

# 웨이블렛 변환 영역에서 MAD 순서통계량을 이용한 SAR 영상의 화질개선 구현

이 철\* · 이정석\*\*

Implementation of Image Improvement using MAD Order Statistics for SAR Image in Wavelet Transform Domain

Cheol Lee\* · Jung-Suk Lee\*\*

요 약

본 논문에서는 지형의 형태 파악에 주로 이용되는 SAR(Synthetic Aperture Radar) 영상의 화질을 저해하는 주된 요소인 잡음을 제거하기 위하여 웨이블렛 변환 기반 MAD순서통계량 알고리즘을 논의한다. 효과적인 영상개선을 위하여 SAR 영상에 근사부분대역의 웨이블렛 계수에 가중평균(Weighted average)법으로 영상처리하고 상세 부분대역의 웨이블렛 계수에 중앙절대편차(MAD : Median Absolute Deviation)를 이용한 임계값을 설정하여 왜곡요소를 제거하는 방법을 제안한다. 특히 제안 방법의 임계값은 잡음과 같은 왜곡요소를 배제하고 영상의 통계량을 고려하여 설정하였다. 제안된 방법은 실시간처리를 보장하기 위하여 DSP와 FPGA를 이용한 하드웨어로 구현하였으며 Xilinx FPGA를 사용하여 실험 하였다.

## ABSTRACT

This paper is proposed a wavelet-based the order statistics MAD(Median Absolute Deviation) method of SAR( Synthetic Aperture Radar) image for image enhancement. also The method of compared and defined the threshold the wavelet coefficients using MAD of the wavelet coefficients of the detail subbands was proposed to effectively image enhancement . In order to complement the disadvantage, the threshold of the proposed method sets up the image statistic and excludes the distortion. The hardware design is used FPGA of Xilinx and DSP system for the image enhancement and compressed encoding of the proposed algorithm. Therefore the proposed method is totally verified by comparing with the several other images.

## 키워드

Image Enhancement, Median Absolute Deviation, Wavelet Transform, Threshold, SAR Image  
화질 개선, 웨이블렛, 중앙절대편차, 순서통계량, 임계값, SAR영상

## 1. 서론

지형적인 형태를 판단하는 영상은 지형적 구조의

명확성이 매우 중요하다. 이러한 지형적 구조를 판단하는 대표적 영상이 SAR영상이다[1]. SAR영상은 기상현상에 영향을 받지 않을 뿐만 아니라 영상취득의

\* 인하공업전문대학 메카트로닉스과(chee@inhac.ac.kr)

\*\* 교신저자(Corresponding author) : 인하공업전문대학 메카트로닉스과(ungboleee@inhac.ac.kr)

접수일자 : 2014. 11. 15

심사(수정)일자 : 2014. 12. 01

게재확정일자 : 2014. 12. 15

특성상의 이유로 지표면의 구조를 파악하는데 매우 탁월하다. 그러나 영상 전체에 포함된 잡음으로 인한 영상품질의 저하는 정확한 지형 판단을 어렵게 한다. 따라서 본 논문에서는 이러한 영상저하를 발생시키는 잡음 성분을 미분 마스크와 중앙절대 편차(median absolute deviation, MAD)를 이용 하여 영상품질 개선을 얻었다. 일반적인 웨이블릿 영상 처리에서는 신호에 포함된 잡음을 추정하여 그 크기를 계산하고, 이에 비례한 문턱값을 설정하는 것이다. 그러나 실제의 경우 원 신호를 알지 못하기 때문에 잡음의 양을 정확하게 추정하기 어렵고, 잡음분산의 크기가 같은 경우 영상의 통계량이 달라지더라도 동일한 문턱값을 적용하게 된다는 문제점이 있다[2].

본 연구에서는 이와 같은 문제를 해결하기 위하여 잡음레벨을 계산하는 대신에 웨이블릿 계수만을 사용하여 잡음을 효율적으로 제거하는 문턱값을 찾으려고 하였다. 우선, 웨이블릿 변환된 상세대역 계수에 대해 미분 마스크 연산을 수행하여 잡음의 위치를 찾고, 잡음에 해당하는 계수와 그렇지 않은 계수를 구분하는 2진 마스크를 생성하여 잡음을 제거한다. 다음으로 상세대역들의 중앙절대 편차(median absolute deviation, MAD)를 각각 구하고 이를 각 대역의 문턱값으로 설정하여 잡음을 제거한다. 이 방법은 영상의 통계량에 따라 MAD에 의해 가변적으로 임계값이 정해지므로 잡음의 레벨이 같더라도 각 영상의 통계량에 따라 문턱값이 달라진다. 특히, 표준편차를 이용할 경우 값이 큰 소수의 계수들로 인하여 전체 문턱값이 커지는 문제가 생기기 때문에 중앙편차를 이용한 계수의 순서 통계량을 적용하였다. 영상처리의 성능평가를 위하여 범용방법인 웨이블릿을 사용하였으며 압축·부호화 과정은 JPEG2000표[3] 하드웨어 보드를 구현하여 실험하였다.

II. 본 론

2.1 웨이블릿 변환

웨이블릿은 Morlet에 의해 소개된 이후 신호를 분석하고 해석하는데 효과적인 수학적 도구로 알려져 있으며 순수수학부터 여러 응용분야에 이르기까지 폭 넓게 연구되어 왔다. 웨이블릿이란 작은 파장형의 조

각이라는 뜻이며 작은 파장형들의 적당한 규칙을 모으면 큰 파장형의 형태가 된다는 의미로, 기본적인 개념은 스케일에 따라 분석하는 것이다. 웨이블릿 변환 [4]을 이용한 영상융합의 일반적인 과정은 영상을 분해한 후 다시 합성하는 과정을 거친다. 웨이블릿 변환은 기존의 푸리에 변환과 같이 기저함수들의 집합에 의한 신호 분석의 한 방법으로, 대상 신호를 시간과 주파수 영역에서 국부성을 갖는 웨이블릿 기저함수들의 선형결합으로 나타낼 수 있고, 디지털 컴퓨터에 의해 쉽게 구현될 수 있는 효율적 형태인 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)을 사용한다[5]. 영상의 웨이블릿 변환은 단순한 필터처리로 생각할 수 있다. 즉, 저역 필터와  $h(n)$ 와 고역 필터  $g(n)$ 를 사용해서 영상의 주파수 대역을 둘로 분할하고, 이를 반복 처리하여 영상처리(압축, 잡음제거 등)에 유리하도록 몇 개의 부분대역(subband)으로 영상 신호를 분할하는 것이다. 이렇게 필터를 사용해서 영상의 대역을 나누는 과정을 "웨이블릿 분해(wavelet decomposition)" 라고 하며, 분해된 대역을 다시 합쳐 원 영상으로 재구성하는 과정을 "웨이블릿 복원(wavelet reconstruction)"이라 한다.

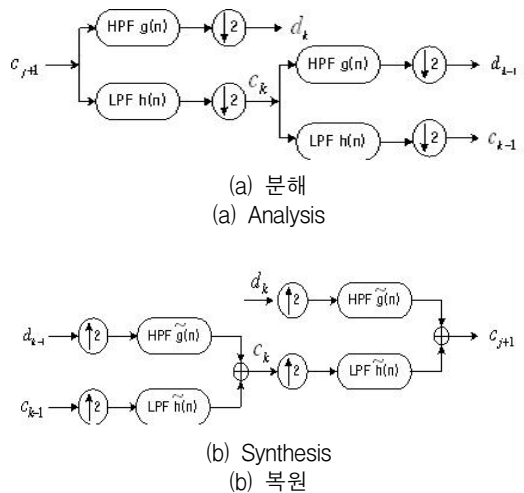


그림 1. 웨이블릿 분해와 복원  
Fig. 1 Wavelet analysis and synthesis

2.2 웨이블릿 잡음제거 방법

웨이블릿 기반 잡음제거 기법의 대부분이 신호와 잡음을 구별하기 위해 다중해상도 분석의 특성을 이용

하며, 이와같은 분석에 있어서 가장 중요한 것은 잡음 성분이 많은 웨이블릿 계수와 그렇지 않은 계수를 구분하는 기준인 문턱값(threshold)을 정의하는 것이다. 1994년 Donoho와 Johnstone은 잡음 신호로부터 원신호를 효율적으로 찾기 위해 문턱처리를 기반으로 하는 웨이블릿 수축법(wavelet shrinkage)을 제안하였다[6]. 이기법의 기본은 신호에 포함된 잡음을 추정하여 그 크기를 계산하고, 이에 비례하여 문턱값을 설정하는 것이나 실제의 경우 원 신호를 정확히 알지 못하기 때문에 잡음의 양을 추정하기 어렵다. 또한 잡음분산의 크기가 같은 경우 영상의 통계량이 달라지더라도 동일한 문턱값을 적용하게 된다는 문제가 있으나 이 방법은 비교적 간단하면서도 대부분의 가시광선 영상에 대해 효과적인 잡음제거 성능을 제공하였다. 웨이블릿 수축법의 기본 절차는 잡음신호를 웨이블릿 변환 하고 변환 계수에 대한 문턱처리 후, 그 결과를 다시 웨이블릿 역변환 하여 잡음을 제거하는 것이다[7].

### III. 제안 알고리즘

#### 3.1 전체 알고리즘

본 논문에서 제안한 알고리즘은 기존 웨이블릿 변환기반에 MAD를 이용하여 통계적인 임계값의 순위를 결정하여 영상 통계량에 따라 영역을 선별하는 효과적인 영상품질개선기법을 제안한다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환기반으로 영상을 다중해상도 분해하여 저주파 영역(LL)은 가중평균(weighted average)법으로 처리하고 고주파영역(LH, HL, HH)인 상세대역은 MAD를 계산하여 산출된 각 영역별 계수의 임계값을 각 영역에 적용하여 화질을 개선하는 순서통계량을 수행한다[8].

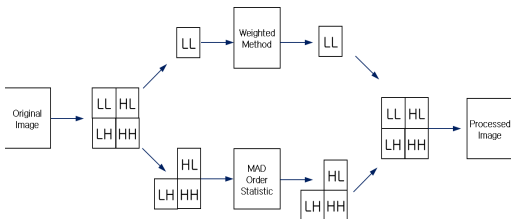


그림 2. 제안한 영상개선 과정  
Fig. 2 Proposed image process procedure

지금까지 통계와 분산 또는 가중치를 이용한 규칙들이 많이 제안되었으나 이러한 방법들은 왜곡요소에 대한 화면품질을 저하시키는 문제를 해결 할 수 없었다. 본 논문에서는 전처리 단계에서 왜곡요소제거를 고려한 기법을 적용하여 처리 시 왜곡요소로 인한 영상의 왜곡을 개선하고자 하였다. 또한 임계값 설정은 통계적결과에 기반을 둔 표준편차(또는 분산, 평균)와 영상신호의 표본크기에 따라 결정되며 통계적 변화에 따른 임계값 변화와 정확한 임계값을 결정하는 문제를 해결하기 위하여 MAD를 통한 순서 통계량을 제안 하고자 한다.

#### 3.2 임계값기반 순서통계량 영상처리 기법

영상처리에서 중요한 것은 처리하고자하는 영상의 특징을 감안하여 영상의 왜곡요소를 최소화 하는 것이다. 본 논문에서는 영역기반 영상처리에서 영역별 분산 값을 단순 비교하는 문제점을 해결하기위해 영상의 통계량에 따라 임계값이 가변되는 MAD를 이용한 계수의 순서 통계량을 사용하는 영상융합을 제안 한다. 영상의 통계 변화량은 영상의 품질을 표현하는 기준으로 일반적으로 분산이나 평균을 이용하여 임계값을 산출하여 구현된다[9]. 하지만 이 방법은 영상의 통계량이 변하더라도 임계값이 일정하므로 영상의 품질이 저하될 수 있는 단점이 있다. 또한 표준편차를 이용할 경우 임계값의 커지므로 유효계수의 손상이 있을 수 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 본 논문은 중앙절대편차를 영상의 통계량을 표현하는 임계값 산출에 사용한다.

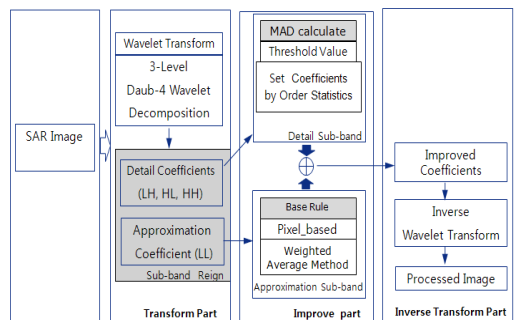


그림 3. 제안한 영상처리 시스템  
Fig. 3 Proposed image processing system

$$u = f + w \tag{1}$$

여기서  $f$ 는 원 신호,  $w$ 는 잡음이고  $u$ 는 잡음에 의해 손상된 영상신호이다. 잡음제거는 관찰된  $u$ 로부터  $f$ 를 복원하는 문제로 생각할 수 있다.

잡음으로 인해 식 (1)에서 정확한  $f$ 을 복원하는 것은 불가능하다. 따라서  $f$ 의 추정신호 또는 근사신호  $\hat{f}$ 을 찾는 것이 합리적이다. 최적의 추정신호  $\hat{f}$ 은 식 (2)의 신호 대 잡음비(SNR)를 최대화함으로써 얻을 수 있다.

$$SNR := -20\log_{10}\left(\frac{E(\|f - \hat{f}\|)}{E(\|f\|)}\right) \quad (2)$$

여기서,  $E(\cdot)$ 는 기대값 연산자,  $\frac{E(\|f - \hat{f}\|)}{E(\|f\|)}$ 은 정규화된 상대오차 이다. 웨이블렛 기반 중앙절대편차를 이용한 순서통계량 영상융합은 다음과 같이 3 단계의 구체적 절차로 설명할 수 있다.

[1단계] 잡음신호에 대하여 이산 웨이블렛 변환을 수행한다. 여기서 DWT는 이산웨이블렛 변환이고,  $u = f + w$ 으로  $f$ 는 원신호,  $w$ 는 잡음신호이다.

$$DWT(u) = W(u) \quad (3)$$

[2단계] 변환영역 계수들의 중앙절대편차를 구한다. 중앙절대편차를 이용 임계값 각 상세대역별로 구한 후 순서통계량에 따라 왜곡요소를 제거한다. 영상에서 부분영상의 계수를  $X$ 라 하고 임계값을  $\lambda$ 라 하자.

$$\begin{cases} X, & \text{if } |X| \geq \lambda \\ 0, & \text{if } |X| < \lambda \end{cases} \quad (4)$$

[3단계] [2단계]에서 임계 처리된 계수를 역변환 한다. 여기서  $\tilde{X}$ 는 임계 처리된 계수들 이다.

$$IDWT(\tilde{X}) = W^{-1}(\tilde{X}) \quad (5)$$

[2단계]의 중앙절대편차를 이용한 임계값 산출 방법을 자세히 알아보자. 본 논문에서 제안한 영상융합의 목표는 임계값  $\lambda$ 를 결정하는 것이다. 범용임계값(universal threshold),  $\lambda = \lambda^U$ 의 선택은 통계적 결과에 기반을 둔 것으로 식(6)과 같이 신호의 표준편차(또는 분산)와 관찰된 신호  $u$ 의 표본 크기( $N$ )에 따라 결정된다[5].

$$\lambda = \lambda^U := \sqrt{2\ln N} \hat{\sigma} \quad (6)$$

여기서  $\hat{\sigma}$ 는 신호의 표준편차  $\sigma$ 에 대한 추정치이고, 이를 구하기 위해 다음 식(7)과 같은 중앙절대편차를 이용한 방법을 제안하였다.

$$\hat{\sigma} = \frac{MAD(|x_{k+1,j}|)_{1 \leq j \leq 2^{k+1}}}{0.6745} := \frac{Med(|x_{k+1,j} - \rho|)_{1 \leq j \leq 2^{k+1}}}{0.6745} \quad (7)$$

식(7)의  $Med(\cdot)$ 는 중간값 연산자이고,  $\rho = Med(x_{k+1,j})_{1 \leq j \leq 2^{k+1}}$ 은 해상도 수준  $k+1$ 에서 얻어진 웨이블렛 계수의 중간값이다. 즉, 식(7)와 같이 최고 해상도 웨이블렛 변환 계수의 중앙절대편차를 계산하여 신호의 표준편차  $\hat{\sigma}$ 를 추정할 수 있고, 이를 식 (6)에 대입하여 범용 임계값  $\lambda^U$ 를 얻을 수 있다.

#### IV. 구현보드의 하드웨어구성과 실험환경

영상데이터 처리과정을 수행하기 위한 영상데이터처리와 압축기능은 JPEG2000 압축·부호화 표준 조건에 맞는 하드웨어를 설계하였다. 본 논문에서 구현된 하드웨어 보드는 PMC, PCI I/F, CPLD와 JPEG2000 하드웨어 엔진인 ADV212(JPEG2000 CDDEC)로 구성하였다. 주제어 보드인 PowerPC Embedded Board는 JPEG2000 압축 카드를 제어하기 위해 PCI 인터페이스를 적용하였고, 주제어 보드의 PCI 인터페이스 기능은 그림4와 같이 PMC 연결 커넥터를 통해 PCI 32bit 데이터버스로 송수신하고, PCI Bridge 디바이스는 PCI9056을 통해 하드웨어 JPEG2000 엔진 디바이스에서 데이터 송수신 하도록 구성하였다.

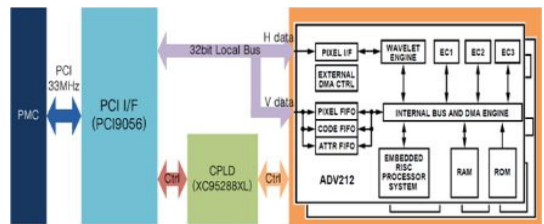


그림 4. H/W 보드 블록도  
Fig. 4 Block-diagram of H/W board

하드웨어 보드는 엔진이 내장된 ADV212를 사용하

여 설계하였고 JPEG2000 압축영상소스 처리의 해상도는 256 x 256에서 1024 x 1024까지의 정지영상 단일 컷을 JPEG2000 하드웨어 엔진 ADV212 에서 단일 처리한다. ADV212 2개를 카드 내에 구성하여 SAR 영상을 처리하도록 구성하였다. JPEG2000 압축 기능을 구현하는 PowerPC CPU를 적용하여 Embedded Board를 설계 제작 하였다. 또한 하드웨어는 Add In PMC Card(PMC - PCI Mezzanine card)로 장착이 가능한 기능을 갖고 있다. JPEG2000 압축을 위한 주제어 기능을 상기의 보드에서 담당하고, Vxworks 실시간 운영체제에서 구동되도록 프로그램을 작성 구현하였다.

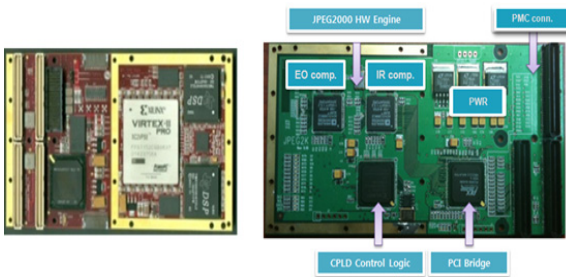


그림 5. H/W 보드 형상  
Fig. 5 The shape of H/W board

압축·부호화를 수행하는 보드의 레벨, 양자화 스텝 사이즈 등의 파라미터 설정은 표 1과 같이 설정하였다. 구현보드의 실험환경은 촬영 영상 데이터를 압축·부호화 전송 처리하는 회로 카드를 통하여 JPEG2000 조건의 압축·부호화를 처리하는 과정을 설정하였다. 압축회로카드를 PC에 장착하고 Window용 Test Program을 작성하여 진행하였다.

실험보드의 기본 환경은 다음과 같다.

- 하드웨어환경 : PC(intel Core2 CPU E8400 @ 3.00GHz, 3.5GB RAM)
- OS환경 : WindowsXP
- 압축 프로그램 : 실험용 WindowXP Test Application
- 압축파일확인 프로그램 : kakadu show (version4.2.1)

표 1. H/W 보드 변수  
Table. 1 The parameter of H/W board

Parameter	Description
Image	Dam, Beach etc.
Tile Size	128x128 ~ 1024x1024
precision	12bit
Compress Ratio	2:1, 4:1, 9:1, 20:1
Number of Wavelet Transform Levels	level5, level3
Component Polarity	Unipolar
Code Block Size	128 x 32
Wavelet Kernel	Irreversible 9 x 5
JPEG2000 Progression Style	LRCP(Layer-Resolution-Component-Position)
Quantization Factor	256/256 factor (1x)
Quantization Step Size	Auto

## V. 실험결과 및 분석

제안된 알고리즘의 성능을 비교하기 위하여 제안한 방식과 기존의 범용 방식인 웨이블렛을 그림 6에서 보여준다. 최근 관심이 쏠리고 있는 국방 분야의 항공 촬영 영상 2개를 사용하였다. 또한 가중치를  $\alpha = 1/2$  로 선택 하였다. 정량적 성능은 PSNR(Peak signal to noise ratio)을 산출하여 비교하였다. 표2의 PSNR 분석 데이터는 영상의 영상품질 차이를 추출하여 평균한 값으로 달리 표현하면 식(8)과 같다.

$$PSNR = 20 \log_{10} \frac{2^n - 1}{SE} = 10 \log_{10} \frac{PEAK}{MSE} \quad (8)$$

여기서  $M \times N$  크기 영상이며 사용된 RMSE(root mean square error)의 계산식은 식(9)와 같다.

$$\sqrt{MSE} = \sqrt{\frac{1}{NM} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^M [f(i,j) - g(i,j)]^2} \quad (9)$$

실험결과 그림 6은 시각적으로 제안된 MAD기법을 적용한 경우가 더욱 정확하고 겹침이 적은 우수한 처리가 수행됨을 시각적으로 확인 할 수 있다. 표 2는

제안한 방식이 기존의 방식보다 영상성능이 정확도가 우수함을 보였다.

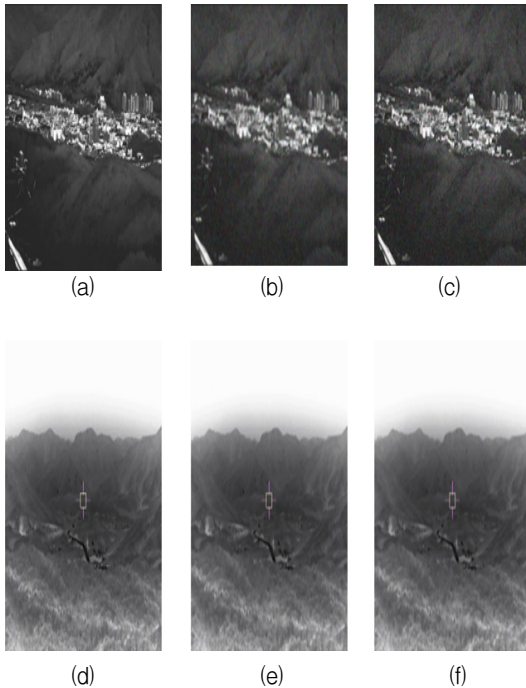


그림 6. ‘산’1, 산2’ 영상 (a),(d) 원 영상 (b),(e) 가중평균법 (c),(e) 제안방법

Fig. 6 ‘m1, m2’ image (a), (d) original image (b), (e) weighted average (c), (e) proposed method

표 2. PSNR 실험 결과 요약  
Table 2. Summary of PSNR results

Image	Algorithm	PSNR
‘m1’ Image	Weighted average	39.72
	proposed Methode	42.50
‘m2’ Image	Weighted average	38.12
	proposed Methode	42.33

## VI. 결론

본 논문은 웨이블릿 변환기반으로 SAR영상을 다중해상도 분해하여 저주파 영역(LL)은 가중평균법으로 처리하고 고주파영역(LH, HL, HH)인 상세대역의

처리하는 중앙절대편차(MAD)를 이용 순서통계량에 의한 각 영역별 계수의 임계값을 구하여 각 영역내의 왜곡요소를 제거하는 알고리즘을 제안하였다. 또한 본 논문에서는 영상신호를 왜곡이 포함된 신호라고 가정하여 영상 신호 추정 시 고려된 왜곡도 추정하여 포함된 왜곡을 배제하므로 잡음에 대한 영상의 왜곡문제도 해결했다. 제안된 영상융합 방법의 성능을 비교 분석하기 위하여 SAR영상을 실험대상으로 웨이블릿 기법과 제안방법을 비교하였다. 실험결과 범용방법은 제안방법보다 흐릿한 영상을 나타냈고 제안된 방법은 시각적인 비교에서 뿐만 아니라 정량적인 평가에서도 우수한 결과를 보여줌을 알 수 있었다.

### 감사의 글

본 논문은 한국전자통신학회 2014년 가을철 종합학술대회 우수 논문입니다.

## References

- [1] S. Frita and M. Boulemden, "Meteorological Image Processing with Wavelet," *IEEE ICASSP(Int. Conf. on Acoustics, Speech, and Signal Processing)*, San-diego, CA, Apr. 1998, pp. 2997-2300.
- [2] S.-U. Kim, "An Image Denoising Algorithm Using Multiple Images for Mobile Smartphone Cameras," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 11. no. 3, 2014, pp. 1189-1195.
- [3] P. Schelkens, *The JPEG2000 Suite*. New York : Wiley, 2009.
- [4] S. C. Burrus, R. A. Gopinath, and H. Guo, *Introduction to Wavelets and Wavelet transforms : A Primer*. New Jersey : Prentice-Hall, 1998.
- [5] P. J. Burt and R. J. Kolezynski, "Enhanced image capture through fusion," *Proc. of 4th Inter-national Conf. on Computer Vision*, New York, NY, Apr. 1993, pp. 173-182.
- [6] H. Ma, C. Jia, and S. Liu, "Multisource image fusion based on wavelet transform," *Int. J. of Information Technology*, vol. 3, no. 1, 2005, pp. 81-91.

- [7] C.-K. Lee and D.-I. Kim, "Adaptive Noise Reduction of Speech Using Wavelet Transform," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 4, no. 3, 2009, pp. 190-196.
- [8] Y.-Y. Kim, "Progressive Image Coding using Wavelet Transform," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 9, no. 1, 2013, pp. 33-40.
- [9] J.-H. Lee, "A Study for Sales and Demand Forecasting Model Using Wavelet Neural Networks," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Science*, vol. 9, no. 1, 2013, pp. 131-136.

### 저자 소개



#### 이 철(Cheol Lee)

1989년 광운대학교 전자공학과  
1991년 광운대학교 대학원 전자공  
학과(공학석사)  
2014년 광운대학교 대학원 제어계  
측공학과(공학박사)

현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 교수

※ 관심분야 : 디지털 통신, 영상처리, 센서제어, 네  
트워크통신



#### 이정석(Jung-Suk Lee)

1985년 광운대학교 전기공학과 졸  
업(공학사)  
1990년 광운대학교 대학원 전기공  
학과 졸업(공학석사)

2001년 광운대학교 대학원 제어계측공학과졸업(공  
학박사)

1990년~1997년 국방과학연구소 선임연구원

2002년~현재 인하공업전문대학 메카트로닉스과 교수

※ 관심분야 : 제어계측, 자동화 설비, 회전체 진동,  
머신비전

