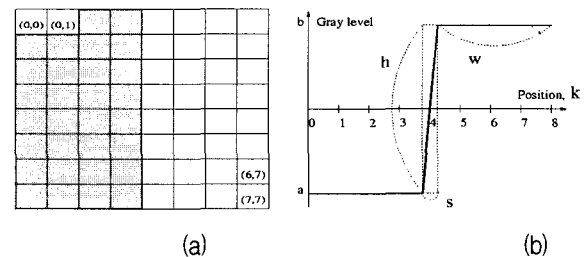


그림 2. 이상적인 불연속 경계 모델 : (a) 공간 영역에서의 8x8 블록과 좌표, (b) 수평축에 따른 밝기값 변화와 불연속의 높이(h) 및 위치(k)  
Fig. 2. An ideal step discontinuity model.

(그림 2)의 (a)는 공간 영역에서의 이상적인 경계 불연속의 변화와 공간 및 주파수 영역의 좌표를 나타낸다. 8x8 블록의 밝기값은 식(3)의  $j=3$ 과  $j=4$  사이에서 변화하며,  $j=0, 1, 2, 3$  위치에서  $f(i,j)=a$ 와  $j=4, 5, 6, 7$  위치에서  $f(i,j)=b$ 로 수식화되며 그 크기는  $-127 \leq f(i,j) \leq 127$ 이며 불연속의 크기는  $h = |b - a|$ 이다. 이러한 경우  $F(0,v)$ 의 DCT 계수만 0이 아닌 값을 가지며 나머지 계수는 0으로 표현된다. 수평축으로 절단했을 경우의 밝기 변화를 (그림 2)의 (b)에 나타냈었다.

DCT 영역에서의 불연속이 그림과 같이 수직으로 균일하게 나타날 수만은 없기 때문에 이상적인 경계 모델과 비교하기 위하여 먼저 DCT 블록 내부의 대표적인 불연속을 회전시켜야 한다. 불연속 경계의 미분의 방향을  $\tan^{-1}(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x})$ 와 같이 정의하고  $\tan^{-1}(\sum_{u=1}^7 |F(u,0)| / \sum_{v=1}^7 |F(0,v)|)$ 로 이산화하면 최대 19% 이내의 오류로 경계방향을 검출할 수 있다<sup>[13]</sup>.

$90^\circ$ 의 배수의 회전은 DCT 계수의 부호를 바꿈에 의하여 쉽게 얻을 수 있으며, 그 외의 방향은 전단 변형 연산(shearing)에 의하여 처리할 수 있다<sup>[21]</sup>. 이 전단 변형 연산은 열 추출과 열 이동 연산의 결합으로 가능하며, 다음의 식으로 정의된다.

$$f_s = \sum_i w_i f s_i, \quad F_s = \sum_i W_i F S_i \quad (4)$$

여기에서,  $f$ 는 공간 영역의 블록이고,  $w_i$  매트릭스는  $i$  번째 열을 추출하고,  $s_i$ 는 1차원으로 이동시키는 매트릭스이다.  $F, W_i, S_i$ 는 각각 공간 영역에 대응하는 DCT 영역에서의 매트릭스이다<sup>[23]</sup>. 식 (4)에서와 같이 DCT 영역에서의 전단 변형 연산은 공간 영역에서와 같이 직교 변환의 배분 성질을 단순히 적용함으로써 얻을 수 있고,  $W_i$  및  $S_i$ 는 미리 계산하여 사용할 수 있다.

## 2. 불연속 정렬 및 높이 평가

중심 위치( $k=4$ )는 이미 알고 있는 이상적인 경계 모델과 비교하여 각종 모델 파라미터를 계산하기 쉬운 위치이므로, 임의의 불연속 위치( $1 \leq k \leq 7$ )를 중심 위치로 이동시킨 것을 정렬이라고 정의한다. 이러한 위치 정렬을 위하여 DCT 계수에 보상 주파수를 가감하여 주는데, 이는 공간 영역에서의 위치 이동과 같은 효과를 나타낸다. 보상 주파수는  $c_k(h,v) = F_4(0,v) - F_k(0,v)$

에 의하여 얻어지는데, 여기에서  $F_k$ 는 불연속의 위치가  $k$ 일 경우의 DCT 계수를 나타낸다.  $F_3$ 의 경우를 유도하여 정리하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} c_3(h,v) &= F_4(0,v) - F_3(0,v) \\ &= -\frac{2}{\sqrt{2}} h \cos \frac{7\pi v}{16} \end{aligned} \quad (5)$$

다른 위치의 나머지 보상 주파수 성분도 식(5)의 방법에 의하여 유도되며, 이러한 보상 주파수를 이용하여 보상된(위치가 중심으로 이동된) DCT 계수는  $\hat{F}_k(0,v) = F(0,v) + c_k(h,v)$ 와 같은 식에 의하여 얻을 수 있다. 여기에서  $h$ 는 불연속의 높이이고,  $\hat{F}_k(0,v)$ 의  $k$ 는 보상하기 전의 불연속 경계가 있는 위치를 나타낸다. 그렇지만 아직 불연속 경계의 위치  $k$ 는 알 수 없으므로 정렬의 정당성을 검증하여야 한다.

위치 검증을 위하여 블록의 수직축을 중심으로 플립하고 부호를 바꾼 원점 대칭의 특성을 사용한다. 공간 영역에서 입력 블록을  $f(i,j)$ 라 하고 출력 블록을  $g(i,j)$ 라 할 때, 원점 대칭은  $g(i,j) = -f(i,7-j)$ 로 표현된다. 주파수 영역에서 입력 블록을  $F(u,v)$ 라 하고, 출력 블록의 계수를  $G(u,v)$ 로 나타낼 때 주파수 영역에서의 원점 대칭은  $G(u,v) = -\cos(\pi v)F(u,v)$ 과 같이 구해진다. 원점 대칭은  $G(u,v) = -\cos(\pi v)F(u,v) = F(u,v)$ 로 나타나므로, 만약 블록의  $k$  위치에 불연속 경계가 있었을 경우  $\hat{F}(0,2), \hat{F}(0,4), \hat{F}(0,6)$ 의 DCT 계수들은 모두 0이 되어야 한다. 또한, 정렬된 DCT 계수에서의 불연속의 모양은  $\hat{F}(0,1), \hat{F}(0,3), \hat{F}(0,5)$  및  $\hat{F}(0,7)$  들의 값에 따라서 정의되어 진다. 따라서 검증 평가식을 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$D_k = \hat{F}_k(0,2)^2 + \hat{F}_k(0,4)^2 + \hat{F}_k(0,6)^2 \quad (6)$$

여기에서  $k=1, 2, \dots, 7$  이고, 원래의 불연속 위치  $k$ 는 보상된 DCT 계수와 평가식  $D_k$ 에 의하여 고정된 높이  $h$ 에 의하여 평가받는다. 만약 이상적인 불연속 경계가 존재하고 정확한 높이일 경우 해당 위치에서 식(6)의 평가식이 0이 되어야 하고, 임의의 높이를 사용했을 경우에는 해당 위치에서 평가식  $D_k$ 가 최소가 되기 때문에 위치  $k$ 를 찾을 수 있다.

정렬 평가 방법에 의하여 위치  $k$ 를 얻은 후, 평가 함수  $D_k$ 는 확인된 위치  $k$ 를 대입하여 간략화 할 수 있다. 코사인 함수는 우함수이며 주기함수이고,  $f(0,j)$  값은 표준모델의 정의에 의하여  $a$  혹은  $b$ 로 정하였으므로, 파

라미터  $h$ 에 의한 특정 위치  $k$ 에서의  $D_k$ 는 다음과 같이 전개된다.

$$D_k(\tilde{h}) = \widehat{F}_k(0,2)^2 + \widehat{F}_k(0,4)^2 + \widehat{F}_k(0,6)^2 = (\tilde{h}-h)^2(\alpha_{k_2}^2 + \alpha_{k_4}^2 + \alpha_{k_6}^2) \quad (7)$$

여기에서  $\tilde{h}$ 는 검출된 실제 높이이고,  $c_k(h,v)$ 는  $k$  위치에서 식 (5)에 의한 보상 주파수이며,  $\alpha_{k_2}$ ,  $\alpha_{k_4}$  및  $\alpha_{k_6}$ 는 위치  $k$ 에서 주파수로 전개된 상수이다.

전단 변형이나 회전에 의하여 경계의 방향을 수직으로 변환한 후, 정렬에 의하여 경계의 위치를 찾고, 높이를 평가한다. 식 (7)과 같이 높이는 파라미터에 따라 2차 함수 형식으로 변화하므로 기울기 강하(gradient descent) 방법<sup>[24]</sup>을 사용하여 빠르고 잡음에 강하게 구현할 수 있다. 즉, 높이 임계값이 주어진 경우,  $D_k$  기울기 부호가 음이면 블록에 있는 경계의 높이가 임계값보다 높고, 기울기 부호가 양이면 경계의 높이가 임계값보다 적어서 검출되지 않는다. 이러한 원리를 이용하면 식 (6)의 평가식에 의하여 정렬 평가와 높이 판별이 동시에 이루어 질 수 있다.

#### IV. 퍼지 측정값과 비트율 할당

정보이론(information theory)에 바탕을 둔 비트수 할당 방법은 “DCT 계수는 가우스 분포<sup>[25]</sup> 혹은 라플라스 분포<sup>[9]</sup>로 상관관계를 가지고 있으며 코딩된 비트율은 엔트로피 이론을 따른다”라는 가정을 바탕으로 한다. 그러나 움직임 보상된 P 혹은 B 프레임의 엔트로피나 왜곡 분포는 일반적으로 가정하기 어렵고 이론적인 엔트로피와 실제 비트율 사이에는 많은 차이가 있다<sup>[26]</sup>.

본 장에서는 DCT 블록 레이어 비트 할당 문제를 해결하기 위하여 퍼지 비트 할당 방법을 제안한다.

##### 1. 불연속 애매성

일반적인 경계 검출 방법은 잡음으로부터 최적의 경계를 찾기 위해 평활화, 미분, 이원화 과정을 수행한다. 잡음은 영상을 취득하는 과정에서 회절, 산란, 렌즈 수차, 물체의 움직임, 초점 오류 등에 의하여 발생하므로 공간 영역의 경계 검출 방법에서 조차 정확한 경계 위치에 애매성을 가지고 있다.

DCT 영역에서의 불연속 검출은 이상적인 계단 경계가 직선적으로 한 8x8 DCT 블록 안에서 연결되어 있다는 가정을 가지고 있으며, 이러한 가정과 실제 경계

의 차이점을 정확히 모델링하기 어려우므로 본 연구에서는 관찰된 결과의 애매성을 표현할 수 있는 퍼지 측정값을 도입한다.

만약 DCT 블록에 이상적인 계단 불연속이 존재할 경우 유도된 높이  $\tilde{h}$ 는 애매성이 없을 것이며 식 (7)의  $D_k(\tilde{h})$ 는 0이 되어 한다. 만약 DCT 블록의 대표적인 불연속의 높이가 크고 애매성이 적을 경우에는 시각적으로 중요하므로 해당 주파수 성분은 보존되어야 한다. 반면에 대표적인 불연속의 크기가 작고 애매성이 큰 경우 시각적인 영향력은 적어진다. 따라서 0이 아닌  $D_k(\tilde{h})$ 의 값은 이상적인 불연속과의 차이, 비선형 등의 애매성을 반영한다. 이상적인 경계를 가진 DCT 블록의 고주파 성분은 시각적인 인지를 위하여 보존되어야 하며 뭉뚱하거나 애매한 불연속의 고주파 성분은 제거되어도 시각적인 왜곡을 적게 초래한다. 이와 같은 분석을 반영하여  $i$ 번째 DCT 블록의 애매성  $E_i$ 와 불연속 특징의 애매성 퍼지 측정값  $\mu_1$ 은 다음과 같은 식으로 정의 된다.

$$E_i = \sqrt{D_i(\tilde{h})} \\ h' = \tilde{h} \times (1 - E_i / E_{max}) \\ \mu_1 = \begin{cases} 1 - h' / h_\alpha, & \text{if } h' < h_\alpha \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (8)$$

여기에서  $E_{max}$ 는 한 프레임에서의 최대 애매성을 나타내며, 퍼지 측정값  $\mu_1$ 은 DCT 블록의 축소 가능 정도를 나타낸다. 밝기값의 급격한 변화는 시각적인 인지에 매우 중요하므로 보존되어야 할 경험적인 최소 인지 높이  $h_\alpha$ 를 사용하였으며, 식(8)에서 정의한  $\tilde{h}$ 과  $\mu_1$ 사이의 관계를 (그림 3) (a) 표시하였다.

색상을 표시하는 블록의 경우 계수가 불연속의 높이와 관계가 없기 때문에 색상(chrominance) DCT 블록

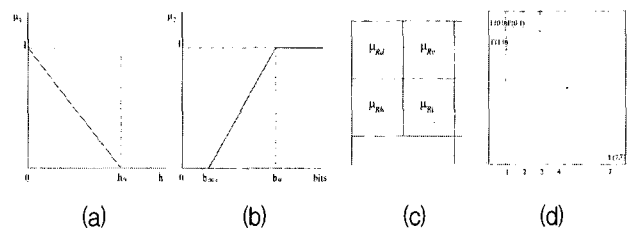


그림 3. DCT 블록의 퍼지 측정값과 주변 블록: (a) 불연속 애매성을 위한 퍼지 측정값, (b) 코드길이 충분성을 위한 퍼지 측정값, (c)  $i$ 번째 블록을 위한 주변 블록, (d) 불연속 위치를 위한 DCT 계수

Fig. 3. Fuzzy measures for a DCT block and neighborhood labeling for block momentum.

의  $\mu_1$ 은 같은 마크로 블록에 있는 밝기(luminance) 블록의 평균을 사용한다.

2. 코드길이 충분성

블록 레이어 비트 할당에 있어서 DCT 블록의 최소 코드 길이는 중요한 제약조건으로 작용한다. 만약  $i$ 번째 DCT 블록의 축소 비트( $\Delta r_i$ )가 실제 비트보다 크다면 목표 대역폭에 맞추는 것은 불가능하므로 충분한 실제 비트수를 가지고 있는 DCT 블록만 축소하기 위하여 코드 길이의 충분성을 나타내는 퍼지 측정값  $\mu_2$ 를 다음과 같이 정의한다.

$$\mu_2 = \begin{cases} 0, & \text{if } b_i < b_{\min} \\ 1, & \text{if } b_i > b_\alpha \\ (b_i - b_{\min}) / (b_\alpha - b_{\min}), & \text{otherwise} \end{cases} \quad (9)$$

여기에서  $b_i, b_{\min}, b_\alpha$ 는 각각  $i$ 번째 DCT 블록의 현재 비트수, MPEG 표준의 DCT 블록의 최소 비트수, 축소하기에 충분한 비트수를 나타낸다. 보통  $b_{\min}, b_\alpha$ 는 동영상에 따라 고정값을 가지며,  $b_i$ 와  $\mu_2$ 사이의 관계를 (그림 3) (b)에 나타내었다. 만약  $b_i$ 가  $b_{\min}$ 보다 작을 경우  $\mu_2$ 는 0이 되어 더 이상 축소할 수 없음을 나타낸다.  $b_i$ 가 예측된 충분한 길이  $b_\alpha$ 보다 클 경우에  $\mu_2$ 는 1이 되어 DCT 블록이 충분히 축소 가능함을 나타낸다.  $b_\alpha$ 는 MPEG-1이나 MPEG-2 같은 압축 표준에 따라 실험적으로 구해진다.

3. 주변 블록의 모멘텀

압축 영역에서의 동영상 처리는 DCT 블록이 기본이 되므로 고주파 성분의 제거나 축소는 블록간의 왜곡을 초래한다. 인접 블록간의 축소 정도의 차이를 줄이기 위하여 인접 블록의 축소 정도를 반영하는 모멘텀을 퍼지 측정값으로 도입하였다. (그림 3) (c) 에서와 같이  $i$  번째 DCT 블록의 주변 블록을 대각선(d), 수직(v), 수평(h) 방향으로 정의하였을 때 주변 블록과의 모멘텀을 나타내는 평균 퍼지 측정값은 다음과 같이 정의 된다.

$$\mu_3 = (\mu_{R_d} + \mu_{R_v} + \mu_{R_h}) / 3 \quad (10)$$

퍼지 모멘텀은 인접 DCT 블록의 축소가능성을 평균하여 현재의 DCT 블록의 축소가능도를 반영하므로 블록간의 차이를 줄일 수 있어 블록간 왜곡을 감소시킨다.

4. 퍼지 비트수 할당

본 연구에서는 블록 레이어의 비트율 감소 정도를 나타내는 축소 애매성(reduction fuzziness)을 세 가지 퍼지 측정값을 가중 평균한 것으로 정의하며, 이는 퍼지 평균 필터<sup>[27,28]</sup>의 변형으로 활용하였다.

$$\mu_{R_i} = w_1\mu_1 + w_2\mu_2 + w_3\mu_3 \quad (11)$$

여기에서  $\sum_i w_i = 1$ 이며, 가중치  $w_i$ 는 영상의 화질과 비트율의 균질성 사이의 조정 인자로 사용될 수 있다. 큰  $w_1$ 은 시각적인 화질을 향상시키며,  $w_3$ 을 크게 하면 블록간 왜곡을 줄일 수 있다. 반면에  $w_2$ 는 코드 길이의 충분성을 강조할 수 있으므로 출력단의 비트율을 균일화하는 역할을 한다.

이러한 축소 애매성을 사용하여 DCT 블록의 비트율을 할당할 수 있다. 비트수 할당 문제에서 정의된 바와 같이  $N$  개의 DCT 블록을 갖는  $t$  프레임 영상에 대해 현재  $R_t$  비트로 압축된 대역폭을 허용 대역폭  $B_t$ 로 줄일 경우 각 DCT 블록에서의 축소량  $\Delta R_t = \Delta r_0, \Delta r_1, \dots, \Delta r_{N-1}$ 를 결정하여야 한다.  $t$  프레임에서의 축소량은  $\Delta R_t = R_t - B_t = \sum_{i=0}^{N-1} \Delta r_i$ 로 계산되며, 예상 목표 대역폭은  $B_t = N_t + (B_{t-1} - O_{t-1})$ 로 예측될 수 있다. 여기에서  $N_t$ 는 네트워크의 현재 대역폭이고,  $O_t$ 는 트랜스코더에 의하여 감소되어 실제로 출력된 대역폭이다. 이러한 각각의 표현 및 대역폭 예측 방법을 (그림 4)에 나타내었다.

$i$ 번째 DCT 블록의 축소 비트수  $\Delta r_i$ 를 할당하기 위해서  $t$  프레임의 전체 축소 애매성  $\mu_{A_t}$ , 전체 축소 비트수  $\Delta R_t$ , 블록의 축소애매성  $\mu_{R_i}$  등을 사용하여 다음과 같은 식을 정의 하였다.

$$\mu_{A_t} = \sum_{i=0}^{N-1} \mu_{R_i} \quad (12)$$

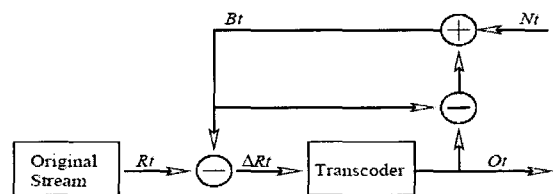


그림 4.  $t$  프레임의 비트율 조절을 위한 절차  
Fig. 4. Bit-rate control sequence for the  $t$  frame.

$$\Delta r_i = \mu_{R_i} (\Delta R_t / \mu_{A_t}) \tag{13}$$

5. 비트율 적용

퍼지 측정값을 이용한 동영상 I-프레임의 비트율 제어 절차를 요약하면 다음과 같다.

첫 단계에서는 한 프레임의 모든 코드워드를 읽어서 각 DCT 블록의 퍼지 측정값과 축소 애매성 계산

1. MPEG 동영상으로부터 각 블록의 DCT 계수 습득
2. 각 DCT 블록에 대한 세 가지 퍼지 측정값  $\mu_1, \mu_2, \mu_3$  계산, 색상 블록의  $\mu_1$ 은 같은 마크로 블록의 밝기 블록의 평균으로 계산
3. 식 (11)을 이용하여 축소 애매성  $\mu_{R_i}$  계산, 식 (12)를 이용하여 전체 축소 애매성  $\mu_{A_t}$  계산

두 번째 단계에서는 모든 코드워드를 다시 읽으면서  $\mu_{R_i}$ 와  $\mu_{A_t}$ 를 이용하여 각 DCT 블록의 비트 조절

4. 식 (13)을 이용하여 각 DCT 블록에  $\Delta r_i$  할당
5. 목표 대역폭으로 조절하기 위하여 LPF 혹은 LDP 수행
6. 트랜스코딩된 동영상을 네트워크로 전송

본 연구에서 사용한 트랜스코딩 방법은 입력 동영상을 런-길이의 코드워드 단계까지 부분적으로 디코딩하였고, 헤더나 움직임 정보는 그대로 보전된다. 오류에 따른 움직임 보상 방법<sup>[9]</sup>을 보완하여 적용하면 B, P 프레임에서의 오류를 감소시킬 수 있을 것이다.

V. 실험

실험에서는 본 연구에서 제안된 트랜스코딩 방법을 두 개의 실험 영상 "Garden"과 "Tennis"에 적용하였으며, 이들은 MPEG-1 표준의 {I B B P B B} 구조로 압축되어 있다. 식 (8)의 높이 애매성 측정을 위하여  $h_\alpha = 64$ , 식 (9)의 코드 길이 충분성을 위하여 MPEG-1 표준의 오버헤드를 감안하여  $b_\alpha = 200$ ,  $b_{min} = 7$ 을 실험적으로 사용하였다. 시간적 트랜스코딩 (P, B 프레임 삭제)과 공간적 트랜스코딩(LFP, LDP)을 결합하여 높은 비율로 축소하였다. 시간적 삭제 트랜스코딩과 결합하여 모든 공간적 필터링을 방법은 I-프레임이 50%로 축소되었을 때 전체적으로 "Garden" 영상은 80%, "Tennis" 영상은 78%의 압축률을 유지하여 비

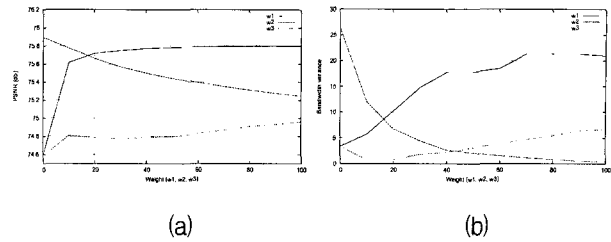


그림 5. "Tennis"영상에서 다른 파라미터를 고정시키고 가중치만 변화시켰을 경우의 PSNR과 대역폭: (a) 가중치에 따른 PSNR 변화, (b) 가중치에 따른 대역폭 변화

Fig. 5. Variations of average PSNR and bandwidth variance according to values of each weight for Tennis test video when the others are fixed.

교 분석하였다.

PSNR과 함께 인간의 공간이나 색체에 대한 시각적 민감성을 제안한 Watson<sup>[20]</sup>의 DVQ(digital video quality)도 프레임 삭제 기능을 반영할 수 있도록 시간적 필터기능을 제외하여 단순하게 구현하여 평가하였다. 단순화된 SDVQ(Simplified DVQ)의 Minkowski 거리를 위하여  $\beta = 4$ 를 사용하였으며, PSNR은 높을수록, SDVQ는 작을수록 좋은 화질을 나타낸다.

실험에서는 세 가지 종류의 필터링 방법을 적용하였으며, LPF-CBA (Low-Pass Filtering method with Constant Bit Allocation)은 모든 DCT 블록에 균일한 비트수를 할당하여 LPF를 수행한 경우, LPF-FBA (Low-Pass Filtering method with Fuzzy Bit Allocation)은 퍼지 비트수 할당 후 LPF를 수행한 경우, LDF-FBA (Least-Distortion Filtering with Fuzzy Bit Allocation)은 본 연구에서 제안한 퍼지 비트수 할당과 최소 왜곡 필터링을 수행한 경우를 의미한다.

식 (11) FBA 가중치의 역할을 분석하기 위해서 그에 따른 PSNR과 대역폭의 변화를 (그림 5)에서 분석하였다. (그림 5) (a)와 같이 PSNR은  $w_2$ 가 증가함에 따라 감소하고,  $w_1, w_3$ 가 증가함에 따라 같이 증가함을 알 수 있다.  $w_3$ 는 주변 블록의  $\mu_R$ 을 반영하는 정도를 나타내는 것으로, 이 값의 증가는 대표적인 불연속을 보존하는  $w_1$ 에 비하여 PSNR을 약간만 향상시킨다.

특정한 DCT 블록의 경우 할당된 비트수만큼 축소시킬 수 없는 경우가 발생할 수 있으므로 코드 길이 충분성( $\mu_2$ )과 관련된  $w_2$ 의 변화는 대역폭의 표준편차에 큰 영향을 미친다. (그림 5) (b)에서와 같이 큰  $w_2$ 은 출력 대역폭을 안정화시킴을 알 수 있다. 따라서 세 가지 가

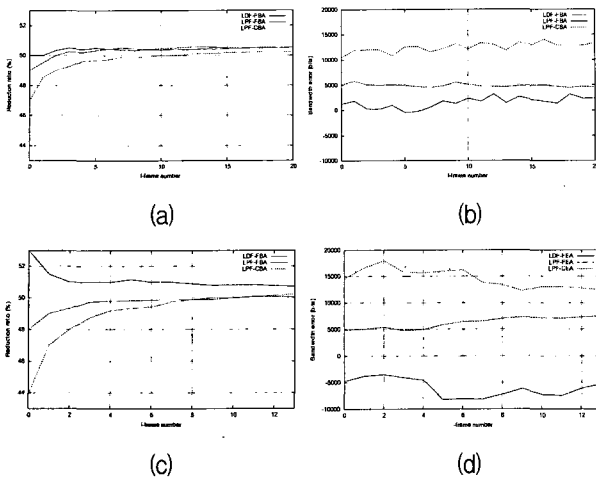


그림 6. "Garden" 영상(평균 373,475 bits/frame)과 "Tennis" 영상(평균 202,115 bits/frame)의 세 가지 필터링 방법에 의한 축소율과 대역폭 오류: (a) "Garden" 영상의 축소율, (b) 목표 대역폭(원래의 50%)에 대한 오류, (c) "Tennis" 영상의 축소율, (d) 대역폭 오류

Fig. 6. Transcoded rates and bandwidth errors of "Garden" (average 373475 bits/frame) and "Tennis" (average 202115 bits/frame) test videos when original I-frames are reduced to their 50% by three filtering methods.

중치는 대역폭 균일화나 좋은 화질과 같은 특정한 목적을 위하여 적절히 조합될 수 있으며, 가중치에 따른 특성의 변화를 나타낸 (그림 5)의 변화를 참고할 수 있다. 나머지 실험에서는 실험의 장점을 잘 나타내는  $w_1 = 10, w_2 = 80, w_3 = 10$ 을 사용하였다.

두 개의 실험 영상에 대한 각 필터링 방법의 축소율을 (그림 6) (a)와 (c)에 나타내었다. LPF-CBA는 고정 비트수 할당 방법을 사용하였고, DCT 블록에 따라서 목표 비트수로 축소하기 어려운 경우가 발생하므로 목표 대역폭으로의 수렴이 퍼지 비트수 할당 방법을 사용한 경우보다 느리게 진행된다. 따라서 네트워크가 불안정하여 자주 허용 대역폭이 변화하는 경우 퍼지 비트수 할당 방법이 매우 유용함을 알 수 있다. 대역폭의 절대 크기는 피드백 방법에 따라서 변화하므로 단순한 변화율만을 고려하였을 경우에도 (그림 6) (b)와 (d)에서 나타내는 것과 같이 LPF-FBA가 가장 안정적임을 알 수 있으며, 퍼지 비트수 할당 방법이 출력 대역폭을 안정화시키고, 빠르게 목표 대역폭으로 수렴함을 알 수 있다.

<표 1>은 두 개의 실험 영상을 세 가지 다른 필터링 방법으로 축소시켰을 경우의 각종 지표들을 나타낸다. LDF-FBA는 DCT 블록에서 레벨이 가장 작은 코드워드부터 필터링하기 때문에 다른 방법보다 PSNR(2dB)

표 1. "Garden" 영상(상위 열)과 "Tennis" 영상(하위 열)에 대한 각 필터링 방법의 측정값

Table 1. Average PSNRs with variances, average bandwidths with variances, and SDVQ for "Garden" (upper part of the table) and "Tennis" (lower part of the table) video samples of 50% reduction.

필터링	평균	PSNR	대역폭	대역폭	SDVQ
	PSNR	분산	평균%	분산	
LPF_CBA	67.391	0.213	50.238	0.753	2.269
LPF_FBA	68.242	0.205	50.524	0.345	2.146
LDF_FBA	69.448	0.198	50.524	0.249	2.108
LPF_CBA	72.984	1.486	50.214	3.311	2.080
LPF_FBA	73.664	1.194	50.071	0.495	2.055
LDF_FBA	75.115	1.400	50.714	0.776	1.715

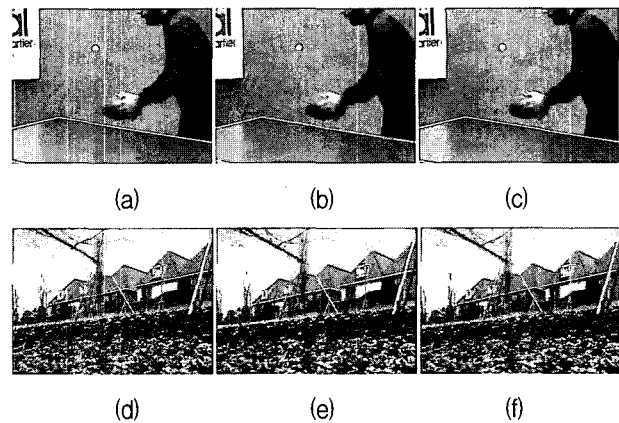


그림 7. 대역폭이 축소된 실험 영상: (a) 원본 "Tennis" 영상, (b) LPF-CBA로 축소된 영상, (c) LDF-FBA로 축소된 영상, (d) 원본 "Garden" 영상, (e) LPF-CBA로 축소된 영상, (f) LDF-FBA로 축소된 영상

Fig. 7. Transcoded images of test videos.

및 SDVQ(10%) 향상되지만, 대역폭의 분산은 LPF\_FBA에 비해 약간 증가하는 경우도 발생되었다. 식(11)의 가중치를 조절함으로써 대역폭의 변화율과 화질 사이의 균형을 조절할 수 있다.

(그림 7)은 실험 영상의 원본과 자기 다른 방법에 의하여 대역폭이 축소된 영상을 보여준다. LDF-FBA는 식(8)과 (10)의  $\mu_1$ 과  $\mu_3$ 에 의하여 DCT 블록 내부의 불연속 특성을 보존하며, 블록간의 일관성을 유지하도록 제안되었기 때문에 그림 (c)와 (f)에서 보여주는 것과 같이 테이블이나 지붕의 모서리에서 그림 (b)와 (e)의 LPF-CBA 방법보다 선명함을 유지하고 있다. 그러나 "Garden"과 같이 복잡한 영상에서는 LDF-FBA가 전체적인 화질은 향상을 위하여 확실한 불연속 특징에 많은 비트를 할당하므로 그림 (f)의 배경처럼 희미한 불연속



표 2. MPEG-1 실험영상(62 I-프레임, 352x240) 930 프레임 처리 시간.  $T_{LDF-FBA}$ ,  $T_{LPF-CBA}$  은 각각 LDF-FBA, LPF-CBA 처리시간,  $T_{REQ-CBA}$  은 CBA와 재 양자화 처리시간

Table 2. Processing times of filtering methods for 930 frames of MPEG-1 video.

처리시간	$T_{LDF-FBA}$	$T_{LPF-CBA}$	$T_{REQ-CBA}$
전체 처리시간	3.21 sec	2.22 sec	2.30 sec
I-프레임 평균	52 msec	36 msec	37 msec

의 왜곡은 심해질 수도 있다.

<표 2>는 930 프레임의 실험 영상을 처리한 총 시간과 62개의 I-프레임을 처리한 평균시간을 표시한다. 이 시간은 LINUX OS에서 측정되었으며,  $T_{LDF-FBA}$  은 퍼지 비트수 할당과 최소 왜곡 필터링을 수행한 시간,  $T_{LPF-CBA}$  은 고정 비트수 할당과 저주파 통과 필터링을 수행한 시간,  $T_{REQ-CBA}$  은 고정 비트수 할당 방식에 재 양자화를 수행한 시간을 나타낸다. 표에서와 같이 하나의 I-프레임을 처리하기 위해서 LDF-FBA(52 msec)는 다른 방식(36, 37msec)보다 시간을 더 사용하지만 보통 1초에 두 개의 I-프레임이 있는 것을 생각하면 실시간 처리가 가능한 것으로 나타났다.

### VI. 결 론

DCT 영역에서의 트랜스코딩 방법은 화질과 처리속도 사이에 균형을 유지하여야 한다. 처리 속도 향상과 대역폭 균일화를 유지하면서 시각적인 화질을 향상시키기 위해서 본 연구에서는 퍼지 비트 할당 기법과 최소 왜곡 필터링 방법을 제안하였다.

코드 길이, 불연속 애매성, 주변 블록 모멘텀 등의 퍼지 측정값을 이용하여 축소 애매성을 정의하였고, 각 블록의 비트 할당 방법에 활용하였다. 할당된 비트수로 축소하기 위해서 최소왜곡 필터링 방법을 사용하였으며, 재 양자화 방법이나 직렬 연결 트랜스코더보다 빠른 속도로 세밀하게 비트수를 축소시킬 수 있었다. 실험에서 축소된 대역폭이 보다 균일하며 시각적 화질이 뛰어난 것을 수치적으로 나타내었다. 그러나 축소 애매성의 가중치 사이의 상관관계를 보다 이론적으로 정립하는 문제는 지속적인 연구를 필요로 한다.

### 참 고 문 헌

- [1] Zhijun Lei and Nicolas D. Georganas, "An accurate bit-rate control algorithm for video transcoding", *Journal of Visual Communication Image Representation*, Vol.14, pp.321-339, 2003.
- [2] M. Ghanbari, "Two-layer coding of video signals for VBR networks", *IEEE J. Select. Areas Commun.*, Vol.7, pp.771-781, 1989.
- [3] ISO/IEEE 13818-2, "Information technology generic coding of moving pictures and associated audio information-Part 2: Video", 1995.
- [4] J. Youn and M. T. Sun, "Video transcoding with H.263 bit-streams", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol. 11, pp.385-403, 2000.
- [5] H. Sun, W. Kwok, and J. W. Zdopski, "Architecture for MPEG compressed bitstream scaling", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.6, pp.191-199 1996.
- [6] Wen-Nung Lie, Ming-Lun Tsai, and Tom C.-I. Lin, "Rate-distortion optimised DCT-domain video transcoder for bit-rate reduction of MPEG videos", *IEEE International Conference on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol.5, pp.969-972, 2004.
- [7] J-C Tsai and C.H. Hsieh, "Modified TMN8 Rate Control for Low-Delay Video Communications", *IEEE Trans. Circuits Syst. Video Technol.*, Vol.14, pp.864-868, 2004.
- [8] Kai-Tat Fung and Wan-Chi Siu, "DCT-based video frame-skipping transcoder", *International Conference on Image Processing*, Vol.2, pp.656-659, 2003.
- [9] P. A. A. Assuncao and M. Ghanbari, "A frequency-domain video transcoder for dynamic bit-rate reduction of MPEG-2 bit stream", *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.8, No.8, pp.953-967, 1998.
- [10] N. Bjork and C. Christopoulos, "Transcoder Architectures for Video Coding", *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol.44, No.1, pp.88-98, 1998.
- [11] JunXin, Ming-Ting Sun, and Kangwook Chun, "Bit-Allocation for Transcoding of Pre-Encoded Video Streams", *Visual Communications and Image Processing*, pp.164-171, 2002.
- [12] TaeYong Kim and Jong Soo Choi, "Content-based Transcoding for Dynamic Video Transmission", *SPIE Symposium on Visual Communications and Image Processing*,

- pp.1125-1132 2002.
- [13] TaeYong Kim and Joon Hee Han, "Model-based Discontinuity Evaluation in the DCT Domain", *Signal Processing*, Vol.81, No.4, pp.871-882, 2001.
- [14] J. Choi and D. Park, "A stable feedback control of the buffer state using the controlled langrange multiplier method", *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol.3, pp.546-558, 1994.
- [15] I. M. Pao and M. T. Sun, "Encoding DCT coefficients based on rate-distortion measurement", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.12, pp.29-43, 2001.
- [16] R. L. Lagendijk, E. D. Frimout, and J. Biemond, "Low-complexity rate-distortion optimal transcoding of MPEG I-frames", *Signal Processing: Image Communication*, Vol.15, pp.531-544, 2000.
- [17] A. Ortega, K. Ramchandran, and M. Vetterli, "Optimal Trellis-based buffered compression and fast approximations", *IEEE Transaction on Image Processing*, Vol.3, 26-40, 1994.
- [18] L. J. Lin and A. Ortega, "Bit-rate control using piecewise approximated rate-distortion characteristics", *IEEE Transactions on Circuit and Systems for Video Technology*, Vol.4, No.8, pp.446-459, 1998.
- [19] Nicholas Yeadon, Francisco Garcia, David Hutchison, and Doug Shepherd, "Continuous Media Filters for Heterogeneous Internet-working", *Proceedings of SPIE-Multimedia Computing and Networking*, 1996.
- [20] Andrew B. Watson, "Toward a perceptual video quality metric", *IST/SPIE conference on Human Vision and Electronic Imaging*, Vol.3299, pp.139-147, 1998.
- [21] Bo Shen and Ishwar K. Sethi, "Convolution-Based Edge Detection for Image/Video in Block DCT Domain", *Journal of Visual Communication and Image Representation*, Vol.7, pp.411-423, 1996.
- [22] Brian C. Smith and Lawrence A. Rowe, "Algorithms for Manipulating Compressed Images", *IEEE Computer Graphics & Applications*, pp.34-42, 1993.
- [23] S. F. Chang and D. G. Messerschmitt, "A new approach to decoding and compositing motion compensated DCT-based images", *IEEE Internat. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol.5, pp.421-424, 1993.
- [24] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley, pp.605-606, 1992.
- [25] H. M. Hang and J. J. Chen, "Source model for transform video coder and its application. Part I: fundamental theory", *IEEE Transactions on Circuits and System for Video technology*, Vol.2, No.7, pp.287-298, 1997.
- [26] Z. He, Y. K. Kim, and S. K. Mitra, "Low-delay rate control for DCT video coding via rho-domain source modeling", *IEEE Transaction on Circuits and Systems for Video Technology*, Vol.8, No.11, 2001.
- [27] Chang-Shing Lee, Yau-Hwang Kuo, and Pao-Ta Yu, "Weighted fuzzy mean filter for image processing", *Fuzzy Sets and systems*, Vol.89, pp.157-180, 1997.
- [28] M. Mancuso, R. De Luca, R. Poluzzi, and G. G. Rizzotto, "A fuzzy decision directed filter for impulsive noise detection", *Fuzzy Sets and systems*, Vol.77, pp.111-116, 1996.

---

 저 자 소 개
 

---



김 태 용(정회원)

1986년 한양대학교 전기공학과 학사 졸업.

1988년 한양대학교 전자통신 공학과 석사 졸업.

1998년 포항공과대학교 컴퓨터공학과 박사 졸업.

2003년 9월~현재 중앙대학교 첨단영상 대학원 부교수

&lt;주관심분야 : 컴퓨터 비전, 영상통신, 게임&gt;