

論文 97-34S-2-4

# 다중해상도 영상을 이용한 동영상 압축 (Video Coding Using Multi-resolution Image)

裴成鎬\*, 朴吉欽\*

(Sung Ho Bae and Kil Houm Park)

## 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환된 다중해상도 영상에서의 가변 블록 움직임 추정과 다중부호책을 이용한 동영상 압축 방법을 제안한다. 제안한 방법에서는 웨이블릿 변환 영역에서 최상위 계층의 수직, 수평 부대역의 웨이블릿 변환 계수의 크기에 의하여 분류된 블록의 에지 형태에 따른 가변 블록 정합 알고리즘을 사용하여 움직임 추정에 대한 정확도를 높였다. 또한 움직임 보상 오차의 에너지와 각 부대역의 중요도에 따른 다중부호책을 이용하여 움직임 보상 오차를 벡터 양자화함으로써, 움직임 보상 오차 전송에 대한 비트 할당의 적응성을 높이고 벡터 양자화 오차를 감소하였다. 실험을 통하여 제안한 방법이 낮은 비트율에서 블록화 현상이 없는 좋은 화질의 영상을 얻고 특히 인간 시각에 민감한 에지 성분들을 잘 복구함을 보였다.

## Abstract

In this paper, a video coding method in wavelet transformed multi-resolution image using variable block sized motion estimation and multi-codebook is proposed. In the proposed method, the accuracy of motion estimation is increased by using variable block matching algorithm based on edge type of blocks which is classified according to the magnitude of wavelet coefficients in vertical subband and horizontal subband of the highest layer. Also, we increased the flexibility of bit allocation and decreased vector quantization error for motion compensated error transmission by using multi codebook, which is designed according to the energy of motion compensated error and the importance of each subband. Some experimental results confirm that the proposed method has fine reconstructed images without blocking effect at low bit rate, and especially reconstructs edges well to which human eyes are sensitive.

## I. 서 론

최근에 기존의 협대역 채널인 64Kbps 이하의 전송로 즉, 공중 전화 교환망 및 이동 통신망을 통한 음성이나 문자, 그래픽, 영상등 멀티미디어의 수요가 증가하고 있으며, 이를 충족시키기 위하여 ISO/IEC 산하 JTC1/SC29/WG11과 ITU-T의 LBC 그룹에서 초저속 전송 매체를 통한 동영상 부호화(MPEG-4)에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다<sup>[1]</sup>. 시간에 따라 변하는

동영상은 공간 상관성과 시간 상관성을 갖고 있어 효율적으로 많은 양의 데이터를 압축할 수 있고 시간 상관관계수가 공간 상관계수보다 훨씬 크기 때문에 시간 상관성을 이용하는 프레임간(interframe) 부호화가 효율적이다. 프레임간 부호화 방법은 시간 상관성을 이용하여 서로 다른 프레임간의 움직임을 추정하는 움직임 추정, 추정된 움직임 정보를 이용한 움직임 보상, 움직임 보상된 프레임과 원 프레임간의 오차를 보상하는 움직임 보상 오차 부호화의 세 부분으로 구성된다. 일반적인 동영상 부호화 방법에서 움직임을 추정하는 과정은 이전 프레임의 탐색 영역에서 평가 함수가 최적인 위치를 구하여 현재 프레임의 움직임을 결정하는 BMA<sup>[2]</sup>(block matching algorithm)를 사용한다.

\* 正會員, 慶北大學校 電子工學科

(Dept. of Electronics Kyungpook Nat'l Univ.)

接受日字: 1996年7月20日, 수정완료일: 1997年2月3日

BMA의 가장 일반적인 방법인 전역 탐색(full search)은 움직임 추정 과정에서 계산량이 많으며, 대상영상의 움직임에 대하여 적절한 탐색 영역과 블록 크기를 결정하기 어렵고 영상을 일정 크기의 블록으로 나누어 처리하므로, 높은 압축율을 얻어야 할 경우 블록의 크기를 크게 하여야 하므로 복원영상에 블록화 현상이 두드러지는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위하여 최근에 DWT(discrete wavelet transform)를 이용하여, 공간-주파수 영역에서 인간의 시각 특성에 적합하게 다중해상도(multi-resolution)로 분할된 영상에서의 계층적 움직임 추정 방식과 움직임 추정 오차 영상에 대하여 VQ(vector quantization)를 통한 부호화 방법이 활발히 연구되어지고 있다<sup>13~51</sup>. DWT 영역에서의 움직임 추정 방법은 계층적으로 움직임을 추정하여 블록 정합 과정에서 계산량의 감소를 가져오며, 낮은 비트율에서도 블록화 현상(blocking effect)이 발생하지 않으므로, 고압축의 영상 부호화가 가능하고 영상 정보의 점진적인 전송을 가능하게 한다<sup>16,71</sup>. 기존의 계층적 피라미드 영상에서의 움직임 추정에서는 상위 계층에서 추정된 움직임을 다음 하위 계층의 초기 움직임으로 사용하여, 상위 계층에서의 전역 이동과 하위 계층에서의 국부 이동을 분담하여 추정하는 계층적 블록 정합 알고리즘(hierarchical BMA)이 이용된다<sup>13,81</sup>. 그러나 이와 같은 계층적 블록 정합 알고리즘에서는 최상위 계층의 저주파 부대역에서의 움직임이 부정확하게 추정될 경우, 상위 계층에서의 움직임 추정 오차가 다음 하위 계층으로 계층적으로 파급되는 단점이 있다. 또한 기존의 움직임 보상 오차 VQ 부호화 방법은 움직임 보상 오차 블록을 대표하는 부호책(codebook)내의 부호벡터(codevector)가 "0" 주변으로 분포하게되어 움직임 보상 오차가 큰 에지 영역을 잘 복원하지 못한다.

그러므로, 본 논문에서는 DWT 영역의 특성을 이용하여 최상위 계층의 저주파 부대역을 가변 크기의 부분블록(subblock)으로 분할하여 움직임을 세밀하게 추정함으로써, 상위 계층에서 하위 계층으로의 움직임 추정 오차 파급을 줄이는 가변 블록 움직임 추정 방법을 제안한다. 또한 움직임 보상 오차의 VQ 부호화에 필요한 부호책을 최상위 계층의 저주파 부대역에서의 움직임 보상 오차 블록 에너지와 각 부대역의 중요도에 따른 다중 부호책(multi-codebook)을 설계하는 방법을 제안한다. 제안한 방법은 움직임의 추정을 보다 정확하

게 하고 오차 에너지가 큰 움직임 보상 오차 블록에 대해서는 부부호책(subcodebook)의 크기를 증가시키고 오차 에너지가 작은 움직임 보상 오차 블록에 대해서는 부부호책의 크기를 감소시키는 다중 부호책을 설계하여 움직임 보상 오차 전송에 대한 비트 할당의 적응성을 높임으로써, 높은 압축율에서도 에지가 잘 복원된 좋은 화질의 영상을 얻었다. 본 논문의 구성은 서론에 이어 II장에서 기존의 계층적 움직임 추정 및 부호화 방법을 살펴보고, III장에서는 제안한 가변 블록 움직임 추정과 다중부호책을 이용한 움직임 보상 오차의 부호화 방법을 설명한다. IV장에서는 실험 결과를 통해 제안한 방법의 성능을 분석한 다음 결론을 맺는다.

## II. 기존의 계층적 움직임 추정과 움직임 보상 오차의 부호화

기존의 다중해상도 영상에서의 계층적 움직임 추정은 DWT 영역으로 부대역 분할된 계층적 피라미드 영상에서 다른 부대역간의 움직임이 매우 높은 상관성을 가지게 되는 특성을 이용한다<sup>31</sup>. 최상위 계층의 저주파 부대역인 기저대역(base band)에서 추정된 움직임을 나머지 고주파 부대역들의 초기 움직임으로 이용하는 기존의 계층적 움직임 추정 과정은 다음과 같다.

**단계 1 :** 영상을 DWT를 이용하여  $M$  계층의 다중해상도 영상으로 분할한다. 그 결과,  $M$  계층에서는 네 개의 부대역이 존재하고,  $M-1$  계층 이하에서는 각각 다른 방향성분을 갖는 세 개의 부대역이 존재하게 된다.

**단계 2 :**  $M$  계층의 부대역들을 일정한  $B \times B$  크기의 단위블록(unit block)으로 분할하고  $M$  계층의 저주파 부대역(기저대역)의 단위블록에 대한 움직임 유, 무를 판별하고 움직임이 있는 단위블록에 대해서만 움직임을 추정한다.

**단계 3 :**  $M$  계층의 고주파 부대역들의 미소 움직임 변위는 단계 2에서 추정된 기저대역의 움직임 주위에서 움직임 탐색 영역을 기저대역의 움직임 탐색 영역 보다 작게하여 미소 움직임 변위를 추정한다. 이러한 방법은 기저대역에서의 움직임을 각각의 방향성분별로 미소 보정(refine)하는 과정이다.

**단계 4 :**  $k$  계층의 고주파 부대역들은  $k+1$  계층의 고주파 부대역보다 해상도가 가로, 세로 각각 2배씩 증

가하므로  $k$  계층의 부대역들을  $2^{M-k} \cdot B \times 2^{M-k} \cdot B$  크기의 블록으로 분할하여 모든 부대역에서 움직임 추정할 블록의 수를 동일하게 한다. 그러므로  $k$  계층에서의 미소 움직임 변위는  $k+1$  계층의 동일한 방향성분을 가지는 부대역에서 추정된 움직임을 2배한 벡터 공간 주위에서 추정된다. 이러한 계층적 움직임 추정을 최하위 계층에 도달할때까지 상위 계층의 고주파 부대역에서 다음 하위 계층의 고주파 부대역으로 계층적으로 수행한다.

기저대역에서 BMA에 의해 추정된 움직임 벡터  $D_{LLM}$  을 초기 움직임으로 하여 나머지 고주파 부대역들의 미소 움직임 변위  $\Delta D_{ik}$  를 추정하는 기존의 방법을 식 (1)에 나타내었으며, 영상을 2 계층의 DWT 영역으로 분할하였을 때, 기존의 움직임 추정 방법을 그림 1에 나타내었다.

$$D_{iM} = D_{LLM} + \Delta D_{iM} \tag{1}$$

$$D_{ik} = 2 \cdot D_{i(k+1)} + \Delta D_{ik}$$

$i = LH, HL, HH; k = M-1, \dots, 1$

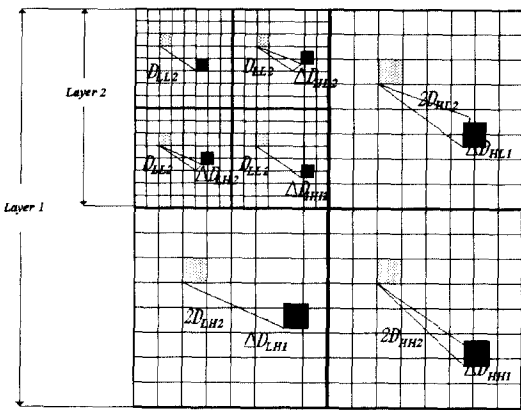


그림 1. DWT 영역에서 다중해상도 움직임 추정 방법  
Fig. 1. Multi-resolution motion estimation in DWT domain.

기존의 다중해상도 영상에서의 계층적 움직임 추정 방법은 기저대역에서 추정된 움직임을 기초로 하여, 하위 계층에서의 미소 움직임 변위를 추정함으로써, 공간 영역에서의 전역 탐색 블록 정합에 필요한 계산의 복잡성을 감소시키는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 기저대역에서 초기 움직임의 추정이 잘못된 경우, 하위

계층에서의 작은 움직임 탐색 영역에 대한 미소 움직임 변위 보정이 초기 움직임의 추정 오차를 보상하지 못하여, 움직임 추정 오차가 상위 계층에서 하위 계층으로 파급되는 단점이 있다. 이러한 단점을 극복하기 위해 단위블록의 크기를 작게하여 보다 정확한 움직임을 추정할 수 있지만, 움직임 정보 전송에 많은 비트량이 요구된다. 그러므로 움직임 추정 방법의 개선과 움직임 정보 전송에 필요한 비트량과의 관계를 고려한 효율적인 움직임 추정 방법이 필요하다.

현재 프레임과 이전 프레임에서 블록별로 움직임을 추정하여 보상된 프레임과의 차(difference)를 움직임 보상 오차라 한다. 움직임 보상 오차의 부호화에 기존의 방법에서 적용된 여러 가지 방법은 다음과 같다.

- 방법 1 : DWT 변환 → 다중해상도 움직임 추정/보상 → 각각의 부대역별로 움직임 보상 오차를 스칼라 양자화 → 엔트로피 부호화
- 방법 2 : DWT 변환 → 다중해상도 움직임 추정/보상 → 움직임 보상 오차를 DCT → DCT 계수를 uniform 스칼라 양자화 → 엔트로피 부호화
- 방법 3 : 공간영역에서의 움직임 추정/보상 → 움직임 보상 오차를 DWT → 각각의 부대역별로 움직임 보상 오차를 스칼라 양자화 → 엔트로피 부호화
- 방법 4 : 공간영역에서의 움직임 추정/보상 → 움직임 보상 오차를 DWT → DCT → DCT 계수를 uniform 스칼라 양자화 → 엔트로피 부호화
- 방법 5 : DWT → 다중해상도 움직임 추정/보상 → 각각의 부대역별로 움직임 보상 오차를 VQ → 엔트로피 부호화

Zhang<sup>[3]</sup>은 이러한 움직임 보상오차 부호화에 대한 여러 가지 방법중 공간 영역에서의 움직임 추정/보상 방법보다 DWT 영역에서의 움직임 추정/보상 방법이 보다 우수한 부호화 효율을 나타내는 실험 결과를 제시하였다. 또한 움직임 보상 오차를 DCT(discrete cosine transform) 부호화하는 방법은 블록화 현상으로 인하여 주관적 화질이 나빠지고, 에너지 압축 정도가 매우낮아 비효율적이므로 VQ를 이용한 방법 5가 동일한 압축율에서 가장 높은 PSNR(peak to peak

signal to noise ratio)을 나타내는 실험 결과를 나타 내었다. 기존의 방법에서 사용된 움직임 보상 오차의 VQ는 각 부대역마다 부호책의 크기인  $k$  개의 초기 양자화 벡터를 선택하여 원래의 벡터와의 왜곡이 최소가 되도록 양자화 벡터들을 개선시키는 반복 최적화 알고리즘인 LBG 알고리즘<sup>[9]</sup>을 사용하여 부호책을 설계하였다. LBG 알고리즘의 수행 과정은 다음과 같다.

$m$ 은 반복 횟수,  $C_i(m)$ 은  $i$  번째 cluster,  $X$ 는 훈련벡터,  $d[\cdot, \cdot]$ 은 평균 자승 오차

단계 1 :  $m=0$ , 임의의 초기 부호책  $Y_i(0)$ 을 설정한다.

단계 2 : 아래의 nearest neighbor rule에 의해 훈련 벡터를 cluster  $C_i(m)$ 으로 분할한다.

$$X \in C_i(m), \text{ if } d[X, Y_i(m)] \leq d[X, Y_j(m)]$$

for all  $i \neq j$

단계 3 :  $m \leftarrow m+1$ , 모든 cluster  $C_i(m)$ 의 centroid  $Y_i(m)$ 을 계산한다

단계 4 :  $| [D(m) - D(m-1)] / D(m-1) |$  이 임계치 미만이면 중단하고, 그렇지 않으면 단계 2의 과정부터 반복한다.

기존의 방법에서 사용된 움직임 보상 오차의 VQ는 각 부대역마다 독립적인 부호책을 설계하고 각 부대역에서의 부호책의 차원은 각 부대역에서 움직임 추정에 사용되는 블록의 차원과 동일하다. 이러한 단일 부대역에서의 독립적인 부호책의 설계는 상위 계층으로 갈수록 웨이브릿 계수의 동적 범위(dynamic range)의 증가로 인한 상위 계층의 움직임 보상 오차가 증가되는 특성을 이용하여, 상위 계층으로 갈수록 부호책의 크기를 증가시키고 부호책의 차원을 작게하여 복원영상의 화질의 열화를 감소시키고, 인간 시각에 민감한 수직, 수평 부대역에 부호책의 크기를 증가시켜 각각의 부대역마다 비트를 동적으로 할당할 수 있는 장점이 있다<sup>[17]</sup>.

일반적으로 모든 부대역에서의 움직임 보상 오차의 자승(square)인 움직임 보상 오차 에너지의 통계적 특성은 그림 2에서 나타나듯이 "0" 부근에 대부분 분포한다. 이와 같이 "0" 부근에 분포하는 움직임 보상 오차 에너지들은 전체 움직임 보상 오차 계수 중에서 발생 빈도수는 많으나 실제 에너지 크기는 작으므로 복원영상에는 미소한 영향을 미친다. 그러므로 각 부대역

의 움직임 보상 오차를 묶어 훈련벡터로 이용하여 각 부대역의 최적의 부호책을 설계하는 기존의 방법은 부호책을 구성하는 대부분의 부호책 요소가 "0"에 가까운 값을 가진다. 이러한 부호책을 이용한 움직임 보상 오차의 VQ 부호화 방법은 PSNR에 많은 영향을 미치는 움직임 보상 오차 에너지가 큰 계수에 대해 많은 비트를 할당하고, PSNR에 미소한 영향을 미치는 움직임 보상 오차 에너지가 작은 계수에 대해 작은 비트를 할당하는 효율적인 부호화 이론과 상반된다. 또한 움직임 보상 오차 에너지가 큰 계수의 대부분은 영상에 있어서 에지 영역이므로 인간 시각에 민감한 에지의 복원 성능이 떨어지게 되고, 비훈련 동영상에 대해 미리 설계된 부호책을 이용하여 VQ 부호화할 경우 훈련 동영상과 입력 동영상의 움직임 보상 오차에 대한 확률분포가 다르게 되어 비훈련 동영상에서는 PSNR의 감소가 두드러진다.

그러므로 복원영상에 영향을 많이 미치는 소수의 움직임 보상 오차 에너지가 큰 계수에 대하여 많은 비트를 할당하여, 비훈련 동영상에서도 PSNR의 감소가 미소한 효율적인 부호책 설계가 필요하다.

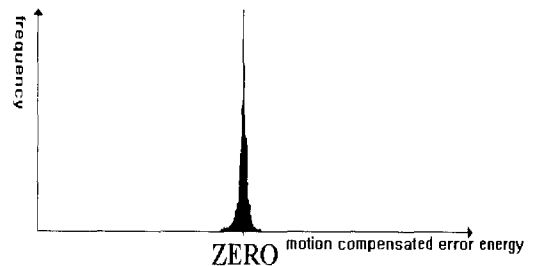


그림 2. 움직임 보상 오차 에너지의 통계적 특성  
Fig. 2. Statistical characteristic of motion compensated error energy.

### III. 제안한 가변 블록 움직임 추정과 움직임 보상 오차의 부호화

기존의 계층적 움직임 추정과 움직임 보상 오차의 VQ 부호화 방법은 기저대역에 대하여 고정된 크기의 블록으로 움직임을 추정함으로써 영상의 국부적인 변화에 따른 미소 움직임 변위를 효율적으로 추정하지 못하며, 복원영상에 미소한 영향을 미치는 다수의 움직임 보상 오차 에너지가 작은 계수에 대하여 많은 비트를 할당하여 비훈련 동영상에 대해서는 PSNR의 감소

가 두드러지며, 영상의 에지를 잘 복원하지 못하는 단점이 있다.

그러므로 본 논문에서는 웨이브릿 변환된 다중해상도 영상에서 기저대역의 움직임 추정할 때, 단위블록을 에지 형태에 따라 가변 크기의 부분블록으로 분할하여 움직임을 세밀하게 추정함으로써, 고주파 부대역에서의 움직임 추정 오차 파급을 줄이는 방법을 제안한다. 또한 움직임 보상 오차에 대하여 기존의 방법이 하나의 부대역에 한 개의 부호책을 설계하는데 반해, 복원영상에 영향을 미치는 중요도에 따라 각 부대역의 부호책을 세 개로 나눈 다중부호책을 설계하여 VQ 부호화함으로써, 비혼련 동영상에 대해서도 높은 압축율에서 PSNR의 향상과 인간 시각에 민감한 에지를 잘 복원하는 방법을 제안한다.

제안한 다중해상도 영상에서의 가변 블록 움직임 추정 방법은 기저대역에서의 움직임 추정과, 기저대역의 추정된 움직임을 기초로 하여 기저대역을 제외한 나머지 고주파 부대역에서의 미소 움직임 변위 추정이 있다. 제안한 방법에서는 DWT 영역에서 "LH"와 "HL" 부대역의 웨이브릿 계수의 절대치가 각각 영상의 수평 주파수와 수직 주파수의 크기를 나타내는 특성을 이용하여, 기저대역에서의 단위블록을 복잡한 에지 블록(mixed edge block), 수평 에지 블록(horizontal edge block), 수직 에지 블록(vertical edge block), 평탄 블록(non-edge block)의 네 가지 형태로 분류한다. 기저대역의  $j$  번째 단위블록에 대하여 그림 3과 같이 기저대역과 동일한 해상도와 공간영역을 가지는 수평, 수직 부대역의  $j$  번째 단위블록내의 웨이브릿 계수  $c^j(m, n)$ 의 절대치의 합인  $S^j_{LHM}$  과  $S^j_{HLM}$  를 합성한 벡터의 위치에 따라 에지 형태를 분류하는 방법을 식 (3)에 나타내었다.

$$S^j_{LHM} = \sum_{m=1}^B \sum_{n=1}^B |c^j_{LHM}(m, n)| \quad (2)$$

$$S^j_{HLM} = \sum_{m=1}^B \sum_{n=1}^B |c^j_{HLM}(m, n)|$$

$$S^j_{HM} = S^j_{LHM} + S^j_{HLM} \begin{cases} T^{flat}_{type} : \text{non-edge block,} \\ (T^{flat}_{type} \leq S^j_{HM} < T^{edge}_{type}) \text{ and } (S^j_{LHM} > S^j_{HLM}) : \\ \text{horizontal edge block,} \end{cases} \quad (3)$$

$$(T^{flat}_{type} \leq S^j_{HM} < T^{edge}_{type}) \text{ and } (S^j_{LHM} < S^j_{HLM}) : \\ \text{vertical edge block,}$$

$$S^j_{HM} \geq T^{edge}_{type} : \text{mixed edge block.}$$

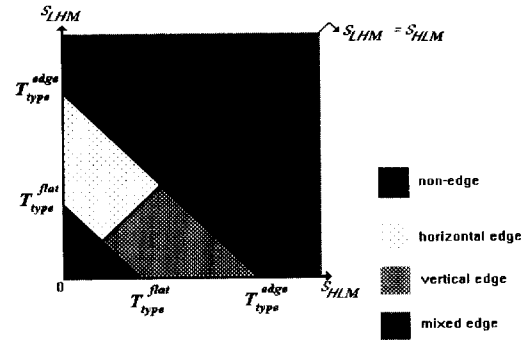


그림 3. 웨이브릿 계수의 절대치의 합을 이용한 블록 분류  
Fig. 3. Block classification using sum of absolute values of wavelet coefficients.

여기서  $T^{flat}_{type}$  은 평탄 블록과 수평, 수직 에지 블록을 구분하기 위한 임계치이고,  $T^{edge}_{type}$  은 수평, 수직 에지 블록과 복잡한 에지 블록을 구별하기 위한 임계치를 나타낸다. 기저대역에서 식 (3)에 의해 에지 형태에 따른 단위블록의 가변 분할은 평탄 블록은 분할하지 않고, 수평, 수직 에지 블록은 각각 가로와 세로로 분할하며, 복잡한 에지 블록은 가로와 세로로 분할하여, 분할된 각각의 부분블록에 대하여 움직임을 추정한다. 또한 단위블록내의 모든 부분블록에 대하여 추정된 움직임이 동일할 경우, 부분블록 각각에 대하여 움직임을 추정할 결과와 단위블록에 대하여 움직임을 추정한 결과가 같으므로 분할된 부분블록들을 다시 단위블록으로 병합한다. 이러한 방법은 단위블록이 불필요하게 분할되는 것을 방지하여 움직임 전송에 필요한 비트량을 감소시키는 방법이다. 그림 4는 기저대역에서의 제안한 가변 블록 크기의 BMA를 적용하는 흐름도를 나타내었다.

기저대역에서 추정된 움직임을 나머지 고주파 부대역들의 초기 움직임으로 이용하여 미소 움직임 변위를 추정하는 기존의 방법은 초기 움직임 추정 오차가 고주파 부대역으로 계층적으로 파급된다. 그러므로 식 (4)에서 나타낸 기저대역의 단위블록에 대한 움직임 보상 오차 블록 에너지  $E_{LLM}$  이 크면, 나머지 고주파 부대역의 미소 움직임 변위의 움직임 보상 오차 에너지도 크게 되는 상관성이 있다.

$$E_{LLM} = \sqrt{\frac{\sum_{m=1}^B \sum_{n=1}^B (F(m, n, t) - \hat{F}(m, n, t))^2}{B^2}} \quad (4)$$

여기서  $F$  는  $t$  번째 프레임의 기저대역에서 원래의 단위블록을 나타내며,  $\hat{F}$  는  $t-1$  번째 프레임의 기저대역으로부터 움직임 보상된 후의 블록을 나타낸다.

그러므로 본 논문에서는 식 (4)의  $E_{LLM}$  의 크기에 따라 움직임 보상 오차 블록을 식 (5)에 나타난 것과 같이 high, mid, low, none 블록으로 분류하고 나머지 고주파 부대역에서의 움직임 보상 오차 블록을 기저대역의 움직임 보상 오차 블록 분류와 동일시하여 각 부대역에 세 개의 부부호책을 설계하는 방법을 제안한다. 본 논문에서는 다른 해상도와 방향성분 및  $E_{LLM}$  에 따라 각각 다르게 설계된 여러개의 부부호책들을 다중부호책이라 정의한다.

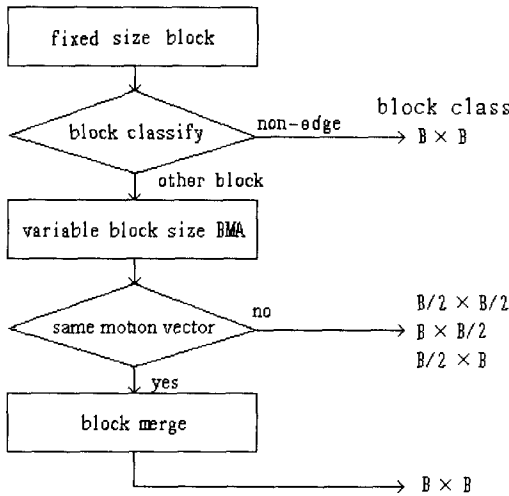


그림 4. 제안한 가변 블록 분할 흐름도  
Fig. 4. Flow chart of the proposed block classification.

$$\begin{aligned}
 E_{LLM} < T_{error}^{low} &: \text{none block} \\
 T_{error}^{low} \leq E_{LLM} < T_{error}^{mid} &: \text{low block} \\
 T_{error}^{mid} \leq E_{LLM} < T_{error}^{high} &: \text{mid block} \\
 T_{error}^{high} \leq E_{LLM} &: \text{high block}
 \end{aligned} \quad (5)$$

제안한 방법에서는  $E_{LLM}$  이 임계치  $T_{error}^{none}$  미만인 단위블록에 대해서는 움직임 보상이 잘된 블록으로 분류하고 미소 움직임 변위  $\Delta D$  를 “0”으로 설정하여 식 (6)과 같이 나머지 고주파 부대역에서의 움직임을 기저대역에서 추정된 움직임으로 사용하고, 고주파 부대역의 움직임 보상 오차 블록을 전송하지 않는다. 이러한

방법은 움직임 보상 오차 블록과 미소 움직임 변위의 전송에 필요한 비트량 및 미소 움직임 변위의 추정에 소요되는 시간을 감소시킨다.

$$D_{iM} = D_{LLM}$$

$$D_{ik} = 2 \cdot D_{i(k+1)}$$

$$i = LH, HL, HH; k = M-1, \dots, 1 \quad (6)$$

반면에  $E_{LLM}$  이  $T_{error}^{none}$  이상인 단위블록에 대해서는 움직임 보상이 잘 되지 않은 블록으로 분류하여 기저대역의 단위블록과 동일한 형태로 분할하고 하위 계층으로 갈수록 가변 블록의 크기를 가로, 세로 2배 크게 하여 미소 움직임 변위를 추정하고, 움직임 보상 오차 블록을 전송한다.

제안한 방법의 움직임 보상 오차 블록 전송을 위하여 부부호책 설계에 사용된 방법은 기존의 알고리즘과 비교를 위하여 각 부대역에서 high, mid, low로 분류된 훈련벡터 각각에 대해 LBG 알고리즘을 사용하여 세 개의 부부호책을 설계하였다. 이 때, PSNR에 많은 영향을 미치는 high 블록에 대한 부부호책의 크기는 증가시키고, PSNR에 미소한 영향을 미치는 low 블록에 대한 부부호책의 크기는 감소시켜, 부부호책의 인덱스 전송시 high 블록에 대해서는 많은 비트를, low 블록에 대해서는 작은 비트를 할당하는 부부호책을 설계하여 움직임 보상 오차 블록 전송에 대한 비트 할당의 적응성을 높였다. 제안한 방법은 움직임 보상 오차 에너지가 유사한 블록들을 훈련벡터로 사용함으로써, 부호벡터들에 대한 왜곡의 변화량을 미소값으로 빠르게 수렴시켜 최적의 부부호책 설계에 소요되는 시간과 움직임 보상 오차 에너지가 큰 블록에 대한 벡터 양자화 오차를 감소시킨다. 제안한 다중부호책을 이용한 움직임 보상 오차의 VQ 부호화 방법은 대부분 동영상의 움직임 보상 오차 블록 분류의 집중도가 high, mid, low 블록 순으로 크게 되므로, 부호책의 크기가 작은 low와 mid 블록의 부부호책에서 가장 유사한 부호벡터를 찾고, 그 때의 부부호책 인덱스를 전송할 확률이 높아진다. 이러한 방법은 기존의 방법보다 부호화 시간을 단축시키며, 부호화할 부부호책 인덱스의 대부분이 작은 비트량으로 부호화되어 PSNR에는 미소한 영향을 미치면서도 높은 압축율을 가져온다. 또한 움직임 보상 오차 블록 에너지가 “0” 주위에 분포하는 블록에 많은 비트를 할당하는 기존의 부호책 설계방법 대신에

소수의 움직임 보상 오차 블록 에너지가 큰 블록에 대해 많은 비트를 할당함으로써, 움직임 보상 오차의 확률 분포가 입력 동영상과 훈련 동영상에 달라도 PSNR의 감소는 미소하게 된다. 제안한 부호화기의 전체적인 흐름도를 그림 5에 나타내었다.

본 논문에서는 최상위 계층의 수직, 수평 부대역의 웨이브릿 계수의 절대치만을 사용하여 기저대역에서 단위블록의 에지 형태를 분류하여 계층적 움직임 추정 시 기저대역에서의 움직임을 보다 세밀하게 추정하는 방법을 제안하였다. 이러한 방법은 부호화기의 복잡성을 크게 증가시키지 않으면서도 나머지 고주파 부대역에서의 움직임 추정 오차의 파급을 줄여 움직임 보상 오차를 감소시킨다. 또한 기저대역에서의 움직임 보상 오차 블록 에너지에 따라 미소 움직임 변위 추정의 선택적인 적용과 각 부대역별로 복원영상에 영향을 미치는 중요도에 따라 기존의 각 부대역의 한 개의 부호책을 세 개의 크기가 다른 부부호책으로 설계하여, 부부호책의 메모리량은 기존의 방법보다 작으면서도 부호화 시간의 단축과 높은 압축율에서 복원영상의 화질을 향상시키는 방법을 제안하였다.

제안한 방법에서는 기저대역의 단위블록에 대한 에지 형태와 움직임 보상 오차의 블록 분류 정보를 전송하기 위하여 단위블록당 4 비트의 부가 정보의 전송이 필요하지만, 단위블록의 에지 형태와 움직임 보상 오차 블록 분류가 각각 평탄 블록과 low 블록으로 집중하게 되어 엔트로피가 낮아지므로 블록 분류에 대해 엔트로피 부호화시 부가 비트량의 증가는 미약하다.

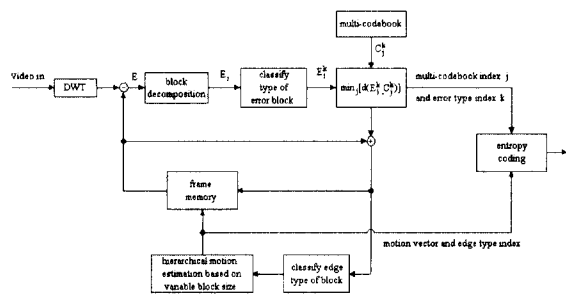


그림 5. 부호화기의 처리 흐름도  
Fig. 5. The flow chart of encoder.

#### IV. 실험 및 고찰

제안된 방법의 성능 평가를 위하여, CIF(common

intermediate format) 크기(352 pixels/line x 288 lines/frame)를 가지는 30 [Hz]의 256 명암도 값으로 양자화된 “Miss America”와 “Claire” 동영상을 실험에 사용하였다. 이때 동영상은 총 100 프레임 중에 0, 3, 6, ..., 99 프레임만으로 34 프레임을 이용하여 10 [Hz]의 실험 동영상이 되도록 하였다. 움직임 보상 오차 VQ에 사용된 훈련 동영상은 총 150 프레임의 “Miss America” 동영상에 대하여 0, 3, 6, ..., 147 프레임과 1, 4, 7, ..., 148 프레임 및 2, 5, 8, 149 프레임으로 3 분할하여 사용하였으며, 움직임 추정 방법은 전역 탐색 방법을 사용하였다. 제안한 방법에서는 영상의 다중해상도 표현을 위하여 Adelson의 9 tab QMF<sup>[10]</sup>(quadrature mirror filter)를 사용하여 입력 동영상을 2 계층을 가지는 DWT 영역으로 변환하였으며, 기저대역의 단위블록을 4×4 크기로 하여 기저대역에서 단위블록의 총 개수는 396개가 된다. 기저대역의 움직임 추정을 위하여 단위블록의 형태 분류에 사용되는 임계치는 실험 동영상의 각 프레임에 대해 CVQ<sup>[11]</sup>에 사용된 블록 분류를 이용하여 공간 영역에서 각 블록을 분류하고, shade 블록과 mid-range 블록은 DWT 영역에서 평탄 블록으로 수직, 수평 에지 블록은 DWT 영역에서 에지 블록으로 분류하여 평탄과 에지 블록 각각에 대해 식 (3)의 평균  $S_{H2}$  를 임계치로 설정하였으며, 이 때의 임계치  $T_{type}^{flat}$  과  $T_{type}^{edge}$  는 50과 300 이다. 그리고 움직임 보상 오차 블록 분류에 사용되는 임계치는 150 프레임의 훈련 동영상에서 각 프레임에서 기저대역의 총 396개의 단위블록에 대하여 high, mid, low, none 블록으로 분류하는 단위블록의 수를 각각 25, 25, 50, 296으로 하였을 때의 각 프레임에서 기저대역의 움직임 보상 오차 블록 에너지 값들을 평균하여 설정하였으며, 이 때의 각각의 임계치는  $T_{error}^{low}$  는 100,  $T_{error}^{mid}$  는 160,  $T_{error}^{high}$  는 200 이다. 제안한 방법에서는 기존의 방법과 동일하게 복원영상에 많은 영향을 미치는 상위 계층과 인간시각에 민감한 수직, 수평 부대역에 대해서는 움직임 보상 오차 블록에 대한 부호책의 크기를 크게하였다. 실험에 사용된 각 부대역에서의 움직임 탐색 영역, 부부호책의 크기, 움직임 보상 오차에 대한 부호책의 차원을 기존의 방법과 제안한 방법에 대하여 표 1에 나타내었다. 제안한 방법에서는 움직임 벡터, 움직임 보상 오차 블록 전송을 위한 다중부호책의 인덱스, 기저대역의 단위블록에

대한 분류 정보를 허프만 부호화 방식으로 전송하였다. 그림 6과 그림 7은 훈련 동영상인 “Miss America” 동영상과 비훈련 동영상인 “Claire” 동영상에 대해 제안한 방법과 기존의 방법을 실험 동영상들에 적용하였을 때의 비트율과 PSNR을 나타내었으며, 이에 따른 평균 비트율과 평균 PSNR을 표 2에 나타내었다. 표 2의 결과로부터 제안한 방법이 기존의 방법보다 훈련 동영상인 “Miss America” 동영상에 대해서는 평균 비트율과 PSNR이 각각 0.015 [bpp], 0.23 [dB], 비훈련 동영상인 “Claire” 동영상에 대해서는 각각 0.011 [bpp], 0.57 [dB] 더 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 이러한 결과는 제안한 방법이 기존의 방법보다 전송해야 할 부가정보가 많음에도 불구하고 미소 움직임 범위와 움직임 보상 오차 전송에 필요한 비트량을 PSNR에 미치는 중요도에 따라 동적으로 할당함으로써, 기존의 방법보다 높은 압축율과 PSNR의

개선을 가져옴을 나타낸다. 또한 제안한 방법이 움직임 보상 오차 에너지가 유사한 계수들을 묶어 다중부호화를 설계함으로써, 기존의 방법보다 비훈련 동영상에 대한 PSNR의 개선이 더 우수함을 알 수 있다.

그림 8에서는 기존의 방법과 제안한 방법에 의하여 복원된 마지막 프레임의 결과영상을 나타내었다. 그림 8의 결과영상에서 나타나듯이, 제안한 방법이 기존의 방법보다 다중해상도 영상에서 에지의 방향성을 고려한 움직임 추정과 움직임 보상 오차가 큰 에지에 많은 비트량을 할당하여 인간 시각에 민감한 에지가 선명하게 복구되고 블록화 현상이 없는 복원영상을 나타냄을 알 수 있다.

그러나 제안한 방법은 부호화시 계산의 복잡성을 감소하기 위하여 움직임 추정과 움직임 보상 오차 블록 분류를 최상위 계층의 부대역들에만 의존하기 때문에 하위 계층에서의 오차가 크면 부호화 성능이 떨어진다.

표 1. 기존의 방법과 제안한 방법의 실험 환경  
Table 1. Experimental environment of proposed method and conventional method.

subband	LL2	LH2	HL2	HH2	LH1	HL1	HH1
magnitude of subcodebook (proposed)	high	256	128	128	64	64	32
	mid	128	64	64	32	32	16
	low	64	32	32	16	16	8
magnitude of codebook (conventional)	512	256	256	128	128	128	64
search region of motion vector	8x8		4x4		4x4		
dimension of codevector	4x4			8x8			

표 2. 기존의 방법과 제안한 방법의 성능 비교  
Table 2. Performance comparison of proposed method and conventional method.

video sequence image		Miss America (inside)	Claire (outside)
proposed method	average PSNR [dB]	35.39	35.40
	average bit rate [bpp]	0.106	0.094
zhang's method	average PSNR [dB]	35.16	34.83
	average bit rate [bpp]	0.121	0.105

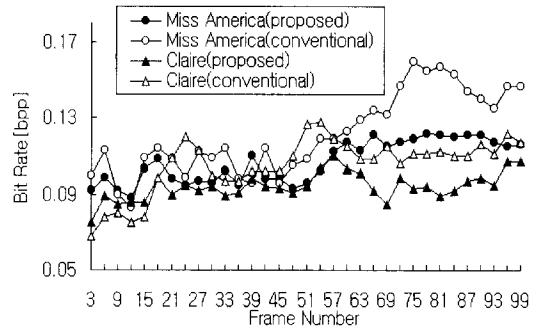


그림 6. 제안한 방법과 기존의 방법의 비트율  
Fig. 6. Bit rates of proposed method and conventional method.

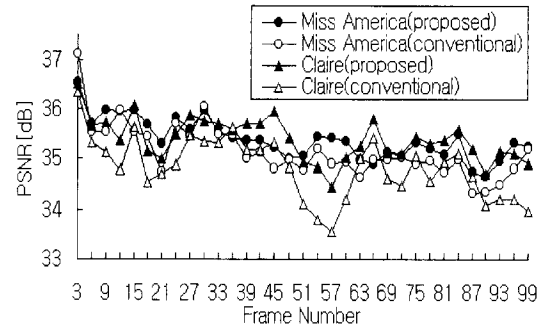


그림 7. 제안한 방법과 기존의 방법의 PSNR  
Fig. 7. PSNR of proposed method and conventional method.



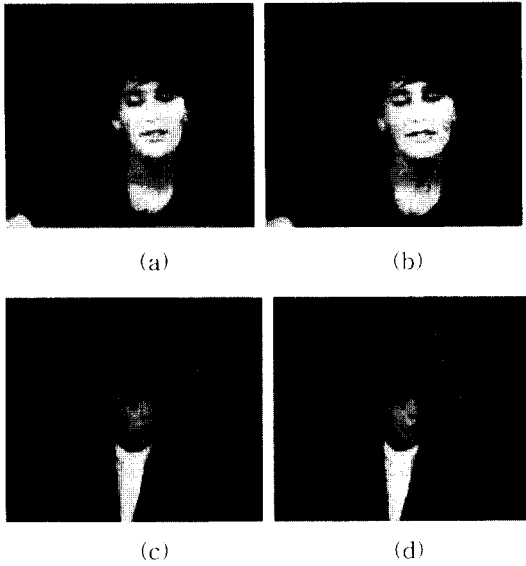


그림 8. 제안한 방법과 기존의 방법에 의한 복원영상  
 (a) 제안한 방법에 의한 "Miss America"의 99 번째 복원영상(0.116 [bpp], PSNR = 35.23 [dB]) (b) 기존의 방법에 의한 "Miss America"의 99 번째 복원영상(0.147 [bpp], PSNR = 35.20 [dB]) (c) 제안한 방법에 의한 "Claire"의 99 번째 복원영상(0.107 [bpp], PSNR = 34.91 [dB]) (d) 기존의 방법에 의한 "Claire"의 99 번째 복원영상(0.118 [bpp], PSNR = 33.96 [dB])

Fig. 8. Reconstructed images by proposed method and conventional method.

(a) 99th reconstructed image of "Miss America" by proposed method(0.116 [bpp], PSNR = 35.23 [dB]) (b) 99th reconstructed image of "Miss America" by conventional method(0.147 [bpp], PSNR = 35.20 [dB]) (c) 99th reconstructed image of "Claire" by proposed method(0.107 [bpp], PSNR = 34.91 [dB]) (d) 99th reconstructed image of "Claire" by conventional method(0.118 [bpp], PSNR = 33.96 [dB])

## V. 결론

본 논문에서는 웨이브릿 변환 영역에서의 계층적 예지 기반 가변 블록 움직임 추정 방법과 움직임 보상 오차 부호화에 대하여 부대역별 동적인 비트 할당 및 벡터 양자화 오차를 줄일 수 있는 다중부호책을 이용한 벡터 양자화 부호화 방법을 제안하였다. 제안한 방

법은 부호화기의 복잡성을 크게 증가시키지 않는 예지 형태에 따른 블록 분류 방법을 이용하여, 계층적 움직임 추정시 초기 움직임 벡터의 정확성을 높여 움직임 추정 오차의 계층적 파급을 감소시켰다. 또한 다중부호책의 적용으로 움직임 보상 오차 전송을 위한 벡터 양자화에 대한 동적 비트 할당의 적응성을 크게 높이고 움직임 보상 오차 에너지 크기에 따른 부호책의 설계로 인하여 전체 벡터 양자화 오차를 감소시킬 수 있었다. 그리고 제안한 방법은 웨이브릿 변환 영역에서 수행되므로 영상의 점진적인 전송이 가능하며 높은 압축률에서 블록화 현상이 제거되며, 비혼련 동영상에서도 좋은 화질의 복원 영상을 얻을 수 있었다.

향후 연구과제로는 하위 계층에서의 미소 움직임 변위와 움직임 보상 오차 에너지가 큰 블록들을 고려한 움직임 추정 방법과 움직임 보상 오차 부호화 방법이 필요하다.

## 참고 문헌

- [1] "Now Work Item Proposal(NP) for Very-Low Bit-rate Audio-Visual Coding," *ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 DOC.92/700*, Nov. 1992.
- [2] M. Sezen and L. Lagendijk, *Motion Analysis and Image Sequence Processing*, Kluwer Academic Publishers, 1993.
- [3] Y. Zhang and S. Zafar, "Motion-compensated wavelet transform coding for color video compression," *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 2, no. 3, pp. 285-296, Sept. 1992.
- [4] J. Katto, J. Ohki, S. Nogaki, and M. Ohta, "A wavelet codec with overlapped motion compensation for very low bit rate environment," *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 4, no. 3, pp. 328-338, June 1994.
- [5] R. Dyck and S. Rajala, "Subband/VQ coding of color images with perceptually optimal bit allocation," *IEEE Trans. on Circuits Syst. Video Technol.*, vol. 4, no. 1, pp. 68-82, Feb. 1994.
- [6] S. Mallat, "A theory for multiresolution signal decomposition : The wavelet

- representation," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 11, no. 7, pp. 674-693, July 1989.
- [7] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image coding using wavelet transform," *IEEE Trans. on Image Proc.*, vol. 1, no. 2, pp. 205-220, April 1992.
- [8] J. Jeon and J. Kim, "On the hierarchical edge-based block motion estimation for video subband coding at low bit rates," *SPIE Conf. on Visual Comm. and Image Processing*, vol. 2094, pp. 337-343, 1993.
- [9] Y. Linde, A. Buzo, and R. M. Gray, "An algorithm for vector quantizer design," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-28, no. 1, pp. 84-95, Jan. 1980.
- [10] Markus Gross, *Visual Computing*, Springer-Verlag, New York, p.160, 1994.
- [11] B. Ramamurthi and A. Gersho, "Classified vector quantization of images," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-34, pp. 1105-11115, Nov. 1986.

---

 저 자 소 개
 

---

裴城鎬(正會員) 第33卷B編第11號 參照  
 현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

朴吉欽(正會員) 第33卷B編第11號 參照  
 현재 경북대학교 전자전기공학부 부교수