

국부 통계 특성 및 일반화된 Gaussian 필터를 이용한 적응 노이즈 제거 방식

정회원 송 원 선*, 준회원 응웬똌안안*, 종신회원 홍 민 철*

An Adaptive Noise Removal Method Using Local Statistics and Generalized Gaussian Filter

Wonseon Song* *Regular Member*, Tuan-Anh Nguyen* *Associate Member*,
Min-Cheol Hong* *Lifelong Member*

요 약

본 논문에서는 국부 통계 및 일반화된 Gaussian 필터를 이용한 적응 노이즈 제거 방식으로, 인간 시각 시스템 기반의 국부 통계 특성을 이용하여 적응적으로 노이즈 검출하는 기법과 검출된 노이즈를 효과적으로 제거하기 위한 일반화된 Gaussian 필터 기법에 대해 제안한다. 제안방식의 성능을 기존 방식과 비교하여 객관적, 주관적 성능이 우수함을 확인할 수 있었다.

Key Words : Noise Detection, Noise Removal, Local Statistics, Human Visual System, Gaussian Filter

ABSTRACT

In this paper, we present an adaptive noise removal method using local statistics and generalized Gaussian filter. we propose a generalized Gaussian filter for removing noise effectively and detecting noise adaptively using local statistics based human visual system. The simulation results show the objective and subjective capabilities of the proposed algorithm.

1. 서 론

초해상도 영상 시스템은 전통적인 영상 센서의 물리적인 화소수의 표현의 한계를 극복하는 문제를 벗어나 저조도에 기인한 화질 저하의 문제, 자연 환경에 기인한 해상도 왜곡 현상 및 인위적 환경에 의한 영상 왜곡 등의 문제점을 해결하는 것으로 확대되고 있다. 상기와 같은 문제점은 영상 센서 측면에서 해결하고자 시도 되었으나 광범위한 영상 왜곡 현상을 극복하기에는 어려움이 있었다^[1]. 이와 같은 어려움을 극복하기 위해 본 논문에서는 위의

문제점들을 영상 신호처리 측면에서 해결하고자 하며, 획득된 영상을 인지하여 영상센서, 자연 환경 및 인위적인 환경에 기인한 영상 왜곡 및 한계를 극복하는 저연산량의 노이즈 검출 및 제거 필터에 대해 제안하고자 한다.

대부분의 영상 시스템의 획득 과정에서 발생하는 노이즈를 제거하는 방식은 발생 노이즈가 Gaussian, 분포를 갖고 있다는 가정을 기반으로 하고, 일반적으로 영상의 특성이 국부의 특성에 의해서 결정되므로 국부 통계적 특성을 추출하여 해상도 개선을 위한 매개변수로 활용하는 것이 성능 향상에 기여

* 본 연구는 서울시 산학협력 사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠 컨버전스 클러스터 지원 및 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국과학재단의 지원 (No. 2009-0079776)으로 수행되었음.

* 송원선대학교 정보통신전자공학부 (mhong@ssu.ac.kr) (° :교신저자)

논문번호 : KICS2009-12-608, 접수일자 :2009년 12월 7일, 최종논문접수일자: 2009년 12월 21일

할 수 있다. 기존의 노이즈 검출과 노이즈 제거에 관한 방법은 LMS(Least Mean Square) 계열, 정규화 노이즈 제거 기법, Kalman 필터 계열의 노이즈 제거 방식은 상기와 같은 노이즈 분포에 대한 가정으로 인해 필터링 된 영상의 윤곽선 정보의 열화 현상을 동반하고, 인간 시각 시스템을 반영하지 않은 관계로 시각적인 왜곡 현상을 일으켜 심각한 화질저하를 발생시키게 된다. 또한 일정한 크기를 갖는 윈도우 내의 화소 값에 대한 평균 및 중간값을 이용하여 평균값 (Mean) 필터, 중간값 (Median) 필터가 사용되었다^{[1], [2]}. 또한 가중치를 이용한 중간값 (Weighted Median) 필터^[3], 중심 가중치 기반의 중간값 필터(Center Weighted Median Filter)^[4], 스위칭 중간값 필터(Progressive Switching Median Filter)^[5], 평균값 필터와 중간값 필터의 장점을 이용하여 매개변수를 적응 적으로 조절하는 ATM (Alpha-Trimmed Mean) 필터가 제안되었다^[6]. 이와 같은 기존의 방식들은 영상 전체에 대하여 균일하게 적용되어 노이즈와 노이즈가 섞이지 않은 화소 전체에 적용하고, 그 결과 윤곽선과 시각적으로 중요한 정보를 동시에 열화시키는 단점이 있다^{[7],[9]}. 따라서 본 논문에서는 획득된 영상의 국부 통계 특성을 이용하여 저연산량의 노이즈 검출 필터로 훼손된 영상의 노이즈를 검출하고, 국부 통계 특성과 인간 시각 시스템 특성을 이용한 일반화된 Gaussian 노이즈 제거 필터에 대해 제안한다. 본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2절에서는 가우시안 모델 기반의 필터 배경과 제안된 방식에서 사용된 국부 통계 특성에 대해 설명하고, 3절에서는 제안한 저연산량의 국부 통계 특성을 이용한 노이즈 검출 필터와 일반화된 Gaussian 노이즈 제거 필터에 대해 소개한다. 또한 4절에서는 제안된 방식의 실험 결과를 기술하고 5절에서는 결론을 맺는다.

II. 배경

일반적으로 영상획득 장치로부터 획득 된 영상은 주변의 밝기와 센서의 온도에 의해 생성되는 노이즈가 영상의 화질을 저하시킬 뿐만 아니라, 스케일링, 특징 추출, 고해상도 처리, 영상 분할 등 다른 영상의 화질 저하의 주요 원인이 되며, 이로 인해 영상 특징의 추출 및 인식률의 저하를 야기 시킨다. 일반적으로 영상 시스템에 의해 획득된 영상은 첨가 노이즈에 의해 훼손된 형태로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$y = x + n \quad (1)$$

위 식에서 y , x 및 n 은 각각 획득된 영상, 원 영상 및 첨부 노이즈를 의미한다. 이러한 훼손된 영상들로부터 원 영상과 가까운 영상들로 복원시키기 위해 영상 내 주요 정보들을 손상시키지 않으면서 효과적으로 노이즈를 제거하는 기법 개발이 요구된다. 기존의 노이즈 제거 방식은 인간의 시각이 비선형적인 특성을 고려하지 않고 첨부 노이즈가 가우시안 분포를 가지고 있다는 가정 하에서 이루어졌다. 이러한 이유로 첨부 노이즈의 국부 또는 전역 특성이 비 가우시안 분포를 갖는 경우 노이즈 필터링 된 결과는 심각한 열화 현상을 초래할 수 있다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위해 영상의 통계 특성을 이용하고자 한다.

영상의 국부 통계 특성을 반영하는 단순한 형태는 일정 윈도우 내의 평균과 표준 편차가 사용되었으며, 본 논문에서는 계산량 절감을 위하여 다음 그림 1의 (a)와 같이 3×3 윈도우 내에서 십자 형태의 모양을 갖는 국부 영역을 정의하였으며, 정의된 국부 영역의 화소 $y(i, j)$ 에 대한 국부 평균값 $(\mu(i, j))$ 과 표준 편차 $(\sigma(i, j))$ 를 다음과 같이 정의하였다.

$$\mu(i, j) = \frac{\sum_{m=-1n}^1 \sum_{n=-1}^1 a(m, n) y(i+m, j+n)}{\sum_{m=-1n}^1 \sum_{n=-1}^1 a(m, n)} \quad (2)$$

$$\sigma(i, j) = \frac{\sum_{m=-1n}^1 \sum_{n=-1}^1 a(m, n) \times |y(i+m, j+n) - \mu(i, j)|}{\sum_{m=-1n}^1 \sum_{n=-1}^1 a(m, n)} \quad (3)$$

위의 식 (2)와 식 (3)의 $a(m, n)$ 은 십자 모양의

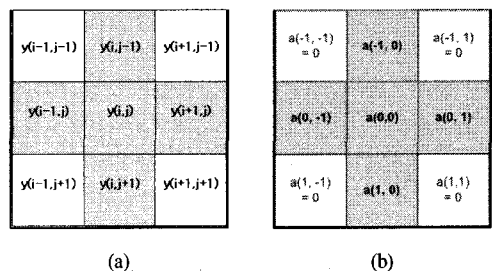


그림 1. 제안된 방식의 윈도우 내의 화소의 위치 표현(a)과 가중치(b)

윈도우의 (m,n) 번째 위치의 기중치 계수값을 의미하며 정수 연산이 가능하도록 고정된 기중치 값을 부여하였다. 기중치 값은 그림 1의 (b)와 같다.

III. 제안된 방식

본 절에서는 제안된 국부 통계 특성을 이용한 노이즈 검출과 인간 시각 특성이 반영된 일반화된 Gaussian 노이즈 제거 필터에 대해 살펴본다.

3.1 국부 통계 특성을 이용한 노이즈 검출

효과적인 노이즈 제거를 위한 노이즈 검출의 정확성은 매우 중요하다. 일반적인 노이즈 검출 알고리즘은 노이즈인 화소와 노이즈가 아닌 화소의 판단에 의해 결정되며 검출하는 간단한 알고리즘을 기본 개념으로 하여, 여러 번의 반복을 통해 통계적인 특성을 이용하여 좀더 빠른 결정 기반의 알고리즘이 연구되었다. 최근에 연구된 PSM^[5], ENDHAQ^[8], DBA^[9] 방식은 노이즈 여부를 선택된 윈도우 내에서의 최대값과 최소값을 이용하여 화소의 현재 상태를 판단하여 노이즈를 검출하는 방식으로 연산량의 장점은 있으나, 성능적인 측면에서의 문제점으로 인해 효과적인 노이즈 제거에 한계성을 가지고 있다. 저 연산량의 노이즈 검출 방식을 위해서는 제안된 윈도우 내에서의 활용 가능한 국부 통계 특성을 반영할 수 있는 매개 변수의 선정이 중요한 문제이다. 본 논문에서는 기존 방식들과 다르게 윈도우 내의 평균, 분산 및 최대값을 이용하여 노이즈 검출을 위한 방식으로 사용하였다.

$$Flag = \begin{cases} 1, & y(i,j) > \mu + k \frac{\sigma}{\max(W)} \text{ or } y(i,j) < \mu - k \frac{\sigma}{\max(W)} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (4)$$

위의 식 (4)에서 $\max(W)$ 는 윈도우 내에서의 최대 화소값을 의미하고, μ 와 σ 는 각각 윈도우 내의 화소값에 대한 평균값과 표준편차 값을 의미한다. 또한 k 는 노이즈의 활동성을 조절해주는 매개 변수로 사용되었다. 위의 식 (4)의 Flag 값이 '1'이면 노이즈에 의해 훼손된 화소를 의미하며, '0'이면 훼손되지 않은 화소를 의미한다. 식 (4)의 의미는 다음과 같다. 일정 윈도우 내에서의 국부 분산값이 커질수록 활동성(activity)이 큰 영역이므로 필터링에 의한 열화 현상을 제어하기 위해서는 looser bound를 설정하여 노이즈 검출 과정을 수행한다. 더불어, 국부 최대값이 큰 영역일수록 노이즈가 침

가될 가능성이 높으므로 tighter bound를 설정하게 된다.

3.2 국부 통계 특성을 이용한 일반화된 Gaussian 노이즈 제거 필터

본 논문에서 제안된 국부 통계 특성을 이용한 일반화된 Gaussian 노이즈 제거 필터는 Gaussian 기반의 저대역 통과를 기반으로 한 방식으로서 인간의 시각 시스템 및 영상간의 상관관계가 Gaussian 분포를 갖고 있다는 가정 하에 다음과 같은 노이즈 제거를 위한 필터를 사용하였다[10].

$$h(i,j) = \frac{1}{Z} \exp\left(-\frac{T\sigma^2(i^2+j^2)}{\sqrt{\mu+1}}\right) \quad (5)$$

위의 식 (6)에서 $h(i,j)$ 는 일반화된 Gaussian 필터 계수를 의미하며, σ^2 은 십자 형태의 윈도우 내 화소들의 분산 값, μ 는 십자 형태의 윈도우 내 화소들의 평균 값, T 는 노이즈 정도를 조절하는 보정 매개변수 (Tuning Parameter)로 사용되었다. 상기 십자형 국부 영역 기반의 노이즈 제거 과정은 다음과 같이 기술된다.

$$\hat{x}(i,j) = \frac{\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 h(m,n)y(i+m,j+n)}{\sum_{m=-1}^1 \sum_{n=-1}^1 h(m,n)} \quad (6)$$

위의 식 (6)에서 $h(i,j)$ 은 위의 식 (5)의 일반화된 Gaussian 필터로부터 얻어진 계수를 의미하고, $\hat{x}(i,j)$ 는 필터링 된 결과 화소값을 의미한다. 이와 같이 제안된 방식의 노이즈 검출 및 제거에 관한 필터 과정의 순서도는 다음 그림 2와 같이 나타낼

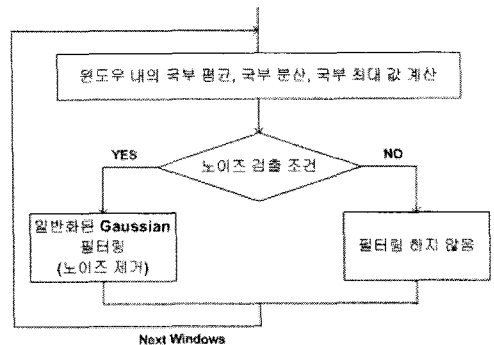


그림 2. 제안된 노이즈 검출 및 노이즈 제거 필터의 순서도

수 있다.

IV. 실험 결과

본 논문에서는 다양한 영상과 해상도에 대해 실험하였다. 그 중 256×256 크기의 "Lena", "Cameraman" 및 "Bird" 영상에 10[dB], 20[dB] 및 30[dB] Gaussian noise를 첨부한 영상과 CCD 카메라로부터 획득된 영상에 대한 결과를 기술한다. 제안된 알고리즘의 객관적인 성능 평가를 위하여 PSNR를 사용하였다. PSNR은 $M \times N$ 크기의 8bits 영상에 대하여 다음과 같이 정의된다.

$$PSNR = 10 \log \frac{MN \times 255^2}{\|f - \hat{f}\|^2} \quad (7)$$

식 (7)에서 $\|\cdot\|$ 는 유클리드 노름(Euclidean norm)을 나타내고, f 는 원영상, \hat{f} 은 복원된 영상을 나타낸다. 실험 영상들의 정확한 노이즈 검출을 위해, 노이즈가 첨부되지 않은 화소가 노이즈로 판별되어 검출되는 경우의 수를 'False'로 나타내었고, 노이즈에 의해 왜곡된 화소가 노이즈에 의해 왜곡되지 않은 화소로 판별되는 경우를 'Miss'로 표기하였다. 본 논문에서 정의한 'False' 및 'Miss'에 해당되는 화소수가 많아질수록 노이즈 검출의 정확성이 낮아지며, 이로 인해 노이즈 제거에 의한 성능의 저하가 발생할 수 있다. 기존 방식과의 비교를 위해 ENDHQ, DBA, PSM과 개발된 방식의 성능을 비교하여 표로 나타내었다. 표 1에서 표 3에 기술된 결과에서 확인할 수 있듯이 첨부 노이즈에 의한 영상의 훼손 정도가 심할수록 상대적으로 제안방식의 노이즈 검출 정확성이 우수함을 확인할 수 있었으며 영상의 종류 및 노이즈 첨가 정도에 관계없이 제안 방식의 성능이 기존 방식과 비교하여 노이즈 검출의 정확성이 개선되었음을 확인할 수 있었다.

표 1. "Lena" 영상에 대한 노이즈 검출 성능 비교

Method	10dB		20dB		30dB	
	False [개]	Miss [개]	False [개]	Miss [개]	False [개]	Miss [개]
ENDHQ	1027	41228	2058	37187	3866	30293
DBA	2227	50702	1108	46228	2696	36279
PSM	850	14151	2152	36356	6040	29546
Proposed	1454	1837	1095	30151	12354	6931

표 2. "Cameraman" 영상에 대한 노이즈 검출 성능 비교

Method	10dB		20dB		30dB	
	False [개]	Miss [개]	False [개]	Miss [개]	False [개]	Miss [개]
ENDHQ	768	42054	1200	44748	1652	42513
DBA	358	60580	4290	56390	5624	39248
PSM	750	13356	2768	20542	5137	28907
Proposed	1231	1618	1193	16625	10430	7243

표 3. "Bird" 영상에 대한 노이즈 검출 성능 비교

Method	30dB		20dB		30dB	
	False [개]	Miss [개]	False [개]	Miss [개]	False [개]	Miss [개]
ENDHQ	1074	47771	3501	36351	2538	36513
DBA	1023	62758	2054	32045	1456	47083
PSM	1871	14556	2546	25903	3949	34900
Proposed	1579	2250	2013	23594	15766	1876

더불어 첨부된 노이즈를 검출 한 후 노이즈 제거를 한 결과에 대한 성능 비교를 표 4-표 6에 나타내었다. 결과에서 확인할 수 있듯이 제안 방식의 성능이 영상 종류 및 첨부노이즈 양에 관계없이 기존 방식 대비 약 5-8 (dB) 이상의 성능 향상이 이루어졌음을 알 수 있다. 이와 같은 결과는 제안된 노이즈 검출 방식의 정확성 및 노이즈 제거 필터의 효율성에 기인한 것으로 분석되었으며, 특히, 노이즈 제거 필터 과정에서 과도한 열화 현상을 제거한 것에 기인함을 확인할 수 있었다.

표 4. "Lena" 영상에 대한 노이즈 제거 성능 비교

Method	PSNR		
	10dB 노이즈 첨가 [dB]	20dB 노이즈 첨가 [dB]	30dB 노이즈 첨가 [dB]
ENDHQ	22.25	23.88	24.73
DBA	20.40	21.98	24.98
PSM	24.33	25.37	25.58
Proposed	28.33	32.36	33.09

표 5. "Cameraman" 영상에 대한 노이즈 제거 성능 비교

Method	PSNR		
	10dB 노이즈 첨가 [dB]	20dB 노이즈 첨가 [dB]	30dB 노이즈 첨가 [dB]
ENDHQ	22.24	26.19	25.31
DBA	19.41	24.53	25.56
PSM	24.32	25.82	26.02
Proposed	26.40	29.76	30.31

표 6. "Bird" 영상에 대한 노이즈 제거 성능 비교

Noise Method	PSNR		
	10dB 노이즈 첨가 [dB]	20dB 노이즈 첨가 [dB]	30dB 노이즈 첨가 [dB]
ENDHQ	24.61	26.82	27.15
DBA	23.45	24.53	24.65
PSM	28.27	30.27	30.65
Proposed	30.63	37.80	40.25

주관적 화질 비교를 위해 그림 3-그림 5에 노이즈 제거 결과 영상을 도시하였다. 각 그림의 (a)는

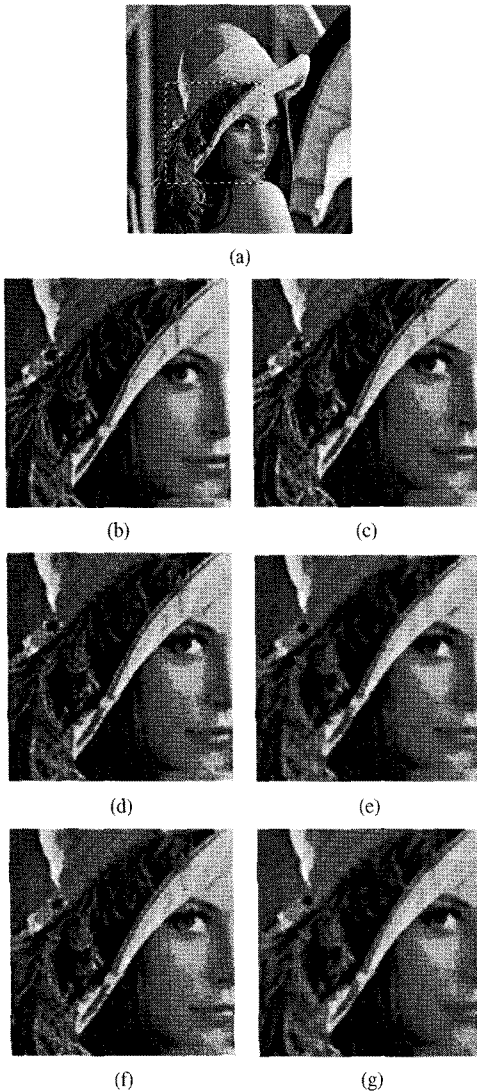


그림 3. 256×256 크기의 "Lena" 영상에 대한 실험 결과 영상 (a) 원영상 (b) 원영상의 부분 확대 영상 (c) Gaussian 20(dB) 노이즈 첨부된 영상 (d) ENDHQ 결과 영상 (e) DBA 결과 영상 (f) PSM 결과 영상 (g) 제안된 방식의 결과 영상

원영상과 부분을 확대시킨 영상을, (b)는 20 dB Gaussian 노이즈가 첨가된 영상을, (c)는 ENDHQ 방식을 적용한 결과 영상을, (d)는 DBA 방식을 적용한 결과 영상을, (e)는 PSM 방식을 적용한 결과 영상을, (f)는 제안된 방식을 적용한 결과 영상을 나타낸다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 기존 방식은 노이즈 제거 과정에서 영상의 중요 정보인 윤곽선 부근에서 과도한 열화 현상이 발생하여 시각적으로 문제점을 발생하는 반면에 제안된 방식은 영상의 윤곽선 영역을 효과적으로 제거하여 주관적

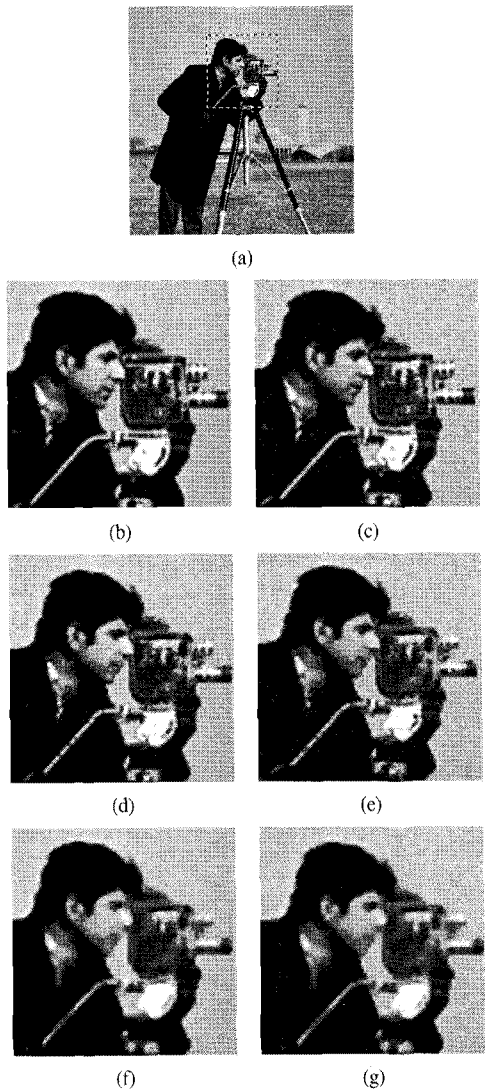


그림 4. 256×256 크기의 "Cameraman" 영상에 대한 기존 방식과 제안된 방식의 결과 (a) 원영상 (b) 원영상의 부분 확대 영상 (c) Gaussian 20(dB) 노이즈 첨부된 영상 (d) ENDHQ 결과 영상 (e) DBA 결과 영상 (f) PSM 결과 영상 (g) 제안된 방식의 결과 영상

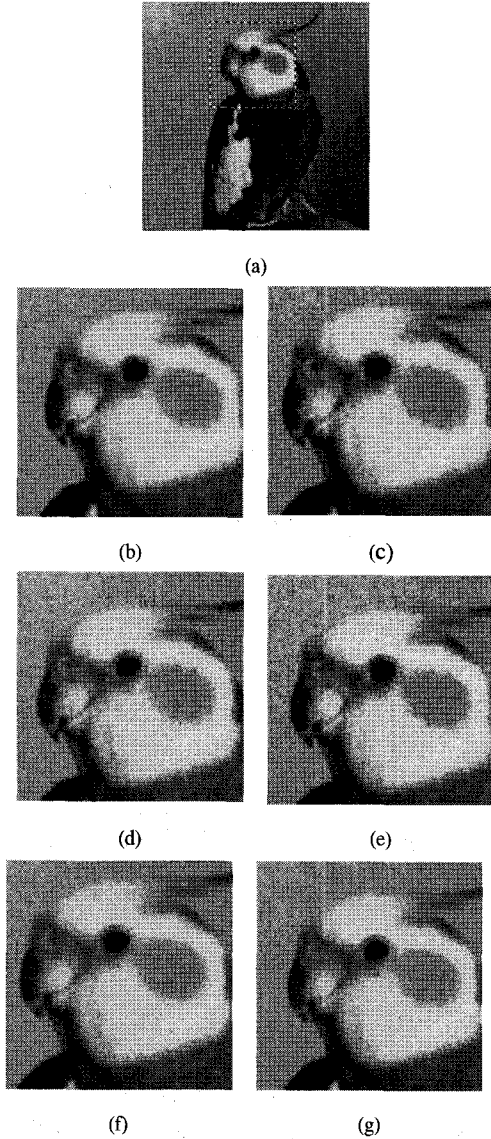


그림 5. 256×256 크기의 "Bird" 영상에 대한 기존 방식과 제안된 방식의 결과 (a) 원영상 (b) 원영상의 부분 확대 영상 (c) Gaussian 20(dB) 노이즈 첨부된 영상 (d) ENHQ 결과 영상 (e) DBA 결과 영상 (f) PSM 결과 영상 (g) 제안된 방식의 결과 영상

인 화질 측면에서도 개선된 결과를 보이고 있다. 더불어, 본 실험을 통해 첨부노이즈가 작을수록 제안 방식의 열화 현상이 상대적으로 작아짐을 확인할 수 있었다.

제안 방식의 효율성을 확인하기 위해 저해상도 CCD 카메라로 획득된 테스트 영상을 결과를 그림 6에 나타내었다. 저해상도 광학카메라의 물리적인 한계성으로 인해 그림 6의 (a)와 같은 왜곡된 결과가 나타나며, 그림 6의 (b)-(d)에 기존 방식의 결과

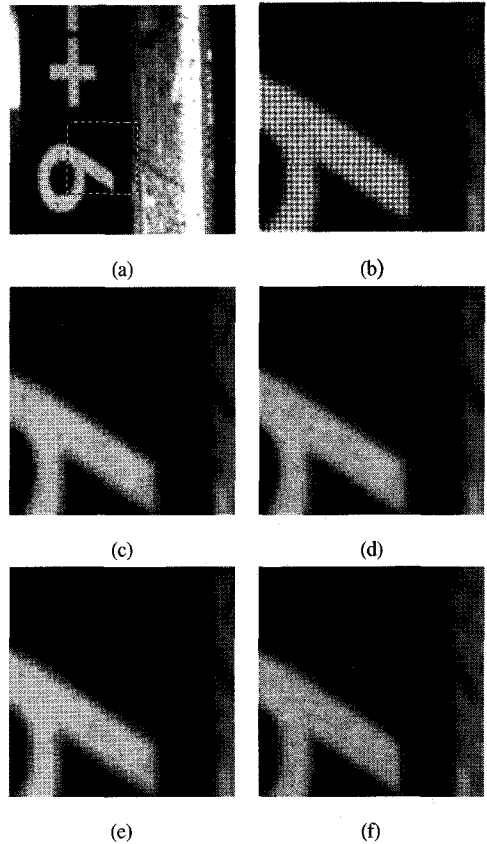


그림 6. CCD 카메라로부터 획득된 "Test" 영상에 대한 기존 방식과 제안된 방식의 결과 (a) "Test" 영상 (b) "Test" 영상의 부분 확대 영상 (c) ENHQ 결과 영상 (d) DBA 결과 영상 (e) PSM 결과 영상 (f) 제안된 방식의 결과 영상

영상을 나타내었다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 기존 방식은 윤곽선 부분에서 과다하게 열화되고 노이즈 제거가 만족스럽지 못한 결과를 보이고 있다 반면에 제안 방식을 이용한 결과는 결과 영상의 열화 현상을 상대적으로 최소화하면서 첨부노이즈를 효과적으로 제거하였음을 확인할 수 있었다.

본 논문에는 첨부노이즈에 대한 사전 정보 없이 국부 통계 특성에 따라 적응적으로 첨부노이즈를 검출하고 제거하는 적응 노이즈 검출 및 제거 방식에 대해 제안하였다. 실험 결과를 통해 제안 방식의 객관적, 주관적의 성능을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 논문에서 제안된 국부 통계 특성을 이용한 노이즈 검출 및 일반화된 Gaussian 노이즈 제거 필터는 국부 통계 특성을 이용하여 간단한 형태의 평균 및 분산을 유도하여 적용하였고, 변형된 형태의 원

도우와 필터를 사용하여 객관적, 주관적으로 효과적으로 노이즈가 제거되었음을 확인할 수 있었다.

송 원 선 (Wonseon Song)

정회원

한국통신학회 논문지 제 34권 10호 참조

참 고 문 헌

- [1] Gonzalo R. Arce, *Nonlinear Signal Processing: A Statistical Approach*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2004.
- [2] T. A. Nodes, N. C. Gallagher, "Median filters: Some modifications and their Properties," *IEEE Trans. Acoustics, Speech and Signal Processing, ASSP30*, pp. 739-746, 1982.
- [3] R. Yang, L. Lin, M. Gabbouj, J. Astola, and Y. Neuvo, "Optimal weighted median filters under structural constrains," *IEEE Trans. Signal Processing*, Vol. 43, pp. 591-604, Mar 1995.
- [4] T. Song, M. Gabbouj, and Y. Neuvo, "Center weighted median filters: Some properties and applications in image processing," *Signal Processing*, Vol. 35, No. 3, pp. 213-229, 1994.
- [5] Z. Wang, and D. Zang, "Progressive switching median filter for removal of impulse noise from highly corrupted images," *IEEE Trans., Circuits System II*, Vol. 46, No. 1, pp.78-80, 1999.
- [6] J. B. Bednar, and T. K. Watt, "Alpha-Trimmed Means and their relationship to median Filter," *IEEE Trans. on Acoustics, Speech and Signal Processing*, 4Vol. 32, pp. 145-153, 1987.
- [7] K. S. Srinivasan and D. Ebenezer, "A New fast and efficient decision-based algorithm for removal of high-density impulse noises," *IEEE Signal Processing Letters*, Vol. 14, No. 3, March 2007.
- [8] J. R. Mohammed, "An improved median filter based on efficient noise detection for high quality image restoration," *AICMS, Modeling & Simulation*, pp.217-331, 2008.
- [9] M. S. Nair, K. Revathy, and R. Tatavarti, "An improved decision-based algorithm for impulse noise removal," *CISP, Image and Signal Processing*, pp.426-431, 2008.

응웬뚜안안 (Tuan-Anh Nguyen)

준회원



2008년 2월 Posts and Telecommunication Institute of Technology University, Information and Technology (학사)
2008년 9월~현재 숭실대학교 석사 과정 재학
<관심분야> 영상 복원, 적응 필터 이론

홍 민 철 (Min-Cheol Hong)

종신회원

한국통신학회 논문지 제 34권 10호 참조