

적응적 Two-Track 기술을 이용한 드론의 균형 제어

김장원*

Balance Control of Drone using Adaptive Two-Track Control

Jang-Won Kim*

요약 소형 드론에서 사용되는 FC(Flight Controller)는 사용하는 MCU가 대형 드론과는 달라서 복잡한 연산을 수행하지 않아도 되는 단순한 구조로 개발되었다. 또한 소형 드론의 균형제어는 복잡한 필터를 이용하는 Kalman Filter나 연산수가 상대적으로 많은 Complementary Filter를 이용한 방법보다는 좀 더 단순하고 간단해야 할 필요가 있다. 따라서 본 연구에서는 이에 적합한 방법으로 동작하는 Two-Track 제어를 이용하여 효과적으로 소형 드론에서도 균형제어가 이루어질 수 있도록 하는 방법을 제안하였다. 이 방법은 긴 시간의 변화량에 대한 데이터 처리를 통해 정확한 보정을 해주는 장점이 있는 Acceleration 센서와 짧은 시간의 변화량에 대한 데이터 처리를 통해 드론 균형을 유지해주는 Gyroscope 센서가 드론의 불균형에 대해 적응적으로 동작하여 단순한 구조와 적은 연산량으로도 효율적인 균형을 유지해주는 시스템이다. Two-Track 제어를 이용하여 100회 이상 반복하여 드론 비행을 실험한 결과 대부분 안정적인 동작을 수행하였으며, 갑자기 발생하는 급격한 바람의 영향에는 아직도 정상상태로 진입하는데 어려움이 있는 것을 제외하면 98% 이상 정상상태 동작을 유지하였음을 확인하였다.

Abstract The flight controller(FC) used in small-sized drone was developed as simple structure does not perform complex operations because it uses different MCU with large-sized drone. Also, the balance control of small-sized drone should be simpler than Kalman filter using complex filter and the method using Complementary filter has relatively more operations. So, the method to realize the balance control on small-sized drone effectively using two-track control operating as proper method for above is suggested in this research. This method is a system maintaining effective balance with simple structure and less operations by operating adaptively for the unbalance of the drone with the acceleration sensor with the advantage which performing accurate correction by data processing for long term change and gyroscope sensor maintaining the balance of the drone by data processing for short term change. It is confirmed that stable operation was performed mostly based on the test result for repeatable test more than 100 times using two-track control and it maintained normal state operation more than 98% excluding the difficulty of maintaining normal operation when meets sudden and rapid wind yet.

Key Words : FC(Flight Controller), MPU6050, Kalman Filter, Complementary Filter, Two-Track Control

1. 서론

드론의 개발은 최초 군사목적으로 이루어졌고, 다양한 이유로 4축 드론을 시작으로 6축 드론, 8축 드론들이 개발되었다[1]. 또한 그 유용성이 매우 높아 민간 항공 분야에서 이용하기 시작하였고, 최근에는

이러한 드론을 활용한 항공 스포츠, 비주얼 엔터테인먼트, 무인 항공택배, 또한 직접 접근이 힘든 곳에 드론을 투입하여 다양한 업무를 처리할 수 있는 데 까지 드론이 진출하였다[2]. 이러한 드론의 FC(Flight Controller : FC)[3]들은 단순한 MCU와 가속도 및 자이로 센서를 장착하여 자세제어, 위치제

*Department of Electronic Engineering, Gachon University(jwkimm@gachon.ac.kr)

Received November 16, 2019

Revised December 16, 2019

Accepted December 16, 2019

어 동작제어 등을 수행하였고, 최근에는 초음파, 고도, GPS, 이미지, 라이다 센서 등을 장착하여 정확성을 높이고 목적에 부합하는 다양한 드론 활용 프로그램들을 만들어내고 있다. 이러한 드론들에 있어서 가장 중요한 것은 긴 시간동안 원하는 목적을 수행할 수 있도록 갑작스런 외부 자극에 매우 빠르게 반응하여 드론이 심각한 상황에 처하지 않도록 하는 것이다. 지금까지 FC들은 위에서 열거한 센서들에 의존하여 이 문제를 해결[4-6]하고자 하지만 센서에서 보정 신호를 제공한다 하더라도 이를 적절하게 활용하지 못하여 드론의 정상적인 동작을 수행하지 못하는 경우가 있다. 따라서 본 연구에서는 드론에 대한 급격하거나 긴 시간동안 외부 영향이 있을 때, 드론이 이에 따른 빠른 반응으로 드론의 목적에 부합하는 자세 및 동작 제어가 가능한 방법을 제안하고자 하며 소형드론을 효율적으로 조종할 수 있도록 하고자 한다.

2. 균형 제어

2.1 MPU6050

본 연구에 사용된 가속도 자이로 센서는 MPU6050이며 그림 1에 나타내었고, 이 센서로 드론의 기울어진 정도와 몸체 회전 속도를 알 수 있다. 이 센서는 가속도 3축, 자이로 3축, 온도에 대한 총 7가지 데이터를 제공한다. 자이로 센서는 조종기를 통한 RPY(Roll, Pitch, Yaw) 값이 드론 몸체를 급격하게 회전 시키고자 할 때, 자세 제어가 되지 않아 뒤집어지거나 충돌하는 것을 방지하기에 우수하므로, 조종기를 통한 RPY 값 입력에 의한 드론의 균형제어와 미세한 자세 변화에 대한 균형제어를 하고, 가속도 센서는 크고 긴 시간동안의 외부 충격이나 바람의 영향에 의한 드론 몸체를 크게 회전시킬 때, 자이로 센서보다 효율적인 반응을 하므로 외부 영향에 의한 드론의 균형제어를 수행한다. 이 two-track 제어를 통하여 보다 안정한 드론의 균형을 제어할 수 있다.

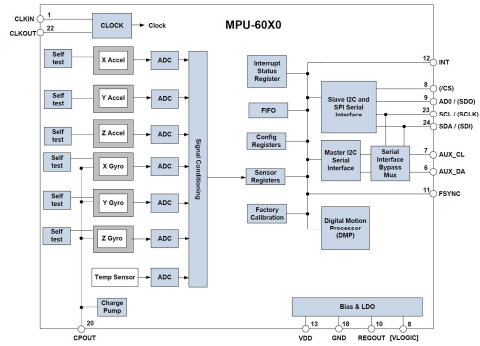


그림 1. MPU6050 블록 다이어그램
Fig. 1. Block Diagram of MPU6050

MPU6050은 각 채널에 ADC 모듈로 16bit 디지털 값을 Sensor Register에 저장하고, I2C Serial Interface를 통해 MCU에 전달한다. 그림 2에서 MPU6050은 직선 3축과 곡선 3축으로 6축을 표시하고 있다.

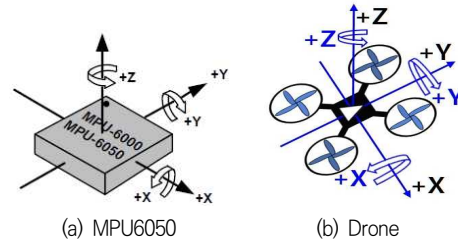


그림 2. MPU6050 센서와 드론
Fig. 2. MPU6050 Sensor Drone

직선은 가속도(기울기) 센서이며 곡선은 자이로 센서를 의미한다. 직선 3축은 중력 방향을 기준으로 센서의 기울어진 정도를 측정할 때 사용한다. 곡선 3축은 각 축 진행방향에 대한 회전 정도를 측정할 때 사용한다.

2.2 자이로 센서 제어

자이로 센서는 방향각 자체를 측정하지는 않으므로 각속도를 측정하여 회전한 방향각을 얻을 수 있다. 자이로 센서로 얻은 3축 값 X_{Gij} , Y_{Gij} , Z_{Gij} 은 16bit이며, $-32768 \sim 32767$ 범위 값을 가질 수 있다. 센서가 최대 표현범위를 $\pm 250^\circ/s$ 로 한다면

$\pm 250^\circ/s$ 은 32767이므로 그림 2에서 +Z축 방향으로 1초 동안 일정한 회전 속도로 1° 회전했을 때, $1^\circ/s$ 는 131로 얻을 수 있다. 이것은 Z_{Gy} 의 각속도가 $1^\circ/s$ 이라는 의미이며, 센서값으로는 131이라는 의미이다. 여기서 각속도를 ω 라 하고 측정 주기를 dt 라고 한다면 변화된 각 $d\theta$ 은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$d\theta = \omega \times dt \tag{1}$$

연속적으로 각도가 변화될 때, 현재의 새로운 Z_{Gy} 의 각은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\theta_\gamma = \sum_{i=1}^n \theta_i dt \tag{2}$$

여기서 θ_γ 는 적분으로 인한 누적된 Z_{Gy} 의 현재 각도이다. 같은 방법으로 X_{Gy} , Y_{Gy} 방향의 각도를 구할 수 있다.

2.3 가속도 센서 제어

가속도 센서는 정적인 상태에서 중력 가속도의 힘만 받을 경우에는 정확한 방향각을 제공한다. 그러나 센서를 움직이거나 회전시킬 때, 센서에 힘이 주어지게 되며, 이러한 힘에 아주 민감하게 반응한다. 특히 모터의 회전에서 발생하는 고속의 미세 진동이 있을 경우 가속도 센서는 아주 불안한 값을 내보낸다. 그러나 노이즈 파형이 미세 주기보다 충분히 긴 시간을 주기로 불안정한 값들의 평균을 낼 수 있다면, 가속도 센서는 정확한 결과를 제공한다.

그림 2(a)에서 보듯이 MPU6050은 +Y가 전방(ROLL), +X가 오른쪽(PITCH), +Z는 위쪽(YAW)을 향한다. MPU6050을 장착한 드론을 수평한 지면에 놓고 뒤에서 +Y축 방향으로 바라본 본 좌표는 그림 2(b)와 같다.

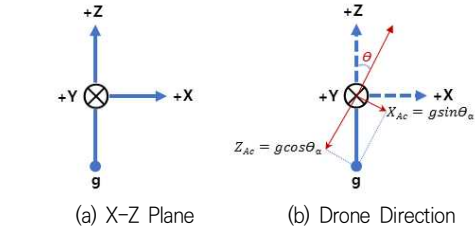


그림 3. +Y축 드론 방향
Fig. 3. Drone Direction of +Y Axis

이 상태에서 드론의 가속도 센서가 받는 힘은 중력가속도 g 만 존재하며 +Z에만 영향을 미친다. 이상적인 경우 $Z_{Ac} = g$, $X_{Ac} = 0$, $Y_{Ac} = 0$ 이다. 만약 바람과 같은 외부 영향에 의해 드론이 +Y(ROLL), +X(PITCH) 순으로 기울어진다면 다음과 같이 그 각도를 구할 수 있다. 먼저 +Y 방향(시계방향)으로 θ 만큼 기울어졌다면 드론은 오른쪽으로 기운다. 즉, +Y축을 기준으로 θ_α 만큼 오른쪽으로 회전했다면 X-Y평면이 θ_α 만큼 기운 결과이므로 이때 Z_{Ac} , X_{Ac} 및 Y_{Ac} 는 다음 식으로 표현된다.

$$Z_{Ac} = g \cos \theta_\alpha, X_{Ac} = -g \sin \theta_\alpha, Y_{Ac} = 0 \tag{3}$$

같은 방법으로 +X(PITCH)축을 기준으로 θ_β 만큼 오른쪽으로 회전했다면 X-Y평면이 θ_β 만큼 기운 결과이므로 이때 Z_{Ac} , Y_{Ac} 및 X_{Ac} 는 다음 식으로 표현된다.

$$\begin{aligned} Z_{Ac} &= g \cos \theta_\alpha \cos \theta_\beta \\ Y_{Ac} &= g \cos \theta_\alpha \sin \theta_\beta \\ X_{Ac} &= -g \sin \theta_\alpha \end{aligned} \tag{4}$$

여기서 Y-Z 평면상의 벡터 거리값은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} Y_{Ac}^2 + Z_{Ac}^2 &= g^2 \cos^2 \theta_\alpha \sin^2 \theta_\beta + g^2 \cos^2 \theta_\alpha \cos^2 \theta_\beta \\ &= g^2 \cos^2 \theta_\alpha (\sin^2 \theta_\beta + \cos^2 \theta_\beta) \\ &= g^2 \cos^2 \theta_\alpha \end{aligned} \tag{5}$$

식 (6)을 다음과 같이 다시 쓸 수 있다.

$$\sqrt{Y_{Ac}^2 + Z_{Ac}^2} = g \cos \theta_\alpha \tag{6}$$

식 (6)을 바탕으로 $\tan \theta_\alpha$ 를 다음 식으로 구할 수 있다.

$$\tan \theta_\alpha = \frac{g \sin \theta_\alpha}{g \cos \theta_\alpha} = \frac{-X_{Ac}}{\sqrt{Y_{Ac}^2 + Z_{Ac}^2}} \tag{7}$$

이 식으로 θ_α 를 구하면 다음과 같다.

$$\theta_\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{-X_{Ac}}{\sqrt{Y_{Ac}^2 + Z_{Ac}^2}} \right) \tag{8}$$

θ_α 는 radian값이므로 각도로 고쳐 드론에 적용해야 하므로 $180^\circ/\pi$ 를 곱하여 사용한다. 마찬가지로 방법으로 θ_β 는 다음과 같다.

$$\theta_\beta = \tan^{-1} \left(\frac{-Y_{Ac}}{\sqrt{X_{Ac}^2 + Z_{Ac}^2}} \right) \tag{9}$$

3. 실험 결과 및 검토

3.1 two-track 제어

MP6050 센서의 출력인 드론 보정각도는 가속도 센서의 경우 긴 시간의 변화량에 대한 데이터 처리를 통해 정확한 데이터를 주는 장점이 있고, 자이로 센서는 짧은 시간의 변화량에 대한 데이터 처리를 통해 정확한 데이터를 준다. 두 센서의 단점을 분석하면 가속도 센서는 짧은 시간의 변화량에 대해서 드론 모터의 동작을 심한 진동으로 받아들여 불안정하고, 자이로 센서는 시간 적분 오차 누적에 의해 드론 표류가 발생한다. 따라서 조종기를 통하여 RPY 값 입력에 의한 드론의 회전을 급격하게 하지 않도록 하는데 자이로센서 값을 이용하고, 급격하게 길게 부는 바람과 같은 외부 환경에 의한 드론의 회

전은 가속도 센서를 통하여 균형을 잡을 수 있도록 한다. 기존의 Kalman Filter[2,7]를 이용하여 이 두 센서 값들을 조합하는 방법이 있으나 드론에 적용하기에 아주 복잡한 단점이 있고, 좀 더 간단한 Complementary Filter[2,8]는 상호보완 필터 방법이지만 연산량이 적지 않다. 제안한 방법은 상황에 따른 센서 동작을 달리 함으로써 드론 동작을 위한 연산 시간을 단순화 하여 소형 드론의 효율성을 높일 수 있다. 그림 4는 두 센서를 이용한 알고리즘을 블록다이어그램으로 나타내었다.

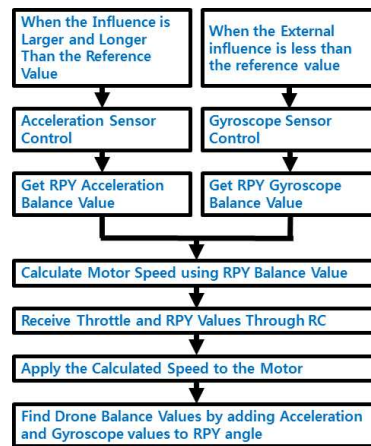


그림 4. Two-Track 제어 알고리즘 블록도
Fig. 4. Block Diagram of Two-Track Control Algorithm

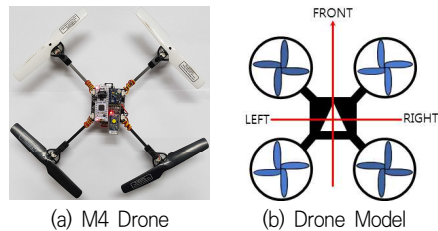


그림 5. Coretex-M4 드론
Fig. 5. Coretex_M4 Drone

3.1 드론 제어

본 실험에 사용한 드론은 FC를 Cortex-M4 MCU로 구현한 쿼드 코퍼터형 소형 드론이며 그림 5와 같다.

그림 6은 MPU6050에서 얻은 자이로 및 가속도

센서 값이고, 시리얼 통신으로 화면에서 캡처한 것이며, RPY 값이 해상도가 16bit인 -32768~+32767 범위의 값으로 출력되는 것을 확인 할 수 있다.

XAc = -692	YAc = 252	ZAc = 17592	XGy = -578	YGy = 1
XAc = -580	YAc = 252	ZAc = 17592	XGy = -561	YGy = -51
XAc = -684	YAc = 288	ZAc = 17408	XGy = 582	YGy = -63
XAc = 748	YAc = 1288	ZAc = -15760	XGy = -1240	YGy = -866
XAc = 972	YAc = 816	ZAc = -15796	XGy = -632	YGy = -155
XAc = 820	YAc = 792	ZAc = -15856	XGy = -1277	YGy = -43
XAc = -13212	YAc = 356	ZAc = 680	XGy = -2604	YGy = 697
XAc = 13348	YAc = 48	ZAc = 996	XGy = -626	YGy = 748
XAc = 13324	YAc = -256	ZAc = 1024	XGy = 568	YGy = 199
XAc = -16320	YAc = 380	ZAc = 4132	XGy = -719	YGy = 2640
XAc = -16824	YAc = 12	ZAc = 3088	XGy = -516	YGy = -183
XAc = -16844	YAc = 36	ZAc = 3028	XGy = -511	YGy = -42
XAc = 360	YAc = -1820	ZAc = 808	XGy = 818	YGy = -152
XAc = -282	YAc = 16564	ZAc = 760	XGy = -1181	YGy = 238
XAc = -456	YAc = 16344	ZAc = 672	XGy = -799	YGy = -183
XAc = 1048	YAc = -17900	ZAc = 1348	XGy = 2677	YGy = 3115
XAc = 876	YAc = -15232	ZAc = 3580	XGy = -914	YGy = 368
XAc = 1176	YAc = -16416	ZAc = 2032	XGy = -537	YGy = 387

(a) Acceleration Sensor Values

YAc = -3632	ZAc = 17844	XGy = 12320	YGy = -5049	ZGy = 32767
YAc = -11284	ZAc = 17964	XGy = -8528	YGy = -26388	ZGy = -32768
YAc = 1392	ZAc = 13396	XGy = 32767	YGy = 4836	ZGy = -1896
YAc = 7008	ZAc = 13272	XGy = -32768	YGy = 3360	ZGy = -5957
YAc = -200	ZAc = 18448	XGy = -12817	YGy = -32768	ZGy = -3913
YAc = -2740	ZAc = 18516	XGy = 21017	YGy = 32767	ZGy = 10867

(b) Gyroscope Sensor Values

그림 6. MPU6050 센서 값
Fig. 6. MPU6050 Sensor Values

그림 2(b)에서 드론의 동작을 기준으로 볼 때, 그림 6(a)의 센서 값은 Z축(YAW)인 ZAc는 반시계 방향이 +값이며, 시계방향은 -값임을 확인할 수 있다. Y축(ROLL)인 YAc와 X축(PITCH)인 XAc는 시계방향일 때 +값이고 반시계방향일 때 -임을 알 수 있다. 자이로 센서 값이 드론에 영향을 미칠 경우는 Drone의 물리적인 구조에서 오는 불균형 때문에 미세하게 흔들리는 경우와, 조종기를 통하여 Throttle 값과 RPY 값의 입력으로 Drone이 동작할 때의 불균형인 경우이고, 가속도 센서 값이 드론에 영향을 미치는 경우는 충격 자체는 급격하게 오지만 크고 긴 시간(상대적으로 자이로 시간과 비교할 때)동안 전달되는 충격에 의해서 발생하는 불균형이다. 따라서 이 두 불균형이 two-track으로 제어되어 그림 7과 같은 결과를 얻을 수 있다.

#Acceleration	Xac : 0.20	Yac : 0.26	Zac : 0.00
#Gyroscope	Xgy : 0.00	Ygy : 0.00	Zgy : -0.00
#Value Select	Xsv : 0.20	Ysv : 0.26	Zsv : 0.00
#Two-Track Ctrl	Xtt : 0.02	Ytt : 0.02	Ztt : -0.00
#Acceleration	Xac : -0.53	Yac : 0.19	Zac : 0.00
#Gyroscope	Xgy : 0.14	Ygy : 0.05	Zgy : 0.30
#Value Select	Xsv : 0.14	Ysv : 0.19	Zsv : 0.30
#Two-Track Ctrl	Xtt : 0.10	Ytt : 0.08	Ztt : 0.30
#Acceleration	Xac : -0.49	Yac : 0.13	Zac : 0.00
#Gyroscope	Xgy : 0.49	Ygy : 0.15	Zgy : 0.37
#Value Select	Xsv : 0.49	Ysv : 0.15	Zsv : 0.37
#Two-Track Ctrl	Xtt : 0.38	Ytt : 0.19	Ztt : 0.37

(a) Output Values of Initial State

#Acceleration	Xac : 44.78	Yac : 4.99	Zac : 0.00
#Gyroscope	Xgy : -94.71	Ygy : 819.33	Zgy : -842.08
#Value Select	Xsv : 44.78	Ysv : 819.33	Zsv : 0.00
#Two-Track Ctrl	Xtt : -168.35	Ytt : 22.43	Ztt : -842.08
#Acceleration	Xac : -69.35	Yac : 1.83	Zac : 0.00
#Gyroscope	Xgy : -85.45	Ygy : 817.48	Zgy : -835.67
#Value Select	Xsv : -69.35	Ysv : 817.48	Zsv : 0.00
#Two-Track Ctrl	Xtt : -152.04	Ytt : 19.11	Ztt : -835.67
#Acceleration	Xac : -81.31	Yac : -0.80	Zac : 0.00
#Gyroscope	Xgy : -84.22	Ygy : 823.77	Zgy : -832.52
#Value Select	Xsv : -81.31	Ysv : 823.77	Zsv : 0.00
#Two-Track Ctrl	Xtt : -145.35	Ytt : 23.36	Ztt : -832.52

(b) Output Values of Active State

그림 7. 출력 값
Fig. 7. Output Values.

그림 7(a)는 드론을 수평상태로 놓았을 때 초기값의 출력을 나타내었고, 그림 7(b)는 인위적으로 좌우로 기울이며 자세를 변형했을 때의 출력이며 two-track 값이 출력됨을 알 수 있다. 실제 two-track 알고리즘을 적용하여 100회 이상 반복하여 드론 비행을 실험한 결과 대부분 안정적인 동작을 수행하였으며, 갑자기 발생하는 급격한 바람의 영향에는 아직도 정상상태로 진입하는데 실패한 것을 제외하면 98% 이상 정상상태 동작을 유지하였다.

5. 결론

드론의 균형제어를 위하여 가속도 센서와 자이로 센서의 출력 값을 선택적으로 입력받아 드론의 균형 유지를 방해하는 요소인 미세 흔들림과 급격한 흔들림을 처리하는 Two-Track 방법으로 드론 비행을 시험한 결과 자이로 센서와 가속도 센서에 의해 발생하는 균형 오차를 효율적으로 극복할 수 있었으며, 다양한 센서와 빠른 연산시간을 이용한 대형 드론보다 단순한 구조와 연산속도가 빠르지 않아도 되는 소형 드론에서 효율적인 제어방법임을 확인하였다. 실제 Two-Track 방법을 이용하여 100회 이상 시험비행을 한 결과 98% 이상의 드론 균형을 유지하며 비행하는 것을 확인하였고, 자이로 센서에서 누

적되는 미세 균형 흔들림과 가속도 센서에서 큰 값으로 긴 시간동안 드론에 전달되는 흔들림이 제안한 방법으로 적절히 처리가 됨을 알 수 있었다.

REFERENCES

- [1] M. H. Seung, S. H. Han, J. C. Kim, H. C. Gong, "Development of the Multi Propeller based Attitude Control Method for VTOL type Compound Aircraft", Journal of the Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, vol. 46, no. 6, pp. 455-462, 2017.
- [2] Hee-Wan Kim, "A Study on Application Methods of Drone Technology", Journal of Korea Institute of Information, Electronics and Communication Technology, vol. 10, no. 6, pp. 601-608, 2017.
- [3] K. H. Kim, S. H. Park, K. R. Oh, P. S. Lee, B. M. Seung, G. M. Oh, W. H. Lee, Y. H. Kim, "Development of VTOL and Flight controller using Pixhawk Flight Controller", Conference of Institute of Control, Robotics and Systems, pp. 67-69, 2019.
- [4] Bo-Hwan Jung, "Implementation of Educational Drone using Arduino Uno and GY-86" Journal of the Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 56, no. 1, pp.115-120, 2019.
- [5] S. S. Jeong, K. M. Kwon, "The MANET based Distributed Control Communications for Remote Controlled drones", Journal of The Institute of Electronics and Information Engineers, vol. 53, nO. 5, pp. 814-819, 2016.
- [6] Jong Tai Jang, Hyeon Cheol Gong, Joon Lyou, "Multicopter 3D Flight Attitude Control Using Rotation Matrix and Rotation Vector", Journal of Institute of Control, Robotics and Systems, vol. 23, no. 11, pp. 997-1003, 2017.
- [7] Ihnseok Rhee, Sangook Cho, Sanghyuk Park, Keeyoung Choi, "Autopilot Design for a Target Drone using Rate Gyros and GPS", The Korean Society for Aeronautical & Space Sciences, vol. 13, no. 4, pp. 465-473, 2012.
- [8] Myeong-Chul Park, Hwa-ra Hur, "Implementation of Educational UAV with Automatic Navigation Flight", Journal of the Korea Society of Computer and Information, vol. 24, no. 8, pp. 29-35, 2019.

저자 약력

김 장 원(Jang-Won Kim)

[중심회원]



〈관심분야〉

- 1992년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
- 2001년 2월 : 명지대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)
- 1993년 3월 ~ 현재 : 가천대학교 전자공학과 교수

영상신호처리, 영상이해, 임베디드 시스템, 인터넷 통신, IPTV, IoT