

드론의 안정화 비행을 위한 방법 및 알고리즘에 관한 연구

차경현*, 심이삭*, 홍승관*, 정준희*, 김진영*

A Study of Method and Algorithm for Stable Flight of Drone

Gyeong Hyeon Cha*, Isaac Sim*, Seung Gwan Hong*, Jun Hee Jung*, and Jin Young Kim*

요 약

무인항공기는 조종사 없이 지상에서의 원격조종에 의해 스스로 비행하는 비행체이다. 하지만 무인항공기는 제어가 쉽다는 장점이 있지만, 어떤 한 지점 위를 정지하여 비행하는 호버링 기능을 할 수 없다는 단점이 있다. 그에 비해 무인항공기 중 하나인 쿼드콥터는 동작원리가 간단하고 호버링이 가능하고, 비행의 안정성이 높다는 장점이 있다. 본 논문에서는 쿼드콥터의 안정화 비행을 위한 PID 제어 방식과 Fuzzy 제어 방식을 이용하는 비행 안정화 알고리즘을 제안한다. 본 시스템은 자이로 센서와 가속도 센서의 결합을 통해 드론의 현재 자세 값을 알아낸 후 자세 제어 알고리즘을 통해 안정화 비행을 실시한다. 또 GPS 센서를 이용하여 현재의 위치를 외부조작 없이 유지하는 위치고정 모드를 제안한다.

Key Words : Drone, Quadcopter, PID control, Fuzzy control, GPS, Stable flight

ABSTRACT

Unmanned Aerial Vehical(UAV) is a flight which is automatically flying by remote control on th ground. However UAV has an advantage of control that is easy, but has an disadvantage of not hovering. By comparison, quadcopter which is one of the UAV is easily operated. Also quadcopter has hovering function and high stability. In this paper, we propose stable flight algorithm associated PID(proportional-integral-derivative) control with fuzzy contorl to implement stable quadcopter system. After getting a positioning information of the drone, This proposed system is implemented for stable flight through flight attitude control using gyro and acceleration sensor. We also propose the flight mode system to hover drone with GPS sensor.

I. 서 론

최근 빠르게 발달한 전자장비의 사용으로 작은 크기와 가벼운 무게의 센서와 고화질 카메라가 나오면서 이를 드론에 장착하여 촬영하는 일이 생기고 있다. 과거에는 주로 RC 헬기로 이뤄졌던 무인항공촬영이 이제는 거의 드론쪽으로 넘어가고 있는 것이다. 헬기는 제자리 비행(hovering) 및 측방 이동, 후진과 수직 이·착륙이 가능하지만 조종이 어렵고 유지보수가 매우 복잡하다. 반면 드론은 헬기와 같은 이동이 가능하면서도 조종이 쉽고 유지보수가 간단하다는 장점이 있다.

드론은 대부분 최신 전자/IT 기술을 활용하여 기체를 제어하는 연구이며, 소프트웨어만 잘 구현되어 있으면 큰 문제 없이 비행이 가능해 하드웨어적인 문제와 소프트웨어적인 문제의 차이점을 구별하기 힘든 헬기에 비해 연구용으로 각

광받고 있다. 드론은 지역이나 산악지역 등 사람이 쉽게 접근할 수 없는 환경에서 사람을 대신하여 영상을 촬영할 수 있고, 최근 IT기술의 발전으로 영상촬영 외의 다양한 임무도 수행할 수 있게 되어 많은 연구가 진행되고 있다.

드론의 제어를 위해서는 무엇보다 드론 기체의 현 상태를 정확히 알 수 있어야 한다. 본 논문에서는 정확한 기체의 위치 값을 찾기 위해 드론에 자이로 센서와 가속도 센서를 부착하고 그 값들을 입력받아 현재의 드론의 위치 값을 이용해 자세를 제어하는 방법을 제시한다.

본 논문에 사용된 제어방식은 PID 제어 방식과 fuzzy 제어 방식으로 비례, 적분, 미분 세 가지의 제어기로 구성되어 있고, 그에 따라 에러를 제어한다. 각 항마다 상수 파라미터를 가지고 있고 이 파라미터들의 적절한 값을 찾기 위해 많은 방법이 제시되어 왔다.

본 논문에서 2장에서는 드론의 필요성 및 동작원리를 설

* 이 논문은 2015년도 광운대학교 교내학술연구비 지원에 의한 연구 결과임.

*광운대학교 전자융합공학과 유비쿼터스 통신 연구실 (chagyonghyeon@kw.ac.kr, dltkr34@naver.com, mymin112@naver.com, junheez@kw.ac.kr jinyoung@kw.ac.kr)

접수일자 : 2015년 7월 9일, 수정완료일자 : 2015년 8월 23일, 최종게재확정일자 : 2015년 9월 10일

명하고, 3장에서는 제안하는 알고리즘에 대한 설명하고, 4장에서는 자세 제어 시뮬레이션 결과를 보이고, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. 드론의 필요성 및 동작원리

1. 무인 항공기의 한계

무인항공기(UAV)는 조종사 없이 지상에서의 원격조종에 의해 스스로 비행하는 비행체다. 무인항공기는 생명에 위협을 느끼거나, 인간의 능력으로는 한계가 있거나 오염된 지역 등을 편리하고 안전하게 수행할 수 있다는 이점 때문에 매우 빠르게 발전하고 있다[1].

무인 항공기는 제어가 쉽다는 장점이 있지만, 어떤 한 지점 위를 정지하여 비행하는 호버링을 할 수 없는 단점이 있다. 반면 쿼드콥터형 드론은 호버링이 가능해 다양한 임무수행에 적합하다. 그러나 쿼드콥터형 드론은 무인제어하기 위한 알고리즘을 생각하는 입장에서 그 구동 원리가 상당히 복잡해 소프트웨어적 모델을 얻는 것이 아주 힘들며, 여러 가지 외부적인 환경에 적응하기 힘들다는 단점을 가지고 있다.

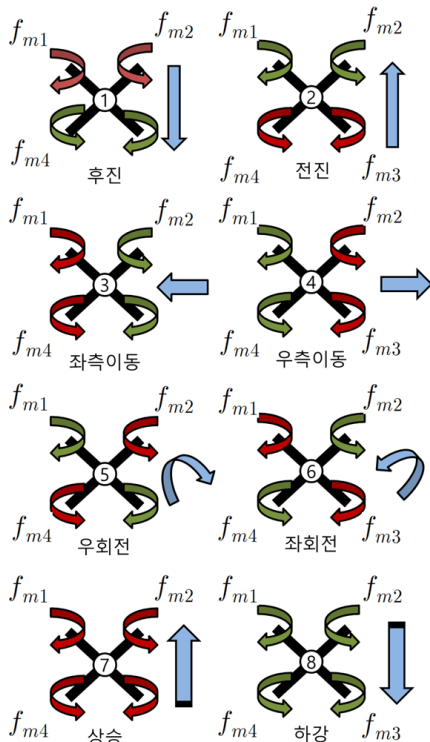


그림 1. 드론의 조종 방법.

2. 쿼드콥터형 드론의 필요성

시중에 나와 있는 드론들은 4개의 모터를 교차하여 장착한 쿼드콥터형 드론들이 대부분을 차지한다. 쿼드콥터형 드론은 그 동작원리가 기존의 헬기에 비해 매우 간단하다. 또

한 기계적 정비도 헬기에 비해 매우 쉬워 일반인도 손쉽게 운용할 수 있다는 장점이 있다. 또한 70W의 모터 4개 기준으로 운반할 수 있는 총무게가 약 1700g, 기체 무게를 제한 하중이 약 500g으로 소형의 카메라나 구호 물품 등을 장착할 수 있다. 하중 량은 그렇게 높지 않지만 인간의 손이 닿지 않는 곳에 들어갈 수 있게 한다는 장점이 더 크게 작용한다[2].

3. 드론의 동작 원리

드론은 모터의 변속을 통해 프로펠러의 추력을 조절하여 Pitch(드론의 전진/후진), Roll(드론의 좌측이동/우측이동), Yaw(드론의 좌회전/우회전) 그리고 Throttle(드론의 상승/하강)의 움직임을 정의할 수 있다. 좌측 상단 모터부터 시계 방향으로 각 모터를 f_{m1} , f_{m2} , f_{m3} , f_{m4} 라 하였다.

그림 1에서는 드론에 장착된 4개의 모터의 방향과 함께 각 모터의 동작방법에 따라 드론이 어느 방향으로 움직이는지 설명하고 있다.

드론은 네 개의 프로펠러를 마주보는 것끼리 같은 방향으로 가까운 것끼리 다른 방향으로 회전하게끔 한 비행체로 1, 2번의 방법으로 Pitch 조절, 3, 4번의 방법으로 Roll 조절, 5, 6번의 방법으로 Yaw 조절을 수행할 수 있다. 드론의 자세에서는 모터들의 추력이 균형을 이루는 평형 상태가 항상 중심으로 이루어져야 한다. 즉 호버링을 하기 위해서는 식 (1)을 성립해야 한다.

$$F_T = f_{m1} + f_{m2} + f_{m3} + f_{m4}, \tag{1}$$

비행체의 자세제어는 전체추력의 합 F_T 의 변화 없이 각 모터의 회전속도를 증가 또는 감소시키는 것으로 추력을 조절하게 된다[3]. 표 1에서는 비행동작에 따른 각 모터의 출력변화를 설명하고 있다.

표 1. 드론의 출력 로직.

구분	Δf_{m1}	Δf_{m2}	Δf_{m3}	Δf_{m4}	ΔF_T
+Roll	+	-	-	+	0
+Pitch	+	+	-	-	0
+Yaw	-	+	-	+	0
+Throttle	+	+	+	+	+

드론이 전진, 후진, 좌회전, 우회전, 좌측이동, 우측이동 등의 조종을 수행하려면 표 1에서 나타낸 것과 같이 각 모터의 변화량 Δf_{m1} , Δf_{m2} , Δf_{m3} , Δf_{m4} 은 변할 수 있으나 각 모터의 전체추력의 변화량 ΔF_T 는 항상 0이 되어야 기체가 현재의 고도를 유지하면서 기동을 수행할 수 있게 된다. 만약 기체의 고도를 상승, 하강시키고 싶으면 전체추력 F_T 의 값을 증가시키면 고도가 상승하게 된다.

Ⅲ. 드론 제어 알고리즘

1. 가속도/자이로 센서

드론의 현재 위치를 알아내기 위해 가속도/자이로 센서인 MPU6050을 사용한다. 드론용으로 주로 사용되는 MPU6050은 드론 기체의 현재 상태를 알 수 있는 가속도와 자이로 센서 두 가지가 내장되어있는 센서다. 배포중인 프로그램으로 센서의 3차원 기울기와 가속상태를 알 수 있다. 이를 이용하여 그림 2와 같이 드론의 기체 상태가 수평이 되게끔 하는 안정화(Stabilization) 상태를 수행할 수 있다.

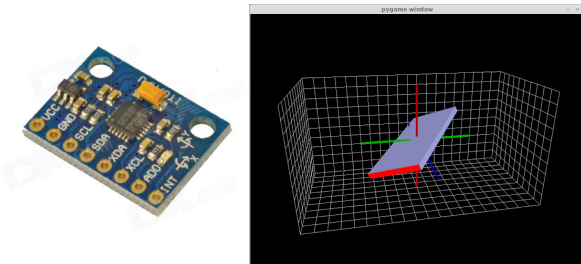


그림 2. MPU6050 센서와 시뮬레이션 화면.

2. GPS를 이용한 위치 고정

드론을 조종하는 중에는 외부 기상상태 등에 따라 사용자가 수시로 드론을 조종해줘야 한다. 따라서 GPS 센서를 이용해 별도의 조종 명령 없이도 기체가 한 위치를 고정하고 비행하게 할 수 있도록 한다. GPS 센서는 4개 이상의 인공위성에서 위치를 받아 센서의 현재 위치를 읽는 센서이다.

GPS 센서를 이용해 드론의 현재 위치를 알고, 그 후에 Roll 값과 Pitch 값을 수정해 기체의 2차원 평면의 위치를 수정하여 기체가 한 위치에 계속해서 머물 수 있도록 한다.

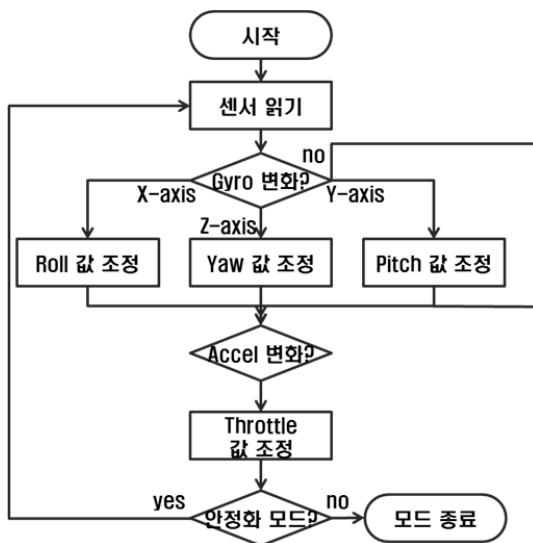


그림 3. 가속도/자이로 센서의 자세제어 알고리즘.

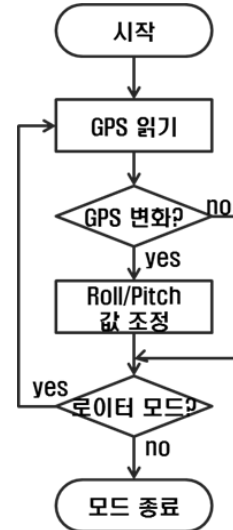


그림 4. GPS 위치 고정모드 알고리즘.

3. PID 및 Fuzzy 제어

그림 5는 PID 및 fuzzy 제어의 알고리즘을 나타낸다.

PID 제어기는 원하는 입력과 출력 사이의 오차에 근거하여 시스템의 출력이 원하는 입력에 추종하는 궤환 제어의 일종이다. PID 제어기는 시스템이 정해져 있어 간단하고 널리 사용되지만 비선형 회로에는 파라미터 값을 추정하기 힘든 단점이 있다.

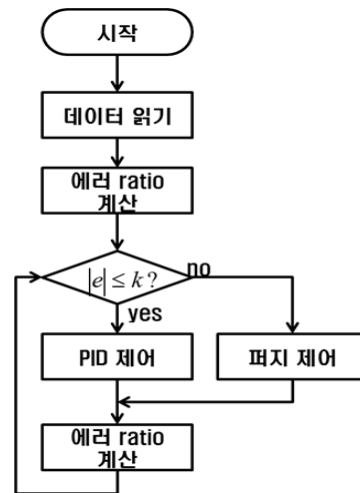


그림 5. PID 및 Fuzzy 제어 선택 알고리즘.

PID 제어의 관계식은 식 (2)와 같다.

$$u(t) = K_p[e(t) + \frac{1}{T_I} \int e(t) + T_D \frac{de(t)}{dt}], \quad (2)$$

비례제어(비례계수 K_p)는 가장 기본적인 제어이며 구현이 쉽다. 하지만 이 제어만으로는 정상출력의 오차가 발생한다. 이 오차를 0에 가깝도록 보정하기 위해 비례제어에 적분제

어(적분계수 $K_i = K_p \times \frac{1}{T_I}$)를 추가하여 사용한다.

비례적분제어(PD)는 정상출력의 오차가 거의 없어지는 대신 계수를 안정적으로 잡지 못하면 출력이 불안정해지고 출력 반응속도 또한 느려진다. 이 제어에 미분제어(미분계수 $K_d = K_p \times T_D$)를 추가한 비례미분제어(PID)는 출력 안정성을 높이고, 출력 반응속도도 빠르게 잡을 수 있지만 진동이 많은 드론 특성상 미분계수에 따라 값이 큰 폭으로 변화하기 때문에 비행이 불안정해지는 단점이 있다. 드론에서는 PID제어 방법 중 D를 제한 PI제어를 주로 사용한다.

반응속도가 중요한 드론 제어에서 PID제어로는 반응속도 향상 한계가 있기 때문에 PID와 함께 fuzzy 제어를 병행하여 수행하게 된다. fuzzy 제어는 입력력의 오차 값과 그 미분 값을 이용한 제어로 PID제어와 달리 계수가 상시로 바뀌게 된다. 오차가 클 때 적용하면 PID 보다 더욱 빠르게 반응할 수 있는 장점이 있다.

fuzzy 제어의 관계식은 식 (3)과 같다.

$$u(t) = \frac{|K_c|}{|K_c|+|K_d|} K_c + \frac{|K_d|}{|K_c|+|K_d|} K_c \quad (3)$$

오차값 K_e 와 그 미분값인 K_c 는 그 값의 크기와 방향에 따라 NB(Negative Big), NM(Negative middle), NS(Negative Small), ZR(Zero), PS(Positive Small), PM(Positive Middle), PB(Positive Big) 7가지의 상태로 나뉘게 되며 해당 상태에 따른 출력이 표에 의해 결정되게 된다. fuzzy 제어는 표 2의 법칙을 따르게 된다.

PID 제어와 fuzzy 제어는 에러값 $e(t)$ 의 값과 상수 k 의 대소비교를 통해 어떤 방식으로 제어할지 선택하게 된다. 그림 8은 제어 선택 알고리즘을 보여준다.

표 2. Fuzzy 제어의 출력 로직.

$K_e \backslash K_c$	NB	NS	ZR	PS	PB
NB	PB	PB	PB	PM	ZO
NS	PM	PM	PM	PS	NS
ZR	PM	PS	ZO	NS	NM
PS	PS	NS	NM	NM	NM
PB	ZO	NM	NB	NB	NB

표 2에서는 식 3에 대한 결과값을 정리하였다. 예를 들어 K_e 가 Negative Small의 값을 가지고, K_c 가 Negative Big의 값을 가 가진 경우, 식 (3)에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$u(t) = \frac{|NB|}{|NB|+|NS|} NB + \frac{|NS|}{|NB|+|NS|} NS \quad (4)$$

$$= NM + NM = NB$$

즉, $u(t)$ 의 값을 보정하기 위해 NB와 반대되는 값인 PB의 값을 가지게 된다. 표 2의 다른 값들도 식 3의 식에 의해 보정되는 값으로 정해지게 된다. 그림 6은 PID 제어와 fuzzy 제어를 선택하기 위한 알고리즘을 나타내고 있다.

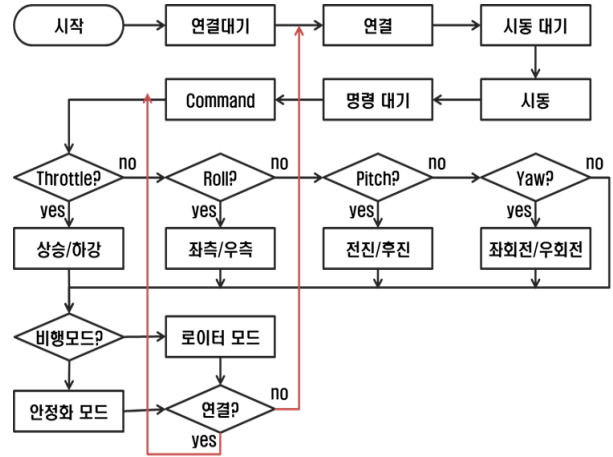


그림 6. 드론 제어 알고리즘.

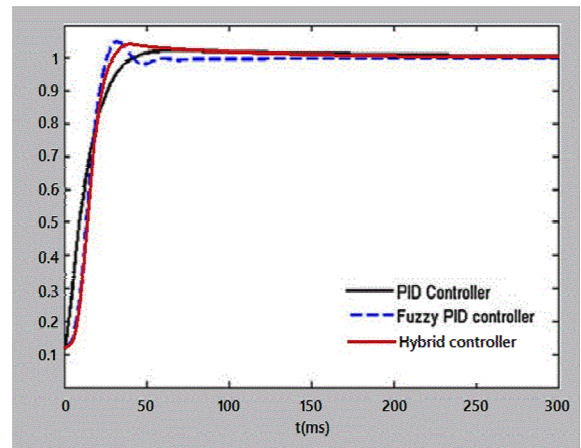


그림 7. PID 및 fuzzy 제어 Unit step response 시뮬레이션.

IV. 시뮬레이션 결과

조작은 와이파이를 기반으로 스마트폰과 아두이노를 연결하였고, 자세한 제어 알고리즘은 다음과 같다.

Stabilization 모드에서는 사용자의 조종신호와 동시에 기체의 안정화를 위한 알고리즘을 동시에 수행하고, Loiter 모드에서는 사용자의 조종신호와 상관없이 현재 상태를 유지하도록 하였다.

1. PID 및 Fuzzy 제어 시뮬레이션

드론의 안정적인 제어를 위해 위 3.3 항에서 제시한 PID 및 fuzzy 제어 알고리즘의 시뮬레이션을 수행하였다. 그림 7은 시뮬레이션 결과를 나타내고 있다.

프로세스 시작 후 Unit step function을 입력했을 때 PID 제어와 fuzzy 제어의 반응을 나타낸 그래프다. PID 제어는 결과 값에 도달하기까지의 시간이 fuzzy 제어보다 길지만 fuzzy 제어보다 안정적으로 값에 도달할 수 있다. fuzzy 제어는 PID제어보다 불안정하고 Overshoot가 발생하지만 보다 빠른 반응이 가능하다.

본 논문에서 활용한 하이브리드 제어는 오차가 큰 구간인 30ms 이하 구간에서는 fuzzy 제어를 사용하고, 오차가 작은 구간인 구간에서는 PID 제어를 사용함으로써 fuzzy 제어의 빠른 반응과 PID 제어의 안정적인 제어를 동시에 얻을 수 있게 하였다.

2 드론 제어 시뮬레이션

드론이 안정적으로 비행하고 있는 상태에서 외부 충격에 의해 자세가 흐트러졌다는 설정으로 시뮬레이션한 결과이다. 각 변위는 원래 유지했던 각과 현재 각 사이의 차이를 나타낸 것으로 이 값이 0 이면 안정적인 비행을 하고 있는 상태이다. 각속도는 PID 제어를 통해 각 변위의 값이 모두 0이 되도록 X 축인 Roll, Y축인 Pitch, Z 축인 Yaw의 값을 조정하게 된다.

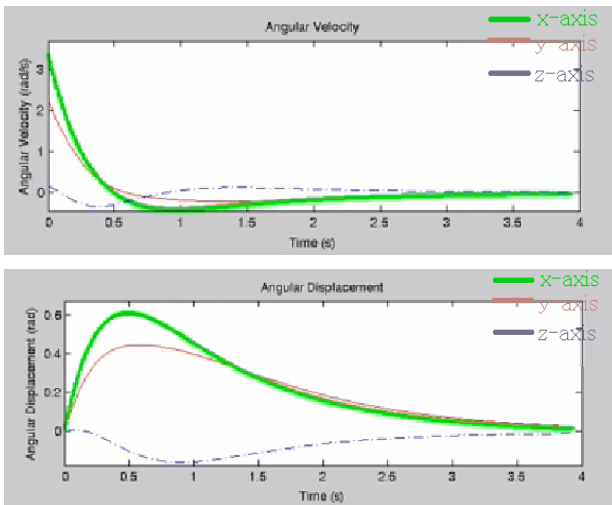


그림 8. 각 변위 및 각속도 시뮬레이션.

V. 결론

드론 비행 중 본체의 진동이 많은 드론 기체의 특성상 PID제어를 수행할 때 미분계수값이 크면 불안정한 비행을 하기 쉽기 때문에 미분계수를 최소한으로 한 후 다른 계수를 조정하여 시뮬레이션을 수행했다.

본 논문에서는 드론의 정확한 자세 제어 및 호버링 운영을 위해 자이로/가속도 센서와 GPS 센서를 이용하여 드론 기체의 현재 상태를 알고, 그에 따른 알고리즘을 제시했다. 실제 센서를 채용하고 운용할 때는 센서의 안정성, 노이즈,

신호의 신뢰도를 고려해야 할 것이다.

향후 효과적인 제어를 위해선 PID 및 fuzzy 제어의 한계를 극복할 수 있다. 비선형적인 모델 제어를 위한 최적화 알고리즘이 들어간 제어 방법이 적용되어야 할 것이다.

참고 문헌

- [1] S. Yoon, O. Soysal, M. Demirbas, and C. Qiao "Coordinated locomotion and monitoring using autonomous mobile sensor nodes," IEEE Transactions on Parallel and Distributed Syst., vol. 22, no. 10, pp. 1742-1756, Oct. 2011.
- [2] A. Nemati and M. Kumar, "Modeling and control of a single axis tilting quadcopter," in Proc. of ACC '14, pp. 3077-3082, Portland, USA, June 2014.
- [3] E. Chirtel, R. Knoll, C. Le, and B. Mason, "Designing a spatially aware, autonomous quadcopter using the android control sensor system," in Proc. of SIEDS '15, pp. 35-40, Charlottesville, USA, April 2015.

저자

차 경 현(Gyeong Hyeon Cha)

학생회원



- 2014년 7월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2014년 8월 ~ 현재 : 광운대학교 전과 공학과 석박사통합과정

<관심분야> : 무선통신, 항재밍, 데이터마이닝, 위치공학, WBAN

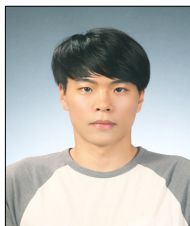
심 이 삭(Isaac Sim)



- 2009년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 학부과정

<관심분야> : 무선통신, 디지털통신

홍 승 관(Seung Gwan Hong)



- 2009년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 학부과정

<관심분야> : 무선통신, 디지털통신

정 준 희(Jun Hee Jung)



- 2015년 2월 : 광운대학교 전자융합공학과 졸업
- 2015년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전과공학과 석박사통합과정

<관심분야> : WBAN, 무선통신, 무선에너지하비스팅

김 진 영(Jin Young Kim)

총신회원



- 1998년 2월 : 서울대학교 전자공학과 공학박사
- 2001년 2월 : SK텔레콤 네트워크연구소 책임연구원
- 2001년 3월 ~ 현재 : 광운대학교 전자융합공학과 교수

<관심분야> : 디지털통신, 가시광통신, UWB, 부호화, 인지 무선통신, 5G 이동통신