

쿼드콥터와 객체추적 기법을 이용한 스마트 드론에 관한 연구

양우석, 천명현, 장진우, 김상훈*
*국립한경대학교 전기전자제어공학과
e-mail : kimsh@hknu.ac.kr

A Study on Smart Drone Using Quadcopter and Object Tracking Techniques

Woo-Seok Yang, Myung-Hyun Chun, Gun-Woo Jang, Sang-Hoon Kim*
*Dept of Electrical, Electronic and Control Engineering, Hankyong National
University

요 약

본 논문에서는 객체 추적이 가능한 쿼드콥터의 구현에 대하여 연구하였다. 드론의 안정적인 호버링 및 영상촬영을 위하여 쿼드콥터의 비행원리와 PID 제어에 대한 이론을 연구하고 보다 안전한 실험환경 구성을 위한 Solution을 제시하였다. 또한 색 정보와 광흐름(Optical Flow) 기법을 공간 주파수 영역의 영상처리 방법(Nonlinear Matched Filter)과 융합하여 객체추적 하는 방법을 연구하였다.

1. 서론

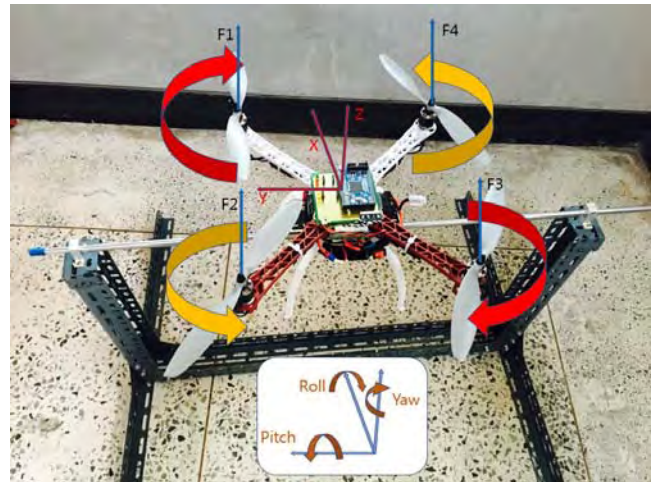
최근 방송에서 드론을 활용하는 장면이 많이 방영되고 실제 방송을 촬영할 때에도 드론을 활용하여 촬영하는 경우가 늘어나고 있다. 특히 쉽게 얻을 수 없는 항공촬영 영상을 드론을 이용하면 보다 쉽게 촬영 할 수 있기 때문에 대중들의 관심이 증가하고 있다. 하지만 공중에서의 촬영에 있어 드론은 높은 자유도를 가지기 때문에 조작성이 어려워 지속적으로 목표 객체를 촬영하는데 어려움을 겪는다. 이에 사용자가 원하는 객체를 설정하고 그것이 움직함에 따라 지속적으로 추적하여 최적의 영상을 제작할 수 있도록 하기 위해 도움이 되는 기술 개발이 필요하게 되었다. 영상처리기술을 활용하여 사용자가 원하는 것을 지정하였을 때 이것을 지속적으로 추적하고 촬영하여 보다 쉽게 원하는 영상을 습득하게 하게 도움을 주는 것을 목표로 하고 있다.

2. 본론

2.1. 쿼드콥터 비행원리

(그림 1)의 쿼드콥터는 모터의 회전방향이 대칭적으로 같은 것을 알 수 있는데 F1과 F3, F2와 F4가 서로 같은 방향으로 회전한다. 이때 각각 회전하는 프로펠러에 의해 반대 방향으로 회전하려는 힘(Torque)이 발생한다. 작용·반작용의 원리에 따라 회전 방향에 반대되는 이 힘은 쿼드콥터의 기체를 회전하게 만든다. 그러므로 서로 다른 방향으로 회전하는 프로펠러가 각각의 회전력을 서로 상쇄 시켜 0으로 만들어야만 기체가 회전하지 않게 된다. 이것을 통하여 사용자가 원하는 일정한 방향을 향한 제어가 가능하게 한다. 또한 드론의 전, 후, 좌, 우를 Roll과 Pitch,

회전을 Yaw로 하여 제어 할 수 있다. [1]



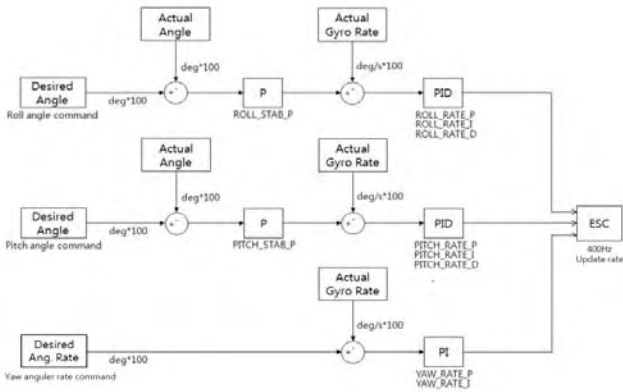
(그림 1) 쿼드콥터 전체 외형

2.2. PID 제어 알고리즘

PID제어는 비례(Proportional), 적분(Integral), 미분(Derivative)동작을 적절하게 사용한다. PID제어를 쿼드콥터의 자세제어에 적용 하게 되면, P제어는 입력각도와 현재각도의 오차에 비례해서 제어하여 목표하는 각도에 근접하게 할 수 있다. 하지만 P제어만으로는 정상상태 오차가 없어지지 않기 때문에 진동(잔류편차)이 계속 남게 된다. 이때 미세한 진동을 없애기 위해 I제어가 쓰인다. I제어는 P제어 후 남아있는 잔류편차를 시간 단위로 적분하여 값을 누적시킨 뒤 일정 지점에서 조작량을 증가시키는 제어 방식이다. 이렇게 비례와 적분 동작의 조합으로 이루어진 제어를 PI제어라 한다. 그러나 PI제어는 응답 속도에

대한 것을 제어할 수 없다. 이것을 해결하기 위하여 오차 시간을 미분한 값에 비례하여 조작량을 조절하는 D제어를 사용하게 되며 이것을 통해 목표하는 값으로 빠르게 수렴할 수 있게 된다.

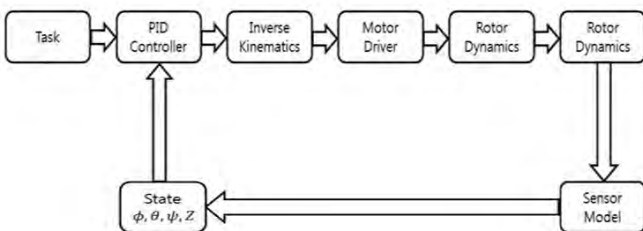
본 논문에서는 (그림 2)와 같이 PID제어를 기반으로 하여 이중PID제어 알고리즘을 적용하였다. 외부 루프는 P controller, 내부 루프에서는 PID controller를 적용했다.[2], [4]



(그림 2) PID 자세제어 알고리즘

2.3. 자세제어 계산 방법

시뮬레이터 전체 구성은 (그림 3)과 같다. 먼저 원하는 roll, pitch, yaw, altitude 를 결정하면 각 변수의 현재 값을 센서 모델을 통해 받아들이고 각각의 오차를 비례, 적분, 미분 해준다. 이 값을 통해 각 모터에 얼마만큼의 전압을 걸어주어야 하는지를 inverse kinematics를 통해 계산해 낸다. 모터 드라이버에 해당 전압이 인가되면 로터의 모델을 통해 프로펠러의 속도가 계산된다. 쿼드로터 몸체에는 프로펠러의 회전속도의 제곱에 비례하는 추력과 항력이 작용하게 되는데, 이 값들로 쿼드로터의 운동방정식을 풀어서 현재의 자세와 위치를 계산할 수 있다.[3],[4]



(그림 3) 시뮬레이터 전체 구성

3. 실험

3.1. 쿼드콥터 자세제어 실험환경

쿼드콥터의 자세제어를 연구 하는 데에 있어 프로펠러에 의해 실험자가 부상을 입을 가능성이 항상 존재한다. 따라서 안전을 위하여 안면 보호구 및 방검 장갑 등을 착용하였고 PID 자세제어를 위한 실험에서 드론을 보다 효과적으로 고정하기 위하여 아래 (그림 4)와 같이 실험대를 제작하였다.

실험대의 프레임은 ㄱ형강을 사용하였고 양쪽 기둥에 고정대를 설치하여 드론이 장착될 봉을 연결하였다. 드론과 봉은 2개의 베어링을 이용하여 연결되어 마찰로 인한 실험 오차를 최소화 하는 동시에 단단하게 고정될 수 있다. 실험대를 이용하면 Roll과 Pitch의 PID Gain 값을 조정할 때 Roll, Pitch 각각의 Gain 값에만 집중하여 제어 할 수 있으므로 보다 안전하고 정확한 실험이 가능하다.

실험을 통해 PID gain 값이 실제 드론의 호버링에 끼치는 영향은 P, D, I순으로 크다는 것을 알 수 있었다. gain값 조정을 위해 초기 D와 I값을 0으로 맞추고 P, D, I 순으로 적절한 gain값을 조정하는 방법을 사용하였다. 본 실험에 사용된 베어링 이외에 좀 더 높은 자유도를 가지는 베어링을 사용하면 Roll, Pitch와 약간의 Yaw도 함께 제어 할 수 있다.



(그림 4) 드론 실험대

3.2. 객체추적에 활용 가능한 영상처리 기법

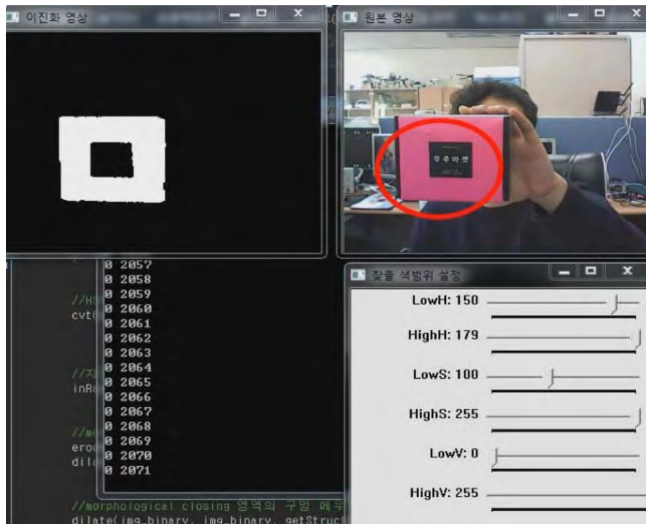
3.2.1. 색 추적 방법

쿼드콥터에서 촬영한 영상에서 우리가 원하는 객체 (ROI, Region of Interest, 관심영역)를 지정하여 그것을 추적하는 가장 기본적인 방법으로 Mean-Shift방식과 CAM-Shift방식이 있다. Mean-Shift는 영상 내에서 관심 영역의 데이터 분포를 가지고 그것의 Peak 또는 무게중심을 찾는 한 방법으로써 현재 자신의 주변에서 찾고자 하는 데이터가 가장 밀집된 방향으로 이동하여 관심영역을

추적하는 방식이다. CAM-Shift는 Continuously Adaptive Mean-Shift 의 약자로 Mean-Shift를 계속해서 수행하며 객체의 탐색 영역을 스스로 조정하는 기법이며 Mean-Shift기법의 변형으로 객체의 고속추적이 가능하다. 본 논문에서는 Cam-Shift와 색 정보를 이용한 자동 관심영역 설정을 이용하여 객체를 추적하였다.

아래 (그림 5)와 같이 객체의 색 정보를 지정하면 그에 맞는 관심영역이 자동적으로 설정되고 이것을 CAM-Shift 방식으로 추적하게 된다. 객체가 빠르게 움직여도 효과적으로 추적이 가능하였고 객체가 영상에서 사라진 후 다시 나타나는 경우에도 찾아내는 것을 알 수 있었다.

하지만 색 정보를 기반으로 관심영역을 지정하게 되어 배경에 객체와 같은 색 정보 범위를 가지는 물체에 대해서도 같이 추적을 하는 것을 볼 수 있었다. 따라서 실험환경 이외에서는 사용하기가 어렵다는 것을 알 수 있었다.



(그림 5) Color Tracking



(그림 6) Optical Flow

3.2.2. Optical Flow(광흐름 기법)

객체추적에 활용 가능한 또 다른 방법은 위 (그림 6)과 같은 광 흐름(Optical Flow)기법이다. 광 흐름 기법은 영상 내에서 자동적으로 특징 점을 지정하고 현재 프레임과 다음 프레임에서 특징 점의 차이를 바탕으로 화면의 움직임임을 인지하거나 물체를 추적하는 방식이다.

(그림 6)과 같이 물체를 위로 움직이는 상황에서 물체의 경계들을 특징 점으로 설정하고 이전 프레임에서 설정한 특징 점들이 현재 프레임에서 어디에 위치해 있는지 이동 경로를 보여주어 물체의 움직임을 확인 할 수 있고 이것을 통한 추적이 가능하게 된다.[5][6]

3.2.3 상관관계를 이용한 주파수 영역 분석 방법 (kth Law Nonlinear Matched Filter)

3.2.1에서 살펴본 것과 같이 색 정보를 이용한 관심영역 설정은 비슷한 색을 가진 물체에 대한 인식률이 떨어지는 문제가 발생하였다.

따라서 보다 정확한 객체 인식방법이 필요하게 되었고 이것을 위하여 영상간의 컨벌루션 연산을 이용한 상관관계 필터 즉, 정합필터(Matched Filter)중 k차 비선형 정합필터(k^{th} Low Nonlinear Matched Filter)를 사용하는 방법을 연구하였다. 또한 처리 속도를 높이기 위한 공간 주파수 영역에서의 영상처리 기법을 사용하였다.

먼저 선형 정합필터는 다음 (수식 1)과 같은 식을 가진다.

$$H(\alpha) = R(\alpha) \exp[-i\phi_R(\alpha)] \quad (\text{수식 1})$$

다음으로 비선형 정합필터는 다음 (수식 2)와 같은 식을 가진다.

$$H(\alpha) = [R(\alpha)]^k \exp[-i\phi_R(\alpha)] \quad (\text{수식 2})$$

선형 정합필터와 비선형 정합필터의 차이점은 $R(\alpha)$ 에 k라는 계수가 붙어있는 점이다. 선형 정합필터도 비선형 정합필터의 한 부분이며 k=1일 때 Linear Matched Filter라고 부르게 되고 k=0 일 때 Phase Only Filter 라고 부르게 된다. Nonlinear Matched Filter는 k값이 $0 < k < 1$ 사이인 것을 지칭한다.

비선형 정합필터를 사용할 때에 관심영역을 설정하고 그것을 영상에서 정확하게 인식하기 위하여 설정된 관심영역의 특징에 따라 k의 값을 적절하게 바꾸어 주어야 한다. 그러므로 객체추적을 시작하기 전에 최적의 k값을 찾는 연산을 시행하여야 한다.

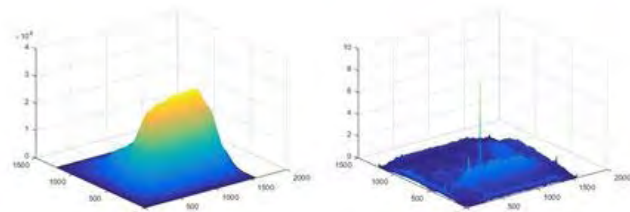
최적의 k 값은 PSR(Peak to Side-lobe Ratio) 값을 이용하여 판단 할 수 있는데 가장 큰 PSR 값을 가지는 k값을 선정하게 된다.

(그림 7)은 원본영상과 관심영역을 설정하고 그것에 알맞은 k값을 찾는 상황을 시뮬레이션 한 것이다. 관심영역의 물체가 단순한 모양을 가지고 있으므로 (그림 7)의 실험에서는 최적의 k값이 0인 것을 알 수 있었다.[7][8]



원본영상

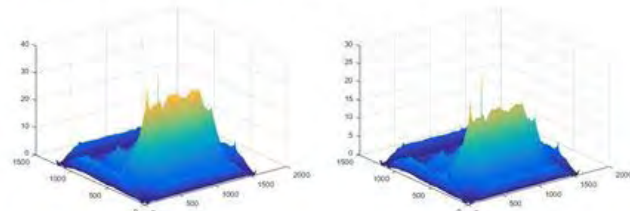
추적할 객체 선정



k=1 Linear Matched Filter

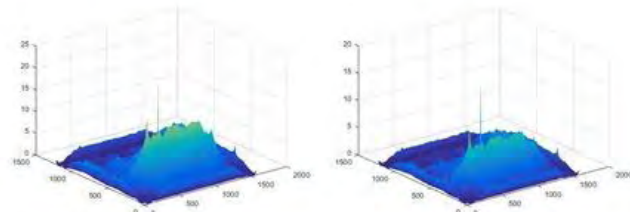
k=0 Phase Only Filter

Nonlinear Matched Filter ($0 < k < 1$)



k = 0.3

k = 0.25



k = 0.2

k = 0.15

(그림 7) k^{th} Low Nonlinear Matched Filter 적용 과정

4. 결론

본 논문은 쿼드콥터의 자세제어와 안전한 실험 방법 및 객체추적방법에 대하여 연구하였다. 특히 드론을 실험하는 과정에서 본 연구자들이 만든 실험대로 드론의 자세제어 안정화를 꾀했으며 보다 안전하고 효율적인 실험환경을 구축하였다.

CAM-Shift와 색 검출 방식을 융합하여 객체추적을 시도 해 보았지만 원하는 객체와 비슷한 색 정보를 가진 것이 존재할 경우나 혹은 배경의 색 정보가 이와 유사할 경우 관심영역 설정이 정확하게 되지 않는 것을 볼 수 있었다. 따라서 보다 정확한 객체 검출이 필요하다는 것을 인지하여 공간 주파수 영역에서의 영상처리 기술을 추가하여 실험하였다.

공간 주파수 영역에서의 영상처리 방법으로 비선형 정

합필터(Nonlinear Matched Filter)를 사용하여 객체의 정확한 추적이 가능함을 알았다. 따라서 CAM-Shift 나 Optical Flow 기법과 융합하여 보다 정확한 객체추적이 가능하도록 알고리즘을 개선하는 방법을 연구 중이다. 하지만 관심영역에 대한 최적의 필터계수 k 값이 필요하므로 객체 추적 이전단계에서 전 처리가 필요하다. 때문에 연산 시간이 늘어나게 되는 단점이 있음을 알게 되었다.

앞으로의 연구 방향은 PID 제어 알고리즘을 개선하고 Kalman Filter를 추가하여 진동 잡음을 제거 하는 방법을 고안하는 것이다. 이를 통하여 보다 정밀하고 안정성 있는 제어를 가능하게 할 것이다.

또한 영상처리 부분에서 비선형 MACH 필터(Nonlinear Maximum Average Correlation Height Filter) 등의 보다 발전된 기법을 추가하여 객체추적에 활용할 예정이다.

감사의 글

이 논문은 2016~2017년도 경기도 지역협력연구센터(GRRC)의 연구비 지원에 의한 것임(GRRC Hankyong 2012-B02)

참고문헌

- [1] 김진석, 임영도, 허재영, “센서 결합을 통한 쿼드콥터의 자세제어 시뮬레이터 구현”, 한국정보기술학회, 한국정보기술학회논문지 10(7), 2012
- [2] 송민근, 노정웅, 진원보, 정명진, 한국산업기술대학교 메카트로닉스공학과, LINC사업단 캡스톤 디자인 지원과제, “4개의 회전자를 갖는 쿼드콥터의 제어”
- [3] 윤재현, 이종수, “PID 제어를 통한 쿼드콥터 자세 제어”, 대한기계학회, 대한기계학회 춘추학술대회, 2014.11, 834-835(2pages)
- [4] 박희수, 오세령, 신지훈, 김상훈, “드론과 모듈화된 로봇의 도킹 연구”, KIPS 춘계학술발표대회
- [5] Lucas, Bruce D., and Takeo Kanade. “An iterative image registration technique with an application to stereo vision.” IJCAI. Vol. 81. 1981.
- [6] Horn, Berthold K., and Brian G. Schunck. “Determining optical flow.” 1981 Technical Symposium East. International Society for Optics and Photonics, 1981.
- [7] J. L. Horner, P. D. Gianino, “Phase-only matched filtering”, *Appl. Opt.*, vol. 23, no. 6, pp. 812-816, 1984.
- [8] M Cho, “Three-Dimensional Target Recognition Under Photon-Starved Conditions Using Photon Counting Axially Distributed Sensing and Nonlinear Correlation” *Computer Science and its Applications*, 719-723, 2015