

논문 2005-42SP-6-12

2차원 영상 필터링 효율 향상을 위한 기술연구

(A Study on Improvement of 2-Dim Filtering Efficiency for Image)

전 준 현*

(Joon Hyeon Jeon)

요 약

효과적인 영상의 압축을 위하여 여러 가지 기법들이 연구되고 있는데, 그 중에 2 차원 필터링은 2 차원 영상 처리를 위해 많이 사용되고 있다. 2 차원 영상 필터링은 수평과 수직 방향으로 각각 1 차원 선형 필터를 수행함으로써 구현할 수 있으며, 필터링 방법에 따라 압축 효율에 많은 영향을 미치게 된다. 일반적으로 순환 콘볼루션을 이용한 필터링 기법은 영상을 감축하는데 가장 많이 사용되고 있는데, 경계 부분에서의 상관성 등이 전혀 고려되지 않기 때문에 필터링 효율이 떨어지는 문제를 가지고 있다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 본 논문에서는 루프 콘볼루션을 이용한 필터링 기법을 제안 하였다. 제안된 필터링 기법은 경계 부분의 필터링 시 상관성이 높은 데이터를 이용하기 때문에 필터링의 효율을 높일 수가 있다. 제안된 필터링의 효율을 정확하게 분석하기 위하여 대역분할 부호화에 적용하였고, 자바 기반의 시뮬레이터를 사용하여 성능을 평가하였다.

Abstract

These days, many image processing techniques have been studied for effective image compression. Among those, The 2D image filtering is widely used for 2D image processing. The 2D image filtering can be implemented by performing the 1D linear filter separately in the horizontal and vertical direction. Efficiency of image compression depends on what filtering method is used. Generally, circular convolution is widely used in 2D image filtering for image processing. However it doesn't consider correlations at the boundary region of image, therefore effective filtering can not be performed. To solve this problem. I proposed new convolution technique using loop convolution which satisfies the 'alias-free' and 'error-free' requirement in the reconstructed image. This method could provide more effective compression performance than former methods because it used highly-correlated data when performed at the boundary region. In this paper, Sub-band Coding(SBC) was adopted to analyze efficiency of proposed filtering technique, and the simulator developed by Java-based language was used to examine the performance of proposed method.

Keywords: Filtering, Convolution, QMF, SBC, 대역분할

I. 서 론

2 차원 영상의 주관적 화질 개선이나 효과적인 압축을 위하여 2 차원 필터링을 많이 사용한다. 일반적으로 영상 처리를 위한 2 차원 필터링은 1 차원 선형 필터를 사용하며 수평과 수직 방향으로 각각 적용함으로써 그림 1과 같이 간단하게 구현이 가능하다^[1,2,3,4,5,6]. 각 1 차원 필터링은 필터 계수와 입력 영상 화소(pixel) 간의 콘볼루션(Convolution)을 수행으로써 이루어지는데 이

것은 수평 또는 수직 방향의 입력 영상 화소들이 유한 길이(finite-duration length)를 갖기 때문이다^[7]. 대표적인 콘볼루션 방법에는 신호가 주기적이라고 가정하는 순환(Circular) 방식과 신호가 경계를 중심으로 대칭이라고 가정하는 선형대칭(Linear symmetric) 방식이 있다. 선형대칭 방식은 영상의 경계 영역의 화소들을 필터링 할 때 상관성이 높은 주위 화소들을 사용하여 통과 대역(passband)의 신호 축출을 극대화하여 필터링 효율(filtering efficiency)을 높일 수는 있지만, 각 대역 간의 중첩 오차가 양자화에 관계없이 발생하는 'not alias-free'이며, 주파수 스펙트럼에서 'alias image spectrum'이 생성되어 작은 양자화 오차에도 심각한 'alias effect'로 인한 재생영상의 화질 감소가 발생한다

* 정회원, 동국대학교 정보산업대학 정보통신학과
(Dept. of Information and Communication
Engineering, Dongguk University)
접수일자: 2005년4월6일, 수정완료일: 2005년9월27일

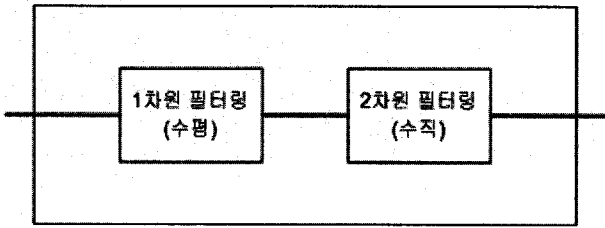


그림 1. 2 차원 필터링
Fig. 1. 2-dimensional Filtering.

다. 따라서 일반적으로 입력 신호가 주기성(period)을 갖는 순환 콘볼루션을 주로 사용되는데 이것은 영상 신호의 필터링 시 '직교 특성(orthogonal property)' 및 '단일 특성(unitary property)' 뿐만 아니라 '선형 위상 특성(linear phase property)'이 가능하기 때문이다^[8]. 그러나 순환 콘볼루션의 경우 영상의 수평과 수직 방향으로 각각 독립적으로 필터링을 하기 때문에 수평 및 수직 신호 경계 부분에서의 상관성 등이 전혀 고려되지 못하여 필터링 효율이 떨어지는 단점을 갖고 있다.

본 논문에서는 2 차원 영상을 필터링 할 때 영상의 구조적인 특성을 이용하여 경계영역에서 수평 및 수직 라인 간에 루프(loop)를 구성하여 필터링하는 방식을 제안하였으며, 실험 결과 기존의 순환 콘볼루션(Circular convolution) 방식에 비해 필터링 효율이 매우 우수한 것으로 평가되었다. 제 II장에서는 기존의 필터링 방식인 순환 콘볼루션과 문제점에 대하여 설명하였으며, 새로운 루프 콘볼루션(Loop convolution)을 제안하였다. 제 III장에서는 제안된 방식의 필터링 효율을 정확하게 분석하기 위하여 파형 영상압축 방식의 하나인 대역분할 부호화(Sub-band Coding: SBC)에 대해서 서술하였으며^[2,6,7], 이를 바탕으로 제 IV장에서는 시뮬레이션을 통한 성능 평가를 하였다. 끝으로 제 V장에서는 결론을 맺었다.

II. 2 차원 영상 필터링을 위한 콘볼루션 기법들

1 차원 필터링 방식을 이용해 2 차원 영상을 대역 분할하거나 성능 개선을 할 경우 순환 콘볼루션에 의한 영상의 경계 영역에서 필터링 효율이 감소되어 양자화 오차가 발생한다면 중첩현상(alias effect)등의 치명적인 화질 감소가 발생하게 된다. 또한 MPEG(Moving

* 필터링 효율(filtering efficiency) : 필터링에 따른 통과대역(passband) 에너지를 최대화하는 것이고 결국 영상 압축 비율을 최대화하는 것을 의미한다. 이것은 입력 화소들 간의 상관성과 밀접하다

Picture Expert Group)등의 부호화 과정에서 블록 기반 필터링을 할 경우 재생 영상에서 블록효과(block effect)가 나타나는 원인이 되기도 한다. 이것은 영상 신호가 유한지속시퀀스(finite duration sequence)이기 때문에 경계영역(boundary region)의 화소들의 필터링 상관성이 떨어진 주변 화소들을 사용하기 때문이다^[7].

본 장에서는 기존에 가장 많이 사용하는 순환 콘볼루션 방식에 의한 필터링 기법을 설명하였고 이를 바탕으로 순환 및 선형 대칭 방식들에 대한 문제점을 언급하였으며, 이와 더불어 새로운 필터링 기법이 제안을 하였다.

1. 순환 콘볼루션에 의한 필터링

2 차원 영상에서 그림 1과 같이 수평 및 수직 방향으로 필터링할 때 영상경계 부분의 화소들에 대해 영상경

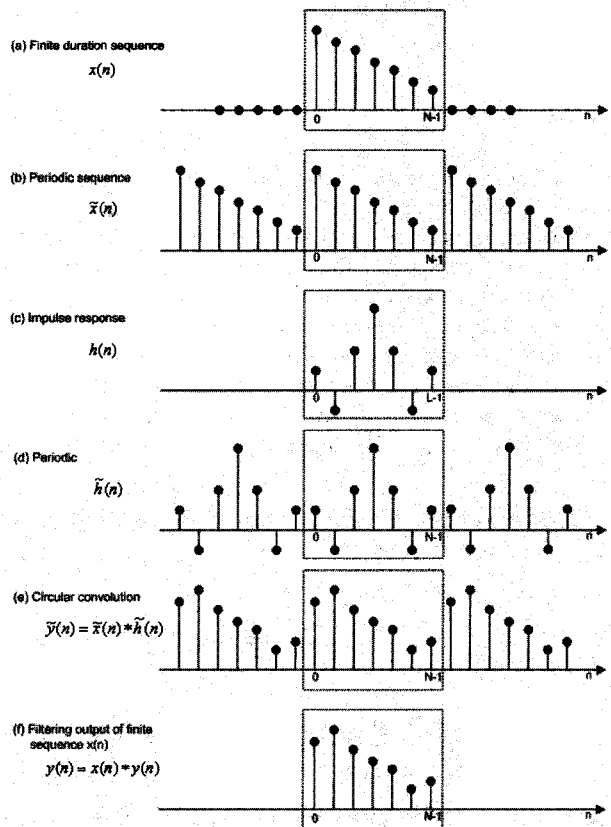


그림 2. 유한지속시퀀스의 순환 콘볼루션에 의한 필터링 (a)유한지속시퀀스 (b) 주기시퀀스 (c) 임펄스응답 (d) 주기성을 갖는 임펄스응답 (e) 순환 콘볼루션 (f) 순환콘볼루션 출력

Fig. 2. Filtering of finite-duration sequence by circular convolution (a) finite-duration sequence (b) periodic sequence (c) impulse response (d) periodic impulse response (e) circular convolution (f) output after circular convolution.

계 밖의 화소가 필요하게 된다. 그림2(a)의 유한길이를 갖는 입력 신호에 대하여 순환 콘볼루션을 적용할 경우 그림 2 (b)와 같이 신호가 주기적이라고 가정하여 경계 (boundary)부분에 추가(dummy)의 화소를 주기 시퀀스 (periodic sequence)의 방식에 따라 생성시킴으로서 필터링이 수행된다. 이때 순환 콘볼루션은 식 (1)과 같으며, 여기서 $\{y(n) | 0 \leq n < N\}$ 은 입력 신호 $\{x(n) | 0 \leq n < N\}$ 과 선형필터 계수 $\{h(n) | 0 \leq n < L\}$ 에 대한 순환 콘볼루션에 의하여 필터링 한 출력 신호이다^[7]. 또한 $\tilde{y}(n), \tilde{x}(n), \tilde{h}(n)$ 은 $y(n), x(n), h(n)$ 의 주기 신호이다.

$$\begin{aligned} \tilde{y}(n) &= \tilde{x}(n) \otimes \tilde{h}(n) \\ &= \sum_{k=0}^{L-1} \tilde{h}(k) \tilde{x}(n-k) \end{aligned} \quad (1)$$

2. QMF बैं크를 이용한 2차원 대역 분할 분석

2차원 영상을 대역 분리하기 위해 순환 콘볼루션을 사용할 경우 식 (1)과 같이 유한 길이를 갖는 신호의 경계 부분에서 필터링 효율이 떨어지게 된다. 만일 영상 전체가 아닌 $N \times N$ 크기의 블록 단위(block based)로 대역 분리(band split)를 할 경우에 필터링 효율은 심각하게 떨어지며, 압축 또는 양자화로 인한 블록 현상(block effect)의 원인이 된다. 예로서 대역분할 부호화(Sub-band Coding: SBC)의 1 차원 QMF(Quadrature Mirror Filter)* बैं크(그림 3)에서 순환 콘볼루션에 의한 필터링에 따른 성능 감소 요인을 살펴보면 다음과 같다^[8].

우선 입력신호 $x(n)$ 의 z 변환을 $X(z)$, 그리고 저역과

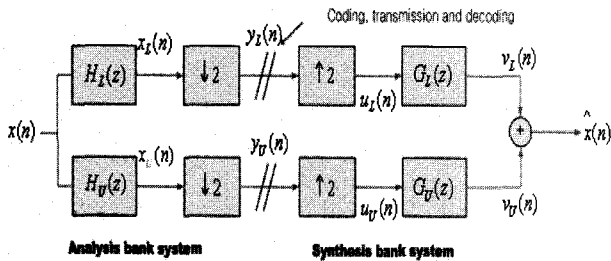


그림 3. 2채널 분리 / 합성 QMF बैं크 시스템
Fig. 3. Two channel analysis / synthesis bank system.

* QMF(Quadrature Mirror Filter) : 대역분할 부호화 (Sub-band coding)에서 가장 많이 사용되고 있는 필터 बैं크로서, 영상 신호를 연속적인 여러 개의 주파수 대역으로 나눌 때 인접 대역 간에 발생하는 중첩 대역 (aliasing band)에 대해 'alias-free'를 갖는 완전 재생이 가능한 필터 बैं크이다.

대역 통과 신호들인 $x_L(n)$ 과 $x_U(n)$ 의 z 변환을 $X_L(z)$ 과 $X_U(z)$ 이라할 때 저역 통과 필터 $H_L(z)$ 과 고역 통과 필터 $H_U(z)$ 에 의해 필터링된 각 대역 신호들은

$$X_L(z) = X(z)H_L(z) \quad (2a)$$

$$X_U(z) = X(z)H_U(z) \quad (2b)$$

이 된다. 이때 2:1 간축 후 각 대역 신호들을 $Y_L(z)$ 과 $Y_U(z)$ 이라하면 다음과 같이 구해진다.

$$Y_L(z) = 1/2[X_L(z^{1/2}) + X_L(-z^{1/2})] \quad (3a)$$

$$Y_U(z) = 1/2[X_U(z^{1/2}) + X_U(-z^{1/2})] \quad (3b)$$

분리 बैं크의 출력식 (3)에 식 (2)을 대입하면

$$Y_L(z) = \frac{1}{2}[X(z^{1/2})H_L(z^{1/2}) + X(-z^{1/2})H_L(-z^{1/2})] \quad (4a)$$

$$Y_U(z) = \frac{1}{2}[X(z^{1/2})H_U(z^{1/2}) + X(-z^{1/2})H_U(-z^{1/2})] \quad (4b)$$

이 된다. 만약 부호화, 채널 그리고 복호화등을 하지 않는다면 2:1 보간에 의해 각 대역 신호들은 식 (4)로부터

$$U_L(z) = \frac{1}{2}[X(z)H_L(z) + X(-z)H_L(-z)] \quad (5a)$$

$$U_U(z) = \frac{1}{2}[X(z)H_U(z) + X(-z)H_U(-z)] \quad (5b)$$

이 되며, 여기서 $U_L(z)$ 과 $U_U(z)$ 는 각각 합성 बैं크에서 보간된 저역과 고역 통과 신호들이다. 식 (5)의 신호들에 대해 보간 필터들인 $G_L(z)$ 과 $G_U(z)$ 을 사용하여 필터링한 각 대역의 출력 신호들은 각각 다음과 같다.

$$V_L(z) = \frac{1}{2}[X(z)H_L(z) + X(-z)H_L(-z)]G_L(z) \quad (6a)$$

$$V_U(z) = \frac{1}{2}[X(z)H_U(z) + X(-z)H_U(-z)]G_U(z) \quad (6b)$$

재생 신호 $\hat{x}(n)$ 의 z 변환을 $\hat{X}(z)$ 라 할 때 식 (6)으로부터

$$\hat{X}(z) = V_L(z) + V_U(z) \tag{7}$$

이 되며, 식 (6)을 식 (7)에 대입하면

$$\hat{X}(z) = \frac{1}{2} [H_L(z)G_L(z) + H_U(z)G_U(z)]X(z) + \frac{1}{2} [H_L(-z)G_L(z) + H_U(-z)G_U(z)]X(-z) \tag{8}$$

이 된다. 식 (8)에서 둘째 항이 중첩 대역(aliasing band) 성분이 된다. 이러한 중첩 대역에 대칭되는 주파수 성분들을 선형 필터의 transit band and stop band의 주파수 특성에 따라 증가 하거나 감소될 수가 있다. 만약 식 (8)이 식 (9)와 같아 QMF 조건을 만족하면 식 (10)과 같이 중첩 성분은 제거될 수가 있다^[8].

$$G_L(z) = H_U(-z) \text{ and } G_U(z) = -H_L(-z) \tag{9a}$$

$$H_U(z) = H_L(-z) \tag{9b}$$

$$\hat{X}(z) = 1/2 [H_L^2(z) - H_L^2(-z)]X(z) \tag{10}$$

식 (10)에서 단위 원(unit circle) ($z = e^{jw}$)의 주파수 영역으로 바꾸고 $H_L(e^{jw})$ 가 대칭인 N-tap FIR(finite impulse response) 필터라면

$$H_L(e^{jw}) = H_L(w) e^{jw(N-1)/2} \tag{11}$$

이므로, N이 even이란 가정 하에서 식 (10)은 식 (12)와 같이 된다.

$$\hat{X}(e^{jw}) = 1/2 e^{jw(N-1)/2} [H_L^2(w) + H_L^2(w + \pi)]X(z) \tag{12}$$

위의 식에서 1/2은 스케일 값(scale factor)이며, $e^{jw(N-1)/2}$ 는 $x(n)$ 과 $\hat{x}(n)$ 사이에 (N-1) 샘플 지연(sample delay)이 있다는 것을 의미한다. 식 (12)가 만약

$$1/2 [H_L^2(w) + H_L^2(w + \pi)] = 1 \tag{13}$$

을 만족한다면, $\hat{x}(n)$ 는 완전 재생이 가능하다.

그림 4는 이제까지의 중첩 상쇄 과정을 도식적으로 나타낸 것이다. 만일 QMF를 이용한 2-band SBC 방식을 적용할 경우에 식 (5)의 $U_L(z)$ 와 $U_U(z)$ 대역 신호들은 신호 특성에 맞는 서로 다른 양자화기 $Q_L[\cdot]$ 와

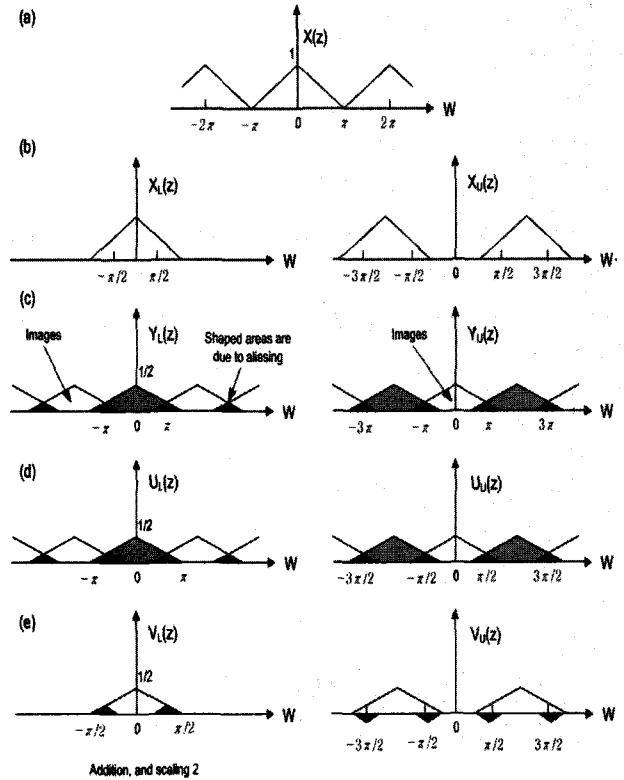


그림 4. 2 채널 분리 / 합성 बैं크에서 중첩 상쇄 (a) 입력신호 (b) 2 채널 감축 필터링 (c) 2:1 감축 신호 (d) 1:2 보간 신호 (e) 2 채널 보간 필터링

Fig. 4. Alias Free in 2 channel analysis / synthesis (a) Input signal (b) 2 channel analysis filtering (c) 2:1 decimation (d) 2:1 interpolation (e) 2 channel synthesis filtering

$Q_U[\cdot]$ 을 각각 사용하게 되며, 식 (9a)와 (9b)의 QMF 구조의 중첩 상쇄(alias-free)식을 적용하더라도 식 (8)의 둘째 항은 식 (14)와 같이 중첩 상쇄가 되지 않는다^[1,2,6,9,10].

$$Q_L[H_L(z)H_L(-z)X(-z)] + Q_U[-H_L(z)H_L(-z)X(-z)] \neq 0 \tag{14}$$

즉, 양자화 후의 다시 합성된 저대역 신호 $V_L(z)$ 와 고대역 신호 $V_U(z)$ 의 중첩 영역에 대해 에러가 없을 경우에 그림 4(e)와 같이 스펙트럼 대칭으로 중첩 상쇄가 되지 만 만일 양자화 오차가 대역별로 존재하고 만일 중첩 스펙트럼 부분에 신호 에너지(energy)가 많이 분포된 경우에는 합성된 영상 화질에서 심각한 성능 감소가 발생한다. 즉, 순환 방식의 경우 경계 영역에서의 비상관성을 갖는 신호들을 사용하여 필터링하기 때문에 고주파의 중첩 영역의 에너지가 증가하게 되고 그 결과 중

첩 오차(alias error)를 발생시키게 된다. 따라서 중첩 오차를 최소로 하기 위해서는 영상의 경계 영역의 신호를 필터링 할 때 상관성이 높은 주변 신호를 사용해야만 중첩 오차에 따른 화질 감소를 줄일 수가 있다.

3. 기존의 콘볼루션 방식들의 영상 필터링 문제점

만약 $N \times N$ 영상을 길이가 L 인 1차원 필터를 사용하여 그림 1 과 같이 수평 및 수직 방향으로 필터링하여 4 채널의 2 차원 대역 분할을 할 경우 그림 5와 같은 경계 영역이 발생하며, 경계 밖의 주변 화소들에 의한 필터링 효율이 감소된다. 여기서 필터링 효율이란 저주파대역 신호의 에너지를 크게 하는 반면, 고주파대역 신호의 에너지는 작게 하는, 즉 에너지 압축(energy compaction) 비율을 높이는 것을 말한다. 만약 경계 영역을 필터링할 때 경계 밖의 주변 화소들을 그림 5(a)와 같이 기존의 순환 방식에 의한 비상관성(un-correlation) 주위 화소들을 사용한다면 고주파대역 신호 에너지가 증가하게 되어 부호화시 성능 감소의 원인이 된다. 또한 경계 밖의 주변 화소들을 그림 5(b)와 같이 선형대칭에 의한 상관성(correlation) 주위 화소들을 사용한다면 필터링 효율은 증가하나 주파수 스펙트럼 상의 'alias image spectrum'이 생성되어 작은 양자화 오차에도 심각한 'alias effect'로 인한 재생영상의 화질 감소가 발생하게 된다. 또한 선형대칭 방식의 경우 'not alias-free'로 'lossless coding'을 적용하더라도 완

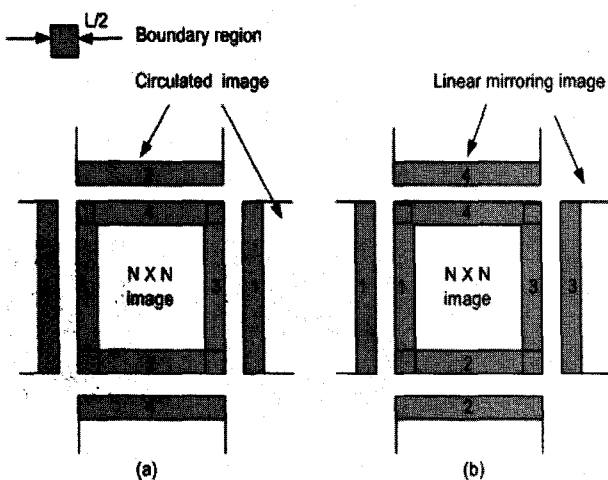


그림 5. 순환 및 선형대칭 방식들의 2차원 QMF 필터링
 (a) 순환에 의한 경계영역 밖의 주변 화소
 (b) 선형대칭에 의한 경계영역 밖의 주변 화소
 Fig. 5. 2-D QMF filtering by circulation and linear symmetry. (a) Neighborhood pels outside boundary by circulation (b) Neighborhood pels outside boundary by linear symmetry.

전 재생영상을 얻을 수 없는 단점이 있다.

4. 제안된 루프 콘볼루션에 의한 필터링 방법

본 논문에서 제안하고자 하는 루프 콘볼루션(loop convolution) 기법은 영상 데이터가 2 차원임을 감안하여 그림 6과 같이 인접한 다음 라인(next line)과 루프(loop)을 구성하여 순환 콘볼루션을 적용하여 필터링하는 방식이다. 즉, 2 차원 영상의 경계면에 있는 화소들을 필터링할 때 순환(circulation)된 주위 화소(neighborhood pel)들 대신에 현재 화소와 인접한 다음 라인(next line)의 화소들을 주위 화소(neighborhood pel)들로 이용하는 방법이다. 이것은 2 차원 영상 데이터의 경우 임의의 화소 주위에 있는 화소들(현재 화소와 같은 거리에 있는 화소들) 사이의 상관성(correlation)은 거의 유사하다는 점을 이용하여 영역의 경계면에 있는 화소들을 필터링할 때 밀접한 상관성(correlation)을 갖는 인접한 다음 라인(next line)의 화소들을 주위화소(neighborhood pel)들로 사용하는 것이다. 이 루프 콘볼루션은 그림 6에서 나타낸 바와 같이 2 개의 라인을 1 개의 라인으로 생각하여 콘볼루션을 하기 때문에 대칭성과 선형성의 특성을 얻을 수 있는 필터링 기법이다. 이와 같이 루프 콘볼루션은 경계 영역의 필터링 시 상관성이 높은 주위 화소들을 사용함으로써 필터링 효율도 높일 수 있고 SBC 부호화에 따른

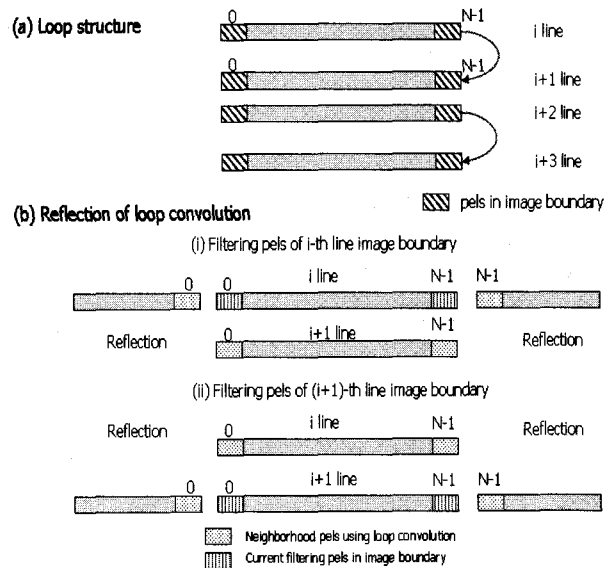


그림 6. 루프 콘볼루션의 원리
 (a) 루프 구조 (b) 루프 콘볼루션의 방향
 Fig. 6. The concept of Loop convolution.
 (a) Loop structure
 (b) Reflection of loop convolution

QMF बैंक 시스템 적용 시 중첩 상쇄 효과도 얻을 수 있다.

결론적으로 루프 콘볼루션은 경계 영역의 화소들을 필터링할 때 상관성이 높은 주변 화소들을 사용함으로써 필터의 취약점인 'transition band & stop band'의 주파수 대역 신호의 에너지를 최소화 할 수 있으며, SBC를 이용하여 영상을 부호화 할 때 각 대역에서 서로 다른 양자화기를 사용하더라도 대역 간의 중첩 상쇄 오차(alias-free error)를 최소화할 수가 있다.

위에서 제안한 루프 콘볼루션에 의한 필터링과 기존의 순환 콘볼루션을 이용한 필터링과의 성능 평가를 하기 위해 본 논문에서는 대역분할 부호화(Sub-band coding)에서 가장 많이 사용되고 있는 7 채널 분리 및 합성 QMF(Quadrature Mirror Filter) बैंक를 이용하였다. 따라서 3 장에서는 시물레이션에 사용된 2 차원 QMF बैंक 시스템을 이용한 7 채널 대역 분리와 합성에 대하여 설명하였다.

III. 2차원 영상 대역 분할(Sub-band Division)

대역분할의 기본 원리는 원 영상 신호를 대역통과 필터 बैंक를 사용하여 주파수 대역 별로 분할한 후 각 대역들에 맞는 적절한 비트할당과 부호화 방법을 통하여 독립적으로 부호화 하는 것이다. 일반적으로 대역분할 부호화(Sub-band coding : SBC) 방식이 주로 사용되고 있으며, 대역분할 필터 बैं크로는 앞에서 설명된 바와 같이 중첩 상쇄(alias-free) 특성을 갖는 QMF(Quadrature Mirror Filter) बैं크를 가장 많이 사용한다 [2,4,6,8,9]

본 장에서는 먼저 시물레이션에 사용한 7 채널 대역 분리 QMF에 대한 설명과 각 대역의 영상 신호 분석을 하였다. 또한 제안된 루프 콘볼루션을 2차원 QMF बैं크에 적용하였을 때의 장점을 설명하였다.

1. QMF 방식을 이용한 2차원 필터링 방법 [2,4,6]

2차원 영상 신호의 대역 분할 필터링을 위한 2 차원 QMF 필터의 적용은 그림 3 의 1 차원 QMF의 확장으로 구현이 가능하다. 2 차원 QMF बैं크는 1 차원 QMF बैं크를 수평 및 수직방향으로 분리적용 함으로써 그림 7(a)와 같이 쉽게 얻을 수 있다. 각 대역들은 각각 수평과 수직방향으로 저역통과/저역통과, 저역통과/고역통과, 고역통과/저역통과, 고역통과/고역통과 처리 된 대역들이다. 대역들을 얻기 위한 필터 과정에서 영상경계

부분의 화소들에 대해서는 영상경계 밖의 화소가 필요하게 된다. 여기에 필요한 추가(dummy)화소를 주기 시퀀스(periodic sequence) 또는 대칭 시퀀스(symmetric sequence)의 방식에 따라 생성시킬 수 있다.

만약 4개 이상의 대역들이 요구되면 QMF बैं크를 하나 또는 그 이상의 대역에 반복적으로 적용하면 된다. 예를 들면, 4개의 각 대역이 다시 분리되어 16개의 대역을 발생시킬 수 있고, 또한 본 논문처럼 저역통과/저역통과 대역만을 세분화하여 7개의 대역을 발생시키기도 한다 [2,6].

2. 7 채널 부대역(sub-band) 영상 신호 분석

2 차원 영상 $I(z_1, z_2)$ 에 대해서 그림 7(b) 같이 7 채널로 대역 분할하기 위해서는 그림 7(a)의 2 차원 QMF बैं크를 사용하여 수평과 수직방향의 4채널로 대역 분리한 후에 가장 저 대역 신호에 대하여 다시 2 차원 QMF बैं크를 적용하면 그림 7(c)와 같이 7 채널 대역 신호 영상들이 얻어진다. 이때 z 변환 영역에서 4 채널 대

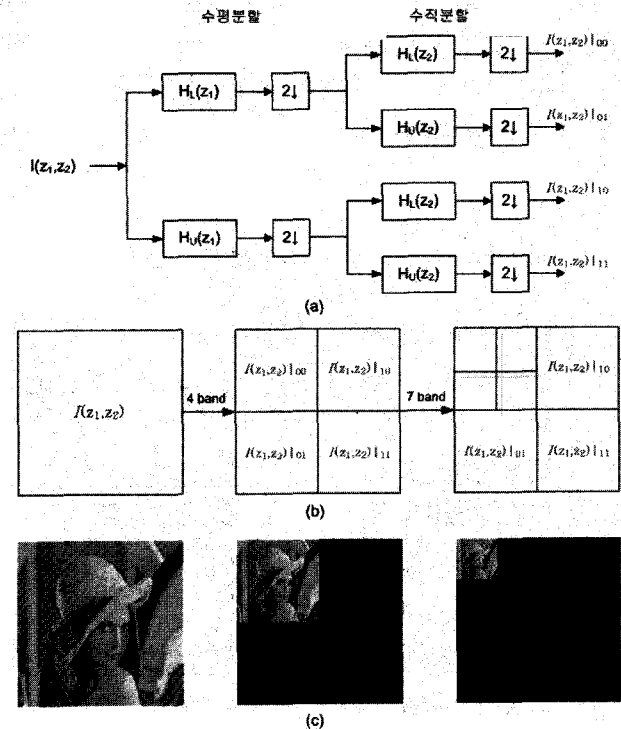


그림 7. 2 차원 QMF बैं크와 부대역 영상
 (a) 2 차원 QMF 분할 बैं크 시스템
 (b) 7 채널 대역 분할
 (c) LENA의 7 채널 대역 분할

Fig. 7. 2-Dim. QMF bank and Sub-band Images
 (a) 2-Dim. QMF analysis bank system
 (b) 7 channel sub-band
 (c) 7 channel sub-band images of LENA

역 분할(band splitting)된 각 부대역 영상 신호들을 $I(z_1, z_2)|_{00}$, $I(z_1, z_2)|_{10}$, $I(z_1, z_2)|_{01}$, $I(z_1, z_2)|_{11}$ 라 가정하고 QMF 필터로 $H_L(z)$ 을 대칭(symmetric)과 $H_U(z)$ 을 FIR 필터로 사용할 경우에 각 채널의 부대역 영상(sub-band image)들은 QMF बैं크에서 수평과 수직 방향의 필터링에 의하여 분리된다. 식 (15a~d)는 $I(z_1, z_2)$ 입력 영상을 그림 7의 QMF बैं크를 적용하였을 때 4 채널 부대역(sub-band) 영상들의 수식을 나타낸 것이다. 또한 식 (15e~h)는 4 채널로 분리된 저대역(Low-pass) 영상 $I(z_1, z_2)|_{00}$ 을 또다시 그림 7(a)의 QMF बैं크를 사용하여 2차원 필터링한 대역(sub-band) 영상들의 수식이다.

$$I(z_1, z_2)|_{00} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15a)$$

$$I(z_1, z_2)|_{10} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15b)$$

$$I(z_1, z_2)|_{01} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15c)$$

$$I(z_1, z_2)|_{11} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15d)$$

$$I(z_1, z_2)|_{00-00} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15e)$$

$$I(z_1, z_2)|_{00-10} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15f)$$

$$I(z_1, z_2)|_{00-01} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15g)$$

$$I(z_1, z_2)|_{00-11} = \frac{1}{4} [I(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}})|_{00} \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (15h)$$

3. 루프 콘볼루션에 의한 2 차원 대역 분할

본 논문에서 제안된 그림 6의 루프 콘볼루션 방식을 대역분할 부호화에 적용할 경우 설명된 바와 같이 영상의 수평 방향으로 인접한 하위 라인을 그림 6(a)와 같은 루프 구조로 길이 2N의 유한길이 시퀀스를 구성하여 2차원 수평 필터링을 적용하면 되며, 다시 수직 방향으로 같은 방식으로 적용하면 2차원의 4 채널 대역 분리된 부 대역 영상을 얻을 수가 있다. 이와 같이 루프 콘볼루션 방식을 적용한다면 순환 콘볼루션에서 문제가 되는 주기성에 의한 비상관성(un-correlation) 화소로 인한 필터링 효율 감소를 줄일 수 있을 뿐만 아니라 QMF बैं크에서 'alias-free'에 의한 완전 재생 영상을 얻을 수가 있다. 이것은 선형대칭 방식에서 문제가 되는 'not alias free'로 인한 'alias effect'에 대한 성능 감소를 줄일 수가 있다.

루프 콘볼루션 방식의 2차원 대역분할에 따른 수평 및 수직 방향의 간축을 분석하면, 루프 구조 상 수직 방향의 간축 결과가 불균일하게 생성된다고 생각 될 수가 있으나 그림 8(d)에서 나타낸 바와 같이 영상의 'Field based filtering'과 같은 효과를 얻을 수가 있다. 이것은 루프 콘볼루션에 따른 'alias free'을 얻기 위한 식(3)과 같은 간축과정에서 일어난 것으로 루프 방식의 구조적

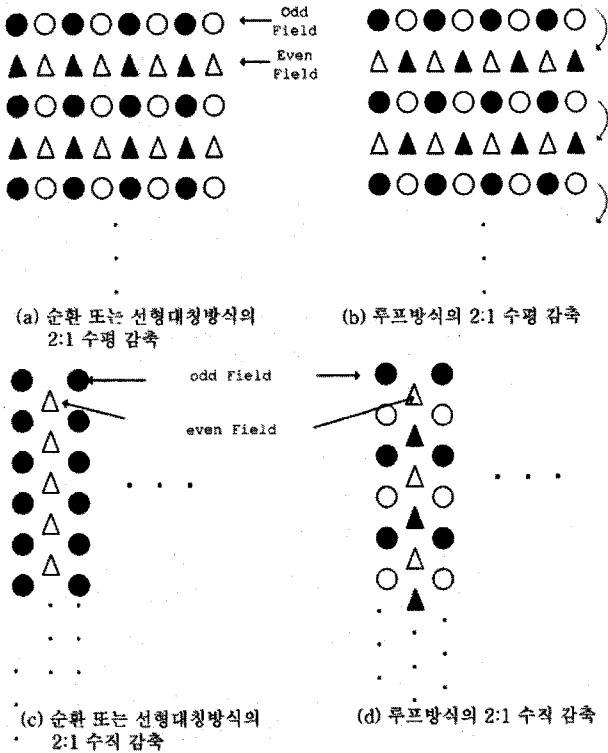


그림 8. 각 방식의 대역분할 수평 및 수직 감축 비교
 (a) 순환 또는 선행대칭 방식의 2:1 수평 감축
 (b) 루프 방식의 2:1 수평 감축 (c) 순환 또는 선행대칭 방식의 2:1 수직 감축 (d) 루프 방식의 2:1 수직 감축

Fig. 8. Comparing Horizontal & Vertical decimation of each convolution.

인 형태에서 얻어진 결과이다. 특히, 기존의 순환 및 선행 대칭 방식은 수직 방향 간축을 할 경우 그림8(c)에 나타낸 바와 같이 영상의 필드에 대한 고려가 전혀 되지 않는 'field sub-sampling'의 문제점을 가지고 있다. 또한 루프 방식은 2차원(4대역) 분리 후 다시 2차원 대역 분리(7 또는 16 대역분리)를 할 경우 그림8(b)와 같이 수평 방향으로는 마른모폴의 잔여 화소를 사용하고 수직 방향으로는 필드와 필드간의 상관성이 밀접한 화소들을 사용하기 때문에 대역 분리 시 압축 효율이 향상 될 수 있음을 구조 상 알 수가 있습니다. 만일 기존의 순환 또는 선행대칭 콘볼루션 방식을 'Field based filtering'에 적용한 다면 경계 부분이 수평과 수직 방향으로 2번씩 더 발생하므로 실제 경계 부분의 발생은 4 배로 증가되어 필터링 효율이 엄청나게 떨어지는 것을 구조상으로도 알 수가 있다.

IV. 성능평가 및 결과

본 논문에서 제안된 루프 콘볼루션 방식의 성능을 평

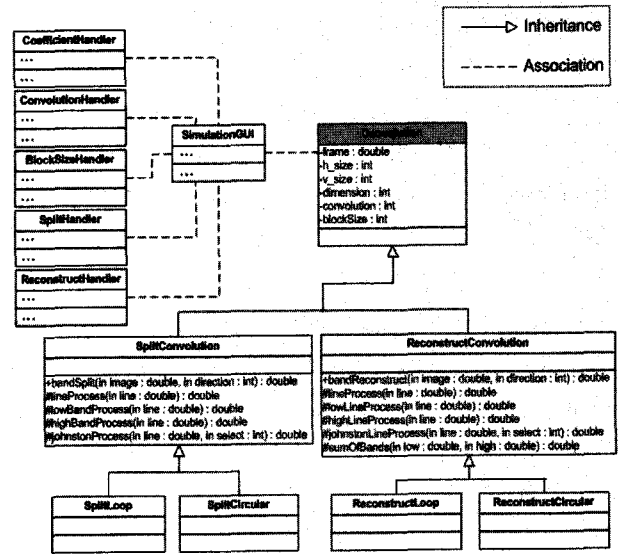
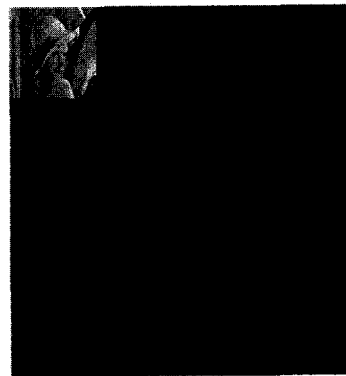
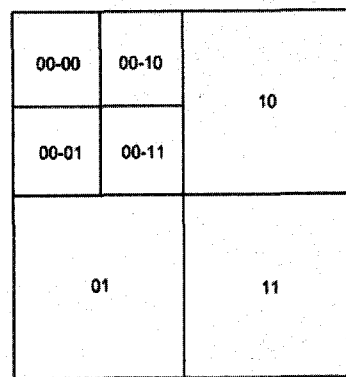


그림 9. 자바기반 시뮬레이터 UML 구성도
 Fig. 9. UML diagram of Java based simulator.



(a)



(b)

그림 10. 2 차원 필터링에 의한 7 채널 분리
 (a) 7 채널 부대역 'LENNA' 영상
 (b) 부 대역별 위치

Fig. 10. 7 channel decomposition by 2-Dim. filtering.
 (a) 7 channel subband image of 'LENNA'
 (b) Location of each sub-band

가하기 위하여 대역 분할 부호화 방식의 7 채널 QMF 뱅크 시스템을 도입하여 기존의 순환 콘볼루션 방식과

비교하였다. 7 채널 QMF बैं크에서 사용된 FIR 필터는 식 (16) 의 (6, 9) pair 필터 계수를 사용하였으며 실험 영상으로 256X256 LENA, BABOON, PEPPER, TRUCK을 사용하였다^[11].

$$H_L(z) = \frac{1}{8} (-1 + z^{-1} + 4z^{-2} + 4z^{-3} + z^{-4} - z^{-5}) \quad (16a)$$

$$H_U(z) = \frac{1}{16} (1 + 2z^{-1} - 4z^{-2} + 6z^{-3} + 22z^{-4} + 6z^{-5} - 4z^{-6} + 2z^{-7} + z^{-8}) \quad (16b)$$

1. 자바 기반^[12] 2 차원 영상의 7 대역분할 시스템 구현

필터링 기법의 성능을 평가하기 위해 자바 기반의 시뮬레이터를 개발하였다. 시뮬레이터는 2차원 영상을 (6, 9) 필터를 적용하여 순환 콘볼루션과 루프 콘볼루션을 수행하여 7 대역으로 영상을 분할하고 다시 원 영상으로 복원하는 기능을 가지고 있다. 그림9는 모델링 언어인 UML(Unified Modeling Language)*을 사용한 시뮬레이터의 도식화된 구성도이다. 그림 8의 UML 구성도는 콘볼루션 클래스를 기준으로 분할과 합성 부분으로 나누어진다^[13,14]. 이 분할과 합성의 두 과정에 필터링 기법을 적용하고 입력 영상에 대해 7 채널 대역으로 분할한 데이터를 가지고 필터링 기법의 성능을 평가하게 된다. 본 시뮬레이션에서 필터링 효율의 성능을 평가하기 위하여 에너지 압축 효율의 기준인 식(17)과 같은 각 채널의 분산(평균에너지) 값을 이용 하였다.

$$\sigma_{xy}^2 = \sum_{j=0}^{m_2} \sum_{i=0}^{m_1} (I(i, j)|_{xy} - Avg_{xy})^2 / (m_1 \times m_2) \quad (17)$$

여기서 $I(i,j)|_{xy}$ 와 Avg_{xy} 는 xy채널의 부대역 영상과 해당 대역의 평균값이며, m_1 과 m_2 는 부대역 영상의 수평 및 수직 방향의 크기를 나타낸다.

또한 필터링 방법들에 의한 대역분할 후 양자화기를 사용하였을 때 성능을 평가하기 위하여 각 대역의 에너지 분포에 따른 식(18)의 최적 비트할당 (bit assignment)을 통한 균등양자화(uniform quantization)와 간단한 엔트로피 코딩을 적용하여 실험을 하였다^[6].

* UML(Unified Modeling Language) 객체 관련 표준화기구인 OMG에서 1997년 11월 객체 모델링 기술(OMT;object modeling technique), OOSE 방법론 등을 연합하여 만든 통합 모델링 언어로 객체 지향적 분석·설계 방법론의 표준 지정을 목표로 하고 있다. 요구 분석, 시스템 설계, 시스템 구현 등의 과정에서 생길 수 있는 개발자간의 의사소통의 불일치를 해소할 수 있다.

실험 영상으로는 256x256 크기의 'LENA'와 'GIRL'을 사용하였고, 평가 기준은 재생 영상과 원영상의 경계영역과 전체 영상에 대해 MSE(Mean Squared Error)를 측정하였다.

$$b_k = \frac{b_{av}}{A} + \frac{1}{2} (\log_2 \sigma_k^2 - \frac{1}{A} \sum_{i=0}^{A-1} \log_2 \sigma_i^2) \quad (18)$$

여기서 A와 b_{av} 는 대역 분할된 부대역 수와 전체 평균 비트이며, σ_k^2 는 k번째 부대역 영상의 식(17)의 평균 에너지이다. 이때 b_k 는 k번째 부대역에 할당 비트가 된다.

2. 시뮬레이션 결과

에너지 압축 효율에 대한 시뮬레이션은 그림 10 과 같이 7 채널 대역으로 영상을 분할한 후에 분할된 부대역 영상들에 대해 제안된 루프 콘볼루션과 순환 콘볼루션을 필터링에 적용하여 각각의 성능을 평가 하였다. 또한 필터링의 효율에 대한 정확한 성능 평가를 위하여 다양한 블록 단위의 필터링을 수행하여 대역을 분리하였으며, 블록의 크기는 256x256(실험 영상 사이즈), 128x128, 64x64, 16x16, 8x8로 나누어 실험 하였다. 실

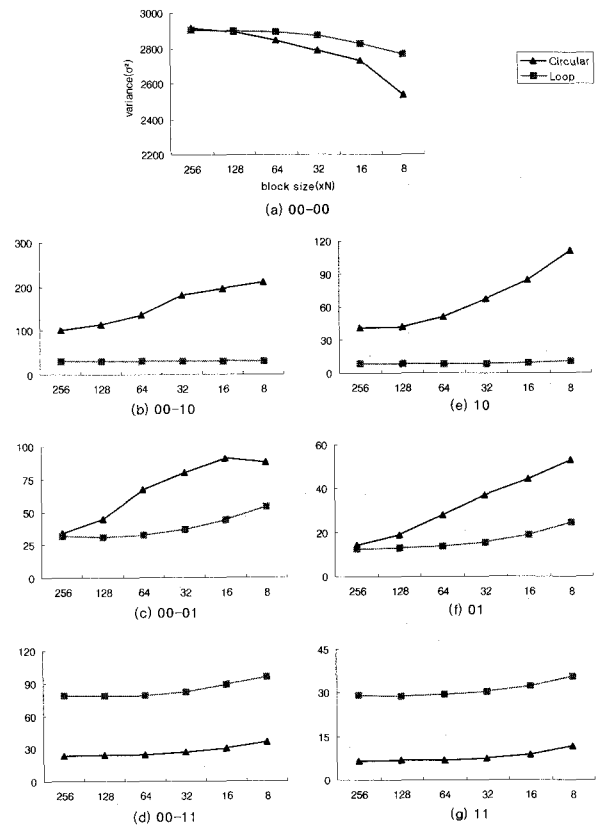


그림 11. 표 1에 대한 각 대역별 에너지 분포 Fig. 11. Energy distribution of each sub-band.

표 1. 'LENNA' 영상의 대역별 에너지 분포 비교
Table 1. Comparison of each energy according to each Sub-band for 'LENNA' image.

Type	Size	00-00	00-10	00-01	00-11	10	01	11
C i r c u l a r	256	2914	102	33.5	23.1	40.9	14.3	6.63
	128	2891	113	44.8	23.9	42.3	18.9	6.74
	64	2847	135	67	24.1	51.5	28.3	6.88
	32	2788	181	79.8	26.6	67.4	36.9	7.56
	16	2727	194	90.8	30.3	84.6	44.3	8.69
	8	2535	209	87.5	36.7	111	53.1	11.6
L o o p	256	2902	29.4	31.3	78.5	8.59	12.4	29
	128	2901	29.2	31.2	78.5	8.66	12.9	28.9
	64	2894	29.5	32.3	78.5	8.83	13.9	29.6
	32	2872	29.1	36.4	82.1	9	15.7	30.3
	16	2825	29	43.9	89	9.7	18.9	32.2
	8	2766	29.5	54.3	96.3	10.7	24.7	35.6

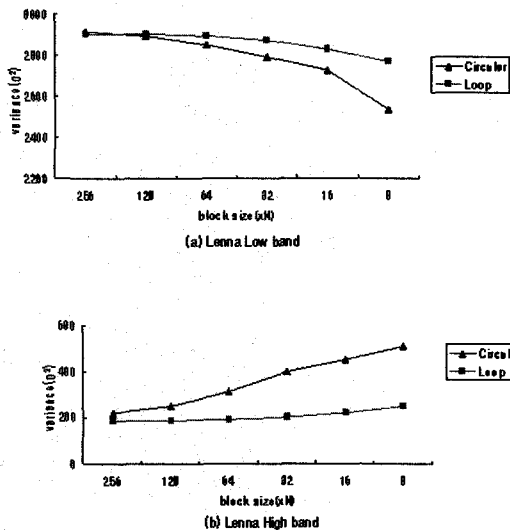


그림 12. 'LENNA'의 저대역과 고대역 에너지 분포
(a) 저대역의 4 채널 (b)고대역의 3 채널

Fig. 12. Energy distribution of lowest and highest band. (a) 4 channel of lowest bands (b) 3 channel of highest bands

험 영상은 256x256 크기의 'LENNA'를 주로 사용 하였다. 실험의 성능 평가 기준은 7 채널의 부 대역으로 분할된 영상들에 대해 식(17)의 각 대역 에너지를 비교 분석하였다. 본 실험에서 선형대칭 방식과 비교는 제외하였는데 이것은 선형 대칭 방식의 경우 'not alias-free'로 양자화를 적용한 실험에서 비교하였기 때문이다.

표 1은 'LENNA' 실험 영상에 대한 시뮬레이션 결과로서, 제안된 루프 필터링 방식이 순환 방식에 비해 저

대역 대역(00 대역의 4 채널)으로 에너지 압축 효과가 큰 것으로 나타났으며, 특히 대역분할 입력 블록의 사이즈가 작을수록 압축 효율이 뛰어난 것으로 나타났다. 일례로 실험 영상을 256x256 블록과 8x8 블록으로 각각 대역분할 하였을 때 그림10(b)의 00-00 대역의 분산 값을 비교하면 루프 콘볼루션은 차이가 136정도였지만, 순환 콘볼루션은 379로서 블록 사이즈가 작을수록 압축 효율은 급격히 떨어지는 것을 알 수가 있다. 그림11은 표1의 실험 결과에 대한 그래프로서 그림11(a)는 대역 분할 블록 크기에 따른 00-00 저대역(lowest band) 에너지 분포 비교로서 루프콘볼루션 방식이 순환콘볼루션에 비해 에너지가 크고, 반면 나머지 고대역(highest band)에서는 에너지가 적은 것으로 나타났다. 따라서 제안된 방식의 에너지 압축(energy compaction) 효율이 우수한 것을 알 수가 있다.

표 1과 그림 11에서 루프 방식의 경우 고주파 대역 중에 00-11과 11대역의 에너지가 큰 것으로 나타났지만 기존의 순환 방식의 고주파대역 중에 에너지가 가장 큰 00-10와 10 에너지 값과 비교하면 매우 적은 값이다. 이와 같이 제안된 루프 방식에서 00-11과 11 고주파 대역 에너지가 커지는 현상은 경계 부분 화소를 마치 미러링(mirroring)된 인접한 하위 라인을 사용하기 때문에 나타나는 현상으로 MPEG에서의 boundary padding과 같은 선형 대칭에서도 똑같이 나타나는 현상이다. 단지, 선형 대칭은 'not alias free'하고 제안 방식은 'alias free'하다는 것이다. 그 결과로서 그림 12를 보면 제안된 방식이 저주파대역 에너지가 큰 반면(그림12-(a)) 고주파대역 에너지는 상대적으로 줄어든 것을 알 수가 있다(그림12-(b)). 이것은 저주파 대역으로 에너지가 compaction 되었음을 알 수가 있고 부호화 효율을 높일 수가 있습니다. 여기서 그림12(a)는 00-00, 00-10, 00-01, 00-11 대역의 에너지를 합하여 비교한 것이고, 그림12(b)는 01, 10, 11대역의 에너지를 합하여 비교한 것이다.

본 논문에서 제안한 루프 필터링 방식과 기존의 순환 및 선형 대칭 방식(그림 5(a)와 (b))들과의 양자화 오차에 대한 실험 결과는 표2와 같으며, 대역분할 블록의 크기는 256x256을 적용하였다. 또한 실험에서 대역 분할은 4 채널과 16채널에 각각 적용하여 양자화 오차에 대한 MSE를 측정하였다. 표 2에서 나타난 바와 같이 제안된 루프 방식이 기존의 순환 또는 선형대칭 방식에 비하여 줄어든 양자화 오차를 나타낸 것을 알 수가 있으며, 이것은 에너지 압축 효과에 의한 결과이다. 특히,

표 2 필터링 방식에 따른 양자화 오차 성능 비교
Table 2. Performance comparison of filtering methods by quantization error.

실험 영상	필터링 방식	4 channel SBC* (Average bpp =1.5)		16 channel SBC* (Average bpp =1.2)	
		MSE of boundary area	MSE of overall image	MSE of boundary area	MSE of overall image
Girl	Circular	53.9	26.8	74.7	31.8
	Linear Sym.	43.0	25.4	102.4	37.1
	Loop	20.9	23.0	21.8	27.1
Lenna	Circular	202.8	87.0	220.9	101.0
	Linear Sym.	259.3	91.7	340.8	115.0
	Loop	129.7	78.1	146.7	92.6

경계 영역에서 만의 MSE를 비교한 결과 루프 필터링 방식이 매우 우수함을 알 수가 있을 뿐만 아니라 선형 대칭 방식의 경우 경계영역 밖의 주변화소를 상관도가 높은 대칭 화소를 사용하였음에도 불구하고 미러링(mirroring)으로 인한 'not alias-free' 영향으로 양자화 오차가 증가된 결과를 초래한 것을 알 수가 있다.

V. 결 론

본 논문은 대역분할 부호화(Sub-band coding) 방식에 의하여 영상을 압축하거나 2차원 필터링에 의하여 성능을 향상시키기 위한 방법으로 루프콘볼루션에 의한 필터링 기법을 연구하였다. 특히 일반적인 대역분할 2차원 필터링은 유한 지속 시퀀스가 주기 신호라는 가정 하에 콘볼루션(circular convolution)을 통하여 이루어진다. 이러한 유한 지속 시퀀스를 필터링할 때는 신호의 경계 영역 밖에서의 연장(extension) 방법에 따라 성능이 크게 좌우된다. 대표적인 연장 방법으로는 순환(circular) 연장과 선형(linear) 대칭 방식이 있는데, 선형 대칭 방식은 상관성이 높은 주위 화소들을 사용하여 필터링의 효율을 높일 수는 있지만 대역 분할된 영상 신호를 재생할 때 'alias-free'의 QMF 조건을 만족하지 않아 사용되지 않는다. 따라서 일반적으로 2 차원 대역 분할 방식에서의 필터링 기법으로는 순환 연장을 이용한 콘볼루션을 가장 많이 사용하고 있다. 그러나 순환 콘볼루션은 경계영역에서 불연속인 비상관성을 갖는 주변 화소들을 사용하기 때문에 에너지 압축 효율이 떨어지거나 양자화 오차가 발생할 경우 많은 성능 감소를

발생 시킨다. 특히 블록 기반의 필터링을 할 때 이러한 필터링 효율 감소는 매우 심각한 것으로 실험 결과 나타났다. 이것은 고대역 신호의 손실에 의한 경계 효과로 재생 영상의 화질을 떨어뜨리는 현상으로 나타난다.

본 논문에서 제안된 루프콘볼루션 방식은 선형 대칭 콘볼루션과 순환 콘볼루션의 장점들을 적용한 필터링 기법으로서 경계 영역에서 발생하는 영상의 유한길이 시퀀스 단점을 보완하였다. 실험결과 제안된 방식은 블록의 크기에 관계 없이 순환 콘볼루션보다 더 향상된 영상의 압축 및 필터링 효과를 얻었다.

참 고 문 헌

- [1] J. Biemond, F. Bosveld and L. Lagendijk, "Hierarchical sub-band coding of HDTV in BISDN," ICASSP '90, pp. 2113-2116, 1990.
- [2] 전준현, "새로운 계층적 이동 보상 피라미드 부호화 방식 연구," 방송공학회논문지, 제8권, 제2호, 181-197쪽, 2003년 3월
- [3] YH Joung, HC Hwang etc, "Wavelet Half-pel Accuracy Motion Estimation Algorithm by Selective Interpolation", IEICE Trans.Fundamentals vol.E85-A NO.6, p1341-1345, 2002.
- [4] M. Vetterli, "Multi-dimensional sub-band coding :some theory and algorithms," Signal Processing 6, pp. 97-112, 1984.
- [5] V. K. Jain and R. E. Crochiere, "Quadrature mirror filter design in the time domain," IEEE Trans. on Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-32, pp. 353-361, April 1984.
- [6] J. W. Woods and S. D. O'Neil, "Sub-banded coding of imgae," IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing, Vol. ASSP-34, no.5, pp.1278-1288, Oct. 1986.
- [7] N.S. Jayant and P. Noll, Digital coding of Waveforms, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1987.
- [8] M. Vetterli, "Filter banks allowing for perfect reconstruction," in Signal Processing, Elsevier Science Publishers, North Holland, pp. 1-26, 1986.
- [9] N. S. Moon, J. S. Song, M. S. Kwon, J. H. Kim, and, C. W. Lee, "Block-based Wavelet Transform Coding of Mommograms with Region Adaptive Quantization," Proc. of SPIE's International Symposium, Medical Imaging 1998, Sandiago, US, p.66.
- [10] 김정권, 이상욱, 이충웅, "블록단위 대역분할/DCT

- 부호화," 전자공학회 논문지. vol. 35-S, no. 2, pp. 245-253, 1998.2.
- [11] Joon-Hyeon Jeon and Jae-Kyoon Kim, "New linear phase QMF filter design for sub-band coding," Electronics letters, Vol. 27, no. 4, pp. 319-320, 1991.
- [12] Herbet Schildt, "Java 2: The Complete Reference, Fifth Edition," McGraw-Hill Osborne Media; 5th edition, August 13, 2002.
- [13] Martin Fowler, Kendall Scott, "A brief guide of the standard object modeling language," Addison-Wesley Professional, April 1999.
- [14] Walter W. Chang, "A discussion of the relationship between RDF-schema and UML," Advanced Technology Group, Adobe Systems, August 1998.

— 저 자 소 개 —



전 준 현(정회원)

1984년 동국대학교 전자공학과
학사졸업.

1986년 한국과학기술원 전기
및 전자 공학석사 졸업.

1991년 한국과학기술원 전기 및
전자 공학박사 졸업.

1991년~1999년 한국통신 인터넷 연구실장 및
사업부장

2000년~2001년 한누리투자증권 리서치팀 이사

2000년~2001년 드림라인 전무

2001년~2005년 현재 동국대학교

정보통신공학과 조교수

<주관심분야 : 영상통신, 영상압축, 신호처리 등>