



(19) 대한민국특허청(KR)
(12) 등록특허공보(B1)

(45) 공고일자 2018년06월05일
(11) 등록번호 10-1864670
(24) 등록일자 2018년05월30일

(51) 국제특허분류(Int. Cl.)

G06T 5/00 (2006.01)

(52) CPC특허분류

G06T 5/002 (2013.01)

G06T 3/4053 (2013.01)

(21) 출원번호 10-2017-0076340

(22) 출원일자 2017년06월16일

심사청구일자 2017년06월16일

(56) 선행기술조사문헌

KR101025569 B1

KR1020100101463 A

JP2013065302 A

엄일규 외1명, “영역 병합을 이용한 웨이블릿 잡음 제거”, 한국통신학회논문지 제30권 3C호, 2005.3, 119-124 (6 pages)]

(73) 특허권자

인천대학교 산학협력단

인천광역시 연수구 아카데미로 119 (송도동)

(72) 발명자

전광길

인천광역시 연수구 경원대로119번길 21, 114동 904호(동춘동, 풍림2차아파트)

(74) 대리인

특허법인충정

기술이전 희망 : 기술양도

전체 청구항 수 : 총 8 항

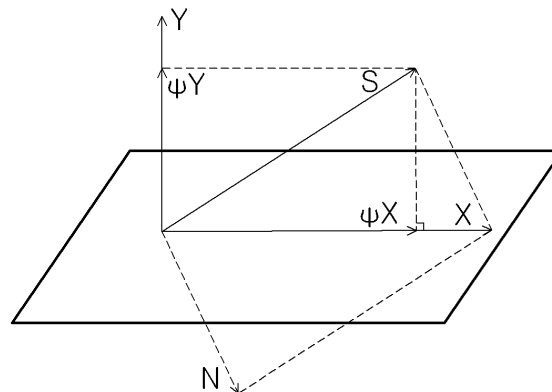
심사관 : 김광식

(54) 발명의 명칭 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치 및 그 방법

(57) 요약

고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치 및 그 방법은 이미지의 엣지 정보를 보존하면서 고해상도 주파수 신호들을 이용하여 위너 필터에서 신호 편차를 결정하고, 이로 인하여 이미지의 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키지 않으며, 이미지 잡음을 줄여 화질을 개선한다.

대표도 - 도2



(52) CPC특허분류

G06T 5/003 (2013.01)

G06T 2207/20064 (2013.01)

공지예외적용 : 있음

명세서

청구범위

청구항 1

잡음이 있는 이미지 X를 입력받는 단계;

상기 입력된 잡음이 있는 이미지 X를 웨이블릿 변환으로 고주파수 신호와 저주파수 신호로 분해하는 단계;

상기 입력된 잡음이 있는 이미지 X에서 상기 고주파수 신호에 해당하는 잡음이 있는 이미지 X를 하기의 수학적

1과 수학적 2를 이용하여 확장된 행렬 $\tilde{X}$ 를 생성하고, 상기 잡음이 있는 이미지 X와 동일한 크기이고 직각 관계

인 섭동(Perturbation) Y를 하기의 수학적 3과 같이 확장하여 행렬 $\tilde{Y}$ 를 생성하는 단계;

상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 의 원소의 값을 기초로 이미지 분산을 추정하여 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 단계; 및

상기 계산한 웨이블릿 계수 Ψ 를 상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 에 일대일 곱셈한 후 더하여 잡음이 제거된 원본 이미지를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법.

[수학적 1]

$$\tilde{x}_{ij} = \begin{cases} x_{\frac{i}{2}, \frac{j}{2}}, & \text{if } i \text{ is even and } j \text{ is even} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[수학적 2]

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{0,0} & \tilde{x}_{0,1} & \tilde{x}_{0,2} & \cdots & \tilde{x}_{0,2W-3} & \tilde{x}_{0,2W-2} \\ \tilde{x}_{1,0} & \tilde{x}_{1,1} & \tilde{x}_{1,2} & \cdots & \tilde{x}_{1,2W-3} & \tilde{x}_{1,2W-2} \\ \tilde{x}_{2,0} & \tilde{x}_{2,1} & \tilde{x}_{2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2,2W-3} & \tilde{x}_{2,2W-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{2H-3,0} & \tilde{x}_{2H-3,1} & \tilde{x}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-3,2W-3} & \tilde{x}_{2H-3,2W-2} \\ \tilde{x}_{2H-2,0} & \tilde{x}_{2H-2,1} & \tilde{x}_{2H-2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-2,2W-3} & \tilde{x}_{2H-2,2W-2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_{0,0} & 0 & x_{0,1} & \cdots & 0 & x_{0,W-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{1,0} & 0 & x_{1,1} & \cdots & 0 & x_{1,W-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{H-1,0} & 0 & x_{H-1,1} & \cdots & 0 & x_{H-1,W-1} \end{bmatrix}$$

[수학식 3]

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{y}_{0,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{0,2W-3} & 0 \\ \tilde{y}_{1,0} & \tilde{y}_{1,1} & \tilde{y}_{1,2} & \cdots & \tilde{y}_{1,2W-3} & \tilde{y}_{1,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2,2W-3} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{y}_{2H-3,0} & \tilde{y}_{2H-3,1} & \tilde{y}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{y}_{2H-3,2W-3} & \tilde{y}_{2H-3,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2H-2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2H-2,2W-3} & 0 \end{bmatrix}$$

여기서, i, j 가 모두 짝수일 때 $\tilde{y}_{ij} = 0$ 로 설정함.

청구항 2

제1항에 있어서,

상기 행렬 $\tilde{Y}$ 를 생성하는 단계는,

상기 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법을 이용하여 Y 의 주변 네 개의 선형 결합으로 이루어진 관계에서 평균제곱오차를 최소로 하는 값으로 추정하여 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법.

청구항 3

제1항에 있어서,

상기 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 단계는,

상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 의 원소의 값을 기초로 하기의 수학식 4와 수학식 5에 의해 이미지 분산을 추정하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법.

[수학식 4]

$$E\{s_{i,j}^2\} = E\{(x_{i,j} + y_{i,j})^2\} - \sigma_n^2$$

여기서, S 는 잡음이 없는 이미지, σ_n^2 는 유한 분산, $E\{(x_{i,j} + y_{i,j})^2\}$ 은 기대값으로 계수 $(x_{i,j} + y_{i,j})$ 의 주변 값들로부터 추정됨.

[수학식 5]

$$E\{(x_{i,j} + y_{i,j})^2\} = \frac{1}{|C_{i,j}|} \sum_{x_{m,n} \in C_{i,j}} (x_{m,n} + y_{m,n})^2$$

여기서, $C_{i,j}$ 는 위치 (i, j) 에서 중심에 있는 크기 $M_H \times M_V$ 의 로컬 윈도우 내의 모든 계수들의 세트로 정의됨.

청구항 4

제3항에 있어서,

상기 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 단계는,

상기 추정된 이미지 분산을 하기의 수학적 식 6에 대입하여 상기 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법.

[수학적 식 6]

$$\Psi_{i,j} = \frac{(E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} - \sigma_n^2)}{E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\}}$$

청구항 5

잡음이 있는 이미지 X를 입력받는 영상 입력부;

상기 입력된 잡음이 있는 이미지 X를 웨이블릿 변환으로 고주파수 신호와 저주파수 신호로 분해하는 웨이블릿 변환부;

상기 입력된 잡음이 있는 이미지 X에서 상기 고주파수 신호에 해당하는 잡음이 있는 이미지 X를 하기의 수학적 식 1과 수학적 식 2를 이용하여 확장된 행렬 $\tilde{X}$ 를 생성하고, 상기 잡음이 있는 이미지 X와 동일한 크기이고 직각 관계인 섭동(Perturbation) Y를 하기의 수학적 식 3과 같이 확장하여 행렬 $\tilde{Y}$ 를 생성하는 이미지 확장부; 및

상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 의 원소의 값을 기초로 이미지 분산을 추정하여 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 웨이블릿 계수 생성부를 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치.

[수학적 식 1]

$$\tilde{x}_{ij} = \begin{cases} x_{\frac{i}{2}, \frac{j}{2}}, & \text{if } i \text{ is even and } j \text{ is even} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[수학식 2]

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{0,0} & \tilde{x}_{0,1} & \tilde{x}_{0,2} & \cdots & \tilde{x}_{0,2W-3} & \tilde{x}_{0,2W-2} \\ \tilde{x}_{1,0} & \tilde{x}_{1,1} & \tilde{x}_{1,2} & \cdots & \tilde{x}_{1,2W-3} & \tilde{x}_{1,2W-2} \\ \tilde{x}_{2,0} & \tilde{x}_{2,1} & \tilde{x}_{2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2,2W-3} & \tilde{x}_{2,2W-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{2H-3,0} & \tilde{x}_{2H-3,1} & \tilde{x}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-3,2W-3} & \tilde{x}_{2H-3,2W-2} \\ \tilde{x}_{2H-2,0} & \tilde{x}_{2H-2,1} & \tilde{x}_{2H-2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-2,2W-3} & \tilde{x}_{2H-2,2W-2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_{0,0} & 0 & x_{0,1} & \cdots & 0 & x_{0,W-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{1,0} & 0 & x_{1,1} & \cdots & 0 & x_{1,W-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{H-1,0} & 0 & x_{H-1,1} & \cdots & 0 & x_{H-1,W-1} \end{bmatrix}$$

[수학식 3]

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{y}_{0,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{0,2W-3} & 0 \\ \tilde{y}_{1,0} & \tilde{y}_{1,1} & \tilde{y}_{1,2} & \cdots & \tilde{y}_{1,2W-3} & \tilde{y}_{1,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2,2W-3} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{y}_{2H-3,0} & \tilde{y}_{2H-3,1} & \tilde{y}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{y}_{2H-3,2W-3} & \tilde{y}_{2H-3,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2H-2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2H-2,2W-3} & 0 \end{bmatrix}$$

여기서, i, j가 모두 짝수일 때 $\tilde{y}_{i,j} = 0$ 로 설정함.

청구항 6

제5항에 있어서,

상기 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소는 MMSE(Minimum Mean Square Error) 기법을 이용하여 Y의 주변 네 개의 선형 결합으로 이루어진 관계에서 평균제곱오차를 최소화 하는 값으로 추정하여 생성하는 섭동 추정부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치.

청구항 7

제6항에 있어서,

상기 웨이블릿 계수 생성부는 상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 의 원소의 값을 기초로 하기의 수학식 4와 수학식 5에 의해 이미지 분산을 추정하고, 상기 추정된 이미지 분산을 하기의 수학식 6에 대입하여 상기 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치.

[수학식 4]

$$E\{s_{i,j}^2\} = E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} - \sigma_n^2$$

여기서, S 는 잡음이 없는 이미지, σ_n^2 는 유한 분산, $E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\}$ 은 기대값으로 계수 $(x_{i,j}+y_{i,j})$ 의 주변 값들로부터 추정됨.

[수학식 5]

$$E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} = \frac{1}{|C_{i,j}|} \sum_{x_{m,n} \in C_{i,j}} (x_{m,n}+y_{m,n})^2$$

여기서, $C_{i,j}$ 는 위치 (i,j) 에서 중심에 있는 크기 $M_H \times M_V$ 의 로컬 윈도우 내의 모든 계수들의 세트로 정의됨.

[수학식 6]

$$\psi_{i,j} = \frac{(E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} - \sigma_n^2)}{E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\}}$$

청구항 8

제7항에 있어서,

상기 계산한 웨이블릿 계수 Ψ 를 상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 에 일대일 곱셈한 후 더하여 잡음이 제거된 원본 이미지를 생성하는 원본 이미지 생성부를 더 포함하는 것을 특징으로 하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치.

발명의 설명

기술 분야

[0001] 본 발명은 영상의 화질 개선 방법에 관한 것으로서, 특히 이미지의 엣지 정보를 보존하면서 고해상도 주파수 신호들을 이용하여 위너 필터에서 신호 편차를 결정하고, 이로 인하여 이미지의 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키지 않으며, 이미지 잡음을 줄여 화질을 개선하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치 및 그 방법에 관한 것이다.

배경 기술

- [0002] 이미지 잡음 제거는 이미지 획득 및 전송 중에 백색 가우스 노이즈에 의해 오염된 디지털 이미지를 복구한다.
- [0003] 효과적인 이미지 복원 알고리즘의 필요성은 종종 획득되는 모든 종류의 디지털 이미지 및 영화의 대량 생산으로 증가했다.
- [0004] 이미지 잡음 제거의 목표는 왜곡된 이미지에서 원본 이미지를 재구성하여 인간의 눈에 보이는 부작용을 제거하기 위해 잡음을 제거하며 가장자리 및 텍스처 디테일을 보존하는 것이다.
- [0005] 지난 수십년 동안 고품질의 잡음 제거 성능을 위한 많은 알고리즘이 제안되었다. 그 중 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transform, DWT)은 영상 처리 분야에서 널리 사용되어왔다.
- [0006] DWT의 성공은 DWT가 이미지의 띄엄띄엄 채워진 표현에 적용이 가능하기 때문이다.
- [0007] 웨이블릿 도메인에서 잡음은 고주파수 계수(High Frequency Coefficients)에 걸쳐 균일하게 퍼지고, 대부분의

이미지 정보는 소수의 중요한 저주파수 계수(Low Frequency Coefficients)에 집중되어 있다.

- [0008] 노이즈로부터 실제 정보를 구별하기 위해서는 웨이블릿 도메인의 웨이블릿 계수를 임계값으로 설정한다.
- [0009] 한편, 웨이블릿 도메인에서의 위너 필터링(Wiener Filtering)은 이미지 잡음 제거에 대한 관심을 받고 있다.
- [0010] 위너 필터는 미지의 원본 신호의 분산에 대한 지식이 필요하고, 잡음 데이터로부터 분산을 추정한다. 한편, 정확하고 효율적인 웨이블릿 계수를 얻기 위해서는 많은 모델이 연구되었다.
- [0011] 예를 들어, HMM(Hidden Markov Model) 기반의 웨이블릿 도메인 프레임워크는 통계적 의존성을 포착하기 위해 제안되었다.
- [0012] 전술한 바와 같이, 잡음이 많은 환경에서 신호 분산의 추정은 위너 필터 기반의 잡음 제거에서 중요한 문제이다.
- [0013] 웨이블릿 계수의 로컬 근사에 기초하여 모든 웨이블릿 계수의 분산을 추정한다. 이러한 가정은 웨이블릿 계수가 국부적으로 독립적이고 동일하게 분포되며, 근사가 커짐에 따라 부정확해진다.
- [0014] 한편, 윈도우 크기는 잡음 제거 문제에서 또 다른 중요한 내용이다.
- [0015] 본 발명의 제안된 방법은 거의 임의적인 모양의 윈도우(Nearly Arbitrarily Shaped Window, NASW)를 가진 웨이블릿을 기초로 한 위너 필터이다.
- [0016] NASW는 큰 윈도우 크기를 사용하기 때문에 이미지 디테일을 감소시키는 단점이 있다. 윈도우 크기가 증가하면 웨이블릿 계수 간의 의존성이 감소한다.
- [0017] 따라서, 국부적인 적응 윈도우의 크기는 신호 전력의 추정에 중요한 요소이다.
- [0018] 대부분의 위너 필터 기반의 알고리즘은 윈도우 크기가 크기 때문에 성능 저하가 발생한다. 이는 윈도우 크기가 큰 경우 픽셀 간의 관계가 약해지기 때문이다.

발명의 내용

해결하려는 과제

- [0019] 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여, 본 발명은 이미지의 엣지 정보를 보존하면서 고해상도 주파수 신호들을 이용하여 위너 필터에서 신호 편차를 결정하고, 이로 인하여 이미지의 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키지 않으며, 이미지 잡음을 줄여 화질을 개선하는 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치 및 그 방법을 제공하는데 그 목적이 있다.

과제의 해결 수단

- [0020] 상기 목적을 달성하기 위한 본 발명의 특징에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법은,
- [0021] 잡음이 있는 이미지 X 를 입력받는 단계;
- [0022] 상기 입력된 잡음이 있는 이미지 X 를 웨이블릿 변환으로 고주파수 신호와 저주파수 신호로 분해하는 단계;
- [0023] 상기 고주파수 신호에서 상기 잡음이 있는 이미지 X 를 하기의 수학식 1과 수학식 2와 같이 확장하여 행렬 $\tilde{X}$ 를 생성하고, 상기 잡음이 있는 이미지 X 와 동일한 크기이고 직각 관계인 섭동(Perturbation) Y 를 하기의 수학식 3과 같이 확장하여 행렬 $\tilde{Y}$ 를 생성하는 단계;
- [0024] 상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 의 고해상도 값을 기초로 이미지 분산을 추정하여 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산하는 단계; 및
- [0025] 상기 계산한 웨이블릿 계수 Ψ 를 상기 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 에 일대일 곱셈한 후 더하여 잡음이 제거된 원본 이미지를 생성하는 단계를 포함하는 것을 특징으로 한다.

[0026] [수학식 1]

$$\tilde{x}_{i,j} = \begin{cases} x_{\frac{i}{2},\frac{j}{2}}, & \text{if } i \text{ is even and } j \text{ is even} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

[0027]

[0028] [수학식 2]

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{0,0} & \tilde{x}_{0,1} & \tilde{x}_{0,2} & \cdots & \tilde{x}_{0,2W-3} & \tilde{x}_{0,2W-2} \\ \tilde{x}_{1,0} & \tilde{x}_{1,1} & \tilde{x}_{1,2} & \cdots & \tilde{x}_{1,2W-3} & \tilde{x}_{1,2W-2} \\ \tilde{x}_{2,0} & \tilde{x}_{2,1} & \tilde{x}_{2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2,2W-3} & \tilde{x}_{2,2W-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{2H-3,0} & \tilde{x}_{2H-3,1} & \tilde{x}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-3,2W-3} & \tilde{x}_{2H-3,2W-2} \\ \tilde{x}_{2H-2,0} & \tilde{x}_{2H-2,1} & \tilde{x}_{2H-2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-2,2W-3} & \tilde{x}_{2H-2,2W-2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_{0,0} & 0 & x_{0,1} & \cdots & 0 & x_{0,W-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{1,0} & 0 & x_{1,1} & \cdots & 0 & x_{1,W-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{H-1,0} & 0 & x_{H-1,1} & \cdots & 0 & x_{H-1,W-1} \end{bmatrix}$$

[0029]

[0030] [수학식 3]

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{y}_{0,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{0,2W-3} & 0 \\ \tilde{y}_{1,0} & \tilde{y}_{1,1} & \tilde{y}_{1,2} & \cdots & \tilde{y}_{1,2W-3} & \tilde{y}_{1,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2,2W-3} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{y}_{2H-3,0} & \tilde{y}_{2H-3,1} & \tilde{y}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{y}_{2H-3,2W-3} & \tilde{y}_{2H-3,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2H-2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2H-2,2W-3} & 0 \end{bmatrix}$$

[0031]

[0032] 여기서, i, j가 모두 짝수일 때 $\tilde{y}_{i,j} = 0$ 로 설정함.

발명의 효과

[0033] 전술한 구성에 의하여, 본 발명은 이미지의 엣지 정보를 보존하면서 큰 윈도우 크기를 사용해도 이미지의 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키지 않으며, 이미지 잡음을 줄여 화질을 개선하는 효과가 있다.

도면의 간단한 설명

[0034] 도 1은 LAWMAP와 위너 필터의 신호 대 잡음비의 차이를 나타낸 도면이다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 벡터 공간상에서 X와 Y의 직각 관계를 나타낸 도면이다.

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치의 구성을 간략하게 나타낸 블록도이다.

도 4는 본 발명의 실시예에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법을 나타낸 도면이다.

도 5는 본 발명의 실시예에 따른 원본 Lena 이미지에서 7개의 모델의 신호 대 잡음비를 비교한 결과를 나타낸 도면이다.

도 6은 본 발명의 실시예에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법과 종래의 화질 개선 방법에 대한 PSNR 결과를 비교한 도면이다.

도 7은 본 발명의 실시예에 따른 원본 Lena 이미지와 원본 Barbara 이미지를 본 발명의 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법과 공지 기술의 잡음 제거 기술을 적용한 결과 이미지를 나타낸 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

[0035] 명세서 전체에서, 어떤 부분이 어떤 구성요소를 "포함"한다고 할 때, 이는 특별히 반대되는 기재가 없는 한 다른 구성요소를 제외하는 것이 아니라 다른 구성요소를 더 포함할 수 있는 것을 의미한다.

[0036] NASW는 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키는 큰 윈도우 크기를 사용한다는 단점이 있다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 고해상도 추정을 사용한다.

[0037] 본 발명의 화질 개선 방법을 적용하여 이미지의 가장자리와 텍스처(밝기나 색깔의 공간적 변화가 균일한 모양)를 보존할 수 있다.

[0038] 웨이블릿 도메인에서 잡음이 있는 이미지는 다음의 [수학식 1]과 같이 나타낸다.

수학식 1

[0039]
$$X = S + N$$

[0040] X 는 크기가 $W \times H$ 를 가진 잡음이 포함된 이미지이고, $X = [x_{ij}]_{W \times H}; i = 0, \dots, H-1; j = 0, \dots, W-1$ 와 같이 나타낸다.

[0041] S 는 잡음이 없는 깨끗한 이미지로서 $S = [s_{ij}]_{W \times H}$ 와 같이 나타낸다.

[0042] N 은 제로 평균 및 유한 분산 σ_n^2 을 갖는 부가 백색 가우시안 잡음(Additive White Gaussian Noise)이다.

[0043] N 은 S 와 상관 관계가 없는 독립적인 가우스 변수이며, X 로부터 S 의 최적 추정치를 얻는다.

[0044] 위너 필터의 형태는 다음의 [수학식 2]와 [수학식 3]과 같은 스칼라 관계로 단순화할 수 있다.

수학식 2

[0045]
$$S_{ij} = \psi_{ij} X_{ij}$$

수학식 3

[0046]
$$\psi_{ij} = \frac{E\{s_{ij}^2\}}{E\{x_{ij}^2\}}$$

[0047] 전술한 [수학식 2]는 S 를 $\{x_{ij}\}$ 의 선형 조합으로 표현하며, 이러한 선형 조합은 다음의 [수학식 4]와 같이 공식화한다.

수학식 4

[0048]
$$S = \Psi \cdot X$$

[0049] 연산자 $\cdot$ 은 일대일 곱셈이고, $\Psi = [\psi_{ij}]_{W \times H}$ 는 [수학식 3]과 같이 나타낸다. 잡음이 없는 이미지 S 는 잡음 N 과 상관없이 없으므로 다음의 [수학식 5]와 같이 나타낸다.

수학식 5

[0050]
$$E\{s_{ij}^2\} = E\{x_{ij}^2\} - \sigma_n^2$$

[0051] 기대값 $E\{x_{ij}^2\}$ 은 계수 x_{ij} 의 주변값들로부터 추정된다. 기대값 $E\{x_{ij}^2\}$ 은 다음의 [수학식 6]과 같이 근사화할 수 있다.

수학식 6

[0052]
$$E\{x_{ij}^2\} = \frac{1}{|C_{ij}|} \sum_{x_{m,n} \in C_{ij}} x_{m,n}^2$$

[0053] 여기서, C_{ij} 는 위치 (i,j) 에서 중심에 있는 크기 $M_H \times M_V$ 의 로컬 윈도우 내의 모든 계수들의 세트로 정의되고, $|C_{ij}|$ 는 C_{ij} 의 집합 농도를 나타낸다.

[0054] 위의 식들을 거쳐 최종적으로 얻어지는 웨이블릿 계수 ψ_{ij} 는 다음의 [수학식 7]과 같다.

수학식 7

[0055]
$$\psi_{ij} = \frac{(E\{x_{ij}^2\} - \sigma_n^2)_+}{E\{x_{ij}^2\}}$$

[0056] 기대값 $E\{x_{ij}^2\}$ 의 추정은 위너 필터 기반의 잡음을 제거하는 방법에서 핵심 사항이다.

[0057] 윈도우 크기가 큰 영역이 윈도우 크기가 작은 영역보다 신뢰성 있는 추정을 유도한다.

[0058] LAWMAP와 위너 필터의 신호 대 잡음비(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR) 차이는 도 1a와 도 1b에 나와 있음

며, 각 윈도우 크기(3×3, 5×5, 7×7)를 비교하였다. PSNR의 결과는 최상의 결과를 얻었음을 알 수 있다. 여기서, LAWMAP는 다음의 공지된 논문에 기재되어 있다.

[0059] [6] A. Varsha, P. Basu, An improved dual tree complex wavelet transform based image denoising using GCV thresholding, in Proc. Int'l Conf. Computational Systems and Communications (ICCSC), 2014.

[0060] NASW와의 일관성을 유지하고 엣지 정보를 보존하기 위해서는 본 발명의 고해상도 추정의 위너 필터를 이용한 화질 개선 방법을 제안한다.

[0061] 본 발명의 위너 필터는 저해상도 이미지로부터 확장된 고해상도 값에서 이미지 분산을 추정한다.

[0062] 저해상도에서 고해상도에 이르는 X의 경우, 2차원 업로드를 위한 기존의 웨이블릿 계수 기법을 사용한다.

[0063] 본 발명은 잡음이 있는 이미지 X를 다음의 [수학식 8]과 [수학식 9]를 이용하여 $\tilde{X}$ 가 되도록 확장한다.

수학식 8

$$\tilde{x}_{i,j} = \begin{cases} x_{\frac{i}{2}, \frac{j}{2}}, & \text{if } i \text{ is even and } j \text{ is even} \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases}$$

수학식 9

$$\tilde{X} = \begin{bmatrix} \tilde{x}_{0,0} & \tilde{x}_{0,1} & \tilde{x}_{0,2} & \cdots & \tilde{x}_{0,2W-3} & \tilde{x}_{0,2W-2} \\ \tilde{x}_{1,0} & \tilde{x}_{1,1} & \tilde{x}_{1,2} & \cdots & \tilde{x}_{1,2W-3} & \tilde{x}_{1,2W-2} \\ \tilde{x}_{2,0} & \tilde{x}_{2,1} & \tilde{x}_{2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2,2W-3} & \tilde{x}_{2,2W-2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{x}_{2H-3,0} & \tilde{x}_{2H-3,1} & \tilde{x}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-3,2W-3} & \tilde{x}_{2H-3,2W-2} \\ \tilde{x}_{2H-2,0} & \tilde{x}_{2H-2,1} & \tilde{x}_{2H-2,2} & \cdots & \tilde{x}_{2H-2,2W-3} & \tilde{x}_{2H-2,2W-2} \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} x_{0,0} & 0 & x_{0,1} & \cdots & 0 & x_{0,W-1} \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{1,0} & 0 & x_{1,1} & \cdots & 0 & x_{1,W-1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \cdots & 0 & 0 \\ x_{H-1,0} & 0 & x_{H-1,1} & \cdots & 0 & x_{H-1,W-1} \end{bmatrix}$$

[0066] 종래의 위너 필터는 S를 X의 선형 조합으로 나타낸다.

[0067] 본 발명의 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법은 웨이블릿 도메인에서 잡음이 있는 이미지를 작은 섭동(Small Perturbation) Y를 적용하여 다음의 [수학식 10]과 같이 나타낸다.

수학식 10

$$S = \Psi \cdot (X + Y)$$

[0068]

[0069]

여기서, X와 Y를 직각으로 설정한다. 도 2에 도시된 바와 같이, 벡터 공간상에서 X와 Y의 직각 관계를 보여준다.

[0070]

전술한 [수학식 8], [수학식 9]와 같이, 잡음이 있는 이미지 X를 $\tilde{X}$ 로 확장한 것과 같이, Y는 일관성을 유지하기 위해서 X와 동일한 사이즈이어야 한다.

[0071]

따라서, 본 발명은 Y를 $\tilde{Y}$ 로 확장하고, $\tilde{Y}$ 를 $\tilde{X}$ 와 직각으로 만들기 위해서 i, j가 모두 짝수일 때 $\tilde{y}_{ij} = 0$ 로 설정한다.

[0072]

$\tilde{Y}$ 와 $\tilde{X}$ 가 직각인 경우 $\tilde{Y}$ 의 다른 계수들은 아무런 상관없이 없게 된다.

[0073]

$\tilde{Y}$ 를 행렬 형태로 나타내면 다음의 [수학식 11]과 같다.

수학식 11

$$\tilde{Y} = \begin{bmatrix} 0 & \tilde{y}_{0,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{0,2W-3} & 0 \\ \tilde{y}_{1,0} & \tilde{y}_{1,1} & \tilde{y}_{1,2} & \cdots & \tilde{y}_{1,2W-3} & \tilde{y}_{1,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2,2W-3} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \tilde{y}_{2H-3,0} & \tilde{y}_{2H-3,1} & \tilde{y}_{2H-3,2} & \cdots & \tilde{y}_{2H-3,2W-3} & \tilde{y}_{2H-3,2W-2} \\ 0 & \tilde{y}_{2H-2,1} & 0 & \cdots & \tilde{y}_{2H-2,2W-3} & 0 \end{bmatrix}$$

[0074]

[0075]

[수학식 11]은 $\tilde{Y}$ 를 도출하는 것이 본 발명에서 제안된 화질 개선 방법에서 중요함을 보여준다.

[0076]

도 3은 본 발명의 실시예에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치의 구성을 간략하게 나타낸 블록도이고, 도 4는 본 발명의 실시예에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법을 나타낸 도면이다.

[0077]

본 발명의 실시예에 따른 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 장치(100)는 영상 입력부(110), 웨이블릿 변환부(120), 이미지 확장부(130), 섭동 추정부(140), 웨이블릿 계수 생성부(150) 및 원본 이미지 생성부(160)를 포함한다.

[0078]

영상 입력부(110)는 잡음이 있는 이미지 X를 입력받는다(S100).

[0079]

웨이블릿 변환부(120)는 입력된 잡음이 있는 이미지 X를 웨이블릿 변환으로 고주파수 신호와 저주파수 신호로 분해한다(S102, S104).

[0080]

이미지 확장부(130)는 고주파수 신호에서 전술한 [수학식 8]과 [수학식 9]에 의해 잡음이 있는 이미지 X를 확장하여 $\tilde{X}$ 를 생성한다(S106).

[0081]

이미지 확장부(130)는 잡음이 있는 이미지 X와 동일한 크기이고 직각 관계인 섭동(Perturbation) Y를 전술한

[수학식 11]과 같이 확장하여 행렬 $\tilde{Y}$ 를 생성한다(S108).

[0082] 여기서, 섭동 Y 는 벡터 공간상에서 X 와 직각 관계를 나타낸다.

[0083] 섭동 추정부(140)는 MMSE 기법을 이용하여 행렬 $\tilde{Y}$ 를 도출하는데, 다시 말해, Y 의 주변 네 개의 선형 결합으로 이루어진 관계에서 평균제곱오차(MSE)를 최소로 하는 값을 최적의 값으로 추정한다(S110).

[0084] 행렬 $\tilde{Y}$ 를 추정하는 방법은 아래의 [표 1]과 같이 7개의 모델이 있다. X 와 Y 사이의 관계를 조사하기 위해서 7개의 모델을 설정한다.

[0085] 이렇게 설정한 모델은 다음의 [표 1]과 같다.

표 1

Representation of different methods to estimate Y .

Model #	$M_{\#}$: Description
Model 1 (zero padding)	M_1 : No perturbation, i.e., $Y = 0$
Model 2 (repeating)	M_2 : Y repeats the value of X
Model 3 (average)	M_3 : Y is average of the four neighborhood values
Model 4 (median)	M_4 : Y is the median of the five neighborhood values
Model 5 (bilinear)	M_5 : Bilinear is an interpolation technique
Model 6 (bicubic)	M_6 : Bicubic is an interpolation technique
Model 7 (MMSE)	M_7 : Y is a linear combination of four nearest neighbors

[0086]

[0087] [표 1]의 7개의 모델은 [수학식 11]에서 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 추정하는 방법이다.

[0088] 모델 1은 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 0으로 하는 것이고, 모델 2는 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 X 의 원소와 동일하게 하는 것이며, 모델 3은 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 주변 네 개의 값들의 평균으로 선택하는 것이다.

[0089] 모델 4는 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 주변 다섯 개들의 값의 중간값으로 선택하는 것이고, 모델 5는 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 공지의 이중 선형 보간법(Bilinear Interpolation)을 사용하여 추정하며, 모델 6은 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 공지의 고등차수 보간법(Bicubic Interpolation)을 사용하여 추정한다.

[0090] 본 발명의 실시예의 섭동 추정부(140)는 모델 7(MMSE)를 적용하여 행렬 $\tilde{Y}$ 내의 각각의 원소를 추정한다.

[0091] 도 5에 도시된 바와 같이, 원본 Lena 이미지에서 7개의 모델의 신호 대 잡음비(Peak Signal to Noise Ratio, PSNR)를 비교한 결과를 나타낸 것이며, 본 발명에서 적용된 모델 7의 PSNR 성능이 가장 좋은 것을 알 수 있다.

[0092] 웨이블릿 계수 생성부(150)는 행렬 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 의 고해상도 값을 기초로 다음의 [수학식 12], [수학식 13], [수학식 14], [수학식 15], [수학식 16]을 이용하여 이미지 분산을 추정하며, 웨이블릿 계수 Ψ 를 계산한다(S112).

여기서, [수학식 12], [수학식 13], [수학식 14], [수학식 15], [수학식 16]은 전술한 [수학식 2], [수학식 3], [수학식 5], [수학식 6], [수학식 7]에서의 X 를 $X+Y$ 로 대체되면 동일한 구조가 된다.

수학식 12

$$s_{i,j} = \psi_{i,j}(x_{i,j}+y_{i,j})$$

수학식 13

$$\psi_{i,j} = \frac{E\{s_{i,j}^2\}}{E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\}}$$

수학식 14

$$E\{s_{i,j}^2\} = E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} - \sigma_n^2$$

여기서, S 는 잡음이 없는 이미지, σ_n^2 는 유한 분산, $E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\}$ 은 기대값으로 계수 $(x_{i,j}+y_{i,j})$ 의 주변 값들로부터 추정된다.

수학식 15

$$E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} = \frac{1}{|C_{i,j}|} \sum_{x_{m,n} \in C_{i,j}} (x_{m,n}+y_{m,n})^2$$

여기서, $C_{i,j}$ 는 위치 (i,j) 에서 중심에 있는 크기 $M_H \times M_V$ 의 로컬 윈도우 내의 모든 계수들의 세트로 정의된다.

수학식 16

$$\psi_{i,j} = \frac{(E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\} - \sigma_n^2)}{E\{(x_{i,j}+y_{i,j})^2\}}$$

원본 이미지 생성부(160)는 전술한 [수학식 10]과 같이, 웨이블릿 계수 생성부(150)에서 계산된 웨이블릿 계수 Ψ 를 행렬 $\tilde{X}$ 와 $\tilde{Y}$ 에 일대일 곱셈한 후 더하여 잡음이 제거된 원본 이미지를 생성한다(S114, S116).

도 6은 본 발명의 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법과 종래의 화질 개선 방법에 대한 PSNR 결과를 비교한 것이다.

본 발명의 화질 개선 방법은 다양한 노이즈 표준 편차를 가진 두 이미지에 대해 최상의 결과를 제공한다.

도 6 및 도 7에 도시된 바와 같이, 원래의 Lena 이미지는 $\sigma_n = 20$ 인 노이즈로 오염되었다. 종래의 화질 개선

방법과 본 발명의 화질 개선 방법을 비교할 때 본 발명의 PSNR이 31.3과 평균 32.14로 가장 우수하고 이미지 노이즈를 줄이는데 효과적인 것을 알 수 있다.

- [0104] 도 7은 샘플인 원본 Lena 이미지와 원본 Barbara 이미지를 본 발명의 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법과 공지
의 잡음 제거 기술을 적용한 결과 이미지를 나타낸 것이다.
- [0105] 도 7의 (a)는 원본 Lena 이미지, 도 7의 (b)는 잡음이 있는 Lena 이미지, 도 7의 (c)는 WF[15]의 잡음 제거 기
술을 적용한 이미지, 도 7의 (d)는 DTWF[4]의 잡음 제거 기술을 적용한 이미지, 도 7의 (e)는 NASW[5]의 잡음
제거 기술을 적용한 이미지, 도 7의 (f)는 HMT[7]의 잡음 제거 기술을 적용한 이미지, 도 7의 (g)는 EWD[8]의
잡음 제거 기술을 적용한 이미지, 도 7의 (h)는 AND[16]의 잡음 제거 기술을 적용한 이미지와, 도 7의 (i)는 본
발명의 화질 개선 방법이 적용된 이미지를 나타낸다.
- [0106] 기존의 잡음 제거 기술은 WF(WaveLab library)[15], DTWF[4], NASW[5], HMT[7], EWD[8], AND[16]를 예시하고
있다.
- [0107] [15] J.B. Buechit, S. Chen, D.L. Donoho, I.M. Johnston, J.D. Scargle, WaveLab Toolkit. Available:
<<http://www-stat.stanford.edu/~wavelab/>>.
- [0108] [4] J. Khan, S.M.A. Bhuiyan, G. Murphy, M. Arline, Embedded-zero-tree-wavelet-based data denoising and
compression for smart grid, IEEE Trans. Ind. Appl. 51(2015) 4190-4200.
- [0109] [5] S. Gaci, The use of wavelet-based denoising techniques to enhance the first arrival picking on
seismic traces, IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 52 (2014) 4558-4563.
- [0110] [7] M.S. Crouse, R.D. Nowak, R.G. Baraniuk, Wavelet-based statistical signal processing using hidden
Markov models, IEEE Trans. Signal Process. 46(1998) 886-902.
- [0111] [8] J.M. Parmar, S.A. Patil, Performance evaluation and comparison of modified denoising method and
the local adaptive wavelet image denoising method, in: Proc. Intl Conf. Intelligent Systems and
Signal Processing (ISSP), 2013.
- [0112] [16] A.K. Mandava, E.E. Regentova, Image denoising based on adaptive nonlinear diffusion in wavelet
domain, J. Electron. Imaging 20 (2011) 033016.
- [0113] 종래의 NASW에서 사용된 웨이블릿 기반 위너 필터는 이미지의 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키고
큰 윈도우 크기를 사용하는 단점이 있다.
- [0114] 본 발명의 고해상도 영상을 위한 잡음 제거를 통한 화질 개선 방법은 엣지 정보를 보존하면서 신호 전력을 결정
하는 웨이블릿 도메인에서 고해상도 추정 위너 필터를 제공한다.
- [0115] 잡음이 많은 이미지는 노이즈와 원본 이미지가 직교한다고 가정한다.
- [0116] 이러한 가정에 기초하여 본 발명의 화질 개선 방법은 지역 공분산을 이용하여 저해상도 계수들로부터 고해상도
계수들을 획득하고, 고해상도 주파수 신호들을 이용하여 위너 필터에서 신호 편차를 결정한다.
- [0117] 본 발명의 화질 개선 방법은 이미지의 가장자리 영역에서 이미지 디테일을 저하시키지 않고 보존하면서 이미지
잡음을 줄이는데 효과적이다.
- [0118] 본 발명의 실시예는 장치 및/또는 방법을 통해서만 구현이 되는 것은 아니며, 본 발명의 실시예의 구성에 대응
하는 기능을 실현하기 위한 프로그램, 그 프로그램이 기록된 기록 매체 등을 통해 구현될 수도 있으며, 이러한
구현은 앞서 설명한 실시예의 기재로부터 본 발명이 속하는 기술분야의 전문가라면 쉽게 구현할 수 있는
것이다.
- [0119] 이상에서 본 발명의 실시예에 대하여 상세하게 설명하였지만 본 발명의 권리범위는 이에 한정되는 것은 아니고
다음의 청구범위에서 정의하고 있는 본 발명의 기본 개념을 이용한 당업자의 여러 변형 및 개량 형태 또한 본
발명의 권리범위에 속하는 것이다.

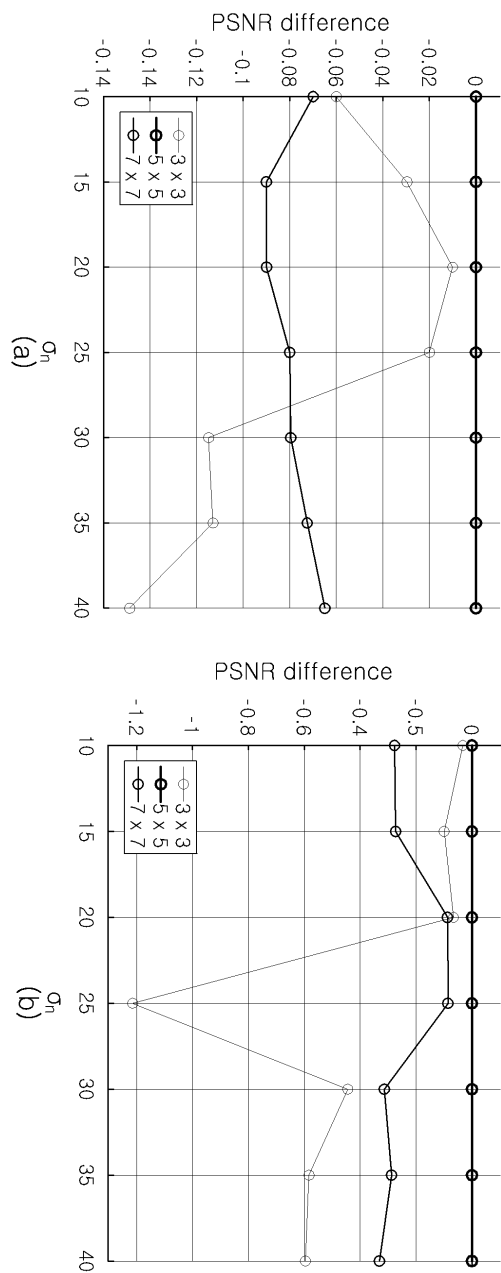
부호의 설명

- [0120] 100: 화질 개선 장치

- 110: 영상 입력부
- 120: 웨이블릿 변환부
- 130: 이미지 확장부
- 140: 섭동 추정부
- 150: 웨이블릿 계수 생성부
- 160: 원본 이미지 생성부

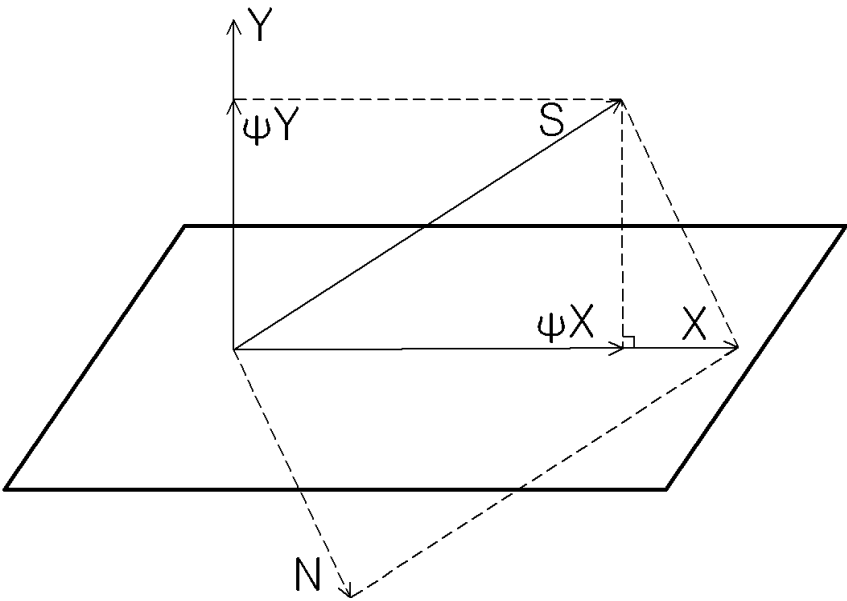
도면

도면1

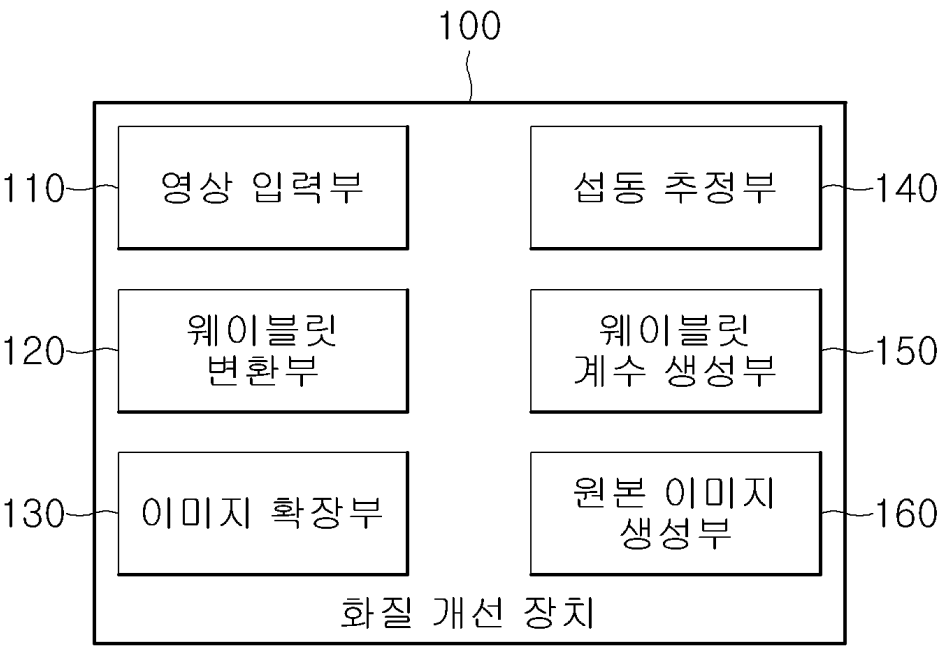


J. Wang et al. / Displays 46 (2017) 37–41

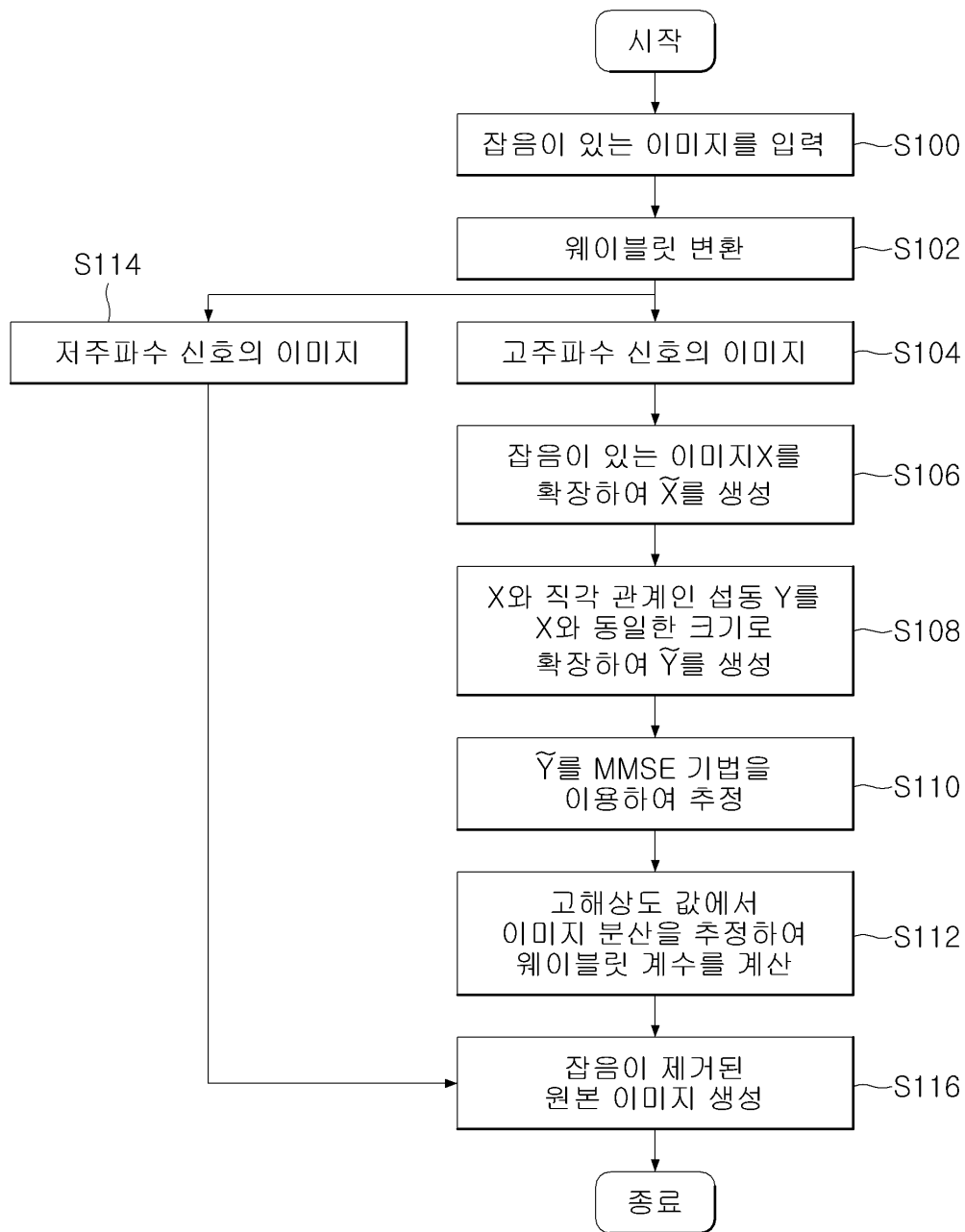
도면2



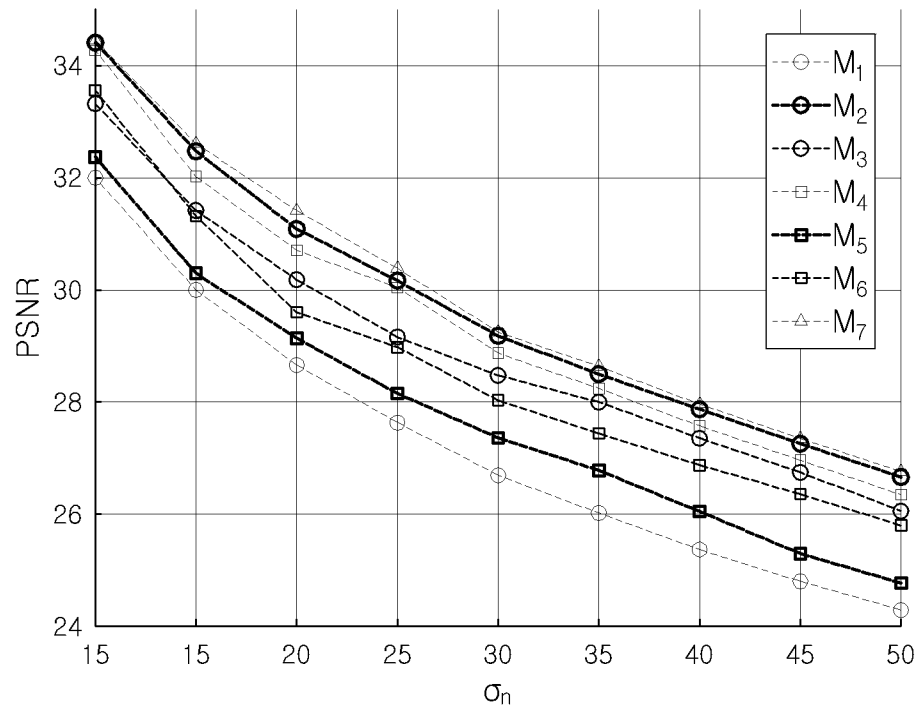
도면3



도면4



도면5



PSNR results for different noise standard deviations compared with existing algorithms.

Image	Lena					Barbara				
	10	15	20	25	avg.	10	15	20	25	avg.
NoisyIm	28.13	24.62	22.15	14.62	22.38	28.16	24.67	22.17	20.25	23.81
WF	32.58	30.43	29.62	28.12	30.19	30.36	28.01	26.88	25.21	27.62
DTWF [4]	34.08	32.01	30.18	29.52	31.45	31.38	29.01	27.35	26.22	28.49
NASW [5]	34.09	32.02	30.16	29.54	31.45	31.4	29.03	27.46	26.29	28.56
HMT [7]	33.89	31.82	30.41	29.36	31.37	31.36	29.23	27.8	25.99	28.60
EWD [8]	32.94	31.01	29.73	28.76	30.61	31.13	29.11	27.25	26.06	28.39
AND [16]	32.70	30.56	29.79	28.16	30.30	26.64	26.28	25.28	24.96	25.79
Proposed	34.4	32.59	31.3	30.27	32.14	32.06	30.03	28.36	27.03	29.37

도면7



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)



(f)



(g)



(h)



(i)