

논문-03-08-2-09

새로운 계층적 이동 보상 피라미드 부호화 방식 연구

전 준 현*

A Study on New Hierarchical Motion Compensation Pyramid Coding

Joon Hyeon Jeon*

요 약

대역 분할 부호화(Sub-Band Coding:SBC)방식은 계층적 피라미드(hierarchical pyramid) 구조를 갖고 있어 움직임 예측 시 상위 계층에서는 전체적인 이동 특성을 추정하고 하위 계층에서는 국부적인 세부 이동 특성을 추정할 수가 있어 실제 동영상 움직임 보상 성능이 매우 우수하다. 이와 같은 계층적 이동보상 피라미드를 이용한 기존의 저대역(low-band) 이동보상 피라미드 방식에는 다음 두 가지 문제점들로 인해 매우 심각한 화질 저하가 발생한다. 첫째는 저대역 이동보상 피라미드의 각 계층에서 양자화기가 포함된 부호화기를 사용할 경우 하위 계층의 재생 영상일수록 상위 계층에서 누적된 양자화 오차(quantization error)들을 그대로 포함하기 때문에 연속된 영상에서의 정확한 이동 보상이 어렵게 된다. 둘째는 피라미드의 계층적 구조 모순으로 상위 계층에서 잘못된 움직임 추정(motion estimation)은 하위 계층으로 진행될수록 막대한 성능 저하의 원인이 된다. 본 논문에서는 우선 대역분할 부호화 방식을 이용한 대역별 계층적 이동보상에 대한 수학적 분석을 하였으며, 이를 바탕으로 제안되었던 통과 대역(pass-band) 이동보상 피라미드 방식이 누적된 양자화 오차 요인이 제거됨으로써 기존의 저대역 이동보상 피라미드에 비해 성능이 우수하다는 것을 이론적으로 분석하여 이를 증명하였다. 또한 계층적 이동보상 피라미드에서 매우 중요한 최고 계층의 초기 이동벡터 추정을 위하여 에지 패턴 분류를 이용한 이동벡터 추정 방식을 새로이 제안하였으며, 실험 결과 성능의 우수함이 입증 되었다.

Abstract

Motion Compensation(MC) technique using Sub-Band Coding with the hierarchical structure is efficient to estimate real motion. In the hierarchical pyramid method, low-band MC pyramid method is popular, where the upper layer estimate the global motion and next lower layer estimate the local motion. The low-band MC pyramid scheme has two problems. First, because the quantization errors at lower layer are accumulated when using coding and quantizing, it is impossible to search the exact Motion Vector(MV). Second, because of the top-down search problem in the hierarchical structure, MV mismatch in upper layer causes serious MV in lower layer. So, we propose new hierarchical MC pyramid method based on edge classification. In this paper, we show that the performance of proposed pass-band motion compensation pyramid technique is better than low-band motion compensation pyramid. Also, in the pyramid motion estimation, we propose initial MV estimation scheme based on the edge-pattern classification. As a result, we find that PSNR was increased.

Key words : Hierarchical Coding, SBC, Image Compression, Image Coding, Progressive Coding

I. 서 론

영상 신호는 공간과 시간 방향으로 인접한 화소(pixel)간

또는 연속된 프레임간에 많은 데이터의 중복성이 존재한다^[1]. 이러한 디지털 영상 신호를 압축하여 전송하거나 처리하기 위하여 국제 표준화 그룹인 ISO/IEC JTC1/WG11 등의 국제표준화 기구등을 통하여 MPEG(Moving Picture Expert Group)과 같은 표준 방식들이 많이 연구되어 왔다^[2]. 그러나 기존의 방식들은 디지털 영상들의 저장 압축률 또는 전송 대역폭 속도에 맞추어 영상을 압축 처리하

* 동국대학교 영상정보통신대학원 네트워크관리학과
Graduate School of Image and Information Technology Dept. of
Network Management, Dongguk University

※ 본 논문은 동국대학교 연구비 지원에 의해 연구되어진 결과입니다.

는 방식들로서 실제 이동벡터를 정확히 추정 못한다. 이에 반하여 계층적 블록 정합(hierarchical block matching)을 이용한 대역분할 부호화(Sub-Band Coding : SBC) 방식은 이러한 블록기반 이동 추정의 문제점을 극복하여 전체적인(global) 이동 특성과 국부적(local) 이동 특성을 비교적 정확하게 추정하고 또한 물체의 큰 움직임을 추정할 수 있는 계층적 구조의 장점을 갖고 있다^{[3][4][5]}. 이것은 대역분할 부호화 방식이 계층적 구조를 갖고 있기 때문이며, 그 결과 계층적 피라미드 대역분할 부호화 방식은 점진적 부호화(Progressive Coding) 방식의 대표적인 기술로서 원격 감시 및 진료, 고품질 영상 자료 전송등에 많이 활용 되어왔다^{[6][7][8]}. 대역분할 방식의 계층적 피라미드(hierarchical pyramid) 구조를 이용한 기존의 대표적인 저대역 이동보상 피라미드 방식의 경우 두 개의 피라미드를 가지고 있다^[9]. 하나는 움직임 추정(motion estimation)을 위해 현재 영상(current image)과 이전 영상(previous image)에 대해 그림 1과 같은 QMF(Quadrature Mirror Filter) 필터링에 의해 저대역 영상 신호를 연속적 분리하여 얻은 저대역 이동보상 피라미드(low-band motion compensation pyramid)로서 각 피라미드 계층에서는 바로 상위 계층에서 추정된 이동 벡터(motion vector)을 초기 벡터로 사용하여 세부 이동 정보를 다시 추정하게 된다. 다른 하나는 움직임 추정에 따른 예측 오차 피라미드(prediction error pyramid) 혹은 부호화 피라미드(coding pyramid)로서 부호화시 각 계층의 바로 상위 계층에서 이미 전송한 저역 통과 예측 오차 신호들을 제외한 나머지 고역통과 예측 오차 신호들인 잔여 예측 오차(residual prediction error)들 만들 부호화하게 한다^[9]. 그러나 기존의 저대역(low-band) 이동보상 피라미드 부호화 방식은 하위 계층에서 누적된 양자화 오차(quantization error)로 인하여 이동벡터의 부정합(mismatch)이 발생 한다는 점과 피라미드의 계층적 구조 모순으로 상위 계층에서 추정된 이동벡터는 바로 하위 계층에서 초기 이동벡터로 사용하여 움직임을 추정하기 때문에 하위 계층에서 이동 벡터의 보상이 되지 않는다는 심각한 성능 감소의 문제점들을 갖고 있다. 따라서 본 논문에서는 이러한 피라미드 구조에서 발생하는 문제점들을 해결하기 위해 대역분할 영역에서 에지 패턴 분류를 이용한 새로운 계층적 블록 이동 추정에 의한 통과대역(pass-band) 분할 부호화기를 제안하고자 한다.

본 논문의 제2장에서는 기존의 대표적인 저대역 이동 보

상 피라미드 방식과 문제점에 대하여 z -변환을 이용하여 수학적으로 분석하여 서술하였다. 제3장에서는 기존의 저대역 이동보상 피라미드 방식의 문제점을 해결하기 위하여 제안되었던 통과대역 이동보상 피라미드 방식^[10]에 대해 z -변환 분석을 통하여 제안되었던 방식이 우수하다는 것을 이론적으로 증명 하였다. 또한 제4장에서는 계층적 이동보상 피라미드 방식들에서 구조적 모순인 최상위 계층의 움직임 추정의 부정합으로 인한 문제점을 해결하기 위해 최상위 계층에서 대역분할 고주파 신호를 이용한 에지 패턴 분류에 따른 초기 이동벡터 추정 방식을 제안하였다. 끝으로 제안된 방식의 성능 분석을 하였다.

II. 저대역 피라미드를 이용한 계층적 이동보상^[9]

본 장에서는 Woods와 Naveen이 제안한 저대역 이동 보상 피라미드에서 계층적 이동 보상과 잔여오차 신호(residual error signal)들의 양자화 오차에 대해 z 변환 영역에서 정량적으로 분석하였고 저대역 이동보상 피라미드 방식의 문제점들을 서술하였다.

1. 저대역 이동보상 피라미드 방식의 이론적 분석

저대역 피라미드에서 이동 벡터를 추정하기 위해서는 그림 2와 같이 먼저 N 번째 프레임 입력 영상 I_N 와 $N-1$ 번째 프레임 예측 영상 I_{N-1} 에 대하여 L 개 계층을 갖는 저대역 계층 영상 $\{I_N^k | k=0,1,2,\dots,L-1\}$ 와 $\{I_{N-1}^k | k=0,1,2,\dots,L-1\}$ 들을 얻어야 한다. 이때 각 계층 영상 신호들은 그림 1과 같은 QMF(Quadrature Mirror Filter) 트리(tree)를 이용하여 수평과 수직 방향으로 저역 통과시키고 간축 함으로써 얻어진다. 그리고 최상위 계층의 가장 저주파 신호인 I_N^{L-1}

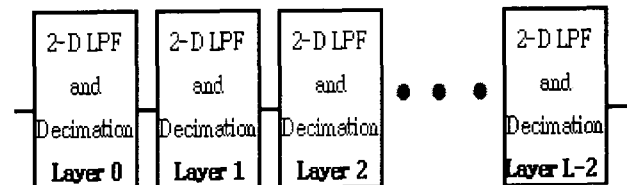


그림 1. 계층적 피라미드를 만들기 위한 2차원 QMF뱅크 트리 구조
Fig. 1. 2-Dim QMF Tree for hierarchical pyramid structure

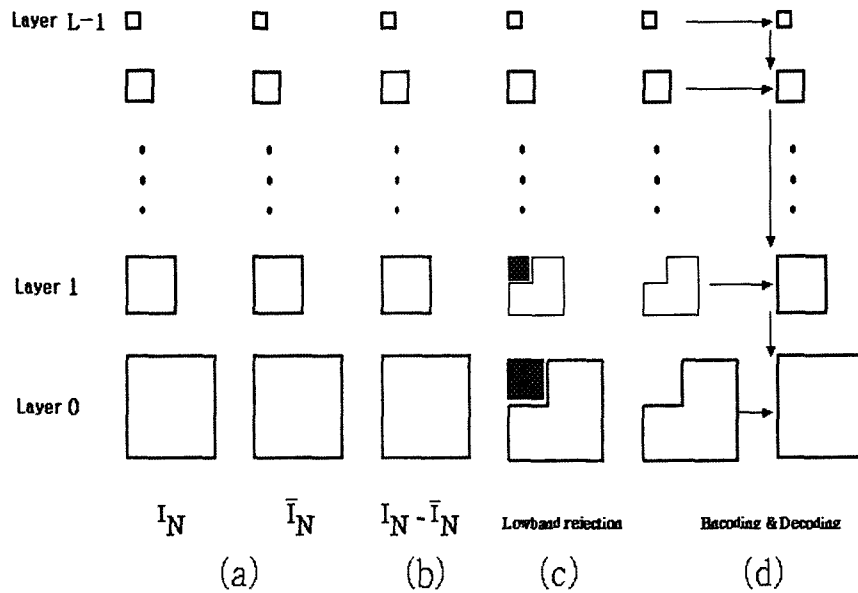


그림 2. 저대역 피라미드를 이용한 계층적 이동 보상 대역 분할 부호화 (a)이동 보상 피라미드 (b) 예측 오차 피라미드 (c)잔여 오차 피라미드 (d) 재생영상피라미드
 Fig. 2. Hierarchical MC-SBC using low-band pyramid (a) MC pyramid (b) prediction error pyramid (c) residual error pyramid (d) reconstructed image pyramid

와 I_{N-1}^{L-1} 로 부터 대강의 이동벡터를 검출한다. 이때 얻은 이동 벡터를 초기 벡터로 하여 다음 계층의 I_N^{L-2} 와 I_{N-1}^{L-2} 사이에 좀더 세밀한 이동 벡터를 검출하며, 이와 같은 과정을 최하위 계층 영상 I_N^0 와 I_{N-1}^0 사이에 이동 벡터를 검출할 때까지 반복 수행한다.

그림 2에서 현재 프레임의 k 번째 계층 영상 신호 I_N^k 는 바로 밑 계층 피라미드 영상의 I_{N-1}^{k-1} 저대역 성분 신호로서 z-변환 영역에서 식 (1)과 같이 표현 될 수가 있으며, I_N^k 는 최하위인 0번째 계층 피라미드 영상 I_N^0 을 k 차례 2차원 저대역(low-pass) 분할을 하여 얻어진 것을 알 수가 있다. 여기서 $H_L(z)$ 는 저역통과(low-pass filter)이다.

$$\begin{aligned}
 I_N^k(z_1, z_2) = & \frac{1}{4} \left\{ I_{N-1}^{k-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + \right. \\
 & I_{N-1}^{k-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + \\
 & I_{N-1}^{k-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + \\
 & \left. I_{N-1}^{k-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) \right\} \quad (1)
 \end{aligned}$$

저대역 이동보상 피라미드에서 만일 k 번째 계층에서 k+1 번째 계층의 이동벡터를 초기 값으로 하여 추정한 미세 이동 벡터를 $\{\Delta \vec{V}_{xy}^k = (\Delta x_k, \Delta y_k) \mid k = 0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 라 가정하면, k 번째 계층의 이동 벡터는 식(2)과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 \vec{V}_{xy}^k = & (\Delta x_k + 2\Delta x_{k+1} + \dots + 2^{L-k-1} \Delta x_{L-1}, \Delta y_k + 2\Delta y_{k+1} + \dots + 2^{L-k-1} \Delta y_{L-1}) \\
 = & \left(\sum_{n=k}^{L-1} 2^{n-k} \Delta x_n, \sum_{n=k}^{L-1} 2^{n-k} \Delta y_n \right) \quad (2)
 \end{aligned}$$

이때 저대역 이동보상 피라미드에서 k 번째 계층에서 움직임이 추정된 영상 $\bar{I}_N^k(z_1, z_2)$ 은 k 번째 계층에서의 예측 영상 $I_{N-1}^k(z_1, z_2)$ 와 추정된 이동벡터 식(2)로부터 다음과 같다.

$$\bar{I}_N^k(z_1, z_2) = z_1^{\sum_{n=k}^{L-1} 2^n \Delta x_n} \cdot z_2^{\sum_{n=k}^{L-1} \Delta y_n} \cdot I_{N-1}^k(z_1, z_2) \quad (3)$$

여기서

$$I_{N-1}^k(z_1, z_2) = \frac{1}{4} \left\{ I_{N-1}^k(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + \right. \\ I_{N-1}^k(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + \\ I_{N-1}^k(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + \\ \left. I_{N-1}^k(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) \right\}$$

이며, 식(3)의 $z_1^{\frac{1}{2}} \cdot \sum_{n=k}^{L-1} 2^{n-k} \Delta x_n \cdot z_2^{\frac{1}{2}} \cdot \sum_{m=k}^{L-1} 2^{m-k} \Delta y_m$ 는 k 번째 계층에서 움직임 추정 에 따른 이동 위치를 식으로 나타낸 것이다. 계층적 이동보상 피라미드 구조에서 블록 이동 추정 시 상위 계층일수록 블록 크기가 작아지므로 피라미드를 사용하지 않은 방식에 비하여 평가 함수(MSE 또는 MAE) 계산량은 줄어든다. 예를 들어 L = 3 일때 각 계층에서 9 개 블록을 비교하는 1 단계 탐색을 한다면 그림 3과 같이 간격 크기(step size)를 4 → 2 → 1로 순서대로 하는 BMA에 의한 이동 정보 검출과 같으며, 이동 보상의 탐색 범위(search range)는 (-7, +7)이 된다.

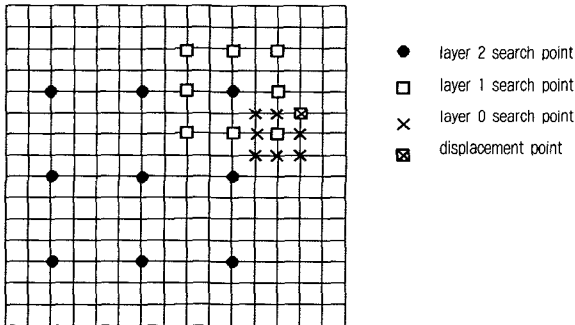


그림 3. 3 계층 저대역 피라미드에서의 블록 이동 추정 탐색 점의 예(4→2→1)
Fig. 3. Example of ME search points in 3 layer low-band pyramid

2. 부호화 피라미드에서의 양자화 오차 분석

저대역 이동보상 피라미드 방식에서 부호화시 양자화 오차^[13]에 따른 분석은 바로 예측오차 신호와 잔여오차 신호 간의 양자화 오차 신호이며, 다음과 같다.

저대역 이동보상 피라미드의 각 계층에서는 그림 2에서 나타난 바와 같이 현재 프레임 영상과 움직임 추정된 예측 영상 간의 오차 영상이 만들어지면서 예측 오차 피라미드와 다시 부호화에 필요한 잔여오차 피라미드(residual error pyramid)가

생성된다. 만일 그림 2와 같이 N 번째 프레임의 k 번째 계층의 예측오차 신호를 $\{PE_N^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 라고 가정하면, 식 (1)과 (3)으로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$PE_N^k(z_1, z_2) = I_N^k(z_1, z_2) - \bar{I}_N^k(z_1, z_2) \\ = I_N^k(z_1, z_2) - z_1^{\sum_{n=k}^{L-1} 2^{n-k} \Delta x_n} \cdot z_2^{\sum_{m=k}^{L-1} 2^{m-k} \Delta y_m} \cdot I_{N-1}^k(z_1, z_2) \quad (4)$$

여기서 $I_N^k(z_1, z_2)$ 와 $\bar{I}_N^k(z_1, z_2)$ 는 N 번째 프레임의 저대역 이동보상 피라미드에서 k 번째 계층 입력 영상과 움직임 추정된 예측 영상을 각각 나타낸 것이며, 앞에서 식 (1)과 식(3)에 해당 된다. 이때 각 계층에서는 예측오차 신호 $PE_N^k(z_1, z_2)$ 로부터 양자화와 부호화에 필요한 잔여오차 신호 $\{RE_N^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 을 생성한다. 이때 생성된 k 번째 계층의 잔여 오차 신호 $RE_N^k(z_1, z_2)$ 는 식(5)와 같으며, 최고 계층의 $RE_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 외에는 해당되는 계층의 예측오차 신호로부터 상위 계층의 예측오차 신호(저대역 성분)을 제거하하므로서 생성된다.

$$RE_N^k(z_1, z_2) = \begin{cases} PE_N^{L-1}(z_1, z_2) & \text{where } k=L-1 \\ PE_N^k(z_1, z_2) - PE_N^{k+1}(z_1, z_2) & \text{where } k=L-2, L-3, \dots, 1, 0 \end{cases} \quad (5)$$

식(5)에서 $PE_N^{k+1}(z_1, z_2)$ 는 k번째 계층 $PE_N^k(z_1, z_2)$ 의 저대역 성분임을 알 수가 있다. 이때 각 계층의 잔여오차 신호들은 양자화된 후 예측 영상을 만들기 위하여 이동추정 루프에 피드백(feedback)됨과 동시에 부호화되어 수신측에 전달된다. 만일 부호화 피라미드에서 양자화된 k 번째 계층의 잔여오차신호를 $Q[RE_N^k(z_1, z_2)]$ 라고 하면, k 번째 계층 재생 예측오차 신호 $RPE_N^k(z_1, z_2)$ 는 식(5)로부터 다음과 같이 구해진다.

$$RPE_N^k(z_1, z_2) = \begin{cases} Q[RE_N^{L-1}(z_1, z_2)] & \text{where } k=L-1 \\ Q[RE_N^k(z_1, z_2)] - RPE_N^{k+1}(z_1, z_2) & \text{where } k=L-2, \dots, 1, 0 \end{cases} \quad (6)$$

이때 식 (6)으로부터 $RPE_N^{k+1}(z_1, z_2)$ 는 $RPE_N^k(z_1, z_2)$ 의 저대역 성분으로 모두 양자화 오차가 포함되어 있고, 특히 $RPE_N^k(z_1, z_2)$ 에는 L-1 번째 계층에서 k 번째 계층까지의 양자화 오차가 누적되어 있음을 식 (6)으로부터 알 수가 있다. 따라서 N+1번째 프레임을 위해 이동 보상 루프에

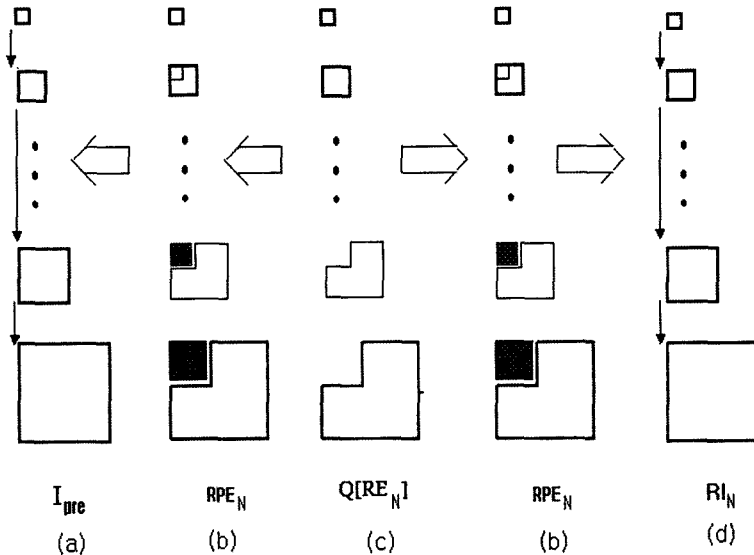


그림 4. 저대역 피라미드에서 재생 영상과 예측 영상 피라미드 생성 (a) 예측영상 (b) 재생된 예측 신호 (c) 양자화된 잔여오차 신호 (d) 재생 영상
 Fig. 4. Reconstructed image and prediction image pyramids in low-band pyramid scheme (a) prediction images (b) reconstructed prediction images (c) quantized residual error signals (d) reconstructed images

저장되는 예측 영상들을 $\{I_{pre}^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, \dots, L-1\}$ 라하고 수신 측의 재생영상 피라미드에서 N번째 프레임의 재생영상들을 $\{RI_N^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, \dots, L-1\}$ 라 하면 $I_{pre}^k(z_1, z_2)$ 와 $RI_N^k(z_1, z_2)$ 는 식 (6)으로부터 식 (7)과 같이 구해 진다.

$$RI_N^k(z_1, z_2) = I_{pre}^k(z_1, z_2) + RPE_N^k(z_1, z_2), \text{ where } k=L-1, \dots, 2, 1, 0 \quad (7)$$

다시 식 (6)으로부터 N 번째 프레임의 k 번째 계층의 재생 영상을 양자화 오차가 누적되어 있는 식으로 표현하면,

$$RI_N^k(z_1, z_2) = \bar{I}(z_1, z_2) + [Q[RE_N^k(z_1, z_2)] + Q[RE_N^{k+1}(z_1, z_2)] + \dots + Q[RE_N^{L-1}(z_1, z_2)]] \quad (8)$$

과 같으며, L-1 번째 계층에서 k 번째 계층까지의 양자화 오차(quantizer error)가 계속해서 누적이 되는 것을 알 수가 있다. 이것은 재생영상 화질 뿐만 아니라 N+1 번째 저대역 이동보상 피라미드에서 예측 영상으로도 사용되므로 공간영역 뿐만 아니라 시간 축으로도 지속적인 양자화 오

차 누적은 발생될 것이며, 그 결과 잘못된 움직임 추정을 유발할 것이며 심각한 성능 감소의 원인이 될 것이다. 그림 4의 N 번째 프레임 재생 영상 피라미드나 이동보상 피라미드에서의 k 번째 계층에서 발생하는 양자화 오차를 $\{e_N^k \mid k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 라 가정하면 식(9-a)와 같으며, 이때 재생영상이나 예측영상에서 누적된 k 번째 계층에서의 양자화 오차 qe_N^k 는 예측오차 신호 $PE_N^k(z_1, z_2)$ 의 재생 신호인 식(6)의 $RPE_N^k(z_1, z_2)$ 로부터 식(9-b)와 같이 구해진다.

$$e_N^k = |RE_N^k(z_1, z_2) - Q[RE_N^k(z_1, z_2)]|_{average}^2 \quad (9-a)$$

$$qe_N^k = \sum_{n=k}^{L-1} |PE_N^n(z_1, z_2) - RPE_N^n(z_1, z_2)|_{average}^2 = e_N^k + qe_N^{k+1} \quad (9-b)$$

이와 같이 저대역 이동보상 피라미드 방식은 양자화 오차가 예측 영상에 누적되어 나타남으로 인해 잘못된 움직임 추정의 원인이 된다는 것을 알 수가 있다.

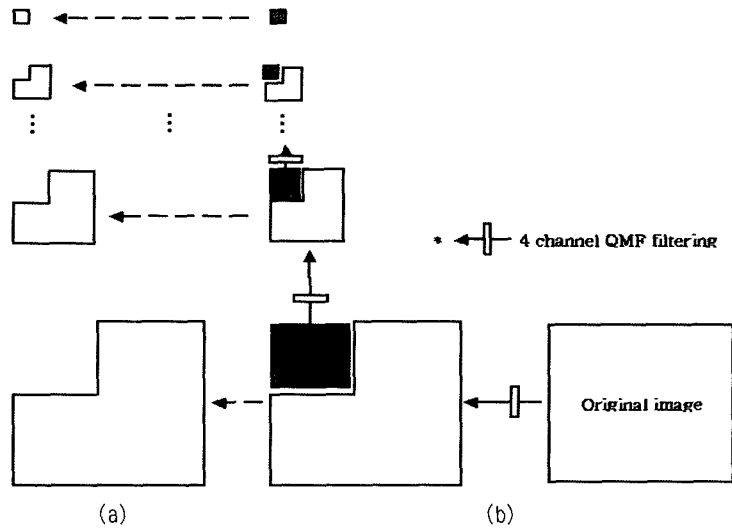


그림 5. 통과대역 피라미드 구성 (a) 2차원 QMF बैं크를 이용하여 고주파 대역만 합성한 통과 대역 영상 피라미드 (b) 2차원 QMF बैं크를 이용하여 대역 분할하여 저주파 대역과 고주파 대역 분류
 Fig. 5. Pass-band pyramid scheme (a) pass-band pyramid images (b) low and high frequency bands split by 2-Dim. QMF bank

3. 저대역 피라미드 방식의 문제점 분석

앞에서 언급하였듯이 일반적인 저대역 피라미드를 구성하여 계층적 이동 보상을 한다면 매우 효과적인 부호화 방식을 구현할 수가 있으나 다음 두 가지 문제점들이 발생한다.

첫째, 저대역 이동 보상 피라미드 방식은 DPCM (Differential Pulse Coded Modulation) 루프의 예측영상 피라미드와 각 계층 예측 영상들은 바로 이전 프레임에서 부호화에 따른 양자화 오차가 누적된 재생 영상 신호를 사용한다. 이것은 잘못된 움직임 추정을 유발 시킬 것이며 심각한 성능 감소의 원인으로 식(8)과 식(9)에서 증명된 바와 같이 시간이 지날수록 공간영역 뿐만 아니라 시간 축으로도 지속적인 양자화 오차 누적이 급격히 증가될 것이다.

둘째는 계층적 이동보상 피라미드 방식은 이동 벡터 추정이 "top-down" 방식이기 때문에, 만일 $k=L-1$ 번째 최고 계층에서 초기 이동 벡터를 잘못 추정한다면, 하위 계층들에서 이동벡터 추정(motion vector estimation)은 매우 심각한 이동벡터 부정합을 유발할 것이다. 이것은 피라미드 구조에서 모든 저 계층의 이동 벡터 추정은 바로 상위 계층에서 추정된 이동 벡터를 초기 벡터로 사용하기 때문이다. 만일 이

러한 부정합된 이동 벡터가 각 계층에서 추정된다면, 식 (4)와 식 (5)의 예측오차신호 $\{PE_N^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 와 잔여오차신호 $\{RE_N^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 값들이 커질 것이며 그 결과 양자화에 의한 식 (9)의 누적오차는 더욱 커질 것이다.

이상에서 설명된 바와 같은 문제점들로부터 저대역 이동 보상 피라미드 방식^[9]은 재생영상의 화질 저하 뿐만 아니라 이동 벡터 추정 오류등 심각한 성능 감소가 나타난다는 것을 알 수가 있다.

III. 통과대역 피라미드를 이용한 계층적 이동 보상^[10]

본 장에서는 저대역 이동보상 피라미드 방식에서 예측 영상 신호의 양자화 오차 누적으로 인한 움직임 추정의 부정합 문제점을 해결하기 위해 고주파 대역의 계층 영상을 이용하여 움직임을 추정하는 통과대역 피라미드(pass-band pyramid) 방식을 정량적으로 분석 하였으며, 기존의 저대역 피라미드 방식에 비해 성능이 우수하다는 것을 입증하였다^[10].

1. 통과대역 이동보상 피라미드 방식의 이론적 분석

통과대역 이동보상 피라미드에서 통과 대역 계층 영상 신호란 그림 5에서 나타난 바와 같이 L개 계층 저대역 피라미드를 그림 1의 QMF뱅크 트리(tree)을 이용하여 만들면서 바로 상위 계층의 저주파 대역영상 신호 성분을 제거한 고주파 대역영상 신호들을 말한다. 즉, 앞에서 설명된 바와 같이 N 번째 프레임의 영상 I_N 에 대하여 k+1 번째 계층 영상 신호 I_N^{k+1} 는 바로 하위 계층인 k 번째 계층 영상 신호 I_N^k 의 저주파 대역영상 신호에 해당된다. 만일 통과대역 피라미드 계층 영상 신호들을 $\{I_N^k | k=0, 1, \dots, L-1\}$ 라면, k 번째 계층의 통과대역 영상 신호 I_N^k 는 k 번째 계층의 저대역 영상 신호 I_N^k 에서 바로 상위 계층의 저대역 영상 신호 I_N^{k+1} 가 제거된 신호로 얻어지며 z-변환 영역에서 식 (10)과 같이 표현 된다.

$$*I_N^k(z_1, z_2) = \begin{cases} I_N^k(z_1, z_2) & \text{where } k=L-1 \\ I_N^k(z_1, z_2) - I_N^{k+1}(z_1, z_2) & \text{where } k=L-2, \dots, 1, 0 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 k=L-1 번째 계층을 제외한 k 번째 계층 통과대역 영상 $*I_N^k(z_1, z_2)$ 는 식 (10)으로부터

$$*I_N^k(z_1, z_2) = I_N^k(z_1, z_2) - \frac{1}{4} [I_N^k(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^k(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^k(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^k(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}})] \quad (11)$$

와 같으며, 모두 고주파 성분만을 갖는 영상 신호들이임을 알 수가 있다.

통과대역 이동보상 피라미드에서 이동 벡터를 추정하는 방법은 앞에서 설명된 저대역 이동보상 피라미드 방식과 같으며, 현재 프레임의 영상 I_N 과 예측영상 I_{N-1} 에 대하여 통과 대역 피라미드 영상들 $\{I_N^k | k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 와

$\{I_{N-1}^k | k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 을 각각 얻은 후 각 계층에서 움직임 추정에 따른 이동보상 예측오차 피라미드 $\{*\bar{I}_N^k | k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 을 얻게 된다. 만일 k+1 번째 계층의 이동벡터를 초기 값으로 하여 k 번째 계층에서 찾은 이동 벡터를 식 (2)와 같은 $\{\Delta \vec{V}_y^k = (\Delta x_k, \Delta y_k) | k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 라 가정하면, 통과대역 이동보상 피라미드에서 이동 보상된 N번째 프레임의 k 번째 계층에서 이동 보상된 영상 신호 $*\bar{I}_N^k(z_1, z_2)$ 는 식 (3)과 식 (10)으로부터 다음과 같이 얻어진다.

$$*\bar{I}_N^k(z_1, z_2) = z_1^{-\sum_{n=1}^k 2^{n-1} \Delta x_n} \cdot z_2^{-\sum_{n=1}^k 2^{n-1} \Delta y_n} \cdot *I_{N-1}^k(z_1, z_2) \quad (12)$$

여기서

$$*\bar{I}_N^k(z_1, z_2) = z_1^{-\sum_{n=1}^k 2^{n-1} \Delta x_n} \cdot z_2^{-\sum_{n=1}^k 2^{n-1} \Delta y_n} [I_{N-1}^k(z_1, z_2) - \frac{1}{4} \{I_{N-1}^k(z_1, z_2) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_{N-1}^k(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_{N-1}^k(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I_{N-1}^k(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}})\}]$$

이며, 식 (12)의 $z_1^{-\sum_{n=1}^k 2^{n-1} \Delta x_n} \cdot z_2^{-\sum_{n=1}^k 2^{n-1} \Delta y_n}$ 는 k 번째 계층에서 움직임 추정에 따른 움직임 추정 위치를 나타낸 것이다.

2. 부호화 피라미드에서의 양자화 오차 분석

고주파 계층 영상간의 움직임 추정을 하는 통과대역 이동보상 피라미드의 각 계층에서는 그림 5에서 나타난 바와 같이 현재 프레임 영상과 움직임 추정된 예측영상간의 오차 영상이 만들어지면서 부호화에 필요한 잔여 오차 피라미드(residual error pyramid)가 생성된다. 만일 그림 6과 같이 N 번째 프레임의 잔여오차 피라미드를 $\{*RE_N^k(z_1, z_2) | k=0, 1, 2, \dots, L-1\}$ 라고 가정하면, k 계층의 잔여 오차 신호 $*Re_N^k(z_1, z_2)$ 는 식 (11)과 식 (12)로부터 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}
 *RE_N^k(z_1, z_2) &= *I_N^k(z_1, z_2) - *\bar{T}_N^k(z_1, z_2) \\
 &= *I_N^k(z_1, z_2) - z_1^{-k} \sum_{n=0}^{L-1-k} \Delta x_n \cdot z_2^{-k} \sum_{m=0}^{n-k} \Delta y_m \cdot *I_{N-1}^k(z_1, z_2)
 \end{aligned} \tag{13}$$

식(13)에서 최고 계층(: k=L-1) 번째 잔여오차 신호 $*RE_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 는 순수 저주파 대역영상 신호인 $*I_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 와 $*T_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 간의 차와 같으며, 나머지 각 계층의 잔여오차 신호들은 해당되는 계층의 고주파 대역영상 신호들 간의 차로 얻어진다. 이때 통과대역 이동보상 피라미드 방식에서 식 (13)의 k 번째 계층의 잔여오차 $*RE_N^k(z_1, z_2)$ 는 저대역 이동보상 피라미드 방식에서 식 (8)의 잔여 오차 신호와는 많은 차이가 있으며, 중요한 점은 $*RE_N^k(z_1, z_2)$ 가 상위 계층에서 발생된 예측 오차 신호와 무관하다는 것이다.

만일 통과대역 이동보상 피라미드에서 N+1번째 프레임 을 위해 이동 보상 루프에 저장되는 예측 영상 신호를 $\{ *I_{pre}^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, \dots, L-1 \}$ 라하고 N번째 프레임의 재생영상 신호를 $\{ *RI_N^k(z_1, z_2) \mid k=0, 1, \dots, L-1 \}$ 라 하

면 k번째 계층의 $*I_{pre}^k(z_1, z_2)$ 와 $*RI_N^k(z_1, z_2)$ 는 식 (13)을 양자화한 잔여오차신호 $Q[*RE_N^k(z_1, z_2)]$ 와 식 (15)의 관계식7으로부터 다음 식과 같다.

$$*I_{pre}^k(z_1, z_2) = \begin{cases} *\bar{T}_N^{k-1}(z_1, z_2) + Q[*RE_N^{L-1}(z_1, z_2)], & \text{where } k=L-1 \\ *\bar{T}_N^k(z_1, z_2) + Q[*RE_N^k(z_1, z_2)], & \text{where } k=L-2, \dots, 2, 1, 0 \end{cases} \tag{14-a}$$

$$*RI_N^k(z_1, z_2) = \begin{cases} *\bar{T}_N^{k-1}(z_1, z_2) + Q[*RE_N^{L-1}(z_1, z_2)], & \text{where } k=L-1 \\ *\bar{T}_N^k(z_1, z_2) + Q[*RE_N^k(z_1, z_2)], & \text{where } k=L-2, \dots, 2, 1, 0 \end{cases} \tag{14-b}$$

여기서 $*T_N^k(z_1, z_2)$ 는 움직임이 추정된 k번째 계층의 통과대역 영상 신호이다. 이와 같이 식 (14-a)로부터 예측영상 신호에서 양자화 오차가 해당 계층에서만 국한되는 것을 알 수가 있다. 또한 식 (10)으로부터 식 (14-b)는 다음과 같다.

$$\begin{aligned}
 *RI_N^k(z_1, z_2) &= \{ *\bar{T}_N^k(z_1, z_2) + Q[*RE_N^k(z_1, z_2)] \}; + \\
 &\{ *\bar{T}_N^{k+1}(z_1, z_2) + Q[*RE_N^{k+1}(z_1, z_2)] \}; + \dots + \\
 &\{ *\bar{T}_N^{L-2}(z_1, z_2) + Q[*RE_N^{L-2}(z_1, z_2)] \}; + \\
 &\{ *\bar{T}_N^{L-1}(z_1, z_2) + Q[*RE_N^{L-1}(z_1, z_2)] \};
 \end{aligned} \tag{15}$$

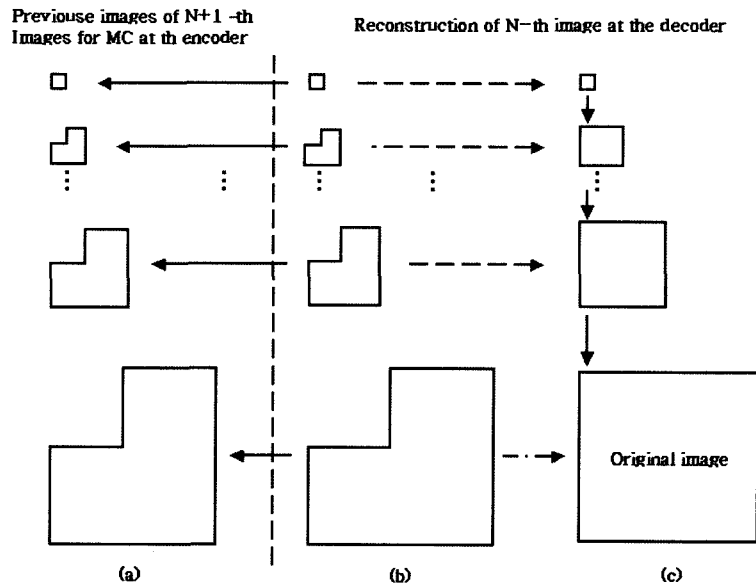


그림 6 통과 대역 피라미드에서 재생 영상과 예측 영상 피라미드 (a) 예측 영상 피라미드 (b) 잔여 오차 피라미드 (c) 재생 영상 피라미드

Fig. 6. Reconstructed image and prediction image pyramids in pass-band pyramid scheme (a) prediction images (b) residual error signals (c) reconstructed images

그림 6의 통과대역 이동보상 피라미드에서 N+1번째 프레임에 의해 이동 보상 루프에 저장되는 k번째 계층의 예측영상의 양자화 오차 $*e_N^k$ 는 식(14-a)로부터 식(16-a)와 같으며, k번째 계층의 재생영상 신호 $*RI_N^k(z_1, z_2)$ 의 누적 양자화 오차 $*qe_N^k$ 는 L-1번째부터 k번째 계층까지 전체 오차로서 식(14-b)로부터 식(16-b)와 같이 얻어진다.

$$e_N^k = | *RE_N^k(z_1, z_2) - Q[*RE_N^k(z_1, z_2)] |^2_{average} \quad (16-a)$$

$$*qe_N^k = \sum_{n=k}^{L-1} | *RE_N^n(z_1, z_2) - Q[*RE_N^n(z_1, z_2)] |^2_{average} \quad (16-b)$$

$$= *e_N^k + *e_N^{k+1} + \dots + *e_N^{L-2} + *e_N^{L-1}$$

3. 저대역 이동보상 피라미드 방식과 통과대역 이동보상 피라미드 방식의 비교

본 절에서는 앞에서 분석한 저대역 이동보상 피라미드 방식과 통과대역 이동보상 피라미드 방식을 정량적으로 비교 분석하였으며, 다음과 같다.

첫째, 부호화 엔트로피 척도로 잔여오차신호 에너지를 비교 분석하였다. 저대역 이동보상 피라미드 방식에서 k 번째 계층의 잔여오차 신호 $RE_N^k(z_1, z_2)$ 는 식(5)와 같으며, 식(4)로부터 엔트로피 에너지가 $| PE_N^k(z_1, z_2)_{min} - PE_N^{k+1}(z_1, z_2)_{min} |^2$ 을 만족하나 최적 엔트로피 조건인 $| RE_N^k(z_1, z_2) |^2_{min} = | RE_N^k(z_1, z_2) - PE_N^{k+1}(z_1, z_2) |^2_{min}$ 을 만족하지 않는다. 이것은 식(4)의 $PE_N^k(z_1, z_2)$ 와 $PE_N^{k+1}(z_1, z_2)$ 가 $I_N^k(z_1, z_2)$ 와 $\bar{T}_N^k(z_1, z_2)$, $\bar{T}_N^{k+1}(z_1, z_2)$ 와 $\bar{T}_N^{k+1}(z_1, z_2)$ 간의 MMSE(Minimum Mean Squared Error)를 갖는 조건 하에 얻어진 $| I_N^k(z_1, z_2) - \bar{T}_N^k(z_1, z_2) |^2_{min}$ 와 $| I_N^{k+1}(z_1, z_2) - \bar{T}_N^{k+1}(z_1, z_2) |^2_{min}$ 만을 만족하기 때문이다. 반면 통과대역 피라미드 방식에서 k 번째 계층의 잔여오차 $*RE_N^k(z_1, z_2)$ 는 식(13)에 나타난 바와 같이 k 번째 계층 입력 영상 $*I_N^k(z_1, z_2)$ 와 움직임이 추정된 예측영상 $*\bar{T}_N^k(z_1, z_2)$ 간의 MMSE를 갖는 $| *I_N^k(z_1, z_2) - *\bar{T}_N^k(z_1, z_2) |^2_{min}$ 로 직접 얻어진다. 따라서 두 방식의 k 번째 계층의 잔여오차 평균 에너지를 비교하면

$$| *RE_N^k(z_1, z_2) |^2_{min} \leq | RE_N^k(z_1, z_2) |^2$$

$$= | PE_N^k(z_1, z_2)_{min} - PE_N^{k+1}(z_1, z_2)_{min} |^2 \quad (17)$$

와 같으며, 식(17)로부터 통과대역 이동보상 피라미드 방식이 저대역 이동보상 피라미드 방식에 비해 잔여오차 신호의 에너지가 적다는 것을 알 수가 있다.

둘째, 두 가지 이동보상 피라미드 방식들에서 k 번째 계층의 양자화 오차들을 각각 비교해 보면 다음과 같다. 저대역 이동보상 피라미드에서 k 번째 계층에서 예측영상과 재생영상의 양자화 오차 qe_N^k 는 식(9-b)에서 설명된 것 같이 최고 계층 (=L-1)부터 k 번째 계층까지 양자화 오차가 누적됨을 알 수가 있다. 반면 통과대역 이동보상 피라미드 방식에서는 k번째 계층의 예측영상에서 발생하는 양자화 오차는 식(17-a)의 $*e_N^k$ 이며, 이것은 재생영상의 양자화 오차는 식(17-b)의 $*qe_N^k$ 와는 다른 것이 증명되었다. 식(9)와 식(16)으로부터 양자화 오차들을 비교하면 식(17)의 $| *RE_N^k(z_1, z_2) |^2_{min} \leq | RE_N^k(z_1, z_2) |^2$ 조건으로부터 다음과 같다.

$$*e_N^k \leq e_N^k, \quad *qe_N^k \ll qe_N^k \quad (18)$$

따라서 식(18)로부터 통과대역 이동보상 피라미드 방식이 저대역 이동보상 피라미드 방식에 비해 양자화 오차가 적다는 사실을 알 수가 있다.

이와 같이 통과 대역 피라미드를 구성하여 이동 보상을 한다면 저대역 피라미드 방식에 비해 각 계층에서는 부호화에 따른 양자화 오차가 줄어들 뿐만 아니라 이동 벡터를 좀 더 정확히 추정할 수가 있다. 그 결과 부호화 효율을 향상시키고 재생영상의 화질 또한 개선시킬 수가 있다.

IV. 계층적 이동보상 피라미드에서 에지 패턴을 이용한 초기 벡터 추정

본 장에서는 이동보상 피라미드 방식에서 계층적 움직임 추정에 중요한 최고 계층의 최초 이동 벡터를 정확하게 추정하는 방식으로 에지 패턴에 의한 이동 벡터 검출 방식을 제안하였다. 먼저 z 변환 영역에서 대역 분할된 각각의 부대역(subband) 영상 신호를 분석하고 이에 따른 에지 패턴 간의 관계를 분석하고자 한다.

1. z 변환 영역에서 부대역(sub-band) 영상 신호 특성 분석

2차원 영상 $I_N(z_1, z_2)$ 에 대해서 그림 7과 같이 2차원 분

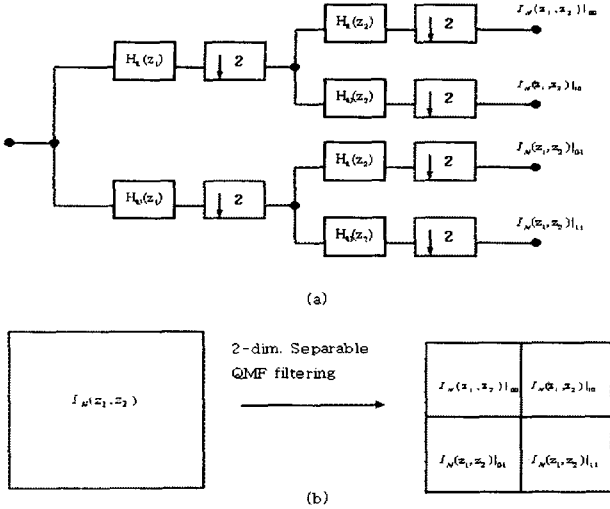


그림 7. 2차원 QMF बैं크와 4채널 대역 분할된 부대역 영상 (a) 2차원 분리 분할 बैं크 시스템 (b) 4 채널 대역 분할 부대역 영상
 Fig. 7. 2-Dim. QMF bank and 4 channel sub-band images (a) 2-Dim. QMF bank (b) 4 channel sub-band images

리 QMF बैं크를 사용하여 수평과 수직방향의 4채널로 대역 분리를 하였을 때, z 변환 영역에서 대역 분할(band splitting)된 각 부대역 영상 신호들을 $I_N(z_1, z_2)|_{00}$, $I_N(z_1, z_2)|_{10}$, $I_N(z_1, z_2)|_{01}$, $I_N(z_1, z_2)|_{11}$ 라 가정하고 QMF 필터로 $H_L(z)$ 을 대칭(symmetric)과 $H_U(z)$ 을 비대칭(anti-symmetric) FIR 필터로 사용할 경우에 각 채널의 부대역 영상(sub-band image)들은 QMF बैं크에서 수평과 수직 방향의 필터링에 의하여 다음과 같은 고유한 에지 패턴(edge pattern) 성분 만을 갖게 된다.

$I_N(z_1, z_2)|_{00}$: 균일 에지 성분 (homogenous edge component)

$I_N(z_1, z_2)|_{10}$: 수평 에지 성분 (horizontal edge component)
 $I_N(z_1, z_2)|_{01}$: 수직 에지 성분 (vertical edge component)
 $I_N(z_1, z_2)|_{11}$: 대각 에지 성분 (diagonal edge component)

따라서 이와 같은 부대역 특성을 이용 한다면, 해당되는 위치의 원 영상 블록의 에지 패턴을 판단할 수가 있으며, DCT 계수를 이용한 에지패턴 분류와 유사하다고 할 수가 있다^[14].

2. 부 대역 신호 α_{01} , α_{10} 과 블록 에지 패턴 분류

그림 8은 원영상의 블록과 부대역 영상 블록과의 관계를 설명한 것으로, 원영상의 4×4 블록에 대한 4 채널 부대역 블록은 $I_N(z_1, z_2)|_{00}$, $I_N(z_1, z_2)|_{10}$, $I_N(z_1, z_2)|_{01}$, $I_N(z_1, z_2)|_{11}$ 에서 같은 위치에 2×2 블록에 해당되며, 그림 9(a)와 같이 7 채널로 대역 분할 하였을 때 부대역 블록은 $I_N(z_1, z_2)|_{00-00}$, $I_N(z_1, z_2)|_{00-10}$, $I_N(z_1, z_2)|_{00-01}$, $I_N(z_1, z_2)|_{00-11}$ 에서 같은 위치의 1×1 블록과 $I_N(z_1, z_2)|_{10}$, $I_N(z_1, z_2)|_{01}$, $I_N(z_1, z_2)|_{11}$ 에서 같은 위치에 2×2 블록에 해당된다. 만일 7 채널로 대역 분할하였을 때 원 영상에서의 4×4 블록의 에지 패턴은 그림 9(b)의 두 개 부대역 영상 $I_N(z_1, z_2)|_{00-10}$ 와 $I_N(z_1, z_2)|_{00-01}$ 에 해당되는 블록 평균 값인 α_{01} 과 α_{10} 에 의해 결정할 수가 있는데, 이것은 앞에서 설명된 바와 같이 α_{01} 은 수직 에지 패턴(vertical edge pattern)만을 갖고 있는 부 대역 $I_N(z_1, z_2)|_{00-01}$ 의 해당 블록 평균 값이며, α_{10} 은 수평 에지 패턴(horizontal edge pattern)만을 갖고 있는

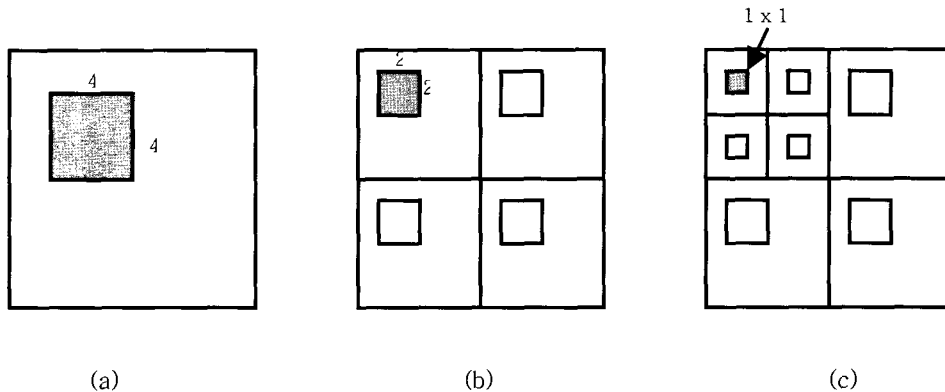


그림 8. 블록기반 대역분할에 따른 대역별 부대역 블록 (a) 원 영상 블록 (b) 4 채널 대역분할 영상 블록 (c) 7 채널 대역 분할 영상 블록
 Fig. 8. Sub-band block in sub-band image (a) original block (b) 4 channel sub-band blocks (c) 7 channel sub-band blocks

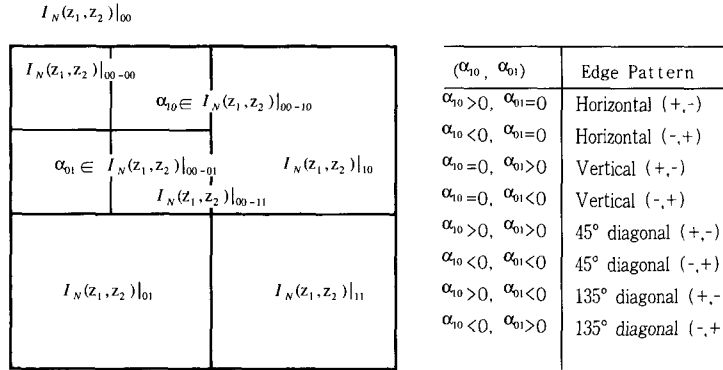


그림 9. $I_N(z_1, z_2) |_{00}$ 의 에지 패턴 과 부대역 평균 값 α_{10}, α_{01} 과의 관계 (a) 7 채널 대역 분할 (b) α_{10}, α_{01} 와 블록 에지 패턴 형태
 Fig. 9. Relationship between edge pattern and α_{10}, α_{01} (a) 7 channel bands (b) block edge pattern type according to α_{10}, α_{01}

부 대역 $I_N(z_1, z_2) |_{00-10}$ 의 해당 블록 평균 값이기 때문이다. 따라서 α_{01}, α_{10} 의 두 대역 평균 값 들에 의하여 에지의 방향과 극성, 그리고 에지 에서의 'gray level'의 변화량을 알 수가 있었다.

이상에서 설명된 바와 같이, 원 영상의 4 x 4 블록 에지 패턴과 부 대역 평균 값 α_{01}, α_{10} 과의 관계를 이용하여 균일 에지 (homogeneous edge)/ 수직 에지 (vertical edge)/ 수평 에지 (horizontal edge)/ 대각 에지 (diagonal edge)와 같은 4개의 기본 부류(class)로 나눌 수 있다. 그런데 저대역 화소들의 에너지가 전체적으로 커지기 때문에 대각 에지(diagonal edge)는 45°와 135°의 각도를 갖는 2가지 경우를 포함하여 6 부류(class)를 더 세분할 필요가 있다. 만약 α_{01}, α_{10} 의 절대값에 의하여 나누면, 블록 전체 부대역 화소 크기에 의하여 부류를 나누는 것과 거의 비슷한 효과가 있다. 이것은 고대역 화소의 특성이 에지 각도와 극성에는 무관하기 때문에 두 대역 화소 값에 따라 나누면 효과적이다.

3. L-1 번째 계층의 이동보상 블록과 L 번째 계층의 에지 패턴

계층적 피라미드를 사용하여 이동 보상을 할 경우에 최고 계층의 초기 이동 벡터 추정 이 매우 중요하다. 따라서 본 논문에서는 최고 계층의 초기 벡터(initial vector)를 추정하는 방법으로 에지 분류(edge classification)방식을 제안

하고자 한다.

에지 분류 기반의 초기 벡터 추정을 갖는 계층적 이동 보상 피라미드 방식은 그림 10에 나타난 바와 같이 부호화를 위한 잔여 오차 피라미드나 재생영상 피라미드가 L 개의 계층 영상을 갖는 반면, 이동보상 피라미드는 L+1 개의 영상 계층을 갖는다. 이 경우 저대역 이동보상 피라미드 방식이나 통과대역 이동보상 피라미드 방식 똑같이 L 계층에서 에지패턴을 결정한다. 이때 이동보상 피라미드에서 L번째 계층은 단지 L-1번째 계층에서 초기 이동 벡터 추정을 위해 에지 패턴(edge pattern)을 분류하기 위한 4개의 대역 영상들로 구성 되며, 부호화를 하지 않기 때문에 잔여

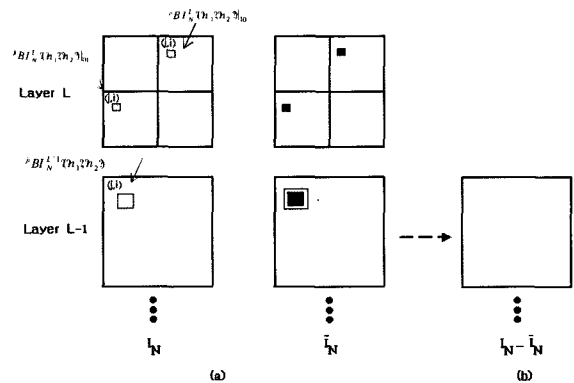


그림 10. 초기 벡터 추정을 갖는 계층적 피라미드의 구성 (a) 이동 보상 피라미드 (b) 예측오차 피라미드
 Fig. 10. hierarchical pyramid scheme with initial Motion Vector (a) MC pyramid (b) prediction error pyramid

오차 피라미드 구성에서는 제외된다. 만일 제안된 에지패턴 기반 이동 보상 피라미드7 방식에서 초기이동 벡터를 추정해야 하는 N번째 프레임 L-1번째 계층의 피라미드 영상을 $I_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 라 하면, 최고 L번째 계층은 $I_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 의 4 채널 부대역(sub-band) 영상들로 그림 7의 QMF बैं크를 사용하여 식(19)와 같이 얻어진다.

$$I_N^L(z_1, z_2) |_{00} = \frac{1}{4} \{ I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) \} \quad (19a)$$

$$I_N^L(z_1, z_2) |_{10} = \frac{1}{4} \{ I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) \} \quad (19b)$$

$$I_N^L(z_1, z_2) |_{01} = \frac{1}{4} \{ I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_L(-z_2^{\frac{1}{2}}) \} \quad (19c)$$

$$I_N^L(z_1, z_2) |_{11} = \frac{1}{4} \{ I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) + I_N^{L-1}(-z_1^{\frac{1}{2}}, -z_2^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_1^{\frac{1}{2}}) \cdot H_U(-z_2^{\frac{1}{2}}) \} \quad (19d)$$

이때 식 (19)는 L-1번째 계층 영상 $I_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 내에서 해당되는 위치의 블록들의 초기 움직임 추정에 필요한 에지 패턴(edge pattern)을 분류 하기 위해 사용 된다. 만약 이동보

상 피라미드의 L-1번째 계층 영상 $I_N^{L-1}(z_1, z_2)$ 내에서 블록 크기가 $2M_H \times 2M_V$ 이고 블록의 위치가 (j, i)번째인 이동추정 블록을 $\{ {}^j BI_N^{L-1}(n_1, n_2) \mid n_1 = 0, 1, \dots, 2M_H, n_2 = 0, 1, \dots, 2M_V \}$ 라고 가정하면, 블록 ${}^j BI_N^{L-1}(n_1, n_2)$ 에 해당되는 L번째 계층의 부대역 블록(sub-band block)은 식(20)의 4개 부대역 영상 $I_N^L(z_1, z_2) |_{00}, I_N^L(z_1, z_2) |_{10}, I_N^L(z_1, z_2) |_{01}, I_N^L(z_1, z_2) |_{11}$ 마다 블록 크기가 $M_H \times M_V$ 이고 위치가 (j, i)번째인 블록들 ${}^j BI_N^L(n_1, n_2) |_{00}, {}^j BI_N^L(n_1, n_2) |_{10}, {}^j BI_N^L(n_1, n_2) |_{01}, {}^j BI_N^L(n_1, n_2) |_{11}$ 로서 그림 11에 나타낸 바와 같다. 따라서 이동보상 피라미드에서 L-1번째 계층 영상 블록 ${}^j BI_N^{L-1}(n_1, n_2)$ 의 에지 패턴은 앞에서 설명된 바와 같이 부대역 블록 ${}^j BI_N^L(n_1, n_2) |_{01}$ 와 ${}^j BI_N^L(n_1, n_2) |_{10}$ 에 의해 분류(classification)할 수가 있으며, 이때 에지 분류(edge classification)는 다음 식과 같이 평균값으로 나타내어 사용한다.

$$d_1 = \max(|\alpha_{10}|, |\alpha_{01}|), \quad d_0 = \max(d_1, |\alpha_{00}|), \quad t_1 = \text{thresholddistinguishingshade1 with shade2}$$

$$t_2 = \text{thresholddistinguishingshadewith midrange}, \quad t_3 = \text{thresholddistinguishingshadewith edge}$$

$$\lambda = \text{thresholddistinguishinghorizontabnd verticaledgeswith diagonalede}$$

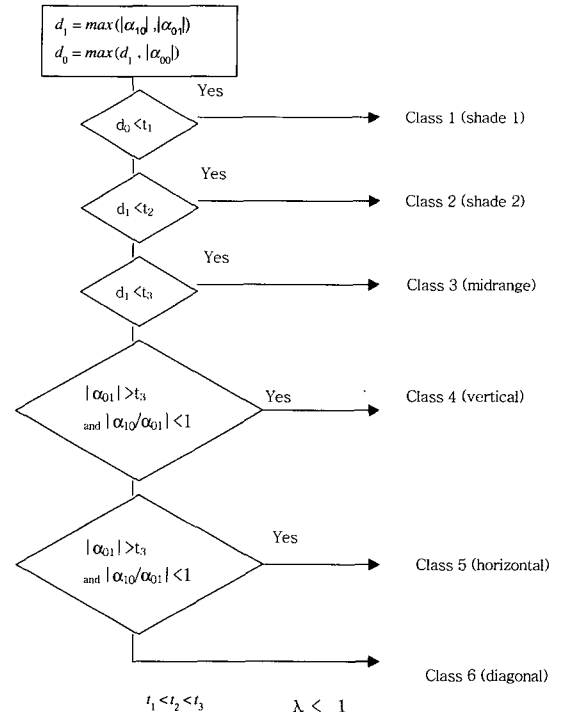


그림 11. 부대역 블록 값 α_{10}, α_{01} 에 따른 에지 패턴 분류 흐름도

Fig. 11. Edge pattern classification flow according to α_{10}, α_{01}

$$\alpha_{01} = \frac{1}{M_H^* M_r} \sum_{n_1=0}^{M_r-1} \sum_{n_2=0}^{M_H-1} BI_N^L(n_1, n_2) |_{01} \quad (20-a)$$

$$\alpha_{10} = \frac{1}{M_H^* M_r} \sum_{n_1=0}^{M_r-1} \sum_{n_2=0}^{M_H-1} BI_N^L(n_1, n_2) |_{10} \quad (20-b)$$

여기서 α_{01}, α_{10} 는 L번째 계층에서 부 대역 영상 $I_N^L(z_1, z_2)|_{10}, I_N^L(z_1, z_2)|_{01}$ 의 (j, i)번째 블록 평균 값으로서 L-1번째 계층 영상에서 (j, i)번째 블록의 에지 패턴 분류를 위해 사용된다.

계층적 이동보상 피라미드 방식에서 이와 같은 방법으로 N 번째 프레임 L-1번째 계층에서 현재 움직임 추정하고자 하는 영상 블록의 에지 분류가 끝나면, 이동보상 예측 피라미드에서는 L-1번째 계층 예측영상의 탐색 영역 블록 가운데 입력 영상블록과 에지 패턴이 같은 블록만을 탐색하여 이동 대역 블록간의 최소점을 찾아 이동 벡터를 얻는다. 이때 구해진 이동 벡터는 L-1 계층에서 해당되는 영상 블록의 초기 벡터로 사용되어진다.

이제까지 언급한 에지 패턴에 의한 초기 벡터(initial vector)의 추정(estimation)은 이동 보상을 위한 저대역 피라미드(low-pass pyramid)와 통과 대역 피라미드(pass-band pyramid)의 모두에게 적용할 수가 있다. 이로써 계층적 피라미드 구조에서 보다 정확한 이동 추정(motion

estimation)이 가능하다.

본 논문에서는 2개의 그늘 에지(shade edge), 중간 에지(midrange edge), 수직 에지(vertical edge), 수평에지(horizontal edge)와 대각 에지(diagonal edge)의 6개 부류로 나누었으며, 에지 분류와 분류 과정을 흐름도(flowchart)로 나타내면 그림 11과 같다. 이때 문턱 값(threshold) $\{\lambda, t_1, t_2, t_3\}$ 은 $(\alpha_{10}, \alpha_{01})$ 을 (x,y) 축으로 하여 6개 영역으로 분류하여 ISO 국제표준 동영상의 블록을 트레이닝(training)하여 구한 최적의 값을 사용하여 실험하였다.

V. 성능 평가

본 장에서는 제안된 이동보상 피라미드 방식의 이론적인 분석에 대한 성능을 평가하기 위하여 간단한 부호화 방식을 제안 하였으며, 이를 바탕으로 컴퓨터 시뮬레이션 하였다.

1. 시뮬레이션에 사용된 부호화기 설계

본 논문에서 각 계층의 잔여오차 신호들의 에너지 분포에 따른 최적 비트할당(optimal bit allocation) 방식을 사용 하였으며, 각 계층에서는 그림 12(a)와 같은 동일한 균등 양자화기를 사용하였다^{[1][2][9]}. 이것은 각 계층들의 잔여오

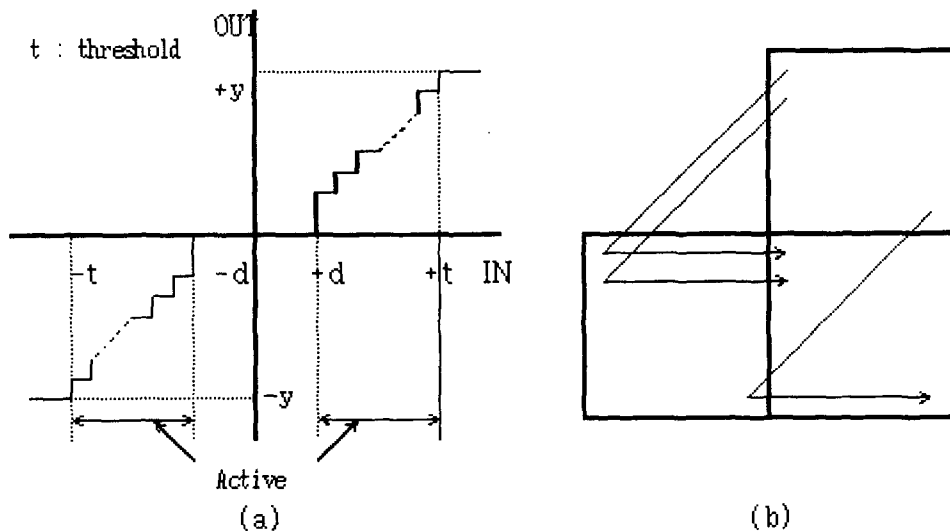


그림 12. 시뮬레이션에 사용한 균등양자화기와 스캐닝 방식 (a) 균등 양자화기 (b) 잔여오차 스캐닝
Fig. 12. Uniform quantizer and scanning for computer simulation (a) uniform quantizer (b) residual error scanning

차 신호들은 모두 고주파 신호들로서 하위 계층일수록 대부분 에너지 분포가 적은 조명등에 의한 노이즈(noise) 성분이거나 거의 영(zero)에 가까운 값들이라는 점과 상위 계층 잔여오차 신호들은 간축(decimation)으로 인해 에너지가 $1/2^2 \cdot L^D$ (LD : Layer Difference)으로 압축되어 양자화 오차가 발생하면 최하층의 최종 재생영상(full resolution image)에서 $1/2^2 \cdot L^D$ 이 곱해진 양자화 오차로 나타난다는 점을 고려한 것이다. 이때 최적 비트할당에 따른 k 계층의 할당 비트를 b_k 라 하면 식(21)과 같다.

$$b_k = \frac{b_{av}}{L} + \frac{1}{2} (\log_2 \sigma_k^2 - \frac{1}{L} \sum_{n=0}^{L-1} \log_2 \sigma_n^2) \quad (21)$$

여기서 b_{av} 는 전체 평균비트(total average bit)이며, σ_k^2 는 k 계층에서 잔여오차 신호의 평균 분산(average variance)이다. 또한 부호화 방식으로 기존의 MPEG에서 사용한 2차원 Huffman 부호화와 RLC(Run Length Coding) 방식을 사용하였으며, 그림 12(b)와 같은 스캐닝 방식을 사용하였다. 실험 결과 부대역별 독립 스캐닝 방식에 비해 5~10%의 감축 효과가 있었다. 본 논문의 시뮬레이션에서 부호화에 따른 N번째 프레임의 평균 비트율(average bit per pel) avB_N^T 은 식 (22)와 같이 N번째 프레임의 잔여오차 평균 비트율 avB_N^e 과 N번째 프레임의 이동벡터 평균 비트율 avB_N^{MV} 의 합으로 이루어진다.

$$avB_N^T = avB_N^e + avB_N^{MV} \quad (\text{bit/pel}) \quad (22)$$

2. 시뮬레이션 결과 및 검토

제안된 이동보상 피라미드 방식에 대한 성능 평가를 하기 위해 다음과 같은 조건들을 사용하여 전산 모의 실험하였다. 먼저 실험 영상으로는 352x288 크기의 8비트 "TREVOR" 흑백영상 22 프레임을 사용하였고, 성능 비교 척도로서는 평균 전송율(average bit per pel)과 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 사용하였다. 또한 계층적 구조를 만들기 위해 사용한 QMF बैं크 트리 필터는 참고문헌 [15]의 (6,9) 탭을 갖는 FIR 필터를 사용하였다.

시뮬레이션은 먼저 저대역 피라미드 방식과 통과 대역 피라미드 방식의 성능을 비교 검토하고, 에지 분류 기반을 이용한 두 가지 방식을 다시 비교 검토하는 것이다. 동일한 실험 조건으로 부호화 피라미드는 모두 3 계층(L=3)으로 하였으며, 이때 잔여오차 피라미드에서 양자화기 레벨은 최적 비트할당 방식에 의해 2번째 계층에서 33 레벨, 1번째 계층에서는 7 레벨 그리고 0 번째 계층에서는 "No quantization" 하였다. 이동보상 피라미드의 각 계층에서는 그림 3과 같이 9개의 주위 블록을 고려한 1 단계 탐색(one stop search)을 하였으며, 사용된 평가 함수로는 MSE (Mean Squared Error)를 이용하였다. 이 경우 2 번째 계층에서 이동 보상 전체 탐색 영역은 최하위 계층 범위의 (+7, -7)에 해당 되며 에지 패턴에 의한 초기 벡터를 구하는 3 번째 계층 이동보상 피라미드에서의 전체 탐색 영역은 (+15, -15)가 된다. 또한 각 계층별 이동 보상 블록 크기는 { 2 번째 계층 일 때 4x4, 1 번째 계층 일 때 8x8 그리고 0 번째 계층 일 때 16x16 }에 대하여 실험하였다. 다음은 위에서 열거한 조건하에서 모의 실험하였을 때 얻은 성능 평가 결과들이다.

먼저 그림 13은 저대역 이동보상 피라미드 방식과 통과대

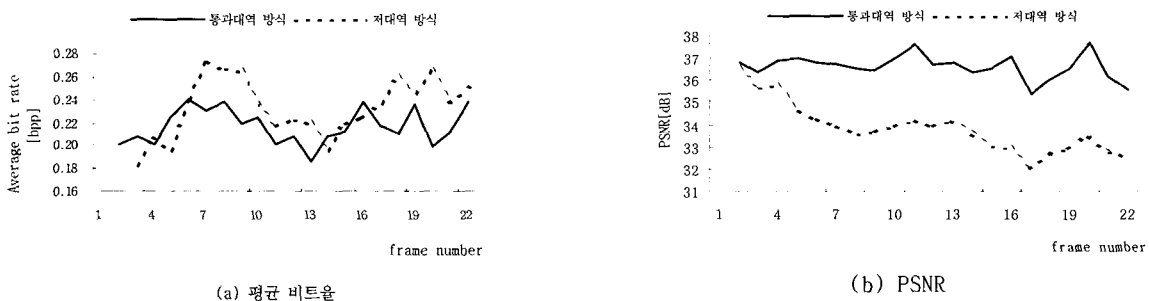


그림 13. 두 가지 이동보상 피라미드 방식 비교 (a) 평균 전송률 [bpp] (b) PSNR [dB]
 Fig. 13. Performance comparison of two MC pyramid schemes (a) average bit rate [bpp] (b) PSNR [dB]

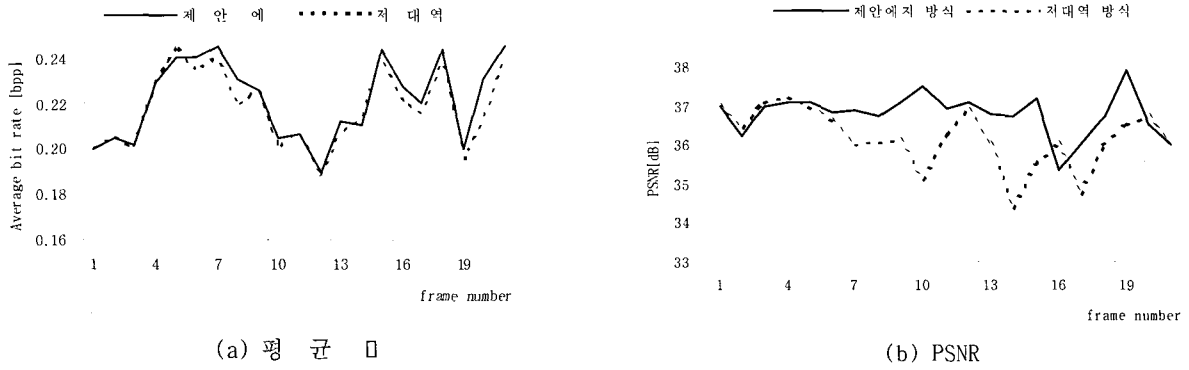


그림 14. 에지패턴 기반 저대역 이동보상 피라미드 방식 성능 평가 (a) 평균 전송률 [bpp] (b) PSNR [dB]
 Fig. 14. Performance comparison of low-band pyramid scheme based on edge on edge pattern (a) average bit rate [bpp] (b) PSNR [dB]

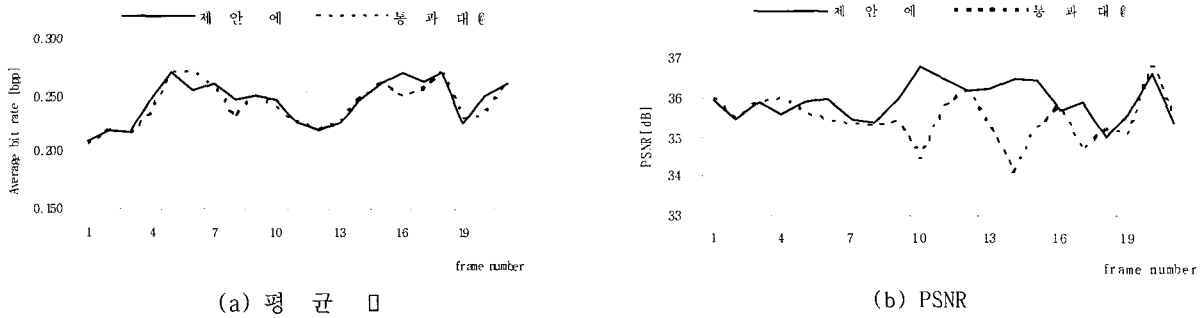


그림 15. 에지패턴 기반 통과대역 이동보상 피라미드 방식 성능 평가 (a) 평균 전송률 [bpp] (b) PSNR [dB]
 Fig. 15. Performance comparison of pass-band pyramid scheme based on edge pattern (a) average bit rate [bpp] (b) PSNR [dB]

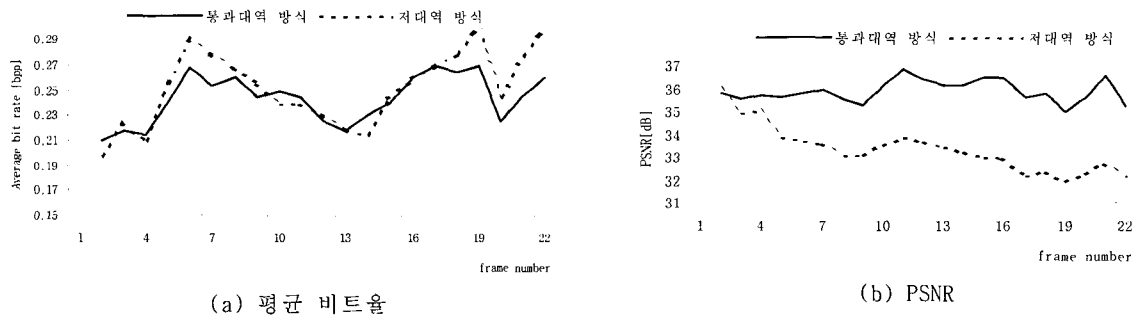


그림 16. 에지패턴 기반 두 가지 이동보상 피라미드 방식 성능 비교 (a) 평균 전송률 [bpp] (b) PSNR [dB]
 Fig. 16. Performance comparison of two MC pyramid schemes based on edge pattern (a) average bit rate [bpp] (b) PSNR [dB]

역 피라미드 방식에 대한 실험 결과로서 그림에서 나타난 바와 같이 저대역 이동보상 피라미드 방식은 프레임 수가 점점 증가함에 따라 성능 감소가 심한 것을 알 수가 있는데, 이것은 앞에서 설명된 내용처럼 피라미드의 구조적 모순으로 인해 양자화 오차들이 누적되었기 때문이다. 이에 반해 제안된 통과대역 피라미드 방식은 성능 감소가 심하지 않음을 알 수가 있다. 그림 14와 그림 15는 저대역 이동보상 피라미드 방식과 통과대역 이동보상 피라미드 방식에 각각 에지 패턴 분류 방식을 이용하여 초기 벡터를 추정한 것에 대한 성능 평가 결과이다. 실험 결과에서 알 수가 있듯이 에지 패턴 분류에 의한 초기 벡터 추정은 두 방식 모두가 성능 향상이 되었다. 또 그림 16은 두 가지 이동 보상 피라미드 방식 모두에 에지 패턴 분류 방식을 이용한 초기 이동벡터 추정했을 때 성능 평가를 한 결과로서 제안된 통과대역 이동보상 피라미드 방식의 성능이 월등히 우수한 것으로 나타났다.

VI. 결 론

본 논문에서는 우선 제안되었던 통과 대역 이동보상 피라미드 방식이 저대역 이동보상 피라미드에 비해 성능이 우수하다는 것을 이론적으로 분석하여 이를 증명하였으며, 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 실험 결과 이를 입증하였다. 또한 계층적 이동보상 피라미드에서 매우 중요한 최고 계층의 초기 이동벡터 추정을 위하여 본 논문에서는 에지 패턴을 이용한 이동벡터 추정 방식을 새로이 제안하였으며, 실험 결과 우수함이 입증 되었다. 그 결과 이를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 이동보상 피라미드의 각 계층에서는 입력 영상과 움직임이 추정된 예측 영상 간에 부호화에 필요한 잔여오차 신호가 생성된다. 이동보상 피라미드의 각 계층에서 현재 영상과 예측 영상간의 움직임 추정을 위해서 고주파 영상 부대역(sub-band)신호를 사용하는 통과대역 피라미드 방식이 저주파 영상 신호만을 사용하는 저대역 피라미드 방식에 비해 잔여오차 신호의 에너지가 줄어들었다는 것을 식 (17)로부터 알 수가 있으며, 그 결과 부호화 효율뿐만 아니라 양자화 오차가 줄어들었다는 것이 시험 결과 입증되었다.

둘째, 저대역 이동보상 피라미드 방식의 경우 누적된 양자화 오차를 갖고 있는 재생영상이 이동보상 피라미드에서는 다시 예측 영상으로도 사용하기 때문에 정확한 움직임 추정이 불가능 할 뿐만 아니라 잘못된 이동 보상으로 잔여

오차 신호에서 더욱더 많은 양자화 오차를 발생 시키는 심각한 원인이 된다는 것이 식 (9)로 증명이 되었다. 반면 통과대역 이동보상 피라미드 방식의 예측 영상에서 발생하는 양자화 오차는 재생영상의 누적된 양자화 오차가 아닌 같은 계층의 잔여오차에서 발생하는 양자화 오차와 같은 것이 식 (16)을 통하여 입증되어 정확한 움직임 추정이 가능하다. 결과적으로 통과대역 이동보상 피라미드 방식이 저대역 이동보상 피라미드 방식에 비해 예측 영상에서 양자화 오차가 적다는 사실은 식 (18)을 통하여 논 본문에서는 입증되었으며, 이동 벡터의 정확성에 의해 최소 엔트로피의 잔여오차 신호를 추출하여 부호화 효율을 향상시킬 뿐만 아니라 재생영상의 화질 또한 개선 시킬 수가 있었다.

셋째, 계층적 이동보상 피라미드 방식에서 발생하는 또 다른 문제점으로 최고 계층에서의 초기 이동벡터의 정확도를 증진시키는 것으로서 실제 물체의 움직임 방향이 아닌 평가 함수의 국부적 최소점(local minimum)으로 이동 정보를 검출하는 문제가 발생하여 하위 계층으로 갈수록 성능 감소의 중요한 원인이 된다. 따라서 본 논문에서는 이동보상 피라미드의 최고 계층에서 대역분할 된 2 개의 부대역 신호 특성에 따라 현재와 이전 영상 블럭의 에지 패턴(edge pattern)을 분류하여 움직임을 추정하는 방식을 제안하였으며, 실험 결과 매우 우수한 것으로 증명되었다.

결론적으로 제안된 통과대역 이동보상 피라미드 방식은 저대역 이동보상 피라미드 방식에 비하여 부호화 시 PSNR 등의 성능이 우수하다는 것을 알 수가 있었다. 또한 에지 패턴에 의한 초기 벡터의 지정으로 계층적 피라미드 구조에서 보다 정확한 이동벡터를 추정할 수가 있었으며, 그 결과 성능 향상을 가져올 수가 있었다.

참 고 문 헌

- [1] N. S. Jayant and P. Noll, Digital coding of Waveforms, Prentice-Hall, Inc., Englewood Cliffs, NJ, 1987.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29 IS 13818
- [3] J. W. Woods and S. D. O'Neil, "Sub-banded coding of image," *IEEE Trans. Acoustics, Speech, and Signal Processing*, Vol. ASSP-34, No.5, pp.1278-1288, Oct. 1986.
- [4] Bierling, M. and Thoma, R., "Motion compensating field interpolation using a hierarchically structured displacement estimator," *Signal Processing*, 11, 1986.
- [5] J. Biemond, F. Bosveld and L. Lagendijk, "Hierarchical sub-band

coding of HDTV in BISDN," *ICASSP '90*, pp.2113-2116, 1990.

[6] R. Ansari, H. Gaggioni and D. Le Gall, "HDTV coding using a non-rectangular sub-band decomposition," *SPIE Conf. on Visual Com. and Image Proc. Cambridge*, Vol. 1001, pp.821-824, Nov. 1988.

[7] M. vetterli and J. Kovacevic, "Perfect reconstruction filter banks for HDTV representation and coding," *Third International Workshop on HDTV*, Italy, 1989.

[8] D.L. Gall, "Transmission of HDTV signal under 140 Mbits/s using a sub-band decomposition and discrete cosine transform coding," *HDTV workshop'88*, 1988.

[9] J. W. Woods and T. Naveen, "Sub-band encoding of video sequence," *SPIE Conf. on Visual Commu. and Image Processing*, Vol. 1199, 1989.

[10] Joon-Hyeon Jeon, and Jae-kyoon Kim, "On the hierarchical block motion estimation for video sub-band coding," *SPIE Conf. '1991 on Visual Comm. and Image Processing*, Vol. 1605, pp.954-962, 1991.

[11] 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.

[12] M. Vetterli, "filters banks allowing for perfect reconstruction," *in signal Processing, Elsevier Science Publishers*, North Holland, pp. 1-26, 1986.

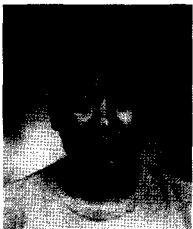
[13] P.H. Westerink, J. Biemon and D.E. Boekee, "Quantization error analysis of image sub-band filter banks," *ISCAS '88*, pp.819-822, 1988.

[14] W. M. Chen et al "Edge Classification based on DCT Coefficients," *SPIE Conf. on Visual Commu. and Image Processing*, Vol.1189, 1997.

[15] 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-pp.320, 1991.

[16] H.S. Oh et al "A New Block-Matching Algorithm Based on an Adaptive Search Area Adjustment Using Spatio-Temporal Correlation," *IEEE Tran, Consumer Electronics*, Vol. 45, No. 3, pp. 745-752, Aug 1999

저 자 소 개



전 준 현

- 1984년 2월 : 동국대학교 전자공학과 학사
- 1986년 2월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 석사
- 1991년 8월 : 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 박사
- 1991년 9월~1999년 12월 : 한국통신 연구소
- 1999년 12월~2000년 2월 : 한누리 살로만 투자증권
- 2000년 6월~2001년 2월 : (주) 드림라인
- 2001년 9월~현재 : 동국대학교 네트워크 관리학과 교수
- 주관심분야 : 영상통신, 인터넷 고속통신망, NGN 등