

## 깊이영상을 이용한 지면 검출 및 고도 측정 방법

천무호, 전병우

성균관대학교 전자전기공학부

{yh05049, bjeon}@skku.edu

### Depth Image-based Ground Detection and Altitude Measurement Method

Muho Cheon, Byeungwoo Jeon

School of Electronic and Electrical Engineering

Sungkyunkwan University, Korea

#### 요 약

본 논문에서는 드론의 비행 장소와 온도 및 습도에 영향을 받지 않는 적외선 기반 깊이 카메라로부터 얻어진 깊이영상을 분석하여 지면 영역을 찾고 AGL(Above Ground Level) 단위의 고도를 측정하는 방법을 제안한다. Decimation filter 와 Median filter 를 적용하여 잡음 및 빈 데이터들을 제거한 깊이영상으로부터 RANSAC (RANdom Sample Consensus) 기반 평면 모델 추정 방법을 이용하여 지면 영역과 이에 대한 평면의 방정식을 유추하고 현재 위치와의 거리를 계산한다. 성능 평가를 위해 Lidar 센서와 비교한 결과, 제안 방법이 지면에 위치한 장애물에 영향을 더 적게 받으며, 자세 정보와 독립적으로 고도를 측정할 수 있었다.

#### 1. 서론

드론의 고도 측정은 공중 정지 비행 (hovering) 및 장애물 회피, 수직 이착륙 등의 다양한 비행 조건에서 필수적으로 요구되는 기능이다. 드론의 고도를 측정하는 다양한 방법이 존재한다. 첫번째로 초음파 센서를 이용하여 고도를 측정하는 방식 [1]이 있다. 해당 방식은 온도 및 습도가 소리의 속도에 영향을 주기 때문에 비행 환경 조건이 거리 측정의 정확성과 안정성에 영향을 미치는 단점을 가진다. 두 번째는 기압센서를 이용하여 고도를 측정하는 방식이다 [2]. 이 방식의 경우 실내 비행에서 고도의 변화에 따른 기압을 측정하기 어렵다는 단점을 가진다. 세 번째는 GPS 센서를 이용한 고도를 측정하는 방식 [3]인데, 이 경우 드론의 비행 위치에 따라 수신 가능한 위성의 개수가 달라지고, 이에 따라 위치 측정의 정확성과 안정성이 변화한다는 단점을 갖는다.

본 논문에서는 드론의 비행 장소와 온도 및 습도에 영향을 받지 않는 적외선 기반 깊이 카메라를 이용하여 AGL 단위의 고도를 측정하는 방법을 제안한다. 깊이 카메라를 통해 획득한 깊이영상을 필터링한 후 포인트 클라우드로 변환하고, RANSAC (RANdom Sample Consensus) [4] 알고리즘을 적용하여 현재 프레임상의 가장 지배적인 평면을 탐색한다. 이후, 지면에 해당하는 평면의 방정식을 이용하여 현재 위치와 지면의 수직 거리를 측정한다.

#### 2. 깊이영상 필터링

깊이 카메라로부터 획득한 깊이영상에는 다수의 잡음 및 비어 있는 데이터가 존재하기 때문에 지면 영역 유추 과정에서의 오차를 줄이고자 다음 두가지 필터를 순차적으로 적용하였다. Decimation filter 을 통해  $N \times N$  크기의 커널에 해당하는 화소

중 0 이 아닌 값들의 중앙(median)값을 이용하여 입력 깊이 영상의 종횡비를 유지하며 down sampling 한다. 이 때, 축소된 깊이영상의 너비 및 높이의 화소 수가 4 의 배수가 되도록 zero padding 혹은 truncation 을 적용한다. 이후, Median filter 를 통해 현재 데이터 주변의 값들 중의 중앙값을 현재 데이터 값으로 변환한다. 이러한 과정을 통해 깊이영상의 크기를 줄여 연산 시간을 감소시키고, 잡음 및 비어 있는 데이터들을 제거할 수 있다.

### 3. 지면 영역 유추 및 고도 측정

필터링 이후의 깊이 영상을 포인트 클라우드 형태로 변환하고, RANSAC 을 이용하여 입력 영상에서 가장 넓은 영역을 차지하는 평면 모델을 탐색하여 지면 영역으로 유추한다. 지면 영역 유추를 위한 반복 탐색 횟수  $N$  의 초기값을 임의로 설정한 이후 아래 4 단계를 반복적으로 수행하여 최종적으로 선택된 모델을 선정한다. 1 단계로 평면 모델 추정에 필요한 최소 데이터 수는 3 개이므로 입력 데이터에서 임의로 3 개의 포인트 클라우드 데이터를 선택한다. 2 단계로 선택된 3 개의 데이터를 포함한 평면  $P$  를 계산한다. 3 단계로 평면 모델  $P$  와의 거리가 threshold 보다 작은 inlier 데이터의 개수를 구한다. 4 단계로 전체 데이터 수에 대한 inlier 데이터 개수의 비율에 따라  $N$  을 조정한다.

$p$  가  $N$  번 중 적어도 한번은 세 포인트가 모두 inlier 일 확률이고,  $w$  가 전체 데이터 중 inlier 데이터의 비율일 때, 식 (1)이 성립한다. 따라서 식 (2)와 같이 전체 데이터 중 inlier 비율이  $w$  일 때,  $p$  의 확률로 최적의 모델을 찾을 수 있을 반복횟수  $N$  을 얻을 수 있다.

$$1 - p = (1 - w^3)^N \tag{1}$$

$$N = \frac{\log(1 - p)}{\log(1 - w^3)} \tag{2}$$

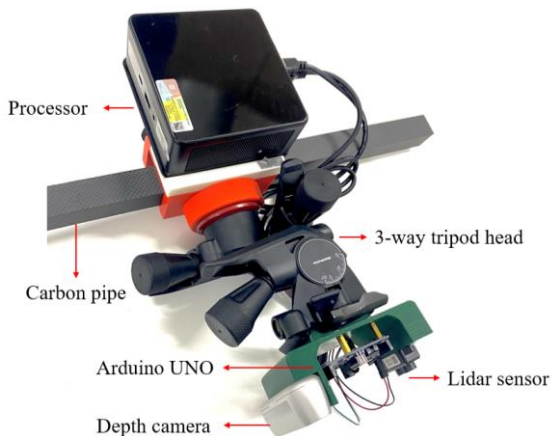


그림 1. 고도 측정 시스템

위의 과정을 통해 유추된 지면 모델  $P_{final}$  에 대한 평면의 방정식  $ax_0 + by_0 + cz_0 + d = 0$  을 얻을 수 있고, 식 (3)을 이용하여 현재 위치인 원점  $(x_0, y_0, z_0)$  으로부터 지면까지의 거리  $D$  를 계산할 수 있다.

$$D = \frac{|ax_0 + by_0 + cz_0 + d|}{\sqrt{a^2 + b^2 + c^2}} \tag{3}$$

### 4. 실험 결과 및 분석

본 논문에서 제안한 방법을 intel RealSense D435i 깊이 카메라와 intel i7-1165G7 CPU 를 사용하여 Windows 10 에서 C++로 구현하였다. 그림 1 은 제안 방법의 성능을 평가하기 위한 시스템을 보여준다. 작동범위가 0.1~12m 이고 오차 범위가  $\pm 1\% (< 6m)$ ,  $\pm 2\% (6 \sim 12m)$  인 Benewake TFmini S Lidar 센서를 Arduino UNO 에 연결하여 깊이 카메라와 동일한 거리를 측정하게 한 후 제안방법과 비교하였다. 또한 RANSAC 을 통해 추정된 모델이 지면이 되도록 하기 위해 깊이 카메라를 지면을 바라보는 방향으로 설치하였다.

그림 2 은 실내의 환경에서 장애물 유무에 따른 색상 영상 (a)와 원본 깊이 영상 (b), 제안 방법 적용 후의 깊이영상 (c), 거리에 따른 색상 정보 (d)를 보여준다. 이 때, 원본 깊이 영상의 크기는  $640 \times 480$  이며, decimation factor 는 2 이고 median filter 의 크기는  $5 \times 5$  이다. 또한 RANSAC 을 위해 threshold 는 0.01,  $p$  는 0.999 로 하였다. 실내 환경에서 장애물 존재 유무에 따른 inlier 데이터의 비율과 연산시간은 각각 평균 76.77%와 78ms, 87.42%와 52ms 로 측정되었고, 실외 환경에서는 각각 평균 63.53%와 164ms, 68.44%와 141ms 로 측정되었다.

실내의 환경에서 장애물 유무에 따른 측정 고도는 표 1 과 같다. 제안 방법의 경우 Lidar 센서와 달리 장애물에 영향을 받지 않고 일정한 고도를 측정하는 것을 확인할 수 있으며, 장애물이 존재할 경우 현재 프레임 중 지면에 해당하는 영역, 즉 inlier 데이터의 비율이 줄어드므로 반복횟수  $N$  이 커짐에 따라 연산 속도가 증가함을 확인할 수 있다.

표 1. 실내의 환경에서 장애물 유무에 따른 측정 고도

(단위: m)	실내		실외	
	유	무	유	무
Lidar 센서	0.35	0.49	0.88	1.23
제안 방법	0.48	0.48	1.20	1.23

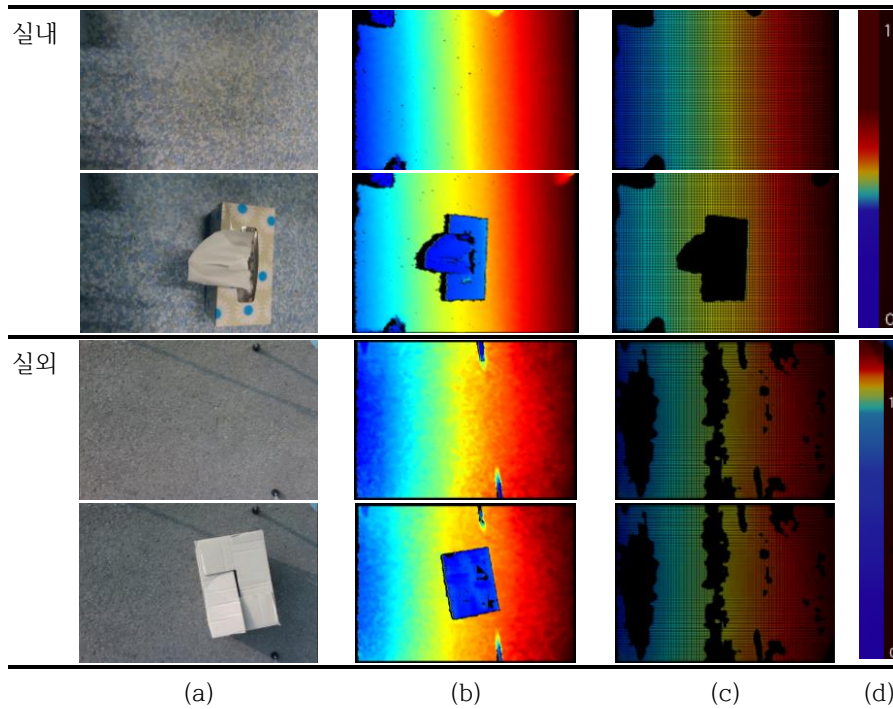


그림 2. 실내의 환경에서의 (a) 색상 영상, (b) 제안 방법 적용 전의 깊이 영상, (c) 제안 방법 적용 후의 깊이 영상, (d) 측정 거리에 따른 색상 정보

## 5. 결론

본 논문에서는 온도 및 습도나 비행 장소에 영향을 받지 않는 깊이 카메라를 이용하여 RANSAC 알고리즘을 이용하여 지면으로 유추되는 평면 모델을 탐색한 후, 해당 평면과 현재 위치 사이의 거리를 구하여 고도를 측정하는 방법을 제안한다. 실험을 통해 지면 위의 장애물로부터 영향을 적게 받을 뿐만 아니라 센서의 자세 정보와 독립적으로 고도를 측정할 수 있다는 것을 보였다. 제안 방법은 이동 및 회전 가능한 물체와 특정 면과의 거리를 측정하기 위한 다양한 분야에 적용될 수 있다.

## 감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기획평가원의 지역지능화혁신인재양성(Grand ICT 연구센터) 사업의 연구결과로 수행되었음 (IITP-2021-2015-0-00742)

## 참고문헌

[1] 김성훈, 최경식, 홍교영, “초음파 거리계를 이용하는 쿼드콥터 무인항공기의 고도 제어 성능 향상을 위한 스파이크 제거 기법,” 한국항공학회 논문지, vol. 20, no.3, pp 196-202, 2016.

[2] 한민수, “드론의 고도 측정을 위한 디지털 대기압 센서의 필터링 방법 개선,” 한국지능시스템학회 논문지, vol. 27, no 6, pp. 537-542, 2017.

[3] C. Vincenzo Angelino, V. R. Baraniello and L. Cicala, "High altitude UAV navigation using IMU, GPS and camera," *Proc. of the 16th Int. Conf. on Information Fusion*, 2013, pp. 647-654.

[4] M. A. Fischler, and R. C. Bolles, "Random Sample Consensus: A Paradigm for Model Fitting with Applications to Image Analysis and Automated Cartography," *Comm. of the ACM*, vol. 24, no. 6, pp. 381-395, 1981.