

드론 탑재형 프로젝터를 위한 센서정보 기반 프로젝션 영상 안정화 평가 방법

최은빈, *박영현, **전병우
 성균관대학교 전자전기컴퓨터공학과
 eunbin544@skku.edu, *neversky@skku.edu, **bjeon@skku.edu

Stabilization Assessment of Drone-Projected Image based on Sensor Information

Eunbin Choi, *Younghyeon Park, **Byeungwoo Jeon
 Department of Electrical and Computer Engineering, Sungkyunkwan University

요 약

드론에 프로젝터를 탑재한 드론 프로젝터 시스템을 활용한 이동형 프로젝션 디스플레이를 사용할 경우, 드론의 비행시 발생하는 흔들림이 그대로 프로젝터에 전달되기 때문에 프로젝터에 의해 투영된 영상에 왜곡이 발생하게 된다. 본 논문에서는 종래에 사용되던 드론의 비행정보 기반 투영영상 변환행렬을 실제 영상에 적용해보고 비행 움직임에 의해 발생하는 실제 투영영상에서 발생하는 오차를 평가하기 위한 방법을 제안한다.

1. 서론

소형 무인 항공기인 드론 기술은 군사용으로부터 산불 감시, 재난구조, 무인 택배 서비스와 같이 사람의 손이 닿기 위험한 장소나 사람이 수동적으로 작업하기 복잡한 작업에 활용될 수 있다 [1]. 한편 여가 문화 발달로 인해 대형 프로젝션 디스플레이로 영상을 공유할 수 있는 프로젝터에 대한 관심이 높아졌고 이동에 제약이 없는 모바일 프로젝터는 배터리와 마이크로 디스플레이의 기술적 발전과 더불어 성능이 향상되고 있다 [2].

드론과 프로젝터의 발전된 기술을 사용하여 많은 사람들에게 동시에 정보를 제공하거나 홍보의 목적으로 드론 탑재형 프로젝터를 이용한 디지털 정보 디스플레이 (Digital Information Display, DID)의 구현은 매우 흥미로운 과제이다. 드론 탑재형 프로젝터는 드론에 빔 프로젝터를 탑재한 것인데, 이러한 프로젝션 디스플레이의 주된 문제점은 드론 비행시 발생하는 흔들림이 그대로 프로젝터에 전달되기 때문에 프로젝터에 의해 투영된 영상에 왜곡이 발생한다는 것이다.

기본적으로 드론에 탑재된 프로젝터의 흔들림은 3 차원에서 발생하므로 3 차원에서의 회전운동이 2 차원의 투영영상을 왜곡시킨다. 투영영상의 왜곡은 일반적으로 드론의 진행방향에 평행한 축 회전을 기준으로 영상의 중심점 이동 및 회전이 발생하고, 드론의 진행방향에 평행하지 않는 축 회전에 대해서는 영상의 중심점 이동과 드론 회전에 따라 투영영상이 키스톤 (keystone) 모양으로 왜곡되는 현상이 발생한다. 또한 프로젝터의 이동에 제약이 없기 때문에 프로젝터에서 스크린까지의 거리에 따라 투영영상의 크기가 달라지기도 한다.

일반적인 드론에서 이러한 흔들림은 드론에 부착된 촬영용

카메라에서도 동일하게 나타나게 되는데, 드론장착 카메라를 위하여 기체의 흔들림을 최소화 하기 위한 짐벌 (gimbal)과 같은 기계적 장비를 사용한다. 짐벌은 일반적으로 드론에 부착된 특정 카메라에 맞춰 설계되므로 현재 상용화되는 드론에 프로젝터를 탑재하기 위한 새로운 짐벌을 제작하는 것은 드론의 구조물을 복잡하게 한다. 따라서 추가적인 하드웨어 장비없이 드론에 탑재된 프로젝터의 투영영상을 보정하기 위한 방법이 필요하다. 본 논문과 관련된 종래연구 [3]에서는 투영영상의 왜곡을 보정하기 위한 변환행렬을 유추하였다. 본 논문에서는 종래연구에서 유추한 변환행렬을 기반으로 투영영상의 안정화를 수치적으로 평가할 수 있는 방법을 제안한다.

2. 투영영상 안정화 평가 방법

종래연구 [3]에서 투영영상의 왜곡의 보정을 위하여 얻은 변환행렬은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$H_{roll} = \begin{bmatrix} f \cdot \cos(\theta_{roll}) & f \cdot \sin(\theta_{roll}) & -f \cdot v \cdot \sin(\theta_{roll}) \\ -f \cdot \sin(\theta_{roll}) & f \cdot \cos(\theta_{roll}) & f \cdot v \cdot (1 - \cos(\theta_{roll})) \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$H_{pitch} = \begin{bmatrix} f & -c_y \cdot \sin(\theta_{pitch}) & 0 \\ 0 & f \cdot \cos(\theta_{pitch}) - c_z \cdot \sin(\theta_{pitch}) & f \cdot v \cdot \sin(\theta_{pitch}) \\ 0 & -\sin(\theta_{pitch}) & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$H_{yaw} = \begin{bmatrix} f \cdot \cos(\theta_{yaw}) + c_y \cdot \sin(\theta_{yaw}) & 0 & -f \cdot v \cdot \sin(\theta_{yaw}) \\ c_z \cdot \sin(\theta_{yaw}) & f & 0 \\ \sin(\theta_{yaw}) & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

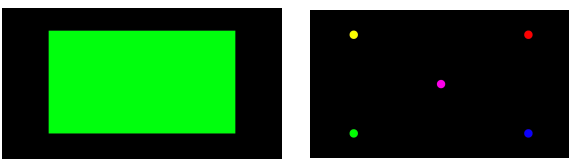
식 (1)~(3)에서 H_{roll} , H_{pitch} , H_{yaw} 는 각각 Roll 축 회전에 대한 원근투영변환행렬, Pitch 축 회전에 대한 원근투영변환행렬, Yaw 축 회전에 대한 원근투영변환행렬을 나타내며 f 는 프로젝터의 초점거리, v 는 드론과 프로젝터 간의 수직거리, (c_y, c_z) 는 프로젝터의 주점 (principal point), θ_{roll} , θ_{pitch} , θ_{yaw} 는 각각 Roll, Pitch, Yaw 축에 대한 회전각을 의미한다. 따라서 식 (1)~(3)을 바탕으로 Roll, Pitch, Yaw 축의 복합 회전 $H_{complex}$ 을 구하면 다음과 같다.

$$H_{complex} = H_{roll} \times H_{pitch} \times H_{yaw} \quad (4)$$

본 논문에서는 식 (1)~(3)의 변환행렬을 통해 보정된 영상의 안정화를 평가하기 위한 방법을 고찰하였다. 본 논문에서는 영상의 중심점 이동 및 회전, 그리고 키스톤 왜곡현상을 측정하기 위해 투영된 실제 영상의 왜곡도와 영상좌표의 분포도를 이용하고자 한다. 이러한 분포도를 활용하여 중심점 및 꼭지점들의 유클리디안 거리 (Euclidean distance)를 구하고 각 위치의 점이 얼마나 이동하였는지 확인하여 안정화 정도를 판단할 수 있다. 유클리디안 거리 d 는 식 (5)를 이용하여 구할 수 있다.

$$Euclidean(pt, pt_{new}) = \sqrt{(pt_{new}.x - pt.x)^2 + (pt_{new}.y - pt.y)^2} \quad (5)$$

식 (5)에서 $pt(x, y)$ 는 실제 투영된 원본영상의 중심점 및 꼭지점을 나타내며, $pt_{new}(x, y)$ 는 변환행렬을 적용한 보정된 영상의 중심점 및 꼭지점을 나타낸다.



(a) 투영영상의 왜곡 추적용 영상 (b) 투영영상의 좌표 분포 추적용 영상
그림 1. 측정용 샘플영상

왜곡도와 분포도를 그리기 위해서 그림 1 과 같은 투영영상을 사용하였는데 그림 1(a)는 영상의 정확한 왜곡 추적을 위해 초록색 직사각형을 실험용 영상으로 사용한 것이고, 그림 1(b)는 영상의 좌표 분포를 추적하기 위해 영상의 중심점과 네 개의 꼭지점을 표시한 것이다.

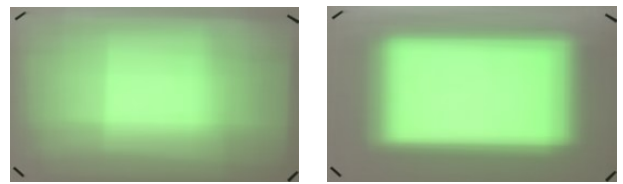


그림 2. 실제 실험환경

3. 실험 결과 및 분석

본 논문의 투영영상 안정화 실험을 위해 영상처리용 보드, 소형 DLP 프로젝터, Ball joint 삼각대, 자세방위기준장치 (Attitude and Heading Reference System, AHRS) 를 이용하여 그림 2 와 같은 실험환경을 구성하였다.

먼저 투영된 실제 영상의 왜곡도와 영상좌표의 분포도를 그리기 위해 그림 1 의 투영영상이 실시간으로 보정되는 것을 동영상으로 촬영하였다. 투영영상의 왜곡도는 촬영된 동영상의 모든 프레임에 대해 평균을 계산하여 왜곡도를 그릴 수 있었다. 투영영상의 왜곡도는 그림 3 과 같다.



(a) 영상 보정 전 (b) 영상 보정 후

그림 3. 투영영상 왜곡도

그림 3(a)와 같이 영상 보정 전의 왜곡도는 영상이 흐트러진 것처럼 보이는 것을 확인할 수 있으며 이는 프레임마다 거리의 차이가 큰 것을 알 수 있다. 그림 3(b)와 같이 영상 보정 후의 왜곡도는 프레임마다 거리의 차이가 있지만 그림 3(a)보다 작은 것을 알 수 있다. 따라서 변환행렬을 이용하여 투영영상을 보정할 때 약간의 오차는 발생하지만 보정이 어느정도 되는 것을 확인할 수 있다.

본 논문에서는 투영영상의 보정 시에 발생하는 오차를 수치적으로 측정하기 위해 영상좌표의 분포도를 이용하였다. 영상좌표의 분포도는 투영영상의 중심점과 꼭지점을 표시한 영상을 이용하여 그릴 수 있었다. 분포도는 그림 4 와 같다.

투영영상의 분포도에서 발생하는 영상 보정의 오차값을 도출하기 위해 식 (5)를 이용하여 실제 투영된 원본영상의 중심점 및 꼭지점과 변환행렬을 적용한 보정영상의 중심점 및 꼭지점 간의 거리를 산출하였다. 산출 결과는 표 1 과 같다.

표 1. 영상 보정의 오차값 (단위: 픽셀)

	좌상단	우상단	좌하단	우하단	중심점
보정 전	33.574	40.240	37.440	39.631	37.929
보정 후	22.634	11.035	10.920	11.171	10.939

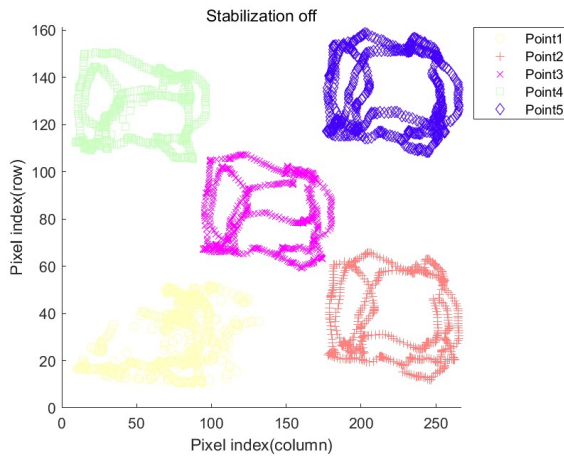
표 1 과 같이 보정 전의 유클리디언 거리의 평균은 37.763 픽셀과 같고 보정 후의 유클리디언 거리의 평균은 13.340 픽셀과 같다. 따라서 변환행렬을 통해 투영영상을 보정하였을 때 유클리디언 거리는 보정 전의 유클리디언 거리보다 작은 것을 알 수 있다.

감사의 글

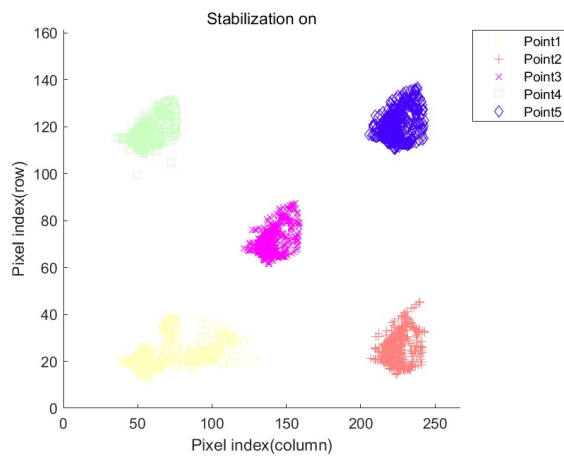
본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 Grand ICT 연구센터지원사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2019-2015-0-00742).

참고문헌

- [1] O. Se-II, "A Case Study Civilian Drone," KIBME Summer Conference, Korean, 2015.
- [2] L. G. Cowan, N. Weibel, W. G. Griswold, L. R. Pina, J. D. Hollan, "Projector phone use: practices and social implications," *Personal and Ubiquitous Computing*, vol. 16, pp. 53-63, Jan. 2012.
- [3] 최은빈, 박영현, 전병우, "이동형 프로젝션 디스플레이를 위한 자세방위기준장치 기반의 안정화 방법 구현," 제 31 회 영상처리 및 이해에 관한 워크샵, 2019.
- [4] E. Dubrofsky, "Homography Estimation," *Master's thesis*, University of British Columbia, 2009.



(a) 영상 보정 전



(b) 영상 보정 후

그림 4. 투영영상 분포도

4. 결론

본 논문에서는 드론 탑재형 프로젝터 시스템에서 발생하는 영상의 왜곡을 보정하는 변환행렬을 평가하기 위한 방법을 제안한다. 드론 탑재형 프로젝터 시스템에서는 드론의 흔들림에 따라 투영영상의 왜곡현상이 크게 두 가지로 나뉘게 되는데 투영영상의 중심점 이동 및 회전현상과 투영영상이 키스톤 왜곡현상이다. 본 논문에서는 이러한 왜곡현상을 보정하기 위한 원근투영변환행렬을 소개하고 변환행렬을 실제 영상에 적용시켰을 때 발생하는 오차를 측정하기 위한 방법으로 영상의 케적도와 영상좌표의 분포도를 이용하여 유클리디안 거리를 계산하는 것을 제안하였다. 이를 바탕으로 향후에는 투영영상 보정 시에 발생하는 오차를 줄일 수 있는 알고리즘 개발하고자 한다.