

논문 2006-43SD-12-2

노이즈에 둔감한 밴드패스 이산 코사인 초점 값 연산자

(Mid frequency - DCT focus measure operator for the robust autofocus)

이상용*, 박상수*, 김수원**

(Sang-Yong Lee, Sang-Soo Park and Soo-Won Kim)

요약

본 논문에서는 노이즈에 둔감한 4*4 밴드패스 이산 코사인(MF-DCT) 초점 값 연산자를 제안하였다. 제안된 연산자는 DCT 결과 중 중간 주파수 성분을 사용하는 8*8 MDCT 연산자를 노이즈에 둔감하도록 4*4 형태로 개선한 것으로서 연산자를 180도 회전하여도 같은 구조를 갖도록 하였다. 이 연산자는 샘플링 주파수의 절반 부분의 주파수를 통과시키는 밴드패스 필터와 같이 동작하여 초점 정보를 가지고 있지 않는 저주파 신호와 노이즈에 의해 많은 영향을 받는 고주파 신호를 억제함으로써 노이즈에 둔감한 특성을 가진다. 또한 밴드패스 필터를 통과한 성분의 에너지를 초점 값으로 사용함으로써 초점 값의 선형성을 보장받게 된다. 실험 결과에서는 MF-DCT 연산자의 가우시안 노이즈 및 임펄시브 노이즈 특성을 살펴보기 위해 기존의 초점 값 연산자들과의 Autofocusing Uncertainty Measure (AUM)비교를 통해 우수성을 검증하였다.

Abstract

This paper proposed noise insensitive 4*4 mid frequency - DCT (MF-DCT) focus measure operator. Proposed operator enhanced low power 8*8 MDCT operator to have 4*4 rotationally same form for Gaussian noise. MF-DCT operator acting like band-pass filter suppresses both low-frequency signal useless for focus measure and high-frequency signal affected by impulsive noise. Also it is proved to be linear because it uses the energy of band-pass filtered signal as focus measure. Experimental result shows its superiority by comparing AUM with traditional operators..

Keywords : Autofocus, Focus measure, Impulsive noise, Gaussian noise, AUM

I. 서론

최근 카메라 폰과 디지털 카메라에서 사용되는 CMOS/CCD 이미지 센서는 천만화소에 가까운 고화질의 사진을 소비자에게 제공하고 있다. 디지털 이미지의 화질을 좌우하는 요소로는 픽셀 수, 이미지 센서의 크기 등이 있지만 자동초점 (autofocus, AF) 기능은 기존의 하드웨어를 사용하여 최적의 이미지를 얻을 수 있게 하는 매우 중요한 요소이다. 자동초점이란 선명한 디지

털 이미지를 얻을 수 있도록 최적의 초점 거리를 자동으로 설정해 주는 기능을 하며 대부분의 디지털 카메라에서 사용되고 있다. 자동초점은 이미지 센서만을 사용하여 초점을 조절하는 수동식(passive)과 적외선이나 자외선을 사용하는 능동식(active)으로 나누어지는데 본 논문에서는 저전력으로 구현하기 쉬운 수동식 방식에 대해서 다루도록 한다^{[1][2]}. 수동식 자동초점은 디지털 이미지의 선명한 정도를 가늠하기 위해 초점 값 (focus-value, FV)을 계산하고 비교하는 일련의 과정을 통해 정 초점 거리를 찾게 된다. 초점 값은 여러 가지 방식으로 구해질 수 있는데 초점 값 연산자(focus measure operator)를 사용하는 방식은 초점 값 연산자와 이미지 블록과의 컨벌루션(convolution) 결과를 이용하는 경우가 대부분이며 컨벌루션은 공간상에서 이동 누적 합(moving weighted sum, MWS)과 같으므로 이

* 학생회원, ** 정회원, 고려대학교 전자공학과
(Department of Electronics Engineering, Korea University)

※ 본 논문은 정보통신부 및 정보통신연구진흥원의 해외교수초빙지원사업과 IDEC의 도움으로 수행되었습니다.

접수일자: 2006년7월5일, 수정완료일: 2006년11월15일

를 이용하여 초점 값을 구할 수 있다^[3]. 초점 값 연산자에 관한 연구로서 Variance^[4], Energy of image Laplacian (EOL)^[5], Modified DCT(MDCT)^[6], Wavelet을 이용한 연산자^{[7],[8]}와 같은 선형 연산자들과 Sobel (Image gradient)^[9], Sum-modified Laplacian (SML, Second derivatives of image gray level)^[10], Frequency Selective Weighted Median Filter (FSWM)^[11]와 같은 비선형 연산자들이 있다. 선형 연산자는 초점 값이 선형적(linear)으로 변화하여 전체적으로 하나의 최대값(global maximum)을 가지게 된다는 것이 증명되었으며, 이론적으로 자동초점 용 표준 편차 (standard deviation, σ)를 구하여 노이즈에 둔감한 정도를 Autofocus Uncertainty Measure (AUM)과 Autofocus Root Mean Square (ARMS) Error 값으로 측정 가능하다. 본 논문에서는 정확한 자동초점 기능을 구현하기 위해 다양한 전기 노이즈에 둔감한 초점값 연산자를 제안하였다. 제안된 연산자는 패턴 인식에 효과적인 DCT 계수 중 구현에 용이하고 초점값 특성이 우수한 밴드 패스 성분을 노이즈에 둔감하도록 변형하였다. 실험결과에서는 기존 연산자와의 AUM 및 임펄시브 노이즈의 영향을 비교함으로써 초점 값 연산자의 우수성을 검증하였다.

논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 몇 가지 초점 값 연산자들에 대해 알아보고 III장에서는 MF-DCT 초점 값 연산자를 제안하고 MF-DCT의 표준편차를 계산하였다. IV장에서는 실험 환경 및 실험결과를 보이도록 한다. 마지막으로 V장에서는 결론을 도출하도록 한다.

II. 기존의 초점 값 연산자

초점 값 연산자는 선명한 이미지일수록 에지 부분과 그에 인접한 픽셀간의 값 차이가 크고 고주파 또는 중간 주파수 성분의 신호가 많이 존재한다는 현상을 이용한다. 이 장에서는 기존의 7가지 초점 값 연산자를 소개하도록 한다.

1. Variance of image gray level^[4]

Variance 방식을 사용한 초점 값은 이미지 내의 각 픽셀 $g_i(x,y)$ 과 평균값 m_i 과의 차이를 제곱하여 누적함으로써 얻을 수 있다. 만약 m_i 가 0의 값을 가지면 초점 값은 이미지의 에너지와 같아지게 되며 초점 값은 선형적인 특성을 보인다.

$$FV_1 = \iint (g_i(x,y) - m_i)^2 dkdy \quad (1)$$

2. Energy of image Laplacian^[5]

EOL 연산자는 픽셀 각각의 2차 미분 값의 제곱 합을 초점 값으로 사용한다. 또한 Variance 나 Gradient Magnitude Squared 와 같은 선형 연산자들과 비교하여 노이즈에 덜 민감하며 초점 값의 특성이 좋다.

$$FV_2 = \iint \left(\frac{\partial^2 g_i(x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g_i(x,y)}{\partial y^2} \right)^2 dx dy \quad (2)$$

3. Sobel^[9]

일정한 문턱 값 이상의 그래디언트 크기를 초점 값으로 사용하는 비선형적인 연산자로서 Tenenbaum에 의해 제안되었다. 연산자가 간단하고 초점 값 특성이 좋아 널리 쓰인다.

$$FV_3 = \iint \left(\frac{\partial g_i(x,y)}{\partial x} + \frac{\partial g_i(x,y)}{\partial y} \right) dx dy \quad (3)$$

4. Sum-modified Laplacian^[10]

Nayar에 의해 제안된 SML 연산자는 비선형 특성을 보이며 수평 및 수직 성분의 2차 도함수 결과가 서로 상쇄되는 Laplacian 연산자의 문제점을 개선하였다. 이 연산자는 가우시안 함수의 합으로 표현되며 원하는 주파수 밴드의 연산 결과를 초점 값으로 사용할 수 있다.

$$FV_4 = \iint \left(\left| \frac{\partial^2 g_i(x,y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 g_i(x,y)}{\partial y^2} \right| \right) dx dy \quad (4)$$

5. Frequency Selective Weighted Median Filter^[11]

FSWM 필터는 비선형 연산자이며 주파수 각각에 다른 가중치를 부여하는 방법을 통해 미디언 필터를 밴드 패스 필터의 특성을 갖도록 개선하였다. 이 방식은 어느 정도의 임펄스 성 노이즈 제거에 탁월한 특성을 보인다.

$$y_F(n) = \sum_{i=1}^N \alpha_i \hat{y}_i(n) \quad (5)$$

$y_F(n)$ 은 FSWM 필터, N 은 미디언 필터 갯수, $\alpha_i \in \mathbb{R}$

, $\hat{y}_i(n)$ 은 미디언 필터이다. 초점 값은 수평 및 수직방 향으로 이미지와 FSWM 필터와의 콘벌루션 결과값을 제공하고 그 값들을 누적하여 얻을 수 있다.

$$FV_5 = \iint (y_F(n) * g_i(x, y))^2 dx dy \quad (6)$$

6. Energy of 1st Wavelet Coefficient^[7]

Wavelet Transform은 입력 시그널을 공간과 주파수 도메인에서 확장과 이동을 통해 다중 스케일로 분해하는 기능을 한다. 그림 1(a)에 Wavelet Transform을 적용하면 그림 1(b)과 주파수 성분에 따라 공간적으로 정렬되며 LH1, HL1, HH1은 각각 1차 Wavelet 분해 결과의 수평 및 수직, 그리고 대각선 성분을 나타낸다.

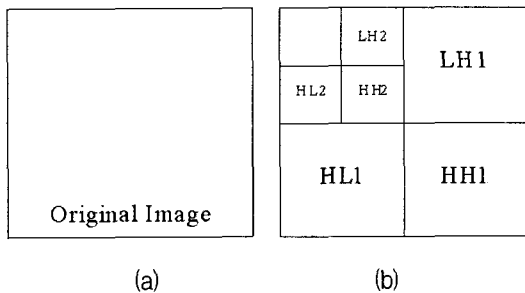


그림 1. Wavelet 분해 특성
Fig. 1. Characteristics of Wavelet decomposition.

초점 값은 1차 분해 성분 각각의 편차를 제공한 것을 사용하여 얻을 수 있으며 분해 차수를 높일수록 Speckle 노이즈를 제거한 초점 값을 얻을 수 있다.

$$FV_6 = \frac{1}{W * L} \left[\sum_{x,y} (W_{LH1}(x,y) - \mu_{LH1})^2 + \sum_{x,y} (W_{HL1}(x,y) - \mu_{HL1})^2 + \sum_{x,y} (W_{HH1}(x,y) - \mu_{HH1})^2 \right] \quad (7)$$

7. Modified DCT

MDCT는 DCT의 중간대역에 대응하는 계수를 초점 값 계산에 사용하는데, DCT의 특성인 블록단위 계산을 이용하여 8*8 크기의 겹치지 않는 이미지 블록과 MDCT 연산자의 콘벌루션을 누적하여 초점 값을 구한다. MDCT 연산자 O_{MDCT} 는 아래의 8*8 matrix로 나타낼 수 있으며 초점 값 계산에 필요로 하는 연산 복잡도가 최소로써 저전력 구현이 가능하다.

X	-Y	-Y	Y	Y	-Y	-Y	Y
-Y	Z	Z	-Z	-Z	Z	Z	-Z
-Y	Z	Z	-Z	-Z	Z	Z	-Z
Y	-Z	-Z	Z	Z	-Z	-Z	Z
Y	-Z	-Z	Z	Z	-Z	-Z	Z
-Y	Z	Z	-Z	-Z	Z	Z	-Z
-Y	Z	Z	-Z	-Z	Z	Z	-Z
Y	-Z	-Z	Z	Z	-Z	-Z	Z
X(0.5)				Y(0.706)		Z(1)	

$$FV_7 = \iint (O_{MDCT} * g_i(x,y)) dx dy \quad (8)$$

III. 제안된 Modified Mid-frequency DCT (MMDCT) 초점 값 계산 연산자

밴드 패스 필터에 기반을 둔 초점 값 계산 방식은 M. Subbarao^[3]등에 의해 초점 값이 선형적으로 변한다는 것이 증명되었는데, 이 필터는 가우시안 저주파 통과 필터를 거친 신호의 에너지를 누적함으로써 구현되었다. 이 방식은 초점 값 계산에 거의 영향을 끼치지 않는 저주파 성분의 신호와 다양한 노이즈에 의해 영향을 받는 고주파 신호를 제거한다. 이 장에서는 이와 같은 밴드 패스 필터에 기반 한 초점 값 계산 연산자를 제안하고자 한다.

DCT는 공간 영역의 데이터를 주파수 공간으로 바꿔주는 알고리즘으로써 패턴 추출에 좋은 성능을 나타낸다. 밴드 패스 필터 특성을 만족시키는 연산자를 찾기 위해 다음과 같은 DCT 식에 의해 중간 주파수의 $S_{i,j}$ 들의 초점 값 특성^[6]을 살펴보았다.

$$S_{i,j} = \frac{1}{4} * C_i * C_j * \sum_{x=0}^7 \sum_{y=0}^7 P_{x,y} * \cos \left[\frac{(2x+1)*i*\pi}{16} \right] * \cos \left[\frac{(2y+1)*j*\pi}{16} \right] \quad (9)$$

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

$P_{x,y}$: input image pixel, $S_{i,j}$: DCT result

그 결과 $S_{4,4}$ 는 다른 결과값들보다 초점 값의 변화량이 크고 단지 3개의 계수만을 필요로 하기에 구현이 쉬워 초점 값으로 쓰이기에 특성이 좋으며 O_{MDCT} 연산자로 쓰일 수 있다. 그러나 이 연산자는 크기가 8*8로써 주파수 공간에서 보면 15*15의 크기를 가지게 되어 EOL과 비교하여 매우 큰 자동초점용 표준 편차(Standard deviation, σ)^[3]를 갖는다.

$$\sigma_{EOL} = \sqrt{\frac{1352\sigma_n^4}{N^2} + \frac{4\sigma_n^2}{N^4} \sum_{m=1}^{M+N} \sum_{n=1}^{M+N} [O_{LOE}(i,j) * O_{LOE}(i,j) * f(m,n)]^2} \quad (10)$$

$$\sigma_{MDCT} = \sqrt{\frac{50415\sigma_n^4}{N^2} + \frac{4\sigma_n^2}{N^4} \sum_{m=1}^{M+N} \sum_{n=1}^{M+N} [O_{MDCT}(i,j) * O_{MDCT}(i,j) * f(m,n)]^2} \quad (11)$$

이러한 문제점을 해결하기 위해 O_{MF-DCT} 를 이루고 있는 계수들 중 계산이 간단하고 180도 회전하여도 같은 모양을 가지며, 1과 -1로만 이루어진 4*4 O_{MF-DCT} 를 제안하였다.

$$O_{MMDCT} : \begin{bmatrix} 1 & 1 & -1 & -1 \\ 1 & 1 & -1 & -1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \\ -1 & -1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

O_{MF-DCT} 는 중간 주파수의 성질을 그대로 가지며 표준편차의 값도 아래와 같이 줄어들게 된다.

$$\sigma_{MF-DCT} = \sqrt{\frac{1568\sigma_n^4}{N^2} + \frac{4\sigma_n^2}{N^4} \sum_{m=1}^{M+N} \sum_{n=1}^{M+N} [O_{MF-DCT}(i,j) * O_{MF-DCT}(i,j) * f(m,n)]^2} \quad (12)$$

초점 값은 O_{MF-DCT} 연산자와 4*4 이미지 블록의 컨벌루션 결과의 제곱을 누적하여 얻는다.

IV. 실험 환경

기존의 초점 값 계산 연산자와 제안된 초점 값 연산자의 AUM 비교를 위해 그림 2와 같은 실험 환경을 구현하였다. 본 실험 환경을 통해 렌즈의 초점 거리를 컴퓨터로 제어할 수 있고 실시간으로 디지털 이미지로 저장할 수 있다. 세부적인 장치의 스펙은 표 1과 같다. 렌즈 컨트롤 프로그램은 CCD 카메라의 초점 거리를 25 단계로 변화시키면서 각 단계마다 10번의 사진을 촬영하도록 만들어졌다. 이는 촬영시마다 각기 다른 노이즈 성분에 의한 이미지들을 분석해 노이즈에 대한 영향을 분석하기 위함이다. 또한 몇 장의 노이즈가 가미된 이미지들을 평균하여 이상에 가까운 이미지를 만들어낼 수 있다. 샘플 이미지로는 그림 3과 같이 세 가지 이미지 Image A, B, C를 사용하였다. 따라서 750장 (3 샘플 * 25 스텝 * 10 노이즈 이미지)의 이미지가 실험에 사용되었다.

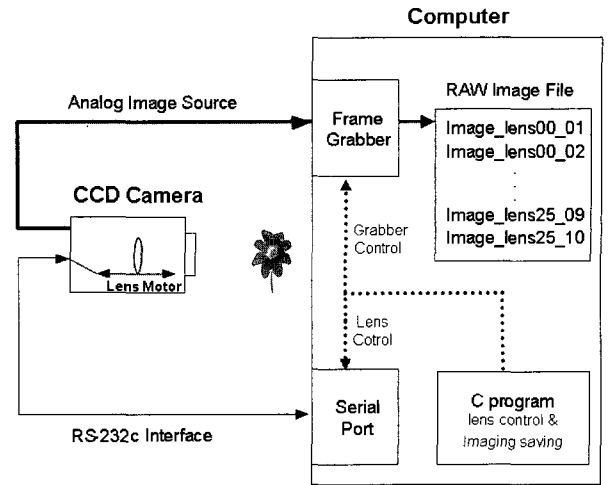


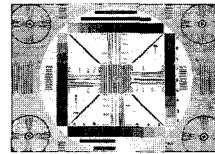
그림 2. 컴퓨터 제어 기반의 실험 환경
Fig. 2. Computer based test environment.

표 1. 실험 환경 구현에 사용된 세부 내용
Table 1. Specification of test environment.

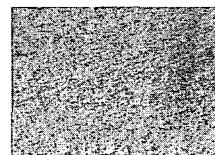
	Specification
Camera type	CCD Camera with 26x optical lens
Frame grabber	MATROX METER-2
File type	640*480, Gray, RAW
Window type	Center window
Evaluation window size	160*160
Focus measure operator	Variance, EOL, Sobel, SML, FSWM, Wavelet, MF-DCT



(a) Image A



(b) Image B



(c) Image C

그림 3. 세 가지 샘플 이미지 '640*480'
Fig. 3. Three sample images '640*480'.

V. 실험 결과

1. Autofocus Uncertainty Measure (AUM) 비교

AUM은 측정된 초점 값이 측정된 렌즈 위치를 기준으로 얼마만큼 변동 가능한지를 수치화한 것이다. 즉, 정초점 위치에서의 AUM은 그림 4와 같은 이상적인 초점 값 변화 그래프에서 볼 때, 정초점 초점 값에서 표준편차만큼 떨어진 초점 값을 나타내는 두 개의 렌즈 위치의 거리차이를 의미하며 값이 작을수록 초점 값 특성이 우수함을 의미한다.

$$AUM = s_2 - s_1 \tag{13}$$

$$E\{\chi(s_f)\} - \sigma = E\{\chi(s_1)\} = E\{\chi(s_2)\}$$

$\chi(s)$ 는 촬영 시 노이즈가 가해진 이미지의 초점 값이며 $E\{\chi(s)\}$ 는 초점 값의 기대치이다. 또한 노이즈는 평균이 0인 가우시안 랜덤 변수로 모델링 되어 이론적으로 표준편차와 AUM을 계산할 수 있다. 기존의 초점 값 계산 연산자와 제안된 MF-DCT와의 AUM 측정 결과를 표 2에 나타내었다. EOL과 MF-DCT는 표준편차를 이론적으로 계산 가능하지만 Sobel, SML, FSWM과 같은 비선형 연산자들의 경우엔 실험에 의한 AUM 측정만이 가능하므로 측정 결과만을 비교하였다. AUM 결과를 비교해 보면 SML과 Wavelet, 그리고 MF-DCT가 전체적으로 좋은 결과를 보였다. 샘플 별 최적의 연산자를 살펴보면 Image A와 Image C에서는 모두 MF-DCT가, Image B에서는 SML이 가장 최적의 연산자로 해석된다. 그러나 Image B에서 MF-DCT와 SML과의 차이가 0.04 정도로 미미하여 전체적으로 보

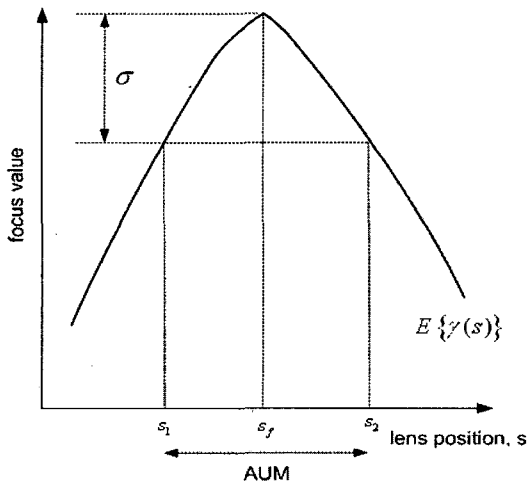


그림 4. 이상적인 AUM의 측정
Fig. 4. Ideal AUM measure.

아 MF-DCT가 모든 샘플에서 가우시안 노이즈에 둔감하며 초점 값 특성이 우수하다는 것을 알 수 있다.

표 2. AUM 결과 비교

Table 2. Comparison of AUM result.

Focus Measure		Image A	Image B	Image C
EOL	σ	70.428	44.854	63.537
	AUM/ δ	2.115	1.2739	3.304
Sobel	σ	2.536	3.26	4.088
	AUM/ δ	1.612	2.142	2.662
SML	σ	0.065	0.104	0.141
	AUM/ δ	0.513	0.553	1.023
FSWM	σ	9.203	10.128	1.273
	AUM/ δ	2.499	2.439	1.293
Wavelet	σ	1.95E-04	2.14E-04	1.33E-04
	AUM/ δ	0.655	0.645	0.828
MF-DCT	σ	46.596	124.080	46.157
	AUM/ δ	0.429	0.593	0.682

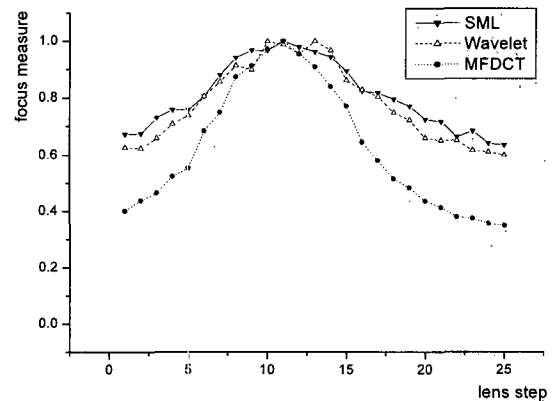
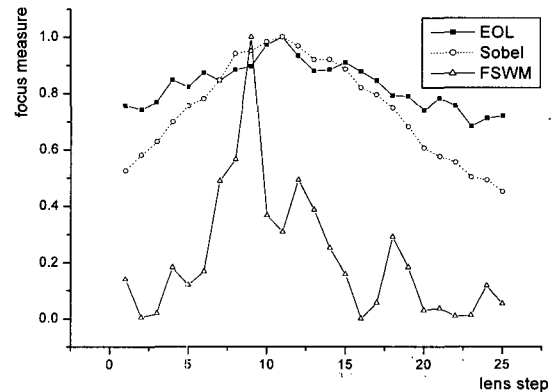


그림 5. 임펄시브 노이즈 영향 비교 (5% 'Salt & Pepper')

Fig. 5. Impulsive noise comparison (5% 'Salt & Pepper').

2. 임펄시브 노이즈에 대한 초점 값 영향 비교

초점 값 특성 중 임펄시브 노이즈에 대한 영향을 알아보기 위해서 샘플 A에 3%, 5%의 Salt & Pepper 노이즈를 첨가한 후 6가지 초점 값 연산자 각각에 대해 초점 값 변화를 모의 실험하였고 5% 노이즈에 대한 실험 결과를 그림 5에 나타내었다. EOL과 FSWM은 3%와 5%에서, 또한 Wavelet은 5%에서 국소 최대값(local maximum)을 보여 임펄시브 노이즈에 취약함을 알 수 있다. FSWM의 경우 AUM 비교 실험에서와 같이 가장 간단한 7tap FSWM4^[11]를 사용하였다. Sobel의 경우 5% 실험에서 좋은 특성을 보였다. 또한 SML은 5%에서 정초점 위치와 떨어진 곳에서 1번의 국소 최대값을 보였지만 전체적으로 선형성을 만족하는 좋은 결과를 나타내었다. 마지막으로 MF-DCT의 경우 3%와 5%에서 단조 증가 특성을 만족하여 국소 최대값이 없다. 또한 MF-DCT는 국소 최대값이 없는 연산자 중 초점 값 변화량이 가장 커서 전체적으로 초점 값 특성이 가장 우수하다.

VI. 결 론

본 논문에서는 가우시안 노이즈와 임펄시브 노이즈에 둔감하도록 고안된 4*4 변형된 밴드패스 이산 코사인(Mid frequency - DCT, MF-DCT) 초점 값 계산 연산자를 제안하였다. 제안된 연산자는 가우시안 노이즈의 영향을 최소화하기 위해 180도 회전하여도 같은 모양이 되는 4*4 형태를 취하고 있으며 중간 주파수 대역 신호의 제곱을 초점 값으로 사용하여 저주파 및 고주파 대역 신호를 제거할 수 있다. 또한 렌즈의 초점 거리를 컴퓨터로 제어 및 촬영 가능한 실험 환경을 구축하였으며 세 가지 이미지 샘플을 선정하여 25스텝의 각기 다른 렌즈 위치에서 획득한 이미지를 사용하여 제안된 초점 값 연산자와 기존 연산자와의 초점 값 특성을 비교 실험하였다.

AUM 및 임펄시브 노이즈 특성을 분석한 결과 AUM 실험의 경우 MF-DCT, Wavelet, SML 순으로, 임펄시브 노이즈 실험의 경우에는 MF-DCT, Sobel, SML 순으로 좋은 특성을 보였다. 이러한 실험을 통해 MF-DCT는 두 가지 노이즈 특성과 초점 값 특성이 기존의 방식보다 우수함이 검증되었다.

참 고 문 헌

- [1] S. M. Sohn, S. H. Yang, S. W. Kim, K. H. Baek, and W. H. Paik, "SoC design of an auto-focus driving image signal processor for mobile camera applications," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 52, no. 1, pp. 10-16, Feb. 2006.
- [2] V. Peddigari, M. Gamadia, and N. Kehtarnavaz, "Real-time implementation issues in passive automatic focusing for digital still cameras," *J. of Imaging Science and Technology*, vol. 49, pp. 114-123, March/April 2005.
- [3] M. Subbarao, and J.K. Tyan, "Selecting the optimal focus measure for autofocusing and depth-from-focus," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 20, no. 8, pp. 864-870, Aug. 1998.
- [4] E. Krotkov, "Focusing," *Int. J. of Computer Vision*, vol. 1, pp. 223-237, 1987.
- [5] M. Subbarao, and J.K. Tyan, "The optimal focus measure for passive autofocusing and depth from focus," in *SPIE Conf. Videometrics IV*, vol. 2598, pp. 89-99, Philadelphia, Oct. 1995.
- [6] S. Y. Lee, S. S. Park, C. S. Kim, Y. Kumar, and S. W. Kim, "Low-power auto focus algorithm using modified DCT for the mobile phones," *IEEE Int. Conf. on Consumer Electronics*, pp. 67-68, Jan. 2006.
- [7] G. Yang, and B.J. Nelson, "Wavelet-based autofocusing and unsupervised segmentation of microscopic images," in *IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems*, vol. 3, pp. 2143-2148, Oct. 2003.
- [8] Z. G. Jiang, D. B. Han, J. Chen, and X. K. Zhou, "A Wavelet Based Algorithm for Multi-Focus Micro-Image Fusion," in *IEEE 3rd Int. Conf. Image and Graphics*, Hong Kong, Dec. 2004, pp. 176-179.
- [9] J. M. Tenenbaum, "Accommodation in computer vision," Ph.D. thesis, Stanford University, 1970.
- [10] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, pp. 824-831, Aug. 1994.
- [11] K. S. Choi, J. S. Lee, and S. J. Ko, "New autofocus technique using the frequency selective weighted median filter for video cameras," *IEEE Trans. on Consumer Electronics*, vol. 45, no. 3, pp. 820-827, Aug. 1999.

 저 자 소 개



이 상 용(학생회원)
 2001년 한국항공대학교
 컴퓨터공학과 학사
 2003년 고려대학교
 전자공학과 석사
 2003년 3월~현재 고려대학교
 전자공학과 박사과정

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



박 상 수(학생회원)
 2004년 고려대학교
 전자공학과 학사
 2006년 고려대학교
 전자공학과 석사
 2006년 MagnaChip 반도체
 CIS 개발팀

<주관심분야 : Digital Signal Processing, SoC Design, CMOS Image Sensor>



김 수 원(정회원)
 제40권 SD편 제2호 참조
 2006년 현재 고려대학교
 전자컴퓨터공학과 정교수