

다중 프레임의 SAD를 이용한 드론 속도 측정

남돈호, 염석원*

대구대학교 정보통신공학부

Estimation of Drone Velocity with Sum of Absolute Difference between Multiple Frames

Donho Nam, Seokwon Yeom*

School of Computer and Communication Engineering, Daegu University

요약 드론은 원거리 동영상상을 효율적으로 획득할 수 있어서 활용성이 높다. 드론 운용에서 속도의 크기인 속력은 설정할 수 있지만 이동하는 방위의 정확한 값은 설정이 불가능하다. 본 논문에서는 드론에서 획득한 동영상상을 이용하여 일정한 속도로 이동하는 드론의 속도를 추정한다. 기준 프레임과 표적 프레임의 Sum of Absolute Difference(SAD)를 최소로 하는 표적 프레임의 변위를 구한다. 드론의 실제 속도(Ground Truth)는 각 프레임에서 일정한 동일 지점(Matching Point)의 위치를 이용하여 계산한다. 실험에서 150m 상공에서 일정한 속력으로 이동하는 드론으로 동영상상을 획득하였다. 추정된 x와 y방향의 속도와 속력의 평균 제곱근 오차(RMSE)를 구하여 제안한 방법의 신뢰성을 보였다.

- 주제어 : 드론 영상, 드론 속도 추정, 다중 프레임, SAD

Abstract Drones are highly utilized because they can efficiently acquire long-distance videos. In drone operation, the speed, which is the magnitude of the velocity, can be set, but the moving direction cannot be set, so accurate information about the drone's movement should be estimated. In this paper, we estimate the velocity of the drone moving at a constant speed and direction. In order to estimate the drone's velocity, the displacement of the target frame to minimize the sum of absolute difference (SAD) of the reference frame and the target frame is obtained. The ground truth of the drone's velocity is calculated using the position of a certain matching point over all frames. In the experiments, a video was obtained from the drone moving at a constant speed at a height of 150 meters. The root mean squared error (RMSE) of the estimated velocities in x and y directions and the RMSE of the speed were obtained showing the reliability of the proposed method.

- Key Words : Drone Imaging, Drone Velocity Estimation, Multi-frame, Sum of Absolute Difference

Received 18 September 2019, Revised 25 September 2019, Accepted 30 September 2019

* Corresponding Author Seokwon Yeom, School of Computer and Communication Engineering, Daegu University, 201 Daegudae-ro, Gyeongsan, South Korea. E-mail: yeom@daegu.ac.kr

I. 서론

소형 무인 항공기(Small Unmanned Aerial Vehicle: SUAV) 또는 드론은 원격으로 원거리 표적의 동영상을 효율적으로 획득할 수 있어서 여러 분야에 다양하게 활용되고 있다. 드론은 군사용으로부터 산불 감시, 재난구조, 무인 택배 서비스에 이르기까지 여러 방면에 활용이 증가하고 있다[1,2]. 또한, 드론은 소형이고 저가이며 작동이 용이하여 시각적 감시(Visual Surveillance)에 유용하다. 이동 표적을 고정된 플랫폼(드론)에서 검출(Detection)하고 추적(Tracking)하는 연구가 [3-5]에서 수행되었다. 그러나 고정된 드론은 시야각(Field of View)이 한정되어 있어서 역동적으로 움직이는 표적을 추적하기 위하여 드론의 이동에 의한 시야각의 확장이 요구된다. 이동하는 드론은 속도 정보는 올바른 좌표의 기준계를 제시하여 표적 검출 또는 추적에 활용될 수 있다. 드론이 이동하는 속력은 일정한 값으로 설정할 수 있으나 정확한 방위의 설정은 불가능하다. 또한, 드론이 조정자에 의하여 임의의 가속도 운동을 하는 경우 속도에 대한 정보를 얻기가 어렵다.

본 논문에서는 다중 프레임 간의 Sum of Absolute Difference(SAD)를 이용하여 드론의 속도, 즉 이동하는 드론의 속력과 방위를 추정한다. SAD는 이중 또는 동종 센서로 획득한 영상의 동일점을 찾아내는 정합[6,7]에 많이 활용되고 있다. 프레임 정합기술은 GPS/INS(Ground Positioning/Inertial Navigation System)과 IMU(Inertial Measurement Unit) 센서의 데이터를 이용한 Telemetry 데이터 기반 정합과 영상을 이용하는 다중 프레임 기반 정합이 있다[8,9].

본 연구에서 드론은 지면과 평행 방향으로 일정한 속도로 움직인다고 가정한다. 드론으로부터 획득한 동영상을 이용하여 기준 프레임과 표적 프레임의 SAD를 최소로 하는 변위로부터 드론의 속도를 추정한다. 드론의 실제 속도(Ground Truth)는 각 프레임의 일정한 동일 지점(Matching Point)의 위치를 이용하여 계산한다.

실험에서 드론은 150m 상공에서 15초 동안 획득한 450개의 프레임을 이용하였다. 기준 프레임은 첫 번째 프레임으로 정하고 5의 배수 차이가 나는 총 90개의 표적 프레임을 이용하여 SAD를 최소로 하는 편차를 구하고 속도를 추정하였다. 추정된 x 와 y 방향의 속도

의 RMSE는 0.0718m/s와 0.0142m/sec를 얻었고 속력의 RMSE는 0.072m/s로 제안한 방법의 신뢰성이 높았다.

본 논문은 다음과 같이 구성된다. 2장에서는 드론의 속도 추정과 성능평가를 설명하고 3장에서는 실험 결과를 제시하고 분석한다. 4장에서는 결론으로 끝을 맺는다.

II. 드론 속도 추정 방법

속도를 추정하기 위하여 기준프레임과 표적프레임을 축소한 후 두 프레임의 SAD를 구하고 SAD를 최소화 하는 x 와 y 방향의 변위를 구한다.

$$SAD(p_x, p_y, l) = \sum_{n=1}^N \sum_{m=1}^M |I_x(m, n) - I_t(m + p_x, n + p_y; 5l)| \quad (1)$$

$$[\hat{p}_x(l) \ \hat{p}_y(l)] = \operatorname{argmin}_{(p_x, p_y)} SAD(p_x, p_y; l) \quad (2)$$

식 (1)에서 I_x 는 기준 프레임이고 I_t 는 표적 프레임이다. $5l$ 은 프레임 차이이다. 식 (2)에서 \hat{p}_x 와 \hat{p}_y 는 식 (1)의 SAD를 최소화 하는 x 와 y 방향의 변위이다. M 과 N 은 영상의 x 와 y 방향의 크기이다. x 와 y 방향의 드론의 속도의 추정치는 다음과 같이 구한다.

$$\hat{v}_x(l) = \frac{\hat{p}_x(l) \cdot d}{5l \cdot T} \quad (3)$$

$$\hat{v}_y(l) = \frac{\hat{p}_y(l) \cdot d}{5l \cdot T} \quad (4)$$

식 (3)과 식 (4)에서 d 는 거리 당 화소 수로 실험에서는 0.274pixel/m로 설정하였다. T 는 프레임간의 시간 간격으로 0.333 sec이다. 속도의 크기인 속력의 추정치는 다음과 같이 구한다.

$$\hat{s}(l) = \sqrt{[\hat{v}_x(l)]^2 + [\hat{v}_y(l)]^2} \quad (5)$$

그림 1은 드론 속도 추정의 블록 다이어그램이다.

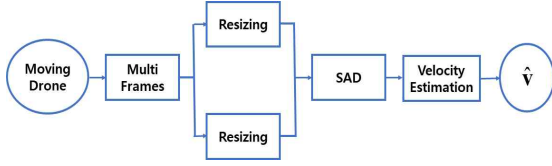


Fig. 1. Block diagram of velocity estimation.

그림 2는 기준 프레임과 표적 프레임들의 관계를 나타낸다.

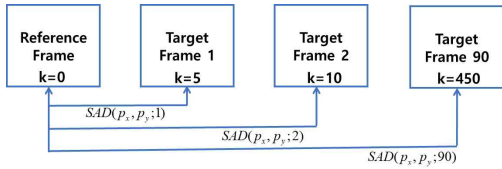


Fig. 2. Relationship between reference and target frames ($k = 5l$)

속도의 참값(Ground Truth)은 다음과 같이 구한다.

$$v_x(l) = \frac{(x_t(l) - x_r) \cdot d}{5l \cdot T} \quad (6)$$

$$v_y(l) = \frac{(y_t(l) - y_r) \cdot d}{5l \cdot T} \quad (7)$$

식 (6)과 식 (7)에서 x_r 와 y_r 는 기준 프레임에서 기준점의 x 와 y 방향의 위치이고, $x_t(l)$ 와 $y_t(l)$ 는 $5l$ 번째 표적 프레임에서 기준점의 x 와 y 방향의 위치이다. 속력의 참값은 다음과 같이 구한다.

$$s(l) = \sqrt{v_x^2(l) + v_y^2(l)} \quad (8)$$

RMSE는 다음과 같이 구한다.

$$R_x = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [\hat{v}_x(l) - v_x(l)]^2} \quad (9)$$

$$R_y = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L [\hat{v}_y(l) - v_y(l)]^2} \quad (10)$$

$$R_s = \sqrt{\frac{1}{L} \sum_{l=1}^L |\hat{s}(l) - s(l)|^2} \quad (11)$$

식 (9)과 식 (10)은 x 와 y 방향의 속도의 RMSE이고, 식 (11)은 속력의 RMSE이다. 식 (9)-(11)에서 L 은 90으로 설정하였다.

III. 실험 결과

드론(DJI Panthom 4 Advanced)은 150m 높이에서 대구대학교 정문 분수대 주위 북동쪽으로 등속도로 비행하며 30fps로 15초 동안 450개의 프레임을 획득하였다. 각 프레임 크기는 4096×2160화소이며 효율적인 영상 처리 위해 20%로 크기를 감소시켜서 820×432화소의 영상을 사용하였다. 그림 3(a)는 기준 프레임이고, 그림 3(b)와 3(c)는 300번째와 450번째 프레임이다.



(a)



(b)

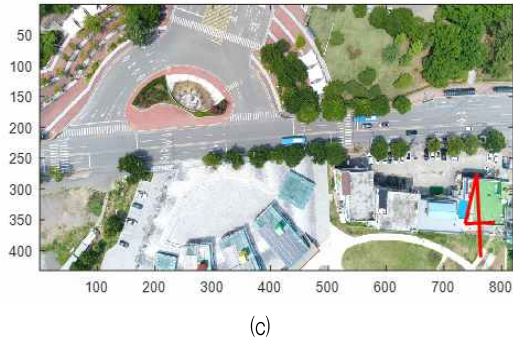


Fig. 3. (a) Reference frame ($k=0$), (b) target frame ($k=300$), (c) target frame ($k=450$)

드론 속력은 컨트롤러의 디스플레이에서 정할 수 있다. 그러나 속도의 방위는 정하기 어려워 본 논문에서는 기준점의 위치를 이용하여 속도의 참값을 구하였다. 기준점은 영상의 축소 없이 모든 프레임에서 용이하게 지정할 수 있는 분수대 중앙 아래 하수구의 좌측 상단으로 정하였다. 그림 4(a)와 4(c)는 기준 프레임과 샘플 표적 프레임 ($k = 300$)에서 기준점이 있는 사각형을 나타내고, 그림 4(b)와 4(d)는 각각 그림 4(a)와 4(c)의 사각형 영역을 확대한 그림이다.

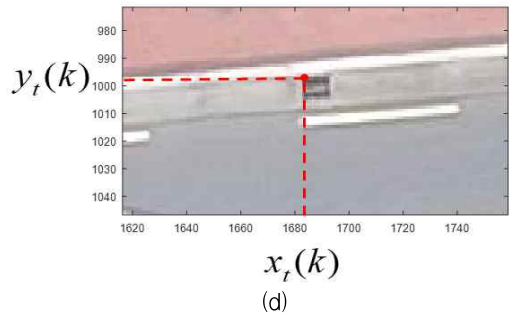
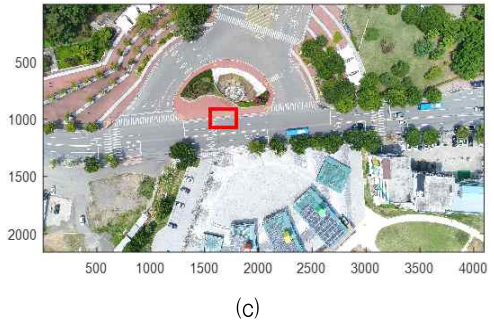


Fig. 4. (a) Reference frame ($k=0$), (b) magnification of the red box in Fig. 4(a), (c) target frame ($k=300$), (d) magnification of the red box in Fig. 4(c)

그림 5와 그림 6은 각각 x 와 y 방향으로 속도의 추정 값(식 (3)과 식 (4))과 참값(식 (6)과 식 (7))이다.

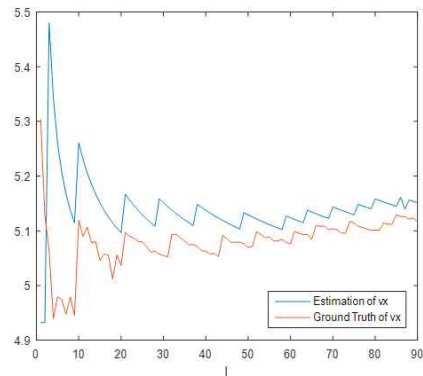
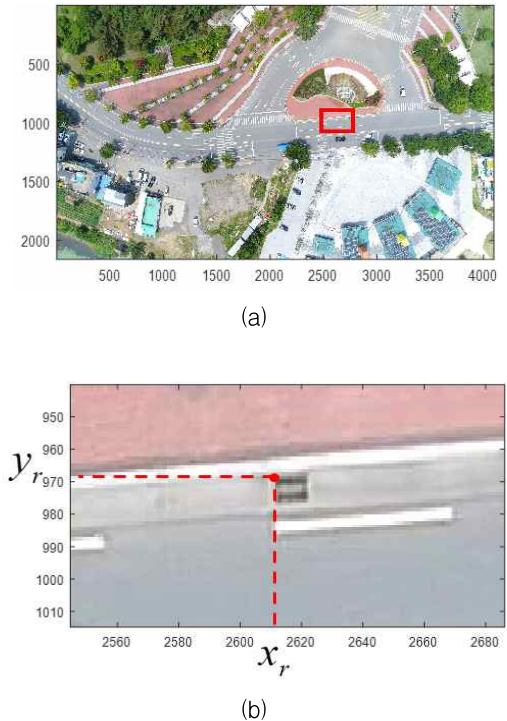


Fig. 5. Estimation and ground truth of velocity in x direction

IV. 결론

본 논문에서 동영상 프레임 간의 SAD를 이용하여 일정한 속도로 움직이는 드론의 속도를 추정하였다. RSME를 구하여 제안한 방법의 신뢰성을 보였다. 향후 기동성이 높은 드론의 속도를 추정하는 연구를 수행할 계획이다. 또한, 본 연구에서 추정된 속도 값을 이용하여 이동하는 드론으로부터 움직이는 표적의 추적을 연구를 계획하고 있다.

ACKNOWLEDGMENTS

이 논문은 2019년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No.2017R1D1A3B03031668).

REFERENCES

- [1] S. Minaeian, J. Liu, and Y.-J. Son, "Vision-Based Target Detection and Localization via a Team of Cooperative UAV and UGVs," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics: Systems*, vol. 46, no. 7, pp. 1005-1016, 2016.
- [2] V. V. Klemas, "Coastal and Environmental Remote Sensing from Unmanned Aerial Vehicles: An Overview," *Journal of Coastal Research*, vol. 31, no. 5, pp. 1260-1267, 2015.
- [3] M.-H. Lee and S. Yeom, "Detection and Tracking of Multiple Moving Vehicles with a UAV," *International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems*, vol. 18, no. 3, pp. 182-189, 2018. <http://doi.org/10.5391/IJFIS.2018.18.3.182>.
- [4] M.-H. Lee and S. Yeom, "Moving Target Detection based on Frame Subtraction and Morphological Filtering with Drone Imaging," *Korea Institute of Convergence Signal Processing*, vol. 19, no. 4, pp. 192-198, 2018.
- [5] S. Yeom and I.-J. Cho, "Detection and Tracking of Moving Pedestrians with a Small Unmanned Aerial Vehicle," *Applied Science*, vol. 9, no. 16, pp. 1-21, 2019.
- [6] A. Sotiras, C. Davatzikos, and N. Paragios, "Deformable Medical Image Registration: A Survey," *IEEE Trans. on Medical Imaging*, vol. 32, no. 7, pp. 1153-1190, 2013.

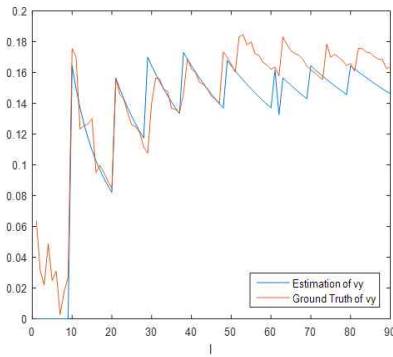


Fig. 6. Estimation and ground truth of velocity in y direction

그림 7은 속력의 추정값식 (5)과 참값식 (8)이다.

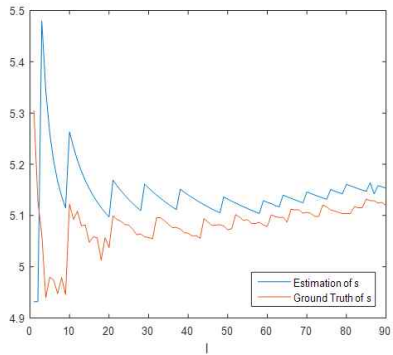


Fig. 7. Estimation and ground truth of speed

그림 5에서 프레임 차이가 커질수록 속도의 오차가 줄어들었다. 그림 6에서는 l 이 50이하일 때 추정값과 오차가 거의 일치하였으나 l 이 50 이후 오차가 커졌다. 그림 7은 그림 5와 유사하게 프레임 차가 커질수록 오차가 줄었다. 표 1은 x 와 y 방향의 속도와 속력의 RMSE를 보여준다.

Table 1. RMSE (m/s)

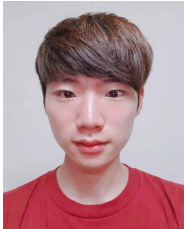
Rx	Ry	Rs
0.0718	0.0142	0.0720

속력의 RMSE는 0.072로 실제 속력(5.1m/s)의 약 1.4%로 추정치의 정확도가 높음을 알 수 있다.

- [7] J. LeMoigne, N. S. Netanyahu, and R. D. Eastman, Image Registration for Remote Sensing, ed. Cambridge, UK:Cambridge University Press, 2010.
- [8] Y. Wang, R. Schultz, and R. Fevig, "Sensor fusion method using GPS/IMU data for fast UAV surveillance video frame registration," IEEE, pp. 985-988, 2009.
- [9] M. Tico and K. Pulli, "Robust Image Registration for Multi-frame Mobile Applications," IEEE, pp. 860-864, 2010.

저자 소개

남 돈 호 (Donho Nam)



2015년 3월~현재 :
대구대학교(공학사)
관심분야 : Intelligent Image
Processing and Target Tracking.

염석원 (Seokwon Yeom)



1997년 : 한국전력 사원
1999년 : 고려대학교 대학원 전자
공학석사
2006년 : 코네티컷 대학교
전자컴퓨터 공학박사
2007년~현재 : 대구대학교
정보통신공학부 교수

2014년 : 메릴랜드 대학교 방문교수
2014년~현재: 한국융합신호처리학회 부회장
2016년~현재: 한국지능시스템학회 이사