

적응적 탐색영역을 이용한 다중해상도 움직임 추정 방법

정회원 최 정 현*, 이 경 환*, 이 법 기*, 정 원 식*, 정 태 연*, 김 덕 규*

Multi-resolution Motion Estimation Algorithm Using Adaptive Search Region

Jung-Hyun Choi*, Kyeong-Hwan Lee*, Bub-Ki Lee*, Won-Sik Cheong*,
Tae-Yeon Jung*, and Duk-Gyoo Kim* *Regular Members*

요 약

본 논문에서는 적응적 탐색영역을 이용한 다중해상도 움직임 추정 방법을 제안하였다. 연속 프레임간의 시간적 중복성을 이용하여 잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면을 구성하고, 이를 기반으로 움직임을 추정하였다. 대역들간의 에너지 분포와 계산량을 고려하여, 계층이 높아질수록 잠재적 움직임 영역을 작게 하였다. 모의 실험 결과 EMRME 방법[7]과 비교했을 때, 움직임이 큰 영상에 대해서는 비슷한 화질에서 계산량이 약 33~46%, 비트수는 약 10~18% 감소하였으며, 움직임이 작은 영상에 대해서도 비슷한 화질과 비트수에서 계산량이 약 37~65% 감소하였다.

ABSTRACT

We propose a multi-resolution motion estimation algorithm using adaptive search region. It is constructed in wavelet domain that a binary plane which represents the potential motion areas(PMA's) based on the temporal redundancy between video frames, and motion estimation is processed in the PMA's. We reduce the PMA's gradually as the resolution level is higher, considering the distribution of the energy in subband layers and the complexity. As compared with EMRME(enhanced multi-resolution motion estimation) method[7], simulation results show that computational amount and bit rate reduced to about 33~46 % and 10~18% respectively in active image with similar PSNR, and computational amount reduced to about 37~65 % in small motion image with similar PSNR and bit rate.

I. 서 론

동영상은 공간 상관성과 시간 상관성을 동시에 가지며, 시간 상관성이 훨씬 크기 때문에 프레임간 부호화(interframe coding)로써 많은 양의 데이터를 압축할 수 있다. 프레임간 부호화 방법은 시간 상관성을 이용하여 연속 프레임간의 움직임을 추정하는 움직임 추정 과정과 추정된 움직임 정보를 이용한 움직임 보상, 그리고 움직임 보상된 프레임과 현재

프레임간의 차를 부호화하는 움직임 보상된 차영상 부호화등의 세부분으로 구성된다. 동영상 부호화에서 움직임 추정 방법으로는 일반적으로 블록 정합 알고리즘(block matching algorithm; BMA)을 사용한다^[1-3]. BMA는 알고리즘이 간단하여 하드웨어 구현이 용이하나, 대상 영상의 움직임에 대하여 적절한 탐색 영역과 블록의 크기를 결정하기 어렵고, 일정한 크기의 블록으로 나누어 움직임을 추정하기

* 경북대학교 전자전기공학부(jhchoi@palgong.kyungpook.ac.kr)
논문번호 : 99035-0128, 접수일자 : 1999년 1월 28일

때문에 구획화 현상(blocking effect)이 발생하는 단점이 있다. 이러한 단점들을 제거하기 위하여 웨이브릿 변환(wavelet transform)을 이용하여 입력 영상을 다중해상도(multi-resolution)로 분할한 후, 분할된 영상에 대하여 계층적으로 움직임을 추정하는 방법들이 연구되고 있다^{4,7)}.

웨이브릿 변환을 이용한 움직임 추정 방법들 중, Zhang 등이 제안한 MRME(multi-resolution motion estimation) 방법⁴⁾에서는 기준 및 현재 프레임의 웨이브릿 변환하고 각 대역(subband)들 간의 움직임의 상관성을 이용하여, 기저 대역(base band)의 움직임 벡터로써 고해상도 계층의 움직임을 예측하였다. 또한 대역들 간의 에너지 집중도를 고려해서 움직임 추정 블록의 크기를 해상도에 비례하여 가변하면서 BMA를 행하였다. 따라서, 블록간에 고른 움직임 벡터가 구해져서 기존 방법들에 비해 블록화 현상을 많이 줄였으며 계산량과 비트수도 감소시켰다.

연속 프레임들 간의 시간적 중복성을 이용하여, 효율적으로 움직임을 추정하여 움직임 탐색 계산량을 감소시키는 EMRME(enhanced MRME) 방법⁷⁾이 Wei 등에 의해서 제안되었다. 이 방법에서는 현재 프레임과 기준 프레임의 웨이브릿 변환 영역에서, 동일한 위치 블록간의 평균 절대 오차(mean absolute difference; MAD)값에 따라 잠재적 움직임 영역(potential motion areas; PMA's)을 나타내는 이진평면(binary plane)을 만들고, 잠재적 움직임 영역에 대해서만 움직임 탐색을 행한다. 기저 대역에서 잠재적 움직임 영역으로 판단된 영역들에 대해서는 고해상도 계층에서 움직임 탐색을 행하고, 기저 대역에서 잠재적 움직임 영역이 아닌 것으로 판단된 영역들에 대해서는 고해상도 계층에서 다시 잠재적 움직임 영역 여부를 판단하여 움직임 탐색을 행하였다. 그러므로 많은 에너지를 포함하고 있는 저해상도 계층보다는 에너지가 훨씬 작은 고해상도 계층에 상대적으로 넓은 잠재적 움직임 영역이 분포하여, 인간의 시각 특성 및 에너지 분포 특성과는 상반된 형태로 이진 평면이 구성되어서 움직임 추정 계산량과 전송 비트수 측면에서 비효율적이다.

본 논문에서는 웨이브릿 변환된 영상의 각 해상도 계층간의 에너지 분포, 인간의 시각 특성 및 계산량 등을 고려하여, 해상도에 따라서 적응적으로 탐색 영역을 정하여 움직임 벡터를 추정하는 방법을 제안하였다. 인간의 시각 특성상 중요한 정보를 포함하고 에너지가 집중적으로 분포하는 저해상도

계층에 대해서, 잠재적 움직임 영역 여부를 판단하는 문턱값(threshold)을 낮게 설정하여 넓은 잠재적 움직임 영역을 결정한 후, 이를 나타내는 이진 평면을 고해상도 계층으로 전이한다. 고해상도 계층에서는 잠재적 움직임 영역으로 결정된 영역에 대해서 잠재적 움직임 영역 여부를 다시 검사하여 해상도가 높아질수록 잠재적 움직임 영역이 좁아지는 이진 평면을 구성한다. 이 방법에서는, 원 영상의 거의 대부분의 에너지를 포함하고 있는 기저 대역에서는 넓은 영역에 대해 움직임을 탐색하고, 움직임 탐색 블록의 크기가 커져 움직임 탐색 계산량이 크고 적은 에너지를 가지는 고해상도 계층에서는 좁은 영역에 대해 움직임 탐색을 행함으로써, 각 대역의 잠재적 움직임 영역을 에너지와 인간의 시각 특성에 맞게 효율적으로 분포시켰다.

제안한 방법의 성능 평가를 위한 모의 실험 결과, EMRME 방법⁷⁾과 비교했을 때, 움직임이 큰 영상에 대해서는 비슷한 화질을 유지하면서 계산량은 약 33~46% 감소하였고, 비트수는 약 10~18% 감소하였으며, 화상 전화와 같이 움직임이 작은 영상에 대해서도 비슷한 화질과 비트수에서 약 37~65%의 계산량이 감소하였다.

II. 웨이브릿 변환 영역에서의 기존의 움직임 추정방법

1. 웨이브릿 변환

웨이브릿 변환은 주파수 영역에서 국부적이고 공간 영역에서 많은 지면을 갖는 저주파 성분에 대해서는 긴 기저 함수를 사용하여 공간 해상도(time resolution)를 줄이는 대신 주파수 해상도(frequency resolution)를 좋게 하고, 공간 영역에서 국부적이고 주파수 영역에서 넓은 대역을 갖는 고주파 성분에 대해서는 짧은 기저함수를 사용하여 주파수 해상도를 줄이는 대신 공간 해상도를 좋게 하는 장점이 있다⁸⁾⁹⁾.

웨이브릿 변환된 영상은 서로 다른 해상도와 주파수 대역을 가지는 여러 개의 부대역(subband)들로 분해된다. 이때 해상도가 동일한 부대역들은 같은 계층으로 취급되며, 이러한 계층들은 여러 개의 층으로 이루어진 피라미드를 형성한다. 3개의 계층으로 분해된 피라미드 구조는 그림 1에서와 같다. 그림에서 기저 대역 S_0 은 크기는 작지만 전체 영상의 대부분의 에너지를 포함한다.

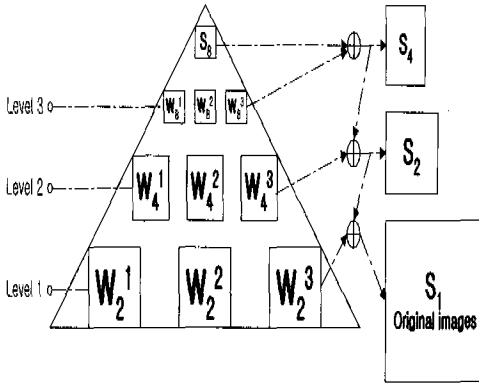


그림 1. 웨이브릿 변환에 따른 피라미드 구조

2. MRME(multi-resolution motion estimation) 방법⁽⁴⁾

MRME 방법에서는 기저 대역에서 추정된 움직임 벡터를 나머지 고해상도 계층의 부대역들의 초기 움직임 벡터로 이용하여 움직임을 추정한다. 먼저 영상을 웨이브릿 변환하여 M 계층의 다중해상도 영상들로 분해한다. 그 결과, M 해상도 계층에서는 네 개의 부대역 영상들이 존재하고, $(M-1)$ 해상도 계층 이하에서는 각각 다른 방향성분을 갖는 세 개의 부대역 영상들이 존재하게 된다. 그림 2에서와 같이, M 해상도 계층의 부대역 영상들을 일정한 $p \times p$ 화소 크기의 단위블록(unit block)으로 분할하고, M 해상도 계층의 기저대역 영상 S_8 에 대하여 BMA로 움직임을 추정한다. 이렇게 추정된 움직임 벡터는 같은 계층의 고주파 부대역 영상 W_i^j ($i=1,2,3$)으로 전이되고, 하위 계층으로도 전이된다. 기저 대역과 같은 계층의 고주파 부대역 영상들은 기저 대역에서 추정된 움직임 벡터 주위에서 미소 움직임 변위 $\Delta(\delta x, \delta y)$ 를 추정한다. 각 계층간의 에너지 분포를 고려하여 고해상도 계층으로 갈수록 움직임 추정 블록의 크기도 각각 2배씩 증가시킨다. 부대역 영상이 속한 계층을 m , 영상의 분해된 계층 수를 M , 최상위 계층에서의 블록크기를 F 라 할 때, 움직임 추정 블록의 크기는 $p \cdot 2^{(M-m)}$ 이 된다. 따라서 각 부대역 영상의 움직임 블록의 개수는 해상도에 무관하게 동일하며, 고해상도 계층의 움직임 벡터는 기저 대역 영상 S_8 의 움직임 벡터를 2배씩 스케일 한 후 기본 벡터로 사용하여 그 벡터의 움직임 공간 근처에서 미소 움직임 변위를 추정하게 된다.

m 계층의 부대역 영상 W_i^j 에서 중심점 (x, y) 블

록의 움직임 벡터 $V_{i,j}(x, y)^{(m)}$ 는

$$V_{i,j}(x, y)^{(m)} = V_{0,8}(x, y) \cdot 2^{(M-m)} + \Delta(\delta x, \delta y),$$

(1)

for $i=1, 2, 3; j=2, 4, 8$

로 표현된다. 여기서, $\Delta(\delta x, \delta y)$ 는 움직임 벡터의 미소 변화 성분이며,

$$\Delta(\delta x, \delta y) = \arg \text{Min} \left[\frac{1}{XY} \sum_{p=-\frac{X}{2}}^{\frac{X}{2}} \sum_{q=-\frac{Y}{2}}^{\frac{Y}{2}} |I_k(x_1 + p, y_1 + q) - I_{k-1}(x_1 + p + x + \delta x, y_1 + q + y + \delta y)| \right]$$

(2)

와 같다. 여기서, $I_k(x_1, y_1)$ 는 k 번째 프레임에서 (x_1, y_1) 점의 휘도를 나타낸다. 이 과정은 그림 2에서와 같이 최하위 계층까지 반복 수행한다.

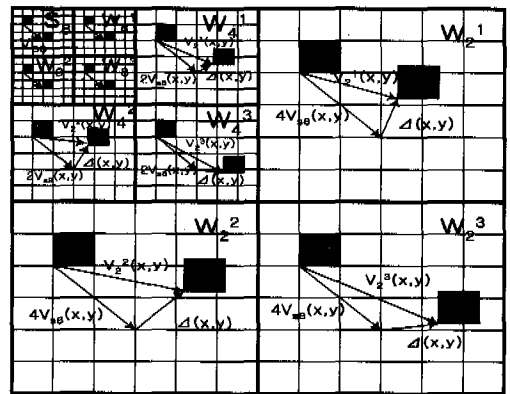


그림 2. 가변 블록 다중해상도 움직임 추정

MRME 방법은 BMA에 비해 탐색시간이 적게 소모 되며, 저해상도 계층에서는 전역 움직임을, 고해상도 계층에서는 국부 움직임을 추정하여 부드러운 움직임 벡터장을 만들어 내는 장점이 있다. 그러나 모든 부대역 영상들에서 움직임 벡터를 구하고 이를 수신측에 전송해야 하므로 여전히 많은 계산량과 비트수가 필요하고, 기저대역에서 초기 움직임 추정이 잘못된 경우, 하위 계층에서의 작은 움직임 탐색 영역에 대한 미소 움직임 벡터 변화 성분이 초기 움직임 추정 오차를 보상하지 못하여, 움직임 추정 오차가 상위 계층에서 하위 계층으로 파급되는 문제점을 갖는다.

3. EMRME (enhanced MRME) 방법⁽⁷⁾

동영상 부호화에서, 두 개의 연속적인 프레임은

매우 유사하여 많은 영역이 서로 일치하므로 움직임이 있는지를 판단한 후, 움직임이 있는 영역에 대해서만 움직임을 탐색하면 계산량을 감소시킬 수 있다.

EMRME 방법에서는, 기존 MRME 방법^[4]의 웨이브릿 변환 단계와 계층적 움직임 추정 단계 사이에 잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면 구성 과정이 추가로 삽입된다. 현재 프레임과 이전 프레임의 동일한 위치 블록간의 MAD 값에 따라 잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면 M_j^i ($i=1,2,3; j=2,4,8$)을 만들고, 잠재적 움직임 영역으로 판단된 영역에 대해서만 움직임 탐색을 행한다. 먼저 기저 대역에서 현재 프레임의 $S_{c,8}$ 부대역 영상과 기준 프레임의 $S_{r,8}$ 부대역 영상의 MAD 값을 구하고 문턱값 (TH_{EMRME})을 비교하여 기저 대역의 이진 평면 $M_8(x, y)$ 를 구성한다.

$$MAD_8(x, y) = \frac{1}{P^2} \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^P |S_{c,8}(x+i, y+j) - S_{r,8}(x+i, y+j)|$$

if $MAD_8(x, y) > TH_{EMRME}$,

then $M_8(x, y) = 1$

else $M_8(x, y) = 0$

여기에서, $M_8(x, y)$ 값이 '1'일 때 잠재적 움직임 영역을 나타내며, $MAD_8(x, y)$ 는 기저 대역의 (x, y) 위치에서의 기준 프레임 블록과 현재 프레임 블록간의 MAD 값이고, TH_{EMRME} 은 잠재적 움직임 영역을 판단하는 문턱값이며, F 는 블록의 크기이다.

기저대역을 제외한 고해상도 계층의 이진 평면 $M_j^i(x, y)$ 는 기저대역에서의 이진 평면 $M_8(x, y)$ 를 전이하여 사용한다. 그러나 실제 움직임은 있지만 움직인 물체의 크기가 작거나, 움직임의 크기가 작을 때는 기저 대역에서 움직임이 없다고 판단될 수 있다. 고해상도 계층에 대한 이진 평면은 기저 대역의 이진 평면을 전이하여 사용하므로 기저 대역에서 잠재적 움직임 영역으로 판단되지 않으면 관련된 모든 고해상도 계층의 블록에서는 움직임 탐색을 행하지 않게 된다. 그러므로 고해상도 계층의 이진 평면에서 잠재적 움직임 영역이 아닌 영역들에 대하여 움직임 여부를 다시 검사한다. 즉 고해상도 계층의 이진 평면이 '0'인 경우에는 현재 프레임과 기준 프레임의 고해상도 계층의 동일 위치 블록간에 MAD 값을 비교하여 고해상도 계층의 이진 평면을 재구성한다. 이를 식으로 나타내면

$$MAD_j^i(x, y) = \frac{1}{P^2} \sum_{m=1}^P \sum_{n=1}^P |W_{c_j}^i(x+m, y+n) - W_{r_j}^i(x+m, y+n)|$$

if $MAD_j^i(x, y) > TH_{EMRME}$,

then $M_j^i(x, y) = 1$

for $i=1,2,3; j=2,4,8$

와 같다. 여기서 $M_j^i(x, y)$ 는 고해상도 계층의 이진 평면이고, $W_j^i(x, y)$ 는 (x, y) 위치에서의 고해상도 계층의 블록이다. 식 (4)에서와 같이 MAD 값이 문턱값보다 크면 $M_j^i(x, y)$ 를 '1'로 바꾸고, 이때 $M_j^i(x, y)$ 가 최고 해상도 계층이 아니라면 같은 방향성을 갖는 상위 해상도 계층의 이진 평면도 '1'로 바뀌어 진다. 그러므로 고해상도 계층으로 갈수록 잠재적 움직임 영역이 넓게 분포하게 된다.

이 방법은 두개의 연속 프레임간의 시간적 상관성을 이용하여 움직임이 있다고 판단되는 잠재적 움직임 영역에 대해서만 움직임 추정을 함으로써 MRME 방법^[4]에 비하여 계산량과 비트수는 감소시킬수 있었다. 그러나 많은 에너지를 가지는 저해상도 영역에 비해서, 상대적으로 에너지가 적고 탐색 계산량이 많은 고해상도 영역에서 넓은 잠재적 움직임 영역이 분포되어서 비효율적이다.

III. 적응적 탐색영역을 이용한 다중 해상도 움직임 추정 방법

동영상 부호화에서는 움직임 벡터를 정확하고 신속하게 찾는 것이 가장 중요하다. BMA 알고리즘은 간단하여 하드웨어 구현이 용이하나, 적절한 탐색 영역을 결정하기 어렵고, 구획화 현상(blocking effect)이 발생하며, 계산량이 많은 단점이 있다^[1-3]. 웨이브릿 변환을 이용하여 입력영상을 다중해상도로 분할한 후, 분할된 영상에 대하여 계층적으로 움직임을 추정하면, 인접 블록들간에 고른 움직임 벡터를 구하여 구획화 현상을 줄일수 있고 계산량과 전송 비트수를 감소시킬 수 있다. 또한 웨이브릿 변환 영역에서, 저주파 성분을 나타내는 기저 대역에는 원 영상의 가장 중요한 정보와 대부분의 에너지를 포함하고 있으며, 고해상도 계층으로 갈수록 에너지는 급격히 감소한다^[4-6]. 그러므로 각 대역들간의 인접 시간 시각 특성 및 에너지 분포를 고려하여, 저해상도 계층에서는 움직임 탐색 영역을 넓게 하고 고해상도 계층에서는 움직임 탐색 영역을 좁게 하면 효율

적으로 움직임 벡터를 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} & \text{if } MAD_8(x, y) > TH_{PROPOSED}, \\ & \quad \text{then } M_8(x, y) = 1 \\ & \text{else } M_8(x, y) = 0 \end{aligned} \tag{5}$$

where, $TH_{EMRME} > TH_{PROPOSED}$

제안한 움직임 추정 방법에서는, 먼저 기준 프레임과 현재 프레임을 그림 2과 같이 웨이브릿 변환한 다음, 두 영상의 기저대역 S_8 사이의 MAD를 구한다. 두 개의 연속적인 프레임은 매우 유사하여 많은 영역이 서로 일치하므로, 모든 영역에 대하여 움직임을 탐색할 필요 없이 MAD로써 움직임 여부를 판단한 후, 움직임이 있는 영역에 대해서만 움직임을 탐색한다. MAD가 문턱값 ($TH_{PROPOSED}$)보다 클 경우는 움직임이 있는 블록으로 판단하여 잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면 M 의 요소값을 '1'로, MAD가 문턱값 ($TH_{PROPOSED}$)보다 작을 경우는 움직임이 없는 블록으로 판단하여 잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면 M 의 요소값을 '0'으로 둔다.

잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면의 구성은 움직임 탐색 시간과 영상의 화질 측면에서 매우 중요한 역할을 한다. 잠재적 움직임 영역을 넓혀서 많은 영역에 대해 움직임 탐색을 행하면 화질은 향상되나 움직임 탐색 계산량이 증가하고, 잠재적 움직임 영역을 좁히면 계산량의 감소로 움직임 탐색 시간은 감소하나 화질의 저하를 가져온다. 또한 다중 해상도에서의 움직임 추정 방법에서 움직임 탐색 블록의 크기가 고해상도 계층으로 갈수록 가로, 세로 각각 2배씩 커지므로 움직임 탐색 블록의 크기가 4배 커지게 되어 움직임 탐색 계산량 또한 4배 증가하게 된다. 그러므로 각 부대역 영상에 동일한 수의 잠재적 움직임 블록이 있다면 고해상도 계층으로 갈수록 4배씩의 계산량이 증가하게 된다. EMRME 방법에서는, 해상도가 높아질수록 잠재적 움직임 영역이 넓어져서, 전체 움직임 탐색 시간의 대부분을 작은 에너지를 가지는 고해상도 계층의 움직임 탐색에 소비하게 된다.

$$\begin{aligned} & \text{if } M_j^i(x, y) = 1, \\ & \text{then } MAD_j^i(x, y) = \frac{1}{P^2} \sum_{m=1}^P \sum_{n=1}^P |W_m(x+m, y+n) \\ & \quad - W_m^r(x+m, y+n)| \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \text{if } MAD_j^i(x, y) < TH_{PROPOSED}, \text{ then } M_j^i(x, y) = 0 \\ & \text{for } i = 1, 2, 3; j = 2, 4, 8 \end{aligned} \tag{6}$$

많은 에너지를 가지는 기저 대역에서는, 식 (5)와 같이 잠재적 움직임 영역 여부를 결정하는 MAD의 문턱값 $TH_{PROPOSED}$ 를 EMRME 방법^[7]의 문턱값 TH_{EMRME} 보다 낮추어서, 상대적으로 넓은 잠재적 움직임 영역의 이진 평면을 결정한다. 고해상도 계층의 이진 평면 $M_j^i(x, y)$ 는 기저대역에서의 이진 평면 $M_8(x, y)$ 를 전이하어 사용한다. 그리고 해상도가 높아 질수록 잠재적 움직임 영역이 좁아지게 하기 위해서, 식 (6)에서와 같이 기저대역에서 잠재적 움직임 영역으로 결정된 고해상도 계층 영역들 ($M_j^i(x, y) = 1$ 인 영역)에 대해서만, 현재 프레임과 기준 프레임의 $W_j^i(x, y)$ 에서의 MAD 값이 문턱값보다 작으면 $M_j^i(x, y)$ 를 '0'으로 이진 평면을 재구성한다. 모든 부영상에 대한 잠재적 움직임 영역을 나타내는 이진 평면이 구성되면, 이진 평면이 '1'인 영역에 대해서만 BMA를 이용하여 움직임을 추정한다.

제안한 방법과 EMRME 방법의 고해상도 영상에서의 움직임 추정 방법을 비교해 보면 다음과 같다. EMRME 방법에서는, 저해상도 영상에서의 잠재적 움직임 영역에 대해서는 고해상도 영상에서 움직임을 추정하고, 저해상도 영상에서의 잠재적 움직임 영역이 아닌 영역에 대해서는 고해상도 영상에서 다시 잠재적 움직임 여부를 판단하여 움직임을 추정한다. 따라서 고해상도로 진행할수록, 잠재적 움직임 영역이 증가하며 따라서 움직임을 행하는 영역이 점점 더 넓어진다. 제안한 방법에서는, 저해상도 영상에서의 잠재적 움직임 영역에 대해서 고해상도 영상에서 다시 잠재적 움직임 여부를 판단하여 움직임을 추정한다. 따라서 각 대역의 잠재적 움직임 영역이 에너지와 인간의 시각 특성에 맞게 효율적으로 분포되어서, 저해상도에서 고해상도로 진행할수록, 잠재적 움직임 영역이 감소하며 움직임 추정 영역이 점점 좁아지므로 계산량과 비트율이 EMRME 방법보다 적다.

IV. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서 제안한 움직임 추정 기법의 성능을 평가하기 위하여 컴퓨터 모의실험을 행하였다. 실험

영상으로 352×288 화소 크기의 Claire 영상 26 프레임과 Salesman 영상 50 프레임 그리고 720×480 화소 크기의 Football 영상 40 프레임을 사용하였다. 웨이브릿 변환과 합성에는 Daubechies의 8-tap 필터^[9]를 사용하여 영상을 3 계층으로 분할하였다. 기저 대역에서의 움직임 탐색 블록의 크기를 2×2 화소로 하고 탐색 영역은 -2~1 화소로 하며 정합의 척도로는 MAD를 사용하였다. 성능 평가의 척도로는 움직임 탐색 계산량, 움직임 벡터의 전송 비트수 및 움직임 보상 영상의 PSNR을 사용하였다.

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{\sigma_e^2} \quad [dB] \quad (8)$$

여기서 σ_e^2 은 원 영상과 움직임 보상된 영상의 평균 자승 오차이다.

Football 한 프레임에 대한 잠재적 움직임 영역의 분포와 성능 비교를 표 I에 나타내었다.

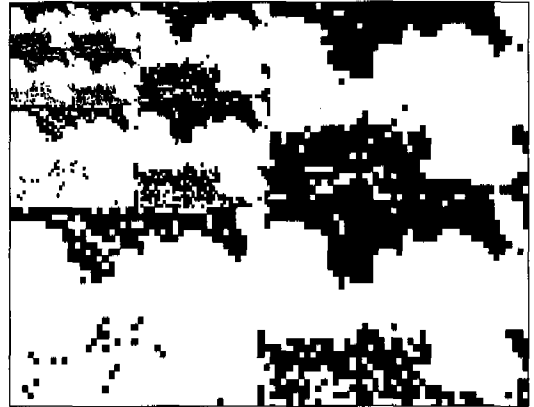
표 I. EMRME 방법^[7]과 제안한 방법의 잠재적 움직임 영역과 성능 비교

Subband	S_8	W_8	W_4	W_2	W_1
No. of PMA's	770	780	1054	882	803
Subband	W_4	W_2	W_1	W_1	W_1
No. of PMA's	1143	883	803	1148	883
Total no. of PMA's	9171				
Cost	990562				
Bit rate [bpp]	0.145				
PSNR [dB]	23.218				
Subband	S_8	W_8	W_4	W_2	W_1
No. of PMA's	1092	825	1063	969	766
Subband	W_4	W_2	W_1	W_1	W_1
No. of PMA's	1041	694	138	1041	175
Total no. of PMA's	7804				
Cost	640018				
Bit rate [bpp]	0.129				
PSNR [dB]	23.220				

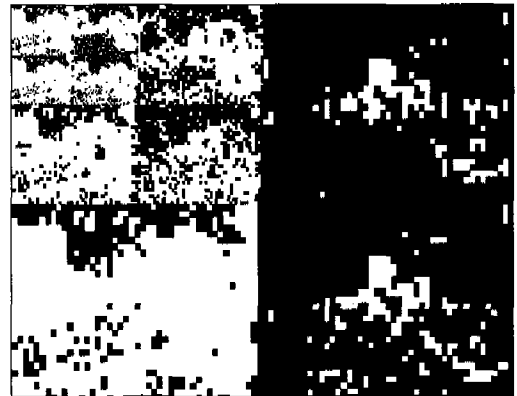
표 I에서 제안한 방법은 EMRME 방법^[7]에 비해 $S_8 \sim W_8$ 영역에서 더 넓은 잠재적 움직임 영역을 가지고, W_4 이후의 영역에서는 더 좁은 잠재적 움직임 영역을 가짐을 확인할 수 있다. 또한 전체

잠재적 움직임 영역 블록의 수가 감소하였으나 거의 동일한 PSNR 성능을 가지며 35.4%의 계산량의 감소와 10.9%의 비트수가 감소함을 알 수 있다. 여기에서 계산량은 2×2 화소 크기 블록의 블록 정합 MAD 계산량을 1로 두었을 때의 전체 움직임 탐색 계산량이다.

EMRME 방법^[7]과 제안한 방법의 잠재적 움직임 영역의 예를 그림 3에 나타내었다.



(a)



(b)

그림 3. 잠재적 움직임을 나타내는 이진 평면 (흰 부분이 잠재적 움직임 영역) (a)EMRME 방법^[7] (TH=10) 및 (b)제안한 방법(TH=4)

그림 3에서와 같이, EMRME 방법에서는 각 부 영상에서 잠재적 움직임 영역이 고해상도로 갈수록 넓어지며, 제안한 방법에서는 잠재적 움직임 영역이 고해상도로 갈수록 좁아진다. 두 방법의 계산량을 비교하면, EMRME 방법에서는 상대적으로 저해상도에서는 BMA를 행하는 블록의 수가 적고 고해상도로 갈수록 BMA를 행하는 블록의 수가 많아지며,

제안한 방법에서는 저해상도에서는 BMA를 행하는 블록의 수가 많고 고해상도로 갈수록 BMA를 행하는 블록의 수가 작다. BMA를 수행할 때의 기본 블록 크기가 고해상도로 갈수록 가로 세로 각각 2배씩 증가하므로 제안한 방법의 계산량이 EMRME 방법보다 작다.

표 II에서는 전체 프레임에 대하여 제안한 방법의 문턱치를 변화하면서 기존의 방법과 성능을 비교하였다. Football 영상에서 제안한 방법의 문턱치가 4일 때 PSNR은 동일하고 계산량은 33.4%, 비트수는 9.3% 감소하였다. 제안한 방법의 문턱치를 낮추면 계산량은 감소하고 비트수는 약간 증가하나 PSNR은 향상되고, 문턱치를 높이면 계산량과 비트수는 더 감소하나 PSNR이 약간 감소된다. Claire 및 Salesman 영상에 대하여도 비슷한 결과를 나타낼 수 있으며 이들 영상에서는 배경이 단순하고 움직임이 작기 때문에 문턱값을 약간 낮추어서 실험하였다. 문턱값을 변화함에 따라 거의 비슷한 화질을 유지하면서 Football 영상에서는 약 11.3~38.3%의 계산량이 감소하였고, 움직임이 작은 Claire 및 Salesman 영상에서는 약 36.6~65.3%의 계산량이 감소하였다.

표 II. EMRME 방법[7]과 제안한 방법의 비트율, 계산량, 및 PSNR 비교: (a)Football; (b)Claire; (c)Salesman.

(a)

Method \ Perform.	TH	Reduction of cost [%]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]
	10	100	0.147	23.241
	3	88.7	0.152	23.248
	4	66.6	0.133	23.241
	5	53.8	0.120	23.229

(b)

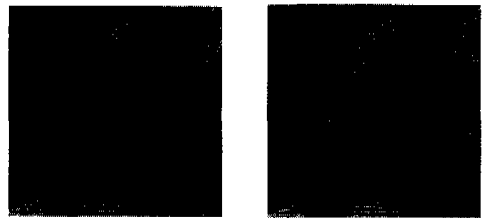
Method \ Perform.	TH	Reduction of cost [%]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]
	8	100	0.057	39.227
	2.0	61.2	0.061	39.228
	2.5	45.6	0.056	39.225
	3.0	34.7	0.053	39.219

(c)

Method \ Perform.	TH	Reduction of cost [%]	Bit rate [bpp]	PSNR [dB]
	8	100	0.068	34.914
	2.0	63.4	0.070	34.916
	2.5	48.7	0.066	34.911
	3.0	35.3	0.061	34.907

그림 4에는 Salesman 영상에 대하여, 원영상과 제안한 방법으로 복원한 영상을 확대해서 나타내었다. Salesman 영상에서 움직임이 있는 어깨와 얼굴 부분 모두에 대하여 제안한 방법의 결과 영상의 주관적 화질이 우수함을 확인할 수 있다.

또한 제안한 방법은, 저해상도 영상에서 넓게 구한 잠재적 움직임 영역에 대해서, 고해상도 영상으로 진행하면서 조건에 만족되지 않는 부분을 잠재적 움직임 영역에서 제거시키는 방법이다. 한편 EMRME 방법은 저해상도 영상에서 잠재적 움직임 영역을 적게 구하고, 잠재적 움직임 영역이 아닌 영역에 대해서 고해상도 영상으로 진행하면서 다시 잠재적 움직임 영역 여부를 검사하여 잠재적 움직임 영역에 추가시키는 방법이다. 그러므로 제안한 방법이 EMRME 방법보다 더 규칙적인 알고리즘이라 할 수 있다.



(a)

(b)



(c)

(d)

그림 4. Salesman 영상에 대한 확대 영상: (a)원영상의 어깨부분; (b)제안한 방법으로 복원한 영상의 어깨부분; (c)원영상의 얼굴부분; (d)제안한 방법으로 복원한 영상의 얼굴부분

