

# 모션 블러된 이미지로부터 블러의 크기를 추출하는 기법에 대한 연구

황주연<sup>†</sup>, 양홍택<sup>‡‡</sup>, 백두원<sup>†††</sup>

## 요 약

촬영 순간 카메라와 촬영대상간의 상대적인 움직임에 의해 촬영된 이미지에는 움직인 방향으로 모션 블러가 발생할 수 있다. 의도 되지 않은 블러 효과는 이미지 품질에 손상을 주므로 블러 효과에 의해 손상된 이미지를 복원할 필요가 있다. 블러 효과에 의해 손상된 이미지의 복원을 위해서는 블러 효과를 발생시키는 블러의 성분을 정확히 알아내어야 한다. 본 논문에서는 모션 블러가 발생된 이미지로부터 모션 블러의 성분 중 블러의 크기를 추출하는 새로운 방법을 제안하고 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 검증하였다. 실험 결과는 제안된 방법이 오브젝트의 크기와 블러의 크기에 상관없이 블러의 크기를 정확히 추출함을 보여 주었다.

## A Study on the Identification of Blur Extent from a Motion Blurred Image

Jooyeon Hwang<sup>†</sup>, Hong-Taek Yang<sup>‡‡</sup>, Doowon Paik<sup>†††</sup>

## ABSTRACT

Motion blurs are caused by relative motion between the camera and the scene. The blurred image needs to be restored because undesired blur effect degrades the quality of the image. In this paper, we propose a new method for the identification of blur extent. Experiment shows that the proposed method identifies blur extent regardless of the size of the blur and the object in the original image.

**Key words:** Motion Blur(모션 블러)

## 1. 서 론

사진을 촬영할 때 카메라의 노출 시간 동안 카메라가 움직이거나 촬영대상이 움직이면 촬영된 이미지는 움직인 방향으로 모션 블러(Motion Blur)가 발생하게 된다. 모션 블러란 카메라나 촬영대상의 움직임에 의해서 화소가 혼합되어 이미지의 경계가 흐려지는 현상을 말한다[1]. 의도 되지 않은 블러 효과는

이미지 품질에 손상을 주므로 블러 효과에 의해 손상된 이미지를 복원할 필요가 있다. 블러 효과에 의해 손상된 이미지의 복원을 위해서는 블러 효과를 발생시키는 블러 합수를 정확히 알아내어야 한다.

$F(x, y)$ 를 원본이미지이라고 하면 블러 효과에 의해 손상된 이미지  $G(x, y)$ 는 식 (1)과 같이 회선(Convolution)으로 표현될 수 있다[2].

\* 교신저자(Corresponding Author): 백두원, 주소: 서울시 동작구 상도동 511(156-743), 전화: 02)820-0916, FAX: 02)822-0622, E-mail: dpik@ssu.ac.kr

접수일 : 2007년 5월 23일, 완료일 : 2007년 10월 2일

<sup>\*</sup> 정회원, 숭실대학교 미디어학부

(E-mail : zooyouny@ssu.ac.kr)

<sup>††</sup> 숭실대학교 미디어학부

(E-mail : seabird845@ssu.ac.kr)

<sup>†††</sup> 정회원, 숭실대학교 미디어학부

\* 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었음

$$G(x, y) = H(x, y) \otimes F(x, y) + N(x, y) \quad (1)$$

식 (1)에서  $H(x, y)$ 는 원본이미지( $F(x, y)$ )를 블러 하는 커널(Kernel)함수이고  $\otimes$ 는 회선 연산, 그리고  $N(x, y)$ 는 추가되는 노이즈를 나타내는 함수이다. 손상된 이미지  $G(x, y)$ 를 원본이미지  $F(x, y)$ 로 복원하기 위해서는  $H(x, y)$ 와  $N(x, y)$ 를 알아야 한다. 그러나 실제 카메라의 블러 효과에 의해 손상된 이미지만으로는  $H(x, y)$ 를 정확히 알 수 없기 때문에  $H(x, y)$ 를 추측해야만 한다. 블러 함수  $H(x, y)$ 를 결정하는 파라미터로는 블러의 방향, 블러의 크기 그리고 블러 함수의 모양 등이 있다.

블러 효과에 의해 손상된 이미지를 원본이미지로 복원하기 위해서 블러 파라미터를 찾는 다양한 기법들이 제안되었다. 모션 블러 파라미터를 찾기 위한 방법으로는 모션 블러가 발생된 이미지를 캡스트럼 영역(cepstrum domain)으로 변환하여 블러 파라미터를 추출하는 방법들[3-6]과 파워 스펙트럼 영역(power spectrum domain)으로 변환하여 조정 가능한 필터(steerable filter)를 이용하여 블러 파라미터를 추출하는 방법들[7-9]이 제안되었다. 이 방법들은 노이즈에 민감하기 때문에 실제 이미지인 경우에 효과적이지 않다. 모션 블러가 발생한 이미지를 캡스트럼이나 파워 스펙트럼과 같은 다른 영역으로 변환하지 않고 이미지 영역에서 블러 파라미터를 추출하는 방법들이 제안되었다[10-12]. 이 중 직관적이고 대표적인 방법 중 하나가 Yitzhaky의 방법[8]이다. Yitzhaky의 방법[10]은 원본 이미지의 임의의 한 점이 번질 때 발생하는 성질을 이용하여 블러의 크기를 추출한다. 이 방법은 블러 효과에 의해 손상된 이미지의 대상물의 크기가 블러의 크기보다 클 경우 정확한 블러의 크기를 추출하지 못한다. 본 논문에서는 이와 같은 단점을 개선한 블러의 크기를 찾는 방법을 제안하고 이 방법의 성능을 실험을 통해 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안 방법의 기반이 되는 Yitzhaky의 방법에 대해 설명하고 오브젝트 크기에 따른 모션 블러의 특성에 대해 기술한다. 3장에서는 본 논문의 제안 방법을 기술한다. 4장에서는 실제 이미지에 대한 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 검증한다. 5장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

## 2. 미분을 이용한 모션 블러 크기 측정 방법

본 장에서는 본 논문에서 제안하는 방법의 기반이 되는 Yitzhaky의 미분을 이용한 모션 블러의 크기를 측정하는 방법에 대해 설명하고 오브젝트 크기에 따른 모션 블러의 특성에 대해 기술한다.

사진을 촬영 할 때 촬영 대상의 한 점은 카메라나 촬영 대상의 움직임에 의해 필름이나 이미지 센서 상에 여러 점으로 맷하게 되고 이 점들은 트랙의 형태로 표현된다. 트랙으로 표현되는 연속된 점들의 길이를 측정하면 모션 블러의 크기를 추출할 수 있다. 길이 측정을 위해 트랙을 움직임의 방향으로 각각의 이웃하는 퍽셀간의 차이 값을 구하면 부호가 서로 반대인 값이 트랙의 양쪽 끝 점에서 나타난다. 블러 이미지를 이와 같은 방법으로 미분한 후에 모션의 방향으로 Autocorrelation 연산을 적용하면 블러의 크기를 측정할 수 있다[10]. Autocorrelation은 신호 처리 분야에서 자주 쓰이는 측정 도구로써 신호 내에 주기적인 신호가 반복적으로 나오는 특정한 패턴을 찾아야 할 때 사용된다. Autocorrelation은 분야에 따라 다른 정의가 사용되는데 본 논문에서는 다음과 같은 정의를 따른다.

$$\begin{aligned} ACF(i) &= \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} K(x, y) \cdot K(x-i, y) \\ 0 \leq i &\leq X-1 \\ K(x, y) &= \begin{cases} 0, & \text{if } (x < 0) \\ \Delta F(x, y), & \text{if } (x \geq 0) \end{cases} \end{aligned} \quad (2)$$

$\Delta F(x, y)$ 는 x축과 평행한 수평 방향으로 모션 블러된 이미지의 미분 이미지이다. Autocorrelation Function ACF( $i$ )가 식 (2)와 같이 정의 될 때,  $i$ 에 따라 모양이 일치하는 신호 끼리 곱해졌을 때에는 큰 양수 값을 갖고, 서로 반대 모양의 신호가 곱해질 때에는 작은 음수 값을 갖는다. 모션 블러 이미지의 경우 모션 방향으로의 미분을 적용하면 블러의 크기와 같은 값을 주기로 서로 부호가 반대인 신호가 발생한다. 따라서 ACF의 원점으로부터 블러의 크기만큼 떨어진 위치에 최소 값이 나타날 수 있고 이 거리를 측정하면 블러의 크기를 측정할 수 있다.

수평 방향으로 모션 블러가 발생된 단순한 이미지를 미분과 Autocorrelation을 이용하여 블러의 크기

를 찾았다(그림 1). 그림 1 (b)는 그림 1 (a)와 같은 (2, 2), (8, 3), (5, 4)에 위치한 3개의 점으로 이루어진 이미지를 석 (1)에서와 같이 크기가 5인 수평방향의 모션블러 함수를 적용하여 모션 블러 효과를 발생시킨 블러 이미지이다. 트랙으로 표현되는 연속된 점들의 길이를 측정하기 위해 모션의 수평 방향으로 인접 픽셀 간에 차이를 구하면 그림 1 (c)와 같이 부호가 서로 반대인 값이 트랙의 양쪽 끝 점들에서 나타난다. 그림 1 (c)에 Autocorrelation 연산을 적용하면 그림 1 (e)와 같은 ACF를 얻을 수 있다. 그림 1(d)에서 ACF(0)은 미분 이미지의 각 동일한 픽셀들 끼리 곱한 결과를 합한 것인으로 ACF에서 최대값이 되고 ACF(1)은 미분 이미지와 옆으로 1 칸 이동한 미분 이미지를 곱하고 그 결과를 합한 값으로 0이 된다. 그리고 ACF(5)는 미분 이미지와 옆으로 5 칸 이동한 미분 이미지를 곱하고 그 결과를 합한 값으로 부호가 서로 반대인 점들 끼리 곱해지므로 최소값이 된다. 이와 같이 표현된 ACF 결과에서 원점으로부터 최소값까지의 거리를 측정하면 블러된 이미지에 적용된

블러의 크기를 측정할 수 있다.

블러된 이미지에 발생되는 트랙은 한 점으로 구성된 오브젝트가 블러되어 생기기도 하지만 동일한 색의 여러 점으로 구성된 오브젝트가 블러되어 생기기도 한다. 동일한 색의 여러 점으로 구성된 오브젝트가 블러되어 생기는 트랙의 형태는 두 가지로 나눌 수 있다. 첫 번째는 오브젝트가 블러의 크기보다 작은 경우이고 두 번째는 오브젝트가 블러의 크기보다 큰 경우이다. 그림 2와 그림 3은 이러한 2가지 형태의 트랙을 보여준다.

그림 2(b)는 원본 이미지(그림 2(a))의 오브젝트의 크기가 블러 크기보다 작은 경우의 모션 블러 이미지이고 그림 3(b)는 원본 이미지(그림 3(a))의 오브젝트의 크기가 블러 크기보다 큰 경우의 모션 블러 이미지이다. 그림 2(c)와 그림 3(c)는 그림 2(b)와 그림 3(b)를 각각 미분한 결과를 나타낸 그림이다. 그림 2와 그림 3의 각각 모션 블러된 이미지와 미분 이미지의 표현된 형태는 비슷하지만 실제 블러의 크기는 다르다. 그림 2(c)와 그림 3(c)에서 트랙의 양쪽 끝에

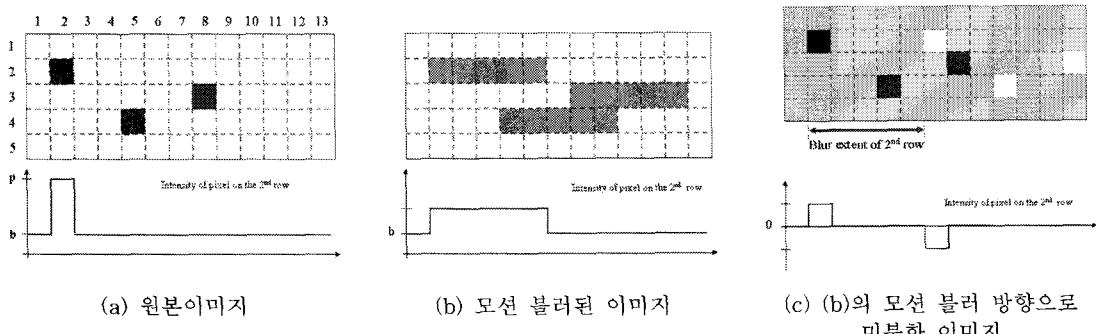


그림 1. 단순한 모션 블러 이미지의 미분 이미지와 미분 이미지의 ACF 결과

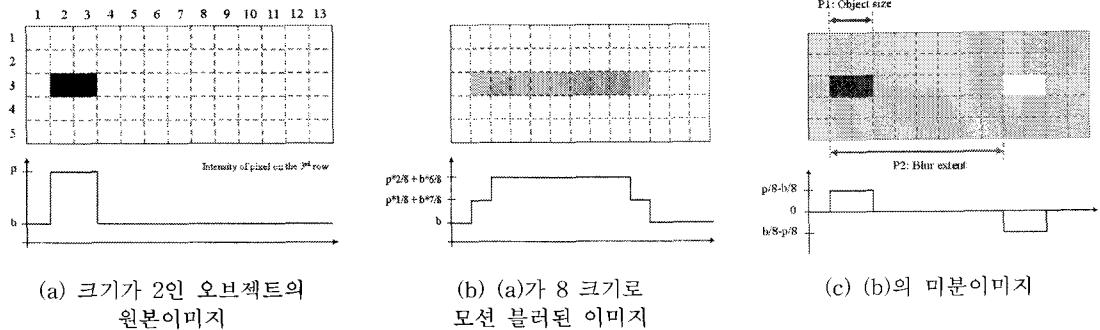


그림 2. 오브젝트가 블러의 크기보다 작은 경우

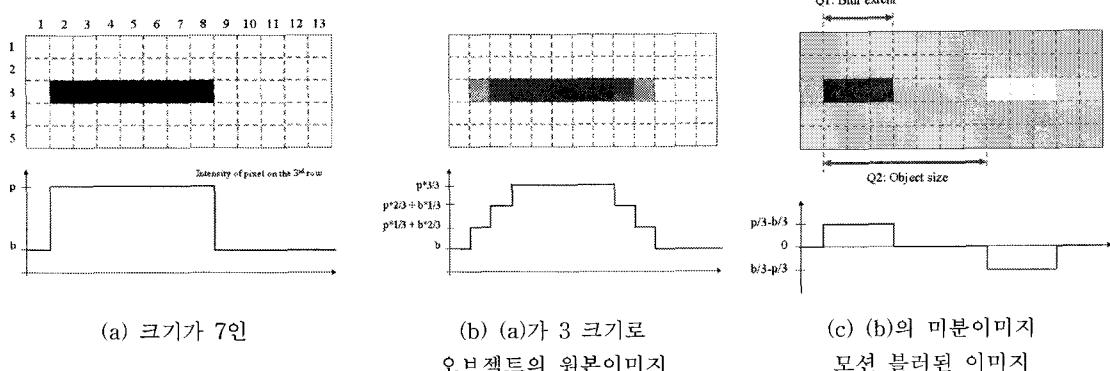


그림 3. 오브젝트가 블러의 크기보다 큰 경우

위치한 값들은 서로 반대의 부호로 나타나는데 그림 2(c)에서는 반대 부호를 갖는 픽셀들 간의 거리인  $P_2$ 가 블러의 크기를 나타내고  $P_1$ 이 오브젝트의 크기를 나타낸다. 반면에 그림 3(c)에서는 첫 번째 형태의 트랙과 달리  $Q_2$ 가 오브젝트의 크기를 나타내고  $Q_1$ 이 블러의 크기를 나타낸다.

Yitzhaky의 방법[10]은 반대 부호를 갖는 픽셀들 간의 거리인  $P_2$ 와  $Q_2$ 의 크기를 측정하는 방법이다. 따라서 그림 2(b)의 블러의 크기는 정확히 추출하지만 그림 3(b)의 블러의 크기는 정확히 추출하지 못한다.

### 3. 제안 방법

2장에서는 오브젝트의 크기가 블러의 크기보다 큰 경우에는 미분이미지의 반대 부호를 갖는 픽셀들 간의 거리가 오브젝트의 크기를 나타내기 때문에 Yitzhaky의 방법으로는 블러의 크기를 측정 할 수

없음을 보였다. 본 논문은 오브젝트 크기와 블러의 크기에 상관없이 블러 이미지에 적용된 블러의 크기를 찾는 방법을 제안한다. 오브젝트의 크기가 블러의 크기보다 큰 경우의 미분 이미지인 그림 3(c)를 살펴보면 블러 이미지에 적용된 블러의 크기는 미분 이미지에서 새로 생성된 트랙의 길이인  $Q_1$ 과 같다는 사실을 알 수 있다. 본 논문은 이 점에 착안하여 미분 이미지에서 새로 생성된 트랙의 길이를 측정하기 위해 미분이미지를 한 번 더 미분하였다. 미분이미지를 한 번 더 미분을 하고 ACF를 적용하면  $Q_1$ 과  $Q_2$ 를 동시에 측정할 수 있다. 즉, 원본 이미지의 오브젝트의 크기와 블러 이미지에 적용된 블러의 크기를 동시에 알 수 있다.

그림 4는 사각형 이미지에 블러 효과를 적용한 이미지로부터 Yitzhaky의 방법과 2차 미분하는 방법으로 블러의 크기를 추출하는 과정을 나타낸 그림이다. 그림 4(d)를 보면 1차 미분 이미지(그림 4(b))에 ACF를 적용하여 블러의 크기를 찾은 Yitzhaky의 방

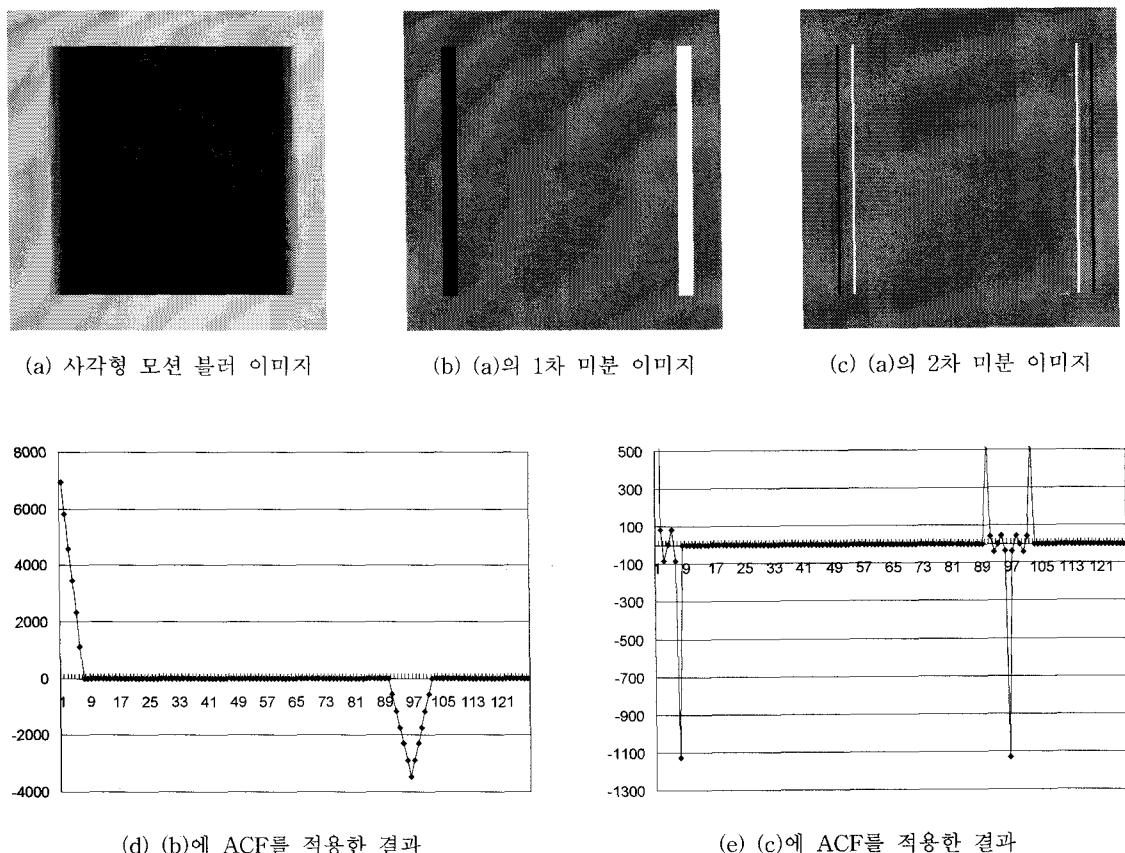


그림 4. 사각형 이미지에 블러 효과를 적용한 이미지로부터 Yitzhaky의 방법과 2차 미분하는 방법으로 블러의 크기를 추출

법은 오브젝트의 크기만큼 떨어진 위치에서 최소값을 갖기 때문에 블러의 크기를 정확히 추출하지 못한다. 반면 그림 4(e)를 보면 2차 미분 이미지(그림 4(c))에 ACF를 적용하여 블러의 크기를 찾는 방법은 블러의 크기와 오브젝트의 크기를 동시에 다른 값에 비해 상대적으로 작은 값으로 나타낸다. 이것은 2차 미분하여 블러의 크기를 추출하는 방법이 오브젝트의 크기와 블러의 크기를 동시에 찾을 수 있음을 의미한다.

실제 이미지인 경우 대부분 한 이미지 내에 다양한 크기의 오브젝트들이 존재한다. 따라서 이미지 전체적으로 적용된 블러의 크기가 동일하다면 ACF를 적용한 결과 그래프에서 오브젝트의 크기는 다양한 값으로 산재해서 나타나고 블러의 크기는 동일한 곳에 누적되므로 원점으로부터 블러의 크기만큼 떨어진 위치에서 최소값이 나타날 것이다.

그림 5는 오각형 이미지에 블러 효과를 적용한 이

미지로부터 Yitzhaky의 방법과 2차 미분하는 방법으로 블러의 크기를 추출하는 과정을 나타낸 그림이다. 오각형은 위쪽부터 아래로 내려갈수록 오브젝트의 크기가 점점 커졌다가 다시 작아지는 형태를 보이기 때문에 오각형 이미지는 다양한 크기의 오브젝트가 한 이미지 내에 존재한다고 할 수 있다. 그림 5(a)는 오각형을 수평방향으로 32픽셀만큼 모션 블러를 적용한 이미지이고 그림 5(b)와 그림 5(c)는 그림 5(a)의 1차 미분 이미지, 2차 미분 이미지를 나타낸다. 그림 5(e)는 2차 미분 이미지(그림 5(c))에 ACF를 적용한 결과 그래프를 나타낸 그림이고 그림 5(d)는 Yitzhaky의 방법인 1차 미분 이미지(그림 5(b))에 ACF를 적용한 결과 그래프를 나타낸 그림이다. 두 그래프를 비교하면 Yitzhaky의 방법은 블러의 크기를 정확하게 측정하지 못한 반면 2차 미분을 이용한 방법은 정확하게 블러의 크기를 정확하게 측정한다.

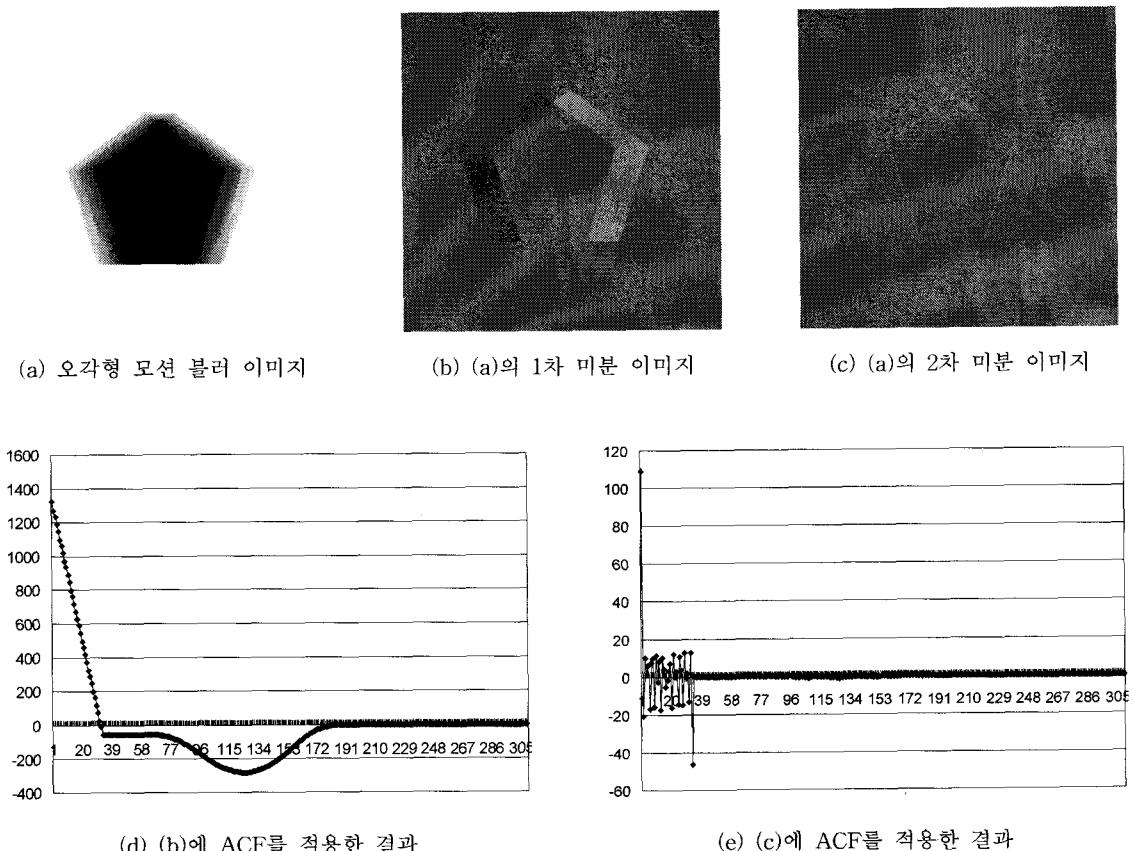


그림 5. 오각형 이미지에 블러 효과를 적용한 이미지로부터 Yitzhaky의 방법과 2차 미분하는 방법으로 블러의 크기를 추출

실제 모션 블러 이미지에는 이전 예제들과 다르게 많은 노이즈를 가지고 있다. 블러된 이미지에 존재하는 노이즈는 1차 미분한 이미지상의 트랙의 형태를 불명확하게 만든다. 따라서 2차 미분을 이용하는 방법만으로는 블러의 크기를 정확하게 측정할 수 없다. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해 블러 이미지를 미분한 결과에 미디안 필터(Median filter)를 적용하여 미분한 이미지상의 트랙의 형태를 유지하면서 노이즈만을 제거하였다. 그리고 이전의 방법과 같이 미분 후 ACF를 적용하여 블러의 크기를 측정하였다. 이 과정에 대한 실험은 4장에서 자세히 다루겠다. 그림 6에서 제안 방법의 전체 과정을 나

타내었다.

#### 4. 실 험

본 장에서는 2가지 종류의 실험을 통해 제안한 방법의 효용성을 검증한다. 첫 번째 실험에서는 식 (1)과 같이 블러 함수와 노이즈 함수를 이용하여 블러 효과를 적용한 이미지로부터 제안된 방법과 Yitzhaky의 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 추출결과를 비교하여 효용성을 검증한다. 두 번째 실험에서는 실제 카메라 모션 블러 이미지로부터 제안된 방법과 Yitzhaky의 방법을 이용하여 블

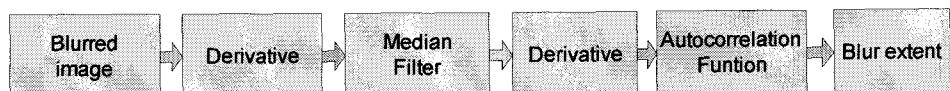


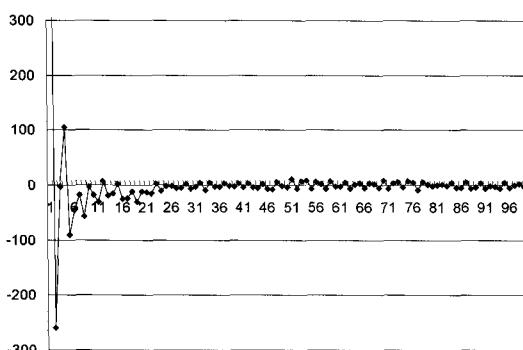
그림 6. 제안 방법 전체 구조도



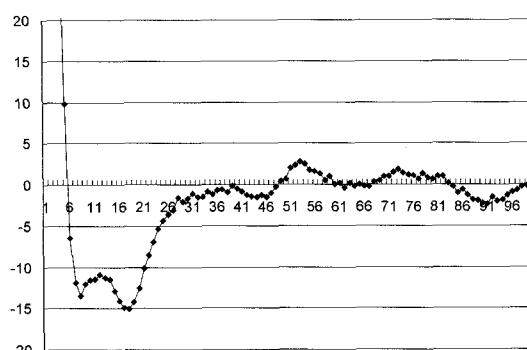
(a) 수평 방향으로 모션 블러 함수를 적용한 이미지



(b) (a) 이미지를 제안 방법으로 추출한 블러의 크기를 적용하여 복원한 이미지



(c) 미디언 필터를 포함하지 않은 2차 미분한 이미지의 ACF 그래프



(d) 미디어 필터를 포함한 2차 미분한 이미지의 ACF 그래프

그림 7. 블러 함수와 노이즈 함수를 이용하여 블러 효과를 적용한 이미지로부터 미디언 필터를 포함한 제안 방법과 포함하지 않은 제안 방법으로 블러의 크기를 추출한 결과

러의 크기를 추출하고 추출결과를 비교하여 효용성을 검증한다.

그림 7은 블러 함수와 노이즈 함수를 이용하여 블러 효과를 적용한 이미지로부터 미디언 필터를 포함한 제안 방법과 포함하지 않은 제안 방법으로 블러의 크기를 추출한 결과를 나타낸 그림이다. 그림 7(a)는 등속 수평 방향으로 17 픽셀만큼 번지도록 모션 블러 함수를 적용하였고 20dB의 정규분포를 갖는 랜덤 노이즈를 추가한 이미지다. 그림 7(c)는 그림 7(a)에 미디언 필터를 적용하지 않고 2차 미분한 이미지에 ACF를 적용한 결과 그래프이다. 그림 7(c)를 보면 블러 크기 추출 결과는 1픽셀이다. 이는 첫 번째 미분 이미지를 다시 미분할 때 블러된 이미지에 존재하는

노이즈의 영향으로 첫 번째 미분 이미지상의 트랙의 형태가 정확히 표현되지 않아 두 번째 미분을 통해 트랙의 크기를 정확히 찾지 못하기 때문이다. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해 블러 이미지를 미분한 결과에 미디언 필터를 적용하여 미분한 이미지상의 트랙의 형태를 유지하면서 노이즈만을 제거하였다. 그리고 이전의 방법과 같이 미분 후 ACF를 적용하여 블러의 크기를 측정하였다. 그림 7(d)를 보면 블러의 크기는 17 픽셀로 정확히 측정됨을 알 수 있다. 그림 7(b)는 그림 7(d)를 통해 얻어진 블러의 크기를 바탕으로 모션 블러된 이미지를 복원한 이미지이다. 표 1은 블러 함수를 이용하여 블러 효과를 적용한 11 개의 이미지들로부터 Yitzhaky의 방법과 제안된

방법으로 블러의 크기를 추출한 결과를 표로 나타낸 것이다.

표 1을 보면 A이미지의 경우 실제 블러 함수의 블러 크기가 5 픽셀이고 제안방법을 적용한 결과도 5 픽셀의 블러의 크기를 측정하는 반면 Yitzhaky방법은 27 픽셀의 블러의 크기를 측정한다. J와 K는 약 10dB의 정규분포를 갖는 랜덤 노이즈를 추가한 이미지로 다른 이미지에 비해 심한 노이즈를 갖는다. 이러한 경우 두 방법 모두 정확한 블러의 크기를 찾지 못 할 수도 있다. 하지만 대체적으로 제안방법이 Yitzhaky방법에 비해 정확한 블러의 크기를 찾아내었다.

두 번째 실험으로 실제 카메라의 움직임에 의해 생긴 모션 블러 이미지로부터 제안된 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하였다. 표 2는 실제 카메라 모션에 의해 생긴 9 개의 모션 블러 이미지로부터 Yitzhaky의 방법과 제안된 방법으로 블러의 크기를 추출한 결과를 표로 나타낸 것이다.

표 2에서 실제 블러 크기는 촬영된 이미지에 블러의 크기를 알기 위해 촬영대상의 일부 지역에 작은 점을 찍어놓고 촬영하여 그 점이 움직인 거리를 윤안으로 확인하여 책정하였다. 실제 블러 크기의 측정 오차는  $\pm 2$ 를 넘지 않는다. 본 실험에서도 제안된 방법은 첫 번째 실험과 같이 대체적으로 Yitzhaky의 방법과 동일하거나 더 높은 정확성을 나타내었다.

표 1. 블러 함수를 이용하여 블러 효과를 적용한 이미지로부터 Yitzhaky 방법과 본 논문에서 제안하는 방법으로 블러의 크기를 추출한 결과 비교

이미지	실제 블러 크기	Yitzhaky 방법	제안 방법
A	5	27	5
B	5	18	5
C	8	8	8
D	10	27	10
E	10	22	10
F	11	12	11
G	11	16	11
H	21	21	21
I	30	34	30
J	11	1	8
K	34	1	1

표 2. 실제 카메라 모션 블러 이미지로부터 Yitzhaky 방법과 본 논문에서 제안하는 방법으로 블러의 크기를 추출한 결과 비교

이미지	실제 블러 크기	Yitzhaky 방법	제안 방법
A	12	14	12
B	16	79	16
C	17	27	17
D	23	23	23
E	26	27	26
F	29	427	29
G	34	34	34
H	10	6	7
I	77	1	1

## 5. 결 론

본 논문에서는 오브젝트 크기와 블러의 크기에 상관없이 모션 블러된 이미지로부터 블러의 크기를 추출하는 방법을 제안하였다. 제안 방법의 효용성을 검증하기 위하여 블러 함수와 노이즈 함수를 이용하여 블러 효과를 적용한 이미지들과 실제 카메라 모션 블러 이미지들로부터 제안 방법과 기존의 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하는 실험을 하였다. 실험 결과 제안 방법은 기존의 방법으로 정확한 블러의 크기를 추출하는 이미지에서 동일한 블러의 크기를 추출하였고 기존의 방법에서 정확한 블러의 크기를 추출하지 못하는 이미지에서도 실제 블러의 크기에 근접한 블러의 크기를 추출하였다. 또한 측정한 블러 크기를 이용하여 블러 이미지들을 복원함으로 제안 방법의 효용성을 검증하였다.

## 참 고 문 헌

- [ 1 ] [http://en.wikipedia.org/wiki/Motion\\_blur](http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_blur).
- [ 2 ] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital Image Processing*, Addison Wesley, 1993.
- [ 3 ] M. Cannon, "Blind deconvolution of spatially invariant image blurs with phase," *IEEE Trans. Acoustics, Speech Signal Process.* Vol.24, No.1, pp. 58-63, February 1976.
- [ 4 ] J. Biemond, "Iterative methods for image de-

- blurring," *Proceedings of the IEEE*, Vol.78, Issue 5, pp. 856-883, 1990.
- [5] S. C. Som, "Analysis of the effect of linear smear on photographic images," *J. Optical Society of America*, Vol.61, pp. 859-864, 1971.
- [6] O. Hadar, S. R. Rotman, and N. S. Kopeika, "Target acquisition modeling of forward-motion considerations for airborne reconnaissance over hostile territory," *Optical Engineering*, Vol.33, pp. 3106-3117, 1994.
- [7] W. T. Freeman and E. H. Adelson, "The design and use of steerable filters," *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol.13, Issue 9, pp. 891-906, September 1991.
- [8] I. M. Rekleitis, "Steerable filters and cepstral analysis for optical flow calculation from a single blurred image," *In Vision Interface*, pp. 159-166, May 1996.
- [9] I. M. Rekleitis, "Visual motion estimation based on motion blur interpretation," *Master's thesis*, School of computer Science, McFill University, Montreal, Quebec, Canada, 1995.
- [10] Y. Yitzhaky and N. S. Kopeika, "Identification of Blur Parameters from Motion Blurred Images," *CVGIP: Graph Models Image Process.* Vol.59, pp. 321-332, 1997.
- [11] R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. T. Roweis, and W. T. Freeman, "Removing Camera Shake From A Single Photograph," *ACM Transaction on Graphics*, Vol.25, Issue 3, pp. 787-794, July 2006.
- [12] R. Raskar, A. Agrawal, and J. Tumblin, "Coded Exposure Photography: Motion Deblurring Using Fluttered Shutter," *ACM Transactions on Graphics*, Vol.25, Issue 3, pp. 795-804, July 2006.



### 황 주연

2005년 송실대학교 미디어학부  
(공학학사)  
2005년~현재 송실대학교 대학원  
미디어학부 박사과정  
관심분야 : 디지털 방송, 컴퓨터  
그래픽스



### 양 홍택

2006년 송실대학교 미디어학부  
(공학학사)  
2006년~현재 송실대학교 대학원  
미디어학부 석사과정  
관심분야 : 디지털 방송, 컴퓨터  
그래픽스



### 백두원

1983년 서울대학교 수학과 졸업  
1990년 University of Minnesota Computer Science M.S.  
1991년 University of Minnesota Computer Science Ph.D  
1992년~1994년 AT & T Bell Labs Member of Technical Staff  
2001년~2002년 Cadence Design System Member of Consulting Staff  
1995년~현재 송실대학교 미디어학과 부교수  
관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 디지털 방송, 알고리즘