

디지털 영상 처리를 위한 Quincunx 표본화가 사용된 이중 트리 이산 웨이브렛 변환

신 중 홍*

Dual-tree Wavelet Discrete Transformation Using Quincunx Sampling For Image Processing

Shin, Jong Hong

〈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 main property is a more computationally efficient approach to shift invariance. Also, the DDWT gives much better directional selectivity when filtering multidimensional signals. The dual-tree DWT of a signal is implemented using two critically-sampled DWTs in parallel on the same data. The transform is 2-times expansive because for an N-point signal it gives 2N DWT coefficients. If the filters are designed in a specific way, then the sub-band signals of the upper DWT can be interpreted as the real part of a complex wavelet transform, and sub-band signals of the lower DWT can be interpreted as the imaginary part. The quincunx lattice is a sampling method in image processing. It treats the different directions more homogeneously than the separable two dimensional schemes. 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. Therefore, non-separable image processing using DDWT services good performance.

Key Words : Quincunx, Dual-tree, Shift Invariance, Directional Selectivity

I. 서론

웨이브렛 변환(wavelet transformation)이 소개된 이후 지금까지 신호의 분석(analysis)과 합성(synthesis) 그리고 재생(reconstruction)에 관한 연구가 계속적으로 진행

되고 있다. 특히, 이산 웨이브렛 변환을 기반으로 하는 디지털 영상처리는 과거 10년 동안 많은 발전을 하였다. 그러나 이런 결과에도 불구하고 이산 웨이브렛 변환은 아직도 많은 부분에서 부족한 점들이 존재하고 있다. 디지털 영상에 대한 2차원 이산 웨이브렛 변환(discrete wavelet transformation)을 수행하기 위해서는 수직 방향

* 한국사이버대학교 정보보안학과 부교수

과 수평 방향으로 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 영상들(subband images)은 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 완전재생(perfect reconstruction)의 영향을 주게 되어 복원 영상의 품질을 보장하기가 어렵다[1].

이중 트리 이산 웨이블릿 변환(dual-tree discrete wavelet transformation)은 기존의 이산 웨이블릿 변환이 가지고 있는 문제점을 극복할 수 있는 유용한 기술로 소개가 되었다. 이것은 이동 불변의 특징을 만족하도록 설계된 필터를 사용하며 하나로 구성되었던 웨이블릿의 트리 구조를 하나 더 추가하여 수행된다. 그런데 이 추가된 트리 구조로 인해서 기존 2차원 이산 웨이블릿 변환이 가지고 있던 방향 성분은 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. 그렇지만 이런 특성에도 불구하고 웨이블릿 기본적인 특징인 완전재생과 계산적인 효율성을 그대로 유지된다[2].

2차원 이산 웨이블릿 변환은 디지털 필터에 대한 필터링과 입력 데이터의 양을 감소하거나 증가시키는 표본화(sampling) 과정으로 구현된다. 표본화 과정에서도 수직 방향과 수평 방향으로 표본화를 수행하여 표본은 격자형태의 모양을 갖는다. 이런 제한된 방향으로 표본화는 특정 방향에 대한 표본 정보의 특징들을 잃을 수가 있다. 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[3].

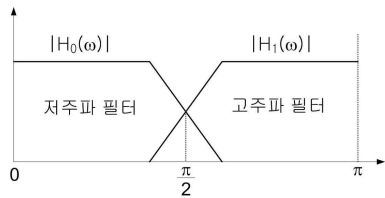
본 논문에서는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 수행하는 과정에 Quincunx 표본화를 적용하였다. 이 방법은 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 주된 특징인 이동 불변성의 성질과 다양한 방향성의 특징 그리고 비분리 영상처리 효과를 증가시킬 수 있다. 본 논문의 구성으로 2장에서는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환에 대한 기본적인 개념을 제시하였다. 3장에서는 Quincunx 표본화 방법을 소개하고 이를 웨이블릿 변환에 적용하는 과정을 설명하였다. 그리고 4장에서는 제안된 방법으로 Quincunx 표본화를 이용한 이중 트리 웨이블릿 변환 기술을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

II. 이중 트리 이산 웨이블릿 변환

2.1 이산 웨이블릿 변환

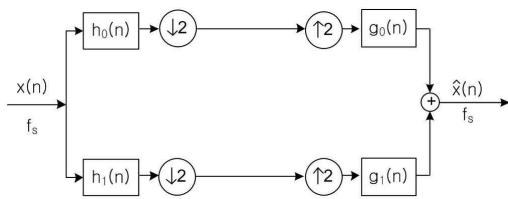
웨이블릿 변환은 다해상도(multi resolution) 신호처리를 가능하게 기술로서, 웨이블릿 기저함수가 확장/축소(dilation/contraction)과 전이(translation)를 통해서 입력 신호를 부대역 신호들로 분해한다. 푸리에 변환은 신호 데이터에 불연속성, 날카롭게 도출되는 고주파 성분이 포함되면 신호의 특징 분석이 어렵고, 신호의 시간 정보와 주파수 정보를 동시에 파악할 수 없다. 그렇지만 웨이블릿 변환은 각 주파수 영역에 따라 변화하는 다양한 기저 함수를 생성할 수 있으므로 시간-주파수에 국부적인 성질을 갖는다. 따라서 푸리에 변환에서는 시간과 주파수 정보를 동시에 파악할 수 없었지만 웨이블릿 변환에서는 이 둘을 동시에 파악할 수 있는 장점을 갖는다.

불연속적인 이산 신호에 대한 웨이브렛 변환을 수행하기 위해서 이산 웨이브렛 변환이 정의 되었다. 그리고 디지털 영상에 대한 다해상도 계층의 부대역 영상을 얻기 위해서는 2차원 이산 웨이브렛 변환이 수행되어야 한다. 이산 웨이브렛 변환의 실행은 2채널 필터 뱅크(filter bank)의 연속적인 동작에 의해서 수행된다. 필터 뱅크는 저주파 통과 필터와 고주파 통과 필터들로 구성되며, 이 필터들은 특수하게 설계되어서 직교 특성, 선형 특성을 만족한다. 또한 이 필터들은 <그림 1>과 같이 고주파 부분과 저주파 부분을 정확하게 분할하는 반대역(half band) 필터의 특징을 갖는다.



<그림 1> 웨이브렛 필터 뱅크의 주파수 응답

이산 웨이브렛 변환으로 분해된 부대역 신호들은 역변환 과정을 통해서 다시 원래의 신호로 완벽하게 재생이 되어야 한다. 따라서 이산 웨이브렛 역변환에서 사용되는 필터들도 이산 웨이브렛 변환에서 사용되던 필터와 동일한 특징을 갖는다. <그림 2>는 완전재생을 만족하는 2채널 필터 뱅크의 관계를 나타낸 것이다.

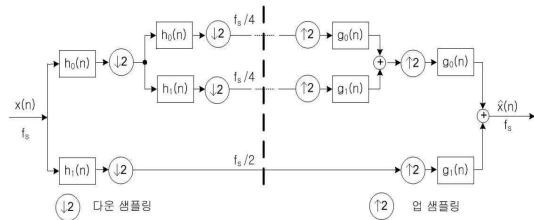


<그림 2> 2채널 웨이브렛 필터 뱅크

완전재생을 만족하기 위해서는 식(1)을 만족한다.

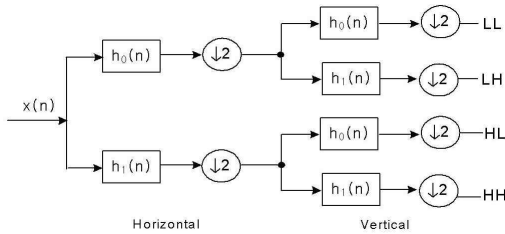
$$x(n) = \hat{x}(n) \tag{1}$$

<그림 3>은 이산 웨이브렛 변환에 의해서 다해상도 신호로 분해되었다가 이산 웨이브렛 역변환 과정을 통해서 다시 합성되어 완전 재생이 되는 것을 나타낸 것이다. 입력 신호는 저주파 필터와 고주파 필터로 각각 필터링 되고 데이터 크기를 절반으로 줄이는 다운 샘플링(down sampling)을 수행하여 다해상도 신호로 분해된다. 웨이브렛 역변환 과정에서는 저주파 성분과 고주파 성분의 다해상도 신호들은 데이터를 원래 크기로 만드는 업 샘플링(up sampling)이 수행되고 그리고 복원을 위한 필터들에 의해서 각각 필터링 되고 합쳐지게 된다. 이론상 웨이브렛 변환은 저주파 필터 $h_0(n)$ 의 필터링과 다운 샘플링을 무한 반복하면 얻어진다. 실제적으로 계속된 다운 샘플링으로 인해서 입력 데이터가 사라져버리게 되므로 반복되는 단계(stage)가 제한된다.



<그림 3> 필터뱅크를 이용한 이산 웨이브렛 변환과 역변환 실행

이산 웨이브렛 변환을 디지털 영상에 적용하려면 수직 방향으로 필터 뱅크에 입력된 후, 그 출력이 연속해서 수평 방향으로 필터 뱅크에 입력되어 처리되는 분리 가능한 2차원 이산 웨이브렛 변환이 사용된다. <그림 4>는 2차원 웨이브렛 변환의 수행 방법을 나타낸 것으로 4개의 부대역 영상이 생성된다. LL은 가장 낮은 저주파 부대역 영상을 나타내며, 순차적으로 LH, HL, HH순으로 높은 주파수 부대역 영상을 생성하게 된다. 그래서 HH는 고주파 영상이 된다[2].



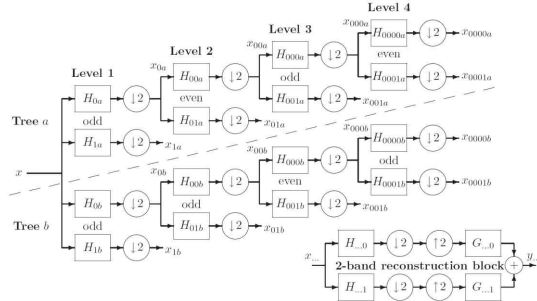
<그림 4> 2차원 이산 웨이블릿 변환의 실행

2.2 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 개념

이산 웨이블릿 변환은 데이터를 압축하는 방법으로 많이 사용되고 있다. 그러나 이 방법은 신호를 분석과 재생하는 과정에서 두 가지의 주된 단점이 나타나게 된다. 먼저, 이동 불변(shift invariance) 성질의 부족이다. 이것은 입력 신호에서 작은 이동이 발생하면 이산 웨이블릿 변환 계수들간의 에너지 분포의 차이가 커지는 원인이 될 수 있다. 그리고 두 번째로 방향의 선택성(directional selectivity)이 부족하다. 이것은 웨이블릿 필터들이 분리 처리되고 단일 트리에 의해서 실수 계수형태만으로 존재하기 때문이다.

이중 트리 이산 웨이블릿 변환(dual-tree discrete wavelet transformation)은 이산 웨이블릿 변환의 단점을 개선한 것으로 이동 불변 성질에 효율적으로 근접할 수 있으며, 다차원 신호의 필터링 과정에서는 더 많은 방향의 선택성을 갖는다. 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 실행 방법은 기존의 이산 웨이블릿 변환을 병렬로 처리하는 개념이다. <그림 5>는 이중 트리 이산 웨이블릿 변환에 대한 실행을 나타낸 것으로, 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[1].

그러나 이중 트리 이산 웨이블릿 변환에서 사용되는 필터들은 기존의 필터와 다른 방법으로 특별하게 설계되었다. 그래서 상단의 부대역 신호들은 복소 이산 웨이블릿



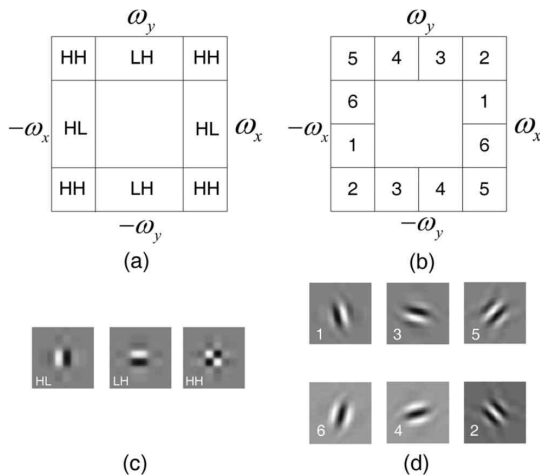
<그림 5> 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 실행

변환(complex discrete wavelet transformation)의 실수 부분(real part)으로 해석되며 하단의 부대역 신호들은 복소 이산 웨이블릿 변환의 허수 부분(imaginary part)으로 해석될 수 있다. 등가적으로, 특별하게 설계된 필터 집합들의 특성으로 인해서 상단의 이산 웨이블릿 변환과 하단의 웨이블릿 변환은 근사적으로 힐버트 변환(Hilbert transform)관계를 유지할 수 있다. 결과적으로 이 필터 집합들에 의해서 이중 트리 웨이블릿 변환은 이동 불변의 성질을 거의 만족하게 된다. 그런데 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 병렬 구조이므로 N개로 구성된 신호는 2N개의 웨이블릿 계수를 생성하기 때문에 데이터의 양이 증가하는 단점을 가지게 되어서 압축하는 응용에서는 적절하지 못하다. 그렇지만 다른 응용에서 유리할 수 있는 장점들이 더 존재한다.

디지털 영상을 이중 트리 이산 웨이블릿 변환을 하기 위해서는 이산 웨이블릿 변환과 마찬가지로 분리 처리를 수행하게 된다. 그런데 병렬 처리가 되므로 이산 웨이블릿 보다 더 많은 방향성분을 갖는 부대역 영상이 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 영상이 생성되며 이것들은 이산 웨이블릿 보다 더 우수한 완전

재생을 만족시키는데 추가적인 역할을 한다. 결과적으로 이중 트리 이산 웨이블릿 변환은 디지털 영상의 잡음제거(denoising)기술과 영상의 품질 향상(enhancement)등의 응용에서 뛰어난 성능을 갖는다.

<그림 6>은 이산 웨이블릿과 이중 트리 이산 웨이블릿과 주파수 대역과 부대역 영상의 방향 성분을 나타낸 것이다. (a)는 2차원 이산 웨이블릿 변환의 주파수 대역을 나타낸 것으로 최저주파수 LL은 가운데 위치하고 있으면 다음으로 LH와 HL 주파수 성분이 존재한다. LH는 수평방향의 성분이고 HL은 수직방향 성분이다. 그리고 고주파 성분이 HH는 대각 방향의 성분이 된다. 그리고 (c)는 (a)의 주파수 성분을 부대역 영상으로 나타낸 것으로 세 가지의 방향이 존재하는 것을 확인할 수 있다. (b)는 2차원 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 주파수 대역을 나타낸 것으로 6가지의 주파수 대역이 존재하는 것을 나타낸 것이다. (d)는 (b)를 부대역 영상으로 나타낸 것으로 상단의 웨이블릿 변환과 하단의 웨이블릿 변환에서 각각의 세 가지 방향이 존재하여서 결국 6개의 방향 성분이 존재하는 것을 확인할 수 있다[1].



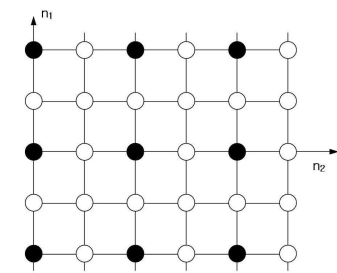
<그림 6> 웨이블릿 변환의 주파수 대역과 부대역 영상의 방향성

III. Quincunx 표본화의 개념

3.1 분리 처리를 통한 신호의 표본화

일반적인 2차원 이산 웨이블릿 변환에서는 입력 신호인 디지털 영상에 대하여 수직과 수평 방향으로 분리된 처리를 수행하게 되는데 이런 방식을 분리 웨이블릿 변환(separable wavelet transform)이라고 한다. 이 방식에서는 표본화도 마찬가지로 수직과 수평방향으로 수행을 하게 된다.

<그림 7>은 분리 방식으로 표본화된 경우를 나타낸 것으로 백색은 표본화 과정에서 버려진 영상의 빈 화소가 되고 흑색은 표본화 되지 않고 남아 있는 화소 데이터가 된다. 이 과정을 통해서 전체적인 데이터의 양은 1/4로 감소하게 된다. 영상의 정보를 제거하는 표본화 과정에서는 표본화 방법에 따라 영상의 특성이 영향을 받는다. 그래서 분리 처리에서 영상이 수직과 수평방향으로 주요 정보를 가지고 있다면 표본화 과정을 통해서 영상의 품질이 현격하게 저하될 수 있다[3].

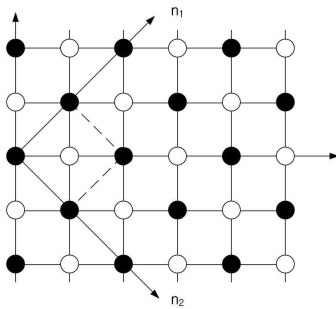


<그림 7> 분리 처리 과정에서 표본화

3.2 Quincunx 표본화

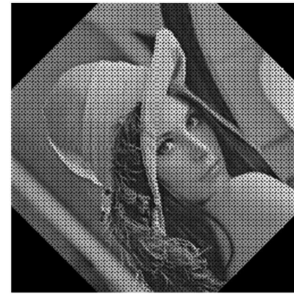
2차원 분리 웨이블릿 변환 과정에서의 표본화는 수직과 수평 방향으로만 표본화를 하였지만 Quincunx는 수평과 수직 방향이외에 대각선 방향을 추가해서 표본화하는 방법이다.

<그림 8>은 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. 따라서 프로그램 작업이 복잡하다는 것을 예측할 수 있다.



<그림 8> Quincunx 표본화 격자

다음의 <그림 9>는 실제적으로 디지털 영상을 반시계 방향으로 45회전 시킨 영상을 나타낸 것이다. 그런데 디지털 영상이 회전이 되면서 원래의 크기보다 확대가 되는 것을 확인할 수 있으며, 확대되는 과정에서 생성된 흑색의 화소들은 어떠한 값도 할당을 받지 않은 빈 화소의 상태로 존재한다. 그리고 이 빈 화소들은 이웃 빈 화소들과 마름모꼴을 형태로 위치하고 있다. 또한 값을 갖고 있는 화소들도 이웃 화소들과 마름모꼴 형태로 구성된다.



<그림 9> 반시계방향으로 45회전된 영상

영상의 기하학처리 방법에서 영상을 특정한 각도 θ 만큼 회전시키는 기술을 영상의 회전(rotation)이라고 한다. 영상의 회전식은 다음의 식(2)와 같이 정의 된다.

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

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. 회전하는 각도 θ 가 45도라고 하면 식(2)는 다음과 같이 간단해질 수 있다. 그리고 식(3)에 의해서 디지털 영상은 반 시계방향으로 45도 회전하게 된다[3].

$$\begin{bmatrix} x_{dest} \\ y_{dest} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{source} \\ y_{source} \end{bmatrix} \quad (3)$$

만약 이 상태에서 회전을 시계방향으로 45도 회전한다면 증가되었던 흑색의 화소들은 사라지고 원래의 디지털 영상 크기가 될 것이다. 따라서 시계방향으로 45도 회전하는 것은 데이터를 삭제하는 과정으로 Quincunx 표본화 과정과 동일한 결과를 얻게 된다. 결과적으로 Quincunx 표본화는 디지털 영상을 45도 회전시켜서 수행이 된다.

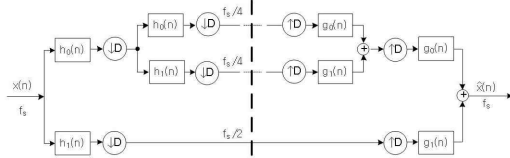
IV. Quincunx 표본화를 사용하는 2차원 웨이블릿 변환

4.1 Quincunx 표본화를 사용하는 2차원 이산 웨이블릿 변환의 특징

2차원 이산 웨이블릿 변환의 수행에서, 필터뱅크에

대한 필터링 과정은 기존과 동일하게 수행하고 표본화 과정은 Quincunx 표본화를 수행하는 방법을 생각할 수 있다. 이 경우 기존의 2차원 분리 이산 웨이브렛 변환과 마찬가지로 주파수 대역 분할 특성과 완전 재생의 특징은 그대로 유지되어야 한다.

<그림 10>은 Quincunx 표본화를 사용한 2차원 이산 웨이브렛 변환을 나타낸 것으로 표본화 과정을 D로 표시하였다. 1단계의 필터링이 완료가 되면 디지털 영상은 시계 방향으로 45도 회전하여서 표본화를 수행하게 된다. 계속해서 2단계에서도 필터링을 수행하고 45도를 회전하게 되는데 결과적으로 디지털 영상은 90도 회전을 하게 되고 그 크기는 1/4이 된다. 복원 과정에서는 처음으로 업 샘플링(up sampling)이 수행되는데 반시계방향으로 45도 회전하여서 얻어진다. 그리고 복원 필터를 통과하는 필터링을 수행하게 된다. 마지막 단계에서도 마찬가지로 업 샘플링과 필터링을 수행하고 여기서 얻어진 각 부대역 신호들을 합쳐서 최종적으로 복원 신호를 생성한다[4].

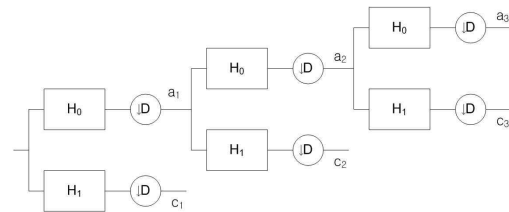


<그림 10> Quincunx 표본화를 활용한 웨이브렛 변환과 역변환

Quincunx의 표본화를 채택한 2차원 이산 웨이브렛 변환은 표본화가 진행되면서 디지털 영상이 45도씩 회전하므로 수평과 수직방향으로 별도로 분리해서 처리할 필요가 없다. 즉, 웨이브렛 변환과정에서 첫 번째 단계에서는 수평 방향으로 처리되고 45도 회전을 통해서 표본화가 된다. 두 번째 단계에서는 45도 회전상태에서 필터링 처리가 되므로 대각선 방향 처리가 된다. 그리고 다시 45도 회전을 통해서 표본화가 된다. 세 번째 단계에서는 결과적으로 90도 회전된 영상에 대한 필터링이 처리되므로

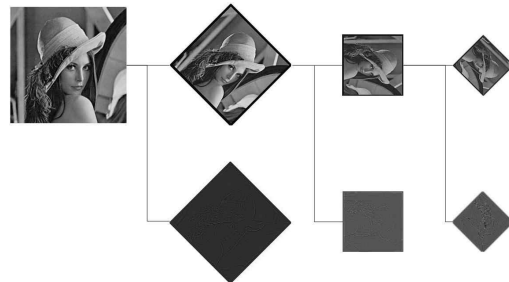
수직 방향에 대한 처리가 되고 다시 45도 회전하면서 표본화가 된다. 따라서 단계가 증가하면서 처리방향이 자동적으로 변경이 되는 것이다. 그래서 Quincunx 표본화를 채택한 방식을 2차원 비분리 웨이브렛 변환(non separable wavelet transformation)이라고 한다.

<그림 11>은 Quincunx 표본화를 채택한 이산 웨이브렛 변환의 3단계 과정을 나타낸 것이다. 2차원 분리 웨이브렛 변환과 다르게 특정 방향에 대한 분리 처리 없이 한 방향으로 처리가 된다. 하지만 표본화에 의해서 여러 방향으로 처리가 가능하다.



<그림 11> Quincunx 표본화를 채택한 3단계 이산 웨이브렛 변환

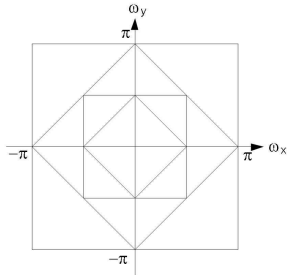
<그림 12>는 <그림 11>의 방법으로 처리된 디지털 영상에 대한 부대역 영상들을 나타낸 것이다. 3단계까지 수행된 것으로 부대역 영상은 135도까지 회전하였다. 또한 부대역의 영상의 넓이는 한 단계가 진행될 때마다 1/2씩 감소하게 된다[4].



<그림 12> Quincunx 표본화를 채택한 웨이브렛 변환

<그림 13>은 <그림 12>에 얻어진 부대역 영상에 대한

주파수 대역을 나타낸 것이다. 주파수대역에 따라서 방향성이 다르게 나타난다.



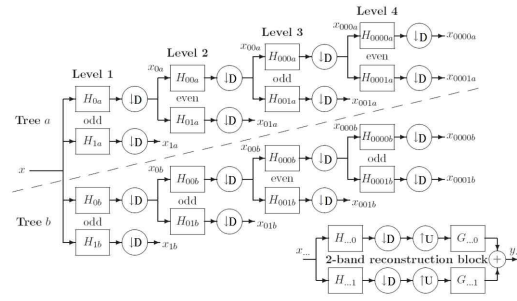
<그림 13> Quincunx 표본화를 채택한 웨이브렛 변환의 주파수 대역

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 인한 급격한 품질 저하가 일어나지 않는다.

4.2 Quincunx 표본화를 사용하는 2차원 이중 트리 이산 웨이브렛 변환의 특징

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 14>는 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 재생성을 만족하는 것을 나타내었다[4].



<그림 14> 제안한 이중 트리 이산 웨이브렛 변환

본 논문에서 제안한 Quincunx 표본화를 채택한 2차원 이중 트리 이산 웨이브렛 변환은 비분리 처리 방법으로 수행되고 각각의 트리에서 표본화 과정동안 영상의 회전으로 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 있는 웨이브렛 변환의 비효율적인 부분을 극복할 수 있다.

IV. 실험을 통한 성능비교

본 논문에서 사용된 실험 디지털 영상은 8비트 그레이 영상을 사용하였다. 그리고 영상의 크기는 256 X 256 또는 512 X 512를 선택적으로 사용하였다. 또한 정량적인 성능 평가를 위하여 식(4)로 정의되는 신호대 잡음비(Signal to Noise Ratio)를 사용하였다[5].

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{I^2}{MSE} \right) \quad (4)$$

여기서, 평균제곱 오차 MSE(mean square error)는 다음의 식(5)와 같다[6,7].

$$MSE = \frac{1}{mn} \sum_{i=0}^{m-1} \sum_{j=0}^{n-1} \| I(i,j) - k(i,j) \|^2 \quad (5)$$

$I(i,j)$ 는 원 영상, $k(i,j)$ 는 복원 영상을 나타낸다.
 <그림 15>는 본 논문에서 사용한 실험 영상을 나타낸 것으로 (a)와 (b) 영상의 크기는 256 X 256이고 (c)와 (d)의 영상 크기는 512 X 512이다.



<그림 15> 실험 영상

5.1 Quincunx 표본화를 사용한 이산 웨이브렛 변환의 완전재생 실험

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

<표 1>은 실험영상에 대한 이산 웨이브렛 변환(DWT), 이중 트리 이산 웨이브렛 변환(DTDWT), 제안방법(QDTDWT)을 1 ~ 5단계까지 수행하고 역변환을 통해서 복원했을 때의 복원된 영상의 SNR을 나타낸 것이다.

제안된 방법은 분리 처리를 수행하지 않기 때문에 기

존의 분리 처리 웨이브렛 변환과 직접적으로 단계별 비교가 어렵다. 따라서 비교를 위해서 각 단계까지 수행되는 필터링 횟수와 동일하게 제안된 방법을 수행시켜서 비교한 결과이다. 실험 결과를 분석하여 보면 기존의 웨이브렛 변환보다 완전재생 성능이 더 우수한 것을 확인할 수 있다. 특히, 기존의 이중 트리 이산 웨이브렛 변환은 필터 특성상 단계가 증가할수록 급격하게 완전재생 성능이 감소한다. 따라서 이중 트리만 장점을 갖지만 성능적인 면에서 영상의 고품질을 만족하는데 어려움이 있었지만 제안된 방법은 이중 트리의 장점을 만족하면서도 좋은 영상 품질을 유지할 수 있다.

<표 1> 웨이브렛 변환에 대한 완전 재생 실험

실험 영상		DWT	DTDWT	QDTDWT
Lenna	1단계	267.6040	267.5785	267.7015
	2단계	261.6922	153.6794	261.8638
	3단계	258.2983	147.7735	258.6069
	4단계	255.9178	144.3686	256.4051
	5단계	254.0834	141.9789	254.9009
Peppers	1단계	267.5203	267.4935	267.6254
	2단계	261.5803	153.5646	261.8234
	3단계	258.1550	147.6311	258.5445
	4단계	255.7546	144.2032	256.3271
	5단계	253.8952	141.7885	254.7768
Stone	1단계	267.4081	267.3823	267.4500
	2단계	261.4138	153.3993	261.4877
	3단계	257.9260	147.4093	258.0549
	4단계	255.4702	143.9271	255.6664
	5단계	253.5979	141.4882	253.9171
Barbara	1단계	267.4820	267.4564	267.5289
	2단계	261.5126	153.5004	261.6288
	3단계	258.0553	147.5365	258.2091
	4단계	255.6326	144.0841	255.8934
	5단계	253.7731	141.6612	254.1576

5.3 선택적 방향성 실험

이중 트리 이산 웨이브렛 변환은 이산 웨이브렛 변환

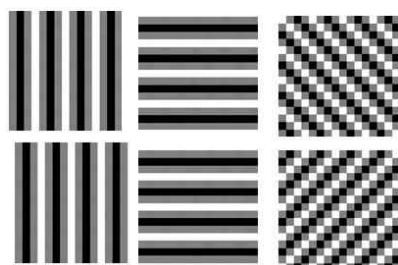
보다 더 많은 방향성분을 생성할 수 있는 장점을 가지고 있다. 그리고 제안된 방법은 이중 트리 이산 웨이브렛 변환 보다 더 많은 방향성분을 갖는다.

<그림 16>은 이산 웨이브렛 변환의 방향 성분을 실험한 것으로 수직방향, 수평방향, 대각선방향이 존재하는 것을 나타낸다.



<그림 16> 이산 웨이브렛 변환의 방향 성분

<그림 17>은 이중 트리 이산 웨이브렛 변환의 방향 성분을 실험한 것으로 상단 실수부와 하단 허수부에 각각 수직방향, 수평방향, 대각선방향이 존재하는 하므로 모두 6개의 방향성분을 갖는다.

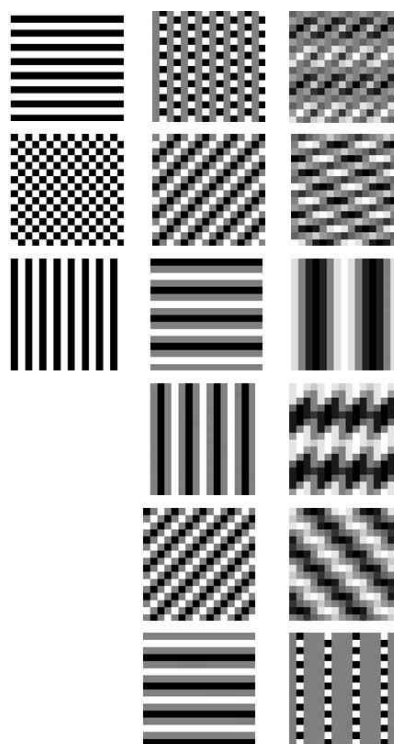


<그림 17> 이중 트리 이산 웨이브렛 변환의 방향 성분

제안된 방법에 대한 방향 성분은 각 단계마다 영상이 회전하면서 방향 성분이 새롭게 생겨나므로 그 조합이 다양하다. 그래서 <그림 18>은 3단계까지 수행되면서 생성된 부대역의 방향성분을 나타낸 것이다. 첫 번째 열은 첫 번째 단계에서 생성된 방향 성분을 나타낸 것이다. 두 번째 열은 두 번째 단계에서 생성된 방향성분으로 상위 세 개는 실수부에서 생성된 방향성분이고 하위 세 개는 허수부에서 생성된 방향성분이다. 세 번째 열은 세 번째

단계에서 생성된 방향성분으로 마찬가지로 상위는 실수부에서 하위는 허수부에서 생성된 방향 성분을 나타낸 것이다. 단계가 더 증가하면 더 많은 방향성분이 생성될 수 있다.

결과적으로 제안된 방법은 디지털 영상 특성이 맞는 방향 성분을 선택하여 처리할 수 있어 기존 웨이브렛 변환들 보다 더 효율적인 방법으로 사용될 수 있다. 또한 워터마크등과 같은 데이터 은닉 기법에서 데이터의 검출을 어렵게 하는 용도로 응용이 가능한 특징을 갖는다.



<그림 18> 제안된 이산 웨이브렛 변환의 방향 성분

5.3 이동 불변성 특징 실험

이동의 불변성을 만족하는 이중 트리 이산 웨이브렛 변환의 부대역 신호들에 대한 주파수 응답에서는 주파수 들간의 중첩이 발생하지 않는다. 따라서 부대역 신호가

독립적이어서 한 부대역 신호가 여러 가지 요인에 의해서 변경되더라도 연쇄적으로 다른 부대역 신호에 영향을 주지 않아서 성능저하가 크게 오지 않는다. 그러나 기존의 이산 웨이블릿 변환에서는 부대역 신호들의 주파수 응답이 중첩된 형태이다. 따라서 부대역 신호들의 변화에 의해서 재생되는 신호는 민감하게 반응한다. 본 논문에서는 웨이블릿 변환 과정에서 생성된 부대역 영상들의 일부를 임의적으로 선택해서 임계값 처리에 의해서 화소값을 변경하였다. 즉, 각 화소에서 임계값을 빼고 그 결과값이 0이하의 값은 모두 0으로 처리하는 것이다. 그리고 복원과정을 통해서 완전재생이 되는 실험을 수행하였다.

<표 2>는 4단계까지 웨이블릿 변환을 수행하고 생성된 부대역 영상 1~3개를 임의적으로 선택해서 임계값 처리하고 복원한 결과를 나타낸 것이다. 주파수 대역간의 중첩이 발생하지 않는 부대역 영상들은 다른 부대역 영상에 영향을 받지 않아서 완전재생이 성능이 우수하다. 따라서 본 논문에서 제안한 방법이 성능이 가장 우수한 것을 확인할 수 있으며 임계값이 높아질수록 이중 트리 이산 웨이블릿 변환의 성능이 향상되는 것을 확인할 수 있다.

<표 2> 부대역 영상의 임계값 변형후 완전 재생 실험

실험 영상 : Lenna		DWT	DTDWT	QDTDWT
임계값	처리 부영상 수			
5	1	51.3262	51.1156	52.2143
	2	48.2882	47.9233	49.9805
	3	46.4917	45.8143	47.8449
10	1	45.6909	45.5138	46.3626
	2	42.5826	42.2229	44.1712
	3	40.7027	40.0276	41.9686
20	1	40.1841	40.2177	40.6581
	2	37.1716	36.8095	38.5160
	3	35.0788	34.4645	36.1987
40	1	34.9893	35.4184	35.1098
	2	31.9678	31.8897	33.1012
	3	29.7581	29.2167	30.5919
80	1	30.4508	31.3016	29.9580
	2	27.3377	25.5707	28.0762
	3	24.7693	24.3793	25.2822

5.4 잡음 제거 실험

이중 트리 이산 웨이블릿 변환이 가장 대표적으로 응용되는 분야가 잡음 제거 기술이다. 본 논문에서는 잡음이 포함된 디지털 영상에 웨이블릿 변환들의 수행하고 생성된 부대역에 임계값 처리 기법을 적용하여 잡음을 제거한 다음 복원한 영상의 성능을 평가하는 실험을 수행하였다. <그림 19>는 잡음이 첨가된 Lenna 영상을 세 가지 방법으로 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 SNR을 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 보인다.



<그림 19> Lenna 영상에 대한 잡음제거

<그림 20>은 잡음이 첨가된 Barbara 영상을 세 가지

방법으로 제거한 결과이다. 첨가된 잡음은 마찬가지로 20배의 균일 랜덤 잡음의 이며, 임계값은 30으로 설정하였다. (a)는 잡음이 첨가된 영상이고 (b), (c), (d)는 DWT, DTDWT, QDTDWT를 각각 사용하여 잡음을 제거한 영상이다. 잡음이 제거된 영상의 SNR을 비교하면 DWT는 20.5618dB이고 DTDWT는 20.4777dB이다. 그리고 QDTDWT는 20.7091dB이다. 따라서 제안된 방법이 가장 우수하다. 또한 시각적인 판단에서도 제안된 방법의 영상은 인위적인 패턴들이 잘 유지되고 있음을 확인할 수 있다. Barbara 영상과 Lenna 영상을 비교하였을 때, Barbara 영상은 인위적인 패턴이 많아서 일반적인 분리 처리의 웨이블릿 변환으로는 만족스런 특징을 얻을 수 없다. 그렇지만 Quincunx 표본화를 통한 비분리 처리 웨이블릿 변환은 인위적인 신호에서도 우수한 성능을 보이는 것을 확인할 수 있다.



IV. 결론

웨이블릿 변환은 디지털 영상처리에서 사용되는 우수한 기술의 하나이다. 다년간 다해상도 분석을 통한 영상의 압축분야에서 많이 활용되어 왔다. 그러나 여러 가지 장점에도 불구하고 이동 불변성의 부족함으로 인해서 영상처리의 다른 영역에 적용이 제한을 받아왔다. 이중 트리 웨이블릿 변환은 이동 불변성을 만족하도록 필터를 설계하고 두 개의 트리 구조로 웨이블릿 변환을 수행하는 기술이다. 그래서 이중 트리 이산 웨이블릿은 이동 불변성을 근사적으로 만족할 뿐만 아니라 다양한 방향 성분을 갖는 부대역 영상을 생성하는 장점을 갖는다. 그렇지만 이중 트리 구조이므로 부대역 영상이 많이 생성되는 단점도 가지고 있다. 결과적으로 이 방법은 디지털 영상의 품질 향상과 잡음제거, 그리고 데이터 은닉에서 활용되고 있다. 디지털 영상에 대한 2차원 웨이블릿 변환은 수직 방향과 수평 방향으로 분리되어서 처리된다. 그렇지만 수직과 수평방향으로 정렬되지 않은 영상들은 웨이블릿 변환을 통해서 얻어지는 효과를 얻을 수 없다. Quincunx 표본화는 디지털 영상을 45도씩 회전하면서 표본을 수행하므로 비분리 처리를 가능하게 한다. 따라서 다양한 방향으로 웨이블릿 변환을 수행할 수 있어 분리처리에서 발생하는 단점들을 해결할 수 있다. 본 논문에서 제안한 Quincunx 표본화를 사용한 이중 트리 웨이블릿 변환은 기존 웨이블릿 변환의 단점을 극복할 수 있고 분리 처리에서의 비효율도 극복할 수 있는 방법이다. 즉, 이동 불변성을 만족하여서 부대역 영상들이 주파수 중첩이 발생하지 않아서 독립성을 갖는다. 그리고 다양한 방향성분이 존재해서 영상의 특성에 맞게 영상처리를 가능하게 할 수 있다. 그리고 비분리 처리특성으로 인위적인 패턴을 갖는 디지털 영상에 대해서 웨이블릿 변환의 특징을 얻을 수 있어 효율적인 영상처리가 가능하다.

참고문헌

- [1] N. G. Kingsbury, "Complex wavelets for shift invariant analysis and filtering of signals," Appl. Comput. Harmon. Anal., vol. 10, No. 3, 2001, pp. 234 - 253.
- [2] Jingyu Yang, Yao Wang, "Image Coding Using Dual-Tree Discrete Wavelet Transform," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 17, No. 9, 2008, pp. 1555 - 1569.
- [3] J. Kovacevic and W. Sweldens, "Wavelet families of increasing order in arbitrary dimensions," IEEE Trans. on Image Processing, vol. 9, No. 3, 2000, pp. 480-496.
- [4] Joonghee Lim, Jonghong Shin, Innho Jee, "Non-separable Image Processing Using Dual-Tree Complex Wavelet Transformation," 2011, ITC-CSCC 2011.
- [5] 신중홍, "자유시점 TV를 위한 다시점 비디오의 계층적 깊이 영상 표현과 H. 264부호화," 디지털산업정보학회 논문집, 7권, 2호, 2011년 6월 30일.
- [6] 조범석, 김영로, "비디오 준무손실 압축을 위한 효율적인 레이트 컨트롤 알고리즘," 디지털산업정보학회 논문집, 6권, 2호, 2010년 6월 30일.
- [7] 정수목, "Quality Improvement Scheme of Interpolation Image using the Locality," 디지털산업정보학회 논문집, 6권, 4호, 2010년 12월 30일.

■ 저자소개 ■



신 중 홍
Shin, Jong Hong

2003년 3월~현재
한국사이버대학교 정보보안학과
교수
2002년 8월 홍익대학교 전자전기공학과
(공학박사)
1999년 2월 홍익대학교 전자전기공학과
(공학석사)
1997년 2월 홍익대학교 전자전기공학과
(공학사)
관심분야 : 신호 및멀티미디어 처리, 이동통신
E-mail : sigs@mail.kcu.ac

논문접수일 : 2011년 11월 24일
수정일 : 2011년 12월 04일
게재확정일 : 2011년 12월 07일