

지역적으로 다양한 모션 블러가 발생된 이미지로부터 블러의 크기를 추출하는 기법[☆]

The Identification of Blur Extent from Space-variant Motion Blurred Image

양 흥 택*
Hong-Taek Yang

황 주 연**
Jooyoun Hwang

백 두 원***
Doowon Paik

요 약

촬영 순간 카메라와 촬영대상간의 상대적인 움직임에 의해 촬영된 이미지에는 움직임 방향으로 모션 블러가 발생할 수 있다. 카메라가 움직인 경우 카메라로부터의 피사체까지의 거리에 따라 이미지에 지역적으로 다양한 크기의 모션 블러가 발생 할 수 있다. 또한 카메라가 고정되었다고 하더라도 피사체들이 서로 다른 속도로 이동하여 이미지에 다양한 크기의 모션 블러가 발생할 수도 있다. 의도 되지 않은 다양한 크기의 모션 블러 효과는 이미지 품질에 손상을 주므로 블러 효과에 의해 손상된 이미지 부분을 복원할 필요가 있다. 지역적으로 다양한 모션 블러가 발생된 이미지의 복원을 위해서는 이미지의 각 부분의 블러 효과를 발생시키는 블러 성분들을 정확히 알아내어야 한다. 본 논문에서는 지역적으로 다양한 모션 블러가 발생된 이미지로부터 모션 블러의 성분 중 블러의 크기를 각 지역별로 추출하는 새로운 방법을 제안하고 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 검증하였다.

Abstract

When an image is captured, motion blurs are caused by relative motion between the camera and the scene. In the case of the camera is moving, the extents of the motion blur are spatially variant according to distances from the camera to the objects. Although the camera is fixed, the extents of the motion blur are spatially variant according to various speeds of the moving objects. Unexpected blur effect very often degrades the quality of the image and it needs to be restored. To restore the spatially variant blurred image, each of the point spread function (PSF) should be identified. In this paper, we propose a new method for the identification of blur extent locally from the image in which the spatially variant motion blur is caused. Experiment shows that the proposed method identifies blur extent well.

□ KeyWords: motion blur, space variant, autocorrelation, ACF

1. 서 론

사진을 촬영할 때 카메라의 노출 시간 동안 카메라가 움직이거나 촬영대상이 움직이면 촬영된 이미지는 움직임 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. 모션 블러가 발생된 이미지의 복원을 위해서는 이미지에 블러 효과를 발생시키는 블러 성분들을 정확히 알아내어야 한다.

이미지 전체에 동일한 크기의 블러 효과만 발생하였을 경우 $F(x, y)$ 를 원본이미지이라고 하면 블러 효과에 의해 손상된 이미지 $G(x, y)$ 는 식

* 정회원 : 숭실대학교 미디어학과 석사과정
seabird845@ssu.ac.kr

** 정회원 : 숭실대학교 미디어학과 박사과정
zooyoumy@ssu.ac.kr

*** 정회원 : 숭실대학교 미디어학과 교수
dpaik@ssu.ac.kr(교신저자)

☆ 본 연구는 숭실대학교 교내 연구비 지원으로 수행되었음

(1)과 같이 회선(Convolution)으로 표현될 수 있다.

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

식 (1)에서 $H(x, y)$ 는 원본이미지($F(x, y)$)에 블러 효과를 발생시키는 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. 식(1)과 같이 이미지 전체에 하나의 블러 효과만 발생할 경우 하나의 모션 블러 파라미터를 찾기 위한 방법으로는 모션 블러가 발생한 이미지를 캡스트럼 영역(cepstrum domain)으로 변환하여 블러 파라미터를 추출하는 방법들[2,3,4,5]과 파워 스펙트럼 영역(power spectrum domain)으로 변환하여 조정 가능 필터(sterable filter)를 이용하여 블러 파라미터를 추출하는 방법들[6,7,11]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[8,9,10]. 이 중 직관적이고 대표적인 방법 중 하나가 Yitzhaky의 방법[8]이다. Yitzhaky의 방법[8]은 원본 이미지의 임의의 한 점이 번질 때 발생하는 성질을 이용하여 블러의 크기를 추출한다.

사진을 촬영할 때 발생하는 모션 블러는 지역적으로 다양한 크기를 갖는 형태로 나타날 수 있다. 카메라가 움직인 경우 카메라로부터의 피사체까지의 거리에 따라 지역적으로 다양한 크기의

모션 블러가 발생 할 수 있다. 또한 카메라가 고정되었다고 하더라도 피사체들이 서로 다른 속도로 이동하여 이미지에 다양한 크기의 모션 블러가 발생할 수도 있다. 이와 같은 경우 이미지 복원 위해서는 각각의 블러 파라미터를 개별적으로 찾아야한다. 각각의 블러 파라미터를 찾는 방법으로 카메라가 이동한 움직임을 추측하여 3차원 기하 변환을 이용하는 방법[12]이 있다. 기하 변환을 이용하는 방법은 특수한 상황에서 제한된 카메라의 움직임만을 추측할 수 있고 다양한 모션 블러 이미지에 적용되기 힘들다는 단점이 있다. 다른 방법으로 Section Method와 Kalman Filtering을 이용하는 방법들[13,14]이 있다. 이 방법들은 기하 변환을 이용하는 방법에 비해 보다 일반적인 경우에 적용될 수 있다. 하지만 이 방법들은 지역적으로 블러 성분을 추출하는 성능이 뛰어나지 않다. 이 성능을 개선하기 위해 Section Method를 기반으로 시간적으로 연속된 여러 장의 이미지를 보고 지역적으로 블러 성분을 추출하는 방법도 제안되었다[15].

본 논문에서는 한 장의 이미지 전체 영역에 동일한 방향과 동일한 크기를 갖는 모션 블러가 적용된 이미지로부터 블러 크기를 찾는 방법 중 직관적이고 대표적인 방법인 Yitzhaky의 방법[8]을 기반으로 하여 블러의 크기를 추출하는 방법을 개선하고 이 방법을 확장하여 하나의 모션 블러 이미지 내에 다양한 크기의 블러 효과가 발생한 이미지로부터 각각의 블러 크기를 지역적으로 추출하는 방법을 제안한다. 또한 제안 방법의 성능을 실험을 통해 검증한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안 방법의 기반이 되는 Yitzhaky의 방법에 대해 설명하고 Yitzhaky의 방법[8]의 단점을 개선한 블러의 크기를 찾는 방법을 기술한다. 3장에서는 이 방법을 확장하여 하나의 모션 블러 이미지 내에 다양한 크기의 블러 효과가 발생한 경우 각각의 블러 크기를 찾을 수 있는 방법을 제안한다. 4장에서는 실제 이미지에 대한 실험을 통해 제안된 방법의 성능을 검증한다. 5장에서는 결론과 향후 연구 과제에 대해 기술한다.

2. DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정 방법

본 장에서는 본 논문에서 제안 하는 방법의 기 반이 되는 Yitzhaky의 미분을 이용한 모션 블러의 크기를 측정하는 방법에 대해 설명하고 오브젝트 크기에 따른 모션 블러의 특성에 대해 기술한다. Yitzhaky의 방법은 블러 효과에 의해 손상된 이미지의 대상물의 크기가 블러의 크기보다 클 경우 정확한 블러의 크기를 추출하지 못한다. 본 논문에서는 이와 같은 단점을 개선한 2차 미분을 이용한 블러의 크기를 찾는 제안 방법을 기술한다.

사진을 촬영 할 때 촬영 대상의 한 점은 카메라나 촬영 대상의 움직임에 의해 필름이나 이미지 센서 상에 여러 점으로 멧히게 되고 이 점들은 트랙의 형태로 표현된다. 트랙으로 표현되는 연속된 점들의 길이를 측정하면 모션 블러의 크기를 추출할 수 있다. 길이 측정을 위해 트랙을 움직임의 방향으로 미분을 하면 부호가 서로 반대인 값이 미분된 트랙의 양쪽 끝 점에서 나타난다. 블러 이미지를 이와 같은 방법으로 모션의 방향으로 미분한 후에 모션의 방향으로 Autocorrelation 연산을 적용하면 블러의 크기를 측정할 수 있다[8]. 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.

$$ACF(i) = \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} K(x, y) \cdot K(x-i, y)$$

$$0 \leq i \leq X-1$$

$$K(x, y) = \begin{cases} 0, & \text{if } (x < 0) \\ \Delta F(x, y), & \text{if } (x \geq 0) \end{cases} \quad (2)$$

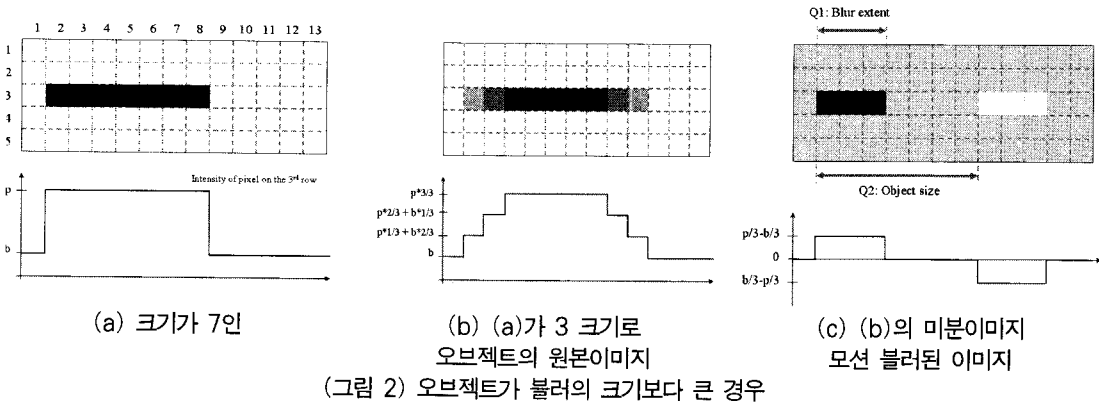
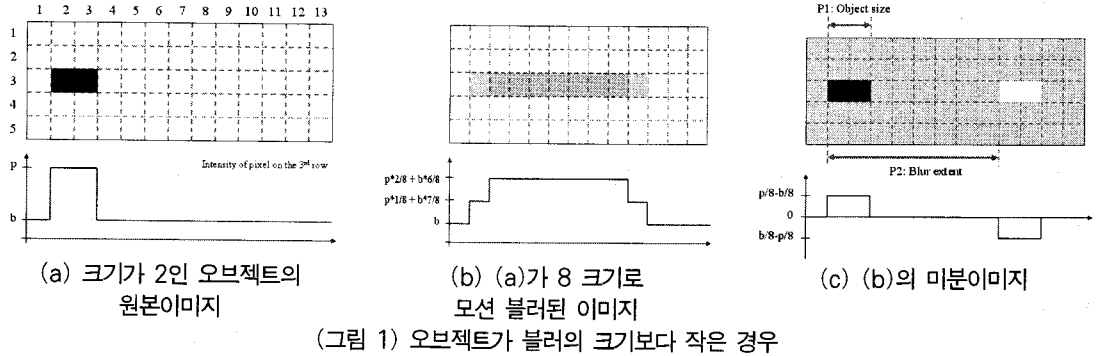
$\Delta F(x, y)$ 는 x축과 평행한 수평 방향으로 모션 블러된 이미지의 미분 이미지이다. Autocorrelation

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 ACF 의 원점으로부터 블러의 크기만큼 떨어진 위치에 최소 값이 나타날 수 있고 이 거리를 측정하면 블러의 크기를 측정할 수 있다.

블러된 이미지에 발생하는 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 1과 그림 2는 이러한 2가지 형태의 트랙을 보여준다.

그림 1(b)은 원본 이미지(그림1(a))의 오브젝트의 크기가 블러 크기보다 작은 경우의 모션 블러 이미지이고 그림 2(b)은 원본 이미지(그림 2(a))의 오브젝트의 크기가 블러 크기보다 큰 경우의 모션 블러 이미지이다. 그림 1(c)와 그림 2(c)는 그림 1(b)와 그림 2(b)를 각각 미분한 결과를 나타낸 그림이다. 그림 1와 그림 2의 각각 모션 블러된 이미지와 미분이미지의 표현된 형태는 비슷하지만 실제 블러의 크기는 다르다. 그림 1(c)와 그림 2(c)에서 트랙의 양쪽 끝에 위치한 값들은 서로 반대의 부호로 나타나는데 그림 1(c)에서는 반대 부호를 갖는 픽셀들 간의 거리인 P_2 가 블러의 크기를 나타내고 P_1 이 오브젝트의 크기를 나타낸다. 반면에 그림 2(c)에서는 첫 번째 형태의 트랙과 달리 Q_2 가 오브젝트의 크기를 나타내고 Q_1 이 블러의 크기를 나타낸다.

Yitzhaky의 방법[8]은 반대 부호를 갖는 픽셀들 간의 거리인 P_2 와 Q_2 의 크기를 측정하는 방법이다. 따라서 그림 1(b)의 블러의 크기는 정확히 추



출하지만 그림 2(b)의 블러의 크기는 정확히 추출하지 못한다.

본 논문은 오브젝트 크기와 블러의 크기에 상관없이 블러 이미지에 적용된 블러의 크기를 찾는 방법을 제안한다. 오브젝트의 크기가 블러의 크기보다 큰 경우의 미분 이미지인 그림 2(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. 본 논문에서 사용하는 미분(식 (3))과 이차 미분(식 (4))은 다음과 같은 정의에 따른다.

$$\Delta G(x, y) = G(x', y') - G(x, y) \quad (3)$$

$$\Delta^2 G(x, y) = \Delta G(x', y') - \Delta G(x, y) \quad (4)$$

식(3)의 $G(x, y)$ 는 블러 효과에 의해 손상된 이미지이고 $\Delta G(x, y)$ 는 이를 미분한 이미지이다. $G(x', y')$ 는 모션 블러 효과가 발생한 방향으로 이웃하는 픽셀 값이다. x축과 평행한 방향으로 모션 블러된 이미지의 경우 $G(x', y')$ 는 $G(x-1, y)$ 이고 y축과 평행한 방향으로 모션 블러된 이미지의 경우 $G(x', y')$ 는 $G(x, y-1)$ 이다. 식(4)의 $\Delta G(x', y')$ 도 이와 같이 표현된다.

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 블러

의 크기만큼 떨어진 위치에서 최소값이 나타난다.

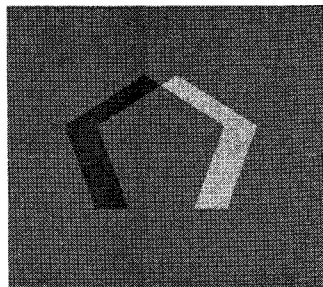
그림 3은 오각형 이미지에 수평 방향으로 블러 효과를 적용한 후 이 블러 이미지로부터 Yitzhaky의 방법과 2차 미분하는 방법으로 블러의 크기를 추출하는 과정을 나타낸 그림이다. 오각형은 각 줄 단위로 보면 위쪽부터 아래로 내려갈수록 오브젝트의 크기가 점점 커졌다가 다시 작아지는 형태를 보이기 때문에 오각형 이미지는 다양한 크기의 오브젝트가 한 이미지 내에 존재한다고 할 수 있다. 그림 3(a)는 오각형을 수평방향으로 32픽셀만큼 모션 블러를 적용한 이미지이고 그림 3(b)와 그림 3(c)는 그림 3(a)의 1차 미분 이미지, 2차 미분 이미지를 나타낸다. 그림 3(e)는 2차 미분 이미지(그림 3(c))에 ACF를 적용한 결과 그래프를 나타낸 그림이고 그림 3(d)는 Yitzhaky의 방법인 1차 미분 이미지(그림 3(b))에 ACF를 적용한 결과 그래프를 나타낸 그림이다. 두 그래프(그림 3(d)와 그림 3(e))의 x축은 ACF 적용을 위한

해당 픽셀의 크기이며 y축은 해당 픽셀 크기에 따른 ACF 적용 결과 값이다. 두 그래프를 비교하면 Yitzhaky의 방법(그림 3(d))은 127 픽셀에서 최소값을 나타내어 블러의 크기를 정확하게 측정하지 못한 반면 2차 미분을 이용한 방법(그림 3(e))은 32 픽셀에서 최소값을 나타내어 정확하게 블러의 크기를 측정한다.

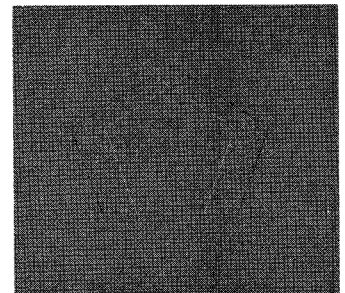
실제 모션 블러 이미지에는 많은 노이즈가 존재한다. 커널의 크기가 작은 2차 미분은 노이즈에 민감하기 때문에 2차 미분을 이용하는 방법만으로는 블러의 크기를 정확하게 측정할 수 없다. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해 블러 이미지에 노이즈에 덜 민감한 2차 미분 필터인 DoG 필터(Difference of Gaussian filter)를 적용하였다. 그리고 ACF를 적용하여 블러의 크기를 측정하였다. 그림 4는 제안 방법인 DoG 필터를 이용한 모션 블러 크기 측정의 전체 과정을 나타내었다.



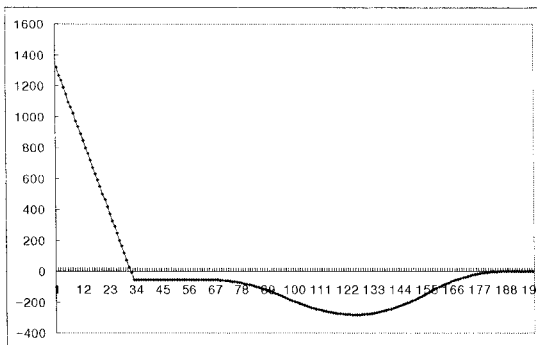
(a) 오각형 모션 블러 이미지



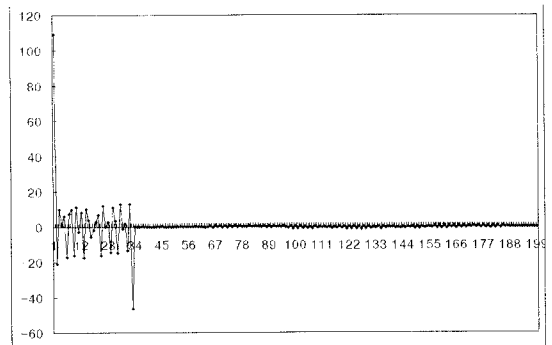
(b) (a)의 1차 미분 이미지



(c) (a)의 2차 미분 이미지

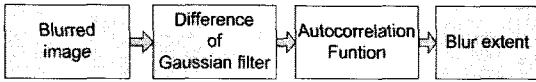


(d) (b)에 ACF를 적용한 결과



(e) (c)에 ACF를 적용한 결과

(그림 3) 오각형 이미지에 블러 효과를 적용한 이미지로부터 Yitzhaky의 방법과 2차 미분하는 방법으로 블러의 크기를 추출



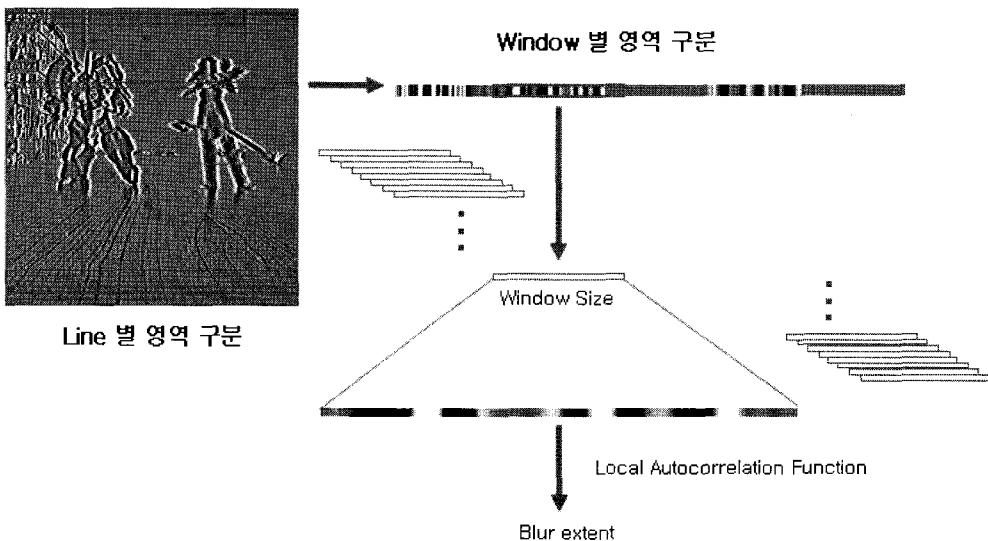
(그림 4) DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정 방법 전체 구조도

3. 지역적으로 모션 블러 크기의 측정

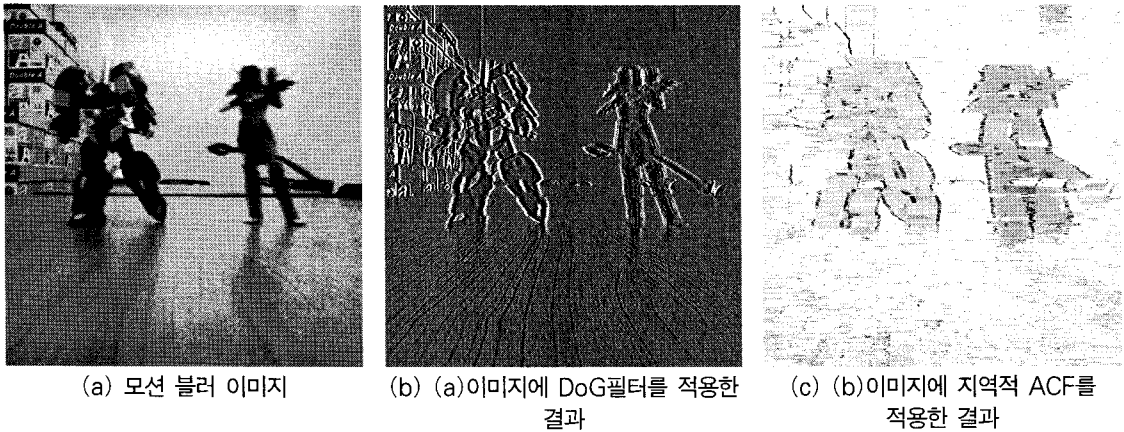
촬영 순간 카메라와 촬영대상간의 상대적인 움직임에 의해 촬영된 이미지에는 움직인 방향으로 모션 블러가 발생할 수 있다. 카메라가 움직인 경우 카메라로부터의 피사체까지의 거리에 따라 이미지에 지역적으로 다양한 크기의 모션 블러가 발생할 수 있다. 또한 카메라가 고정되었다고 하더라도 피사체들이 서로 다른 속도로 이동하여 이미지에 다양한 크기의 모션블러가 발생할 수도 있다. 지역별로 모션 블러의 크기가 다른 이미지는 이미지 전체영역에서 보면 지역별로 모션 블러의 크기가 다르지만 카메라로부터 떨어진 거리가 같거나 같은 속도로 움직이는 물체가 위치한 이미지 일부 지역을 보면 블러의 크기가 동일하다. 따라서 이미지 전체에 적용된 모션 블러의 크기를 추출하는 방법을 응용하여 지역적으로 적용 할 수

있다.

본 논문에서 제안한 DoG 필터를 이용하여 블러의 크기를 측정하는 방법은 영역(domain)을 변환하지 않고 이미지 자체 영역을 보고 블러의 크기를 측정한다. 따라서 DoG 필터를 이용하여 블러의 크기를 측정하는 방법은 이미지 영역에 지역적으로 적용할 수 있다. 라인별로 블러의 크기가 다를 경우 모션 블러가 발생된 이미지에 DoG 필터를 적용한 후 ACF를 전체영역에 적용하지 않고 모션방향과 수평인 라인별로 ACF를 적용하면 각 라인별로 블러의 크기를 측정할 수 있다. 또한 라인 내에서 지역별로 블러의 크기가 다른 경우라도 ACF를 라인내의 윈도우 단위로 적용하면 라인 내에 지역별로 블러의 크기를 측정할 수 있다. 그림 5는 모션 블러가 발생된 이미지에 DoG 필터를 적용한 후 모션의 방향과 수평인 라인마다 윈도우단위로 ACF를 적용하는 과정을 나타낸 그림이다. 모션 블러가 발생된 이미지에 DoG 필터를 적용한 후 모션의 방향과 수평인 라인마다 해당 픽셀을 중심으로 한 윈도우 단위로 ACF를 적용하여 해당 픽셀마다 블러의 크기를 측정하는 방법이다.



(그림 5) 모션 블러 이미지에 DoG필터를 적용한 결과에 지역별 ACF를 적용 각각의 블러 크기 추출



(그림 6) 양쪽 인형에 다른 블러의 크기를 적용한 모션 블러 이미지에 지역적 ACF를 이용하여 지역별 블러의 크기를 추출하는 과정

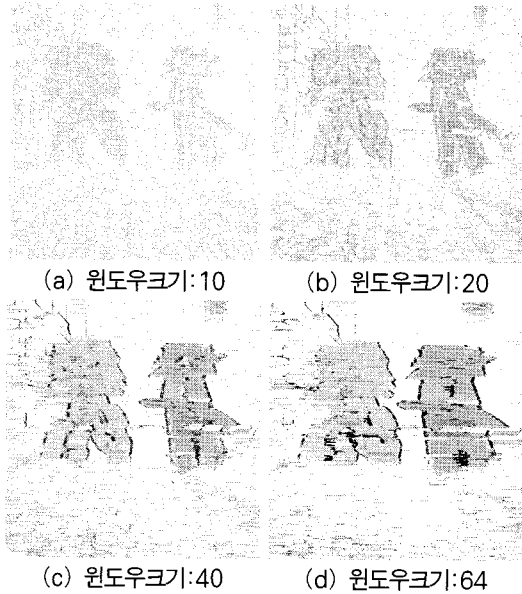
그림 6는 양쪽 인형에 다른 블러의 크기를 적용한 모션 블러 이미지로부터 DoG 필터와 지역적 ACF를 이용하여 지역별 블러의 크기를 추출하는 과정을 나타낸 그림이다. 그림 6(a)는 이미지 좌측에 위치한 인형에는 수평방향으로 5픽셀만큼의 모션 블러를 적용하고 이미지 우측에 위치한 인형에는 수평방향으로 10픽셀만큼의 모션 블러를 적용한 이미지이고 그림 6(b)는 그림 6(a)에 DoG 필터를 적용한 결과를 나타낸 이미지이다. 그리고 그림 6(c)는 그림 6(b)에 지역적 ACF를 적용하여 해당 픽셀마다 측정된 블러의 크기를 나타낸 그림이다. 윈도우의 크기는 실험 이미지 내에서 가장 큰 블러 크기인 10픽셀보다 큰 40픽셀로 적용했다. 그림 6(c)에서 픽셀의 값은 해당 픽셀을 중심으로 한 윈도우 영역에서 측정된 블러의 크기를 나타내는 값이다. 예를 들어 그림 6(c)의 X,Y 좌표(50, 50)의 픽셀의 값은 그림 6(b)의 X,Y 좌표 (30, 50)부터 (70, 50)까지 영역에 ACF를 적용 하여 측정된 블러의 크기를 나타낸다. 그림 6(c)에서 측정된 블러의 크기가 0 인 값은 하얀색으로 표시하고 블러의 크기가 커질수록 어두운 색으로 표시하였다. 측정 결과를 보면 이미지내의 좌측 인형이 위치한 영역은 대체적으로 5픽셀의 블러의 크기로 측정되었고 이미지내의 우측 인형이 이 위치한 영역은

대체적으로 10픽셀의 블러의 크기로 측정되었고 나머지 영역의 블러의 크기는 대체적으로 0픽셀의 블러의 크기로 측정되었다. 따라서 두 개의 인형이 위치한 영역에 각각 정확한 블러의 크기를 측정하였다.

지역적으로 ACF를 적용하는 방법은 윈도우와 블러 크기에 따라 다른 성질을 갖는다. 윈도우가 포함하는 영역이 오브젝트에 블러가 발생하여 생기는 트랙의 엣지 영역을 완전히 포함하지 않으면 블러의 크기를 정확히 측정할 수 없다. 반대로 윈도우가 포함하는 영역이 오브젝트에 블러 발생하여 생기는 트랙의 엣지 영역을 완전히 포함하면 블러의 크기를 정확히 측정할 수 있다.

윈도우의 크기는 크면 클수록 이미지의 넓은 영역을 포함한다. 넓은 영역을 포함하면 그 영역에 트랙의 엣지 수가 많아 질 수 있고 같은 블러 크기의 트랙이라면 그 크기를 더 정확히 추출할 수 있다. 반면에 넓은 영역을 포함하므로 세밀하게 지역을 구분할 수 없다. 윈도우의 크기가 작으면 작을수록 적은 영역을 포함한다. 적은 영역을 포함하면 그 영역에 트랙의 엣지의 수가 줄어들 수 있고 적은 양의 데이터는 오차를 갖게 할 수도 있다. 반면에 좁은 영역을 포함하므로 세밀하게 지역을 구분할 수 있다. 따라서 윈도우의 크기는

오브젝트에 블러가 발생하여 생기는 트랙의 엣지 영역을 포함하고 세밀하게 지역을 구분할 수 있는 크기로 정해져야만 한다.



(그림 7) 다양한 윈도우 크기로 지역적 ACF 적용하여 지역적 블러의 크기를 측정된 결과

그림 7는 그림 6(b)에 다양한 윈도우의 크기로 지역적 ACF를 적용하여 해당 픽셀마다 측정된 블러의 크기를 나타낸 그림이다. 그림 7(a), [그림 7(b), 그림 7(c), 그림 7(d)]는 각각 10, 20, 40, 64의 윈도우 크기로 지역적 ACF를 적용하여 해당 픽셀마다 측정된 블러의 크기를 나타낸 그림이다. 각각의 결과 그림을 비교하면 그림 7(c)와 그림 7(d)와 같이 윈도우의 크기는 크면 클수록 지역적으로 정확하게 블러의 크기를 측정하는 부분이 많아지지만 실제 블러된 지역을 벗어난 블러가 발생하지 않은 지역까지 동일한 블러의 크기가 측정되어 세밀하게 지역을 구분하지 못한다. 또한 그림 7(a)와 그림 7(b) 같이 윈도우의 크기가 작으면 작을수록 지역적으로 부정확한 블러의 크기를 측정하는 부분이 많아진다.

이와 같이 적절한 윈도우 단위로 지역적 ACF를 적용하여 지역적 모션 블러의 크기를 측정한

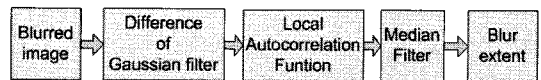
다. 하지만 이 방법은 윈도우 단위에 작은 데이터로 ACF를 적용하여 블러의 크기를 측정하기 때문에 다양한 오차 값들이 발생 할 수 있다. 본 논문은 이 문제를 해결하기 위해 지역적으로 측정된 블러의 크기 값에 미디언 필터(Median filter)를 적용하여 지역적으로 많은 양이 검출되는 정확한 측정값들은 유지하면서 오차 값을 제거하였다. 그림 8은 그림 6(c)에 미디언 필터를 적용한 결과를 나타낸 그림이다. 그림 8(b)에서는 그림 8(a)의 지역적으로 많은 양이 검출되는 정확한 측정값들은 유지하면서 오차 값을 제거하였다.

본 논문은 DoG 필터를 이용하여 블러 이미지에서 발생하는 트랙의 엣지를 찾고 지역적으로 ACF를 적용하여 지역별 블러의 크기를 측정하고 측정된 지역별 블러의 크기들의 오차 값을 제거하기 위해 미디언 필터를 적용하여 최종적으로 지역별로 정확한 블러의 크기를 측정하는 방법을 제안한다. 그림 9에서 제안된 방법의 전체 과정을 나타내었다.



(a) 미디언 필터 적용 전 (b) 미디언 필터 적용 후

(그림 8) 미디언 필터를 통한 오차 보정



(그림 9) 제안 방법 전체 구조도

4. 실험

본 장에서는 2가지 종류의 실험을 통해 제안한

방법의 효용성을 검증한다. 첫 번째 실험에서는 식 (1)과 같이 이미지 전체에 하나의 블러 효과만 발생할 경우 실제 카메라 모션 블러 이미지로부터 DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정 방법과 Yitzhaky의 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 추출결과를 비교하여 효용성을 검증한다. 두 번째 실험에서는 하나의 모션 블러 이미지 내에 여러 가지 블러 효과가 발생할 경우 모션 블러 이미지로부터 지역적으로 모션 블러의 크기를 찾는 제안 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 지역적으로 추출한 블러의 크기를 이용하여 복원한 결과와 DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 추출한 하나의 블러 크기를 이용하여 복원한 결과를 비교하여 효용성을 검증한다.

(표 1) Yitzhaky 방법과 DoG 필터를 이용하는 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

표 1은 모션 블러 이미지 전체에 하나의 블러 효과만 발생할 경우 실제 카메라 모션에 의해 생긴 9개의 모션 블러 이미지를 Yitzhaky의 방법과 제안된 방법으로 블러의 크기를 추정한 결과를 표로 나타낸 것이다.

표 1에서 실제 블러 크기는 촬영된 이미지에서 블러의 크기를 알기 위해 촬영대상의 일부 지역을 작은 점을 찍어놓고 촬영하여 그 점이 움직인 거리를 육안으로 확인하여 측정하였다. 실제 블러 크기의 측정 오차는 ± 2 를 넘지 않는다. 표 1을 보

면 B 이미지의 경우 실제 블러 함수의 블러 크기가 16 픽셀이고 DoG 필터를 이용하는 방법을 적용한 결과도 16 픽셀의 블러의 크기를 측정하는 반면 Yitzhaky 방법은 79 픽셀의 블러의 크기를 측정한다. H와 I는 다른 이미지에 비해 심한 노이즈를 갖는다. 이러한 경우 두 방법 모두 정확한 블러의 크기를 찾지 못 할 수도 있다. 하지만 대체적으로 DoG 필터를 이용하는 방법이 Yitzhaky 방법에 비해 정확한 블러의 크기를 찾아내었다.

그림 10은 하나의 모션 블러 이미지 내에 여러 가지 블러 효과가 발생할 경우 모션 블러 이미지로부터 지역적으로 모션 블러의 크기를 찾는 제안 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 지역적으로 추출한 블러의 크기를 이용하여 복원한 결과와 DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정 방법을 이용하여 하나의 블러의 크기를 추출하고 추출한 블러 크기를 이용하여 복원한 결과 이미지이다.



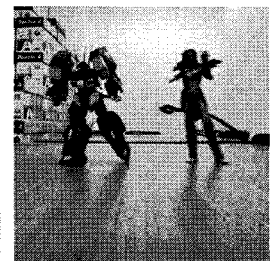
(a) 모션 블러 이미지



(b) DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정값으로 복원



(c) 지역적 모션 블러 크기 측정 결과



(d) (c) 측정값으로 복원한 결과

(그림 10) 다양한 윈도우 크기로 지역적 ACF 적용하여 지역적 블러의 크기를 측정한 결과

그림 10(a)는 이미지 좌측에 위치한 인형에는 수평방향으로 5픽셀만큼의 모션 블러를 적용하고 이미지 우측에 위치한 인형에는 수평방향으로 10픽셀만큼의 모션 블러를 적용한 지역적으로 다른 블러의 크기가 적용된 모션 블러 이미지, 그림 10(b)는 DoG를 이용한 하나의 모션 블러 크기 측정값으로 복원한 결과, 그림 10(c)는 그림 10(a)로부터 지역적으로 모션 블러 크기를 측정한 결과, 그림 10(d)는 그림 10(c)의 지역적 측정값으로 지역적으로 다르게 복원한 결과 이미지이다. 그림 10(a)를 DoG를 이용한 하나의 모션 블러 크기 측정 결과 값은 10픽셀이다. 10 픽셀의 블러의 크기를 가지고 전체 이미지를 복원(그림 10(b))하게 되면 10픽셀만큼 블러된 우측에 위치한 인형 지역은 정확히 복원되지만 나머지 5픽셀만큼 블러된 좌측에 위치한 인형 지역과 아무것도 블러되지 않은 배경 지역은 잘못된 크기로 복원되어 구분하기 힘들다. 그림 9(c)와 같이 지역적으로 다른 모션 블러의 크기를 찾아서 복원(그림 9(d))하면 그림 9(b)와 달리 좌우측에 위치한 인형 지역과 모션 블러 크기를 각각 찾아내서 복원하게 되므로 전체적으로 깨끗하게 복원 할 수 있다. 결과적으로 지역적으로 블러의 크기가 다른 경우 본 논문에서 제안한 방법이 효과적임을 검증하였다.

5. 결론

본 논문에서는 전체 이미지 내에서 하나의 블러 크기만을 찾는 방법 중 직관적이고 대표적인 방법인 Yitzhaky의 방법[8]의 단점을 개선한 블러의 크기를 추출하는 방법을 제안하고 이 방법을 확장하여 하나의 모션 블러 이미지 내에 여러 가지 블러 효과가 발생할 경우 각각의 블러 크기를 추출하는 방법을 제안하였다. 제안 방법의 효용성을 검증하기 위하여 이미지 전체에 하나의 블러 효과만 발생할 경우 실제 카메라 모션 블러 이미지로부터 DoG를 이용한 블러 크기 측정 방법과 Yitzhaky의 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출

하고 추출결과를 비교하여 효용성을 검증하였다. 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 하나의 모션 블러 이미지 내에 여러 가지 블러 효과가 발생할 경우 모션 블러 이미지로부터 지역적으로 모션 블러의 크기를 찾는 제안 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 지역적으로 추출한 블러의 크기를 이용하여 복원한 결과와 DoG를 이용한 모션 블러 크기 측정 방법을 이용하여 블러의 크기를 추출하고 추출한 하나의 블러 크기를 이용하여 복원한 결과를 비교하여 효용성을 검증하였다.

참고 문헌

- [1] http://en.wikipedia.org/wiki/Motion_blur
- [2] M. Cannon, "Blind deconvolution of spatially invariant image blurs with phase," *IEEE Trans. Acoustic, Speech Signal Process.* vol. 24, no. 1, pp. 58-63, February 1976.
- [3] J. Biemond, "Iterative methods for image deblurring," *Proceedings of the IEEE*, vol. 78, issue 5, pp. 856-883, 1990.
- [4] S. C. Som, "Analysis of the effect of linear smear on photographic images," *J. Optical Society of America*, vol. 61, pp. 859-864, 1971.
- [5] 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.
- [6] 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,

- 1991.
- [7] I. M. Rekleitis, "Steerable filters and cepstral analysis for optical flow calculation from a single blurred image," *Vision Interface*, pp. 159-166, May 1996.
- [8] 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.
- [9] R. Fergus, B. Singh, A. Hertzmann, S. T. Roweis and W. T. Freeman, "Removing Camera Shake From A Single Photograph," *ACM Transactions on Graphics*, vol. 25, issue 3, pp. 787-794, July 2006.
- [10] R. Raskar, A. Agrawal, and J. Tumblin, "Coded Exposure Photography: Motion Deblurring Using Fluttered Shutter," *ACM Transactions on Graphics*, ISSN: 0730-0301, vol. 25, issue 3, pp. 795-804, July 2006.
- [11] I. M. Rekleitis, "Visual motion estimation based on motion blur interpretation," Master's thesis, School of computer Science, McFill University, Montreal, Quebec, Canada, 1995.
- [12] A. A. Sawchuk, "Space-variant image restoration by coordinate transformations ," *J. Optical Society of America*, vol. 64, pp. 138, 1974.
- [13] H. J. Trussell, and B. R. Hunt, "Image Restoration of Space-Variant Blurs by Sectional Methods," *IEEE Trans. Acoustic, Speech Signal Process*. vol. 26, pp. 608-609, 1978.
- [14] A. M. Tekalp, and G. Pavlovic, "Space-variant and color image restoration using Kalman filtering," *IEEE. Symposium on Circuits and Systems*, vol. 1, pp. 8-11, 1989.
- [15] H. J. Trussell, and S. Fogel, "Identification and Restoration of Spatially Variant Motion Blurs in Sequential Images," *IEEE Transaction on Image Processing*, vol. 1, pp. 123-126, 1992.

◎ 저자 소개 ◎



양 흥 택(Hong-Taek Yang)

2006년 송실대학교 미디어학부(공학학사)

2006년~현재 송실대학교 대학원 미디어학부 석사과정

관심분야 : 디지털 방송, 컴퓨터 그래픽스

E-mail : seabird845@ssu.ac.kr



황 주 연(Jooyoun Hwang)

2005년 송실대학교 미디어학부(공학학사)

2005년~현재 송실대학교 대학원 미디어학부 박사과정

관심분야 : 디지털 방송, 컴퓨터 그래픽스

E-mail : zooyouny@ssu.ac.kr



백 두 원(Doowon Paik)

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 교수

관심분야 : 컴퓨터 그래픽스, 디지털 방송, 알고리즘

E-mail : dpaik@ssu.ac.kr