

LiDAR 센서를 이용한 드론 자동 충돌방지 시스템

정의필¹, 안우진¹, 김연민², 이정철^{1*}

¹울산대학교 IT융합학부, ²울산대학교 산업경영공학부

An Automatic Collision Avoidance System for Drone using a LiDAR sensor

Ui-Pil Chong¹, Woo-Jin An¹, Yearn-Min Kim², Jung-Chul Lee^{1*}

¹School of IT Convergence, University of Ulsan

²School of Industrial Management Engineering, University of Ulsan

요약 본 논문에서는 쿼드콥터 드론의 충돌방지를 위한 효율적인 자동제어 방법을 제안한다. 일반적인 드론조종 방법은 RC 조종기에서 노브의 움직임을 PWM 신호로 변환하여 전송하면 이를 드론의 무선 수신부에서 수신하여 비행제어(FC) 모듈에 전달하는 방식으로 이루어진다. 드론의 수신기와 FC 모듈 사이에 충돌 회피 모듈을 구현하여 쓰로틀, 피치 및 롤 제어 신호를 모니터링하고 변경하는 방식으로 드론 충돌을 방지한다. 충돌을 방지하기 위해 LiDAR 거리 센서와 서보 모터를 설치하여 주기적으로 비행 방향을 중심으로 -45도에서 +45도 이내의 장애물 거리를 측정한다. 충돌이 예상되면 수신된 PWM 신호를 변경하여 FC 모듈로 전송함으로써 충돌을 방지한다. 우리가 제안한 방법을 쿼드콥터 드론에 적용하여 실험을 통해 검증한 결과, 조종자 부주의 혹은 조종 미숙으로 인해 발생할 수 있는 충돌을 방지할 수 있어 안전성이 향상됨을 보였다.

• 주제어 : 드론, 충돌방지, 라이다 센서, 무선제어, 진폭변조

Abstract In this paper, we propose an efficient automatic control method for the collision avoidance of drones. In general, the drones are controlled by transmitting to the flight control (FC) module the received PWM signals transmitted from a RC controller which transduce movements of the knob into PWM signal. We implemented the collision avoidance module in-between receiver and FC module to monitor and change the throttle, pitch and roll control signals to avoid drone collision. In order to avoid the collision, a LiDAR distance sensor and a servo-motor are installed and periodically measure the obstacle distance within -45 degrees from 45 degrees in flight direction. If the collision is predicted, the received PWM signal is changed and transmitted to the FC module to prevent the collision. We applied our proposed method to a hexacopter and the experimental results show that the safety is improved because it can prevent the collision caused by the inadvertency or inexperienced maneuver.

• Key Words : Drone, Collision avoidance, LiDAR sensor, RC control, PWM

Received 8 May 2018, Revised 19 June 2018, Accepted 25 June 2018

* Corresponding Author Jung-Chul Lee, School of IT Convergence, University of Ulsan, 93 Daehak-ro, Nam-gu, Ulsan, Korea.
E-mail: jungclee@ulsan.ac.kr

I. 서론

드론은 초기에 군사용으로 개발되었으나, 최근에는 물류, 기상, 농업, 정보통신, 미디어, 취미활동 등 다양한 영역에서 활용되고 있다. 활용영역이 늘어남에 따라 드론의 보급도 늘어나고 있다. 그러나 한국 소비자원 보고에 따르면 드론에 의한 안전사고도 또한 증가하고 있으며 안전사고 비율 중 50% 이상이 드론 충돌에 의한 사고이다 [1].

또한 드론이 비행 중에 추락할 경우 막대한 재산피해와 치명적인 인명사고를 발생시킬 수 있는 문제를 안고 있다 [2]. 현재 ArduPilot, Pixhawk 등 해외 오픈소스 기반 개발자 커뮤니티에서 충돌회피 기능이 개발되고 있지만 국내는 충돌회피 기능이 포함된 드론 제품은 초기단계라 할 수 있다 [3].

본 논문에서는 LiDAR센서를 이용한 드론의 충돌방지 시스템을 제안한다. Lightware사의 LiDAR센서인 LW20과 서보모터를 이용하여 장애물을 감지하고 설정된 충돌방지 모드와 장애물 감지 여부에 따라 RC조종기에서 출력되는 드론 제어신호를 변경하여 드론에 전달하여 드론이 충돌을 회피할 수 있도록 한다.

II. 관련연구

드론에 탑재되는 충돌회피 기술은 거리측정 센서를 활용하는 기술과 카메라의 영상정보를 이용하는 방식으로 나뉜다. 센서 활용 기술의 경우 다수의 센서를 부착하여 전방향의 장애물 감지에 사용한다. 이 경우 센서 제어가 복잡해지며 둘 이상의 센서가 같은 물체 감지 시 측정값 충돌이 발생할 수 있다. 센서의 경우 초음파센서를 활용한 연구가 대다수이다 [3-7]. 초음파센서의 경우 감지범위는 넓으나 감지거리가 짧다.

기존의 Pixhawk 기반 드론시스템의 경우 그림 1처럼 드론 제어신호가 RC조종기에서 RC 리시버로 전달되어 PPM Encoder를 거쳐 PPM신호로 Flight Controller에 전달된다.

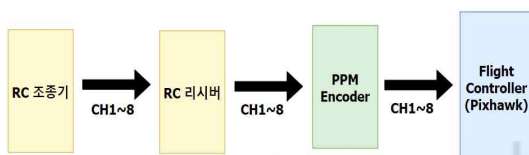


Fig. 1. Basic drone system RC signal flow

III. 제안 드론 충돌방지 시스템

3.1 충돌방지 시스템

본 논문에서 제안하는 헥사콥터 충돌방지 시스템의 구성도는 그림 2와 같다. 장애물감지를 위해 LiDAR센서와 서보모터를 이용하며 Buzzer를 통해 장애물 감지 여부를 확인할 수 있도록 한다. 그림 3과 같이 장애물 감지 후 충돌방지를 위해 ATmega128을 이용하여 드론으로 전달되는 제어 신호 중 롤(Ch1), 피치(Ch2), 스로틀(Ch3), 요(Ch4), 비행모드(Ch5) 신호를 중간에서 변경하는 방법을 사용한다.

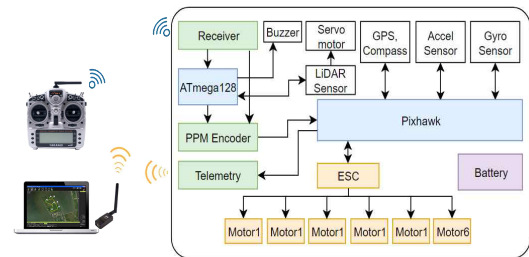


Fig. 2. Proposed collision avoidance system

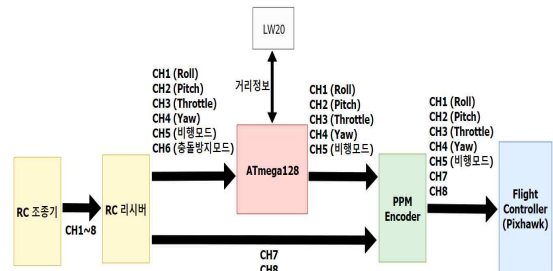


Fig. 3. Proposed drone system RC signal flow

RC 조종기 채널(Ch6)을 사용하여 3가지 충돌방지 모드 (Normal, Mode 1, Mode 2)를 설정한다. Normal모드는 일반 모드로서 ATmega128에서 전달받은 신호를 변경하지 않고 Pixhawk으로 전달한다. Mode 1는 장애물 감지 시 드론이 착륙하도록 한다. Mode 2는 장애물 감지 시 장애물을 왼쪽으로 회피하여 착륙하도록 한다.

충돌방지모드 설정과 LiDAR 센서와 서보모터를 통한 장애물 감지여부에 따라 드론제어 신호 중 롤(Ch1), 피치(Ch2), 스로틀(Ch3), 요(Ch4), 비행모드(Ch5) 신호를 변경하여 드론에 전달하여 충돌을 방지한다. 사용된 LiDAR센서는 Lightware사의 LW20으로 최대 100m까지 거리측정이 가능하며 UART 인터페이스와 I2C 인터페

이스를 지원한다 [8]. 충돌회피 모듈은 DS-919MG 서보 모터, LW20 센서와 ATmega128를 사용하여 제작하였고 그림 4와 같이 드론 상단에 부착하여 운용하였다.

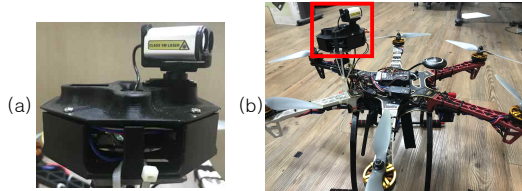


Fig. 4. (a)Collision avoidance module, (b)Module attached to top of hexacopter

3.2 장애물 감지 알고리즘

본 논문에서 제안하는 충돌방지 시스템을 위한 장애물 감지에 LiDAR센서를 사용하였다. 사용한 LiDAR센서는 Lightware사의 LW20으로 센서의 측정 각도가 좁아 그림 4와 같이 하나의 센서로 전방의 장애물 감지를 위해 서보모터와 결합하여 서보모터를 이동시키며 거리측정을 하는 방식으로 사용하였다. 서보모터의 이동 각도는 $-45^{\circ} \sim 45^{\circ}$ 로 설정하였다. 장애물 감지 알고리즘은 그림 5와 같다.

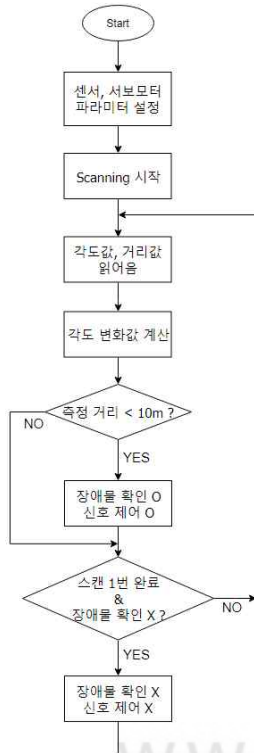


Fig. 5. Obstacle detection algorithm flow chart

1회 스캔은 -45° 에서 45° 까지 또는 45° 에서 -45° 까지 거리측정을 한 것을 말한다. 1회 스캔하는 동안 설정된 거리(10m)보다 짧은 거리가 한번이라도 검출된다면 장애물이 존재하는 것으로 인식한다.

3.3 충돌방지 알고리즘

본 논문에서 제안하는 충돌방지 시스템은 그림 6과 같이 드론 제어를 위해 RC 리시버에서 수신한 신호 중 드론 제어에 필요한 롤(Ch1), 피치(Ch2), 스로틀(Ch3), 요(Ch4), 비행모드(Ch5) 신호를 ATmega128가 검출하고 이를 필요시 변경하여 드론의 비행제어 모듈인 Pixhawk로 전달되도록 한다. ATmega128에서 검출한 제어 신호를 장애물 감지여부와 충돌회피 모드 설정에 따라 변경하여 Pixhawk에 전달한다.

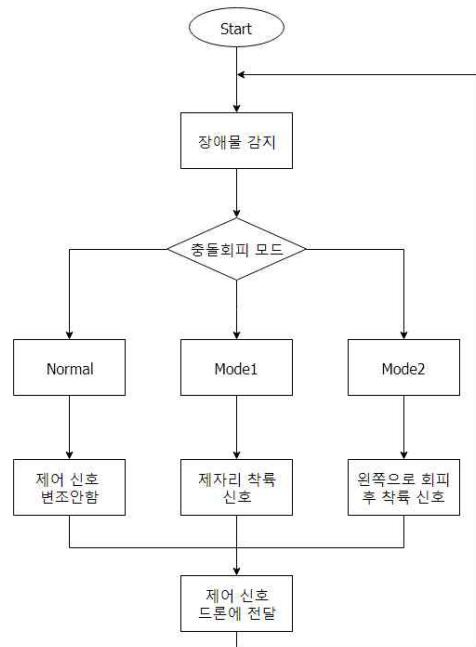


Fig. 6. Collision prevention algorithm flow chart

IV. 실험 및 결과

4.1 거리 측정 실험

LW20 센서의 거리측정 정확도 확인을 위해 실내에서 2m~10m, 실외에서 2m~20m 거리에서 직선거리 측정 실험을 진행하였다. 실험 결과는 표 1, 표 2, 그림 7과 같다. 실험결과 측정된 거리 데이터와 실제 거리 값은 1~10cm의 오차를 보였으며 $\pm 1.2\%$ 의 오차율을

보였다.

Table 1. Indoor distance measurement result

거리 횟수	2m	4m	6m	8m	10m
1	1.95	4.06	6.01	8.07	9.96
2	1.95	4.06	6.01	8.07	10.01
3	1.95	4.06	6.01	8.07	10.01
4	1.95	4.06	6.01	8.07	10.01
5	1.95	4.06	6.01	8.07	10.02
6	1.95	4.06	6.01	8.07	10.02
7	1.95	4.06	6.01	8.07	10.03
8	1.95	4.06	6.01	8.07	10.03
9	1.95	4.07	6.01	8.07	10.03
10	1.95	4.07	6.01	8.07	10.04

Table 2. Outdoor distance measurement result

거리 횟수	2m	4m	6m	8m	10m	15m	20m
1	2.00	4.09	6.05	8.08	10.10	15.08	20.05
2	2.00	4.09	6.05	8.08	10.10	15.08	20.05
3	2.00	4.09	6.05	8.08	10.10	15.08	20.06
4	2.00	4.09	6.05	8.08	10.10	15.08	20.06
5	2.00	4.09	6.04	8.08	10.10	15.08	20.06
6	2.00	4.09	6.04	8.08	10.10	15.08	20.06
7	2.00	4.09	6.04	8.08	10.10	15.08	20.07
8	1.99	4.09	6.04	8.08	10.10	15.08	20.07
9	1.99	4.09	6.04	8.08	10.09	15.08	20.07
10	2.00	4.09	6.04	8.08	10.09	15.08	20.07

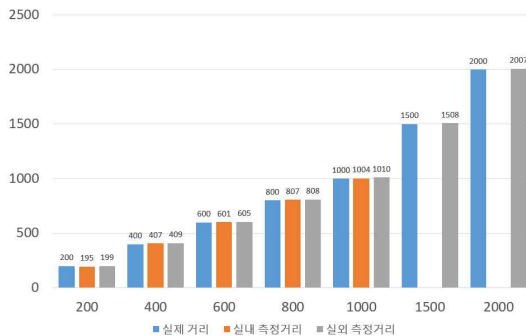


Fig. 7. Indoor / outdoor distance measurement data and actual distance value comparison

4.2 이동 물체 거리측정 실험

움직이는 물체에 대한 거리측정 실험은 그림 8과 같이 LW20 센서와 서보모터를 이용하여 $-45^\circ \sim 45^\circ$ 각도 내에서 이동하는 물체의 거리를 측정하였다. 센서로부터 물체까지의 거리는 수직 직선거리 5m로 설정하였으며 -45° 에서 출발하여 45° 방향으로 이동하였다.

측정된 결과는 표 3과 같다. 1회 스캔은 서보모터가

-45° 에서 45° 까지 또는 45° 에서 -45° 까지 한번 회전하며 거리측정을 한 것이다. 실험결과 물체가 이동하는 방향을 따라서 정확히 감지됨을 확인할 수 있었다.

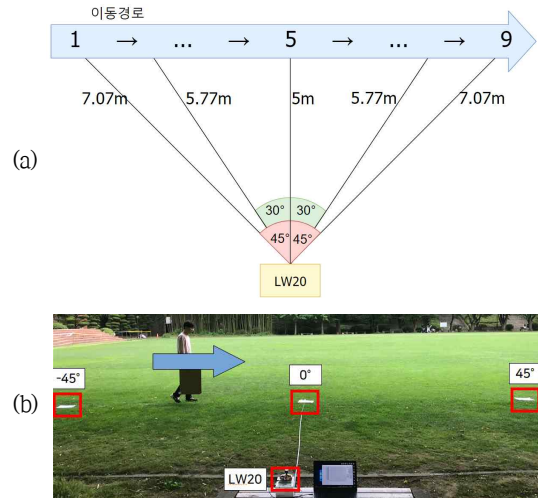


Fig. 8. (a) Moving object distance measurement experiment scenario, (b) Moving object distance measurement

Table 3. Experiment results of moving object distance measurement

스캔 순서	1	2	3	4	5
측정 각도	-44.02°	-32.55°	-24.52°	-14.20°	4.16°
측정 거리	7.10	6.01	5.80	5.41	5.32
각도 범위	$-45^\circ/-35^\circ$	$-35^\circ/-25^\circ$	$-25^\circ/-15^\circ$	$-15^\circ/-5^\circ$	$-5^\circ/5^\circ$

스캔 순서	6	7	8	9
측정 각도	6.45°	15.63°	27.10°	39.51°
측정 거리	5.11m	5.19m	5.59m	5.53m
각도 범위	$5^\circ/15^\circ$	$15^\circ/25^\circ$	$25^\circ/35^\circ$	$35^\circ/45^\circ$

4.3 충돌방지 실험

드론에 충돌회피 모듈을 부착하여 비행실험을 진행하였다. 드론의 Auto모드의 웨이포인트를 이용하여 드론이 장애물로부터 5m거리까지 비행 후 착륙하도록 표 4와 같이 비행계획을 설정한다. 충돌방지 모드설정 에 따른 이동 예상 경로는 그림 9와 같다.

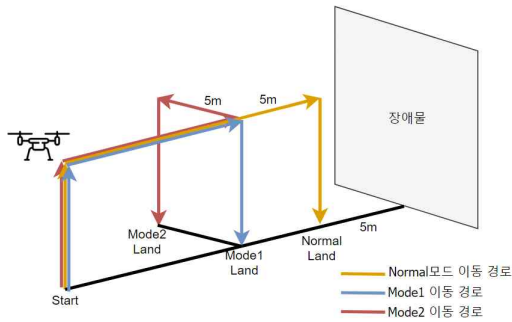


Fig. 9. Collision avoidance experiment scenario

Table 4. Experimental scenario by collision avoidance mode

Normal 모드	
①	수동으로 드론 Take Off 후 Auto모드 & Normal모드 설정
↓	설정된 웨이포인트(장애물로부터 5m 지점)으로 이동
②	호버링 시작 (5초간)
↓	호버링 후 착륙 시작
③	착륙 완료
Mode1	
①	수동으로 드론 Take Off 후 Auto모드 & Mode1 설정
↓	설정된 웨이포인트(장애물로부터 5m 지점)으로 이동
④	이동 중 장애물 감지 후 호버링 시작 (5초간)
↓	호버링 후 착륙 시작
⑤	착륙 완료
Mode2	
①	수동으로 드론 Take Off 후 Auto모드 & Mode2 설정
↓	설정된 웨이포인트(장애물로부터 5m 지점)으로 이동
④	이동 중 장애물 감지 후 호버링 시작 (5초간)
↓	호버링 후 왼쪽으로 이동 시작
⑥	5m 이동 후 호버링 시작 (4초간)
↓	호버링 후 착륙 시작
⑦	착륙 완료

드론의 log 데이터를 확인한 결과 Normal 모드일 때는 RC 조종기의 신호가 그림 10과 같이 Pixhawk에 전달된 것을 확인할 수 있었다. 이를 분석한 결과는 표 5와 같으며 설정한대로 동작함을 확인할 수 있었다. Mode 1일 때 드론의 log 데이터는 그림 11과 같다. 이를 분석한 결과는 표 6과 같으며 Auto모드로 비행 중 장애물로부터 10m지점에서 장애물을 감지하고 호버링 후 착륙하였음을 확인할 수 있었다. Mode 2일 때 드론의 log 데이터는 그림 12과 같다. 표 7과 같이 10m 거리에서 장애물 감지하였으며 호버링 후 왼쪽으로 평균 4.5m 이동 후 착륙하였음을 확인할 수 있었다.

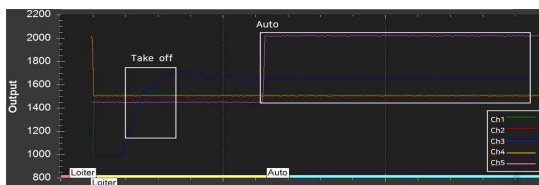


Fig. 10. Normal mode pixhawk log data

Table 5. Normal mode experiment result

RC조종기	ATmega128					Drone Pixhawk					
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	시간 (sec)	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
① Take Off	Take Off (RC 조종기 신호 전달)					0.0	1518	1497	1610	1505	1446
Auto	Auto (RC 조종기 신호 전달)					9.7	1516	1496	1645	1507	2020
	Auto (RC 조종기 신호 전달)					20.3	1516	1496	1645	1504	2019
③	Auto (RC 조종기 신호 전달)					25.5	1516	1497	1644	1504	2018
	Auto (RC 조종기 신호 전달)					25.6	1516	1497	1646	1505	2020

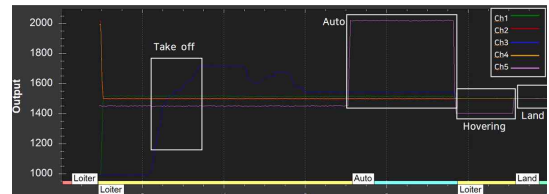


Fig. 11. Mode 1 pixhawk log data

Table 6. Mode 1 experiment result

RC조종기	ATmega128					Drone Pixhawk					
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	시간 (sec)	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
① Take Off	Take Off (RC 조종기 신호 전달)					0.0	1516	1495	1616	1501	1447
Auto	Auto (RC 조종기 신호 전달)					12.5	1515	1496	1543	1501	2020
	④ 장애물감지					20.6	1502	1501	1500	1500	1401
③	1500 1500 1500 1500 1400					24.9	1501	1501	1501	1501	1401
	1500 1500 1500 1500 1500					25.0	1502	1500	1501	1501	1500
⑤	1500 1500 1500 1500 1500					26.0	1500	1501	1501	1501	1500

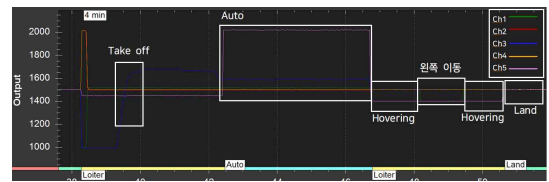


Fig. 12. Mode 2 pixhawk log data

Table 7. Mode 2 experiment result

RC조종기	ATmega128					Drone Pixhawk					
	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5	시간 (sec)	CH1	CH2	CH3	CH4	CH5
① Take Off	Take Off (RC 조종기 신호 전달)					0.0	1519	1494	1611	1501	1451
Auto	Auto (RC 조종기 신호 전달)					8.6	1518	1495	1580	1501	2019
	④ 장애물감지					15.00	1500	1500	1500	1501	1400
③	1500 1500 1500 1500 1400					22.1	1504	1500	1501	1502	1400
	1400 1500 1500 1500 1400					26.5	1502	1500	1501	1502	1400
⑤	1400 1500 1500 1500 1400					30.4	1401	1501	1501	1501	1400
	1400 1500 1500 1500 1400					30.5	1499	1501	1501	1501	1401
⑦	1500 1500 1500 1500 1400					34.1	1501	1501	1500	1502	1400
	1500 1500 1500 1500 1500					34.2	1500	1500	1501	1502	1500
⑨	1500 1500 1500 1500 1500					36.2	1500	1501	1501	1501	1500

V. 결론

본 논문에서는 쿼드콥터 드론의 충돌방지를 위해 드론의 수신기와 비행제어 모듈 사이에 충돌 회피 모듈을 구현하여 쓰로틀, 피치 및 롤 제어 신호를 모니터링하고 변경하는 자동제어 방법을 제안하였다. 그리고 충돌을 방지하기 위해 LiDAR 거리 센서와 서보 모터를 설치하여 비행 방향을 중심으로 -45도에서 +45도 이내의 장애물 거리를 주기적으로 측정하였다. 만일 충돌이 예상되면 수신된 PWM 신호를 변경하여 FC 모듈로 전송함으로써 충돌을 방지하였다.

제안된 방법을 이용하여 실험한 결과 드론이 10m 이내 장애물을 감지하고 설정된 모드에 따라 장애물을 자동으로 회피하여 충돌을 방지하는 것을 확인할 수 있었다. 이를 통해 조종자의 숙련도나 부주의로 인해 발생할 수 있는 드론 충돌사고를 예방하는데 활용할 수 있음을 확인하였다.

ACKNOWLEDGMENTS

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2016년도 산학연협력 기술개발사업(C0395429)과 한국연구재단 2018년도 이공분야 기초연구사업(2017R1D1A3B05030815)의 연구 수행으로 인한 결과물임을 밝힌다.

REFERENCES

- [1] Korea Consumer Agency, Available: http://www.kca.go.kr/brd/m_32/view.do?seq=2281&multi_itm_seq=0
- [2] J. S. Kim, J. M. Jeong, Y. H. Choi, J. B. Park, "Development of Collision Avoidance System of a Quadrotor using Sonar Sensors," in *Proceedings of KIEEE Summer Conference*, pp. 1347-1348, 2016.
- [3] <http://ardupilot.org/copter/docs/>
- [4] S. W. Lee, K. H. Choi, M. S. Hyun, J. H. Kim, "Drone collision avoidance system using sonar sensor and servo motor," in *Proc. of Symposium of the Korean Institute of communications and Information Sciences*, pp. 1327-1328, 2017.
- [5] J. H. Lee, H. T. Chae, J. K. Min, S. Y. Shin, "Autonomous drones exploration using ultrasonic

sensors," in *Proc. of Conference of Korea Institute of Information Scientists and Engineers*, pp. 254-256, 2016.

- [6] J. S. Kim, J. M. Jeong, Y. H. Choi, J. B. Park, "Development of Collision Avoidance System of a Quadrotor using Sonar Sensors," in *Proc. of Conference of KIEE*, pp. 1347-1348, 2016.
- [7] S. B. Kim, and H. B. Kim, "Performance Evaluation, Optimal Design and Complex Obstacle Detection of an Overlapped Ultrasonic Sensor Ring," *Journal of the Institute of Signal Processing and Systems*, vol.12 no.4, pp. 341-347, 2011.
- [8] *LW20 / SF20 LiDAR sensor Product manual*, LightWare Optoelectronics, pp.1-25

저자 소개

정의필 (Ui-Pil Chong)



1978년 2월: 울산대학교
전기공학과 (공학사)
1980년 2월: 고려대학교
전기공학과 (공학석사)
1985년 5월: 미. 오레곤주립대학교
전기및컴퓨터공학과(공학석사)
1997년 1월: 미. 뉴욕대학교

전기공학과(공학박사)

1997년 3월: 울산대학교 교수

2017년 4월 ~현재: 울산대학교 연구교수

관심분야: Signal Processing, Drone System, Fault Detection, Whales

안우진 (Woo-Jin An)



2012년 3월~현재: 울산대학교

IT융합학부 학사과정

관심분야: 신호처리, 드론 시스템

김 연 민 (Yearn-Min Kim)



1979년 2월 : 서울대학교

산업공학과 (공학사)

1981년 2월 : 한국과학기술원

산업공학과 (공학석사)

1993년 2월 : 한국과학기술원

경영과학과 (공학박사)

1994년 : 미국 오하이오 주립대학

경영과학과 객원 교수

2001년 : 미국 어번 대학교 산업공학과 객원교수

2011년 : 덴마크 코펜하겐 경영대학원 객원교수

1984년 9월~현재 : 울산대학교 산업경영공학부 교수

관심분야 : 기계학습, 인공지능망, 기술경영

이 정 철 (Jung Chul Lee)



1984년 2월 : 서울대학교 전자공학과
(공학사)

1988년 2월 : 서울대학교
전자공학과 (공학석사)

1998년 8월 : 서울대학교 전자공학과
(공학박사)

1985년~2000년 : 한국전자통신연구원

책임연구원

2000년~2001년 : (주)L&H Korea 전문위원

2000년~2002년 : (주)VoiceTech 전문위원

2002년 9월~현재 : 울산대학교 IT융합학부 부교수

관심분야 : 디지털신호처리, 음성신호처리,
마이크로프로세서응용