Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography
Vol. 36, No. 6, 451-456, 2018
https://doi.org/10.7848/ksgpc.2018.36.6.451

ISSN 1598-4850(Print)
ISSN 2288-260X(Online)
Original article

교량의 3차원 측정을 위한 UAV 비디오와 사진의 표정 분석

Orientation Analysis between UAV Video and Photos for 3D Measurement of Bridges

한동엽[1] · 박재봉[2] · 허정원[3]
Han, Dongyeob · Park, Jae Bong · Huh, Jungwon

Abstract

UAVs (Unmanned Aerial Vehicles) are widely used for maintenance and monitoring of facilities. It is necessary to acquire a high-resolution image for evaluating the appearance state of the facility in safety inspection. In addition, it is essential to acquire the video data in order to acquire data over a wide area rapidly. In general, since video data does not include position information, it is difficult to analyze the actual size of the inspection object quantitatively. In this study, we evaluated the utilization of 3D point cloud data of bridges using a matching between video frames and reference photos. The drones were used to acquire video and photographs. And exterior orientations of the video frames were generated through feature point matching with reference photos. Experimental results showed that the accuracy of the video frame data is similar to that of the reference photos. Furthermore, the point cloud data generated by using video frames represented the shape and size of bridges with usable accuracy. If the stability of the product is verified through the matching test of various conditions in the future, it is expected that the video-based facility modeling and inspection will be effectively conducted.

Keywords : Bridge, Matching, UAV, Frames, Orientation

초 록

시설물의 유지 관리 및 모니터링에 UAVs (Unmanned Aerial Vehicles)의 활용이 확대되고 있다. 안전 점검을 위한 시설물의 외관 상태 평가를 위하여 고해상도 영상을 취득하는 것이 필요하며, 넓은 지역을 빠르게 취득하기 위하여 비디오 데이터로 취득할 필요가 있다. 일반적으로 비디오 데이터에는 위치 정보가 포함되지 않아, 검사 개체의 실제 크기에 대한 정량적 분석이 어렵다. 본 연구에서는 교량 시설물을 대상으로 비디오 프레임과 기준 사진의 정합을 이용하여 교량의 3차원 점군(point cloud) 데이터의 활용성을 평가하고자 한다. 드론을 이용하여 비디오와 사진을 취득하고, 기준 사진과의 특징점 정합을 통하여 비디오 프레임의 외부 표정 요소를 생성하였다. 실험 결과 비디오 프레임 데이터는 기준 사진과 유사한 표정 정확도를 얻었으며, 표정된 프레임 데이터를 이용하여 생성된 점군 데이터는 교량의 형상 및 크기를 잘 표현하였다. 향후 다양한 조건의 정합 실험을 통하여 결과물의 안정성이 확인되면, 비디오 기반의 시설물 모델링 및 점검에 효과적으로 적용될 것으로 기대된다.

핵심어 : 교량, 정합, 무인항공기, 프레임, 표정

Received 2018. 09. 18, Revised 2018. 10. 07, Accepted 2018. 11. 18
1) Member, Dept. of Marine and Civil Engineering, Chonnam National University (E-mail: hozilla@chonnam.ac.kr)
2) Corresponding Author, Member, Research Institute for Infrastructure Performance, KISTEC (E-mail: jbpark@kistec.or.kr)
3) Dept. of Marine and Civil Engineering, Chonnam National University (E-mail: jwhuh@chonnam.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. 서 론

시설물 유지관리 분야에서 UAVs (Unmanned Aerial Vehicles)는 고해상도 영상을 저가에, 빠르고, 안전하게 취득할 수 있는 기기이다. 토목구조물의 시공, 유지관리에도 UAV 시스템의 활용이 증가하고 있으며(Metni and Hamel, 2007; Chan *et al*., 2015), 건설공사 현황측량(Park and Um, 2018), 3D 점군 데이터(Kim and Yoon, 2018), 전력선 점검(Matikainen *et al*., 2016) 등 활용분야도 다양하다.

UAV로부터 취득된 데이터는 사진이나 비디오 형태로 이용된다. 일반적으로 사진의 경우 UAV에 탑재된 GPS (Global Positioning System)를 이용하여 지오태깅(geotagging)된 영상형태이다. 이러한 사진을 기준점 없이 직접 처리하는 경우에도 3D 형상 점군 데이터로부터 상대정확도가 확보되어 거리측정과 같은 정량적 측정 오차율은 1% 이내인 것으로 나타났다(Kim and Yoon, 2018). UAV 사진을 처리하여 생성된 건설공사 DSM (Digital Surface Model)의 활용성을 평가하기 위한 연구에서는, 기준점을 이용하여 생성된 UAV 사진의 DSM과 3D 레이저 스캐닝 데이터를 비교하여 30cm 이내의 정확도를 보여줬다(Park and Um, 2018). 한편 정밀한 표정 정보를 가지고 있는 보의 측면 UAV 사진 데이터를 기준 영상으로 이용한 경우에도, 새롭게 취득된 UAV 사진의 외부 표정 요소를 0.6cm, 0.01°정확도로 처리할 수 있는 것으로 나타났다(Kim *et al*., 2018). 이 연구에서 사용된 영상의 촬영 평균 거리는 31.2m이고, 영상 화소의 지상해상도는 약 0.4cm 이다.

비디오 데이터의 경우 일반적으로 GPS 정보가 포함되어 있지 않기 때문에, 비디오로부터 실좌표를 얻기 위한 연구가 다양하게 진행되었다. 고중복도 비디오카메라의 비디오에서 실좌표 입체 모자이크 영상을 제작하기 위하여 3차원 상대 모델을 지상기준점과 비선형 변환 방법을 이용하여 실좌표 영상으로 변환하는 방법이 제안되었다(Noh *et al*., 2011). 디지털 비디오카메라를 이용하여 아스팔트 콘크리트 포장의 노면을 촬영하고, 지상기준점을 이용한 프레임 표정 과정을 거쳐 도로 노면의 상태 평가를 위한 정보가 획득되기도 하였다. 이 경우 표정된 프레임의 위치정확도는 3차원 방향으로 약 0.17m의 평균 오차를 나타내었다(Jang, 2005). 이와 같이 기존 연구에서는 주로 지상 기준점 정보를 이용하여 비디오 데이터를 실좌표 정보로 변환하였다.

안전 점검을 위한 시설물 외관의 상태를 평가하는 경우 고해상도 영상이 필요하다. 현재 상업적으로 이용되고 있는 소형 UAV를 통한 영상 획득 시에 영상의 공간 해상도는 촬영거리, 영상 중복도, 카메라의 초점 거리, 렌즈 크기 등에 따라 달라진다. 그러나 사진으로 데이터를 취득하는 경우 1매/초 수준의 촬영이 가능한 점을 고려하면, UAV 취득 데이터로 사진보다 비디오에서 더 많은 프레임을 취득하기 때문에 시설물 점검에 효과적일 수 있다. 따라서 본 연구에서는 UAV 비디오 데이터로부터 시설물 점검을 위한 정량적 정보를 추출하기 위하여, 외부 표정 정보가 있는 사진과의 정합을 통하여 비디오 프레임의 표정을 수행하였다. 그리고 생성된 프레임 기반 점군의 활용 가능성을 평가하기 위하여 사진을 이용한 점군과 비교하였다.

2. 연구 방법

2.1 UAV 실험 데이터

본 연구에서는 교량을 연구 시설물로 정하고 대상 교량의 사진과 비디오 데이터를 취득하였다(Fig. 1). UAV 기체로 20M 화소의 카메라가 탑재된 DJI Phantom 4 Pro V2를 이용하였다(Table 1).

UAV를 수동 조정하여 교량의 교각 사진을 촬영하고, 동일 교각에 대하여 동영상을 촬영하였다. 사진과 비디오 취득 시에, UAV와 교각과의 거리를 2~3배 변화시키면서 영상의 축척을 변화시켜, 영상 간의 축척 차이가 존재하도록 촬영 환경을 조정하였다. 디지털카메라 사진의 촬영 정보인 EXIF (EXchangable Image FileFormat)에는 촬영 위치에 대한 GPS 정보, 카메라 제조사, 카메라 모델, 사진을 보정한 날짜 등이 포함되어 있다. Phantom 4 Pro의 사진에 포함된 GPS 정보는 미터(meter) 수준의 위치 정확도를 가지고 있다. 사진 위치 정확도가 높지 않지만, 위치 정보를 가지고 있지 않은 프레임의 표정을 테스트하는 것이기 때문에 사진 표정 정보를 기준값으로 가정하였다. 취득된 영상들은 중복 영상을 많이 포함하고 있어서, 전체 데이터 중에서 20개의 사진과 34개의 비디오 프레임만을 실험에 사용하였다(Fig. 2).

Table 1. Phantom 4 pro V2 specification

Aircraft		Camera	
Weight	1375 g	Sensor	1"CMOS, Effective pixels: 20M
Max speed	72km/h	Lens	FOV 84°, 8.8mm
Max tilt angle	42°	Image size	5472*3648
Flight time	30mins	Video mode	4096*2160
Temperature range	0~40℃	Video	MP4, MOV

한편 실험 데이터는 7월에 취득되었다. 이로 인하여 실험 교각 주변에 나무와 풀이 많이 분포하고 있다. 나무와 풀과 같이

텍스처가 풍부한 개체가 포함되면 특징점이 교량보다 식생에서 많이 추출된다. 표정 과정에서 이에 대한 영향을 평가하기 위하여 원 영상 외에 2개의 데이터를 추가로 생성하였다. 첫 번째, 교량에 비하여 텍스처가 많은 나무와 같은 식생을 제외하고 표정을 수행하는 식생이 마스킹(masking)된 영상 자료를 생성하였다. 마스킹 영상 생성은 컬러 영상의 녹색 채널에 임계값을 적용하였다. 두 번째, 특징점 추출량을 높이기 위하여 지역적 영상 강조(local image enhancement)를 적용하여, 마스킹된 강조 영상을 생성하였다(Fig. 3).

Fig. 1. Lateral view of the bridge pier

(a)

(b)

Fig. 2. Some images obtained by the Phantom 4 Pro V2; (a) Photos (b) Video frames

(a)

(b)

Fig. 3. (a) Masked sample images (b) masked enhanced sample images

2.2 비디오 프레임 표정

사진측량에서는 카메라의 외부 표정 요소와 내부 표정 요소의 인자 값을 얻기 위하여 공선 기하를 이용하며, 카메라 검정, 기준점 입력, 번들 조정 등이 수행된다. 반면 컴퓨터 비전 분야에서 영상기반 측정은 공액 조건을 기본 기하 조건으로 사용하며, 현재 많이 활용되는 SfM (Structure from Motion) 알고리즘은 영상 간 많은 정합 쌍을 이용하여 영상들의 상대 표정 인자 및 3차원 모형 점군을 산출한다(Lischinski, 2007). 모형 점군은 기준점을 이용하면 실세계 모델로 변환될 수 있다. 사진의 표정 요소가 정확하다고 가정할 때, 사진과 프레임의 영상 정합 쌍을 이용하여 SfM 알고리즘을 적용하면 프레임의 표정이 가능하다. 이 과정에서 영상 정합 쌍은 사진과 사진, 프레임과 프레임 사이에도 추출된다. 그리고 표정 요소가 알려진 사진과 사진 간의 정합 쌍으로부터 산출된 3차원 점 좌표는 프레임의 외부 표정 요소를 실세계 좌표로 변환하기 위한 기준점으로 사용된다. 영상에서 추출된 특징점(interest points)간의 정합을 위하여 SIFT (Scale-Invariant Feature Transform), SURF (Speeded Up Robust Features), GLOH (Gradient Location and Orientation Histogram), HOG (Histograms of Oriented Gradients), LESH (Local Energy Shape Histogram) 등 다양한 개체 서술자가 존재한다(Mikolajczyk and Schmid, 2005; Bay *et al*., 2008; Funayama *et al*., 2009). 각 서술자는 영상 특성에 따라 장단점을 가지고 있으며, 사용된 영상에 따라 적절한 서술자를 적용할 필요가 있다.

3. 실험 결과

UAV 데이터 처리는 SfM 알고리즘을 이용하는 Agisoft의 Photoscan을 사용하였다. Photoscan 처리는 영상 간 정합, 번들 조정, 점군 및 DSM 생성 순으로 진행된다. 비교 데이터인 사진과 비디오는 독립적으로 다른 시간에 취득된 것이다. 20개의 사진을 우선 처리하여 기준 정보로 사용할 외부 표정 요소, 점군, DSM을 생성하였다. 사진의 표정값을 정밀한 고정값으로 가정한 후, 비디오 프레임과 동시 표정한 후에 비디오 프레임만을 이

용하여 평가용 점군, DSM을 생성하였다.

사진과 프레임간의 정합쌍 개수는 마스킹된 강조 영상에서 평균 334개로 가장 많이 나타났으며, 평균 정합 비율은 원 영상을 사용한 경우에 67.1%로 가장 높았다(Table 2). 다음으로 3가지 경우의 비디오 프레임 표정에서 표정 정확도를 비교하였다(Table 3). X, Y, Z 위치에 관한 오차가 3가지 경우 모두 cm 수준에서 사진만을 이용한 표정 정보와 유사하게 나타났다. 회전요소도 마찬가지로 사진만을 이용한 결과와 거의 유사하게 나타났다. 정합점들의 재투영 오차는 평균적으로 1화소 수준이고, 최대 오차값 측면에서는 마스킹된 강조 영상에서 1.868화소로 가장 좋은 결과를 나타냈다. 따라서 표정된 프레임으로부터 산출된 외부 표정 정보를 점군 및 DSM 생성에 활용 가능할 것으로 판단된다.

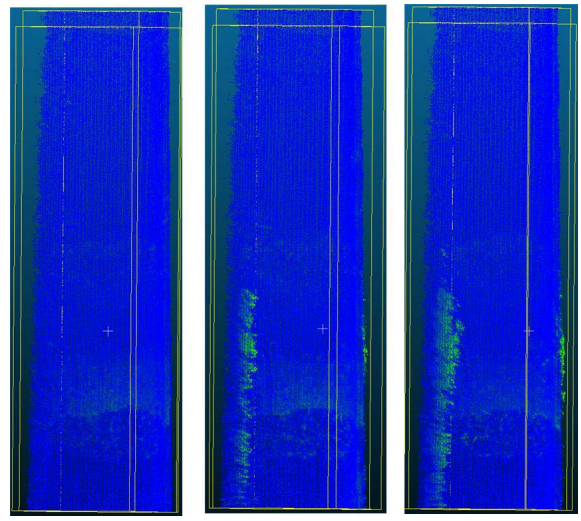
Table 2. Features matching with photos

	Mean number of features	Mean matching rate (%)
Original frames	327	67.1
Masked frames	141	49.6
Masked enhanced frames	334	65.7

Table 3. Errors of exterior orientation

	Translation error (m)		Rotation error (°)	Re-projection error (pixel)	
	Horizontal	Vertical		Mean	Maximum
Photos only	1.247	0.217	3.808	0.944	1.148
Original frames	1.247	0.217	3.808	1.013	2.825
Masked frames	1.245	0.216	3.803	1.234	2.084
Masked enhanced frames	1.246	0.216	3.805	1.143	1.868

두 번째, 3가지 경우에서 점군 데이터를 생성하고, 사진 데이터만을 이용한 점군과 CloudCompare 소프트웨어를 이용하여 점군간 거리를 계산하였다 (Table 4 and Fig. 4). 평균 거리, 거리 표준편차, 최대 거리 모두 비디오 프레임을 이용하여 생성한 점군의 오차가 가장 크게 나타났다. 그러나 다른 2가지 경우와 cm 수준의 작은 차이로 활용성에 큰 문제를 야기할 것으로 여겨지지 않는다. Fig. 4에서 보는 것처럼 교각의 중앙에서는 상대적으로 오차가 적게 나타났다.



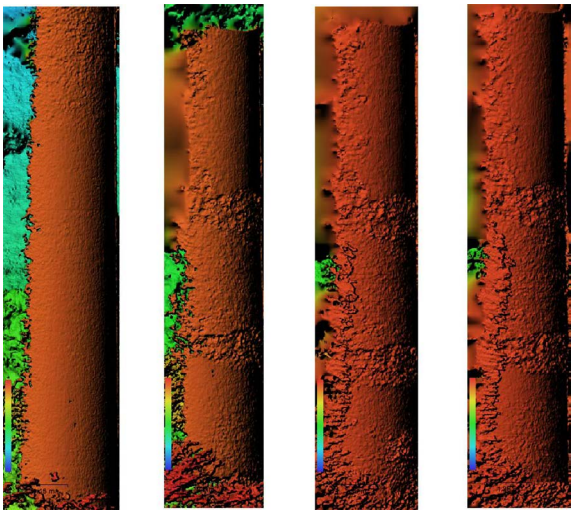
(a) (b) (c)

Fig. 4. Distance difference of a pier's photo point clouds and point clouds generated from (a) original frames (b) masked frames (c) masked enhanced frames. The green points have relatively high distance differences

Table 4. Accuracy assessment of a point cloud from video frames with reference to photos' point clouds (unit: meter)

	Mean distance	Std. deviation	Max. distance
Original frames	0.026	0.032	0.721
Masked frames	0.018	0.019	0.670
Masked enhanced frames	0.023	0.023	0.568

점군 데이터로부터 생성된 측면 DSM은 Fig. 5와 같다. Fig. 5에는 생성된 교각 전체 데이터를 표현하고 있지 않다. 그러나 시각적으로 비디오 프레임 기반 점군 데이터의 성능을 유추할 수 있다. Fig. 5(a)와 같이 사진을 이용하여 생성한 점군은 교각의 형상을 잘 나타내며, 표면도 매끄럽게 나타난다. 반면에 프레임을 이용한 DSM은 3가지 경우 모두 중간 부분에 굴곡이 2군데에서 나타났다. 이는 UAV 기체의 이동 속도 차이로 인하여 비디오 프레임이 중간 부분에 충분히 존재하지 않아 발생하는 오류로 여겨진다. 마스킹 처리된 2가지 경우에 교각 경계 부분에서 굴곡이 나타났으며, 마스킹 영상을 이용해 처리하는 경우 경계 부분의 오정합을 방지하는 기법 또는 필터링이 필요함을 알 수 있다.



(a) (b) (c) (d)

Fig. 5. DSM of the pier using (a) photos (b) original frames (c) masked frames (d) masked enhanced frames

4. 결 론

본 연구는 표정 정보가 있는 UAV 기준 영상으로부터 UAV 비디오 프레임의 표정 및 점군 데이터 생성을 평가하였다. 비디오 데이터는 빠르게 대상지역 영상을 취득하기 때문에 경제적인 작업이 필요한 경우에 활용이 요구된다. 이에 비디오 프레임을 효과적으로 활용하기 위하여 영상 간 정합을 이용하여 외부표정 정보를 자동으로 생성하고, 점군 데이터 및 DSM을 제작하였다. 대상 시설물 영역에 대한 처리를 강화하기 위하여 마스킹과 영상 강조 처리된 프레임 영상을 제작하고, 원 프레임 영상 처리와 비교하였다. 원 프레임 영상과 영상처리 과정을 거친 프레임 영상 모두 사진 데이터만을 이용한 경우와 유사한 번들 조정 정확도를 나타났다. 그리고 점군과 DSM 생성 실험에서도 cm 수준의 차이를 보여, 비디오 프레임의 활용 가능성을 확인할 수 있었다.

본 연구에서는 동일 센서로부터 취득된 사진과 비디오를 정합 처리하였지만, 향후 이종 카메라로부터 취득된 사진과 비디오 데이터의 적용성을 계획하고 있다. 그리고 3D 레이저 스캐너를 통한 점군 데이터와 UAV 비디오 기반 점군 데이터의 비교를 통하여 더욱 신뢰할 만한 평가를 수행할 예정이다.

감사의 글

이 연구는 국토교통부 건설기술연구개발사업의 연구비지원(18SCIP-C116873-03)에 의해 수행되었습니다.

References

Bay, H., Ess, A., Tuytelaars, T., and Van Gool, L. (2008), SURF: Speeded up robust features, *Computer Vision and Image Understanding*, Vol. 110, No. 3, pp. 346—359.

Chan, B., Guan, H., Jo, J., and Blumenstein, M. (2015), Towards UAV-based bridge inspection systems: A review and an application perspective, *Structural Monitoring and Maintenance*, Vol. 2, No. 3, pp. 283-300.

Funayama, R., Yanagihara, H., Van Gool, L., Tuytelaars, T., and Bay, H. (2009), Robust interest point detector and descriptor, Patent US8165401.

Jang, H.S. (2005), Extraction of information on road surface using digital video camera, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 23, No. 1, pp. 9-17. (in Korean with English abstract)

Kim, H.Y., Choi, K.A., and Im, I.P. (2018), Drone image-based facility inspection – focusing on automatic process using reference images, *Journal of the Korean Society for Geospatial Information Science*, Vol. 26, No. 2, pp. 21-32. (in Korean with English abstract)

Kim, M.C. and Yoon, H.J. (2018), A study on utilization 3D shape pointcloud without GCPs using UAV images, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 2, pp. 97-104. (in Korean with English abstract)

Lischinski, D. (2007), Structure from motion: Tomasi-Kanade factorization, *http://www.cs.huji.ac.il/~csip/sfm.pdf* (last date accessed: 15 October 2018).

Matikainen, L., Lehtomäki, M., Ahokas, E., Hyyppä, J., Karjalainen, M., Jaakkola, A., Kukko, A., and Heinonen, T. (2016), Remote sensing methods for power line corridor surveys, *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, Vol. 119, pp. 10-31.

Metni, N. and Hamel, T. (2007), A UAV for bridge inspection: Visual servoing control law with orientation limits, *Automation in Construction*, Vol. 17, No. 1, pp. 3-10.

Mikolajczyk, K. and Schmid, C. (2005), A performance evaluation of local descriptors, *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, Vol. 27, No.

10, pp. 1615-1630.

Noh, M.J., Cho, W., Park, J., Kim, J.S., and Koh, J.W. (2011), Geocoding of the free stereo mosaic image generated from video sequences, *Journal of the Korean Society of Surveying, Geodesy, Photogrammetry and Cartography*, Vol. 29, No. 3, pp. 249-255. (in Korean with English abstract)

Park, J.K. and Um, D.Y. (2018), Utilization evaluation of digital surface model by UAV for reconnaissance survey of construction project, *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 19, No. 3, pp. 155-160. (in Korean with English abstract)