

논문 2008-45SC-3-1

3축 가속도 센서의 흔들림 정보를 이용한 영상의 Deblurring

(Image Deblurring Using Vibration Information From 3-axis Accelerometer)

박 상 용*, 박 은 수**, 김 학 일***

(Sang-Yong Park, Eun-Soo Park, and Hakil Kim)

요 약

본 논문은 모바일 단말기에 탑재된 카메라를 이용하여 정지영상을 획득할 때 발생할 수 있는 blur현상을 3축 가속도 센서를 이용하여 실시간 보정 할 수 있는 방법을 제안한다. Blur현상은 획득한 이미지에서 발생하는 번짐 효과이다. 소형의 모바일 단말기는 사용자의 미세한 손 떨림에도 크게 흔들릴 수 있기 때문에 blur현상이 크게 나타나며, 이를 적절하게 보정할 수 있는 알고리즘이 필요하다. 본 논문에선 3축 가속도센서를 진자운동에 적용하여 출력결과와 신뢰성을 확보하였고, blur현상을 Uniform 분포와 Gaussian 분포로 모델링하였다. 실험을 통하여 실제 blur 현상이 Non-Gaussian 형태로 모델링됨을 확인하였고, 이 blur모델의 역과정인 deblurring 특성함수를 설계하였다. 이 특성함수에 3축 가속도센서에서 발생하는 미세한 떨림 정보를 적용하여 실험 이미지를 deblurring한 결과, 이미지 blur현상을 적절하게 보정할 수 있었다.

Abstract

This paper proposes a real-time method using a 3-axis accelerometer to enhance blurred images taken from a camera loaded in mobile devices. Blurring phenomenon is a smoothing effect occurring in photo images. Algorithms to cope with blurring phenomenon is essential since small-size mobile devices tremble severely by even a tiny hand-shaking of a user. In this paper, accurate sensing characteristics of the 3-axis accelerometer is acquired by applying the sensor in pendulum motion and the blurring phenomenon is modeled as a uniform distribution and Gaussian distribution. Also, non-Gaussian distributed model is observed in the experiment of real blurring phenomenon and a particular deblurring function is designed by reversing the model. It has been demonstrated that the application of trembling information to the deblurring function adequately removes the blurring phenomenon.

Keywords : 3-axis accelerometer, deblurring, uniform distribution, non-gaussian distribution, camera trembling

I. 서 론

오늘날 모바일 단말기의 발전 속도가 점점 가속화됨에 따라 크기는 초소형화 되고 다양한 기능들이 탑재되고 있다. 대표적인 기능중의 하나로써 카메라 모듈이 있으며, 최근 출시되는 모바일 단말기는 거의 모두 카메라 모듈이 탑재되어 있다. 그러나 작은 모바일 단말

기의 카메라 모듈로부터 정지영상을 획득할 때 깨끗한 이미지를 얻지 못하는 경우가 자주 발생한다. 초기 30만 화소로 탑재되었던 카메라 모듈은 현재 500만 화소까지 발전하였고, 한정된 공간에서 높은 화소수를 지원하기 위해 단위 픽셀의 크기를 줄일 수밖에 없으므로 초기 7 μ m이던 픽셀 크기가 현재는 2 μ m까지 작아졌다. 소형화된 모바일 단말기에서 정지 영상을 획득하기 위해 동일한 힘으로 카메라 셔터를 눌렀을 때, 단말기는 더 큰 물리적 떨림을 받게 되며, 이 작은 떨림에도 작아진 픽셀크기로 인하여 이미지에 blur효과가 발생할 가능성이 커졌다. Blur효과는 카메라를 이용하여 이미지를 얻을 때 피사체가 움직이거나 카메라가 움직이는 경

* 정회원, (주)WRG
(WRG)

** 학생회원, *** 정회원, 인하대학교 정보공학과
(School of Information Engineering, Inha University)

접수일자 :2007년4월27일, 수정완료일:2008년4월29일

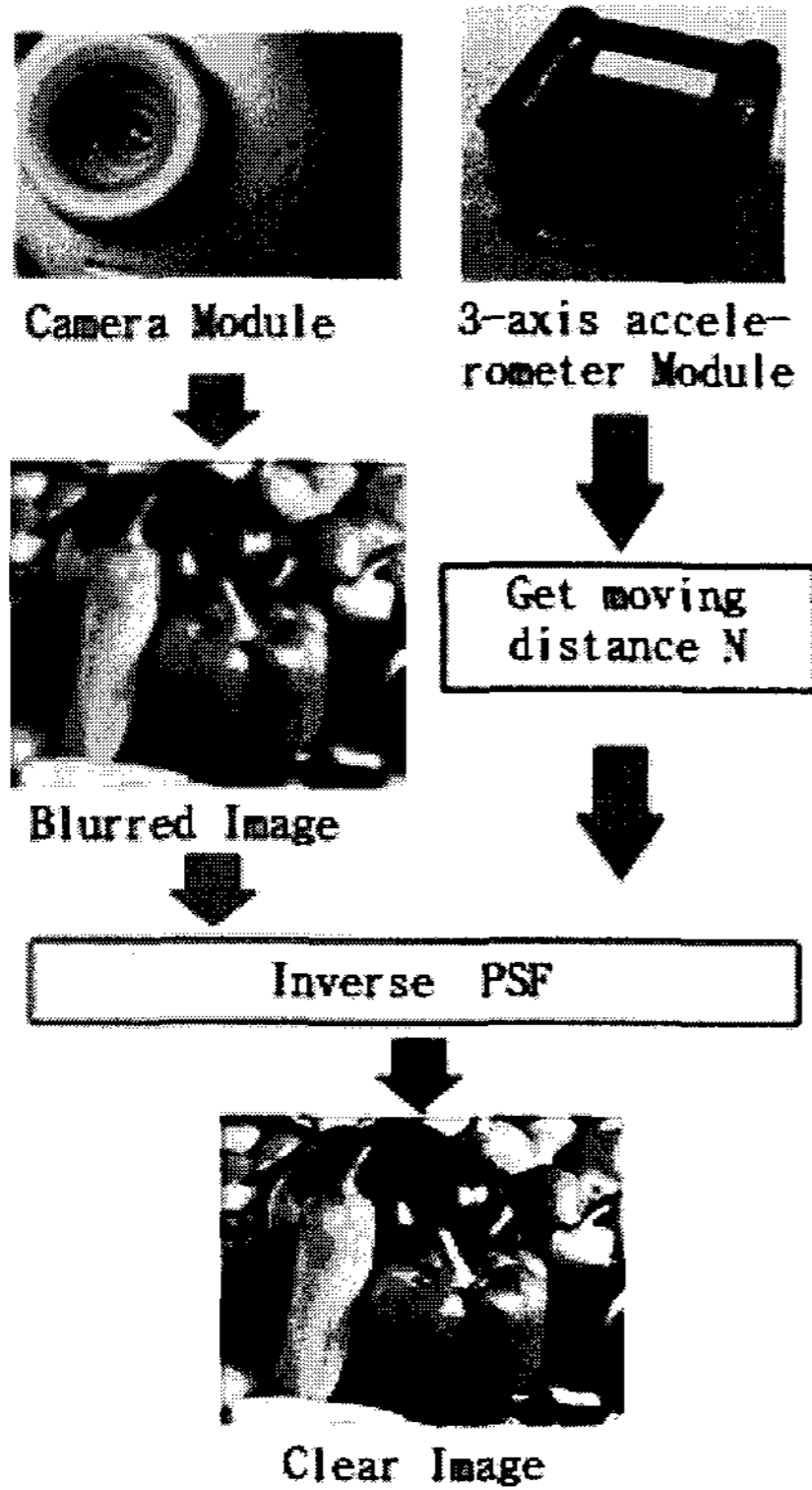


그림 1. 카메라 모듈로부터 정지영상 획득 시 이미지 보정 과정

Fig. 1. Image correction procedure when getting still Images from a camera module.

우에 이미지에 흔들림이 발생하는 효과이다.

현재까지 카메라 모듈이 탑재된 모바일 단말기에서 정지영상을 획득한 후 사용자에 의한 후 보정을 할 수 있는 기능은 제공하고 있지만, 영상 획득 순간의 떨림을 감지하여 이미지를 보정하는 방법은 없는 상태이다.

본 논문에서는 모바일 단말기 상에서 정지 영상 획득 시 3축 가속도 센서에서 발생하는 순간 떨림 정보를 이용하여 blur된 이미지를 실시간 보정 할 수 있는 방법을 제안 한다. 전체적인 보정과정은 그림 1과 같다. 정지영상을 획득 하는 순간에 3축 가속도 센서를 이용하여 떨림의 이동거리를 알아내며, 이 이동거리 정보를 이용하여 blur된 이미지를 deblur 시킬 수 있는 특성함수를 설계한다. Blur된 이미지는 image deconvolution에 의해서 복귀할 수 있으며^[1], blur 효과를 표현한 PSF(Point Spread Function)와 흔들린 정보를 알고 있다면 이를 이용한 PSF의 역 과정을 취함으로써 이미지를 복원할 수 있게 된다^[2~11].

본 논문의 II장에서는 3축 가속도 센서로부터 흔들린 거리 및 벡터를 추출하는 방법과 원 영상을 흔들리게 하는 특성함수 H_b 에 대해서 논의한다. 또한 흔들림

정보를 통하여 얻어지는 특성함수 H_b 와 그 역함수를 얻는 방법을 소개하고 원 영상에 역함수를 적용하기 위한 기법을 제안한다. III장에서는 적용된 역함수의 성능에 대한 실험 및 결과를 기술하고 IV장에서 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 떨림 정보 추출 및 이미지 보정

2.1 3축 가속도 센서를 이용한 시스템 구성

가속도 센서로부터 이동거리 값을 구하기 위해선 센서로부터 출력 되는 가속도 값을 이중적분 하는 과정이 필요하다. 또한 이중적분을 이용하여 얻어진 이동거리 값을 픽셀의 크기로 대응하기 위해선 $2\mu\text{m}$ 정도의 작은 떨림 정보를 측정 할 수 있는 적합한 센서의 선택이 요구된다. 센서의 적합성을 판단하기 위해서 실제 센서에서 발생하는 출력을 분석해 보았다. 센서에서 발생하는 실제 출력은 식 (1)과 같다.

$$a(m/s^2) = \frac{V_{cc}}{2^{Bits}} \times \frac{x - 2^{(Bits-1)}}{Sensitivity(V/g)} \quad (1)$$

V_{cc} : 센서의 작동전압

$$(V_{cc} = K(\text{양의정수}) \times Sensitivity(V/g))$$

x : 출력결과(범위는 $0 \sim 2^{Bits}$)

$Sensitivity$: 1g당 센서의 민감도(단위는 V)

$Bits$: 센서출력의 분해능을 나타내는 비트수

여기서 $2^{(Bits-1)}$ 은 센서출력의 중심 값으로 센서의 출력을 $(-2^{Bits-1}) \sim (+2^{Bits-1})$ 로 이동시켜 준다. 샘플링 간격을 Δt 로 가정했을 때 센서 출력 값의 이중적분을 위해 $[0, \Delta t]$ 사이의 가속도 성분을 선형보간 한다. 식 (1)에서 주어진 양의 정수 부분인 $x - 2^{(Bits-1)}$ 의 최소변화의 크기는 1 이므로 이에 대응 하는 가속도 값은 식 (2)가 되고 이 식의 $V_{cc}/Sensitivity(V/g)$ 항을 변수 K 로 치환 하고 중력 가속도 1g를 $9.8m/s^2$ 로 표현 한다면 식 (2)는 식 (3)으로 간소화 된다. 여기서 $M.R$ 은 Minimum Resolution, 즉 최소 가속도 출력 값을 뜻한다.

$$M.R(m/s^2) = \frac{V_{cc}}{2^{Bits} \times Sensitivity(V/g)} \quad (2)$$

$$= \frac{K}{2^{Bits}} \times 9.8(m/s^2) \quad (3)$$

식 (3)의 최소 출력 값은 가속도 센서의 샘플링 간격 Δt 이후에 발생하므로, 식 (3)과 Δt 를 기울기로서 표현할 수 있고 이에 시간변수 t 를 추가하면 식 (4)로 모델링 할 수 있다. 이를 구간 $[0, \Delta t]$ 사이에서 이중 적분한 결과는 식 (5)의 부등식을 만족 하여야 한다.

$$a(m/s^2) = \frac{9.8K}{2^{Bits} \times \Delta t} \times t \quad (4)$$

$$\frac{P \times 2^{Bits}}{K \times \Delta t^2} \geq 1.6333 \quad (5)$$

식 (5)에 새로 도입된 변수 P 는 적용될 카메라의 픽셀 크기를 나타낸다. 식 (4)의 이중적분을 통하여 얻은 최소 이동거리가 한 픽셀의 크기보다 작아야 하기 때문에 이중적분 된 식의 값이 P 보다 작거나 같다는 식을 세운 후, 이 식에서 변수 P 를 좌측 항으로 이동 시킨 후 역수를 취하면 식 (5)을 얻을 수 있다. 식 (5)의 Δt 를 이용하여 우리는 센서의 샘플링 간격을 결정 할 수 있고 변수 K 를 이용하여 센서 작동전압 V_{cc} 와 $Sensitivity$ 를 선택 할 수 있다. 본 논문에서 사용된 센서는 Kionix사의 KMX-1050 모델이다. 이 센서는 작동전압이 3.3V 이고 $Sensitivity$ 는 660mV 이다. 일반적인 모바일 단말기 배터리 전압이 대략 4.2V 에서 3.0V 임을 고려하면 이 센서모델의 작동전압은 적당하다. 또한 660mV 의 $Sensitivity$ 를 고려해보면 식(5)에서 K 는 5가 된다. 픽셀의 크기 변수인 P 를 일반적인 모바일 단말기 카메라모듈의 픽셀크기인 $2\mu m$ 로 두면 나머지 변수인 샘플링 간격과 분해능 비트수를 조절 할 수 있다. 따라서 이 센서모델을 이용하여 샘플링 간격을 0.01초로 하고 분해능 비트수를 10bit으로 하는 모듈을 구성하면 그 값이 대략 8.192로 식 (5)을 만족한다.

이 결과를 토대로 실제 떨림 거리 정보를 얻기 위한

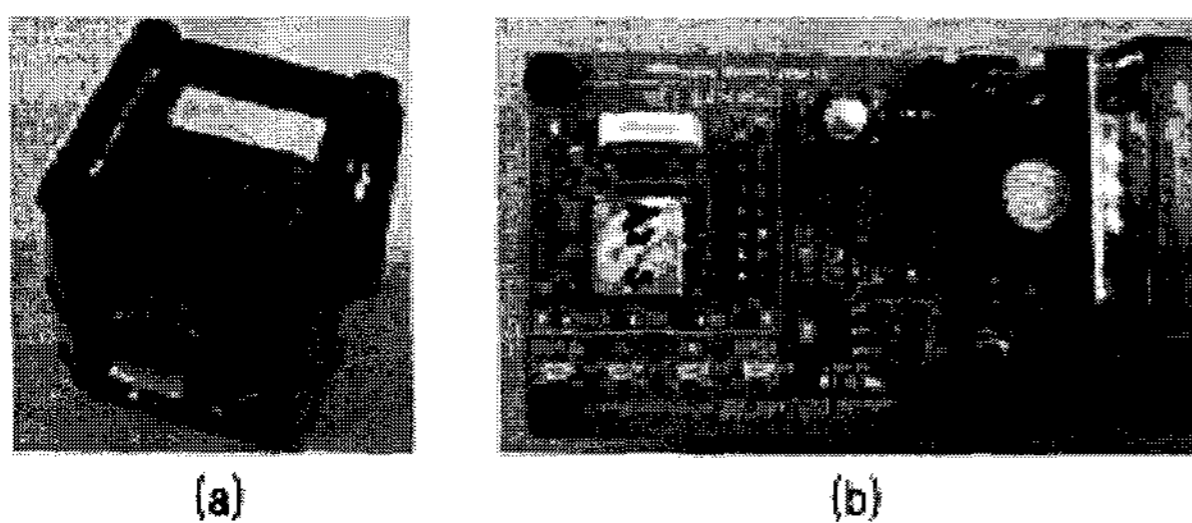


그림 2. (a) RF 송신부(3축 가속도센서 모듈)
(b) RF 수신부
Fig. 2. (a) RF transmitter(3-axis accelerometer module)
(b) RF receiver.

3축 가속도 센서 모듈을 구현하였다. 본 논문에서는 모바일 환경과 비슷한 테스트 시스템을 구성하여 실험의 효과를 높였다. PC로부터 통신이 요청되면 X축과 Y축에 대해서 흔들린 거리 정보를 PC에 실시간으로 전송한다. 이러한 과정은 전체적으로 모바일 단말기 안에서 동작되는 원리와 같다. 3축 가속도 센서와 PC와의 통신을 위해 그림 2와 같이 RF 모듈을 사용하였다. RF는 블루투스 모듈이며 수신 모듈은 RS 232 방식으로 PC와 통신한다. RF 모듈을 사용한 이유는 유선의 방해로 인한 에어 발생률을 없애 모바일 단말기 환경과 비슷하게 맞추기 위한 것이다.

2.2. 3축 가속도 센서로부터 이동거리 추출 방법

센서 제작사에서 제공하는 제품의 오차특성은 명시된 사양과 같아야 하지만 실제로는 적용환경 및 외부적인 영향에 의하여 같은 회사의 제품도 센서마다 다른 특성을 가질 수 있다. 따라서 센서에 추가적인 보정작업이 필요하다. 센서 출력결과를 결정하는 큰 파라미터는 식 (1)에서와 같이 $Sensitivity$ 와 센서의 offset 전압(2^{Bits-1})이다. 이 값이 적절하게 보정 되어있지 않다면 센서에서 발생하는 출력은 항상 오차를 포함하게 된다. 본 논문에서는 가속도 센서가 항상 중력방향으로 $9.8m/s^2$ 의 가속도를 출력한다는 사실에 기인하여 정지 상태에서의 센서 출력을 이용한 오차 보정을 수행 하였다^[12]. 수행결과 각 축에 대해 측정된 offset과

표 1. 보정된 offset(V)과 sensitivity(mV) 전압
Table 1. Calibrated offset(V) and sensitivity(mV) voltage.

axis	offset	sensitivity
x	2.03 V	710 mV
y	1.92 V	708 mV
z	2.19 V	800 mV

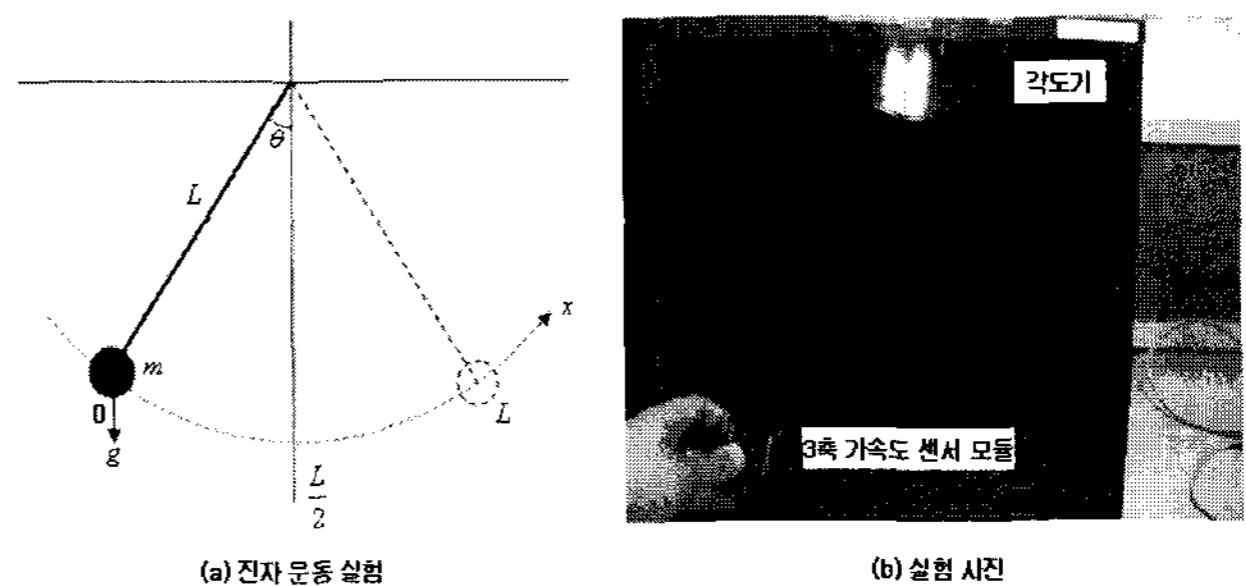


그림 3. (a) 오차보정을 위한 진자운동 실험 모델
(b) 실험사진
Fig. 3. (a) Pendulum model for calibration
(b) Experiment.

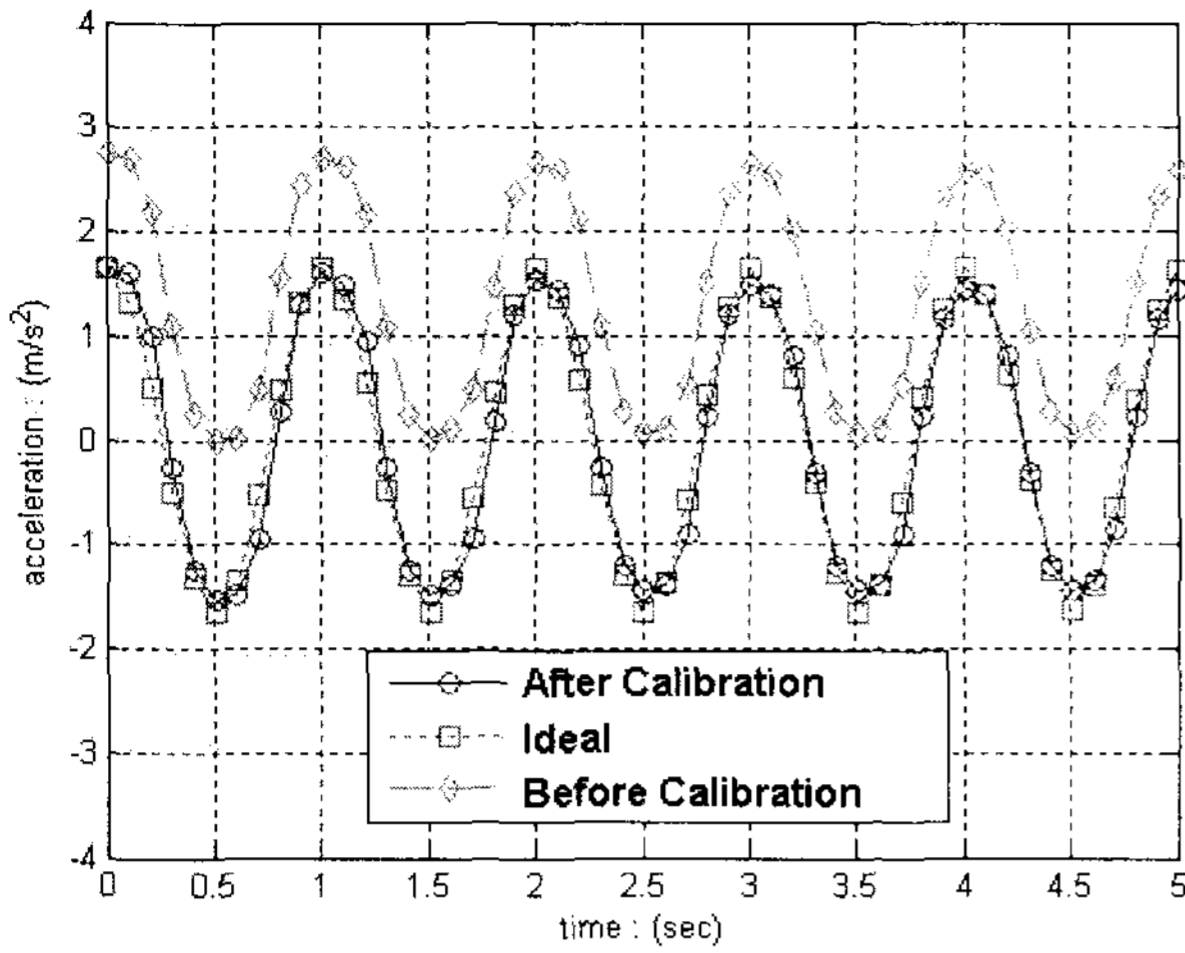


그림 4. 오차 보정 결과 그래프
Fig. 4. Resulting graph of calibration.

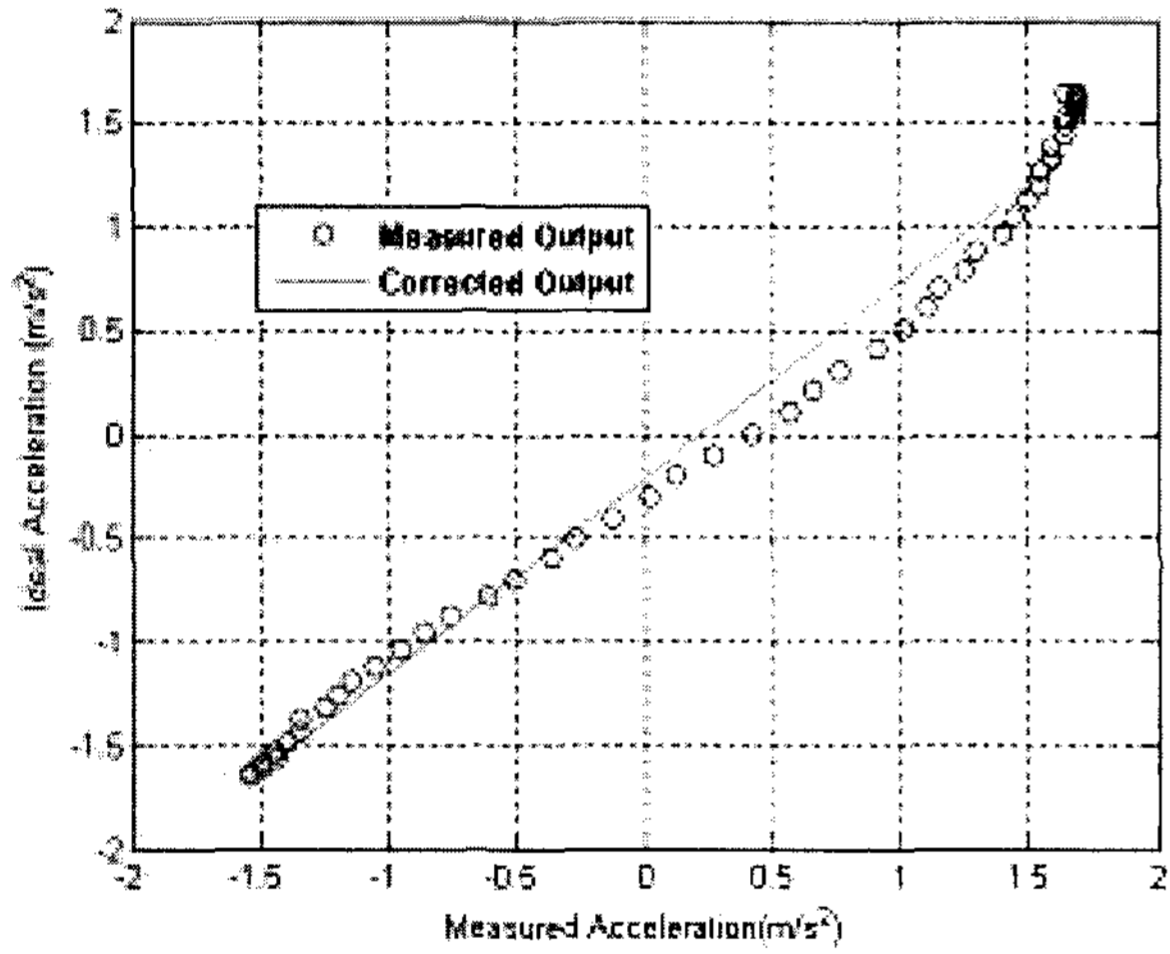


그림 5. 최소자승 기법을 이용한 출력 보정
Fig. 5. Error correction using least square method.

sensitivity 값을 표 1에 나타내었다.

이 값이 적절하게 보상 되었는지 확인하기 위해서 그림 3과 같이 진자운동기구를 이용한 실험을 실시하였다. 그 결과는 그림 4와 같고 적절하게 오차가 보정되었음을 확인 할 수 있다. 진자를 이용한 실험이 매우 정교하게 이루어져야 오차에 대한 정확한 분석이 가능하기 때문에 실험은 수회 실험결과의 평균값을 이용하였다. 그림 4에서 offset 전압과 sensitivity는 비교적 적절하게 보정할 수 있었지만 센서출력에는 정밀오차 (Precision error)가 포함 되어있다.

이 정밀오차를 보정하기 위해 최소자승 기법을 사용했다. 최소자승 기법을 사용한 이유는 구현을 쉽게 하고 카메라 모듈에 적용 시 사용자가 불편을 느끼지 않을 만큼 보정속도를 빠르게 하기 위함이다. 최소 자승 기법을 이용하여 오차계수를 계산해 놓으면, 매순간 오

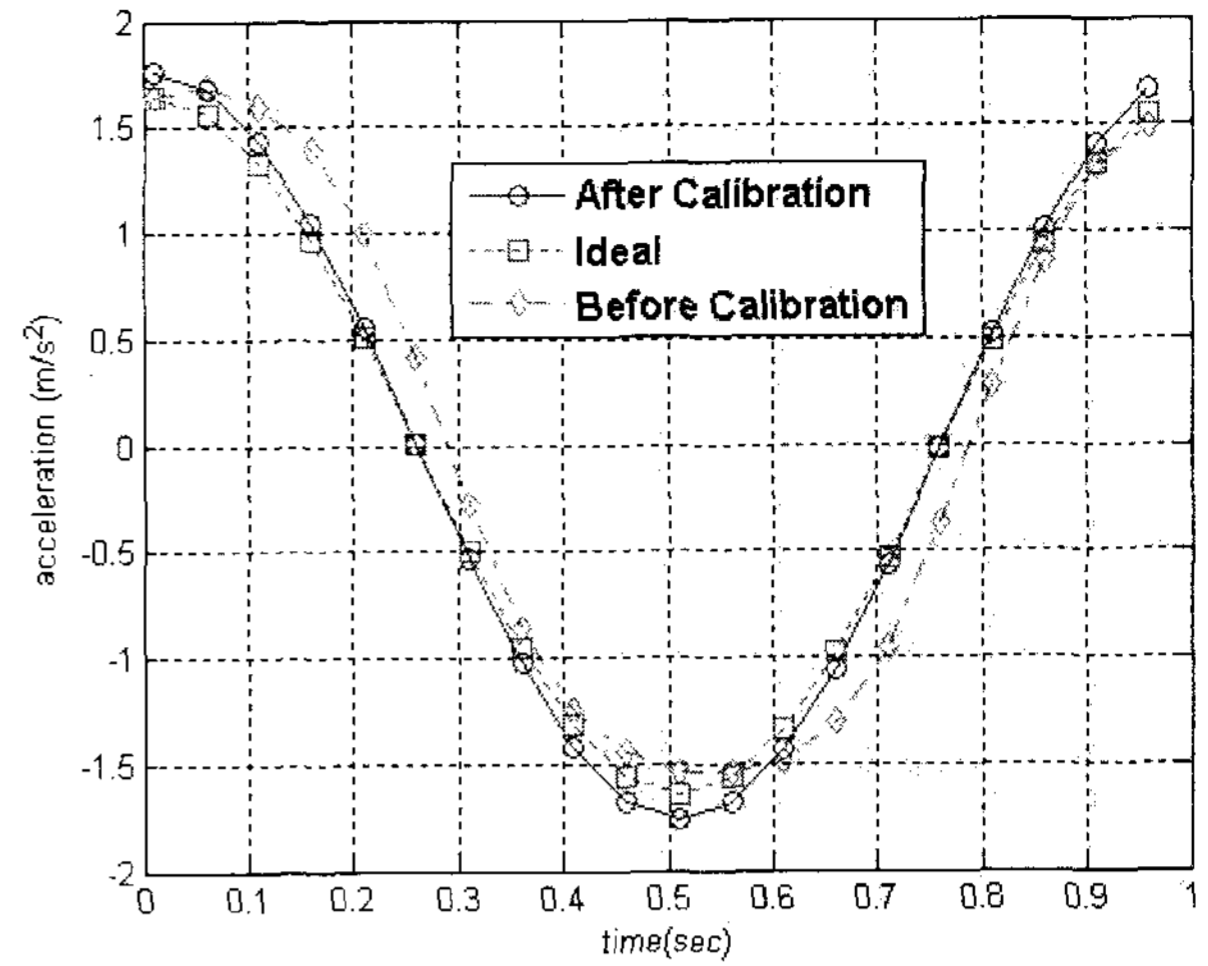


그림 6. 보정된 센서의 출력
Fig. 6. Output of the sensor after calibration.

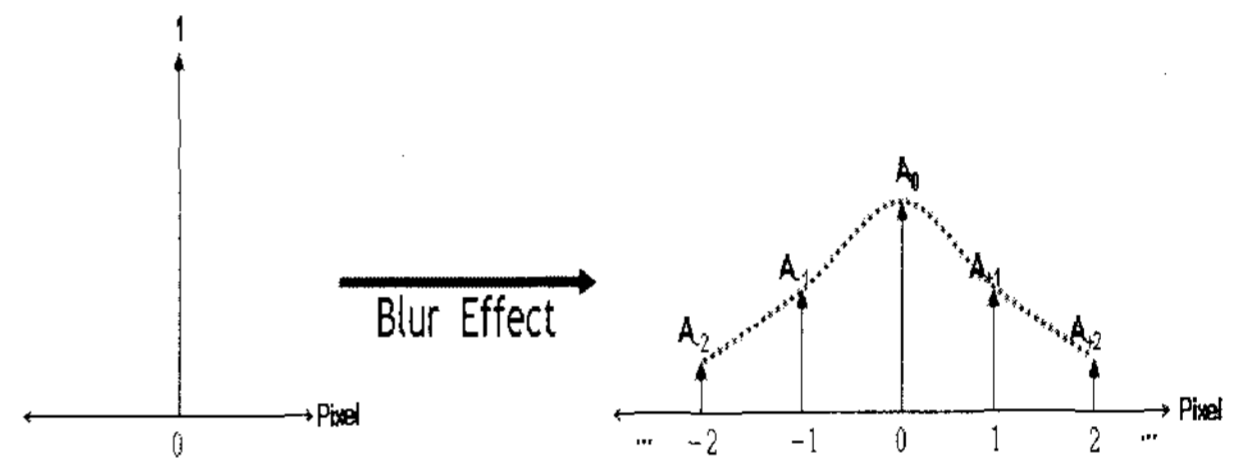


그림 7. 한 픽셀에 N 만큼 흔들린 빛의 분포도
Fig. 7. Light distribution with one pixel trembling int N.

차를 계산하여 보정하는 것보다 빠르고 손쉽게 오차를 보정 할 수 있다. 그림 5는 정밀오차를 지닌 센서출력을 최소자승 기법을 이용하여 직선으로 근사시킨 모습을 나타낸다.

여기서 얻어지는 오차계수를 이용하여 진자운동에 적용한 결과 그림 6의 결과를 얻었다. 그림 6을 보면 최소자승기법을 이용하여 정밀오차를 어느 정도 제거했음을 볼 수 있다.

그림 6과 같은 가속도 정보에 이중적분을 수행한다면 이동거리를 얻을 수 있다. Blur현상 제거를 목적으로 하는 센서이기 때문에 얻어진 이동거리를 흔들린 픽셀의 수로 대응시켜야 한다. Blurring은 흔들림 정보나 광학계에 따라 그 분산정도가 달라질 수 있지만, 일반적으로 그림 7에서 보는 바와 같이 카메라 센서 모듈의 픽셀로 입사되는 광 에너지는 $2N+1$ 픽셀 범위에서 분산된다.

정지영상에서 획득한 에너지를 1이라고 가정한다면 식 (6)과 같이 분산된 에너지 A_{-N} 에서 A_N 까지의 합은 입사되는 에너지와 동일하다.

$$1 = \sum_{i=-N}^N A_{n+i} \quad (6)$$

거리 값 N 을 1차원에 대해 총 흔들린 화소수라 한다면, N 을 구하기 위해서는 식 (7)과 같다. D 는 센서가 이동한 거리이고, L 은 한 픽셀의 크기이다. L 에 대해서는 카메라 센서 모듈의 Data sheet를 참고 할 수 있으며, 현재 기술은 $2\mu\text{m} \sim 7\mu\text{m}$ 사이이다.

$$\frac{D}{L} = 2N + 1 \quad (7)$$

최소 이동 픽셀 수에 따른 이동 거리 D 를 구하기 위해서 일반적으로 사용되는 픽셀 크기가 $2\mu\text{m} \times 2\mu\text{m}$ 인 카메라 모듈이 있다고 가정한다. 최소 흔들린 픽셀 수 N 은 1이 되고 픽셀 크기 L 은 $2\mu\text{m}$ 이므로 식(7)에서 최소 이동거리는 D 는 $6\mu\text{m}$ 가 된다. 그러므로 이동거리 측정 시 오차가 $6\mu\text{m}$ 보다 크다면 흔들린 픽셀 수도 1픽셀 이상 차이가 발생 할 수 있다. 이 오차를 기반으로 이중적분 시 이동거리에 따른 센서의 오차를 판명해 본다. 그림 6의 가속도 정보를 이중적분 한 결과는 그림 8과 같다. 그림 8의 상단은 그림 6의 그래프에서 오차가 적절하게 보정 되었다고 판단되는 0.7초에서 0.9초 구간을 이중적분 한 결과이다. 그래프를 보면 매우 짧은 시간 간격 동안은 이중적분 과정에서 생길 수 있는 누적오차가 발생하지 않는 것을 볼 수 있다. 모바일 단말기용 카메라의 셔터 스피드는 대략 $1/600 \sim 1/60(\text{sec})$ 사이이며, 맑은 날은 $1/120(\text{sec})$ 이다. 그림 8의 하단 그래프에서 $1/60$ 초 동안 대략 $2\mu\text{m}$ 오차가 발생됨을 확인하였다. 이 오차는 픽셀의 흔들린 이동거리를 구하는데 큰 영향

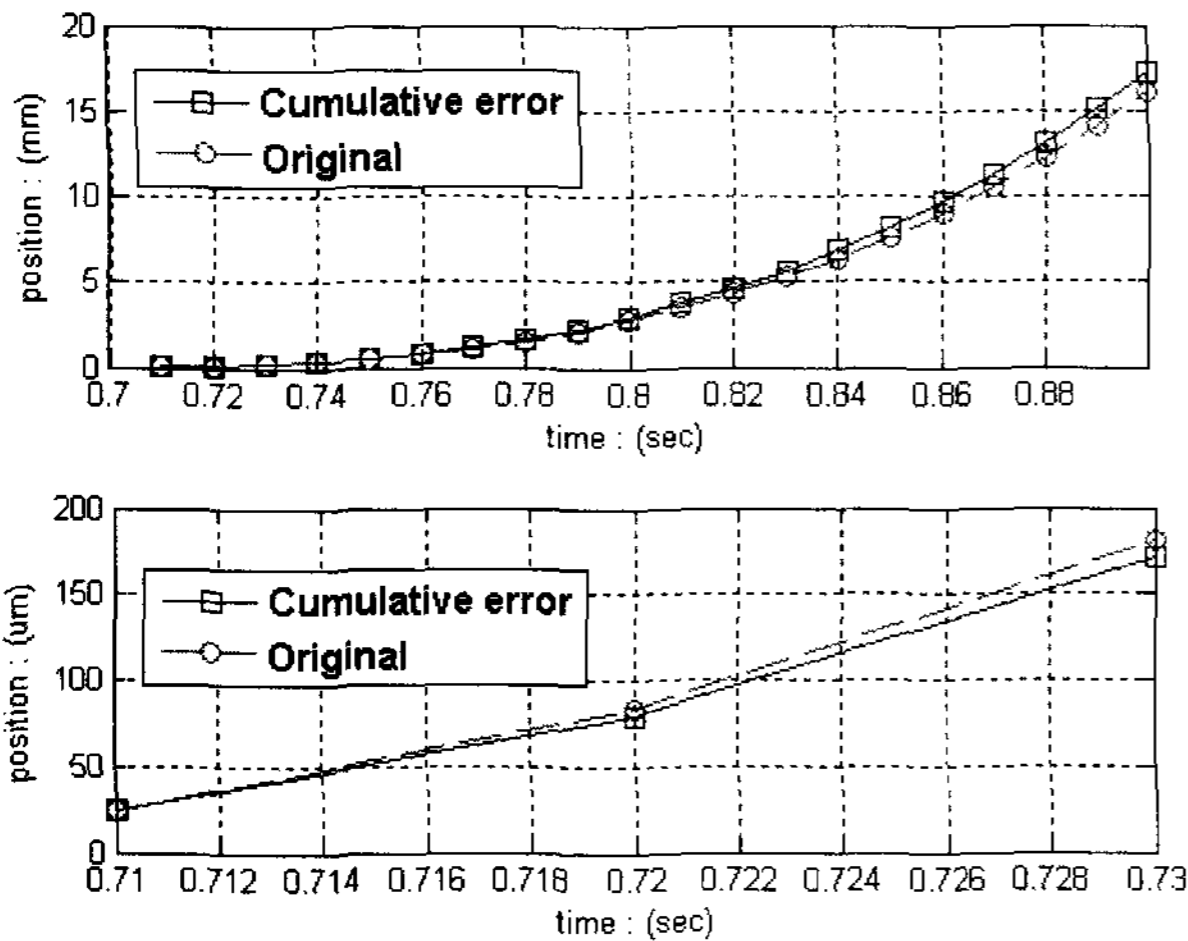


그림 8. 이동거리 그래프
Fig. 8. Graph of distance.

을 줄 수 없는 오차이다. 따라서 센서는 적절하게 흔들린 픽셀 수를 구할 수 있다고 판명하였다.

2.2 Deblurring 알고리즘

3축 가속도 센서에서 발생된 이동거리 정보를 deblurring 하기 위해선 떨림에 의한 blur function을 구현하여야 한다. 카메라 센서 모듈로부터 정상적인 이미지 $y[n]$ 을 얻을 경우의 시스템은 그림 9의 ①과 같다. 떨림에 의해 얻어지는 blur된 이미지 $y_b[n]$ 은 그림 9의 ②와 같이 blur function인 $h_b[n]$ 이 삽입된 형태이다. $l[n]$ 은 광자의 조합으로 이루어진 입력이고, $h[n]$ 은 광자의 출발점부터 센서의 표면에 이르기까지의 특성함수이다.

정상적으로 획득할 경우 얻어지는 이미지 $y[n]$ 을 입력으로 설정하고 blurring function $h_b[n]$ 을 통해 blur된 이미지 $y_b[n]$ 을 얻었다면, 이 이미지는 그림 10과 같이 중간에 blurring function의 역함수인 deblurring function $h_b^{-1}[n]$ 을 통과한다면 정상적으로 획득할 수 있을 것이다.

그림 9의 blur function 시스템을 DFT(Discrete Fourier Transform) 한다면 식 (8)과 같은 결과가 나온다.

$$Y_b = H_b Y \quad (8)$$

본 논문에서는 카메라 모듈로부터 정지영상 획득 시에 떨림에 의한 결과인 Y_b 는 알고 있다. 그리고 특성함수 H_b 를 통해 깨끗한 이미지인 Y 를 얻는 것이 목적이다. 그러므로 Y 를 구하기 위해 H_b 를 이항하면 식 (9)와 같이 표현할 수 있다.

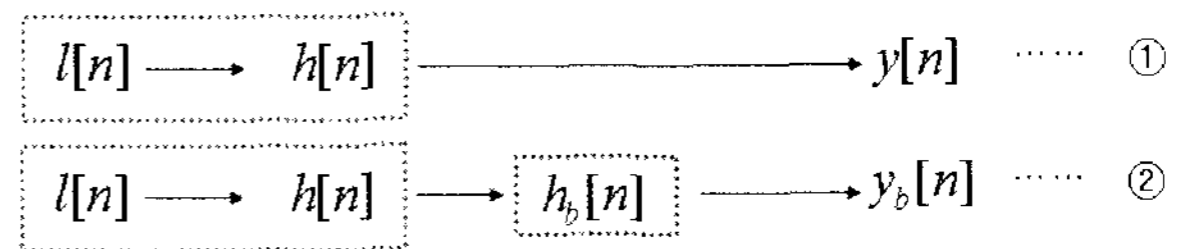


그림 9. 정상 이미지 획득 시스템과 Blur Function이 삽입된 시스템

Fig. 9. System getting original image and the other system including Blur function.

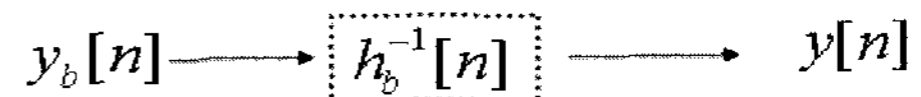


그림 10. 디블러링 필터 시스템
Fig. 10. Deblurring filter system.

$$Y = \frac{1}{H_b} Y_b \quad (9)$$

Deblurring filter를 구현하기 위해 특성함수 H_b 에 대해서 알아야 한다. H_b 는 blurring을 표현한 PSF이다. 또한 H_b 는 사용자의 손 떨림 정보에 의해 변한다. 순간적인 떨림으로 인해 나타날 수 있는 흔들림 분포형태를 다음과 같이 세 가지 형태로 모델링할 수 있다.

2.3. Uniform 분포

1차원에서 N 만큼 좌우로 움직인 광 에너지가 Uniform 분포로 표현된다고 가정했을 경우 N 픽셀만큼 좌우로 흔들렸다면 광 에너지는 그림 11과 같이 $2N + 1$ 로 분산된다.

분산된 각 픽셀의 합을 식 (10)과 같이 나타낼 수 있으며 이를 blur function $y_b[n]$ 로 규정할 수 있다.

$$y_b[n] = \frac{1}{2N+1} \sum_{q=-N}^N y[n-q] \quad (10)$$

식 (10)에 DFT를 적용하면 식 (11)과 같다.

$$Y_b = Y \frac{1 + 2 \sum_{q=1}^N \cos \frac{2\pi k q}{N_0}}{2N+1} \quad (11)$$

식 (11)에 오일러 공식을 적용하여 계산할 수 있는 형태로 변환하면, 식 (12)와 같이 구하고자 하는 특성함수 H_b 를 얻을 수 있다. H_b 는 N 픽셀 만큼 좌우로 Uniform 하게 흔들린 경우의 특성함수를 나타낸다.

$$H_b = \frac{1 + 2 \sum_{q=1}^N \cos \frac{2\pi k q}{N_0}}{2N+1} \quad (12)$$

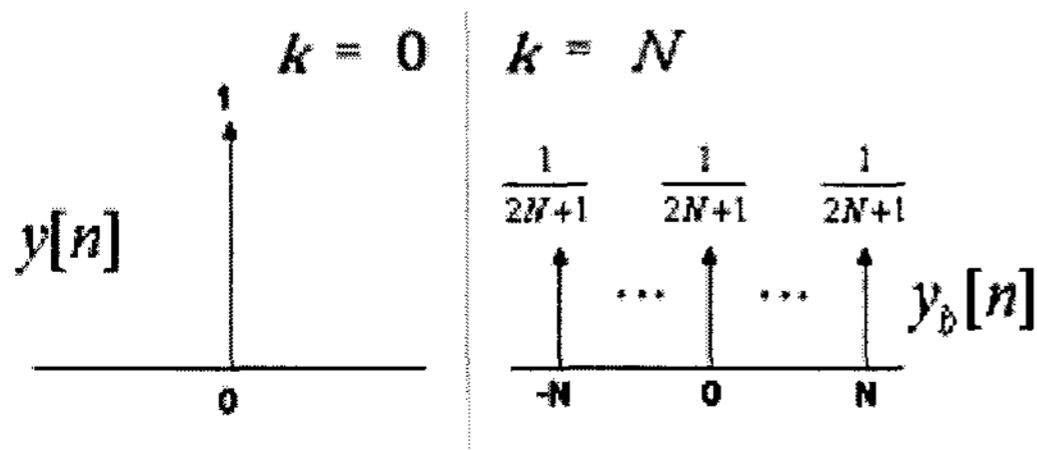


그림 11. 균등 분포
Fig. 11. Uniform distribution.

2.4. Gaussian 분포

떨림으로 인한 광 에너지 분산 현상이 Uniform 분포가 아닌 Gaussian 분포를 따른다고 가정하였을 경우 식 (13)과 같이 표현할 수 있다. 이것은 그림 12와 같이 한 픽셀에 입사되는 광 에너지가 1이라고 가정했을 때 모든 분산된 광 에너지의 합은 1을 가진다고 가정한다.

$$A_{-N} + A_{-N+1} + \dots + A_0 + \dots + A_N = 1 \quad (13)$$

Gaussian 분포에 따라 $A_n = A_{-n}$ 을 만족한다고 가정하면, 특성함수 H_b 는 식 (14)와 같이 만들 수 있다. A_0 값은 Gaussian 분포의 중심 픽셀 광 에너지 값을 나타낸다.

$$H_b = A_0 + 2 \sum_{q=1}^N A_q \cos \frac{2\pi k q}{N_0} \quad (14)$$

따라서 특성함수 H_b 의 역을 취하면 식 (15)가 되고 이는 deblurring을 위해 적용되어 질 수 있다.

$$H_b^{-1} = \frac{1}{A_0 + 2 \sum_{q=1}^N A_q \cos \frac{2\pi k q}{N_0}} \quad (15)$$

3축 가속도 센서로부터 이동거리 N 을 구할 수 있으므로, 광 에너지가 입사되는 중심픽셀 광 에너지 A_0 와 대칭되어 분산되는 A_q 의 최적화된 계수 값을 찾아서 적용하면 원래의 영상과 같이 보정할 수 있다.

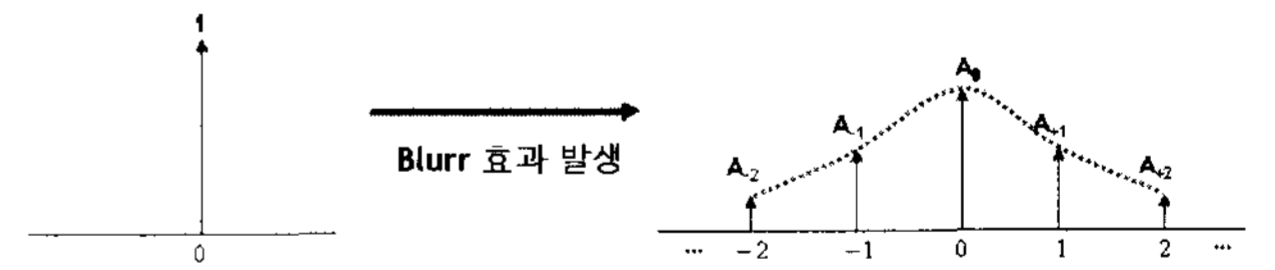


그림 12. 가우시안 분포
Fig. 12. Gaussian distribution.

2.5. Non-Gaussian 분포

앞에서 일반적인 빛의 분산모델 중 Uniform 분포와 Gaussian 분포 일 경우, 한 축에 대해 blurring되는 특성함수를 구하고 그 역을 취함으로써 deblurring되는 특성함수를 구할 수 있었다.

그러나 실제 blurring된 영상이 앞의 모델처럼 정확하게 Uniform 분포나 Gaussian 분포를 만족하는지 확인하기 위하여 흔들리지 않은 원본 이미지와 이 원본에 정해진 픽셀만큼 blur 효과를 적용한 샘플을 수집한

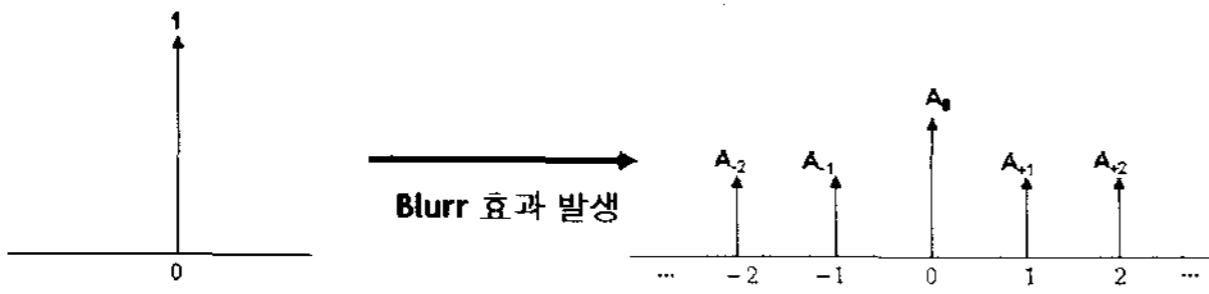


그림 13. 비 가우시안 분포
Fig. 13. Non-Gaussian distribution.

후 식 (16)을 적용하여 편차를 구하였다.

$$\varepsilon = \sum_{n=0}^{N_0} (y'[n] - y[n])^2 \quad (16)$$

그 편차를 분석해 본 결과 blur 효과의 분포가 그림 13과 같음을 확인 할 수 있었다. 그림 13은 Gaussian 분포에서 분산된 에너지 A_q 가 일정하게 나타난 모습이다. Blur현상이 실제로는 한 픽셀에서만 발생하는 것이 아니라 이미지 전체에서 일어나기 때문에 그림 13과 같은 결과가 나왔으리라 예상되어진다.

또한 식 (16)을 사용하여 광 에너지가 입사되는 중심 A_0 는 2.2를 얻었고, N 픽셀만큼 분산된 에너지 값 A_q 는 1.3을 얻었다. 이 계수 값을 식 (15)에 적용하여 deblurring 특성함수인 식 (17)을 만들었다.

$$H_b^{-1}[n] = \frac{1}{\frac{2.2}{2N+1} + \frac{1.3}{2N+1} \sum_{q=1}^n \cos \frac{2\pi kq}{N_0}} \quad (17)$$

식 (17)을 이용 X축과 Y축으로 흔들린 픽셀 거리를 구한다면, blurring 된 이미지를 원 이미지로 보정할 수 있음을 알 수 있다.

III. 실험 및 결과

3.1 Sample 이미지 실험

본 실험은 앞서 Non-Gaussian 분포 상태에서 얻은 식 (17)의 $H_b^{-1}[n]$ 를 sample 이미지에 적용시켜 그 특성을 분석한다. 실험을 위하여 256x256 크기의 Gray scale 이미지를 선택하였다. 원 이미지는 그림 14와 같다. 이 샘플은 경계선이 살아 있으며 선명도가 높은 편이다.

그림 14의 이미지에 X축 한 방향으로 2픽셀과 4 픽셀 blur된 이미지들을 1차원 그래프로 표현해 보고 대비가 높은 30 픽셀에서 70픽셀 구간 사이를 확대하여 그림 15에 나타내었다. 그림 15를 보면 원 이미지의 경계 부



그림 14. 실험에 사용된 이미지
Fig. 14. Image used for experiment.

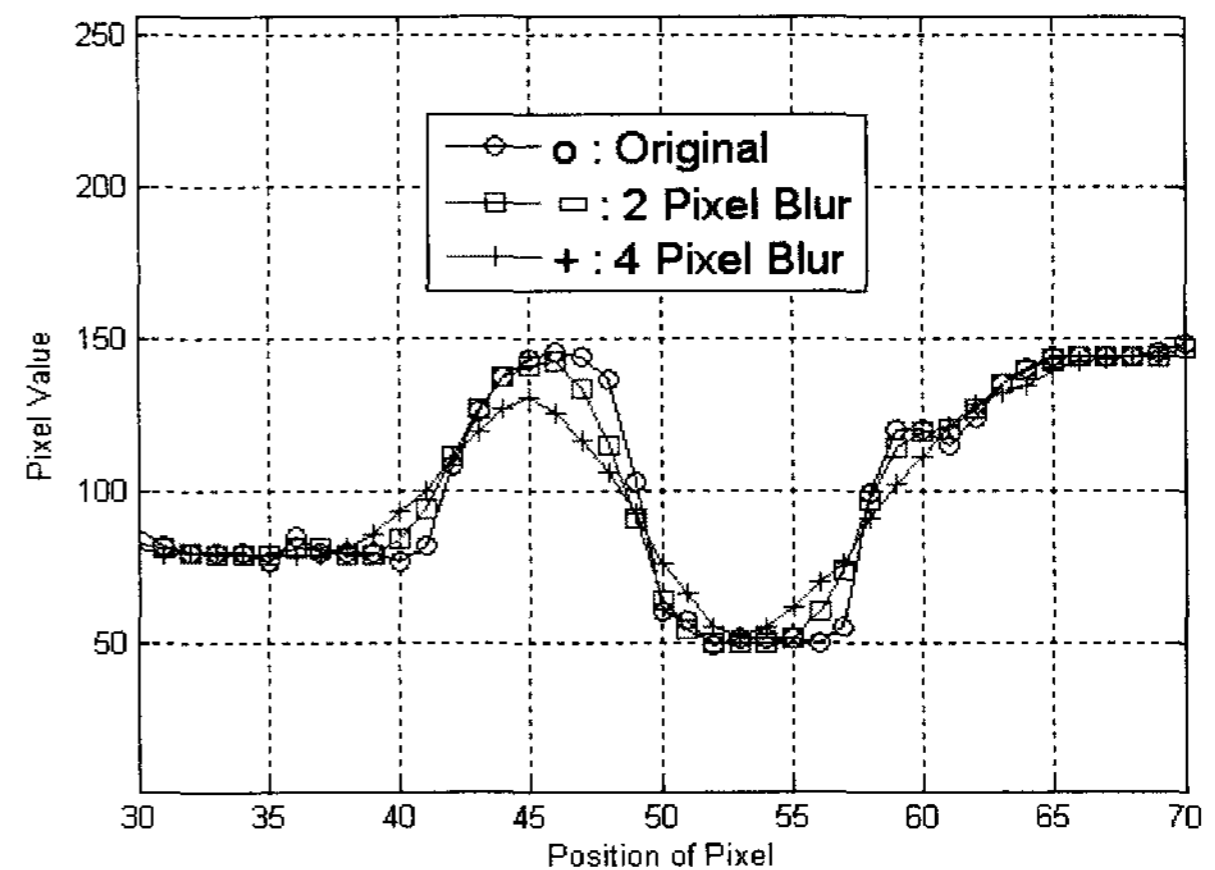


그림 15. 원 영상과 블러된 이미지
Fig. 15. Original image and blurred image.

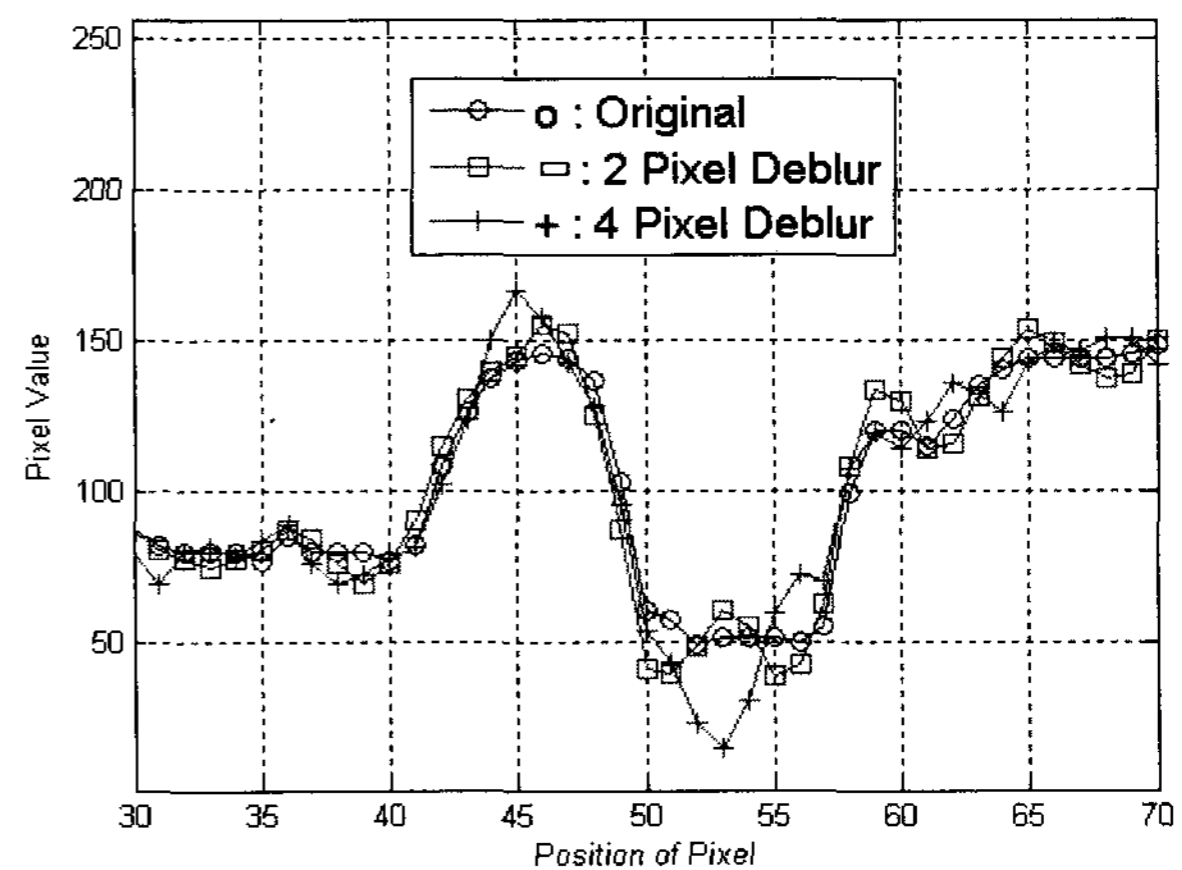


그림 16. 원영상과 디블러된 이미지
Fig. 16. Original image and deblurred image.

분인 급격한 경사가 있는 곡선 근처에서 blur 효과가 많이 발생하였음을 알 수 있고, blur 된 픽셀크기가 클수록 경사가 더 완만해 짐을 확인 할 수 있다. 2와 4픽셀로 Blur된 2개의 이미지에 Non-Gaussian deblurring 함수를 적용한 결과를 그림 16에 나타내었다. 그림 16은 deblur 된 영상이 원본 이미지와 잘 일치함을 보여 준다. 그러나 화소 값이 급작스럽게 변하는 경계부분에

서는 원영상과 잘 일치하지 않음을 확인 할 수 있다. 이 현상은 불연속적인 파형에서 푸리에 합성이 이루어졌을 때 생기는 Gibbs 현상이다.

Blur 된 이미지에 제안한 deblurring 함수를 적용하여 경계면에 상당히 일치하는 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 큰 흔들림에 의해 이동거리 N 이 커졌을 경우도 원 이미지에 잘 일치되지만 불연속적인 부분에 대해서 자연계적 특성상 관성에 의해 Gibbs 현상이 발생한다는 사실을 알 수 있었다.

3.2 특성함수를 적용한 이미지 품질 결과

Blur 효과가 적용된 2차원 이미지에 대해서 특성함수 $H_b^{-1}[n]$ 을 적용하여 얻은 이미지와 원 영상에 대한



그림 17. X, Y축으로 Blur 효과 이미지(a)와 비 가우시안 디블러 이미지(b)

Fig. 17. Blur effect image (a) and Non-Gaussian deblurred image (b) along X, Y axis.

PSNR(Peak Signal to Noise Ratio)을 구하여 이미지의 품질 차이를 비교해 보았다. 본 실험을 위해 사용한 sample은 영상처리 분야에서 많이 이용하는 Lena 이미지이다. 먼저 X축과 Y축 모두에서 blur 효과가 발생되었을 때의 영상과 이를 Non-Gaussian 분포를 통해 얻어진 $H_b^{-1}[n]$ 을 사용하여 deblurring한 영상을 그림 17에 나타내었다.

육안으로도 $H_b^{-1}[n]$ 가 적용된 결과 이미지가 blur 된 이미지보다 선명해 짐을 확인 할 수 있다. Blur 효과가 많이 적용된 이미지에 대해서는 다른 경우와 마찬가지로 경계와 선명함은 복원되었지만 이미지 자체의 손실이 크므로 잔상이 발생하는 경우가 있었다. 이 잔상은 앞서 설명한 Gibbs 현상이 보정과정에서 나타난 것이다. 각 축에 대해 Uniform 분포와 Non-Gaussian 분포 특성함수 $H_b^{-1}[n]$ 을 Lena 이미지에 적용하여 deblurring 한 결과의 PSNR을 그림 18에 그래프를 이용하여 표현하였다. 그림 18을 보면 Non-Gaussian 분포의 특성함수를 이용했을 때의 보정도가 Uniform 분

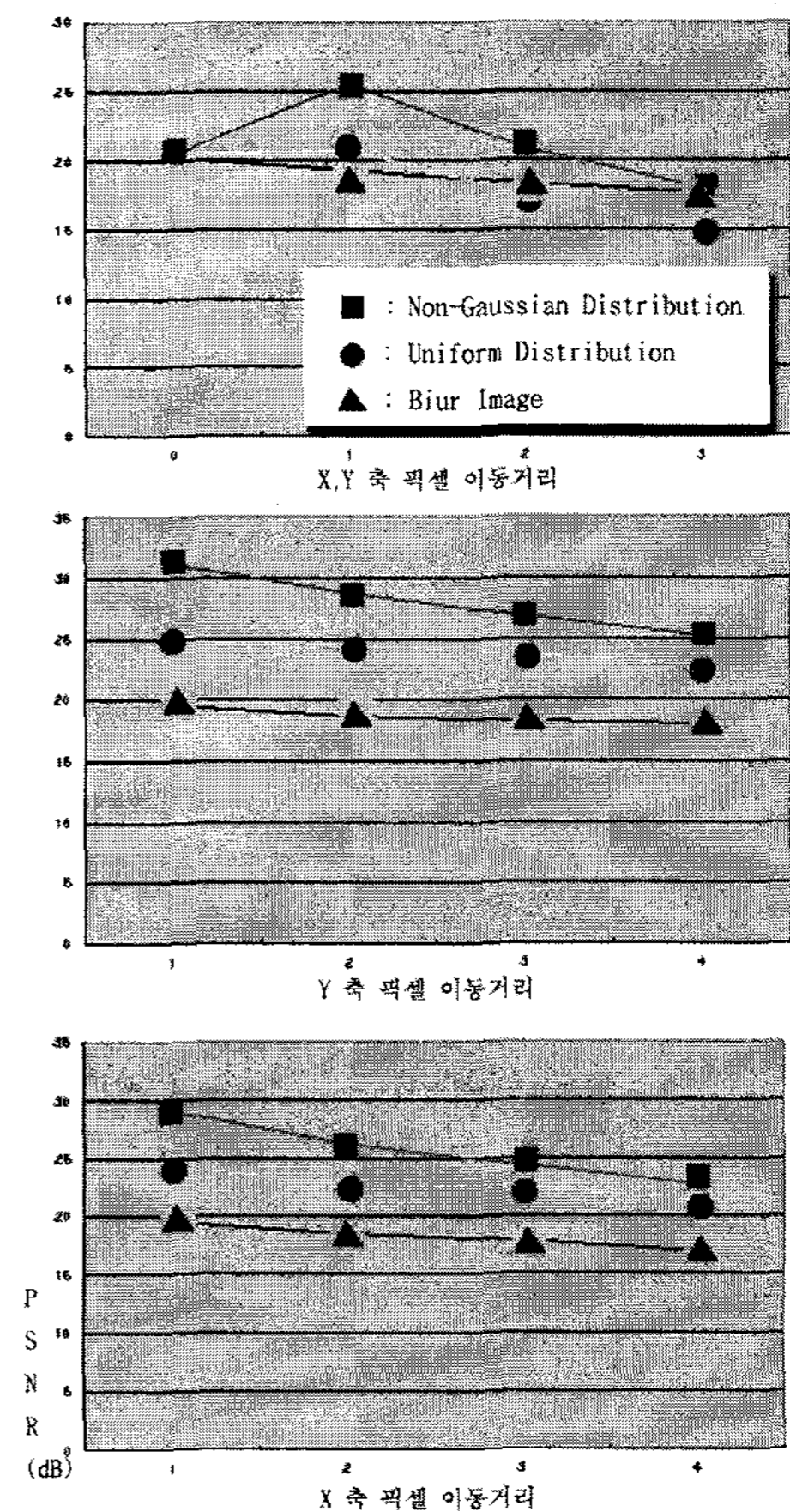


그림 18. 균등분포와 비가우시안 분포의 종합적 성능평가
Fig. 18. Total performance evaluation of Uniform and Gaussian distribution.

표 2. Non-Gaussian 과 Uniform distribution의 보정폭 비교

Table 2. Correction comparison with Non-Gaussian and Uniform distribution.

특성함수	X,Y축 (dB)	X축(dB)	Y축(dB)
Non-Gaussian	2.32	7.3975	9.38
Uniform	-0.3625	4.48	5.335

포의 특성함수를 사용했을 때 보다 높은 것을 확인 할 수 있다. 또한 전체적으로 한쪽 방향으로 blur가 발생했을 때의 보정정도가 높았다. 그림 18의 결과를 바탕으로 보정된 이미지의 PSNR 값과 Blur된 이미지의 PSNR 값의 차를 구하여 실제 보정된 폭을 표 2에 종합적으로 나타내었다.

표 2를 보면 Uniform 분포의 경우 X, Y 두 축에 blur 효과가 발생했을 시에는 blur된 이미지보다 PSNR 값이 더 낮게 나온 것을 알 수 있다. 따라서 단순히 이론적인 blur 효과에 대한 배경만으로 이미지를 보정하는 것은 좋지 않은 결과를 얻어 낸다는 것을 알 수 있다. 그에 반해 blur 효과에 대한 적절한 계수를 찾은 후 이를 적용한 Non-Gaussian 특성함수는 미세한 떨림에 의한 blur효과에 대해 높은 질의 보정 결과를 낳았다. 이 결과에 따라 실제 실험 어플리케이션에서는 Non-Gaussian 특성함수를 이용하여 이미지를 보정한다.

3.3 가속도 정보를 이용한 Deblurring 적용 실험

그림 19는 3축 가속도 센서로부터 정보를 얻은 후 deblurring 알고리즘을 적용하여 보정된 결과를 확인할 수 있는 테스트용 어플리케이션이다.

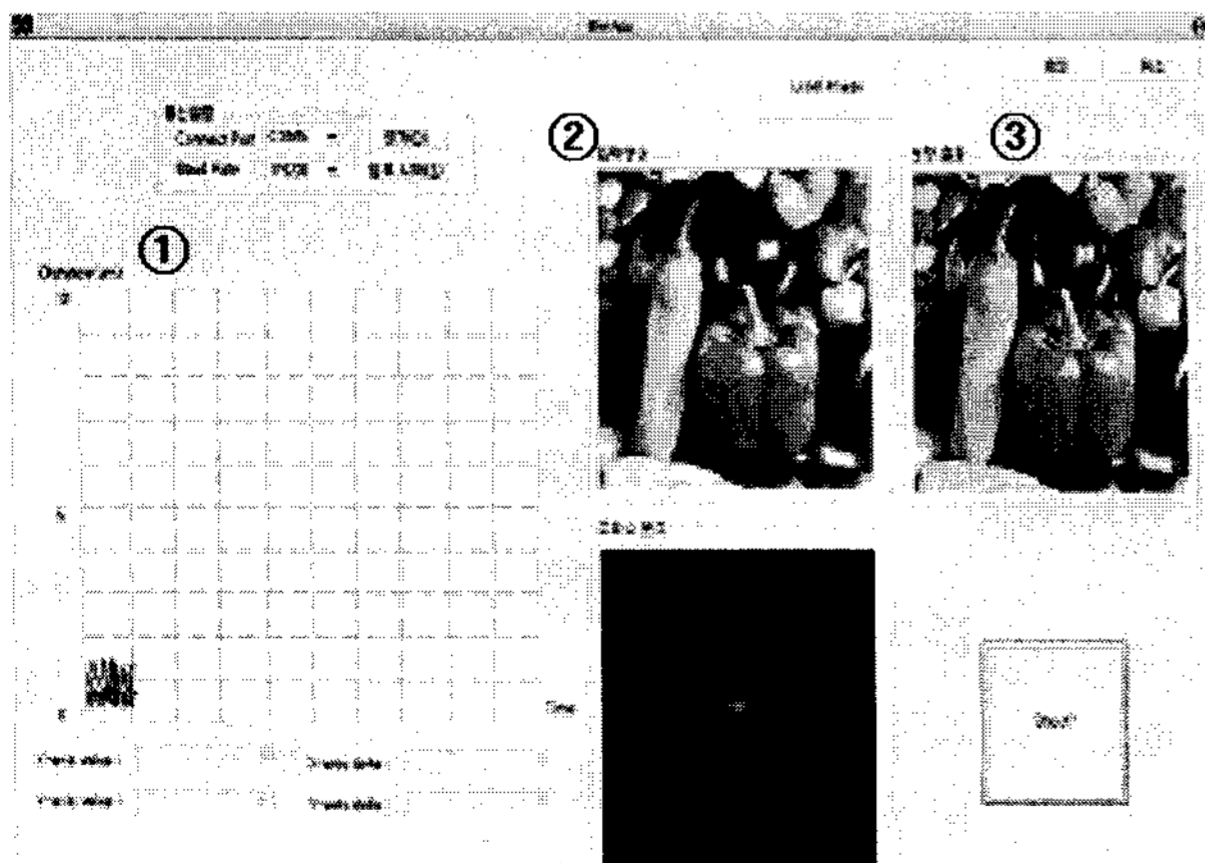


그림 19. 3축 가속도 센서를 이용한 Deblurring 실험 어플리케이션
Fig. 19. Experiment application using 3 axis accelerometer.

그림 19의 좌측에 보이는 ①로 표시된 그래프는 3축 가속도 센서로부터 받은 결과를 표시하고, X, Y축 으로 각각 이동한 픽셀 값을 표시해준다. 이렇게 얻어진 이동거리 정보를 이용하여 그림 19의 ②로 표시된 부분에 나타나는 이미지를 blurring 시킨다. Blur 효과는 각 축에 대해서 직선으로만 적용된다. 그 옆의 ③으로 표시된 부분은 deblurring 알고리즘에 의해 보정된 결과 이미지를 출력한다. 밑의 검은 부분은 이미지가 blurring 될 때의 주파수 분석을 표현한다.

그림 20은 그림 19의 실험 어플리케이션을 통해 3축 가속도 센서로부터 받은 신호를 보여준다. 그림은 20을 보면 정지 영상을 획득하는 순간 Y축으로 약 1 μ m의 미세한 떨림이 발생하였음을 확인 할 수 있다. 그리고 X축은 거의 떨림이 발생하지 않았다. 보정결과는 그림 21에 나타내었다. 그림 21은 인간이 느끼기 어려운 미세한 떨림에 의해 blur 된 이미지를 제안한 방법을 이용하여 선명하게 보정할 수 있음을 보여 준다. 그림 22는 3축 가속도 센서에서 X축과 Y축으로 떨림이 발생하는 그래프이다. 평균적으로 1 μ m의 떨림이 발생하였

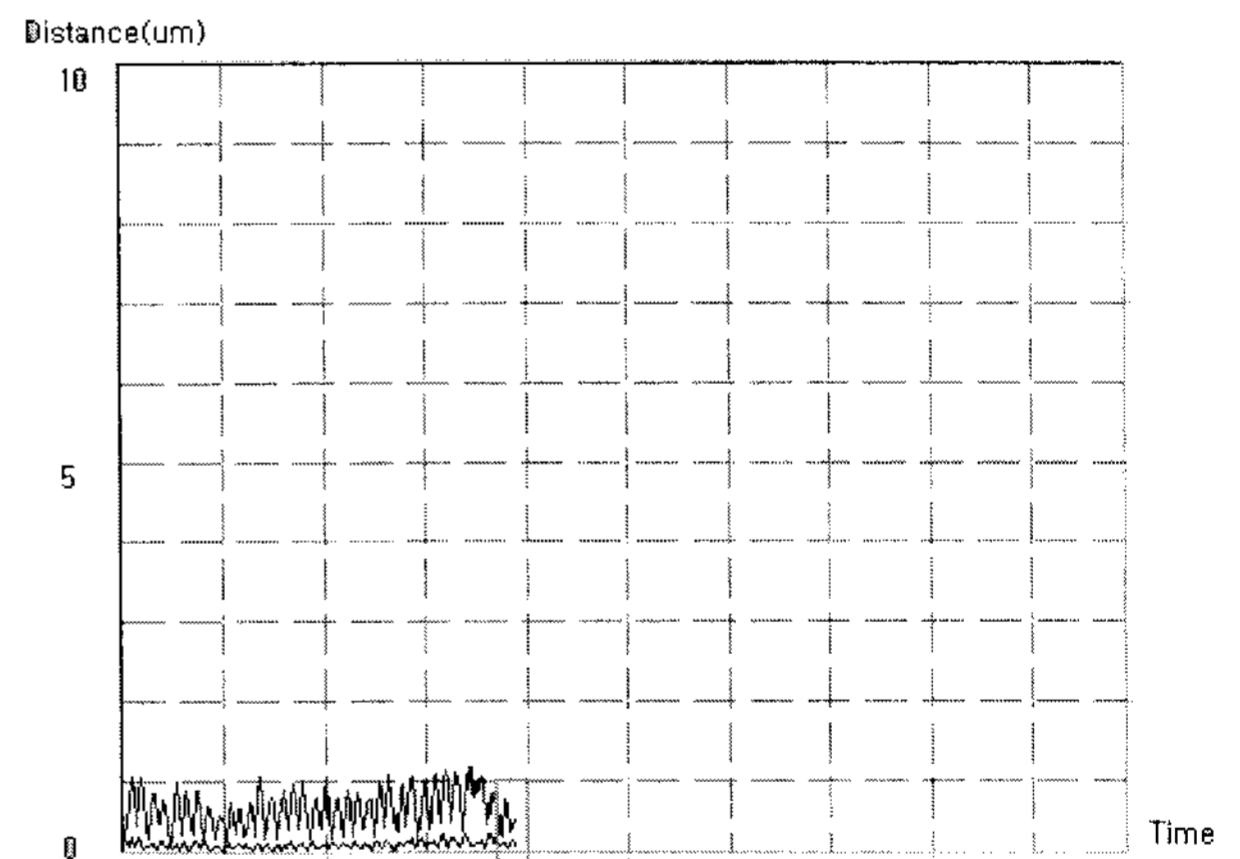


그림 20. Y축으로 떨림이 큰 그래프
Fig. 20. Graph having more trembling along Y axis.

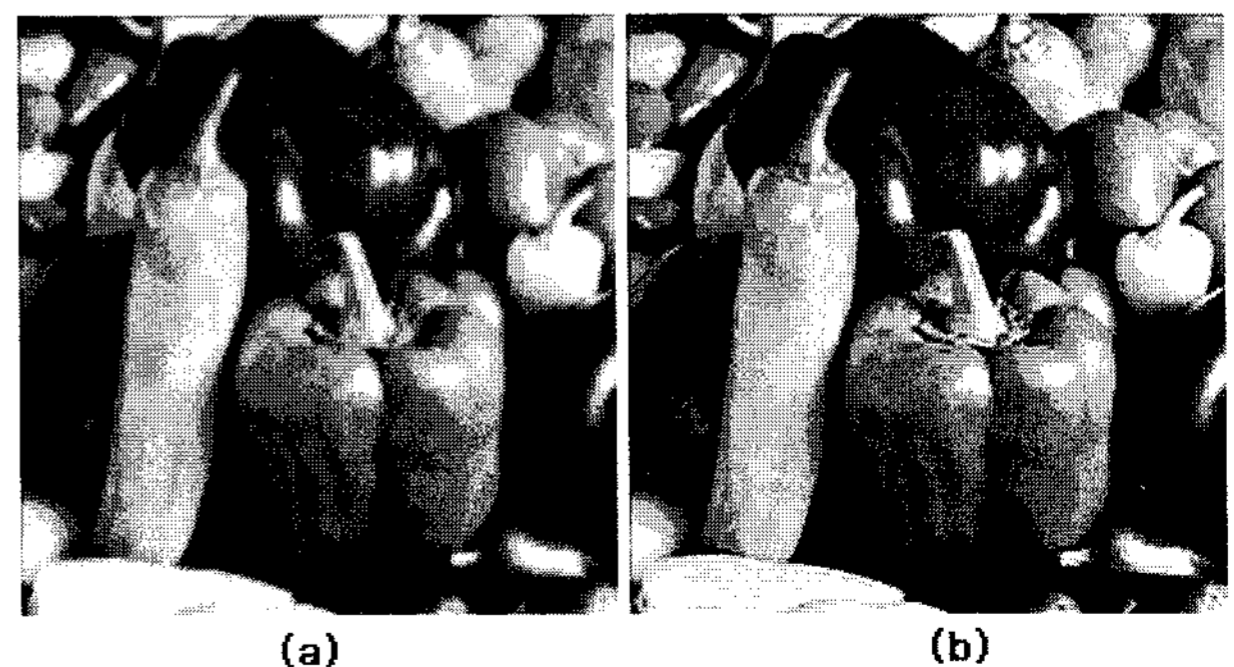


그림 21. 그림 20의 Blur이미지(a)와 보정이미지(b)
Fig. 21. Blurred image (a) and corrected image (b) of Fig. 20.

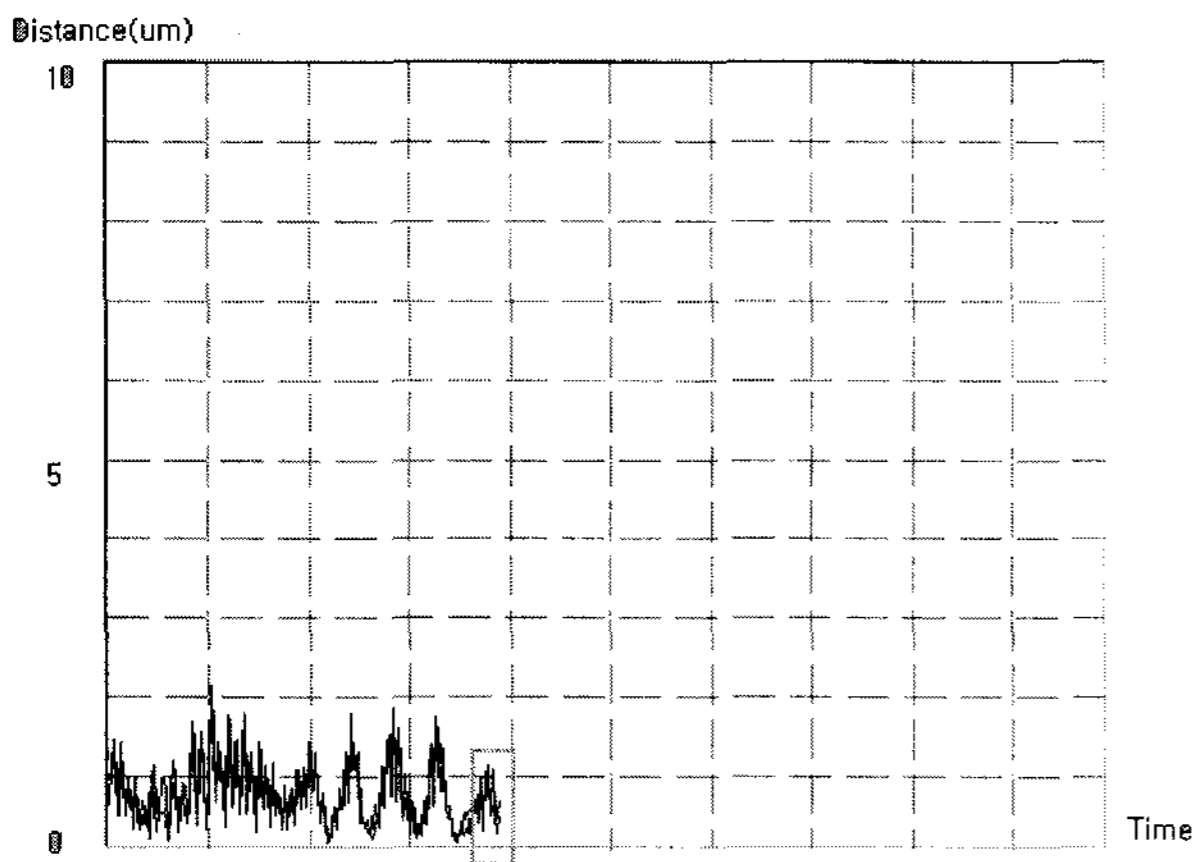


그림 22. X축과 Y축으로 떨림 발생 그래프
Fig. 22. Graph having trembling along X and Y axis.

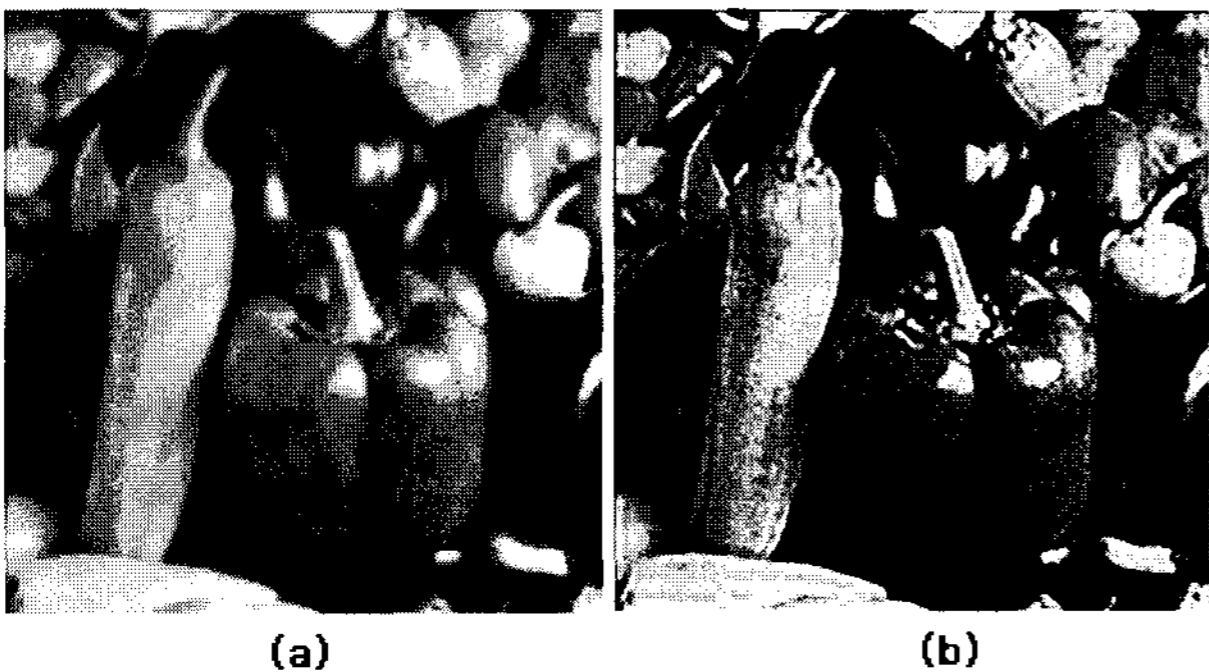


그림 23. 그림 22의 Blur이미지(a)와 보정이미지(b)
Fig. 23. Blurred image (a) and corrected image (b) of Fig. 22.

다. 그림 23은 떨림에 대한 보정결과를 나타낸다. 마찬가지로 blur 효과가 선명하게 보정되었음을 확인할 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 모바일 단말기에 탑재된 카메라 모듈로부터 3축 가속도 센서를 이용하여 사용자에게 의해 발생한 떨림 정보를 알아내고, 이 정보를 설계된 보정 알고리즘에 적용하여 이미지를 효율적으로 보정하는 방법을 제안하였다. 3축 가속도 센서가 항상 중력 방향으로 $9.8m/s^2$ 의 가속도를 출력한다는 사실에 기인하여 여섯 가지 다른 자세를 취하게 함으로 센서의 offset과 sensitivity를 보정 하였다. 이 보정된 센서출력도 미세한 정밀오차가 존재함을 확인한 후 진자운동을 통해 이를 보정하여 본 논문에서 수행한 실험에 적용 가능함을 입증하였다. 한 픽셀에 광 에너지가 입사되는 순간에 발생하는 빛의 분산에 대해 Uniform과 Gaussian분포의 두 가지를 가정하여 특성함수를 만들었고, Gaussian

에 대한 계수 값을 찾는 과정에서 non-Gaussian 분포를 발견하였고, 이 특성함수를 모델링 하였다. Uniform과 Non-Gaussian 분포에 대한 특성함수를 샘플 이미지에 적용한 결과의 PSNR을 비교하였고 Uniform 분포의 가정보다 Non-Gaussian 분포로 얻은 특성함수에 대해서 보정되는 이미지 품질이 더 좋은 것을 확인하였다. 또한 실시간으로 3축 가속도센서의 떨림 정보와 deblurring 함수를 이용하여 blur효과를 보정하는 실험 어플리케이션을 제작하여 보정효과를 확인하였다. 그 결과 미세한 blur효과도 정확하게 감지하여 이미지를 d 보정할 수 있음을 입증하였다.

본 논문에서 제안하는 방법은 blur된 이미지를 소프트웨어적으로 보정하는 한계에서 벗어나 하드웨어인 3축 가속도 센서를 추가함으로써 실제 blur현상에 더 분석적으로 접근 하였다. 또한 모바일 단말기 모듈의 환경과 비슷한 실험용 어플리케이션 환경을 구성하여 실험을 수행하고, 보정효과를 확인함으로써 앞으로의 실제 활용가능성을 보였다.

참 고 문 헌

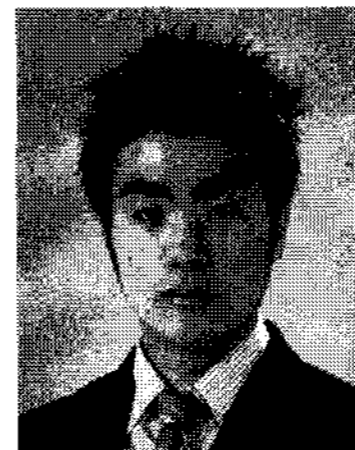
- [1] P. A. Jansson, Deconvolution of Image and Spectra, second ed. Academic Press, 1997.
- [2] Y. Zhang, C. Wen, and Y. Zhang, "Estimation of Motion Parameters from Blurred Images," Pattern Recognition Letters, vol. 21, p. 425, 2000.
- [3] C. Mayntx, T. Aach, and D. Kunz, "Blur Identification Using a Spectral Inertia Tensor and Spectral Zeros," Proc. Sixth Int'l Conf. Image Processing (ICIP '99), p. 885, 1999.
- [4] A. Stern and N.S. Kopeika, "Analytical Method to Calculate Optical Transfer Functions for Image Motion and Vibrations Using Moments," J. Optical Soc. of Am. A (Optics, Image Science and Vision), vol. 14, p. 388, 1997.
- [5] Y. Jianchao, "Motion Blur Identification Based on Phase Change Experienced After Trial Restorations," Proc. Sixth Int'l Conf. Image Processing (ICIP '99), p. 180, 1999.
- [6] B. Bascle, A. Blake, and A. Zisserman, "Motion Deblurring and Super-Resolution from an Image Sequence," Proc. Fourth European Conf. Computer Vision. ECCV '96, p. 573, 1996.
- [7] A. Stern, I. Kruchakov, E. Yoavi, and N.S. Kopeika, "Recognition of Motion-Blurred Images by Use of the Method of Moments," Applied Optics, vol. 41, p. 2164, 2002.
- [8] Y. Yitzhaky, G. Boshusha, Y. Levy, and N.S.

- Kopeika, "Restoration of an Image Degraded by Vibrations Using Only a Single Frame," *Optical Eng.*, vol. 39, p. 2083, 2000.
- [9] Y. Yitzhaky and N.S. Kopeika, "Identification of the Blur Extent from Motion Blurred Images," *Proc. SPIE Conf.*, vol. 2470, p. 2, 1995.
- [10] Y. Yitzhaky, I. Mor, A. Lantzman, and N.S. Kopeika, "Direct Method for Restoration of Motion-Blurred Images," *J. Optical Soc.*
- [11] R. Fabian and D. Malah, "Robust Identification of Motion and Out-of-Focus Blur Parameters from Blurred and Noisy Images," *CVGIP: Graphical Models and Image Processing*, vol. 53, p. 403, 1991.
- [12] Ci-Moo Song, Jin-Woo Lee, "Autocalibration Method of Three-axis Micromachined Accelerometers," *Proceedings of the Korea Institute of Power Electronics*, pp. 302-304, 2006.
- [13] D. Majchrzak, S. Sarkar, B. Sheppard, and R. Murphy, "Motion Detection from Temporally Integrated Images," *Proc. 15th Int'l Conf. Pattern Recognition*, p. 836, 2000.

저 자 소 개



박 상 용(정회원)
 2003년 한남대학교 컴퓨터공학과
 학사 졸업.
 2007년 인하대학교 정보통신과
 석사 졸업.
 2002년~현재 (주)WRG 선행기술
 그룹OMA-BCAST 팀장
 <주관심분야 : 정보보호, 컴퓨터비전, 무선통신>



박 은 수(학생회원)
 2007년 인하대학교 정보통신
 공학부 학사 졸업.
 2007년~현재 인하대학교
 정보공학과 석사 과정.
 <주관심분야 : 컴퓨터 비전, 병렬
 처리, 로봇비전>



김 학 일(정회원)
 1983년 서울대학교 제어계측
 공학과 학사 졸업.
 1985년 (미) 퍼듀대학교 전기
 컴퓨터 공학과 석사 졸업.
 1990년 (미) 퍼듀대학교 전기
 컴퓨터 공학과 박사 졸업.
 1990년 9월 현재 인하대학교 공과대학 교수
 2001년 2월~현재 한국생체인식포럼
 시험평가분과 위원장
 2002년 1월~현재 한국정보보호학회
 생체인증연구회 위원장
 2003년 3월~현재 ISO/IEC JTC1/SC37(생체
 인식) WG5(성능평가) Rapporteur Group
 2005년 4월~현재 ITU-T SG17 Q.8
 (Telebiometrics) Rapporteur
 <주관심분야 : 생체인식, 생체인식 표준화, 정보
 보호>