

논문 2008-45SP-5-3

적응적 움직임 추정영역 선택을 사용한 영상안정화 성능개선

(Improving Performance of Digital Image Stabilization using Adoptive motion estimation Area selection)

김 동 균*, 이 진 희*, 유 윤 중*, 백 준 기**

(Donggyun Kim, Jinhee Lee, Yoonjong Yoo, and Joonki Paik)

요 약

본 논문은 적응적 움직임 추정영역 선택을 사용한 디지털 영상안정화의 성능개선에 대한 새로운 방법을 제시한다. 움직임 추정을 위한 후보영역을 선정하고 그 중에서 제안하는 두 가지 방법인 다중 영상 참조와 윤곽에너지 판별을 통해 최종 움직임 추정영역을 선택한다. 정해진 영역에서 움직임을 추정하고 보상한다. 실험을 통해 제안하는 방법이 영상안정화의 성능을 향상 시킴을 보인다.

Abstract

In this paper we propose a novel method which improves digital image stabilization performance using adoptive selection of motion estimation area. Candidate area for motion estimation is decided and through two processes, multi image reference and edge energy distinction, final motion estimation area is selected. Then Motion estimation and compensation is following in selected area. Experimental results show that proposed method improves performance of digital image stabilization.

Keywords : image stabilization, edge detection , motion estimation

I. 서 론

최근 들어 디지털 카메라, 디지털 캠코더와 같은 디지털 영상획득장치의 빠른 발전과 함께 영상통신의 발달로 인해 디지털 콘텐츠의 사용이 증가하고 있다. 사용자 제작 콘텐츠(user created contents)가 발달하는 것도 한 예이다. 그에 따라 취득된 영상의 개선에 대한 사용자들의 요구 또한 증가하고 있다. 하지만 영상획득 장치의 발전에도 불구하고 사용자들을 만족시킬 수 있는 고품질 영상의 획득은 쉽지 않다. 디지털 캠코더의

경우 그 획득과정에서 캠코더의 불필요한 움직임이나 사용자의 손떨림은 영상의 질을 떨어뜨리는 큰 원인들 중의 하나이다. 이와 같은 문제를 해결하기 위해 다양한 영상안정화 기술들이 제안되었다^[1~5]. 하지만 다양한 영상에 공통적으로 적용되는 알고리즘은 아직 연구와 개발이 필요한 상황이다.

일반적으로 사용자들이 취득한 동영상은 객체와 배경의 두 가지 영역으로 나눌 수 있다. 객체는 동영상에서 중심이 되는 것이라면 배경은 그 주변의 것들이다. 풍경을 찍는다거나 하는 동영상에서는 객체와 배경을 반드시 분리할 수는 없지만, 대부분의 경우 객체를 중심으로 그것이 어떻게 변화하는가에 대한 관심을 가지게 마련이고 이 때 배경은 움직이지 않는 것이 일반적인 상황이다. 이 경우 객체와 배경을 구별하는 것이 영상안정화의 중요한 과정중의 하나가 되고 그 성능을 결정하는 핵심 요소가 된다.

본 논문은 영상안정화 성능을 획기적으로 개선하기

* 학생회원, ** 평생회원, 중앙대학교
(Chung-Ang University)

※ 본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울 미래형콘텐츠컨버전스 클러스터 지원 및 2008년도 중앙대학교 우수연구자연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터(홈네트 워크연구센터) 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

접수일자: 2008년1월11일, 수정완료일: 2008년8월7일

위해서 움직임 추정영역 선택에 대한 새로운 방법을 제시한다. 영상의 움직임을 추정할 때, 객체의 움직임은 무시하고 배경의 움직임만을 찾아내는 것이 이상적인데, 이 조건이 만족되더라도 다른 이유로 움직임을 추정하기 힘든 영역이라고 판단되면 해당 영역을 추가로 제외함으로써 최종 움직임 벡터의 정확도를 높인다. 이를 통해 최적의 움직임 추정 영역만을 적응적으로 선택하여 완벽에 가까운 안정화를 수행할 수 있게 된다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 기존의 영상안정화 기술을 정리 요약하고, 그 특징과 문제점을 분석한다. III장에서는 제안하는 방법을 소개하고, IV장에서는 실험을 통해 제안하는 방법의 성능을 기존 기술과 비교 분석한다. 마지막으로 V장에서는 결론과 향후 연구과제를 제시한다.

II. 기존의 영상안정화 기술

영상안정화 기술은 크게 두 부분으로 나눌 수 있다. 첫째, 이어진 두 프레임의 영상에서 움직임 추정영역을 정하고 그 영역에서 위상상관도를 이용해 움직임을 추정하는 부분이다. 둘째, 앞선 과정에서 구해진 움직임 벡터를 이용해 뒤의 프레임을 보상하여 영상안정화를 수행하는 부분이 있다. 움직임 보상은 단순히 평행이동을 수행하는 것으로 움직임 추정과정이 가장 중요하다.

1. 위상상관도

움직임 벡터는 인접하는 두 프레임간의 영상이 흔들린 정도를 화소단위로 나타낸 것을 의미한다. 시간상으로 뒤에 위치한 프레임을 움직임 벡터만큼 반대방향으로 평행이동했을 때 인접한 두 프레임은 흔들림을 느낄 수 없는 움직임 영상이 되고 이를 안정화 되었다고 한다. 본 논문에서는 움직임 벡터를 활상면과 평행한 이동으로 제한하여 가정한다.

위상상관도를 사용한 정합은 푸리에 변환의 공간이동 특성에 기반한다^[6]. 공간에서의 평행이동은 주파수 영역에서 위상의 차이로 나타난다. 이는 다음과 같이 유도할 수 있다.

2차원 벡터공간 R^2 에 존재하는 적분 가능한 두 함수 $f_k(x, y)$, $f_{k+1}(x, y)$ 가 다음과 같은 관계를 가질 때,

$$f_{k+1}(x, y) = f_k(x - d_1, y - d_2) \quad (1)$$

이들의 푸리에 변환 \hat{f}_k 와 \hat{f}_{k+1} 은 푸리에 시프트 특

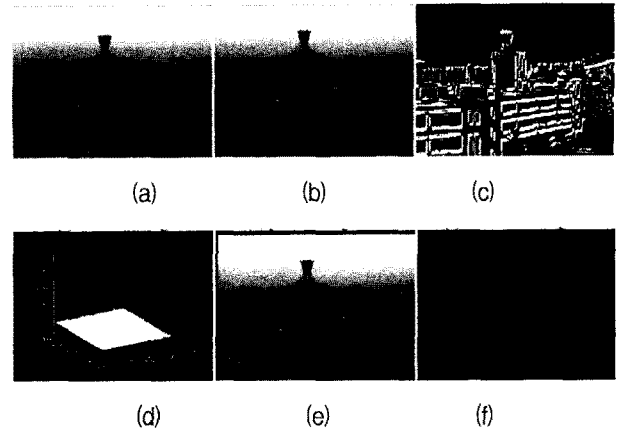


그림 1. 위상상관과 그 결과 (a) 이전영상, (b) 현재영상, (c) (a)(b)의 차분영상, (d) 위상상관, (e) 보상된 현재영상, (f) (a)(e)의 차분영상

Fig. 1. Phase correlation and its results.

성에 따라 다음과 같이 표현된다.

$$\hat{f}_{k+1}(u, v) = \hat{f}_k(u, v) \exp\{-j2\pi(ud_1 + vd_2)\} \quad (2)$$

따라서 정규화된 전력 스펙트럼은 다음과 같다.

$$\frac{\hat{f}_{k+1}(u, v)\hat{f}_k^*(u, v)}{|\hat{f}_{k+1}(u, v)\hat{f}_k^*(u, v)|} = \exp\{-j2\pi(ud_1 + vd_2)\} \quad (3)$$

여기에서 기호 $*$ 은 켈레 복소수를 의미한다. 이 관계에서 공간상의 이동량을 나타내는 (d_1, d_2) 를 구하기 위해 역푸리에 변환을 한다. 이렇게 하면 식(3)은 $\delta(x - d_1, y - d_2)$ 이 되고 이것은 (d_1, d_2) 만큼 평행이동된 임펄스를 나타낸다. 그림(a)가 이전 프레임의 영상이고 그림(b)가 현재 프레임의 영상일 때 그림(c)는 두 프레임간의 차분을 표시한 것이고 그림 1(d)는 앞서 설명한 임펄스를 나타낸다^[7]. 그림(e)는 움직임 벡터에 의해 보정이 된 영상을 보여주고, 그림(f)는 보정 후의 두 프레임간의 차분을 나타낸다.

2. 움직임 추정

움직임의 추정을 위하여 동영상의 각각의 프레임에서 특정 영역을 선택하게 된다. 영상 전체를 사용하지 않고 선택을 하는 데에는 두 가지 이유가 있는데, 첫째, 움직임 추정을 위한 위상상관 알고리즘은 고속 푸리에 변환(FFT)을 사용하는데 그 특징상 영상의 크기가 커짐에 따라 계산량이 기하급수적으로 늘어나기 때문이다. 둘째, 영상의 정보에는 그 움직임이 멈춰있길 바라

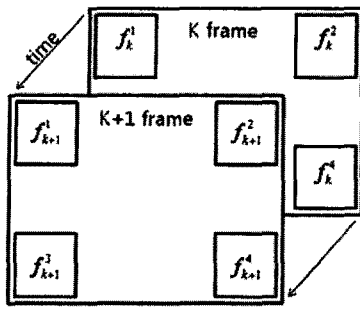


그림 2. 일반적인 움직임 추정영역 선택
Fig. 2. General motion estimation area selection.

는 곳이 있는 반면 움직임을 관찰하고 싶은 부분이 있다. 따라서 중요한 움직임을 갖는 객체 영역은 움직임 추정에서 제외시킬 필요가 있다.

일반적인 경우 영상의 중심에 객체가 있고 주변에 배경이 존재한다는 가정에 기반한다^[7]. 이러한 가정을 통해 그림2와 같이 위아래 좌우로 네 모퉁이에 움직임 추정을 위한 영역을 선택한 후 위상상관을 통해 움직임을 추정한다. 이렇게 얻어진 4개의 움직임 벡터는 평균되어 현재 프레임의 위치를 보상하는데 사용한다.

하지만 이와 같은 일반적 가정에 근거한 방법은, 특수한 경우 전혀 예상하지 못한 움직임 벡터가 추정될 수 있고, 이 경우 영상안정화를 수행하지 않은 것 보다 더 나쁜 결과를 초래할 수 있다는 단점이 있다. 예를 들어 배경이 아닌 객체가 움직임 추정영역으로 들어오게 된다면 그 객체의 움직임이 움직임 벡터에 추가 되어 영상은 더욱 흔들리게 되는 것이다.

III. 적응적 움직임 추정영역 선택

1. 움직임 추정영역 선택을 위한 후보영역 지정

그림 3은 영상안정화 시스템을 블록 다이어그램으로

나타낸 것이다. 영상이 입력되면 움직임을 추정할 후보 블록을 지정하고 그 중에 선택하게 된다. 선택된 블록들에서 움직임 벡터를 평균하여 구하고 그 움직임을 누적하면서 영상을 반대방향으로 보상한다.

본 논문에서 제안하는 움직임 추정영역 선택은 위의 과정 중에 움직임을 추정할 영역의 후보영역을 먼저 충분히 확보한 뒤 그 중에서 조건에 맞는 영역을 선택하는 것이다. 이 때 후보영역으로 사용될 곳을 정할 필요가 있는데 고려할 점은 위치와 개수, 크기 등이 있다. 후보영역의 위치는 영상을 전반적으로 고려하면서 골고루 퍼져 있어야 필요한 부분을 잘 찾아낼 수 있다. 크기는 앞서 설명한 고속 푸리에 변환의 특성에 따라 그 크기가 한정되는데, 최근 통용되는 PC환경에서 시뮬레이션 하였을 때 실시간이 가능하다고 여겨지는 초당 30프레임 처리를 위한 속도로는 64x64의 크기가 상한으로 여겨진다. 영상에서 특정 형태가 있어야 위상상관을 이용한 움직임 추정이 가능한데 움직임 추정영역의 크기가 작아지면 이와 같은 형태가 없을 가능성이 높아지고 위상상관의 정확도가 떨어지게 된다. 후보영역의 개수는 전체 영상의 크기에 따라 적응적으로 정해지는데 4절에서 소개될 실험에서는 1360x800의 영상에서 세로 4개 가로 6개 총 24개의 영상을 사용하였다. 후보영역은 많으면 많을수록 더 좋은 성능을 보이지만 계산량이 많아지기 때문에 영상 내에 고루 분포될 수 있는 정도의 적당한 수를 택해야 성능과 속도를 고루 갖출 수 있다. 이제 이렇게 정해진 후보영역에서 어떻게 객체 혹은 형태 없는 배경을 구별해낼 것인지 알아본다.

2. 다중 영상 참조를 이용한 선택

앞 절에서 영상에서 필요 없는 부분이 두 가지 있다 고 언급했다. 그 중 하나인 객체영역을 제거하기 위해

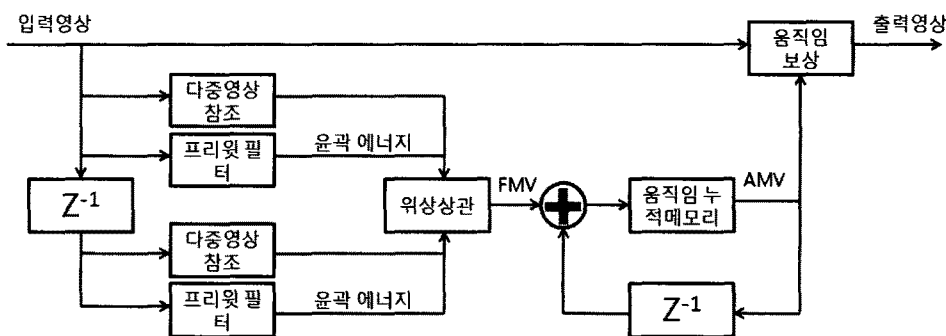


그림 3. 제안하는 영상안정화 알고리즘의 블록 다이어그램
Fig. 3. Block diagram of proposed DIS algorithm.

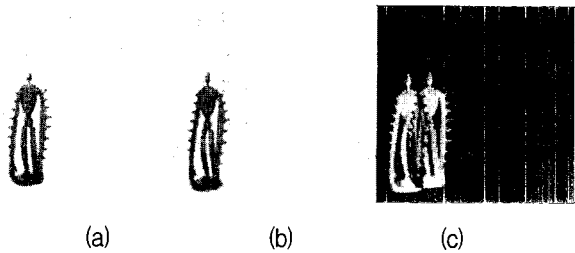


그림 4. 프레임간 차이를 이용한 객체 인식 (a) 4프레임 이전 영상 (b) 1프레임 이전 영상 (c) (a)(b)의 차분 영상

Fig. 4. Object detection using frame difference (a) previous four frame image, (b) previous one frame image, (c) difference between (a) and (b).

다중 영상 참조를 이용한다. 다중 영상 참조란, 기존에 바로 이전 프레임만을 이용하는 것이 아니라 몇 프레임마다 한 번씩 차분영상을 구해 변화를 측정하는 방법을 말한다. 이것은 배경의 움직임은 꾸준히 작고 되풀이되는 반면 객체의 움직임은 변화가 빠르고 움직임이 되풀이되지 않는다는 가정에 기반한다. 이러한 가정이 성립된다면 그 차분 영상을 구해 일정한 문턱치를 넘을 경우 그 영역을 움직임 추정영역에서 배제함으로써 객체의 움직임에 영향을 받지 않을 수 있다.

그림 4(a)는 현재 프레임의 4번째 전 프레임이고 그림 4(b)는 1번째 전 프레임이다. 이들의 차분을 구하면 그림 4(c)와 같은 영상이 나오는데 객체가 있는 영역이 높은 값을 가지는 것을 알 수 있다. 영상안정화가 이미 이루어진 영상이기 때문에 배경이 객체로 인식될 확률은 상당히 줄어들었다고 볼 수 있다. 이렇게 구해진 영역은 그 다음 3프레임 동안 움직임 추정 영역에서 제외함으로써 객체움직임의 영향을 줄일 수 있다.

3. 윤곽 에너지를 이용한 선택

움직임 추정에 문제가 되는 다른 하나는 형태가 없는 영역이다. 영상은 2차원의 신호이고, 신호가 변하지 않고 일정하다는 것은 위상의 정보가 미미하여 정합을 통해 움직임을 추정할 수 없음을 의미한다. 이러한 경우 위상상관도 정합을 이용한 움직임 추정이 불가능하다고 할 수 있다. 이것의 영향을 제거하기 위해 본 논문에서는 윤곽 에너지를 이용한다. 윤곽 에너지란 윤곽 필터를 통해 취득한 윤곽영상에서 윤곽으로 선택된 화소의 개수를 모두 합한 것을 말한다. 이렇게 얻어진 윤곽 에너지를 순위를 정해 패턴이 가장 많은 영역 4개를 선택한다. 이 때, 문턱치를 주어 최소한의 패턴도 없는 영상이라 간주되면 영역을 4개 이하 혹은 0개의 영역이 선

택될 수도 있게 된다. 이는 최악의 경우 움직임을 보상하지 않는 것이 잘못된 정보로 보상하는 것 보다 낫기 때문이다.

앞서 소개한 두 방법을 통해 움직임을 추정하기 가장 적합한 영역을 찾을 수 있다. 이렇게 영역이 정해지게 되면 움직임을 추정하고 그 움직임 벡터를 보상해주면 알고리즘이 완성된다. 다음 절에서 실험을 통해 알고리즘의 성능을 기존 방식들과 비교하여 평가한다.

IV. 실험결과

일반적인 영상안정화 방법과 제안하는 움직임 추정영역 선택 방법이 추가된 영상안정화 방법의 비교를 위해 먼저 움직임 추정영역의 선택 과정을 실험을 통해 보인다.

그림 5는 움직임 추정영역 선택을 위해서 초기 지정한 후보영역들을 보인다. 이제 이 24개의 후보영역에서 앞 절에서 제안한 두 가지 방법을 이용하여 움직임 추정영역을 선택한다.

첫 번째는 다중 영상 참조를 이용해 객체영역을 판단

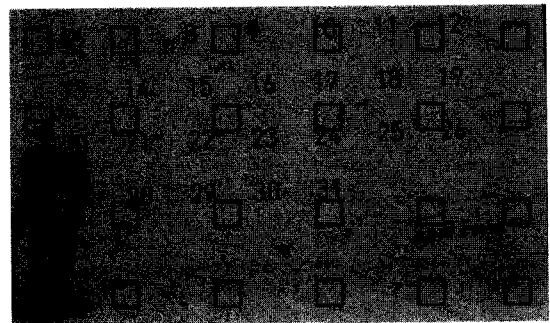


그림 5. 움직임 추정영역 선택을 위한 후보영역 지정
Fig. 5. candidate area decision for motion estimation area selection.

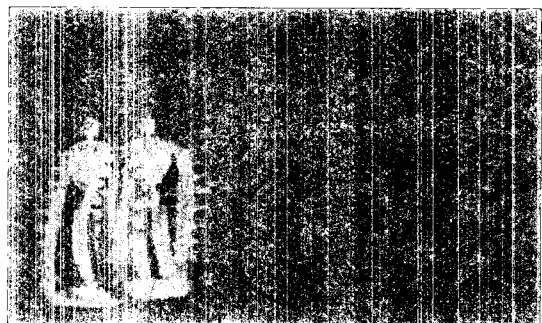


그림 6. 4프레임 전의 영상과 1프레임 이전 영상의 차분
Fig. 6. Difference between 4th and 1st preceding frame.

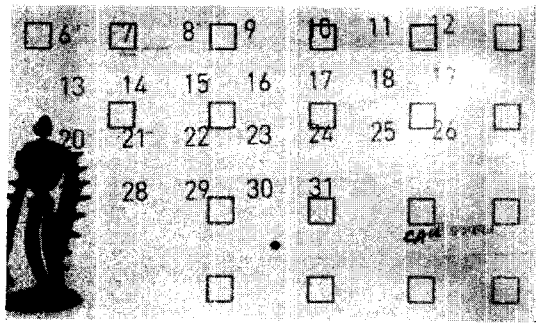


그림 7. 다중영상참조를 이용해 후보영역을 걸러낸 결과

Fig. 7. Result of selection using Multi image reference.

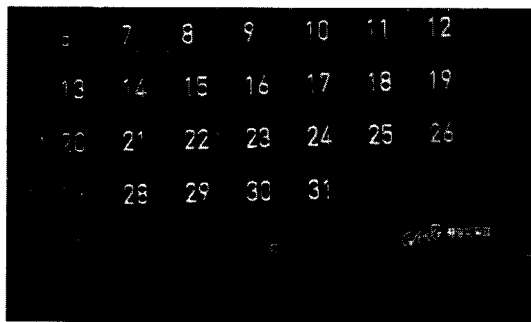


그림 8. 프리윗 필터링한 영상을 이진화한 영상

Fig. 8. Prewitt filtered Image.

하고 제거한다. 그림 6은 4프레임 전의 영상과 1프레임 전의 영상의 차분을 보여준다. 이 영상의 밝은 부분은 변화가 심한 영역으로서 객체가 있다고 판단하여 다음 3프레임 동안 움직임 추정영역에 포함시키지 않는다.

그림 7은 다중영상참조를 이용해 후보 영역 중 객체라고 판단된 영역을 제거한 영상이다. 그림과 같이 자동차와 사람의 움직임이 있는 곳은 사각형이 제거된 것을 볼 수 있다. 남아 있는 사각형의 영역들에서 두 번째 방법인 윤곽 에너지를 이용한 선택이 수행된다.

윤곽 에너지를 이용한 영역 선택은 원영상을 윤곽 추출 필터를 이용해 처리한 후 에너지를 계산하는 것이다. 실험에 사용된 윤곽 추출 필터는 프리윗(prewitt) 필터로 윤곽을 찾는데 쓰이는 기본적인 필터 중의 하나이다. 그림 8은 이를 이용해 윤곽을 추출한 후 문턱치 80으로 이진화한 영상을 보여준다.

실제로 영상안정화를 수행할 때에는 그림 8과 같이 전체 영상을 처리하지 않고 후보영역만은 필터링하여 계산량을 줄인다. 그렇게 구해진 후보영역의 이진 영상의 1값을 각각 모두 더한 것이 윤곽 에너지가 되고 그 에너지의 크기가 큰 순서대로 4개의 영역을 찾게 되면 그림 9의 사각형 영역이 최종적으로 선택되게 된다.

이렇게 영역을 선택한 후 움직임 추정과 보상을 수행

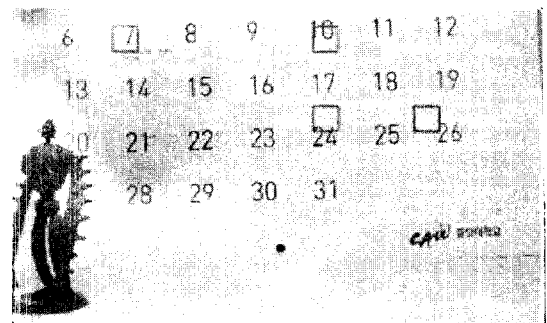


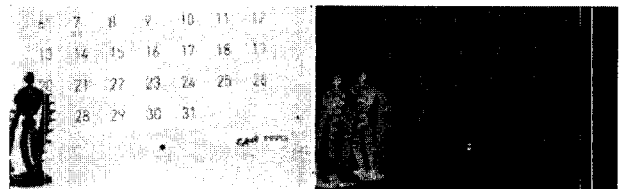
그림 9. 최종 선택된 움직임 추정영역

Fig. 9. Final selected motion estimation area.

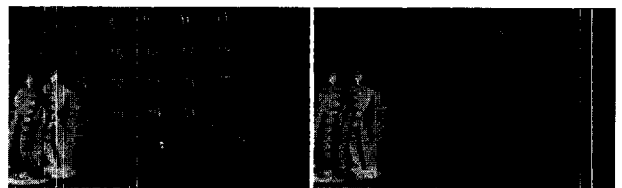
표 1. 모든 후보영역에서의 움직임 벡터

Table 1. Motion vector of all candidate area.

31, -4	0, 13	20, 11	-1, 13	0, 0	14, -14
-28, -31	-30, -31	-11, 13	0, 13	0, 13	28, 15
0, 0	-13, 1	0, 27	-20, -2	-19, 1	-1, 27
0, -15	-5, 24	-32, -24	-13, -21	2, -25	-16, 0



(a) 현재 프레임 (b) 안정화되지 않은 차분영상



(c) 일반적인 방법 (d) 제안하는 방법

그림 10. 일반적인 방법과 제안하는 방법의 실험 결과 비교. (a)는 원영상의 현재프레임이고, (b)는 이전 프레임과 현재 프레임의 차분, (c)는 일반적인 방법으로 안정화하여 차분한 영상 (d)는 제안하는 방법으로 안정화하여 차분한 영상이다.

Fig. 10. Result comparison between general method and proposed method. (a) current frame, (b) non-stabilized image difference, (c) stabilized image difference using general method, (d) stabilized image difference using proposed method.

한다. 후보영역을 선택하지 않고 모든 영역에서 움직임을 추정한 결과는 표 1과 같다.

표 1의 값들은 각각의 후보영역에서 추정된 움직임 벡터를 (x, y)의 형태로 표시한 것이다. 여기서 흰색으로 표시된 벡터가 최종 선택된 영역의 움직임벡터이다. 각각의 방식에 따른 최종 움직임 벡터를 계산하면 일반

적인 방법에서는 (7, 9)가 나오고 제안한 방법에서는 (0, 13)이 나온다. 이 결과를 가지고 영상에 보상한 결과를 비교한 것이 그림 10이다.

그림 10(b)에서 볼 수 있듯이 영상은 사용자의 손떨림에 의해 객체는 물론 배경까지도 흔들린 것을 확인할 수 있다. 이를 일반적인 방법으로 안정화하게 되면 왼쪽 아래에 위치한 객체의 움직임의 영향으로 잘못된 움직임벡터가 나오게 된다. 그 결과 영상은 더욱 불안정해진다. 하지만 제안된 방법으로 영역을 지정하고 움직임을 추정하게 되면 객체의 움직임이 움직임 벡터에 영향을 줄 수 있는 영역을 제외하고 움직임을 추정하므로 영상안정화가 잘 되었음을 알 수 있다. 그림 10(c)와 그림 10(d)의 차분영상에서 그 배경을 보면 차이를 쉽게 확인할 수 있다.

IV. 결론 및 고찰

본 논문에서는 영상안정화에서 필요한 움직임 추정 영역의 선택에 대한 새로운 방법을 제시했다. 제안된 방법은 영상의 인접 두 프레임뿐 아니라 일정시간 떨어져 있는 프레임을 참조함으로써 객체의 움직임을 분리하고 에지 에너지를 이용하여 형태가 없는 영역의 움직임 또한 분리할 수 있다. 이러한 방법을 통해 기존의 영상안정화 기술을 한층 안정적으로 향상시킬 수 있다.

본 연구의 향후 연구과제는 에지 에너지의 이용을 정교화하여 좀 더 절대적인 기준을 가지는 것에 있다. 그리고 위상상관을 이용한 움직임추정을 화소의 단위보다도 작은 단위로 추정하여 그 보상 또한 화소보다도 작은 단위로 할 수 있는 것이다. 이는 계산량의 증가를 가져오는데, 이 부분의 연구가 필요한 상황이다.

Acknowledgement

본 연구는 서울시 산학협력사업으로 구축된 서울미래형콘텐츠컨버전스 클러스터 지원 및 2008년도 중앙대학교 우수연구자연구비 지원과 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 대학 IT연구센터(홈네트워크연구센터) 육성·지원사업의 연구결과로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] S. Ko, S. Lee, S. Jeon, and E. Kang, "Fast digital image stabilizer based on gray-coded bitplane matching," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 45, pp. 598-603, 1999.
- [2] J. Paik, Y. Park, and D. Kim, "An adaptive motion decision system for digital image stabilizer based on edge pattern matching," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 38, pp.607-615, 1992.
- [3] K. Uomori, A. Morimura, H. Ishii, and Y. Kitamura, "Automatic image stabilization system by full-digital signal processing," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 36, pp. 510-519, 1990.
- [4] F. Vella, A. Castorina, Massimo, and G. Messina, "Digital image stabilization by adaptive block motion vectors filtering," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 48, pp. 796-801, 2002.
- [5] S. Erturk, "Digital Image Stabilization with Sub-Image Phase Correlation Based Global Motion Estimation," *IEEE Trans. Consumer Electronics*, vol. 49, pp. 1320-1325, 2003.
- [6] A. Oppenheim, A. Willsky and S. Hamid Nawab, "Signals and Systems", Prentice Hall, 1997.
- [7] O. Kwon, J. Shin, and J. Paik, "Video stabilization using Kalman filter phase correlation matching," Proc. ICIAR 2005, LNCS, vol. 3656, pp. 141-148, September 2005.
- [1] S. Ko, S. Lee, S. Jeon, and E. Kang, "Fast digital image stabilizer based on gray-coded

저 자 소 개



김 동 균(학생회원)
 2007년 중앙대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2008년 현재 중앙대학교 첨단영상
 대학원 석사과정 재학중.
 <주관심분야 : 영상안정화, 영상
 복원>



이 진 희(학생회원)
 2001년 중앙대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2004년 중앙대학교 전자전기
 공학부 석사 졸업.
 2008년 현재 중앙대학교 첨단영상
 대학원 박사과정 재학중.
 <주관심분야 : 영상안정화, 영상복원>



유 윤 중(학생회원)
 2005년 중앙대학교 전자전기
 공학부 학사 졸업.
 2007년 중앙대학교 첨단영상
 대학원 석사 졸업.
 2008년 현재 중앙대학교 첨단영상
 대학원 박사과정 재학중.
 <주관심분야 : 영상복원, 영상압축>



백 준 기(평생회원)
 1984년 서울대학교 제어계측
 공학과 학사 졸업.
 1987년 노스웨스턴대학교 전기 및
 컴퓨터 공학과 석사 졸업.
 1990년 노스웨스턴대학교 전기 및
 컴퓨터 공학과 박사 졸업.
 2008년 현재 중앙대학교 첨단영상대학원
 영상공학과 교수
 <주관심분야 : 영상복원, 신호처리, 반도체>