

DCT 블록의 애매성을 이용한 불연속특징 향상 필터

김 태 용[†]

요 약

공간영역에서는 특징검출을 위한 여러 가지 방법이 제안되어 왔으나 압축되어 있는 동영상에서 특징을 찾기 위해서는 압축을 풀고 특징을 찾아 처리하고 다시 압축해야하는 어려움이 있었다. MPEG이나 JPEG처럼 DCT(Discrete Cosine Transform)를 사용하는 압축 표준에서는 압축을 풀지 않고 직접 처리하는 방법들이 제안되어 왔고, DCT 영역에서 불연속 특징을 검출하는 알고리즘을 제안하였으나, 압축영역에서의 불연속 검출은 방향 회전과 비표준 불연속 처리에서 문제점을 가지고 있었다. 본 연구에서는 불연속 특징 검출의 성능을 향상시키기 위한 퍼지 필터링 방법을 제안한다. 이 방법은 불연속의 높이와 방향을 퍼지화하여 필터링 하며, 불연속의 연결, 세선화, 평활화 등의 기능을 수행한다. 이 방법은 DCT 영역에서 수행하므로 세밀하지는 못하지만 불연속 특징의 향상을 위하여 기존 방법보다 빠르고 안정되게 처리됨을 실험에 나타내었다.

A Discontinuity Feature Enhancement Filter Using DCT Fuzziness

TaeYong Kim[†]

ABSTRACT

Though there have been many methods to detect features in spatial domain, in the case of a compressed image it has to be decoded, processed and encoded again. Alternatively, we can manipulate a compressed image directly in the Discrete Cosine Transform (DCT) domain that has been used for compressing videos or images in the standards like MPEG and JPEG. In our previous work we proposed a model-based discontinuity evaluation technique in the DCT domain that had problems in the rotated or non-ideal discontinuities. In this paper, we propose a fuzzy filtering technique that consists of height fuzzification, direction fuzzification, and fuzzy filtering of discontinuities. The enhancement achieved by the fuzzy filtering includes the linking, thinning, and smoothing of discontinuities in the DCT domain. Although the detected discontinuities are rough in a low-resolution image for the size (8x8 pixels) of the DCT block, experimental results show that this technique is fast and stable to enhance the quality of discontinuities.

Key words: Fuzzy Filtering(퍼지 필터링), Discontinuity Detection(불연속 검출), Discontinuity Enhancement(불연속 특징향상)

1. 서 론

영상 및 비디오 처리와 인식에서 객체의 경계는

매우 중요한 특징으로 간주된다. 예지는 두 영역의 색상이나 밝기 변화에 의하여 생성되어 디지털 영상에서 기본적인 경계로 간주되며, 공간영역에서 저주파 필터링 후 기울기 변화를 측정하는 방법에 의하여 검출되어 진다[1,2]. 그러나 현재 사용되고 있는 대부분의 영상물은 통신 및 저장 공간을 줄이기 위하여 압축되어 있고, 이러한 압축상태에서 디지털 영상을 처리하기 위해서는 영상물을 압축 해제하여 처리하고 다시 재압축하여야 하며, 이러한 과정은 많은 처

※ 교신저자(Corresponding Author) : 김태용, 주소 : 서울시 동작구 흑석동 221(156-756), 전화 : 02)820-5717, FAX : 02)814-5404, E-mail : kimty@cau.ac.kr

접수일 : 2004년 12월 20일, 완료일 : 2005년 3월 4일

[†] 정희원, 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공학과 부교수

※ 본 연구는 2004년도 중앙대학교 학술연구비 지원으로 수행되었음.

리 시간을 필요로 한다.

다른 한편으로는 압축된 영상을 해제하지 않은 상태로 처리하는 방법도 제안되어 처리 시간을 단축시킬 수 있다. DCT(Discrete Cosine Transform) 영역에서 처리하는 방법은 공간 영역의 처리방법보다 50배 이상 빠른 처리시간을 나타낸다[3,4].

본 연구와 관련된 이전 연구[5]에서는 DCT 영역에서 표준 불연속의 다양한 특징을 유도하였으며, 이를 이용하여 모델에 기반한 불연속 평가 기법을 제안하였다. 이 방법은 불연속의 방향을 검증하고 불연속의 위치를 정렬한 후 평가식을 사용하여 불연속의 높이를 평가할 수 있었다. 하지만 이 방법을 포함한 DCT 영역에서의 모델 기반 처리 방법은 불연속의 모양이 완전히 이상적이지 않고 잡음의 영향으로 높이가 측정에 애매성이 존재하였다. 또한 위치 정렬을 위한 DCT 영역에서의 회전은 많은 시간을 소모하므로 효율적이지 못하였고, 시간 단축을 위하여 회전 처리를 하지 않고 검증된 불연속 결과는 연결되지 않고 세밀하지 못하였다.

본 연구에서는 DCT 영역에서 처리시간의 효율성을 유지하면서도 불연속 검증 결과의 유용성을 향상시키기 위한 퍼지 필터링 방법을 제안한다. 퍼지 필터는 두꺼운 불연속을 세밀하게 하고, 불연속 특징을 연결하며 고립된 특징 불연속을 제거하여 검출 결과의 품질을 향상시킨다. 퍼지 필터는 애매성 상황을 판단하여 하나의 DCT 블록에서 가장 두드러진 특징 불연속의 높이를 표준 모델과 비교한 애매성과 함께 검출한 후 주파수 성분을 이용한 방향의 애매성을 이용하여 처리한다. 블록의 대표적인 불연속의 높이 및 방향의 퍼지 멤버십을 이용하여 필터링을 수행하여 불연속 특징들의 품질을 향상시키며, 이 방법이 빠르면서도 안정적임을 실험을 통하여 제시하였다.

2. DCT 영역에서의 불연속 검출

이 장에서는 하나의 DCT 블록에서 대표적인 불연속을 찾아 평가하는 저자의 이전 연구[5]를 간략하게 설명한 후 실시간으로 처리하기 위한 구현 방법을 제시한다.

2.1 불연속 위치 정렬

DCT는 JPEG과 MPEG 표준의 기본 변환으로서

공간 중복 성분의 제거로 압축을 수행하는데, 8×8 공간 픽셀에 적용되어 압축의 첫 단계에서 수행되며, 압축 해제시 마지막으로 IDCT(inverse DCT)가 수행된다. 8×8 픽셀에 적용되는 DCT와 IDCT의 수학적 정의는 다음과 같다.

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

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

여기에서 $u, v=0$ 일 때 $C(u), C(v) = \frac{1}{\sqrt{2}}$, 그 이외에 는 1이다. FDCT는 영상의 공간 영역 표현을 효율적으로 코딩하기 위하여 주파수 영역으로 변환하는 기능을 수행하며, 일원 직교 변환(unitary orthogonal transform)으로 행렬 곱셈과 덧셈에 배분적(distributive)인 특성을 갖는다.

공간 영역에서 이상적인 계단 불연속에 따른 수식은 다음과 같이 정리할 수 있다. (1)의 $j=3$ 과 $j=4$ 사이에서 불연속이 변화하며, $j=0, 1, 2, 3$ 위치에서 $f(i,j)=a$ 와 $j=4, 5, 6, 7$ 위치에서 $f(i,j)=b$ 로 수식화되고 그 크기는 $-127 \leq f(i,j) \leq 127$ 이다. 이러한 경우 $F(0,v)$ 의 DCT 계수만 0이 아닌 값을 가지며 나머지 계수는 0으로 표현된다. 수평축으로 절단했을 경우의 이상적인 불연속의 높이는 $h=|a-b|$ 와 같이 나타낼 수 있다.

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.

$$c_3(h,v) = F_4(0,v) - F_3(0,v)$$

$$= -\frac{2}{\sqrt{2}} h \cos \frac{7\pi v}{16} \quad (2)$$

다른 위치의 나머지 보상 주파수 성분도 (2)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 $0 \leq v \leq 7$, 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.

2.2 정렬검증과 높이 평가

이전 연구[5]에서 제안한 기울기 방향 근사화 기법을 사용하여 블록 내부의 대표적인 불연속 방향을 예측한 후, DCT 영역에서 회전 혹은 행렬 곱을 이용한 전단변형[4]을 수행하여 기울어진 불연속을 표준 모델과 같은 수직 방향으로 회전시킬 수 있다.

DCT 블록 내부의 대표적인 불연속을 회전시키고 이동시켜 표준 모델과 가장 근접한 위치를 찾음으로써 불연속의 위치와 높이를 평가할 수 있다.

위치 검증을 위하여 블록의 수직 중간 축을 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 $g(i,j) = -f(i,7-j)$, $0 \leq i, j \leq 7$. 같이 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.

$$D_k = \hat{F}_k(0,2)^2 + \hat{F}_k(0,4)^2 + \hat{F}_k(0,6)^2 \quad (3)$$

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 (3)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, 파라미터 h 에 의한 특정 위치 k 에서의 D_k 는 다음과 같이 전개된다.

$$\begin{aligned} D_k(\tilde{h}) &= \hat{F}_k(0,2)^2 + \hat{F}_k(0,4)^2 + \hat{F}_k(0,6)^2 \\ &= [c_k(\tilde{h},2) + c_k(h,2)]^2 + [c_k(\tilde{h},4) + c_k(h,4)]^2 + [c_k(\tilde{h},6) + c_k(h,6)]^2 \\ &= (\tilde{h}\alpha_{k_2} - h\alpha_{k_2})^2 + (\tilde{h}\alpha_{k_4} - h\alpha_{k_4})^2 + (\tilde{h}\alpha_{k_6} - h\alpha_{k_6})^2 \\ &= (\tilde{h} - h)^2(\alpha_{k_2}^2 + \alpha_{k_4}^2 + \alpha_{k_6}^2) \end{aligned} \quad (4)$$

여기에서 \tilde{h} 는 검출된 실제 높이이고, $c_k(h,v)$ 는 k 위치에서 (2)에 의한 보상 주파수이며, α_{k_2} , α_{k_4} 및 α_{k_6} 는 위치 k 에서 주파수로 전개된 구성된 상수이다.

전단 변형이나 회전에 의하여 경계의 방향을 수직으로 변환한 후, 정렬에 의하여 경계의 위치를 찾고, 높이를 평가한다. (4)와 같이 높이는 파라미터에 따라 2차 함수 형식으로 변화하므로 기울기 강하 (gradient descent) 방법[6]을 사용하여 빠르고 잡음에 강하게 구현할 수 있다. 만약 높이 임계값이 주어진 경우에는 높이(h) 대신 임계값을 파라미터로 사용하여 D_k 를 계산하면, 한번의 연산에 의하여 경계의 존재를 판단할 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 (3)의 평가식에 의하여 정렬 평가와 높이 판별이 동시에 이루어 질 수 있다.

2.3 블록간의 높이 (Inter-block height)

블록간의 불연속 크기(h_{\cap})와 블록간의 불연속 방향(θ)은 한 블록의 평균인 DC 성분($F_{DC} = F(0,0)/8$)을 교차 기울기(cross-gradient)처럼 서로 미분함으로써 얻을 수 있다[7].

$$h_{\cap} = \|\nabla F_{DC}\| = [F_{nDCx}^2 + F_{nDCy}^2]^{1/2} \quad (5)$$

여기에서 첨자 n 은 n 번째 블록을 나타내며,

$$\nabla F_{nDC} = [F_{nDCx} \quad F_{nDCy}]^T = \left[\frac{\partial F_{nDC}}{\partial x} \quad \frac{\partial F_{nDC}}{\partial y} \right]^T \text{ 이}$$

고 $\theta_n = \tan^{-1} \left(\frac{F_{nDCy}}{F_{nDCx}} \right)$ 이다.

DCT 영역에서 불연속 경계를 찾는 방법을 요약하면 다음과 같다.

- ① JPEG이나 MPEG의 블록으로부터 밝기 요소의 DCT 계수를 습득.
- ② 필요하면 회전 및 전단 변형 연산을 수행.
- ③ (2)를 사용하여 DCT 계수를 정렬하고, (3)을 이용하여 위치를 평가.
- ④ (4)를 이용하여 불연속 경계의 높이를 계산하거나 임계값과 비교.
- ⑤ 영상의 모든 블록을 처리할 때까지 ①에서부터 반복 수행.
- ⑥ (5)를 이용하여 블록간 불연속 검출.

3. 높이와 방향의 애매성을 이용한 불연속 필터링

이상적인 모델의 DCT 계수 분포 형태와 불연속이 검출된 블록의 DCT 형태의 차이가 예측된 높이의 애매성을 반영한다. 본 장에서는 대표적인 불연속이 검출된 블록의 애매성을 분석하고, 이를 바탕으로 높이와 방향의 퍼지 멤버십을 정의한다. 정의된 퍼지 멤버십을 이용한 퍼지 필터링을 수행하여 불연속 특징을 향상시킨다.

3.1 높이 퍼지값 (Height fuzziness)

DCT 블록에서 검출된 불연속이 이상적인 모델과 같다면 높이 \tilde{h} 는 애매성이 없고 (4)의 $D_k(\tilde{h})$ 는 0이 되어야 한다. 그렇지 않고 $D_k(\tilde{h})$ 가 0이 아니라면, 이 값은 검출된 불연속의 애매성을 반영한다. 이러한 경우는 영상 취득시 여러 가지 잡음의 영향을 받거나 불연속이 이상적인 계단 모양이 아닐 때 나타날 수 있다. 따라서 $D_k(\tilde{h})$ 를 이용하여 높이에 대한 신뢰도 멤버십을 불연속의 애매성 A_n 을 사용하여 다음과 같이 정의한다.

$$A_n = \sqrt{D_n(\tilde{h})}, \quad \mu_{h,n} = 1 - \frac{A_n}{A_{max}} \quad (6)$$

여기에서 A_{max} 는 영상에서 검출된 불연속의 최대 애매성을 나타내며, $\mu_{h,n}$ 은 n 번째 블록의 높이 신뢰도 퍼지 멤버십을 나타낸다.

(5)의 블록간의 높이는 블록에 포함된 64개 픽셀의 평균을 사용한 차이로써 잡음에 강하므로 높이의 임계값보다 큰 경우에는 멤버십을 1로 설정하고, 임계값보다 적은 경우는 블록 내부에서 구한 $\mu_{h,n}$ 을 신뢰도 멤버십으로 설정한다.

3.2 방향 퍼지값 (Direction fuzziness)

DCT 블록에 대표적인 불연속이 있다면 그것의 DCT 주파수 구성은 불연속의 방향을 나타내며, 불연속이 고립된 것이 아니라면 그 불연속은 인접 블록의 불연속과 일관성을 유지한다고 가정할 수 있다. 인접 불연속과의 관계를 설정하기 위하여 불연속 방향을 x 축과 이루는 각도로 그림 1과 같이 정의한다. 그림 1은 (a)~(d)에 각각 0° , 45° , 90° , 135° 의 연속된 불연속을 나타낸다.

그림 2는 하나의 DCT 블록에서 주파수 성분의 분할 방법을 (a), 블록 "5"를 기준으로 인접 블록의 번호를 (b), 기존 가중치 필터의 블록별 가중치를 (c)에 각각 나타내었고, 3.3절에서 퍼지 필터와 비교된다.

DCT 블록의 주파수 계수는 위치에 따라서 그림 2 (a)와 같이 수평, 수직, 대각 성분으로 구분할 수 있다. 이러한 분할은 불연속의 특성을 나타낼 수 있는데, 만약 수직 불연속이 블록에 있으면 수평 방향의 AC 주파수만 값을 가지며, 반대로 수평 불연속이 있는 경우에는 수직의 AC 주파수 값만 존재한다. 대각선 불연속의 경우 모든 AC 성분 값이 존재하며,

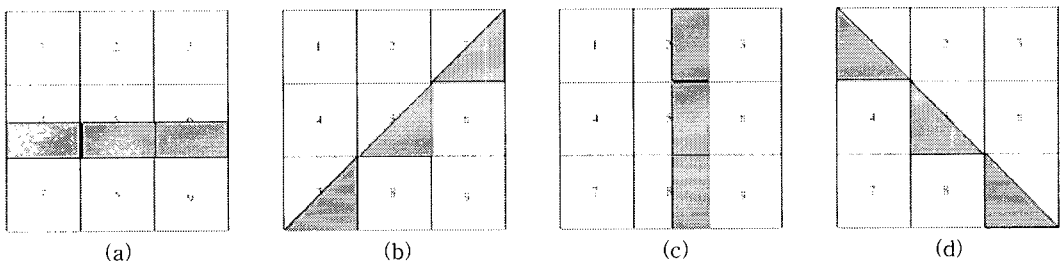


그림 1. 공간영역에서의 불연속 방향: (a) 0° 불연속, (b) 45° 불연속, (c) 90° 불연속, (d) 135° 불연속.

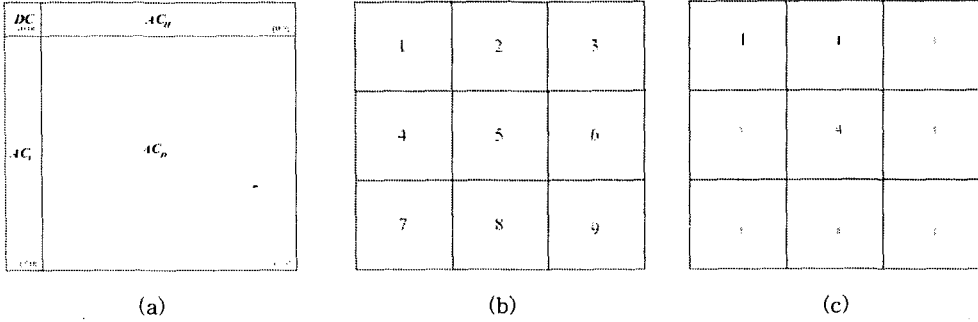


그림 2. 주파수 영역 분할과 인접 블록의 번호: (a) DCT 블록의 영역 분할, (b) 인접 DCT 블록의 번호, (c) 가중치를 적용한 평균필터.

불연속의 방향을 예측하기 위해서 다음과 같은 주파수 성분의 합을 정의한다. 모든 AC 성분의 합, 수평 성분의 합, 수직 성분의 합, 대각선 성분의 합을 각각 AC_A , AC_H , AC_V , AC_D 로 나타낸다.

$$AC_A = \sum_{u=0}^7 \sum_{v=0}^7 |F(u,v)| - F(0,0), \quad AC_H = \sum_{v=1}^7 |F(0,v)|,$$

$$AC_V = \sum_{u=1}^7 |F(u,0)|, \quad AC_D = \sum_{u=1}^7 \sum_{v=1}^7 |F(u,v)| \quad (7)$$

디지털 영상에서의 미분은 차분으로 근사화되며, 블록에 높이 h 의 이상적인 수직 불연속이 존재할 경우의 DCT 영역에서의 차분은 $\sum_{j=1}^7 | \frac{\partial f(i,j)}{\partial j} | = \sum_{j=1}^7 |f'_j(i,j)| \approx \sum_{j=1}^7 |f(i,j) - f(i,j-1)| = h$ 로 나타낼 수 있으며, DCT 영역에서 수직 불연속의 차분의 합은 다음과 같다.

$$AC_H = \sum_{v=1}^7 |F(0,v)| = \sum_{v=1}^7 | \frac{2}{\sqrt{2}} \sum_{j=0}^7 f'_j(0,j) \cos \frac{\pi v(2j+1)}{16} | = 6.47h \quad (8)$$

이 경우 $\frac{AC_V}{AC_A} = \frac{AC_D}{AC_A} = 0, \frac{AC_H}{AC_A} = 1$ 이다. 비슷하게 DCT 블록에 높이 h 의 불연속이 대각으로 존재할 경우 DCT 계수 차분은 $AC_H = AC_V = 2.60h, AC_D = 9.56h$ 이며, 이들의 비는 $\frac{AC_H}{AC_A} = \frac{AC_V}{AC_A} = 0.18, \frac{AC_D}{AC_A} = 0.65$ 이다. 따라서 이러한 방향에 대한 경계값을 사용하여 4방향의 퍼지 멤버십을 정의할 수 있다. 만약 AC_A 가 실험값인 ϵ 보다 적을 때는 $AC_V \times AC_H = 0$ 인 경우를 포함하며, 공간영역에서 블록 전체가 거의 유사한 밝기값을 가지고 방향에 대한 정보를 거의 나타내지

못하기 때문에 블록간 방향 θ_n 과 가장 근사한 방향만 퍼지 멤버십을 부여한다. 그 밖의 경우는 대표적인 불연속에 대한 각 방향 퍼지 멤버십 $\mu_{direction}$ 을 다음과 같이 부여한다.

만약 $AC_V \times AC_H > 0$ 일 경우 45° 방향을 먼저 구한 후 다른 방향의 퍼지 멤버십을 구한다.

$$\mu_{45} = \frac{1}{0.7} \frac{AC_D}{AC_A}, \quad \mu_0 = \frac{AC_V}{AC_A} - \mu_{45} \times 0.18, \quad \mu_{90} = \frac{AC_H}{AC_A} - \mu_{45} \times 0.18,$$

$$\mu_{135} = \max(1 - \mu_{45}, \max(\mu_0, \mu_{90}), 0) \quad (9)$$

만약 $AC_V \times AC_H < 0$ 일 경우 135° 방향을 구한 후 다른 방향의 퍼지 멤버십을 구한다.

$$\mu_{135} = \frac{1}{0.7} \frac{AC_D}{AC_A}, \quad \mu_0 = \frac{AC_V}{AC_A} - \mu_{135} \times 0.18, \quad \mu_{90} = \frac{AC_H}{AC_A} - \mu_{135} \times 0.18,$$

$$\mu_{45} = \max(1 - \mu_{135}, \max(\mu_0, \mu_{90}), 0) \quad (10)$$

여기에서 상수 0.7과 0.18은 (8)과 주파수 성분 합의 비율에서 얻어진 경계값이다. 만약 이상적인 불연속이 45° 나 135° 방향으로 블록 중앙에 형성되어 있을 경우 각각의 비 $\frac{AC_D}{AC_A}, \frac{AC_V}{AC_A}, \frac{AC_H}{AC_A}$ 는 높이에 대하여 불변하지만, 위치가 변함에 따라 $\frac{AC_D}{AC_A}$ 는 [0.65, 0.7] 사이에서 변화하며, $\frac{AC_V}{AC_A}$ 와 $\frac{AC_H}{AC_A}$ 는 [0.15, 0.18] 사이의 값을 가지게 된다. 따라서 (9)와 (10)에서는 최대 경계값을 정규화 상수로 사용하였다.

대각 방향의 불연속이 수평이나 수직 방향으로 접 근할수록 $\frac{AC_D}{AC_A}$ 값은 감소하게 되고, $\frac{AC_V}{AC_A}$ 나 $\frac{AC_H}{AC_A}$ 값은 단조 증가하게 된다. 따라서 퍼지 멤버십 μ_0

$\mu_{45}, \mu_{90}, \mu_{135}$ 는 DCT 블록의 대표적인 불연속의 4방향에 대한 가능성 신뢰도를 나타낸다.

만약 이상적인 계단 불연속이 존재할 경우 $\tan^{-1}(\frac{AC_V}{AC_H})$ 식이 방향을 예측하기 위해서 $\tan^{-1}(\frac{\partial f}{\partial y} / \frac{\partial f}{\partial x})$ 대신 사용할 수 있지만[5], 실제 취득 영상은 물체의 움직임, 렌즈의 굴절, 초점의 부정확, 대기 교란 등의 다양한 외부 요소에 의하여 불연속의 애매성을 포함하게 되므로 정확한 한 방향을 규정하는 대신에 (9)와 (10)을 사용하여 다양한 방향의 가능성을 나타낼 수 있다.

3.3 불연속 필터링

불연속을 가진 블록이 고립되지 않았다는 가정을 가지고, 만약 n 번째 DCT 블록의 불연속 높이가 임계값 T_h 보다 작고, 8방향의 인접 블록 중 불연속의 높이가 임계값보다 높아 특징으로 선정된 블록이 있는 경우 다음과 같은 필터를 사용하여 불연속 검출 능력을 향상시킨다.

$$\hat{H}_5 = \frac{1}{\mu_0 + \mu_{45} + \mu_{90} + \mu_{135}} \left\{ \begin{array}{l} \mu_0 \frac{\mu_{h_4}H_4 + \mu_{h_5}H_5 + \mu_{h_6}H_6}{\mu_{h_4} + \mu_{h_5} + \mu_{h_6}} + \\ \mu_{45} \frac{\mu_{h_3}H_3 + \mu_{h_5}H_5 + \mu_{h_7}H_7}{\mu_{h_3} + \mu_{h_5} + \mu_{h_7}} + \\ \mu_{90} \frac{\mu_{h_2}H_2 + \mu_{h_5}H_5 + \mu_{h_8}H_8}{\mu_{h_2} + \mu_{h_5} + \mu_{h_8}} + \\ \mu_{135} \frac{\mu_{h_1}H_1 + \mu_{h_5}H_5 + \mu_{h_9}H_9}{\mu_{h_1} + \mu_{h_5} + \mu_{h_9}} \end{array} \right\} \quad (11)$$

여기에서 $\mu_0, \mu_{45}, \mu_{90}, \mu_{135}$ 는 그림 2 (b)의 5 번째 블록의 방향 신뢰도 멤버십이며, H_i 는 (4)의 \tilde{h} 혹은 (5)의 h_{Γ} 로 검출된 높이이고, μ_{h_i} 는 i 번째 주변 블록의 높이 신뢰도 멤버십을 나타낸다.

이러한 퍼지 평균 필터링 방법은 대상 블록의 방향성 신뢰도와 인접 블록의 높이 신뢰도를 고려하여 각각 다르게 계산되는데, 자신의 방향성 퍼지 신뢰도가 높은 인접 블록에서 영향을 많이 받으며, 인접 블록의 높이 신뢰도가 높을수록 많은 영향을 받는다. 만약 (11)의 모든 퍼지 멤버십이 1이면 그림 2 (c)와 같이 각각의 블록에 해당 가중치를 부여한 일반적인 가중치 평균 필터가 된다.

(11)로 필터링한 후 높이 \hat{H}_5 가 Canny 검출기[1]의

이중 임계값(hysteresis thresholding)에서와 같이 낮은 임계값($T_l = T_h - \delta$)보다 클 경우 인접 블록과의 연결성 향상을 위하여 특징으로 검출된다.

만약 n 번째 블록이 임계값 T_h 보다 커서 특징으로 검출되었지만 인접 블록에 특징이 없어 고립되어 있을 경우에는 다시 \hat{H}_5 를 T_h 와 비교하여 작은 고립 특징은 제거한다. 또한 세밀한 불연속 특징을 검출하기 위하여 단일 연결이 아닌 불연속 특징도 \hat{H}_5 를 계산하여 임계값 T_h 과 비교하여 두꺼운 불연속을 제거한다.

4. 실험 결과

실험에서는 기존의 방법에서 많이 사용하던 표준 영상과 방송에서 취득한 영상을 대상으로 하였으며, 필터링을 위한 3x3 윈도우, 균일 영상을 구분하기 위한 3.2절의 $\epsilon=500$, 3.3절의 이중 임계값을 위한 $T_l = T_h - \delta$ 에서 $\delta = 0.2T_h$ 를 사용하였다. DCT 영역에서 불연속을 검출하기 위하여 두 방향($45^\circ, 135^\circ$)의 전단변형과 두 방향($90^\circ, 180^\circ$)의 회전을 사용하였으며, 이러한 방향 변환으로 8 방향의 회전을 처리할 수 있었으며, 필터에 의하여 향상시킨 불연속은 DCT 영역에서의 회전을 사용하지 않았고, FDCT와 IDCT 변환은 Loeffler[8]의 방법을 사용하였다.

그림 3 (a)는 영상처리 분야에서 많이 사용되는 표준 영상을 보여주고 있으며, 공간영역에서 $T_h=0.8, T_l=0.5 \sigma=2$ 파라미터를 사용한 Canny 검출기에 의한 경계를 그림 (b)에 나타내었다. 검출된 경계를 DCT 영역의 불연속과 비교하기 위하여 블록화시킨 영상을 그림 (c)에 나타내었다. 그림 (d)는 DCT 영역에서 주파수 보상을 수행하여 검출된 불연속을 나타내고 있으며, 이 영상에서 강조된 블록은 내부 주파수 평가에 의하여 검출된 블록이고 나머지 블록은 블록간 비교에서 검출된 불연속이다. 이렇게 검출된 불연속을 기존의 필터와 퍼지 필터에 의하여 향상시킨 영상을 그림 (e)와 (f)에 각각 나타내었다. 기존의 필터는 인접 블록간의 방향이나 높이의 애매성을 고려하지 않고 향상시켰기 때문에 연결이 단절되거나 고립된 불연속이 많은 반면, 퍼지 필터에 의하여 향상된 불연속은 잘 연결되었으며 고립 불연속이 적게 나타났다.

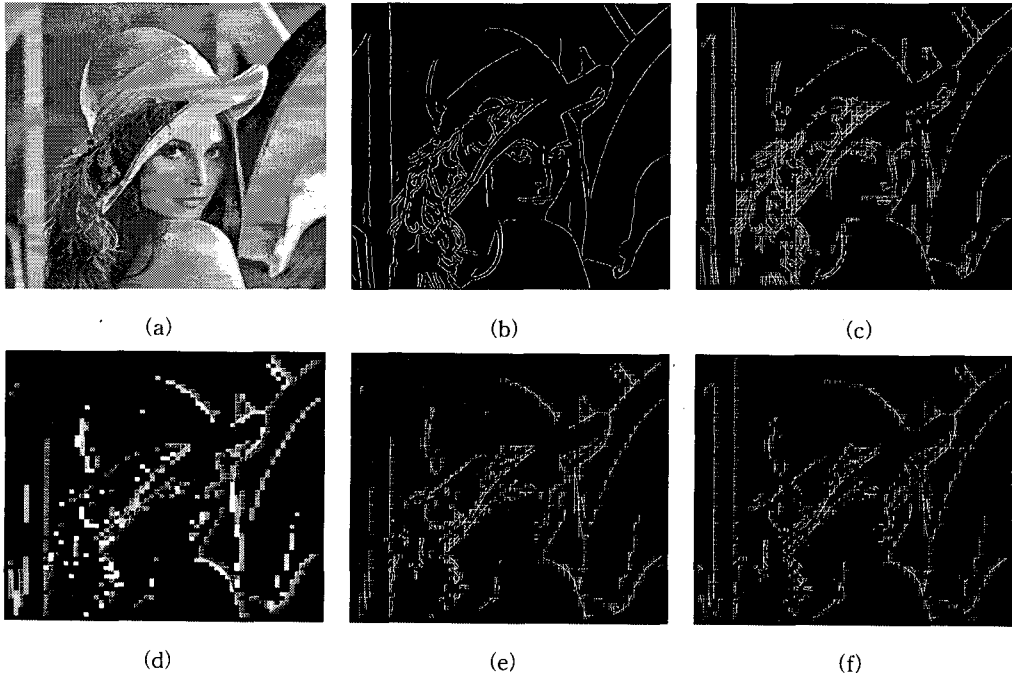


그림 3. 표준 모델과 검출된 불연속 : (a) 표준 테스트 영상 (512×512 해상도), (b) 공간 영역에서 Canny 검출기에 의한 경계 ($T_h=0.8$, $T_l=0.5$ $\sigma=2$), (c) 평가를 위하여 재구성된 Canny 불연속 블록, (d) DCT 평가에 의하여 검출된 불연속 ($T_H=50$), (e) 기존 필터를 이용하여 향상된 불연속, (f) 퍼지 필터에 의하여 향상된 불연속.

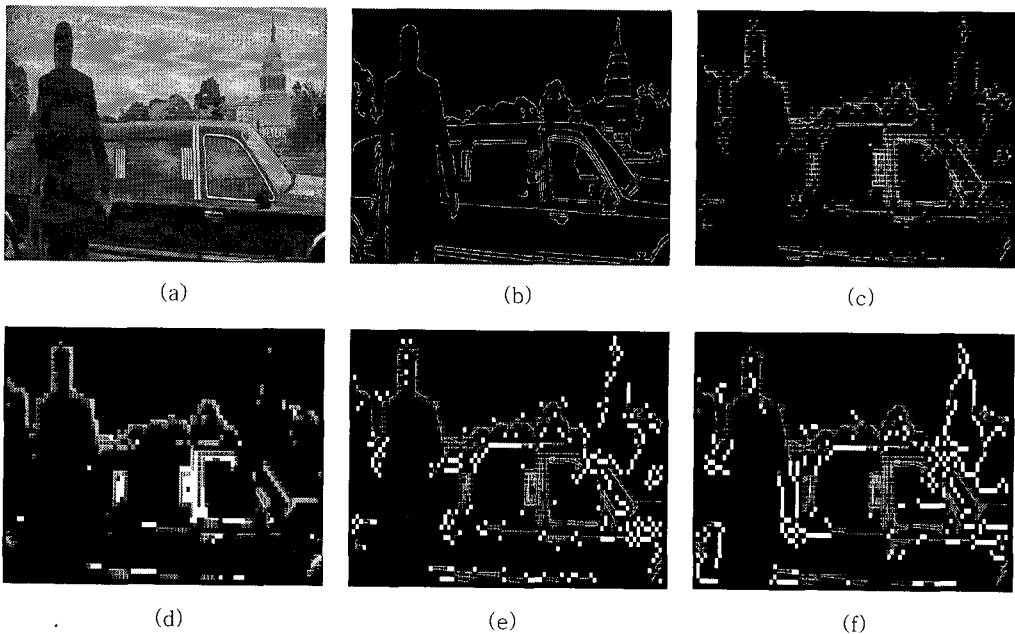


그림 4. 방송에서 취득한 MPEG-2 영상과 검출된 불연속 : (a) 표준 MPEG-2 영화 영상 (704×480 해상도), (b) 공간 영역에서 Canny 검출기에 의한 경계 ($T_h=0.8$, $T_l=0.5$ $\sigma=2$), (c) 평가를 위하여 재구성된 Canny 불연속 블록, (d) DCT 평가에 의하여 검출된 불연속 ($T_H=30$), (e) 기존 필터를 이용하여 향상된 불연속, (f) 퍼지 필터에 의하여 향상된 불연속.

기존의 DCT 영역에서 불연속 검출을 위한 전단 변형 처리가 많은 시간을 소비하였지만, 본 연구에서 제안한 필터에서는 이러한 전단 변형 처리를 배제하고 단순한 회전과 필터링에 의하여 적은 시간에 기울어진 불연속과 끊어진 불연속을 효과적으로 향상시킬 수 있었다.

그림 4 (a)는 방송에서 취득한 MPEG-2 (704×480 해상도) 영상이며, 공간 영역에서 Canny 검출기 ($T_h=0.8, T_l=0.5, \sigma=2$)에 의하여 검출된 경계와 비교를 위하여 경계를 블록화한 영상을 그림 (b)와 (c)에 각각 나타내었다. 원래영상을 압축상태인 DCT 영역에서 $T_H=30$ 으로 불연속을 검출한 영상을 그림 (d)에 나타내었으며, 이러한 불연속을 기존의 필터와 퍼지 필터를 사용하여 향상시킨 영상을 그림 (e)와 (f)에 각각 나타내었다. 그림에서 강조된 블록은 필터링에 의하여 새롭게 검출된 불연속 블록을 나타내며, 퍼지 필터에 의하여 향상된 영상이 그림에서와 같이 세밀하고 잘 연결되어 있음을 알 수 있다.

필터의 강인함을 검증하기 위하여 Kitchen과 Rosenfeld가 제안한 번짐[9] ($\sigma=2$)을 그림 3 (a)의 적

용하였을 때 그림 5 (a)와 같은 영상을 얻을 수 있었다. 그림 (b)와 (c)에서 알 수 있듯이 Canny 검출기는 기본적으로 평활화를 실시하기 때문에 머리카락 부분을 제외한 다른 부분은 크게 영향을 받지 않고 있다. 그러나 DCT 영역에서의 검출은 이상적인 계단 모델과 많은 차이가 있으므로 그림 (d)와 같이 거칠고 드물게 검출되었다. 이러한 영상에서 그림 (e), (f)와 같이 퍼지 필터는 기존의 필터보다 왜곡된 불연속 특징을 잘 향상시키고 있음을 알 수 있다.

가우스 잡음($SNR=50$)을 원래영상에 첨가한 영상을 그림 6(a)에 나타내었다. 가우스 잡음은 $SNR=(h/\sigma_N)^2$ 으로 나타내는데, h 은 불연속의 높이 (실험에서는 10), σ_N 은 잡음의 표준편차를 나타낸다. Canny 검출기에 의하여 검출된 경계와 재구성된 블록을 그림 (b)와 (c)에 나타내었고, 원래의 영상에 비해 여러 부분에서 불연속 및 오류 경계가 검출되었다. DCT 영역에서는 대표적인 불연속이 계단 경계이고, 직선적이며, 이웃과 연결되어 있다는 가정을 사용하여 불연속을 검출 및 향상시키는데, 잡음이 첨가된 영상에서는 이러한 가정을 만족시키기 어려우

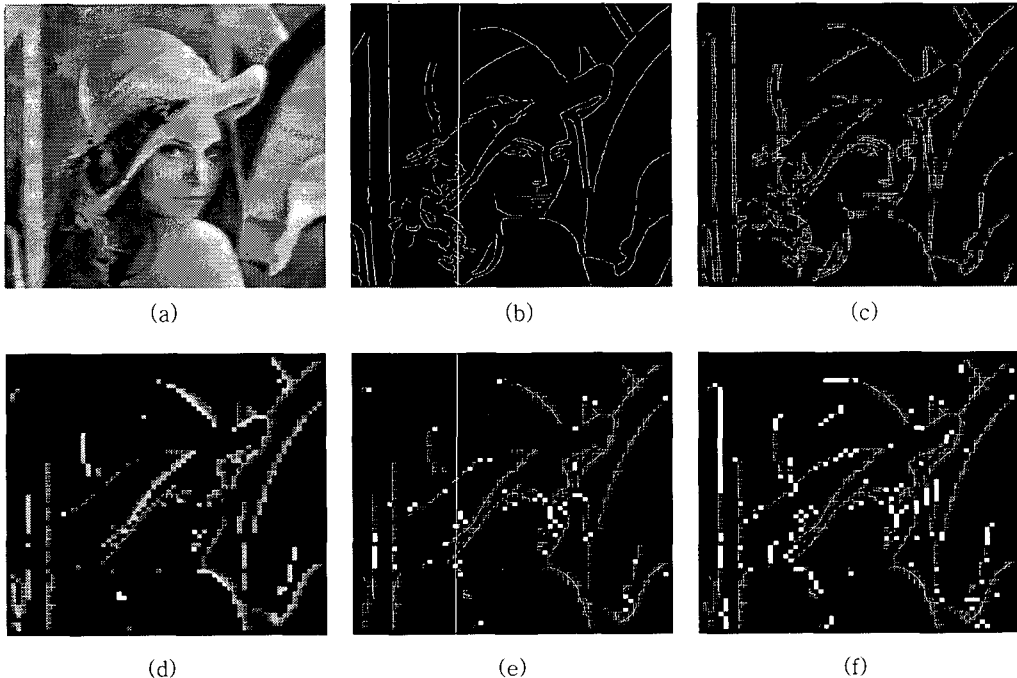


그림 5. 번진 영상과 검출된 불연속 : (a) 번진 표준 영상 (512×512 해상도, $\sigma=2$), (b) 공간 영역에서 Canny 검출기에 의한 경계 ($T_h=0.8, T_l=0.5, \sigma=2$), (c) 평가를 위하여 재구성된 Canny 불연속 블록, (d) DCT 평가에 의하여 검출된 불연속 ($T_H=45$), (e) 기존 필터를 이용하여 향상된 불연속, (f) 퍼지 필터에 의하여 향상된 불연속.

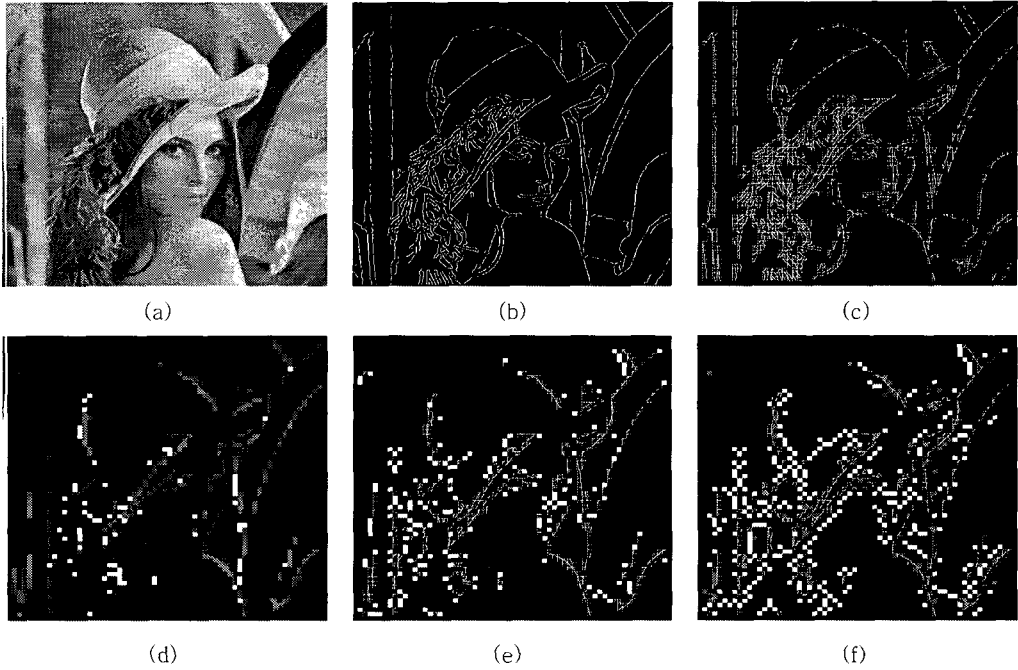


그림 6. 잡음 영상과 검출된 불연속 : (a) 잡음이 첨가된 표준 영상 (512×512 해상도, SNR=50), (b) 공간 영역에서 Canny 검출기에 의한 경계 ($T_h=0.8, T_l=0.5, \sigma=2$), (c) 평가를 위하여 재구성된 Canny 불연속 블록, (d) DCT 평가에 의하여 검출된 불연속 ($T_H=60$), (e) 기존 필터를 이용하여 향상된 불연속, (f) 퍼지 필터에 의하여 향상된 불연속.

므로 그림 (e)와 (f)에서와 같이 중요한 특징보다는 지역적인 특징을 향상시킴을 볼 수 있으며, 상대적인 경계의 개수와 연결성은 기존의 필터보다는 향상됨을 볼 수 있다. 따라서 블록 내부의 대표적인 불연속의 크기와 방향의 애매성을 이용한 퍼지 경계 향상 필터는 번짐의 영향보다는 잡음의 영향을 많이 받을 수 있다.

본 연구에서 제안한 퍼지 필터의 유용성을 검증하기 위해서 Abdou와 Pratt[10]의 경계 평가치를 사용하였다. Abdou의 평가 방법은 이상적인 위치와 검출되거나 향상된 경계의 위치를 비교하고, 검출된 경계

의 개수의 적절성을 고려하여 제안되었으며 다음과 같은 식으로 나타낸다[10].

$$F = \frac{1}{\max I_A, I_I} \sum_{i=1}^{I_A} \frac{1}{1+d(i)^2/9} \quad (11)$$

여기에서 I_A 검출된 실제 경계의 수이고 I_I 는 이상적인 경계의 수, $d(i)$ 는 이상적인 경계와 검출된 경계 사이의 거리를 나타내며, 본 연구에서는 Canny 검출기에 의하여 얻은 경계의 블록을 이상적인 불연속으로 사용하였다.

표 1은 검출된 불연속의 검증을 위한 Pratt의 경계

표 1. Pratt의 경계 평가치

영상크기	N_{ideal}	N_{DCT}	N_{crisp}	N_{fuzzy}	P_{DCT}	P_{crisp}	P_{fuzzy}
512×512	896	556	606	639	0.58	0.63	0.65
720×480	872	467	705	729	0.51	0.75	0.77
512×512 변진영상	673	445	491	585	0.61	0.67	0.79

$N_{ideal}, N_{DCT}, N_{crisp}, N_{fuzzy}$ 는 각각 이상적인 불연속의 수, DCT 영역에서 검출된 불연속 블록의 수, 기본 필터에 의하여 향상된 불연속의 수, 퍼지 필터에 의하여 검출된 불연속의 수를 나타내며, $P_{DCT}, P_{crisp}, P_{fuzzy}$ 는 각 방법의 Pratt의 경계 평가치를 나타낸다.

표 2. 영상 크기에 따른 처리시간

영상크기	T_{d0}	T_s	T_{d10}	T_l	T_{id}
512×512	7	11	202	49	258
720×480	8	10	195	51	186

T_{d0} 와 T_{d10} 은 DCT 영역 불연속 검출에서 각각 0%와 10%의 전단변형 회전을 실시한 경우의 처리시간이고, T_s 는 회전 없이 퍼지 필터만을 적용한 시간, T_l 는 IDCT와 FDCT를 수행한 시간, T_{id} 는 IDCT와 FDCT 수행 및 공간영역에서 경계를 검출하는데 소모되는 시간을 나타낸다.

평가치를 나타내고 있으며, N_{ideal} , N_{DCT} , N_{crisp} , N_{fuzzy} 는 각각 이상적인 불연속의 수, DCT 영역에서 검출된 불연속 블록의 수, 기본 필터에 의하여 향상된 불연속의 수, 퍼지 필터에 의하여 검출된 불연속의 수를 나타내며, P_{DCT} , P_{crisp} , P_{fuzzy} 는 각 방법의 Pratt의 경계 평가치를 나타낸다. 표에서 알 수 있듯이 퍼지 필터는 보다 많은 불연속을 검출하면서 평가치를 향상시키며, 특히 번진 영상에서 많은 왜곡된 불연속을 정확하게 향상시킴을 볼 수 있다.

표 2는 압축을 해제하거나 불연속을 검출하는데 소요되는 시간을 나타낸다. 여기에서 T_{d0} 와 T_{d10} 은 DCT 영역 불연속 검출에서 각각 전체 블록의 0%와 10%의 전단변형 회전을 실시한 경우의 처리시간이고, T_s 는 회전 없이 퍼지 필터만을 적용한 시간, T_l 는 IDCT와 FDCT를 수행한 시간, T_{id} 는 IDCT와 FDCT 수행 및 공간영역에서 경계를 검출하는데 소모되는 시간을 나타낸다. 모든 시간은 LINUX 시스템에서 100회 반복하여 평균한 시간으로 표시하였다. DCT 영역에서 전단변형이 많은 시간을 소모하므로 본 연구에서 제안한 회전없이 퍼지 필터에 의한 불연속 검출 및 향상이 DCT 변환이나 공간영역에서의 경계 검출보다 매우 빠르고 많은 정보를 나타냄을 알 수 있다.

5. 결 론

DCT 영역에서의 불연속 검출은 계산시간과 정확성에서 상호 대립된다. 계산 시간의 효율성을 유지하면서 정확성을 향상시키기 위하여 본 연구에서는 DCT 영역에서 불연속의 높이와 방향에 대한 퍼지 멤버십을 정의하고, 불연속 특징 향상을 위한 퍼지 필터링 방법을 제안하였다. 인접 블록의 방향 및 높이 퍼지 멤버십을 이용하여 필터링함으로써 불연속 검출 및 연결성을 향상시킬 수 있었고 검출된 특징

을 세밀화 할 수 있었으며, 실험에서 보인 것과 같이 퍼지 필터링 방법은 DCT 영역 방법의 시간 효율성을 유지하면서 불연속 검출 능력을 향상시킬 수 있었다.

이러한 DCT 영역에서의 불연속 검출 및 필터링 방법은 MPEG-2와 같이 고 해상도의 압축된 영상을 빠르게 처리하여 비디오 색인이나 검색 등의 응용 분야에 효율적으로 사용될 수 있을 것이나, 저 해상도의 영상에서 거칠고 부정확한 불연속을 보다 효율적으로 처리할 수 있는 향상된 기법에 대한 연구와 움직임 벡터를 결합한 분할처리(segmentation) 연구가 진행되어야 하겠다.

참 고 문 헌

- [1] John Canny, "A Computational Approach to Edge Detection," *IEEE Trans. on PAMI*, Vol. 8, pp. 679-698, 1986.
- [2] D. Marr and E. Hildreth, "Theory of Edge Detection," *Proceeding of Royal Society of London*, Vol. B-207, pp. 186-217, 1980.
- [3] Bo Shen and Ishwar K. Sethi, "Inner-Block Operations On Compressed Images," *ACM Multimedia '95*, pp. 489-498, 1995.
- [4] Brian C. Smith and Lawrence A. Rowe, "Algorithms for Manipulating Compressed Images," *IEEE Computer Graphics and Applications*, pp. 34-42, 1993.
- [5] TaeYong Kim and Joon Hee Han, "Model-based Discontinuity Evaluation in the DCT Domain," *Signal Processing*, Vol. 81, No. 4, pp. 871-882, 2001.
- [6] Robert M. Haralick and Linda G. Shapiro, *Computer and Robot Vision*, Addison Wesley,

pp. 605-606, 1992.

- [7] Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, pp. 197-201, 1993.
- [8] C. Loeffler, A. Ligtenberg and G. Moschytz, "Practical Fast 1-D DCT Algorithms with 11 Multiplications," *Proc. Int'l. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing*, pp. 988-991, 1989.
- [9] Les Kitchen and Azriel Rosenfeld, "Edge Evaluation Using Local Edge Coherence," *IEEE Trans. on SMC*, Vol. SMC-11, pp. 597-605, 1981.
- [10] I. E. Abdou and W. K. Pratt, "Quantitative Design and Evaluation of Enhancement/

Thresholding Edge Detectors," *Proc. IEEE*, Vol. 67, No. 5, pp. 753-763, 1979.



김 태 응

1986년 2월 한양대학교 전기공학
 학과(공학사)
 1988년 2월 한양대학교 전자통신
 신공학과(공학석사)
 1998년 2월 포항공과대학교 컴
 퓨터공학과(공학박사)
 1988년 3월~1999년 2월 한국통

신 운용연구단 연구원

2003년 4월~현재 한국컴퓨터게임학회 총무이사
 2000년 1월~현재 중앙대학교 첨단영상대학원 영상공
 학과 부교수

관심분야: 영상통신, 영상처리, 컴퓨터비전, 컴퓨터게임