

선형과 특징점을 이용한 연속적인 드론영상의 자동기하보정

Automatic Geo-referencing of Sequential Drone Images Using Linear Features and Distinct Points

최한승¹⁾ · 김의명²⁾

Choi, Han Seung · Kim, Eui Myoung

Abstract

Images captured by drone have the advantage of quickly constructing spatial information in small areas and are applied to fields that require quick decision making. If an image registration technique that can automatically register the drone image on the ortho-image with the ground coordinate system is applied, it can be used for various analyses. In this study, a methodology for geo-referencing of a single image and sequential images using drones was proposed even if they differ in spatio-temporal resolution using linear features and distinct points. Through the method using linear features, projective transformation parameters for the initial geo-referencing between images were determined, and then finally the geo-referencing of the image was performed through the template matching for distinct points that can be extracted from the images. Experimental results showed that the accuracy of the geo-referencing was high in an area where relief displacement of the terrain was not large. On the other hand, there were some errors in the quantitative aspect of the area where the change of the terrain was large. However, it was considered that the results of geo-referencing of the sequential images could be fully utilized for the qualitative analysis.

Keywords : Sequential Images, Georeferencing, Realtime, Spatio-temporal Resolution, Drone Image, Image Registration, Ortho-image

초 록

드론영상은 소규모 지역의 공간정보를 신속하게 구축할 수 있는 장점을 가지고 있어 빠른 의사결정이 필요한 분야에 적용되고 있다. 이러한 드론영상을 지상좌표계가 설정되어 있는 정사영상에 자동으로 영상등록할 수 있는 기하보정 기법이 적용된다면 다양한 분석에 활용될 수 있다. 이에 본 연구에서는 선형정보와 특징점 정보를 이용하여 시·공간해상도에 차이가 있더라도 드론을 이용하여 촬영된 단일 영상 및 연속영상을 기하보정할 수 있는 방법론을 제안하였다. 선형정보를 이용하는 방법을 통해서 영상간의 초기 기하보정을 위한 투영변환 매개변수를 결정한 후 영상에서 다수 추출할 수 있는 특징점에 대한 템플릿 정합을 통해서 최종적으로 영상의 기하보정을 수행하였다. 실험을 통하여 지형의 기복이 많이 있지 않은 지역에서는 기하보정의 정확도가 높게 나타났다. 이에 반해 지형의 변화가 많은 지역에서는 정량적인 측면에서 다소 오차가 크게 나타났으나 정성적인 분석에는 연속영상의 기하보정 결과를 충분히 활용가능한 것으로 판단된다.

핵심어 : 연속영상, 기하보정, 실시간, 시·공간해상도, 드론영상, 영상등록, 정사영상

Received 2018. 11. 20, Revised 2018. 12. 18, Accepted 2018. 2. 20

1) Member, GIS Research Center, Geospatial Information Technology Co., Ltd (E-mail: hseung@git.co.kr)

2) Corresponding Author, Member, Department of Spatial Information Engineering, Namseoul University (E-mail: kemyoung@nsu.ac.kr)

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

1. 서론

공간정보 분야에서 드론영상을 이용하여 공간정보를 취득하는 이유는 높은 접근성과 실시간 자료취득의 용이함을 가지고 있기 때문이다. 특히, 드론영상은 소규모 지역의 공간정보 자료취득과 신속한 공간정보의 자료구축의 장점을 가지고 있어 빠른 의사결정이 필요한 분야에 적용되고 있다(Yun and Lee, 2014). 이러한 이유로 국립재난안전연구원은 드론을 재난현장에 운용하여 신속한 의사결정을 할 수 있도록 운영체계를 구축하였다(Lee *et al.*, 2014). 이와 같이 드론영상을 이용하여 공간정보를 취득하기 위해서는 기하보정(geo-referencing)이 선행되어야 한다.

드론영상의 기하보정과 관련된 연구를 살펴보면 지상기준점(GCP: Ground Control Point)과 매핑함수를 통해 기하보정을 수행한 연구(Kim *et al.*, 2008), 드론의 초기 외부표정요소(EOP: Exterior Orientation Parameters)를 이용하여 지상기준점 없이 근 실시간으로 기하보정을 수행하는 연구 등이 수행되었다(Choi *et al.*, 2011; Jung and Yun, 2012). 이와 같이 수동으로 GCP를 추출할 경우 영상에 GCP를 입력해야하기 때문에 신속한 기하보정이 어려우며, 드론의 초기 EOP를 사용할 경우 저가형 GNSS/IMU (Global Navigation Satellite System / Inertial Measurement Unit) 센서를 사용하기 때문에 신뢰성의 문제가 발생할 수 있다(Kim, 2015).

이와 같은 단점을 개선하기 위해서 수동으로 입력하는 GCP와 드론의 초기 EOP를 사용하지 않고 개선된 SIFT (Scale Invariant Feature Transform)기법을 이용하여 입력영상을 기준영상에 자동으로 기하보정을 수행하였다(Han, 2013; Koch *et al.*, 2016). 하지만 이와 같이 자동으로 특징점을 GCP로 추출한 기하보정 방법은 영상의 밝기값이 유사한 지역을 정합영역으로 인식하기 때문에 시·공간해상도가 유사한 경우에만 기하보정이 가능하며, 시·공간해상도가 유사하지 않을 경우는 특징점기반 기하보정은 어렵다(Choi and Kim, 2017). 기준영상과 입력영상간에 다소 시·공간해상도의 차이가 있을 경우 드론의 초기 EOP로 1차적으로 기하보정한 후 SIFT기법으로 최종적인 기하보정을 수행한 연구도 수행되었다(Lin and Medioni, 2007; Huang *et al.*, 2012).

이러한 방법은 정확도가 높은 초기 EOP를 이용하여 대략적으로 기하보정하였기 때문에 시·공간해상도가 다소 차이가 있더라도 특징점 기반으로 기하보정이 가능하였다. 하지만 드론의 초기 EOP가 정확해야하는 어려움을 가지고 있다. 반면에 특징점 정합보다 선형정합 방법을 이용한다면 더 많은 영상의 특징정보를 사용할 수 있다(Zhongliang and Zhiquan,

2008). 시·공간해상도가 다른 기준영상과 입력영상 간에 선형의 기하학정보와 영상의 밝기값을 이용하여 기하보정을 수행한 연구(Ok *et al.*, 2012)와 선형의 연관분석만을 통해 입력영상과 기준영상간의 시·공간해상도가 다른 경우에 기하보정을 수행한 연구가 있었다(Choi and Kim, 2017).

이와 같이 선형정보를 이용할 경우 시·공간해상도가 다를 경우에도 기하보정이 가능함을 알 수 있었으나 선형정보는 비교적 특징점보다 빈번하게 나타나지 않기 때문에 선형정보가 적게 추출되는 지역일 경우 다소 오차가 발생할 수 있다.

따라서, 본 연구는 앞서 기술한 기하보정의 단점을 개선하기 위해서 선형과 특징점 정보를 모두 이용하여 자동으로 연속된 드론영상을 순차적으로 신속하게 기하보정을 수행하는 방법을 제안하는 것이 목적이다.

2. 제안한 방법론

선형정보와 특징점을 이용하여 단일영상 및 연속으로 촬영된 드론영상의 기하보정을 위한 방법론은 Fig. 1과 같다. 단일영상의 기하보정은 연속영상(드론영상) 중 기준이 될 하나의 영상(이후, 입력영상)을 기준영상(정사영상)에 기하보정한다. 본 논문에서는 기준영상은 이미 지상좌표계가 설정되어 있는 정사영상을 뜻하는 것으로 시간해상도와 공간해상도에 상당한 차이가 나타나는 영상을 뜻한다.

드론을 이용하여 촬영한 단일영상의 기하보정방법은 하나의 영상을 기하보정할 때 적합한 방법으로 선형정보와 특징점을 이용한 템플릿정합을 통해 기하보정을 수행한다. 연속영상의 기하보정은 연속영상 중 단일영상의 기하보정을 수행한 입력영상을 첫 번째 영상으로 두고 두 번째 영상과의 상호표정요소(ROP: Relative Orientation Parameters)를 결정하고 이를 통해 두 번째 영상을 기하보정한다. 이러한 방법을 반복적으로 수행하여 연속영상의 기하보정을 수행한다.

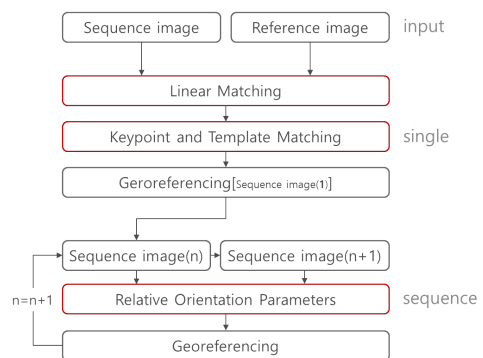


Fig. 1. Proposed methodology for geo-referencing

3. 단일영상의 기하보정

본 연구의 첫 번째 단계인 단일영상의 기하보정은 연속영상 중 하나의 입력영상과 기준영상 간에 시·공간해상도의 차이로 인해 입력영상을 기준영상에 기하보정하는 것은 쉽지 않은 문제이다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 첫 번째로 선형정합을 통해 대략적으로 입력영상을 기하보정하였다. 이후 두 번째로 선형정보가 적절하게 추출되지 않을 경우 이를 보완하기 위해서 특징점과 템플릿 정합을 통해 기준영상에 입력영상을 기하보정하는 방법을 적용하였다. 본 연구에서 기하보정 시 사용되는 매핑함수는 투영변환(projective transformation)을 사용하였다.

3.1 선형정합

선형정합은 영상의 시·공간해상도와 관계없이 기하보정이 가능한 장점이 있다. 본 연구에서는 특징점 및 템플릿 정합이 가능하도록 선형정합 방법으로 초기 기하보정을 수행하였다. 선형정합 방법은 두 영상(입력영상, 기준영상)에서 추출한 각각의 선형이 동일한 선형임을 판단 후, 동일한 선형간의 매핑함수에 대한 매개변수를 결정하는 것이다.

입력영상과 기준영상에서 각각 선형을 추출하고 동일한 선형을 인식하는 방법은 연관행렬(association matrix)을 이용하는 방법을 사용하여 동일한 선형임을 인식하였다(Choi and Kim, 2017). 추출한 두 선형은 Fig. 2와 같이 매핑함수를 적용하고 나면 법선벡터가 최소가 된다는 것을 알 수 있다. 이를 수식으로 나타내면 Eq. (1)로 나타낼 수 있다(Rami, 2004). 이를 통해 투영변환의 매개변수를 결정하였으며 초기 기하보정을 수행하였다.

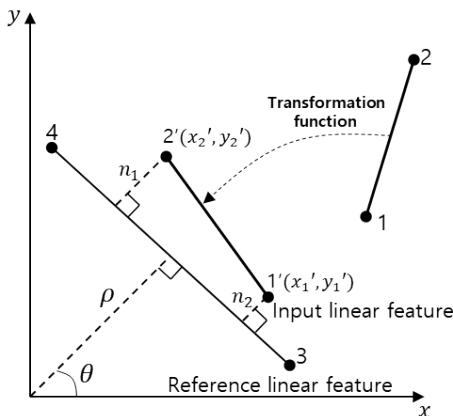


Fig. 2. Similarity measure using linear feature (Choi and Kim, 2017)

$$n_n = x_n' \cdot \cos\theta + y_n' \cdot \sin\theta - \rho \quad (1)$$

where n_n represents a normal vector between reference and input linear features, (ρ, θ) denotes polar coordinates representing the linear feature in the reference image, and (x_n', y_n') represents transformed coordinates of point n in the input image after applying the transformation function.

3.2 특징점 및 템플릿 정합

특징점 및 템플릿 정합은 선형정합 시 선형이 고르게 분포되어있지 않으면 다소 기하보정이 불완전할 수 있으므로 이를 보완하기 위해서 수행하였다. 특징점 및 템플릿 정합을 수행하기 위해서 초기 기하보정된 입력영상에서 SIFT기법을 적용하여 특징점을 검출하였다.

초기 기하보정된 입력영상에서 추출된 특징점을 중심으로 Fig. 3과 같이 템플릿을 설정하였다. 그리고 템플릿 탐색범위는 기준영상에서 생성된 템플릿 위치를 기준으로 임의의 범위만큼 Fig. 4와 같이 설정하였고, 탐색범위의 개수는 템플릿의 개수와 동일하다. 그리고 임의의 범위는 이전에 수행한 선형정합시 계산된 사후분산에 근거해서 설정되게 하였다. 또한, 특징점을 기준으로 템플릿과 템플릿의 탐색범위를 설정한 이유는 초기 기하보정이 이루어졌다면 공간해상도가 유사하게 변환되었기 때문에 동일한 특징점이 추출될 가능성이 높기 때문이다.

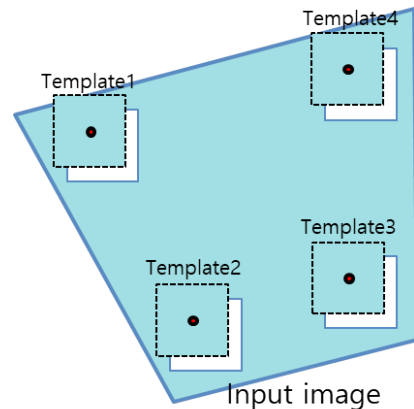


Fig. 3. Template setting in an input image

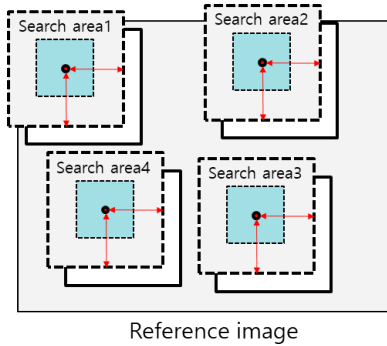


Fig. 4. Search area setting in a reference image

설정된 템플릿과 대응되는 템플릿의 탐색범위를 통해 템플릿 정합을 수행하고, 유사도가 일정한 범위 이내에 있는 템플릿만 템플릿 정합이 적절하게 수행되었다고 인식하였다. 수행된 템플릿의 중앙점인 특징점과 탐색범위에서 템플릿 정합이 수행된 위치점을 공액점(conjugate point)으로 인식하고, 최소 제곱법을 통해 투영변환의 매개변수를 결정하였다.

3.3 기하보정

앞에서 결정된 투영변환 매개변수는 두 가지가 결정되었다. 첫 번째는 입력영상에서 초기 기하보정된 입력영상으로 변환되는 투영변환 매개변수이고, 두 번째는 초기 기하보정된 입력영상에서 기준영상으로 변환되는 투영변환 매개변수이다. 입력영상에서 기준영상으로 기하보정 시 첫 번째 투영변환 매개변수를 적용한 후, 두 번째 투영변환 매개변수를 적용해야 한다. 이러한 방법은 영상변환(보간법)이 두 번 수행되기 때문에 원본 영상을 다소 변형시킬 수 있으며 계산량이 많아지는 단점이 있다. 이러한 단점을 개선하고자 본 연구에서는 Eq. (2)를 이용하여 두 개의 투영변환 매개변수를 입력영상에서 기준영상으로 기하보정 할 수 있는 하나의 투영변환 매개변수로 계산하였다.

$$P_o^m = P_i^m P_o^i \quad (2)$$

$$P = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_0 \\ b_1 & b_2 & b_0 \\ c_1 & c_2 & 1 \end{bmatrix}$$

where P represents a projective transformation matrix, P_o^i represents a projective transformation matrix from input image to initial geo-referenced input image, P_i^m represents a projective transformation matrix from initial geo-referenced

input image to reference image, and P_o^m represents a projective transformation matrix from input image to reference image.

4. 연속영상의 기하보정

드론으로 촬영한 연속영상의 기하보정 방법은 단일영상의 기하보정을 수행한 입력영상(이후, 첫 번째 영상)을 기준으로 기하보정하는 것이다. 이를 위해 연속영상의 기하보정을 위한 기준이 되는 첫 번째 영상과 다음에 촬영된 두 번째 영상간의 ROP를 결정한 후, ROP를 EOP로 변환하여 EOP를 통해 기하보정을 수행하였으며, 이와 같은 방법을 반복적으로 다음 영상에 적용하여 연속영상의 기하보정을 수행하였다.

4.1 상호표정요소 결정

드론에서 연속촬영한 두 입력영상간에 ROP를 결정하게 되면 기하보정된 기준영상을 기준으로 두 번째 영상이 어떻게 회전되었고 이동되었는지 알 수 있게 된다. 이는 첫 번째 영상이 이미 단일영상의 기하보정방법을 적용하여 기하보정되었기 때문에 두 번째 영상도 기준영상에 기하보정될 수 있다. 연속촬영된 두 영상간에 ROP를 결정하기 위해서 특징점 정합을 수행하고, 특징점 정합의 정확도에 따라 가중치를 부여한다. 본 연구에서 ROP를 결정하는 방법은 공면조건(coplanarity condition)식을 기반으로 하였다.

4.2 EOP결정 및 기하보정

두 입력영상간에 결정된 ROP는 Fig. 5와 같이 첫 번째 영상에 대해 두 번째 영상이 어떻게 회전되었고 이동되었는지 알 수 있다. 하지만 이는 지상좌표계를 기준으로한 회전과 이동량을 나타내는 것은 아니므로 ROP를 EOP로 변환하여 기하보정 하였다. 입력영상중 첫 번째 영상은 지상좌표계가 설정된 기준영상을 대상으로 이미 기하보정하였기 때문에 ROP를 쉽게 EOP로 변환할 수 있다. 두 번째 영상의 ROP는 Eq. (3)을 통해서 EOP로 변환하였다.

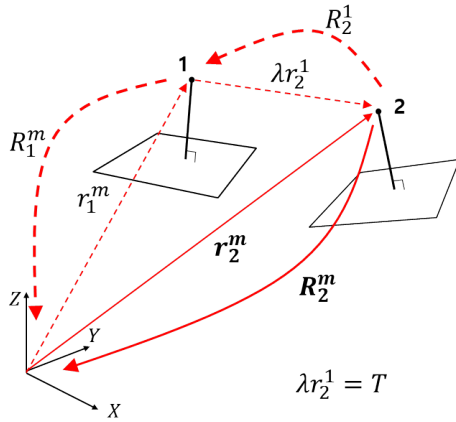


Fig. 5. Relation between ROP and EOP

$$R_2^m = R_1^m R_2^1, \quad r_2^m = r_1^m + \lambda r_2^1 \quad (3)$$

where R_2^1 represents a rotation in ROP, λr_2^1 represents a translation in ROP, R_1^m represents a rotation in EOP of first image, r_1^m represents a translation in EOP of first image, R_2^m represents a rotation in EOP of second image, and r_2^m represents a translation in EOP of second image.

Eq. (3)을 살펴보면 λ 는 축척을 나타내는 것으로 절대좌표로 고정되었다고 가정하였다. 이와 같이 축척이 고정된다면 EOP를 결정할 수 있지만 추정된 ROP는 축척이 절대좌표로 고정되어있지 않기 때문에 축척을 고정해야 한다.

본 연구에서 축척은 첫 번째 영상의 투영중심 중 X 와 두 번째 영상의 투영중심 중 X 간의 거리로 결정하였다. 여기서, 첫 번째 영상의 EOP는 알고 있으며, 두 번째 영상의 투영중심 중 X 를 결정해야 한다. 두 번째 영상의 투영중심 X 를 결정하는 방법은 Fig. 6과 같이 첫 번째 단계로 첫 번째 영상에서 나타난 공역점을 공선조건식(collinearity condition)을 통해 지상좌표 X, Y 값을 취득한다. 두 번째로 취득된 지상좌표 X, Y 와 두 번째 영상에 나타난 공역점을 통해 두 번째 영상의 투영중심 중 X 를 공선조건식(후방교회법)으로 계산하였다(Mazaheri and Habib, 2015). 따라서, 고정된 축척(X 이동량)을 ROP에 이동량(T_1, T_2)에 적용하여 절대좌표로 고정하였다. 이와 같은 방법을 연속영상에 적용하여 입력된 두 영상간의 ROP를 EOP로 변환하는 과정을 반복해서 수행하였다.

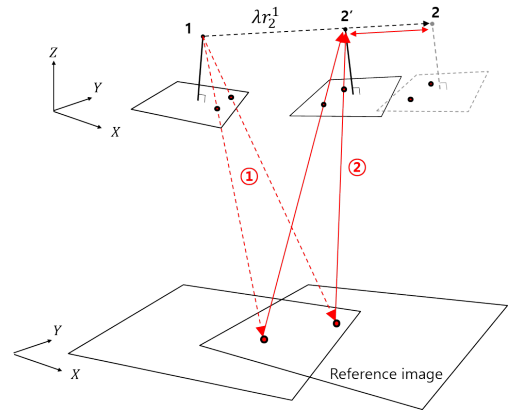


Fig. 6. Relation between ROP and EOP

5. 실험

5.1 실험 대상지역 및 데이터

본 연구의 실험대상 지역은 충청남도 천안이며 Fig. 7과 같이 기복이 있는 지역(A)과 기복이 없는 지역(B)으로 구분하여 실험하였다. 연속영상은 드론영상으로 GSD (Ground Sampling Distance)는 4cm이고 촬영 시기는 2016년 여름이다. 사용된 영상의 개수는 각 지역마다 5장의 영상이 사용되었다. 기준영상은 항공영상으로 GSD는 51cm이고, 촬영 시기는 2015년 겨울이다. 입력영상과 기준영상간에 시간해상도는 약 6개월가량의 차이가 있고 공간해상도는 약 47cm의 차이가 있어 시·공간해상도가 다른 것을 알 수 있다.

기하보정의 정확도는 센서(GNSS/IMU)로 취득된 EOP로 직접기하보정(direct geo-referencing)한 정확도와 제안한 방법론으로 기하보정한 정확도를 비교분석 하였다.

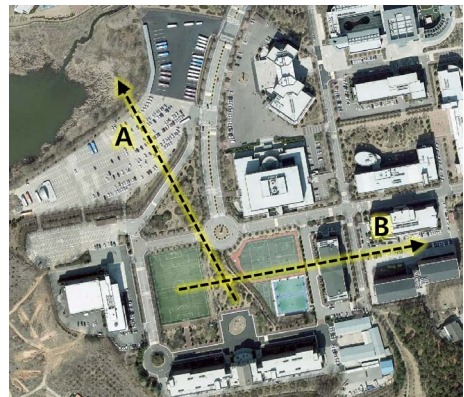


Fig. 7. Study area

5.2 기하보정 결과

제안한 기하보정으로 취득된 EOP를 이용하여 기준영상에 기하보정을 수행하였다. Fig. 8과 Fig. 9는 A, B지역에서 센서로 취득한 EOP로 직접기하보정한 결과를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 10과 Fig. 11은 A, B지역에서 제안한 방법으로 추정된 EOP를 이용하여 기하보정한 결과를 나타낸 것이다.



Fig. 8. Direct geo-referencing(A)



Fig. 9. Direct geo-referencing(B)



Fig. 10. Proposed geo-referencing(A)

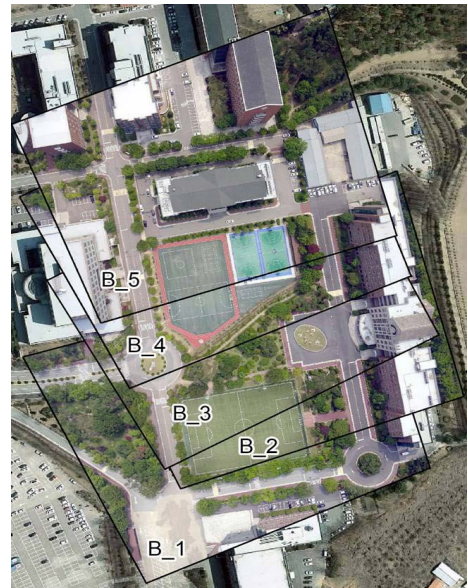


Fig. 11. Proposed geo-referencing(B)

제안한 방법으로 기하보정한 결과는 기존에 선형만을 이용한 연구(Choi and Kim, 2017)의 단점을 개선하였으며, A, B지역에서 센서를 이용하여 직접기하보정한 결과보다 기준영상에 정확하게 기하보정된 결과를 볼 수 있다. 또한, 연속영상에서도 상호간에 정확하게 기하보정된 것을 알 수 있다.

이러한 두 가지의 결과를 정성적, 정략적으로 살펴보기 위해 Fig. 12와 같이 A, B지역에서 각각 15개의 검사점을 선정하여 비교분석을 수행하고 A지역과 B지역 간에도 비교분석을 수행하였다.

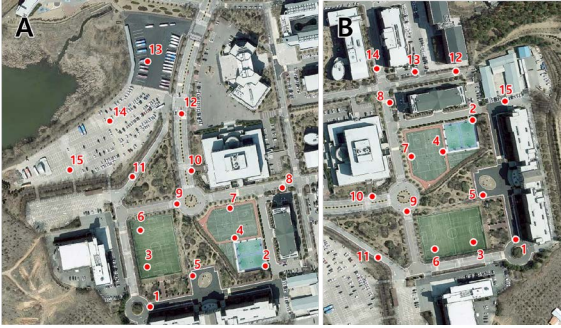


Fig. 12. Distribution of check points

Fig. 13과 Fig. 14에서 (a-1), (a-2)는 입력영상을 기준영상에 기하보정하는 제안한 방법으로 기하보정을 수행한 것을 나타내고 (b-1), (b-2)는 센서로 취득한 EOP를 이용하여 기하보정한 결과를 나타낸 것이다. 또한, 기준점에 대해 Fig. 13의 (a-1), (b-1)은 검사점 5번, Fig. 14의 (a-1), (b-1)은 검사점 1번 주변으로 연속영상 중 첫 번째 영상에 해당되고, Fig. 13의 (a-2), (b-2)는 검사점 14번, Fig. 14의 (a-2), (b-2)는 검사점 12번 주변으로 연속영상 중의 마지막 영상에 해당된다.

기복이 있는 지역(A)에서 연속영상의 기하보정된 결과를 살펴보면 Fig. 13(a-1)과 같이 첫 번째 영상은 기하보정이 정확하게 된 것을 알 수 있으나 Fig. 13(a-2)에 나타난 것과 같이 마지막 영상에서의 기하보정 결과는 다소 정확하지 않은 것을 알 수 있었다. 이에 반해 기복이 없는 지역(B)에서는 Fig. 14(a-1)과 같이 첫 번째 영상과 Fig. 14(a-2)와 같이 마지막 영상에서의 기하보정의 정확도 차이가 크게 나타나지 않음을 알 수 있었다. 이러한 이유는 연속영상의 기하보정을 수행할 때 기복을 첫 번째 영상(단일영상의 기하보정)만 고려하고 나머지 영상은 고려하지 못하여 기복의 변화가 생길수록 오차가 다소 발생할 수 있기 때문이다.

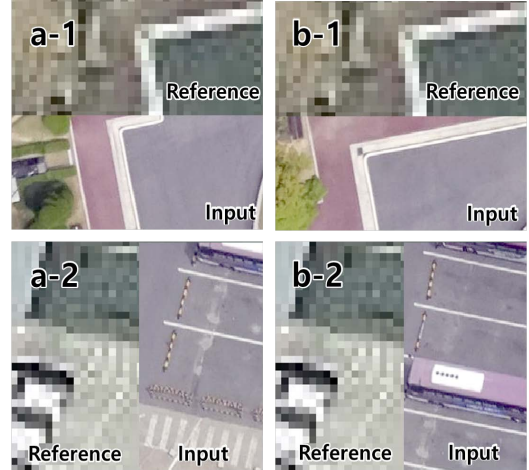


Fig. 13. Geo-referencing results in region A



Fig. 14. Geo-referencing results in region B

기하보정의 정확도를 정량적으로 분석하기 위해 검사점에 대해 평면위치오차를 계산하였으며 그 결과는 Table 1과 같다. A지역에서 초기 EOP에 의한 연속영상의 기하보정 평균 제공근오차는 21.09픽셀이고 제안한 연속영상의 기하보정한 결과 평균제공근오차는 5.46픽셀로 15.63(21.09-5.46)픽셀만큼 확연히 오차가 줄어든 것을 알 수 있었다. B지역에서도 동일하게 제안한 연속영상의 기하보정한 결과가 초기 EOP에 의한 연속영상의 기하보정보다 27.79(28.98-1.20)픽셀만큼 확연히 오차가 낮은 것을 알 수 있었다. 이를 통해 센서에 의한 직접기하보정보다 제안한 방법을 이용할 경우 시-공간해상도의 차이가 크더라도 기하보정이 가능함을 알 수 있었다.

제안한 연속영상의 기하보정에서 검사점 중 특이한 검사점을 살펴보면 A지역에서 오차가 낮은 곳은 검사점 9번으로 0.24픽셀의 오차가 발생하였다. 이를 통해 거의 동일하게 기하보정 되었음을 알 수 있다. 반면 오차가 높은 곳은 검사점 13번으로 14.75픽셀의 오차가 발생하였다. 또한, 검사점 10번, 11번, 12번, 14번, 15번이 비교적 오차가 높게 나타났는데 오차의 방향을 살펴보면 촬영 진행방향의 반대방향으로 오차가 나타났다. 이는 Fig. 15와 같이 검사점 10번~15번의 실제 지형이 첫 번째로 기하보정한 지역의(기준고도) 고도보다 낮은 고도의 지역에 위치하였기 때문이다. 따라서, 기복변화에 따라 비교적 크게 오차가 발생할 수 있음을 알 수 있었다.

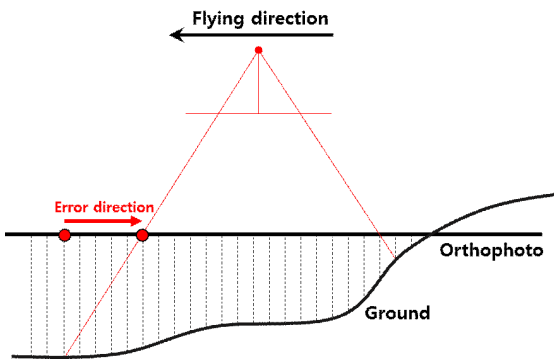


Fig. 15. Direction of error due to relief displacement

B지역을 살펴보면 오차가 낮은 곳은 검사점 9번으로 0.15 픽셀의 오차가 발생하였다. 반면 오차가 높은 곳은 검사점 12번으로 2.14픽셀의 오차가 발생했지만 비교적 정확하게 기하보정이 된 것을 알 수 있다.

제안한 연속영상의 기하보정에서 A지역과 B지역을 살펴봤을 때 A지역과 B지역의 각각 평균제곱근오차는 5.46픽셀, 1.20픽셀로 나타났으며 B지역의 오차가 낮게 기하보정 된 것을 알 수 있다. 이러한 이유는 A지역은 첫 번째 영상에서 나타난 지형의 고도와 다른 영상들의 지형의 고도가 확연하게 다르며 B지역은 첫 번째 영상에서 나타난 지형의 고도와 다른 영상들의 지형의 고도가 유사하기 때문이다. 따라서, 본 연구에서 제안한 기하보정은 지형의 기복변화에 따라 결과에 다소 영향을 미칠 수 있는 것을 알 수 있었다.

Table 1. Planimetric accuracy using checkpoints (unit: pixel)

Check Point	Direct geo-referencing		Proposed geo-referencing	
	A	B	A	B
CP1	24.312	9.920	0.247	0.792
CP2	16.671	30.518	0.673	0.348
CP3	11.517	15.379	1.208	0.994
CP4	14.465	19.719	0.773	1.049
CP5	10.883	17.333	0.368	0.791
CP6	21.441	21.028	1.102	1.458
CP7	17.467	22.831	1.048	0.879
CP8	30.047	36.440	0.963	1.187
CP9	17.790	14.668	0.235	0.152
CP10	18.863	24.690	2.173	0.267
CP11	23.865	24.612	3.998	0.801
CP12	22.267	39.993	6.559	2.139
CP13	33.479	39.221	14.749	1.995
CP14	19.554	45.453	8.563	1.501
CP15	20.823	41.461	9.306	1.490
RMSE	21.089	28.983	5.460	1.198

6. 결론

본 연구는 이미 지상좌표계가 설정되어 있는 정사영상 위에 시-공간해상도가 다른 드론을 이용하여 촬영한 연속영상을 신속하게 기하보정하는 연구를 수행하였으며 다음과 같은 결론을 도출하였다.

첫째, 영상의 밝기값을 이용하지 않고 기준영상과 입력영상간의 유사한 선형을 인식하여 선형정합을 통해 시-공간해상도가 다르더라도 초기의 기하보정을 수행할 수 있었음을 알 수 있었다. 이를 통해 이후 특징점 및 템플릿 정합이 가능할 수 있었다.

둘째, 초기 기하보정된 입력영상과 기준영상간의 특징점과 템플릿정합을 통해 최종 기하보정하는 방법론을 제안하였다. 제안한 방법론은 본 연구의 실험 중 첫 번째 영상(a_1, b_1)이 단일 기하보정에 해당되므로 첫 번째 영상에 해당되는 검사점 5번을 살펴보았다. 센서로 취득된 EOP를 이용하여 직접 기하보정한 결과 A지역(지형의 기복변화가 있는 지역)의 오차는 10.88픽셀, B지역(지형의 기복변화가 없는 지역)의 오차는 17.33픽셀로 나타났으며 제안한 단일영상의 기하보정한 결과 A지역의 오차는 0.37픽셀, B지역의 오차는 0.79픽셀로 나타났기 때문에 제안한 단일영상의 기하보정결과가 정확한 것을 알 수 있었다.

셋째, 드론영상에서 촬영된 연속영상의 기하보정을 위해서 단일영상을 기하보정한 후 이를 기준으로 입력되는 영상을 순차적으로 기하보정하는 방법론을 제안하였다. 실험을 통해서 드론에 장착된 센서로 부터 취득된 EOP를 이용하여 직접기하보정한 결과 평균제곱근오차는 A지역은 21.09픽셀, B지역은 28.98픽셀이 나타났으며 제안한 방법을 이용한 기하보정된 결과는 평균제곱근오차가 A지역은 5.46픽셀, B지역은 1.20픽셀로 나타났다. 두 지역에 대한 실험을 통해서 제안한 방법의 기하보정방법은 지상의 기복이 있는 A지역이 기복이 미비한 B지역에 비해 4.26픽셀의 오차가 더 나타났기 때문에 연속영상의 기하보정은 지형의 기복변화에 따라 정확도에 영향을 받는 것을 알 수 있었다.

넷째, 제안한 방법의 기하보정을 실무에서 사용할 경우 지형의 기복변화가 미비한 지역에는 충분히 신속하게 연속영상을 기하보정하여 변화된 특성을 정량적·정성적으로 판단할 수 있다. 또한, 지형의 기복변화가 많을 경우에도 정량적인 측면에서의 분석은 다소 부정확하지만 정성적인 분석은 충분히 가능할 것으로 판단된다.

향후 지형의 기복변화가 있을 경우에도 기하보정의 정확도가 낮아지지 않도록 연속영상 중 첫 번째 영상을 기준으로 하는 단일 영상의 기하보정을 한 장으로 설정하지 않고 두 장 이상의 기준영상으로 설정하면 정확도가 높아질 수 있다고 판단된다. 또한, 재난현장에 신속한 의사결정을 할 수 있도록 도움을 줄 수 있을 것으로 판단된다.

References

- Choi, H.S. and Kim, E.M. (2017), Image registration of drone images through association analysis of linear features, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry, and Cartography*, Vol. 35, No. 6, pp. 441-452. (in Korean with English abstract)
- Choi, K.A., Lee, J.H., and Lee, I.P. (2011), Development of a close-range real-time aerial monitoring system based on a low altitude unmanned air vehicle, *Journal of Korea spatial information society*, Vol. 19, No. 4, pp. 21-31. (in Korean with English abstract)
- Han, Y.G. (2013), *Automatic image-to-image registration between high-resolution multisensor satellite data in urban areas*, Ph.D. dissertation, Seoul National University, Seoul, Korea, 148p.
- Huang, S.M., Huang, C.C., and Chou, C.C. (2012), Image registration among UAV image sequence and google satellite image under quality mismatch, *2012 12th International Conference on. ITS Telecommunications*, 5-8 November 2012, Taipei, Taiwan, pp. 311-315.
- Jung, K.Y. and Yun, H.C. (2012), Utilization of real-time aerial monitoring system for effective damage investigation of natural hazard, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 30, No. 4, pp. 369-377. (in Korean with English abstract)
- Kim, S.S., Jung, J.H., Kim, E.M., Yoo, H.H., and Sohn, H.G. (2008), Geocoding of low altitude UAV imagery using affine transformation model, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 16, No. 4, pp. 79-87. (in Korean with English abstract)
- Kim, J.N. (2015), *Characteristic analysis for 3D spatial data by fixed wing unmanned aerial vehicle*, Ph.D. dissertation, Chonbuk National University, Chonbuk, Korea, 125p.
- Koch, T., Zhuo, X., Peinartz, P.m., and Fraundorfer, F. (2016), A new paradigm for matching UAV-and aerial images, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 12-19 July 2016, Prague, Czech, Vol. III-3, pp. 83-90.
- Lee, M.R., Park, Y.J., Moon, S.R., Kim, K.J., Song, Y.K., Cho, S.B., Min, M.J., and Seo, B.Y. (2014), *Development of Operational Strategy on Scientific Disaster Investigation and its Forensic Technologies*, 11-1750140-00013-01, National Disaster Management Institute, Ulsan, Korea, pp. 1-245.
- Lin, Y. and Medioni, G. (2007), Map-enhanced UAV image sequence registration and synchronization of multiple image sequences, *2007. CVPR '07. IEEE Conference on, Computer Vision and Pattern Recognition*, 17-22 June 2007, Minneapolis, MN, USA, pp. 1-7.
- Mazaheri, M. and Habib, A. (2015), Quaternion-based solutions for the single photo resection problem, *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, Vol. 81. No. 3, pp. 209-217.
- Ok, A.O., Wegner, J.D., Heipke, C., Rottensteiner, F., Soergel, U., and Toprak, V. (2012), Matching of straight line segments from aerial stereo images of urban areas, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*,

Vol. 74, pp. 133-152.

Rami, A. (2004), *Semi-automatic registration of multi-source satellite imagery with varying geometric resolutions*, Ph.D. dissertation, University of Calgary, Alberta, Canada, 141p.

Yun, B.Y. and Lee, J.O. (2014), A Study on application of the UAV in Korea for integrated operation with spatial information, *Journal of Korean Society for Geospatial Information System*, Vol. 22, No. 2, pp. 3-9. (in Korean with English abstract)

Zhongliang, F. and Zhiqun, S. (2008), An algorithm of straight line features matching on aerial imagery, *ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, International Society for Photogrammetry and Remote Sensing*, 3-11 July 2008, Beijing, China, Vol. XXXVII, pp. 97-102.