

# 미디언 필터의 차이를 이용한 비디오 카메라의 자동초점조절 알고리즘

正會員 이 성 희\*, 김 주 현\*, 최 병 태\*, 고 성 제\*

## Autofocusing Algorithm for Video Camera using the Difference of Medians

Sung-Hee Lee\*, Ju-Hyun Kim\*, Byung-Tae Choi\*, Sung-Jea Ko\* *Regular Members*

※본 연구결과는 "카메라의 자동초점조절장치"로 특허출원(1996년 제52157호)하였음.

### 요 약

본 논문에서는 비디오 카메라에서 사용되는 새로운 자동초점조절 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘에서는 초점조절 여부를 측정하기 위하여 영상의 각 화소에서 미디언의 차이(difference of median: DoM)를 이용한다. DoM은 그래디언트를 추정한 효과를 나타내는데, 영상 시퀀스의 각각의 프레임에서 모든 화소의 DoM을 더한 결과를 초점값으로 사용한다. 초점 렌즈는 초점값이 최대값을 유지하도록 구동되며, 제안된 방법은 물체가 움직이거나 카메라 자체의 움직임이 발생했더라도 영상의 초점을 효과적으로 유지하는 자동초점조절 알고리즘으로 활용될 수 있다.

제안하는 자동초점조절 알고리즘은 기존의 고주파 성분을 최대가 되도록 하는 Tenengrad 기반의 다른 자동초점조절 방법들보다 계산적인 면에서 보다 효율적이면서도 우수한 성능을 갖는다는 것을 실험을 통하여 보였다.

### ABSTRACT

In this paper, a new autofocusing algorithm is proposed for video cameras. The proposed algorithm uses the difference of medians(DoM) as a pre-processor to estimate the gradient at each pixel of the image. The focus value is calculated by adding all the DoMs of each pixels in a frame of image sequence. The focus lens is stopped at the image frame with the maximum focus value. This method enables the camera system to focus on an object in an image even when there exist moving objects in the image, or when the camera itself moves.

It is shown experimentally that the proposed autofocusing algorithm can be a computationally efficient alternative to existing Tenengrad-based autofocusing methods which maximize the high frequency contents in the image.

\*고려대학교 전자공학과  
 論文番號:97389-1025  
 接受日字:1997年 10月 25日

## I. 서 론

초기 비디오 카메라의 자동초점조절(autofocusing: AF)은 초음파나 적외선을 피사체에 쏘아서 피사체로부터 반사되어 되돌아오는 신호를 이용하여 비디오 카메라와 피사체 사이의 거리를 계산함으로써 초점을 맞추는 방식을 사용하였다. 그러나 이러한 방식은 자동초점조절 거리에 제한이 있고, 거리 측정의 정밀도가 떨어지며 거리 측정을 위한 부가 장치가 있어야 한다는 문제점이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에는 디지털 신호 처리 기술을 바탕으로 CCD(charge coupled device)로부터 얻은 영상의 특성을 분석하여 초점조절에 유용한 초점값(focus value: F)을 얻고, 그 결과를 이용하는 방식이 주류를 이루고 있다[1]-[5].

초점이 맞지 않는 영상의 흐림(blurring) 현상에 대한 주파수 특성을 분석하기 위하여 흐림 현상의 모델들이 이용된다. 이 흐림 현상의 모델에서는 카메라로 촬영된 영상이 흐림이 심할 수록 낮은 차단 주파수(cutoff frequency)를 갖는 저대역 필터(low pass filter: LPF)를 통과한 영상과 유사하다는 것을 보여주고 있다[1]. 다시 말해서 초점이 맞는 영상은 흐림이 심한 영상과 비교하여 고주파 성분을 더 많이 포함하고 있다. 따라서 흐림 현상 모델을 이용하여 영상의 고주파 영역에서의 에너지를 합하여 초점값으로 사용하는 초점조절 방식들이 일반적으로 많이 쓰인다[1]-[3].

영상 처리에 의한 자동초점조절은 흐림 정도의 척도인 고주파 성분을 추출하여 초점값으로 이용하고, 그 결과에서 최대가 되는 지점을 찾아 초점 렌즈를 이동하는 방법으로 수행된다. 이 과정에서 초점값을 검출하는 부분과 초점값을 평가하여 초점 렌즈를 제어하는 부분이 가장 중요하다. 그러나 기존의 알고리즘에서는 초점값을 구하기 위해 많은 양의 산술 연산을 필요로 하기 때문에 처리 시간이 길어지고, 하드웨어로 구현하였을 때 회로가 복잡해 진다는 문제점을 안고 있다. 이외에도 CCD로부터 영상을 읽어낼 때 발생하는 임펄스성 잡음(impulsive noise)에 대한 고려가 없기 때문에 국지적인 최대값(local maxima)이 발생할 수 있다.

본 논문에서는 영상의 흐림 정도를 정확히 판단하여 다양한 촬영 환경에서도 적용력을 갖는 미디언 차

이(difference of medians: DoM)을 이용한 자동초점조절 알고리즘을 제안한다. 제안하는 알고리즘은 일정한 거리로 떨어진 두 기준 화소를 중심으로 윈도우를 구성하고 윈도우 내의 인접 화소들에 대해서 미디언(median) 값을 각각 구한 후, 그 두 미디언 값의 차를 누적하여 초점값으로 사용한다. 제안된 기법의 장점은 잡음을 제거하는 동시에 영상의 에지(edge)와 같은 고주파 성분은 보존 해주는 미디언 필터[7]-[9] 특성을 갖는 DoM를 이용하여 초점값을 구한다는 것과 초점값을 구하는 과정에서 일차원(one-dimensional: 1-D) 처리만을 이용하고 간단한 비교 연산만을 수행함으로써 처리 시간을 크게 줄일 수 있다는 데 있다.

본 논문에서는 흐림 현상을 모델링하는데 대표적으로 사용되는 가우시안 모델(Gaussian model)과 원판 모델(circular disk model)을 II장에서 소개하고, 기존의 고주파 성분을 최대가 되도록 하는 초점조절을 수행하는 방법들과 본 논문에서 제안하는 DoM을 이용하는 자동초점조절 방법을 III장에서 설명한다. 그리고 기존 방식과 제안하는 방식에 대한 성능을 평가하기 위해서 실험 결과 및 검토를 IV장에서 다루고, V장에서는 결론을 맺는다.

## II. 흐림 현상의 모델

본 장에서는 간단한 렌즈 시스템을 소개하고, 흐림 현상을 모델링하는데 사용되는 가우시안 모델과 원판 모델을 살펴보고자 한다. 이 두 모델을 이용하여 비디오 카메라의 초점 렌즈를 가변적인 차단 주파수의 저대역 필터로 이해함으로써, 영상의 고주파 성분에 대한 분석만으로도 흐림 현상의 정도는 알아낼 수 있다는 것을 설명하고자 한다.

영상이란 3차원 물체나 풍경이 카메라와 같은 기록 매체에 의해서 2차원의 평면에 맺히는 것이다. 이런 영상이 평면에 맺히는 과정에서 초점이 정확히 맞지 않으면 영상은 열화되어 흐려진다. 이러한 흐림 현상은 그림 1과 같은 간단한 렌즈 시스템으로 쉽게 살펴볼 수 있다.

그림 1에서  $f$ 는 초점 거리,  $d_o$ 는 피사체와 렌즈 사이의 거리, 그리고  $d_i$ 는 렌즈와 촬상면 사이의 거리이며, 이 파라미터(parameter)들 중 하나만 변하더라도 초점의 변화가 일어나게 된다. 그림 1에서 피사체 위

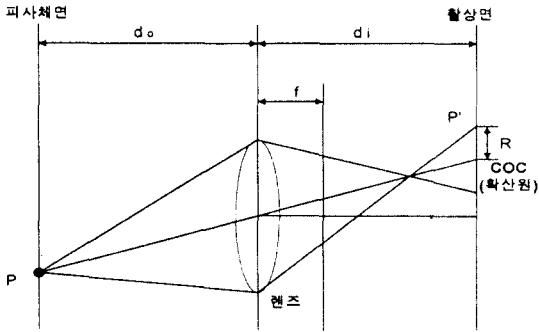


그림 1. 간단한 렌즈 시스템  
Fig. 1. Simplified lens system

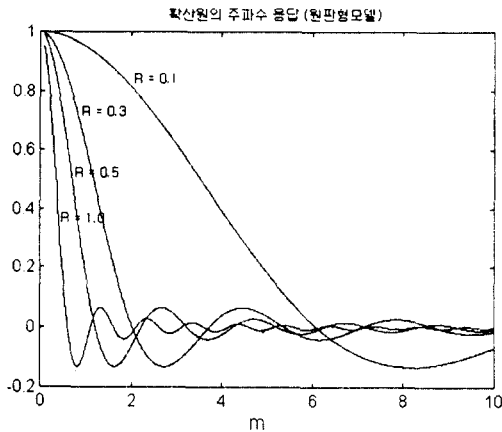


그림 2. 확산원의 반지름 R의 크기에 따른 원판형 모델 OTF  
Fig. 2. OTF of circular disk model for radius R of COC

의 한 점 P는 활상면 앞에서 초점이 맺혀 있으므로 활상면 위에서는 흐리게 퍼져서 나타나며, 기하광학 (geometric optics)에서 P'는 반지름이 R인 하나의 원으로 정의된다. 이렇게 정의된 원을 확산원(circle of confusion: COC)이라 하며 이 확산원의 반지름에 의해서 영상의 흐림 정도를 평가할 수 있다. 즉 R의 크기가 작을수록 영상은 초점이 잘 맞는 것이고, R이 클수록 영상은 초점이 맞지 않아 흐림이 심한 것이다. 만일 주어진 영상에 대하여 확산원의 반지름 R을 직접 측정할 수 있다면, R이 가장 작은 영상을 찾음

으로써 초점조절을 쉽게 할 수 있다. 그러나 영상으로부터 R의 크기를 직접 알아내는 것은 매우 복잡한 계산 과정이 필요하다.

일반적으로 영상은 이차원 신호로 표현되며, CCD에 촬상된 영상은 입력 영상이 렌즈에 의한 흐림 시스템을 거쳐 형성된 영상 신호라고 할 수 있다. 이와 같이 영상 형성은 입력되는 영상 신호와 PSF(point spread function)의 컨벌루션 적분(convolutional integral)으로 정의된다. 여기서 PSF는 한 점의 광원에 대한 응답 함수이며, 이것은 일차원 신호 시스템에서의 임펄스 신호에 대한 응답 함수와 유사하다. 따라서 PSF는 한 점의 광원이 어떻게 흐려지는가를 보여주게 되며, 기하광학에 의하면 PSF는 식 (1)과 같이 정의된다.

$$h(x, y) = \begin{cases} \frac{1}{\pi R^2}, & x^2 + y^2 \leq R^2 \\ 0, & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (1)$$

식 (1)과 같은 형태의 PSF를 원판형 PSF라하며, R은 확산원의 반지름이고 확산원의 밝기는 일정(uniform)하다고 가정한다[1]. PSF의 주파수 영역에서의 특성을 알아보기 위해서는 OTF(optical transfer function)를 구해야 하는데, OTF는 PSF를 푸리에 변환(Fourier transform)함으로써 얻어지며 그 결과는 식 (2)와 같다.

$$H(m, n) = \frac{J_1(R \cdot \rho)}{R \cdot \rho}, \quad \rho = m^2 + n^2 \quad (2)$$

여기서  $J_1$ 은 1차 Bessel 함수를 의미한다.

그림 2는 식 (2)의 결과를 확산원의 크기에 따라 그려 놓은 것이다. 한편 회절(diffraction)이나 영상내의 빛 파장의 변화 등을 고려한다면 원판형 확산원내의 빛의 밝기가 일정하다고 가정하기가 어려우므로, PSF를 식 (3)과 같은 가우시안 PSF로 모델링한다.

$$h(x, y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (3)$$

식 (3)에서 표준편차  $\sigma$ 는  $\sigma = kR$ 로 정의되는데, k는 활상 시스템에 따라 달라지나 실험적으로는  $\frac{1}{\sqrt{2}}$ 로 근사된다. 식 (3)을 푸리에 변환하면 식 (4)와 같이 주파수 영역에서의 OTF로 표현될 수 있다.

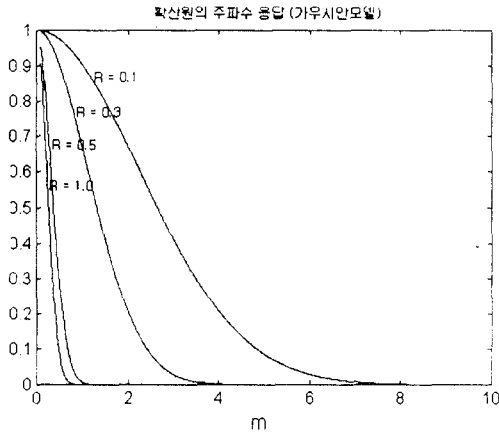


그림 3. 확산원 반지름 R의 크기에 따른 가우시안 모델 OTF

Fig. 3. OTF of Gaussian model for radius R of COC

$$H(m, n) = e^{-\frac{m^2 + n^2}{2} \sigma^2} \quad (3)$$

그림 3은 식 (4)의 결과를 확산원의 반지름 R의 크기에 따라 OTF의 단면을 보여주고 있다. 그림 2와 그림 3에서 보듯이 비디오 카메라의 초점 렌즈는 두 모델에 의해서 가변적인 차단 주파수를 가지는 저대역 필터로 정의될 수 있다. 따라서 비디오 카메라로 촬영된 영상이 흐림이 심할수록 초점 렌즈는 낮은 차단 주파수를 지닌 저대역 필터의 특성을 갖으며 초점이 맞지 않는 위치에 있다고 할 수 있다. 상대적으로 비디오 카메라로 촬영된 영상에 대한 흐림 정도는 고주파 대역의 에너지 합을 구함으로써 알아낼 수 있다. 이러한 특성을 이용하여 초점 렌즈를 이동하면서 최대의 고주파 성분이 존재하는 영상 프레임을 찾는 방법으로 효과적인 자동초점조절을 할 수 있다.

### Ⅲ. 자동초점조절 알고리즘

본 장에서는 먼저 영상 처리에 의한 자동초점조절의 기본 원리를 소개하고, 고주파 성분을 최대가 되도록 하는 기존의 알고리즘들을 살펴보고자 한다. 그리고 기존 방식들보다 계산적인 면에서 보다 효율적이면서도 우수한 성능을 갖는 DoM을 이용한 자동초점조절 알고리즘에 대하여 설명하기로 한다.

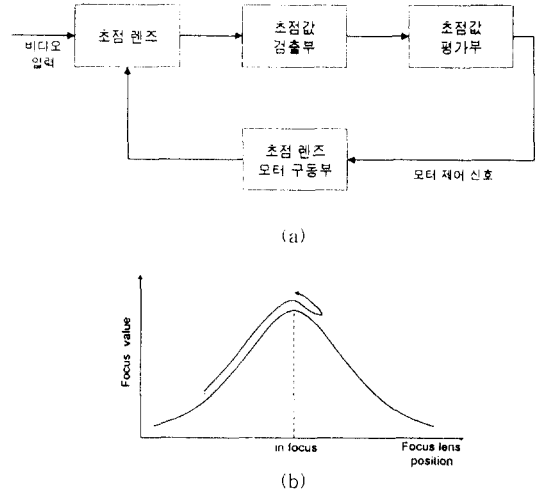


그림 4. 자동초점조절의 기본 원리, (a) 자동초점조절 블록도, (b) 초점 곡선

Fig. 4. Basic principles of autofocus, (a) block diagram of autofocus, (b) focus value curve

영상 처리에 의한 자동초점조절의 기본 원리는 초점값을 구하기 위하여 부가적인 장치를 이용하지 않고, 입력되는 비디오 영상 신호만을 이용하여 초점조절에 유용한 초점값을 얻고, 초점값이 가장 커지는 곳으로 초점 렌즈를 구동시킨다. 그림 4(a)는 자동초점조절을 위한 기본 블록도이다. 그림 4(a)의 초점값 검출부에서 입력되는 영상에 대한 초점값을 구하고, 초점값 평가부는 초점값으로 영상의 흐림 정도를 평가하여 초점 렌즈를 구동시키는 제어신호를 발생시킨다. 그리고 그림 4(b)은 초점값 곡선의 예를 보여준다. 그림 4(b)에서 초점값이 커지는 쪽으로 계속 이동하다가 그 값이 감소하면 이전 위치로 이동한 후에 정지한다. 따라서 자동초점조절 알고리즘이 좋은 성능을 갖기 위해서는 초점이 맞는 위치에서 초점 곡선이 예리함을 가지고 있어야 하며, 초점이 맞지 않는 곳에서도 초점 렌즈의 원활한 이동을 위하여 초점 곡선은 적당한 기울기를 갖고 있어야 한다. 또한 비디오 카메라 렌즈의 불안정한 동작을 일으킬 수 있는 국지적인 최대값이 적어야 한다.

기존의 초점값 검출 방법에서는 영상에 고주파 성분이 많이 포함되어 있다는 것은 영상의 에지가 선명

하다는 것으로 가정하고, 그래디언트(gradient)나 라플라시안(Laplacian) 등을 이용하여 에지를 검출하고 그 결과를 초점값으로 사용하였다[1]. 먼저 그래디언트 크기를 이용하는 Tenengrad 방식에 대하여 살펴보기로 한다.

Tenengrad 방식은 초점 정도를 평가하기 위하여 식 (5)와 같이 영상의 각 화소에서 그래디언트 크기를 누적하여 흐림 정도를 결정할 수 있다.

$$\sum |\nabla f(x, y)| = \sum \sqrt{f_x^2 + f_y^2} \quad (5)$$

여기서  $f(x, y)$ 는 원영상이고,  $f_x, f_y$ 은 각각 수직, 수평 방향에 대한 그래디언트를 의미한다. 그래디언트를 이산(discrete) 영역에서 구하기 위하여 식 (6)의 Sobel 연산자를 사용한다.

$$i_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad i_y = \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (6)$$

Sobel 연산자를 이용하여 그래디언트 크기를 계산하면 다음과 같다.

$$S(x, y) = \sqrt{(i_x * f(x, y))^2 + (i_y * f(x, y))^2} \quad (7)$$

여기서 \*은 컨볼루션이다. Tenengrad 방식에서는 식 (8)와 같이 그래디언트 크기를 모두 누적하여 초점값을 구하고, 그 결과에 따라 초점 렌즈를 이동하여 가장 큰 값을 갖는 위치가 초점이 가장 잘 맞는 위치라고 정한다.

$$F_{Tenengrad} = \sum_x \sum_y S(x, y)^2 \quad (8)$$

영상에서 고주파 성분의 크기를 알아내는 또 다른 방법으로 식 (9)와 같이 라플라시안 연산자를 이용할 수 있다.

$$\nabla^2 f(x, y) = \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \quad (9)$$

그러나 식(9)에 의한 수평과 수직 방향의 이차 미분값이 정반대의 부호를 가질 때 서로 상쇄되어 정확한

초점값을 얻기가 어렵다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Nayar[12]는 라플라시안 필터를 개량하여 수평·수직 방향의 이차 미분값의 절대값을 구하는 방법으로 변형된 라플라시안을 제안하였다. 따라서 식 (10)와 같이 변형된 라플라시안에 의하여 계산하고, 이러한 방식을 SML(sum-modified-Laplacian)이라 한다.

$$\begin{aligned} & \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right| \\ & = |2f(x, y) - f(x-1, y) - f(x+1, y)| \\ & \quad + |2f(x, y) - f(x, y-1) - f(x, y+1)| \end{aligned} \quad (10)$$

변형된 라플라시안을 이용하여 구한 결과를 식 (11)과 같이 누적하여 초점값을 구한다.

$$\begin{aligned} F_{SML} &= \sum_x \sum_y \{ \nabla^2 f(x, y) \}^2 \\ &= \sum_x \sum_y \left\{ \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 f(x, y)}{\partial y^2} \right| \right\}^2 \end{aligned} \quad (11)$$

영상의 고주파 성분을 이용하여 초점값을 구하는 방법으로 Jarvis[6]에 의해 제안된 식 (12)의 SMD(sum-modulus-difference)가 있다.

$$\begin{aligned} S_x &= \sum_x \sum_y |f(x, y) - f(x, y+1)| \\ S_y &= \sum_x \sum_y |f(x, y) - f(x+1, y)| \end{aligned} \quad (12)$$

이 방법의 기본 개념은 Tenengrad와 같지만 초점값을 구하기 위하여 2차원 윈도우를 사용하지 않는다는 점에서 Tenengrad와 다르다. 즉 Tenengrad는 초점값을 구하기 위해 2차원 윈도우 내에서 에지의 방향성을 구별하지 않고 그래디언트 크기를 합하지만, 식 (12)와 같이 SMD는 초점값을 구하기 위하여 영상의 수평·수직 방향에서의 그래디언트 크기를 각각 따로 구해 그 결과를 식(13)와 같이 합한다.

$$F_{SMD} = S_x + S_y \quad (13)$$

일반적으로 영상은 초점이 맞아감에 따라 그 초점값이 단조 증가해야 하지만, 비디오 카메라 시스템에서 발생되는 잡음으로 인하여 초점값은 전체적으로 단조 증가하지 않고 국지적인 최대값이 발생할 수 있

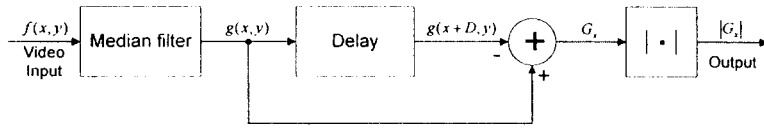


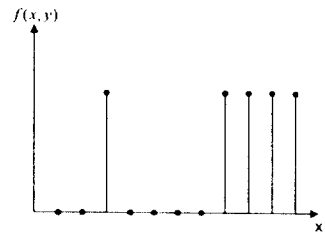
그림 5. DoM을 이용한 초점값 검출 블록도  
 Fig. 5. Block diagram of the focus value detector using the DoM

다. 자동초점조절을 하는데 있어서 잡음으로 인한 국지적인 최대값의 발생은 영상의 초점이 정확히 맞지 않는 위치에서도 비디오 카메라의 렌즈를 멈추게 하는 불안정한 동작을 일으킬 수 있다. 따라서 초점값으로 유용하게 이용될 수 있는 고주파 성분은 그대로 유지하면서 국지적인 최대값을 발생시키는 잡음을 제거하는 것이 필요하다.

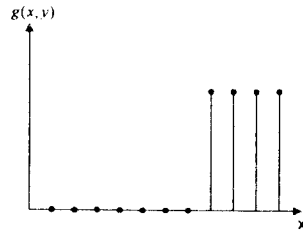
비디오 카메라에서 CCD은 렌즈를 통해서 입력된 광원을 전기적 신호로 바꾸어 준다. 이때 전기적 신호는 온도에 매우 민감하므로 열잡음(thermal noise)이 발생하고, 그 통계적 특성은 가우시안 분포(Gaussian distribution)에 가깝다. 또한 CCD로부터 영상을 읽어낼 때 임펄스성 잡음인 salt-and-pepper 잡음이 발생하는 것으로 알려져 있다[6]. 일반적으로 비디오 카메라로 입력된 디지털 영상 신호에서 가우시안 분포의 잡음을 제거하는 데는 평균 필터가 효과적이지만 초점값으로 유용하게 이용될 수 있는 에지 성분까지도 제거하는 특성이 있기 때문에 자동초점조절 알고리즘에 적용하기에는 비효율적이다. 반면 미디언 필터는 영상 신호에서 에지와 같은 고주파 성분을 보존해 주면서 잡음을 제거하는 특성을 가지고 있다[7]-[9].

본 논문에서는 그래디언트를 추정 한 효과를 나타내면서 미디언 필터의 특성을 갖는 DoM을 이용한 자동초점조절 기법을 제시한다. 제안하는 기법은 일정한 간격만큼 떨어진 두 기준 화소를 중심으로 윈도우를 구성하고, 윈도우 내의 인접 화소들에 대한 미디언 값을 구한 후 그 두 미디언 값의 차를 누적하여 초점값으로 사용한다. 그림 5은 제안하는 DoM을 이용하여 초점값을 검출하는 블록도이다. 미디언 필터를 거친 영상 신호에서 일정한 간격은 단순히 지연을 이용함으로써 쉽게 구현된다.

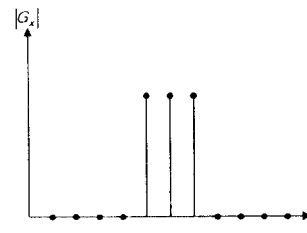
기준 화소에 대하여 미디언 필터를 적용한 결과는 식 (14)와 같다.



(a)



(b)



(c)

그림 6. 미디언 필터를 이용한 그래디언트 검출, (a) 원신호, (b) (a)의 미디언 필터를 거친 결과, (c) DoM의 결과

Fig. 6. Detection of the edge gradient using median filter, (a) original signal, (b) result of median filtering, (c) result of the DoM

$$g(x, y) = \text{median}\{f(x-m, y), \dots, f(x, y), \dots, f(x+m, y)\} \quad (14)$$

여기서  $g(x, y)$ 은 미디언 필터를 통과한 값이고, 미디언 필터는  $2m+1$ 의 윈도우 크기를 갖는다.

또한 고주파 성분을 검출하기 위하여 미디언 필터를 거친 영상 신호에서 일정한 간격  $D$  만큼 떨어진 값의 차인 DoM을 이용하여 그라디언트  $G_x$ 를 다음과 같이 구한다.

$$G_x = g(x, y) - g(x + D, y) \quad (15)$$

제안하는 알고리즘에서 사용되는 미디언 필터는 그림 6와 같이 임펄스성 잡음을 제거하면서 영상의 에지와 같은 고주파 성분은 보존한다. 그림 6에서는  $m=1, D=3$ 으로 하여 DoM을 이용한 그라디언트 검출의 간단한 예를 보여주고 있다.

제안하는 알고리즘의 실시간 처리 능력을 최대화하기 위하여 영상의 각 수평 라인에서 일정 간격 떨어진 두 기준 화소에 대하여 각각 그 이웃 화소들과의 미디언을 구한 후, 그 미디언 값들의 차인 DoM을 계산하여 절대값을 취하고, 이 값들을 누적하여 식 (16)와 같이 초점값을 얻는다.

$$F_{DoM} = \sum_x \sum_y |G_x| \quad (16)$$

각 알고리즘을 이용하여 초점값을 구하는 계산 과정에 대해서 살펴보면 다음과 같다. Tenengrad은 전처리 과정으로 Sobel 연산자를 이용하고 초점값을 구하기 위해 이용하는 화소의 수가 많아 초점값 누적에

서 가장 계산량이 많은 알고리즘이다. 그리고 SML과 SMD은 초점값 누적에서 계산 방식이 Tenengrad와 비교하여 간단하지만 초점값을 구하기 위해 이용되는 산술 연산의 수가 많다. 본 논문에서 제안하는 DoM은 전처리 과정에서 미디언 필터를 사용하기 때문에 비교 연산만이 필요하고, 이러한 계산 방식은 Pitas의 고속 알고리즘[13]을 적용하여 보다 간단하게 구현할 수 있다. 따라서 제안하는 DoM은 초점값을 구하는 계산 과정에서 기존의 알고리즘의 산술 연산들을 비교 연산으로 처리하고 수평 라인으로 입력되는 일차원 데이터만을 처리함으로써 처리 시간을 크게 줄일 수 있다. 또한 계산 과정이 간단하여 하드웨어 구현이 용이하다.

#### IV. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안하는 자동초점조절 방식에 대한 성능을 평가하기 위하여 제안하는 방식 DoM와 기존의 Tenengrad, SML, 그리고 SMD를 이용하여 초점 렌즈를 이동시키면서 얻어진 초점 곡선의 특성을 비교한다. 그 이유는 초점 곡선의 특성에 따라 자동초점조절 알고리즘의 성능을 결정지을 수 있기 때문이다.

제안하는 방식과 기존 방식과의 성능 비교를 위하여 일반 비디오 카메라의 자동초점조절 기능을 수행하는 프로세서를 제거하고, 제거된 프로세서의 기능을 대신 수행할 수 있는 자동초점조절 제어 보드를 제작하였다. 제작된 자동초점조절 시스템의 전체 블록도는 그림 7이고, 그림 8은 제작된 자동초점조절 제어 보드의 사진이다. 그림 7에서 비디오 카메라의

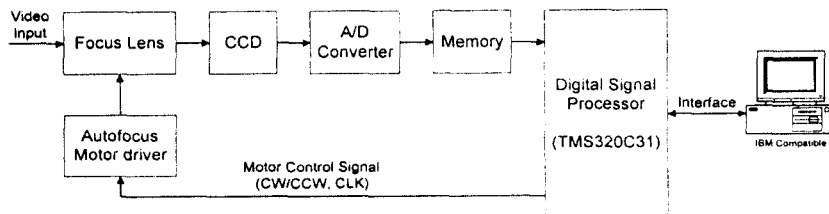


그림 7. 자동초점조절 시스템의 블럭도  
Fig. 7. Block diagram of the autofocus system

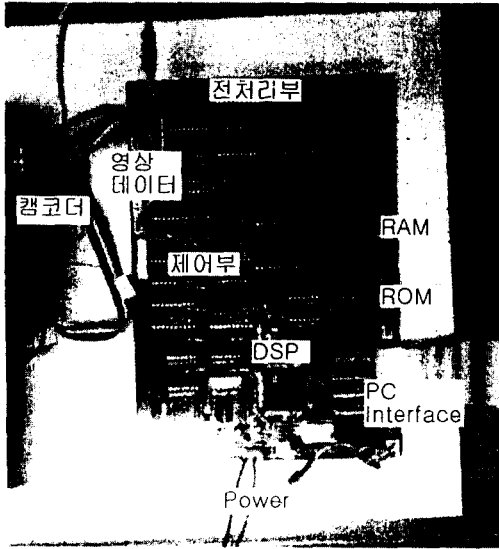
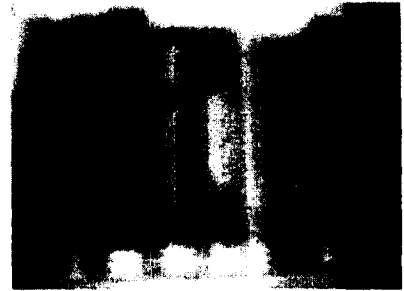


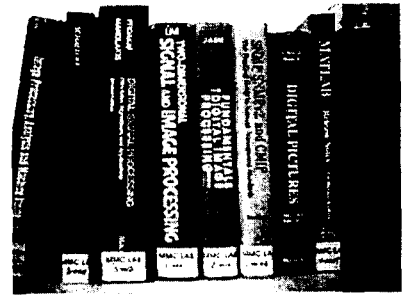
그림 8. 자동초점조절 제어 보드  
Fig. 8. Control board for autofocus

CCD에서 감지된 신호는 A/D 변환기를 통과하여 디지털 신호로 변환된다. 이렇게 변환된 신호는 제어보드의 메모리에 저장되고, 메모리에 저장된 전체 영상에서 초점값을 구하기 위한 대상 영역을 정하여 TMS 320C31 프로세서를 이용하여 초점값을 구한다. 검출된 초점값을 이용하여 초점이 정확히 맞은 상태인가를 확인하고, 그렇지 않으면 검출된 초점값에 따라 초점 렌즈를 구동하기 위해서 모터 제어 신호를 비디오 카메라의 초점 모터 제어부로 전달하여 초점을 맞춘다. 이때 검출된 초점값과 모터 제어 신호에 대한 정보를 병렬 인터페이스를 이용하여 PC로 전송할 수 있도록 함으로써 PC에서도 현재의 상황을 알아볼 수 있도록 하였다.

본 논문에서 제안하는 방식과 기존의 방식의 성능을 평가하기 위하여 초점 곡선의 특성을 이용한다. 자동초점조절 알고리즘이 좋은 성능을 갖기 위해서는 초점이 맞는 위치에서 초점 곡선의 기울기가 커야 하고, 초점이 맞지 않는 곳에서도 초점 렌즈의 원활한 이동을 위하여 초점 곡선은 적당한 기울기를 갖고 있어야 한다. 그림 9은 책상 위에 놓은 책을 촬영한 영상이고, 그림 10은 비디오 카메라에서 초점 렌즈를 이동하면서 각각의 방식으로 처리하여 얻은 초점값



(a)



(b)

그림 9. 실험 영상 (책상에 놓은 책), (a)초점이 맞지 않은 영상, (b)초점이 맞는 영상

Fig. 9. Test image (books in bookcase), (a)out of focus, (b) in focus

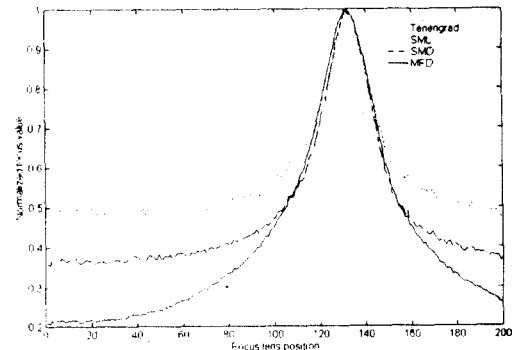
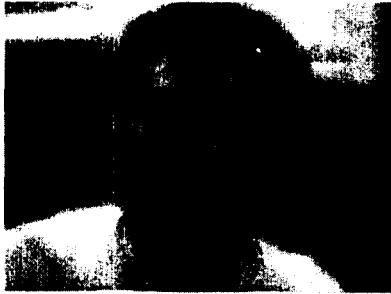


그림 10. 제안하는 방식과 기존 방식과의 비교 (책상에 놓인 책)

Fig. 10. Comparison of focus value curves using the proposed and existing autofocusing methods (books in bookcase)





(a)



(b)

그림 11. 실험 영상 (얼굴), (a)초점이 맞지 않은 영상, (b) 초점이 맞은 영상

Fig. 11. Test image (face), (a) out of focus, (b) in focus

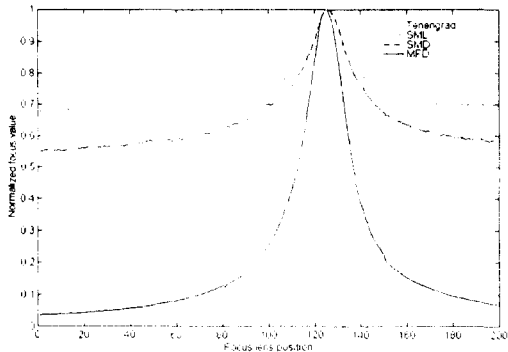


그림 12. 제안하는 방식과 기존 방식과의 비교 (얼굴)

Fig. 12. Comparison of focus value curves using the proposed and existing autofocusing methods (face)

을 정규화한 결과이다. 그림 11은 사람의 얼굴을 촬영한 영상이고, 그림 12은 동일한 방법으로 처리하여 얻은 초점값을 정규화한 결과이다.

그림 10에서 초점 렌즈를 이동하면서 얻어진 초점 곡선의 특성을 살펴보면 DoM와 Tenengrad가 초점이 맞아 가는 영역, 다시 말해서 초점 렌즈가 120에서 140 사이의 위치에서 SML와 SMD보다 예리한 기울기를 가지고 있고, 초점이 맞지 않는 곳에도 적당한 기울기를 가지고 있음을 확인할 수 있다. 그러나 초점이 아주 흐려지는 위치에서는 DoM가 Tenengrad보다 적당한 기울기를 유지함으로써 보다 좋은 성능을 가진다.

그림 12의 초점 곡선에서 SML과 SMD은 흐림 현상이 심해지는 곳에서 극지적인 최대값이 발생하고 있다. 그러나 제안하는 DoM은 초점이 맞아 가는 영역에서 기존의 방식보다 예리한 기울기를 가지고 있고, 초점이 맞지 않는 곳에도 초점 곡선이 적당한 기울기를 유지함으로써 견고한 성능을 보여주고 있다.

## V. 결 론

본 논문에서는 흐림 현상의 근본 원인인 확산원의 특성을 고려하여 초점이 맞아감에 따라 영상의 고주파 성분이 증가함을 살펴보고, 미디언 차이의 누적에 의한 자동초점조절 알고리즘을 제안하였다. 그리고 제안하는 방식과 기존 방식에 대해서 실험을 통한 초점 곡선의 특성을 비교하여 자동초점조절의 성능을 평가하였다. 실험 결과에서 제안하는 방식으로 얻어진 초점 곡선의 특성이 초점이 맞아가는 위치에서 기존 방식보다 예리함을 보여주었고, 초점이 맞지 않는 곳에서도 적당한 기울기를 유지하여 제안하는 방식이 기존 방식보다 좋은 성능을 가지고 있음을 확인하였다. 그리고 제안하는 방식은 미디언 필터의 특성에 의해서 잡음에도 덜 민감한 초점값으로 이용되는 고주파성분은 그대로 유지함으로써 기존 방식보다 극지적인 최대값의 발생을 줄일 수 있었다. 또한 초점값을 구하는 과정에서 기존 알고리즘의 산술 연산들을 제안된 알고리즘에서는 비교 연산으로 처리하고 수평 라인으로 입력되는 일차원 데이터만을 처리함으로써 처리 시간을 크게 줄일 수 있었다. 또한 계산 과정이 간단하여 하드웨어 구현이 용이하다.

참 고 문 헌

1. Je-Ho Lee, Kun-Sop Kim, Byung-Deok Nam, Jae-Chon Lee, Yong-Moo Kwon, and Hyoung-Gon Kim, "Implementation of a passive automatic focusing algorithm for digital still camera," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 41, no. 3, pp. 449-454, Aug. 1995.
2. H. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Kitamura, M. Onishi, and H. Harada, "New automatic focusing system for video camera," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. CE-32, no. 3, pp. 312-319, Aug. 1986.
3. T. Haruki and K. Kikuchi, "Video camera system using fuzzy logic," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 38, no. 3, pp. 624-634, Aug. 1992.
4. K. Ooi, K. Izumi, M. Nozaki, and I. Takeda, "An advanced autofocus system for video camera using quasi condition reasoning," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. 36, no. 3, pp. 526-529, Aug. 1990.
5. K. Hanma, M. Masuda, H. Nabeyama, and Y. Saito, "Novel technologies for automatic focusing and white balancing of solid state color video camera," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, vol. CE-29, no. 3, pp. 376-381, Aug. 1983.
6. R. A. Jarvis, "Focus optimization criteria for computer image processing," *Microscope*, vol. 24(2), pp. 163-180.
7. E. Ataman, V. K. Aatre, and K. M. Wong, "Some statistical properties of median filters," *IEEE Transactions on Acoustics, Speech, Signal Processing*, vol. ASSP-29, no. 5, pp. 1073-1075, Oct. 1981.
8. A. C. Bovik, T. S. Huang, and D. C. Munson, "The effect of median filtering on edge estimation and detection," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-9, no. 2, pp. 181-194, Mar. 1987.
9. G. J. Yang and T. S. Huang, "The effect of median filtering on edge location estimation," *Comput. Graphics Image Processing*, vol. 15, pp. 224-245,

- 1981.
10. A. P. Pentland, "A new sense for depth of field," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. PAMI-9, no. 4, Jul. 1987.
11. J. Biemond, R. L. Legendijk, and R. M. Mersereau, "Iterative methods for image deblurring," *Proceedings of IEEE*, vol. 78, no. 5, pp. 856-883, May 1990.
12. S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from focus," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 16, no. 8, pp. 824-831, Aug. 1994.
13. I. Pitas, "Fast algorithms for running ordering and Max/Min calculation," *IEEE Transactions on Circuits and Systems*, vol. 36, no. 6, pp. 795-804, Jun. 1989.

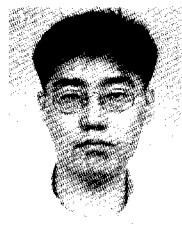


이 성 희(Sung-Hee Lee) 정회원  
 1993년 2월: 고려대학교 정보공학과 졸업(학사)  
 1995년 8월: 고려대학교 대학원 전산학과(이학석사)  
 1995년 9월~현재: 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

※관심분야: 영상 신호처리, 멀티미디어 통신

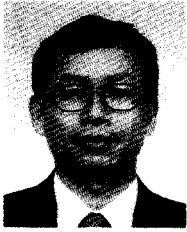


김 주 현(Ju-Hyun Kim) 정회원  
 1996년 2월: 고려대학교 전자공학과 졸업(학사)  
 1996년 3월: 고려대학교 대학원 전자공학과 석사과정  
 ※관심분야: 영상통신, 영상 신호처리



최 병 태(Byung-Tae Choi) 정회원  
 1994년 2월: 고려대학교 전자공학과 졸업(학사)  
 1996년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학석사)  
 1996년 3월~현재: 고려대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

관심분야: 영상 신호처리, 멀티미디어 통신



고 성 제(Sung-Jea Ko) 정회원

1980년 2월:고려대학교 전자공  
학과 졸업(학사)

1986년 5월:State Univ. of New  
York at Buffalo, 전  
기 및 컴퓨터공학과  
(공학석사)

1988년 8월:State Univ. of New  
York at Buffalo, 전기 및 컴퓨터공학과(공학박사)

1981년 8월~1983년 12월:대한전선 중앙연구소 연구원

1988년 8월~1992년 5월:The University of Michigan-  
Dearbon, 전기 및 컴퓨터공  
학과 조교수

1992년 3월~현재:고려대학교 전자공학과 부교수

1996년 11월:IEEE APCCAS best paper award

1997년 12월:대한전자공학회 해동 논문상 수상

※관심분야:신호 및 영상 처리, 영상 압축 및 통신,  
멀티미디어 통신 등