

논문 2008-45SP-6-11

# 이산 코사인 변환 계수의 에너지 비를 사용한 디지털 카메라용 초점 값 연산자

(DCT-Based Energy-Ratio Measure for Autofocus in Digital Camera)

이 상 용\*

(Sang Yong Lee)

## 요 약

본 논문에서는 이산 코사인 변환 계수의 에너지 비를 사용한 디지털 카메라용 초점 값 연산자를 제안하였다. 제안된 AC2DC1 및 AC5DC1 초점 값 연산자는 이산 코사인 변환 계수의 AC와 DC 계수의 에너지 비를 사용하여 이미지의 선명한 정도를 판단하는데, 이는 여러가지 표본 영상들의 이산 코사인 변환 에너지 분석에 바탕을 두고 있다. 또한 제안된 연산자와 기존의 여섯 가지 연산자를 비교하기 위해 초점 값의 선형성과 기술품을 종합적으로 측정할 수 있는 점수 계산 방법을 도입했으며, 이를 통해 잡음이 없는 상태, 임펄시브 및 가우시안 잡음이 있는 세 가지 상황 하에서 제안된 연산자의 성능을 검증하였다.

## Abstract

A DCT-based energy-ratio measure for autofocus in digital camera is proposed in this paper. This measure, namely AC2DC1 and AC5DC1, determines the sharpness of an image using a ratio between AC and DC energy in the DCT domain. This method is derived from energy analysis of DCT coefficients. Autofocus score calculation method is used to assess the performance of the proposed measure and to compare it with other measures. Experimental results under various conditions verify the robustness of the proposed focus measure for the Gaussian as well as impulsive noises.

**Keywords :** Digital Camera, Autofocus, Focus measure, Impulsive noise, Gaussian noise

## I. 서 론

한국의 CMOS (complementary metal-oxide semiconductor) 이미지 센서 시장은 2009년까지 1년에 대략 20%의 수요가 증가하고 있으며, 2009년에 10억 개 정도의 수요가 예측된다. 이는 디지털 카메라 뿐만 아니라 모바일 폰이 이미지 센서를 내장하는 추세 때문인데, 현재 디지털 카메라보다 모바일 폰에 쓰이는 이미지 센서의 수요가 8배 정도 많다. 또한 이미지 센서는 2006년 이후 30만 화소 정도의 VGA 급은 점점 줄어들고, 현재 200만에서 1000만 화소의 고해상도 제품이 시장을 잠식하고 있는 추세에 있다<sup>[1]</sup>.

그러나 고해상도의 이미지 센서를 디지털 카메라에 내장한다고 해서 좋은 이미지를 얻을 수 있는 것은 아니다. 좋은 화질의 이미지를 얻기 위해서는 화소 수, 한 화소의 크기 등 하드웨어적인 요소와 자동 백색 균형(auto white balance), 자동 노출(auto exposure), 그리고 자동 초점(auto focus) 등 소프트웨어적인 요소들이 기능적으로 잘 어우러져야 한다<sup>[2]</sup>. 또한 비슷한 사양의 이미지 센서를 사용한다고 하였을 때에는 소프트웨어적인 면이 더욱 부각되며, 그 중에서도 자동 초점 기능은 이미지의 선명함을 직접적으로 다루므로 매우 중요한 요소라고 할 수 있다<sup>[3]</sup>.

자동 초점은 빠른 초점 동작이 가능한 능동 방식과 구현이 간단한 수동 방식으로 구분된다. 능동 방식은 물체에 맞고 돌아오는 적외선이나 레이저의 응답 속도를 분석하여 초점 거리를 제어하므로 부가적인 하드웨

\* 학생회원, 고려대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Korea University)  
접수일자: 2008년6월16일, 수정완료일: 2008년10월10일

어를 필요로 하는 등 구현에 어려움이 있어 널리 사용되지 않는다. 그에 비해 수동 방식은 이미지 자체에 대한 분석을 통해 초점을 제어하므로 구현이 쉬워 대부분의 디지털 카메라에서 사용되고 있다.

물리적으로 이미지의 선명도가 높아지면 고주파 성분량도 그에 비례하여 높아지는데, 이러한 현상을 이용하면 초점의 정도에 따라 선형적으로 값이 변하는 초점 값(focus measure)이라는 성능 인자를 정의할 수 있다. 초점 값에 대한 연구로써는 이미지 인접 화소 값의 변화율을 사용하는(derivative based) 방법<sup>[4-6]</sup>, DCT(discrete Cosine transform)를 사용하는 방법<sup>[7-11]</sup>, 통계상(statistical based)의 방법, 히스토그램 방법<sup>[12]</sup> 등이 있으며 자세한 설명은 II장에서 소개하기로 한다. 초점 값의 성능은 초점 값의 선형 정도, 잡음에 대한 둔감 정도와 연산량으로 평가해 볼 수 있으며 M. Kristan<sup>[11]</sup>, Y. Sun<sup>[12]</sup> 그리고 A. Santos<sup>[13]</sup>등이 기존의 방식들을 자세하게 비교하고 있다. 이러한 연구에 의하면 인접 화소 값의 변화율을 사용하는 방법은 연산이 매우 간단한 반면 잡음 특성이나 선형성이 취약하고, DCT나 통계상의 방식들은 잡음에 강한 반면 많은 연산량을 필요로 한다. DCT 기반의 베이스 스펙트럼 엔트로피 (Bayes spectrum entropy) 초점 값 연산자<sup>[11]</sup>의 경우 다른 초점 값 방식에 비해 잡음에 강한 특성을 보이는데, 이 연산자는 이미지 정보의 많은 부분들이 저주파 계수들에 함축 된다는 사실을 이용하여 일정 문턱 (threshold) 값보다 작은 계수들만을 초점 값에 사용한다. 그러나 이 문턱 값은 이미지의 내용에 따라 틀려지게 되는 문제점이 있다.

본 논문에서는 이러한 문제점을 극복할 수 있도록 잡음에 둔감하고 선형적인 초점 값 특성을 보이며, 기존의 DCT 방식들에 비해 연산량도 줄일 수 있는 초점 값 연산 방식을 제안하고자 한다. 제안된 방식은 DCT를 사용한 이미지 주파수 분석을 통해 초점 값의 변화가 상대적으로 적은 DC 및 AC 성분들만을 초점 값으로 사용하므로 잡음에 둔감한 특징이 있다. 또한 이미지의 에너지 분석을 통해 문턱 값을 정하므로 이미지의 내용에 큰 영향을 받지 않는다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 기존에 널리 쓰이는 초점 값 연산자들을 II장에서 소개한 후, III장에서는 DCT를 사용한 이미지 에너지 분석을 통해 새로운 초점 값 연산자를 제안하였다. IV장에서는 8가지 연산자들을 점수 계산 방식을 통해 성능을 비교하였으며, V장에서 결론을 내렸다.

## II. 기존의 초점 값 연산자

### 1. 인접 화소 값의 변화율을 사용하는 방법

인접 화소 값의 관계를 초점 값으로 이용하는 연산자의 경우 이미지의 1차 혹은 2차 미분 값을 사용한다.

#### 가. Sobel<sup>[4]</sup>

일정한 문턱 값 이상의 화소 값 변화를 초점 값으로 사용하는 비선형 연산자로서 Tenenbaum에 의해 제안되었다.

$$\begin{aligned} O_{Sobel,x} &= \{-1, 0, 1; -2, 0, 2; -1, 0, 1\} \\ O_{Sobel,y} &= \{1, 2, 1; 0, 0, 0; -1, -2, -1\} \end{aligned} \quad (1)$$

#### 나. Sum-Modified Laplacian (SML)<sup>[5]</sup>

Nayar에 의해 제안된 SML 연산자는 수평 및 수직 성분의 2차 도함수 결과가 서로 상쇄되는 라플라시안(Laplacian) 연산자의 문제점을 개선하였으며, Sobel과 같은 비선형 특성을 보인다.

$$\begin{aligned} O_{SML,x} &= \{0, 0, 0; -1, 2, -1; 0, 0, 0\} \\ O_{SML,y} &= \{0, -1, 0; 0, 2, 0; 0, -1, 0\} \end{aligned} \quad (2)$$

#### 다. Energy of Laplacian (EOL)<sup>[6]</sup>

EOL 방식은 블럭 각각의 2차 미분 값의 제곱 합을 초점 값으로 사용하며, Subbarao등에 의해 선형성이 검증되었다. 초점 값은 라플라시안 연산자, 그리고 이미지와의 내적을 제공하여 구해진다.

### 2. 통계상의 방법

표준화된 분산 (normalized variance<sup>[12]</sup> 또는 N. Var.)을 사용한 초점 값은 이미지 내의 각 화소  $P_{ij}$  와 평균 값  $m$  과의 차이를 제공하여 누적함으로써 얻을 수 있다. 만약  $m$ 이 0의 값을 가지면 초점 값은 이미지의 에너지와 같아지게 된다. N. Var.은 컴퓨터 마이크로이미지 분야<sup>[12]</sup>에서 가장 좋은 성능을 보인다고 연구되었으며 단점은 연산이 인접 화소 값의 변화율을 사용하는 방법보다 복잡하다는 것이다.

$$FM_{N.Var.} = \frac{1}{m} \sum_{i=0}^w \sum_{j=0}^h (P_{i,j} - m) \quad (3)$$

### 3. DCT를 사용하는 방법

DCT는 연산이 복잡하다는 단점이 있으나, 초점 값 연

산자의 잡음 특성이 좋고 대부분의 디지털 카메라들이 DCT 블록을 이미지 압축을 위해 사용하므로 이에 대한 많은 연구가 이루어지고 있다.

가. 기존의 DCT 관련 초점 값 연구

Charfi<sup>[7]</sup>와 Seals<sup>[8]</sup> 등은 DCT를 자동 초점에 처음으로 사용하였다. 그 후 Baina와 Dublet<sup>[9]</sup>은 DCT의 AC 계수 에너지의 합을 다음과 같이 초점 값으로 사용하였다.

$$FM_{E(AC)} = \sum_{i=1}^{w/N} \sum_{j=1}^{h/N} E_{i,j}(AC) = \sum_{i=1}^{w/N} \sum_{j=1}^{h/N} \left( \sum_{\substack{u=0 \\ (u,v \neq 0)}}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F_{i,j}(u,v)^2 \right) \quad (4)$$

여기서  $E_{i,j}(AC)$ 는  $i, j$  번째의 서브 블록에서의 AC 계수 에너지 합을 의미하고,  $F_{i,j}(u,v)$ 는 이미지의  $i, j$  번째 서브 블록에서  $u, v$  번째의 DCT 계수를 의미한다.

나. Ratio

Shen과 Chen<sup>[10]</sup>은 AC 에너지를 바로 초점값으로 이용하지 않고 AC 에너지  $E(AC)$ 와 DC 에너지  $E(DC)$ 의 비를 초점 값으로 사용하였다.

$$FM_{Ratio} = \frac{\sum_{i=1}^{w/N} \sum_{j=1}^{h/N} E_{i,j}(AC)}{\sum_{i=1}^{w/N} \sum_{j=1}^{h/N} E_{i,j}(DC)} = \sum_{i=1}^{w/N} \sum_{j=1}^{h/N} \left( \frac{\sum_{\substack{u=0 \\ (u,v \neq 0)}}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F_{i,j}(u,v)^2}{\sum_{\substack{u=0 \\ (u,v \neq 0)}}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F_{i,j}(0,0)^2} \right) \quad (5)$$

다. Bayes-spectral-entropy (Be)

Kristan<sup>[11]</sup>은 이미지의 베이스 스펙트럼 엔트로피를 사용한 초점 값 계산 방식을 제안하였다. 이미지는 8x8의 겹치지 않는 서브 블록으로 나뉘어 계산되며, 초점 값은 특정 문턱 값( $t$ )보다 차수가 작은 계수들만 사용된다.

$$FM_{Be(t)} = \sum_{i=1}^{w/N} \sum_{j=1}^{h/N} \left( 1 - \frac{\sum_{\substack{u=0 \\ u+v \leq t}}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F_{i,j}(u,v)|^2}{\left( \sum_{\substack{u=0 \\ u+v \leq t}}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} |F_{i,j}(u,v)| \right)^2} \right) \quad (6)$$

III. 에너지 비율을 사용한 초점 값 측정

1. DCT 도메인에서의 이미지 분석

DCT는 1차 혹은 2차원의 데이터를 주파수 도메인에서 분석하는데 널리 사용된다. 공간 도메인의 8x8 이미지(P)는 주파수 도메인의 이미지(S)로 다음의 식 (7)과 같이 변환된다.

$$S_{ij} = \frac{1}{4} \cdot C_i \cdot C_j \cdot \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 P_{xy} \cdot \cos \left[ \frac{(2x+1) \cdot i \cdot \pi}{16} \right] \cdot \cos \left[ \frac{(2y+1) \cdot j \cdot \pi}{16} \right] \quad (7)$$

$$C_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ when } i = 0, C_j = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ when } j = 0, C_i, C_j = 1 \text{ otherwise}$$

$P_{xy}$  : input image pixel,  $S_{ij}$  : DCT result

그 결과, 64개의 DCT 계수 ( $S_{0,0} \sim S_{7,7}$ )가 주파수 크기에 따라 그림 1과 같이 정렬된다. 계수 각각의 크기는 그 주파수에서의 데이터 량이다. 즉,  $S_{0,0}$ 은 DC에서의 데이터 크기이며  $S_{7,7}$ 은 가장 높은 주파수에서의 데이터 크기를 의미한다.

DCT는 데이터 압축 시 널리 쓰이는데, 이는 많은 데이터가 몇 개의 계수로 표현될 수 있기 때문이다. 즉, 에너지 관점에서 보면 저주파 대역에 있는 몇 개의 계수가 이미지의 에너지 대부분을 차지한다는 것이다. 이는 다음의 실험에서도 확인할 수 있었는데, 그림 2와 같이 초점이 맞는 10개 이미지의 에너지 편중 현상에 대한 결과는 표 1과 같다. DC는 전체 에너지의 97.9% (10개 이미지의 평균값)를 차지하며 저주파 대역의 5개

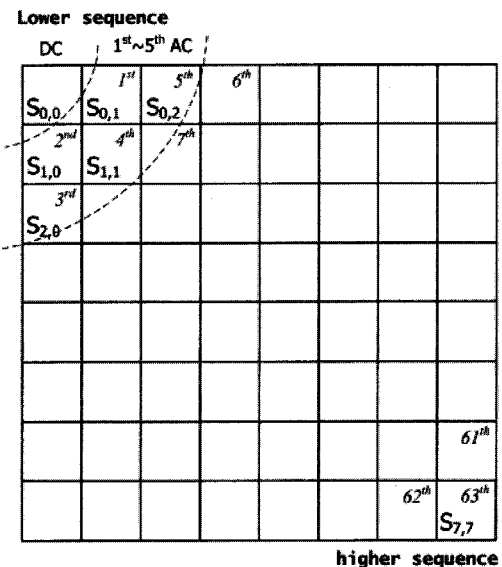


그림 1. DCT 계수의 주파수 분포  
Fig. 1. Frequency distribution of the DCT results.

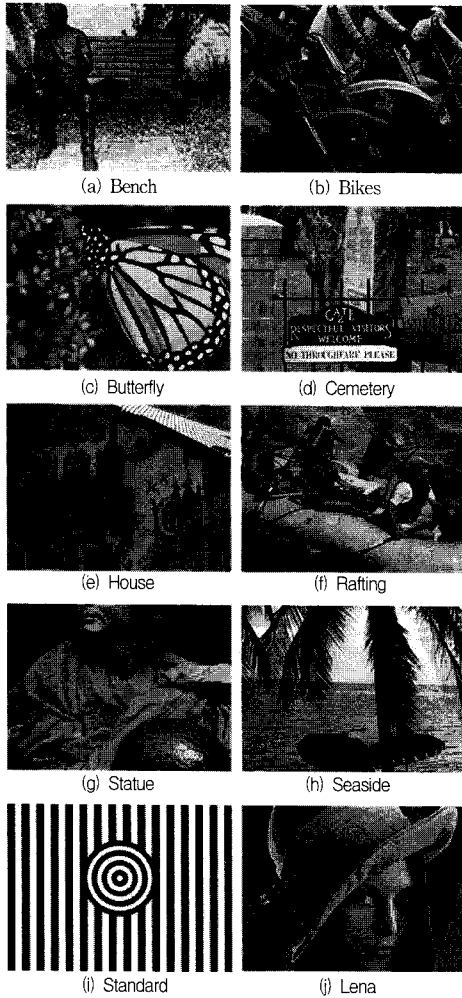


그림 2. 정초점의 표본 영상  
Fig. 2. In focus sample images.

표 1. 표본 영상의 DCT 에너지 분석  
Table 1. DCT Energy Analysis of the sample Image.

Object	$E_{DC} / E_{image}$	$E_{AC(1st \sim 5th)} / (E_{image} - E_{DC})$	$E_{AC(1st \sim 2nd)} / (E_{image} - E_{DC})$
Bench	98.2	58.4	36.6
Bikes	96.9	71.1	51.6
Butterfly	98.1	85.0	66.5
Cemetery	98.2	64.7	35.3
House	99.4	70.0	49.5
Rafting	98.7	72.0	53.4
Statue	99.6	56.7	58.0
Seaside	98.4	55.5	39.0
Standard	91.9	90.8	74.4
Lena	99.4	72.9	56.7
Average	97.9	71.7	52.1

- $E_{DC}$  : Energy of DC
- $E_{total}$  : Energy sum of all DCT components (DC and 63 AC)
- $E_{AC(1st \sim 5th)}$  : Energy sum of  $1^{st} \sim 5^{th}$  AC components
- $E_{AC(1st \sim 2nd)}$  : Energy sum of  $1^{st} \sim 2^{nd}$  AC components

AC( $S_{01}, S_{10}, S_{20}, S_{11}, S_{02}$ ) 및 2개 AC( $S_{01}, S_{10}$ ) 계수는 전체 AC 에너지의 평균 71.7%와 52.1%를 차지한다.

2. 간략화된 에너지 비율을 사용한 초점 값 측정

DCT 도메인의 에너지 관점에서 보면 DC와 5개의 저주파 AC 계수가 이미지에 매우 중요한 요소라고 생각 할 수 있으며, 이 계수들의 에너지( $E_{AC(1st \sim 5th)}$ ) 또는  $E_{AC(1st \sim 2nd)}$ 를 전체 AC 에너지( $E_{AC}$ )로 두는 것이 가능하다. 이러한 가정에 의하면 이미지 전체의 에너지( $E_{Total}$ )는 다음과 같이 유추 가능하다.

$$\begin{aligned}
 E_{Total} &= E_{DC} + E_{AC} \\
 &= E_{DC} + E_{AC(1st \sim 5th)} + E_{AC(6th \sim 63th)} \quad (8) \\
 &\approx E_{DC} + E_{AC(1st \sim 5th)}
 \end{aligned}$$

여기서  $E_{DC}$ 는 DC의 에너지,  $E_{AC(1st \sim 5th)}$ 는  $1^{st} \sim 5^{th}$  AC 계수 에너지의 합,  $E_{AC(6th \sim 63th)}$ 는  $6^{th} \sim 63^{th}$  AC 계수 에너지의 합이다.

또한 각각의 DCT 계수 값의 이미지 선명함의 정도에 따른 변화율을 분석하기 위해 다음과 같은 시뮬레이션이 실행되었다. 그림 2에 있는 10개의 이미지들을 20스텝의 가우시안 블러링 효과를 주어 20개의 선명함이 다른 이미지를 생성하였고, 8개 계수들(DC,  $S_{11}, S_{22}, \dots, S_{77}$ )의 최대 및 최솟값들의 비를 비교하여 그림 3에 나타내었다. 그 결과,  $S_{00}$ , 즉 DC 값은 평균 10가지 이미지 모두에서 평균 1.02라는 가장 작은 변화율을 보였다.

위의 두 가지 분석을 통해 우리는 다음과 같은 사실을 알 수 있었다. DC는 이미지 정보의 대부분을 차지하며 이미지의 선명성 변화에 대해 가장 작은 변화율을 보인다. 그에 비해 AC 계수들은 이미지의 선명성 변화에 대한 급격한 크기 변화를 보이고, 이러한 특성은 다양한 잡음에 의한 국소 최댓값 (local maximum) 문제

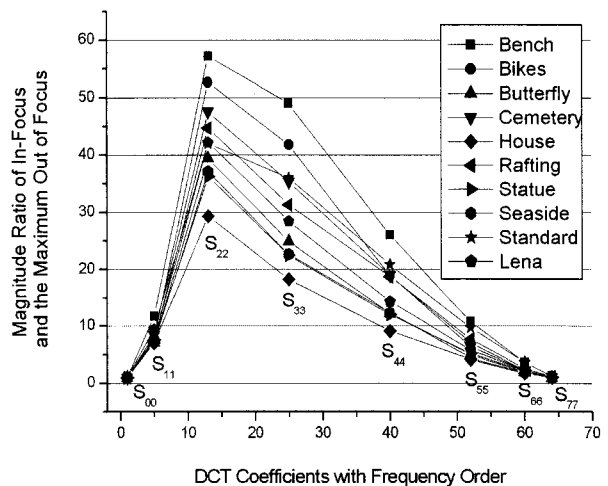


그림 3. 초점 변화에 따른 DCT 계수 크기의 변화 비교  
Fig. 3. Comparison of the magnitude ratio according to the focus change.

를 야기한다.

이와 같은 DC와 AC 계수 각각의 특성을 초점 값에 이용하기 위해 다음과 같은 초점 값 구성을 생각해 볼 수 있다. 즉, 조그만 선명 정도에도 큰 영향을 받는 AC와 잡음에 강한 DC의 비율을 초점 값으로 사용해 보도록 한다. 즉, 특정 선명도를 가진 이미지의 AC, DC 에너지 비를  $fm_1$ 이라고 하고, 이보다 선명하지 않은 이미지의 AC, DC 비를  $fm_2$ 라고 하자.

$$fm_1 = \frac{E_{AC_1}}{E_{DC_1}} \text{ and } fm_2 = \frac{E_{AC_2}}{E_{DC_2}} \quad (9)$$

그 후,  $fm_1$ 과  $fm_2$ 를 나누면, 이 값은 AC 에너지만으로 초점 값을 구성했을 때보다 작게 된다.

$$\begin{aligned} \frac{fm_1}{fm_2} &= \frac{E_{AC_1}}{E_{DC_1}} \cdot \frac{E_{DC_2}}{E_{AC_2}} \\ &= \frac{E_{DC_2}}{E_{DC_1}} \cdot \frac{E_{AC_1}}{E_{AC_2}} \\ &< \frac{E_{AC_1}}{E_{AC_2}} \end{aligned} \quad (10)$$

이는  $E_{DC_2}/E_{DC_1}$ 이 1보다 작기 때문이며 (10개 이미지 평균은 1/1.02, 그림 3), 이로 인해 AC만을 초점 값으로 사용하는 방식보다 잡음에 의한 영향을 덜 받게 된다.

전체 AC 계수 에너지의 합은 두 가지 이유로 인해  $E_{AC(1st \sim 5th)}$ 나  $E_{AC(1st \sim 2nd)}$ 로 대변될 수 있다. 첫째 이유는 잡음에 대한 둔감성이다. 고주파 계수를 사용하면 가우시안 잡음 측면에서 좋지 않다. 가우시안 잡음은 모든 주파수 영역에 비슷한 크기로 영향을 주는데, 고주파 AC 성분은 저주파 AC 성분보다 크기가 매우 작아 더 많은 영향을 받기 때문이다 (표 1 참조). 또한 임펄시브 잡음은 고주파 성분에 많이 발생하므로 이에 대한 영향도 줄일 수 있다. 두 번째 이유는 저 전력 특성이다. Ratio 나 Be 방식과 같이 63개 혹은 8개 이상의 AC 계수를 초점 값으로 사용하는 방식의 연산 복잡도는 AC 계수 2개 혹은 5개를 사용하는 방식보다 크다.

또한 Be의 경우, 표준화(normalization)를 위해 모든 에너지를 더하고 나누는 연산이 추가적으로 필요하므로 연산 복잡도는 더욱 커지게 된다. 이러한 이유로 인해, 본 논문에서는 잡음에 둔감하고 소비 전력이 작은 간략화된 에너지 비율 초점 값 연산자를 제안하고자 한다.

$$\begin{aligned} FM_{AC2DC1} &= \frac{(S_{01}^2 + S_{10}^2)}{S_{00}^2} \\ FM_{AC5DC1} &= \frac{(S_{01}^2 + S_{10}^2 + S_{20}^2 + S_{11}^2 + S_{02}^2)}{S_{00}^2} \end{aligned} \quad (11)$$

#### IV. 실험 결과

본 절에서는 제안된 초점 값 연산자의 성능을 검증하기 위해 8가지 초점 값 방식들에 대한 범위(range), 국소 최댓값 수 (number of false maxima), 그리고 폭(width) 특성을 그림 4와 같은 실험을 통해 비교하고자 한다. 범위란 전체적인 최댓값(global maximum) 양 옆에 위치한 국소 최솟값(local minimum)들이 위치한 렌즈 사이의 거리이며, 국소 최댓값 수는 전체적인 최댓값을 제외한 국소 최댓값들의 개수이다. 이상적인 초점 값 연산자는 범위가 크고 국소 최댓값이 존재하지 않는다. 마지막으로 폭은 전체적인 최댓값의 1/2 크기를 초점 값으로 갖는 양 옆 렌즈 사이의 거리인데 폭이 작으면 더욱 날카로운 초점 값 특성을 보인다.

이와 같은 세 가지 초점 값 특성들은 하나의 점수 값(Score)으로 표현되어져 전체적인 초점 특성의 우수성을 비교하게 된다.

$$Score = \sqrt{\frac{(max.range - range)^2 + (number\ of\ false\ maxima)^2}{+(width)^2}} \quad (12)$$

초점 값 특성을 알아보기 위한 실험은 그림 2에 나타나 있는 열 가지 표본 영상들을 20개의 다른 선명도를 가지도록 하여 사용하였으며, 잡음이 없는 환경과 0.5% 가우시안 및 1% 임펄시브 잡음이 있는 세 가지 환경에서 진행되었다.

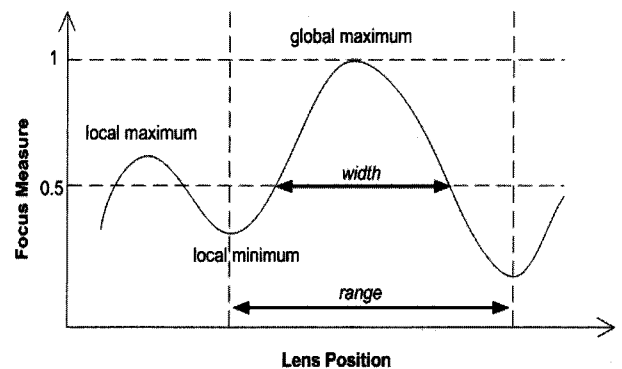


그림 4. 초점 변화에 따른 DCT 계수 크기의 변화 비교  
Fig. 4. Criteria function for comparison the focus measure: range, number of false maxima and width.

##### 1. 잡음이 없는 환경에서의 실험

잡음이 없는 환경에서는 대부분의 연산자들이 표 2와 같은 좋은 특성을 보여주었다. 이 중에서 AC5DC1은 모든 그림에서 뛰어난 결과를 보여 주었으며 Ratio,

표 2. 초점값 연산자 비교 (잡음이 없을 때)  
Table 2. Comparison of focus measure without noise.

Object	Sobel	SML	EOL	N. Var	Ratio	Be	AC2DC1	AC5DC1
Bench	11	1	13.1	5	1	2	2	2
Bikes	12	3.3	11.1	4	2	4	3	3
Butterfly	12	4.2	1	3	2	5	3	3
Cemetery	12	1	1	3	1	4	2	2
House	11	1	11.1	4	2	3	4	3
Rafting	12	1	11.2	6	2	3	3	3
Statue	11	1	1	5	2	3	5	4
Seaside	12	1	11.1	8	2	3	6	4
Standard	14	8.3	19.4	8.1	17.1	10.7	4	3
Lena	12	12.2	11.1	7	2	3	4	3
Average Score	11.9	3.4	9.1	5.3	3.3	4.1	3.6	3
Ranking	8	3	7	6	2	5	4	1

SML, AC2DC1도 좋은 결과를 보였다. 그러나 Sobel과 EOL은 큰 폭과 작은 범위를 보여 좋은 점수를 얻을 수 없었다. AC5DC1이 AC2DC1보다 좋은 점수를 보이는 이유는 잡음이 없는 환경에서 더 많은 AC 계수들이 초점 값에 반영되었기 때문이다.

2. 가우시안 및 임펄시브 잡음 환경에서의 실험

가우시안 및 임펄시브 잡음이 있는 경우, 모든 DCT 방식들과 N. Var. 방식들은 표 3과 표 4와 같이 초점값 연산자로서 좋은 결과를 보였다. 그에 반해 인접 화소와의 연관성을 사용한 방식들은 기존의 연구에서 보인 바와 같이 좋은 점수를 얻지 못하였다. Sobel은 범위와 국소 최댓값의 수에서 좋은 특성을 보였지만, 폭

표 3. 초점값 연산자 비교 (0.5% 가우시안 잡음)  
Table 3. Comparison of focus measure with 0.5% Gaussian noise.

Object	Sobel	SML	EOL	N. Var	Ratio	Be	AC2DC1	AC5DC1
Bench	11	17.7	20.3	5	2.4	9.3	2	4.6
Bikes	11	19.4	20	4	8.6	4	4.6	3.7
Butterfly	11	19.1	20	4.4	3	5.1	3	4.4
Cemetery	11	19	20	3	1	8.6	2	2
House	12	19.1	20	5	9.7	9.2	3	3
Rafting	12	18	18.8	7	4.9	5.4	3.7	3
Statue	12	18.8	19.4	5	11	6	8.1	7.5
Seaside	12	19.2	20	8	3	5.1	6	4
Standard	13	19.7	20	8.1	3	10	4	4
Lena	13	17.5	17	7	10.6	10.6	11	10.6
Average Score	11.7	18.8	19.5	5.6	5.7	7.3	4.7	4.7
Ranking	6	7	8	3	4	5	1	1

표 4. 초점값 연산자 비교 (1% 임펄시브 잡음)  
Table 4. Comparison of focus measure with 1% impulsive noise.

Object	Sobel	SML	EOL	N. Var	Ratio	Be	AC2DC1	AC5DC1
Bench	12	12.7	20	5	10.5	8.8	3	3
Bikes	12	18.1	17.5	4	11.6	9	3	3
Butterfly	12	14.9	20.9	3	11.9	5	3	3
Cemetery	12	14.9	18.3	3	9.1	5	2	2
House	12	15.8	20.3	4	14.7	13	9.17	11.2
Rafting	11	18.1	20.3	6	16	14.9	5.9	6.2
Statue	11	15.9	21.2	5	13.7	14.2	10.5	5.1
Seaside	11	16.2	19.9	8	10.4	10.6	6	4
Standard	14	15.8	19.1	8.1	6.4	9.9	4	3
Lena	12	15.6	18.5	7	15.7	11.8	4	11.6
Average Score	11.9	15.8	19.6	5.3	12	10	5.1	5.2
Ranking	5	7	8	3	6	4	1	2

이 다른 방식들보다 좋지 못하였다. 또한 SML과 EOL은 잡음에 매우 취약함을 확인할 수 있었다. AC2DC1과 AC5DC1은 가우시안 노이즈와 임펄시브 잡음 특성이 대부분의 표본 영상에서 다른 연산자에 비해 뛰어났다. 이는 저주파 AC 에너지 성분을 초점 값으로 사용함으로써 임펄시브 잡음의 영향을 제거하고, DC 에너지 성분으로 나누어 줌으로써 가우시안 잡음의 영향을 최소한으로 줄인 결과로 분석된다.

V. 결 론

본 논문에서는 이산 코사인 변환계수에 기반을 둔 간략화된 에너지 비율 초점 값 연산자를 제안하였다. 제안된 연산자는 저주파 대역의 AC와 DC 에너지 비를 초점 값으로 사용함으로써 가우시안 및 임펄시브 잡음에 대한 영향을 줄이고, 기존의 연산자보다 연산량을 최소화할 수 있다.

제안된 연산자의 잡음 둔감성을 알아보기 위해 기존의 6가지 연산자와의 실험이 진행되었다. 실험 결과 제안된 연산자는 잡음이 없을 시, 10가지 표본 영상의 평균 값이 3~3.6점으로 다른 연산자들과 비슷한 특성을 보였다. 반면에 가우시안 및 임펄시브 잡음이 있는 경우, 평균값이 4.7~5.2 점으로 다른 연산자들(5.3~19.6)보다 우수한 잡음 제거 효과를 보임을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

[1] 디지털 타임스, (<http://www.etnews.co.kr>)

/news/detail.html?id=200711070129), 2007.

- [2] S. Kawamura, "Capturing images with digital still cameras," *IEEE Micro*, vol. 18, no. 6, pp. 14-19, Nov./Dec. 1998.
- [3] M. Mancuso, "An Introduction to the digital still camera technology," *ST J. System Research*, vol. 2, no. 2, pp. 1-9, Dec. 2001.
- [4] E. Krotkov, "Focusing," *Int. J. Computer Vision*, vol. 1, pp. 223-237, 1987.
- [5] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Trans. Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 8, pp. 824-831, Aug. 1994.
- [6] M. Subbarao, T. S. Choi, and A. Nikzad, "Focusing techniques," *Optical Eng.*, vol. 32, no. 11, pp. 2824-2836, Nov. 1993.
- [7] M. Charfi, A. Nyeck, and A. Tosser, "Focusing criterion," *IEE Electronics Letters*, vol. 27, no. 14, pp. 1233-1235, Jul. 1991.
- [8] W. Brent Seales and Matthew D. Cutts, "Active camera control from compressed image streams," in *Proc. SPIE Networked Robotics*, Oct. 1995, pp. 50-57.
- [9] J. Baina and J. Dublet, "Automatic focus and iris control for video cameras," in *Proc. IEEE Int. Conf. Image Processing and its Applications*, Jul. 1995, pp. 232-235.
- [10] C. H. Shen and H. H. Chen, "Robust focus measure for low-contrast images," in *Proc. IEEE Int. Conf. Consumer Electronics*, Jan. 2006, pp. 69-70.
- [11] M. Kristan, J. Pers, M. Perse, and S. Kovacic, "A Bayes-spectral-entropy-based measure of camera focus using a discrete cosine transform," *Pattern Recognition Letters*, vol. 27, no. 13, pp. 1431-1439, Oct. 2006.
- [12] Y. Sun, S. Duthaler, and B. J. Nelson, "Autofocusing in computer microscopy: Selecting the optimal focus algorithm," *Microscopy Research and Technique*, vol. 65, no. 3, pp. 139-149, Oct. 2004.
- [13] A. Santos, C. Ortiz De Solorzano, J. J. Vaquero, J. M. Pena, N. Malpica, and F. Del Pozo, "Evaluation of autofocus functions in molecular cytogenetic analysis," *J. Microscopy*, vol. 188, no. 3, pp. 264-272, Dec. 1997.

---

— 저 자 소 개 —

---



이 상 용(학생회원)  
 2001년 한국항공대학교  
           컴퓨터공학과 학사  
 2003년 고려대학교  
           전자공학과 석사  
 2008년 고려대학교  
           전자공학과 박사

<주관심분야 : Digital Signal Processing, SoC Design, Digital Filter for Audio DAC>