

논문 2005-42SD-11-7

# 개선된 이산 코사인 변환을 이용한 모바일 폰 용 저전력 초점 값 계산 알고리즘

(Low-power Focus Value Calculation Algorithm using modified DCT  
for the mobile phone)

이 상 용\*, 박 상 수\*, 김 수 원\*\*

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

## 요 약

본 논문에서는 최소의 sub-window를 사용하여 정확한 초점 값을 측정할 수 있는 모바일 폰 용 저전력 MDCT 초점 값 연산 방식을 제안하였다. 제안된 알고리즘은 기존의 DCT 연산 계수 중 초점 값의 척도로 사용하기에 특성이 가장 우수하고, 하드웨어로 구현하였을 경우 연산량이 최소가 되는 중간 결과 계수를 초점 값으로 사용한다. 또한 중간 주파수에 연관된 DCT 결과를 초점 값으로 사용하므로 임펄스 성 노이즈의 영향을 줄일 수 있고, 영상의 흐린 정도에 따른 초점 값의 변화가 커서 기존의 Gradient 방식보다 초점 값 특성이 우수하다. 제안된 알고리즘은 Verilog HDL언어를 사용하여 구현되었으며, Excalibur-ARM보드에 내장하여 그 성능을 검증하였다.

## Abstract

This paper proposes the low power MDCT algorithm for precise FV with minimum size of sub-window in mobile phone. Proposed algorithm uses the coefficient at the middle of whole result process requiring the least number of calculations, since it has a good characteristic when used as standard of the FV and needs minimum amount of operation. In addition, using the DCT result related to the middle frequency makes the characteristic of FV more superior because it suppresses the impulsive noise and difference of focus values is larger than any others. The proposed algorithm is implemented using Verilog HDL and verified using Excalibur-ARM board.

**Keywords :** Auto-focus, Focus-value, DCT, CIS, Edge detection

## I. 서 론

현재 CMOS 집적 기술과 멀티미디어 처리기술의 급격한 발전으로 자동초점 기능을 가진 몇 백만 화소의 CIS(CMOS Image Sensor)가 모바일 기기에 내장되고 있는 추세이다. 디지털 카메라에 사용되는 이미지 센서 픽셀 수는 1년에 평균 130% 이상 증가하고 있으며<sup>[8]</sup> 모바일 폰에서도 이와 같은 현상이 나타난다. 이러한 급격한 픽셀의 증가는 자동 초점 기능에 요구되는 연산량을 증가시켜, 모바일 폰의 전력 소모를 크게 하는 요인

이 된다.

자동 초점 기능은 초점 거리를 자동으로 설정하기 위해 대부분의 디지털 카메라에서 사용하고 있으며 디지털 이미지의 성능을 좌우하는 중요한 요소이다. 일반적으로 초점이 맞는 이미지는 그렇지 않은 이미지보다 많은 고주파 성분을 포함하고 있으며, 이러한 특징을 초점의 정도를 예측하는데 사용하는데 이를 초점 값이라고 정의한다. 자동 초점 기능은 렌즈의 위치 변화에 따른 초점 값을 계산하여 초점 값을 최대로 하는 곳에 렌즈를 위치시킨다(그림 1). 따라서 정확하고 빠른 자동 초점 기능을 구현하기 위해선 초점 값을 계산하는 알고리즘과 렌즈의 위치를 변화시키는 두 가지 효율적인 알고리즘을 필요로 한다.

초점 값에 관한 연구로써는 Tenengrad(SOBEL)<sup>[1]</sup>,

\* 학생회원, \*\* 정회원, 고려대학교 전자공학과  
(Department of Electronics Engineering, Korea University)  
접수일자: 2005년4월1일, 수정완료일: 2005년11월3일

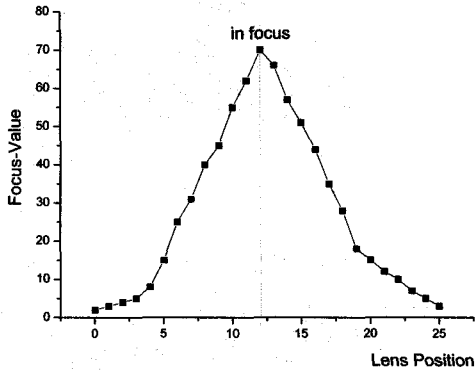


그림 1. 렌즈 위치에 따른 초점 값  
Fig. 1. Focus-Value versus lens position.

sum-modified Laplacian(SML)<sup>[2]</sup>, modified Squared Gradient(MSG)<sup>[3]</sup>와 같은 방식들이 있으며 Frequency Selective Weighted Median(FSWM) filter<sup>[4]</sup>를 사용해 임펄스 성 노이즈의 영향을 효과적으로 제거할 수 있는 방식이 연구되기도 하였다. 한편, 패턴을 추출하는데 효과적인 이산 코사인 변환(Discrete Cosine Transform)을 사용하여 이미지의 주파수를 분석함으로써 초점 값을 측정하는 연구 또한 이루어 졌다. Charfi<sup>[5]</sup>는 초점이 맞는 이미지와 그렇지 않은 이미지들에 DCT 연산을 적용하여 각각의 이미지가 다른 특성의 DCT 커브를 보임을 밝혀내었고, Baina<sup>[6]</sup>는 DCT 결과값의 에너지 성분을 분석하여 특정 문턱 값 이상의 AC 성분들을 누적인 값을 초점 값으로 이용하면 수평, 수직, 대각선상의 에지 및 반복패턴 또한 검출 할 수 있음을 보였다.

렌즈 운용 알고리즘으로는 Mountain Climbing Servo(MCS)<sup>[7]</sup>를 사용한 렌즈 위치 탐색에 대한 연구를 시작으로 전체 이미지를 sub-window로 나눈 후 초점 값을 FSWM 및 Hill Climbing Search로 찾아가는 연구<sup>[4]</sup>가 있었다. 또한 sub-window가 작을 경우, 신뢰할 수 없는 초점 값이 생길 수 있다는 문제점을 보완하기 위해 Modified Fast Climbing Search<sup>[8]</sup> 방식이 연구되었으며 relative difference ratio(RDR)을 제한하여 의미 없는 렌즈의 이동을 줄여 정확한 렌즈의 위치를 찾는 시간을 단축시켰다.

위에서 살펴본 연구들은 디지털카메라나 비디오카메라에 사용되었을 시 만족할 만한 성능을 낼 수 있다. 그러나 디지털 카메라보다 훨씬 다양한 기능을 가진 모바일 폰 카메라의 경우 CIS 픽셀 증가 및 알고리즘의 복잡성에 인한 연산 량 증가 및 초점 값의 정확성이라는 상호배타적인 관계로 인해 위의 알고리즘을 그대로 사

용하기에는 현실적으로 힘들다. 따라서 본 논문에서는 저 전력 및 초점 값의 정확성의 측면에서 모바일 폰에 적용 가능한 초점 값 계산 알고리즘을 제안하고 기존 운용 알고리즘에 접목할 수 있는 방법에 대해 언급하고자 한다.

## II. 기존의 초점 값 계산 알고리즘

### 1. Tenengrad

SOBEL 연산자로도 널리 알려진 이 알고리즘은 Tenenbaum<sup>[1]</sup>에 의해 제안되었으며, 수평 및 수직 에지들을 검출하기 위한 두 개의 연산자로 이루어진다. 이 연산자는 그래디언트 특성을 사용하는 알고리즘 중 비교적 노이즈에 강하며 정확한 초점 값을 예측할 수 있다<sup>[4]</sup>. 그러나 연산자를 통한 결과값을 초점 값에 사용하는지의 여부를 정하는 문턱 값이 이미지의 특성에 따라 유동적이기 때문에 이를 적절히 정해야 한다.

$$S_x = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}, S_y = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

### 2. Sum-Modified Laplacian

Nayar<sup>[2]</sup>에 의해 제안된 SML 알고리즘은 수평 및 수직 성분의 2차 도함수 결과가 서로 상쇄되는 Laplacian의 문제점을 개선하였다. 이 연산자는 가우시안 함수의 합으로 표현되며, 이런 특성을 이용하여 원하는 주파수 밴드의 연산 결과를 초점 값으로 사용할 수 있다.

$$ML(x, y) = 2I(x, y) - I(x - step, y) - I(x + step, y) + |2I(x, y) - I(x, y - step) - I(x, y + step)| \quad (2)$$

### 3. Modified Squared Gradient

MSG 연산자는 초점 값 연산자로 널리 사용되는 SG 연산자의 문제점인 초점이 맞지 않을 때의 특성을 개선하기 위해 Kharitonenko<sup>[3]</sup>에 의해 제안되었다. 이 방식은 영상 자체의 자기 상관관계(Auto-correlation) 특성을 분석하여 최대의 초점 값 변화를 나타내는 픽셀간의 거리를 찾아내었으며 이를 SG에 적용하였다. 그러나 그림 2의 모의실험 결과에 나타나듯이, 최대 픽셀간의 거리가 이미지의 특성에 따라 유동적이므로 구현되었을 시 정확한 초점 값을 예측하기 어렵다.

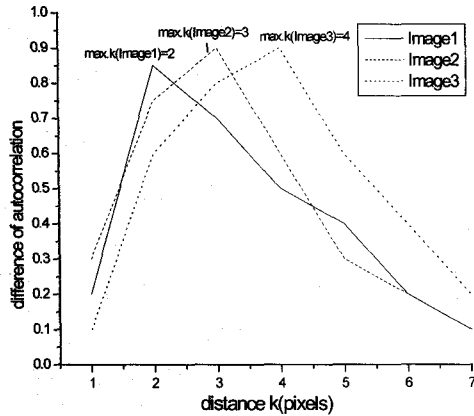


그림 2. 3가지 정초점 샘플과 초점이 맞지 않은 이미지들과의 자기 상관관계

Fig. 2. An autocorrelation between 3 in-focused samples and out-focused one.

$$MSG(x, y) = [(I(x, y) - I(x - k, y - k))^2 + (I(x, y) - I(x + k, y - k))^2] \quad (3)$$

#### 4. Frequency Selective Weighted Median Filter

FSWM 필터는 주파수 각각에 다른 가중치를 부여하는 방법을 통해 미디언 필터를 밴드 패스 필터의 특성을 갖도록 개선하였다<sup>[4]</sup>. 이는 그래디언트 방식이 고주파 통과 특성을 보임에 따라 노이즈에 약하다는 문제점을 개선한 것으로써 원하는 중간 주파수의 데이터만을 초점 값으로 사용하여 임펄스 성 노이즈가 제거된 초점 값을 예측할 수 있다.

$$FSWM(x) = \text{med}\{x(n-1), x(n), x(n+1)\} - 0.5\text{med}\{x(n-3), x(n-2), x(n-1)\} - 0.5\text{med}\{x(n+1), x(n+2), x(n+3)\} \quad (4)$$

#### 5. Discrete Cosine Transform

DCT 연산은 공간 영역의 데이터를 주파수 공간으로 바꿔주는 알고리즘으로써 이와 같은 기능을 하는 다른 알고리즘들 중 가장 빠르기 때문에 JPEG 그룹에서 채택한 알고리즘이기도 하다. 1차 DCT는 시그널의 크기를 나타내는 일련의 숫자들을 특정한 주파수에 대응되는 시그널의 크기로 바꿔주며, 이를 영상에 적용하기 위해서는 다음과 같이 영상을 8\*8의 블록으로 나눠 2차 DCT를 사용한다.

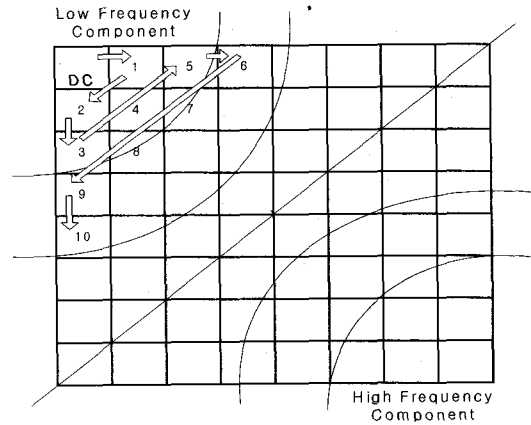


그림 3. DCT 출력 주파수 분포

Fig. 3. A frequency distribution of DCT result.

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

$$(C_i = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ when } i=0, C_j = \frac{1}{\sqrt{2}} \text{ when } j=0, C_i, C_j = 1 \text{ otherwise}) \quad (5)$$

연산되어진 한 블록의 DCT 결과  $S_{i,j}$ 는 한 블록 안에 (1,1)의 DC성분에서 (8,8)의 최대 주파수 성분으로 정렬되어진다(그림 3). 이런 이유로 인해 포커스가 맞는 이미지와 그렇지 않은 이미지의 DCT 결과는 뚜렷한 차이를 보이며<sup>[5]</sup> AC성분 에너지들의 합으로 초점 정도를 예측한다<sup>[6]</sup>.

$$FV = E_{AC} = \sum_{i=0}^7 \sum_{j=0}^7 S_{i,j}^2 \quad (6)$$

DCT 연산은 초점 값의 정확성 측면에서 볼 때 한 블록의 수직 및 수평 에지들은 물론이고 대각선 및 대칭적인 에지들까지 초점 값에 반영시킬 수 있기 때문에 그래디언트 크기를 사용하는 알고리즘보다 뛰어난 특성을 보인다<sup>[9]</sup>. 그러나 앞에서 언급한 것과 같이 연산 횟수가 입력 데이터의 제곱에 비례하고 계수가 코사인 값으로 나타나기 때문에 연산량이 다른 알고리즘보다 많아서 모바일 용 기기의 자동 초점 알고리즘에 사용되지 못하고 있다.

따라서 본 논문에서는 DCT의 뛰어난 초점 값 특성을 그대로 유지시키면서 연산량을 줄일 수 있는 개선된 DCT 방식을 제안하고자 한다.

### III. 제안된 Modified DCT 알고리즘

#### 1. DCT 알고리즘 결과 값 분석

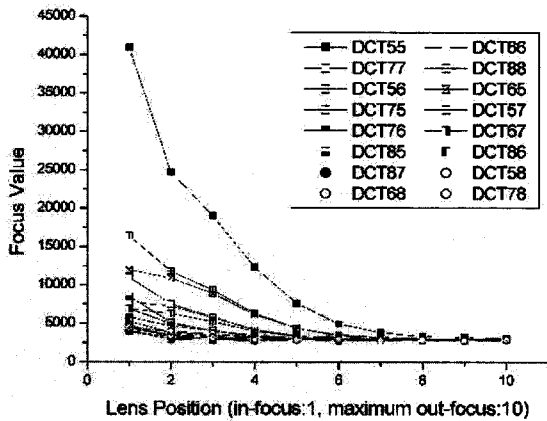


그림 4. 렌즈 위치에 따른 AC성분 각각의 크기 비교  
Fig. 4. A magnitude comparison of each AC components versus lens position.

가. DCT 결과값이 초점 값에 미치는 영향 비교

초점 값은 고주파 성분의 합으로 표현될 수 있으므로 한 블록의 DCT 결과 값 중 초점 값에 상대적으로 많은 영향을 미치는 16개의 고주파 성분 각각의 크기를 비교하여 보았다(그림 4). 그 결과 (5,5), (6,5), (5,6)의 성분은 초점이 맞지 않을수록 초점 값이 급격히 감소하며, (7,8), (8,7), (8,8)의 결과값들은 감소폭이 앞의 성분보다 매우 작아서 초점 값에 미치는 영향이 작다. 즉, 임펄스 노이즈에 영향을 받는 DCT 고주파 성분을 사용하지 않고 단지 중간 주파수 성분의 결과만을 초점 값에 사용하여도 정확한 초점 값을 예측할 수 있다는 것이다.

나. 각각의 계수가 갖는 Cosine 값 비교

위에서 얻은 (5,5), (5,6), (6,5) 세 가지 결과값 모두 초점 값으로 사용될 수 있으나 그 중 가장 적은 연산량을 가지는 성분을 찾기 위해 각각의 결과값 연산에 필요한 코사인 계수 값을 분석하였다(그림 5). 그 결과 (5,5)의 코사인 값은 대부분의 계수가 중복되어 단지 3개 즉, 0.25, 0.375, 0.5 만이 사용되며, 이 계수들조차 몇 번의 쉬프트로 나타낼 수 있을 정도로 단순하다. 반면에 (5,6)의 코사인 계수는 9개의 복잡한 소수로 구성되어 (5,5)보다 많은 연산량을 필요로 한다. 또한 (6,5) 성분은 DCT 연산의 특성 상 (5,6)의 전치행렬과 같으므로 (5,6)와 같은 분포를 가진다.

2. Modified DCT 알고리즘 제안

DCT에 대한 가. 와 나. 분석을 통해 한 블록전체의 AC 성분 대신 결과값 (5,5)에 해당하는 데이터만을 초점 값 연산에 사용하여도 DCT와 같은 정확한 초점 값

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

DCT 결과 (5,5)의 계수분포  
X(0.25), Y(0.35)  
Z(0.5)

A	B	C	D	D	C	B	E
E	F	G	H	H	G	F	I
E	F	G	H	H	G	F	I
E	F	G	H	H	G	F	I
E	F	G	H	H	G	F	I
E	F	G	H	H	G	F	I
E	F	G	H	H	G	F	I
E	F	G	H	H	G	F	I

DCT 결과 (5,6)의 계수분포  
A(0.196), B(0.490)  
C(0.098), D(0.416)  
E(0.278), F(0.694)  
G(0.138), H(0.588)  
I(0.393)

그림 5. DCT 결과 중 (5,5), (5,6) 연산에 필요한 계수 분포

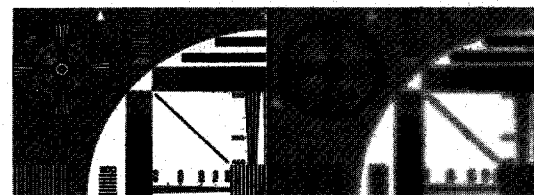
Fig. 5. Two coefficient distributions for the DCT result component of (5,5) and (5,6).

을 저전력으로 구현 할 수 있다는 사실을 알 수 있었다. 즉, 입력 영상 중 초점 값 연산에 필요한 최소 sub-window 블록들과 (5\*5)에 해당하는 계수의 내적을 누적하여 초점 값을 구할 수 있다.

IV. 모의실험

1. 샘플 대상 선정

제안된 DCT 알고리즘을 검증하기 위해 'Desk'와 'Standard'라는 두 개의 대상을 선정하였는데, 첫 번째



위 : 'Desk' - 320\*240,  
아래 : 'Standard' - 1729\*1304

그림 6. 두 가지 샘플 이미지의 초점변화 예  
Fig. 6. Two examples of in-focus and out-focus images.

대상은 책상위에 있는 여러 가지 물체들이며 두 번째는 영상 실험 시 자주 사용되는 테스트 영상이다. 결과 값 비교를 위해 두 대상을 각각 16개와 20개의 서로 다른 렌즈 위치에서 샘플 영상을 획득하였다(그림 6).

2. 모의실험 진행과정

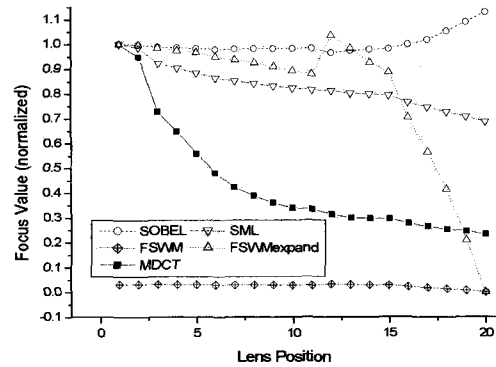
모의실험은 제안된 알고리즘이 신뢰할 수 있는 초점 값을 저전력으로 구현할 수 있다는 것을 보이기 위함이다. 따라서 이를 보이기 위해 초점이 맞지 않을수록 초점 값이 선형적으로 감소하는 경향을 보이는 최소 sub-window 사이즈를 찾는 방식으로 진행되었다. 이는 기존의 초점 값 알고리즘들과 제안된 알고리즘의 연산 복잡도가  $O(n)$ 으로 데이터 크기에 비례하기 때문이다. 즉, sub-window 사이즈가 최소가 되면 연산량도 비례하여 작아진다.

3. 모의실험 결과

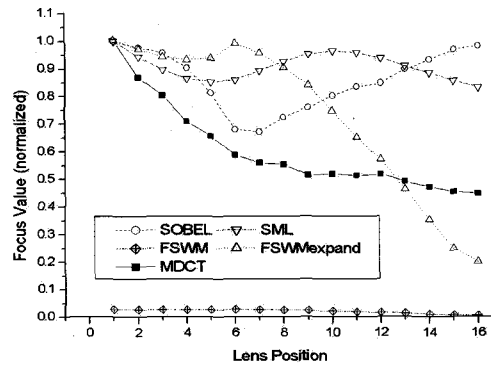
제안된 알고리즘의 초점 값 특성을 알아보기 위해 두 가지 샘플 영상을 제안된 알고리즘과 기존의 알고리즘을 사용하여 모의 실험하였다(그림 7),(그림 8). 그 결과 SOBEL은 전체 이미지의 각각 16등분과 400등분 이하의 window를 사용하였을 때에는 초점 값을 예측하지 못하였다. SML의 경우, 16등분 이하의 'Desk' 영상에서도 선형적인 특성의 초점 값을 보이고 있었으나 초점 값의 변화는 크지 않았다. 그러나 'Standard'에서는 local maximum이 나타났다. 또한 FSWM의 경우 두 영상 모두 sub-window 크기를 줄이면 초점 값 간의 차이가 매우 작고, 이 결과 값을 확대한 FSWMexpand 또한 local maximum 값이 나타나 초점 값으로 사용할 수 없음을 확인할 수 있다. 그러나 제안된 MDCT의 경우 sub-window 크기가 80\*60 픽셀 이상에선 두 영상 모두 정확한 초점 값을 측정 가능하였다. 이는 기존의 네 가지 알고리즘에서 필요로 하는 sub-window 크기보다 최대 64% 적으며, 초점 값의 특성도 우수하다.

4. 제안된 알고리즘의 모바일 폰 적용 방법

제안된 MDCT는 기존의 알고리즘들이 local maximum이 없는 선형적 특성의 초점 값을 계산하기 위해 필요로 하는 최소한의 sub-window 크기가 가장 작다. 따라서 초점 값의 변화율에 따라 렌즈 이동 폭을 다르게 적용하는 MFCS 방식 중 AREA1을 제외하고 AREA2에 MDCT만을 적용하면 모바일 폰 용 AF 시스템을 효과적으로 구현할 수 있다 (그림 9).



( sub-window size : width/4 \* height/4 )  
 그림 7. 모의실험 결과 - 'Desk'  
 Fig. 7. A simulation result - 'DESK'.



( sub-window size : width/20 \* height/20 )  
 그림 8. 모의 실험 결과 - 'Standard'  
 Fig. 8. A simulation result - 'Standard'.

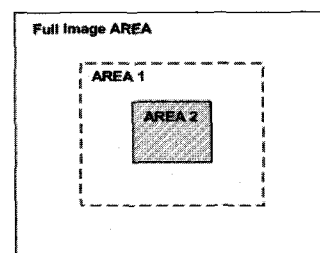


그림 9. Sub-window 영역  
 Fig. 9. Sub-window area.

IV. 결 론

모바일 폰에 탑재되는 소형 디지털 카메라에 적용 가능한 저전력 자동 초점 시스템을 구현하기 위해 기존의 초점 값 연산 알고리즘의 특성을 분석하고, 최소의 sub-window를 사용하여 정확한 초점 값을 측정할 수 있는 MDCT 초점 값 연산 방식을 제안하였다. 제안된

알고리즘은 기존의 DCT 연산 계수 중 초점 값의 척도로 사용하기에 가장 특성이 우수하고, 하드웨어로 구현하였을 경우 연산량이 최소가 되는 중간 결과 계수를 초점 값으로 사용한다.

이미지 전체의 초점 값은 sub-window를 8\*8의 블록으로 나눈 후 각 블록이 가지는 픽셀의 값을 연산자와 내적시키고, 그 결과값들을 누적하여 구할 수 있다. MDCT는 단지 80\*60 픽셀 정도의 sub-window 만을 가지고서도 정확한 초점 값을 계산해 낼 수 있었는데, 이는 기존의 초점 값 계산 방식이 필요로 하는 연산 데이터양의 36%정도에 불과하다. 또한 중간 주파수에 연관된 DCT 결과를 초점 값으로 사용하므로 임펄스 성 노이즈에 의해 생기는 오류의 영향을 줄일 수 있고, 영상의 흐린 정도에 따른 초점 값의 변화가 커서 기존의 Gradient 방식보다 초점 값 특성이 우수하다.

제안된 알고리즘은 Verilog HDL언어를 사용하여 구현되었으며, Excalibur-ARM보드에 내장하여 그 성능을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. M. Tenenbaum, Accommodation in computer vision, Ph.D. thesis, Stanford University, 1970.
- [2] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus", IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence, vol. 16, pp.824-831, Aug. 1994.
- [3] I. Kharitonenko and X. Zhang, "Digital Focus detector for mobile video communicators", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 46, Issue 1, pp. 237-240, Feb. 2000.
- [4] K. S. Choi, J. S. Lee, 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.
- [5] M. Charfi, A. Nyeck, A. Tosser, "Focusing criterion", IEE Electronics Letters, Vol. 27, issue 14, pp. 1233-1235, July 1991.
- [6] J. Baina, J. Dublet, "Automatic focus and iris control for video cameras", Fifth International Conf. on Image Processing and its Applications, pp. 232-235, July 1995.
- [7] K. Ooi, K. Izumi, M. Nozaki, I. Takeda, "An advanced autofocus system for video camera using quasi condition reasoning", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 36, Issue 3, pp. 526-530, Aug. 1990.
- [8] Jie He, Rongzhen Zhou, Zhiliang Hong, "Modified fast climbing search auto-focus algorithm with adaptive step size searching technique for digital camera", IEEE Trans. on Consumer Electronics, Vol. 49, Issue 2, pp. 257-262, May 2003.
- [9] J. Baina, A. Laprevote, A. Tosser, "Image coding with vector Quantizer and edges classifier", International Workshop on Coding Techniques for Very Low Bit-rate Video, Colchester UK, April 94.

## 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  
2004년 3월~현재 고려대학교  
전자공학과 석사과정

<주관심분야 : Digital Signal Processing, SoC Design, CMOS

Image Sensor>

김 수 원(정회원)

제40권 SD편 제2호 참조

현재 고려대학교 전자컴퓨터공학과 정교수