Regular paper http://dx.doi.org/10.13067/JKIECS.2014.9.10.1189

스마트폰 카메라에서 다중 영상을 이용한 영상 잡음 제거 알고리즘

김성운*

An Image Denoising Algorithm Using Multiple Images for Mobile Smartphone Cameras

Sung-Un Kim*

요 약

본 연구에서는 동일한 환경에서 스마트폰 카메라에서 촬영한 여러 장의 영상들로부터 얻을 수 있는 정보를 활용하여 영상 잡음을 효과적으로 제거할 수 있는 알고리즘을 개발한다. 이를 위해 스마트폰의 제한된 연산 능력에 맞는 다중 영상 정합(registration) 알고리즘을 개발하고, 다중 영상들의 정보들을 조합하여 효과적으로 영상 잡음을 제거하는 방법을 제시한다. 제시한 알고리즘을 정량적으로 잡음 제거 성능을 측정하기 위해 PSNR 값으로 비교 시 단일 영상을 이용할 때보다 훨씬 향상된 PSNR 값 향상을 가져왔다. 실제 안드로이드 스마트폰에 해당 알고리즘을 개발하여, 실제 사용 가능한 수준의 영상 처리 속도로 만족할만한 잡음 제거 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

ABSTRACT

In this study we propose an image denoising algorithm which manipulates the information obtained from multiple images in the same environment for mobile smart phones. We also envisage a multiple images registration method for mobile smart phone cameras equipped with limited computing ability and present an effective image denoising algorithm combining and manipulating the information obtained from multiple images. We proved that the proposed algorithm has much better PSNR value than the method applying single image. We verified that the propose approach has good denoising quality and can be utilized in the feasible level speed on Android smart phones.

키워드

Image Denoising Algorithm, Gaussian Noise, Image Registeration, Peak Signal to Noise Ratio(PSNR)
영상 잡음 제거 알고리즘, 가우시안 잡음, 영상 정합, PSNR

Ⅰ. 서 론

현대 사회에서 스마트폰 카메라는 항상 소지하고 다니며 일상을 기록하는데 유용하게 사용되고 있다. 그러나 스마트폰 카메라는 소형 제작된 센서를 가지고 만들어지기 때문에 빛이 충분하지 않은 환경에서 촬영 한 결과물이 잡음(noise)으로 인해 영상 품질이 떨어지는 단점을 가지고 있다[1-2]. 이를 개선하기 위해서는 영상 후처리를 통해 영상 잡음 제거를 하는 연구가 활발히 이루어졌고, 특히 제한된 연산 능력을

* 교신저자(Corresponding author) : 부경대학교 정보통신공학과(kimsu@pknu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 07. 21 심사(수정)일자 : 2014. 09. 25 게재확정일자 : 2014. 10. 17

가진 스마트폰 환경에 맞게 최적화된 알고리즘이 연구되었다.

영상 잡음을 제거하기 위해서는 일반적으로 공간 영역 또는 주파수 영역에서 인접한 화소들에 대한 회선(convolution) 방법을 이용하여 적절한 마스크를 통해 필터링을 하게 된다. 주로 사용되는 마스크로는 평균필터(mean filter), 중간 값 필터(median filter) 등이 있다. 이러한 필터들의 경우 제한된 연산 능력을 가진 스마트폰 환경에서 사용하기에는 연산 시간이 오래 소요되기 때문에, [3]에서는 라플라시안 마스크 필터를 활용하여 영상의 윤곽선을 추출하여, 윤곽선이 아닌 영역에 대해서만 평균필터 기법을 적용하는 방법으로 연산량을 줄이고, 윤곽선을 살리는 효과로 더 좋은 잡음 제거 결과물을 얻을 수 있었다.

그러나 이러한 단일 영상을 이용한 잡음 제거의 경우, 이미 첨가된 잡음에 의해 영상에서 손실된 정보 때문에 잡음 제거 결과에 있어서 한계가 있다. 주로 스마트폰 카메라를 활용하기 때문에, 이러한 손실된 정보를 보완하기 위해서는 다중 영상을 촬영하는 것이 용이하다는 점에 주목했다. 일반적으로 카메라로 촬영된 영상의 잡음은 화소 별로 독립이고, 가우시안 분포를 따른다. 통계 분포를 따르기 때문에, 다중 영상을 통해 각 화소에 대한 샘플의 수가 많아질수록, 분포의 평균값인 잡음이 첨가되지 않은 원 영상을 추정해 볼 수 있다.

따라서 본 논문에서는 가우시안 분포의 통계적 특성을 활용하여, 단일 영상에서의 잡음 제거의 한계를 뛰어넘어 다중 영상을 통한 영상 잡음 제거 알고리즘을 제시한다. 또한 다중 영상 촬영 시 촬영자의 손 떨림에 의해 다중 영상 각각의 촬영 위치가 조금씩 차이가 있을 수 있다. 다중 영상의 대응되는 각 픽셀의 위치를 맞추어 주기 위해, 영상 정합(registeration) 과정을 잡음 제거 과정 이전에 거쳐야 하는데, 본 논문에서는 스마트폰의 제한된 연산 처리 능력을 고려하여, 효과적인 영상 정합 알고리즘을 제시한다. 영상 잡음 제거 결과를 비교할 때 사용되는 PSNR을 계산하여 단일 영상에서의 잡음 제거와 성능을 비교하고, 실제 스마트폰에서 알고리즘을 구현하여 재사용 가능한 수준의 영상 처리 속도로 만족할만한 잡음 제거 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

II. 기존의 영상잡음 제거 방법

영상의 잡음 제거를 위해서는 주파수 영역 또는 공간 영역에서의 필터링 방법이 있다. 주파수 영역에서 필터링을 하려면 푸리에 변환(Fourier Transform)을 활용하여 영상을 주파수 영역으로 변환한 후, 잡음에 해당하는 고주파에 해당되는 부분을 필터링해 주는 방법을 사용한다. 이 경우 주파수 영역으로 변환 후 최종 결과를 위해 역변환을 다시 해야 된다는 점에 있어서 스마트폰 환경에서 사용하기에는 연산 량이 많다.

공간 영역에서의 필터링의 경우 적절한 마스크를 통해 인접 화소들의 정보를 활용하여 필터링하는 회선 방법을 이용하고, 주로 평균필터[4-5]와 중간 값 필터[6] 등을 활용한다. 이러한 필터들의 경우에도 영상 전체 픽셀들에 대해 회선을 행해야 하므로, 영상 크기 및 마스크의 크기에 선형적으로 비례하여 연산량이 늘어나게 된다. 연산량을 줄이기 위해, [3]에서는 영상에서 잡음 처리가 필요한 영역에 대해서만 평균필터를 활용하여 잡음을 제거하는 알고리즘을 제시하였다. 잡음 처리가 필요한 영역은 라플라시안(Laplacian) 필터를 활용하여 영상의 윤곽선을 찾아내어, 윤곽선 부분이 아닐 가능성이 높은 영역으로 정의한다.

저조도 환경에서 스마트폰을 통해 촬영된 영상은 잡음에 의해 이미 영상에서 필요한 정보가 손실되어 있는 상태이다. 그렇기 때문에 한정된 정보를 이용하여 영상 처리를 아무리 잘해도 없어진 정보들을 복원해내는 것은 어렵다. 이러한 한계점을 넘어서기 위해, 하이 다이나믹 레인지(high dynamic range: HDR) 영상기술에서는 같은 곳에서 촬영된 다수의 영상을 사용하여 손실된 정보를 보완하는 알고리즘을 개발하고 있다[7]. 다수의 영상을 사용하기 위해서는, 각각 촬영된 위치가 조금씩 다를 수 있기 때문에, 먼저 영상들끼리 같은 픽셀의 위치를 맞추어주는 작업이 필요하다. 이 과정을 정합이라고 한다. 정합을 위해서는 영상 자체의 픽셀 정보를 직접 활용하여 비교하는 방법이 있고, 영상으로부터 의미 있는 특징점(feature)를 뽑아 영상 간의 특징점 매칭(matching)을 통하여 정합을 하는 방법이 있다. 후자의 경우 특징점 추출 및 매칭에 대한 연산 량이 크기 때문에, 스마트폰 환경에

서 사용하기 위해서, 전자의 픽셀 정보를 사용하여 정합을 하는 알고리즘을 개발하였다.

III. 제안된 방법

본 논문에서 제안하는 다중 영상을 이용한 영상 잡음 제거 알고리즘의 순서도는 그림 1과 같다. 영상 전체의 밝기가 어두워 잡음 제거가 필요할 경우, 다중 영상 이미지들에 대해 우선 정합 과정을 거치게 된다. 이는 다중 영상 촬영 시 손 떨림에 의해 각 영상을 촬영한 위치가 약간씩 어긋나게 되므로, 이를 보정해 주기 위함이다. 정합이 끝난 후, 다중 영상들을 활용하여 영상 잡음 제거를 평균(mean) 값을 활용하여 하게 된다. 각각의 과정을 순서대로 알아보도록 하겠다.

(과정 1)

스마트폰으로 부터 얻은 RGB 색 공간으로 이루어진 영상을 활용하여, 먼저 미리보기(thumbnail) 영상을 생성한다. 영상의 크기는 원본 크기의 가로 세로 가각 1/8, 즉 전체로 보았을 때 1/64로 지정하였다. 이는 정합 시 이상점(outlier) 영상을 제거하는 용도로 사용한다.

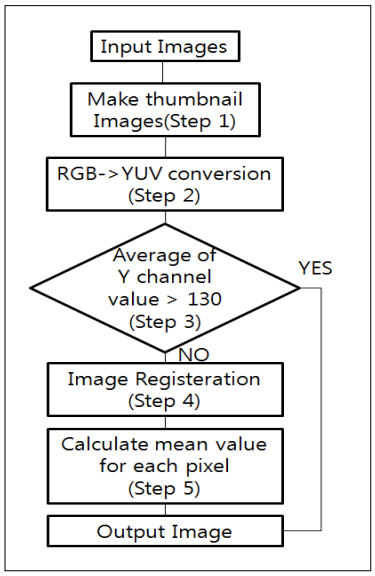

그림 1. 제안하는 영상잡음 제거 알고리즘
Fig. 1 Proposed image denoising algorithm

(과정 2)

정합 시 영상의 밝기 정보만 필요하고, 또한 영상 전체의 밝기를 구하기 위해, 색 공간을 변환하는데, YUV, HSI, HSV, LAB 등의 다양한 색 공간을 이용할 수 있다. 본 논문에서는 YUV 색 공간을 활용하기로 하였는데, 이는 실험한 안드로이드 스마트폰 환경에서 YUV로 변환 가능한 인터페이스를 안드로이드에서 제공하기 때문에 변환이 용이했고, 실제 여러 색 공간 간의 결과물에 대한 차이는 크게 없었기 때문이다. 실제 RGB 색 공간에서 YUV 색 공간으로 변환하는 공식은 아래와 같다.

$$\begin{aligned} Y &= 0.3R + 0.59G + 0.11B \\ U &= 0.493(B - Y) \\ V &= 0.877(R - Y) \end{aligned} \tag{1}$$

(과정 3)

[3]에서처럼, 영상 전체의 밝기를 판단하여 저조도 환경인지 확인하기 위해, 영성 전체의 휘도(Y)값 평균을 구하여, 그 값이 130 이하일 경우에 잡음 제거 알고리즘을 따라가도록 하였다.

(과정 4)

본 논문에서는 잡음 제거를 더 효과적으로 하기 위해 다중 영상을 활용한다. 다중 영상 촬영 시, 촬영자의 손 떨림으로 인해 각 영상을 촬영한 위치가 약간씩 어긋나는 문제가 있다. 이 때문에, 각 영상에서 서로 대응되는 픽셀의 위치가 달라 영상을 맞추어주지 않을 경우 그림 2의 (a)에서와 같이 영상들이 여러 겹으로 겹쳐 보이는 고스트(ghost) 현상이 일어나기 때문에 맞추어 주는 작업이 반드시 필요하다. 이러한 과정을 정합과정이라 칭한다. 이는 하이 다이나믹 레인지 영상을 생성할 때에도 필요한 작업으로, 주로 사용되는 알고리즘인 [8]의 영상 정합 과정을 개량하여 제한된 연산을 할 수 있는 스마트폰 환경에 맞도록 개량하였다. 전체적인 영상 정합 알고리즘은 다음과 같다. 이 논문에서는 연산량을 고려하여 영상 정합을 위해 x, y 방향의 평행 이동만을 고려한다.

(1) 현재 영상과 기준 영상에 대해, Y값 128을 기준으로 이진 영상을 구한다. (Y가 128 이상일 때 1, 아니면 0)
(2) x=-1, 0, 1 , y = -1, -0, 1 에 대해, 현재 영상의 이진 영상을 x, y만큼 평행 이동한다.
(3) 평행 이동한 현재 이진 영상과 기준 이진 영상 간에 XOR 비트 연산을 행한다.
(4) 비트 연산 결과 전체 영상에서 1의 개수를 구한다.
(5) 1의 개수가 가장 작은 경우를 저장해 놓는다.
(6) 1~5까지의 결과를 영상의 가로, 세로를 반씩 줄여서 재귀적으로 행한다. (재귀 단계는 n번)
(7) 위 전체 과정을 먼저 미리보기(thumbnail) 영상에 대해 진행하여(n=2), 영상을 x, y로 4이상 움직여야 하면 해당 영상은 이상점(outlier) 영상으로 판단하여 사용하지 않는다.
(8) 이상점(outlier) 영상이 아닌 경우, 원본 크기 영상에 대해 추가적으로 영상 정합을 수행하여 최종 결과물을 얻는다. (n=3)

위의 알고리즘은 [8]에서 제안한 방법에서 우리는 스마트폰의 제한된 연산능력에 맞추기 위해 전체 영상에 대한 중간값을 대신 128이라는 고정값을 기준을 이진 영상을 생성하였다. 기준 이진 영상과 정합을 위해 평행 이동한 이진 영상의 각 픽셀에 대해 XOR 비트 연산을 하게 되면, 서로 다른 값을 가지고 있는 픽셀들에 대해서만 1의 값을 가지게 되므로, 비트 연산 결과 이미지로부터 1의 개수를 세면 전체 영상들 간 다른 픽셀의 개수를 구할 수가 있다. 9가지 평행 이동 경우의 수 중 이 개수가 가장 적은 경우가 가장 비슷한 영상이 되므로 정합이 잘 된 경우가 된다.

(a) 정합하지 않았을 경우의 결과 (b) 정합한 후 결과

(a) Befor of image registration (b) After of image registration

그림 2. 정합 과정 여부에 따른 최종 결과 비교
Fig. 2 Final result comparison before and after of image registeration

위 과정을 재귀적으로 영상 크기를 반씩 줄여가면서 반복하여 행하게 되는데, 이렇게 하는 이유는 전체 연산 량을 줄이기 위해서이다. 이러한 방법을 사용하게 되면 총 테스트해 볼 가짓수가 2^n이라고 했을 때, 원본 크기의 영상에 모든 경우의 수에 대해 가장 정합이 잘 된 경우를 찾는 것 보다 $\log n$ 배만큼 연산량을 줄일 수 있게 된다. 이는 영상 처리에서 가속화를 위해 자주 이용되는 방법으로, 이 구조를 영상 피라미드 구조라고 한다.

또한, [9]에서처럼 본 정합 과정을 미리보기 영상에서 우선적으로 시행하여, 정합 시 너무 많은 양을 평행 이동을 시켜야 할 경우, 정합 결과가 떨어질 수 있으므로 이상점 영상으로 보고 뒤 과정에서 사용하지 않도록 1차적으로 걸러내 준다. 미리보기 영상의 경우 원본 영상보다 훨씬 작기 때문에, 이상점 영상들에 대해 전체 영상에 대해 정합 계산을 하기 전에 미리 걸러 내어 불필요한 연산을 추가적으로 줄일 수 있도록 하였다.

(과정 5)

각 영상에 대해 영상 정합을 마친 후, 최종 잡음 제거 영상을 얻기 위해, 각 픽셀에 대해 각 영상에 대응되는 위치에 픽셀 값에 대한 평균값을 구한다. 이를 수식으로 표현하면 다음 (2)과 같다. 여기서 n Images는 총 다중 입력 영상의 개수이고, $I_i(x, y)$는 i 번째 다중 영상의 x, y좌표의 픽셀 RGB 값이다.

$$Result(x,y) = \frac{\sum_{i}^{nImages} I_i(x,y)}{nImages} \quad (2)$$

다중 영상들의 평균값을 이용하는 것이 의미가 있는 이유는 카메라 촬영 시 생기는 잡음이 독립적으로 가우시안 분포를 따르기 때문이다. 분포를 따르고 있기 때문에, 샘플 수가 많아질수록 샘플 전체에 대한 평균값은 실제 분포의 평균 값, 즉 잡음이 없는 원 영상의 값에 가까워지게 된다. 따라서 다중 영상들의 정합이 제대로 이루어졌다면, 다중 영상의 개수가 증가함에 따라, 전체 다중 영상의 평균을 취하게 되면 원 영상에 가까운 영상을 얻을 수 있게 되는 것이다. 이는 다음 장에서 실제 결과를 확인 할 수 있고, 한 장의 영상을 이용하여 잡음 제거를 했던 [3]에 비해 월등히 뛰어난 잡음 제거 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

IV. 시뮬레이션 및 성능평가

성능 평가를 위해 실제 촬영된 영상은 기준이 될 기준 영상이 존재하지 않기 때문에, 임의로 영상에 카메라 잡음과 유사하도록 임의적으로 잡음을 추가하여 테스트 하였다. 카메라 촬영시 생기는 잡음은 가우시안 분포를 따르므로, 가수시안 분포를 따르도록 임의로 잡음을 추가한 영상을 10장씩 생성하였다. 원 영상은 영상처리에서 주로 사용하는 LENA 영상을 이용하였고, 원본 크기는 512 x 512이다.

그림 3은 위의 방법에 의해 만들어진 영상 10장 중 한 장과, [3]에서의 결과와 제시한 알고리즘에 의해 잡음이 제거된 영상이다. 잡음은 표준 편차 45로 가우시안 잡음을 추가하였다. 실험은 안드로이드 스마트폰인 삼성 갤럭시 S3를 활용하여 실행하였다.

(a) 원 영상
(a) Original image

(b) 잡음이 첨가된 영상
(b) Noised image

(c) 한 장의 영상을 이용한 기존의 방법 적용
(c) Single image

(d) 제안한 알고리즘(5장) 적용
(d) Multiple images(5)

(e) 제안한 알고리즘(10장) 적용
(e) Multiple images(10)

그림 3. LENA 영상에 대한 시뮬레이션 결과
Fig. 3 Simulated LENA images

그림 3은 LENA영상에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림 3의 (a)는 원 영상이고 (b)는 원 영상에 대하여 표준편차(σ)가 50인 가우시안 잡음을 주입한 영상이며 (c), (d), (e)는 각각 가우시안 잡음을 제거한 기존의 필터 기법들과 제안된 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 결과이다.

결과에서 볼 수 있듯이, 한 장의 영상을 이용하여 잡음을 제거했을 때보다 여러 장의 영상을 이용한 본 연구의 결과가 육안으로도 훨씬 개선되었음을 확인할 수 있다. 이는 카메라 촬영 시 생기는 잡음이 가우시안 분포를 따르고, 각각의 화소들이 서로 독립적이기 때문에, 여러 장의 영상 정보의 통계값을 이용하게 되면 점점 분포의 평균값, 즉 원본 화소의 값에 가까운 값을 얻을 수 있다. 이는 (d)와 (e)를 비교할시, 5장의 영상 정보를 더 이용한 (e)의 결과가 더 나아짐에서 확인할 수 있다.

[3]에서와 마찬가지로, 잡음이 첨가된 영상에 제안된 알고리즘을 적용한 후 잡음 제거 성능에 주로 사용되는 지표인 PSNR(peak signal to noise ratio)[9]값을 비교하여 [3]과 결과를 비교하였다. 보통 PSNR의 값이 30이상일 경우 원본 이미지와 비교했을 때 거의 육안으로 봤을 때 동일하다고 볼 수 있다.

PSNR은 다음 식 (3)으로 정의되고, MSE(Mean Squared Error)는 식 (4)로 얻는다[10]. 식 (3)에서 255는 샘플 픽셀이 8비트임을 나타내고, 식 (4)의 R과 C는 영상의 행렬의 가로 및 세로 크기를 의미하며, O는 원 영상, N는 잡음이 첨가된 영상을 의미하며 행렬 값은 해당 화소 값을 나타낸다.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10}\left[\frac{255^2}{MSE}\right] \tag{5}$$

$$MSE = \frac{1}{R \cdot C}\sum_{i=0}^{R-1}\sum_{j=0}^{C-1}[O(i,j) - N(i,j)] \tag{6}$$

성능 분석을 위하여 가우시안 분포를 따르도록 LENA 영상을 이용하여 평균 0, 표준편차를 20에서 45로 5씩 늘려가며 가우시안 잡음을 임의로 추가하여 각각 10장씩 생성하여 PSNR 값을 측정하여 얻은 결과는 그림 4와 표 1과 같다.

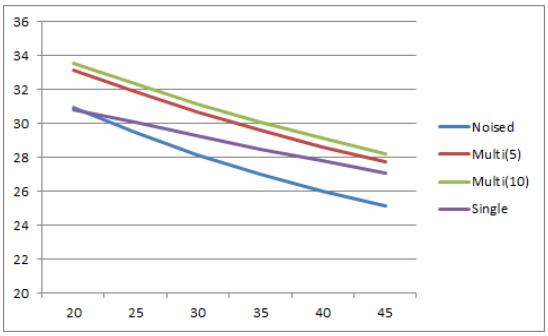

그림 4. LENA영상에 대한 PSNR 비교
Fig. 4 PSNR comparison of LENA images

표 1. 각 필터의 LENA영상에 대한 결과 비교
Table 1. PSNR values of LENA images

Standard deviation (σ)	Application techniques(Unit : dB)			
	Noised	Single Image Filter[10]	Proposed Multi Image Filter (5 Images)	Proposed Multi Image Filter (10 Images)
20	30.941	30.846	33,178	33.560
25	29.477	30.846	31.900	32.330
30	28.175	29.281	30.703	30.159
35	27.029	28.510	29.614	30.085
40	26.034	27.790	28.638	29.119
45	25.150	27.110	27.764	28.244

결과에서 볼 수 있듯이, 다중 영상을 활용한 본 논문에서 제시한 알고리즘이 [3]에 비해 잡음이 첨가된 영상 대비 PSNR 증가 수치가 항상 높음을 볼 수 있다. 특히, 5장의 다중 영상을 활용했을 때보다 10장을 활용 했을 때, 가우시안 분포의 평균값에 점점 가까워지게 되므로, PSNR 증가 수치가 더 높아짐을 볼 수 있다. [3]에 비해, 5장을 이용했을 시, 잡음이 첨가된 영상 대비 PSNR 증가 수치가 23.54배, 10장을 이용했을 시 27.57배 증가 하였다. 전체 프로세싱 시간은 [3]의 경우 460ms, 제시한 알고리즘의 경우 5장 이용했을 시 407ms로 조금 더 빨랐고, 10장 이용했을 시 652ms로 약간 더 소요되었다. 이는 결과물에서 얻는 이득을 고려할 때 큰 차이는 아닌 것으로 판단된다.

V. 결 론

본 논문에서는 다중 영상을 활용하여 저조도 환경에서 스마트폰 카메라를 위한 영상 잡음 제거를 제시하였고, [3]에서 제시하였던 단일 영상을 이용한 잡음 제거 알고리즘에 비해 비슷한 수준의 처리 속도로 PSNR 기준 최대 27.57배 잡음 제거 효과를 볼 수 있는 알고리즘을 제시하였다. 이는 다중 영상을 활용할 시 각 화소의 통계값을 활용하여 가우시안 분포를 따르는 잡음들에 대해서 샘플 수가 많아질수록 분포의 평균값, 즉 잡음이 없는 원본 영상에 가까운 값을 얻게 되므로, [3]에 비해 좋은 결과를 얻을 수 있다. 또한, 스마트폰에서 다중 촬영을 하게 될 경우, 손 떨림에 의해 영상들의 촬영된 위치가 조금씩 어긋나게 되는데, 본 알고리즘에서는 스마트폰 환경에 맞도록 연산 량을 조절하여, 영상들을 정합하는 방법을 제시하였다. 또한 실제 안드로이드 스마트폰에 해당 알고리즘을 개발하여, 실제 사용 가능한 수준의 영상 처리 속도로 만족할만한 잡음 제거 효과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

본 논문에서는 다중 영상들에 대해 영상 잡음을 제거하기 위해 각 픽셀값을 다중 영상들의 평균값을 간단히 활용하였다. 단일 영상에 비해 월등히 뛰어난 결과를 얻었으나, 미래의 연구에서는 더 좋은 방법의 필터링 기술을 연구해 볼 수 있을 것으로 예상한다. 또한, 본 논문에서 제시한 알고리즘은, 사용된 다중 영상의 개수에 비례하여 처리 속도가 선형적으로 증가하는데, 이를 좀 더 줄일 수 있는 연구 또한 필요하다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비 (2014년)에 의하여 연구되었음.

References

[1] J. Park, H. Kim, and Y. Yu, “Video Based Fire Detection Algorithm using Gaussian Mixture Model,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 2, no. 2, 2011, pp. 206-211.

[2] J.-S. Park, J.-K. Song, and B.-Y. Yoon, “Gaussian Mixture Model Based Smoke Detection Algorithm Robust to Lights Variations,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 7, no. 4, 2012, pp. 733-739.

[3] S.-U. Kim, “An Image Denoising Algorithm for the Mobile Phone Cameras,” *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 9, no. 5, 2014, pp. 601-607.

[4] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital image processing using MATLAB (2nd edition)*. Columbus, USA: MaGrowHill, 2011.

[5] G. Yinyu and N.-H Kim, “The modified mean filter to remove AWGN,” *J. of the Korea Institute of Maritime Information & Communication Sciences.*, vol. 15, no. 5, 2011, pp. 1177-1182.

[6] T. Huang, G. Yang, and G. Tang, "A fast two-dimensional median filtering algorithm," *IEEE Trans. Acoust., Speech, Signal Processing*, vol. 27, no. 1, 1979, pp. 13–18.

[7] G. Ward, "Fast, Robust Image Registeration for Compositing High Dynamic Range Photographs from Handheld Exposures," *J. of graphics tools*, vol. 8, no. 2, 2003, pp. 17-30.

[8] A. R. Smith, “Color Gamut Transform Pairs,” *ACM SIGGRAPH Proc. of the 5th annual conf. on Computer graphics and interactive techniques*, New York, Aug. 1978, pp. 12-19.

[9] S. Winkler and P. Mohandas, “The Evolution of Video Quality Measurement: From PSNR to Hybrid Metrics,” *IEEE Trans. Broadcasting*, vol. 54, issue 3, 2008, pp. 660-668.

[10] D. Wackerly, W. Mendenhall, and R. L. Scheaffer, *Mathematical Statistics with Applications (7th edition)*. Toronto, Canada: Thomson Learning, Inc. 2007.

저자 소개

김성운(Sung-Un Kim)

1982년～1985년 한국전자정보통신연구소 연구원

1985년～1995년 한국통신연구 개발원 선임연구원 실장

1989년～1993년 프랑스 파리 7대학 석·박사

1995년～현재 부경대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 무선네트워크 보안기술, 열차제어신호 전송 기술, 센서네트워크, 수중 센서네트워크, 센서 노드 이동성 지원 기술, USN, DWDM, RWA 알고리즘