

# 비트 플레인 정합에 의한 움직임 추정 알고리즘

이성희, 이경훈, 고성제  
고려대학교 전자공학과

## Motion Estimation Algorithm based on Bit-plane Matching

Sung-Hee Lee, Kyung-Hoon Lee, Sung-Jea Ko  
Dept. of Electronic Engineering, Korea Univ.

### 요약

움직임 추정(motion estimation)은 압축 부호화나 영상 안정화 시스템, 비전 시스템 등과 같은 동영상 처리에 있어서 핵심 기술 중의 하나이다. 그러나 기존의 전역 탐색(brute-force) 알고리즘과 같은 움직임 추정 기법은 방대한 양의 계산을 필요로 하기 때문에 처리 시간이 커지고, 하드웨어로 구현하였을 때 회로가 복잡해 진다는 문제점을 안고 있다.

본 논문에서는 비트 플레인(bit-plane)에서의 정합을 이용하여 움직임을 추정하는 새로운 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 기존의 전역 탐색 알고리즘을 하나의 비트 플레인으로부터 추출한 이진 영상에 적용함으로써 움직임 추정에 소요되는 계산량을 크게 줄이면서도 우수한 움직임 추정 성능을 갖도록 하였다. 실험 부분에서는 동영상으로부터 카메라의 이동으로 인한 전역적인 움직임을 추정하는데 제안된 기법을 사용한 결과를 제시하였다. 특히 제안된 기법은 비트 플레인을 선정하는데 있어서 적용 기법을 적용하였기 때문에 조도 변화 등과 같은 열악한 환경에서도 안정적으로 동작한다는 것을 실험을 통하여 보였다.

### I. 서론

움직임 추정(motion estimation)은 동영상 처리에 있어서 핵심 기술 중의 하나이다. 동영상 압축 부호화의 표준인 H.261이나 MPEG(motion picture expert group)에서는 동영상의 시간간격적인 정보의 중복성을 제거하여 고압축을 실현하는데 있어서 움직임 추정 및 보상 기술이 가장 중요한 역할을 담당하고 있다. 뿐만 아니라 카메라를 위한 영상 안정화 시스템, 비전 시스템 등과 같이 동영상을 처리하는 거의 모든 시스템들에서도 움직임 추정 기법은 핵심 기술로 자리하고 있다.

그러나 기존의 전역 탐색(brute-force) 알고리즘과 같은 움직임 추정 기법들은 방대한 양의 계산을 필요로 하기 때문에 처리 시간이 길어지고, 하드웨어로 구현하였을 때 회로가 복잡해 진다는 문제점을 안고 있다. 이외에도 영상으로부터 경사값(gradient)이나 에지 등을 추출하고 이로부터 움직임을 추정하거나, 푸리에 변환 등을 이용하여 주파수 영역에서 움직임을 추정하는 기법들이 제안되었지만, 많은 계산량을 필요로 한다는 점에서는 비슷한 문제점을 안고 있다. 탐색 영역을 줄임으로써 이와 같은 문제점들을 해결하기 위하여 삼단 탐색(three-step search), 로그 스케일 탐색(logarithmic search) 등과 같은 많은 고속 알고리즘들이 발표되었지만, 이들은 움직임 추정 결과가 전역 탐색에 비해 부정확하다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 비트 플레인(bit-plane)에서의 정합을 이용하여 움직임을 추정하는 새로운 기법을 제안한다.

제안된 기법에서는 하나의 비트 플레인으로부터 추출한 이진 영상에 기존의 전역 탐색 알고리즘을 적용함으로써 움직임 추정에 소요되는 계산량을 크게 줄이면서도 우수한 움직임 추정 성능을 갖도록 하였다. 제안된 기법이 갖는 가장 큰 장점은 움직임 추정에 이진 영상을 이용하기 때문에 기존의 알고리즘의 산술 연산들을 이진 논리 연산으로 처리함으로써 처리 시간을 크게 줄일 수 있는데 있다. 그레이 영상으로부터 에지 등을 검출하고, 이로부터 이진 영상을 생성하여 움직임 추정을 시도한 예는 발표된 바가 있지만, 이 때에는 에지 추출 등을 위하여 별도의 처리 과정이 필요하고 에지 검출의 정확도에 따라서 움직임 추정의 결과가 달라질 수 있다는 문제점을 안고 있었다. 제안된 기법에서 사용하는 비트 플레인으로부터 바로 이진 영상을 생성하는 방식은 많은 계산을 필요로 하지 않으며, 적절한 비트 플레인을 선정한다면 에지 검출 방식 등에 비해 원영상의 전체적인 윤곽을 보다 정확하게 반영하는 이진 영상을 생성할 수 있다는 장점을 갖는다.

본 논문에서는 제안된 기법의 성능을 평가하기 위하여 동영상으로부터 전역 움직임 벡터를 검출하는 실험을 수행하였다. 카메라에 의하여 촬영된 영상은 카메라 움직임으로 의한 전역 움직임(global motion)과 물체의 이동에 의한 국부 움직임(local motion)을 갖는다. 전역 움직임을 추정하기 위해서는 기존에는 대표점(representative point: RP) 방식[1],[3]과 에지 패턴 정합(edge-pattern matching: EPM) 방식[2] 등이 사용되었다. 실험을 통하여 제안된 방식이 기존의 전역 움직임 추정 방법에 비하여 조도 변화 등과 같은 여러 가지 촬영 환경에 견고하

로, 빠른 연산을 수행하면서 보다 정확하게 카메라의 움직임을 검출한다는 것을 보였다.

본 논문에서는 먼저 II상에서는 먼저 제안된 움직임 추정 기법의 전체적인 처리 과정을 제시하고, 그레이 영상으로부터 비트 플레인을 이용하여 이전 영상을 생성하는 과정에 대하여 설명한다. III상에서는 제안된 기법을 동영상의 전역 움직임을 추정하기 위한 실험에 적용한 결과를 제시하고, 기존 방식과의 비교를 통하여 성능을 평가한다. IV상에서는 결론을 맺는다.

## II. 비트 플레인 정합에 의한 움직임 추정

본 장에서는 제안된 움직임 추정 기법의 전체적인 처리 과정을 먼저 설명하고 비트 플레인의 생성 방식 및 조도 변화에 따른 특성을 비교한다. 그리고 비트 플레인 선정 방식에 대해 설명하기로 한다.

### 1. 비트 플레인 정합에 의한 움직임 추정

본 논문에서 제안하는 비트 플레인 정합에 의한 움직임 추정 과정을 그림 1에서 보여 주고 있다. 그림 1에서 비트 플레인 변환기는 입력되는 영상을 비트 플레인으로 변환하고 비트 플레인 선정기는 조도에 따라 비트 전환 비율을 이용하여 하나의 비트 플레인을 선택한다. 그리고 비트 레벨 프레임 메모리에 저장된 이전 비트 플레인과 현재 입력된 영상의 비트 플레인에서 움직임 검출 영역간의 상관성을 계산하여 움직임 벡터들을 검출한다. 그리고 검출된 움직임 벡터들 중에서 카메라 움직임에 의한 전역 움직임을 결정하여 움직임 추정을 수행한다.

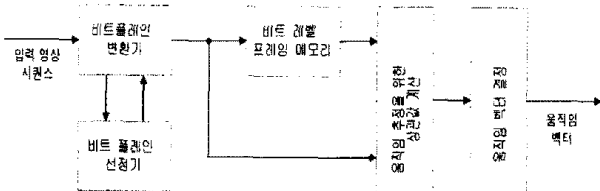


그림 1. 비트 플레인 정합에 의한 움직임 추정.

연속적인 영상간의 움직임을 검출하기 위하여 전체 영상을 이용하지 않고 배경 영역일 가능성이 높은 4개의 영역을 정하여 그림 2와 같이 동영상의 전역적인 움직임 추정을 수행한다. 따라서 이전 영상에서 선택된 비트 플레인의 각 움직임 검출 영역을 그림 1의 비트 레벨 프레임 메모리에 저장하고, 저장된 이전 비트 플레인과 현재 비트 플레인간의 움직임 검출 영역을 그림 2에서 보듯이 수평·수직 방향으로 이동하면서 비교한다. 이때  $m$  번째 이전 비트 플레인과 현재 비트 플레인에서 화소 위치의 이진값에 대해서 식 (1)와 같이 논리 연산 XOR을 수행하고 그 결과를 누적하여 상관값을 얻는다.

$$P(i, j) = \sum_x \sum_y a_m(x, y, t-1) \oplus a_m(x+i, y-j) \quad (1)$$

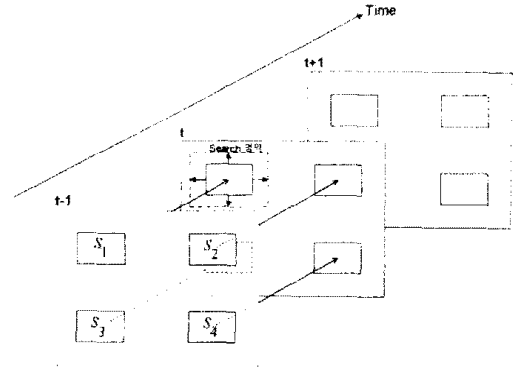


그림 2. 비트 플레인 정합에 의한 움직임 검출 방법.

여기서 수평·수직 방향의 이동량  $(i, j)$ 에 대한 상관값은  $P(i, j)$ 이다.

또한 식 (2)와 같이 상관값이 최소값을 갖는 위치에서 영상간의 상관성이 가장 높은 위치라고 판단하여 각 움직임 검출 영역에 대한 이동량을 결정한다. 그리고 이러한 과정을 움직임 검출 영역  $S_1, S_2, S_3$ , 그리고  $S_4$ 에 대해서 각각 수행하고, 이때 결정된 각각의 이동량은 각 검출 영역의 움직임 벡터  $V_n (1 \leq n \leq 4)$ 로 정한다.

$$(i, j) = \arg \min_{i, j} [P(i, j)] \quad (2)$$

$$V_n = (i, j)$$

카메라 움직임에 의한 전체 영상의 움직임을 결정하기 위하여 각 검출 영역에서 검출된 움직임 벡터의 수평·수직 방향 성분들을 각각 오름차순으로 정렬하고 두 번째 위치의 성분들을 추출하여 최종적인 카메라 움직임으로 결정한다.

### 2. 비트 플레인의 생성 및 특성

일반적으로  $k$ -비트 그레이 레벨 (gray level)을 갖는 비디오 영상을 비트 플레인으로 분할하여 나타내면 식 (3)와 같다. 식 (3)에서와 같이 영상의 화소 값은  $k$ 개의 계수  $a$ 로 구성되어 있고, 계수  $a$ 은 이진 값을 갖는다.

$$a_{k-1}2^{k-1} + a_{k-2}2^{k-2} + \dots + a_22^2 + a_12^1 \quad (3)$$

일반적으로 그림 3와 같이 영상을 비트 플레인으로 변환하였을 때 상위 비트 플레인에서는 영상의 형태를 알아볼 수 있는 정보를 포함하고 있고, 반면 하위 비트 플레인으로 내려 갈수록 이진 값들이 랜덤하게 분포하고 있는 특성을 가지고 있다. 또한 조도가 변화하였을 경우에도 변환된 비트 플레인의 특성이 달라져 시각적으로 중요한 비트 플레인이 이동한다. 따라서 조도 변화에 따라 적절한 비트 플레인을 선정하기 위하여 식 (4)와 같이 변환된 각 비트 플레인의 비트 전환 비율  $c_m$ 을 측정한다.

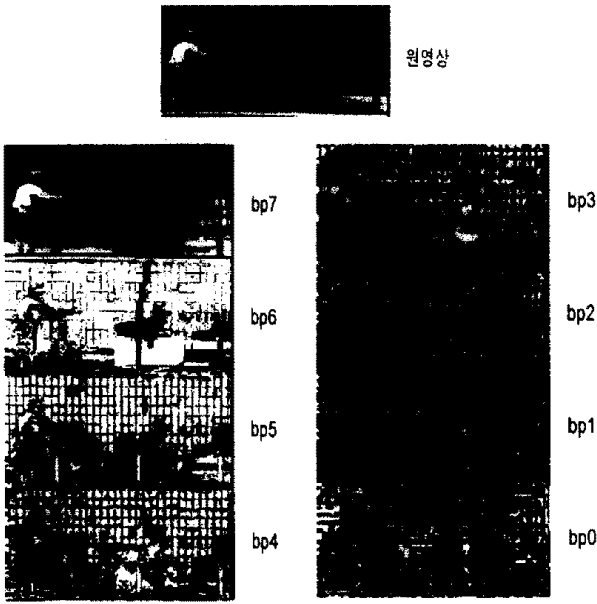


그림 3. 영상의 비트 플레인 변환.

$$c_m = \frac{\sum_x \sum_y a_m(x, y, t) \oplus a_m(x, y, t)}{M \times N}, 0 \leq m \leq 7 \quad (4)$$

여기서  $a_m(x, y, t)$  은 시간적으로  $t$ 에서  $m$  번째 비트 플레인  $(x, y)$  위치의 이진값을 의미하며  $\oplus$ 은 논리 연산 XOR(exclusive OR) 이고,  $M \times N$ 은 영상의 크기이다.

그림 4는 시각적으로 중요한 정보를 포함하고 있는 비트 플레인(bp2, ..., bp7)에 대해서 조도 변화에 대한 비트 전환 비율을 실험 영상 19개에 대해서 통계적으로 얻은 결과이다. 그림 4에서 각 비트 플레인의 비트 전환 비율은 하위 비트 플레인으로 내려갈수록 높아지고, 조도가 낮을수록 각 비트 플레인의 비트 전환 비율이 떨어지는 특성을 볼 수 있다.

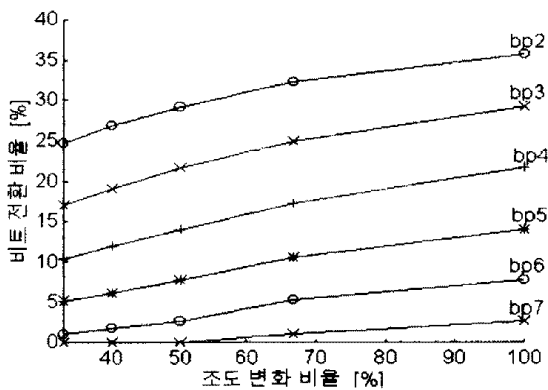


그림 4. 조도와 비트 전환 비율의 관계.

조도에 따라 비트 전환 비율을 이용하여 하나의 비트 플레인을 선정하기 위한 방법은 그림 5와 같다. 그림 5

에서 우선 비트 플레인 인덱스  $m$ 와 비트 전환 비율  $c$ 를 0.25(25%)로 초기화 한다. 그리고 현재 선택된 비트 플레인의 비트 전환 비율을 계산한다. 또한 현재 비트 플레인 전환 비율  $c_m$ 와 초기에 설정된 비트 전환 비율  $c$ 와의 차이에 대한 절대값이 임계값  $T_1$ 보다 작거나 같으면 현재의 비트 플레인을 계속 유지하고, 그렇지 않으면 비트 플레인을 변경한다.

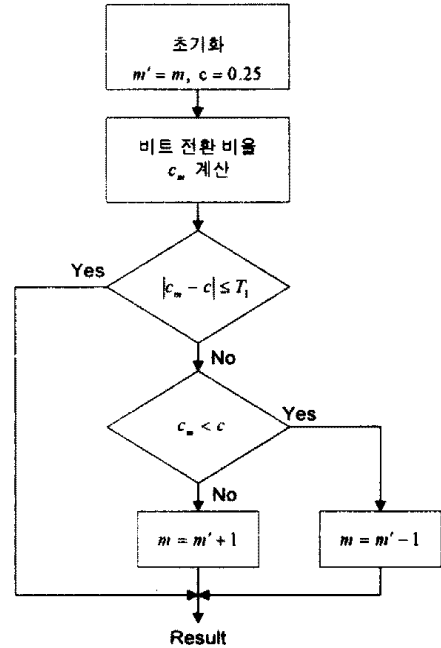


그림 5. 조도 변화에 대한 비트 플레인 선정 방법.

비트 플레인을 변경하는 경우에는 비트 전환 비율이 평균 비트 전환 비율보다 크면 1 비트 높은 비트 플레인을 선택하고, 그렇지 않으면 1 비트 낮은 비트 플레인을 선택하여 조도 변화에 대해 적응적으로 하나의 비트 플레인을 선정한다.

### III. 시뮬레이션 결과 및 성능 평가

카메라 움직임 검출의 정확성을 객관적으로 비교하기 위해서 brute-force(BF) 방식을 기준으로 EPM, RP, 그리고 BPM에 대한 움직임 벡터와 RMSE(root mean square error)을 이용하여 성능 비교하였다. 실험에 사용된 영상은 256 그레이 레벨을 갖고 크기는  $640 \times 240$ 이며 150 필드로 구성된 영상 시퀀스이다. 그림 6은 기린의 움직임이 거의 없고 카메라 움직임으로 인한 전역 움직임만 존재하는 경우의 실험 영상이다. 그리고 그림 7은 BF 방식을 기준으로 하여 RMSE를 표현한 것으로 BPM와 기존 방식에 대한 성능을 명확하게 비교한다. 그림 7에서 BPM, RP, 그리고 EPM에 대한 평균 RMSE는 각각 0.0221, 0.0270, 그리고 0.0750로 BPM이 RP와 EPM보



그림 6. 카메라 움직임이 존재하는 실험 영상.

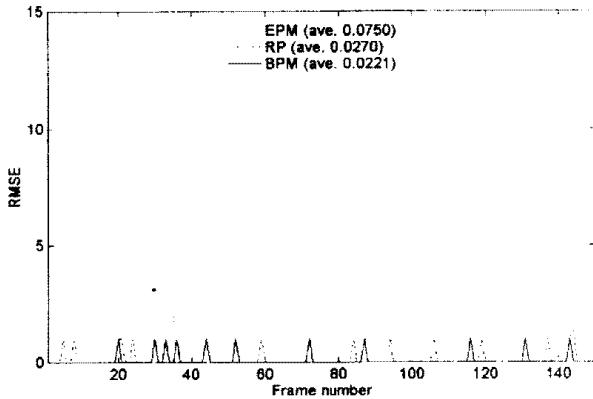


그림 7. 그림 6에 대한 RMSE 성능 비교.

다는 정확한 전역 움직임 벡터를 좋은 성능을 보이며 BPM과 RP의 성능은 비슷하다.

그림 8은 내부적으로 조련사와 물개의 국부 움직임과 카메라의 움직임이 존재하는 실험 영상이다. 그리고 그림 9은 BF 방식을 기준으로 하여 그림 7에서와 같이 동일한 방법으로 RMSE를 표현한 것이다. 그림 9에서와 같이 BPM, RP, 그리고 EPM에 대한 평균 RMSE는 각각 0.0275, 0.0323, 그리고 0.1134로 내부적으로 움직이는 물체가 존재하는 경우에도 BPM이 RP와 EPM보다는 견고한 특성을 보인다. 따라서 제안하는 BPM 방식은 카메라 움직임으로 인한 전역 움직임을 검출하는 과정에서 기존 방식과 비교하여 국부 움직임에 영향을 적게 받으며 보다 정확한 움직임 벡터를 검출한다.

각 방식에서 움직임을 검출하는 계산 과정을 비교하면, 먼저 EPM은 에지 패턴을 검출하는 과정에서 계산량이 많고 RP, 그리고 BPM과 비교하여 검출 성능도 떨어진다. RP은 전처리에서 데이터 처리량이 적지만 움직임



그림 8. 국부 움직임이 존재하는 실험 영상.

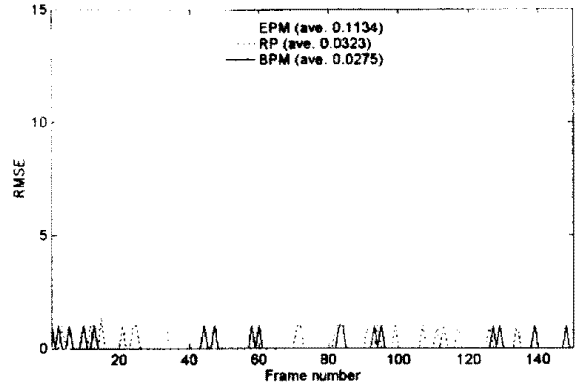


그림 9. 그림 8에 대한 RMSE 성능 비교.

을 검출하는 과정에서 MAD(mean absolute difference)을 이용함으로써 EPM과 BPM보다 계산 방식이 복잡하다. 반면 제안하는 방식 BPM은 움직임을 검출하는 과정에서 데이터 처리량도 비교적 적고, 전체적으로 사용되고 있는 계산 방식은 논리 연산 XOR만을 이용하고 있기 때문에 다른 방식과 비교하여 간단하게 구현된다.

#### IV. 결론

본 논문에서는 비트 플레인 정합을 이용한 동영상의 전역적인 움직임 추정 기법을 제안하고 움직임 검출 성능을 컴퓨터 모의 실험을 통하여 살펴 보았다. 제안하는 방식은 조도 변화에 따라 적응적으로 비트 플레인을 선정하면서 전역적인 움직임을 추정하는 과정에서 기존 방식과 비교하여 보다 견고한 성능을 갖고 있다. 그리고 제안하는 방식은 움직임을 추정하는 과정에서 이진 영상 정보만을 이용하기 때문에 메모리 용량을 줄이면서 빠르게 처리된다. 특히 비트 플레인의 정합 과정에서 사용되는 논리 연산 XOR은 간단한 회로로 구현되기 때문에 움직임 추정에 필요한 하드웨어 구현이 용이하며, 이로 인하여 전체 시스템의 구조도 간단하게 구현된다.

#### 참고 문헌

- [1] K. Uomori, A. Morimura, H. Ishii, T. Sakaguchi, and Y. Kitamura, "Automatic image stabilizing system by full-digital signal processing," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 36, no. 3, pp. 510-519, August 1990.
- [2] J. K. Paik, Y. C. Park, and D. W. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 38, no. 3, pp. 607-615, August 1992.
- [3] A. Morimura and K. Uomori, "Motion vector detecting apparatus and image stabilizer including the same," *U.S. Patent*, no. 5,172,226, December 1992.
- [4] A. M. Tekalp, *Digital Video Processing*, Prentice-Hall, 1995.