

기체의 평균 움직임 추정에 기반한 무인항공기 영상 안정화 알고리즘

UAV(Unmanned Aerial Vehicle) image stabilization algorithm based on estimating averaged vehicle motion

이 홍 석*, 고 윤 호**, 김 병 수***

Lee Hong-Suk*, Ko Yun-Ho**, Kim Byoung-Soo***

Abstract - This paper proposes an image processing algorithm to stabilize shaken scenes of UAV(Unmanned Aerial Vehicle) caused by vehicle self-vibration and aerodynamic disturbance. The proposed method stabilizes images by compensating estimated shake motion which is evaluated from global motion. The global motion between two continuous images modeled by 6 parameter warping model is estimated by non-linear square method based on Gauss-Newton algorithm with excluding outlier region. The shake motion is evaluated by subtracting the global motion from aerial vehicle motion obtained by averaging global motion. Experimental results show that the proposed method stabilize shaken scenes effectively.

Key Words : Image stabilization, UAV(Unmanned Aerial Vehicle), Gauss-Newton Algorithm, Non-Linear Least Squares, Affine Transform

1. 서 론

무인항공기 시스템의 영상조종장비는 항공기에 탑재된 카메라를 통해 얻은 화면을 조종자에게 전달하게 된다. 이러한 무인항공기는 일반항공기에 비해 상대적으로 크기가 작기 때문에 항공기의 고유 임무에 의한 움직임과는 별도로 항공기 엔진 및 프로펠러 작동에 의한 진동과 공기역학적인 외란에 의하여 영상 흔들림 현상이 발생하게 된다. 이때 영상조종장비의 영상은 항공기가 가지는 현재의 움직임으로 인한 화면 변화뿐만 아니라 탑재된 영상시스템의 흔들림에 의한 화면 변화를 포함하게 되어 영상조종장비의 효과적 운용을 제한하게 된다. 따라서 이와 같은 문제를 해결하기 위해 카메라의 흔들림을 상쇄하여 영상을 안정화 시켜주어야 한다.

기존 소프트웨어를 이용한 영상보정방법은 회전 및 병진 흔들림은 안정화 시킬 수 있으나 크기변형이나 전단변환에 의한 움직임은 추정할 수 없다는 단점이 있다.[2] 따라서 본 논문에서는 움직임 추정방법을 각 영상간의 변화를 움직임으로 생각하고 영상 전체화소간의 움직임을 변환모델로 모형화하여 움직임 계수를 구하여 움직임을 추정하는 방식을 사용하였다. 이때의 변환모델로 병진, 회전, 크기변형, 전단변환 등의 모든 움직임을 나타낼 수 있는 어파인 변환(Affine Transform)을 사용하여 무인항공기 영상에서 나타날 수 있는 여러 가지 움직임을 추정할 수 있도록 하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 알고리즘의 전체적인 개념을 설명하고, 3장에서 영상간의 전역움직임의 모델링 기법에 대하여 설명한다. 4장에서는 모델링된 모형의 움직임 계수를

구하는 알고리즘에 대하여 설명하고, 5장에서 고유 임무에 의한 움직임과 진동에 의한 움직임을 분리하는 방법에 대해 설명한다. 6장에서는 개발된 알고리즘을 테스트 영상에 적용한 결과에 대하여 설명한다.

2. 전체 알고리즘 개념

그림 1과 같이 참조영상과 현재영상을 각각 전처리하고 움직임 모형으로 모델링하여 전역움직임을 추정한다. 이렇게 추정된 전역움직임에서 평균움직임을 추출하여 빼주면 진동에 의한 움직임만 분리해 낼 수 있고 이것을 역 보상 해줌으로써 영상을 안정화 시킬 수 있다.

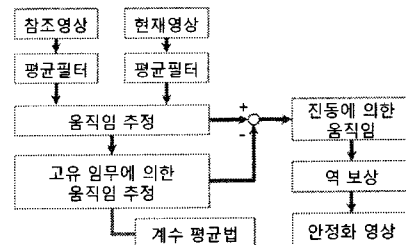


그림 1. 알고리즘 개념도

영상조종장비로 부터 획득한 이전 영상을 참조영상(Reference Image)이라 하고 무인항공기의 움직임으로 인하여 시점이 바뀌게 된 이후 획득한 영상을 현재영상(Current Image)이라 한다. 각 영상에 포함된 노이즈가 알고리즘 수행에 악영향을 주는 것을 막기 위하여 평균필터를 이용하여 전처리 하였다. 이렇게 전처리 된 두 영상에서 전역의 움직임을 추정하기 위하여 어파인 변환을 사용하여 모델링 하였고 밝기변화 또한 고려하여 모델링 하였다. 이렇게 모델링된 모

저자 소개

* 準 會 員 : 忠南大學 메카트로닉스工學科 碩士課程

** 正 會 員 : 忠南大學 메카트로닉스工學科 助敎授 · 工博

***正 會 員 : 忠南大學 航空宇宙工學科 敎授 · 工博

형의 계수를 추정하기 위하여 Gauss-Newton 알고리즘에 기반한 비선형최소자승법(non-linear least squares)을 사용하여 전역의 움직임을 추정하였다. 추정된 전역움직임에서 계수 평균법을 사용하여 기체의 평균 움직임을 추정하여 고유 임무에 의한 움직임을 추출한다. 이렇게 추출된 움직임을 전역 움직임에서 빼주어 진동에 의한 움직임을 분리하고 보상해줌으로써 안정화된 영상을 얻을 수 있다.

3. 프레임간 전역움직임 모델링

3.1 전역움직임 모델링

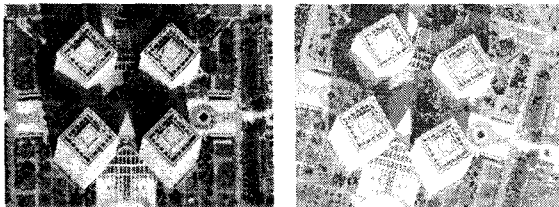
식 (1)은 영상 평면상에 있는 물체가 2차원 병진운동, 회전운동 및 크기변형을 행할 수 있다고 가정했을 때, 영상 평면상에 있는 화소 (x, y)의 이동된 위치 (x', y')을 나타내는 이동 표현식으로 6계수 움직임 모형이다.

$$\begin{aligned} x' &= C_1x + C_2y + C_3 \\ y' &= C_4x + C_5y + C_6 \end{aligned} \quad (1)$$

충분히 원거리에서 촬영된 항공 영상의 장면간 움직임은 2차원 병진운동, 회전운동 및 크기변형으로 모형화 할 수 있으므로 6계수 움직임모형으로 모델링하였다.[1]

3.2 전역 밝기변화 모델링

그림 2에서와 같이 (a)참조영상에 비해 (b)현재영상 전체에 균일한 밝기 변화가 발생하였는데 이것을 전역밝기변화라 한다. 이것은 전역움직임을 추정하기 위한 영상 해석을 하는데 있어서 장애 요소가 되기 때문에 본 논문에서는 화면간 움직임 추정을 위해 단순히 전역움직임을 모델링 하지 않고, 화면간 밝기변화를 추가로 모델링 하여 보다 정확한 전역 움직임을 추정하였다.



(a) 참조영상 (b) 현재영상

그림 2. 전역밝기변화 및 전역움직임

상호도수 분포도(cross histogram)를 이용하여 참조영상의 밝기값 I(x, y)과 현재영상의 밝기값 I'(x, y)의 전역밝기변화를 식 (2)에서와 같은 1차원 식으로 모형화 하였다.[1]

$$I'(x, y) = a * I(x, y) + b \quad (2)$$

4. 전역움직임 모형의 계수 추정

4.1 Non-Linear Least Squares(NLLS)

본 논문에서는 전역밝기변화를 고려하여 보다 정확한 전역 움직임을 추정하고자 한다. 이때 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 비선형최소자승법을 사용하여 추정하였다.

먼저 전역움직임 계수 추정을 위한 비선형최소자승법에서 오차함수와 목적함수는 식(3)을 통해 정의된다.

$$f_i(C) = [P_i^{curr}(C) - P_i^{ref}], \quad G(C) = \sum_{i=1}^n [P_i^{curr}(C) - P_i^{ref}]^2 \quad (3)$$

비선형최소자승법에서 계수를 추정하는 순서는 다음과 같다.

1. 추정할 계수의 초기값 C₀를 지정한다.
 2. k번째 계수에 대한 목적함수 G(C_k)를 계산한다.
 3. C_{k+1} = C_k - λd_k 를 계산한다.
 4. G(C_{k+1}) - G(C_k) < T_{th}(기준값)이면 정지한다.
 5. C_k = C_{k+1} 로 하고 λ를 조정 후 2 단계부터 다시 수행한다.
- 여기서 k는 반복횟수, λ는 현재의 계수가 이동할 크기, d_k는 이동할 방향, T_{th}는 정확도와 관련된 수렴 정도를 판단하기 위한 기준값이 된다. λ와 d_k는 Gauss-Newton Algorithm을 이용하여 구하게 된다.

4.2 Gauss-Newton Algorithm[1]

Jacobian 행렬과 Hessian 행렬을 식 (4)와 같이 정의한다.

$$J = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial c_1} & \frac{\partial f_1}{\partial c_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial c_m} \\ \frac{\partial f_2}{\partial c_1} & \frac{\partial f_2}{\partial c_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial c_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial f_n}{\partial c_1} & \frac{\partial f_n}{\partial c_2} & \dots & \frac{\partial f_n}{\partial c_m} \end{bmatrix}, \quad H = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2 G}{\partial c_1^2} & \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_2} & \dots & \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_m} \\ \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_2} & \frac{\partial^2 G}{\partial c_2^2} & \dots & \frac{\partial^2 G}{\partial c_2 \partial c_m} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ \frac{\partial^2 G}{\partial c_1 \partial c_m} & \frac{\partial^2 G}{\partial c_2 \partial c_m} & \dots & \frac{\partial^2 G}{\partial c_m^2} \end{bmatrix} \quad (4)$$

F = (f₁, f₂, ..., f_n)^T라 할 때 계수의 이동 방향을 구하기 위하여 목적함수의 gradient를 구하면 식 (5)와 같이 Jacobian 행렬로 나타낼 수 있고, Hessian 행렬의 2차이상의 도함수를 무시하여 간략화 하면 식 (6)으로 나타낼 수 있다.

$$\nabla G = 2J^T F \quad (5)$$

$$H \approx 2J^T J \quad (6)$$

이것을 이용하여 계수를 갱신하기 위한 수식을 구해보면 식 (7)이 되고, 전체수식을 풀어서 쓰면 최종적으로 식 (8)을 얻을 수 있다. 이 식을 비선형최소자승법에 적용하여 각 계수들을 추정할 수 있다.

$$C_{k+1} = C_k - H^{-1} \nabla G(C_k) \quad (7)$$

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

4.3 고속연산 및 안정화 기법

앞서 설명된 방법을 통해 바로 6계수 움직임모형의 계수를 추정하는 경우 수많은 국부최소값에 의해 최적해에 수렴하지

않을 수 있다. 따라서 그림 3과 같이 6계수 움직임 추정을 바로 적용하지 않고 이동변환의 2계수를 추정하고, 추정된 값을 초기값으로 하여 6계수 움직임을 추정하는 방식으로 순차적 추정 방법을 사용하였다.

또한 부 표본화(Sub-Sampling) 기법도 사용하였는데 움직임 추정시 참조영상과 현재영상 전체를 사용하지 않고 순차적인 계수추정 방법에 맞추어 부 표본화하여 계층적으로 사용하였다.

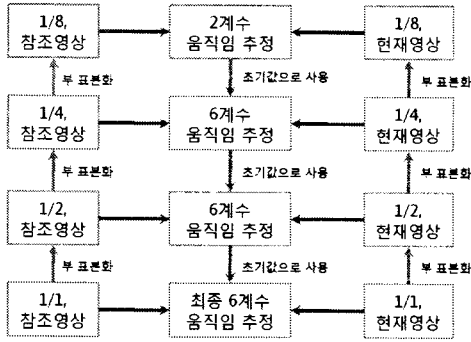


그림 3. 계수 추정 순서

그림 3에서 1/2 영상은 원영상을 가로 1/2, 세로 1/2로 부 표본화한 영상을 의미하는데 두 개의 1/8영상에서 2계수 움직임을 추정하고, 그 값을 초기값으로 하여 1/4영상에서 6계수 움직임을 추정하게 된다. 이러한 순서대로 최종 6계수 움직임을 추정하게 된다.

이러한 순차적 계수추정 방법과 계층적 부 표본화 방법을 병행하여 사용함으로써 국부최소값에 수렴할 가능성을 줄여 보다 안정적으로 움직임을 추정 가능하도록 하였고, 계수의 추정시간을 단축시켜 알고리즘 수행시간을 줄였다.

5. 움직임 분리

무인항공기가 등속운동을 하며 임무를 수행하고 있다고 가정한다면 간단한 저주파 통과필터인 평균필터를 사용하여 기체의 평균 움직임을 추정하여 무인항공기의 고유 임무에 의한 움직임을 추출 할 수 있다.

기체가 등속운동을 하고 있기 때문에 진동이 포함된 전체 움직임을 추정하여 누적해 각 프레임에서 평균을 구하면 무인항공기 고유 임무에 의한 움직임을 추정 할 수 있다. 이렇게 추정된 움직임을 그림 1의 개념도와 같이 무인항공기 전체의 움직임에서 분리하면 진동에 의한 움직임을 추출 할 수 있다. 분리된 진동에 의한 움직임은 어파인 변환을 이용하여 역보상 해주면 진동이 제거된 안정화된 영상을 얻을 수 있다.

6. 성능평가

그림 4는 한 장의 고해상도의 위성영상을 320×240 크기의 영상에 x축 7픽셀, y축 3픽셀의 등속운동과 어파인 변환의 6개의 계수에 각각 $\mu=0$, $\sigma^2=1$ 인 가우시안 노이즈가 포함되도록 계수를 조정하여 만든 실험 영상 열이다.

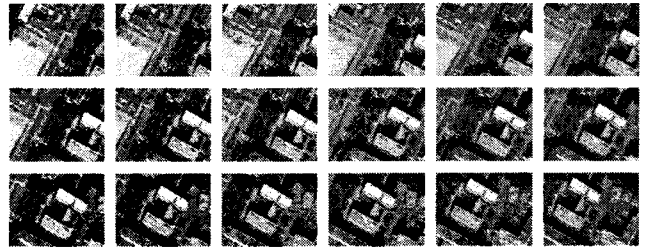


그림 4. 실험 영상 열

실험 영상 열로 실험 하였을 경우 참조영상과 현재영상에서 추정한 움직임을 분리하고 가우시안 노이즈에 의한 움직임을 제거하여 안정화된 영상을 얻을 수 있었고, 실시간으로 안정화 할 경우 진동이 없이 등속운동을 하며 촬영된 영상처럼 보여졌다.

알고리즘의 성능 평가를 위하여 MSE(Mean Square Error)를 사용하였다. 노이즈 없이 등속운동만 존재하는 등속 영상 열을 기준으로 등속운동에 가우시안 노이즈가 포함된 영상 열과의 MSE를 측정하고, 안정화된 영상과의 MSE도 측정하여 결과를 비교하였다. 표 1에서 노이즈가 포함된 영상 열과의 평균 MSE는 3388이었는데 제안된 방법을 적용하여 얻은 안정화된 영상 열과의 MSE는 420으로 확연히 줄어든 것을 확인 하였다.

표 1. 성능평가(MSE)

기준	평균 MSE
등속 영상 열 : 등속+노이즈 영상 열	3388
등속 영상 열 : 안정화 영상 열	420

7. 결론

본 논문에서는 무인항공기 기체의 평균움직임 추정에 기반하여 영상을 안정화하는 알고리즘을 제안하고 이를 구현하였다. 기존의 단순 움직임 정보를 추정하는 방식을 확장하여 영상의 움직임뿐만 아니라 전역적인 밝기변화도 함께 모델링 하였고, 임무에 의한 움직임과 진동에 의한 움직임을 분리하여 진동만을 보상함으로써 보다 정확한 안정화 방법을 제안 하였다.

참 고 문 헌

- [1] 한기태, “복합왜곡 모델을 이용한 범용 카메라용 왜곡영상 자동보정방법”, 박사학위논문, 2001
- [2] 석호동, 유준, “회전 및 병진 흔들림 영상의 안정화 기법”, 제어 자동화 시스템공학 논문지 제 12권 제 8호, pp. 810-817, 2006