

자이로 센서와 PID 제어를 이용한 드론 비행 안정화에 관한 연구

윤단비* · 이규열* · 한상기* · 김용훈* · 이승대**

A Study on Flight Stabilization of Drones by Gyro Sensor and PID Control

Dan-Bee Yoon* · Kyu-Yeul Lee* · Sang-Gi Han* · Yong-Hun Kim* · Seung-Dae Lee**

요 약

현재 무인항공기의 기술 변화와 시장 규모는 발 빠르게 확산되고 있다. 활용 범위의 확대로 드론을 쉽게 접할 수 있게 되면서 조종자의 조종 미숙으로 인한 피해가 발생한다. 이러한 문제 발생으로 인한 피해를 최소화하기 위해서 드론의 안정적인 비행 능력이 요구되며 이를 위하여 모터의 안정적인 속도 제어가 요구된다. 따라서 본 논문에서는 모터의 제어 방안으로 Arduino를 주 제어장치로 사용하였으며 기체의 자세 안정화를 위하여 가속도 센서와 자이로 센서를 사용하였다. 또한, 초음파 센서를 드론에 탑재하여 일정 높이에서 호버링이 가능하도록 하였다. 안드로이드 앱을 이용하여 드론을 제어하였으며 그 결과 0~2m 범위의 지정한 위치에서 안정적으로 호버링이 가능함을 확인하였다.

ABSTRACT

The changes of technology and the size of markets for unmanned aerial vehicle are getting bigger presently. Damage happens because of user's poor operation since accesses to the drones are easy. To minimize the damage, drone's stabilized flight skills are required, and controlling the motor to balanced speed is also needed. Thus, the essay shows that we use Arduino as a main control device for controlling a drone, and used acceleration sensor and gyro sensor for the drone stabilization. Also, we made it able to hover at a certain height by using a sonar sensor. We also controlled a drone by using an Android application, and made the drone hover stably at 0~2 meters.

키워드

Quad-Copter, Arduino, Gyro Sensor, MPU-6050, MultiWii, Sonar
쿼드 콕터, 아두이노, 자이로 센서, 가속도 센서, 멀티위, 초음파 센서

1. 서 론

쿼드콕터(quad-copter)는 현재 항공 촬영, 아마존

프라임 에어, 도미노 피자에서 무인 택배, 농촌의 방역, 방제 등 다양한 곳에 활용하지만 법적인 문제나 다른 요인으로 인해 기술적으로는 이미 완성되어 있

* 남서울대학교 전자공학과 (sirvertse345@naver.com, mycelebrate@naver.com, vhdldj123@naver.com, gns1378@naver.com) • Received : Jun 16, 2017, Revised : July 13, 2017, Accepted : Aug 01, 2017
• Corresponding Author : Seung-Dae Lee

** 교신저자 : 남서울대학교 전자공학과 Dept. of Electronic Engineering, Namseoul University,

Email : seungdae@nsu.ac.kr

• 접수일 : 2017. 06. 16

• 수정완료일 : 2017. 07. 13

• 게재확정일 : 2017. 08. 01

어도 활용하지 못하는 곳이 많다. 따라서 법적인 문제만 해결된다면 쿼드콥터는 사용할 수 있는 범위가 광범위하게 발전되어 갈 것으로 전망되고 있다. 이미 무인항공기 시장 전망에 대해서는 미국 방산업 전문 컨설팅 업체인 틸 그룹은 세계 드론 시장 규모가 2015년 40억 달러에서 2024년 147억 달러 규모로 급증할 것으로 예상하고 있고 소형 드론 시장은 급성장해 전체 시장 규모가 2024년까지 연평균 15% 성장할 것이라고 전망하고 있다. 그중의 대부분이 군사용으로 밀집되어 있지만 각국의 법이 확립된다면 세계적으로 시장이 빠르게 성장할 것으로 전망된다.¹⁾

드론은 구조가 단순하고 접근성이 높다. 하지만 드론 활용 범위 확대와 더불어 조종자의 조종 미숙이나 잘못된 드론 설정으로 발생하는 오작동 등의 원인으로 인명 및 재산 피해가 발생하고 있다. 택배 및 자율비행 등의 드론 임무에서는 더 정확한 비행이 요구되어 드론의 비행 안정성은 더욱 중요해졌다[1].

따라서 본 논문에서는 무인항공기의 기술 변화 추세에 대응하여 쿼드콥터의 기반기술을 확립하기 위해 PID(Proportional Integral Derivative) 제어를 설계하여 4개의 brushed DC motor가 장착된 쿼드콥터를 제작하고자 한다. 제어 장치로는 Arduino를 사용하며 기체의 이동 방향의 값을 얻기 위하여 가속도, 자이로 센서, 기체와 땅의 거리 값을 어플리케이션에 받기 위하여 초음파 센서를 사용하고자 한다. 각 센서 값을 이용해 PID 제어를 하고 자세에 따라 PWM(Pulse Width Modulation) 값을 받아 ESC(Electronic Speed Controller)를 통해 모터의 속도를 제어하고자 한다.

II. 본 론

2.1 쿼드콥터 동작 원리 및 모델링

쿼드콥터라 불리는 무인비행체는 4개 이상의 모터를 가지고 있으며 그 모터의 회전에 의해서 비행을 수행한다. 이 과정에서 필수적인 것은 모터회전을 정밀하게 제어하는 것인데 이를 담당하는 것이 바로 자세제어이다. 자세제어를 위해서는 비행체의 정확한 상

태를 알고 모터 조절을 해야 한다. 모터 조절을 하는데 있어서 MultiWii를 사용하여 자세제어 시 모터 PID 게인 값을 조절하여 자세제어를 진행한다.

그림 1에서 F1, F3 모터와 F2, F4 모터는 각각 쌍으로 같은 방향으로 회전하지만 서로 회전 방향이 반대이다. 이는 헬기에서처럼 기체의 반동 토크를 서로 상쇄시키기 위함이다.

상승할 때는 F1~F4의 회전속도를 동일하게 증가시키면 기체는 상승하게 된다. +x축에 따라 전진할 때는 F3의 모터 속도만 증가시키면 기체는 F1 쪽으로 기울어져 전진하게 된다. 마찬가지로 -x 방향으로 비행할 때는 F1 모터의 속도만 증가시키면 몸체가 기울어진 채로 이동한다. 회전시킬 때는 F1과 F3 모터의 속도를 동일하게 증가시키면 기체의 반 토크 균형이 깨져 기체 후미가 왼쪽으로 돌아가 회전하게 된다 [2-5].

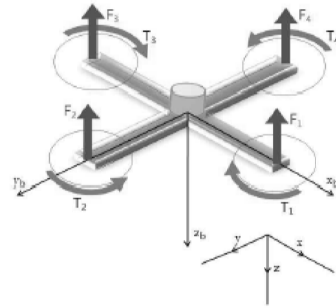


그림 1. 동작원리
Fig. 1 Operating principle

쿼드콥터의 모델링은 먼저 중력의 중심을 기준으로 하는 몸체 고정 좌표계를 B라 정의한다. 자유도를 갖는 쿼드콥터 시스템을 지구 관성 좌표계, E로 표현한다. 쿼드콥터의 시스템은 $x, y, z, \phi, \psi, \theta$ 6개의 축으로 계산된다. 먼저 x, y, z 축은 E 좌표계에서 표현된 쿼드콥터의 무게중심의 좌표를 의미한다. ϕ, ψ, θ 축은 B 좌표계에서 표현된 쿼드콥터의 3개의 각 즉 Roll, Pitch, Yaw 값을 의미한다.

역학계에서 운동에너지 T 및 퍼텐셜에너지(위치에너지) V를 일반화 좌표 q_i 와 그 시간 t에 관한 미분

1) <https://cipc.kist.re.kr/common/attachfile/attachfileNumPdf.do?boardNo=00005764&boardInfoNo=0022&rowNo=1>

인 속도 q_i 의 함수라고 하였을 때 $L = T - V$ 로 정의되는 양이며 L에 관해서는 최소작용의 원리가 성립한다. 쿼드콥터의 동역학 방정식에서 $F = (F_p, \tau)$ 이고, x축, y축, z축의 운동에너지의 제공은 쿼드콥터의 작용하는 외부 양력을, τ 는 외부 토크를 의미한다. 쿼드콥터의 움직임을 지구 관성 좌표계 E로 살펴보기 위해서는 쿼드콥터 몸체 고정 좌표계 B로 표현되는 외부 양력을 지구 관성 좌표계 E로 변환해야 한다. 방정식을 풀면 양력과 토크에 해당하는 분리된 식을 얻게 되는데 방정식에서 지구 관성 좌표계의 3 좌표축과 연관된 병진 운동 계수에서 코리올리 구심 벡터 성분이 나오게 되며 쿼드콥터에 작용하는 코리올리 구심 벡터는 매우 작은 성분이다. 또한 쿼드콥터에 사용되는 프로펠러 사이즈는 매우 작기 때문에 F 또한 매우 작은 값을 가진다. 결과론적으로 두 종류의 힘은 쿼드콥터 동역학식에 매우 작은 효과밖에 주지 못하기 때문에 코리올리 구심 벡터 성분은 제외해도 무방하게 된다[6].

2.2 PID 제어기 설계

PID 제어기는 원하는 입력과 출력 사이의 오차에 근거하여 시스템의 출력이 원하는 입력에 추종하는 폐환 제어의 일종이다. PID 제어기는 시스템이 분명히 정해져 있고 이에 대한 해석이 가능하면 가장 간단하면서 좋은 특성을 얻을 수 있다. PID 제어기에서 P는 비례(Proportional) 제어이고 I는 적분(Integral)제어, D는 미분(Derivative)제어이다. P 제어(비례제어)는 PID 제어기에서 반드시 사용해야 하는 가장 기본적인 제어이며 구현하기가 쉽다. 하지만 비례제어 만으로는 시스템에 적분기가 없을 경우에 정상상태 오차가 발생할 수 있다. I 제어(적분 제어)는 정상상태 오차를 없애기 위해 사용된다. D 제어(미분 제어)는 잘 활용하면 안정성에 기여하고, 예측 기능이 있어 응답속도를 빠르게 할 수 있다[7-8]. PD 제어기는 시스템에 감쇠를 제공하지만 정상상태 응답에는 영향을 미치지 않고, PI 제어기는 상대적 안정도를 개선하며 동시에 정상상태 오차를 개선하지만, 상승 시간이 증가하는 단점이 있다. 그래서 PI 제어기와 PD 제어기의 최적의 특성을 이용하는 것이 바로 PID 제어의 핵심이다.

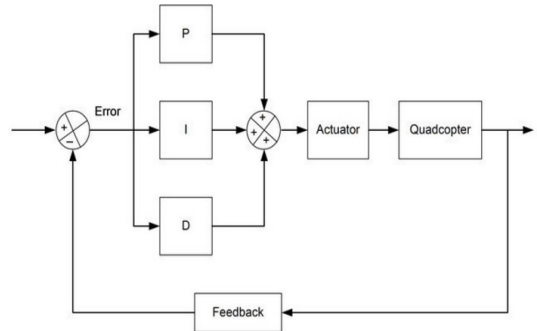


그림 2. PID 제어 시스템의 블록선도
Fig. 2 Block diagram of the PID control system

PID 제어기의 전달함수는 식 (1)과 같다.

$$MV(t) = K_{(pe)}(t) + K \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{de}{dt} \quad (1)$$

식 (1)에서 각각 $K \times (e(\tau))$ 의 t의 따른 τ 의 적분)은 오차 값의 적분, $K_{(pe)}(t)$ 는 오차 값, $K_d (de/dt)$ 는 오차 값의 미분에 비례하기 때문에 $MV(t)$ (비례-적분-미분 제어기)라는 이름을 갖는다. 비례항은 오차에 따라 출력을 바꾼다. 간단한 비례 제어기는 K_p 제어 매개변수 하나만 있다. 이 매개변수를 변경함에 따라 제어기는 변화에 크게 또는 작게 반응할 수 있다. 식 (2)에서 P는 비례항을 나타내는 식이다.

$$P = K_p \times e \quad (2)$$

비례 시스템은 대개 오차(e)를 제거하기엔 충분하지 않기 때문에 시스템은 현재 오차에 따라 출력을 바꿀 뿐만 아니라 지금까지의 누적 오차에 따라 출력을 보고 바꿀 수 있어야 하므로 적분 항은 시간에 걸친 오차의 합을 말한다. 오차가 클 경우 적분 항에 의해 시간이 지나면서 오차의 합이 쌓이며 출력은 빠르게 변해 오차를 제거하게 된다. 식 (3)은 적분 항을 나타내는 식이다.

$$I = K_i \times \int e \quad (3)$$

여기서 I 는 적분 항이며 K_i 는 적분 항의 매개변수이다. 미분 항은 오차 변화율을 계산하고 그 결과를 출력에 더한다. 만약 오차의 변화가 크지 않다면 미분 항의 값은 작으며 출력에 영향을 미치지 않는다. 그러나 오차가 갑작스레 크게 변한다면 시스템의 진동을 피하기 위해 미분 항의 값을 커진다. 식 (4)의 D 는 미분 항이고, K_d 값은 미분 항 매개변수를 말하고, e_n 은 현재의 오차, e_{n-1} 은 그전의 오차를 말한다. 식 (4)는 미분 항을 나타내는 식이다[9-10].

$$D = K_d \times (e_n - e_{n-1}) \quad (4)$$

2.3 쿼드콥터 시스템 구성도

그림 3은 구현하고자 하는 쿼드콥터 시스템의 블록 선도를 보여준다. 먼저 입력 부인 가속도, 자이로, 초음파 센서 부분에서 Arduino로 정보 값을 입력 후 현재의 자세 값과 계산한다. 그리고 수평을 유지하려는 값과 비교를 한 뒤 오차 신호를 계산하여 PID 제어 보상 값을 결정하고 이득 값에 따라 블루투스 통신을 이용하여 모터의 출력을 조절, 쿼드콥터를 조종한다. PID 제어는 쿼드콥터의 자세제어에 대한 안정도를 유지하는데 매우 중요하므로 PID의 값을 최적하게 결정하는 것이 필요하다.

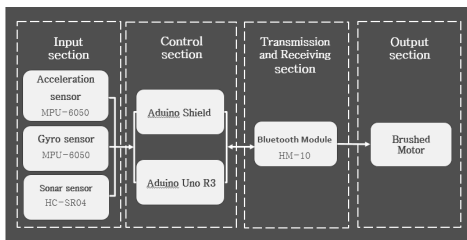


그림 3. 쿼드콥터의 시스템 블록선도
Fig. 3 Block diagram of quad-copter system

그림 4는 쿼드콥터의 자세제어에 대한 알고리즘이다. 알고리즘의 과정은 전원을 인가 한 후 자이로 센서를 읽고 드론의 주행할 때 자이로 센서가 기울어지거나 할 때 위치에 맞게 x 방향은 Roll 값, y 방향은 Pitch 값, z 방향은 Yaw 값을 받아서 수평 상태 일 때와의 오차를 계산한다. 그 다음 오차 범위만큼 가속도 센서 값을 각 위치별 센서 값에 따라 모터의 출력

값을 변화시켜 안정화 비행을 유지하도록 계속 진행한다[11].

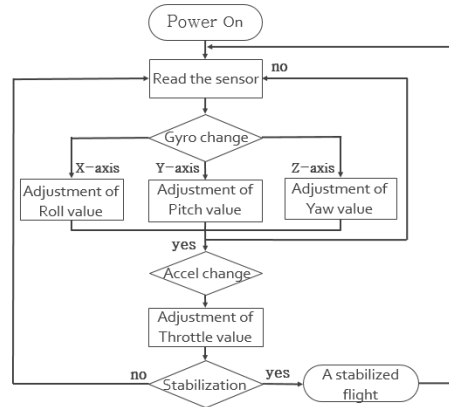


그림 4. 가속도/자이로 센서의 자세제어 알고리즘
Fig. 4 Attitude Control Algorithm of Acceleration Sensor and Gyro Sensor

그림 3에서 보는 바와 같이 쿼드콥터 시스템의 블록도 입력부의 MPU-6050 가속도 센서는 선형 가속도와 기울임 각도를 측정한다. 3축의 가속도 센서는 크기와 선형, 회전, 중력의 가속도 방향들을 합쳐진 상태로 감지한다. 자이로 센서는 3축의 회전 움직임의 각 변화량을 측정하며 움직이는 물체의 기본 축에 대한 회전과 방향을 복잡한 움직임에도 정확하고 정밀한 측정이 가능하다.

본 논문에서는 가속도와 자이로 센서가 병합된 MPU-6050을 사용하였다. 이 센서는 외부 디바이스 센서나 다른 센서와 같이 Arduino 안에 입력된 소스코드를 통해 모든 센서 데이터를 디바이스에 가져올 수 있도록 하고 있다. 빠르거나 느린 움직임의 정밀한 추적을 위해 Multiwiiconf와 PID 제어를 통한 서보모터의 출력을 조절하도록 설계하였다. HM-10 블루투스 모듈은 쿼드콥터의 조종에 있어서 조종 어플과 데이터를 주고받을 수 있도록 사용한다. HM-10은 2.4 GHz의 대역폭을 가지며 전송속도는 6K Bytes, 도달거리 최대 50m, 안정적 거리 20~30m로 측정되며 저전력 소자로 작동 범위가 넓다. HC-SR04는 5V의 15mA를 사용하고 거리는 2cm~4m까지 측정 가능한데 대략 2m 정도까지 정확하게 결과가 측정된다.

III. 쿼드콥터 제작 및 실험 및 고찰

3.1 쿼드콥터 PID 제어기 튜닝

튜닝 하는데 사용된 프로그램 ‘MultiWiiconf’는 쿼드콥터와 컴퓨터를 유선으로 연결하는 비행 시뮬레이션이다. 명령받은 조종기의 값 또한 상태에 표시되고 하단의 그래프 영역은 시간에 따른 가속도, 자이로의 3축 센서 출력 및 수평과 헤드 값을 나타낸다. 또한 수신기의 값과 모터 출력값, GPS 상태, 기체의 수평 및 센서 사용 상태와 쿼드콥터의 비행 모습을 보여준다. 이 프로그램을 통해서 기체를 실제로 띄우기 전에 설계된 PID 값을 튜닝하여 자세제어를 한다.

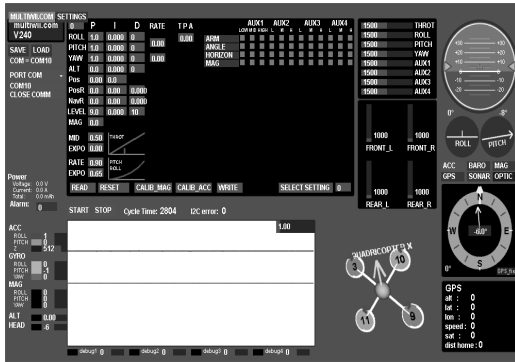


그림 5. PID 초기값
Fig. 5 PID initial value

그림 5는 ‘Multiwiiconf’ 프로그램에서 PID 게인 값을 수정하기 전 상태로 모든 수치가 기본 값에 놓여 있다. 조종기의 PID 제어 과정에서 초기 입력 시 각 서보모터가 튀면서 모든 모터가 갑자기 빠르게 도는 현상이 발생했는데 계속된 시뮬레이션 과정을 통해서 Throttle의 최소값이 이륙 기준치인 MID 값을 조정하여 이러한 현상이 사라졌다.

그림 6은 실험 결과를 통해 나온 최종 PID 결과 값이다. P는 비례 값으로 각도가 벌어진 때 생긴 오차를 이득에 곱한 것이다. 이득이 커질수록 그 오차가 커지므로 Roll, Pitch, Yaw 값을 줄였다. D는 미분 값으로 순간적인 변화율이 클수록 힘을 많이 받게 되고 변화에 따라 빠른 응답을 준다. 하지만 너무 크면 불안정하게 되므로 Roll과 Yaw 값만 올리고, Pitch 값은 유지시켰다. I는 적분 값으로 기울어짐을 감지하

여 그 시점부터 적분하여 오차 각도가 더해진다. 누적 되는 값이므로 시간이 지날수록 영향력이 강해지기 때문에 Roll, Pitch에 적은 값을 올렸다.

	P	I	D	RATE	TPA
ROLL	3.3	0.030	23	0.00	0.00
PITCH	3.3	0.030	23	0.00	
YAW	6.8	0.045	0	0.00	
ALT	0.0	0.000	0		
Pos	0.00	0.0			
PosR	0.0	0.00	0.000		
NavR	0.0	0.00	0.000		
LEVEL	9.0	0.000	10		
MAG	0.0				
MID	0.50	THROT			
EXPO	0.00	PITCH			
RATE	0.90	ROLL			
EXPO	0.65				

그림 6. 최종 PID값
Fig. 6 Final PID value

3.2 자세제어 및 비행 실험

그림 7은 MultiWii 시뮬레이터로 PID 튜닝을 하고 난 뒤의 초음파센서 거리를 받아 50cm 호버링된 비행 사진이다.

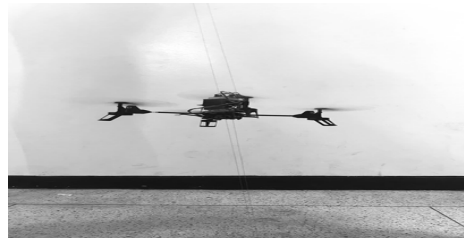


그림 7. 50cm 호버링 된 사진
Fig. 7 50cm Hovered picture

표 1은 기체의 설정 높이를 50cm로 하고 드론이 비행을 시작한 시간을 t_0 로 하고 3초마다 높이의 변화를 측정한 것이다. 표 1에서 보는 바와 같이 $\pm 3\text{cm}$ 의 오차 범위로 0.5m 호버링하고 있음을 확인할 수 있다.

표 1. 시간에 따른 드론의 높이 변화 값
Table 1. The Value of the height change of the drones according to time

Time(s)	Height(cm)
t_0+3	46.44
t_0+6	49.18
t_0+9	48.81
t_0+12	49.43
t_0+15	50.27
t_0+18	51.67
t_0+21	53.37
t_0+24	52.50

IV. 결론

드론은 구조가 단순하고 접근성이 높지만 드론 조종자의 조종 미숙이나 잘못된 드론 설정으로 발생하는 오작동으로 인해 인명 및 재산 피해가 발생하고 있으므로 드론의 안정화 비행이 필요하다.

따라서 본 논문에서는 쿼드콥터의 안정화 비행을 위한 PID 시스템을 제어하고자 하였다. 쿼드콥터 동역학 방정식을 이용하여 쿼드콥터 모델을 구성하였고, PID 설계를 하였다. 블루투스 통신을 하고 자이로 센서와 가속도 센서를 이용하여 기체의 수평 주행 시 각 모터 속도를 제어하였고, 초음파 센서로 지면과의 거리를 측정해 깊이를 알 수 없는 곳에 깊이를 측정하거나 대상과의 거리를 알 수 있도록 하였다. 또한, 'MultiWiiConfig' 프로그램으로 PID 게인 값을 조정하여 P 게인, D 게인, I 게인 값을 수정하였다.

그 결과 외부에서 힘을 가해도 기체가 안정적인 수평 주행을 할 수 있도록 하는 호버링을 성공하였으며 블루투스로 거리를 받아 $\pm 3\text{cm}$ 의 오차 범위로 0.5m 호버링하고 있음을 확인하였다.

현재는 호버링 시 높이를 오르고 내리는데 있어서 조종기의 역할이 계속 필요하지만, 앞으로는 조종기의 도움 없이도 대상과의 거리나 높이, 위치 데이터를 통

해 사용자와 일정한 거리나 지정된 위치에 있을 수 있도록 하면 드론의 자율 주행 및 안정화에 도움이 될 것으로 생각된다.

References

- [1] S. Chae and S. Hong, "The Opportunity and Risk Analysis of Commercial Drones," *IITP(Institute for Information and Communications Technology Promotion)*, Jeju, Korea, June, 2015, pp. 736-737.
- [2] Y. Kim, J. Shin, S. Lee, H. Lee, H. Lim, K. Kim, and S. Lee, "Quad-rotor Attitude Stabilization by using PID Controller," *J. of Aerospace System Engineering*, vol. 4, no. 4, 2010, pp. 18-27.
- [3] C. Basdogan, *Discrete PID Controller, Robotics Courses*. Istanbul: Koc University Press, 2004.
- [4] S. Bouabdallah, P. Murrieri, and R. Siegwart, "Towards Autonomous Indoor Micro VTOL," *Autonomous Robots*, vol. 18, no. 2, 2005, pp. 171-183.
- [5] A. Natraj, L. Sang, D. Eynard, C. Demonceaux, and P. Basseur, "Omnidirectional Vision for UAV: Applications to Attitude, Motion and Altitude Estimation for Day and Night Conditions," *J. of Intelligent & Robotic Systems*, vol. 69, no. 4, 2013, pp. 459-473.
- [6] N. Jung and S. Kim, "A Study on the Camera Gimbal System of Unmanned Flight Vehicle for VR360 Degree Omnidirectional Photographing," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 11 no. 8, 2016, pp. 767-772.
- [7] L. Uk, Y. Hun, J. Wook, P. Bae, and C. Ho, "Modeling and Controller Design of Quadrotor UAV," *Proc. of the Korean Institute of Electrical Engineers Summer Annual Conf.*, Youngpyoung, Korea, July 2011, pp. 1922-1923.
- [8] B. Yun, J. Jeong, S. Ha, K. Kim, and J. Park, "Quad Copter attitude control with gyro sensor and acceleration sensor," *J. of The Korean Society of Computer and Information*, vol. 21, no. 1, 2013, pp. 111-112.

- [9] M. Seo, *Making and Direct Coding of Arduino Drones*. Seoul: Answer Book, 2016.
- [10] J. Jo, "Communication Network Topology and Performance Evaluation of the Drone Delivery System for Collision Avoidance," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 10, no. 8, 2015, pp. 915-920.
- [11] G. Cha, I. Sim, S. Hong, J. Jung, and J. Kim, "A Study of Method and Algorithm for Stable Flight of Drone," *J. of Satellite, Information and Communications*, vol. 10, no. 3, 2015, pp. 32-37.

저자 소개



윤단비(Dan-Bee Yoon)

2014년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학

2018년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 반도체공학



이규열(Kyu-Yeul Lee)

2011년 3월~현재 남서울대학교 컴퓨터공학과 재학

2018년 남서울대학교 컴퓨터공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 임베디드, 데이터베이스



한상기(Sang-Gi Han)

2011년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학

2018년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 디스플레이공학



김용훈(Yong-Hun Kim)

2011년 3월~현재 남서울대학교 전자공학과 재학

2018년 남서울대학교 전자공학과 졸업예정

※ 관심분야 : 통신시스템, 전력전자



이승대(Seung-Dae Lee)

1990년 단국대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1992년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1999년 단국대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

1995년~현재 남서울대학교 전자공학과 교수

※ 관심분야 : 유무선통신시스템, 네트워크 보안

