

비트 플레인 정합에 의한 디지털 영상 안정화

정희원 이 성 희*, 전 승 원*, 고 성 제**

Digital Image Stabilization Based on Bit-plane Matching

Sung-Hee Lee*, Seung-Won Jeon*, Sung-Jea Ko** *Regular Members*

요약

본 논문에서는 비트 플레인 영상(bit-plane image)에서의 정합을 이용하여 디지털 영상 안정화를 수행하는 새로운 기법을 제안한다. 제안된 기법에서는 기존의 전역 탐색 알고리즘을 하나의 비트 플레인으로부터 추출한 이진 영상에 적용함으로써 움직임 추정에 소요되는 계산량을 줄이면서도 기존 방식들보다 우수한 움직임 추정 성능을 갖도록 하였다. 더욱이 제안된 기법은 조도 변화를 고려하여 비트 플레인을 선정하는데 있어서 적응 기법을 적용함으로써 견고한 성능을 갖도록 하였다.

Brute-force 방식을 기준으로 RMSE(root mean square error)를 이용하여 제안하는 방식과 기존의 방식들을 비교하였고, 실험 결과에서 제안하는 방식이 카메라의 움직임 벡터를 기존 방식들보다 정확하게 검출하고 있음을 확인하였다. 또한 제안하는 방식은 기존 방식들에 비해서 연산량이 작고, 보다 간단한 방식으로 디지털 영상 안정화를 수행하고 있다.

Abstract

In this paper, we propose a new digital image stabilization scheme based on the bit-plane matching. In the proposed algorithm, the conventional motion estimation algorithms are applied to the binary images extracted from the bit-plane images. It is shown that the computational complexity of the proposed algorithm can be significantly reduced by replacing the arithmetic calculations with the binary Boolean functions, while the accuracy of motion estimation is maintained. Furthermore, an adaptive algorithm for selecting a bit-plane in consideration of changes in external illumination can provide the robustness of the proposed algorithm.

We compared the proposed algorithm with existing algorithms using root mean square error (RMSE) on the basis of the brute-force method, and proved experimentally that the proposed method detects the camera motion more accurately than existing algorithms. In addition, the proposed algorithm performs digital image stabilization with less computation.

I. 서론

비디오 카메라의 분야에서는 크기와 무게를 줄이는 기술적 추세로 한 손으로도 장시간 사용할 수 있게 되

* 고려대학교 전자공학과

** 고려대학교 전기전자전파공학부

論文番號 : 98066-0214

接受日字 : 1998年 2月 14日

었지만 비교적 양손으로 지지하는 경우보다 불안정하고 줌 렌즈(zoom lens)는 점점 고배율화 되어 약간의 움직임에도 화면의 흔들림이 심화되는 문제점이 발생한다. 초기의 비디오 카메라에서는 각속도 센서(angular velocity sensor)를 이용하여 영상 안정화를 수행하였지만[1],[2],[7], 최근에는 입력되는 영상 신호에서 프레임(frame) 혹은 필드(field)간의 전역적인 움직임 추정을 통하여 손떨림에 의한 카메라 움직임 벡터를 검출하고, 프레임 메모리 혹은 CCD로부터 적당한 위치의 영상 데이터를 읽음으로써 손떨림에 의한 움직임을 보정하는 디지털 영상 안정화 기법이 이용되고 있다[3]-[6],[8].

비디오 카메라의 디지털 영상 안정화에서 실시간 처리를 위한 전역적인 움직임 추정 기법은 핵심 기술로 자리하고 있다. 이러한 전역적인 움직임 추정을 위하여 기존의 전역 탐색(brute-force) 알고리즘과 같은 움직임 추정 기법들을 적용하면 방대한 양의 계산으로 처리 시간이 길어지고, 하드웨어로 구현하였을 때 회로가 복잡해진다라는 문제점이 발생한다. 따라서 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 전역적인 움직임 추정에서 사용될 영상 데이터의 양을 줄여주는 대표점 정합(representative point matching: RPM), BERP(band extract representative point) 정합 방식 등과 같은 많은 고속 알고리즘들이 발표되었지만[3],[8], 이들은 움직임 추정 결과가 전역 탐색에 비해 부정확하다는 단점을 가지고 있다.

본 논문에서는 비트 플레인 정합(bit-plane matching: BPM)을 이용하여 전역적인 움직임을 추정[14],[15]하고 이를 보정하는 새로운 디지털 영상 안정화 기법을 제안한다. 제안된 기법이 갖는 큰 장점은 전역적인 움직임 추정에 이진 영상을 이용하기 때문에 기존의 알고리즘의 산술 연산들을 이진 논리 연산으로 처리함으로써 처리 시간을 크게 줄일 수 있다는데 있다. 그레이 영상으로부터 에지 등을 검출하고, 이로부터 이진 영상을 생성하여 전역적인 움직임 추정을 시도한 에지 패턴 정합(edge-pattern matching: EPM) 방식이 발표되었지만[4], 이러한 방식은 에지 추출 과정이 별도로 필요하고, 또한 에지 검출의 정확도에 따라서 움직임 추정 결과가 달라질 수 있다는 문제점을 안고 있었다.

제안하는 기법에서는 비트 플레인을 선정하는 과정

에서 조도 변화에 대한 비트 플레인의 특성을 이용하여 조도가 극단적으로 높거나 낮은 경우에서도 안정적으로 동작하도록 하였다. 또한 제안하는 기법에서는 움직이는 물체, 패턴이 존재하는 경우를 고려하여 전역적인 움직임 추정을 수행한다. 움직임을 추정하는 과정에서 움직이는 물체와 반복적인 패턴에 의하여 기대되는 상관 계수의 분포를 얻을 수 없기 때문에 정확한 움직임 벡터를 검출하기가 어렵다. 따라서 전역 움직임 벡터로 결정하는 과정에서 부정확하게 판정될 수 있는 매칭 블록의 움직임 벡터를 제외시킴으로써 움직임 추정 성능을 향상시킬 수 있었다. 그리고 비디오를 촬영하는 과정에서 의도적인 패닝(panning)이 발생하는 경우, 제안하는 기법은 전역적인 움직임 추정에서 결정된 움직임 벡터를 연속적으로 누적하여 의도적인 패닝의 발생을 검출하고 시각적 효과를 고려하여 이를 보정한다.

본 논문에서는 제안하는 기법의 성능을 평가하기 위하여 동영상에 직접 획득하였고, 이 동영상으로부터 손떨림에 의한 카메라의 움직임 벡터를 검출하는 실험을 수행하였다. 실험 결과에서는 기존 방식보다 우수한 성능을 갖는다는 것을 검증하였다. 제안하는 비트 플레인의 정합에서 사용되는 논리 연산은 간단한 회로로 구현되기 때문에 전역적인 움직임 추정에 필요한 하드웨어 구현이 용이하며, 이로 인하여 디지털 영상 안정화의 전체 시스템 구조도 간단하게 구현될 수 있다.

본 논문에서는 먼저 II 장에서는 비트 플레인에서의 이진 영상을 생성하는 방식과 전역적인 움직임 추정에 대한 전체적인 흐름을 제시한다. 그리고 III 장에서는 디지털 영상 안정화의 성능을 떨어뜨리는 요인들을 살펴보고, 이 요인들에 대해 견고한 특성을 갖으며 간단하면서도 우수한 움직임 추정 성능을 갖도록 하는 적응 기법들과 영상의 떨림을 보정하는 방식을 제시한다. 실험 결과 및 검토를 IV 장에서 다루고 V 장에서는 결론을 맺는다.

II. 손떨림에 의한 카메라의 움직임 벡터 검출

본 장에서는 비트 플레인 영상으로부터 생성한 이진 영상에서 전역적인 움직임 추정을 통하여 손떨림에 의한 카메라의 움직임 벡터를 검출하는 기법을 제시한다.

먼저 그레이 영상으로부터 비트 플레인 영상을 생성하는 방식을 설명하기로 한다.

1. 비트 플레인 영상의 생성

일반적으로 2^K 의 그레이 레벨을 갖는 비디오 영상의 한 프레임내에서 하나의 화소를 비트 플레인으로 표현하면 식 (1)과 같다.

$$f^k(i, j) = a_{K-1}2^{K-1} + a_{K-2}2^{K-2} + \dots + a_12^1 + a_02^0 \quad (1)$$

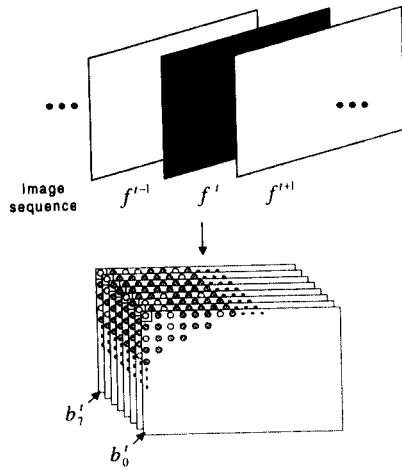


그림 1. 영상의 비트 플레인 분할
Fig. 1. Decomposing the image into bit-planes

여기서 $f^k(i, j)$ 은 시간 t 에서 프레임내의 (i, j) 번째 화소를 의미하고, 각 화소를 이루는 K 비트의 데이터들 중에서 동일한 위치의 이진 값 $a_k(0 \leq k \leq K-1)$ 들만을 모아서 하나의 이진 영상을 생성할 수 있는데, 이를 비트 플레인 영상이라고 한다. 그림 1은 256 그레이 레벨의 영상 f^t 을 8개의 비트 플레인으로 분할한 예를 보여준다.

2. 비트 플레인 정합에 의한 전역적인 움직임 추정

본 절에서는 동영상으로부터 생성한 특정 비트 플레인을 이용하여 전역적인 움직임 추정 기법을 제시한다. 그림 2는 비트 플레인 정합에 의한 전역적인 움직임을 추정을 통하여 순떨림에 의한 카메라의 움직임 벡터를 검출하는 과정이다. 그림 2에서 입력 영상을 프레

임 메모리에 저장하고 시간 t 에서 현재 프레임 f^t 와 이전 프레임 f^{t-1} 의 비트 플레인 생성기를 거쳐 특정 비트 플레인 영상을 각각 생성하고, 이들 비트 플레인내의 이진 값들이 상관 연산기로 입력된다. 상관 연산기는 대부분 실시간 처리를 위하여 병렬 처리 구조를 채택하고 있으며 탐색 영역의 개수만큼의 상관 계수를 출력하고, 이들로부터 최대 상관성을 보여주는 위치를 움직임 벡터로 결정하게 된다.

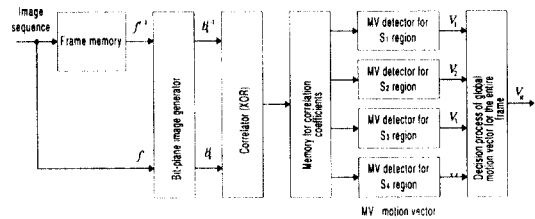


그림 2. 디지털 영상 안정화를 위한 전역적인 움직임 추정
Fig. 2. Global motion estimation for digital image stabilization

비디오 카메라를 이용하여 영상을 촬영하는 경우, 일반적으로 움직이는 피사체를 중앙에 맞추고 가장자리 부근은 배경 영역이 될 가능성이 높다. 따라서 전체 비트 플레인 영상을 이용하여 전역적인 움직임을 추정하지 않고, 그림 3과 같이 비트 플레인 생성기를 거친 매칭 블록(S_1, S_2, S_3, S_4)내의 이진 영상만을 이용한다.

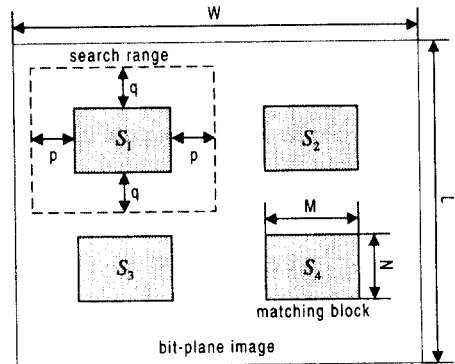


그림 3. 비트 플레인 영상내의 움직임 벡터 검출을 위한 매칭 블록
Fig 3. Matching blocks in the bit-plane image for motion vector detection

이때 매칭 블록내의 이진 영상은 회전 혹은 확대·축소되지 않고 동일하게 이동만 하였다는 가정 하에서 매칭 블록 당 하나의 움직임 벡터를 찾는 것이다.

현재 비트 플레인 영상내에 위치한 $M \times N$ 크기의 기준 매칭 블록의 움직임을 이전 비트 플레인에서 수평 방향으로 $\pm p$ 화소만큼, 수직 방향으로 $\pm q$ 만큼의 범위에서 추정한다. 따라서 이전 비트 플레인 영상내의 움직임 추정의 크기는 $(M+2p) \times (N+2q)$ 가 되고, 여기에서 총 $(2p+1) \times (2q+1)$ 개의 상관 계수를 계산한 후 최대 상관성을 보여주는 위치를 움직임 벡터로 결정한다.

그림 4은 현재 비트 플레인 영상 b_k^t 와 이전 비트 플레인 영상 b_k^{t-1} 에서 매칭 블록들간의 움직임 추정 기법을 보여주고 있다. 이 과정에서 이전 영상들로부터 수평·수직 방향으로 이동하면서 비교하여 상관 계수를 계산한다. 그 결과에서 최대 상관성을 보여주는 위치를 찾아 이를 움직임 벡터로 출력한다.

그레이 영상에서 블록의 움직임은 MSE(mean square

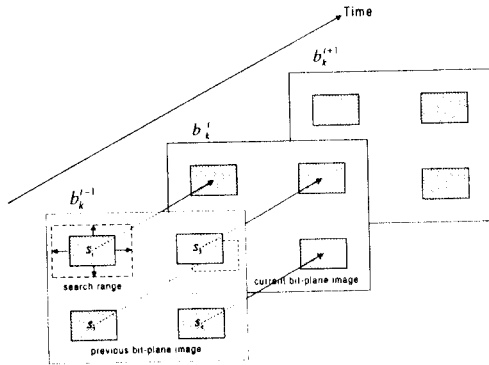


그림 4. 비트 플레인 정합에 의한 움직임 벡터 검출
Fig. 4. Motion vector detection using the bit-plane matching method

error)나 MAD(mean absolute difference)와 같은 상관 계수가 최소가 되는 지점을 찾음으로써 추정할 수 있지만, 이진 영상에서는 두 블록 간의 상관 계수로서 각 화소들끼리 XOR(exclusive OR)한 결과의 합을 이용하여 블록의 움직임을 추정할 수 있다. 따라서 매칭 블록 S_r 들간의 상관 계수 $C_r(m, n)$ 은 다음과 같이 계산된다.

$$C_r(m, n) = \sum_{(x, y) \in S_r} \{b_k^t(x, y) \oplus b_k^{t-1}(x+m, y+n)\}, \quad (2)$$

여기서 \oplus 은 논리 연산 XOR이고, (m, n) 은 탐색 영역내에서의 위치를 가르키며 $-M \leq m \leq M$ 이고, $-N \leq n \leq N$ 이다. 상관 계수가 최소가 되는 위치에서 매칭 블록간의 상관성이 가장 높다고 판단하여 각각의 매칭 블록에 대한 움직임 벡터 $V_r(m, n)$ 를 다음과 같이 결정한다.

$$V_r(m, n) = (m, n), \text{ for } \min\{C_r(m, n)\} \quad (3)$$

매칭 블록에서 검출된 움직임 벡터는 손떨림에 의해서 발생된 한 프레임의 전역적인 움직임 벡터 V_g 를 결정하기 위하여 사용된다. 각 매칭 블록에서 검출된 움직임 벡터의 수평·수직 방향 성분들을 크기 순으로 정렬하고 적당한 위치의 성분들을 추출하여 시간 t 에서의 카메라 움직임 벡터를 결정할 수 있다 [9].

비디오 카메라를 이용하여 촬영할 때 조도 변화 등과 같은 다양한 상황들이 발생한다. 이러한 상황에서 촬영된 영상들은 전역적인 움직임 추정 성능을 떨어뜨리는 요인들을 포함하고 있다. 따라서 이러한 요인들의 특성을 고려하는 적응 알고리즘에 대하여 다음 장에서 설명하기로 한다.

III. 비트 플레인 특성을 이용한 적응 알고리즘

비디오 카메라로 촬영시 다양한 상황으로 인하여 디지털 영상 안정화의 성능은 전체적으로 혹은 부분으로 떨어지게 된다. 제안하는 기법에서는 조도 변화, 움직이는 물체 그리고 패턴이 존재하는 경우의 영상에 대해서 적응 기법을 적용하여 전역적인 움직임 추정을 수행한다. 먼저 그레이 영상에서 비트 플레인 영상을 생성하는 과정에서 조도 변화를 고려한 적응 알고리즘을 사용하여 하나의 비트 플레인을 선정하는 방식에 대해서 설명한다.

1. 조도 변화를 고려한 비트 플레인 영상의 생성

그레이 영상에서 생성된 비트 플레인 영상의 특성을 살펴보면 상위 비트 플레인 영상들은 원영상의 전역적인 윤곽을 나타내고 있으며, 하위 비트 플레인으로 내려 갈수록 영상의 세부적인 정보를 포함하여 이진 값들이 랜덤하게 분포하고 있다. 따라서 적절한 비트 플

레인을 선정한다면 에지 검출 방식 등에 비해 원영상의 전체적인 윤곽과 세부적인 정보를 동시에 반영할 수 있는 이진 영상을 생성할 수 있다는 장점을 갖는다. 그런데 조도가 변화하였을 경우 전역적인 윤곽 정보와 세부적인 정보를 갖는 비트 플레인들이 이동한다. 다시 말해서 일반 조도에서 최상위 비트 플레인에서 가지고 있는 전역적인 윤곽 정보는 조도가 낮아지면 하위 비트 플레인으로 이동한다는 의미이다.

그림 5은 256 레벨의 그레이 영상을 비트 플레인 영상으로 변환한 예이다. 그림에서 볼 수 있듯이 b_7 , b_6 비트 플레인 영상들이 원영상의 전체적인 윤곽이나 세밀한 정보들을 동시에 포함하고 있어서 움직임 추정에 적합하다는 것을 알 수 있었다.

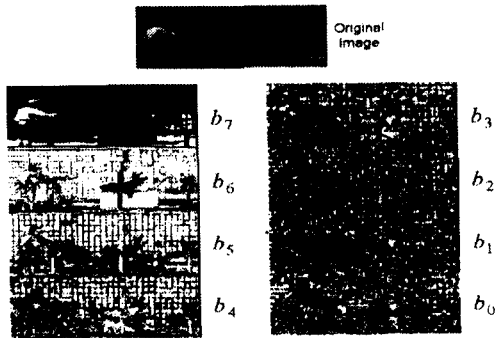


그림 5. 그레이 영상에서 비트 플레인 영상 생성의 예
Fig. 5. Example of generating bit-planes from a graylevel image

제안하는 기법에서는 원영상의 전체적인 윤곽과 세부적인 정보들의 분포 특성을 살펴보기 위하여 비트 플레인 영상내에서 이웃하는 화소 위치의 이진값들에 대한 전환 빈도수를 이용한다. 그림 5에서와 같이 상위 비트 플레인은 전역적인 정보를 포함하고 있기 때문에 이웃하는 이진값들의 전환 빈도수가 작고, 반대로 하위 비트 플레인으로 내려갈수록 세부적인 정보를 포함하면서 전환 빈도수가 크다. 따라서 이러한 비트 플레인 영상의 특성에 따라 이진값들의 전환 빈도수를 이용하여 다음과 같이 계산하고 이를 비트 전환 비율이라 한다.

$$Q_r = \frac{\sum_x \sum_y b_k^i(x, y) \oplus b_k^i(x-1, y)}{M \times N}, (x, y) \in S_r \quad (4)$$

여기서 Q_r 은 매칭 블록 S_r 의 비트 전환 비율이다. 이때 Q_r 은 수평 라인으로 입력되는 일차원 데이터만을 처리함으로써 간단하게 계산된다. 그리고 비트 플레인 영상에 대한 특성을 살펴보기 위하여 각 매칭 블록에서 계산된 4개의 비트 전환 비율 $Q_1 \sim Q_4$ 를 평균하여 \bar{Q} 을 구하고, 그 결과를 이용하여 원영상의 윤곽 정보와 세밀한 정보를 동시에 포함하고 있는 하나의 비트 플레인 영상을 선정한다.

조도 변화에 따라 적응적으로 하나의 비트 플레인을 선정하기 위한 방법은 그림 6와 같다. 우선 동영상의 첫 번째 프레임에서는 비트 플레인 영상을 생성하기 위하여 비트 레벨 k 와 매개 변수 α 를 초기화한다. 그리고 조도 변화에 따른 비트 플레인의 변경 여부를 결정하기 위하여 \bar{Q} 을 계산한다. 그림 6에서와 같이 \bar{Q} 와 α 를 비교하여 얻어진 결과가 임계값 T_1 보다 크면 조도 변화가 심하여 현재 설정된 비트 레벨을 변경한다. 현재 선정된 비트 플레인을 변경하는 경우에 \bar{Q} 가 α 보다 작으면 조도가 너무 낮은 경우이므로 비트 레벨을 한 단계 감소($k \leftarrow k-1$)한다. 반대로 \bar{Q} 가 α 보다 크면 조도가 너무 큰 경우이므로 비트 레벨을 한 단계 증가

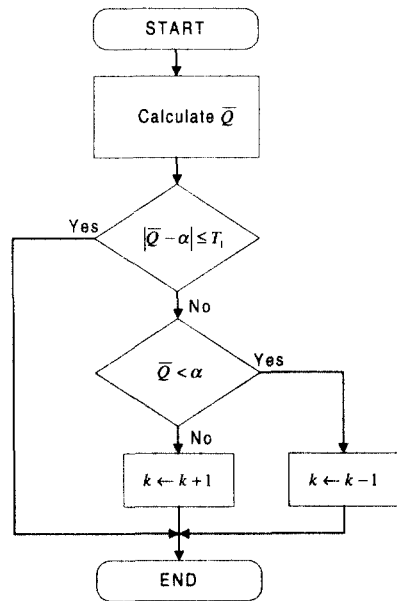


그림 6. 조도 변화에서 적절한 하나의 비트 플레인을 선정하는 방법
Fig. 6. Selection method for a proper bit-plane in consideration of contrast changes

($k \leftarrow k+1$) 한다.

따라서 원영상의 조도가 극단적으로 높거나 낮아서 생성된 비트 플레인 영상이 움직임 추정에 적합한 정보를 포함하고 있지 못하는 경우에 적응적으로 비트 플레인을 선정함으로써 보다 안정적인 디지털 영상 안정화를 수행할 수 있다.

2. 움직이는 물체와 패턴을 고려한 적응 기법

비디오 카메라로 촬영된 동영상에서 내부적으로 움직이는 물체와 패턴이 존재하는 경우에는 손떨림에 의한 움직임 벡터를 정확히 찾기가 어렵다. 왜냐하면 움직임을 추정하는 과정에서 움직이는 물체와 패턴이 상관 계수의 분포에 영향을 주기 때문이다.

제안된 기법은 상관 연산기에서 나온 상관 계수를 비교하여 매칭 블록의 움직임 벡터를 검출할 때 부정확하게 판정될 수 있는 결과를 프레임 움직임 벡터로 결정하는 과정에서 제외시킴으로써 보다 우수한 움직임 추정 성능을 갖도록 하였다. 그림 7은 움직이는 물체가 존재하는 경우의 동영상이고, 그림 8은 그림 7의 동영상에서 첫 번째와 두 번째 프레임간의 매칭 블록에 대한 상관성을 보여주고 있다.

그림 7에서 돌고래의 움직임과 그 움직임에 의한 물보라로 인하여 그림 8(c), (d)는 상관 계수의 분포가 최대 상관성을 갖는 위치에서 뚜렷하게 큰 값을 갖지 않는다. 따라서 상관 연산기에서 출력되는 매칭 블록별 상관 계수들의 평균 \bar{C}_r 을 구하고 최대 상관성을 갖는 비트 플레인 영상의 정합에서 매칭 블록내의 최소 상관 계수 C_{min} 을 다음과 같이 비교하여 움직이는 물체

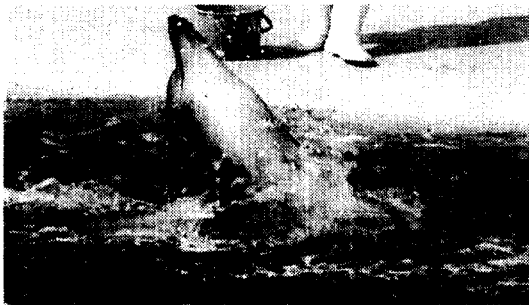


그림 7. 움직이는 물체가 존재하는 영상
Fig. 7. Image with moving objects

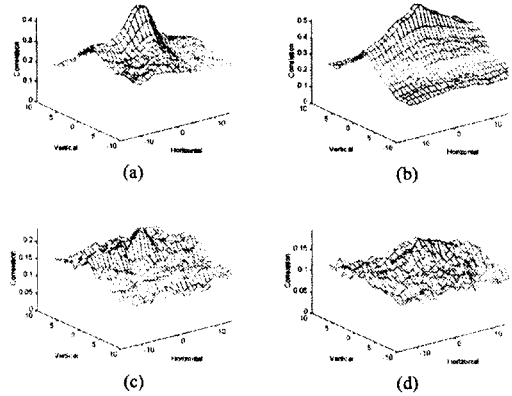


그림 8. 움직이는 물체가 존재하는 영상의 각 매칭 블록에서의 상관성.

(a) S_1 , (b) S_2 , (c) S_3 , (d) S_4

Fig. 8. Correlations obtained from each matching blocks in an image with moving objects.

(a) S_1 , (b) S_2 , (c) S_3 , (d) S_4

의 존재 여부를 판정한다. 만일 다음 조건이 만족하면 해당하는 매칭 블록에서 검출된 움직임 벡터를 (0, 0)으로 설정한다.

$$C_r - C_{min} < T_r \tag{5}$$

그림 9의 경우에는 수평 방향의 반복적인 패턴에 의하여 그림 10에서 상관 계수의 분포가 수평 방향으로 최대 상관성을 갖는 위치를 구분하기가 어렵다. 따라서 수평·수직 방향에 대한 반복적인 패턴의 존재 여부를 판정하여 패턴의 특성에 대응하는 적응 기법이 필요하다. 제안하는 기법에서는 다음과 같이 반복적인 패턴의 존재 여부를 판정한다.

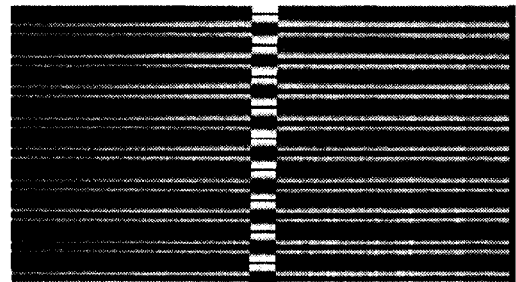


그림 9. 반복적인 패턴이 존재하는 영상
Fig. 9. Image with repeated patterns

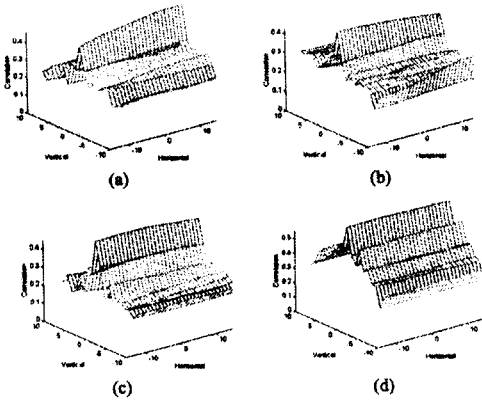


그림 10. 반복적인 패턴이 존재하는 영상의 각 매칭 블록에서의 상관성.

(a) S_1 , (b) S_2 , (c) S_3 , (d) S_4

Fig. 10. Correlations obtained from each matching blocks in an image with repeated patterns.

(a) S_1 , (b) S_2 , (c) S_3 , (d) S_4

$$C_r^h - C_{min} < T_h \quad (6.a)$$

$$C_r^v - C_{min} < T_v \quad (6.b)$$

여기서 C_r^h 와 C_r^v 은 그림 11와 같이 매칭 블록에서 수평·수직 방향으로 각각 최소 상관 계수와 인접한 상관 계수들의 평균이다.

매칭 블록에서 검출된 움직임 벡터에서 식 (6.a)나 혹은 식 (6.b)가 만족되면 수평 혹은 수직 방향의 패턴이 존재하는 것으로 간주한다. 그리고 패턴이 존재하는

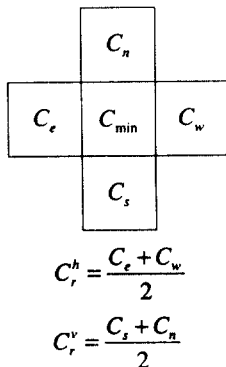


그림 11. C_r^h 와 C_r^v 의 계산
Fig. 11. Calculation of C_r^h and C_r^v

방향의 움직임 벡터 성분을 '0'으로 설정함으로써 시각적으로 안정된 손떨림에 의한 움직임 보정을 수행할 수 있다.

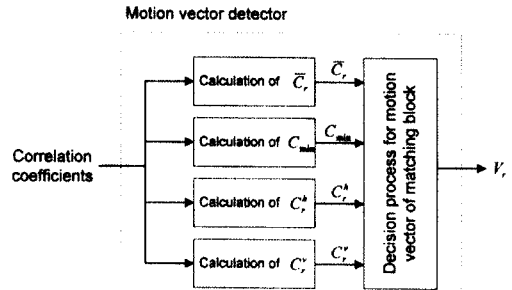


그림 12. 매칭 블록의 움직임 벡터 검출기
Fig. 12. Motion vector detector of matching blocks

따라서 움직이는 물체와 패턴을 고려하여 그림 2에서 매칭 블록의 움직임 벡터 검출기는 그림 12와 같이 구성된다. 그림에서 매개 변수들의 계산부와 매칭 블록에서 검출된 움직임 추정 성능을 향상시키는 움직임 벡터 적합성 판정부로 간단하게 구성된다.

3. 의도적인 패닝에 대한 적응 기법

의도적으로 카메라를 조금씩 한쪽 방향으로 이동하면서 피사체를 촬영할 때 패닝이 발생한다. 패닝이 수행되는 동안에는 사람 눈이 공간 해상도에 둔감해지므로 추정된 움직임에 따라 보정하는 것보다는 입력되는 영상의 움직임을 유지하는 것이 더 좋게 느껴진다. 또한 검출된 움직임 벡터를 이용하여 손떨림에 의한 움직임을 보정하면 프레임 메모리에서 디스플레이 영역이 계속적으로 감소하여 영상을 제대로 볼 수 없게 된다. 따라서 이러한 시각적 효과를 고려하여 그림 13과

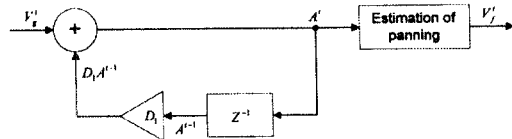


그림 13. 의도적인 패닝의 추정
Fig. 13. Estimation of intentional panning

값이 적응적으로 추정된 전역적인 움직임을 보정한다.

먼저 의도적인 패닝을 검출하기 위해 비트 플레인 정합 방식을 이용하여 손떨림에 의한 전역 움직임을 추정하고, 시간 t 에서 검출된 움직임 벡터 V_g^t 로 정의하고, 이 움직임 벡터에서 각각의 성분들을 다음과 같이 시간적으로 계속 누적한다.

$$A^t = D_1 A^{t-1} + V_g^t \quad (7)$$

여기서 A^t 은 시간 t 에서 누적 움직임 벡터를 의미하고, $D_1(0 < D_1 < 1)$ 은 감쇄 상수(damping coefficient)이다. 누적 움직임 벡터의 성분들이 임계값 T_p 보다 크면 패닝이 발생한 것으로 간주하고 식 (8)와 같이 패닝 동작 중에 보정할 최종적인 움직임 벡터 V_f^t 를 결정한다.

$$V_f^t = \begin{cases} D_2 A_p + V_g^t & \text{if } |A^t| > T_p, \\ A^t & \text{otherwise.} \end{cases} \quad (8)$$

여기서 A_p 은 누적 움직임 벡터가 T_p 보다 커지기 시작했을 때의 누적 움직임 벡터이고, $D_2(0 < D_2 < 1)$ 은 입력되는 영상의 움직임을 그대로 유지하는 보정 방식의 전환 과정에서 감박이는 현상을 제거하기 위해 사용된 감쇄 상수이다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 비교 분석

본 논문에서는 제안하는 기법의 시뮬레이션을 위해서 동영상을 직접 획득하였고, 이 동영상으로부터 손떨림에 의한 카메라의 움직임을 검출하는 실험을 수행하였다. 그리고 매칭 블록간의 MAD(mean absolute difference)를 사용하여 brute-force(BF) 방식으로 움직임 벡터 (\hat{x}, \hat{y}) 를 구하고, 그 결과를 기준으로 제안하는 비트 플레인 정합(BPM)과 기존의 대표점 정합(RPM), 에지 패턴 정합(EPM) 방식으로 검출된 움직임 벡터를 이용하여 다음과 같이 RMSE를 계산한다.

$$RMSE = \frac{1}{N} \sqrt{\sum_{n=1}^N (x_n - \hat{x}_n)^2 + (y_n - \hat{y}_n)^2} \quad (9)$$

그림 14에서 그림 18까지는 손떨림에 의한 카메라



그림 14. 첫 번째 실험 영상
Fig. 14. Test image sequence 1

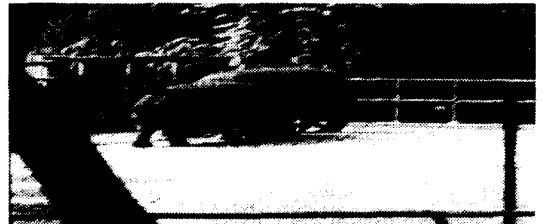


그림 15. 두 번째 실험 영상
Fig. 15. Test image sequence 2



그림 16. 세 번째 실험 영상
Fig. 16. Test image sequence 3



그림 17. 네 번째 실험 영상
Fig. 17. Test image sequence 4

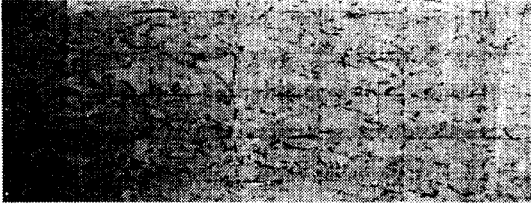


그림 18. 다섯 번째 실험 영상
Fig. 18. Test image sequence 5

의 움직임이 존재하는 실험 영상이다. 실험 영상은 256 그레이 레벨을 갖고 640×240의 공간 해상도를 갖고 150 프레임으로 구성되었다. 조도 변화를 고려한 비트 플레인 영상을 생성하기 위하여 III.1절에서 제안한 방식으로 동영상의 첫 번째 프레임에서는 비트 레벨을 4로 하고, α 와 T_1 은 각각 0.25, 0.1로 설정하여 실험을 진행하였다.

표 1. 실험 영상에 대한 RMSE
Table 1. RMSE for test image sequences

실험 영상 번호	RMSE		
	RPM	EPM	BPM
1	0.0275	0.1740	0.0149
2	0.0327	0.2931	0.0200
3	0.0240	0.1409	0.0211
4	0.0437	0.1799	0.0211
5	0.0340	0.3497	0.0211

표 1은 손떨림에 의한 카메라 움직임 벡터 검출의 정확성을 평가하기 위하여 실험 영상들을 이용하여 식 (9)과 같이 계산된 RMSE이다. 표 1의 세 번째 실험 영상에 대한 결과에서 제안하는 BPM은 0.02이고, 기존의 RPM은 0.024로 비슷한 성능을 보였지만 EPM은 0.1409로 다른 방식들에 비하여 성능이 떨어진다. 세 번째 실험 영상외의 다른 실험 영상들에서는 제안하는 BPM이 기존의 RPM과 EPM보다 brute-force 방식에 의하여 구한 결과에 더 가깝다는 것을 보였다. 따라서 제안하는 방식이 기존의 디지털 영상 안정화를 대체할 수 있는 성능을 갖고 있음을 실험에서 확인할 수 있었다.

프레임 메모리를 이용하여 손떨림에 의한 움직임을

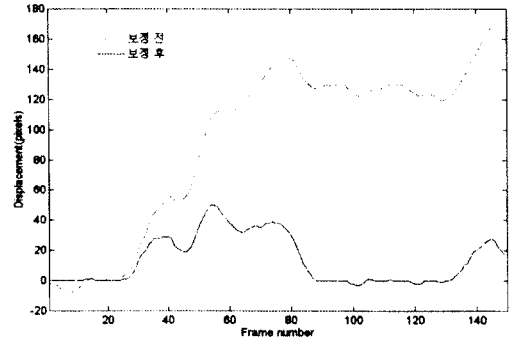


그림 19. 의도적인 패닝을 고려한 누적 움직임 벡터(수평 성분)
Fig.19. Accumulated horizontal component of motion vector in consideration of intentional panning

보정하는 것은 추정된 전역 움직임 벡터의 역방향으로 프레임 메모리내의 영상 데이터를 읽음으로써 가능하다. 일반적으로 프레임 메모리의 크기에 따라 영상의 보정 범위가 결정된다. 그런데 의도적인 패닝이 발생한 경우 손떨림에 의한 전역적인 움직임을 검출하고 그 결과에서 연속적으로 수평 방향 성분을 누적하면 그림 19와 같이 “보정 전”의 결과를 얻을 수 있다. 이 결과를 이용하여 프레임 메모리로부터 영상을 보정하면 디스플레이 영역이 계속적으로 감소하여 영상을 제대로 볼 수 없게 된다. 따라서 제한된 프레임 메모리의 크기내에서 손떨림에 의한 영상을 보정하기 위하여 III.3절에서 제안한 방식으로 의도적인 패닝을 검출하고 보정하면 그림 19에서 “보정 후”의 결과를 얻을 수 있다. 이때 프레임 메모리에서 여분의 크기를 수평 방향으로 60 화소라고 가정하여 T_0 는 60으로 하였고, D_1 과 D_2 는 각각 0.7, 0.995로 설정하였다. 제안하는 방식은 의도적인 카메라의 움직임을 그대로 유지 하면서 떨림 영상을 보다 안정적으로 보정한다.

V. 결 론

본 논문에서는 비트 플레인 정합에 의한 디지털 영상 안정화를 수행하는 새로운 기법을 제안하였다. 제안된 기법에서는 하나의 비트 플레인 영상을 생성하여 기존의 전역 탐색 알고리즘을 적용함으로써 전역적인 움직임 추정에 소요되는 계산량을 크게 줄이면서 기존의 대표점 정합이나 에지 패턴 정합 방식들 보다 우수한 추정 성능을 갖도록 하였다. 제안된 기법에서 하

나의 비트 플레인 영상을 생성하는 방식은 비트 플레인을 선정하는 데 있어서 적응 기법을 사용하였기 때문에 극단적으로 조도가 높거나 낮은 경우에 대처할 수 있다. 실험 결과에서는 제안하는 방식이 손떨림에 의한 카메라의 움직임 벡터를 기존 방식보다 정확히 검출한다는 것을 보였고, 간단하게 구현되는 제안된 방식이 기존의 디지털 영상 안정화를 대체할 수 있는 성능을 갖고 있음을 보였다. 특히 제안된 기법이 내부적으로 움직이는 물체가 존재하는 경우, 패턴이 존재하는 경우의 동영상에 대해서 보다 우수한 움직임 추정 성능을 갖도록 하였고, 의도적인 패닝을 검출하고 보정함으로써 시각적으로 안정된 영상을 얻을 수 있었다.

제안하는 방식은 비트 플레인 정합 과정에서 사용되는 논리 연산 XOR은 간단한 회로로 구현되기 때문에 움직임 추정에 필요한 하드웨어 구현이 용이하며, 이로 인하여 디지털 영상 안정화의 전체 시스템의 구조도 간단하게 구현될 수 있다.

참 고 문 헌

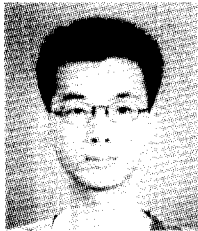
1. M. Oshima, T. Hayashi, S. Fujioka, and T. Inaji, "VHS camcorder with electronic image stabilizer," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 35, no. 4, pp. 749-758, Nov. 1989.
2. K. Sato, S. Ishizuka, A. Nikami, and M. Sato, "Control techniques for optical image stabilizing system," IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 39, no. 3, pp. 461-466, Aug. 1993.
3. 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, Aug. 1990.
4. 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, Aug. 1992.
5. T. Kinugasa, N. Yamamoto, H. Komatsu, S. Takase, and T. Imaide, "Electronic image stabilizer for video camera use, IEEE Trans. Consumer Electronics," vol. 36, no. 3, pp. 520-525, Aug. 1990.
6. H. Kusaka, K. Izumisawa, and K. Inokuma, "New image stabilizing system with high resolution," National Technical Report, vol. 41, no. 2, pp. 145-150, Apr. 1995.
7. M. Okada, "Video camera and video signal reproducing apparatus with shake detection and correction operation," U.S. Patent, no. 5,502,484, Mar. 1996.
8. A. Morimura and K. Uomori, "Motion vector detecting apparatus and image stabilizer including the same," U.S. Patent, no. 5,172,226, Dec. 1992.
9. Y. Egusa, H. Akahori, and A. Morimura, "Image Motion Vector Detecting Device and Swing Correcting Device," U.S. Patent, no. 5,237,405, Aug. 1993.
10. J. R. Jain and A. K. Jain, "Displacement Measurement and Its Application in Interframe Image Coding," IEEE Trans. Communication, vol. COM-29, no. 12, pp. 1799-1808, Dec. 1981.
11. J. Lu and M. L. Liou, "A Simple and Efficient Search Algorithm for Block-Matching Motion Estimation," IEEE Trans. Circuit and Systems for Video Technology, vol. 7, no. 2, pp. 429-433, Apr. 1992.
12. H. Gharavi and M. Mills, "Blockmatching Motion Estimation Algorithms-New Results," IEEE Trans. Circuit and System, vol. 37, no. 5, pp. 649-651, May 1990.
13. J. Hwang, Y. Ooi, and S. Ozawa, "A Motion/Shape Estimation of Multiple Objects Using an Advanced Contour Matching Technique," IEICE Trans. Inf. and Syst., vol. E77-D, no. 6, June 1994.
14. 이성희, 전승원, 윤석중, 박영준, 고성제, "비트 플레인 정합에 의한 영상 안정화," 한국통신학회 추계 종합학술발표회 논문집, 제 16 권, 제 2 호, pp. 636-639, Nov. 1997.
15. 이성희, 이경훈, 고성제, "비트 플레인 정합에 의한 움직임 추정 알고리즘," 한국방송공학회 학술대회 논문집, pp. 119-122, Nov. 1997.



이 성 희 (Sung-Hee Lee) 정회원
1993년 2월 : 고려대학교 정보공
학과 졸업(학사)
1995년 8월 : 고려대학교 대학원
전산학과 졸업(석
사)

1995년 9월 ~ 현재 : 고려대학교 대학원 전자공학과 박
사과정 재학중

*주관심분야 : 신호 및 영상처리, 멀티미디어 통신



전 승 원 (Seung-Won Jeon) 정회원
1997년 2월 : 고려대학교 전자공
학과 졸업(학사)
1997년 3월 ~ 현재 : 고려대학교
대학원 메카트로닉
스학과 석사과정
재학중

*주관심분야 : 영상 신호처리, 멀티미디어 통신



고 성 제 (Sung-Jea Ko) 정회원
1980년 2월 : 고려대학교 전자공
학과 졸업(학사)
1986년 5월 : State Univ. of New
York at Buffalo, 전
기 및 컴퓨터공학과
(박사)

1981년 8월 ~ 1983년 12월 : 대학전선 중앙연구소 연
구원

1988년 8월 ~ 1992년 5월 : The Univ. of Michigan
Dearborn, 전기 및 컴퓨터공학과 조교수

1992년 3월 ~ 현재 : 고려대학교 전기전자전파공학부
부교수

1996년 11월 : IEEE APCCAS best paper award

1997년 ~ 현재 : IEEE Senior Member

1997년 12월 : 대한전자공학회 해동 논문상 수상

*주관심분야 : 신호 및 영상처리, 영상 압축 및 통신,
멀티미디어 통신 등

E-mail: sjko@dali.korea.ac.kr