

Image Enhancement Method using Canny Algorithm based on Curvelet Transform

Byeong-Cheol Mun*

Abstract

This paper proposes the efficient preprocessing method based on curvelet transform for edge enhancement in image. The propose method is generated the edge map by using the Canny algorithm to wavelet transform, which is the sub-step of the curvelet transform. In order to improve the part of edge feature, the selective sharpening according to the generate edge map is applied. In experimental result, the propose method achieves that the enhancement of edge feature is better than conventional methods. This leads that peak to signal noise ratio, edge intensity are improvement on average about 1.92, 1.12dB respectively.

▶Keyword: Preprocessing, Curvelet Transform, Canny Algorithm, Image Enhancement

I. Introduction

영상은 수집 과정 중에 환경 요소들로 인하여 손상이 발생한다. 특히 손상된 영상은 잡음으로 가득 차 있기 때문에 영상 배경 및 객체 정보의 정확성을 감소시킨다. 따라서 영상을 사용하기 전 중요한 핵심은 전처리(preprocessing) 과정으로 수집 시 발생하는 잡음 데이터를 제거하고 객체의 주요 특징을 추출하여 지형 및 객체의 인식을 향상하는 것이 매우 중요하다. 전처리에서 잡음 제거 과정은 공간영역 처리와 변환영역 처리가 있지만, 잡음 특성을 효과적으로 분석할 수 있는 웨이블릿 변환(wavelet transform: WT)과 커브렛 변환(curvelet transform: CT) 기반 필터링 방법들이 연구되고 있다.

WT 기법은 소프트 문턱치(soft thresholding), 텍스처(texture) 분석, 프랙탈 매칭(fractal matching), 통계학적 방법을 연구하여 잡음을 효과적으로 제거하였다[1-6]. 하지만 WT의 등방성 특성으로 인해 발생하는 단점을 극복하기 위해 고차원을 일반화하여 이방성 특성을 고려한 CT 기반의 연구가 최근 동향이다. CT 기반 하드(hard) 또는 소프트 문턱치 외에도 다양한 잡음 제거 방법이 연구되었다[7-14]. 영상 전처리 과정인 잡음 제거를 진행 시 윤곽선(edge), 텍스처 같은 중요한 정보가 저하되고 윤곽선의 흐려짐 문제는 WT 및 CT 영역에서 공통적으로 발생되고, 이를 해결하기 위한 윤곽선 향상에 대한 연구가 필요하다.

본 논문에서는 영상에서 윤곽선 향상을 위한 CT 기반의 효과적

인 전처리 방법을 제안한다. 제안된 방법은 CT의 하위 단계인 WT에 Canny 알고리즘을 사용하여 윤곽선 맵(edge map)을 생성하고, 윤곽선 특징의 부분을 개선하기 위해 윤곽선 맵에 따른 선택적인 샤프닝(selective sharpening)이 적용된다. 실험 결과, 제안된 방법은 윤곽선 특징 향상이 기존 방법보다 윤곽선 강도(edge intensity), 최대 신호 대 잡음비(peak to signal noise ratio) 측면에서 우수함을 확인할 수 있었다.

II. Preliminaries

1. Curvelet Transform

CT는 다중 스케일(multi-scale) 객체 표현을 위한 기술이며 WT 개념을 확장함으로써 기존 WT의 한계에 대한 대안으로 개발되었다. 1999년 Canandes와 Donoho는 ridgelet 변환에 기반한 CT를 도입했으며 CT는 기존의 WT보다 효율적으로 직선과 곡선을 표현할 수 있다. CT는 Fig. 1과 같이 4 개의 하위 단계를 포함한다[7,8].

*First Author: Byeong-Cheol Mun, Corresponding Author: Byeong-Cheol Mun
*Byeong-Cheol Mun (moonbc@kopo.ac.kr), Dept. of Avionics Control System, Korea Polytechnics Aviation College
• Received: 2018. 04. 03, Revised: 2018. 04. 08, Accepted: 2018. 04. 10.

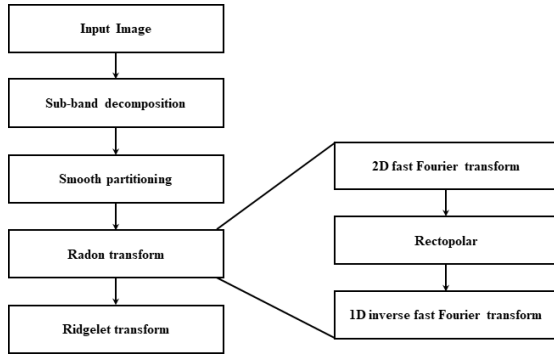


Fig. 1. CT Block Diagram

1.1 Sub-band decomposition

$$f \mapsto (P_0 f, \Delta_1 f, \Delta_2 f, \dots) \quad (1)$$

부대역 분해를 위해 웨이블릿 패킷 방식에 주로 적용되는 á trous 변환과 다중 해상도 분해를 위한 B3-spline 필터가 적용되었다. 이 단계는 영상을 4개의 부대역으로 분해하며, 각 부대역에는 다른 주파수에 대한 세부 정보가 포함되어 있다. 식 (1)에서 P_0 는 저대역 필터(low-pass filter) 이고, $\Delta_1, \Delta_2, \dots$ 는 대역 통과 필터(band-pass filter)이다.

1.2 Smooth partitioning

$w_Q(x_1, x_2)$ 는 파티셔닝된 이등변 사각형 주위에 지역화된 창 모음으로 정의되며, $Q(s, k_1, k_2)$ 는 식 (2) 와 같다.

$$Q_{s, k_1, k_2} = \left[\frac{k_1}{2^2}, \frac{k_1 + 1}{2^s} \right) \times \left[\frac{k_2}{2^s}, \frac{k_2 + 1}{2^s} \right) \in Q_s \quad (2)$$

특정 스케일에서 식 (2)를 수행하면, Q_s 는 파티셔닝된 모든 사각형을 의미하고, x_1, x_2 는 특정 픽셀의 에너지이며, k_1 과 k_2 는 각각 첫 번째 및 마지막 고대역 필터(high-pass filter)에 해당된다. 모든 $Q = Q(s, k_1, k_2)$ 에 대해서 사각형으로 분해하며, 이 단계에서 각 부대역의 창을 분할하여 적용한다. 따라서, 식 (3)과 같이 부대역 $\Delta_s f$ 와 창 $w_Q (\forall Q \in Q_s)$ 를 곱하면 Q 근처에서 h_Q 가 생성된다.

$$h_Q = w_Q \cdot \Delta_s f \quad (3)$$

재정규화(renormalization)는 각 사각형의 단위를 $[0, 1] \times [0, 1]$ 정규화 하는 것이고, 각 Q 에 대하여 T_Q 는 식 (4)와 같다.

$$(T_Q f)(x_1, x_2) = 2^s f(2^s x_1 - k_1, 2^s x_2 - k_2) \quad (4)$$

각 사각형이 재정규화 된다면, $g_Q = T_Q^{-1} \cdot h_Q$ 로 정의된다.

1.3 Radon transform

라돈 변환은 $(\theta, t) \in [0, 2\pi) \times R$ 범위에서 표시된 선의 집합이고, 식 (5)와 같이 정의된다.

$$Rf(\theta, t) = \int f(x_1, x_2) \delta(x_1 \cos \theta + x_2 \sin \theta - t) dx_1 dx_2 \quad (5)$$

δ 은 디랙 델타 함수(dirac delta function)를 나타낸다. 2차원 고속 푸리에 변환(fast Fourier transform)을 적용하여 렉토폴라(rectopolar)를 만든 후, 1차원 역 고속 푸리에 변환(1D inverse fast Fourier transform)을 적용하여 라돈 변환을 표현할 수 있다.

1.4 Ridgelet transform

리지렛 변환은 이전 단계의 라돈 영역에 1차원 WT를 적용하는 기법으로, 리지렛 영역의 계수는 각각 스케일, 방향(oriented), 위치(location)의 정보를 포함하고 있으며, 함수와 계수는 식 (6)과 같이 정의된다.

$$\hat{\rho}_\lambda(\xi) = \frac{1}{2} |\xi|^{-\frac{1}{2}} (\hat{\psi}_{j,k}(|\xi|) \cdot \omega_{i,l}(\theta) + \hat{\psi}_{j,k}(-|\xi|) \cdot \omega_{i,l}(\theta + \pi)) \quad (6)$$

주파수 영역을 2진 코로나(corona) $|\xi| \in [2^s, 2^{s+1}]$ 로 나눈다. $\omega_{i,l}(\theta)$, $i, l \in [0, 2^i - 1]$, $\psi_{j,k}$ 은 각각 $[-\pi, \pi]$ 를 위한 주기적 웨이블릿 계수, 각도 스케일, 각도 위치 계수, Meyer 웨이블릿 계수이다. 그리고 j, k는 리지렛 스케일, 위치 계수이다.

2. Image enhancement technique

최근 특히 윤곽선의 곡선 검출에 뛰어난 성능을 보이는 CT에 영상 합성, 보간, 필터링 등의 기법을 사용하여 영상의 윤곽선을 향상시키는 연구가 제시되었다[9,10].

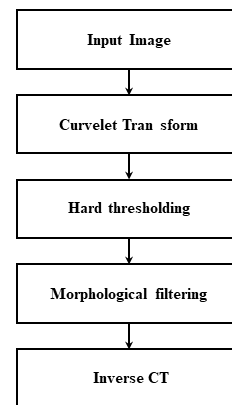


Fig. 2. CT-based morphological filtering technique

Fig. 2는 [9]에서 제시된 형태학적 필터(morphological filter)를 이용한 윤곽선 향상 기법을 나타낸다. 형태학적 필터는 일반적으로 팽창 및 침식(dilation, erosion), 개방 및 폐쇄(opening, closing)와 같은 형태 기반으로 영상 처리에 사용된다. 필터 출력 영상의 각 픽셀 값은 입력 영상의 해당 픽셀과 이웃 픽셀의 비교를 기반으로

한다. 따라서 팽창과 침식 각각의 결과 픽셀은 입력 픽셀에 이웃하는 모든 픽셀들의 최대 및 최소 값을 적용하여 영상의 윤곽선을 향상했다. 그러나 형태학적 필터는 윤곽선 방향에 대한 정보를 정확히 알지 못하는 문제점을 가지고 있다.

III. The Proposed Scheme

1. Proposed method

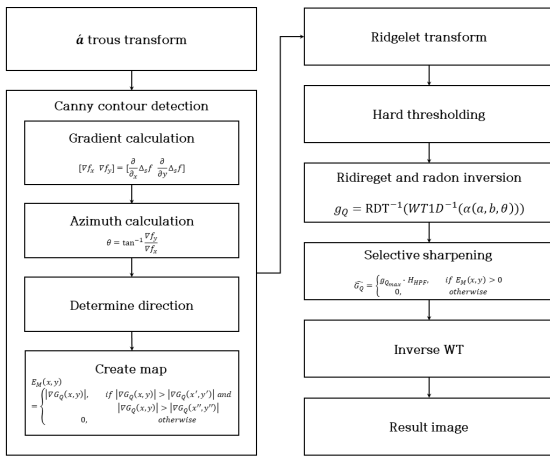


Fig. 3. Suggestion Method

1절에서 언급했듯이, 손상된 영상은 잡음을 포함하기 때문에 효과적인 전처리 과정을 통해 배경과 객체의 윤곽선 특징을 향상하는 것이 중요 이슈이다. 본 절에서는 CT의 하부 단계인 á trous 변환에서 Canny 알고리즘을 적용하여 윤곽선 특징을 향상하는 기법을 제안한다. Fig. 3은 제안된 CT 기반 윤곽선 향상 방법에 대한 블록도를 나타낸다.

1.1 á trous transform

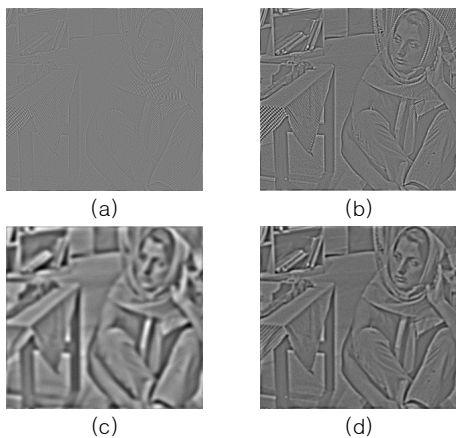


Fig. 4. Subband resolution image
(a) Δ₁f, (b) Δ₂f, (c) Δ₃f, (d) Δ₄f

1.2 Canny algorithm

Δ₁f ... Δ₄f에서 획득된 웨이블릿 계수를 적용하여 윤곽선 맵을 생성할 때 윤곽선 특성을 고려하기 때문에 Δ₁f ... Δ₄f를 활용하여 윤곽선의 방향성 정보를 계산해야 한다.

$$[\nabla f_x \nabla f_y] = \left[\frac{\partial}{\partial x} \Delta_s f \quad \frac{\partial}{\partial y} \Delta_s f \right] \quad (10)$$

식 (10)은 Δ_s f의 그라디언트(gradient)를 구하는 과정이며, s는 1부터 4까지 부대역 단계이다. 계산된 그라디언트 [∇f_x ∇f_y]를 식 (11)에 적용하여 윤곽선 특징을 알 수 있는 θ를 얻을 수 있다.

$$\theta = \tan^{-1} \frac{\nabla f_y}{\nabla f_x} \quad (11)$$

계산된 θ값은 Fig. 5(b)에서 표현된 각도(angle)에 따른 0~3까지 4가지 영역에서, 지정된 영역의 방향으로 Fig. 5(a)와 같이 윤곽선 검출을 진행한다. Fig. 5(a)에서 표현된 (x', y')와 (x'', y'')는 (x,y)의 이웃 계수(neighborhood coefficient)를 의미한다.

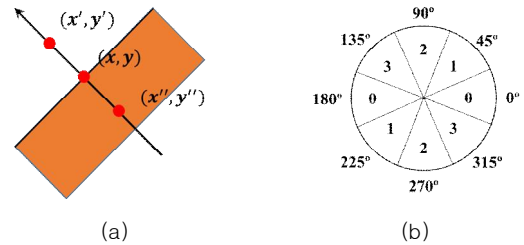


Fig. 5. Non-maximal suppression algorithm

(x, y)픽셀을 기준으로 8방향의 이웃 계수 값들을 비교하여 식 (12)와 같이 (x, y)픽셀이 클 경우 값을 유지하고, 값이 작을 경우 0으로 변경하는 기법이다.

$$E_M(x, y) = \begin{cases} |\nabla G_Q(x, y)|, & |\nabla G_Q(x, y)| > |\nabla G_Q(x', y')|, \\ & |\nabla G_Q(x, y)| > |\nabla G_Q(x'', y'')| \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (12)$$

부대역 분해된 영상 Δ₁f ... Δ₄f에 Canny 알고리즘을 적용하여 Fig. 6과 같이 영상을 획득할 수 있다[15,16].

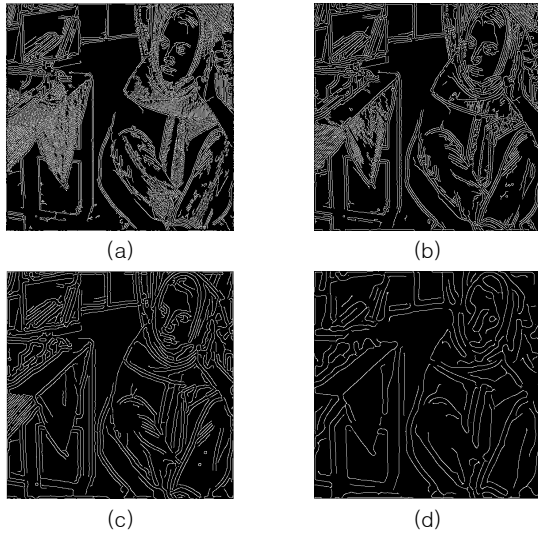


Fig. 6. Canny application by Sub-band image : (a) $\Delta_1 f$, (b) $\Delta_2 f$, (c) $\Delta_3 f$, (d) $\Delta_4 f$

부대역 단계가 진행될수록 영상의 흐림(blurring) 현상이 강하게 나타나며, Fig. 6과 같이 Canny 알고리즘 적용 시, $\Delta_1 f$ 과 $\Delta_4 f$ 의 윤곽선 차이를 확인할 수 있다. 도출된 윤곽선 맵 (E_m)을 기반으로 식 (13)과 같이 선택적 샤프닝을 수행한다.

$$\hat{G}_Q = \begin{cases} G_Q * H_{HPF}, & (E_m(x,y) > 0) \\ 0, & otherwise \end{cases} \quad (13)$$

H_{HPF} 는 고대역 필터(high-pass filter)로써 윤곽선이 존재할 때($E_m(x,y) > 0$) 적용하고, 식 (14)와 같이 일반적인 필터 계수를 적용한다.

$$H_{HPF} = \begin{pmatrix} 0 & -0.25 & 0 \\ -0.25 & 2 & -0.25 \\ 0 & -0.25 & 0 \end{pmatrix} \quad (14)$$

선택적 샤프닝은 전체 계수에 대하여 일관적으로 샤프닝을 수행하는 것이 아니라 윤곽선으로 결정된 계수의 영역에만 선택적으로 샤프닝 마스크(sharpening mask)를 수행함으로써 윤곽선 특징을 향상시킬 수 있다.

IV. Experimental Result

본 절에서는 영상 획득 시 잡음으로 인해 객체 인식에 있어 어려움이 존재한다는 점을 보완하기 위해 제안한 윤곽선 향상 기법의 성능을 비교 분석한다. WT, CT, CT 기반 형태학적 필터링(CTMF), 제안된 방법(PM)을 기반으로 비교 분석한 결과를 제공한다. 실험 조건은 신호 대 잡음비(signal to noise ratio)을 각각 8dB, 10 dB, 12 dB를 적용하고, 영상 전처리 수행 후, 윤곽선 강도(edge intensity: EI) [17]와 PSNR(peak

signal to noise ratio) [18]를 측정한다. Fig. 7은 실험에 사용된 4가지 표준 시험 영상(해상도: 512x512)을 나타낸다.

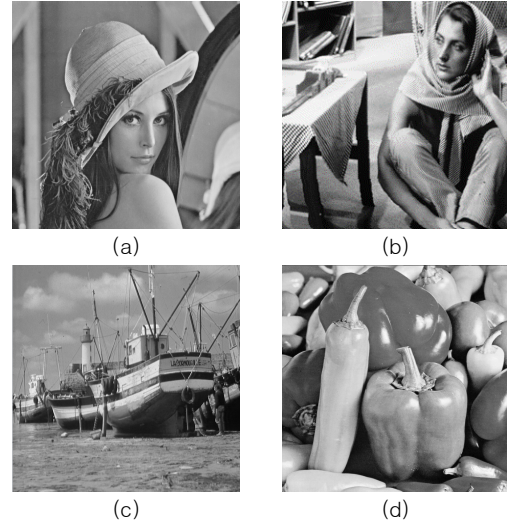


Fig. 7. Standard video test (a) barbara, (b) lena, (c) boat, (d) pepper

1. EI

EI는 윤곽선 향상에 대한 정도를 측정하기 위한 객관적 척도이며, 이는 Sobel 필터를 사용하여 식 (18)의 수직(h_x), 수평(h_y)에 대해 컨볼루션(convolution)을 수행한다.

$$h_x = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 2 \end{pmatrix}, \quad h_y = \begin{pmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{pmatrix} \quad (18)$$

$$EI = \sqrt{(P * h_x)^2 + (P * h_y)^2} \quad (19)$$

식 (19)에서 $P, *$ 는 각각 전처리된 영상과 컨볼루션 연산자(operator)를 의미하고, 윤곽선의 강도를 에너지로 나타낸 것이다. Table 1은 제안 방법과 기존 방법들의 EI 비교를 나타낸다.

Table 1. EI comparisons

Noise Levels		8 dB	10 dB	12 dB	Average
Barbara	WT	12.23	12.96	13.78	12.99
	CT	14.18	14.14	15.02	14.45
	CTMF	15.49	15.34	15.93	15.59
	PM	16.62	16.87	16.60	16.70
Lena	WT	10.03	10.77	10.96	10.59
	CT	10.46	11.04	11.23	10.91
	CTMF	11.45	12.54	12.87	12.29
	PM	11.61	12.73	13.47	12.60
Boat	WT	12.07	12.91	12.86	12.61
	CT	13.82	13.36	13.96	13.71
	CTMF	14.38	14.63	15.35	14.79
	PM	14.87	15.27	17.83	15.99
Pepper	WT	9.87	10.81	10.86	10.51
	CT	10.33	10.56	11.46	10.78
	CTMF	11.38	12.63	13.35	12.45
	PM	11.44	12.92	14.59	12.98

WT는 4가지 시험 영상에 대하여 3가지 잡음 수준을 적용하여 평균 12.99, 10.59, 12.61, 15.99 이다. CT 은 WT보다 1.46, 0.32, 1.10, 0.27이 향상된다. 그리고 CTMF와 PM을 비교하면 PM의 EI가 모든 이미지에서 평균 1.11, 0.32, 1.20, 0.53으로 향상된다는 것을 알 수 있다. 따라서 윤곽선의 선명도 관점에서 PM은 윤곽선의 핵심 요소(방향성)을 고려하여 기존 WT, CT, CTMF 보다 향상된다.

2. PSNR



Fig. 8. Result image (babara, 10dB):
(a) WT, (b) CT, (c) CTMF, (d) PM

Fig. 8(a) - (d)는 영상 획득 시 발생하는 잡음의 특성을 고려한 잡음 10dB의 각 기술별 결과를 보여준다. Table 2는 제안 방법과 기존 방법들의 PSNR비교를 나타낸다. PM은 WT, CT, CTMF보다 각각 평균 2.05dB, 0.87dB, 0.44dB 향상된다. 그리고 PM은 기존 방법에 비해 모든 잡음 수준에서 효과적임을 알 수 있다.

Table 2. PSNR comparisons

Noise Levels		8 dB	10 dB	12 dB	Average
Barbara	WT	22.33	22.93	23.92	23.06
	CVT	22.72	24.53	26.13	24.46
	CVTMF	22.94	24.86	26.43	24.74
	PM	23.37	25.12	26.81	25.10
Lena	WT	23.09	23.52	24.67	23.76
	CVT	23.44	24.63	26.69	24.92
	CVTMF	23.62	24.93	26.80	25.12
	PM	23.88	25.25	27.22	25.45
Boat	WT	21.9	23.02	23.56	22.83
	CVT	22.14	24.27	26.33	24.25
	CVTMF	22.37	25.29	26.93	24.86
	PM	23.48	25.87	27.17	25.51
Pepper	WT	22.71	23.19	23.70	23.20
	CVT	22.91	23.69	25.46	24.02
	CVTMF	23.68	24.21	26.06	24.65
	PM	23.88	24.43	26.87	25.06

IV. Conclusions

본 논문에서는 영상의 윤곽선 향상을 위하여 CT의 하부 단계인 à trous 변환에서 Canny 알고리즘을 적용하였다. 그리고 영상 향상을 위해 윤곽선 특징을 고려한 윤곽선 맵을 생성하고, 이에 따라 선택적 샤프닝을 수행하였다. EI 및 PSNR을 측정하기 위해 4가지 표준 시험 영상과 3가지 잡음 수준에 대하여 실험을 수행하였다. 그 결과, PM은 윤곽선 방향성을 고려한 선택적 샤프닝을 수행하여 세 가지 측면 (대상, 질감, 그림자)이 선명해 짐을 볼 수 있었고, WT, CT, CTMF에 비해 EI측면에서 각각 2.89, 2.10, 0.78, PSNR측면에서 2.06dB, 0.86dB, 0.43dB 향상되었다.

REFERENCES

- [1] M. Deepa, "Wavelet and Curvelet based Thresholding Techniques for Image Denoising," International Journal of Advanced Research in Computer Science and Electronics Engineering (IJARCSEE), Volume 1, Issue 10, December (2012).
- [2] M. Shukla and S. Changlani, "A Comparative Study of Wavelet and Curvelet Transform for Image Denoising," IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering(IOSR-JECE), Volume 7, Issue 4, PP 63-68, Oct. (2013).
- [3] Y. Shen, Q. Liu, S. Lou, and Y.L. Hou "Wavelet-Based Total Variation and Nonlocal Similarity Model for Image Denoising," IEEE Signal Processing Letters, 2017, Volume 24, Issue 6, June (2017).
- [4] JH Li, YJ Zhang, R Qi, and QH Liu, "Wavelet-Based Higher Order Correlative Stacking for Seismic Data Denoising in the Curvelet Domain," IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing, Volume: PP, Issue: 99, April (2017).
- [5] V. Vijay Kumar Raju, M. Prema Kumar, "Denoising of MRI and X-Ray images using Dual Tree Complex Wavelet and Curve let Transforms," IEEE International Conference on Communication and Signal Processing, April (2014).
- [6] R.A. Ansari, and K.M. Buddhiraju "NOISE FILTERING OF REMOTELY SENSED IMAGES USING HYBRID WAVELET AND CURVELET TRANSFORM APPROACH," Geoscience and Remote Sensing Symposium(IGARSS), 2015 IEEE International, July (2015).
- [7] E. J. Candès and D. L. Donoho, "Curvelets," [Online] Available: <http://www-stat.stanford.edu/~donoho/Rep>

orts/1999/curvelets.pdf, (1999).

- [8] J. L. Starck, E. J. Candes, and D. L. Donoho, "The curvelet transform for image denoising," *IEEE Trans. Image Process.*, vol. 11, pp. 670–684, (2002).
- [9] M. Kalyan and K. Sekhar, "Discrete Curvelet and Morphological Based Adaptive Satellite Image Enhancement," *Global Journal of Advanced Engineering Technologies*, Vol3, Issue 3, (2014).
- [10] K. Jemseera, and P. Noufal "Satellite Image Fusion Based on Improved Fast Discrete Curvelet Transforms," *Advances in Computing and Communications(ICACC)*, 2015 Fifth International Conference on, Sept. (2015).
- [11] Anil A. Patil and Jyoti Singhai, "Image denoising using curvelet transform: an approach for edge preservation," *CSIR, JSIR Vol.69(01)*, Jan. (2010).
- [12] T. Qiao, J. Ren, Z. Wang, J. Zabalza, M. Sun, H. Zhao, S. Li, J. A. Benediktsson, Q. Dai, and S. Marshall, "Effective Denoising and Classification of Hyperspectral Images Using Curvelet Transform and Singular Spectrum Analysis," *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, vol. 55, no. 1, pp. 119–133, JANUARY (2016).
- [13] Mahdad Esmaeili, Alireza Mehri Dehnavi, Hossein Rabbani, and Fedra Hajizadeh, "Speckle Noise Reduction in Optical Coherence Tomography Using Twodimensional Curvelet-based Dictionary Learning," *Journal of Medical Signals & Sensors*, Vol 7, No 2, Jun. (2017).
- [14] K Wu, X Zhang, and M Ding, "Curvelet based nonlocal means algorithm for image denoising," *AEU-International Journal of Electronics and Communications*, Volume 68, Issue 1, Page 37–43, January (2014).
- [15] Bao, Paul, Lei Zhang, and Xiaolin Wu. "Canny edge detection enhancement by scale multiplication." *IEEE transactions on pattern analysis and machine intelligence* 27.9: 1485–1490 (2005).
- [16] Rong, Weibin, et al. "An improved CANNY edge detection algorithm." *Mechatronics and Automation (ICMA)*, 2014 IEEE International Conference on. IEEE, (2014).
- [17] A. Ein-shoka, H. Kelash, O. Faragallah, and H. El-sayed, "Enhancement of IR Images using Homomorphic Filtering in Fast Discrete Curvelet Transform (FDCT)," *International Journal of Computer Applications(0975 – 8887)* Volume 96, No.8, (2014).
- [18] Anilet Bala, Chiranjeeb Hati and CH Punith, "Image Denoising Method Using curvelet Transform and Wiener Filter," *International Journal of Advanced Research in Electrical, Electronics and Instrumentation Engineering*, Vol. 3, Issue 1, January (2014).

Authors



Byeong Cheol Mun received the B.S., M.S. and Ph.D. degrees in Computer Science and Engineering from Kyung-nam University, Korea, in 1992, 1994 and 2000, respectively. Dr. Mun joined the faculty of the Department of Avionics Control

System, Korea Polytechnics Aviation College, Sacheon, Korea, in 2001. He is currently a Professor in the Department of Avionics Control System, Korea Polytechnics Aviation College. He is interested in MES, database and image enhancement.