

국부 통계 특성 및 노이즈 예측을 통한 적응 노이즈 검출 및 제거 방식

응웬 뚜안안*, 김 범 수*, 홍 민 철°

Adaptive Noise Detection and Removal Algorithm Using Local Statistics and Noise Estimation

Tuan-Anh Nguyen*, Beomsu Kim*, Min-Cheol Hong°

요 약

본 논문에서는 첨부 노이즈에 의해 훼손된 왜곡 영상의 공간 적응적 노이즈 검출 및 제거 기법에 대해 제안한다. 일반적인 영상이 가우시안 분포 특성을 갖는다는 가정 하에 왜곡 영상으로부터 국부 통계 특성을 산출하여 첨부 노이즈 정보를 예측하고, 예측된 노이즈 정보의 통계 특성을 활용하여 첨부 노이즈 정도를 분류하는 기법에 대해 제안한다. 더불어, 노이즈 분류에 따라 보정된 가우시안 필터의 매개변수 및 필터 윈도우 크기를 설정한 적응 노이즈 필터 기법에 대해 기술한다. 실험 결과를 통해 제안 방식의 성능이 기존 방식과 비교하여 객관적, 주관적으로 우수한 능력을 갖고 있음을 확인할 수 있었다.

Key Words : Noise detection, noise estimation, local statistics, Gaussian filter, window size

ABSTRACT

In this paper, we propose a spatially adaptive noise detection and removal algorithm for a single degraded image. Under the assumption that an observed image is Gaussian-distributed, the noise information is estimated by local statistics of degraded image, and the degree of the additive noise is detected by the local statistics of the estimated noise. In addition, we describe a noise removal method taking a modified Gaussian filter which is adaptively determined by filter parameters and window size. The experimental results demonstrate the capability of the proposed algorithm..

I. 서 론

일반적으로 디지털 영상은 아날로그 신호로의 획득 과정 및 디지털 신호로 변환하는 과정에서 영상 시스템 등에 의해 원 영상에 노이즈가 첨부된 현상으로 표현 된다^[1]. 첨부 노이즈에 의해 왜곡된 영상은 영상 압축 과정에서 고주파 성분의 증대로 인해

압축 효율의 저하의 요인이 되며, 영상 인식 시스템에서 인식률의 저하 요인이 될 수 있다. 상기와 같이 첨부 노이즈에 의한 영상 왜곡 현상은 다양한 영상 응용 분야에서 문제점을 발생하게 되므로 전처리 과정에서 효과적으로 첨부 노이즈를 최소화하는 것은 해당 응용 시스템의 성능을 극대화하기 위해 매우 중요하다고 할 수 있다.

※ 이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단-일반연구자지원사업 (No. 2012R1A1A2000924) 및 지식경제부 및 정보통신산업진흥원의 대학 IT연구센터 육성지원 사업의 연구결과로 수행되었음 (NIPA-2012-H0301-12-2006)

• 주저자 : 송실대학교 정보통신전자공학부 박사과정, anhnt@ssu.ac.kr, 학생회원

° 교신저자 : 송실대학교 정보통신전자공학부 교수, mhong@ssu.ac.kr, 종신회원

* 송실대학교 정보통신전자공학부 박사과정, rhand41@ssu.ac.kr

논문번호 : KICS2012-01-015, 접수일자 : 2013년 1월 11일, 최종논문접수일자 : 2013년 2월 15일

노이즈 제거 기법의 궁극적인 목표는 상세 정보와 경계선을 보존하며 원 영상에 가까운 복원 영상을 생성 하는 것으로서 관련된 다양한 기법들이 제안 되어왔다. 대부분의 영상 시스템의 획득 과정에서 발생하는 노이즈는 가우시안 (Gaussian) 분포 특성을 갖게 되며, 이와 같은 노이즈 특성에 대한 대표적인 기법으로서는 LMS (Least Mean Square) 기법이 사용되어 왔다^[1]. 상기 기법은 필터링 과정에서 영상의 윤곽선 열화 현상을 동반한다. 국부 통계 특성 기반의 대표적인 기법은 평균 필터 및 미디어 필터가 사용되었으며, 변형 형태인 가중치 기반 국부 미디어 필터 기법 등이 연구되었으나 열화 현상의 최소화에는 한계점을 갖고 있다^[2,3,4,5].

국부적인 적응성을 부여하여 열화 현상 최소화를 위해 다양한 방식들이 연구되었다. 대표적으로 화소 간의 국부 통계 특성 및 방사 분석 차이 (radiometric difference)를 필터의 가중치에 활용한 쌍방향 필터 (bilateral filter) 기법이 연구되었다^[6]. 쌍방향 필터는 기존 방식과 비교하여 복원 영상의 윤곽선 성분을 유지하는데 매우 효과적이나 존재하는 노이즈 유무를 판단하는 노이즈 검출 과정의 미흡으로 인해 첨부 노이즈 양이 작은 경우에 성능 향상에 한계성을 갖고 있다.

노이즈 검출 과정이 노이즈 제거 기법과 결합되기 위해서는 검출 과정의 신뢰성이 보장되어야 훼손되지 않은 원 신호의 보존 및 윤곽선과 같은 중요한 정보의 과다한 열화 현상을 피할 수 있다. Switching-based adaptive weighted mean (SAWM) 필터 기법은 사전에 정의된 임계치 값과 네 방향의 현재 화소와 주변 화소의 차이 값 중에서 가장 작은 절대 값을 비교하여 손상된 화소와 손상되지 않은 화소들을 탐지하여 가중치 값을 결정하여 검출된 노이즈 성분을 제거하기 위해 사용되었다^[7]. 그러나 상기 기법의 성능은 설정된 임계치 값에 의해 매우 의존적인 단점이 있다. 또한 화소 값의 상관관계에 따른 통계 가설 테스트 (statistical hypotheses tests)를 이용한 방식^[8] 및 가우시안 분포를 지닌 왜곡 영상의 노이즈 예측을 통한 노이즈 제거 방식^[9] 등의 노이즈 검출의 신뢰성 향상을 통해 효과적으로 노이즈 제거 성능을 향상하는 기법이 제안되었다.

본 논문에서는 가우시안 분포를 갖는 첨부 노이즈에 의해 왜곡된 영상으로부터 공간적 국부 통계 특성을 이용하여 노이즈 성분을 예측하고 예측된 노이즈 양에 따라 필터 윈도우 크기를 다르게 설정

하여 노이즈 제거를 위한 필터링 정도를 적응적으로 제어하는 기법에 대해 제안한다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. II절에서는 국부 통계 특성을 이용한 노이즈 예측 기법 및 공간적 적응적 노이즈 제거 기법에 대해 기술한다. IV절에서는 실험 결과 및 분석 내용에 대해 설명하고, 마지막으로 IV절에서는 결론을 내린다.

II. 제안하는 노이즈 탐지 및 제거 기법

$M \times N$ 크기의 원 영상의 (i, j) 번째 화소가 신호에 독립적인 노이즈에 의해 왜곡된 관측 영상은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$y_{i,j} = x_{i,j} + n_{i,j} \quad (1)$$

위 식에서 y, x 및 n 은 각각 관측 영상, 원 영상 및 첨부 노이즈를 의미한다. 관측 영상으로부터 첨부 노이즈 제거의 효율성을 증대하기 위해서는 노이즈 위치 및 노이즈 양에 대한 예측 신뢰성을 필요로 하며, 노이즈 정보 예측의 신뢰성을 보장하기 위한 다양한 방식이 연구되었다^[7-12]. 본 논문에서는 관측 영상의 국부 통계 특성을 이용하여 노이즈 위치 및 정도를 예측하고, 노이즈 정도에 따라 필터 윈도우 크기를 설정하는 공간 적응 필터 기법에 대해 제안한다.

2.1. 노이즈 검출 알고리즘

일반적으로 노이즈의 시각적인 표현 정도는 영상의 국부 통계 특성에 따라 다르게 생성된다^[13]. 동일한 노이즈 특성은 국부 평균값이 높을수록 시각적으로 더욱 두드러지게 표현되며, 국부 표준편차가 클수록 더욱 작게 표현된다. 영상 f 의 (i, j) 번째 화소의 $(2K+1) \times (2L+1)$ 윈도우 크기에서 설정된 가중치 국부 통계 특성은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\mu_{i,j}^f = \frac{\sum_{m=-K}^K \sum_{n=-L}^L w_{m,n} f_{i+m,j+n}}{\sum_{m=-K}^K \sum_{n=-L}^L w_{m,n}} \quad (2)$$

$$\sigma_{i,j}^f = \frac{\sum_{m=-K}^K \sum_{n=-L}^L w_{m,n} |f_{i+m,j+n} - \mu_{i,j}^f|}{\sum_{m=-K}^K \sum_{n=-L}^L w_{m,n}} \quad (3)$$

식 (2) 및 (3)의 $w_{m,n}$ 은 윈도우 내의 화소들에 부여되는 가중치 값을 의미하며, 일반적으로 윈도우 크기는 $K=L$ 인 정방형 윈도우를 사용 한다.

첨부 노이즈에 대한 정보는 노이즈 제거 과정에서 매우 효과적으로 활용할 수 있지만 관측 영상만으로 노이즈 정보를 예측 또는 추출하는 것은 한계성을 갖고 있다. 일반적으로 노이즈 정보 추정 기법은 크게 블록 단위 또는 화소 단위로 매개 변수를 예측하는 방식으로 분류할 수 있다^[11,12]. 본 논문에서는 가우시안 분포를 갖는 노이즈의 매개 변수를 결정하여 왜곡 영상에 적용할 저주파 통과 (low-pass) 필터로 사용하고, 왜곡 영상과 저주파 통과 필터된 영상과의 오차 신호를 노이즈 성분으로 추정하여 노이즈 검출 및 제거 과정에 활용하였다. 본 논문에서 사용한 저주파 통과를 위한 가우시안 필터는 식 (2) 및 (3)을 이용하였으며, 가중치 값 $w_{m,n}$ 은 '1'로 균일한 가중치를 사용하였다. 상기와 같은 국부 평균 및 국부 표준편차를 이용한 (i,j) 번째 화소를 위한 저주파 통과용 보정된 가우시안 필터는 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$h_{i+m,j+n} = \frac{1}{Z} \exp\left(-T \frac{(\sigma_{i,j}^y)^2 (m^2 + n^2)}{\sqrt{\mu_{i,j}^y + 1}}\right) \quad (4)$$

for $-1 \leq m, n \leq 1$

위 식에서 Z 및 T 는 정규화 상수 및 보정 매개 변수를 의미한다. 식 (4)를 이용한 예측 노이즈 영상은 다음과 같이 표현될 수 있다.

$$\hat{n} = y - \hat{x} = y - y * h \quad (5)$$

식 (5)에서 \hat{n} 및 \hat{x} 은 각각 예측 노이즈 영상 및 예측 원 영상을 나타내며, $*$ 는 컨볼루션 (convolution) 연산자를 의미한다. 식 (5)의 예측 노이즈 영상을 통해 원 영상에 대한 국부 평균 및 표준 편차를 산출하고, 이를 통해 관측 영상노이즈 정도를 판단하여 노이즈 검출 및 제거 과정에 사용하게 된다. 원 영상에 대한 예측 국부 평균 및 표준 편차는 첨부 노이즈가 신호에 독립적이라는 가정 하에 다음과 같이 기술된다.

$$\begin{aligned} \mu_{i,j}^{\hat{x}} &= \mu_{i,j}^y - \mu_{i,j}^{\hat{n}} \\ \sigma_{i,j}^{\hat{x}} &= \sqrt{(\sigma_{i,j}^y)^2 - (\sigma_{i,j}^{\hat{n}})^2} \end{aligned} \quad (6)$$

식 (6)은 해당 열화 영상의 국부 통계 특성 정보를 나타낸다. 상기 국부 통계 특성을 관측 영상의 (i,j) 번째 화소 측면에서 살펴보면, $\mu_{i,j}^{\hat{x}}$ 와 큰 오차가 존재하는 화소는 노이즈 정도가 큰 화소로 분류될 수 있으며, 해당 국부 평균의 일정 범위 내의 값인 경우 노이즈 정도가 작거나 노이즈가 존재하지 않는 경우로 판단할 수 있다. 이와 같은 내용을 기반으로 관측 영상의 (i,j) 번째 화소 값에 따라 다음과 같이 노이즈 분류 과정을 수행한다.

$$flag_{i,j}^y = \begin{cases} 2, & \text{if } y_{i,j} \leq \mu_{i,j}^{\hat{x}} - T_2 \\ & \text{or } y_{i,j} \geq \mu_{i,j}^{\hat{x}} + T_2 \\ 1, & \text{if } \mu_{i,j}^{\hat{x}} - T_2 < y_{i,j} \leq \mu_{i,j}^{\hat{x}} - T_1 \\ & \text{or } \mu_{i,j}^{\hat{x}} + T_1 \leq y_{i,j} < \mu_{i,j}^{\hat{x}} + T_2 \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (7)$$

위 식에서 T_1 및 T_2 는 임계치 값들을 의미한다. 식 (6)과 같이 첨부 노이즈 양에 따라 분류를 하는 과정에서 사전에 정의된 임계치를 사용하는 경우 영상의 국부 특성 또는 첨부 노이즈 양에 따라 노이즈 분류 성능의 변화가 큰 문제점이 발생하게 된다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 본 논문에서는 열화된 영상 \hat{x} 및 y 가 가우시안 분포를 갖는다는 가정 하에 국부 통계 특성에 따라 임계치 값들을 식 (8)과 설정하였다.

$$\begin{cases} T_1 = \frac{\sigma_{i,j}^{\hat{x}}}{4} \\ T_2 = \frac{\sigma_{i,j}^{\hat{x}}}{2} \end{cases} \quad (8)$$

국부 활동성을 이용하여 노이즈 분류 과정에서 영상 특성에 따른 자율 조정 (self-control) 능력을 부여하기 위해 식 (7)의 임계치를 식 (8)과 같이 설정한 이유는 다음과 같다. 예를 들어 $\sigma_{i,j}^{\hat{x}}$ 가 큰 경우 (i,j) 번째 화소의 국부 활동성이 큰 영역에 해당되어 노이즈 제거 후의 과도한 열화 현상을 피하기 위해서는 임계치 값이 크게 설정되어야 하며, $\sigma_{i,j}^{\hat{x}}$ 가 작은 경우는 국부 활동성이 작은 평탄한 영역에 해당되어 임계치가 작게 설정되어야 하는 특성을 반영하고 있다. 식 (7)에서 $flag_{i,j}$ 가 '0'인 (i,j) 번째 화소는 노이즈 제거 필터 과정을 수행하

지 않고, $flag_{i,j}$ 가 '1'로 설정된 화소는 상대적으로 노이즈 양이 작다고 판단되어 약한 저주파 통과 필터 (weak low-pass filter)를 적용하여 노이즈 제거 과정을 수행하고, $flag_{i,j}$ 가 '2'로 설정된 경우는 노이즈양이 크게 판단된 화소로서 강한 저주파 통과 필터 (strong low-pass filter)를 적용하게 된다.

2.2. 노이즈 제거 알고리즘

식 (7)에서 분류된 바와 같이 (i,j) 번째 화소에 대한 예측 노이즈 특성을 나타내는 $flag_{i,j}$ 에 따라 관측 신호 $y_{i,j}$ 에 노이즈 필터를 적용하여 노이즈 제거 과정을 수행한다. 본 논문에서는 노이즈 제거 필터로 가우시안 저주파 통과 필터를 사용하였으며 매개변수 및 필터 윈도우 크기를 $flag_{i,j}$ 에 따라 적응적으로 설정하는 방식을 사용하였다. 본 논문에서 사용한 변형된 가우시안 필터의 (i,j) 번째 화소의 필터 계수는 다음과 같이 기술된다.

$$w_{m+i,n+j} = \frac{1}{E} \exp\left(-G \frac{(\hat{\sigma}_{i,j}^x)^2 (m^2 + n^2)}{\sqrt{\hat{\mu}_{i,j}^x + 1}}\right) \quad (9)$$

위 식에서 $w_{m+i,n+j}$ 는 (i,j) 번째 화소를 기준으로 하는 필터 윈도우 내의 (m,n) 번째 화소에 대한 필터 계수를 나타내며, E 및 G 는 변형된 정규화 상수 및 보정 매개 변수를 의미한다. 더불어, $flag_{i,j}$ 가 '0'인 경우는 노이즈 성분이 존재하지 않는 화소로 판별된 노이즈 필터를 과정을 수행하지 않고 관측 신호를 복원 신호로 대체하게 된다. 식 (9)의 필터는 국부 분산이 클수록 인접된 화소의 필터 계수값을 작게 설정되어 복원 영상의 열화 현상을 피하고자 하였으며, 노이즈 양이 많을수록 필터를 크게 설정하여 강한 저주파 통과 필터를 적용하였다. 식 (9)를 적용한 복원 영상은 다음과 같이 기술될 수 있다.

$$\hat{x}_{i,j} = \begin{cases} y_{i,j} & \text{for } flag_{i,j} = 0 \\ \frac{\sum_{m=-U}^U \sum_{n=-U}^U w_{m,n} y_{m+i,n+j}}{\sum_{m=-U}^U \sum_{n=-U}^U w_{m,n}} & \text{otherwise} \end{cases} \quad (10)$$

제안 방식의 전체 흐름도를 그림 1에 나타내었다.

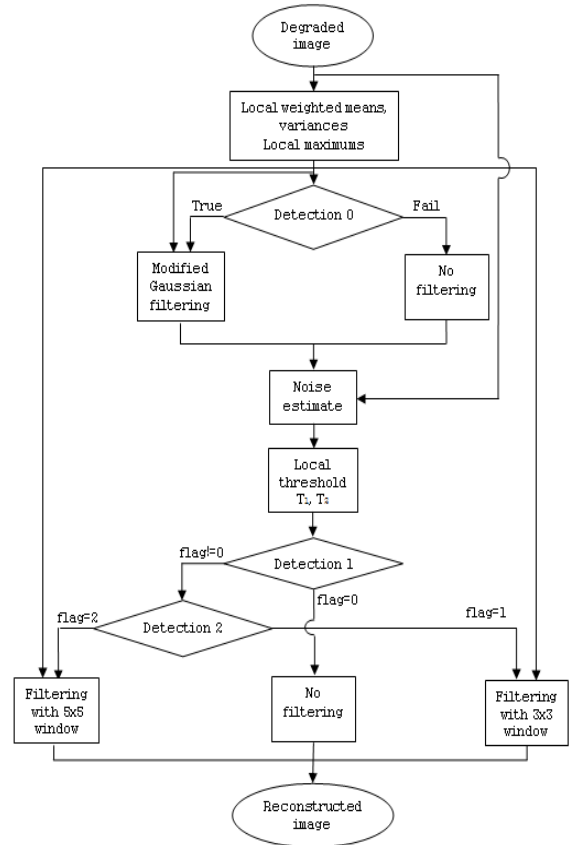


그림 1. 제안 기법 흐름도
Fig 1. Flow-chart of the entire proposed algorithm

III. 실험 결과

본 논문에서 제안한 기법을 다양한 영상들에 다양한 노이즈 양을 첨부해서 실험하였다. 실험 영상으로는 256×256 크기의 "Lena", "Cameraman" 및 "Goldhill" 영상을 사용하였으며, 각 영상에 다양한 가우시안 노이즈양을 첨가하여 SAWM 필터 기법[7], 쌍방향 필터 (BF)[6], 통계 가설 테스트 기법 (SHT) 기법[8] 및 고속 가우시안 필터 기법 (FAEA)[9]과 성능 비교를 하였다. 본 논문에서는 위의 영상에 10dB, 20dB 및 30dB 노이즈가 첨부된 결과에 대해서 기술한다. 식 (4) 및 (7)의 필터 보정 상수는 $T = G = 0.05$ 를 동일하게 사용하였다. 성능 비교는 노이즈 검출 정확도, PSNR (Peak Signal to Noise Ratio) 및 SSIM (Structural Similarity Image Index)[14]를 사용하였다. 노이즈 검출 성능을 평가하기 위하여 노이즈 검출 정확도

(D_F)는 다음과 같이 기술된다.

$$D_F = \left(1 - \frac{F_P + M_P}{T_P}\right) \times 100 \quad (11)$$

식 (11)에서 F_P 는 노이즈가 첨부되지 않은 화소가 노이즈로 판별되어 검출되는 검출 오류 (Detection Fault) 화소 수를 나타내며, M_P 는 노이즈에 의해 훼손된 화소가 노이즈 화소로 검출되지 않는 검출 오류 (Detection Missing)로 판별되는 화소 수를 의미한다. 더불어, T_P 영상의 전체 화소 수를 나타낸다.

표 1-3에 제안 방식과 기존 방식과의 성능 비교를 나타내었다. 상기 표에서 알 수 있듯이 다양한 노이즈 양 및 영상에 대해 제안 방식의 노이즈 검출 정확도가 높음을 확인할 수 있었으며, 첨부 노이즈 양이 많을수록 노이즈 검출의 정확성이 높아짐을 확인할 수 있었다. 더불어 각 방식을 적용한 복원 영상의 PSNR 측면에서도 제안 방식의 성능이 우수함을 확인할 수 있었으며, 첨부 노이즈 양이 작을수록 기존 방식과의 성능 차이가 커짐을 확인할 수 있었다. 상기와 같은 이유는 예측된 첨부 노이즈 양에 따라 노이즈 검출 조건을 설정하고, 검출된 노이즈 위치 및 정도에 따라 적응적인 필터링 방식을 적용하여 복원 영상의 과도한 열화 현상을 피할 수 있음에 기인한다. 특히 쌍방향 필터의 경우 첨부 노이즈 양이 많은 경우, 노이즈 검출 과정을 없애고도 기타 기존 방식과 비교하여 성능이 우수하지만 노이즈 양이 적을수록 과도한 열화 현상에 의해 성능 저하가 많음을 알 수 확인할 수 있었다. 또한 Lena 영상에 30dB 노이즈가 첨부된 경우, FAEA 및 SHT 방식의 노이즈 검출 성능이 제안 방식과 유사한 성능을 나타내고 있으나 노이즈 제거 필터 성능의 차이로 제안 방식이 향상된 결과를 얻었음을 확인할 수 있었다. 더불어 복원 영상의 시각적 평가 방식인 SSIM 측면에서도 다양한 환경에서 기존 방식과 비교하여 향상된 결과가 있었음을 알 수 있었으며, 상기와 같은 결과로부터 제안 방식의 노이즈 검출 기법 및 노이즈 제거 필터 기법의 성능의 우수성을 확인할 수 있다.

그림 2-4에 시각적 성능 비교를 위해 실험에 사용한 영상들의 확대 영역들을 표기하였다. 기존 방식과 비교하여 제안 방식의 결과 영상이 열화 현상을 최소화하면서 효과적으로 첨부된 노이즈 성분을

제거했음을 알 수 있다. 실험 결과에서 확인할 수 있듯이 10dB 가우시안 노이즈에 의해 왜곡된 “Lena” 영상에 대한 비교 방식의 복원 영상은 노이즈 성분의 제거가 효과적이지 않는 반면에 “Cameraman” 및 “Goldhill” 영상은 과도한 열화 현상에 기인하여 윤곽선 부분의 중요 정보가 훼손되었음을 확인할 수 있다.

표 1. Lena 영상에 대한 성능 비교
Table 1. Performance comparisons with Lena image.

Noise	Method	DF(%)	PSNR	SSIM
10 dB	SAWM	84.96	27.60	0.752
	BF	N/A	29.43	0.824
	SHT	90.51	28.52	0.810
	FAEA	92.16	28.08	0.774
	Proposed	94.98	29.62	0.854
20 dB	SAWM	84.86	30.87	0.885
	BF	N/A	32.27	0.926
	SHT	82.11	33.99	0.929
	FAEA	86.62	35.30	0.949
	Proposed	89.61	35.64	0.951
30 dB	SAWM	70.03	31.66	0.909
	BF	N/A	32.63	0.938
	SHT	70.20	39.30	0.941
	FAEA	71.52	39.61	0.975
	Proposed	70.04	41.04	0.977

표 2. Cameraman 영상에 대한 성능 비교
Table 2. Performance comparisons with Cameraman image.

Noise	Method	DF(%)	PSNR	SSIM
10 dB	SAWM	90.14	25.06	0.628
	BF	N/A	27.93	0.701
	SHT	91.22	27.91	0.715
	FAEA	92.52	26.96	0.644
	Proposed	95.65	28.21	0.760
20 dB	SAWM	86.02	27.34	0.775
	BF	N/A	31.22	0.886
	SHT	83.98	33.38	0.880
	FAEA	87.84	34.13	0.899
	Proposed	93.62	34.50	0.902
30 dB	SAWM	70.95	27.66	0.798
	BF	N/A	31.62	0.913
	SHT	70.02	34.85	0.923
	FAEA	74.24	39.45	0.965
	Proposed	79.04	41.10	0.969

상기 결과에서 확인할 수 있듯이 비교 방식들은 영상의 특성에 따라 복원 영상의 결과가 상이한 형태로 표현되지만 제안 방식은 일관성 있는 결과를 보임을 알 수 있다. 상기 결과로부터 제안 방식은 일관성 있게 평탄한 영역에서의 노이즈 제거 성능

및 국부 활동성이 높은 영역에서의 윤곽선 보존성이 매우 우수함을 알 수 있다.

표 3. Goldhill영상에 대한 성능 비교

Table 3. Performance comparisons with Goldhill image.

Noise	Method	DF(%)	PSNR	SSIM
10 dB	SAWM	90.38	26.32	0.746
	BF	N/A	28.25	0.801
	SHT	90.91	28.09	0.800
	FAEA	91.88	27.94	0.797
	Proposed	94.7	28.39	0.805
20 dB	SAWM	86.99	28.04	0.808
	BF	N/A	29.55	0.852
	SHT	84.12	33.52	0.901
	FAEA	86.39	34.08	0.940
	Proposed	87.34	35.12	0.955
30 dB	SAWM	69.08	28.59	0.761
	BF	N/A	29.65	0.858
	SHT	69.78	29.95	0.910
	FAEA	70.37	36.94	0.966
	Proposed	75.93	39.77	0.978

본 논문에서는 침부 노이즈에 대한 사전 정보 없이 관측 영상의 국부 통계 특성에 따라 침부 노이즈 정보를 예측하고, 이를 기반으로 효과적으로 노이즈 검출 과정 및 노이즈 제거 대한 기법을 제안하였다. 실험 결과 및 분석을 통해 제안 방식이 객관적 및 주관적 성능 평가 측면에서 우수함을 확인할 수 있었다.



(a) 확대된 원 영상

(a) Enlarged original image



(b) 왜곡 영상
(10dB 노이즈 침부)
(b) Degraded image
(with 10 dB noise)



(c) SAWM 결과 영상
(c) Result with SAWM



(d) BF 결과 영상
(d) Result with BF



(e) FAEA 결과 영상
(e) Result with FAEA



(f) SHT 결과 영상
(f) Result with SHT



(g) 제안 기법 결과 영상

(g) Result with proposed algorithm

그림 2. Lena 영상에 대한 실험 결과

Fig. 2. Experimental results with Lena image



(a) 확대된 원 영상

(a) Enlarged original image



(b) 왜곡 영상
(10dB 노이즈 침부)
(b) Degraded image
(with 10 dB noise)



(c) SAWM 결과 영상
(c) Result with SAWM



(d) BF 결과 영상
(d) Result with BF



(e) FAEA 결과 영상
(e) Result with FAEA



(f) SHT 결과 영상
(f) Result with SHT

IV. 결 론

본 논문에서는 관측 영상의 공간적 국부 통계 특성을 이용한 적응적인 노이즈 검출 및 제거 방식을 제안하였다. 영상의 국부 통계 특성이 가우시안 분포를 갖는다는 가정 하에 왜곡 영상으로부터 국부 평균 및 분산을 산출하여 왜곡 노이즈 정보를 예측하고, 검출된 노이즈 양에 따라 노이즈 제거를 위한 가우시안 필터의 매개변수 및 필터 크기를 적응적으로 설정하여 효과적으로 노이즈 제거가 이루어졌음을 다양한 실험을 통해 확인할 수 있었다. 상기 기법을 이용하여 제안 방식은 일관성 있게 평탄한 영역에서의 노이즈 제거가 이루어졌으며 국부 활동성이 높은 영역에서 윤곽성 보존 능력이 우수함을 확인할 수 있었다. 현재 대칭한 비가우시안 분포 특성에 대한 모델링 및 노이즈 제거 방식과 관련된 연구를 수행 중에 있으며, 이를 통해 다양한 형태의 노이즈가 효과적으로 제거할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] R. C. Gonzalez and R. E. Wood, *Digital Image Processing*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall, 2002.
- [2] T. A. Nodes, N. C. Gallagher, "Median filters: Some modifications and their Properties," *IEEE Trans. Acoust., Speech and Sig. Process.*, vol. ASSP-30, no. 5, pp. 739-746, Oct. 1982.
- [3] G. R. Arce, *Nonlinear Signal Processing - A Statistical Approach*, Wiley, 2004.
- [4] D. Brownrigg, "The weighted median filter," *Communication of the ACM*, vol. 27, no. 8, pp. 807-818, Aug. 1984.
- [5] S. J. Ko and S. J. Lee, "Center weighted median filters and their applications to image enhancement," *IEEE Trans. Circ. Sys*, vol. 15, no. 4, pp. 984-993, Sep. 1991.
- [6] C. Tomasi and R. Manduchi, "Bilateral filtering for gray and color images," in *Proc. IEEE Int. Conf. on Computer Vision (ICCV)*, pp. 839-846, Jan. 1998.
- [7] X. Zhang and Y. Xiong, "Impulse noise removal using directional difference based



(g) 제안 기법 결과 영상

(g) Result with proposed algorithm

그림 3. Cameraman 영상에 대한 실험 결과
Fig. 3. Experimental results with Cameraman image



(a) 확대된 원 영상

(a) Enlarged original image



(b) 왜곡 영상

(10dB 노이즈 첨부)

(b) Degraded image (with 10 dB noise)



(c) SAWM 결과 영상

(c) Result with SAWM



(d) BF 결과 영상

(d) Result with BF



(e) FAEA 결과 영상

(e) Result with FAEA



(f) SHT 결과 영상

(f) Result with SHT



(g) 제안 기법 결과 영상

(g) Result with proposed algorithm

그림 4. Goldhill 영상에 대한 실험 결과
Fig. 4. Experimental results with Goldhill image

noise detector and adaptive weighted mean filter,” *IEEE Signal Proc. Let.*, vol. 16, no. 4, pp. 295-298, Apr. 2009.

[8] J. H. Lee, Y. H. Kim, and J. H. Nam, “Adaptive noise reduction algorithm based on statistical hypotheses tests,” *IEEE Trans. Consum. Electr.*, vol. 54, no. 3, pp. 1406-1414, Aug. 2008.

[9] V. R. Vijaykumar, P. T. Vanathi, P. Kanagasabapathy, “Fast and efficient algorithm to remove Gaussian noise in digital images,” *IAENG Int. J. of Comp. Sci.*, vol. 37, no. 1, pp. 300-302, Sep. 2010.

[10] W.-S. Song, T.-A. Nguyen, and M.-C. Hong, “An adaptive noise removal method using local statistics and generalized Gaussian filter,” *J. KICS*, vol. 35, no. 1, pp. 17-23, Jan. 2009.

[11] S. I. Olsen, “Noise variance estimation in images: An evaluation,” *Comp. Vision Graphics Image Process.*, vol. 55, no. 4, pp. 319-323, April 1993.

[12] D. H. Shin, R. H. Park, S. J. Yang, “Block-based noise estimation using adaptive Gaussian filtering,” *IEEE Trans. Consum. Electr.*, vol. 51, no. 1, pp. 218-226, Feb. 2005.

[13] G. L. Anderson and A. K. Netravali, “Image restoration based on a subjective criterion,” *IEEE Trans. Sys. Man. and Cybern.*, vol. 6, no. 12, pp. 845-853, Dec. 1976.

[14] Z. Wang, A. C. Bovik, H. R. Sheikh, and E. P. Simoncelli, “Image quality assesment: from error visibility to structural similarity,” *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004.

응웬 뚜안안 (Tuan-Anh Nguyen)



2008년 Post and Telecommunication Institute of Technology, Vietnam, B.S.

2010년 8월 송실대학교 정보통신공학과 석사

2010년 9월~현재 송실대학교

정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 영상 복원, 초해상도 비디오 처리

김 범 수 (Beomsu Kim)



2007년 2월 송실대학교 정보통신전자공학부 학사

2009년 2월 송실대학교 정보통신공학과 석사

2010년 7월~2012년 6월 한국인터넷진흥원 주임연구원

2012년 9월~현재 송실대학교

정보통신공학과 박사과정

<관심분야> 영상 신호처리, 영상이해, 패턴인식

홍 민 철 (Min-Cheol Hong)



1998년 2월 연세대학교 전자공학과 학사

1990년 8월 연세대학교 전자공학과 석사

1997년 8월 Northwestern대학교 전기및컴퓨터공학과 박사

1997년 9월~1998년 8월

Northwestern대학교 전기및컴퓨터공학과 박사후과정

1998년 9월~2000년 2월 LG전자 선임연구원

2000년 3월~현재 송실대학교 정보통신전자 공학부 교수

<관심분야> 영상 복원 및 enhancement, Blind image deconvolution, 동영상 부호화, 3D 영상 신호처리, 비선형 영상 신호 처리, 움직임 추정 및 모델링