

영상 부호화 시점에서 본 각종 변환 기법들의 일반화 고찰

正會員 김 종 원*, 이 창 우**

A Generalization Survey on the Transform Techniques in the Viewpoint of Image Coding

Jong Won Kim*, Chang Woo Lee** *Regular Members*

※상기과제는 정보통신부의 대학기초 연구지원 사업에 의해 지원되었음(과제번호 : 96025-IT1-12).

요 약

변환, 분할대역, 그리고 웨이브릿 분해 기법들은 상관성 제거 효과, 에너지 집중 효과, 다중비율/다중해상도 구조, 그리고 주파수 분해 능력 등과 같은 성질들에 의해서 영상 부호화의 강력하고 선형성을 지닌 변환 도구로 널리 활용되고 있다. 특히 변환계수 및 분할대역 계수들이 지나는 주파수 대역별로 변화되는 통계적인 특성과 인간 시각 특성과 주파수 대역간의 관계는 영상부호화에 효율성을 부가할 수 있도록 한다. 따라서 다양하게 변형된 형태로 상기한 기법들을 확장함에 의해서 보다 혁신적인 성능 개선을 시도하는 연구가 매우 널리 진행되고 있다. 그러므로 본 논문에서는 이러한 변환 도구들을 체계적으로 분석하여, 일반화된 관점에서 분석하고자 한다. 구체적으로는 기본이 되는 블록 단위의 직교 변환에서 부터 시작하여, 인접 블록으로 확장되는 겹침 변환, 분할대역 필터군, 웨이브릿 변환을 대상으로 체계화 작업을 진행하였다. 또한 이들 일반화된 변환들을 계층적 블록, 가변크기 블록, 그리고 임의 형태 블록으로 확장하는 기법들에 대한 조사도 진행하였다. 아울러 벡터단위로 변환, 분할대역 분해, 웨이브릿 변환을 확장하는 기법과 선형이지만 시간적으로는 변화하는 주파수 대역별 분해 기법으로의 확장에 대해서도 살펴본다.

ABSTRACT

Transform, subband, and wavelet transform decompositions are powerful linear transformation tools in image-coding because of their decorrelating effects on image pixels, the concentration of energy in a few coefficients, their multirate/multiresolution framework, and their frequency splitting, which allows for efficient coding matched to the

*공주대학교 공과대학 전자공학과

**가톨릭대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터통신전공

論文番號: 97260-0726

接受日字: 1997年 7月 26日

statistics of each frequency band and to the characteristics of the human visual system. Thus, a growing body of research has been performed to extend these tools in various kinds of modified formations. Hence, in this paper, an overall survey to achieve a general view on these transformation tools have been attempted. Starting from basic tools such as orthogonal transforms, lapped transforms, QMF(quadrature mirror filter) subband filter banks, and wavelet transforms, their hierarchical extensions, vector extensions, and linear time-varying extensions are investigated in detail.

I. 서 론

현대 정보 통신 수요의 대부분을 차지하는 영상 정보 통신의 효율적인 구현을 위해서는 고압축 영상 부호화 기법의 적용이 필수적이다. 따라서 예측(prediction), 변환(transform), 움직임 보상 등에 의해 영상 정보의 공간, 주파수, 시간 영역 상관성을 이용하는 정보 압축 기법들이 제안되어 왔다. 특히 DCT(discrete cosine transform)로 대표되는 블록 변환(block transform:BT)에 근거한 기법들이 전통적인 변환 부호화 기법[1]으로부터 JPEG, MPEG-1, MPEG-2 등 각종 영상 부호화의 국제 표준 방식에서 널리 활용되고 있다. 또한 영상 신호를 주파수 대역별로 분해하여 부호화하는 분할대역(subband) 부호화 기법을 위해서는 주파수 대역으로 분할(decomposition)할 때 발생하는 주파수 겹침에 의한 손상(aliasing distortion)을 상쇄하도록 고안한 QMF(quadrature mirror filter)로부터 시작하여 다양한 분할대역 필터군들이 제안되어 왔다[2]. 이 중에서 변환 기법은 기존의 블록 변환의 블록화 현상(blocking effect)의 해결책으로 제안되고 있는 겹침 변환(lapped transform:LT)[3, 4], 블록 크기를 적응적으로 변화시키는 가변크기 블록(variable size block) 변환[5] 등으로 확대되면서 영상 부호화에 응용되는 중요성이 날로 증대되고 있다. 또한 최근에는 변환에 있어서 스칼라 대신에 벡터를 기본 요소로 하는 벡터 변환(vector transform:VT) 기법이 제안되었다[6]. 벡터 변환에서는 기존의 변환 기법과는 달리 벡터를 기본 단위로 하면서 한 벡터와 다른 벡터들간의 상관성을 제거하는 효과를 지니므로 블록 단위 내에 한정되어 있던 기존의 변환의 한계를 극복하는 특성을 지닌다. 그리고 분할대역 필터군에서는 영상 전체에 대한 주파수 분해를 계층적인 주파수 대역별로 수행하는 웨이브릿 변환(wavelet transform:WT)[7]이 영상부호화에 지대한 영향을 미치고 있다. 아울러 분할대역

필터군에서도 다양한 종류의 변형이 제안되고 있으며, 분할대역 필터군에 의한 분해/합성시 영상 가장 자리에서의 손상에 대한 해결책으로 제시되고 있는 크기가 제한된(size-limited) 분할대역 기법[8] 등과 같은 다양한 분할대역 상의 기법들이 제안되어 왔다. 그리고 이와 관련하여 변환과 분할대역 분해/합성(analysis/synthesis)을 위한 필터군간의 상호 관계에 대한 규명 작업도 활발하게 진행되고 있다[9-11].

따라서 본 논문에서는 다양한 형태로 발전, 융합하는 변환 기법의 일반화에 주목하여 영상 부호화의 측면에서 이를 분석하고자 한다. 특히 본 논문에서 주목하는 변환들을 제시한 그림 1을 살펴보면, 영상을 블록 단위로 나눈 다음에 각각의 블록들에 대해 독립적으로 수행하는 기존의 블록 단위 직교 변환(orthogonal transform:LOT)이 출발점이다. 이로부터 인접한 블록들을 함께 겹쳐서 변환하는 겹침 변환이 LOT(lapped orthogonal transform)[3, 4], MLT(modulated lapped transform)[12], ELT(extended lapped transform)[13], GenLOT(generalized LOT)[14] 등의 순서로 발전되었는데, 이는 분할대역 기법에서 발전한 PU(para-unitary) 필터군에 포함된다[9, 10]. 또한, 에너지가 집중도에 따라 저주파 대역과 고주파 대역을 차별적으로 분할하는 목적에서 출발한 웨이브릿 변환도 고려할 수 있으며, 이는 분할대역 필터군을 이용한 불균일하며 계층적인 대역 분할과 밀접하게 관련된다. 한편, 블록 변환을 다양한 블록 크기 및 해상도로 발전시키면, 계층적 변환(hierarchical transform) 및 가변크기 블록 변환으로 확장되며, 최근에는 임의 형태의 블록에 대한 변환 기법의 필요성이 크게 증대되면서 이에 대한 연구도 활발하다. 또한 블록 변환의 기본 단위를 스칼라에서 벡터로 확장시키면 벡터 변환으로 연결되며, 이는 필터군, 웨이브릿 변환의 벡터화에도 연결된다. 최종적으로는 고정된 변환, 필터군을 사용하는 대신에 시간에 따라 이를 적응적으로 변화시키는 기법이

제안되고 있으며, 이에는 선형 시변(LTV: linear time-varying) 필터군, 크기가 제한된 분할대역 필터군, 웨이브릿 패킷(wavelet packet) 등의 기법이 망라된다.

1. 블록 변환 (BT: block transform)
2. 인접 블록으로 확장:
 - 겹침 변환(LT:lapped transform) = PU(para-unitary) FB
3. 웨이브릿 변환 (WT: wavelet transform)
4. 계층적 블록, 가변크기 블록 및 임의형태 블록으로의 확장:
 - Hierarchical block, Variable size block, and Arbitrary shape block transform
5. Vector로 확장: Vector transform, Vector FB, Vector wavelet
6. 시변 영역으로의 확장:
 - LTV(linear time-varying) FB, Size-limited FB, Wavelet packet

그림 1. 일반적인 의미에서 각종 변환 및 이들의 확장 기법들에 대한 분류.

따라서 영상부호화 시점에서 본 각종 변환 기법들의 일반화를 고찰하는 본 논문의 2절에서는 위와 같은 과정을 통하여 발전되고 있는 각종 변환들을 넓은 의미의 분할대역 필터군으로 부터 시작하여, PU 분할대역 필터군(겹침 변환), 블록 변환, QMF로 대표되는 좁은 의미의 분할대역 필터군, 그리고 웨이브릿 변환의 순서로 고찰한다. 이어서 영상 부호화 기법의 측면에서 변환 기반의 부호화 기법들과 분할대역 분해에 기반한 부호화 기법들의 부호화 기법상의 특성과 이들의 상호 연결에 대해서도 살펴보고자 한다. 그리고 3절에서는 2절에서 도입한 기본 변환 도구들의 확장에 해당하는 계층적 블록, 가변크기 블록, 그리고 임의 형태 블록으로 확장, 벡터단위의 변환, 분할대역 분해, 웨이브릿 변환으로의 확장, 그리고 필터군이 적응적으로 변화하는 성질을 가지는 선형 시변 영역으로의 확장이 이어진다. 그리고 마지막으로 4절에서는 각종 변환 기법들의 향후 발전 방향에 대한 의견을 개진함에 의해서 본 논문의 결론을 제시한다.

II. 변환, 겹침 변환, 분할대역 필터군, 웨이브릿 변환 및 상관관계

2.1 넓은 의미의 분할대역 필터군과 각종 변환들의 상관관계

넓은 의미에서 분할대역 필터군은 입력 신호를 주파수 대역별로 분해하고 합성하는 목적에 사용할 수 있는 기법들을 망라하게 된다. 그림 2와 같이 M 개의 선형(linear) 대역통과(bandpass) 필터들에 의한 분해 필터링과 간축을 통해 입력신호를 M 개의 분할대역 신호들로 분해하는 과정과 보간 및 합성 필터링에 의해 역으로 합성하는 과정을 연결하면 분할대역 분해/합성 시스템의 기본적인 구성이 이루어진다[2, 10]. 본 논문에서 주목하는 각종 변환 및 분할대역 필터군 기법들은 이러한 기본적인 분해/합성 시스템을 다양한 형태의 트리구조로 반복 적용하거나, 반복 적용된 상태와 동일한 효과를 지니는 변형된 시스템에 의해서 처리하여 구성된다. 따라서 넓은 의미에서 분할대역 필터군의 분해/합성 과정 전체를 하나의 시스템으로 간주하여 시스템에서 발생할 수 있는 각종 손상과 이에 대한 대응 기법들을 살펴보자. 분할대역 분해에 대한 연구가 진행됨에 따라 분할대역 분해/합성시 발생하는 손상들은 다음과 같이 분류된다[10, 15]. 이를 살펴보면, 이상적인 대역통과 필터의 구현이 불가능함에 따라 발생하는 주파수 겹침에 의한 손상(aliasing distortion), 분해/합성 시스템의 이득이 모든 주파수 성분에 대해 균일하게 유지되지 못함에 따른 진폭손

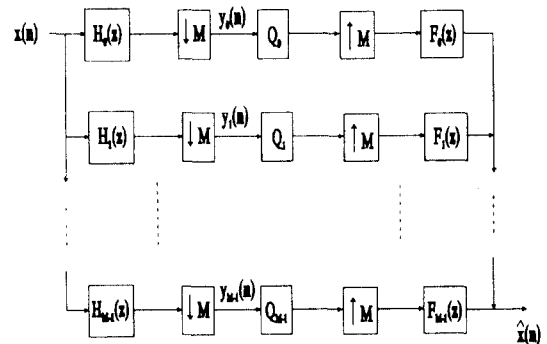


그림 2. M대역 분할대역 분해/합성 과정.

상(amplitude distortion), 그리고 전체적인 시스템의 위상 특성이 선형성을 갖지 못함에 따라 분해/합성을 거치게 되면 주파수 성분별로 지연(delay)되는 양이 다르기 때문에 시각적인 측면에서 손상을 가져오는 위상 손상(phase distortion) 등이 중요한 의미를 지니는 것으로 알려져 있다. 또한 손상으로 볼 수는 없지만 전체 시스템을 거치게 될 때 발생하는 지연(system delay)도 분할대역 필터군의 평가요소가 된다.

이를 정리해 보면, 분할대역 필터군에서의 새가지 손상, 즉 주파수 겹침, 진폭, 위상 손상이 없는 분할대역 필터군의 설계가 중요함을 알 수 있다. 따라서 다양한 연구 과정을 통하여 이러한 손상들을 제거하여 분해/합성 과정을 거친 이후에도 원래 신호의 복원이 가능한 완전 복원(perfect reconstruction: PR) 성질을 지닌 필터들이 제안되어 왔으며[9, 10], 이러한 완전복원 성질의 보유 여부가 넓은 의미의 분할대역 필터군을 분류함에 있어서(특히 영상 부호화 분야에서) 매우 중요한 의미를 지닌다. 한편, '변환'이라는 용어는 입력 신호에 각종 변환들을 적용하는 경우 적용했던 변환들의 역과정 즉 역변환들을 적용하면 원상 회복이 가능하다는 의미를 지니고 있다. 부연하면 변환이라는 용어는 완전복원 성질을 내포하고 있으며, 이는 본 논문에서 주목하는 블록 변환, 겹침 변환, 그리고

웨이브릿 변환 모두가 완전복원 성질을 가지고 있음을 의미하는 것이다. 그러므로 완전복원 성질의 보유 여부에 주목하면서 본 논문에서 다루고 있는 각종 변환과 분할대역 분해/합성을 위한 필터군간의 상호 관계는 그림 3과 같은 구분이 가능하다[9-11, 16]. 그림 3을 살펴보면, 완전복원 필터군의 핵심요소의 하나로 2.2절에서 설명될 PU(para-unitary) 분할대역 필터군이 있으며, 이는 변환의 측면에서는 인접블록으로 블록 변환을 확장한 겹침 변환에 해당된다[10]. 또한 겹침 변환에는 변환 전후의 에너지 총합을 일정하게 유지하는 단위(unitary 또는 orthonormal) 변환이 존재하며, 단위 변환은 블록 변환에 포함된다[17]. 또한 웨이브릿 변환도 완전복원성을 지니는 분할대역 필터군에 정규성(regularity)을 추가하여 부드러움(smoothness)을 강조한 형태로 분류할 수 있다[11, 16].

2.2 PU 분할대역 필터군 (겹침 변환)

한편, 완전복원 성질을 지니는 필터군에 대한 체계적인 분류는 [9, 10] 등에서 정리되었으며, 이를 그림 4에 제시한 M 대역 분해필터군의 분해 필터군 $E(z)$, 합성필터군 $R(z)$ 의 다상(polyphase) 구현 시스템에서 분석해 보면 다음과 같이 정리된다. 먼저 완전복원 분할대역 필터군의 최상위 단계에는 완전복원을 만족시키는 모든 FIR $E(z)$ 이 위치하며, 이의 부분집합으로 $\det E(z)$ 가 최소 위상 성질을 지녀서 $R(z) = E^{-1}(z)$ 로

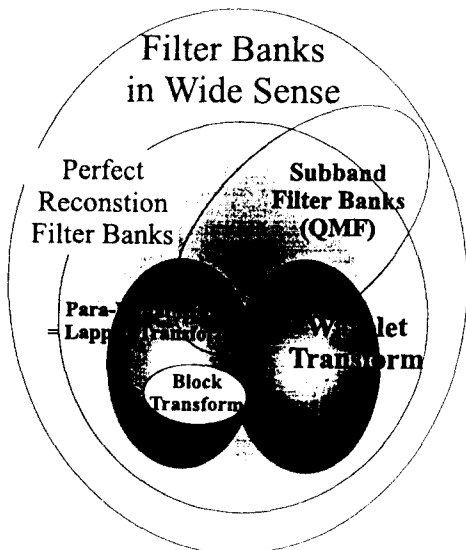


그림 3. 넓은 의미의 분할대역 필터군의 분류.

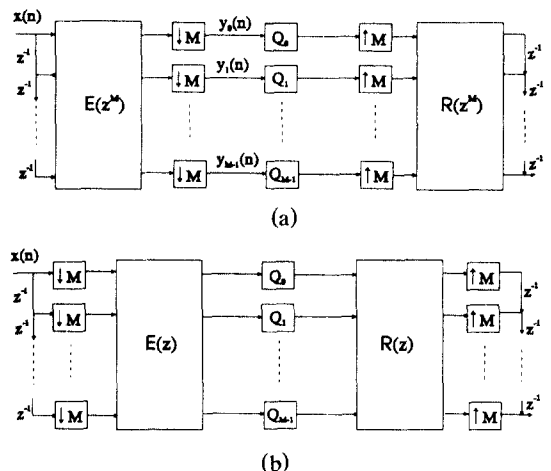


그림 4. M 대역 필터군의 다상(polyphase) 구현과 등가 구조. (a) 다상 구현. (b) 등가구조.

구성되는 합성 필터군이 안정성을 지니는 부류가 있다. 또한 $\det \mathbf{E}(z) = \text{delay}$ 인 성질을 지녀서 합성 필터군이 FIR 필터로 구현되는 경우와 분해/합성 필터군이 동일한 길이의 FIR 필터로 형성되는 경우의 순서로 부류가 형성된다.

다음 단계로 완전복원 필터군의 핵심에 그림 4의 등가 구조에서 $\mathbf{E}(z^{-1})\mathbf{E}(z) = \mathbf{dI}$ 와 같은 관계식을 만족하는 PU 필터군이 존재한다. PU 필터군은 무손실(loseless), 인과성(causal) 그리고 안정성이 결합되어, 완전복원 필터군 중에서 직교성을 만족시키는 필터군을 지칭한다. 즉 입력 신호의 에너지 합과 출력 신호의 에너지 합을 보존하여 변환상의 양자화 오차와 복원 신호의 양자화 오차가 일치하며, 합성, 분해 필터의 길이가 같으며 서로 유도(time-reversal & conjugation)된다. 또한 직렬(cascade) 구조 구현시 곱셈기 양자화에 상관없이 완전복원이 유지되며 계산량 감소 성질을 지닌다. 이러한 겹침 변환은 블록 변환과 달리 필터 길이에 제한을 받지 않으므로 주파수 특성을 개선 가능한 필터군으로서 겹침 변환에 해당되는 선형 위상의 LOT, GenLOT와 비선형 위상의 MLT, ELT가 모두 이에 해당된다. 또한 웨이브릿 변환과는 직교 기저들에 의한 웨이브릿 변환이 PU 필터군에 포함된다. 이러한 PU 필터군은 [18]에 의해 영상 부호화에 중요한 선형 위상을 지니는 선형위상 PU M대역 분할대역 필터군의 일반형이 정리되어 있으며, 최근에는 GenLOT와 같이 선형위상 PU M 대역 분할대역 필터군의 DCT 기반 고속 알고리즘이 제안된 바도 있다[14].

한편, 이러한 성질을 지니는 PU 필터군은 변환의 측면에서는 인접블록으로 블록 변환을 확장한 겹침 변환에 해당된다[10]. 겹침 변환은 원래 변환 부호화 기법의 큰 약점으로 알려져 있는 블록 가장자리에서의 비연속성에 의한 시각적 손상인 블록화 현상(blocking effect)[1, 17]에 대한 대응책으로 발전되었다[3, 4, 12-14]. 겹침 변환은 겹침의 범위를 넓혀감에 따라서 LOT, MLT, ELT, GenLOT 등으로 분류되며, LOT, GenLOT 계열이 선형 위상 특성을 지니고 있으며, MLT, ELT 계열은 비선형 위상 특성을 지닌다. 특히 MLT는 [19]에 의해 제안된 TDAC(time domain aliasing cancellation) 기법의 일명 Princen-Bradley 변환에서 출발한 변환으로 다양한 관련 연구들이 있다[12, 19-23]. 참고로 영상 부호화 측면에서 겹침 변환에 적용되는 기법은 2.3

절의 블록 변환에 대한 부호화 기법이 변함없이 적용되게 된다.

2.3 블록 변환

일반적으로 영상 부호화에서 변환이라는 단어는 블록 단위로 이루어지는 선형, 가역의 변형 과정인 블록 변환(orthogonal transform)을 의미하며, 입력 신호의 차수와 동일한 변환 필터의 차수를 가진다. 그림 5에 제시한 바와 같이 변환 부호화에서는 영상을 블록 단위로 분할한 후에 각각의 블록들에 대해 독립적으로 변환 \mathbf{T} 를 수행하고, 변환된 계수 $y(n)$ 들을 양자화하여 전송하는 방식을 취하고 있다. 그리고 영상으로의 복원을 위해서는 역변환 \mathbf{T}^{-1} 을 이용하여 양자화 과정이 없다면 완전복원 성질을 지니게 되며, 여기서 직교성이란 수식적으로는 $\mathbf{T}^T\mathbf{T} = \mathbf{I}$ 즉 $\mathbf{T}^{-1} = \mathbf{T}^T$ 가 만족됨을 의미한다. 그리고 입력신호와 변환된 계수 상태의 에너지가 일정하게 유지되는 경우를 단위 변환이라고 구분하기도 한다[17].

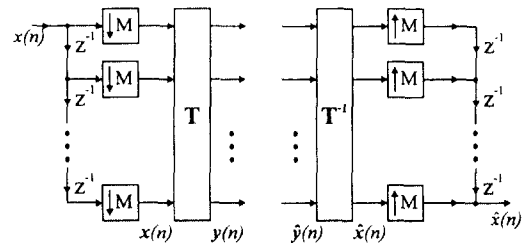


그림 5. 블록 변환을 이용한 부호화/복호화기 구조.

그리하여 블록 변환에 의한 에너지 집중을 이용한 부호화는 대표적인 영상 부호화 기법으로 자리잡고 있다[1, 17]. 그런데 블록 변환을 영상 부호화에 활용함에 있어서 집중효과에 의한 압축이득을 부호화이득(coding gain)으로 정의하여 이를 최대화시킬 수 있는 변환 기법을 선택하는 것이 중요하며, 넓은 의미의 정체성(wide sense stationary: WSS) 신호원에 대해서는 신호의 자기상관(auto correlation) 행렬의 고유벡터(eigen vector)로 구성되는 이론적으로 최적인 KLT(Karhunen-Loeve transform)가 존재한다. 하지만 KLT는 입력에 따라 변경이 필요한 구현상의 약점을 지니고 있기 때문에 이를 근사적으로 대체하는 DCT가 제

안되어 널리 이용되고 있다[17]. 이외에도 다양한 블록 변환 기법이 있지만 영상 부호화에 있어서 DCT의 위치는 거의 독보적이다. 그리고 변환 부호화에서 블록 크기의 결정에는 에너지 집중 특성, 구현상의 문제점을 감안하여 8×8 이나 16×16 크기가 널리 이용된다.

2.4 좁은 의미의 분할대역 필터군(QMF)과 웨이브릿 변환

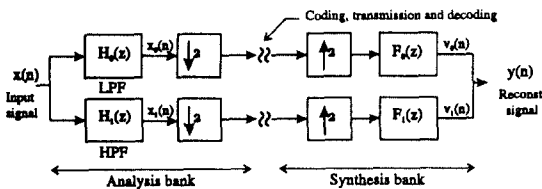


그림 6. 2대역 QMF 분할대역 분해/합성 과정.

분할대역 기법을 M 개의 분할대역 분해/합성으로 일반화하면, 그림 2와 같이 M 개의 선형 대역통과 필터군으로 분해, 간축, 보간, 합성의 과정에 의해 원 신호를 M 개의 분할대역 신호들로 분해하고 다시 합성하는 기법을 지칭한다[2, 10]. 그런데, 분할대역 필터군의 실제구현에 있어서는 주파수 분해에 사용하는 대역의 수 $M=2$ 인 그림 6과 같은 경우가 가장 보편적인 구성이다. 이와 같이 2 대역으로 분해하는 기법은 주파수 겹침에 의한 손상을 저울의 대칭성을 이용한 필터 설계에 의해서 상쇄하도록 고안된 QMF로부터 시작하였다[24, 25]. 따라서 QMF라는 명칭이 분할대역 필터군 전체를 호칭하는 용어로 혼용되기도 하며, QMF 중에서는 완전복원에 근사하는 성질을 지닌 Johnston의 QMF 들이 가장 널리 알려져 있다[25]. 그림 3에서 QMF로 대표되는 좁은 의미의 분할대역 필터군에는 완전복원 성질을 만족시키지 못하는 부류들을 발견하게 되며 이에 는 상기한 Johnston의 QMF 등이 포함된다. 이어서 전술한 주파수 겹침, 진폭, 위상 손상을 제거할 수 있는 완전 복원 성질을 갖는 필터군들이 2대역 경우에 대해서 CQF(conjugate quadrature filter)[26]를 위시하여 계속적으로 개발되었다[27, 28]. 그리고 M 개의 분할대역을 직접적으로 얻기 위한 기법들로 가상(pseudo) QMF 기법[29, 30], 다상 구현에

의한 완전복원 기법[31, 32], 여현파 변조(cosine modulation)에 의한 완전복원 기법[33] 등의 순서로 제안되었다. 특히 여현파 변조에 의한 완전복원은 겹침 변환의 ELT에 해당되는 상관관계를 지니고 있다[13, 33-35].

STFT(short-time Fourier transform)에서 수행되는 일률적인 균등 대역 분해를 개선하도록 불균일한 대역 분해를 하는 개념적인 특성을 지니는 웨이브릿 변환은 완전복원 분할대역 필터군의 특별한 부류로서 보다 부드러운 재생을 보장하는 정규성을 추가적으로 지닌다[7]. 즉, 크게 보면 그림 3에 제시한 바와 같이 웨이브릿 변환은 완전복원 분할대역 필터군에 포함되며, 영상 부호화에 효과적인 성질들을 추가적으로 지닌다[36-38]. 또한 웨이브릿 변환은 저주파 대역과 고주파 대역을 차별적으로 분해하는 성질에서 유래한 계층성이 다중해상도의 영상 부호화에 부합한다. 구체적으로 직교성을 지니는 직교 웨이브릿(orthogonal wavelet)에는 대표적으로 compactly support 성질을 지니는 Daubechies 웨이브릿[7]이 있으며, compactly support 성질과 직교성을 동시에 지니는 경우에는 분해 필터가 비선형인 제약이 있다. 그리하여 직교성을 약간 약화시켜서 분해 필터군내에서 직교성을 지니는 것이 아니라 분해/합성 필터군간에 직교성을 갖도록 함에 의해 선형 위상을 확보한 biorthogonal 웨이브릿 필터가 제안되었다[37, 39].

한편, 분할대역 분할이나 웨이브릿 변환이 이루어진 영상 신호는 분할된 대역이 갖는 공간 주파수 특성에 따라 대역별로 고유의 특성을 지니게 된다. 따라서 분할대역 영상 부호화 기법에서는 대역의 특성에 따른 부호화 방식 변경을 통해 효과적인 영상 부호화를 할 수 있다[40]. 그러므로 영상부호화의 측면에서 분할대역 필터군이나 웨이브릿 변환의 필터 설계 고려해야 할 사항들을 고찰해 보는 것은 매우 유의할 것이다[15, 41]. 먼저 분해/합성 과정 자체에 의한 입력 영상과의 차이를 제거할 수 있도록 하는 1절에서 설명한 완전복원 또는 이에 준하는 특성은 기본적인 조건이다. 또한 주파수 대역별로 분할된 계수들이 지니는 에너지 집중(energy compaction) 성능이 가장 중요한 설계 사항이다. 따라서 에너지 집중에 따른 부호화 이득(coding gain)을 최대화하는 필터군의 설계 기법에 관련된 연구가 매우 활발하게 진행되어 왔다[38, 42-45]. 그리고 완전복원 성질과 함께

분해/합성 필터군 각각이 선형 위상이 되어야 영상 부호화에 유리하다[45]. 여기서 전복원에 의한 위상 손상의 제거는 시스템 전체의 위상 손상을 의미하므로 분해된 주파수 대역 신호들에 대한 선형 위상은 별도의 성질임에 주목할 필요가 있다. 또한 양자화 잡음은 이러한 잡음을 고려한 상태에서 최적의 필터

군을 모색하도록 하는 동기를 제공하고 있으며, 이를 위한 시도들은 [46, 47] 등에서 찾아볼 수 있다. 이외에도 공간적인 국부화 성질(spatial localization), 주파수 선택성(frequency selectivity), 정규성(regularity)에 대한 고려도 필요하다.

그리고 분할대역을 몇개의 주파수 대역으로 분해하는 문제, 분해하는 주파수 대역의 형태(대역폭), 그리고 사용하는 필터의 세부적인 특성 및 구현 효율성도 중요한 변수가 된다. 그러므로 적절한 주파수 특성을 지니는 대역들로 분해하는 형태가 중요성을 지니며, 좁은 의미의 분할대역 분해의 주파수 대역 분해 형태는 그림 7(a)에 제시한 트리구조에 의한 균등 분해 형태로 대표된다. 한편, 저주파 대역과 고주파 대역을 차별적으로 분해하는, 즉 저주파 대역을 트리구조로 반복적으로 추가 분해하는 그림 7(b)와 같은 분해 형태가 웨이브릿 변환에 의한 주파수 대역 분해로 대표되며, 이 형태에는 옥타브(octave) 또는 피라미드(pyramid) 대역 분해이라는 별칭도 있다. 하지만, 분할대역 필터군이나 웨이브릿 변환에 상관없이 그림 6에 제시한 2 대역 분해 시스템이 그림 7(a)와 그림 7(b) 모두에서 일반적으로 사용된다는 점은 주목할 만하다. 즉 웨이브릿 변환에 의한 대역 분해에 있어서도 실제적인 구현은 상기한 트리구조의 대역 분해를 널리 이용함을 의미하는 것이다.

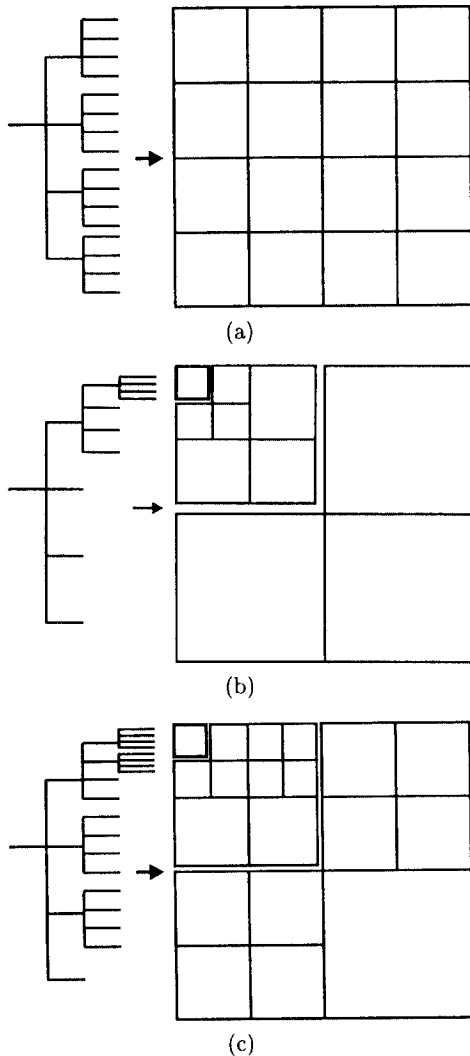


그림 7. 트리구조에 의한 각종 분할대역 기법들의 주파수 대역 분해 형태의 비교. (a)균등 대역 분해 형태(분할대역 필터군의 대표적인 분해 형태). (b)웨이브릿(wavelet = pyramid = octave) 대역 분해 형태 (웨이브릿 변환). (c)웨이브릿 패킷 대역 분해 형태.

2.5 변환과 분할대역 필터군, 웨이브릿 변환간의 상호관계

먼저, 블록 변환, 검침 변환 등 블록 변환에 근거한 영상 부호화 기법은 블록의 각 계수들이 지니는 주파수 영역에서의 선택성에 따른 부호화 기법의 변화(양자화) 등에 크게 의존하고 있다. 한편 분할대역 필터군/웨이브릿 변환에서는 영상 전체에 대한 주파수 대역 분해 과정이 이루어진 다음에, 각각의 주파수 대역 신호를 독립적으로 부호화 하는 기법, 각 대역에 걸친 상관성을 활용하기 위하여 대역간의 연결을 간접적으로 하는 방식, 그리고 직접적으로 각 대역의 동일 위치 계수들을 모아서 부호화하는 방식 등으로 분류될 수 있다[48].

그런데 블록 변환, 분할대역 필터군, 웨이브릿 변환 각 방식들에 의해 변환된 계수들간에는 주파수 대역을 분해하는 기법상의 공통점에 의해 상관관계가 존

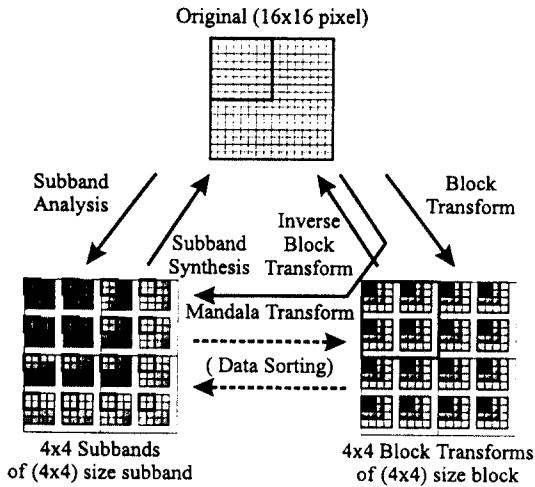


그림 8. 블록 변환과 분할대역 분해간의 계수 관계.

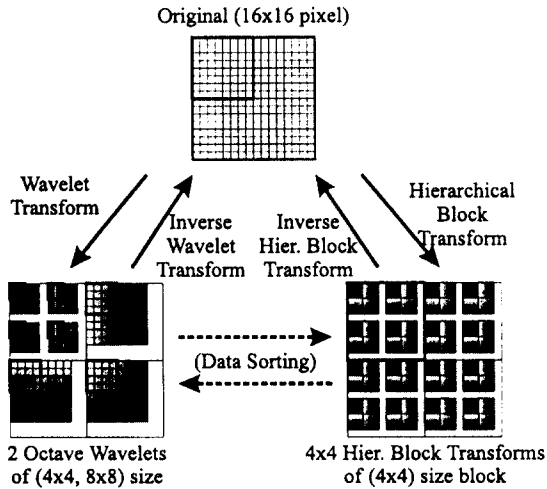


그림 9. 계층적 블록 변환과 웨이브릿 변환간의 계수 관계.

재한다. 이를 개념적으로 파악할 수 있도록 하기 위해 블록 변환과 그림 7(a)에 제시한 균등 대역 분할 간의 상호 관계를 파악할 수 있도록 하는 그림 8에 변환과 분할대역 계수간의 상호 관계를 도식적으로 나타내었다. 이를 살펴보면, 변환 기반의 부호화 기법과 분할대역 필터군/웨이브릿 변환 기법 부호화 기법이 위의 상관관계를 통하여 서로 교환 사용될 수 있음을

확인할 수 있다[49]. 또한 계층적 블록 변환과 웨이브릿 변환 계수간의 상관관계를 그림 9에 제시하였으며, 동일한 원리로 부호화 방식의 교환이 가능함을 확인할 수 있다[50]. 참고로 그림 8과 그림 9에서 사용한 블록 크기 및 분할대역의 갯수는 대응관계를 설명하기 위해 특별히 선택했음을 밝힌다.

III. 각종 변환의 확장 기법들

3.1 계층적 블록, 가변크기 블록, 임의형태 블록 변환으로의 확장

먼저, 웨이브릿 변환 등에 결부된 다중해상도 표현과의 관계되어 계층화된 변환 기법들이 제안되어 왔으며[51, 52], 이는 점진적인 전송 목적의 피라미드 분할 기법과 관련되어 발전해 왔다[53, 54]. 또한, 변환에 사용하는 블록 크기를 변화시켜서 적응적인 블록 크기로 변환함에 따른 이득을 얻는 가변크기 블록 변환이 있으며, 적응적인 블록 크기를 사용함으로써 국부 영역의 세밀도에 따른 부호화 효과를 도모한다[5]. 즉 균일하거나 텍스처(texture) 영역에 대해서는 큰 블록 크기가 선택되고, 가장자리나 강한 대비(contrast)를 보이는 영역에 대해서는 작은 블록 크기를 선택하여 블록화 현상에 의한 손상을 줄이는 것이다. 이러한 가변크기 블록 변환 기법은 Chen[5]에 의해 최초로 시도되었으며, [55]에서는 DQT(differential quadtree transform)에 의한 가변크기 블록 변환 기법이 제안되었다. 겹침 변환으로의 확대는 가변크기 블록 Princen-Bradley 변환에서 시작되어[56], 계층적 MLT 기법까지 확장되어 있다[57]. 또한 최근에는 MPEG-4의 객

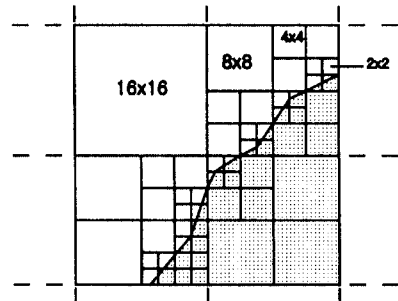


그림 10. 가변크기 블록 변환에 의한 블록 분할.

채지향 부호화 등에서 형성되는 다양한 형태의 영역을 부호화하기 위하여 고정된 형태를 갖고 있지 못하는 경우에도 적용할 수 있는 임의의 형태(arbitrary shape) 블록에 대한 연구도 활발하게 진행되고 있다[58].

3.2 벡터 변환과 벡터 필터군

벡터 변환은 기존의 블록 변환에서는 블록내의 계수들의 상관성 제거하는데 반해서 벡터 내부는 상관성을 제거하지 않고 이를 차후의 벡터 양자화 과정에서 활용하도록 보존함과 동시에 벡터간의 상관성을 제거하는 데 초점을 두는 변환이다[6, 13]. 그리하여 그림 11(a)에 제시한 기존의 변환영역 벡터 양자화의 대안으로 그림 11(b)에 제시한 구조로 변환과 벡터양자화 과정을 결합함으로써 부호화의 효율성을 이용하는 방식이 제안되었다[60]. 그리고 최적의 벡터 변환을 발견하기 위한 노력들이 계속되어 최적의 단위(unitary) 벡터 변환은 대부분 존재하기 어려워서 준 최적 벡터 변환으로 대체해야 한다는 정도로 알려지고 있다[61, 62]. 또한, 벡터 필터군에 있어서는 벡터 변환과 동일한 개념이 확장되어 벡터 필터군 및 벡터 웨이브릿 변환 등이 제안되고 있으며[63, 64], 이를 보다 일반화해서 벡터 기반 신호처리 개념으로 발전하고 있다[65].

3.3 선형 시변 필터군

선형 시변 필터군은 비정체적인(non-stationary) 입력 신호를 분할(partition)하여 정체적으로 만들어 처리하는 적응적인 필터군을 의미하며, 그림 12에 제시한 바와 같이 필터군이 적응적으로 변화되는 특성을 지닌다. 시변 필터군이 완전복원 성질을 갖도록 하는 방법이 현재 활발히 연구되고 있다[15, 66]. 이러한 선형 시변 필터군에는 다양한 유형들이 제안되고 있으며, 적용화된 분할대역 분해와 시간-주파수 평면의 임의 배열(tiling)에 의해서 적응적인 영상 부호화로 연결되기 때문에 최근 들어 많은 응용 논문들이 발표되고 있다. 이러한 선형시변 필터군의 대표적인 예로 필터군을 위한 가장자리 확장 방식에서 적응화를 하는 크기가 제한된 필터군[67], 직교 가장자리(boundary) 필터군[67], 겹침 변환 및 가변 블록 크기 변환의 적응화에 해당하는 필터군[68, 69], 웨이브릿 변환 기반의 적응적인 대역 분해를 수행하는 웨이브릿 패킷[70-72] 등이 있다. 이 중에서 웨이브릿 패킷은 [70]에서 처음 제안된 것으로 그림 7(c)와 같이 고정된 주파수 대역 분해가 결정되어 있는 것이 아니라 입력 신호의 특성에 부합하도록 주파수 대역 분해를 선택적으로 결정하는 방식이다.

또한, 이러한 선형 시변 필터군을 시간-주파수 영역

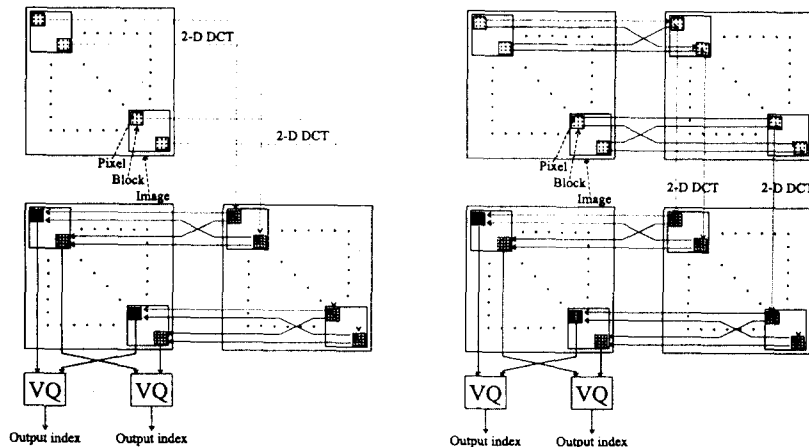


그림 11. (a) Mandella 변환에 의한 DCT 변환 벡터 양자화의 구조. (b) 벡터 변환에 의한 벡터 양자화의 구조.

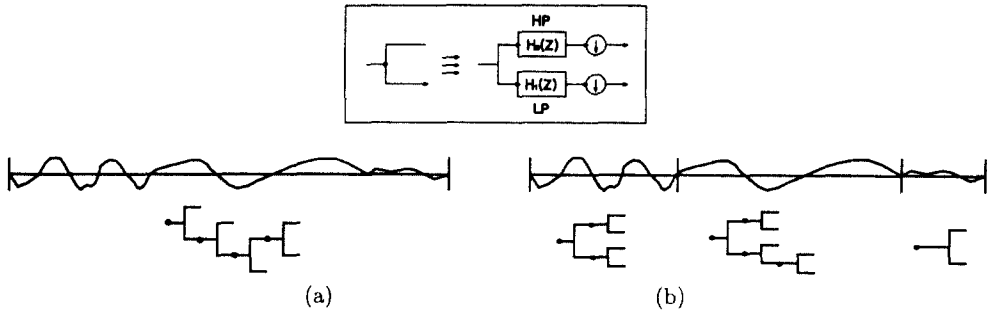


그림 12. 선형 필터군에 의한 주파수 대역 분해 비교. (a) 시변 트리구조 확대(expansion). (b) 시변 트리구조 확대.

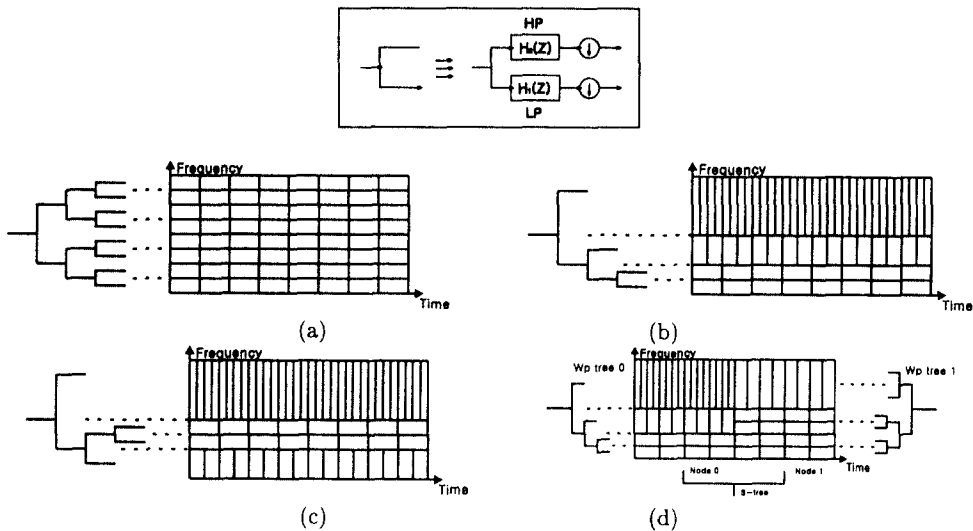


그림 13. 각종 시간-주파수 대역 분해의 배열 형태 비교. (a)STFT 트리구조 배열. (b)웨이브릿 배열. (c)웨이브릿 패킷 배열의 일례. (d)공간-시간 웨이브릿 패킷 배열의 일례.

의 분해 형태에 따라 분류하면, 일률적으로 균등하게 대역 분해를 진행하는 STFT 트리구조 배열, 저주파 대역을 반복적으로 세분하는 웨이브릿 배열, 주파수 대역만의 트리구조임을 의미하는 단독트리(single tree) 구조의 웨이브릿 패킷 배열, 그리고 공간 및 주파수에 걸친 분해를 최적화하는 이중트리(double tree) 방식에 의한 일반화된 공간-시간 웨이브릿 패킷 배열로

구분할 수도 있다[73]. 참고로 그림 13에 상기한 배열들의 전형적인 형태를 제시하였으며, 이로부터 입력 신호를 국부적인 영역(공간) 및 주파수 특성(시간)에 대한 동시에 최적화할 수 있도록 분해하고자 하는 시간-주파수 분해 기법의 가능성을 짐작할 수 있다.

또한 상기한 시변 필터군이 지니는 적응성을 확보하기 위해서는 입력 신호의 특성에 부합하는 최적의

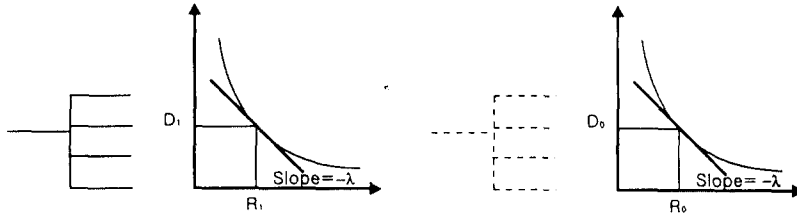


그림 14. R-D 최소화에 의한 웨이브릿 패킷 형성의 기본원리
 라 $(D_1 + \lambda R_1 > D_0 + \lambda R_0)$ 이면 상위 단계 트리만으로 간소화됨).

주파수 대역 분해 형태를 위한 트리구조 결정이 중요한 문제로 대두되었으며, 이를 위하여 웨이브릿 패킷 등 분해 방식에서는 그림 14에 제시한 바와 같은 전송률-왜곡치(rate-distortion:R-D) 비교를 수행하는 방식이 널리 이용되고 있다[74].

IV. 결 론

본 논문에서는 변환의 일반화라는 접근 기법에 의해서 최근 다양하게 연구되고 있는 블록 변환, 겹침 변환, 벡터 변환, 선형 시변 필터군, 웨이브릿 패킷 등의 상관 관계를 체계화하는 시도를 수행하였다. 그리하여 최근 정립되고 있는 일반화된(generalized) 선형 변형(linear transformation)의 개념하에서 블록 변환,

겹침 변환, 웨이브릿 변환 및 완전복원 분할대역 필터군을 통합하여 고찰할 수 있었으며[75, 76], 일반화된 변환들을 확장하는 추세가 계층적 블록, 가변크기 블록, 그리고 임의의 형태 블록으로 확장, 벡터단위의 확장, 그리고 고정된 분해 형태가 아니라 입력의 특성에 따라 가변되는 선형 시변 형태로의 확장 등으로 발전하고 있음을 확인할 수 있었다. 그 결과 각종 변환 기법이 확장 발전하고 있는 상태를 그림 15와 같이 정리해 보았다. 이러한 결과를 참고로 하여 일반적으로 변환 기법 전반에 걸친 상관관계를 통해서 기존의 각종 부호화 기법들을 상호 비교 분석한다면, 각각의 변환 기법에 대해서 효과적으로 적용되고 있는 영상 부호화 기법을 상호 적용함으로써 고능률의 영상 부호화 시스템을 개발함에 일조 하리라고 기대된다.

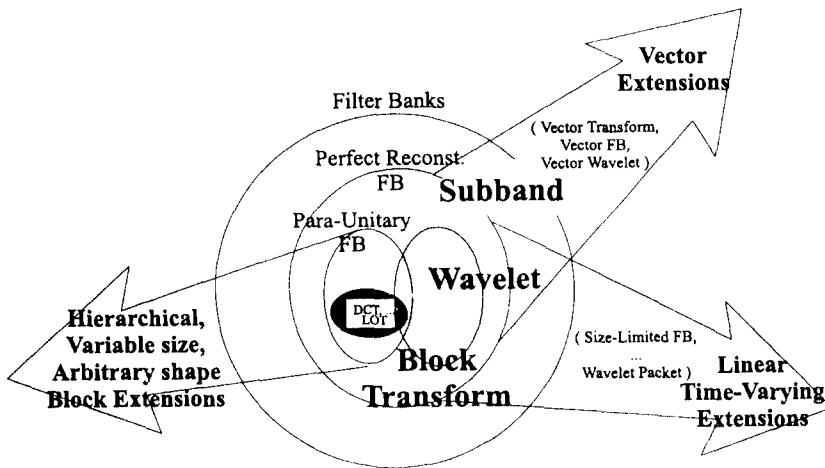


그림 15. 변환의 일반화 시점에서 본 기존의 변환 기법들.

참 고 문 헌

1. R. Clarke, *Transform Coding of Images*. New York, NY, USA: Academic Press, 1985.
2. J. Woods *et al.*, *Subband coding of images*, Boston, USA: Kluwer Academic Publishers, 1990.
3. P. M. Cassereau, D. H. Staelin, and G. de Jager, "Encoding of images based on a lapped orthogonal transform," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-37, pp. 189-193, Feb. 1989.
4. H. S. Malvar and D. H. Staelin, "The LOT: Transform coding without blocking effect," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-37, pp. 553-559, Apr. 1989.
5. C. T. Chen, "Adaptive transform coding via quad-tree-based variable blocksize DCT," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Glasgow, Scotland), pp. 1854-1857, May 1989.
6. W. Li, "Vector transform and image coding," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-1, pp. 297-307, Dec. 1991.
7. I. Daubechies, "Orthonormal bases of compactly supported wavelets," *Commun. Pure Appl. Math.*, vol. 41, pp. 906-996, Nov 1988.
8. V. Nuri and R. H. Bamberger, "Size-limited filter banks for subband image compression," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 1317-1323, Sept. 1995.
9. M. Vetterli and D. LeGall, "Perfect reconstruction FIR filter banks: some properties and factorizations," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-37, pp. 1057-1071, July 1989.
10. P. P. Vaidyanathan, *Multirate Systems and Filter Banks*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice-Hall, 1992.
11. R. A. Gopinath and C. S. Burrus, "A tutorial overview of filter banks, wavelets and interrelations," in *Proc. IEEE Internat. Symp. Circuits and Syst.*, (Chicago, IL, USA), pp. 104-107, May 1993.
12. H. S. Malvar, "Lapped transforms for efficient transform/subband coding," *IEEE Trans. Acoust., Speech and Signal Proc.*, vol. ASSP-38, pp. 969-978, June 1990.
13. H. S. Malvar, "Modulated QMF filter banks with perfect reconstruction," *Electronic Letters*, vol. 26, pp. 906-907, June 1990.
14. R. L. Queiroz, T. Q. Nguyen, and K. R. Rao, "The GenLOT generalized linear-phase lapped orthogonal transform," Accepted by *IEEE Trans. Signal Processing*, 1995.
15. K. Nayebi, T. P. Barnwell, and M. J. T. Smith, "Time-domain filter bank analysis: A new design theory," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-40, pp. 1412-1429, June 1992.
16. Y. Liu and A. N. Akansu, "An evaluation of time-frequency localization in transforms and filter bank," in *ICASSP'93 [77]*, pp. III-261-III-264.
17. K. R. Rao and P. Yip, *Discrete Cosine Transform: Algorithms, Advantages, Applications*. San Diego, CA, USA: Academic press, 1990.
18. A.K. Soman, P. P. Vaidyanathan, and T. Q. Nquyen, "Linear phase paraunitary filter banks: Theory, factorizations and designs," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-41, pp. 3480-3496, Dec. 1993.
19. J.P. Princen and A. B. Bradley, "Analysis/synthesis filter bank based on time domain aliasing cancellation," *Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-34, pp. 1153-1161, Oct 1986.
20. J.P Princen, A. W Johnson, and A. B. Bradley, "Subband/transform coding using filter bank designs based on time domain aliasing cancellation," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Dallas, TX, USA), pp. 2161-2164, Apr. 1987.
21. H. Schiller, "Overlapping block transform for image coding preserving equal number of samples and coefficients," in *Visval Commun. and Image Proc.'88*, (Cambridge, MA, USA), pp. 834-839, Nov 1988.
22. T. D Lookabaugh and M. G. Perkins, "Application of the Princen-Bradley filter bank to speech and image Compression," *IEEE Trans. Acoust.*,

- Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-38, pp. 1914-1926, Nov. 1990.
23. M. Temerinac and B. Edler, "LINC: A common theory of transform and subband coding," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-41, pp. 266-274, Feb. 1993.
 24. A. Croisier, D. Esteban, and C. Galand, "Perfect channel splitting by use of interpolation/decimation/tree decomposition techniques," in *Proc. Int. Symp. on Info., Circuits and Systems*, (Patras, Greece), pp. 432-441, 1976.
 25. J.D. Johnston, "A filter family designed for use in quadrature mirror filter banks," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, pp. 291-294, Apr. 1980.
 26. M. J. T Smith and T. P Barnwell, "A procedure for designing exact reconstruction filter banks for tree-structured subband coders," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, pp. 27.1.1-27.1.4, 1984.
 27. F. Mintzer, "Filters for distortion free two-band multirate filter banks," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-33, pp. 626-630, June 1985.
 28. F. Grenez, "Chebyshev design of filters for subband coders," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-36, pp. 182-185, Feb. 1988.
 29. H. J. Nussbaumer, "Pseudo QMF filter bank," *IBM Tech. Disclosure Bulletin*, vol. 24, pp. 3081-3087, Nov. 1981.
 30. R. V. Cox, "The design of uniformly and nonuniformly spaced pseudo QMF," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-34, pp. 1090-1096, Oct. 1986.
 31. P. P Vaidyanathan, "Theory and design of M-channel maximally decimated quadrature mirror filters with arbitrary M, having the perfect-reconstruction property," *IEEE Trans. Acoust., Speech, and Signal Proc.*, vol. ASSP-35, pp. 476-492, Apr. 1987.
 32. P. P. Vaidyanathan, "Quadrature mirror filter banks, M-band extensions and perfect-reconstruction techniques," *IEEE ASSP Magazine*, vol. 4, pp. 4-20, July 1987.
 33. R.D. Koilpillai and P. P. Vaidyanathan, "Cosine-modulated FIR filter banks satisfying perfect reconstruction," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 40, pp. 770-783, Apr. 1992.
 34. H. S. Malvar, "Extended lapped transform: fast algorithm and applications," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Toronto, Canada), pp. 1797-1800, May 1991.
 35. H. S. Malvar, "Extended lapped transform: properties, applications, and fast algorithms," *Trans. Signal Processing*, vol. 40, pp. 2703-2714, Nov. 1992.
 36. B. E. Usevitch and M. T Orchard, "Smooth wavelets, transform coding, and Markov-1 processes," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-43, pp. 2561-2569, Nov 1995.
 37. J. D. Villasenor, B. Belter, and J. Liaoi "Wavelet filter evaluation for image compression," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 1053-1060, Aug. 1995.
 38. G. Calvagno, G A. Mian, and R. Rinaldo, "Computation of the coding gain for subband coders," *IEEE Trans. Commun. Technol.*, vol. COM-44, pp. 475-487, Apr. 1996.
 39. S. M. Phoong, C. W. Kim, P. P. Vaidyanathan, and R. Ansari, "A new class of two-channel biorthogonal filter banks and wavelet bases," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-43, pp. 649-665, Mar. 1995.
 40. N. Jayant and P. Noll, *Digital Coding of Waveform*. Englewood Cliffs, NJ, USA: Prentice Hall, 1984.
 41. H. Caglar, Y Liu, and A. N. Akansu, "Optimal PR-QMF design for subband image coding," *Journal of Visual Communication and Image Representation*, vol. 4, pp. 242-253, Sept. 1993.
 42. J. Katto and Y. Yasuda, "Performance evaluation of subband coding and optimization of its filter

- coefficients," in *VCIP'91* [78], pp. 95-106.
43. S. O. Aase and T. A. Ramstad, "On the optimality of nonunitary filter banks in subband coders," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 1585-1591, Dec. 1995.
 44. G. Evangelista, "The coding gain of multiplexed wavelet transform," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-44, pp. 1681-1692, July 1996.
 45. O. Egger and W. Li, "Subband coding of images using asymmetrical filter banks," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 478-485, Apr. 1995.
 46. P. H. Westerink, J. Biemond, and D. E. Boekee, "Scalar quantization error analysis for image subband coding using QMF's," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-40, pp. 421-428, Feb. 1992.
 47. S. Srinivasan, "Design of optimal cascaded multi-rate filter banks in the presence of quantization," in *Proc. Internat. Conf. on Image Processing*, (Lausanne, Switzerland), pp. 1-617-1-620, Sept. 1996.
 48. P. C. Cosman, R. M. Gray, and M. Vetterli, "Vector quantization of image subbands: A survey," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-5, pp. 202-225, Feb. 1996.
 49. P. Westerink, D. Boekee, J. Biemond, and J. Woods, "Subband coding of images using vector quantization," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-36, pp. 713-719, June 1988.
 50. R. de Queiroz, C. K. Choi, Y. Huh, and K. R. Rao, "Wavelet transforms in a JPEG-like image coder," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CASVT-7, pp. 419-424, Apr. 1997.
 51. K. Takikawa, "Fast progressive reconstruction of a transformed image," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-30, pp. 111-117, Jan. 1984.
 52. H. S. Malvar, "Efficient signal coding with hierarchical lapped transforms," in *Proc. Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Albuquerque, New Mexico, USA), pp. 1519-1522, Apr. 1990.
 53. L. Wang and M. Goldberg, "Pyramid transform coding," *Proc. IEE, Pt. I*, vol. 139, pp. 364-371, June 1992.
 54. K. H. Tan and M. Ghanbari, "Layered image coding using the DCT pyramid," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 512-516, Apr. 1995.
 55. C. U. Lee, "Intraframe compression of HDTV images based on adaptive block size discrete cosine transform," in *Proc. of the Korean Federation of Science and Technology Societies Workshop*, pp. 3-22, May 1992.
 56. T. Mochizuki, M. Yano, and T. Nishitani, "Image coding using adaptive blocksize Prince-Bradley transform," in *VCIP'91* [78], pp. 434-444.
 57. R. W. Young and N. G. Kingsbury, "Video compression using lapped transforms for motion estimation/compensation and coding," in *Visual Commun. and Image Proc.'92*, vol. 1818, (Boston, MA, USA), pp. 276-288, Nov. 1992.
 58. T. Sikora and B. Makai, "Shape-adaptive DCT for generic coding of video," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CSVT-5, pp. 59-62, Feb. 1995.
 59. W. Li, "On vector transformation," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-41, pp. 3114-3126, Nov. 1993.
 60. W. Li and Y.-Q. Zhang, "New insights and results on transform domain VQ of images," in *ICASSP '93* [77], pp. V-609-V-612.
 61. W. Ding, "Optimal vector transform for vector quantization," *IEEE Trans. Signal Processing Letters*, vol. 1, pp. 110-113, July 1994.
 62. X. Xia and B. W. Suter, "On vector Karhunen-Loeve transforms and optimal vector transforms," *IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Tech.*, vol. CASVT-5, pp. 372-374, Aug. 1995.
 63. W. Li, J. Wus, and Y.-Q. Zhang, "VQ-based image coding and vector filter banks," in *Proc. Internat. Conf. on Image Processing*, (Austin, TX, USA), pp. 593-597, Nov. 1994.
 64. X. Xia and B. W. Suter, "Vector-valued wavelets and vector filter banks," Submitted to *IEEE Trans. Signal Processing*, July 1994.

65. W. Li and Y.-Q. Zhang, "Vector-based signal processing and quantization for image and video compression," *Proceedings of the IEEE*, vol. 83, pp. 317-335, Feb. 1995.
66. R. A. Gopinath and C. S. Burrus, "Factorization approach to unitary time-varying filter bank trees and wavelets," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-43, pp. 666-680, Mar. 1995.
67. C. Herley, J. Kovacevic, K. Ramchandran, and M. Vetterli, "Tilings of the time-frequency plane: Construction of arbitrary orthogonal bases and fast tiling algorithms," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-41, pp. 3341-3359, Dec. 1993.
68. R. L. Queiroz and K. R. Rao, "Time-varying lapped transforms and wavelet packets," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. 41, pp. 3293-3305, Dec. 1993.
69. R. L. Queiroz and K. R. Rao, "Variable block size lapped transforms," in *ICIP '95* [79].
70. R. Coifman and V. Wickerhauser, "Entropy-based algorithms for best basis selection," *IEEE Trans. Inform. Theory*, vol. IT-38, pp. 713-718, Mar. 1992.
71. M. J. T. Smith and W. C. Chung, "Recursive time-varying filter banks for subband image coding," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 885-895, July 1995.
72. R. A. Gopinath and C. S. Burrus, "On cosine-modulated wavelet orthonormal bases," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. IP-4, pp. 162-176, Feb. 1995.
73. Z. Xiong, C. Herley, K. Ramchandran, and M. T. Orchard, "Space-frequency quantization for a space-varying wavelet packet image coder," in *ICIP '95* [79].
74. K. Ramchandran and M. Vetterli, "Best wavelet packet bases in a rate-distortion sense," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 2, pp. 160-175, Apr 1993.
75. M. Vetterli and J. Kovacevic, *Wavelets and sub-band coding*, Englewood Cliffs, NJ, USA:Prentice-Hall, 1995.
76. O. G. Guleryuz and M. T. Orchard "Optimized nonorthogonal transforms for image compression," *IEEE Trans. Signal Processing*, vol. SP-6, pp. 507522, Apr 1997.
77. IEEE, Proc. *Internat. Conf. on Acoust., Speech, and Signal Proc.*, (Minneapolis, Minnesota, USA), Apr. 1993.
78. SPIE-The International Society for Optical Engineering, Proc. *SPIE Visual Commun. and Image Proc.* '91, vol. 1605, (Boston, MA, USA), Nov. 1991.
79. IEEE, *IEEE International Conference on Image Processing'95*, (Washington, D.C., USA), Oct. 1995.

金宗源(Jong Won Kim)

正會員

현재:공주대학교 전자공학과 조교수

논문지 제20권 제11호(1995년 11월) 참조



李昌愚(Chang Woo Lee) 正會員

1988년 2월:서울대학교 제어계측 공학과 졸업(공학사)

1990년 2월:서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업 (공학석사)

1996년 2월:서울대학교 대학원 제어계측공학과 졸업 (공학박사)

1996년 3월~1997년 8월:삼성전자 신호처리연구소 선임연구원

1997년 9월~현재:가톨릭대학교 컴퓨터공학부 컴퓨터통신전공 조교수

※주관심분야:영상압축 및 영상신호처리, 음향신호 처리, 통신신호처리