외란에 강건한 시간지연제어를 이용한 쿼드로터 시스템

Robust Time-Delayed Control for the Disturbance of a Quadrotor System

○임정근, 정슬*
충남대학교 메카트로닉스공학과 지능시스템 및 감성공학 실험실
(TEL : 042-821-7232; E-mail: vesta1028@nate.com)
* 충남대학교 메카트로닉스공학과 지능시스템 및 감성공학 실험실
(TEL : 042-821-6876; E-mail: jungs@cnu.ac.kr)

Abstract This paper presents a time-delayed control(TDC) method for rejecting the disturbance to the quadrotor system. One of important elements of TDC is to estimate the acceleration of the system accurately. Angular acceleration is obtained by differentiating the measured signal by a gyro sensor.

Keywords Quadrotor, time-delayed control, acceleration

1. 소개

무인비행시스템에 대한 연구는 꾸준히 발전되어 왔다. 특히 무인비행시스템은 위험한 전쟁지역에서 정찰 임무를 기대이상으로 잘 수행하고 있기 때문에, 산업체나 국방분야에서 각광을 받고 있다.

쿼드로터 시스템은 대표적인 VTOL(Vertical take-off landing)방식의 무인비행체이다. 이 는 CTOL(Conventional take-off and landing)방식과 달리 활주로를 필요로 하지 않기 때문에, 빌딩이 많은 도심지역과 같이, 지형지물이 많은 복잡한 지형에서 더 유리하다.

하지만 이러한 곳을 비행하기 위해서는 호버링을 유지하기 위한 자세제어에 대한 연구가 요구된다. [1] 특히, 쿼드로터 시스템은 작고 가볍기 때문에, 야외에서의 주행은 바람과 같은 외란에 쉽게 영향을 받는다. 많은 논문에서 이러한 문제점을 극복하기 위해 신경회로망이나, 적응제어 등 다양한 방법으로 자세제어에 대한 연구를 진행하고 있다. [2-3]

본 논문에서는 Time-delayed control 을 기반으로 각 가속도를 센싱하여 쿼드로터를 제어하였다. 자이로 센서의 센서 값을 미분하여 각 가속도를 구하고, 모델변수 값을 곱하여 제어입력값을 모델링하였다. 이 제어입력값과 외란이 포함되지 않은 제어 입력값을 비교하여 외란을 구하였다.

실제 비행을 할 때에 나타나는 바람의 영향을 모사하기 위해 시스템에 추를 달아 축을 제어하여 성능실험을 하였다.

2. 제어 방법

2.1. PD control

제어를 하는데 있어서 일반적으로 PID 제어기를 많이 사용하지만 본 시스템에서는 PD 제어기를 사용하였다.

$$\begin{aligned} u_\phi &= K_{P\phi}(\phi_d - \phi) + K_{D\phi}(-\dot{\phi}) \\ u_\theta &= K_{P\theta}(\phi_d - \phi) + K_{D\theta}(-\dot{\theta}) \\ u_\psi &= K_{D\psi}(-\dot{\psi}) \end{aligned} \quad (1)$$

2.2 Time-delayed control

가벼운 기체인 쿼드로터 시스템은 외란에 취약한 단점을 가지고 있다. 제어성능을 떨어뜨리는 요인으로 외부적으로는 바람, 내부적으로는 로터의 진동 또는 coupled effect 등 여러 가지가 있다. 이와 같은 외란을 제거하기 위해 본 논문에서는 시간지연 제어기를 사용하였다. 시간지연 제어기는 방식이 매우 간단하여 실시간으로 운용이 가능하므로 제어 효과가 좋다. 이 제어기는 이전 토크에서 외란이 포함된 현재 모델을 뺌으로써 외란을 제거하는 제어기이다. 즉 샘플링 타임이 중요한데, 이것은 현재 성능이 좋은 상용 DSP 가 많이 출시되었기 때문에 이 문제는 그것을 사용함으로써 해결할 수 있다.

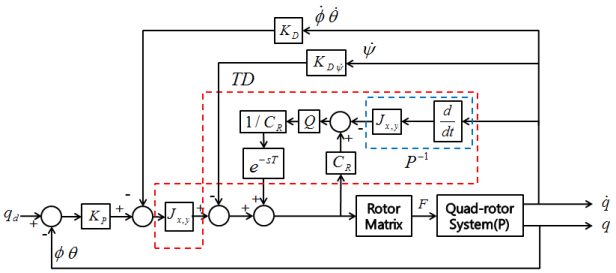


그림. 1 시간지연제어기의 블록선도

PD 제어기만을 사용하였을 때의 토크는 식(2)과 같다.

$$\tau(t) = (K_P e + K_D \dot{e}) + h \qquad (2)$$

PD 제어기만을 사용했을 때에는 불확실성이 남아있어, 정상상태가 되어서도 정확하게 원하는 토크를 얻을 수 없고, 또한 불확실성을 예측할 수 없기 때문에 외란에 취약하다. 하지만 PD 제어기에 비해 시간지연 제어기는 식(3)과 같이 이전 토크에서 현재 모델을 빼줌으로써 불확실성을 예측할 수 있기 때문에 외란에 대해 PD 보다 강건할 것이라는 것을 알 수 있다.

$$\tau(t) = \hat{D}(K_P e + K_D \dot{e}) + \bar{h}$$
$$\bar{h} = \tau(t-\lambda) - \hat{D}\ddot{q}(t-\lambda) \qquad (3)$$
$$\tau(t) = \hat{D}(K_P e + K_D \dot{e}) + \tau(t-\lambda) - \hat{D}\ddot{q}(t-\lambda)$$

시간지연 제어기는 각 가속도 값을 사용하기 때문에 잡음에 약한 단점을 가지고 있다. 그러한 문제점을 해결하기 위해 실제 시스템에서는 위의 그림과 같이 Q 필터를 사용하였다.

Q 필터는 일반적으로 다항식으로 설계하나, 본 논문에서는 1 차 저역통과필터의 간단한 형태로 설계하였다.

3. 실험결과

외란에 대한 성능을 살펴보기 위해 그림 2와 같은 실험환경을 설치하였다. 한 축에 무게추를 달아 시스템에 불균형을 유도하였다. PD제어기와 TD제어기의 성능을 각각 실험을 통해 비교 평가하였다.

그림 3 과 4 는 PD 제어기와 시간지연제어기의 성능을 비교한 그림이다. PD 제어기만을 사용했을 때보다 외란에 대해 더 강건한 것을 위 그림을 통해 확인 할 수 있다.

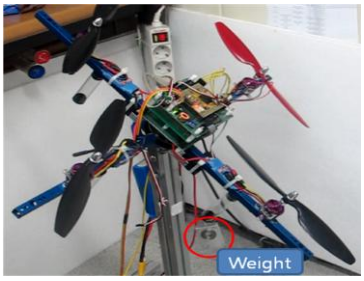
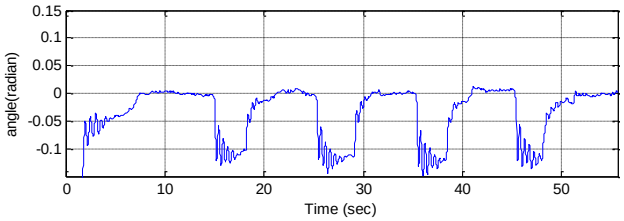
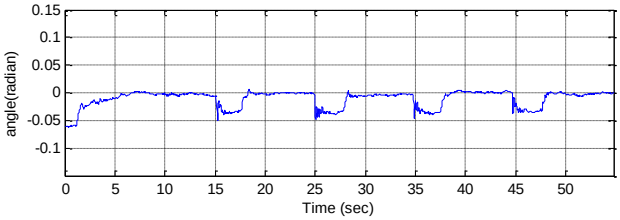


그림 2. 실험환경

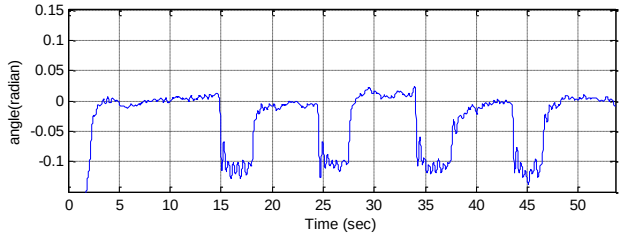


(a) PD 제어의 경우

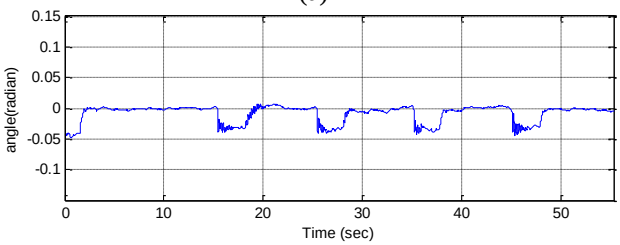


(b) TDC, K_q = 1.4 $\hat{D}$ = 0.036

그림 3. Roll 축을 중심으로, 외란이 있을 때 PD 제어기와 시간지연 제어기의 성능비교



(a) PD



(b) TDC, K_q = 1.4 $\hat{D}$ = 0.036

그림 4. Pitch 축을 중심으로, 외란이 있을 때 PD 제어기와 시간지연 제어기의 성능비교

4. 결론

본 논문에서는 외란의 영향을 많이 받는 쿼드로터 시스템의 성능을 시간지연제어기를 사용하여 개선하고자 하였다. 한 축에 무게추를 달아 임의로 외란을 주고 롤 및 피치 축의 움직임을 확인해 본 결과 PD 제어기보다 TDC 의 성능이 우수함을 확인하였다. 추후에는 두 축에 무게추를 임의로 주고 제어기의 성능을 확인할 것이다.

감사의 글

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

참고문헌

[1] A. Tayebi and S. McGilvray, “Attitude stabilization of a four-rotor aerial robot”, 43rd IEEE Conference on Decision and Control, 2004.

[2] E. Altug, J. P. Ostrowski and R. Mahony, “Control of a Quadrotor Helicopter Using Visual Feedback”, IEEE International Conference on Robotics and Automation, Vol. 1, pp. 72-77. 2002.

[3] Greg Welch and Gary Bishop, “An Introduction to the Kalman Filter”, SIGGRAPH, 2001.