

논문 2010-47SP-6-2

근접감시용 무인항공기 시스템을 위한 영상 안정화 알고리즘

(Image Stabilization Algorithm for Close Watching UAV(Unmanned Aerial Vehicle) Aystem)

이 홍 석*, 이 태 영*, 김 병 수**, 고 윤 호***

(Hong suk Lee, Tae yeoung Lee, Byoung soo Kim, and Yun-ho Ko)

요 약

본 논문에서는 움직임 분리와 안정화 모드를 이용하여 근접감시용 무인항공기의 영상을 안정화 시키는 알고리즘을 제안하였다. 무인 항공기에서 촬영된 영상에는 임무에 의한 움직임과 기체의 진동에 의한 움직임이 혼합되어 나타난다. 영상을 안정화하기 위해서는 진동에 의한 움직임을 제거하여야 한다. 제안된 알고리즘에서는 연속된 두 영상의 전역움직임을 6계수 움직임 모형과 2계수 밝기변화 모형으로 모델링하고 Gauss-Newton 알고리즘에 기반한 비선형 최소 제곱법(non-linear least squares)을 이용하여 움직임을 추정하였다. 추정된 움직임에서 IIR 필터를 이용하여 진동에 의한 움직임을 분리하여 제거함으로써 영상을 안정화 하였다. 또한 안정화 영상 생성시 시점의 변화가 많은 실제 무인항공영상에 적용하기 위하여 초기화 상태와 안정화 상태의 두 가지의 상태를 가지는 안정화 모드를 제안하였다. 실험결과 99%의 정확도로 전역 움직임을 추정하였고, 90%의 진동에 의한 움직임 제거 성능을 보였다. 또한, 제안한 알고리즘을 실제 항공영상에 적용하여 영상이 안정화 되는 것을 확인하였다.

Abstract

This paper proposes an image stabilization algorithm for close watching UAV(Unmanned Aerial Vehicle) using motion separation and stabilization mode. The motion of UAV is composed of its actual navigating motion and unwanted vibrating motion so that image sequences obtained from UAV are shaken randomly. In order to stabilize these images we separate the vibrating motion component from UAV motion and remove the effect caused by it from image sequences. In the proposed algorithm the motion and global intensity change of two consecutive images are modeled with 6 motion parameters and 2 intensity change parameters respectively. These modeled parameters are estimated by non-linear least square method based on Gauss-Newton algorithm. The vibrating motion component is separated from the estimated motion using IIR filtering and the geometric deformation caused by it is removed from image sequences. In order to apply the proposed method to real aerial image sequences with many abrupt changes of camera view, we proposed a stabilizing method using two different modes named as stabilizing and non-stabilizing mode. Experimental results show that the accuracy of motion estimation is 99% and the efficiency of removing the vibrating motion component is 90%. We apply the proposed method to real aerial image sequences and verified its stabilizing performance.

Keywords : Image stabilization, UAV, Non-linear least squares, Gauss-Newton, Stabilization mode

I. 서 론

항공기를 원격조종하여 적의 기지를 정찰하고 정밀

유도폭탄과 미사일을 이용해 폭격하는 등 무인항공기를 이용한 전쟁은 더 이상 미래의 일이 아니다. 또한, 수백 헥타르에 이르는 넓은 대지에 무인항공기를 조종하여 씨를 뿌리거나 농약을 살포하는 등의 일은 이미 현실화 되고 있다. 이러한 무인항공기를 운용하는데 있어서 중요한 요소는 항공기의 엔진, 무선통신장비, 기체 제어 등 여러 가지가 있지만, 각종 영상 정보를 제공해주는 영상 조종장비는 근접감시를 위하여 운용되는 무인항공기에서는 특히 중요한 요소이다.

* 학생회원, *** 정회원, 충남대학교 메카트로닉스공학과
(Department of Mechatronics Engineering,
Chungnam National University)

** 정회원, 충남대학교 항공우주공학과
(Department of Aerospace Engineering, Chungnam
National University)

접수일자: 2010년3월16일, 수정완료일: 2010년8월10일

무인항공기는 일반항공기에 비해 상대적으로 크기가 작기 때문에 항공기의 고유 임무에 의한 움직임과는 별도로 내부적으로 항공기 엔진 및 프로펠러 작동에 의한 진동과 외부적으로 공기역학적인 외란에 의하여 영상에 흔들림 현상이 발생하게 된다. 이러한 흔들림 현상은 영상 조종장비의 효과적 운용을 제한하게 된다. 따라서 영상의 흔들림 현상을 상쇄하여 영상을 안정화 시켜 주어야 한다.

안정화 방법으로는 높은 안정화 정확도를 가지지만, 고비용이 요구되고, 시스템이 복잡한 하드웨어 방법과 시스템이 간결하고 저비용이지만 안정화 정확도가 비교적 낮은 소프트웨어 방법이 있다. 최근 촬상소자 및 영상처리 알고리즘의 발전으로 인하여 소프트웨어 방법의 정확도가 개선되고 있기 때문에 본 논문에서는 소프트웨어 방법의 영상 안정화 기법을 사용하였다.

그림 1은 소프트웨어 방법에 의한 영상 안정화 알고리즘의 흐름도이다. 영상조종장비로부터 획득한 이전 영상을 참조영상(reference image)이라 하고 무인항공기의 움직임으로 인하여 시점이 바뀌게 된 이후 획득한 영상을 현재영상(current image)이라 할 때 참조영상과 현재영상에서 전역움직임을 추정한다. 이렇게 추정된 전역움직임에서 무인항공기의 임무에 의한 움직임을 추정하여 빼주면 진동에 의한 움직임만 분리해 낼 수 있고 이것을 역 보상 해줌으로써 영상을 안정화 시킬 수 있다.

위와 같이 소프트웨어적으로 영상을 안정화하기 위해서는 연속된 두 영상간의 움직임 추정이 필요하다. 움직임 추정 방법으로 두 장의 영상에서 대표점, 라인, 경계 패턴 등 특징점을 추출하여 정합하는 방법을 주로 사용한다.^[1~6] 또한, 특징점을 추출하되 그대로 정합하여 움직임을 추정하지 않고, 특징점으로 신뢰성 높은 영역을 선택하여 영역을 정합하는 방식도 사용한다.^[7~9] 이러한 방법의 경우 병진운동에 의한 움직임만 추정 가능하다는 단점이 존재하여 병진 및 회전 움직임을 하나의 등가 회전 모델로 표현하여 움직임을 추정하는 방법이 개발되었다.^[10~11] 본 논문에서는 회전, 병진운동뿐만

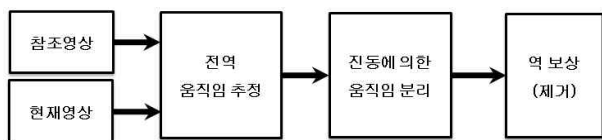


그림 1. 영상 안정화
Fig. 1. Image stabilization.

아니라 무인항공기에서 발생 할 수 있는 크기 및 전단 변형을 표현할 수 있는 6계수의 어파인 변환으로 두 영상을 모델링하였고, 전역 밝기변화까지 고려하여 움직임을 추정하는 방법을 제안하였다. 또한, 전역 움직임을 빠르게 추정하기 위하여 고속 움직임 추정 기법을 사용하였고, 움직임 분리를 이용하여 진동에 의한 움직임을 제거하여 안정화 영상을 생성하였다. 영상의 시점 변화가 자주 발생하는 실제 항공영상에 적용 가능하도록 상태 천이를 이용한 안정화 모드를 개발하여 적용하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서 전역 움직임 추정 기법에 대하여 설명하고, III장에서는 영상 안정화 방법에 대하여 설명한다. IV장에서는 상태 천이를 이용한 안정화 기법에 대해 설명하며, V장에서는 실험 결과를 보여주고, VI장에서 결론을 내린다.

II. 본 론

1. 전역 움직임 및 밝기 변화 모델링

근접 감시용 무인항공기에는 병진, 회전, 크기 및 전단변형 등이 나타날 수 있기 때문에 그림 2와 같은 4가지의 움직임을 표현할 수 있는 어파인 변환을 사용하여 두 영상을 모델링하였다. 어파인 변환은 6계수 움직임 모델로 이동 계수를 $c_1, c_2, c_3, c_4, c_5, c_6$ 라 할 때 식 (1)로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} x' &= c_1x + c_2y + c_3 \\ y' &= c_4x + c_5y + c_6 \end{aligned} \tag{1}$$

전역 밝기변화는 그림 3에서와 같이 영상 전체에 균

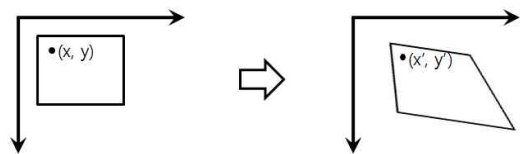


그림 2. 어파인 변환
Fig. 2. Affine transformation.



그림 3. 전역 밝기변화
Fig. 3. Global intensity change.

일하게 발생하는 밝기 변화로 카메라 자동 노출보정 및 구름 등으로 인하여 발생하게 된다. 이러한 전역 밝기 변화는 전역 움직임을 추정하기 위한 영상 해석을 하는데 있어서 장애 요소가 된다. 따라서 화면간 움직임 추정을 위해 단순히 전역 움직임만을 모델링 하지 않고, 화면간 전역 밝기변화를 추가로 모델링 하여 보다 정확한 전역움직임을 추정하였다.

전역 밝기변화의 원인이 되는 광원 및 카메라의 자동 이득제어과정의 시간적 변화가 최종적으로 획득된 영상의 밝기 값에 미치는 영향을 일반적으로 모델링하는 것은 매우 어렵다. 본 논문에서는 일정 시간 간격으로 입력되는 영상의 전역 밝기변화를 실험을 통해 관찰하고 이를 모델링하였다. 이를 위해 두 영상의 밝기가 어떻게 변화되었는지를 확인하기 위해 상호도수 분포도(cross histogram)를 이용하였다. 상호도수 분포도는 한 영상의 밝기 값이 전역 밝기 변화에 의해 다른 밝기 값으로 변화된 빈도를 이차원 함수로 표현한 것이다. 이를 통해 참조 영상의 밝기값 $I(x,y)$ 와 현재 영상의 밝기값 $I'(x,y)$ 의 전역밝기변화를 식 (2)에서와 같은 1차원 식으로 모델링 하였다.

$$I'(x,y) = c_7 I(x,y) + c_8 \quad (2)$$

2. 비선형 최소 제곱법을 이용한 계수 추정

전역의 움직임과 밝기변화를 따로 모델링 하였지만 이 두 모형의 계수를 별도로 처리하지 않고 두 모형의 계수를 동시에, 즉 8개의 계수를 가진 하나의 모형처럼 생각하여 8개의 계수를 Gauss-Newton 알고리즘에 기반한 비선형 최소 제곱법을 사용하여 추정하였다. 이를 위해 식 (3)과 식 (4)와 같이 오차함수와 목적함수를 각각 정의하였다.

$$f_i(C) = [P_i^{curr}(C) - P_i^{ref}] \quad (3)$$

$$G(C) = \sum_{i=1}^n [P_i^{curr}(C) - P_i^{ref}]^2 \quad (4)$$

C 가 II장에서 설명한 움직임 모델링 계수 $c_1 \sim c_6$ 와 밝기변화 계수 c_7, c_8 을 성분으로 하는 벡터라고 하자. 이때, P_i^{ref} 는 참조 영상(reference image)의 i 번째 화소값이고, $P_i^{curr}(C)$ 는 현재 영상(current image)의 i 번째 화소를 C 를 통해 이동과 밝기를 변화시켰을 때의 화소값이다. $f_i(C)$ 는 i 번째 화소에서 $P_i^{curr}(C)$ 와

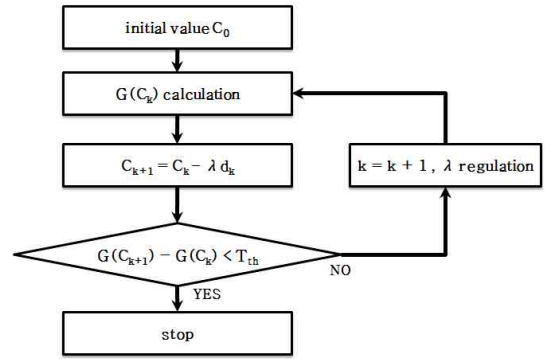


그림 4. 비선형 최소 제곱법의 흐름도

Fig. 4. NLLS flow chart.

P_i^{ref} 와의 오차를 나타내는 오차함수이고, $G(C)$ 는 한 화면 내의 전체 픽셀에서 함수 $f_i(C)$ 의 제곱의 총합인 목적함수이다.

비선형 최소 제곱법에서 계수를 추정하는 순서는 그림 4와 같다.

비선형 최소 제곱법에서 계수 갱신시 사용되는 λ 와 d_k 를 결정함에 있어서 Gauss-Newton 알고리즘을 사용하였다.^[15] 먼저 Jacobian 행렬과 Hessian 행렬을 식 (5)와 같이 정의한다.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial c_1} & \frac{\partial f_1}{\partial c_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial c_m} \\ \frac{\partial f_2}{\partial c_1} & \frac{\partial f_2}{\partial c_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial c_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial c_1} & \frac{\partial f_n}{\partial c_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial c_m} \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 G}{\partial c_1^2} & \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_2} & \dots & \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_m} \\ \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 G}{\partial c_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 G}{\partial c_2 \partial c_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_m} & \frac{\partial^2 G}{\partial c_2 \partial c_m} & \dots & \frac{\partial^2 G}{\partial c_m^2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

목적함수의 그라디언트 $\nabla G(C_k)$ 는 식 (6)과 같이 Jacobian 행렬로 표현할 수 있다. 여기서 F 는 영상 전체 화소의 개수를 n 이라 할 때 $F = (f_1, f_2, \dots, f_n)^T$ 와 같이 정의된다. 또한 Hessian 행렬의 2차 이상의 편도함수를 무시하여 간략화 하면 식 (7)로 나타낼 수 있다.

$$\nabla G(C_k) = 2J^T F(C_k) \quad (6)$$

$$H \cong 2J^T J \quad (7)$$

따라서 Gauss-Newton 알고리즘으로 구한 최종 계수 갱신식은 식 (8)과 같고, 이 식을 비선형 최소 제곱법에 적용하여 최적화된 계수를 구하였다.

$$C_{k+1} = C_k - (J_k^T J_k)^{-1} J_k^T F(C_k) \quad (8)$$

3. 고속 계수 추정 기법

앞서 설명한 비선형 최소제곱법을 통해 바로 6계수 움직임모형의 계수를 추정하는 경우 국부최소값에 의해 최적해에 수렴하지 않을 수 있다. 따라서 6계수를 바로 추정하지 않고 이동변환의 2계수를 추정하고, 추정된 값을 초기값으로 하여 6계수 움직임을 추정하는 순차적 움직임 계수 추정 기법을 사용하였다.

또한 부 표본화(Sub-Sampling)를 이용하여 움직임 추정시 참조영상과 현재영상 전체를 사용하지 않고 순차적인 계수추정 방법에 맞추어 두 장의 영상을 부 표본화하는 계층적 움직임 계수 추정 기법도 사용하였다.

이러한 두 가지 기법을 조합하여 그림 5와 같은 고속 움직임 추정 방법을 제안하였다.

먼저 원본 참조 영상과 현재 영상을 가로, 세로가 각각 1/2이 되도록 부 표본화를 하여 부 영상을 만든다. 1/2 부 영상에서 다시 1/4 부 영상을 만들고 마찬가지로 1/8 부 영상을 만든다.

가로, 세로가 각각 1/8로 줄어든 참조 영상과 현재 영상에 대하여 2계수 움직임을 추정하고, 구해진 계수값을 초기값으로 사용하여 1/4 참조 영상과 현재 영상에서 6계수 움직임을 추정한다. 같은 방법을 1/2영상과 원본 영상에 차례로 적용하여 최종적인 움직임 계수를 추정하게 된다. 단, 각 과정에서 추정된 계수값은 초기값으로 사용할 부 영상의 스케일에 맞도록 변환하여 사용한다.

이러한 기법은 원본 영상에서 바로 6계수 움직임을 추정하는 방법에 비해 복잡하지만 계수가 국부최소값에 수렴하는 오류를 방지할 수 있다. 또한 1/8 부 영상부터 알고리즘이 시작되어 추정된 계수값을 계층적으로 다음 부 영상에서 초기값으로 사용함으로써 알고리즘 연산

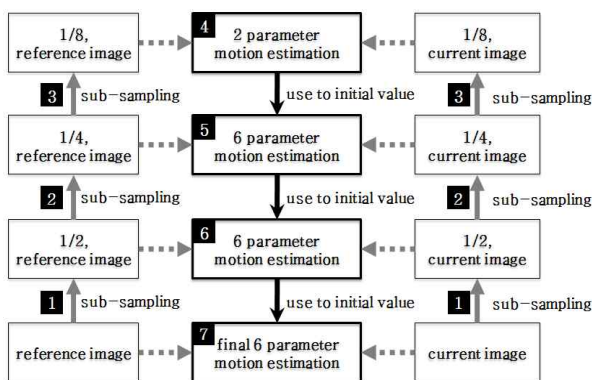


그림 5. 계수 추정 흐름도
Fig. 5. Parameter estimation flow chart.

시간을 대폭 감소시킬 수 있다. 비선형 최소 제곱법의 경우 반복적 연산을 통해서 최적값에 수렴하는 알고리즘이기 때문에 초기값이 최적값에 가까울수록 반복 횟수가 줄어든다. 따라서 절대적 연산량이 적게 요구되는 해상도가 낮은 영상에서 각 계수를 추정하고, 이를 원 해상도에서의 초기값으로 사용함으로써 알고리즘의 반복 횟수가 줄어 연산시간이 감소하게 된다.

III. 영상 안정화

1. 움직임 분리

영상을 안정화하기 위해서는 추정된 전역 움직임에 혼합되어있는 항공기 임무에 의한 실제 움직임과 진동에 의한 움직임을 분리하여야 한다. 실제 움직임의 경우 움직임이 일정하게 나타나거나, 한 곳을 응시하는 등의 저주파적인 움직임이 나타날 것이고, 진동에 의한 움직임의 경우 엔진의 진동 등에 의해 고주파적인 움직임으로 나타날 것이다. 따라서 고대역 통과(high-pass) 필터를 사용하여 진동에 의한 움직임을 분리하고, 제거하여 안정화 영상을 얻을 수 있다.

본 논문에서는 표본 주파수(sampling frequency)는 30Hz, 차단 주파수(cut off frequency)는 0.5Hz로 하여 식 (9)와 같은 IIR방식의 1차 Butterworth 고대역 통과 필터를 사용하였다.

$$y_H[n] = 0.9502x[n] - 0.9502x[n-1] + 0.9004y_H[n-1] \tag{9}$$

추정된 움직임을 고대역 통과 필터 처리한 것이 진동에 의한 움직임이라면, 추정된 움직임에서 진동에 의한 움직임을 제외한 성분이 항공기 임무에 의한 실제 움직임이다. 이는 동일한 표본 주파수와 차단 주파수를 가지는 식 (10)과 같은 1차 Butterworth 저대역 통과(low-pass) 필터를 사용하여 구할 수도 있다.

$$y_L[n] = 0.0498x[n] + 0.0498x[n-1] + 0.9004y_L[n-1] \tag{10}$$

2. 안정화 영상 생성

추정된 진동에 의한 움직임은 단일 프레임만 고려하여 제거하는 경우 그림 6과 같은 문제가 발생하게 된다.

첫 번째 열이 진동에 의한 움직임과 실제 움직임이 포함된 입력 영상이고 두 번째 열이 단순히 진동에 의

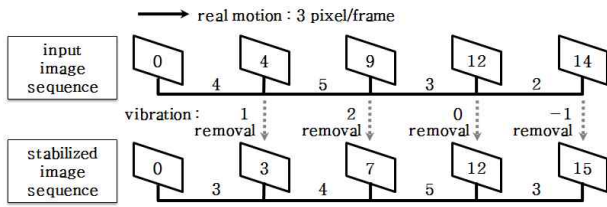


그림 6. 단일 프레임 진동 제거
Fig. 6. Removal of one-frame vibration.

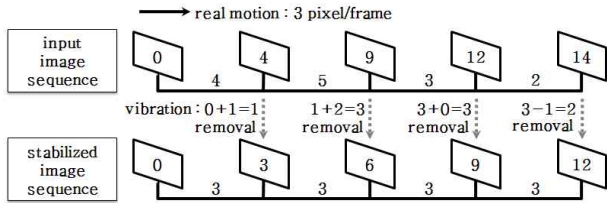


그림 7. 진동 누적 제거
Fig. 7. Removal of accumulated vibration.

한 움직임을 제거하여 생성된 안정화 영상이라고 하자. 입력 영상은 오른쪽 방향으로 프레임당 3픽셀의 등속운동과 함께 프레임 별로 서로 다른 진동 움직임이 포함되어 있다. 프레임 안에 표시된 숫자는 첫 번째 영상을 기준으로 현재 영상의 이동량을 나타내고, 프레임 사이에 표시된 숫자는 이전 영상과 현재 영상 간의 이동량을 나타내고 있다.

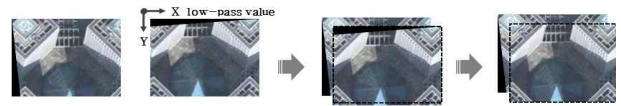
영상 간의 움직임 추정이 완벽하고, 필터가 정확하게 움직임을 분리할 수 있다고 가정하자. 단순히 추정된 전역 움직임에서 진동에 의한 움직임을 제거하여 안정화 영상을 생성하게 되면 실제 움직임만 남아있는 안정화 영상이 아닌 그림 6에서와 같이 진동에 의한 움직임이 단지 1프레임 지연되어 나타나는 현상이 발생한다.

이러한 문제를 해결하기 위하여 그림 7과 같이 진동에 의한 움직임을 누적하여 제거하는 방법을 사용하여야 한다.

이러한 방법을 통해 진동에 의한 움직임이 지연되어 나타났던 것과 다르게 진동에 의한 움직임이 완전히 제거되어 실제 움직임만 존재하는 안정화 영상을 생성할 수 있다.

3. 비보정 영역 보완

현재 영상에 포함되어있는 진동에 의한 움직임을 제거한다는 것은 추출된 진동 움직임 계수만큼 현재 영상을 역으로 변환해준다는 의미이다. 변환시 역대응(inverse mapping)방법을 사용하게 되는데, 이러한 역대응 방법을 사용하게 되면 움직임 변환으로 인하여 원본



a. previous stabilized image b. currently stabilized image
c. image alignment d. filling

그림 8. 비보정 영역 보정 방법
Fig. 8. Revision method for uncovered area.

영상에 존재하지 않아 변환 영상에 표시할 수 없는 비보정 영역(uncovered area)이 발생하게 된다. 이러한 비보정 영역은 영상의 주관적 화질을 크게 저하시킨다. 따라서 본 논문에서는 이러한 비보정 영역을 현재 영상이 아닌 다른 영상의 정보를 이용하여 채우게 한다.

그림 8은 제안된 비보정 영역 처리 방법을 도시한 것이다. 이전 안정화 영상과 현재 안정화 영상의 경우 동일한 좌표가 서로 다른 영상정보를 가지고 있기 때문에 두 영상의 정보를 일치시켜주어야 한다. 현재 안정화 영상은 이전 안정화 영상에 비해 현재의 실제 움직임 즉, 식 (10)에 따른 저대역 통과 필터 처리된 값만큼 변환되었다고 볼 수 있다. 따라서 이전 안정화 영상을 현재 저대역 통과 필터 처리된 값만큼 역변환하면 현재 안정화 영상의 정보에 맞게 정렬된다. 이렇게 두 영상을 일치시키고 현재 안정화 영상의 비보정 영역의 정보를 이전 안정화 영상에서 검색하여 채워 넣음으로서 비보정 영역을 보완하였다. 제안된 방법에서는 이를 일반화 하여 이전 N 개의 안정화 영상을 이용하여 동일한 방법으로 변환하고 검색하여 채워 넣었다.

IV. 상태 천이를 이용한 안정화 기법

안정화 영상 생성 시 상태 천이를 이용하여 안정화 기법을 선택적으로 적용하도록 하였다. 이를 위해 초기화 상태(initialization state)와 안정화 상태(stabilization state)를 가지는 상태 천이 방법을 사용하였다.

III장에서 설명된 움직임 분리를 통한 영상 안정화를 위해서는 항공기의 실제 움직임이 정확하게 얻어져야 한다. 하지만 식 (10)에 따른 실제 움직임을 분리하는 과정에서 필터의 응답 특성으로 인해 항공기의 실제 움직임을 즉시 얻을 수 없다. 그림 9는 실제 입력영상으로부터 전역 움직임을 추정하고, 이를 식 (10)의 저대역 통과 필터 처리한 출력으로써 이러한 특성을 보여주고 있다. 여기서 입력영상은 한 장의 고해상도 영상으로부터

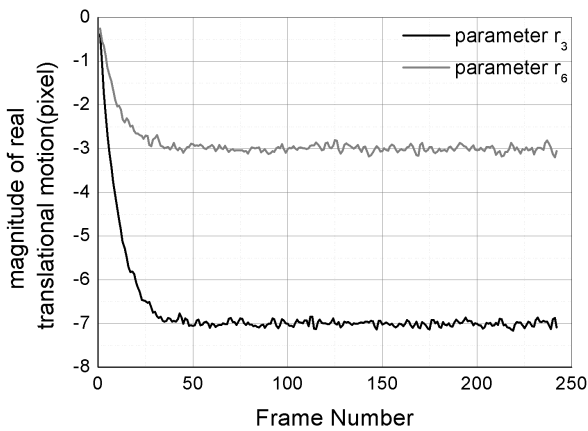
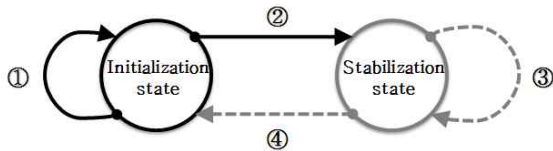


그림 9. 저대역 통과 필터 처리된 움직임 계수
Fig. 9. Low-pass filtered motion parameter.



- ① $|m_k - r_k| \geq \frac{\alpha}{\sigma_k}$ (for any k)
- ② $|m_k - r_k| < \frac{\alpha}{\sigma_k}$ (for all k)
- ③ $|m_k - r_k| < \frac{\beta}{\sigma_k}$ (for all k) or $|m_k - r_k| \geq \frac{\beta}{\sigma_k}$ (for any k) for only a frame
- ④ $|m_k - r_k| \geq \frac{\beta}{\sigma_k}$ (for any k) for more than 2 frames

그림 10. 상태 천이도
Fig. 10. State transition diagram.

터 x 축 방향으로 7픽셀, y 축 방향으로 3픽셀의 등속운동과 가우시안 잡음을 진동에 의한 움직임으로 하여 구성된 합성 영상이다. 그림 9에서 r_3 는 x 축 이동에 관한 추정된 움직임 계수 c_3 를 식 (10)의 필터 처리한 결과이고, r_6 는 y 축 이동에 관한 추정된 움직임 계수 c_6 를 처리한 것이다. 그림 9에서 필터의 응답 특성으로 인하여 약 40프레임까지는 실제 움직임에 수렴하지 못하는 것을 볼 수 있다. 만약 필터가 실제 움직임에 수렴하기 전에 진동에 의한 움직임을 제거하면 실제보다 더 많은 움직임을 제거하게 되어 계수 손실이 발생하여 정상적인 영상 안정화 결과를 얻을 수 없게 된다.

이를 해결하기 위하여 본 논문에서는 그림 10과 같이 2개의 상태를 통해 선택적으로 안정화하는 방법을 사용하였다. 필터가 실제 움직임에 수렴하지 않았을 경우 III장에서 설명된 안정화 방법을 사용하지 않고 누적된 진동에 의한 움직임 계수를 0으로 처리하게 되는데 이 상태가 초기화 상태이다. 반면 안정화 상태는 필터가 실제 움직임에 수렴하였다고 판단하고 III장에서 설명된

것과 같이 분리된 진동에 의한 움직임을 누적하여 제거하게 된다.

알고리즘은 초기화 상태에서 시작하여 필터가 수렴하면 안정화 상태에 진입한다. 이때 실제 움직임을 분리하는 필터의 수렴 여부를 판단하기 위해 표준편차를 이용하였다. 가장 최근 n 개의 영상에서 필터링된 계수값의 평균과 표준편차를 구하고, 모든 계수값이 식 (11)을 만족하면 그림 10의 ②의 조건에 의해 안정화 상태로 천이한다.

$$|m_k - r_k| < \frac{\alpha}{\sigma_k}, \quad (0 < \alpha \leq 1) \quad (k = 1, 2, \dots, 6) \quad (11)$$

여기서 m_k 와 σ_k 는 최근 n 개 영상에서 k 번째 계수값의 평균과 표준편차이고, r_k 는 저대역 통과된 k 번째 계수값을 의미한다. α 는 초기화 범위 선정을 위한 상수값이다.

만약 초기화 상태에서 하나의 계수값이라도 식 (11)을 만족하지 않는 경우 그림 10의 ①의 조건에 의해 초기화 상태에 머문다. 안정화 상태에서는 식 (12)의 기준을 하나의 계수값이라도 만족하는 경우가 2프레임 이상 지속되는 경우 그림 10의 ④의 조건에 의해 다시 초기화 상태로 돌아간다. 반면, 안정화 상태에서 식 (12)의 조건을 만족하지 않은 경우 그림 10의 ③의 조건에 의해 안정화 상태에 계속적으로 머문다.

$$|m_k - r_k| \geq \frac{\beta}{\sigma_k}, \quad (1 < \beta \leq 10) \quad (k = 1, 2, \dots, 6) \quad (12)$$

필터의 수렴 판단 기준에 초기화 범위 선정을 위한 상수값으로 초기화 상태에서는 식 (11)의 α 를 사용하였고, 안정화 상태에서는 식 (12)의 β ($\alpha < \beta$)를 사용하였다. 초기화 상태에서 상대적으로 크기가 작은 α 를 사용함으로써 식 (11)의 기준이 엄격해진다. 따라서 필터 출력값이 충분히 수렴한 후에 안정화를 적용할 수 있게 된다. 하지만 안정화 상태에서는 상대적으로 크기가 큰 β 를 사용함으로써 빈번한 초기화 상태로의 천이를 방지한다. 즉 안정화 상태에서 작은 상수값을 사용하는 경우 진동에 의한 움직임이 갑작스럽게 커지는 경우 쉽게 초기화 상태로 천이하여 안정화 시킬 수 있음에도 안정화 되지 않는 영상 출력이 많아져 주관적 화질 저하가 발생할 것이다. 또한 안정화 상태에서 갑자기 큰 충격 잡음(impulse noise)이 발생하여 초기화 상태로 천이 되는 것을 막기 위하여 식 (12)의 조건을 2

프레임 이상 만족하였을 경우에만 초기화 상태로 천이
가 가능하도록 하였다.

V. 실험 결과

1. 실험 환경

성능 평가를 위해 320×240 해상도의 합성 영상열과
실제 영상열을 이용하였다. 합성 영상열의 경우 가정된
비행체의 움직임과 진동에 의한 움직임에 따라 한 장의
고해상도 위성 영상으로부터 그 일부를 잘라내어 영상
열을 구성하였다. x 축 방향으로 7픽셀, y 축 방향으로 3
픽셀의 등속운동을 비행체의 실제 움직임으로 가정하였
다. 진동에 의한 움직임으로 x, y 축 이동에만 관여하는
 c_3, c_6 는 평균은 0, 분산은 1인 가우시안 잡음을 사용하
고, 작은 변화에도 큰 변화가 생기는 c_1, c_2, c_4, c_5 의 경
우는 평균은 0, 분산은 1/10인 가우시안 잡음을 사용하
였다.

실제 영상열은 H사와 U사에서 촬영된 항공 영상을
프레임 별로 캡처하여 테스트 영상 열로 사용하였다.

2. 전역 움직임 추정 성능 실험

제안한 알고리즘의 전역 움직임 추정 성능을 평가하

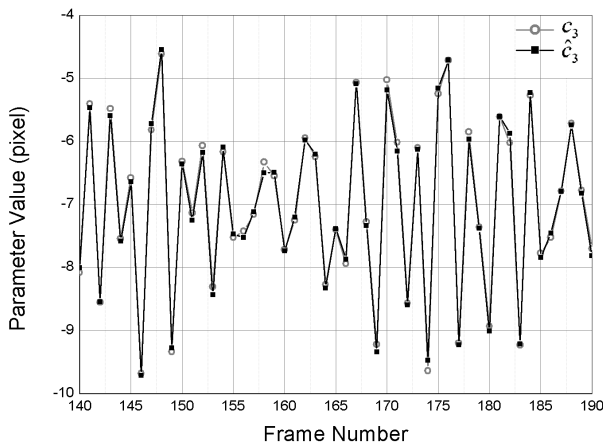


그림 11. 제안된 움직임 추정 방법 성능 평가
Fig. 11. Performance evaluation of the proposed motion
estimation method.

표 1. 움직임 추정 성능
Table 1. Performance of motion estimation.

parameter	c_1	c_2	c_3	c_4	c_5	c_6
ratio(%) (c_k / \hat{c}_k)	99.61	100.24	99.91	100.59	100.40	99.93

기 위하여 합성 영상 열을 만들 때 사용되었던 가우시
안 잡음과 등속운동이 포함된 각 계수값(c_k)과 실제 두
개의 인접한 프레임으로부터 추정된 계수값(\hat{c}_k)을 비교
하여 그림 11로 나타내었다. 또한 두 값의 비율을 구하
여 표 1로 정리하였는데 1%이하의 오차를 가지고 움직
임이 추정된 것을 확인 할 수 있다.

3. 진동에 의한 움직임 제거 성능 실험

합성 영상의 가우시안 잡음(v_k)과 안정화 알고리즘을
통하여 진동에 의한 움직임을 제거한 후 남아있는 잡음
(\hat{v}_k)을 비교하였는데 그림 12와 같이 잡음 성분이 대부
분 제거된 것을 볼 수 있다. 또한 제거하기 위해 추정된
진동 움직임 계수(\hat{v}_k)의 비율을 계산하여 표 2와 같이
정리하였다. 표 2로부터 합성 영상의 각 계수에 첨가한
가우시안 잡음이 안정화 알고리즘을 통하여 약 90%정
도 제거되었음을 알 수 있다.

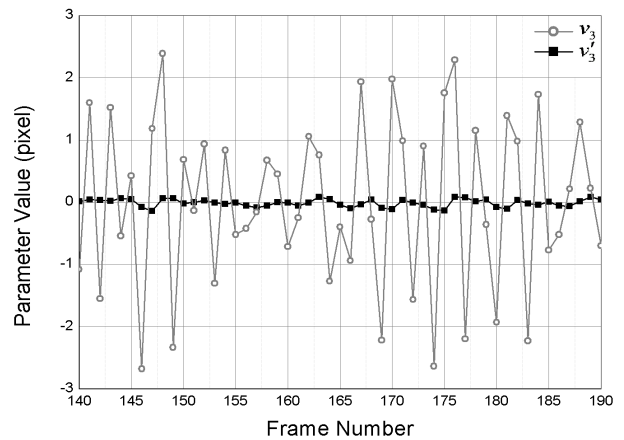


그림 12. 진동 분리 방법 성능 평가
Fig. 12. Performance evaluation of the proposed motion
vibration removal method.

표 2. 진동 분리 성능
Table 2. Performance of vibration removal.

parameter	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6
ratio(%) (\hat{v}_k / v_k)	89.09	91.73	91.90	91.25	92.62	89.52

4. 알고리즘 실험 결과 영상

제안된 방법의 안정화 성능을 평가하기 위해 합성 영
상열과 실제 영상열에 제안된 방법을 적용하고 그 결과
를 동영상 전문 커뮤니티 사이트인 유튜브(YouTube)

에 업로드 하였다.

① <http://www.youtube.com/watch?v=oZ7o-jFJqic>

위 링크는 한 장의 고해상도 위성 영상에서 추출한 합성 영상을 테스트 영상 열로 사용한 경우이다. 테스트 영상 열에는 실제 항공기의 움직임으로 x 축 방향으로 7픽셀, y 축 방향으로 3픽셀의 등속운동과 가우시안 잡음에 의한 진동 움직임이 포함되어 있다. 링크된 영상에서 보았을 때 왼쪽영상이 잡음이 첨가된 테스트 영상 열이고, 오른쪽 영상이 알고리즘을 적용시켜 안정화된 영상이다. 알고리즘 적용시 사용한 각 계수값은 안정화 모드에서 α 는 1/30, β 는 2, 비보정 영역 보완에서 N 은 5를 사용하였다. 안정화 모드의 사용으로 처음 약 4초까지는 초기화 상태에 있기 때문에 입력 영상이 그대로 출력되지만 이후에 안정화 상태로 진입하면서 진동이 제거된 안정화된 영상이 출력되는 것을 확인할 수 있다.

② <http://www.youtube.com/watch?v=IpFOLRLJNoI>

위 링크는 등속운동을 하는 도중 항공기의 이동 방향이 변하는 경우를 합성 영상으로 만들어 실험한 결과이고, 그 밖의 조건은 ①의 경우와 동일하다. 결과 동영상의 전부분은 ①번 동영상과 동일한 실험결과를 보이다가 16초 무렵에 항공기의 이동 방향에 변화가 발생하여 초기화 상태로 진입한다. 이후 18초 경에 필터 계수가 수렴하면서 다시 안정화 상태로 진입하여 안정화된 영상이 출력되는 것을 확인할 수 있다.

③ http://www.youtube.com/watch?v=d1QVRYN2V_g

위 링크는 실제 유인헬기에서 촬영된 영상을 테스트 영상 열로 사용하여 실험한 결과이다. ($\alpha=1/30$, $\beta=3$, $N=10$) 3초까지는 초기화 상태에 있지만 이후 안정화 상태에 진입하여 안정화된 영상을 출력한다. 21초에 시점의 변화가 크게 일어나서 초기화 상태로 진입하지만, 23초에 다시 안정화 상태로 진입하여 안정화된 영상을 출력하는 것을 확인할 수 있다.

④ <http://www.youtube.com/watch?v=S6b2F7rzey0>

위 링크는 실제 무인헬기에서 촬영된 영상을 테스트 영상 열로 사용하여 실험한 결과이다. ($\alpha=1/30$, $\beta=3$, $N=10$) 착륙하기 전 호버링 상태에서 촬영된 영상으로 5초까지 초기화 상태에 있다가 이후 안정화 상태로 진입하여 안정화된 영상을 출력하는 것을 확인할 수 있다.

5. 알고리즘 수행시간 평가

제안된 고속 움직임 추정 방법을 사용하여 알고리즘

표 3. 알고리즘 수행시간

Table 3. Algorithm execution time.

estimation method	synthesis image		real image	
	time (ms)	frame per second (fps)	time (ms)	frame per second (fps)
conventional non-hierarchical motion estimation	207	5.0	195	5.2
proposed hierarchical motion estimation	83	12.4	81	12.5

의 수행시간이 얼마나 단축되었는지 평가하였다. 단, 순차적 움직임 계수 추정 방법을 적용하지 않는 경우 정상적인 움직임 추정이 되지 않는 경우가 있으므로 순차적 움직임 계수 추정 방법은 기본적으로 포함하여 실험하였다. 수행시간 평가를 위해 3.0GHz의 Dual Core CPU와 2Gb의 RAM으로 구성된 PC를 사용하였다.

표 3은 합성 영상열과 실제 영상열에 대하여 제안된 고속 움직임 추정 방법을 사용한 경우와 사용하지 않은 경우의 수행시간을 비교한 결과이다. 표 3으로부터 제안된 고속 움직임 추정 방법을 사용하는 경우 프레임당 수행 시간이 약 60% 단축되어 단위 초당 처리할 수 있는 프레임 수가 약 60%정도 증가함을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 논문에서는 근접감시용 무인항공기의 영상 안정화 알고리즘을 제안하였다. 6계수 움직임 모델과 2계수 밝기변화 모델을 이용하고, 비선형 최소 제곱법을 사용하여 움직임을 추정하였다. 알고리즘 수행시간 단축 및 정확도 향상을 위하여 순차적인 계수 추정 방법과 계층적 계수 추정 방법을 사용하였고, 필터를 사용하여 진동에 의한 움직임을 분리하여 제거함으로써 안정화 영상을 생성하였다. 단, 초기화 상태와 안정화 상태를 이용하는 상태 천이 방법을 통해 실제 항공 영상도 안정화가 가능하도록 하였다. 실험을 통해 제안된 방법이 합성 영상뿐만 아니라 실제 항공 영상의 진동에 의한 움직임을 제거하고, 영상을 안정화 시킬 수 있음을 보였다.

참 고 문 헌

[1] Y. Cha, and Y. Soh, "Line-based Image Stabilization", KISPS Summer Conference, vol.

- 2, no. 1, pp. 165-168, 2001.
- [2] A. Morimura and K. Uomori, "Motion vector detecting apparatus and image stabilizer including the same", U.S. Patent, no. 5,172,226, 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] 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.
- [5] S. Lee, S. Jeon, and S. Yoon, "Digital Image Stabilization based on Bit-plane Matching", Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference, vol. 16, no. 3, pp. 636-639, 1997.
- [6] 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.
- [7] D. Kim, J. Lee, Y. Yoo, and J. Paik, "Improving Performance of Digital Image Stabilization using Adoptive motion estimation Area selection", Journal of IEEK, vol. 45, no. 5, pp. 426-432, 2008.
- [8] J. Kim, J. Kim, K.g Byun, and S. Ko, "Fast Digital Image Stabilization based on Edge Detection", IEEK Summer Conference, vol. 32, no. 1, pp.823-824, 2008.
- [9] 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.
- [10] H. Seok, J. Lyou, and D. Kim, "Estimation of Rotational Center and Angle for Image Stabilization", Journal of Control Automation and System Engineering, vol. 10, no. 7, pp. 611-617, 2004.
- [11] H. Seok, and J. Lyou, "A Stabilization Method for Rotated and Translated Image", Journal of Control Automation and System Engineering, vol. 12, no. 8, pp. 810-817, 2006.
- [12] J. Chang, W. Hu, M. Cheng, G. Chang, "Digital image translational and rotational motion stabilization using optical flow technique", IEEE Transactions on Consumer Electronics, vol. 48, no. 1, pp.108-115, 2002.

- [13] S. Erturk, "Digital Image Stabilization with Sub-Image Phase Correlation Based Global Motion Estimation", IEEE Trans. Consumer Electronics, vol. 49, pp. 1320-1325, 2003.
- [14] H. Kim, and Y. Soh, "A Study on Image Stabilization", KISPS Summer Conference, vol. 1, no. 1, pp. 285-288, 2000.
- [15] 한기태, "복합왜곡 모델을 이용한 범용 카메라용 왜곡영상 자동보정방법", 박사학위논문, 2001.

 저 자 소 개



이 흥 석(학생회원)
2007년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 학사 졸업.
2010년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 석사 졸업.
2010년~현재 K-MAC
선임연구원

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상 안정화>



이 태 영(학생회원)
2007년 충남대학교 메카트로닉스 공학과 학사 졸업.
2010년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과 석사과정

<주관심분야 : 영상신호처리, 영상 안정화>



김 병 수(정회원)
1984년 서울대학교 항공공학과 학사 졸업.
1986년 서울대학교 항공공학과 석사 졸업.

1994년 Univ. of Washington
항공우주학과 박사 졸업

1994년~1995년 Univ. of Washington PostDoc.

1995년~현재 충남대학교 항공우주공학과 교수.

<주관심분야 : 영상신호처리, 적외선 영상 인식 및 추적>



고 윤 호(정회원)-교신저자
1995년 부산대학교 전자공학과 학사 졸업.

1997년 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사 졸업.

2002년 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사 졸업.

2002년~2004년 하이닉스반도체 선임연구원.

2004년~현재 충남대학교 메카트로닉스공학과
조교수.

<주관심분야 : 영상신호처리, 컴퓨터비전, 영상인식, 영상압축>