

웨이블릿 영역에서의 선택적인 보간에 의한 반화소 단위 움직임 추정

이경환^{*} · 정영훈^{**} · 황희철^{**}

요 약

본 논문에서는 저해상도 대역에서의 움직임 벡터를 고려한 고해상도 대역의 영역에서 움직임 탐색을 행함으로써 밀-소 다중해상도 움직임 추정의 과도한 계산량을 줄일 수 있는 새로운 방법을 제안하였다. 또한 정확한 움직임을 찾아서 복원영상의 화질을 높이기 위해 반화소 단위 움직임 추정을 사용하는데, 많은 계산량이 필요하게 된다. 따라서 본 논문에서는 인접 화소들간의 상관관계를 이용해 오차가 최소가 되는 방향을 예측하여 선택적 보간을 이용하여 계산량을 줄일 수 있었다.

Half-pel Accuracy Motion Estimation Algorithm using Selective Interpolation in the Wavelet Domain

Kyeong-Hwan Lee^{*}, Young-Hoon Joung^{**} and Hee-Chul Hwang^{**}

ABSTRACT

In this paper, we propose a new method for reducing the computational overhead of fine-to-coarse multi-resolution motion estimation (MRME) at the finest resolution level by searching for the region to consider motion vectors of the coarsest resolution subband. At this time, if half-pel accuracy motion estimation (HPAME) is used in the baseband where influence a lot of effect to the reconstructed image, we can have the motion vector exactly. But, this method causes to higher computational overhead. So we suggest the method to the computational overhead by using selective interpolation. Experimental results show that the proposed algorithm gives better results than the traditional algorithms from image quality.

Key words: MRME, motion compensation, HPAME, wavelet, motion vector

1. 서 론

멀티미디어 정보를 다루는 시스템은 대단히 많은 데이터를 가지며, 그 중에서도 디지털 이미지 정보는 막대한 데이터를 가진다. 그래서 영상 부호화의 목적은 영상 화질의 손실이 없이 화소들간의 중복성(redundancy)을 이용하여 중복되는 정보를 줄임으로써 높은 압축률을 얻는 데 있다. 이러한 영상 부호화에는 여러 가지 방법이 사용되나, 그 중에서도 변환 부호화는 데이터를 압축하기 위한 가장 유용한

방법으로 알려져 있다. 지금까지 가장 많이 쓰여온 변환 방법은 이산 여현 변환(discrete cosine transform, DCT) 방법이었으나, DCT는 구획화 현상(blocking effect)과 같은 몇몇 문제점을 가지고 있으므로 최근에는 이산 웨이블릿 변환(discrete wavelet transform, DWT)을 많이 사용하게 되었다.

DWT의 기본적인 원리는 신호의 스펙트럼을 몇 개의 주파수 영역으로 분리한 후 부호화를 하고 그 후에 각각의 영역을 따로 전송하는 것이다.[1] DWT의 특성을 살펴보면 첫째, 자연 영상신호들은 저주파 영역에 에너지의 대부분이 집중되어 있는 비균일한 주파수 스펙트럼(non-uniform frequency spectrum)을 가지고 있다. 둘째, 인간의 시각계에 의하면

접수일 : 2002년 4월 1일, 완료일 : 2002년 11월 1일

^{*} 정희원, 위덕대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

^{**} 경북대학교 전자공학부

노이즈 가시성 (noise visibility)이 저주파와 고주파 양쪽에서 떨어진다. 따라서 이를 이용하여 설계자는 인간 시각 특성에 따라서 압축 왜곡을 조정할 수 있다. 세째, 영상이 인위적인 블록이 아닌 그 영상 전체에 대해 부호화되므로 영상 부호화기에서의 변환에 의해 발생할 수 있는 부호화된 영상의 블록구조 왜곡 (block structure distortion)이 전혀 없다. 따라서, 이러한 방법은 특히 영상 부호화에 매우 적합한 방법이다. 이러한 웨이블릿 변환에 있어 지금까지 몇몇 움직임 추정 방법이 제안되어왔는데 현재 가장 많이 사용되는 움직임 추정 방법은 MRME (multiresolution motion estimation)이다. 하지만, 기존의 MRME 방법은 단순한 저해상도 대역에서 고해상도 대역으로의 움직임 추정이므로 기저대역에서의 작은 블록에 의한 에일리어싱 (aliasing)같은 문제와 오차 누적과 같은 단점을 가지고 있다.

따라서, 본 논문에서는 웨이블릿 변환 화소의 선택적 보간에 의한 움직임 추정 알고리즘을 제안하였다. 이와 같이, 만약 기저대역에서 반화소단위의 움직임 추정 (half-pel accuracy motion estimation, HPAME)을 하면 좀 더 좋은 화질을 얻을 수 있으나, 계산량의 증가를 가져온다.[8] 그래서 우리는 자연의 화상에서 인접한 화소들간의 상관관계가 높다는 것을 이용하여 오차가 최소가 되는 방향을 예측하고, 선택적인 보간을 행한 다음, 정확한 움직임 벡터를 찾아서 계산량을 줄였다. 그리고, 우리는 좀 더 좋은 화질을 얻기 위하여 고해상도 대역에서 저해상도 대역으로 부분적인 움직임을 추정하였다. 그 결과, 우리는 컴퓨터 모의 실험을 통하여 이 알고리즘의 우수성을 확인할 수 있었다.

2. 웨이블릿 기반에서의 MRME 방법들

움직임 보상 부호화에서 우리는 움직임을 추정, 보상하기 위해서 이전 프레임에 이용한다. 그 후, 움직임 보상된 영상과 원래의 영상과의 차영상, 그리고 추정된 움직임을 부호화한다. 이때 사용하는 움직임 추정 방법은 간단하고 하드웨어 구현이 쉬운 블록 정합 알고리즘 (block matching algorithm, BMA)을 사용한다. 그러나 BMA는 움직임을 행하는 경우에 대상 영상의 움직임에 대하여 적절한 탐색 영역과 블록의 크기를 결정하기 어렵고, 움직임 추정이 일정한 크기의 블록으로 이루어지기 때문에

구획화 현상과 같은 단점을 가진다. 이러한 단점을 제거하기 위해서 웨이블릿 변환을 이용하여 다해상도 영상으로 분할한 후, 분할된 영상에 대하여 계층적으로 움직임 추정 및 보상을 행하는 방법들이 연구되고 있다. 웨이블릿 변환을 이용한 움직임 추정 및 보상 방법 중 가장 많이 쓰이는 방법은 앞에서도 말한 바와 같이 Zhang 등[2]이 제안한 MRME 방법이다. 그림 1은 MRME 방법을 나타낸 것이다. MRME는 웨이블릿 변환된 각 프레임의 모든 부대역들의 블록들에 대하여 BMA를 적용하여 계층적으로 움직임 추정 및 보상을 행한다. 기저대역에서는 전역 움직임을 추정한 후, 고해상도 계층에서는 기저대역에서 추정된 움직임 벡터를 기준으로 작은 탐색 영역에서 미소 움직임 변위를 추정한다. 이러한 과정을 정제 (refine)라고 하며 이 정제에 의하여 블록 정합에 필요한 계산량을 감소시킬 수 있다. 이러한 방법은 BMA에 비하여 탐색과 정합시간이 적게 소모되며 영상정보의 점진적인 전송이 가능하고 부드러운 움직임 벡터장을 만들 수 있으며 웨이블릿 역변환을 통하여 구획화 현상을 제거할 수 있다. 그러나 기저대역에서의 움직임 벡터는 고해상도 계층에서도 사용되어지므로 부정확하게 추정되어질 경우 움직임 추정 오차가 다음 고해상도 계층으로 과급되는 단점이 있다. 따라서 더욱 정확한 기저대역 움직임 추정이 필요함을 알 수 있다.

MRME에는 움직임 추정이 이루어지는 대역의 순서에 따라서 두 가지 방법으로 나뉜다. 그 첫 번째는

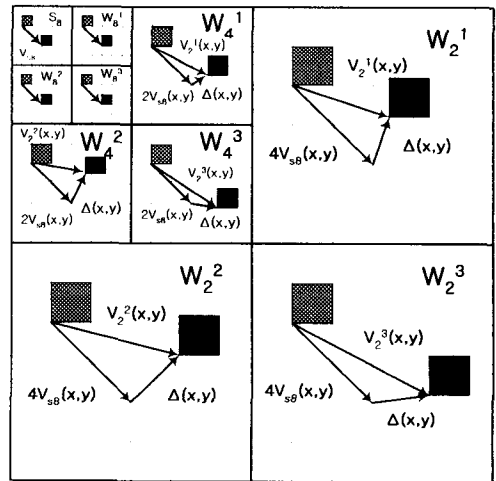


그림 1. 다해상도 영상에서의 움직임 추정

Zhang 등[2]에 의해 제안된 소-밀 MRME 방법이고, 다른 하나는 Conklin 등[7]에 의해 제안된 밀-소 MRME 방법이다.

2.1 소-밀 MRME 방법

소-밀 방법은 움직임 추정 과정의 계산량을 줄이기 위하여 웨이블릿 피라미드 구조의 대역 분할 특성을 이용한다. 소-밀 방법에는 Zhang 외의 여러 사람들이 움직임 추정 방법에 있어서 여러 가지 방법을 제안하였다.[2,4-6] 그림 2는 대표적인 소-밀 방법을 보이고 있다. 그림 2에서와 같은 MRME 구조에서 보는 바와 같이 웨이블릿 피라미드 구조에서의 블록 정합을 기반으로 하는 움직임 추정 알고리즘을 이용하여 저해상도에서 고해상도 대역으로 전이될 최초 움직임 벡터가 결정된다. 이렇게 추정된 움직임 벡터가 웨이블릿 피라미드 구조의 다음 단계로 전이되고, 전이된 움직임 벡터를 스케일링 (scaling)한 후 기본 벡터로 사용하여 그 벡터 주위에서 미소 움직임 추정을 행한다. 이러한 과정을 정재라 한다. 이러한 정재 방법에 의하여 블록 정합에 필요한 계산량을 감소시킬 수 있다.

다시 말해서 고해상도 계층에서는 해상도가 가로, 세로 각각 2배씩 커지므로 움직임 추정 블록의 크기도 각각 2배씩 커지게 되는데, 이러한 정재 과정에 의해 탐색 영역이 줄어들게 되어 움직임 추정에 대한 계산량이 상대적으로 많이 줄어들게 되는 것이다. 결국 이 MRME 방법에 의한 움직임 추정은 일반적으로 상대적으로 계산량이 줄어드는 장점이 있으나, 부

정확한 움직임 추정을 행할 확률이 커진다.

2.2 밀-소 MRME 방법

Conklin 등[7]은 MRME 구조에 있어서 밀-소 방법을 제안하였다. 그림 3은 대표적인 밀-소 MRME 구조를 보이고 있다. 그림 3에서도 볼 수 있듯이 앞서 소-밀 방법과는 달리 초기 움직임 추정이 화소 영역에서 이루어진다. 즉 일반적인 블록 정합 방법을 기반으로 하는 움직임 추정 알고리즘을 이용하여 웨이블릿 피라미드 구조에서의 최고해상도 대역에서 최초 움직임 벡터가 추정된다. 그리고 이때 얻어진 움직임 벡터를 이용하여 저해상도 대역으로 스케일링한 후 그 기본벡터를 사용하여, 그 벡터를 중심으로 상대적으로 축소된 탐색 영역내에서 미소 변위 역추정을 행하게 된다. 단, 앞서 설명한 소-밀 방법과는 달리 각 대역별 전송 순서를 점진적인 전송 순서가 되도록 하기 위해 전체 움직임 추정 과정을 마친 후, 이때 얻어진 움직임 벡터의 미소 변위량과 움직임 보상된 차영상 정보를 부호화 할 필요가 있게 된다.

이러한 방법은 정확한 움직임 추정이 최고해상도 대역에서 이루어진 후 부호화 과정에서 저해상도 대역으로 스케일링되어 가기 때문에, 더 정확한 움직임을 추정할 수 있다는 장점이 있다. 따라서 기존의 소-밀 방법과 비교해서, 시각적으로나 정량적으로 높은 화질을 제공함은 물론이고 훨씬 적은 엔트로피 (entropy)를 보인다. 하지만 이러한 방법은 최고해상도 대역의 부영상에서 전역 탐색을 행하게 되므로, 상대적으로 앞서 설명한 소-밀 방법에 비하여 많은 계산량이 요구되는 문제점을 갖는다.

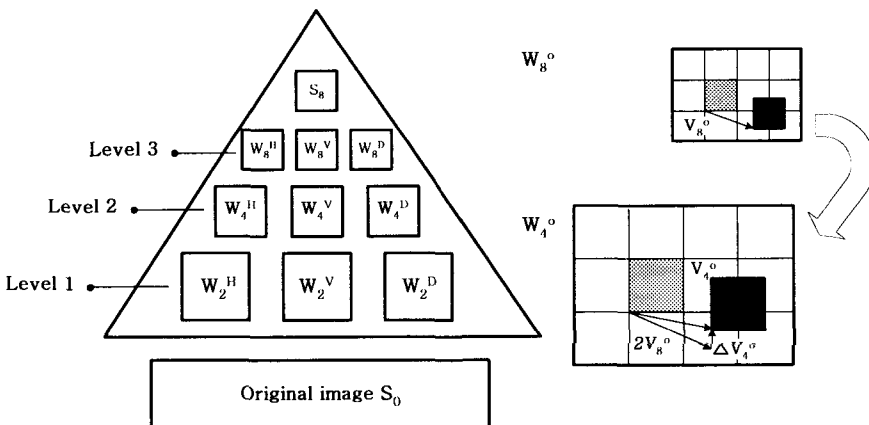


그림 2. 소-밀 MRME 방법

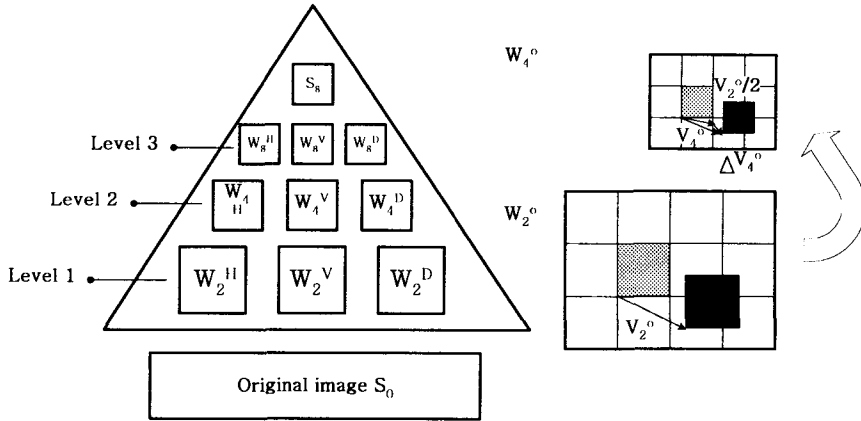


그림 3. 밑-소 MRME 방법

3. 제안한 방법

본 논문에서 우리는 MRME의 단점을 향상시키기 위해서 두 가지 방법을 제안한다. 첫 번째는 기저대역에서 선택적인 보간을 통한 반화소단위의 움직임 추정을 행하는 것이고, 두 번째는 고해상도 대역에서 저해상도 대역으로의 선택적인 국부 MRME를 행하는 것이다.

3.1 기저대역에서의 선택적 보간을 위한 반화소단위의 움직임 추정

웨이블릿 변환된 영상의 기저대역은 대부분의 에너지가 존재하는 곳이고, 웨이블릿 변환시의 복원 영상에 미치는 영향이 크다. 그래서 기저대역에서 움직임 벡터가 잘못 추정된다면, 움직임 추정 오차는 다음의 고해상도 대역에도 영향을 주게 된다. 이것은 기저대역에서의 움직임 벡터가 고해상도 대역에서도 다시 사용되기 때문이다. 따라서 기저대역에서의 정확한 움직임 추정이 매우 중요하다고 할 수 있다. 본 논문에서 우리는 HPAME를 사용하여 좀더 정확한 움직임을 추정했다. Girod[3]는 TV 신호와 비디오 신호에 HPAME를 사용했었고, 좋은 성능을 가진다는 것을 알아냈다. MPEG-2 TM (test model)에서도 HPAME는 정확한 움직임을 추정하는데 받아들여졌다. HPAME는 실제로 물체의 움직임이 반드시 카메라의 샘플링 격자간격의 정수배로만 일어난다는 사실에 근거한다. 즉, 현재 프레임과 이전 프레임과의 관계를 다음의 식

$$I_t(x, y) = I_{t-1}(x - d_x, y - d_y) \quad (1)$$

과 같이 나타낼 때, 수평 및 수직 방향으로의 실제 움직임 거리인 d_x 및 d_y 는

$$d_x = (m_x + v_x)d, \quad d_y = (m_y + v_y)a \quad (2)$$

와 같이 반드시 샘플링 간격 d 의 정수배로만 나타나지 않는다. 이 식에서 m_x 와 m_y 는 움직임 거리의 정수 성분이고, v_x 와 v_y 는 소수 부분을 나타낸 것으로 -0.5에서 +0.5 사이의 값을 갖는다. 반화소단위의 움직임 추정 기법에서는 전역 탐색 알고리즘으로 최적의 정화소단위의 움직임 벡터를 찾은 후, 정화소단위 움직임 벡터를 기준점으로 하여 그림 4의 (a)에서처럼 이전 프레임의 영상을 보간 (interpolation)하여 이웃 8개의 반화소 위치를 만든 뒤, 기준점과 이웃 8개의 반화소 위치에 대하여 정합 척도가 최적인 위치를 찾는다. 반화소단위의 추정은 정확한 움직임 추정을 통하여 움직임 추정 오차의 분산을 줄일 수 있으나 전역 탐색 방법에 필요한 계산량 이외의 별도의 계산

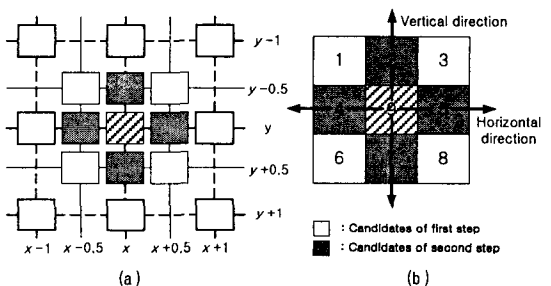


그림 4. (a) 기저대역에서의 반화소 위치 (b) 수평 및 수직 방향으로의 후보 반화소 단위 움직임 블록들

량이 필요해 계산량이 증가한다는 단점이 있다. 제안한 방법에서는 계산량을 줄이기 위해 블록 내에 인접한 화소들 간에는 상관관계가 매우 높다는 사실을 이용하여 오차가 최소가 되는 방향을 미리 예측하여 선별적인 보간을 통하여 반화소 단위 움직임을 탐색한다. 그림 4의 (b)에서처럼 수평이나 수직 방향을 기준 방향으로 잡으면 블록 2, 블록 7, 블록 4, 그리고 블록 5가 기준 움직임 블록이 된다. 먼저 이러한 기준 블록을 반화소단위 움직임 보간하고 나서 수직방향의 블록 2와 블록 7을 비교하고, 수평방향의 블록 4와 블록 5를 비교한다. 각 방향당 최소의 오차 (mean square error, MSE)를 가진 두 개의 블록을 선정하면 블록내에 인접한 화소들 간에는 상관관계가 높으므로 오차가 최소가 되는 방향을 예측하여 그 사이에 있는 블록만을 보간한다. 예를 들면 각 방향당 블록 2가 블록 7보다 오차가 적고, 블록 5가 블록 4보다 오차가 적다면 최적의 반화소 단위 움직임 블록은 어떤 방향보다 위방향과 우측방향에 있을 확률이 크므로 블록 3만 보간하면 된다. 따라서 이러한 방법은 8개의 블록을 모두 보간할 필요없이 예측하여 블록 2, 블록 3, 블록 5만을 선별적으로 보간함으로써 많은 계산량을 줄일 수 있다.

3.2 고해상도 대역에서 저해상도 대역으로의 선택적인 국부 MRME

기존의 방법들에서 전체 과정을 살펴보면, 기저대역과 다른 계층의 부영상에 있어서의 움직임 추정은 독립적으로 이루어진다. 따라서, 본 논문에서는 웨이블릿 피라미드 구조 특성과 대역간 상관성을 고려하여 최고해상도 대역에 있어서의 전 탐색영역 (full searching area) 중, 기저대역에서 얻어진 움직임 벡터를 스케일링한 잠재적인 탐색영역 (potential searching area)내에 정확한 움직임 벡터가 있다고 가정한다.

따라서 본 논문은 기저대역에서 얻게 되는 움직임 벡터를 이용하여, 밀-소 방법의 최고해상도 대역에서의 움직임 벡터를 추정하게 되는 탐색 영역을 적응적으로 줄였다.

그림 5에서와 같이, 먼저 영상에 있어서 기저대역에서 움직임 벡터를 추정한다. 이는 그림 5에서 (a)의 연하게 칠해진 블록을 나타낸다. 이때 얻어진 움직임 벡터를 이용하여 최고해상도 대역에서의 원래 움직

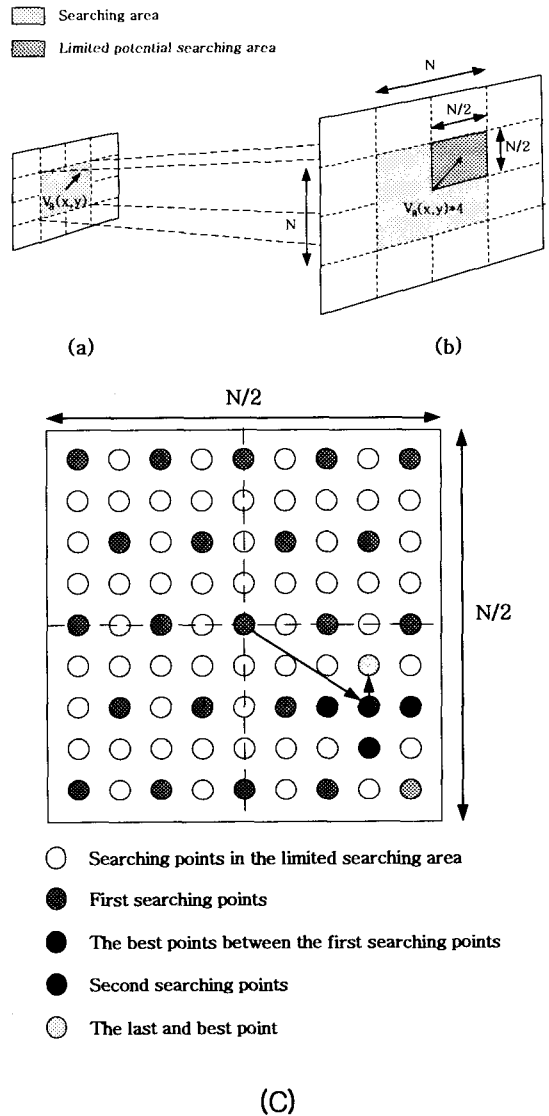


그림 5. (a) 기저대역의 움직임 벡터를 이용한 (b) 최고해상도 대역에서의 제한된 잠재적 탐색 영역 및 (c) 잠재적인 탐색영역 내에서의 탐색 패턴

임 탐색영역 ($N \times N$)을 가로, 세로 각각 $1/2$ 씩 제한하여 잠재적인 움직임 탐색영역 ($N/2 \times N/2$)을 정의하였다. 여기서 탐색 성능을 높이기 위하여, 만약 기저대역에 있어서의 움직임 벡터를 스케일링하여 새롭게 정의내린 잠재적인 움직임 탐색영역이 원래 움직임 탐색영역을 벗어나게 되면, 이러한 탐색영역은 원 탐색영역 내로 이동시켰다. 이러한 제한된 잠재적 탐색영역의 한 예를 그림 5에 보였다.

그 다음, 2단계 움직임 추정을 행하였다. 먼저, 제

한된 움직임 탐색 영역 내에서 교번적 부표본점 (subsampling point)을 결정하고, 그 점들을 중심으로 블록 정합을 기반으로 하는 움직임 추정을 행하였다. 그 후, 그 중 최소 오차 참조 탐색점을 중심으로 한 번 더 추정을 행함으로써 더욱 더 계산량을 줄일 수 있다.

위 전체 과정을 요약하면 다음에서와 같다.

단계 1 : 입력 영상을 이산적 웨이블릿 변환을 이용하여 N 계층의 다해상도 영상으로 분할한다.

단계 2 : N 계층의 부대역들을 일정한 크기의 블록으로 분할하고, 기저대역 (S_8)의 블록들에 대하여 움직임 추정을 행한다.

단계 3 : 아래의 식을 이용하여, 고해상도 계층 (W_2^j)에서 적응적으로 움직임을 추정하고 계층을 감소시키면서 최저해상도 계층까지 스케일링과 정제를 행한다.

$$V_2^0(x, y) = V_8(x, y) \times p(x, y) + \Delta'(\delta x + \delta y) \quad (3)$$

$$\text{where } p(x, y) = \begin{cases} p(2x, 2y) & \text{if } x=2 \ \& \ y=2 \\ p(2x, 4y) & \text{if } x=2 \ \& \ y=4 \\ p(4x, 2y) & \text{if } x=4 \ \& \ y=2 \\ p(4x, 4y) & \text{if } x=4 \ \& \ y=4 \end{cases}$$

$\Delta'(\delta x + \delta y)$: alternating subsampling point

$$V_j^0(x, y) = V_2^0(x, y) \div 2^{N-j} + \Delta(\delta x + \delta y) \quad (4)$$

for $j = 1, 2, \dots, N$

단계 4 : 계층을 증가시키면서 최적의 움직임 벡터를 이용하여 움직임 보상된 예측 영상 ($\hat{v}_{i,j}^0$)과 차영상 ($\hat{v}_{i,j}^1$)을 형성한다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 알고리즘의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 본 실험에서 사용된 실험 영상으로 720×480 화소 크기의 FOOTBALL 및 SUSIE 영상 각각 50 프레임과 TABLE TENNIS 영상 40 프레임을 사용하였다. FOOTBALL 영상과 TABLE TENNIS 영상은 정지 영상, 느리고 빠른 장면 전환, 카메라 줌 (zoom)과 패닝 (panning), 그리고 상대적으로 서로 다른 크기의 조합으로 이루어진 영상들이다. 반면에 SUSIE 영

상은 느린 움직임과 작은 공간 정보로 이루어졌다.

웨이블릿 변환과 합성에는 좋은 성능을 나타내다고 알려진 Daubechies의 8-tap 필터를 사용하였다. 소-밀 방법에 있어서의 탐색영역은 -2~+2 화소로 하며, 밀-소 방법에 있어서는 최고해상도 영역에서의 탐색영역으로 -8~+8 화소로, 그리고 나머지 계층에서는 -2~+2 화소로 하였다. 블록 정합의 척도로는 MSE를, 알고리즘 성능 평가의 척도로는 PSNR (peak signal-to-noise ratio)

$$PSNR = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{MSE} \right) \quad (5)$$

을 사용하였다.

표 1에서 보면, 선택적 보간에 의한 HPAME의 예측율이 전체 보간에 의한 HPAME의 95%인데 반해 계산량은 38%정도 줄일 수 있음을 알 수 있다. 그리고 표 2에서는 이전부터 쓰이고 있는 Zhang의 소-밀 MRME와 제안된 알고리즘의 MRME간 계산량 비교를 하였다. 계산량은 최고해상도 대역에서의 블록당 정합수로 하였다. 여기서 제안된 알고리즘은 소량의 계산량 증가가 있지만, 정확한 움직임 추정에 의한 PSNR의 향상을 볼 수 있다.

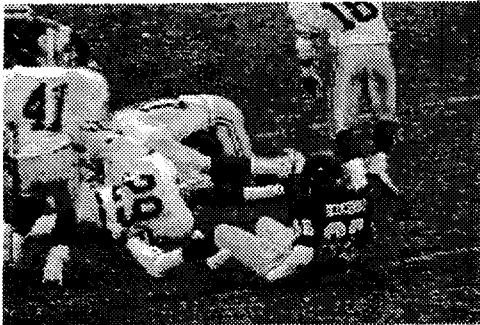
그림 6과 7에서 볼 수 있듯이, 제안한 방법이 모든 영역에서 보간하는 기존의 방법과 별 차이 없이 최고 해상도 영역 내에서의 움직임을 잘 추정하고 있음을 알 수 있다.

표 1. 예측율과 계산량

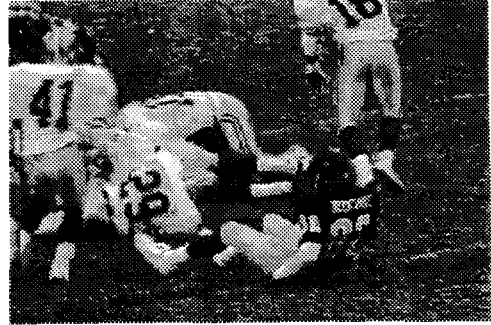
	Prediction rate(%)			Computational complexity(%)
	Fb	Tt	Ss	
Conventional HPAME[7]	100	100	100	100
Proposed HPAME	94.7	95.1	95.0	62.5

표 2. PSNR과 계산량

	PSNR(dB)			Matching point/block(1 level)
	Fb	Tt	Ss	
Conventional HPAME[2]	23.69	25.56	33.55	25
Proposed HPAME	24.83	26.34	34.27	27

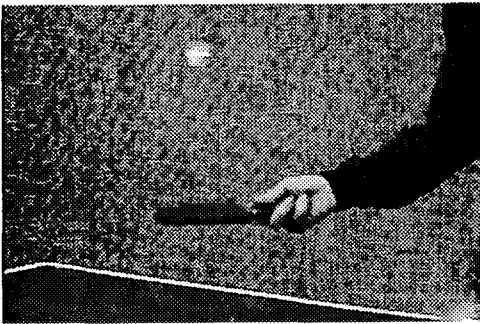


(a)

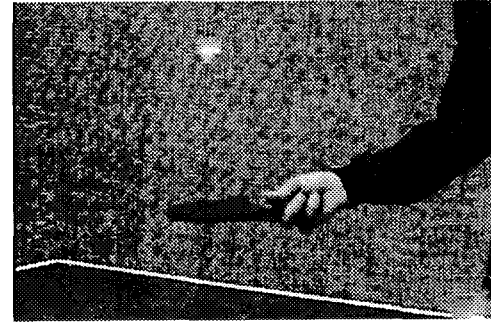


(b)

그림 6. (a) MRME (b) 제안한 MRME 방법에 의해 움직임 보상된 후의 FOOTBALL 영상



(a)



(b)

그림 7. (a) MRME 방법과 (b) 제안한 MRME 방법에 의해 움직임 보상된 후의 TABLE TENNIS 영상

5. 결 론

본 논문에서는 웨이블릿 변환된 영상에서 기저대역의 움직임 벡터의 특징과 HPAME를 이용한 효율적인 MRME 알고리즘을 제안하였다.

그러나 이 방법은 계산량의 증가를 가져온다. 그래서 우리는 오차를 최소화하는 방향을 예측하기 위한 선택적인 보간을 함으로써, 계산량을 줄였다. 게다가 기존의 MRME에서는 저해상도 대역에서 고해상도 대역으로의 움직임 추정이므로 저해상도 계층 영역의 블록의 크기가 적기 때문에 에일리어싱 문제나 에러가 누적되는 단점이 있다. 따라서 이를 해결하기 위하여 에지 성분이 많은 고해상도 계층에서 저해상도 계층으로 선별적인 움직임을 추정하여 더 향상된 PSNR을 얻을 수 있었다. 모의 실험 결과 기존의 움직임 추정보다 약간의 계산량 증가로 더 좋은 화질을 얻을 수 있음을 확인하였다.

참 고 문 헌

- [1] M. Ghanbari: *Video coding*, The Institution of Electrical Engineers, pp. 218-239, 1999.
- [2] Y. Q. 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, Mar., 1992.
- [3] B. Girod, "Motion-compensating prediction with fractional-pel accuracy," *IEEE Trans. On Comm.*, vol. 41, no. 4, pp. 604-612, Apr., 1993.
- [4] M. K. Mandal, E. Chan, X. Wang, and S. Panchanathan, "Multiresolution motion estimation techniques for video compression," *Optical Engineering*, vol. 35, no. 1, pp.

128-136, Jan., 1996.

- [5] K. Jayashree and Desai U., "New multiresolution motion estimation and compensation scheme," *Proc. IEEE ISCS'99*, pp. 459-462, 1999.
- [6] K. M. Uz, M. Vetterli, and D. J. Legall, "Interpolative multiresolution coding of advanced television with compatible subchannels," *IEEE Trans, on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 1, no. 1, Mar., 1991.
- [7] G. J. Conklin and S. S. Hemami, "Multi-resolution motion estimation," *Proc. of ICASSP*, pp. 2873-2876, 1997.
- [8] K. H. Lee, J. H. Choi, B. K. Lee, and D. G. Kim, "Fast Two-step Half-pixel Accuracy Motion Vector Prediction," *IEE Electronics Letters*, vol. 36, no. 7, pp. 625-627, Mar., 2000.



이 경 환

1969년 11월 16일생
 1994년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업 (공학사)
 1996년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2000년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)

2001년 3월~현재 위덕대학교 멀티미디어공학과 재직 (전임강사)
 관심분야 : 영상 및 음향 부호화, 신호처리



정 영 훈

2000년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
 2002년 2월 경북대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
 2002년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 대학원 박사

과정
 관심 분야 : 디지털 영상신호처리 및 압축, Digital TV



황 희 철

1999년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업(학사)
 2001년 2월 경북대학교 전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
 2001년 3월~현재 경북대학교 전자공학과 대학원 박사

과정
 관심 분야 : 디지털 영상신호처리 및 압축, Digital TV

교신저자

이 경 환 (780-713) 경북 경주시 강동면 산 50번지 위덕대학교 멀티미디어공학과