

외란관측기를 이용한 무인로봇시스템의 자세 제어

장유신*, 계중읍**, 이만형***
 *부산대학교 대학원, **국방기술품질원, ***부산대학교 기계공학부

Attitude Control of the Unmanned Robot System Using Disturbance Observer

YuShin Chang, JoongEup Keh, and ManHyung Lee

*Pusan National University, Graduate School, **DTAQ, ***Pusan National University, School of Mechanical Engineering

Abstract - 무인지능형로봇 시스템에 있어서 자세의 정확도를 향상시키기 위한 많은 연구가 이루어져 왔다. 시스템의 자세 제어는 사용되는 모터의 위치 제어로 대응된다. 이와 같은 시스템은 운용 시에 충격 진동이 발생하게 된다. 이러한 충격 진동을 잘 제거해야 요구되는 위치 정도로 제어를 수행할 수 있다. 로봇 제어 분야에서 불확실한 로봇에 대한 자세 제어 분야는 가장 기본적인데서 중요한 분야중의 하나이다. 이러한 문제를 다루기 위하여 계산 토크 방식에 기초한 선형 제어 기법이나 적응 제어 기법, 강인 제어 기법 등을 이용한 연구 결과들이 발표되고 있다. 그러나 그러한 기법은 일반적으로 로봇의 정확한 동력학을 알아야 하며, 구현하기 복잡하다. 따라서 본 논문에서는 적응 규칙에 의하여 모델의 불확실성, 시스템의 변화, 외란으로 인해 발생하는 공칭 플랜트와의 오차를 보상하도록 제어 입력을 생성하는 내부 루프 부분과 공칭 플랜트 모델의 명령을 추종하도록 하는 제어 입력을 생성하는 외부 루프 부분으로 구성되는 방법인 외란관측기(Disturbance Observer : DOB) 제어 알고리즘을 제안한다. 또한 프로세서의 신뢰성과 수치 연산 및 알고리즘의 빠른 처리를 위해 현재 사용 빈도가 높은 TI사의 DSP시리즈 중에서 부동 소수점 연산 기능을 가지면서 모터 제어에 적합한 TMS320C2000계열의 TMS320F2812을 사용하여, 운용 시 발생하는 진동 등에 대한 외란 제거를 목적으로 한다. 본 논문은 규명된 시스템 모델식을 바탕으로 DOB 제어 시뮬레이션을 수행하고 PMSM 모터 모델 시뮬링 블록을 구성하여 검증된 외란 관측기 제어 알고리즘을 검증한다. 시뮬레이션으로 검증된 DOB 모터 자세 제어 알고리즘을 DSP에 적용하기 위해 코드변환하고 모터 실험 시스템에 실제 적용함으로써 타당성을 검증하여 상용 제어기로 실제 현장에 적용 가능함을 입증한다.

중에서 부동 소수점 연산 기능을 가지면서 모터 제어에 적합한 TMS320C2000계열의 TMS320F2812을 사용하여[11], 운용 시 발생하는 진동 등에 대한 외란을 제거하고 모터의 자세 제어를 목적으로 한다.

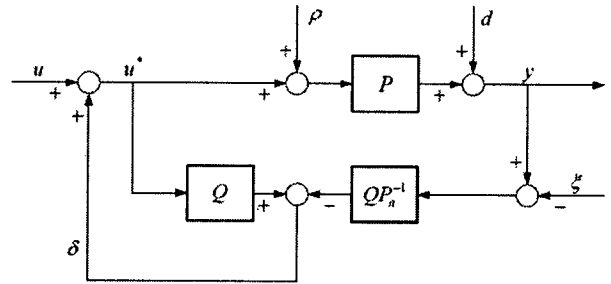
2. 외란관측기 제어 시뮬레이션 및 실험

2.1 외란관측기 개념

외란 관측기는 Ohnishi에 의해 처음 제안된 것으로 외란에 의해 발생하는 실제 플랜트 출력과 공칭 플랜트 출력의 차이를 보상하여 실제 플랜트가 공칭 플랜트처럼 거동하도록 만들어 주는 것이다. 이를 통해 제어기는 외란과 섭동의 영향을 받지 않는 상태에서 공칭 플랜트처럼 실제 플랜트를 제어하게 된다. 제어 명령과는 별도로 실제 시스템을 공칭 플랜트처럼 동작하도록 하는 제어 입력을 생성하는 구조로 구성된다. 이로써 모델링 오차와 매개변수의 변화, 그리고 외란을 함께 제거할 수 있다. 외란 관측기의 뛰어난 외란 제거 성능은 근본적으로 실제 시스템을 공칭 플랜트로 동작하도록 하는 성질에 기인한다. 최근 강인 제어 및 외란 흡수 제어의 여러 분야에 널리 적용되고 있다. 다음 그림 1에서 u 는 주 제어입력, u^* 는 재구성된 제어 입력, ρ, d 는 외부 외란, y 는 실제 플랜트 출력, ξ 는 측정 잡음 입력을 나타낸다. P 는 실제 플랜트 전달 함수이며, P_n^{-1} 은 공칭 플랜트 전달함수의 역, Q 는 저역통과필터이다[12].

1. 서 론

최근 로봇공학에서 강인 제어의 필요성이 증가함에 따라 이를 설계하는 여러 가지 방법이 연구되고 있다. 안정도 측면에 있어서 강인한 구조를 가지고 있는 LQ제어가 있고[1], 알고 있는 주어진 상태에 대하여 강인한 특성을 나타내는 슬라이딩 모드 제어가 있으며[2], 시간지연을 이용하여 외란을 표현하는 함수를 직접적으로 예측하여 제거함으로써 좋은 강인성을 나타내는 시간지연 제어 방식이 있다[3]. 또한 모델에 바탕을 두어 실제 시스템과 모델의 차이를 이용하는 제어 방법으로 적응 제어 분야 중 MRAC(Model Reference Adaptive Control)와 유사한 MRRC(Model Reference Robust Control)이 있다[4,5]. 강인 제어 분야에서도 모델을 기초로 한 방법이 많이 제안되고 있다. 특히 외란 관측기를 통한 강인 제어 방법[6]은 모델링 오차, 시스템 파라미터 변화, 외란 등을 모두 외란으로 다루어 제거하는 방법이다. 그러나 여기서 사용되는 역 모델은 실제 구현할 수 없기 때문에 저역 통과 필터인 Q필터를 함께 사용함으로써 외란 관측기가 제거할 수 있는 외란의 주파수 대역이 저 주파수 영역으로 제한된다. 저역 통과 필터의 차단 주파수를 설계 변수로 결정할 수 있다. 그리고 적응 규칙에 의하여 모델의 불확실성, 시스템의 파라미터 변화, 외란으로 인해 발생하는 공칭 플랜트와의 오차를 보상하도록 제어 입력을 발생하는 모델 보상을 가지도록 설계하는 내부 루프 부분과 모델을 추종하도록 하는 제어 입력을 생성하는 외부 루프 부분으로 구성되는 방법이 있다. 즉, 잘 설계된 모델 보상을 가지는 플랜트는 마치 공칭 플랜트처럼 동작하게 된다. 따라서 외부 루프에서는 공칭 플랜트에 대해 시스템 성능을 만족하도록 제어를 설계하면 되어 강인 안정도 및 강인 성능과 공칭 성능을 분리하여 생각할 수 있으므로 이해가 쉽고, 다양한 설계 기법을 적용할 수 있는 장점이 있다. 또한 일반적으로 외란이 있는 경우에 내부모델을 기초로 출력에서 외란의 영향이 나타나지 않는 외란 제거를 고려할 필요가 있어[7], 추정된 외란을 피드포워드(Feedforward) 루프를 통해 제거시켜 주는 외란 관측기를 구성하여 외란 변동 등의 상황에서도 보다 안정적인 동작을 할 수 있도록 한다[8][9].



<그림 1> 외란관측기 구조

2.2 제어 시뮬레이션

도출된 2자유도 플랜트 전달함수 모델에 대해 DOB 제어 알고리즘 시뮬레이션을 수행한다. 다음 식 (1)은 상대차수 2인 도출된 전달함수를 나타낸다.

$$P_2(s) = \frac{6.19s^2 + 44.13s + 6.26 \times 10^5}{s^4 + 226s^3 + 1.09 \times 10^5 s^2 + 2.21 \times 10^7 s + 5.53 \times 10^8} \quad (1)$$

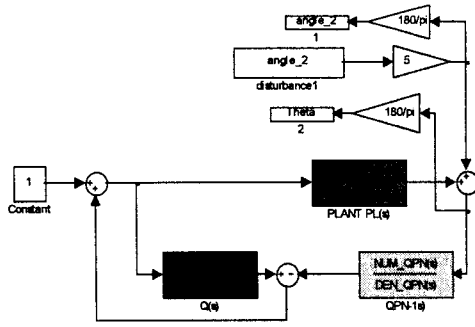
다음 식 (2)는 적용된 Q필터를 나타낸다.

$$Q_{20}(s) = \frac{1}{2.5e - 007s^2 + 0.001s + 1} \quad (2)$$

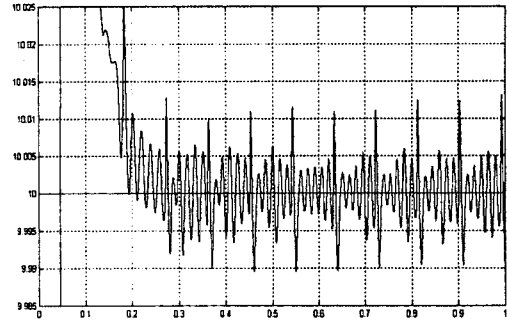
다음 그림 2와 같이 DOB 제어 매트랩 시뮬링 블록을 구성하여 시뮬레이션 한다. 외란은 크기 0.05인 11Hz의 하모닉 성분으로 이루어진 것을 인가한다.

다음 그림 3은 DOB 제어 매트랩 시뮬링으로 시뮬레이션을 수행한 결과를 나타낸다. 외란이 인가되지 않은 기본 모델의 출력 각도(a), 0.05크기의 주기성 외란을 인가했을 때 외란이 그대로 반영된 출력 각도(b), 그리고 동일한 외란이 인가되었을 때 DOB 알고리즘을 적용하여 외란이 제거된 출력 각도 결과(c)를 나타낸다. 95% 정도의 외란 제거 성능을 확인할 수 있다.

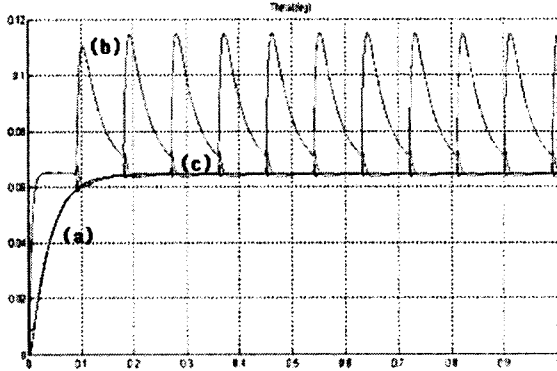
그리고 무인지능형로봇 시스템에는 프로세서의 신뢰성과 수치 연산 및 알고리즘의 빠른 처리를 위해 DSP(Digital Signal Processor)를 주 프로세서로 많이 사용하고 있다. 단일 프로세서로서 제어와 연산을 동시에 수행해야 하고, 전력 소모 또한 작아야 한다[10]. 시스템의 역할을 수행하기 위해서는 기본적으로 운용자 인터페이스, 센서 입력처리, 위치 제어, 발생하는 진동 외란 억제 등의 다양한 기능을 구현할 수 있어야 한다. 이러한 조건을 만족시키기 위해 본 논문에서는 현재 사용 빈도가 높은 TI사의 DSP시리즈



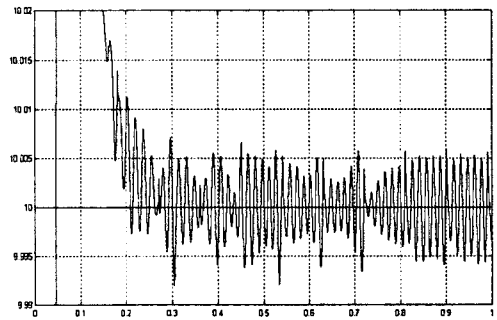
〈그림 2〉 DOB 매트랩 시뮬링크 블록도



〈그림 5〉 DOB 적용 전 외란 인가된 모터 모델 출력각도 결과



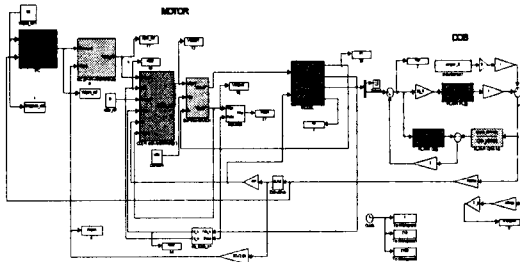
〈그림 3〉 제어 시뮬레이션 결과 비교



〈그림 6〉 제어 시뮬레이션 결과 비교

2.3 모터 모델 실험

시뮬레이션으로부터 검증된 DOB 제어기를 모터 모델에 적용하여 외란이 인가될 때 시스템의 자세 제어를 시뮬레이션으로 검증한다. 외란 제어를 위해 설계된 Q필터는 분모차수가 2이고 분자차수가 0이며 필터 시정수는 0.0005이다. 설계된 Q20필터를 적용하여 DOB 시뮬레이션을 수행하여 만족할 만한 외란 제거 성능을 확인한다. 다음 그림 4는 PMSM (Permanent Magnet Synchronous Motor) 모터시스템 시뮬링크 블록을 구성하여 DOB 알고리즘을 적용한 시뮬링크 블록선도이다.



〈그림 4〉 DOB 적용 모터 모델 시뮬링크 블록도

다음 그림 5는 모터 모델에 외란을 인가하고 DOB를 적용하지 않았을 때 외란이 그대로 반영된 기준입력 10도에 대한 출력각도를 나타낸다. 그림 6은 동일한 외란이 인가되었을 때 DOB를 적용한 모터 모델 시뮬레이션에 대한 출력 각도 결과를 나타낸다. 외란 제거 성능은 95% 정도의 성능을 가짐을 알 수 있다.

3. 결 론

본 논문에서 무인지능형로봇시스템의 외란 관측기를 이용한 자세 제어에 대한 연구를 수행하여 다음과 같은 결론을 얻었다. 제어 알고리즘에 적합한 시스템의 플랜트 전달함수 모델을 도출하고, 외란 제어를 위한 제어 알고리즘으로 외란 관측기를 구성하여 시뮬레이션으로 검증하였다. 또한 PMSM 모터 모델 시뮬링크 블록을 구성하여 DOB 알고리즘을 추가하고 DSP 적용을 위해 매트랩 Toolbox와 CCS로 코드 변환을 수행하여 모터 모델에 대한 시뮬레이션으로 실제 적용성을 검증하였다. 다시말해, 실제적인 매트랩 시뮬레이터와 DSP의 연동에 의해 실제 시스템의 적용 가능성을 확인할 수 있었고, 제어기의 설계와 외란 제거의 최적화를 구현하였으며, 다양한 변화값에 대해서 긍정적인 결과를 얻었다.

〔참 고 문 헌〕

- [1] Peter Dorato, Linear Quadratic Control an Introduction, Pentice-Hall, 1995
- [2] Vadim I. Utkin, "Variable Structure System with Sliding Mode," IEEE Transaction on Automatic Control, Vol. AC-22, No. 2, pp. 212-222, April, 1977
- [3] Kamal Youcef-Toumi, Osamu Ito, "A Time delay Controller for System with Unknown Dynamics," ASME Journal of DSMC, Vol. 112, pp. 133-142, March, 1990
- [4] Karl Johan Astrom, Adaptive Control, Prentice-Hall, 1989
- [5] Mineo Tsuji, Yousuke Umasaki, Ryo Nakayama and Katsuhiro Izumi, "A Simplified MRAC based Sensorless Vector Control Method of Induction Motor," PCC-Osaka 2002, pp. 1090-1095, 2002
- [6] K. Ohnishi, "A new servo method in mechatronics," Transactions on Japanese Society of Electrical Engineering, JSEE, Vol. 107-D, pp. 83-86, 1987
- [7] Hisao Kubota, Kouki Matsuse and Takayoshi Nakano, "Field oriented induction motor drives without speed sensor based on adaptive flux observer and disturbance torque compensation," IECON 91, pp. 1855-1860, 1991
- [8] Chee-Mun Ong, Dynamic Simulation of Electric Machinery, Prentice-Hall PTR, 1998
- [9] N. Kenzo and N. Hidekazu and H. Mitsuo, Matlab을 이용한 제어계 설계, 동경전기대학출판부, pp. 87-102, 1998
- [10] 박기호, "소형·저 전력 프로세서를 이용한 소화기 사격통제장치 주 제어보드 설계기법 연구," 한국군사과학학회지, 제8권, 제2호, pp. 30 -37, 2005.6
- [11] Texas Instrument, TMS320R2811, TMS320F2812 Digital Signal Processors Data maunal (SPRS257B), February, 2005
- [12] Takaji Umeno, Yoichi Hori, "Robust Speed Control DC Servomotors Using Modern Two Degrees-of-Freedom Controller Design," IEEE Transactions on Industrial Electronics, Vol. 38, No. 5, pp. 363-368, October, 1991