

http://dx.doi.org/10.7236/JIWIT.2012.12.1.65

JIWIT 2012-1-9

비분리 영상처리에서 이중 트리 웨이블릿 변환을 사용한 디지털 영상 성능 개선에 관한 연구

A Study on Enhancement of Digital Image Performance Using Dual Tree Wavelet Transformation in Non-separable Image Processing

임중희*, 지인호**

Joong-Hee Lim, Inn-Ho Jee

요약 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 이산 웨이블릿 변환 보다 우수하며, 이동 변이(shift variance)의 웨이블릿 보다 적은 계산량을 가진다. 이러한 특성들은 잡음 제거, 텍스처 분할 등에서 효율적으로 사용된다. 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 수행하는 과정에 Quincunx 표본화를 적용하였다. 이 방법은 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 주된 특징인 이동 불변성의 성질과 다양한 방향성의 특징 그리고 비분리 영상처리 효과를 증가시킬 수 있다. 본 논문에서는 제안된 방법에 대한 성능을 평가하고 실험결과를 제시하였다. 따라서 비분리 처리특성으로 인위적인 패턴을 갖는 디지털 영상에 대해서 웨이블릿 변환의 특징을 얻을 수 있어 효율적인 영상처리가 가능하다.

Abstract In this paper, we explore the application of 2-D dual-tree discrete wavelet transform (DDWT), which is a directional and redundant transform, for image coding. DDWT introduces limited redundancy and allows the transform to provide approximate shift invariance and directionally selective filters while preserving the usual properties of perfect reconstruction and computational efficiency with good well-balanced frequency responses. Also, quincunx lattice yields a non separable 2D-wavelet transform, which is also symmetric in both horizontal and vertical direction. And non-separable wavelet transformation can generate sub-images of multiple degrees rotated versions. The proposed 2-D non-separable DDWT can provide efficient approximation for directional features of images schemes, such as edges and contours in images that are not aligned with the horizontal or vertical direction. Finally, non-separable image processing using DDWT services good performance.

Key Words : DWT, Dual Tree Discrete Wavelet Transform(DDWT), Quincunx, Non-separable Processing

1. 서 론

웨이블릿 변환은 부대역 필터뱅크에 의해서 입력 신호를 다해상도(multi-resolution) 신호로 분해할 수 있다. 또한 부대역 필터 뱅크에 의해서 다해상도 신호는 합성 과정을 통해서 역변환을 수행한다. 그리고 입력과 동일

한 완전재생(perfect reconstruction) 신호를 얻을 수 있다. 따라서 웨이블릿 변환에 관련된 연구는 사용되는 필터뱅크에서의 필터 계수, 표본화 과정 그리고 필터의 수행 방법에 집중되고 있다. 그래서 디지털 신호를 위한 이산 웨이블릿 변환(Discrete Wavelet Transformation)에서도 효과적인 디지털 데이터처리를 위해서 디지털 필터

*정희원, 홍익대학교 대학원 전자전산공학과

**정희원, 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과

접수일자 2011.12.21, 수정일자 2012.1.20

게재확정일자 2012.2.10

Received: 21 December 2011 / Revised: 20 January 2012 /

Accepted: 10 February 2012

**Corresponding Author: ijee@hongik.ac.kr

Dept. of Computer and Information Communications Engineering,
Hongik University, Korea

뱅크에 대한 연구가 계속해서 진행되고 있다. 디지털 영상을 웨이블릿 변환하기 위해서는 2차원 이산 웨이블릿 변환을 수행하며, 이것은 원래의 입력 디지털 영상과 다 해상도로 분해된 부대역 영상의 데이터 수가 동일하여 영상 압축등에 효율적으로 사용된다. 그러나 신호 해석이나 신호의 재구성의 응용 분야에서, 이산 웨이블릿 변환은 아직도 많은 부분에서 부족한 부분들이 존재하고 있다.

디지털 영상에 대한 2차원 이산 웨이블릿 변환을 수행하기 위해서는 수직 방향과 수평 방향으로 필터뱅크를 적용하는 분리처리를 수행 한다. 그런데 이 두 방향으로 정렬이 되지 않은 영상의 테두리(edge)나 윤곽(contour) 선은 2차원 이산 웨이블릿 변환으로 그 특징적인 면을 찾을 수 없다. 따라서 2차원 이산 웨이블릿 변환은 모든 디지털 영상의 방향성의 특징을 효율적으로 근사화해서 제공하기가 어렵다. 또한 2차원 이산 웨이블릿 변환을 통해서 생성되는 부대역 영상들은 이동 불변(shift invariance)을 만족하지 못하다. 이동 불변의 특성은 생성된 부대역 영상들간의 독립성을 보장할 수 있다. 그러나 이동 불변을 만족하지 못하는 2차원 이산 웨이블릿 변환은 특정 부대역 영상에 대한 처리가 완전재생의 영향을 주게 되어 복원 영상의 품질을 보장하기가 어렵다.

2차원 이산 웨이블릿 변환의 표본화(sampling)과정에서도 일반적으로 분리처리를 수행한다. 그래서 수직 방향과 수평 방향으로 순차적인 표본화를 수행하여 표본은 격자형태의 모양을 갖는다. 그러나 이런 제한된 방향으로 표본화는 특정 방향에 대한 표본 정보의 특징들을 완전히 잃을 수가 있다. 또 다른 방법으로 Quincunx 표본화는 디지털 영상이 45도씩 회전하면서 표본화가 수행되므로 표본 구조가 마름모꼴 형태가 된다. 이 방식은 비분리 영상처리(non-separable image processing)에서 사용되는 방법으로 1차원 필터를 2차원 필터로 변환하여서 2차원 이산 웨이블릿 변환을 수행하는데 사용된다.

Kingsbury^[1]에 의해서 제안한 이중 트리 이산 웨이블릿 변환(dual-tree discrete wavelet transformation)은 기존의 이산 웨이블릿 변환이 가지고 있는 문제점을 극복할 수 있는 유용한 기술이다. 이것은 이동 불변의 특징을 만족하도록 설계된 필터를 사용하며 두개의 트리 구조로 웨이블릿 변환을 수행한다. 따라서 2차원 이산 웨이블릿 변환보다 추가된 트리 구조로 인해서 방향성에 대한 선택도는 더 증가하게 된다. 즉, 기존 2차원 이산 웨이블릿

변환에서는 수직, 수평 대각선의 방향 성분으로만 구성된 부대역 영상들이 존재하지만 2차원 이중 트리 이산 웨이블릿 변환에서는 2배 증가된 방향 성분을 갖는 부대역 영상들이 만들어지게 된다. 또한 동시에 적절한 계산량을 유지할 수 있다.

따라서 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 웨이블릿 변환 분해 수준에 관계없이 4배의 계산량을 가지게 되며, 여섯 방향의 선택도를 가지기 때문에 이산 웨이블릿 변환 보다 우수하며, 이동 변이(shift variance)의 웨이블릿 보다 적은 계산량을 가진다. 이러한 특성들은 잡음 제거, 텍스처 분할 등에서 효율적으로 사용될 수 있다.

본 논문에서는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 수행하는 과정에 Quincunx 표본화를 적용하였다. 이 방법은 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 주된 특징인 이동 불변성의 성질과 다양한 방향성의 특징 그리고 비분리 영상 처리 효과를 증가시킬 수 있다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환에 대한 기본적인 개념을 제시하였다. 3장에서는 Quincunx 표본화 방법을 소개하고 이를 웨이블릿 변환에 적용하는 과정을 설명하였다. 그리고 4장에서는 제안된 방법으로 Quincunx 표본화를 이용한 이중 트리 웨이블릿 변환 기술을 설명하였다. 5장에서는 제안된 방법에 대한 성능을 평가하기 위한 실험과 그 결과를 제시하였다. 마지막으로 6장에서는 본 연구에 대한 결론을 제시하였다.

II. 이산 웨이블릿과 디지털 필터 뱅크

이산 웨이블릿 변환은 디지털 필터뱅크 동작으로 수행된다. 그리고 사용되는 디지털 필터 뱅크의 디지털 필터들은 반대역(half band)필터의 특징을 가지며, 다음의 그림 1과 같이 2대역 디지털 필터 뱅크에서 완전재생을 만족한다^[6].

오른쪽 분해(analysis)단의 디지털 필터 $H_0(z)$ 는 저대역 통과 필터이고 $H_1(z)$ 는 고대역 통과 필터이다. 그리고 디지털 필터를 통과 부대역 신호들은 데이터의 크기를 1/2로 줄이는 다운-샘플링(down sampling)과정을 통해서 저대역 성분의 신호 $y_0[n]$ 와 고대역 성분의 신호 $y_1[n]$ 를 출력한다. 그 다음은 합성(synthesis)단계로 업-샘플링(up sampling)을 통해서 데이터의 크기를 원래 크기로 회복한다. 그 다음 복원 필터링을 수행하게 되는데

$G_0(z)$ 와 $G_1(z)$ 는 마찬가지로 디지털의 저주파 통과 필터와 고주파 통과 필터이다.

최종적으로 디지털 필터의 출력 $x_0[n]$ 과 $x_1[n]$ 이 합쳐져서 신호를 복원하게 된다. 사용된 디지털 필터뱅크가 이산 웨이브렛 변환에서 사용되기 위해서는 완전재생을 만족하여야 하므로 다음의 결과를 얻는다.

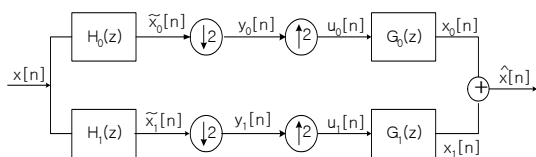


그림 1. 2-channel 필터 뱅크
Fig. 1. 2-channel filter banks

완전재생이 가능한 디지털 필터뱅크를 통한 다해상도 신호처리는 비등가의 대역폭으로 분할하는 dyadic tree 구조에 의해서 웨이브렛 실행을 만족한다. 그림 2는 이산 웨이브렛 변환이 실행되는 것을 나타낸 것으로 저주파 통과 필터의 출력부분을 연속적으로 반복하면 웨이브렛 함수가 얻어진다.

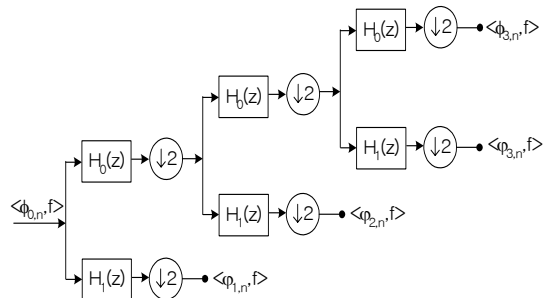


그림 2. 필터 뱅크를 통한 웨이브렛 함수의 생성
Fig. 2. Generation of wavelet function via filter banks

디지털 영상을 위해서는 1차원에서 사용되는 이산 웨이브렛 변환을 2차원으로 확장하여 사용한다. 2차원 신호처리를 위한 완전재생의 2차원 필터 설계는 큰 복잡성을 가지고 있기 때문에, 1차원의 설계사상을 2차원으로 확장하여 사용하는 것이다.

이산 웨이브렛 변환을 사용한 디지털 영상처리에서는 분리 가능한 2차원 이산 웨이브렛 변환을 수평 방향으로 적용하고 연속적으로 동일하게 수직 방향으로 적용하는

것이다. 그림 3은 분리처리에 의한 2차원 이산 웨이브렛 변환을 나타낸 것으로 최저주파수의 부대역 영상 LL은 입력 영상 x 의 근사화 부분이고, 두 번째로 낮은 저주파수의 부대역 영상 LH는 x 의 수직 성분이다. 그리고 고주파수 성분인 부대역 영상 HL은 x 의 수평성분이고 최고 주파수 성분에 해당하는 부대역 영상 HH는 x 의 대각선 성분이다

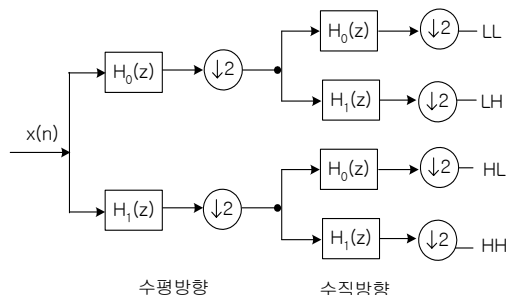


그림 3. 2차원 웨이브렛 변환 실행
Fig. 3. Processing of 2-dimension wavelet transform

그림 4는 2차원 이산 웨이브렛 변환으로 생성된 부대역 영상들의 주파수 스펙트럼을 보여준다. LH, HL, HH 부대역 영상들은 각각 수평과 수직 그리고 대각방향의 방향성분을 갖는다.

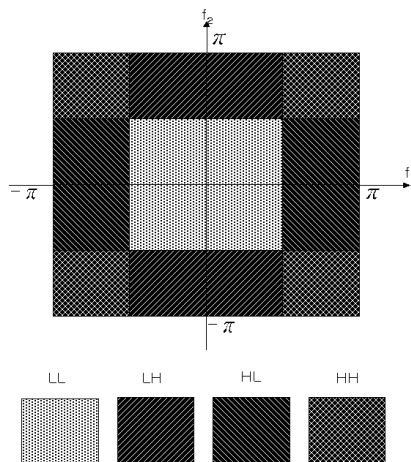


그림 4. 주파수 스펙트럼의 대역별 영역
Fig. 4. Each bands of frequency spectrum

2-대역 분할 필터를 통해 $H_0(z)$ 의 출력인 저역 통과 대역을 계속해서 N번 분해하면 깊이가 N인 옥타브 트리

구조의 이산 웨이브렛 변환이 이루어진다. 이러한 방식에 따른 이산 웨이브렛 변환은 영상의 저 주파수 대역만을 연속적으로 분할해 나가는 방식을 취하며 결과적으로 옥타브 트리를 구성하게 된다. 그림 5는 2차원 이산 웨이브렛 변환을 이용한 영상 부호화에서 영상을 옥타브로 나누었을 때 10개의 대역 분할된 옥타브 트리를 나타내며, 그림 6은 이를 Lenna 영상에 적용하여 2차원 이산 웨이브렛 변환한 것이다.

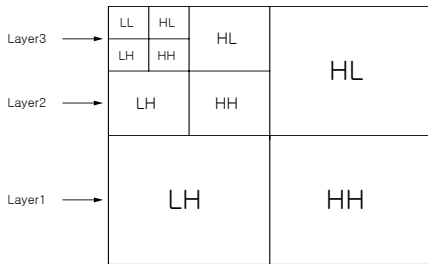


그림 5. 옥타브 트리 분할과 각 대역의 명칭
Fig. 5. Octave tree band and its notations

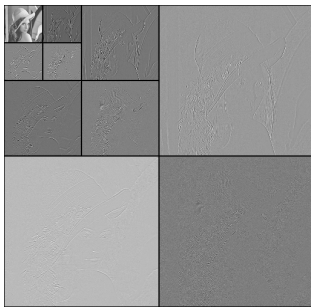


그림 6. Lenna 영상의 이산 웨이브렛 변환
Fig. 6. Discrete wavelet transform of Lenna Image

III. 이산 웨이브렛 변환에서의 표본화 기법

일반적인 2차원 이산 웨이브렛 변환에서는 입력 신호인 디지털 영상에 대하여 수직과 수평 방향으로 분리된 처리를 수행하게 되는데 이런 방식을 분리 웨이브렛 변환이라고 한다. 이 방식에서는 표본화도 마찬가지로 수직과 수평방향으로 수행을 하게 된다. 그림 7은 2차원 이산 웨이브렛 변환에서 분리방식의 다운-샘플링 결과로 2개 방향으로 다운-샘플링 처리가 되어서 짝수이면 그 값

을 유지하고 있고 홀수이면 그 값이 버려진 상태를 나타낸 것이다. 즉, 백색은 표본화 과정에서 버려진 영상의 빈 화소가 되고 흑색은 표본화 되지 않고 남아 있는 화소 데이터가 된다. 따라서 2차원 디지털 영상의 크기는 한 단계의 필터뱅크 실행으로 1/4씩 감소하게 된다. 영상의 정보를 제거하는 표본화 과정에서는 표본화 방법에 따라 영상의 특성이 영향을 받을 수 있다. 만약, 디지털 영상이 수직과 수평방향으로 주요 정보를 가지고 있다면 표본화 과정을 통해서 영상의 품질이 현격하게 저하될 수 있다.

웨이브렛의 역변환 과정인 합성단에서는 업-샘플링을 통해서 버려진 백색부분이 0으로 채워지게 되어서 원래 영상의 크기를 회복하게 된다. 그리고 합성단 복원 필터들에 의해서 0으로 채워진 값들이 원래 값으로 재생되어서 완전재생을 가능하게 한다.

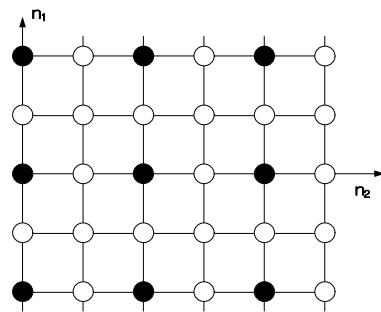


그림 7. 분리 처리 과정에서 표본화
Fig. 7. Sampling of separable processing

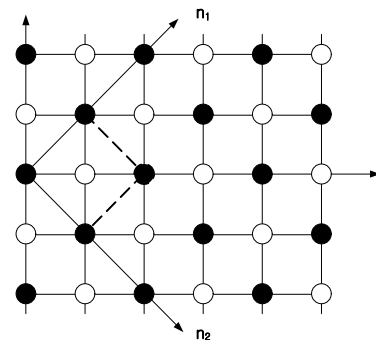


그림 8. Quincunx 표본화 격자
Fig. 8. Quincunx sampling lattice

그림 8은 Quincunx 격자를 나타낸 것으로 남아 있는 화소 또는 버려진 빈 화소의 형태가 모두 마름모꼴이 된다. 그리고 남겨진 화소의 개수는 분리 처리 과정보다는

많은 것을 확인할 수 있다. 그런데 표본화 과정에서 남겨지는 화소와 버려지는 화소를 선택하는 작업은 분리 처리와 다르게 쉽게 처리가 되지 않는다^[34].

영상의 회전(rotation)의 기하학처리 방법은 영상을 θ 만큼 회전시키는 기술이다. 영상의 회전식은 다음과 같이 정의 된다.

$$\begin{bmatrix} x_{dest} \\ y_{dest} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \theta & -\sin \theta \\ \sin \theta & \cos \theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{source} \\ y_{source} \end{bmatrix} \quad (1)$$

여기서, x_{source} 와 y_{source} 는 회전이 일어나기전의 영상 화소의 좌표가 된다. 그리고 x_{dest} 와 y_{dest} 는 영상 화소들이 회전된 후의 좌표를 나타낸다. 회전각 θ 가 45도라고 하면 영상의 회전식은 다음과 같이 간단하게 표현된다. 그리고 이 식에서 회전 방향은 반시계방향이 된다.

$$\begin{bmatrix} x_{dest} \\ y_{dest} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{source} \\ y_{source} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Quincunx 표본화는 디지털 영상의 회전으로 가능하다. 즉, 디지털 영상을 시계방향으로 45도 회전시키면 Quincunx 표본화가 수행된다.

IV. 이중 트리 웨이블릿 변환

이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 이산 웨이블릿 변환의 단점을 개선한 것으로 Kingsbury[1]에 의해서 제안되었다. 그래서 이 변환은 이동 불변 특성을 근사적으로 유지할 수 있으며, 웨이블릿 변환의 방향성에 대한 선택도를 높임과 동시에 적절한 계산량을 유지할 수 있다. 그림 9는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 구조를 표현한 것으로, 입력 신호에 대하여 이산 웨이블릿 변환을 두개의 병렬로 구현한다. 저주파 통과 필터와 고주파 통과 필터들이 존재하며 데이터양을 절반으로 감소시키는 다운-샘플링 과정이 포함이 된 것은 기존의 방법과는 차이가 없다. 그리고 오른쪽 하단에서와 같이 각 필터들은 완전재생을 만족하도록 설계되었다.

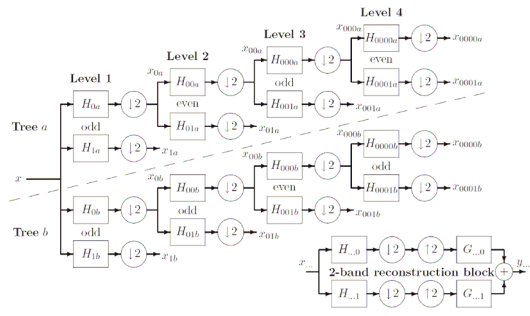


그림 9. 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 실행
Fig. 9. Processing of dual tree discrete wavelet transform

그런데 트리 a와 트리 b의 필터가 만약 같다면 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 사용하는 장점은 없어지게 된다.

그러나 이중 트리 이산 웨이블릿 변환에서 사용되는 필터들은 기존의 필터와 다른 방법으로 특별하게 설계되었다. 그래서 필터가 특별한 방법으로 다르게 사용된다면 트리 a의 부대역 신호들은 복소 이산 웨이블릿 변환(complex discrete wavelet transform)의 실수 부분(real part)으로 해석되며 트리 b의 부대역 신호들은 복소 이산 웨이블릿 변환의 허수 부분(imaginary part)으로 해석된다. 그리고 설계된 필터 집합들의 특성으로 인해서 등가적으로 상단트리 a의 이산 웨이블릿 변환과 하단트리 b의 웨이블릿 변환은 근사적으로 힐버트 변환(Hilbert transform)관계를 유지한다^[1, 7].

기존의 이산 웨이블릿 변환은 입력 데이터를 압축하는 응용분야에서 많이 사용되어 왔다. JPEG2000은 이산 웨이블릿 변환을 이용하는 디지털 영상압축의 표준으로 사용되는 대표적인 응용분야이다. 그런데 이 방법은 신호를 분석하고 재생하는 과정에서 이동 불변(shift invariance) 성질이 부족한 단점을 가지고 있어 압축 응용 분야 이외의 잡음제거, 품질향상 등의 응용에서 큰 효과를 기대하기에 어려움이 있었다.

그림 10은 계단 모양의 입력 신호에 대한 웨이블릿 변환을 수행한 결과를 나타낸 것이다. (a)는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 4번 반복한 결과로 변화가 발생하는 에지(edge) 위치에 중첩이 거의 일어나지 않음을 알 수 있다. (b)는 이산 웨이블릿 변환의 결과로, 에지 위치의 상당히 많이 중첩이 일어남을 알 수 있다. 따라서 이중 트리 이산 웨이블릿 변환이 이동 불변 특성을 잘 만족하는 방법이라는 것을 알 수 있다.

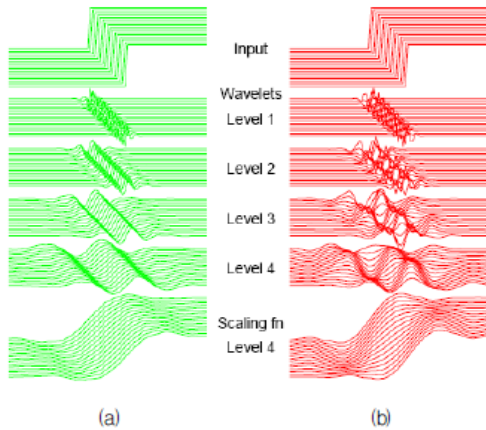


그림 10. 이중 트리 이산 웨이블릿 변환과 이산 웨이블릿 변환의 이동불변 특성

Fig. 10. Shift-invariance of dual tree wavelet transform and discrete wavelet transform

그림 11은 이산 웨이블릿 변환과 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 방향선택성을 나타낸 것이다. 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 $\pm 15, \pm 45, \pm 75$ 도의 여섯 방향성을 가지며, 이산 웨이블릿 변환은 수평(0), 수직(90), 대각(45)의 세 개의 방향을 가진다. 따라서 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 이산 웨이블릿 변환보다 방향에 대한 선택도가 뛰어남을 알 수 있다^{[1], [2]}.

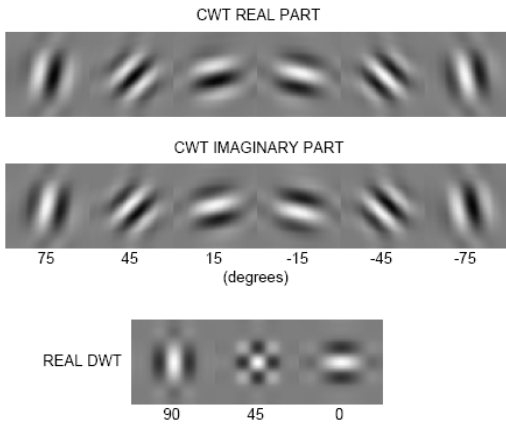


그림 11. 이중 트리 웨이블릿 변환과 이산 웨이블릿 변환의 방향 선택도

Fig. 11. Directional selectivity of dual tree wavelet transform and discrete wavelet transform

디지털 영상에 대하여 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 하기 위해서는 이산 웨이블릿 변환과 마찬가지로 분

리 처리를 수행하게 된다. 그런데 두 개의 트리가 존재하므로 기존 이산 웨이블릿 변환 보다 더 많은 방향 성분을 갖는 부대역 영상들이 생성되며, 이런 방향성 특징 때문에 2차원 이중 트리 이산 웨이블릿은 디지털 영상의 테두리(edge)나 윤곽(contour)선의 표현이 효율적이다. 1차원의 이중 트리 이산 웨이블릿 처리에서 이산 웨이블릿 보다 많은 웨이블릿 계수들이 생성되는 것처럼, 2차원 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 실수 부분 뿐만 아니라 허수 부분의 부대역 영상들이 생성되며 이것들은 이산 웨이블릿 보다 더 우수한 완전재생을 만족시키는데 추가적인 역할을 한다. 결과적으로 2차원 영상에 대한 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 웨이블릿 변환 수준에 관계없이 4배의 계산량을 가지며, 디지털 영상의 잡음제거(denoising)기술과 디지털 영상의 텍스처 분할 등의 응용에서 뛰어난 성능을 갖는다.

V. Quincunx 표본화를 사용하는 2차원 이중 트리 이산 웨이블릿 변환

2차원 이산 웨이블릿 변환의 1/2 표본화 과정을 대신해서 Quincunx 표본화를 수행하고 완전재생을 얻을 수 있다면, 이 방법도 웨이블릿 변환이 된다. 그림 12은 Quincunx 표본화를 사용한 2차원 이산 웨이블릿 변환을 나타낸 것으로 표본화 과정을 D로 표시하였다. 첫 번째 단계에서 필터링이 수행되고 그 출력들은 시계 방향으로 45도 회전하여서 Quincunx 표본화를 수행하게 된다. 계속해서 두 번째 단계에서는 45도 회전된 웨이블릿 계수들은 다시 필터링을 수행하고 그 결과는 45도를 회전하게 되는데 결과적으로 웨이블릿 계수들은 90도 회전을 하게 되고 그 크기는 1/4이 된다.

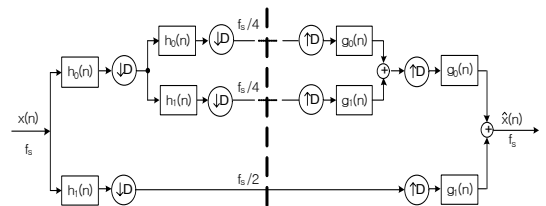


그림 12. Quincunx 표본화를 활용한 웨이블릿 변환과 역변환
Fig. 12. Wavelet transform and its inverse wavelet transform via quincunx sampling

웨이브렛 역변환에 해당하는 복원 과정에서는 업-샘플링이 처음으로 수행되는데 부대역 영상들이 반시계방향으로 45도 회전을 한다. 그리고 복원 필터를 통과하는 필터링을 수행하게 된다. 마지막 단계에서도 마찬가지로 업-샘플링과 필터링을 수행하고 여기서 얻어진 각 부대역 신호들을 합쳐서 최종적으로 복원 신호를 생성한다.

Quincunx 표본화로 구성된 2차원 이산 웨이브렛 변환은 표본화 과정에서 부대역 영상들이 45도씩 회전하므로 수평과 수직방향으로 별도로 분리해서 처리할 필요가 없다. 웨이브렛 변환과정에서 첫 단계에서는 수평 방향으로 필터링 처리가 되고 45도 회전을 통해서 표본화가 된다. 두 번째 단계에서는 45도 회전상태에서 필터링 처리가 되므로 대각선 방향으로 필터링 처리가 되는 것이다. 그리고 다시 45도 회전을 통해서 표본화가 된다. 세 번째 단계에서는 결과적으로 90도 회전된 부대역 영상에 대한 필터링이 처리되므로 수직 방향에 대한 필터링 처리가 되고 다시 45도 회전하면서 표본화가 된다. 따라서 단계가 증가하면서 처리방향이 자동적으로 변경이 된다. 그래서 Quincunx 표본화를 채택한 방식을 2차원 비분리 웨이브렛 변환이라고 한다.

그림 13은 디지털 영상이 2차원 비분리 웨이브렛 변환에 의해서 부대역 영상들을 생성한 것을 나타낸 것이다. 세 번째 단계까지 수행된 것으로 마지막으로 생성된 부대역 영상은 135도까지 회전하였다^[4].

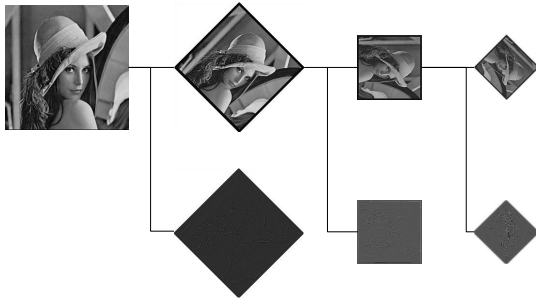


그림 13. Quincunx 표본화를 채택한 웨이브렛 변환
Fig. 13. Image processing of wavelet transform via quincunx sampling

Quincunx 표본화를 채택한 2차원 이산 웨이브렛 변환은 2차원 분리 이산 웨이브렛 변환의 특징을 그대로 유지하면서 더 많은 방향의 선택성을 갖는다. 또한 다양한 방향으로 표본화를 수행하기 때문에 특정 부분에 존재하는 데이터만 표본화하지 않아서 표본화로 인하여 급격한 품질

저하가 일어나지 않는다.

그러나 Quincunx 표본화를 채택한 2차원 이산 웨이브렛 변환은 풍부한 방향 선택성을 얻을 수 있었지만 이동 불변성을 만족하지는 못한다. 그래서 비분리 처리의 효과와 이동 불변의 특징을 동시에 얻기 위해서는 2차원 이중 트리 이산 웨이브렛 변환에 Quincunx 표본화를 적용하는 것을 제안하였다. 그림 14는 Quincunx 표본화를 채택한 2차원 이중 트리 이산 웨이브렛 변환을 나타낸 것이다. D의 표시가 Quincunx 표본화를 나타낸 것이다. 그리고 우측 하단은 사용된 필터와 Quincunx 표본화를 통해서도 완전 재생을 만족하는 것을 나타내었다.

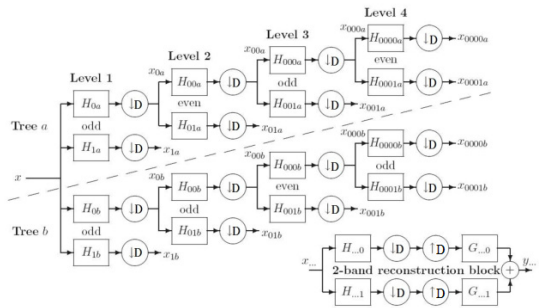


그림 14. Quincunx 표본화를 채택한 이차원 이중트리 이산 웨이브렛 변환

Fig. 14. 2D Dual-Tree Wavelet Transform Using Quincunx Sampling

본 논문에서 제안한 Quincunx 표본화를 채택한 2차원 이중 트리 이산 웨이브렛 변환은 비분리 처리 방법으로 수행되고 각각의 트리에서 표본화 과정동안 영상의 회전에 의해 다양한 방향성을 갖게 된다. 결과적으로 제안된 방법은 이중 트리 이산 웨이브렛 고유만의 특징인 이동 불변성을 만족하고 더 많은 방향성분을 갖는 부대역 영상을 생성할 수 있다. 그리고 비분리 영상처리로 인해서 분리 영상처리에서 발생할 수 있는 웨이브렛 변환의 비효율적인 부분을 극복할 수 있다.

VI. 제안된 방법을 통한 디지털 영상 성능 개선 실험

본 논문에서는 제안된 방법을 활용하여 디지털 영상에 존재하는 잡음을 제거하여 성능을 개선하는 실험을 수행하였다. 사용된 실험 디지털 영상은 8비트 그레이 영

상으로 크기는 512 X 512의 화소 수를 갖는다. 그리고 정량적인 성능 평가를 위하여 최대 신호 대 잡음비(Peak Signal to Noise Ratio)를 사용하였고 정의식은 다음과 같다.

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (3)$$

여기서, 평균제곱 오차 MSE(mean square error)는 다음과 같다.

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| I(i,j) - k(i,j) \|^2 \quad (4)$$

$I(i,j)$ 는 원 영상, $k(i,j)$ 는 복원 영상을 나타낸다. 그림 15는 본 논문에서 사용한 실험 영상을 나타낸 것이다.



그림 15. 실험 영상
Fig. 15. Test images

웨이블릿 변환은 기본적으로 완전재생을 만족하여야 한다. 따라서 제안된 방법으로 웨이블릿 변환이 가능하지를 판단하기 위해서 완전재생 실험을 수행하였다.

표 1은 실험영상에 대한 이산 웨이블릿 변환(DWT), 이중 트리 이산 웨이블릿 변환(DTDWT), 제안방법(QDTDWT)에 대한 변환을 수행하고 역변환을 통해서 복원했을 때의 복원된 영상의 PSNR을 나타낸 것이다.

표 1. 웨이블릿 변환에 대한 완전 재생 실험

Table 1. Perfect Reconstruction experiment for wavelet transform

실험 영상	DWT	DTDWT	QDTDWT
Lenna	267.6040	267.5785	267.7015
Peppers	267.5203	267.4935	267.6254
Stone	267.4081	267.3823	267.4500
Barbara	267.4820	267.4564	267.5289

제안된 방법은 분리 처리를 수행하지 않기 때문에 기존의 분리 처리 웨이블릿 변환과 직접적으로 비교가 어렵다. 따라서 비교를 위해서 수행되는 필터링 횟수와 동일하게 제안된 방법을 수행시켜서 비교한 결과이다.

실험 결과를 분석하여 보면 기존의 웨이블릿 변환보다 완전재생 성능이 더 우수한 것을 확인할 수 있다.

이중 트리 이산 웨이블릿 변환이 가장 대표적으로 응용되는 분야가 잡음 제거 기술이다. 본 실험에서는 Gaussian 잡음이 첨가된 디지털 영상에 웨이블릿 변환들의 수행하고 생성된 저주파 부대역 영상을 제외한 나머지 부대역 영상들에 대하여 임계값 처리를 통해서 잡음을 제거하였다^[5]. 그리고 역변환을 통해서 복원된 영상의 성능을 평가하는 실험을 수행하였다. 그림 16은 잡음이 첨가된 Lenna 영상을 세 가지 변환을 이용해서 잡음을 제거한 결과를 나타낸 것이다. 첨가된 잡음은 20배의 균일 랜덤 잡음이며, 임계값은 30으로 설정하였다. (a)는 잡음이 첨가된 영상이고 (b), (c), (d)는 DWT, DTDWT, QDTDWT를 각각 사용하여 잡음을 제거한 영상이다. 잡음이 제거된 영상의 PSNR을 비교하면 DWT는 19.2726dB이고 DTDWT는 18.9114dB이다. 그리고 QDTDWT는 19.0710dB이다. 수치상으로는 DWT가 가장 우수하나 영상을 시각적으로 비교하여 판단하면 (c)의 DTDWT가 잡음제거가 제일 잘 된 것으로 판단된다.

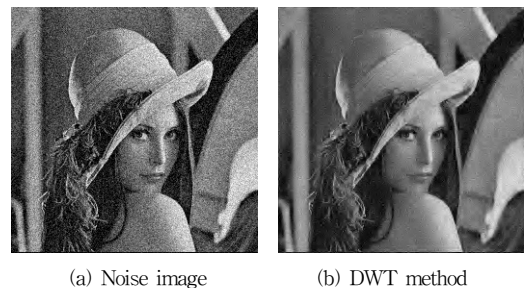




그림 16. Lena 영상에 대한 잡음제거
Fig. 16. Denoising methods of Lena Image

그림 17은 임계값 변화에 따라서 잡음이 제거된 복원 영상의 PSNR를 나타낸 것이다. 임계값이 클수록 제안된 방법의 PSNR이 더 높다. 결과적으로 제안된 방법이 잡음을 제거하는 능력이 더 우수하다고 할 수 있다. 여기서 SDWT는 DWT, RDDWT는 DTDWT를 나타낸다. 그리고 CDDWT는 [1]에서 제안된 방법이다.

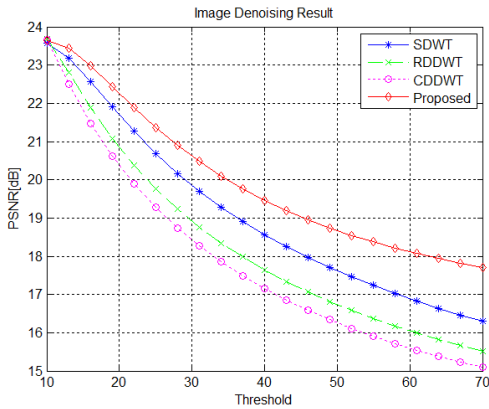


그림 17. 임계값 변화에 따른 최대 신호대 잡음비
Fig. 17. Peak Signal to Noise Ratio vs threshold changes

VII. 결론

웨이브렛 변환은 여러 가지 장점에도 불구하고 이동 불변성의 부족함으로 인해서 영상처리의 다른 영역에 적용의 제한을 받아왔다. 이중 트리 이산 웨이브렛은 이동 불변성을 근사적으로 만족할 뿐만 아니라 다양한 방향 성분을 갖는 부대역 영상을 생성하는 장점을 갖는다. 따라서 이 방법은 디지털 영상의 품질 향상과 잡음제거, 그

리고 데이터 은닉에서 활용되고 있다. 디지털 영상에 대한 2차원 웨이브렛 변환은 수직 방향과 수평 방향으로 분리되어서 처리된다. 그렇지만 수직과 수평방향으로 정렬되지 않은 영상들은 웨이브렛 변환을 통해서 얻어지는 효과를 얻을 수 없다. Quincunx 표본화는 디지털 영상을 45도씩 회전하면서 표본을 수행하므로 비분리 처리를 가능하게 한다. 따라서 다양한 방향으로 웨이브렛 변환을 수행할 수 있어 분리처리에서 발생하는 단점들을 해결할 수 있다. 따라서 비분리 처리특성으로 인위적인 패턴을 갖는 디지털 영상에 대해서 웨이브렛 변환의 특징을 얻을 수 있어 효율적인 영상처리가 가능하다.

참고 문헌

- [1] N. G. Kingsbury, "Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals," *Appl. Comput. Harmon. Anal.*, vol. 10, No. 3, pp. 234 - 253, May 2001.
- [2] Jingyu Yang, Yao Wang, "Image coding using dual-tree discrete wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 17, No. 9, September, 2008.
- [3] J. Kovacevic and W. Sweldens, "Wavelet families of increasing order in arbitrary dimensions," *IEEE Trans. on Image Processing*, vol. 9, No. 3, pp. 480-496, Mar. 2000.
- [4] Joonghee Lim, Jonghong Shin, Innho Jee, "Non-separable image processing using dual-tree complex wavelet transformation", *ITC-CSCC 2011*, June 2011.
- [5] D L Donoho, "De-noising by soft thresholding", *IEEE Trans. Information Theory*, 41, pp. 613-627, 1995.
- [6] M. Vetterli, "Wavelets, approximation and compression," *IEEE Signal Process. Mag.*, No. 9, pp. 59-73, Sep. 2001.
- [7] N G Kingsbury, "The dual-tree complex wavelet transform: a new technique for shift invariance and directional filters", *Proc. 8th IEEE DSP Workshop*, Bryce Canyon, Aug. 1998.

※ 본 논문은 2009년도 홍익대학교 학술연구진흥비에 의하여 지원되었음.

저자 소개

임 중 희(정회원)



- 2001년 2월 : 홍익대학교 전자전기컴퓨터공학부 공학사
- 2009년 2월 : 홍익대학교 전자전산공학과 공학석사
- 2011년 2월 : 홍익대학교 전자전산공학과 박사과정 수료

<주관심분야 : 3D Image Processing, Multimedia Signal Processing>

지 인 호(정회원)



- 1980년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학사
 - 1983년 8월 : 서울대학교 전자공학과 공학석사
 - 1995년 6월 : Polytechnic Institute of New York University, USA 전기 및 컴퓨터공학과 공학박사
 - 1982년~1988년 : 국방과학연구소 선임연구원
 - 2004년~2005년 : University of Maryland at College Park, USA, 연구교수
 - 1995년~현재 : 홍익대학교 컴퓨터정보통신공학과 정교수
- <주관심분야 : CDMA/OFDM, 3D Image Processing, Multimedia Security, Multimedia Signal Processing>