

# 광류를 이용한 적응적인 블록 정합 움직임 추정 기법<sup>†</sup>

## (An Adaptive Block Matching Motion Estimation Method Using Optical Flow)

김 경 규\*, 박 경 남\*\*

(Kyoung-Kyoo Kim, Kyung-Nam Park)

**요 약** 본 논문에서는 광류를 이용한 적응 블록 정합 움직임 추정 방법을 제안하였다. 제안 방법에서는 먼저 각 화소의 시간 경사값과 공간 경사값을 미분필터를 통하여 계산한 후, 이 경사값들로부터 최소 자승 추정법을 이용하여 광류를 추정하여 탐색영역의 위치와 크기를 결정하였다. 특히 움직임 특성에 따라 탐색영역을 결정함으로써 움직임 추정 오차가 큰 영역인 크고 복잡한 움직임을 갖는 영상에 대해서 뛰어난 성능을 갖는다. 다양한 움직임 특성을 가지는 실험 영상들에 대한 기존의 방법과 제안한 방법의 움직임 추정 성능 평가를 위한 컴퓨터 모의실험을 통하여, 제안한 방법이 움직임이 크고 복잡한 영상에 대해서 기존의 방법에 비해 우수한 PSNR을 나타냄을 확인하였다.

**핵심주제어** : 광류 추정 방법, 전역탐색 블록 정합 방법, 최소 자승 광류 추정 방법

**Abstract** In this paper, we present an adaptive block matching motion estimation using optical flow. In the proposed algorithm, we calculate the temporal and spatial gradient value for each pixel value from the differential filter, and estimate the optical flow which is used to decide the location and the size of the search region from the gradient values by least square optical flow algorithm. In particular, the proposed algorithm showed an excellent performance with fast and complex motion sequences. From the computer simulation for various motion characteristic sequences, The proposed algorithm shows a significant enhancement of PSNR over previous blocking matching algorithms.

**Key Words** : Optical flow algorithm, Full search block matching algorithm, Least square optical flow algorithm

### 1. 서 론

동영상 신호는 높은 공간적 및 시간적 중복성을 가지므로, 이를 효과적으로 제거함으로써 높은 압축률을 얻을 수 있다. H.261, H.263, 및 MPEG 등

의 동영상 부호화기에서는 일반적으로 변환 부호화, 양자화, 및 가변장 부호화 과정으로 이루어진 공간 부호화기를 사용하여 프레임 내에서 인접한 화소들간의 유사성에 의해서 생기는 공간적 중복성을 제거한다[1]. 동영상 부호화기에서는 비디오 신호의 공간적 중복성뿐만 아니라 시간적인 중복성을 제거함으로써 높은 압축률을 얻을 수 있는데, 특히 움직임 추정 및 보상 과정을 통하여 인접 프레임이나 필드 사이의 높은 시간적 중복성을 제거

<sup>†</sup> 이 논문은 2008학년도 나사렛대학교 학술지원비에 의해 연구되었음.

\* SETi(주) 화상연구팀 수석연구원

\*\* 교신저자: 나사렛대학교 멀티미디어학과 조교수

함으로써 정지 영상에서 보다 훨씬 높은 압축률을 얻을 수 있다. 대표적인 움직임 추정 기법으로는, 화소 순환 방법 (pixel recursive algorithm, PRA) [2], 블록정합 방법 (block matching algorithm, BMA)[3], 그리고 광류 추정 방법 (optical flow algorithm, OFA)[4-7] 등이 있다. 화소 순환 방법은 화소 단위의 움직임 추정 방법의 하나로서, 움직임 정보 전송에 대한 부가 비트가 필요 없다는 장점을 가지지만, 수신측에서 화소 단위의 순환 방법으로 움직임을 찾아야 하기 때문에 복잡한 하드웨어와 많은 계산량이 요구되며, 움직임 보상 영상의 화질도 다른 방법들에 비해서 떨어진다. 전역 탐색 블록 정합 방법 (full search block matching algorithm, FSBMA)은 가장 대표적인 블록 정합 방법으로서, 고정된 탐색 영역 (search area) 내의 모든 탐색점들 (search points)에 대해서 블록 정합을 행하여 그 중 최소 정합 오차 (minimum matching error) 탐색점 좌표를 움직임 벡터로 구한다. 이 때, 탐색 영역 크기의 설정은 움직임 보상 영상의 화질뿐만 아니라 전체 동영상 부호화기의 성능에 큰 영향을 미치게 된다.

탐색 영역을 작게 설정하면 움직임이 크고 복잡한 영역에서의 움직임 보상 영상의 화질이 열화되며, 이를 보상하기 위해서 탐색 영역을 크게 설정하면 이에 따른 계산량의 급격한 증가가 부호화할 때 큰 부담이 된다. 또한 실제 영상의 움직임을 고려하지 않고, 단순히 블록의 정합 오차의 수식적인 최소값만을 계산하여 움직임을 추정하므로, 움직임이 크고 복잡한 영역에서는 움직임 추정 결과가 실제의 움직임과 많은 차이가 있어 인접 블록의 움직임과 상관성이 떨어진다. 이는 움직임 보상 영상에서의 블록화 현상 (blocking effect)의 원인이 된다. 그러므로 실제의 움직임에 더 가깝고 움직임의 특성에 따라 탐색 영역을 적응적으로 변화시키는 움직임 추정 방법이 필요하다.

블록 정합 방법은 블록 단위의 움직임 추정 방법으로서, 블록의 움직임을 대표하여 블록 당 한 개의 움직임 벡터 (motion vector)만을 전송하므로 데이터 압축률이 높다. 또한 이 방법은 알고리즘이 간단하며 움직임 보상 영상의 화질도 우수하기 때문에, 동영상 부호화에서 널리 사용된다. 광류 추정 방법은 화소 밝기의 시공간적인 경사의 관계로

부터 화소 단위의 움직임을 추정하는 방법으로서, 같은 화소 단위의 움직임 추정 방법인 화소 순환 방법에 비해 해석이 쉬우며 해를 구하는 과정이 간단하다. 또한 광류 추정 방법에서는 블록 정합 방법에서와는 달리 정합을 하지 않고 화소에서의 시간 경사값 및 공간 경사값을 이용하기 때문에 탐색 영역이 없어 급격한 큰 움직임이 발생하는 영역에서도 움직임 추정 결과가 우수하다. 그러나 광류 추정 방법은 잡음에 민감하며, 화소 단위로 움직임 벡터를 계산하므로 부가 정보가 증가하게 된다. 따라서 광류 추정 방법은 주로 움직임 추정 결과가 실제의 움직임에 가까워 물체 추적 및 운동 영상 해석 분야에서 많이 연구되고 있다. 광류 추정 방법은 제약 조건에 따라 크게 전역적 접근 (global approach) 방법[4]과 국부적 접근 (local approach) 방법[5-7]으로 나눌 수 있다. 전역적 접근 방법에서는 화상의 움직임이 전체 화상에 걸쳐 평탄하다는 제약 조건을 부가하여 광류를 추정한다. 그러나 이 방법에서는 광류들이 전체적으로 평탄화되어 빠른 움직임 추정에는 부적합하다. 국부적 접근 방법에서는 화상의 움직임이 인접 화소들 간에 서로 유사하다는 제약 조건을 부가하여 움직임을 추정하였다. 따라서 추정된 광류들이 평탄화되는 것을 막을 수 있어 전역적 접근 방법에 비해 좋은 성능을 나타낸다.

최소 자승 광류 추정 방법 (least square optical flow algorithm, LSOF)은 국부적 접근 방법의 하나로서, 각 화소의 시간 경사값 및 공간 경사값을 미분 필터를 통하여 계산한 후, 이 경사값들로부터 최소 자승 추정법 (least square estimation) [8,9]을 이용하여 광류를 추정한다. 또한 이 방법으로 추정된 광류들은 움직임이 작거나 일정한 영역의 경우에는 그 크기와 방향이 실제의 움직임에 가까우며, 움직임이 복잡한 영역의 경우에는 그 크기와 방향의 오차가 커지지만, 광류들 간의 분포가 일정한 특성을 갖는다. 그러나 잡음에 민감하여 저역 통과 필터 (low-pass filter) 등의 전처리 및 후처리 과정이 필요한 단점이 있다.

이 최소 자승 광류 추정 방법으로 추정된 광류들을 직접 동영상 부호화기의 움직임 벡터로 사용하면, 움직임이 작은 영상에 대해서는 정확하게 움직임 추정하여 기존의 블록 정합 방법에서와 같은

결과를 얻을 수 있다. 그러나 움직임이 크고 복잡한 영상에 대해서는 추정된 광류의 오차가 증가하여 블록 정합 방법에 비해 움직임 보상 영상의 화질이 크게 열화된다. 이 경우 광류의 오차 범위 내의 영역에 대하여 블록 정합 방법을 사용하여 움직임을 추정한다면 실제의 움직임을 찾을 수 있을 것이다. 따라서 최소 자승 광류 추정 방법을 블록 정합 방법의 탐색 영역 결정에 활용할 수 있다면, 효율적으로 적응적인 움직임 추정을 할 수 있을 것이다.

본 논문에서는 광류를 이용한 적응 블록 정합 움직임 추정 방법을 제안하였다. 제안 방법에서는 먼저 최소 자승 광류 추정 방법으로 추정된 광류들을 이용하여 탐색 영역을 결정한 후, 이 탐색 영역에 대하여 블록 정합 방법을 적용하여 움직임을 추정하였다. 제안 방법에서는 광류들을 블록 정합 방법의 탐색 영역 결정에만 사용하며, 이들로부터 직접 움직임 벡터를 결정하는 것이 아니다. 따라서, 대략적인 광류들만을 추정한 후 탐색 영역의 크기를 결정할 때 그 추정 오차를 고려한다. 또한, 제안 방법에서는 블록 단위로 광류를 추정하고, 이 광류들을 이용하여 탐색 영역을 결정한다. 블록 단위로 광류를 추정하면 현재 블록에서 블록 정합 방법으로 움직임 벡터를 추정하는 동안 다음 블록의 탐색 영역의 크기와 위치를 최소 자승 광류 추정 방법으로 결정할 수 있다.

제안한 탐색 영역 결정 방법에서는 먼저 최소 자승 광류 추정 방법을 이용하여 블록 내의 광류를 추정한다. 이 방법은 각 화소의 시간 경사값과 공간 경사값을 미분 필터를 통하여 계산한 후 이 경사값들로부터 최소 자승 추정법을 이용하여 광류를 추정한다. 또한 블록 내의 광류들로부터 탐색 영역의 위치와 크기를 결정한다. 탐색 영역의 위치는 광류들의 평균값으로 그 중심점을 결정하였다. 제안한 방법에서는 움직임 특성에 따라 탐색 영역이 결정되므로, 이 방법은 움직임 추정 오차가 큰 영역인 크고 복잡한 움직임을 갖는 영상에 대해서 뛰어난 성능을 갖는 것을 확인하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 제안한 광류를 이용한 적응 블록 정합 움직임 추정 방법에 대해서 설명하며, 3장에서는 모의 실험 결과 및 고찰, 그리고 4장에서는 결론을 맺는다.

## 2. 제안한 기법

제안 방법에서는 광류를 이용한 적응 블록 정합 움직임 추정 방법을 제안하였다. 제안 방법에서는 먼저 최소 자승 광류 추정 방법으로 추정된 광류들을 이용하여 탐색 영역을 결정한 후, 이 탐색 영역에 대하여 블록 정합 방법을 적용하여 움직임을 추정한다. 즉, 실제의 움직임과 유사한 특성을 갖는 광류들로부터 탐색 영역을 결정하고, 이 탐색 영역에 대하여 부가 정보 및 차영상 정보가 적은 특성을 갖는 BMA로 움직임 벡터를 추정하는 방법이다.

제안 방법은 다음과 같이 3 단계로 구성된다.

- 단계 1: N번째 블록에 대해 최소자승광류추정 방법을 이용하여 광류를 추정한다.
- 단계 2: 단계 1에서 추정된 광류를 이용하여 탐색 영역의 위치 및 크기를 계산한다.
- 단계 3: 단계 2에서 계산된 탐색 영역에 대해서 블록정합 방법으로 움직임 벡터를 추정한다.

여기서, 단계 1 및 단계 2인 최소 자승 광류 추정을 통한 탐색 영역의 결정과 단계 3인 블록 정합 방법을 통한 움직임 벡터의 추정이 서로 독립적으로 이루어지므로, 부호화기에서 움직임 추정에 소요되는 계산 시간의 증가가 없다. 즉, (N-1)번째 블록에서 블록 정합 방법으로 움직임 벡터를 추정하는 동안, N번째 블록의 탐색 영역의 크기와 위치를 최소 자승 광류 추정 방법으로 추정된 광류들로부터 결정할 수 있다. 또한, 제안 방법에서는 이 광류들을 이용하여 직접 움직임 벡터를 추정하는 것이 아니고 블록 정합 방법의 탐색 영역 결정에만 사용하므로, 대략적인 광류들만을 추정한 후 탐색 영역의 크기를 결정할 때 그 오차를 고려한다.

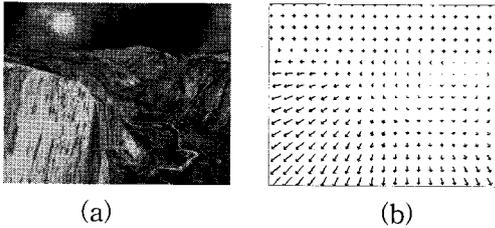
본 장에서는 먼저, 최소 자승 광류 추정 방법의 오차에 대해서 고찰한 후, 이 오차를 고려하여 제안 방법에 적용한 최소 자승 광류 추정 방법 및 제안한 탐색 영역 결정 방법에 대하여 살펴본다.

### 2.1 최소 광류 추정 방법의 오차에 대한 고찰

최소 자승 광류 추정 방법으로 광류를 추정할

경우 발생하는 오차는 최소 자승 추정시의 오차 및 경사값 계산시의 오차로 나눌 수 있다. 본 절에서는 이들 오차의 영향에 대해 모의실험을 통해 살펴본다.

모의실험에 사용된 실험 영상들은 광류 추정에 많이 사용되고 있는 합성 영상으로, 각 영상의 광류를 이미 알고 있는 영상이다. 이들 중 실제 영상과 유사하고 복잡한 영상인 YOSEMITE 영상을 그림 1에 나타내었다. YOSEMITE 영상은 전체적으로 움직임이 복잡하고, 위쪽 하늘 부분에서 구름이 이동하면서 그 모양과 밝기가 변하기 때문에 광류 추정시의 오차가 많이 발생한다.



<그림 1> YOSEMITE 영상의 (a) 10번째 프레임 및 (b) 실제 광류

실험의 척도로는 각 오차 (angular error)[10] 및 실제 광류와 추정된 광류 사이의 거리를 사용하였다. 이 때, 실험의 척도로 사용된 각 오차  $\phi$ 는

$$\phi = \cos^{-1}(\mathbf{v}_c \cdot \mathbf{v}_e) \quad (1)$$

이다. 여기서  $\mathbf{v}_c = [\mu_c \ v_c \ 1]^T$ 는 실제의 광류이고  $\mathbf{v}_e = [\mu_e \ v_e \ 1]^T$ 는 추정된 광류이다.

최소 자승 광류추정 방법에서는 최소 자승 추정 방법을 적용할 윈도우의 크기를 크게 할수록 더 정확하고 평탄한 광류들이 계산되어 광류 추정시의 오차가 감소한다. 그러나 이 평탄한 광류들로 인하여 움직임이 크고 급격한 영역에서의 추정 오차는 증가하게 된다. 즉, 윈도우의 크기를 작게 하면 불규칙적인 광류들로 인하여 전체적인 오차가 증가하게 되고, 이 윈도우의 크기를 크게 하면 이 불규칙적인 광류들은 평탄해져 전체적인 오차는 감소하나, 움직임이 크고 급격한 영역의 광류 또한 평탄해 지는 문제점이 있다. 따라서 최소 자승 추

정 방법을 적용할 적절한 윈도우의 크기 결정이 중요하다. YOSEMITE 영상에 대한 최소 자승 추정시의 윈도우의 크기에 따른 모의실험 결과를 표 1에 나타내었다. 이 표에서 최소 자승 추정 범위를 증가시키면 평균 오차가  $13.0^\circ \sim 23.5^\circ$  정도의 큰 범위를 갖지만, 실제 광류와 최소 자승 광류 추정으로 추정된 광류 사이의 평균 거리는 2~4 화소 정도로 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

이 광류들만으로 움직임 벡터를 추정할 경우에는 이 오차의 영향으로 복원 영상의 화질에 열화가 발생하게 된다. 따라서, 최소 자승 추정 범위를 증가시켜야 하며, 더 정확한 광류 추정을 위한 저역 통과 필터 등을 이용한 전처리 및 후처리 과정도 필요하다[11]. 그러나 제안 방법에서는 블록 정합 방법으로 움직임 벡터를 추정하며, 광류들은 탐색 영역 결정에만 이용하므로 이 오차의 영향이 감소한다.

<표 1> YOSEMITE 영상에 대한 최소 자승 추정 범위에 따른 각 오차 및 거리

Window size	Average angular error	Average distance
3×3	23.5°	3.8 pixels
5×5	18.7°	2.8 pixels
7×7	16.3°	2.0 pixels
9×9	14.7°	1.7 pixels
11×11	13.8°	1.6 pixels
13×13	13.0°	1.6 pixels

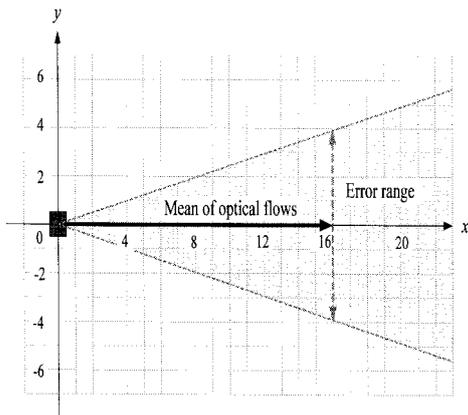
따라서 제안 방법에서는 계산량을 고려하여 최소 자승 추정 범위를 3×3으로 최소화하였으며, 전처리 및 후처리 과정도 수행하지 않는다. 이로 인한 오차는 탐색 영역의 크기를 결정할 때 고려한다. 즉, 제안 방법은 광류를 블록 정합 방법의 탐색 영역의 위치와 크기 결정시에만 사용하므로, 계산량을 고려하여 대략적인 광류만을 추정한 후, 탐색 영역을 크게 하여 이 최소 자승 추정시의 오차를 감소시킨다.

최소 자승 광류 추정방법에서는 인접한 화소들의 미분 필터를 통해 구해지는 시공간적인 경사값

을 이용하여 광류를 추정한다. 따라서 추정된 광류의 오차는 이 경사값의 오차에 큰 영향을 받는다. 경사값 계산시의 오차의 경우, 미분 필터의 크기와 종류에 따라 오차의 크기가 달라지나, 미분 필터의 크기를 증가시키면 시간 경사값을 계산할 때 사용되는 프레임 수가 증가되어 실제 동영상 압축에 적용하기 어렵다. 즉, 기존의 블록 정합 방법에서와 같은 프레임을 사용하여 광류를 추정할 경우, 움직임 추정에는 2 프레임만을 사용하여야 한다. 따라서 경사값 계산을 위한 미분 필터는 최소한의 탭을 갖는 필터를 선택하여야 한다.

제안 방법에서는 다른 3탭 필터들에 비해 우수한 성능을 나타내는 Simoncelli[12]의 3탭 필터를 사용하였다. 이 때 시간축으로는 기존의 BMA에서와 동일한 2 프레임만을 사용하였다.

경사값의 오차는 그 광류의 크기에 비례하는 경향이 있다. 즉, 움직임이 작은 영역의 경우 인접 화소들간의 경사값이 비슷하여 추정된 광류들의 오차도 적다. 그러나 움직임이 큰 영역에서는 인접 화소들간의 경사값들의 차이가 증가하게 되어 추정된 광류의 오차 또한 증가하게 된다[13]. 광류의 크기에 따른 오차의 범위를 그림 2에 나타내었다.



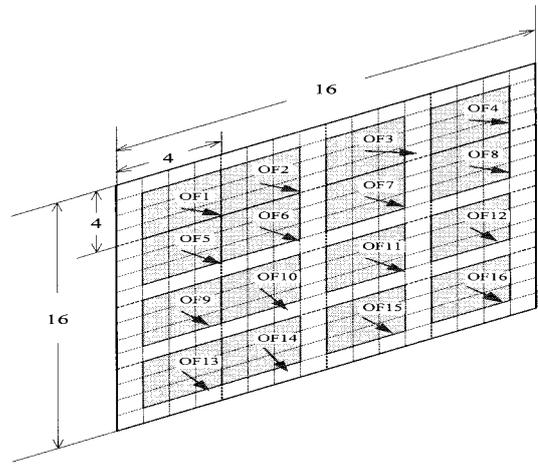
<그림 2> 최소 자승 광류 추정방법의 오차 범위

이 그림은 실험적으로 구해진 실제 광류와 추정된 광류간의 거리와 비교한 후, 선형적으로 근사화시킨 결과이다. 그림에서 광류의 크기가 증가할수록 오차의 범위 또한 증가함을 알 수 있다. 따라서 이 오차는 움직임 추정 결과에 큰 영향을 미치므로, 제안 방법에서는 이 오차를 탐색 영역 크기를 계산할 때 가중치로 고려하였다.

## 2.2 제안 방법에서의 최소 광류 추정 방법

제안 방법에서는 블록 정합 방법의 탐색 영역을 결정하기 위해 먼저 최소 자승 광류 추정 방법을 이용하여 블록 내의 광류를 추정한다. LSOFA에서는 각 화소의 시간 경사값과 공간 경사값을 미분 필터를 통하여 계산한 후 이 경사값들로부터 최소 자승 추정 (least square estimation)을 이용하여 광류를 추정한다.

제안 방법에서의 최소 자승 광류 추정으로 추정되는 광류를 그림 3에 나타내었다. 그림에서 최소 자승 추정 범위는 계산량을 고려하여 3×3으로 최소화하였다. 또한, 최소 자승 광류 추정으로 구해진 광류들은 인접한 광류들 간의 분포가 비교적 일정한 특성을 갖는다. 따라서 제안 방법에서는 블록 내의 모든 화소들로부터 광류를 추정하는 것이 아니고, 그림에서 알 수 있는 바와 같이, 화소들을 부표분화하여 6.25%의 화소들만으로 광류를 추정하여 계산량을 더욱 감소시켰다.



<그림 3> 최소자승광류 추정법으로 계산되는 광류

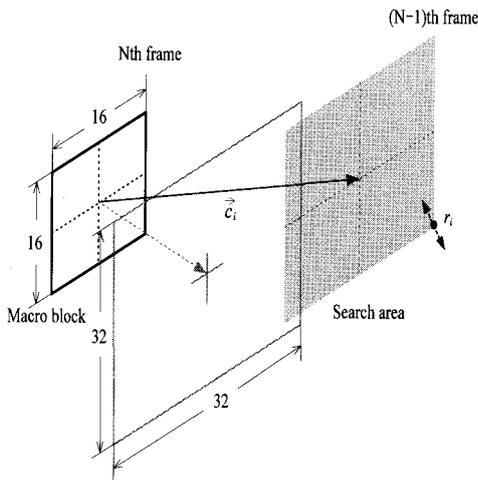
그림에서와 같이 광류를 부표분화 하였을 경우의 실험 영상들에 대한 각 오차를 표 2에 나타내었다. 표에서 광류를 그림에서와 같이 부표분화 한 경우에도 그 각 오차의 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그림에서의 광류 추정 위치는 블록 당 연산을 위해 인접 블록의 화소를 사용하지 않고도 광류 추정이 가능하도록 적절히 선택하였다.

<표 2> YOSEMITE 영상에 대한 최소 자승 추정 범위에 따른 각 오차 및 거리

Number of pixels	YOSEMITE	TRANSLATING TREE
256 (100%)	23.5°	16.7°
16 (6.25%)	23.1°	16.9°

### 2.3 제안한 탐색 영역 결정 방법

제안 방법에서는 블록 내의 광류들로부터 그림 4에서와 같이 탐색 영역의 위치와 크기를 결정한다. 그림에서 탐색 영역은 광류들의 평균을 이용해 중심점을 이동시킨 후 분산을 이용해 그 크기를 결정한다. 따라서, 제안 방법에서는 탐색 영역을 움직임 방향으로 이동시킨 후 영상의 특성에 따라 탐색 영역의 크기를 결정하므로 움직임이 큰 영상에서도 탐색 영역의 크기를 증가시키지 않아도 된다.



<그림 4> 탐색 영역 계산

즉, 움직임이 큰 영상에 대해서도 탐색 영역의 증가 없이 탐색이 가능하므로 추가적인 계산량의 증가가 없으며, 움직임이 작은 배경 영역에서 탐색 영역의 크기가 감소하여 효율적인 움직임 추정이 가능하다.

여기서, 탐색 영역의 위치는 블록의 광류들의 평

균값으로 그 중심점을 결정하였다. 이 때,  $i$  번째 블록에서 탐색 영역의 중심점  $\vec{c}_i$  는

$$\vec{c}_i = \frac{1}{n} \sum_{k=0}^{n-1} \vec{v}_{ik} \quad (2)$$

이 된다. 여기서  $\vec{v}_{ik}$  는 최소 자승 광류 추정 방법으로 계산한 광류이며,  $n$  은 블록 내의 광류들의 수이다. 이때, 블록내 광류들의 오차의 영향을 줄이기 위해 최대값 및 최소값을 제외한 광류들로 그 평균값을 계산하였다. 이 탐색 영역의 중심점을 결정한 후 탐색 영역의 크기를 결정한다.

제안한 탐색 영역의 크기 결정 방법에서는 움직임 추정 블록 내의 광류들의 분산값과 탐색 영역 중심점의 오차를 고려하였다. 움직임 추정 블록 내의 광류값들의 분산이 작으면, 일정한 움직임을 갖는 영역이므로 탐색 영역의 크기를 감소시켜야 하고, 이 분산이 크면 복잡한 움직임을 갖는 영역이므로 탐색 영역의 크기를 증가시켜야 한다.

광류의 크기에 따른 오차는 움직임 추정 결과에 큰 영향을 미치므로, 이 오차를 탐색 영역 크기를 계산할 때 가중치로 고려하였다.

따라서, 탐색 영역의 크기는 LSOFA 계산시의 오차 범위를 고려한 분산값들에 따라 가변 된다. 이때,  $i$  번째 블록에서 탐색 영역의 크기  $r_i$  는

$$r_i = \frac{s}{n} \sum_{k=0}^{n-1} |\vec{v}_{ik} - \vec{c}_i|^2 \quad (3)$$

이 된다. 여기서  $s$  는 탐색 영역 중심점의 오차를 고려한 가중치이다. 이 때, 가중치가 작으면 움직임 탐색 영역의 크기가 작아져서 계산량은 감소하나 움직임 추정 오차가 증가하고, 가중치의 크면 움직임 추정 오차는 감소하지만 탐색 영역의 크기가 증가한다.

제안 방법에서는 움직임 보상 영상의 화질 향상을 위하여 가중치를 영상의 최대 움직임을 고려하여 크게 주어 탐색 영역의 크기를 증가시켰다. 이 때, 탐색 영역의 최대 크기는 기존의 FSBMA의 탐색 영역의 크기로 제한하였다. 가중치를 크게 주어도 움직임이 작은 배경 영역에서는 탐색 영역의

크기가 증가하지 않으므로, 영상에 따라 탐색점의 수는 기존의 FSBMA에 비해 10%~40% 정도로 감소하였다.

제안한 방법에서는, 움직임 특성에 따라 탐색 영역이 결정되므로, 이 방법은 움직임 추정 오차가 큰 영역인 크고 복잡한 움직임을 갖는 영상에 대해서 뛰어난 성능을 갖는다. 즉, 제안 방법에서는 움직임이 작고 규칙적인 영상에 대해서는 탐색 영역이 작아져서 계산량이 감소하며, 움직임이 크고 불규칙한 영상에 대해서는 탐색 영역이 자동으로 넓게 결정되는 것과 같은 효과를 가지므로, 정확한 움직임이 추정된다.

### 3. 모의실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 광류 기반 적응 움직임 추정 방법을 제안하였으며, 제안한 방법에 대한 성능을 확인하기 위하여 모의 실험을 행하였다. 모의 실험에서는 FSBMA와 제안한 방법에 대해 움직임 추정 및 보상 과정의 성능을 비교 평가하였다. 객관적인 실험을 위해서 동영상 부호화에서 표준 실험 영상으로 사용하는 다양한 움직임 특성을 갖고 있는 영상들에 대해 실험을 행하였다. 특히, 제안 방법은 움직임이 크고 급격한 부분이 많은 영상에 효과적이므로, 실험 영상을 빠른 움직임이 존재하는 스포츠 영상을 중심으로 선택하였다.

실험에 사용된 영상으로는 352×240 크기와 256 밝기의 SIF (source input format)[14] 영상인 TABLE TENNIS 영상 60 프레임과 720×480 크기와 256 밝기의 ITU-R 601 (International Telecommunication Union - Radiocommunication sector 601)[15] 형식의 영상인 FOOTBALL 영상 및 STEFAN 영상 각 100 프레임씩을 사용하였다. 실험에 사용된 TABLE TENNIS 영상은 순차 (progressive) 주사된 영상이며, FOOTBALL 영상 및 STEFAN 영상은 비월 (interlaced) 주사된 영상이다. 순차 주사된 영상은 한 프레임의 영상이 같은 시간에 샘플링된 영상이고, 비월 주사된 영상은 한 프레임의 영상이 서로 다른 시간에 샘플링된 두장의 필드 영상으로 이루어지며, 샘플이 한 라인마다 번갈아 가며 반복된다. 움직임 추정 방법

으로는 블록 정합 방법 (BMA)을 사용하였으며, 왜곡 척도 (distortion measure)로는 계산량이 적으면서 성능이 우수한 MAD를 사용하였다. 또한 블록의 크기는 H.261, MPEG 등에서의 움직임 추정을 위한 블록의 크기와 같이 16×16으로 두었다 [16].

기본적인 블록 정합 방법인 전역 탐색 블록 정합 방법 (FSBMA)으로는, -16~+15 탐색 범위의 전역 탐색 방법에 대해서 반화소 단위의 움직임 추정 방법으로 실험하였다.

제안 방법의 탐색 영역은 블록내 움직임의 크기 및 복잡도에 따라 적응적으로 변한다. 실험에서는 블록의 움직임을 크게 움직임이 작고 단순한 영역, 움직임이 작고 복잡한 영역, 움직임이 크고 단순한 영역, 및 움직임이 크고 복잡한 영역의 4가지로 분류하여 각각의 탐색 영역의 크기를 -2~+1, -4~+3, -8~+7, 및 -16~+15의 4 단계로 하였다. 이는 탐색 영역 결정시의 오차를 더욱 줄이기 위해 탐색 영역의 크기 결정 식인 식 (3)의 결과값을 올림하여 좀 더 넓은 탐색 영역에서 움직임 추정이 가능하게 한 것이다. 이 때, 탐색 영역의 크기를 결정할 때의 가중치는 4로 두었다. 이는 그림 5에서 FSBMA의 추정 범위인 16 일 때의 LSOFA의 오차를 가중치로 결정할 것이다.

일반적인 성능을 평가하는 기준인 복원 영상의 주관적 및 객관적 화질로 기존 방법과 제안한 방법의 성능을 비교하였다. 객관적 화질 척도로 PSNR을 사용하였으며, PSNR은,

$$PSNR = 10 \log \frac{255^2}{\frac{1}{XY} \sum_{x=0}^{X-1} \sum_{y=0}^{Y-1} |I_k(x,y) - \hat{I}(x,y)|^2} \quad [dB] \quad (4)$$

와 같다. 여기서  $X$  및  $Y$  는 영상의 수직 및 수평 화소 수를 나타내며,  $\hat{I}_k(x, y)$  는 움직임 벡터를 이용해서  $k$  번째 프레임을 움직임 보정한 영상에서  $(x, y)$  좌표의 화소 밝기값이다.

실험 영상들에 대하여, 제안 방법과 기존 방법의 움직임 추정 성능 평가를 위한 모의 실험 결과를 표 3에 나타내었다. 표 3에서는, 각 방법에 대한 움직임 보상 영상 화질을 객관적인 척도인 평균

PSNR로 비교하였다.

이 표로부터 TABLE TENNIS 영상, FOOTBALL 영상, 및 STEFAN 영상에 대하여 제안 방법의 PSNR이 기존의 FSBMA 방법에 비해 각각 평균 0.2 dB, 0.3 dB, 및 0.6 dB 증가하였음을 알 수 있다.

<표 3> 기존방법과 제안한 방법의 평균 PSNR 비교

Sequences \ Algorithms	FSBMA	Proposed
TABLE TENNIS	29.5 dB	29.7 dB
FOOTBALL	25.0 dB	25.3 dB
STEFAN	26.4 dB	27.0 dB

영상의 크기가 352×240으로 작은 영상인 TABLE TENNIS 영상에서는, 기존의 FSBMA의 탐색 영역 내에 대부분의 움직임이 존재하나, 탁구공의 빠른 움직임이 있는 영역과 줌 아웃이 발생되는 영상 등에서 움직임 추정 성능이 향상되어 PSNR이 증가하였다.

영상의 크기가 720×480으로 큰 영상들인 FOOTBALL 및 STEFAN 영상에서는, 기존의 FSBMA의 탐색 영역을 벗어나는 큰 움직임들이 있는 영역에 대해서 움직임 추정 성능이 향상되어 PSNR이 증가하였다. 특히, 물체의 움직임과 카메라의 움직임이 동시에 존재하는 STEFAN 영상에서 다른 영상에 비해 더 큰 PSNR의 증가가 있음을 알 수 있다.

그림 5는 FSBMA와 제안 방법에 대한 PSNR을 프레임 별로 나타내었다. 그림 5(a)에서는 TABLE TENNIS 영상에 대한 프레임 별 PSNR 결과를 나타내었다. 대부분의 프레임에 걸쳐서 제안한 방법의 PSNR이 FSBMA보다 우수함을 알 수 있다. TABLE TENNIS 영상에서는 빠른 움직임이 존재하는 부분과 카메라의 줌 아웃이 있는 부분들에 대해서 움직임 추정 성능이 향상되었다.

그림 5(b)에서 나타난 FOOTBALL 영상에 대한 결과에서는, 전체 프레임에서 제안 방법이 FSBMA보다 우수함을 알 수 있다. 특히 움직임이 크고 급격한 영역이 많은 처음 30 프레임에서는

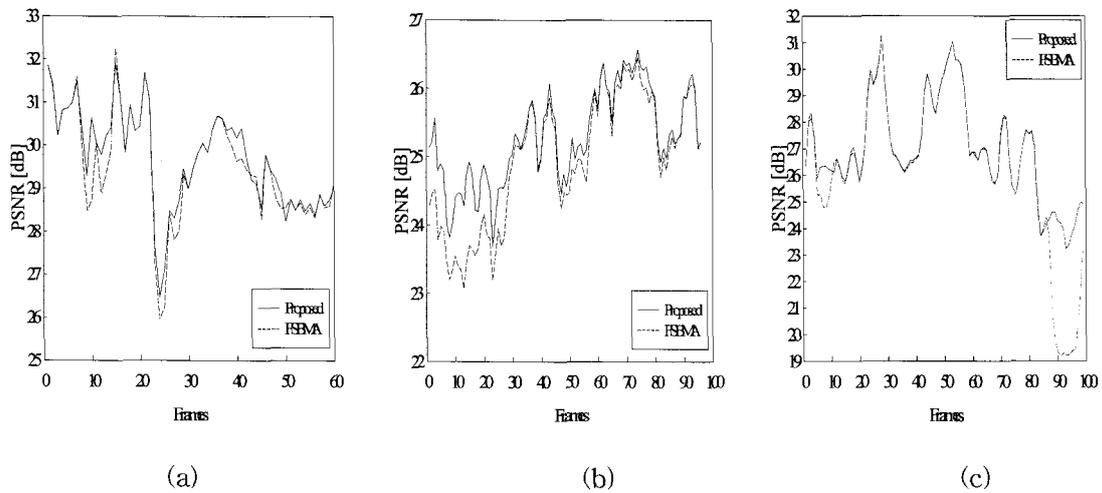
PSNR이 기존의 방법에 비해 평균 0.8 dB 증가하여 제안 방법이 움직임이 크고 급격한 영상일수록 더 효과적임을 알 수 있다.

그림 5(c)에서 나타난 STEFAN 영상에 대한 결과에서는, 전체 프레임에서 제안 방법이 FSBMA보다 우수함을 알 수 있다. 특히 카메라의 패닝이 선수를 중심으로 50 화소 정도로 크게 일어나는 부분인 90번째 프레임 근처에서는 PSNR이 기존의 방법에 비해 4~5 dB 정도로 매우 크게 증가함을 알 수 있다.

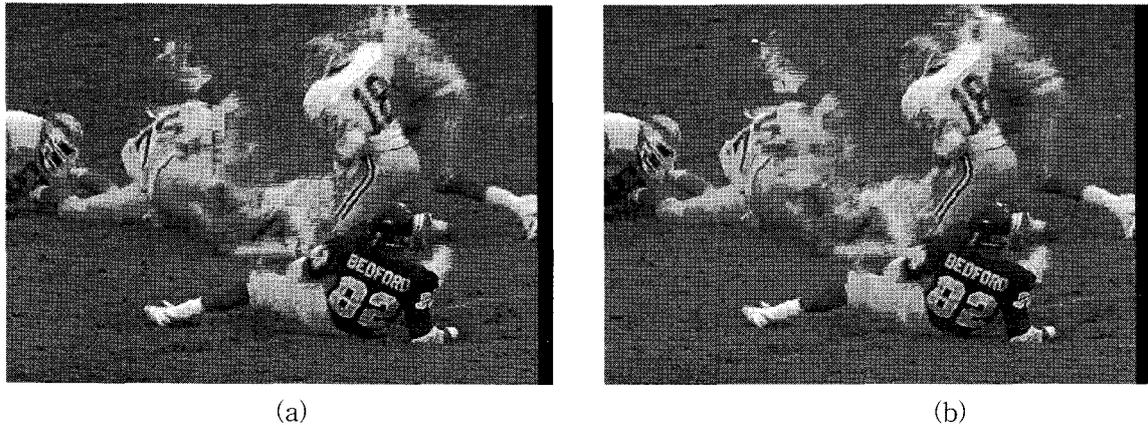
이 부분에서는 선수를 제외한 전체 복잡한 배경 영역이 탐색 영역을 크게 벗어나기 때문에 기존의 방법의 화질의 열화가 크게 일어나게 된다. 그러나, 제안 방법에서는 탐색 영역이 움직임 방향으로 이동하여 설정되므로 움직임 추정 성능이 향상됨을 알 수 있다.

그림 6에서는 FOOTBALL 영상의 20번째 프레임을 19번째 프레임으로 움직임을 추정하여 움직임을 보상한 영상을 프레임 단위로 나타내었다. FOOTBALL 영상에서는 사람의 움직임이 아주 크고 불규칙적이다. 그러므로 고정된 탐색 영역으로 움직임을 추정하는 FSBMA 방법인 경우, 프레임 영상인 그림 6(a)에서와 같이 화면의 중앙 위쪽에서 빠른 움직임을 나타내고 있는 선수의 발 부분 및 우측 선수의 등 부분 및 헬멧 부분에서 움직임 추정이 제대로 이루어지지 않았음을 알 수 있다. 그러나 제안한 그림 6(b)에서와 같이 FOOTBALL 영상에서 큰 움직임이 있는 화면 우측의 사람의 등 부분 및 헬멧 부분과 중앙 선수의 발 부분에서 움직임 추정 성능이 향상됨을 알 수 있다.





<그림 5> (a) TABLE TENNIS 영상, (b) FOOTBALL 영상, 및 (c) STEFAN 영상에 대한 FSBMA와 제안한 방법의 PSNR비교



<그림 6> (a) FSBMA 및 (b) 제안한 방법으로 움직임 보상된 FOOTBALL 영상의 20번째 프레임

#### 4. 결론

본 논문에서는 광류를 이용한 적응 블록 정합 움직임 추정 방법을 제안하였다. 제안 방법에서는 먼저 LSOFA로 추정된 광류들을 이용하여 탐색 영역을 결정한 후, 이 탐색 영역에 대하여 BMA를 적용하여 움직임을 추정하였다. 즉, 실제의 움직임과 유사한 특성을 갖는 광류들로부터 탐색 영역을 결정하고, 이 탐색 영역에 대하여 부가 정보 및 차

영상 정보가 적은 특성을 갖는 BMA로 움직임 벡터를 추정하는 방법이다.

제안 방법에서는 광류들을 BMA의 탐색 영역 결정에만 사용하며, 이들로부터 직접 움직임 벡터를 결정하는 것이 아니다. 따라서, 대략적인 광류들만을 추정한 후 탐색 영역의 크기를 결정할 때 그 추정 오차를 고려한다. 또한, 제안 방법에서는 블록 단위로 광류를 추정하고, 이 광류들을 이용하여 탐색 영역을 결정한다. 블록 단위로 광류를 추

정하면 현재 블록에서 BMA로 움직임 벡터를 추정하는 동안 다음 블록의 탐색 영역의 크기와 위치를 LSOFA로 결정할 수 있다. 따라서, LSOFA를 통한 탐색 영역의 결정과 BMA를 통한 움직임 벡터의 결정이 서로 독립적으로 이루어지므로, 부호화기에서는 탐색 영역 결정을 위한 하드웨어가 추가되지만, 움직임 추정에 소요되는 계산 시간의 증가는 없다.

제안한 탐색 영역 결정 방법에서는 먼저 LSOFA를 이용하여 블록 내의 광류를 추정한다. 이 LSOFA에서는 각 화소의 시간 경사값과 공간 경사값을 미분 필터를 통하여 계산한 후 이 경사값들로부터 최소 자승 추정법을 이용하여 광류를 추정한다. LSOFA에서는 미분 필터의 크기와 최소 자승 추정 범위를 크게 할 수록 더 정확하고 평탄한 광류가 계산되나 계산량 또한 증가하게 된다. 제안 방법에서는 미분 필터의 크기 및 최소 자승 추정 범위를 최소화하였으며, 영상의 모든 화소들로부터 광류들을 계산하는 것이 아니고 블록내의 화소를 부표본화하여 블록 내의 광류를 추정하여 계산량을 더욱 감소시켰다. 이 계산량의 최소화로 인하여 증가되는 오차는 탐색 영역의 크기를 결정할 때 고려하였다.

이 블록 내의 광류들로부터 탐색 영역의 위치와 크기를 결정한다. 탐색 영역의 위치는 광류들의 평균값으로 그 중심점을 결정하였다. 또한 탐색 영역의 크기는 LSOFA 계산시의 오차 범위를 고려한 광류들의 분산값들에 따라 가변되는데, 이 분산값들이 작으면 움직임이 작거나 일정한 영역이므로 탐색 영역의 크기를 감소시키고, 분산값들이 크면 움직임이 복잡한 영역이 되므로 탐색 영역의 크기를 증가시킨다. 즉, 움직임이 작고 평탄한 영역에 대해서는 현재의 위치에서 탐색 영역을 작게 해서 움직임을 추정하고, 움직임이 크고 복잡한 영역에서는 움직임의 방향으로 이동한 후 탐색 영역을 크게 해서 움직임을 추정하게 되므로, 실제 탐색 영역을 증가시키는 것과 같은 효과를 갖는다.

제안한 방법에서는 움직임 특성에 따라 탐색 영역이 결정되므로, 이 방법은 움직임 추정 오차가 큰 영역인 크고 복잡한 움직임을 갖는 영상에 대해서 뛰어난 성능을 갖는다. 즉, 제안 방법에서는 움직임이 작고 규칙적인 영상에 대해서는 탐색 영

역이 작아져서 계산량이 감소하며, 움직임이 크고 불규칙한 영상에 대해서는 탐색 영역이 자동으로 넓게 결정되는 것과 같은 효과를 가지므로 정확한 움직임 추정이 가능하다.

다양한 움직임 특성을 가지는 실험 영상들에 대한 기존의 방법과 제안한 방법의 움직임 추정 성능 평가를 위한 컴퓨터 모의 실험을 통하여, 제안한 방법이 움직임이 크고 복잡한 영상에 대해서 기존의 FSBMA에 비해 우수한 PSNR을 나타냄을 확인하였다.

## 참고 문헌

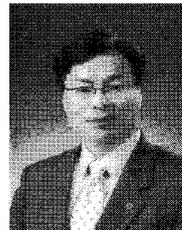
- [1] A. K. Jain, *Fundamentals of Digital Image Processing*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1999.
- [2] D. R. Walker and K. R. Rao, "Improved pel-recursive motion compensation," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 32, no. 10, pp. 1128~1134, Oct. 1984.
- [3] Y. Y. Lee and J. W. Woods, "Motion vector quantization for video coding," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 4, pp. 378~382, 1995.
- [4] B. K. P. Horn and B. G. Schunk, "Determining optical flow," *Artif. Intell.*, vol. 17, no. 1-3, pp. 185-203, Aug. 1981.
- [5] W. J. Christmas, "Filtering requirements for gradient-based optical flow measurement," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 9, no. 10, pp. 1817-1820, Oct. 2000.
- [6] L. Alparone, M. Barni, F. Bartolini, and R. Caldelli, "Regularization of optical flow estimates by means of weighted vector median filtering," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 8, no. 10, pp. 1462-1467, Oct. 1999.
- [7] J. Malo, J. Gutierrez, I. Epifanio, and F. J. Ferri, "Perceptually weighted optical flow for motion-based segmentation in MPEG-4 paradigm," *IEEE Electronics Letters*, vol.

- 36, no. 20, pp. 1693-1694. Sep. 2000.
- [8] J. M. Mendel, *Lessons in Estimation Theory for Signal Processing, Communications, and Control*, Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1995.
- [9] S. V. Huffel and J. Vandewalle, *The Total Least Squares Problem*, SIAM, Philadelphia, Pennsylvania, 1991.
- [10] D. J. Fleet and K. Langley, "Recursive filters for optical flow," *IEEE Trans. on PAMI*, vol. 17, no. 1, pp. 61-67, Jan. 1995.
- [11] C. H. Chu and E. J. Delp, "Estimating displacement vectors from an image sequence," *J. Pot. Soc. Am. A*, vol. 6, no. 6, pp. 871-878, June 1989.
- [12] P. Moulin, R. Krishnamurthy, and J. W. Woods, "Multiscale modeling and estimation of motion fields for video coding," *IEEE Trans. Image Processing*, vol. 6, no. 12, pp. 1606-1620, Nov. 1997.
- [13] E. Simoncelli, "Distributed representation and analysis of visual motion," *Ph.D. dissertation*, Dept. Electr. Eng. Comput. Sci., MIT, Cambridge, 1993.
- [14] ITU-T, "Video coding for low bit rate communication," *ITU-T Recommendation H.263*, version 1, Nov. 1995; version 2, Jan. 1998.
- [15] ITU-T and ISO/IEC JTC1, "Generic coding of moving pictures and associated audio information - Part 2 : Video," *ITU-T Recommendation H.262 - ISO/IEC 13818-2 (MPEG-2)*, Nov. 1994.
- [16] ISO/IEC JTC1, "Coding of moving pictures and associated audio for digital storage media at up to about 1.5 Mbits/s - Part 2 : Video," *ISO/IEC 11172-2 (MPEG-1)*, Mar. 1993.



김 경 규 (Kyoung-Kyoo Kim)

- 1993년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1995년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2001년 8월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 현재 SETi(주) 수석연구원
- 관심분야: DTV System & Image Sensor



박 경 남 (Kyung-Nam Park)

- 중신회원
- 1992년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업
- 1997년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
- 2003년 2월 경북대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)
- 2003년 3월 ~ 현재 나사렛대학교 멀티미디어학과 조교수
- 관심분야: 영상처리, 영상통신, 디지털 TV 등