

# 웨이블릿 변환 영역에서 저대역 이동법에 적합한 다해상도 움직임 추정에 관한 연구\*\*\*

준회원 조재만\*, 김현민\*, 정회원 고희화\*\*

## A Study on the Multiresolution Motion Estimation Adequate to Low-Band-Shift Method in Wavelet Domain

Jae-Man Cho\*, Hyun-Min Kim\* Associated Members

Hyung-Hwa Ko\*\* Regular Member

### 요 약

본 논문에서는 웨이블릿 변환 영역에서 저대역 이동법에 적합한 다해상도 움직임 추정을 제안하였다. 저대역 이동법(Low Band Shift Method)은 웨이블릿 계수들의 이동-변환 성질을 극복하기 위하여 제안된 방법으로 동영상 부호화시 참조 프레임에 적용하면 정확한 움직임 추정이 가능하여 일반적인 방법보다 압축대비 화질면에서 우수한 성능을 가지지만, 단점으로 메모리와 계산량이 일반적인 방법에 비해 많아지게 된다.

본 논문에서 제안된 방법(LBS-MRME)은 저대역 이동법에 적합한 다해상도 움직임 추정을 적용하여 3단계 웨이블릿 변환시 기존의 방법의 약 15.6%의 계산량으로 움직임 추정을 한다. 그리고 부호화시 움직임 벡터가 각 부대역마다 존재하게 되므로 움직임 벡터가 약 7배 늘어나게 되지만, 더 세밀한 움직임 추정을 할 수 있게 되므로 움직임 보상 예측 오차의 부호화량이 줄어들게 되어 부호화 효율이 기존의 방법보다 좋아지게 된다. 압축을 하지 않았을 경우 평균 MAD면에서 약 0.3~11.6% 가량 개선되었고, 압축을 할 때 동일한 비트율에서 PSNR이 약 0.3~3.0dB 정도 개선되었다.

### ABSTRACT

In this paper, we propose a Multiresolution Motion Estimation(MRME) adapted to Low-Band-Shift(LBS) method in wavelet domain. To overcome shift-variant property on wavelet coefficients, the LBS was previously proposed. This method which is applied to reference frame in video coding technique, has superior performance in terms of rate-distortion characteristic. However, this method needs more memory and computational complexity.

In this paper, The computational complexity of the proposed method(LBS-MRME) is about 15.6% of that of existing method at 3-level wavelet transform. And although it has about 7 times as much as existing method's motion vector since each subband has different motion vector, it decreases motion compensated prediction error by detailed motion estimation, and then has better efficient coding performance.

The experimental results with the proposed method showed about 0.3~11.6% improvement of MAD performance in case of lossless coding, and 0.3~3.0dB improvement of PSNR performance at the same bit rate in case of lossy coding.

---

\* (주)인텔링스, \*\*광운대학교 전자통신공학과 영상처리연구실(hhkoh@daisy.kw.ac.kr)

논문번호 : 020413-0927, 접수일자 : 2002년 9월 27일

※ 이 연구는 2001학년도 교내 학술연구비에 의하여 이루어졌음.

## I. 서론

기존의 동영상 압축 표준인 MPEG[1][2]이나 H.263[3] 표준안은 영상의 주파수에 대한 중복성을 제거하기 위해 이산 여현 변환(DCT : Discrete Cosine Transform)을 수행한 후에 부호화를 하는데, 이산 여현 변환은 뛰어난 압축 성능에도 불구하고 영상 압축시 일정한 블록단위로 영상을 분할하여 압축하는 방식이므로 부호화된 영상의 복원시 블록킹 현상(blocking effect)이 나타나고 고압축을 행하였을 경우 화질이 현저히 떨어지는 단점이 있어서 최근에는 이산 웨이블릿 변환(DWT : Discrete Wavelet Transform)[4]-[7]을 이용한 영상 압축에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다.

웨이블릿 변환의 다른 계층상에 위치한 물체의 움직임은 동일한 움직임 구조가 여러 스케일 및 주파수로 표현된 것이므로 상관관계가 매우 높은 성질을 갖고 있다. 웨이블릿 피라미드구조에서 각각의 계층의 움직임 경향은 다르지만, 매우 높은 연관성이 있다[8]. 이 성질을 이용한 움직임 추정 방식에 대한 많은 연구가 있었다[9]-[14].

Zhang과 Zafar가 제안한 가변 블록 다해상도 움직임 추정[12]은 거친 영역에서 세밀한 영역으로 진행되는 방식으로, 피라미드의 맨 위층에 위치한 가장 낮은 해상도의 부대역 상에서 추정한 움직임 필드(motion field)를 이용하여 나머지 계층에 위치한 부대역 영상의 움직임 벡터를 계산한다. 이 방법은 모든 부대역의 블록의 수가 같게 되고, 탐색(searching)과 정합(matching)에 사용되는 계산량이 줄어들게 되는데 많은 연구 중 가장 적은 계산량을 가지며, 평활한 움직임 필드를 제공한다.

그러나 웨이블릿 변환 영역에서의 움직임 보상 부호화는 웨이블릿 변환 영역에서의 계수값은 공간 영역에서 화소 값이 이동시에 그 값들이 변하는 이동-변환 성질(Shift-Variant Property)로 인하여 정확한 움직임 추정을 할 수가 없기 때문에 공간 영역 움직임 보상 부호화 방법 보다 화질과 부호화 등의 측면에서 효율이 떨어지게 된다. 이 이동-변환 성질을 극복하기 위해 저대역 이동법(Low-Band-Shift Method)이 제안되었다[15]. 동영상에 대하여 저대역 이동법은 움직임 추정시 사용되는 참조 영상을 웨이블릿 변환 할 때 가로, 세로, 대각선 방향으로 한 화소단위로 이동한 후 한 단계 웨이블릿 변환을 하는 부분을 추가하고 그 변환된 영상의 저주파 대역

에 대해 반복적으로 화소 단위 이동과 웨이블릿 변환을 수행하여 움직임 추정을 위한 참조 영상을 만든다. 이 방식을 이용하면 임의의 위치에 있던 화소가 이동시 이동되기 전의 계수 값들에 대하여 움직임 추정에 대한 참조 영상을 만들어 낼 수 있기 때문에 보다 정확한 움직임 보상 부호화가 가능하고, 결과적으로 공간 영역 움직임 보상 부호화 기법보다 개선된 결과를 가져온다. 그러나, 일반적인 방법보다 계산량과 메모리가 증가하게 된다.

본 논문에서는 부호화기의 계산량을 줄이기 위해 가변 블록 다해상도 움직임 추정의 개념을 저대역 이동법에 적합하게 변형하여 제안하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 웨이블릿 계수의 이동-변환 성질을 3장에서는 기존의 저대역 이동법에 대해 설명하였다. 4장에서는 기존의 저대역 이동법에 적합한 다해상도 움직임 추정방식을 제안하였다. 5장에서는 실험 결과를 기반으로 기존의 방법과 제안한 방법의 차이를 비교하고, 6장에서는 결론을 이끌어 내었다.

## II. 웨이블릿 계수의 이동-변환 성질

웨이블릿 변환은 분해(analysis)와 합성(synthesis) 과정에서 각각 다운-샘플링(down-sampling)과 업-샘플링(up-sampling)을 함으로써 원 영상의 크기를 그대로 유지할 수 있다. 그러나, 이러한 다운-샘플링 과정으로 인하여 웨이블릿 변환은 이동-변환 성질(shift-variant property)을 갖게 된다.

이동-변환 성질에 대한 예는 그림 1과 같다. 그림 1의 (a), (b)는 임의의 1차원 신호와 그 신호에 대해 한 화소 이동된 신호를 나타낸다. (c)는 (a)신호의 Haar 웨이블릿 변환의 저대역부이고, (d)는 고대역부이다. (e)와 (f)는 (b)신호의 Haar 웨이블릿 변환에 대한 저, 고대역부이다. (g), (h), (i)와 (j)는 각각 (a)와 (b)신호의 Daubechies의 (9,7) 필터를 이용하여 웨이블릿 변환한 저대역부와 고대역부를 나타낸다.

그림 1에서는 다운-샘플링으로 인하여 원 신호와 이동된 신호 사이에는 많은 차이가 나타날 수 있음을 보여준다. 여기서, 원 신호와 이동된 신호의 저대역 계수에 대한 움직임 추정은 작은 에러만을 가지지만 원 신호와 이동된 신호의 고대역 계수에 대한 움직임 추정은 큰 에러를 가질 가능성이 높다. 이러한 성질은 영상에서 모서리(edge) 주위에 자주 일어난다[15]. 웨이블릿 변환영역 상에서 직접적인

움직임 추정방법은 이러한 다운-샘플링으로 인한 이동-변환 성질 때문에 효율적인 방법이 되지 못하며 공간영역에서 움직임 보상 부호화 보다 성능이 떨어지는 것으로 알려져 있다.

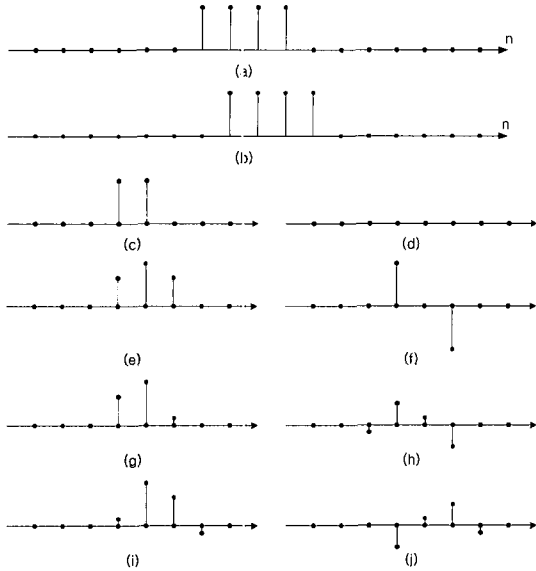


그림1. 이동 변환 성질에 대한 예

### III. 저대역 이동법을 이용한 동영상 부호화

#### 1. 저대역 이동법 [15]

저대역 이동법은 웨이블릿 변환영역에서 움직임 추정시 이동-변환 성질을 극복하기 위해 제안된 방법이다. 저대역 이동법은 입력 영상을 웨이블릿 변환시 가로, 세로, 대각선 방향으로 한 화소단위로 이동한 후 웨이블릿 변환하는 것을 추가하고, 그 변환된 영상의 저주파 대역에 대해 반복적으로 화소단위 이동과 웨이블릿 변환을 수행하게 된다.

그림 2는 저대역 이동법을 이용한 1차원 신호의 3단계 웨이블릿 분해(decomposition)에 대한 그림이다. 여기서,  $d$ 를 공간영역(spatial domain)에서 이동한 수,  $x$ 를 부대역에 위치한 신호라 할 때  $H_f^{(i)}(d, x)$ 는 입력  $f(n)$ 의  $i$ 번째 고대역 신호를 나타낸다. 첫 번째 단계에서 원 신호와 한 화소 이동한 신호가 저대역과 고대역으로 분해되고, 거기서 원 신호의 고대역 신호  $H_f^{(1)}(0, x)$  신호와 한 화소 이동된 신호의 고대역 신호  $H_f^{(1)}(1, x)$ 가 생성된다. 계층적(hierarchical) 분해를 위해 저대역 신호는

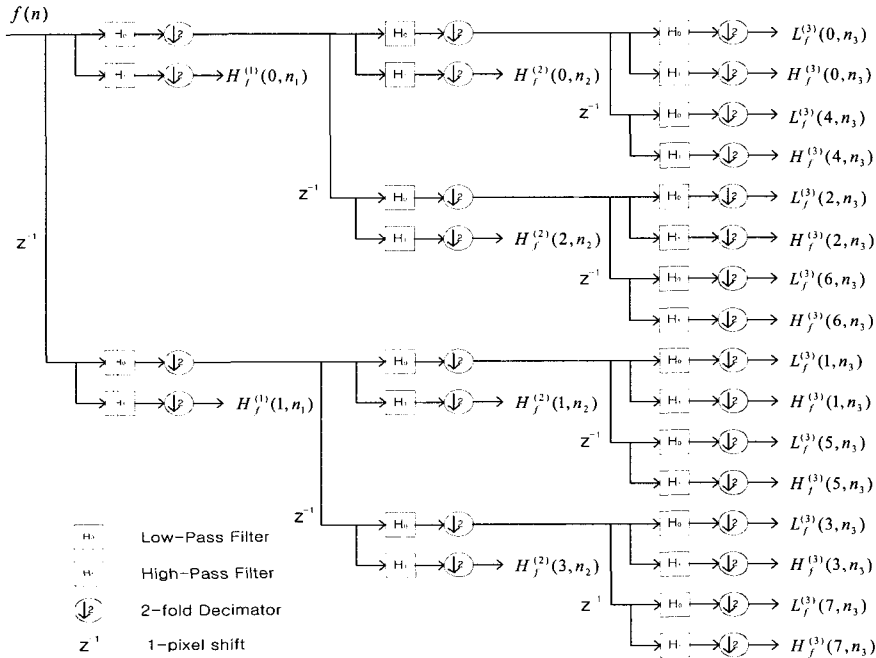


그림2. 1차원 신호에 대한 저대역 이동법(3단계 분해)

첫 번째 단계와 같은 방법으로 계속 분해되어 진다. 만약 3단계까지 분해가 된다면, 총 8개의 저대역과 14개의 고대역 신호가 생성된다. 예를 들어,  $f_s(n)$  을  $f(n)$ 의  $d$ 화소 이동된 신호라 놓으면  $f(n)$ 은 식(1)과 같이 놓을 수 있다.

$$f_s(n) = f(n + d) \quad (1)$$

이동된 신호  $f_s(n)$ 의 각각의 부대역을  $f(n)$ 의 변환으로 표현하면 다음과 같다.

$$H_f^{(1)}(n_1) = H_f^{(1)}(d\%2, n_1 + \lfloor \frac{d}{2} \rfloor) \quad (2)$$

$$H_f^{(2)}(n_2) = H_f^{(2)}(d\%2^2, n_2 + \lfloor \frac{d}{2^2} \rfloor) \quad (3)$$

$$H_f^{(3)}(n_3) = H_f^{(3)}(d\%2^3, n_3 + \lfloor \frac{d}{2^3} \rfloor) \quad (4)$$

$$L_f^{(3)}(n_3) = L_f^{(3)}(d\%2^3, n_3 + \lfloor \frac{d}{2^3} \rfloor) \quad (5)$$

여기서, %는 모듈로(modulo) 연산,  $\lfloor x \rfloor$ 는  $x$ 보다 작거나 같은 최대 정수,  $n_1, n_2, n_3$ 는 각각 1번, 2번, 3번 다운-샘플링된 신호 좌표, 그리고  $n$ 은 공간영역 좌표를 나타낸다. 또한,  $H_f^{(1)}(n_1)$ ,  $H_f^{(2)}(n_2)$ ,  $H_f^{(3)}(n_3)$ 과  $L_f^{(3)}(n_3)$ 은 각각 첫 번째, 두 번째, 세 번째 단계의 고대역 신호와 세 번째 단계의 저대역 신호이다.

식(2)~식(5)와 그림 2를 보면 알 수 있듯이, 모든 이동된 신호의 웨이블릿 계수  $f_s(n)$ 는 원 신호  $f(n)$ 의 저주파수 대역을 이동함으로써 얻어 질 수 있음을 알 수 있다. 예를 들어,  $H_f^{(3)}(6, n_3)$ 에 대하여 6은 공간 영역에서 6화소 이동되었다는 것을 나타내고  $n_3$ 는 공간 좌표에서 3번 다운-샘플링된 신호의 좌표를 나타낸다.

이 방식을 2차원 영상에 적용시키려면 1차원 방식을 가로, 세로에 대하여 수행시킴으로써 쉽게 적용이 가능하다.

## 2. 저대역 이동법을 이용한 움직임 추정과 움직임 보상 (15)

동영상 정보는 공간적인 중복성과 시간적인 중복성이 있으며, 공간적 중복성을 줄이는 부호화 기법을 프레임내 부호화(intra-frame coding)라 하고, 시간적 중복성을 제거하는 것을 프레임간 부호화(inter-frame coding)라 한다. 동영상은 특히 시간적인 중복성을 효율적으로 줄여야 하는데, 이전 프

레이의 영상 정보를 그대로 활용하면서 변화된 부분, 즉 움직임이 발생한 부분만을 찾아서 그 정보만을 보내 주면 뛰어난 부호화 효율을 얻을 수 있다. 이때 현재 영상에서 움직임이 발생한 영역과 가장 비슷한 부분을 이전 프레임 영상에서 찾는 과정을 움직임 추정이라고 하며, 이 추정된 정보를 현재 프레임에 예측(prediction)하여 예측 오차만을 부호화하게 된다. 변위 차분 프레임 (Displacement Frame Difference : DFD)은 움직임 추정 과정에서 얻어진 움직임 벡터에 의해 재구성된 참조 프레임과 현재 프레임간의 예측 오차를 의미하며 두 프레임간의 시간적 중복성이 매우 높다면 이 변위 차분 프레임의 정보량은 매우 낮아지게 된다. 일반적으로 동영상 부호화 시스템에서는 이러한 움직임 보상 오차 프레임인 변위 차분 프레임과 움직임 벡터를 부호화하는 방식을 사용하므로 효율적인 부호화를 위해서는 정확한 움직임 추정이 필요하다[16].

웨이블릿 변환 영역에서의 움직임 추정은 이동-변환 성질로 인하여 프레임간에 움직임이 일어났을 때, 그 계수값이 공간영역에서 이동된 위치에 따라 값이 달라지게 되므로 정확한 움직임 추정이 어렵다. 저대역 이동법을 사용한다면 현재 프레임의 임의의 화소에서 이동된 화소의 변화된 웨이블릿 계수값을 참조 할 수 있기 때문에 일반적인 웨이블릿 변환 영역에서의 움직임 추정보다 부호화 면에서 더 효율적인 움직임 추정을 할 수 있다.

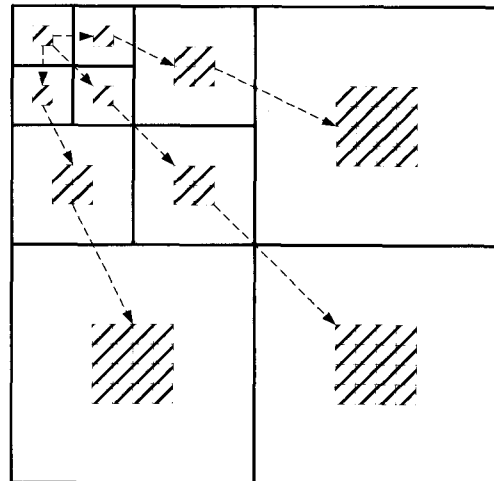


그림3. 웨이블릿 계수의 부모-자식 관계

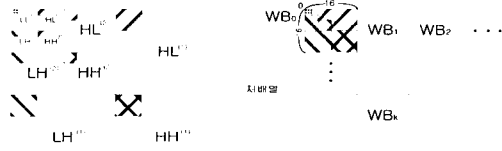


그림4. 3단계 웨이블릿 계수들의 재배열

웨이블릿 분해시 주어진 해상도에서 임의의 계수 값들은 그림 3과 같이 최대 주파수 대역을 제외하고, 한 단계의 세밀한(fine) 해상도의 대응되는 위치의 계수들과 공간영역에서 같은 화소이며 그 계수 간의 상관성(correlation)이 매우 높다. 거친(coarse) 해상도에 위치한 계수를 부모(parent)라 부르고, 그곳에 대응되는 위치의 다음 단계의 세밀한 해상도의 4개의 계수들을 자식(child)이라고 부른다. 이 관계를 이용한 것이 웨이블릿 나무(wavelet tree)라고 불리는 자료 구조이다.

기존의 저대역 이동법을 이용한 부호화기에서는 움직임 추정을 위해 그림 4와 같이 공간영역에서 같은 위치의 계수들끼리 재배열을 하게 된다. 재배열된 웨이블릿 블록에 대하여 움직임 추정을 하기 위해 MPEG이나 H.263등과 같은 동영상 부호화 기법에서 널리 쓰이는 전 영역 블록 정합 알고리즘(full-search block matching algorithms)을 사용한다. 이 기법은 프레임을 일정 크기의 블록으로 나눈 후 각 블록이 이전 프레임의 어떤 블록과 가장 유사한지 탐색하여 각 블록의 움직임을 결정하는 방식이다. 여기서 사용되는 정합 기준으로는 일반적으로 평균 절대 오차(MAD : Mean Absolute Difference)를 사용하여 MAD가 최소화되도록 한다[8].

평균 절대 오차 함수에 의한 움직임 벡터  $(dx, dy)$ 의 결정은 식(6)과 같다.

저대역 이동법을 이용한 움직임 추정에서, 3단계 웨이블릿 분해시  $k$ 번째 블록에 대한 블록 정합 움직임 추정 알고리즘의 적용은 식 (7)과 같다[15].

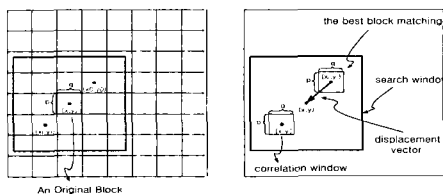


그림5. 전영역 블록 정합 기법을 이용한 움직임 추정

$$(dx, dy) = \arg \min_{p, q} \sum_{p=-\frac{M}{2}}^{\frac{M}{2}} \sum_{q=-\frac{N}{2}}^{\frac{N}{2}} |I_{cur}(x+p, y+q) - I_{ref}(x+p+dx, y+q+dy)| \quad (6)$$

$I_{cur}(x+p, y+q)$  : 현재 프레임의 블록  
 $I_{ref}(x+p+dx, y+q+dy)$  : 참조 프레임의 블록  
 $M, N$  : 블록의 가로, 세로 크기

$$MAD_k(dx, dy) = \sum_{i=1}^3 \sum_{x_i=x_{i,k}}^{x_{i,k}+M/2^i-1} \sum_{y_i=y_{i,k}}^{y_{i,k}+N/2^i-1} \left\{ |HL_{cur}^{(i)}(x_i, y_i) - HL_{ref}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor)| \right. \\ \left. + |LH_{cur}^{(i)}(x_i, y_i) - LH_{ref}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor)| \right. \\ \left. + |HH_{cur}^{(i)}(x_i, y_i) - HH_{ref}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor)| \right\} \\ + \sum_{x_i=x_{i,k}}^{x_{i,k}+M/2^i-1} \sum_{y_i=y_{i,k}}^{y_{i,k}+N/2^i-1} \left\{ |LL_{cur}^{(3)}(x_3, y_3) - LL_{ref}^{(3)}(dx\%2^3, dy\%2^3, x + \lfloor \frac{dx}{2^3} \rfloor, y_3 + \lfloor \frac{dy}{2^3} \rfloor)| \right\} \quad (7)$$

여기서,  $LH_{cur}^{(i)}$ ,  $HL_{cur}^{(i)}$ ,  $HH_{cur}^{(i)}$ 는 현재 프레임에서  $i$ 번째 웨이블릿 분해 단계의 저-고, 고-저, 고-고대역을 나타내며,  $LL_{cur}^{(3)}$ 은 현재 프레임의 최저 주파수 대역을 나타낸다. 마찬가지로  $LH_{ref}^{(i)}$ ,  $HL_{ref}^{(i)}$ ,  $HH_{ref}^{(i)}$ 는 참조 프레임에서  $i$ 번째 웨이블릿 분해 단계의 저-고, 고-저, 고-고대역을 나타내며,  $LL_{ref}^{(3)}$ 는 참조 프레임의 최저 주파수 대역이다.  $i$ 번째 웨이블릿 분해 단계의 부대역에서  $k$ 번째 웨이블릿 블록의 시작점  $(x_{i,k}, y_{i,k})$ 은 식 (8)과 같이 정의된다.

$$x_{i,k} = \frac{x_{0,k}}{2^i}, y_{i,k} = \frac{y_{0,k}}{2^i} \quad (8)$$

여기서,  $(x_{0,k}, y_{0,k})$ 는 공간 영역에서  $k$ 번째 웨이블릿 블록의 시작점이다.

움직임 벡터를  $(dx, dy)$ 라 놓을 때, 움직임 보상 블록에 대한 식은 식(9)~식(12)와 같다.

$$HL_{mc}^{(i)}(x_i, y_i) = HL_{ref}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor) \quad (9) \\ LH_{mc}^{(i)}(x_i, y_i) = LH_{ref}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor) \quad (10)$$

$$HH_{mc}^{(i)}(x_i, y_i) = HH_{mc}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor) \quad (11)$$

$$LL_{mc}^{(i)}(x_i, y_i) = LL_{mc}^{(i)}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor) \quad (12)$$

단,  $i=1,2,3, x_{i,k} \leq x_i \leq x_{i,k} + \frac{M}{2^i} - 1, y_{i,k} \leq y_i \leq y_{i,k} + \frac{N}{2^i} - 1$

여기서,  $HL_{mc}^{(i)}, LH_{mc}^{(i)}, HH_{mc}^{(i)}$ 는  $i$ 번째 레벨의 고-저, 저-고, 고-고대역의 움직임 보상 블록이고, 마찬가지로  $LL_{mc}^{(3)}$ 은 3번째 단계의 저대역에 대한 움직임 보상 블록이다.

### 3. 저대역 이동법을 이용한 동영상 부호화

일반적인 동영상 부호화기의 기본동작은 프레임의 주파수적 중복성을 제거하기 위한 변환 부호화부, 이전 프레임과 현재 입력되는 프레임으로부터 움직임 추정을 통하여 움직임 벡터를 구하고 이를 이용해 입력 프레임을 예측하여 현재 입력되는 데이터와의 차이를 구하는 예측 부호화부, 이를 양자화(quantization) 함으로써 데이터의 압축을 유도하는 양자화부, 그리고 확률에 따라 다른 코드 길이를 부여하여 압축하는 엔트로피 부호화부로 이루어진다.

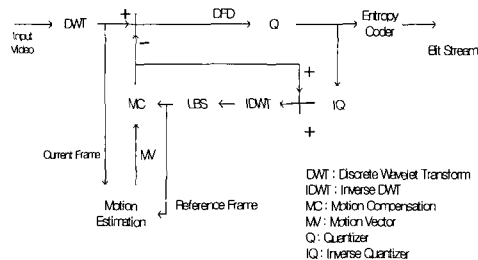


그림6. 저대역 이동법을 이용한 동영상 부호화기의 블록도

일반적인 동영상 부호화기는 공간 영역에서 움직임 추정을 하여 예측 부호화를 진행한 후 변환 부호화를 진행하는 반면, 그림 6의 저대역 이동법을 이용한 동영상 부호화 방식은 웨이블릿 영역에서 움직임 추정을 하기 때문에 변환 부호화를 먼저 수행하게 된다. 입력 프레임에 대하여 3단계 웨이블릿 변환을 취하고, 이전 프레임을 웨이블릿 역변환과 저대역 이동법을 수행한 후 참조 프레임으로 삼아 웨이블릿 변환 영역에서 움직임 추정과 보상을 한다. 거기에서 생성된 변위 차분 프레임을 양자화 과정과 엔트로피 부호화기(entropy coder)를 거쳐 압축

된 비트 스트림을 만들게 된다.

저대역 이동법을 이용하면 일반적인 웨이블릿 변환 영역에서 움직임 추정뿐만 아니라 공간영역에서의 움직임 추정을 할 때 보다 평균 절대 오차 면에서 효율적이게 되며 부호화할 정보량이 다른 방법들보다 낮아지게 된다. 따라서 화질 비 부호화량 면에서 저대역 이동법이 효율적이게 된다. 그러나, 기존의 방법에 비해 움직임 추정시 참조 프레임에 필요한 메모리량이 일반적인 방법보다 10배 증가하게 되고, 계산량도 공간 영역에서 움직임 추정보다 약 10.3% 가량 증가하게 되는 단점이 있다.

### IV. 제안한 방법

제안한 방법(LBS-MRME)은 기존의 저대역 이동법(LBS)에 적합한 다해상도 움직임 추정의 개념을 도입한 동영상 부호화 방법이다. 저대역 이동법을 이용한 움직임 추정 방법은 참조 영상 하나에서 블록을 이동해가며 움직임을 추정하는 것이 아니라 모든 이동을 가정한 여러 참조 영상들에서 이동에 따라 블록을 참조하는 것이기 때문에 하나의 움직임 벡터를 모든 레벨에서 쓰면서 동영상을 부호화하는 특성을 가지고 있다. 또한 저대역 이동법에 MRME를 적용시 모든 이동 가능한 참조 영상을 레벨에 따라 다운 샘플링 되는 정도에 맞게 만들어 놓았기 때문에 상위 레벨의 움직임 벡터에 두 배를 곱해서 참조할 필요가 없는 특성을 가지고 있다. 저대역 이동법에 적합한 다해상도 움직임 추정을 하는 LBS-MRME 방법은 Zhang이 제안한 것과 같이 웨이블릿 구조의 계층적 상관성을 이용하며, 가변 블록을 지나 최저 해상도의 움직임 벡터는 기존의 방법과 마찬가지로  $2 \times 2$  블록에 대하여 움직임 벡터를 구하고 같은 해상도의 저-고( $W^1$ ), 고-저( $W^2$ ), 고-고( $W^3$ )대역에 대하여 같은 움직임 벡터를 가지도록 한다. 그리고 저대역 이동법의 특성상 하위 단계의 각 대역의 움직임 벡터에 대하여 공간 영역의 해상도만큼 참조 프레임을 얻을 수 있으므로 하위 단계의 각 대역의 움직임 벡터는 상위 단계의 각 대역의 움직임 벡터를 두 배 하지 않고 초기 추정치로 삼는다. 위의 기술한 방법으로 최저 해상도의 움직임 벡터와 나머지 부대역들의 움직임 벡터를 구한다.

블록 정합의 기준을 MAD로 삼을 때, 제안한 알고리즘의 각 블록당 움직임 추정방법을 식(13)으로 나

타내면,

$$MAD_{w_a}(dx, dy) = \sum_{x_i=x_{i-1}}^{x_{i,k}+M/2-1} \sum_{y_i=y_{i-1}}^{y_{i,k}+N/2-1} \left\{ |W_a^{cur}(x_i, y_i) - W_a^{ref}(dx\%2^i, dy\%2^i, x_i + \lfloor \frac{dx}{2^i} \rfloor, y_i + \lfloor \frac{dy}{2^i} \rfloor)| \right\} \quad (13)$$

여기서  $i$ 는 웨이블릿 분해 단계를 나타내며  $a=2$ 일 때  $i=1$ ,  $a=4$ 일 때  $i=2$ , 그리고  $a=8$ 일 때  $i=3$ 이 된다.  $W_a^{cur}$ 는 현재 프레임의  $a$ 번째 웨이블릿 단계의 블록을 나타내며,  $W_a^{ref}$  참조 프레임의  $a$ 번째 웨이블릿 단계의 블록을 나타내고,  $(dx, dy)$ 는 움직임 벡터를 나타낸다.  $M$ 과  $N$ 은 공간영역에서 움직임 추정시 일반적으로  $16 \times 16$  블록을 사용하는 것에 대응한다면, 각각 16으로 놓는다.

제한한 알고리즘의 전체 과정을 의사(pseudo)코드로 나타내면 다음과 같다.

PROCEDURE Motion Estimation

```

estimate  $V_8(x, y)$  in  $S'_8$ ;
for ( $i=1; i \leq 3; i++$ )  $V_8^i(x, y) = V_8(x, y)$ ;
for ( $l=3; l > 1; l--$ )
     $j = 2^l$ ;  $j' = 2^{l-1}$ ;
    for ( $i=1; i \leq 3; i++$ )
        for all( $x, y$ )
            if ( $x \bmod 2^{4-l} = 0$  and  $(y \bmod 2^{4-l}) = 0$ )

```

$$V_{j'}^i(x', y') = V_j^i(x, y) + \Delta_j^i(x', y')$$

where,  $x' = 2x$  and  $y' = 2y$

END Motion Estimation

그림 7은 제안한 움직임 추정 방법을 보여준다.

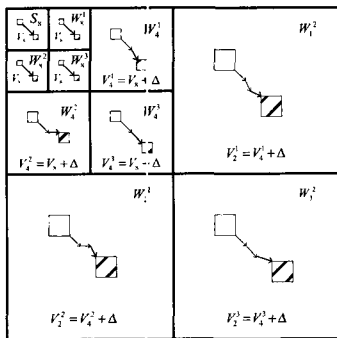


그림 7. 제안한 움직임 추정 방법

한 단계 상위 움직임 추정시 블록의 길이는 2배 커지게 되지만, 탐색 범위의 길이를 2배 작게 함으로써, 계산량을 줄이게 된다.

블록 정합 방식의 경우 움직임 추정의 계산량은 블록의 개수, 블록의 크기와 탐색범위에 비례하므로 기존 방식의 계산량은 식 (14)와 같다.

$$(operations) = TB \times X \times Y \times x \times y \quad (14)$$

제안하는 방법의 움직임 추정에 대한 계산량은 식 (15)와 같다.

$$(operations)' = TB_{level3} \times X \times Y \times \frac{x}{8} \times \frac{y}{8} + TB_{level2} \times \frac{X}{2} \times \frac{Y}{2} \times \frac{x}{4} \times \frac{y}{4} + TB_{level1} \times \frac{X}{4} \times \frac{Y}{4} \times \frac{x}{2} \times \frac{y}{2} \quad (15)$$

그런데,

$$\frac{1}{4} TB_{level3} = \frac{1}{3} TB_{level2} = \frac{1}{3} TB_{level1} = TB$$

이므로,

$$(operations)' = \frac{10}{64} TB \times X \times Y \times x \times y \quad (16)$$

$TB$  : 블록의 총 개수

$TB_{leveln}$  : n번째 해상도의 블록 개수

$X, Y$  : 탐색 영역의 가로, 세로 길이

$x, y$  : 블록의 가로, 세로 길이

식 (15)~(16)에서 알 수 있듯이, LBS-MRME 방법은 기존의 방법의 약 15.6%의 계산량이 소요된다.

그러나 10개의 부대역 중 최상위 4개 대역은 같은 움직임 벡터가 존재하게 되고 다른 6개 대역에 대하여 움직임 벡터가 각각 존재하게 되므로, 기존의 방법에 비해 움직임 벡터가 7배 늘어나게 된다. 하지만, 이 방법을 사용하면 기존의 방법보다 세밀한 움직임 추정을 하게 되어 현재 프레임의 예측 부호화가 더욱 용이하게 되므로 변위 차분 프레임에 대한 부호화량이 줄어들게 될 가능성이 높다. 움직임 벡터의 늘어난 부호화량과 변위 차분 프레임의 줄어든 부호화량이 어느 정도 일치하게 되거나 변위 차분 프레임의 줄어든 양이 더 많다면 움직임 추정에 대한 계산량이 줄어들었으므로 기존의 방법보다 부호화 효율이 좋아졌다고 할 수 있다.

화한 그림이다.

### V. 실험 및 고찰

본 논문에서 제안한 방법인 LBS-MRME에 대한 검증에 위해 QCIF 100프레임에서 프레임당 평균 MAD를 구하였고, 기존의 방법들과 비교해 보았다. 그리고, 부호화 효율에 대한 검증을 위해 QCIF 해상도의 Foreman, Carphone. Akiyo 등 12개 종류의 sequence 100프레임에 대하여 부호화 실험을 하였다. 부호화를 위한 양자화기로 균일 양자화기를 사용하였고, 엔트로피 부호화기는 JPEG2000과 JBIG2에서 사용하는 MQ 산술부호화기(Arithmetic Coder) [18][19]를 사용하여 움직임 벡터와 변위 차분 프레임에 대한 부호화를 하였다.

본 실험에서 웨이블릿 필터는 Daubechies (9,7) 필터를 이용하여 3단계 분해를 하였다.

움직임 추정시 기존의 방법에는 16×16 크기의 블록에 대하여 탐색 범위를 [-16,16]으로 하였다. LBS-MRME 방법은 이 크기에 대응하여 최저 해상도의 블록을 2×2 크기로 놓았으며 참조 프레임은 현재 영상의 바로 전 영상으로 하였다.

화질에 대한 객관적인 평가 방법으로는 원 영상과 복원 영상의 MSE에 대한 평균값을 이용한 PSNR(Peak Signal-to-Noise Ratio)을 사용하였다.

표 1은 기존의 움직임 추정 방법과 LBS-MRME 방법의 여러 가지 영상 100프레임에 대한 평균 MAD의 비교이다. 여기서 프레임 당 MAD는 현재 프레임과 복원된 프레임의 각 픽셀에서 차의 절대값을 더해서 영상의 크기로 나누어 구해지며 평균 MAD는 100프레임에서 구해진 MAD를 모두 더해서 나누어 구해진다.

공간 영역 방법은 일반적인 공간 영역에서 움직임 추정이고, 직접방법은 웨이블릿 변환 영역에서 두 프레임간에 공간 영역 방식의 움직임 추정을 하는 것이다. 표 1에서 알 수 있듯이 LBS-MRME 방법이 가장 우수하게 나타났고 기존의 저대역 이동법과 제안한 방법을 비교했을 때 약 0.3~11.6% 가량 제안한 방법이 우수함을 알 수 있다.

그림 8은 Foreman 시퀀스(sequence)의 화질 부호화 이득을 비교한 그래프이다. 동일한 압축에서 약 0.4~3 dB 가량 PSNR이 좋아졌음을 알 수 있다. 그림 9에서 그림 11은 Foreman 시퀀스의 1번째 프레임과 2번째 프레임간에 기존의 방법과 제안한 방법을 적용시켜 32:1의 압축률로 부호화한 후 복호

표1. 여러 동영상에 대한 100프레임의 평균 MAD

Sequence	공간 영역 방법	직접 방법	저대역 이동법 (LBS)	제안방법 (LBS-MRME)
Akiyo	0.480	0.498	0.482	0.473
Coast-guard	4.305	5.453	4.038	3.784
foreman	3.025	3.881	3.075	2.735
mother	1.669	1.732	1.640	1.576
news	1.021	1.025	0.991	0.941
claire	0.750	0.764	0.750	0.713
carphone	2.148	2.452	2.128	1.929
grandma	1.125	1.135	1.118	1.088
container	0.981	0.982	0.981	0.978
salesman	1.151	1.171	1.137	1.116
silent	1.221	1.225	1.151	1.103
trevor	1.709	1.786	1.627	1.530

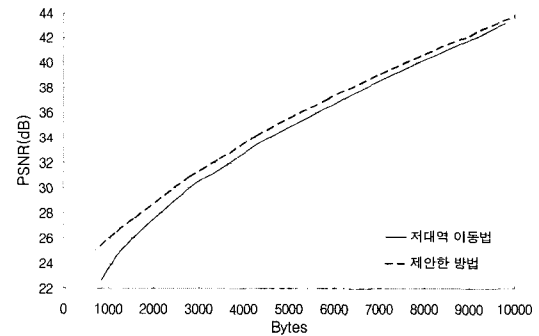


그림8. 제안한 방법에 의한 PSNR 비교(Foreman)



그림9. Foreman 원영상





그림10. 기존의 방법에 의한 결과 영상(32.6dB)



그림11. 제안한 방법에 의한 결과 영상(34.6dB)

## VI. 결론

본 논문에서는 저대역에 적합한 다해상도 움직임 추정을 제안(LBS-MRME)하였다. 저대역 이동법은 웨이블릿 계수의 이동-변환 성질을 극복하기 위해 웨이블릿 변환시 저대역부를 한 화소 이동시킨 후 변환하는 과정을 추가하여 움직임 추정을 위한 참조 프레임이 더 정확하게 되는 이점이 있지만, 그 과정에서 계산량과 메모리가 증가하는 단점이 있었다. LBS-MRME 방법은 저대역 이동법에 참조 프레임과 현재 프레임에 대하여 웨이블릿 계수의 계층적 상관성을 이용하고 저대역 이동법에 적합한 다해상도 움직임 추정을 적용하여 상위 해상도의 움직임 추정의 범위를 줄임으로써 계산량을 기존의 방법의 약 15.6%로 줄이고, 부대역에 더 세밀한 움직임 추정을 하게 된다. 그러나, 각 부대역에 움직임 벡터가 존재하게 되어서 움직임 벡터가 기존에 비해 약 7배 증가하게 되므로, 움직임 벡터의 부호화량 증가와 변위 차분 프레임의 부호화량 감소에 대한 검증이 필요하였다. 모의 실험 결과 제안된 LBS-MRME 방법이 LBS를 이용한 움직임 추정 방법 보다 약 0.3~11.5% 가량 MAD가 낮게 되어

제안한 방법이 MAD면에서 더 우수한 움직임 추정을 하는 것을 알게 되었다. 그리고, 변위 차분 프레임의 부호화량 감소가 움직임 벡터의 부호화량 증가보다 크게 되어 기존의 방법에 비해 0.3~1.1dB 가량 화질이 개선되었다.

향후 연구과제로, 더 나은 부호화 효율을 위하여 부호화 전 처리단에 대한 연구와 적절한 양자화의 설계 등에 대한 연구가 필요하겠다.

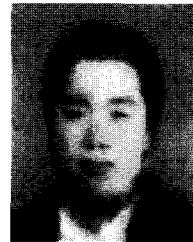
## 참고문헌

- [1] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11, MPEG93/457, "Coded Representation of Picture and Audio Information Test Model 5," April 1993.
- [2] ISO/IEC JTC1/SC29/WG11 N1992, "MPEG-4 Video Verification Model Version 10.0," San Jose, Feb. 1998.
- [3] Draft-T ITU-T Recommendation H.263, Dec. 1995.
- [4] I. Daubechies, "The Wavelet Transform, Time-Frequency Localization and Signal Analysis," IEEE Trans. Information Theory 36, pp.961-1005, 1990.
- [5] I. Daubechies, "Orthonormal Bases of Compactly Supported Wavelets," Commun. on Pure and Appl. Math, 41: 909-996, Nov. 1998.
- [6] S. Mallat, "A Theory for Multiresolution Signal Decomposition: The Wavelet Representation," IEEE Trans. Pattern Anal. Machine Intel., Vol. 11, pp. 674-693, July 1989.
- [7] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies, "Image Coding Using the Wavelet Transform," IEEE Trans. Image Proc., Vol. 1, pp. 205-220, April 1992.
- [8] J. Shapiro, "Embedded Image Coding Using Zerotree Wavelets Coefficients,"

- IEEE Trans. Signal Proc., Vol. 41, p p. 3445-3462, Dec. 1993.
- [9] Kim, S. Rhee, J. Jeon, and K. Park, "Inter-frame Coding Using Two-Stage Variable Block-Size Multiresolution Motion Estimation and Wavelet Decomposition," IEEE Trans. Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 8, pp. 399-410, Aug. 1998.
- [10] S. Kim, T. Aboulnasr, and S. Panchanathan, "Adaptive Multiresolution Motion Estimation Techniques for Wavelet-Based Video Coding," Proc. SPIE Visual Communications Image Processing, Vol. 3309, pp. 965-974, Jan. 1998.
- [11] M. Mandal, E. Chan, X. Wang, and S. Panchanathan, "Multiresolution Motion Estimation Techniques for Video Compression," Optical Engineering, Vol. 35, pp. 128-136, Jan. 1996.
- [12] Y. Zhang and S. Zafar, "Motion-Compensated Wavelet Transform Coding for Color Video Compression," IEEE Trans. on Circuits and Systems for Video Technology, Vol. 2, No. 3, pp. 285-296, Sept. 1992.
- [13] K. Uz, M. Vetterli and D. Legall, "Interpolative Multiresolution Coding of Advanced Television with Compatible Subchannels," IEEE Trans. on CSVT, Vol. 1, No. 1, Mar. 1991.
- [14] G. Conklin and S. Hemami, "Multiresolution Motion Estimation," Proc. of ICASSP, pp. 2873-2876, 1997.
- [15] H. Park and H. Kim, "Motion Estimation Using Low-Band-Shift Method for Wavelet-Based Moving-Picture Coding," IEEE Trans. on Image Processing, Vol. 9, No. 4, pp. 577-587, April 2000.
- [16] V. Bhaskaran and K. Konstantinides, Image and Video Compression Standards, Kluwer Academic Publishers, 1995.
- [17] Y. Shi and H. Sun, Image and Video Compression for Multimedia Engineering, CRC Press, 2000.
- [18] ISO/IEC CD15444-1, "JPEG2000 Image Coding System," Ver 1.0, Dec. 1999.
- [19] ISO/IEC JTC1/SC29/WG1 (ITU-T SG 8), N1545, JBIG2 Final Committee Draft, 16 July 1999.

조재만(Jae-Man Cho)

준회원

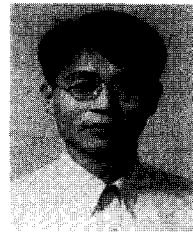


1999년 2월 : 광운대학교 전자공학부 학사  
 2001년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 석사  
 2001년 5월~2002년 7월 : (주)커넥스 근무  
 2002년 12월~현재: (주)인텔링스 근무

<관심분야> 영상압축, 의료영상 분석

김현민(Hyun-Min Kim)

준회원



1993년 2월 : 독학사(이학사)  
 1996년 8월: 광운대학교 전자통신공학과 석사  
 1999년 9월 : 광운대학교 전자통신공학과 박사과정 수료  
 2001년 5월~2002년 7월: (주)커넥스 근무

2002년 12월 ~ 현재: (주)인텔링스 근무

<관심분야> Wavelet 압축, 영상분석

고 형 화(Hyung-Hwa Ko)

정회원



1979년 2월 : 서울대학교 전자  
공학과 졸업

1982년 2월 : 서울대학교 전자  
공학과 석사

1989년 2월 : 서울대학교 전자  
공학과 박사

1985년 3월~현재 : 광운대학교  
전자통신공학과 교수

1998년 8월 - 1999년 8월 : UCSD 전기공학과  
객원교수

<관심분야> 영상통신, 2진문서 압축, Wavelet 부호  
화, MJPEG2000 부호화