JANT 한국항행학회논문지
Journal of Advanced Navigation Technology

항행 및 항법

J. Adv. Navig. Technol. 20(4): 298-304, Aug. 2016

웨이블릿 패킷 변환을 이용한 초음파 거리계 스파이크 제거 기법

Ultrasonic Rangefinder Spike Rejection Method Using Wavelet Packet Transform

김 성 훈[1] · 홍 교 영[1,2*]
[1]한서대학교 항공시스템공학과
[2]한서대학교 항공전자공학과

Sung-Hoon Kim[1] · Gyo-Young Hong[1,2]
[1]Department of Aircraft System Engineering, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 31962 Korea
[2]Department of Avionics, Hanseo University, Chungcheongnam-do, 31962 Korea

[요 약]

본 논문은 초음파 거리계를 이용하는 쿼드로터 무인항공기의 고도 제어 성능 향상을 위한 웨이블릿 패킷 변환 기법을 제시하였다. 쿼드로터의 수직 이착륙 시 많이 사용되는 초음파 거리계를 이용하여 지상시험을 수행하였다. 초음파 거리계는 정반사율(specular reflectance)과 음향 잡음 (acoustic noise)으로 인한 신호의 스파이크가 생긴다. 짧은 시간 간격으로 발생하는 스파이크는 시간과 주파수 영역에서의 동시 분석을 필요로 한다. 이에 초음파 거리계의 스파이크를 웨이블릿 패킷 변환을 이용하여 분석하였다. DWT (discrete wavelet transform)에 비해 웨이블릿 패킷 분해가 더 풍부한 시간-주파수 국소 정보를 얻을 수 있어 초음파 신호의 스파이크를 분석하고 처리하기에 더 효과적이다. 실험결과 초음파 거리계의 스파이크를 효과적으로 제거할 수 있음을 확인하였다.

[Abstract]

In this paper, a wavelet packet transform method is proposed for improving the altitude control performance of quadrotor UAV using an ultrasonic rangefinder. A ground tests are conducted using an ultrasonic rangefinder that is much used for vertical takeoff and landing. An ultrasonic rangefinder suffers from signal's spike due to specular reflectance and acoustic noise. The occurred spikes in short time span need to be analyzed at both sides time and frequency domain. The analyzed spikes of the ultrasonic rangefinder using a wavelet packet transform. Compared with the discrete wavelet transform, the wavelet packet decomposition can obtain more abundant time-frequency localization information, so it is more suitable for analyzing and processing ultrasonic signals spike. Experimental results show that it can effectively remove the spikes of the ultrasonic rangefinder.

Key word : Altitude, Quadrotor, Wavelet packet transform, Spike, Ultrasonic rangefinder.

http://dx.doi.org/10.12673/jant.2016.20.4.298

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-CommercialLicense(http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Received 1 July 2016; **Revised** 20 July 2016
Accepted (Publication) 11 August 2016 (30 August 2016)

***Corresponding Author; Gyo-young Hong**

Tel: +82-41-671-6232
E-mail: kiathgy@hanseo.ac.kr

Ⅰ. 서 론

쿼드로터(quadrotor)는 동체에 4개의 회전모터로부터 추진력을 얻어 수직 이착륙 및 공중정지비행(hovering)이 가능한 소형 무인항공기로 관련기술의 발달과 함께 최근 급속도로 이용가치와 관심도가 증가함에 따라 국내외에서 연구가 집중적으로 행해지고 있다. 쿼드로터는 제작이 용이하고 구조가 간단하다. 또한 수직이착륙이 가능하여 공간적 제약을 적게 받으며 전방향 이동 및 공중정지비행이 가능하다는 장점이 있다. 이러한 여러 장점들로 인해, 군사 분야에서는 적 기지 정찰이나 지형탐색, 민간 분야에서는 산불 같은 재해 발생 시 구조작업수행을 위한 실시간 감시, 대기오염감시 등 다양한 분야에서 응용되어 사용되고 있다. 쿼드로터의 기술로는 위치, 자세, 고도 제어가 있으며 쿼드로터의 중요 기술 중 하나인 수직 이착륙을 이상 없이 수행하기 위해서는 신뢰할 수 있는 고도 제어가 필수적이다. 일반적으로 쿼드로터의 고도 제어에는 확보가 용이하며 가격이 저렴하고 센서 측정 주기가 짧은 초음파 거리계가 많이 사용되고 있다[1],[2].

그러나 초음파 거리계는 일반적으로 정반사율과 음향 잡음으로 인한 스파이크가 생기며 이와 같이 이상치 및 측정 잡음이 섞여 있는 측정치를 기반으로 고도 제어가 수행되는 경우 수직 이착륙 실패와 공중정지비행 성능 저하 문제 등 치명적인 문제가 초래될 수도 있다[3].

스파이크는 특성상 짧은 시간 간격으로 인해 고도 측정 시 주파수 영역에서만의 분석보다 시간과 주파수 영역에서의 동시 분석이 필요하다. 또한 웨이블릿 변환은 푸리에 변환과 다르게 시간과 주파수 정보를 동시 분석 가능하다. 따라서 웨이블릿 기법은 초음파 거리계의 스파이크를 분석하기 위한 최적의 기법이다.

이에 본 논문에서는 초음파 거리계의 스파이크를 효율적으로 제거하기 위해 웨이블릿 패킷 변환 기법을 제안한다. 웨이블릿 패킷 변환은 DWT에 비해 더 풍부한 시간-주파수 국소 정보를 얻을 수 있고 분리가 용이하며 고주파 부분에서 더욱 작은 대역으로 세분되어 웨이블릿 변환보다 고주파 부분의 노이즈 제거에 효과적이다[4],[5]. 따라서 초음파 거리계의 스파이크를 처리하기에 최적의 기법이다. 높은 분해성능을 가지는 웨이블릿 패킷 분해를 이용해 간단한 지상실험을 통하여 우수성을 확인한다.

그림 1. 쿼드로터 모델 예시
Fig. 1. Quadrotor model example.

Ⅱ. 웨이블릿 기반 잡음 제거 기법

2-1 웨이블릿 변환

웨이블릿 변환은 Morlet과 Grossman이 수학적 이론을 정립한 1980년대 중반이후 신호처리 분야에서 광범위하게 사용되고 있으며 1990년대 전반까지 수학자들에 의해 웨이블릿 변환의 이론이 체계화됨과 동시에, 다양한 목적에서 유용성이 확인되었다. 푸리에 변환이 신호의 시간적 정보가 상실되어 주파수 정보만을 제공하는 것과 달리, 웨이블릿 변환은 시간영역에 담겨진 정보도 함께 제공해주기 때문에 주파수 요소에 대해 다양한 윈도우를 적용하여 시간, 주파수 해상도를 여러가지로 설계할 수 있다는 장점을 가진다. 이처럼 웨이블릿 변환은 부분적인 시간 영역에 따른 주파수 영역 해석이 가능해 비정상(nonstationary) 신호나 빠른 과도(transient) 신호와 같은 불연속적인 자료나 값이 날카롭게 변하는 지점에서의 자료를 분석하는데 효과적이다[6]. 따라서 초음파 거리계의 스파이크를 제거하기 위한 최적의 기법이다. 기본적으로 웨이블릿 변환에는 연속 웨이블릿 변환과 이산 웨이블릿 변환이 있는데, 이산 웨이블릿 변환은 빠른 계산을 위해 척도(scale)와 이동(shifting) 인자를 2의 배수로 하는 것 외에는 같은 개념이며, 실수 값을 갖는 신호 $f(x)$에 대한 연속 웨이블릿 변환은 다음 식 (1)과 같이 정의된다.

$$W(a,b) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\psi(\frac{x-b}{a})dx \qquad (1)$$

여기서 a는 척도 인자이고, b는 이동 인자를 의미한다. $\psi(x)$는 웨이블릿을 나타낸다. 식 (1)을 살펴보면 미리 정의된 웨이블릿 함수의 척도를 바꾸고, 시간축 위치를 바꿔가면서 입력신호의 곱을 계산하는데, 입력신호와 웨이블릿의 신호가 일치할 때 가장 큰 변환 값이 나오게 된다. 국소 푸리에 변환도 시간 정보가 있는 윈도우 함수를 통해 시간영역의 정보를 제공하지만, 윈도우 함수의 해상도가 고정되어 있어 분석영역이 시간, 주파수에 대하여 항상 일정하다. 그러므로 신호에 따른 유연한 대처를 할 수 없다.

이에 반해 웨이블릿 변환은 적절히 주어진 기본 함수를 팽창 또는 수축시킬 수 있어 신호의 특성에 맞게 효율적인 대처를 할 수 있다는 장점이 있다. 입력된 이산 시간 신호는 이산 웨이블릿 변환에 의해 다음과 같이 신호의 근사 계수(저역통과) 식 (2)와 상세 계수(고역통과) 식 (3)으로 각각 표현된다[7].

$$c_j(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h(k-2n)c_{j+1}(k) \qquad (2)$$

$$d_j(n) = \sum_{k=0}^{N-1} g(k-2n)c_{j+1}(k) \qquad (3)$$

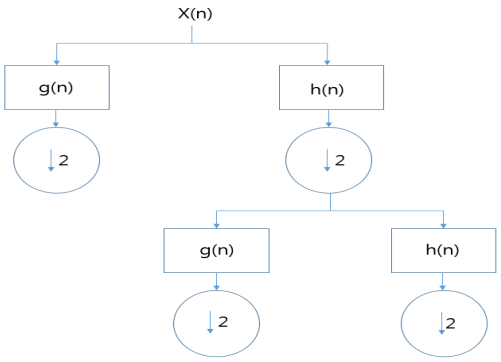

그림 2. 이산 웨이블릿 변환 구조
Fig. 2. Discrete wavelet transform structure.

근사계수는 입력신호의 저주파 성분을 추출한 신호이고, 상세계수는 고주파 성분에 해당되는 신호이다. 그림 2에 이산 웨이블릿 변환 구조를 나타낸다.

2-2 웨이블릿 패킷 변환

Ronald coifman에 의해 제안된 웨이블릿 패킷 분해는 고주파 대역에서 주파수를 더 자세히 그리고 조정 가능하게 볼 수 있게 한다. 이는 특정 신호에 대해 신호의 주파수 대역 분할을 신호 분석의 성격에 맞게 적용할 수 있는 효율적인 구조를 제공한다. 웨이블릿 변환이 단순히 저대역 부분만 계속 분할해 나가는 것과 달리 웨이블릿 패킷 분해는 다해상도 분석을 더욱 일반화시킨 방법으로서 높은 분해능을 갖는다[8],[9]. 그러므로 DWT에 비해 더 풍부한 시간-주파수 국소 정보를 얻을 수 있고 분리가 용이하며 고주파 부분에서 더욱 작은 대역으로 세분되어 웨이블릿 변환보다 고주파 부분의 노이즈 제거에 효과적이다. 따라서 초음파 거리계의 스파이크를 처리하기에 최적의 기법이다[4],[5].

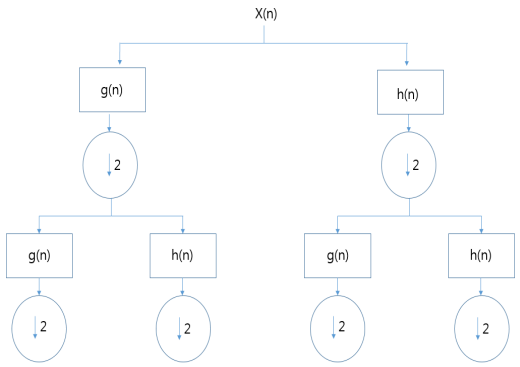

그림 3. 웨이블릿 패킷 변환 구조
Fig. 3. Wavelet packet transform structure.

2-3 웨이블릿 기반 잡음 제거

웨이블릿 잡음제거 기법은 잡음이 원 신호에 비해 고주파에 많이 분포되어 있다는 점을 이용하여 웨이블릿 변환 후 고주파 정보를 갖는 상세 계수를 수정하여 잡음을 제거하는 방법이다. 웨이블릿 변환을 W 라 하면 웨이블릿 계수는 $Y_i = W_{yi}$으로 선형 변환되며 $W_{yi} = A_{wi} + D_{wi}$의 웨이블릿 근사 계수와 상세 계수를 갖는다. 근사 계수는 원 신호의 저 대역의 웨이블릿 계수를 나타내며 상세 계수는 수평, 수직, 대각선 에지의 특성을 갖는 세 부분으로 구성된다[7].

여기에서 계수들에게 수행하는 조작은 그 계수가 어떤 특성이냐에 달려있다. 즉, 실제 잡음을 제거하기 전에 계수들을 특성에 따라 분류하는 것이다. 각 계수들을 특정 그룹으로 분류시키기 위해 다음과 같은 알고리즘을 이용한다. 계수들을 두 분류로 나눈다. 첫 번째는 "신호의 중요한 정보를 담고 있는 계수"이고 두 번째는 "중요하지 않으며, 잡음에 지나치게 많은 영향을 받는 계수"이다. 이때, 두 번째 분류에 대하여 임계값을 설정하여 임계값보다 작은 절대 값을 갖는 계수들을 제거하는 것이다. 즉, "보통 신호는 그 값이 큰 몇 개의 계수들에 의해 표현될 수 있다"는 것을 가정하고, 절대 값이 임의의 임계값 'δ'보다 작은 모든 웨이블릿 계수들은 "잡음"으로 분류하여 '0'으로 대치시킨다. 이때 에지와 관련된 계수들은 일반적으로 임계값보다 위에 존재하기 때문에 역 변환된 웨이블릿 변환 정보는 잡음이 제거된 신호가 된다. 이와 같은 알고리즘의 개념이 바로 hard-thresholding이다. 존스톤(Jonstone)과 도노호(Donoho)는 이 기법을 정정하여 soft-thresholding 기법을 개발하였는데, 이 기법은 관심 영역의 왜곡을 지양하기 위하여 임계값 이상의 웨이블릿 계수들을 그대로 사용하지 않고, 잡음의 영향만큼 축소하는 방법이다. 축소에 관한 원리는 다음과 같이 설명된다. 잡음이 첨가되었을 때, 웨이블릿 변환은 신호의 일반적인 영역에서는 작은 계수들이 잡음의 특징으로 나타나고, 에지 영역의 경우에는 큰 웨이블릿 계수들로 나타나는 통상적 특성을 이용한다. 결국 이러한 웨이블릿 영역에서 신호와 잡음의 계수들로부터 임계값을 취하여 잡음에 관련된 계수는 제거하고, 신호는 잡음의 영향만큼 축소시키거나 유지하는 것을 말한다. 이것은 잡음이 아니라고 판단되는 중요한 신호는 보존하면서 최적의 잡음 제거로 이끌게 된다. 웨이블릿 수축의 알고리즘은 다음과 같은 세 단계로 구성된다[7].

1) 잡음 신호에 대하여 정상 웨이블릿 변환 수행

$$Y = X(\text{원신호}) + V(\text{노이즈신호}) \quad (4)$$

$$SWT(Y) = W_y \quad (5)$$

2) 변환 영역에서 계수들 수축

Hard thresholding 기법과 soft thresholding 기법의 임계화 기법 수식은 다음과 같다.(c_i: 웨이블릿 계수, δ: 임계값)

Hard thresholding 기법:

$$c_i = \begin{cases} 0, & If\ |c_i| < \delta \\ c_i, & If\ |c_i| \geq \delta \end{cases} \quad (6)$$

Soft thresholding 기법:

$$c_i = \begin{cases} 0, & If\ |c_i| < \delta \\ sign(c_i)\,(|c_i| - \delta), & If\ |c_i| \geq \delta \end{cases} \quad (7)$$

3) 마지막으로 임계화된 계수들 역 변환

$ISWT(\tilde{x}) = W^{-1}(\tilde{X})$ ($\tilde{x}$: 임계화된 계수)

(a) hard thresholding 기법은 임계값 'δ'의 절대값보다 작은 절대값을 가지는 웨이블릿 계수들은 '0'으로 변환하고, 임계값보다 절대값이 큰 웨이블릿 계수 들은 원래 값을 갖는다.

(b) soft thresholding 기법은 임계값 'δ'의 절대값보다 작은 절대값을 가지는 웨이블릿 계수들은 '0'으로 변환하고, 임계값보다 절대값이 큰 웨이블릿 계수들은 임계값과의 차이 값으로 수축(Shrinkage)한다.

Ⅲ. 초음파 거리계

3-1 초음파 거리계의 제원

본 논문에 사용된 초음파 거리계는 미국 MaxBotix사의 XL-MaxSonar-WRLA1 제품으로 송신과 수신이 하나로 되어 있는 일체형 제품이다. 제품의 사양은 표 1과 같다. XL-MaxSonar-WRLA1은 최대 10.68 m까지 측정이 가능하며, 정확도는 2 cm, 분해능은 1 cm, 데이터 갱신율은 10 Hz를 가지고 있다[10].

표 1. XL-MaxSonar-WRLA1 사양표
Table 1. XL-MaxSonar-WRLA1 specification.

Reflectorless Range (m)	0-10.68
Max Range (m)	10.68
Accuracy (cm)	2
Resolution (cm)	1
Rep. Rate (Hz)	10
Power (V)	3 to 5.5
Protocol	RS232
Operating Temp (℃)	-20 to +65
Dimensions (mm)	70.9*43.8dia.

3-2 초음파 거리계의 특징

초음파 거리계는 사람이 들을 수 없는 주파수 대역의 초음파를 발사한 후 대상물에 반사되어 돌아와 수신되는 시간을 계산하여 거리 및 고도를 측정하는 장치이다.

초음파 거리계의 장점은 열악한 환경에서 사용이 가능하고, 지표면의 매질에 영향을 상대적으로 적게 받으며, 짧고 좁은 측정거리, 높은 거리측정 분해능을 가지며 크기가 작고 무게가 가볍다. 이러한 특성은 탑재중량이 상당히 제한적인 쿼드로터의 수직 이착륙 시 저고도 정밀 측정 장치로의 큰 이점을 가지며 특히 센티미터 단위의 정밀 거리측정이 가능해 수직 이착륙 시 고도제어 성능을 효과적으로 향상시킬 수 있다.

하지만 작동 시 반응 소리를 발생시키며, 음파의 특성상 온도 및 공기밀도, 진동에 영향을 받는 단점이 있다. 또한 정반사율과 음향 잡음으로 인한 스파이크가 생긴다[3].

실험에 사용된 초음파 거리계의 경우는 실시간 보정 기능을 보유하고 있어 온도의 변화에 상관없이 정상적으로 작동하며, 쿼드로터의 수직이착륙 환경을 고려하여 실험 고도의 높이를 높지 않게 구성하면 주변 온도가 일정하므로 안정된 실험을 수행 할 수 있다.

Ⅳ. 실험 구성

실험은 일반적으로 유인항공기 및 무인항공기가 이착륙을 할 수 있는 한서대학교 태안비행장 활주로 위의 아스팔트에서 진행하였으며 초음파 거리계를 최대 높이 2 m까지 이동할 수 있도록 실험 장치를 구성하여 실험을 하였다. 실험 장치는 쿼드로터의 수직이착륙 시 환경을 고려하여 비교적 낮은 높이로 구성하였으며 고도변화를 줄 수 있도록 구성하였다. 이 구성에서 초음파 거리계의 스파이크를 웨이블릿 패킷 변환을 이용해 제거하였다.

초음파 거리계의 측정값이 웨이블릿 패킷 변환을 거쳐 soft thresholding을 통해 계수 수정 후 역 웨이블릿 패킷 변환을 통해 스파이크 값이 최소화된 초음파 거리계의 측정값이 출력된다.

그림 4. XL-MaxSonar-WRLA1 초음파 거리계
Fig. 4. XL-MaxSonar-WRLA1 ultrasonic rangefinder.

그림 5. 한서대학교 태안비행장
Fig. 5. Hanseo university Taean airfield.

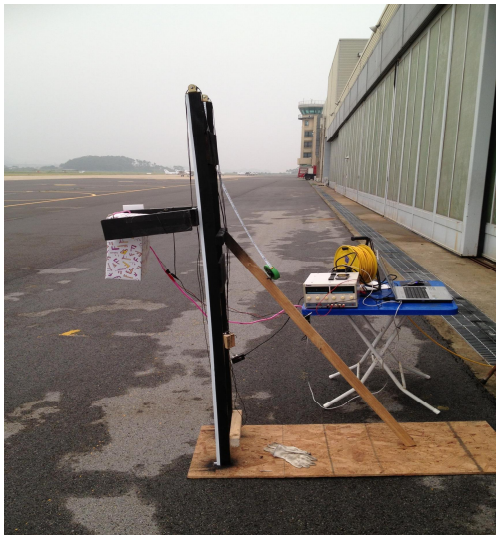

그림 6. 실험 장치
Fig. 6. Test equipment.

위의 그림 5의 한서대학교 태안비행장에서 실험을 수행하였고 그림 6는 구성한 실험장치의 모습이다.

Ⅴ. 실험 결과

그림 7,8에서 보는바와 같이, 본 논문에서 제안한 웨이블릿 패킷 변환 기법은 초음파 거리계의 스파이크를 일정 이상 제거함으로써 고도를 보다 정확하게 추정할 수 있으므로 스파이크가 포함된 초음파 거리계 측정치를 사용 할 때 보다 더 견실한 고도제어를 수행할 수 있도록 한다. 또한 쿼드로터의 공중정지 비행 성능 향상에도 도움이 될 것으로 판단된다. 따라서 본 논문에서 제안한 기법은 실제 상황에서 쿼드로터의 고도 제어 성능 향상과 공중정지비행 성능 향상을 위해 유용하게 사용될 수 있을 것으로 기대된다.

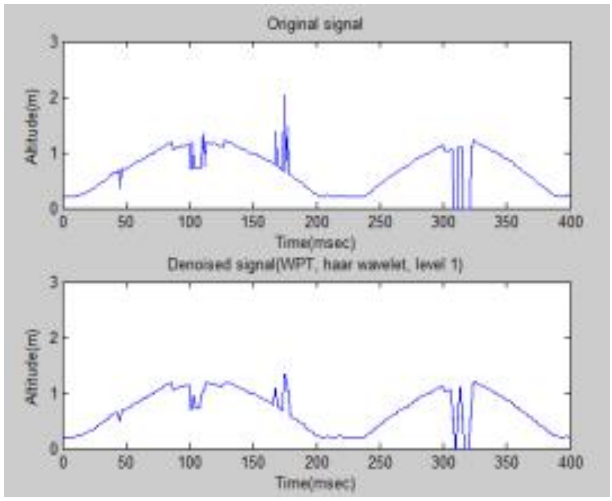

그림 7. 스파이크 제거 실험 결과(1)(haar wavelet, level 1)
Fig. 7. Spike rejection test result(1)(haar wavelet, level 1).

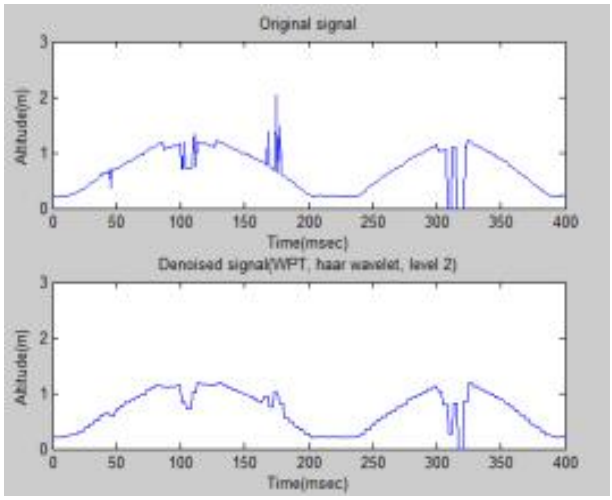

그림 8. 스파이크 제거 실험 결과(2)(haar wavelet, level 2)
Fig. 8. Spike rejection test result(2)(haar wavelet, level 2).

본 논문에서는 Matlab 프로그램의 웨이블릿 툴을 이용하였으며 그림 7에는 하 웨이블릿, 분해/합성 레벨 1단계, soft thresholding기법을 적용하였고, 그림 8에는 분해 단계를 높여 하 웨이블릿, 분해/합성 레벨 2단계, soft thresholding기법을 적용하였다. 분해 단계가 높아질수록 잡음 제거는 향상되나 3단계 이상이 되면 원 신호의 특성을 완전히 벗어나는 것을 확인하였다. 그림 9,10에는 모 웨이블릿을 제외한 그림7,8과 같은 도비시 웨이블릿, 분해/합성 레벨 1,2단계, soft thresholding기법을 적용하였다.

실험결과 스파이크는 분해/합성 레벨 2단계로 수행하였을 때와 하 웨이블릿을 모 웨이블릿으로 사용한 결과가 더 정확하게 제거되는 경향이 있었다. 웨이블릿 변환이 응용에 효과적으로 적용되기 위해서는 모 웨이블릿 선택이 매우 중요하며 일반적으로 가장 적절한 모 웨이블릿은 신호의 형태를 닮은 것을 선택한다.

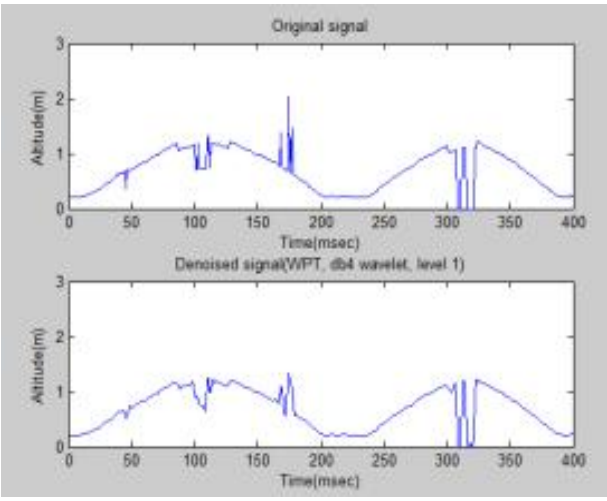

그림 9. 스파이크 제거 실험 결과(3)(db4 wavelet, level 1)
Fig. 9. Spike rejection test result(3)(db4 wavelet, level 1).

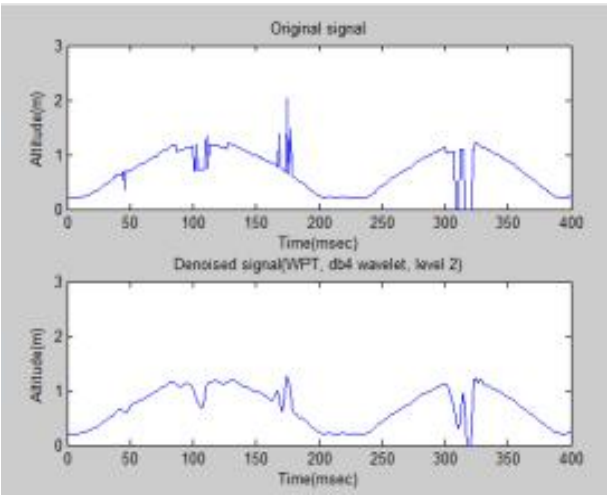

그림 10. 스파이크 제거 실험 결과(4)(db4 wavelet, level 2)
Fig. 10. Spike rejection test result(4)(db4 wavelet, level 2).

일반적으로 하 웨이블릿의 수학적 구조는 간단하나 불연속 함수인 이유로 매끄러운 신호나 영상처리에 효과적이지 못하다. 하지만 하 웨이블릿의 불연속성으로 인해 주어진 신호에 불연속점 검출에 효과적이므로 불연속적인 자료나 값이 날카롭게 변하는 지점에서의 자료를 분석하는데 효과적이다[12]. 그러므로 하 웨이블릿은 초음파 거리계의 스파이크 분석에 최적의 모 웨이블릿이다.

Ⅵ. 결 론

본 논문에서는 초음파 거리계를 탑재한 쿼드로터의 안정적인 고도 제어를 위한 웨이블릿 패킷 변환기법을 제안하였다. 제안된 기법은 쿼드로터의 수직이착륙 환경을 고려하여 지면간의 지상실험을 통하여 이루어졌다. 초음파 거리계의 정반사율과 음향 잡음으로 인한 스파이크를 DWT에 비해 더 풍부한 시간-주파수 국소 정보를 얻을 수 있고 분리가 용이하며 고주파 부분에서 더욱 작은 대역으로 세분되어 웨이블릿 변환보다 고주파 부분의 노이즈 제거에 효과적인 웨이블릿 패킷 분해를 이용해 제거하였으며 우수성을 확인하였다. 이에 지상실험을 통해 초음파 거리계를 탑재한 쿼드로터와 지면간의 고도를 웨이블릿 패킷 변환 기법을 이용하여 효과적으로 추정할 수 있음을 확인하였으며 공중정지비행 성능 향상에도 기여할 수 있음을 확인하였다.

감사의 글

본 연구는 2016년도 국토교통부의 「항공인력 양성을 위한 특성화 대학 지원 사업」의 지원을 받아 이루어진 연구로서, 관계부처에 감사드립니다.

참고 문헌

[1] S. H. Kim, K. S. Choi and G. Y. Hong, “Spike rejection method for improving altitude control performance of qadrotor UAV using ultrasonic rangefinder,” *The Journal of Advanced Navigation Technology,* Vol. 20, No. 3, pp 1-5, Jun. 2016.

[2] J. M. Jong, S. K. Han, T. S. Yoon, and J. B. Park, “Hypothesis-based filtering method for improving altitude control performance of quadrotor UAV using ultrasonic sensor,” in *43th Summer Conference on The Korean Institute of Electrical Engineers,* Jeongseon: Korea, pp. 1401-1402, Jul. 2012.

[3] A. Ei-Badawy, R. Rashad, “Ultrasonic rangefinder spikes rejection using discrete wavelet transform: application to UAV,” *Journal of Sensor Technology,* Vol. 5, No. 2, pp. 45-53, June. 2015.

[4] S. F. Qi, C. Zhao, and Y. Yang, “Research on ultrasonic detection of seabed oil pipeline based on wavelet packet de-noising”, in *2009 5th International Conference on Wireless Communications, Networking and Mobile Computing,* Qingdao: China, pp. 1-4, Sep. 2009.

[5] K. R. Ryu, “Image restoration based on wavelet packet transform with AA thresholding”, *The Korean Institute of Maritime Information and Commucation Sciences*, Vol. 11, No. 6, pp. 1122-1128, Jun. 2007.

[6] S. P. Kim, E. T. Kim, and K. J. Seong, “Sensor fusion of GPS/INS/Baroaltimeter using wavelet analysis,” *International Journal of control Automation and Systems, Transactions on*

Control Automation and Systems Engineering, Vol. 14, No. 12, pp. 1232-1237, Dec. 2008.

[7] H. R. Yu, "Study for the noise rejection threshold value decision with using band information of stationary wavelet," master's degree, Daejeon University, Daejeon:Koera, Aug. 2007.

[8] I. J. Kim, A new method for selecting thresholding on wavelet packet denoising, Master's degree, Hanyang University, Seoul, Korea, Dec. 2000.

[9] J. G. No, Speech feature vector extraction based on discrete wavelet packet transform, Master's degree, Sogang University, Seoul, Korea, Jan. 2003.

[10] K. S. Choi, J. W. Hyun, J. W. Jang, D. M. Ahn, and G. Y. Hong, "Ground altitude measurement algorithm using laser altimeter and ultrasonic rangefinder for UAV," *The Korea Navigation Institute,* Vol. 17, No. 6, pp. 749-756, Dec. 2013.

[11] J. E. Lee, and I. S. Kim, "A study on the fault detection technique of the grid-connected photovoltaic system using wavelet transformation," *The Korean Institute of Power Electronics*, Vol. 16, No. 1, pp. 79-87, Feb. 2011.

[12] H. S. Lee, Blind estimation of hop timing and duration of FHSS systems, Master's degree, Chungnam University, Chungnam, Korea, Feb, 2010.

김 성 훈 (Sung-Hoon Kim)
2014년 2월 : 한서대학교 항공전자공학과 (공학사)
2015년 2월 ~ 현재 : 한서대학교 대학원 항공기시스템학과
※ 관심분야 : 항공전자

홍 교 영(Gyo-Young Hong)
1993년 3월 ~ 2001년: 대한항공 항공기술연구소 선임 연구원
2001년 9월 ~ 현재 : 한서대학교 항공전자공학과 교수
※ 관심분야 : 비행시험, 항공통신, 항공기 시스템