

쿼드로터의 안전한 착륙을 위한 경로 계획 및 제어

임정근, 정 슬*
충남대학교*

Trajectory Planning and Control for Safe Landing of a Quadrotor System

Jeong Geun Lim, Seul Jung*
Chungnam National University*

Abstract - 본 논문에서는 쿼드로터 시스템의 안정적인 착륙을 위해 경로 계획을 하고 제어성능에 대해 논한다. 일반적으로 쿼드로터 시스템이 착륙할 때에 로터의 회전속도를 줄여 바닥에 착륙하는데 이때 충격 때문에 바닥에 충돌하는 경우가 발생한다. 이는 기체와 하드웨어에 충격을 가해 무리를 주기도 하고 연결부위가 풀리는 경우가 발생한다. 따라서 바닥과의 충격을 최소화하기 위해 착륙을 위한 경로 계획을 제안하고 실험을 통해 안정적인 착륙을 검증한다.

1. 서 론

최근에 무인 수송체에 대한 관심이 커지면서 무인 비행기에 대한 연구가 급격하게 증가하고 있다. 무인 비행기의 성능과 효율성은 이미 중동에서의 국지전에서 검증되었다. 원격으로 조정이 가능한 무인비행기는 경찰의 업무를 수행하거나 때론 공격을 할 수도 있다. 이처럼 서구에서는 군사적으로 많은 연구가 진행되어 실용화 되고 있는 추세이다.

우리나라에서도 무인 비행기에 대한 연구가 시작된 이후에 활발하게 진행되고 있다. CTOL(Conventional Take-off and Landing) 방식의 무인 비행기를 개발하여 원거리 정찰을 성공리에 완수하는 가하면 VTOL(Vertical Take-off and Landing) 구조의 무인 헬리콥터를 개발하여 농사에 농약을 살포하는 용도로 사용하고 있다.

로터가 하나인 헬리콥터는 오래전부터 사용되어 온 비행체이다. 하지만 헬리콥터는 후진이 어렵고 좌측 우측으로의 이동이 전방향의 움직임이 불가능하다. 이를 해결하기 위한 구조로 쿼드로터 시스템이 있다. 쿼드로터 시스템은 모두 네 개의 로터를 가지고 있으며, 전진 후진 우측 좌측으로의 이동이 모두 가능한 전방향 시스템이다. 또한 쿼드로터 시스템은 안정적인 정지 비행이 가능하여 전방향으로의 움직임이 가능하다.

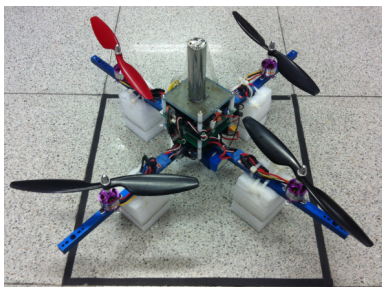
따라서, 이러한 장점을 가진 쿼드로터 시스템에 대한 연구가 활발하게 진행되고 있다. 대부분의 쿼드로터에 대한 연구는 자세제어에 대한 것으로 다양한 제어 방법을 통해 정지자세의 성능을 향상시키기 위해 노력하였다. 선행연구에서는 비행뿐만 아니라 주행까지 가능한 쿼드로터를 설계하여 실험하였고[1], DOB를 설계하여 외란에 강건한 제어를 설계하였다[2,3].

본 논문에서는 정지비행에서 착륙할 때에 바닥에 부딪히는 충격을 최소화하기 위해 경로를 설계하고 제어하였다. 가감속 경로 계획(Bang Bang Parabolic Blend(BBPB))을 사용하여 이륙과 착륙을 동시에 만족하는 것을 실제 실험을 통해 검증하였다.

2. 본 론

2.1 쿼드로터 시스템

그림 1은 실제 실험에 사용된 쿼드로터 시스템을 보여준다. 아래 부분은 충격을 최소화하기 위해 스펀지를 달았다. 네 개 로터의 추력으로 움직임을 발생하는 대표적인 under-actuated 시스템이다.



〈그림 1〉 쿼드로터 시스템

2.2 경로계획

본 논문에서는 경로계획을 통해 이륙과 착륙하는데 있어 발생하는 문제점을 해결한다. 빠른 시간에 이륙하는 경우 목표고도를 넘어 오버슈트가 발생하고 착륙하는 경우에도 충격에 의해 바닥과 충돌한다. 이러한 문제점을 최소화하기 위해 BBPB 경로 계획을 사용하였다.

식(1)과 (2)는 초기시간과 위치가 0이 아닌 경우의 BBPB경로를 나타낸다.

$t_0 \leq t \leq t_b$ 일 때,

$$\begin{aligned} h &= h_0 + \frac{a}{2}(t-t_0)^2 \\ \dot{h} &= a(t-t_0) \\ \ddot{h} &= a \end{aligned} \quad (1)$$

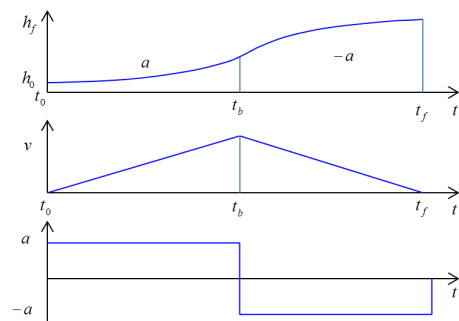
$t_f - t_b \leq t \leq t_f$ 일 때,

$$\begin{aligned} h &= h_f - \frac{a}{2}t_f^2 + at_f(t-t_b) - \frac{a}{2}(t-t_b)^2 \\ \dot{h} &= at_f - a(t-t_b) \\ \ddot{h} &= -a \end{aligned} \quad (2)$$

BBPB경로계획은 경계시간과 가속도가 식(3)와 같이 주어지기 때문에 경로전체의 시간, 그리고 시작점과 도착점만 알면, 경로는 자동으로 계산된다.

$$t_b = \frac{t_f}{2}, \quad a = \frac{4(h_f - h_0)}{t_f^2} \quad (3)$$

그림2는 가감속 경로계획에 따른 고도와 속도, 그리고 가속도 값을 나타낸다.

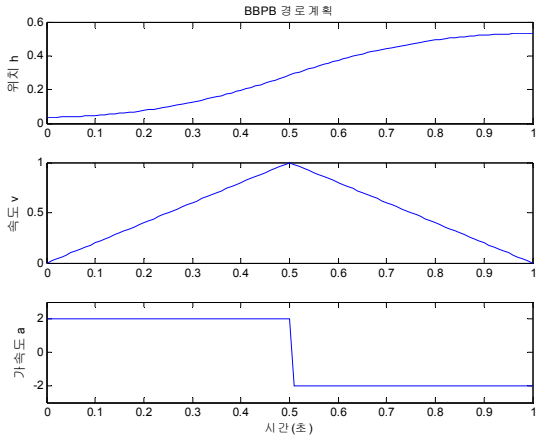


〈그림 2〉 BBPB 경로 계획

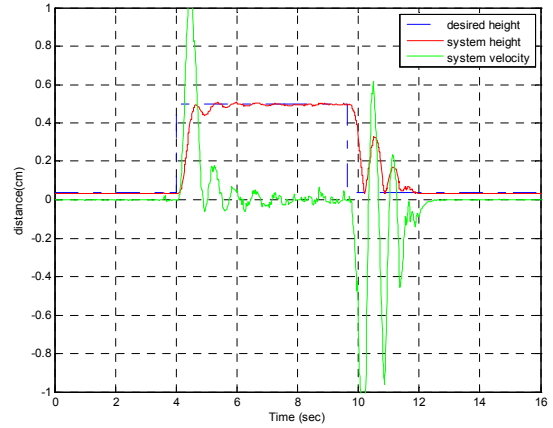
2.3 착륙실험

2.3.1 경로 계획

그림 3은 실제 실험에 사용된 BBPB 경로 계획을 나타낸다. 목표 고도는 0.5374m로 정하고 시간은 1초로 하였다. 가속도는 식(3)에 의해 $\pm 2m/sec^2$ 로 정하였다.



〈그림 3〉 실험에 사용된 BBPB 경로 계획



〈그림 5〉 경로 계획이 없는 경우

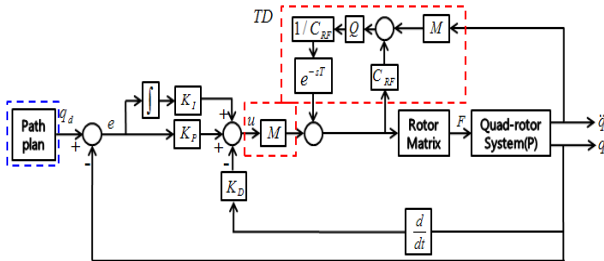
2.3.2 제어 방식

고도제어는 외란에 대한 영향력을 줄이기 위해 시간지연제어기를 사용하였다. 시간지연제어 방식은 이전 제어 입력을 사용하여 외란을 없애는 방식으로 로봇 시스템 제어에서 널리 사용된다. 시간지연제어식은 식(4)와 같다. 기본제어는 PID제어를 사용하였고 Q필터를 사용하여 잡음을 제거하였다.

$$F(t) = M(K_p e + K_i \int edt + K_D \dot{e}) + (F(t-\lambda)C_{RF} - M\ddot{q}(t-\lambda))Q \frac{1}{C_{RF}} \quad (4)$$

여기서 M은 질량이고, C_{RF} 는 상수값, λ 는 샘플링 시간, K_p, K_i, K_D 는 제어기의 이득값이다.

시스템에서는 이륙고도는, 쿼드로터가 착륙했을 때 바닥과 초음파 센서의 높이차인 0.0374m로 설정하였다. 최종고도는 0.5374m로 설정하였고, 샘플링 시간은 26msec이다. 그림 4는 시간지연제어 블록선도를 나타낸다.

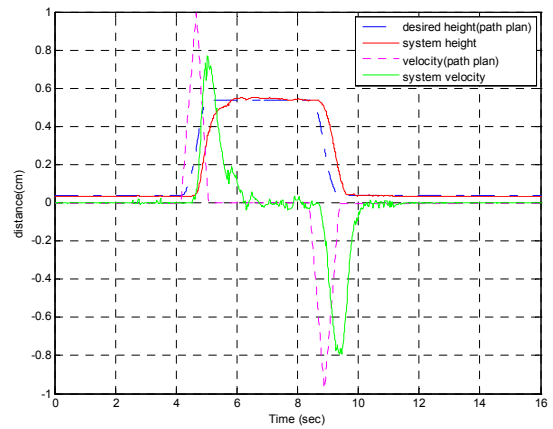


〈그림 4〉 제어 블록선도

2.3.3 실험 결과

쿼드로터 시스템의 이륙과 착륙에 관한 실험을 수행하였다. 그림 5에서 볼 수 있듯이, 경로계획을 세우지 않고 스텝 입력으로 목표지점을 지정하였을 때에는, 이륙할 때와 착륙할 때 진동이 발생하는 것을 확인할 수 있다. 특히, 착륙할 때에는 시스템이 지면에 닿는 높이가 목표지점이 되는데, 이륙할 때와는 달리 중력 방향으로의 움직임이 더 크므로 오버슈트가 발생하기 쉽고, 그것으로 인한 충돌로 불안정한 모습을 보이는 것을 확인할 수 있다.

하지만 그림 6에서 보듯이 경로계획을 세웠을 때에는 오버슈트가 없이 안정적으로 고도제어가 되는 것을 확인할 수 있다. 이것은 에러가 감소할 때 desired height가 증가하므로, 에러의 크기가 빠르게 변하여 제어 입력 값이 커지는 것을 억제하기 때문이다. 그리고 위치 경로계획에 따라 시스템이 움직일 때, 시스템의 속도도 또한 계획했던 속도와 유사한 것을 확인할 수 있는데, 속도성분이 일정하게 증가하고 감소함으로써 속도에 제한이 없는 그림 5의 경우보다 더 안정적으로 목표점에 도달하는 것을 알 수 있다.



〈그림 6〉 경로 계획이 있는 경우

3. 결 론

본 논문에서는 쿼드로터 시스템이 착륙을 할 경우에 안정적인 착륙을 할 수 있도록 경로계획을 수행하였다. 경로계획을 세운 경우와 세우지 않고 스텝입력을 준 경우를 실험하여 성능을 비교하였고, 경로계획을 세웠을 때, 시스템의 고도제어가 더 안정적인 것을 확인할 수 있었다. 또한 고도성분을 미분한 값을 1차 저역통과필터를 통과시켜 속도성분을 확인하였고, 기준 속도와 유사한 속도성분을 가지는 것을 확인할 수 있었다. 그 결과로 쿼드로터 시스템이 바닥과 충돌하는 것을 최소화 할 수 있었다.

감사의 글

본 논문은 2012년 연구재단의 일반연구자 사업과 지식경제부의 융복합형 로봇전문인력 양성사업(NIPA-2012-H1502-12-1002)지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Seung-Ho Jeong and Seul Jung, "Novel design and position control of an omni-directional flying automobile(Omni-Flymobile)", ICCAS, pp. 2480-2484, 2010
- [2] Seul Jung, "Attitude Control of a Small Quad-rotor Using an Acceleration Based Disturbance Observer", International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, pp. 916-921, 2012.
- [3] Seung-Ho Jeong and Seul Jung, "Experimental Studies of a Disturbance Observer for Attitude Control of a Quad-Rotor System", ICCAS, pp. 579-593, 2012, Korea