

RANSAC 방법을 이용한 항공 사진 모자이킹 기법

Mosaicking Techniques of Aerial Photographs using the RANSAC Algorithm

임인근*
Lim, In-Geun

ABSTRACT

In this paper, we propose an automatic method which combines two or more images acquired by camera on the air-vehicle into a larger image mosaics. The shift, scaling, rotation factors between two images can be calculated by using the correspondences between the points of the images. In order to estimate these factors, we find the relative positions of two images with respect to each other by using the SIFT descriptor and the RANSAC algorithm. After estimating the factors, the images can be merged into a single image mosaic by warping the target image. To avoid seams when mosaics are constructed from overlapped images, we apply the average gray level value of points within a overlapped zone. We have tested our proposed method on various image sets and have confirmed that our method produced good result subjectively.

주요기술용어(주제어) : Image Mosaics(이미지 모자이킹), RANSAC(RANdom SAmples Consensus), Homography, Image Matching(영상 정합), Warping

1. 머리말

최근, 영상처리 기술, 컴퓨터 비전, 인공지능 분야의 발전에 힘입어 무기체계에 장착된 카메라를 활용하여 무기체계의 정확도를 향상시키려는 연구가 시도되고 있다. 그러나, 장착된 카메라의 제한된 시야각으로 인하여 많은 영상 정보를 한 화면에 담을 수 없는 제약이 있다. 이를 해결하기 위해 여러 각도 및 다양한 위치에서 촬영한 여러 장의 영상을 하나의 영상으로 만들어 좀 더 많은 정보를 이용할 수 있도록 하는

자동화된 이미지 모자이킹(image mosaics)^[2,3] 기법이 필요하게 되었다.

여러 장의 영상을 결합하는 이미지 모자이킹 기법은 영상간의 투영 변환식을 찾는 것 뿐만 아니라, 디지털 영상을 변환하는 경우, 정수 격자 위치를 벗어난 화소 값들을 사용하기 위한 효과적인 보간 방법, 그리고 합성된 영상의 후처리 등이 요구된다.

영상간의 투영 변환식을 찾기 위한 방법으로는 에지(edge), 코너 점(coner point), 선(line) 등의 기하학적인 정보를 이용하는 방법^[4]과 영상의 화소 값으로부터 두 영상간의 투영 변환식을 유도하는 것이 있다.

비행체와 같이 빠르게 움직이는 물체에서 취득된 영상은 일반적인 환경에서 취득하는 것과는 달리 카

† 2007년 3월 29일 접수~2007년 6월 8일 게재승인

* 국방과학연구소(ADD)

주저자 이메일 : ingy@hanmail.net

메라에서 목표물까지의 거리가 매우 멀기 때문에 초점을 맞추기가 어렵고, 영상 내 목표물의 크기나 해상도의 변화가 많으며, 영상의 번짐 현상이나 잡음이 심한 특징을 갖고 있다. 그러나, 기존의 에지나 영역의 코너 점, 선 등의 정보를 이용한 특징추출기법은 영상의 해상도 및 크기, 회전, 시점변환(viewpoint perspective transformation)이나 잡음 등에 민감하여 왜곡이 심한 영상에서는 특징 추출 성능이 떨어지므로 왜곡이 심한 영상에서도 안정적으로 특징을 추출하는 방법이 요구된다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 최근에 컴퓨터 비전 영역에서는 SIFT(Scale Invariant Feature Transform)^[5]라는 개념의 특징추출기법을 개발하여, 영상의 다양한 왜곡에 대해서도 안정적으로 인식 기술을 수행할 수 있는 특징 추출에 대한 연구를 수행하고 있다.

본 연구에서는 항공기가 비행하면서 촬영한 영상을 대상으로 하므로, 획득되는 영상의 왜곡 특성을 감안하여 SIFT라는 개념의 특징추출기법을 이용함으로써 두 영상의 대응되는 특징점을 찾고, RANSAC 방법으로 최적화된 대응점만을 추출하여 이로부터 영상간의 변환 행렬을 찾아낸다. 이의 역 변환식과 역보간법(inverse interpolation)을 이용하여 대상 영상(target image)을 기준 영상(reference image)의 영상 평면으로 변환하여 합성 영상을 재구성하고, 이미지 모자이크에서 고려해야 할 영상 접합 부분의 경계선을 제거할 수 있는 방법을 연구하였다.

2. 특징점 추출 기법

두 영상간의 투영 관계식을 유도하기 위해서 많이 이용되는 방법은 입력된 영상의 기하학적 특징들 즉, 에지나 코너점, 선 등을 추출하여 기준 영상과 대상 영상간의 대응점을 찾는 방법이었다. 그러나, 비행체와 같이 빠르게 움직이는 물체에서 취득되는 영상은 일반적인 환경에서 취득하는 것과는 매우 다르게 많은 영상 왜곡이 존재한다. 따라서, 본 연구에서는 영상의 해상도 및 크기, 회전, 시점변환이나 잡음과 같은 다양한 왜곡에 대해서도 안정적인 특징점을 찾을 수 있는 SIFT라는 특징 추출 기술을 이용하였다.

SIFT 특징벡터는 자체적으로 크기 및 방향성에 대한 정규화 개념을 담고 있으므로 영상 공간에서의 별도의 정규화 과정 없이도 영상간의 정합을 수행할 수 있으며, 다양한 영상의 변형 및 왜곡에 대해서도 일관된 패턴을 갖게 되어 안정적인 성질을 갖고 있다.

가. 특징벡터 추출 기법

1) Scale space extrema detection

영상의 scale에 관계없이 특징점으로서 가치가 있을 위치를 검출하기 위해 DOG(Difference of Gaussian)함수를 적용하고, 그 결과 영상으로부터 극치를 구함으로써 영상의 크기에 관계없이 일관된 성향을 보여주는 특징점의 위치를 찾는다. 이러한 크기 측면에서 안정적인 성질을 갖는 것으로 알려진 Gaussian 함수의 특성을 이용하여 DOG 함수를 구현하고 특징점의 위치를 찾는다.

2) Keypoint localization

일반적으로 DOG 영상 값이 극치라 하더라도 그 절대값이 작거나, 강한 에지 상에 놓여 있는 경우에는 특징점으로서의 일관성과 안정성이 떨어지는 경향이 있다. 따라서 DOG값이 일정한 문턱치를 넘지 못하는 경우에는 특징점에서 제외한다. 그리고, 안정적인 특징점 중에서 그 위치를 서브픽셀 수준으로 추정하여 위치의 정확도를 높인다.

3) Orientation assignment

특징점 위치에서의 주요 방향을 결정하는 단계로 특징점을 중심으로 일정한 영역을 설정하고, 그 영역 내의 각 픽셀에 대하여 방향성을 측정하여 히스토그램을 구한다. 이 히스토그램으로부터 최적의 방향을 결정한다.

4) Keypoint descriptor

추출된 특징점의 위치를 중심으로 16×16 블록을 잡고, 이를 다시 4×4의 작은 블록으로 나누어 16개의 블록을 나눈다. 이 각각의 블록에 대하여 각 픽셀에 대한 gradient의 방향을 측정하고, 이를 8개 방향으로 나누어 히스토그램으로 표현한다. 하나의 4×4블록의 방향성은 영상의 조명 변화, 명암의 차이에 둔감

하고 안정된 성질을 갖는다. 그리고 특징점의 방향을 기준으로 정규화하여 블록내의 픽셀의 방향을 측정하기 때문에 회전에 대한 불변의 특성을 갖는다. 이렇게 16개의 블록에 대하여 8개의 방향을 갖는 히스토그램으로 표현하면 128(16×8)차원의 특징점에 대한 descriptor를 구성하게 된다.

5) 영상 정합

위 과정에 따라 추출된 특징벡터를 이용하여 영상 정합을 수행하기 위해서는 동일한 scale과 영상 크기에 대해서 추출된 특징벡터를 찾고, 각각에 대한 128차원의 descriptor를 비교함으로써 정합을 수행한다.

3. 평면 영상 투영 변환

일반적으로 비행체와 목표물까지의 거리가 매우 멀기 때문에, 비행체에서 획득한 영상에 존재하는 목표물의 입체적인 구조는 상대적으로 평면적으로 접근하더라도 그 오차는 크지 않다는 전제를 가지고 연구를 진행한다. 크기 변환, 회전, 이동이 있는 여러 장의 2차원 영상을 한 장의 이미지로 합성하기 위해서는 일반적인 3차원 공간좌표가 이에 대응하는 카메라 좌표계에 있는 영상 평면으로 투영되는 투영 변환 행렬을 그대로 사용할 수 없다. 본 연구의 대상 영상은 카메라와 목표물까지의 거리가 먼 2차원 영상으로 가정하였으므로 일반적인 3차원 투영 변환^[8] 개념으로부터 2차원 좌표계의 한 영상을 다른 2차원 영상으로 변환하는 관계(homography)로 영상간의 자세 변환을 표현할 수 있다.^[1] 물론, 이러한 homography로 변환을

표현할 수 있기 위해서는 영상내의 물체가 3차원적인 특성을 갖고 있지 않아야 하며, 3차원적인 특성을 갖고 있지 않을 때 정확한 변환 행렬을 얻을 수 있다.

그림 1에서와 같이 한 평면 위의 점들이 시선각이 다른 두 장의 영상으로 투영되는 경우를 보자. 3차원 공간의 점 $P(X, Y, Z)$ 와 이에 대응하는 평면의 좌표 $p(x, y, z)$ 의 관계는 식 (1)과 같다. 여기서 M 은 카메라에 의하여 3차원 공간의 좌표가 어떤 픽셀로 투영되는지 규정해주는 투영 변환 행렬이다.

$$p = MP \tag{1}$$

영상 평면 p 에 대응하는 3차원 공간으로의 좌표는 $P = M^{-1}p$ 와 같고, p' 은 다음 식 (2)와 같이 정의된다.

$$p' = MTP = MTM^{-1}p = Hp \tag{2}$$

H 는 궁극적으로 유도하려는 영상간의 투영 변환식이 되고, 3×3 행렬의 형태를 취한다.

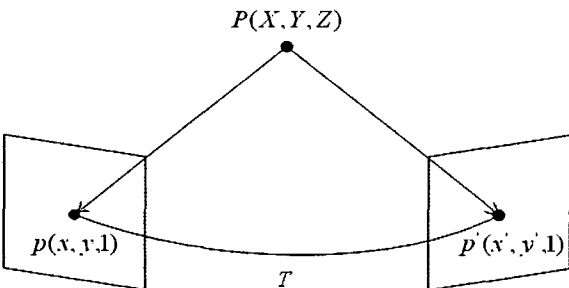
$$H = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \tag{3}$$

식 (2)와 식 (3)을 이용하면 대응되는 두 점 p 와 p' 사이의 관계식을 식 (4), (5)와 같이 나타낼 수 있다.

$$x' = \frac{h_{11}x + h_{12}y + h_{13}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \tag{4}$$

$$y' = \frac{h_{21}x + h_{22}y + h_{23}}{h_{31}x + h_{32}y + h_{33}} \tag{5}$$

일반적으로 변환식의 (3, 3) 행렬값 h_{33} 이 0이 아니면 1로 정규화(normalization) 시킨다. 따라서 8개의 계수를 구하기 위해서는 네 쌍의 대응점을 알면 된다. 다수의 대응점을 찾았을 때, 관계식은 다음 식 (6)과 같이 정리된다.



[그림 1] 영상 투영 변환 관계

$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & -x_1x_1' & -y_1y_1' \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & -x_1y_1' & -y_1y_1' \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_1' \\ y_1' \\ \vdots \end{bmatrix} \quad (6)$$

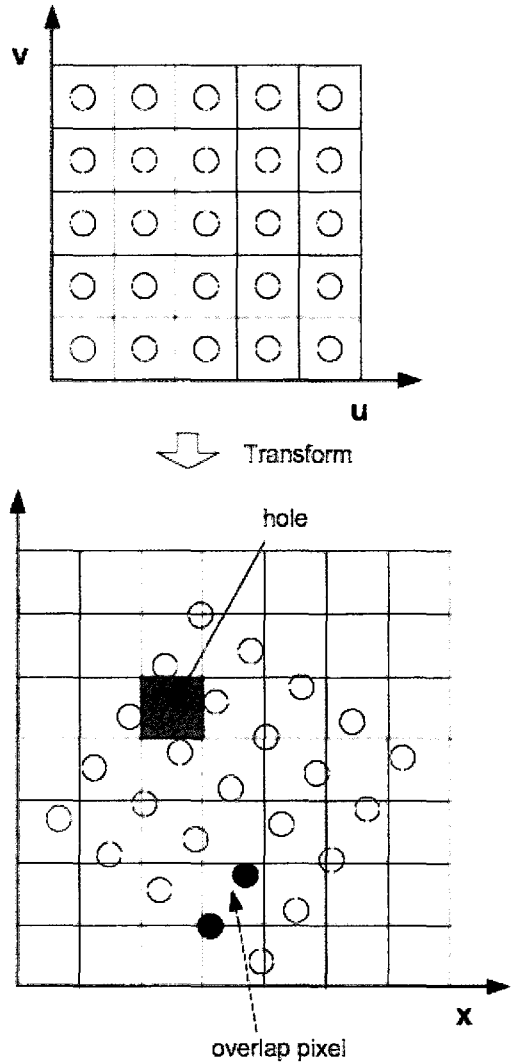
여기서 \vdots 는 대응점들을 계속 쌓아서 행렬을 만드는 것을 의미한다. 따라서 정확한 투영 관계식을 유도하기 위해서는 정확한 대응점을 찾는 것이 중요하다.

본 연구에서는 앞에서 설명한 절차에 따라 추출된 SIFT 특징점을 대응점으로 이용하여 영상간의 변환 행렬을 유도한다.

일반적으로 영상 획득시 잡음이 존재하여 유일한 해가 존재하지 않으므로, H 행렬에 사용되는 대응점은 4쌍의 대응점이 아니라 더 많은 대응관계를 이용한다. 그러나 대응되는 모든 특징점을 이용하여 H 행렬을 구하는 것은 다소 부정확하다. 따라서 대응되는 특징점 중에서 일부만을 선택하여 H 행렬을 추정하고, 이를 반복적으로 갱신하여 가장 우수한 결과를 갖는 H 행렬을 최종적으로 얻는 통계적 방법인 RANSAC(Random Sample Consensus)을 이용한다. 임의로 네 쌍의 대응관계를 선택하여 H 행렬을 계산하고, 이 변환으로 일정한 오차 범위 내의 근접한 위치로 변환되는 특징점들의 수를 센다. 이러한 과정을 반복하면서 가장 많은 특징점이 오차 범위 내로 변환되는 최적화된 변환 행렬을 찾는다.

4. 영상 합성

영상 간의 투영 변환식이 유도되면, 두 영상을 하나의 영상으로 합성할 수 있다. 즉, 유도된 투영 변환 관계식을 이용해서 대상 영상을 기준 영상으로 왜곡(warping)시킬 수 있고, 왜곡 영상은 기준 영상과 합성될 수 있다. 그러나, 이러한 순 매핑(forward mapping) 방법은 그림 2에서와 같이 대상 영상을 변환하고 합성하게 되면 빈 화소가 발생하고, 같은 화



[그림 2] 순 매핑(forward mapping)

소에 대상 영상의 여러 지점의 화소가 중복 변환될 수 있는 문제점이 있다.

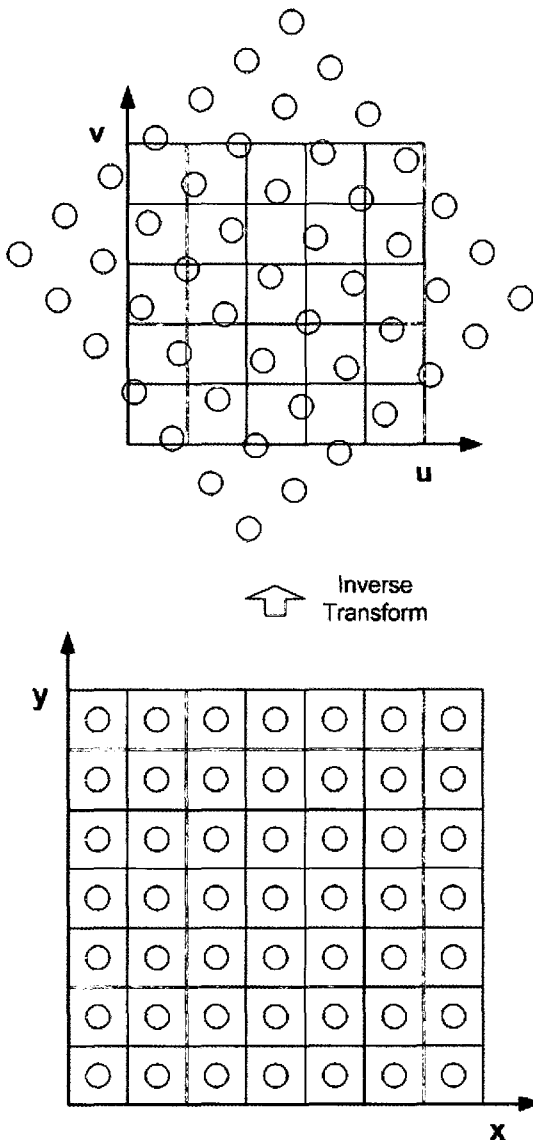
가. 영상 왜핑(warping) 기법

이를 해결하기 위하여 본 연구에서는 식 (7)을 이용하여 역 매핑(inverse mapping)을 수행한다.

$$p' = Hp \Rightarrow p = H^{-1}p' \quad (7)$$

그림 3과 같이 역 매핑을 수행하면, 두 영상을 합

성하여 한 장으로 재구성하고자 하는 영상의 화소에 대응되는 대상 영상 화소의 위치를 구할 수 있다. 이때의 위치는 정수로 표현되는 화소의 위치가 아니므로, 선형 보간법(bilinear interpolation)을 이용한다. 이러한 역 매핑 방법을 사용함으로써 왜곡되었을 때 필요한 화소의 위치를 모두 얻을 수 있으므로, 왜곡된 영상에 빈 화소나 중복 변환되어 겹쳐지는 부분이 생기는 문제점을 해결할 수 있다.



[그림 3] 역 매핑(inverse mapping)

나. 경계선 제거 방법

서로 다른 시점과 조명 조건하에서 찍은 두 영상을 합성하게 되면 영상간의 밝기 차이로 인하여 경계선이 나타나게 된다.^[3] 영상간의 경계선을 제거하기 위하여 두 영상의 히스토그램을 이용하는 방법과 가우시안 피라미드와 라플라시안 피라미드를 이용하여 경계선을 제거하는 방법^[6,7] 등이 연구되었다.

이 중 히스토그램 정합은 대상 영상의 화소 값을 기준 영상의 화소 값과 정합되도록 변환하는 것을 목표로 삼고 있다. 그러나, 이 방법은 기준 영상에 포함되어 있는 특정 사물이 대상 영상에 없을 때 즉, 두 영상의 겹치는 부분에 있지 않는 사물이 히스토그램에 크게 영향을 줄 수 있다면 그로 인하여 대상 영상의 화소 값이 잘못 변환될 수 있다. 가우시안 피라미드와 라플라시안 피라미드를 이용하는 방법은 경계선을 처리하기 위하여 필터링함으로써 경계부분을 부드럽게 만드는 방법이다. 이는 경계부분에 중요한 에지가 존재할 경우 이를 왜곡시킬 수 있는 단점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 영상간의 밝기 차이를 최소화하기 위해 두 영상의 겹치는 부분의 화소 값의 차이를 이용한다. 대상 영상과 기준 영상이 겹치는 부분의 차이만큼을 대상 영상 전체에 보상해주어 기준 영상과의 차이를 줄인다.

$$D = \frac{\sum (I_{ref}(x, y)_{overlap} - I_t(x, y)_{overlap})}{N_{overlap}} \quad (8)$$

$$I'_t(x, y) = I_t(x, y) + D \quad (9)$$

식 (8)의 D 는 두 영상이 겹치는 부분에서의 평균 화소 값의 차이이다. $I_t(x, y)_{overlap}$ 은 (x, y) 위치에서의 대상 영상을 왜곡한 후의 화소 값이고 $I_{ref}(x, y)_{overlap}$ 은 같은 위치에 있는 기준 영상 화소 값이다. $N_{overlap}$ 은 겹치는 부분의 화소 수이다. 식 (9)의 $I'_t(x, y)$ 는 대상 영상의 화소 값을 기준 영상과의 평균 화소 값의 차이만큼을 보상에 준 결과이다.

경계선의 위치는 두 영상을 합성할 때 겹쳐지는 부분을 처리하는 방법에 따라 달라진다. 두 영상에서

겹쳐지는 부분을 각 영상 화소 값의 평균으로 할 수도 있고, 한 영상의 화소 값으로 대체할 수도 있다. 평균을 취하는 방법은 영상간의 변환 관계식이 완벽하고 오차가 없다면 밝기 차이를 줄일 수 있어서 좋은 결과를 나타낼 수 있으나 왼쪽 영상 부분, 겹쳐지는 부분, 오른쪽 영상 부분 이렇게 세 부분으로 나누어지는 단점과 변환 관계식에 오차가 있을 경우에는 한 두 픽셀 오차로 인하여 영상이 몽롱화되는 단점이 있다. 따라서 본 연구의 대상은 회전, 변환, 이동이 심한 영상이므로 오차를 감안하여 겹치는 부분은 기준 영상의 화소 값으로 대체한다.

$$I_m = \begin{cases} I_{ref}(x, y) & \text{if } (x, y) \text{ on } I_{ref} \\ I_t'(x, y) & \text{else} \end{cases} \quad (10)$$

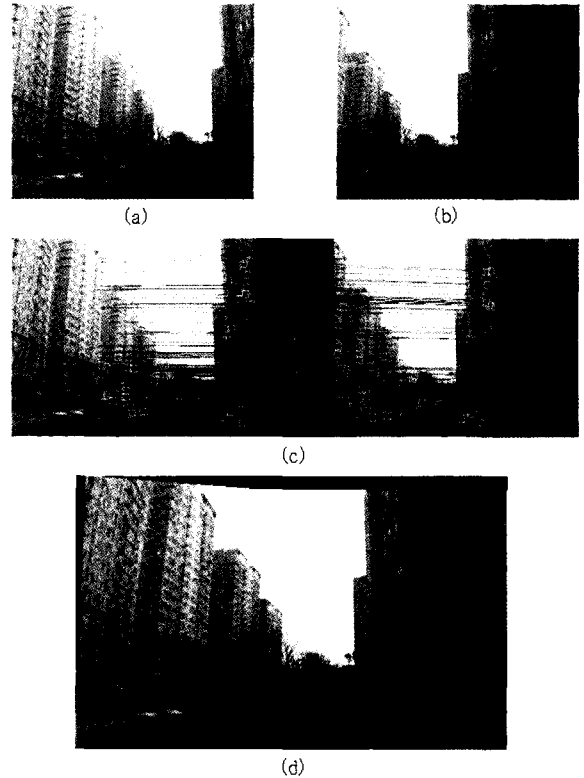
식 (10)을 적용하여 최종 합성된 영상 I_m 은 기준 영상에 정보가 있을 때는 기준 영상의 화소 값을 취하고, 기준 영상에 없는 정보는 대상 영상으로부터 추가한다.

5. 실험 결과 및 고찰

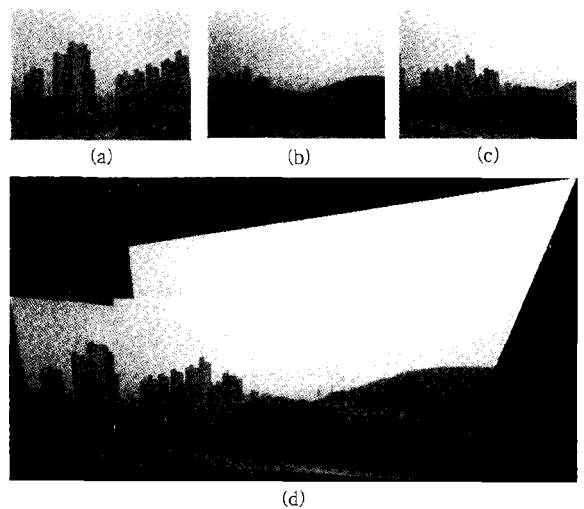
본 논문에서는 제안한 이미지 모자이크 방법의 성능을 평가하기 위하여 야외에서 디지털 카메라를 통해 취득한 영상과 항공기가 비행하며 항공기 하방에 장착된 카메라로부터 획득한 영상을 가지고 모의실험을 하였다.

그림 4의 (a), (b)는 실외에서 디지털 카메라로 획득한 실험 영상으로 시야각의 변화가 거의 없는 영상의 예이다. (c)는 homography 행렬을 계산하는데 사용된 두 영상간의 대응점을 보여주고 있다. (d)는 제안한 방법을 적용한 모자이크 결과 영상으로 시각적으로 만족할만한 결과를 보여주고 있다.

그림 5는 시야각의 변화가 큰 여러 장의 영상 (a), (b), (c)를 모자이크한 결과 영상 (d)를 보여준다. 결과 영상의 가운데 영상을 기준으로 중앙 부분은 잘 맞으나 가장자리로 갈수록 왜곡이 있음을 알 수 있다. 이는 제안한 방법의 고정인 카메라와 목표물과의 거리가 멀기 때문에 목표물을 2차원 평면으로 간주한



[그림 4] (a) 실험 영상 1-1 (b) 실험 영상 1-2
(c) H행렬 추정에 사용된 대응점(135쌍)
(d) 제안한 방법을 적용한 모자이크 결과

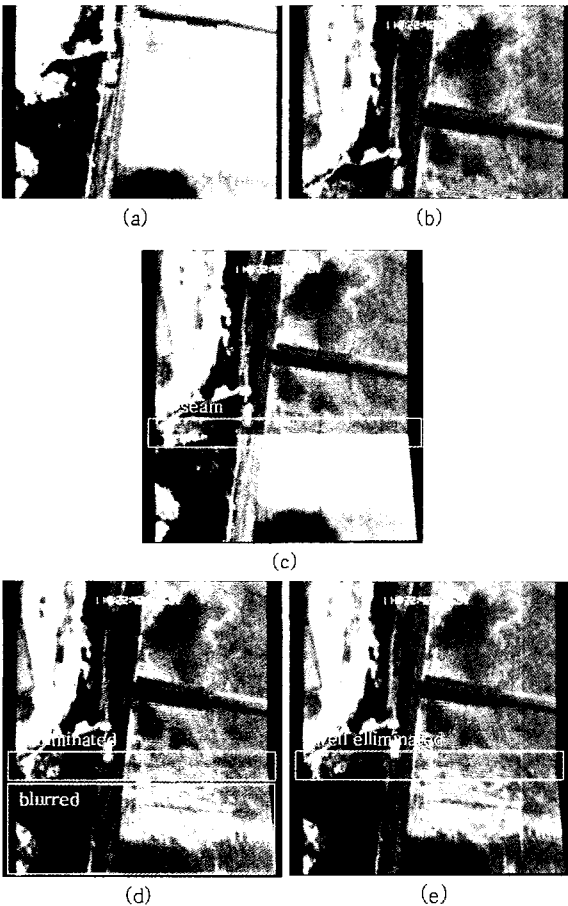


[그림 5] (a) 실험 영상 2-1 (b) 실험 영상 2-2
(c) 실험 영상 2-3 (d) 모자이크 결과

다는 전제를 만족하지 못하기 때문에 가장자리로 갈수록 왜곡이 생긴 경우이다.

그림 6과 그림 7은 본 연구의 초점이 된 비행체에서 찍은 먼 거리의 목표물을 촬영한 영상과 제안한 방법을 적용한 실험 결과이다.

그림 6의 (a), (b) 영상은 항공기 탑재시험을 통해 획득한 영상으로 항공기가 비행하면서 하방에 장착된 카메라로부터 얻어진 영상이다. 이는 지상에서 획득한 영상과 달리 초점이 잘 맞지 않고, 좌우측에는 영상이 촬영되지 않은 부분도 있으며, 이동하는 카메라에서 찍은 영상이므로 영상 전체에 번짐 현상이 있음

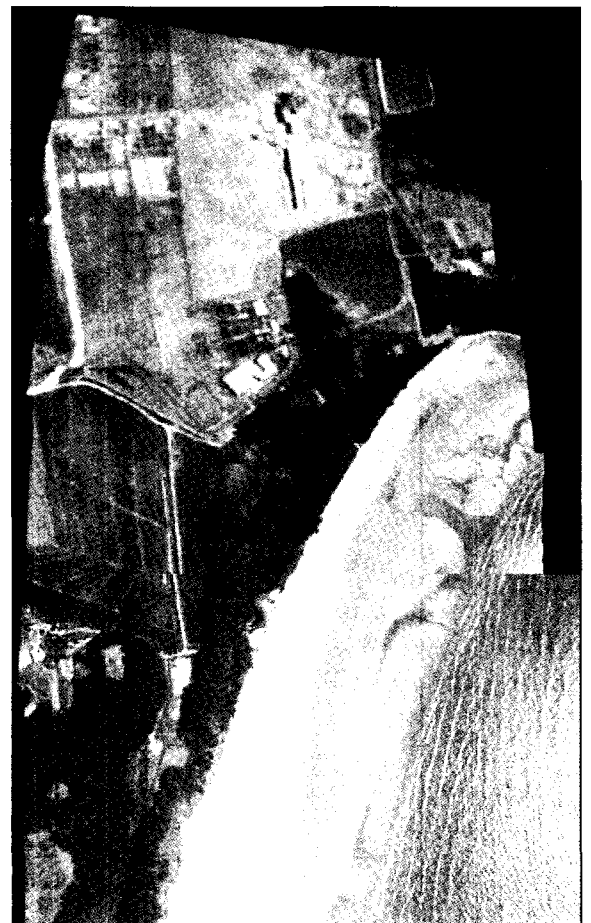


[그림 6] (a) 실험영상 3-1 (b) 실험영상 3-2 (c) 경계선 처리 전 결과 (d) 히스토그램 정합을 이용한 경계선 처리 결과 (e) 제안한 방법을 적용한 경계선 처리 결과

을 알 수 있다. 두 영상간의 특징점의 대응관계로부터 추정된 변환 행렬은

$$H = \begin{bmatrix} 0.998379 & 0.002528 & -2.316564 \\ 0.014214 & 0.943912 & 265.734837 \\ 0.000028 & -0.000121 & 1.000000 \end{bmatrix}$$

와 같다. (c)는 이를 이용하여 모자이킹한 경계선 처리 전의 결과로 영상의 도로 부분을 보았을 때 두 영상이 잘 합성되었으나, 두 영상간의 밝기 차이로 인하여 경계선이 두드러지게 나타나 있음을 확인할 수 있다. 그림 (d)는 히스토그램 정합을 수행하여 합성한 결과로 두 영상간의 경계선은 많이 줄어들었으나, (a)영상 부분이 전체적으로 흐려졌음을 알 수 있



[그림 7] 항공기 촬영 영상 모자이킹 결과

다. 그림 (e)는 제안한 방법인 식 (8), (9)를 적용하여 밝기 차이를 제거한 결과 영상으로 경계선이 잘 제거되었으며 시각적으로도 만족할 만한 결과를 보여주고 있다.

그림 7은 항공기의 하방에 장착된 카메라로 찍은 7장의 영상을 제안한 방법을 적용하여 한 장의 영상으로 만든 결과로 시각적으로 좋은 성능을 보여주고 있다.

6. 맺음말

점차 무기체계가 정밀화 및 무인화 되어감에 따라 장착된 카메라나 영상 수집 장치를 활용하여 무기체계의 정확도를 향상시키려는 연구가 시도되고 있다. 그런데, 무기체계에 장착된 카메라의 제한된 시야각으로 인하여 많은 영상 정보를 한 화면에 담을 수 없는 문제점이 있다. 따라서, 본 논문에서는 카메라와 목표물과의 거리가 멀고, 항공기와 같이 불안정한 환경에서 획득되는 잡음이 많은 영상을 대상으로 하는 이미지 모자이킹 방법을 제안하였다.

제안한 방법은 두 장의 영상간의 변환 행렬을 유도하기 위하여 SIFT라는 특징 추출 기법 및 RANSAC 방법을 적용하고, 대상 영상과 기준 영상을 합성하기 위해 역 매핑 기법과 선형보간법을 사용함으로써 변환과정에서 빈 화소나 중복되는 화소를 제거하였으며, 영상간의 밝기 차이를 줄임으로써 시각적으로 좋은 성능을 얻었다.

제안한 방법을 실험 영상에 적용해 본 결과 영상의 해상도 및 크기, 회전 변환이 있는 영상들도 영상 합성이 잘 이루어짐을 확인하였다. 그러나, 본 방법은 획득한 영상에 물체들의 표면 특성이 잘 나타난다면 영상에 잡음이 존재하더라도 좋은 인식 결과를 얻을 수 있지만, 영상에 물체의 표면 텍스처 정보를 담을 수 없다면 변환 행렬을 찾을 수 없으므로 이미지 모자이킹이 되지 않는 단점이 있다. 이를 해결하기 위해 향후 연구에서는 대상 영상과 기준 영상의 특성을 자동으로 파악할 수 있는 방법을 연구하여 물체의 표면 텍스처 정보를 이용하여 변환 행렬을 추출하는 방법과 그 외의 정보를 이용하는 방법을 선택적으로 취

할 수 있도록 하여야 할 것이며, 영상간의 경계선 제거 방법에 대한 연구가 깊이 진행되어야 할 것이다.

본 논문의 방법은 사람의 개입없이 자동으로 이루어지므로 무인화된 무기체계에 적용이 가능하며, 영상 재구성에 관한 연구 및 카메라로부터 획득한 영상 정보를 활용하여 성능을 높이고자 하는 시스템에 참조될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] R. Hartley and A. Zisserman, "Multiple View Geometry in Computer Vision", 2nd Ed., Cambridge University Press., 2003.
- [2] C. Dos Santos, A. Stoeter, E. Rybski and P. Papanikolopoulos, "Mosaicking Images : Panoramic Imaging for Miniature Robots", IEEE Robotics & Automation Magazine Dec., pp.62~68, 2004.
- [3] P. Burt and E. Adelson., "A Multiresolution Spline with Application to Image Mosaics", ACM Trans. on Graphics, Vol. 2, No. 4, pp. 217~236, October 1983.
- [4] B. Zitova and J. Flusser, "Image registration methods : a survey", Image and Vision Computing 21, pp.977~1000, 2003.
- [5] D. Lowe, "Distinctive image features from scale-invariant keypoints", International Journal of Computer Vision, 2004.
- [6] S. Peleg, "Elimination of Seams for Photo-mosaics", IEEE Conference on Pattern Recognition and Image Processing, pp.426~429, 1981.
- [7] P. Burt and E. Adelson., "The Laplacian Pyramid as a Compact Image Code", IEEE Trans. on Communications, Vol. COM-31, No. 4, pp.532~540, April, 1983.
- [8] J. Foley, A. vanDam, S. Feiner and J. Hughes, Computer Graphics : Principles and Practice, Addison-wesley publishing company, 1990.