

스마트폰 카메라를 위한 영상 잡음 제거 알고리즘

김성운*

An Image Denoising Algorithm for the Mobile Phone Cameras

Sung-Un Kim*

요 약

본 연구에서는 스마트폰의 제한된 연산 환경에 적합한 영상 잡음 제거 알고리즘을 개발하여 기존의 연구들과 비교할 시에 스마트폰에서 보다 빠르게 영상 후처리 결과물을 얻고, 품질적인 면에서도 비교할 만한 수준의 영상을 얻는 앱 환경에서 실용적인 알고리즘을 제안한다. 제안된 저조도 환경에서 스마트폰 카메라를 위한 영상잡음 제거 알고리즘은 영상획득 과정에서 발생한 가우시안 잡음만 찾아내어 제거함으로써 영상 복원과정에서 발생하는 연산량을 감축하면서 윤곽선의 블러링 현상을 방지한다. 실험 결과에 의하면 기존의 평균필터와 메디언 필터 적용 기법들에 비해 훨씬 양호한 PSNR 값을 가짐을 보였다. 그리고 영상 내 윤곽선의 흐려짐을 방지하여 기존의 방법들에 의한 결과들보다 선명한 영상 품질을 가지며, 또한 기존의 라플라시안 마스크 연산적용에 비해 연산량을 약 52% 감소시킴으로서 안드로이드 기반의 스마트폰 카메라 앱으로 구현 및 적용했을 때도 복원된 영상이 원 영상에 훨씬 근접하는 영상복원 성능을 가짐을 확인하였다.

ABSTRACT

In this study we propose an image denoising algorithm appropriate for mobile smart phone equipped with limited computing ability, which has better performance and at the same time comparable quality comparing with previous studies. The proposed image denoising algorithm for mobile smart phone cameras in low level light environment reduces computational complexity and also prevents edge smoothing by extracting just Gaussian noises from the noisy input image. According to the experiment result, we verified that our algorithm has much better PSNR value than methods applying mean filter or median filter. Also the result image from our algorithm has better clear quality since it preserves edges while smoothing input image. Moreover, the suggested algorithm reduces computational complexity about 52% compared to the method applying original Laplacian mask computation, and we verified that our algorithm has good denoising quality by implementing the algorithm in Android smart phone.

키워드

Image Denoising Algorithm, Gaussian Noise, Mean Filter, Laplacian Filter, Peak Signal to Noise Ratio(PSNR)
영상 잡음 제거 알고리즘, 가우시안 잡음, 평균 필터, 라플라시안 필터, PSNR

1. 서 론

스마트폰 카메라는 소형화된 모듈 및 센서를 가지

고 만들어지기 때문에 어두운 장소 및 실내 등의 열악한 환경에서 촬영 시 잡음(noise)이 많아 영상 품질이 떨어진다. 이러한 영상 품질을 개선을 목적으로 영

* 교신저자(corresponding author) : 부경대학교 정보통신공학과(kimsu@pknu.ac.kr)
접수일자 : 2014. 03. 13

심사(수정)일자 : 2014. 04. 21

게재확정일자 : 2014. 05. 15

상 잡음 제거를 위한 영상 후처리 연구가 다양하게 이루어졌으나, 제한된 연산 능력을 가진 스마트폰에서 직접 활용하기 위해서는 스마트폰 환경에 맞게 최적화된 알고리즘이 필요하다[1].

영상잡음은 영상의 획득, 변환 및 전송 과정에서 혼입되는 원 영상을 훼손하는 불필요한 정보를 의미한다. 일반적으로 저조도 환경에서는 스마트폰 카메라로 영상을 획득하는 경우 이미지 센서 동작과정에서 발생하는 하드웨어적 잡음 즉, 열잡음(thermal noise)이 발생한다. 이러한 잡음들은 획득영상에서 가우시안 잡음 형태로 발생하여 원 영상에 대한 왜곡을 유발한다[2-4].

일반적으로 가우시안 잡음이 섞인 영상을 개선하기 위한 방법으로는 공간영역에서의 필터링 방법으로 인접한 화소들 사이의 관계를 활용하여 마스크 영역의 중심화소를 적절한 수치로 수정하는 평균필터(mean filter)[5-6] 적용방법과 메디언필터(median filter)[7] 적용 기법들을 활용한다[8]. 이러한 방법들의 적용은 에지에서 블러링 현상이 유발된다[2-4]. 이러한 블러링 현상을 개선하기 위해 여러 가지 방법들이 제안[4]되었지만, 제한된 연산 능력을 가진 스마트폰에서 간편하게 직접 활용하기 위해서는 연산량 감축 역시 고려되어야할 중요 요소이다.

따라서 본 논문에서는 저조도 환경에서 스마트폰 카메라로 획득된 영상에서 가우시안 잡음을 제거한 영상으로 개선하기 위해, 먼저 라플라시안(laplacian) 마스크 필터[9]를 이용하여 윤곽선을 추출한다. 다음으로 추출된 화소 값을 기준으로 가우시안 잡음이 포함된 화소를 선별한 후 평균필터 기법을 적용하여 가우시안 잡음을 제거하는 스마트폰 앱 환경에 적합한 알고리즘을 제안한다. 그리고 제안한 잡음제거 방법의 성능을 라플라시안 마스크 필터 개념을 적용한 계산량 비교를 통해 평가하고, 또한 평균필터 만을 적용하였을 경우 또는 메디언필터 만을 적용했을 경우에 대해 PSNR(peak signal to noise ratio)[10]값을 비교하여 기존의 방법들과의 차별성을 검증하였다. 마지막으로 제안된 알고리즘을 실제로 구현한 안드로이드 스마트폰 앱에 적용하여 잡음 제거 특성을 확인하였다.

II. 기존의 영상잡음 제거 방법

일반적으로 영상의 가우시안 잡음을 제거하기 위한 방법으로는 공간영역에서는 대표적으로 평균필터 및 메디언 필터 적용 기법들이 있으며, 주파수 영역에서는 고역통과필터 적용 방법[4]이 있다. 주파수 영역 필터링 기법들은 계산 과정이 복잡하여 연산량이 많아 스마트폰 카메라 환경에서 적용하기 곤란하여 본 논문에서는 공간영역 필터링 방법으로 접근한다[5].

일반적으로 공간영역에서의 필터링 접근방법은 크게 공간선형필터링 개념에 기초를 둔 방법과 그것의 변형 방법, 그리고 비 공간선형필터링 개념에 기초를 둔 방법 및 그것의 변형 방법들이 가우시안 잡음 개선을 위해 연구 및 적용되어 왔는데, 이들의 개념 및 장단점은 다음과 같이 정리할 수 있다.

우선 공간선형 필터링 접근방법에는 대표적인 방법인 평균 필터 방법과 변형된 형태로 적용하는 변형법으로 구분된다. 첫 번째로 평균 필터 방법은 필터링하고자 하는 마스크의 중심 화소를 인접한 화소와의 평균값으로 대체하여 잡음을 제거하는 방법으로 고주파 영역 윤곽선의 상세 정보를 고려하지 않기 때문에 영상 내 윤곽선을 보존하지 못하는 블러링 현상을 유발 시킬 수 있는 단점이 있다[5]. 또한 이것의 변형법으로 잡음이 추가된 영상에 적용할 마스크 내의 표준편차 값을 구하고 임계값에 따라 레벨을 나눈 후 마스크 위치에 따라 레벨을 고려하여 에지 보존을 개선하는 방법이 있다[6].

비 공간 선형 필터링 접근 방법에는 대표적 방법으로 메디언 필터 방법이 있는데, 이 방법은 처리화소와 인접화소로부터 마스크 내의 화소들을 크기가 작은 화소들로부터 정렬한 후에 중앙 화소 값으로 대체하는 간단한 방법이다[7]. 그러나 잡음 값을 그 주위에 있는 가장 근접한 값을 대체하기 때문에 잡음성분이 선택되는 경우가 적은 단점이 있다.

마지막으로 가우시안 필터 응용방법이 있는데 이 방법은 잡음 추정을 이용한 개선된 노이즈를 제거하는 방법이다[11].

위에서 설명한 영상복원에 사용하는 방법들의 특성을 요약하면 평균필터 기법의 경우는 잡음 성분도 평균의 계산에 포함되므로 출력이 잡음의 영향을 받는다. 하지만 메디언 필터의 경우는 잡음 값을 그 주위에 있는 가장 근접한 값으로 대체하여 잡음 성분이 선택되는 경우가 드물다. 따라서 메디언 필터 기법을

적용한 출력영상은 잡음의 영향을 거의 받지 않지만 마스크 내 모든 화소를 정렬하기 때문에 시간상으로 평균필터보다 5배정도 더 소요된다는 단점이 있다. 결국 이점이 제한된 연산 능력을 가진 스마트폰에서 직접 활용하기 위해서는 문제가 된다.

III. 제안된 방법

본 논문에서 제안한 저조도 환경에서 스마트폰 카메라를 위한 영상잡음 제거 알고리즘은 영상획득 과정에서 발생한 가우시안 잡음만 찾아내어 제거한다. 즉 평균필터 적용기법은 잡음 제거 과정이 영상 전체를 대상으로 하여 영상 복원과정에서 블러링 현상이 발생하는데 반해, 제안한 알고리즘은 먼저 라플라시안 마스크 필터링으로 가우시안 잡음으로 추정되는 화소만 선별한 후, 그 다음으로 평균필터 기법을 적용하여 연산량 감축과 윤곽선의 블러링 현상을 방지한다. 결과적으로 저조도 환경에서 스마트폰 카메라로 획득한 영상의 가우시안 잡음을 제거함과 동시에 블러링 현상을 방지하는 효과를 가져 제한된 연산 능력을 가진 스마트폰 앱 환경에서 적합한 알고리즘으로 고려된다. 제안하는 알고리즘의 순서도는 그림 1과 같다.

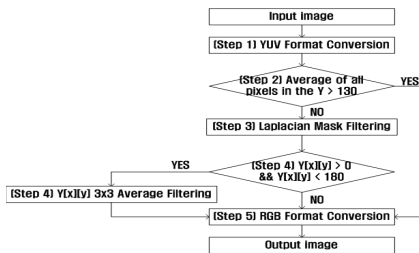


그림 1. 제안하는 영상잡음 제거 알고리즘
Fig. 1 Proposed image denoising algorithm

(과정 1)

먼저 영상획득 및 처리의 모든 과정이 스마트폰에서 이루어지기 때문에 2차원 배열 1개로만 처리하여 연산 양을 줄인다. 따라서 투명도(A), 적색(R), 녹색(G), 청색(B)로 이루어진 2차원 배열 4개로 이루어진 ARGB_8888방식의 32비트 컬러 영상을 휘도 신호(Y), 휘도 신호와 청색 성분의 차(U), 휘도 신호와 적색

성분의 차(V)의 3가지 정보로 색을 나타내는 형식인 YUV방식으로 변환하고 2차원 배열 1개인 휘도신호(Y)로만 표현된 영상만 이용한다[4]. ARGB_8888방식의 영상을 YUV방식 영상으로 변환하는 과정은 식 (1)과 같다.

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

(과정 2)

두 번째로, 휘도신호(Y)로만 표현된 영상의 각 화소는 모두 0에서 255 범위 내의 값을 갖게 되는데 영상 내 전체 화소 값의 평균으로 영상의 획득 당시가 저조도 환경이었는지 판별하는 데 활용한다. 전체 화소 값의 평균이 130이상인 경우는 저조도 환경에서 획득한 영상이 아닌 경우로 판단하고, 다만 130이하인 경우를 저조도 환경에서 획득한 영상이라 가정하여 제안하는 알고리즘을 적용한다.

(과정 3)

세 번째로, 저조도 환경에서 획득된 영상을 대상으로 하여 휘도신호(Y)로만 표현한 영상을 라플라시안 마스크 필터링 기법을 적용하여 윤곽선을 추출한다. 라플라시안 마스크 필터링은 x와 y방향으로 함수의 변화량을 찾아내어 윤곽선을 검출하는 기법이다[9]. 일반적으로 2차 미분 값을 이용하는 라플라시안 마스크 필터링 기법은 모든 방향의 윤곽선 검출은 물론 완만한 경사를 이루는 윤곽선도 검출이 가능한 장점을 가지고 있다.

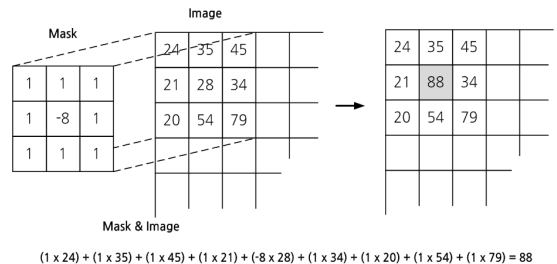


그림 2. 라플라시안 마스크 필터의 동작과정
Fig. 2 Operation process of Laplacian mask filter

라플라시안 마스크 필터링의 결과는 원 영상의 중앙 화소 값을 변화시키는 개념으로 동작과정은 그림 2와 같이 중앙값은 음수를 가지며 모든 요소 값의 합이 0인 마스크를 원 영상과 AND 연산하는 개념이다. 만약 AND 연산 후 중앙 화소 값이 음수가 나오는 경우는 0으로 대입한다. 이러한 과정을 영상 전체에 적용하면 라플라시안 마스크 필터링을 통한 원 영상의 윤곽선 추출이 가능하다.

본 논문에서 제안하는 알고리즘의 라플라시안 마스크는 일반적인 그림 3의 (a)와 같은 8방향 라플라시안 마스크가 아니라 (b)와 같은 4방향 라플라시안 마스크 적용을 제안한다. 그 이유는 연산량을 줄이기 위함이다. 즉 하나의 중심화소를 구하기 위해 3x3 8방향 라플라시안 마스크를 이용하는 경우 9회 AND 연산을 하고 8번의 덧셈을 하는 반면에, 4방향 라플라시안 마스크를 이용하면 대각선 방향의 요소가 0이므로 연산이 불필요하여 AND 연산은 5회, 덧셈은 4회로 8방향 라플라시안 마스크를 이용할 때보다 연산량이 약 52%로 감소한다. 이는 스마트폰의 앱에서 영상을 처리하는 특성상 중요한 요소이다. 이렇게 하더라도 화소의 선명성은 아주 미미한 영향을 미치나 실험 결과 거의 동일한 형태를 보존함을 확인하였다.

1	1	1
1	-8	1
1	1	1

(a) 8방향 라플라시안 마스크

0	2	0
2	-8	2
0	2	0

(b) 4방향 라플라시안 마스크

그림 3. 8방향 및 4방향 라플라시안 마스크 개념
Fig. 3 8-way and 4-way Laplacian mask concept

그림 3에서 제안된 영상잡음제거 알고리즘의 (과정 3) 즉, 라플라시안 마스크 필터링 과정을 마친 영상은 각 화소가 0에서 255사이 값을 갖으며 영상의 화소 값이 변화함에 따라 대략적인 윤곽선 추출이 그림 4의 (b)에서 나타난 음영부분으로 나타난다. 이는 6x6인 원 영상의 화소 값과 라플라시안 마스크 필터링 후의 화소 값을 나타낸 그림 4에 의해 확인할 수 있다.

71	72	75	78	78	72
77	80	81	77	71	69
80	85	82	70	61	64
78	82	78	68	61	64
77	76	76	75	76	75
71	68	67	73	80	79

14	20	12	0	0	0
0	0	0	0	2	10
0	0	0	16	44	24
10	0	0	24	50	30
0	0	0	0	0	0
0	12	24	0	0	0

(a) 원 영상 (b) 라플라시안 필터링 결과

그림 4. 원 영상과 라플라시안 마스크 필터링 결과
Fig. 4 Result of Laplacian mask filtering applied to original image

(과정 4)

네 번째로, 각 화소 값에 대해 임계값 0과 180사이의 범위의 값을 갖는 화소만 가우시안 잡음으로 간주한다. 가우시안 잡음으로 간주된 화소는 3x3 평균 필터링 기법을 적용하여 잡음을 제거한다, 그 외 화소는 열화되지 않은 화소로 간주되며 원 영상의 화소 값을 변화 없이 결과 영상의 화소 값으로 출력한다. 여기서 임계치로 정한 0과 180이란 값은 대부분의 저조도 환경에서 스마트폰 카메라를 이용하여 획득한 영상에서 가우시안 잡음으로 나타나는 화소 값들의 평균이다. 결과적으로 잡음으로 간주된 일부 화소만 평균필터링을 함으로써 영상 내 포함된 가우시안 잡음은 제거하고 원 영상에서 윤곽선으로 표시되는 부분은 그대로 표현하여 블러링 현상으로 인해 영상이 전체적으로 흐려짐을 방지한다.

(과정 5)

마지막으로 휘도신호(Y)로만 표현된 영상에서 위와 같은 잡음제거 과정을 모두 마치면 잡음이 제거된 Y level 영상과 처음 YUV방식 영상으로 변환할 때 구했던 U와 V값을 식(2)에 대입하여 ARGB_8888방식 영상으로 변환하여 출력 영상을 얻는다[4].

$$\begin{aligned}
 R &= Y + 0.956U + 0.621V \\
 G &= Y + 0.272U + 0.647V \\
 B &= Y + 1.1061U + 1.703V
 \end{aligned}
 \tag{2}$$

IV. 실험 및 성능평가

제안된 알고리즘의 가우시안 잡음 제거 성능을 평가 대상으로 LENA영상을 사용하였는데, 이는 표준편

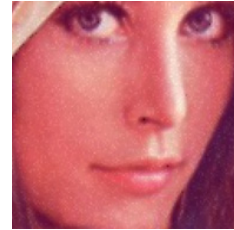
차(σ)가 5~10인 가우시안 잡음에 의해 인위적으로 훼손된 512x512 크기이다. 대상 영상에 제안된 알고리즘을 적용한 후 PSNR(peak signal to noise ratio)[10] 값을 비교하여 기존의 가우시안 잡음 제거 방법인 평균필터 적용 기법 및 메디언필터 적용 기법과 성능을 분석한다.

일반적으로 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)은 다음 식 (3)으로 정의되고, MSE(Mean Squared Error)는 식 (4)로 얻는다[12]. 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.

$$PSNR = 10 \cdot \log_{10} \left[\frac{255^2}{MSE} \right] \quad (3)$$

$$MSE = \frac{1}{R \cdot C} \sum_{i=0}^{R-1} \sum_{j=0}^{C-1} [O(i,j) - N(i,j)] \quad (4)$$

그림 5는 LENA영상에 대한 실험 결과이다. 그림 5의 (a)는 원 영상이고 (b)는 원 영상에 대하여 표준편차(σ)가 10인 가우시안 잡음을 주입한 영상이며 (c), (d), (e)는 각각 가우시안 잡음을 제거한 기존의 필터 기법들과 제안된 알고리즘을 적용한 실험 결과이다.



(e) 제안 알고리즘 적용

그림 5. LENA영상에 대한 실험 결과
Fig. 5 Simulated LENA images

그림 5의 (c)와 (d)에 의한 결과 영상들은 영상 복원과정에서 잡음 제거에는 우수하나 윤곽선을 흐리게 만들어 원 영상에 대비해 화소 변형이 더 일어났다고 볼 수 있다. 본 논문에서 제안한 알고리즘에 의한 결과 (e)는 잡음제거 성능 측면에서 (c) 및 (d)와 거의 유사하며 윤곽선과 같은 상세정보는 더욱 우수하게 보존되어 결과적으로 저조도 환경에서의 스마트폰 카메라를 위한 영상 잡음 제거에 효과적으로 활용될 수 있다.

좀 더 구체적인 성능 분석으로 아래 그림 6과 같은 실험 결과를 산출하였는데, 결과에 따르면 제안된 방법은 가우시안 잡음의 분산이 작을수록 훨씬 우수한 잡음제거 성능을 나타내어 다른 기존의 필터 적용 기법들과 비교하면 모든 영역에서 높은 PSNR 수치를 나타내고 있음을 확인할 수 있다. 결과적으로 제안된 알고리즘을 스마트폰에서 획득한 영상에 앱 환경에서 간단히 적용하면 복원된 영상이 원 영상과 훨씬 근접하여 우수한 영상복원 성능을 가진다.

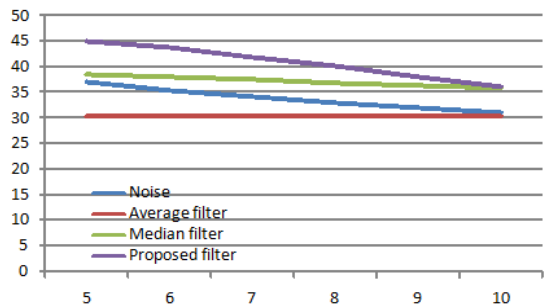


그림 6. LENA영상에 대한 PSNR 비교
Fig. 6 PSNR characteristics of LENA images

표 1. 각 필터의 특성 비교
Table 1. PSNR values of LENA images

Standard deviation (σ)	Application techniques (Unit : dB)			
	Noised	Average filter	Median Filter	Proposed algorithm
5	37.13	30.26	38.45	44.95
6	35.57	30.26	37.93	43.70
7	34.22	30.26	37.43	41.93
8	33.08	30.26	36.88	40.11
9	32.05	30.26	36.34	38.05
10	31.15	30.25	35.85	36.21

마지막으로 그림 7은 제안된 알고리즘을 안드로이드 기반의 스마트폰 앱으로 구현하여 동작하는 예이다. 구현 과정에서 스마트폰 제조사에서 제작한 카메라 인텐트를 활용하였고 기능으로는 카메라를 이용한 영상획득(그림 7에서 캡처 기능) 및 영상처리(그림 7에서 처리 기능) 등이며 나머지 획득 영상 및 처리된 영상들은 자동으로 저장되게 구현하였다.

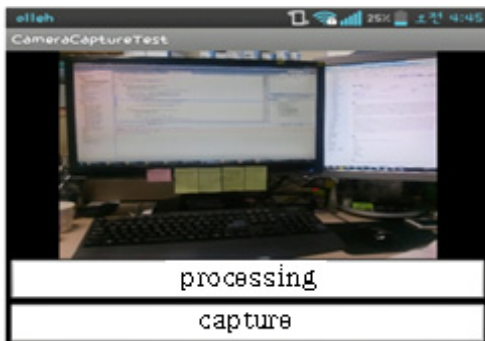


그림 7. 안드로이드 기반의 스마트폰 앱 구현
Fig. 7 Implementation of Android smart phone App

V. 결론

본 논문에서 제안한 저조도 환경에서 스마트폰 카메라를 위한 영상잡음 제거 알고리즘은 영상획득 과정에서 발생한 가우시안 잡음만 찾아내어 제거함으로써 영상 복원과정에서 발생하는 연산량 감축 및 윤곽선의 블러링 현상을 방지한다. 즉 평균필터가 전체 영상을 대상으로 하여 적용하는 데 반해, 제안한 알고리

즘은 가우시안 잡음으로 선별된 화소만 평균필터 기법을 적용하여 연산량 감축과 윤곽선의 블러링 현상을 방지하였다.

실험 결과로 우수한 PSNR 특성을 확인하였고, 기존의 라플라시안 마스크 연산적용에 비해 연산량을 약 52% 감소시킴으로서 안드로이드 기반의 제한된 연산 능력을 가진 스마트폰 카메라 앱으로 구현 및 적용했을 때도 복원된 영상이 원 영상과 훨씬 근접하여 우수한 영상복원 성능을 가진다.

따라서 본 논문에서 제안한 영상잡음 제거 알고리즘은 저조도 환경에서 획득한 영상의 잡음제거 및 스마트폰 내 영상처리 등에 활용이 가능하다.

감사의 글

이 논문은 부경대학교 자율창의학술연구비(2013년)에 의하여 연구되었음.

References

- [1] K.-I. Kim, S.-H. Han, and J.-S. Park, "A Distortion Correction Method of Wide-Angle Camera Images through the Estimation and Validation of a Camera Model," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol 8, no. 12, 2013, pp. 1923-1932.
- [2] 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.
- [3] 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.
- [4] R. C. Gonzalez, R. E. Woods, and S. L. Eddins, *Digital Image Processing using MATLAB*. 2nd edition, McGrawHill, 2011.
- [5] R. C. Gonzalez and R. E. Woods, *Digital image processing*. Prentice Hall, 3rd edition, 2008.
- [6] 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, issue 5, 2011, pp. 1177-1182.
- [7] 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.
- [8] A. R. Smith, "Color Gamut Transform Pairs," *ACM SIGGRAPH Proc. of the 5th annual conf. on Computer graphics and interactive techniques*, 1978, pp. 12-19.
- [9] P. J. Burt, "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code," *IEEE Trans. Communications*, vol. COM-31, no. 4, 1983, 532-540.
- [10] 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.
- [11] M.-R. Gu and D.-S. Kang, "A study on modified gaussian filter using noise estimation," *2010 Korean Institute of Information Technology Summer Conf.*, 2010, pp. 67-69.
- [12] D. Wackerly, W. Mendenhall, and R. L. Scheaffer, *Mathematical Statistics with Applications*. Thomson Learning Inc. 7th edition, 2007.

저자 소개



김성운(Sung-Un Kim)

1982년~1985년 한국전자정보통신
연구소 연구원

1985년~1995년 한국통신연구 개
발원 선임연구원 실장

1989년~1993년 프랑스 파리 7대학 석·박사

1995년~현재 부경대학교 정보통신공학과 교수

※ 관심분야 : 무선네트워크 보안기술, 열차제어신
호 전송 기술, 센서네트워크, 수중 센서네트워
크, 센서 노드 이동성 지원 기술, USN, DWDM,
RWA 알고리즘

