

	(19) 대한민국특허청(KR) (12) 공개특허공보(A)	(11) 공개번호 10-2012-0101741 (43) 공개일자 2012년09월17일
(51) 국제특허분류(Int. Cl.) G06T 5/40 (2006.01) H04N 5/21 (2006.01)		(71) 출원인 이화여자대학교 산학협력단 서울특별시 서대문구 이화여대길 52 (대현동, 이화여자대학교)
(21) 출원번호 10-2011-0013757	(22) 출원일자 2011년02월16일	(72) 발명자 이병욱 서울특별시 마포구 상암산로1길 24, 상암월드컵파크 아파트 404동 1202호 (상암동)
심사청구일자 2011년02월16일		이가민 경기도 성남시 분당구 수내로 148 (수내동)
		(74) 대리인 남정길

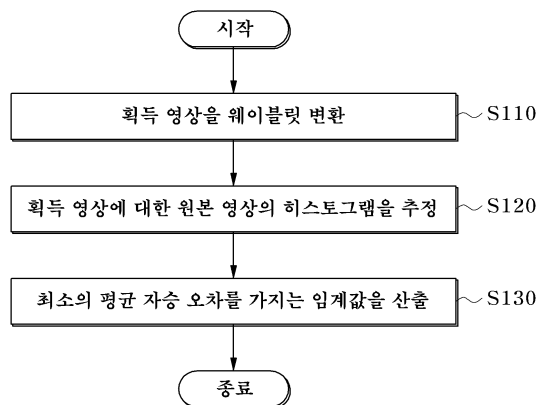
전체 청구항 수 : 총 14 항

(54) 발명의 명칭 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법 및 장치

(57) 요약

본 발명은 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법 및 장치에 관한 것이다. 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법에 있어서, 획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는 단계; 상기 변환된 획득 영상의 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램과 디컨볼루션하여, 상기 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 단계; 및 상기 획득 영상의 히스토그램을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 상기 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출하는 단계를 포함한다.

대표도 - 도1



특허청구의 범위

청구항 1

획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는 단계;

상기 변환된 획득 영상에 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램과 디컨볼루션하여, 상기 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 단계; 및

상기 획득 영상의 히스토그램을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 상기 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출하는 단계를 포함하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 2

제 1 항에 있어서,

상기 주파수 영역으로 변환은

웨이블릿 변환(wavelet transform), 컨투어렛 변환(contourlet transform), 커브렛 변환(curvelet transform)을 포함하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 3

제 1 항에 있어서,

상기 미리 추정된 잡음은 가우시안 잡음인 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 4

제 1 항에 있어서,

상기 추정된 원본 영상의 신호가 동일한 경우,

$$\varepsilon = \int_{-\infty}^{-\lambda} (x-c)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{\lambda}^{\infty} (x-c)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{-\lambda}^{\lambda} c^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx$$

에 의해 평균 자승 오차를 산출하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 5

제 1 항에 있어서

상기 미리 추정된 잡음의 히스토그램은 상수 값에 의해 이동하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 6

제 1 항에 있어서,

상기 디컨볼루션은 Richardson-Lucy 알고리즘을 사용하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 7

획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는 단계;

상기 변환된 획득 영상의 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램과 압축 센싱(compressed sensing)하여, 상기 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 단계; 및

상기 획득 영상의 히스토그램을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레

시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 상기 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출하는 단계를 포함하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법.

청구항 8

획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는 변환부;

상기 변환된 획득 영상의 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램과 디컨볼루션하여, 상기 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 디컨볼루션부; 및

상기 획득 영상을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 상기 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출하는 임계값 산출부를 포함하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

청구항 9

제 8 항에 있어서,

상기 주파수 영역으로 변환은

웨이블릿 변환(wavelet transform), 컨투어렛 변환(contourlet transform), 커브렛 변환(curvelet transform)을 포함하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

청구항 10

제 8 항에 있어서,

상기 미리 추정된 잡음은 가우시안 잡음인 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

청구항 11

제 8 항에 있어서,

상기 추정된 원본 영상의 신호가 동일한 경우,

$$\varepsilon = \int_{-\infty}^{-\lambda} (x-c)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{\lambda}^{\infty} (x-c)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{-\lambda}^{\lambda} c^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx$$

에 의해 평균 자승 오차를 산출하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

청구항 12

제 8 항에 있어서

상기 미리 추정된 잡음의 히스토그램은 상수 값에 의해 이동하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

청구항 13

제 8 항에 있어서,

상기 디컨볼루션은 Richardson-Lucy 알고리즘을 사용하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

청구항 14

획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는 변환부;

상기 변환된 획득 영상의 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램과 압축 센싱(compressed sensing)하여, 상기 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 압축 센싱부; 및

상기 획득 영상의 히스토그램을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 상기 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균

자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출하는 임계값 산출부를 포함하는 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치.

명세서

기술분야

[0001] 본 발명은 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법 및 장치에 관한 것이다.

배경기술

[0002] 현재 TV, 모니터, 디지털 카메라 등 디스플레이용 전자 제품들에서부터 차량이나 의료기기까지 영상이 사용되면서 CCD(Charge Coupled Device), CMOS(Complementary Metal Oxide Semiconductor) 등 영상 센서가 발전 되어왔다. 전자 제품이나 의료기기에 고해상도의 영상이 요구되는 경우, 잡음의 영향도 커지기 때문에 좀 더 선명하면 서도 원본에 충실한 영상을 얻고자 한다.

[0003] 영상의 잡음은 주로 영상장치의 획득 과정 및 주변 환경으로부터 발생한다. 영상 도메인에서는 잡음과 원신호를 구별하고 잡음만 제거하는 것이 어렵기 때문에 주파수 도메인에서 잡음과 원신호를 분리하여 잡음을 제거하 려는 연구가 진행되고 있다.

[0004] 영상 도메인에서 주파수 도메인으로의 변환 방법은 DFT(Discrete Fourier Transform), DCT(Discrete Cosine Transform), DST(Discrete Sine Transform) 등 다양하다. 그 중에서, 잡음 제거에 주로 사용되는 방법인 웨이 블릿 변환(Wavelet Transform)은 다중 스케일 필터를 사용하여 고주파와 저주파를 단계적으로 나누어 주파수 성 분과 위치 성분을 동시에 관찰할 수 있어서 잡음 제거에 널리 사용된다. 그리고 잡음은 고주파 영역에 많이 분 포한다는 사실을 기반으로 하여 잡음 제거를 할 수 있다. 일반적으로 잡음 제거 방법은 크게 두 가지 부류로 나 뉘게 되는데 특정 문턱치 값을 이용한 방법과 통계적인 방법을 이용하여 영상과 잡음을 제거하는 방법이 있다.

발명의 내용

해결하려는 과제

[0005] 개시된 기술이 이루고자 하는 과제는 획득 영상을 웨이블릿 등의 주파수 영역으로 변환시킨 후에 문턱치 값을 변화시켜가면서 평균 자승 오차를 관찰하고, 평균 자승 오차를 최소화시키는 임계값을 도출하여 원본 영상과의 오차를 최소화하는 최적의 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법 및 장치를 제공하는 데 있다.

과제의 해결 수단

[0006] 상술한 바와 같은 목적을 달성하기 위하여 본 발명은, 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법에 있어서, 획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는 단계; 상기 변환된 획득 영상의 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램 과 디컨볼루션하여, 상기 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 단계; 및 상기 획득 영상의 히 스토그램을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 상기 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출하는 단계를 포함한다.

발명의 효과

[0007] 개시된 기술은 다음의 효과를 가질 수 있다. 다만, 특정 실시예가 다음의 효과를 전부 포함하여야 한다거나 다 음의 효과만을 포함하여야 한다는 의미는 아니므로, 개시된 기술의 권리범위는 이에 의하여 제한되는 것으로 이 해되어서는 아니 될 것이다.

[0008] 일 실시예에 따른 영상 잡음 제거에서의 임계값 결정 방법 및 장치는 획득 영상을 웨이블릿 변환 영역에서 디컨 볼루션을 이용하고 임계값을 변화시켜가면서 평균 자승 오차를 관찰할 수 있다. 또한, 추정된 원본 영상에서 평 균 자승 오차를 최소화시키는 임계값을 도출하여 원본 영상과 가장 가깝게 하는 최적의 임계값을 찾아 영상의 잡음을 제거하는 성능을 향상시킬 수 있다.

[0009] 또한, 일 실시예에 따른 영상 잡음 제거에서의 임계값 결정 방법 및 장치는 원본 영상의 주파수 영역 히스토그

램을 추정하여 임계값을 결정하므로 영상의 잡음을 제거하는 성능을 향상시킬 수 있다.

도면의 간단한 설명

- [0010] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법을 나타내는 순서도이다.
- 도 2는 본 발명의 실시예에 따른 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치를 나타내는 블록도이다.
- 도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 획득 영상의 히스토그램 및 잡음의 확률분포함수와의 디컨볼루션을 나타내는 도면이다.
- 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 원본 영상의 신호의 확률 밀도 함수가 델타 함수일 때 획득 영상 신호의 확률 밀도 함수와의 관계를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원본 영상의 주파수 영역 분포가 델타 함수인 경우에 오차를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 임계값에 의한 평균 자승 오차를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 원본 확률 밀도 함수를 추정한 후의 임계값 λ 값에 따른 오차 ε 의 변화를 설명하기 위한 도면이다.
- 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 잡음 제거 성능을 비교한 도면이다.

발명을 실시하기 위한 구체적인 내용

- [0011] 개시된 기술에 관한 설명은 구조적 내지 기능적 설명을 위한 실시예에 불과하므로, 개시된 기술의 권리범위는 본문에 설명된 실시예에 의하여 제한되는 것으로 해석되어서는 아니 된다. 즉, 실시예는 다양한 변경이 가능하고 여러 가지 형태를 가질 수 있으므로 개시된 기술의 권리범위는 기술적 사상을 실현할 수 있는 균등물들을 포함하는 것으로 이해되어야 한다.
- [0012] 한편, 본 출원에서 서술되는 용어의 의미는 다음과 같이 이해되어야 할 것이다.
- [0013] 단수의 표현은 문맥상 명백하게 다르게 뜻하지 않는 한 복수의 표현을 포함하는 것으로 이해되어야 하고, "포함하다" 또는 "가지다" 등의 용어는 실시된 특징, 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것이 존재함을 지정하려는 것이지, 하나 또는 그 이상의 다른 특징들이나 숫자, 단계, 동작, 구성요소, 부분품 또는 이들을 조합한 것들의 존재 또는 부가 가능성을 미리 배제하지 않는 것으로 이해되어야 한다.
- [0014] 각 단계들은 문맥상 명백하게 특정 순서를 기재하지 않은 이상 명기된 순서와 다르게 일어날 수 있다. 즉, 각 단계들은 명기된 순서와 동일하게 일어날 수도 있고 실질적으로 동시에 수행될 수도 있으며 반대의 순서대로 수행될 수도 있다.
- [0015] 여기서 사용되는 모든 용어들은 다르게 정의되지 않는 한, 개시된 기술이 속하는 분야에서 통상의 지식을 가진 자에 의해 일반적으로 이해되는 것과 동일한 의미를 가진다. 일반적으로 사용되는 사전에 정의되어 있는 용어들은 관련 기술의 문맥상 가지는 의미와 일치하는 것으로 해석되어야 하며, 본 출원에서 명백하게 정의하지 않는 한 이상적이거나 과도하게 형식적인 의미를 지니는 것으로 해석될 수 없다.
- [0016] 도 1은 본 발명의 실시예에 따른 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 방법을 나타내는 순서도이다.
- [0017] 도 1을 참조하면, 임계값 결정 장치는 획득 영상을 주파수 영역으로 변환하는(S110). 주파수 영역으로 변환은 웨이블릿 변환(wavelet transform), 컨투어렛 변환(contourlet transform), 커브렛 변환(curvelet transform)을 포함할 수 있다. 일 예로서, 획득 영상은 가우시안 잡음을 포함할 수 있다.

수학적 1

- [0018] $y = s + n$

[0019] 수학식 1에서, s 는 원본 영상을 나타내고, y 는 잡음이 있는 획득 영상을 나타내고, n 은 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 독립적이고 동일하게 분포된 가우시안 랜덤 변수를 나타낸다. 수학식 1은 원본 영상과 잡음이 더해진 획득 영상의 모델링을 나타낸다.

수학식 2

$$Y = S + N$$

[0020]

[0021] 수학식 2에서 Y 는 웨이블릿 변환된 잡음이 있는 획득 영상을 나타내고, S 는 웨이블릿 변환된 원본 영상을 나타내고, N 은 웨이블릿 도메인에서의 가우시안을 나타낸다. N 은 n 과 동일하게 독립적이고 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 잡음에 해당한다. 수학식 2는 수학식 1을 웨이블릿 영역에서의 잡음 제거 모델링한 것을 나타낸다.

[0022] 임계값 결정 장치는 변환된 획득 영상의 히스토그램을 미리 추정된 잡음의 히스토그램과 디컨볼루션하여, 획득 영상에 대한 원본 영상의 히스토그램을 추정한다(S120). 일 예로서, 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 방법은 디컨볼루션 또는 압축 센싱(compressed sensing) 기법 등을 포함할 수 있다. 여기에서, 미리 추정된 잡음은 가우시안 잡음에 해당할 수 있다. 원본 영상의 히스토그램의 추정의 일 예로서, 원본 영상의 신호가 모두 동일한 경우를 들 수 있다. 획득 영상은 원본 영상의 신호와 잡음이 서로 독립적일 때, 다음의 수학식 3과 같이 원본 영상의 신호의 델타함수와 잡음을 나타내는 가우시안 함수의 컨볼루션 형태가 될 수 있다.

수학식 3

$$p_s(x) = \delta(x - c)$$

[0023]

$$p_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{x^2}{2\sigma^2}}$$

[0024]

$$p_Y(x) = p_s(x) * p_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} = g(x; c, \sigma^2)$$

[0025]

[0026] 수학식 3에서, $p_s(x)$ 는 신호가 모두 상수 c 인 원본 영상의 신호의 확률 밀도 함수를 나타내고, $p_n(x)$ 는 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 잡음의 확률 밀도 함수를 나타낸다. $p_y(x)$ 는 원본 영상의 신호와 잡음이 합쳐져 컨볼루션 형태가 된 신호의 확률 밀도 함수를 나타낸다. 수학식 3은 모든 신호의 크기가 동일하여 확률 밀도 함수가 델타 함수로 나타날 수 있는 가장 간단한 경우를 나타낸다.

수학식 4

$$p_s(x) = p_Y(x) *' p_N(x)$$

[0027]

[0028]

수학식 4에서, $*$ ' 는 디컨볼루션의 연산자를 나타낸다. 여기에서, 디컨볼루션은 Richardson-Lucy 알고리즘을 사용할 수 있다. Richardson-Lucy 알고리즘은 비선형 복원기법으로 ML(Maximum Likelihood) 평가자를 EM(Expectation Maximization) 알고리즘을 사용하여 구한 것이다. 수학식 4는 웨이블릿 변환된 획득 영상의 히스토그램을 잡음의 히스토그램으로 디컨볼루션하는 과정이다. 이를 통해 원본 영상의 히스토그램을 추정할 수 있다. 또한, 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 방법으로 디컨볼루션을 대신하여 압축 센싱(compressed sensing) 기법을 적용할 수 있다. 예로서, 압축 센싱 기법은 즉각 계수의 절대값의 합인 L1 정규자(L1 norm)를 최소화하면서 해를 구하는 기법을 사용하여 원본 영상의 확률 분포 함수를 추정할 수 있다.

[0029]

임계값 결정 장치는 획득 영상을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출한다(S130). 스레시홀딩(thresholding) 기법은 주파수 영역에서는 잡음이 고주파 영역에 주로 분포한다는 사실에 기반한 것으로, 고주파 영역에서 적당한 임계값을 이용한다. 여기에서, 하드 스레시홀딩(hard thresholding)은 수학식 5와 같이 임계값보다 입력 값이 크면 유지하고, 그렇지 않은 값들은 모두 0으로 처리하는 방식이다.

수학식 5

$$\eta(w) = wI(|w| > \lambda)$$

$$I(|w| > \lambda) = \begin{cases} 1 & , |w| > \lambda \\ 0 & , otherwise \end{cases}$$

[0030]

[0031]

수학식 5에서, w 는 웨이블릿 계수를 나타내고, λ 는 임계값을 나타낸다. $I(x)$ 는 괄호 내의 조건을 만족하면 입력 그대로를 출력하고 그 이외에는 0을 출력하는 지표(indicator) 함수를 나타낸다. 수학식 5는 하드 스레시홀딩(hard thresholding)을 나타내며, 수학식 5를 이용하여 획득 영상 Y 를 하드 스레시홀딩(hard thresholding)하여 얻어진 신호를 $\tilde{Y}$ 로 나타낼 수 있다.

수학식 6

$$\eta_2(w) = (w - \text{sgn}(w)\lambda)I(|w| > \lambda)$$

[0032]

[0033]

수학식 6에서, w 는 웨이블릿 계수를 나타내고, λ 는 임계값을 나타낸다. $I(x)$ 는 괄호 내의 조건을 만족하면 입력 그대로를 출력하고 그 이외에는 0을 출력하는 지표(indicator) 함수를 나타낸다. 수학식 6은 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)을 나타내는 것으로, 임계값 λ 를 기준으로 입력값을 0에 가깝게 줄여주는 방법이다. 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)은 비교적 큰 값을 갖는 계수를 줄일 때 사용될 수 있다.

수학식 7

$$p_{\tilde{Y}}(x) = \begin{cases} 0 & , 0 < |x| \leq \lambda \\ \int_{-\lambda}^{\lambda} p_Y(x) dx & , x=0 \\ p_Y(x) & , \text{otherwise} \end{cases}$$

[0034]

[0035] 수학식 7에서 $p_{\tilde{Y}}(x)$ 는 잡음이 있는 획득 영상의 신호를 하드 스레시홀딩(hard thresholding)하여 얻어진 신호 $\tilde{Y}$ 의 확률 밀도 함수를 나타낸다. 하드 스레시홀딩(hard thresholding)하여 얻어진 영상들의 신호들로부터 수학식 8을 이용하여 최소의 평균 자승 오차를 가진 임계값을 산출할 수 있고, 산출된 임계값을 효과적인 영상 잡음 제거에 이용할 수 있다.

수학식 8

$$\begin{aligned} \varepsilon &= E[(\tilde{Y} - S)^2] \\ &= \int_{-\infty}^{-\lambda} (x-c)^2 p_Y(x) dx + \int_{\lambda}^{\infty} (x-c)^2 p_Y(x) dx + \int_{-\lambda}^{\lambda} c^2 p_Y(x) dx \end{aligned}$$

[0036]

[0037] 수학식 8은 추정된 원본 영상의 신호와 획득 영상의 신호를 하드 스레시홀딩(hard thresholding)하여 얻은 신호의 평균 자승 오차(Mean Square Error)를 구하는 식을 나타내고, ε 는 평균 자승 오차를 나타낸다. 평균 자승 오차는 상수 c 의 위치에서 델타함수인 확률 밀도 함수와의 오차에 해당된다. 따라서, 상수 c 와의 차이의 제곱과 $p_Y(x)$ 를 곱한 형태의 적분으로 구할 수 있다.

수학식 9

$$p_Y(x) = p_S(x) * p_N(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} = g(x; c, \sigma^2)$$

[0038]

$$\varepsilon = \int_{-\infty}^{-\lambda} (x-c)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{\lambda}^{\infty} (x-c)^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx + \int_{-\lambda}^{\lambda} c^2 \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma^2}} e^{-\frac{(x-c)^2}{2\sigma^2}} dx$$

[0039]

[0040] 수학식 9에서, $p_Y(x)$ 는 가우시안 잡음이라고 가정할 수 있다. 수학식 9는 추정된 원본 영상의 평균 자승 오차

를 구하는 식을 나타낸다. 수학적 식 9를 통해 λ 값의 범위를 변경해가면서 평균 자승 오차를 각각 구하고, 구한 값들 중에서 가장 작은 평균 자승 오차를 구하게 하는 λ 값 즉 임계값을 결정할 수 있다.

수학적 식 10

$$\varepsilon = E \left[(\tilde{Y} - S)^2 \right] \\ = \int_{-\infty}^{-\lambda} (x + \lambda - c)^2 p_Y(x) dx + \int_{\lambda}^{\infty} (x - \lambda - c)^2 p_Y(x) dx + \int_{-\lambda}^{\lambda} c^2 p_Y(x) dx$$

수학적 식 10에서, $p_Y(x)$ 는 가우시안 잡음이라고 가정할 수 있다. 수학적 식 10은 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)의 경우에 원본 영상의 평균 자승 오차를 구하는 것을 나타낸다. 수학적 식 10을 통해 λ 값의 범위를 변경해가면서 평균 자승 오차를 각각 구하고, 구한 값들 중에서 가장 작은 평균 자승 오차를 구하게 하는 λ 값 즉 임계값을 결정할 수 있다.

도 2는 본 발명의 실시예에 따른 영상 잡음 제거를 위한 임계값 결정 장치를 나타내는 블록도이다. 도 2를 참조하면, 임계값 결정 장치(200)는 변환부(210), 디컨볼루션부(220) 및 임계값 산출부(230)를 포함할 수 있다.

변환부(210)는 획득 영상을 주파수 영역으로 변환한다. 주파수 영역으로 변환은 획득 영상을 영상 도메인에서 주파수 도메인으로 변환하는 것으로서, 영상의 공간 및 주파수 특성들에 대한 정보를 제공한다. 주파수 영역으로 변환은 웨이블릿 변환(wavelet transform), 컨투어렛 변환(contourlet transform), 커브렛 변환(curvelet transform)을 포함할 수 있다.

디컨볼루션부(220)는 획득 영상을 복수의 임계값들에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 영상들과 추정된 원본 영상 간에 평균 자승 오차들을 산출하고, 평균 자승 오차가 최소가 되는 임계값을 산출한다. 획득 영상의 히스토그램은 원본 영상의 히스토그램과 잡음의 히스토그램이 컨볼루션된 형태로 나타난다. 잡음이 첨가된 영상에서 원본 영상을 알 수 없으며, 획득 영상의 히스토그램을 잡음의 히스토그램과 디컨볼루션하여 원본 영상의 히스토그램을 추정할 수 있다. 디컨볼루션은 Richardson-Lucy 알고리즘을 사용할 수 있다. 디컨볼루션에 사용되는 Richardson-Lucy 알고리즘은 비선형 복원 기법으로 ML(Maximum Likelihood) 평가자를 EM(Expectation Maximization) 알고리즘을 사용하여 구한 것이다. 또한, 원본 영상의 히스토그램을 추정하는 방법으로 디컨볼루션을 대신하여 압축 센싱(compressed sensing) 기법을 적용할 수 있다. 예로서, 압축 센싱 기법은 즉각 계수의 절대값의 합인 L1 정규자(L1 norm)를 최소화하면서 해를 구하는 기법을 사용하여 원본 영상의 확률 분포 함수를 추정할 수 있다.

임계값 산출부(230)는 추정된 원본 영상 히스토그램과 상기 획득 영상을 소정 임계값에 따라 하드 스레시홀딩(hard thresholding) 또는 소프트 스레시홀딩(soft thresholding)하여 얻은 히스토그램 간에서 최소의 평균 자승 오차를 가지는 임계값을 산출한다. 여기에서, 하드 스레시홀딩 또는 소프트 스레시홀딩은 임계값보다 입력 값이 크면 유지하고, 임계값보다 입력 값이 작으면 모두 0으로 처리하는 방식이다.

도 3은 본 발명의 일 실시예에 따른 획득 영상의 히스토그램 및 잡음의 확률분포함수와 디컨볼루션을 나타내는 도면이다. 도 3을 참조하면, 디컨볼루션을 이용하여 원본 히스토그램과 추정된 원본 영상의 히스토그램을 비

교할 수 있다. 도 3의 왼쪽은 $p_Y(x)$ 로서 원본 영상의 신호와 잡음이 합쳐져 획득 영상 신호의 확률 밀도 함수

수를 나타내고, 가운데는 $p_n(x)$ 로서 평균이 0이고 분산이 σ^2 인 가우시안 잡음의 확률 밀도 함수를 나타낸다. 도 3의 오른쪽은 $p_s(x)$ 로서 신호가 모두 상수 c인 원본 영상의 신호의 확률 밀도 함수를 나타낸다.

[0048] 도 4는 본 발명의 일 실시예에 따른 원본 영상의 신호의 확률 밀도 함수가 델타 함수일 때 획득 영상 신호의 확률 밀도 함수와의 관계를 설명하기 위한 도면이다. 도 4a는 수학적 식 3에서 상수 c가 0일 경우의 $p_y(x)$ 를 나타내고, 도 4b는 수학적 식 3에서 상수 c가 0이 아닌 경우의 $p_y(x)$ 를 나타낸다. 도 4a와 도 4b를 비교하면 $p_y(x)$ 는 상수 c값에 따라 이동하는 것을 알 수 있다.

[0049] 도 5는 본 발명의 일 실시예에 따른 원본 영상의 주파수 영역 분포가 델타 함수인 경우에 오차를 설명하기 위한 도면이다. 도 5a는 수학적 식 5에서 상수 c가 0일 경우의 $p_f(x)$ 를 나타내고, 도 5b는 수학적 식 5에서 상수 c가 0이 아닌 경우의 $p_f(x)$ 를 나타낸다. 도 5에서 붉은 부분은 원본 영상의 신호와 획득 영상의 신호의 차이 즉, 오차의 확률을 나타낸다.

[0050] 도 6은 본 발명의 일 실시예에 따른 임계값에 의한 평균 자승 오차를 설명하기 위한 도면이다. 도 6a는 수학적 식 7에서 σ 가 10 일 때에 임계값에 따른 평균 자승 오차의 변화를 나타내고, 도 6b는 수학적 식 7에서 σ 가 20 일 때에 임계값에 따른 평균 자승 오차의 변화를 나타낸다. 도 5를 참조하면, 그래프 곡선의 시작점은 $\lambda=0$ 으로 하드 스톱시홀딩(hard thresholding)을 하지 않았을 때와 동일하다. 따라서, 잡음이 그대로 있기 때문에 평균 자승 오차가 σ^2 임을 알 수 있다. 또한, 임계값이 무한대로 커지면 모두 스톱시홀딩(thresholding)되어 0으로 되기 때문에 원본 영상의 신호인 c가 모두 0이 되어 오차가 발생하므로 c^2 으로 수렴하고 있음을 알 수 있다. 즉, c가 0인 경우에는 임계값을 높일수록 평균 자승 오차를 줄일 수 있다.

[0051] 도 7은 본 발명의 일 실시예에 따른 원본 확률 밀도 함수를 추정한 후에 임계값 λ 값에 따른 오차 ϵ 의 변화를 설명하기 위한 도면이다. 예로서, 도 7은 Peppers 영상에 잡음의 표준 편차를 10으로 설정하고 실험한 결과를 나타낸다. 도 7은 임계값을 변화시키면서 평균 자승 오차의 변화를 본 것이다. 도 7을 참조하면, 원본 영상의 히스토그램을 완벽하게 알 때, 잡음 영상의 히스토그램을 그대로 사용하였을 때, 디컨볼루션을 이용해 원본 영상의 히스토그램을 추정했을 때를 비교한 것을 알 수 있다. 잡음 영상의 히스토그램을 그대로 사용하였을 때는 잡음의 확률 밀도 함수와 컨볼루션으로 인해 0이 아닌 값이 대부분이므로 이론적인 평균 자승 오차가 계속 증가하고 있다. 따라서, 디컨볼루션을 이용해 원본 영상의 히스토그램을 추정했을 때가 원본 히스토그램을 이용할 때보다 약간 큰 값을 찾지만, 최적의 임계값과 비슷한 것을 알 수 있다. 원본 영상의 히스토그램을 보다 더 정확하게 추정하면 잡음제거 성능을 더 높일 수 있다. 도 7은 본 발명의 결과가 원본 영상 정보를 사용하여 구한 임계값과 비슷한 것을 보여준다.

[0052] 도 8은 본 발명의 일 실시예에 따른 잡음 제거 성능을 비교한 도면이다. 예로서, Peppers 영상에 잡음의 표준편차를 20으로 설정하고 실험한 결과를 나타낸다. 도 8을 참조하면, 원본 히스토그램을 알 때가 최적의 임계값이 되고 평균 자승 오차도 최소가 된다. Universal shrink 방법의 경우, 실제 최적의 임계값보다 훨씬 큰 값으로 추정하므로 지나친 스무딩(smoothing)으로 인해 평균 자승 오차가 매우 크다. 또한, Universal shrink 방법의 경우 지나친 스무딩으로 인해 역변환할 경우 음수가 되어, 평균 자승 오차가 매우 크다. 원본 영상을 사용하여 임계값을 구하는 OracleShrink를 제외하면, 디컨볼루션을 통해 추정된 히스토그램을 이용하여 임계값을 결정하였을 때가 평균 자승 오차가 가장 작은 것을 확인할 수 있다. 도 8에서, Oracle shrink 및 Universal shrink는 D. L. Donoho and I. M. Johnstone, "Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage," Biometrika, vol. 81, pp. 425?455, 1994.에 의한다. 또한, S.G.Chang 방법은 S. G. Chang, B. Yu, and M. Vetterli, "Spatially adaptive wavelet thresholding with context modeling for image denoising," IEEE Trans. Image Processing, vol. 9, pp. 1522?1531, Sept. 2000.에 의한다.

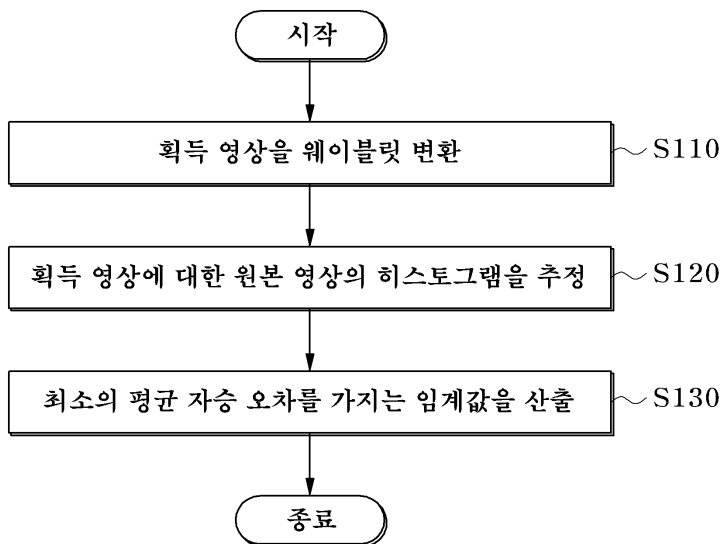
[0053] 상기에서는 본 발명의 바람직한 실시예를 참조하여 설명하였지만, 해당 기술 분야의 숙련된 당업자는 하기의 특허 청구의 범위에 기재된 본 발명의 사상 및 영역으로부터 벗어나지 않는 범위 내에서 본 발명을 다양하게 수정 및 변경시킬 수 있음을 이해할 수 있을 것이다.

부호의 설명

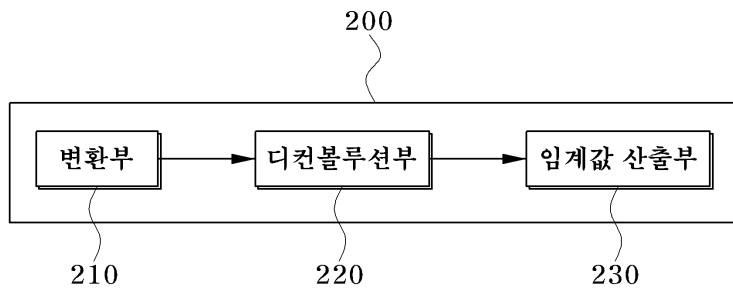
[0054] 200 : 임계값 결정 장치 210 : 변환부
220 : 디컨볼루션부 230 : 임계값 산출부

도면

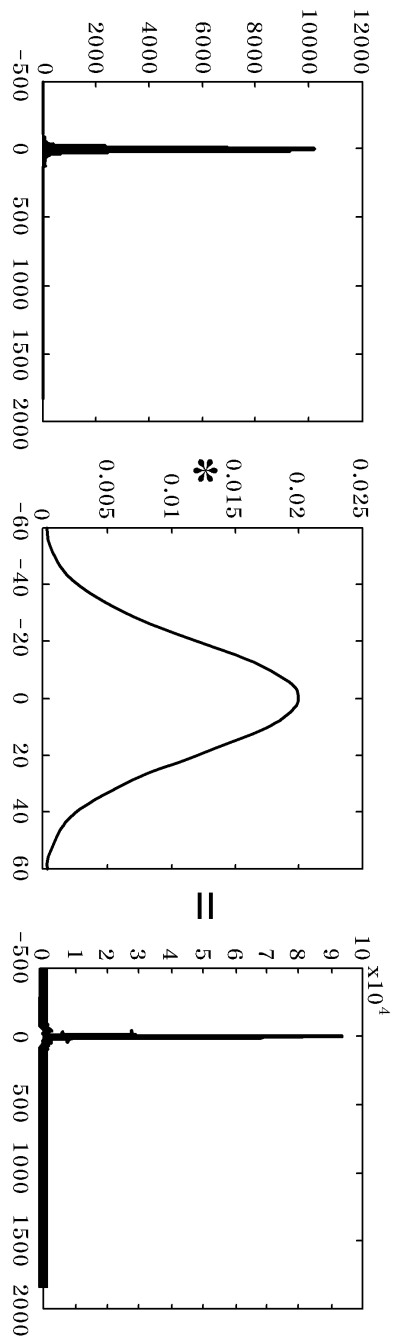
도면1



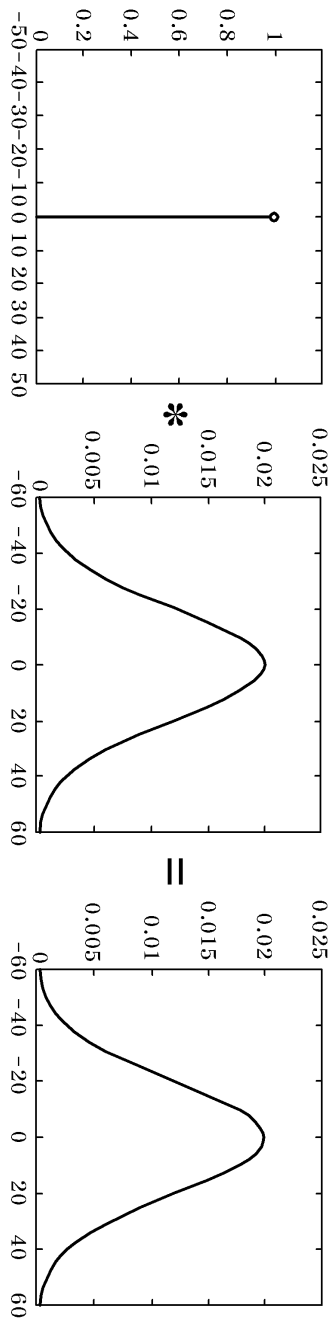
도면2



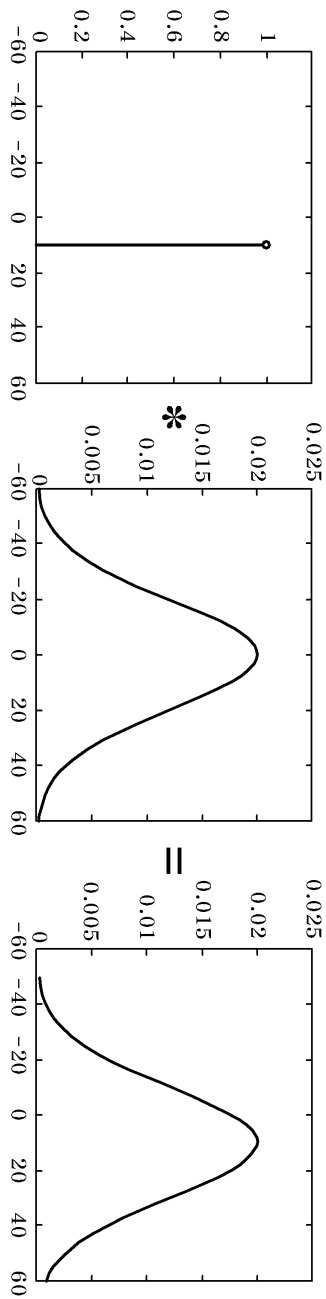
도면3



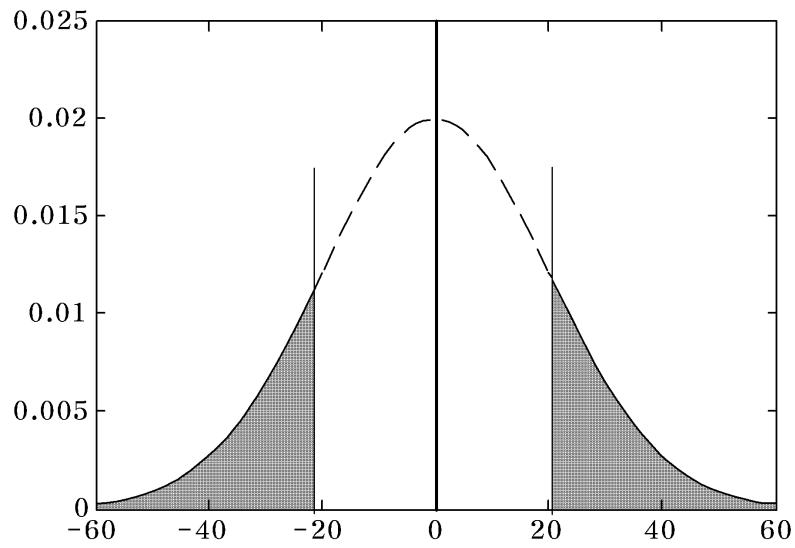
도면4a



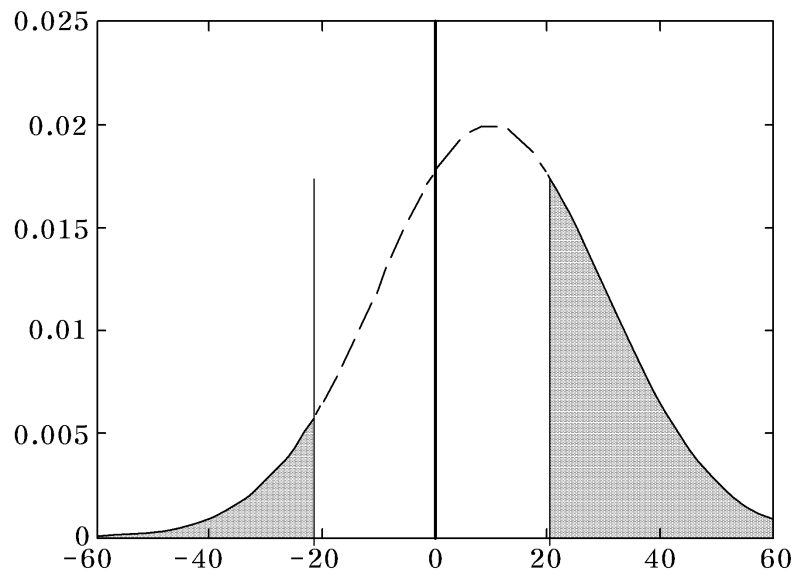
도면4b



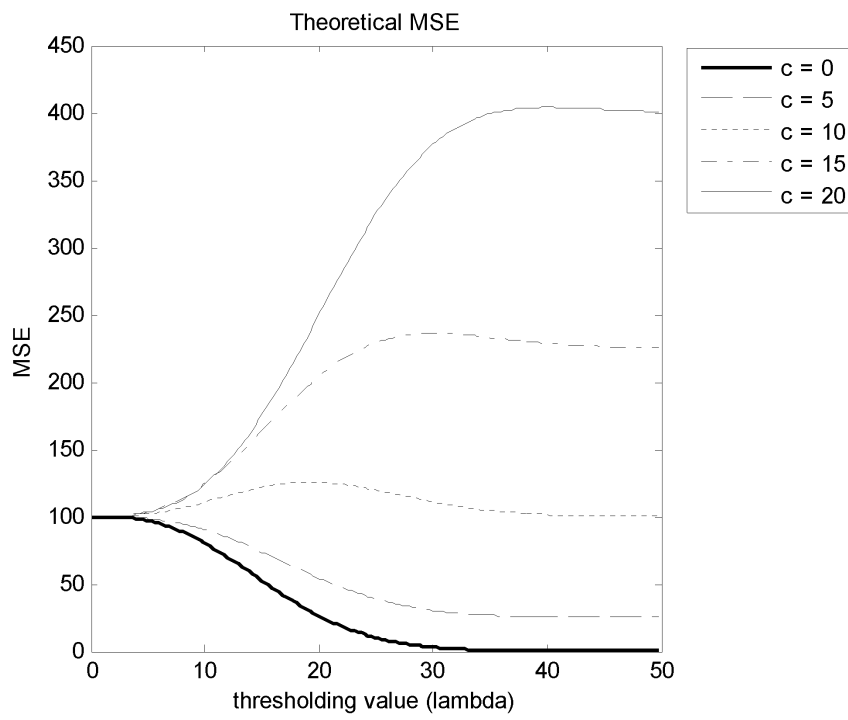
도면5a



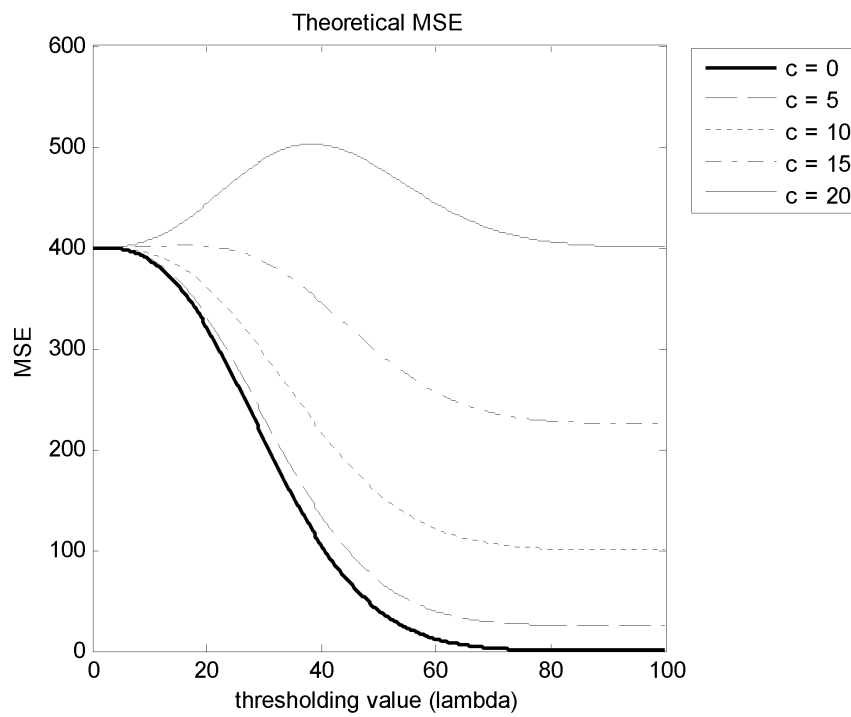
도면5b



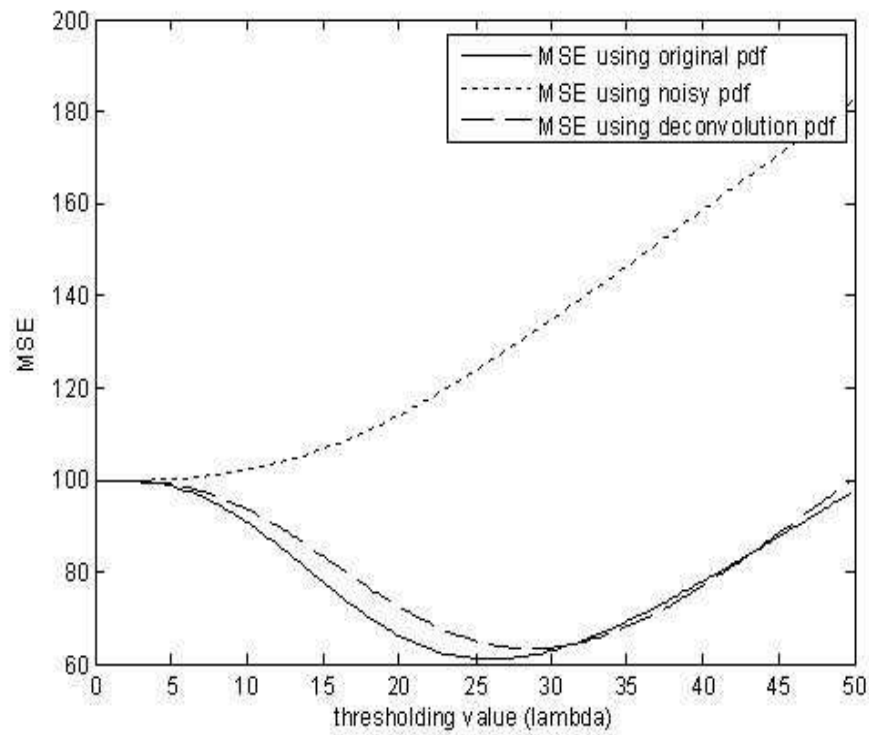
도면6a



도면6b



도면7



도면8

noise sigma= 20		MSE (optimal thresholding value)		
Image size (Peppers)	<i>OracleShrink</i> (usingoriginal pdf)	Proposed method (usingdeconv olutionpdf)	Donoho (<i>UniversalShr ink</i>)	S.G.Chang (<i>BayesShrink</i>)
512*512	96.30 (63.90)	113.85 (69.40)	134.19 (99.91)	203.87 (159.25)
256*256	150.59 (58.50)	168.00 (64.60)	211.77 (94.19)	188.60 (84.01)
128*128	213.61 (53.40)	225.48 (59.20)	303.52 (88.11)	289.54 (87.40)
64*64	312.82 (44.60)	326.17 (51.40)	448.96 (81.57)	393.31 (68.66)