

디지털 카메라를 위한 새로운 자동초점조절 알고리즘의 연구

論 文
50D-9-6

A Study on a New Auto-Focusing Algorithm for Digital Cameras

辛承賢* · 朴重虎* · 金根燮* · 趙一浚* · 金成煥**

(Seung-Hyun Shin · Jung-Ho Park · Kun-Sop Kim · Il-jun Cho · Sung-Hwan Kim)

Abstract - In this paper, a new auto-focusing algorithm for digital cameras is proposed. One of the primary concerns of digital image processing is to increase image quality, and the most important factor for degrading the images is the blurring effect due to inexact focusing. The blurring effect occurs when the focusing lens is located on an unsuitable position. Therefore, focusing on an object should be proceeded before acquiring images. The proposed auto-focusing algorithm is MMDT(min-max difference threshold), and the performance of the proposed algorithm is evaluated by the use of the focus curve. It is shown that the proposed algorithm is superior to other previous auto-focusing algorithms in both the focus shape and computation time aspects. Especially, the improvement of the focus curve shape in both monotonousness and slope indicates that focusing can be done rapidly in comparison with other previous proposed algorithms.

Key Words : auto-focus, digital camera, MMDT, subwindow

1. 서 론

자동초점조절은 컴퓨터비전과 카메라 등에서 매우 중요하게 사용된다. 자동초점조절이란 영상을 획득하는 시스템에서 고정된 활상면에 자동으로 초점이 맺히도록 렌즈를 구동시키는 방식이다[1-3]. 이러한 자동초점조절에 관해서는 현미경이나 망원경 등의 분야에서 오래 전부터 연구되어 왔고, 최근 들어서는 가정용 캠코더, 디지털카메라 등의 컴퓨터비전 분야에서 크게 주목받고 있다.

현미경과 망원경 분야에 있어서는 피사체가 고정되어 있고 배율이 매우 높다는 특징이 있으며, 초점조절에 소요되는 시간보다는 정확한 초점위치를 찾는 초점치(focus value)의 정의가 중요사항이 된다. 반면, 가정용 캠코더 분야에서는 움직이는 피사체인 경우가 많고 초점조절에 소요되는 시간을 최대한 단축시키는 것이 중요한 과제가 되므로 초점치를 찾는 알고리즘의 속도 또한 중요한 문제가 되고 있다[4-5]. 최근 들어 급속히 보급되고 있는 디지털카메라의 경우 정지화상 메모리 등의 저장매체에 담은 장비로서 빠른 시간 내에 초점이 맞은 선명한 영상을 찍는 것이 중요한 문제가 되므로 자동초점조절을 위한 신속하고 신뢰성 있는 알고리즘이 요구되고 있다.

이와 같은 영상의 초점조절 문제에 대해 Biemond[6] 등은

흐림 현상을 분석하고 그로부터 영상정보를 얻어내는 방법에 대해 발표하였으며, Hanma[5] 등은 자동초점조절을 위해 영상의 주파수 대역에 따른 에너지의 개념을 도입하였다. 주파수 대역별 에너지의 이용이란, 영상의 흐림이 심한 상태에서는 초점이 맞아 가는 변화를 낮은 주파수 대역에서 관찰하며 세밀한 초점조절을 위해서는 높은 대역에서의 주파수 변화를 관찰한다는 것이다. 기존의 자동초점조절 방법에는 그래디언트(gradiant)를 이용한 방법, 고역 여파기를 이용한 방법, Nayar[3]의 수정된 고역 여파기를 이용한 방법, Jang 등[7]의 이동평균차이의 누적에 의한 방법, Lee 등[8]의 메디안 필터의 차이를 이용한 방법등이 있다.

그러나 실제 사용되는 여파기의 차단 주파수의 결정이나 주파수 대역의 선택 등에 대해서는 대부분 실험에 의한 경험에 근거하고 있으며 아직까지 설득력 있는 근거를 제시하지 못하고 있다. 특히, 디지털카메라에서의 자동초점조절 알고리즘들은 영상을 획득할 때 조도가 높은 곳에서는 좋은 특성을 나타내고 있지만 저조도나 콘트라스트가 없는 경우, 혹은 광원 등이 포함된 경우에 있어서는 초점이 맞은 정도와는 무관한 특성을 보이고 있으며, 이에 대하여는 주로 예외상황으로 처리하여 왔다[9]. 따라서 이러한 경우에도 적용될 수 있는 새로운 알고리즘의 개발이 요구되고 있다.

본 논문에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 MMDT(min-max difference threshold)방식을 제안하였다. 이를 위해 먼저 획득한 영상을 작은 부윈도우(sub-window)들로 나누고, 각 부윈도우 내의 화소값들 중에서 최대값과 최소값의 차이를 구한 후 그 차이가 문턱치를 넘게 되면 이를 모두 누계하여 이를 영상의 초점치로 이용하였다. 이러한 방법은 초점이 잘 맞을수록 인접 화소간의 상관성이 작아지고, 이에 따

* 準 會 員 : 서울시립대 電子電氣공학컴퓨터工學部 博士課程

** 正 會 員 : 서울시립대 電子電氣공학컴퓨터工學部 敎授·工博

接受日字 : 2001年 7月 14日

最終完了 : 2001年 8月 22日

라 밝기 차이가 커지는 경향을 보이게 되는 것을 이용한 것으로 실 영상들에 적용했을 때에 전체적인 경향이 초점이 맞아 가는 정도와 일치함을 실제 실험을 통해서 입증하였다.

2. 자동초점 조절

2.1 기본원리

자동초점조절이란 고정된 촬상면, 혹은 CCD(charge coupled device)면에 자동으로 피사체의 초점이 맺히도록 렌즈를 이동시켜주는 메커니즘이다. 피사체와 촬영기 사이의 거리 변화등으로 발생하는 광학적인 초점의 틀어짐을 전자적으로 판정하여 기구를 구동시키고, 이를 이용해 렌즈의 위치를 보상하여 초점이 촬상면에 정확하게 맺히도록 해주는 역할을 한다.

자동 초점조절 방법에 대해서는 여러 가지 연구가 있어 왔지만 대부분 실험을 통한 경험적 연구라 할 수 있다[7-9]. 일반적으로 초점조절을 위한 영상처리는 획득영상에 대한 주파수 특성이나 경계값의 검출을 이용한다. 이러한 경우 초점이 안 맞은 흐린 영상은 저주파의 성분이 나타나며 초점이 맞아 갈수록 고주파 성분이 나타나는 특성을 이용한다. 후자의 경우에는 초점이 안 맞은 흐린 영상은 경계값이 낮게 나타나며 초점이 맞아 갈수록 경계값이 높게 나타나는 특성을 이용한다.

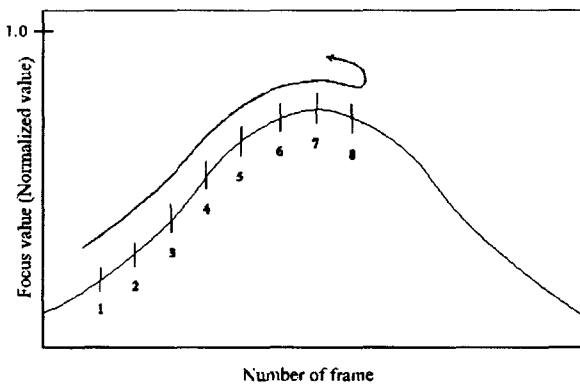


그림 1. 초점치 곡선의 예
(X축: 영상의 프레임 수, Y축 :정규화된 초점치)
Fig. 1. Example of focus value curve
(X axis: number of frame, Y axis: focus value)

그림 1에서 가로축은 초점렌즈가 이동할 때마다 획득한 영상의 번호를 나타내고, 세로축은 가로축의 영상들에 대한 각각의 초점치를 나타낸 것이며, 휘도 신호로부터 초점조절에 유용한 초점 평가치를 얻어내어 그 값이 최대가 되는 곳으로 렌즈를 구동시키는 방법을 나타낸 것이다. 곡선에 표시된 숫자는 렌즈 구동 모터의 시간적 순서를 의미한다. 단계1에서 시작하여 초점치가 커지는 쪽으로 계속 이동하다가 스텝 8에서 그 값이 감소하면 이전 위치가 최대치라고 판단하고 이전

의 위치로 이동한 다음 정지한다. 만약 처음에 이동했을 때 초점치가 감소했다면 그 반대방향으로 추적한다.

2.2 초점치 조건

선명한 영상을 신속하게 얻기 위한 초점치 조절 조건으로는 초점치 곡선의 예리함, 초점조절 과정에서의 단조성, 다양한 환경에의 적용성, 빠른 초점치 획득 알고리즘의 이용 등이 있다[8][9].

첫번째로 초점치 곡선의 예리함을 살펴보는 이유는 곡선에서의 최대치 부분이 예리할수록 그 위치를 찾기가 쉽기 때문이다. 매우 정밀하게 초점을 맞추어야 할 경우에 합초점 부근에서 예리한 침두치가 존재하지 않는다면 합초점 여부를 알기 위해 빠른 속도로 초점렌즈를 좌·우로 미소구간만큼 이동시켜야한다. 그러므로 최대치 곡선의 예리함은 초점치의 성능을 평가함에 있어서 중요한 요소이다. 둘째로 초점조절 과정에서의 단조성은 초점을 맞추어가는 과정에서 국지적인 최대치의 존재 여부를 판단하기 위한 중요한 요소이다. 합초점의 위치를 찾는 과정에서 단조성을 고려하지 않는다면 국지적인 최대치가 존재하는 곳을 초점이 가장 잘 맞은 곳으로 인식하여 결국 합초점 위치를 찾지 못하는 경우가 발생하기 때문이다. 셋째로 다양한 환경에의 적용성은 디지털카메라를 사용하기 위해 필요한 조건이다. 사용자가 디지털카메라로 촬영하는 환경은 매우 다양한데, 어떤 상황에서는 좋은 성능을 보이다가도 또 다른 상황에서 문제점이 발생한다면, 그 초점치를 사용하는 것이 힘들기 때문이다. 대부분의 초점치는 조도가 높고 에지가 많은 피사체에서 좋은 성능을 보이는 경향이 있다.

빠른 초점치 획득 알고리즘이란 디지털카메라로 촬영을 할 경우 초점조절 시간이 너무 오래 걸리게 되는 문제가 발생하지 않도록 하기 위한 조건이며, 알고리즘과 직접적인 관련이 있다.

3. 자동초점조절 알고리즘의 제안

3.1 기존의 자동초점조절 알고리즘

기존의 자동초점조절 방법에는 그래디언트를 이용한 방법, 고역 여파기를 이용한 방법, 수정된 고역 여파기를 이용한 방법[3], 이동평균 차이의 누적에 의한 방법[7], 그리고 메디안 필터링 후의 차이를 이용한 방법[8] 등이 있다.

첫번째로 그래디언트를 이용한 방법은 화소의 경도를 구하여 그 값을 누적하는 방식이다. 디지털카메라를 통해 획득한 흑백 영상에 있어서 에지 성분에 대한 선명도는 초점치를 나타내며, 이를 구하기 위해 그래디언트 연산자로 이루어진 에지 검출기를 사용한다.

그래디언트를 이산영역에서 구하는 방법은 여러 가지가 알려져 있지만, 일반적으로 Sobel 연산자를 이용한다, 이는 다음의 식(1)로 정의된다

$$i_x = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad i_y = \frac{1}{4} \begin{pmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{pmatrix} \quad (1)$$

연산자 i_x, i_y 를 각각의 화소에 적용함으로써 그래디언트의 크기를 구할 수 있으며, 식(2)로 표현된다.

$$Grad(x, y) = \sqrt{(i_x * g(x, y))^2 + (i_y * g(x, y))^2} \quad (2)$$

식(2)를 프레임 전체에 걸쳐 각각의 화소에 적용하면 다음과 같이 초점치를 구할 수 있다.

$$Focus Value = \sum_x \sum_y Grad(x, y)^2 \quad (3)$$

합초점의 위치는 식(3)을 통해서 얻은 초점치가 최대가 되는 곳이 된다.

두번째로 영상의 고주파 성분에 대해 고역 여파기를 이용하여 그 값을 누적하고 이를 초점치로 사용하는 방법이 있다 [5]. 디지털 평면에서의 고역 여파기로는 라플라시안 필터를 들 수 있다. 라플라시안(laplacian) 연산자를 이용한 자동초점 측정은 다음과 같다.

$$\nabla^2 g(x, y) = \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} \quad (4)$$

식(4)를 3 * 3 여파기로 구현한 예가 식 (5)이다.

$$L = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{pmatrix} \quad (5)$$

$L(x, y)$ 를 라플라시안 여파기를 거친 출력이라 하면 수식은 다음과 같다.

$$Focus Value = \sum_x \sum_y L(x, y)^2 \quad (6)$$

그래디언트 방법과 마찬가지로 합초점의 위치는 초점치가 최대가 되는 곳이다.

Nayar[3]는 라플라시안 여파기를 개량하여 수평, 수직방향의 이차 편미분 값에 절대값을 취하는 초점치로서 SML(sum-modified laplacian)을 제안하였고, 이 식은 식(7)과 같다.

$$\nabla^2 g(x, y) = \left| \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial x^2} \right| + \left| \frac{\partial^2 g(x, y)}{\partial y^2} \right| \quad (7)$$

이를 이산영역에서 구하면 식(8), 식(9)와 같다.

$$ML(x, y) = |2g(x, y) - g(x-1, y) - g(x+1, y)| + |2g(x, y) - g(x, y-1) - g(x, y+1)| \quad (8)$$

$$Focus Value = \sum_x \sum_y ML(x, y)^2 \quad (9)$$

합초점의 위치는 초점치가 최대값이 되는 곳이다.

다음으로는 이동평균 차이의 누적에 의한 방법[7]이 있다. 이는 일정한 거리로 떨어진 두 기준 화소에 대하여 각 기준 화소의 인접 화소들에 대한 평균값을 구하고, 이 값들의 차를 누적하는 방법이다. 이 때 평균을 취하는 영역간의 간격을 조절함으로써 영상의 흐림 정도에 따라 검출 대역을 선택적으로 조절한다. 식(10)은 이동평균 차이의 누적에 의한 방법을 나타낸다.

$$MA(x, y) = \sum_{i=-L}^L g(x-i, y) \quad (10)$$

여기서 L은 평균을 취하는 화소의 범위이며, $MA(\cdot)$ 는 $2*L+1$ 구간내의 화소의 총합이다. 이 때의 초점치는 다음과 같다.

$$Focus Value = \sum_x \sum_y |MA(x, y) - MA(x-D, y)| \quad (11)$$

여기서 D는 차이를 구하는 화소블럭간의 간격이며, 합초점의 위치는 초점치가 최대가 되는 곳이다.

다음으로 메디안 필터링 차이의 누적(MFD: median filtered difference)[8]에 의한 방법이 있다. 이 방법은 일정한 거리로 떨어진 두 기준 화소에 대하여 인접 화소들을 포함한 영역을 설정하고, 이에 대한 중간값(median value)을 각각 구한 후 그 차를 구한다. 이동평균 차이의 누적에 의한 방법과 마찬가지로 영역간의 간격을 조절함으로써 영상의 흐림 정도에 따라 검출 대역을 선택적으로 조절할 수 있고, 에지 성분을 보존하기 위해 메디안 필터를 사용했다. 이를 수식화 하면 다음과 같다.

$$MF(x, y) = median\{g(x-L, y), \dots, g(x, y), \dots, g(x+L, y)\} \quad (12)$$

$$Focus Value = \sum_x \sum_y |MF(x, y) - MF(x+D, y)| \quad (13)$$

합초점의 위치는 식(13)에서 초점치가 최대가 되는 곳이다.

3.2 새로운 알고리즘의 제안

본 절에서는 각 영역의 최대·최소 차이값(min-max difference)를 구하고 그 값을 문턱치(threshold)와 비교하여 초점치를 획득하는 초점조절 알고리즘을 제안한다. 프레임의 화소수를 640 * 480 이라 할 때, 먼저 이 영역을 3 * 3 크기의 부윈도우들로 나눈다. 부윈도우는 W_s 로 정의한다. 여기서 $W_s = \{w_1, w_2, \dots, w_9\}$ 이다. 그리고 각 부윈도우 내의 화소 중에서 최대값과 최소값을 찾는다.

$$W_{max} = MAX\{W_s\}, \quad W_s = \{w_1, w_2, \dots, w_9\} \quad (14)$$

$$W_{\min} = \text{MIN}\{W_s\}, \quad W_s = \{w_1, w_2, \dots, w_9\} \quad (15)$$

식(14)와 식(15)의 $\text{MAX}\{\cdot\}$ 와 $\text{MIN}\{\cdot\}$ 은 각각 최대값과 최소값의 추출 연산자이다. 다음에는 부윈도우 내에서 구한 최대값과 최소값의 차를 문턱치와 비교하여 그 값이 문턱치보다 크면 최대-최소의 차를 해당 윈도우의 대표값으로 하고, 문턱치보다 작으면 0을 선택된 윈도우의 대표값으로 정한다.

$$W_{ij} = \begin{cases} |W_{\max} - W_{\min}|, & \text{if } |W_{\max} - W_{\min}| \geq \text{threshold} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (16)$$

i, j 는 부윈도우의 위치변수를 나타낸다.

한 프레임 내의 모든 부윈도우들에 대해 위의 방법을 적용하였고, 총누계된 값을 초점치로 사용했다. 식(16)에서 문턱치의 선택은 경험적으로 0~15 정도의 문턱치를 주었을 때 제안한 알고리즘이 좋은 특성을 나타냄을 실험을 통해 확인하였고, 본 논문에서는 문턱치를 7로 하여 알고리즘을 수행하였다. 그림 2는 해당 영상에 대해 부윈도우를 선택하는 과정을 나타내었다.

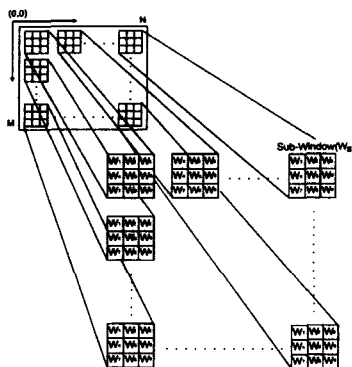


그림 2. 부윈도우 (W_s : 원영상을 3*3의 윈도우로 쪼갬)

Fig. 2. Sub-windows (W_s : Dividing 3*3 windows image from original image)

본 논문에서 제안한 자동초점 알고리즘의 초점치 획득식은 다음과 같다.

$$\text{Focus Value} = \sum_{i=1}^{N'} \sum_{j=1}^{M'} W_{ij} \quad (17)$$

합초점의 위치는 식(17)에서 구한 초점치 중 최대가 되는 곳이다. N' 과 M' 는 원영상의 화소수가 $N * M$ 인 경우 3 * 3 부윈도우로 나누었을 때의 가로, 세로 부윈도우 개수로서 다음과 같다.

$$N' = \text{fix}(N/3) \quad (18)$$

$$M' = \text{fix}(M/3) \quad (19)$$

여기서 $\text{fix}(\cdot)$ 는 몫 연산자이다.

본 논문에서 제안한 알고리즘은 흐림 현상으로 인한 공간 주파수 영역에서의 에너지 변화를 근거로 한 것이다. 이러한 에너지 변화를 가져오는 근본적인 원인은 확산원의 크기 변화로 인한 것이다. 즉, 흐림현상이 심할 경우 확산원의 크기가 커지므로 멀리 떨어져 있는 화소간에 상관성이 커지게 되며, 결과적으로 인접화소간의 밝기 차이가 작게 된다. 반면에 확산원이 작아질수록 화소간의 상호 상관성이 작아져 밝기 차이가 커지는 경향을 보이게 된다. 이러한 성질을 이용하여 자동초점 조절 알고리즘을 개발하였으며, 문턱치를 적용하였을 경우에 성능이 더 좋게 나옴을 알 수 있었다.

4. 실험 및 결과 고찰

4.1 실험

본 논문에서는 제안한 알고리즘의 성능평가를 위해 디지털 카메라를 이용하여 다양한 환경 하에서 여러 종류의 컬러 영상을 수집하고 이를 카메라 내의 메모리 카드에 저장한 후 다시 PC로 전송, 휘도영상 분리과정을 통하여 실험에서 사용할 원영상으로 이용하였다. 이렇게 획득한 원영상을 가지고 기존의 알고리즘과 본 논문에서 제안한 알고리즘에 적용, 모의 실험을 수행하였다. 수집 방법은 디지털카메라의 수동초점 모드에서 초점렌즈 구동 모터를 일정간격씩 움직이면서 영상을 획득하는 방법을 취하였다. 실험에서는 삼성항공사의 SSC-410N 디지털카메라를 이용하여 영상을 획득하였고 획득된 영상을 IBM PC로 전송한 후, 전송된 영상을 알고리즘 수행에 적용하는 방식을 취하였다.

모의 실험에 사용된 기본 영상을 그림 3에 나타내었다.

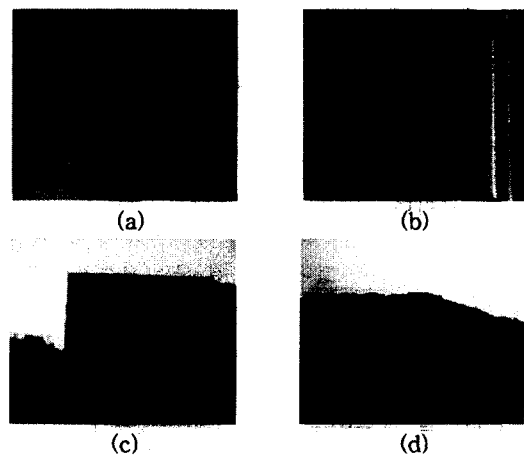


그림 3. 초점치 비교에 사용된 영상들

((a)난초 (b)사진틀 (c)풍경 I (d)풍경 II)

Fig. 3. The images used for comparing the focus value ((a)Orchid (b)Picture frame (c)Landscape I (d)Landscape II)

그림 3에서(a)와 (b)는 각각 실내의 난초와 사진틀을 촬영

한 것이며, (c)와 (d)는 각각 건물과 산을 촬영한 것이다. 그림 3에서 (a)와 (b)는 근거리 초점치 비교를 위해 사용되었고, (c)와 (d)는 원거리 초점치 비교를 위해 사용되었다. 이러한 네 가지 영상에 대해서 밝기 신호만을 추출하여 모의 실험을 하는 원영상으로 이용하였다.

4.2 결과 고찰

앞 절의 기본영상들을 이용하여 기존의 알고리즘과 제안된 알고리즘에 의한 초점치 곡선의 비교 결과를 나타내었다. 그림 4는 기본 영상 중에서 '(a)난초'에 대한 초점치 곡선이다.

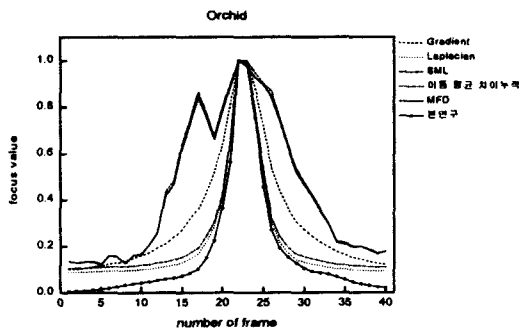


그림 4. 제안하는 방식과 기존 방식의 초점곡선 비교 (난초)

Fig. 4. Comparison of focus value curves using previous methods and proposed method (orchid)

그림 4의 초점치곡선 그래프는 다음과 같은 방식으로 표현되었다. 가로축은 초점렌즈의 위치를 일정구간씩 이동하면서 획득하는 영상의 번호(number of frame)를 나타내고 세로축은 가로축의 영상들 각각에 대한 초점치를 나타낸다. 본 논문에서는 초점치를 나타낼 때는 각 10개의 영상에서 계산된 초점치 중 가장 값이 큰 것으로 나머지 초점치들을 정규화하여 초점치 곡선으로 나타내는 방식을 취하였다. 가장 초점이 잘 맞은 합초점의 위치를 초점치 곡선 그래프의 중앙에 오도록 하기 위해서 초점조절렌즈의 위치를 합초점의 위치에서 벗어난 곳에서 시작하여 합초점의 위치를 지나가면서 각 영상에 대한 초점치를 구했다.

그림 4에서 보면 17번 프레임에서 획득한 값이 제안한 알고리즘의 곡선상에서는 초점치가 0.1정도, 22번 프레임상에서는 1을 나타낸다. 즉, 22번 프레임이 초점치가 가장 큰 값을 나타내므로 합초점 위치에 있고, 프레임 번호가 증가함에 따라 초점치가 다시 작아지는 것은 초점렌즈가 차츰 합초점의 위치에서 멀어지기 때문이다. 그림 4를 통해서 알고리즘간의 성능을 비교해 보면, 이동평균차이누적과 MFD방법은 합초점의 위치가 아닌 곳에서 국지적 최대치(local maximum)를 나타냄으로써 합초점 위치가 아닌 곳을 초점이 가장 잘 맞은 것으로 판단한다. 따라서 이것은 자동초점조절을 위한 알고리즘으로는 부적합함을 알 수 있다. 그리고 Gradient, Laplacian, SML과 제안한 알고리즘의 경우에는 합초점 부근에서도 초점치 곡선의 기울기가 크고, 초점이 맞지 않는 위

치에서도 일정 정도의 기울기를 가지므로 초점조절을 위한 알고리즘으로 이용할 수 있는데, Gradient, Laplacian, SML과 제안한 알고리즘의 비교에서는 초점이 덜 맞은 위치에서 초점치가 더 작은 값을 가지므로써 전체적으로 더 큰 기울기를 갖는 제안한 알고리즘(MMDT)이 성능면에서 보다 우수하게 나타남을 알 수 있다.

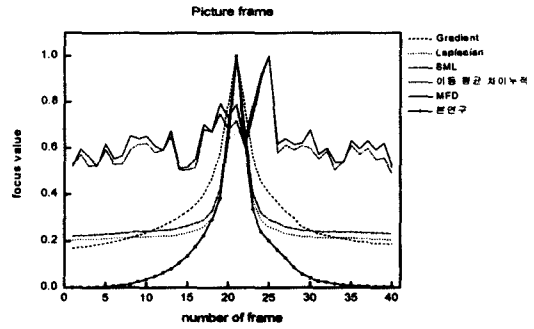


그림 5. 제안하는 방식과 기존 방식의 초점곡선 비교 (사진틀)

Fig. 5. Comparison of focus value curves using previous methods and proposed method (picture frame)

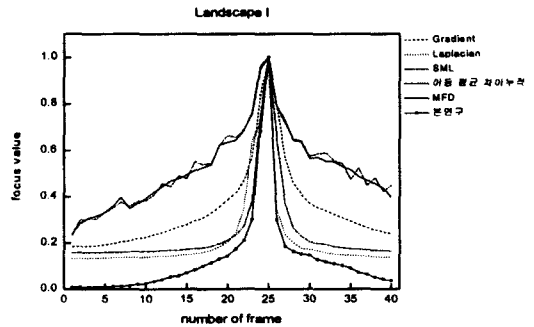


그림 6. 제안하는 방식과 기존 방식의 초점곡선 비교 (풍경 I)

Fig. 6. Comparison of focus value curves using previous methods and proposed method (Landscape I)

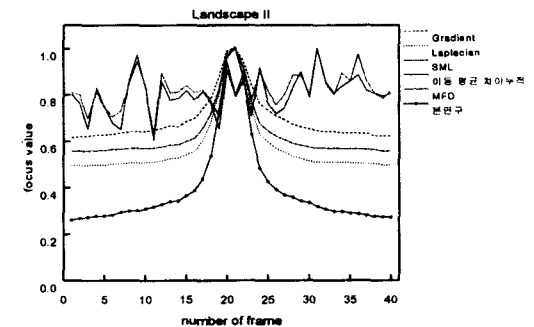


그림 7. 제안하는 방식과 기존 방식의 초점곡선 비교 (풍경 II)

Fig. 7. Comparison of focus value curves using previous methods and proposed method (Landscape II)

그림6, 그림7 그리고 그림8은 각각 그림3의 (b)사진틀, (c) 건물, (d)산에 대한 초점치 곡선이며 모두 제안한 알고리즘의 성능이 타 알고리즘에 비해 우수함을 알 수 있다.

다음에는 본 논문에서 사용한 알고리즘들간의 연산 시간을 비교하였다. 자동초점조절에서 초점이 가장 잘 잡힌 영상을 찾아내는데 소요되는 시간은 자동초점조절 알고리즘을 실시간시스템에 적용하는데 있어 매우 중요한 요소이다. 이러한 초점치 획득 시간은 적용되는 알고리즘의 연산량과 직접적인 관련을 갖게 된다. 따라서 본 논문에서는 알고리즘간의 초점치 획득 시간을 그림 8에서 비교 분석하였다. 각각은 한 프레임에 대상으로 한 연산시간이며, Intel사의 Pentium processor(200MHz)를 사용하였다.

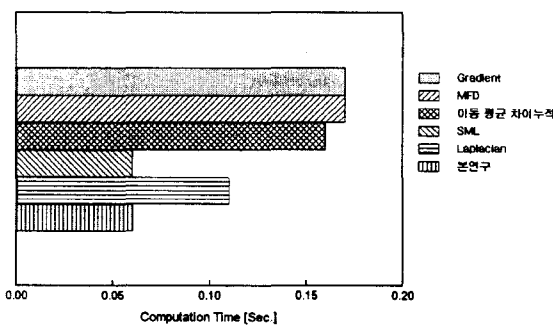


그림 8. 알고리즘간의 연산시간 비교

Fig. 8. The comparison of computation time between algorithms.

그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 본 연구에서 제안한 알고리즘은 타 알고리즘들과 비교할 때 약 2.83배의 연산속도 향상을 가져왔으며, SML방법과 비교할 때 연산시간은 비슷하나 앞에서 비교한 초점 곡선에서 본 연구에서 제안한 알고리즘이 SML 보다 기울기면에서 우수하므로 전체적으로 제안한 알고리즘이 우수함을 알 수 있었다.

5. 결 론

본 논문에서는 다양한 환경에 적용 가능한 자동초점조절 알고리즘인 최대 최소의 차이 누적에 의한 자동초점조절 알고리즘(MMDT)을 제안하였다.

제안한 방식은 획득한 영상의 흐림이 심할 경우 확산원의 크기가 커지므로 멀리 떨어져 있는 화소끼리도 높은 상관성을 갖게 되어 인접화소 간의 밝기 차이가 작아지는 성질과, 확산원의 크기가 작아질수록 화소끼리의 상호 상관성이 작아져 인접화소 간의 밝기 차이가 커지게 되는 성질을 이용하였다. 제안한 알고리즘은 부윈도우 내에서 최대, 최소의 차이를 구하고 그 차이값을 문턱치와 비교, 누적하는 방식으로 초점치를 획득한다.

제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위해 디지털카메라로 획득한 영상을 이용하였으며, 모의실험을 통해 얻은 결과로써 기존의 알고리즘들과 비교하였다. 제안한 MMDT방법으로 얻어진 초점 곡선의 특성은 초점이 맞아 가는 위치에서는 예리한 곡선을 나타내며, 초점이 맞지 않는 곳에서도 적당한 기울

기를 보이며 단조성을 유지하는 특성을 나타내었다. 또한 연산시간에 있어서도 기존의 방법보다 성능 향상을 보였다. 본 연구에서 제안한 자동초점조절 알고리즘은 디지털카메라를 비롯하여 자동초점조절을 이용하는 기타 여러 분야에서 기존의 방법을 대신하여 사용될 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] M. Subbarao and A. Nikad, "Focusing Techniques," *Optical Engineering*, Vol.32, No.11, pp.2824-2836, November 1993.
- [2] A. P. Pentland, "A New Sense for Depth of Field," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. PAMI-9, No.4, pp.523-531, July 1987.
- [3] S. K. Nayar and Y. Nakagawa, "Shape from Focus," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 16, No. 8, pp.824-831, August 1994.
- [4] H. Toyoda, S. Nishikawa, Y. Kitamura, M. Onishi, "New Automatic Focusing System for Video Cameras," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. CE-32, No. 3, pp.312-319, August 1986
- [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, August 1983.
- [6] J. Biemond, R. L. Lagendijk, and R. M. Mersereau, "Iterative Methods for Image Deblurring," *Proceedings of IEEE*, Vol. 78, No. 5, pp.856-883, May 1990.
- [7] S. I. Jang et al, "Auto-Focusing Technique and Its Hardware Implementation," *KICS* vol. 20, No. 2, pp.502-517, 1995.
- [8] S. H. Lee et al, "Auto-Focusing Algorithm for Video Camera Using the Difference of Medians," *KICS* vol. 23, No. 1, pp.41-50, 1998.
- [9] J. H. Lee, K. S. Kim, B. D. Nam, J. C. Lee, Y. M. Kwon, and H. G. Kim, "Implementation of a Passive Automatic Focusing Algorithm for Digital Still Camera," *IEEE Transactions on Consumer Electronics*, Vol. 41, No. 3, pp.449-453, August 1995.

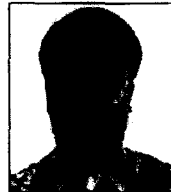
저 자 소 개



신 승 현 (辛 承 賢)

1990~1997 서울시립대 전자공학과 졸업.
1997~1999 서울시립대 전자공학과 졸업
(석사). 1999~현재 서울시립대 전자전기컴
퓨터공학부 박사과정

Tel : 02-2210-2942, Fax : 2249-6802



조 일 준 (趙 一 浚)

1987 연세대 의용공학과 졸업. 1990 서울
시립대 전자공학과 졸업(석사). 1998~현재
서울시립대 전자전기컴퓨터공학부 박사과
정



박 중 호 (朴 重 虎)

1989~1996 서울시립대 전자공학과 졸업.
1996~1998 서울시립대 전자공학과 졸업
(석사). 1999~현재 서울시립대 전자전기컴
퓨터공학부 박사과정

Tel : 02-2210-2942, Fax : 2249-6802

E-mail : pjungho@chollian.net



김 성 환 (金 成 煥)

1952년 6월 12일 생. 1975년 2월 연세대
전기공학과 졸업. 1980년 2월 동 대학원
전기공학과 졸업(공학). 1977~1982년 대전
기계장. 1982년~현재 서울시립대 전자·

전기공학부 교수.

Tel : 2210-2449, Fax : 2249-6802

E-mail : shkim1@uoscc.uos.ac.kr



김 근 섭 (金 根 燮)

1989 연세대 의용공학과 졸업. 1991 서울
시립대 전자공학과 졸업(석사). 1992~현재
서울시립대 전자전기컴퓨터공학부 박사과
정