

페로식별기법에 의한 TRMS 모델링

Modeling for Twin Rotor System Using CLID

이 정경*, 권 오규**
Jung-Kyung Lee, Oh-Kyu Kwon

Abstract - The closed loop identification(CLID) is a very useful method for on-line applications since it can identify the plant in the closed-loop system composed of the plant and the controller. There are some literatures on CLID, but they are mainly focused on SISO(Single-Input/Single-Output) problem. In this paper, a CLID method is proposed for MIMO(Multi-Input/Multi-Output) systems. The CLID method is applied to a MIMO benchmark plant, TRMS(Twin-Rotor MIMO System). To illustrate the performance of the closed-loop system identification, unit step responses in the TRMS are represented and compared with the open-loop identification via some simulation.

Key Words :System Identification, Twin Rotor MIMO system, Closed Loop System Identification, PID

1. 서론

시스템 식별은 현대 산업공정분야에서 중요한 문제이다. 현재 산업공정에서 대부분의 경우는 개로 식별법을 사용하여 대상 플랜트의 특성을 모델링하고 있다. 일반적인 개로 식별법은 플랜트를 블랙박스(black-box) 모델로 간주하고 입력신호로 랜덤입력 또는 계단입력을 넣은 후 출력 데이터를 관측하여 전달함수 형태의 수학적 모델을 찾는 방식이다.[2] 하지만 이 방식에서는, 유도된 모델의 성능이 만족스럽지 못한 경우가 발생하거나, 플랜트 가동 중에는 식별을 할 수 없기 때문에 플랜트의 특성이 바뀌면 동작을 잠시 멈추고, 시스템을 다시 식별해야 한다. 그리고 식별된 플랜트 특성에 맞추어서 제어기를 재조정(Re-tuning) 해야 한다는 단점을 가지고 있다.[1]

이러한 단점을 보완하기 위해 제시된 페로 식별법은 제어기와 플랜트가 페로 시스템으로 구성된 상태에서 플랜트를 식별하는 기법으로서 on-line 상에서 식별이 가능하고, 개로 식별법에 의한 플랜트 모델이 만족스럽지 못하거나, 제어기가 이미 존재하는 플랜트에 대해서 좀더 정확한 모델을 구하고자 할 때 사용한다. 또한 플랜트 모델이 어느 정도 정확한 경우에는 제어기를 재조정(Re-tuning)하거나 제어기 차수를 축소하는 경우에 활용할 수도 있다[1]. 그런데 지금까지 제시된 페로식별법은 주로 단일출력(SISO) 시스템에만 적용할 수 있으며, 다변수 시스템에 적용하기는 어려운 문제점을 지니고 있다.

이 논문에서는 다변수 시스템에서의 페로 식별법을 제시하고자 한다. 즉, 다변수 시스템에서 페로 식별법을 사용하여 개로 식별법 보다 모델 오차가 더 작은 플랜트 모델을 유도하는 방법을 제시한다. 그리고 제시된 방법의 유용성을 예시하기 위해 다변수 플랜트로서 모형헬기의 일종인 TRMS를 사용한다. 이 플랜트는 주 프로펠러와 보조 프로펠러 각각의 입력이 서로에 출력에 결합되어 있는 대표적인 시험표준(Benchmark) 다변수 시스템이다. TRMS 플랜트에 대해 개로 식별법을 통해 ARX 모델을 유도하고, PID 제어기를 사용할 때에 페로 식별법을 적용하여 구한 모델과 비교한다. 적용실험은 시뮬레이션을 통해 보여주며, 개로 식별법에 의한 플랜트 모델과 페로 식별법에 의한 모델에 대하여 시간영역 성능을 비교함으로써 다변수 시스템에서도 페로 식별법이 좀 더 실제 플랜트에 가까운 모델을 유도하는 것을 예시한다

2. 플랜트 모델의 구성

2.1 TRMS 장치의 구성

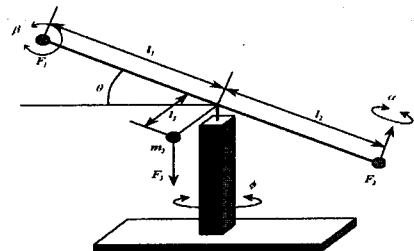


그림 1. TRMS 장치의 구성도

α : horizontal position of TRMS beam[rad]
 β : vertical position of TRMS beam[rad]

저자 소개

* 準會員 : 仁荷大學 電氣學科 碩士課程

** 正會員 : 仁荷大學 電氣學科 正教授 · 工博

대상플랜트로 사용한 TRMS의 구성은 [그림1]과 같다. 두 개의 프로펠러 장치는 마찰력을 줄이고 상하 좌우로 자유롭게 움직일 수 있도록 볼 베어링으로 지지대와 연결되어 있고, 각각 l_1, l_2 의 길이를 갖는 프로펠러와 지지대간의 팔은 프로펠러의 힘을 토크로 변화시켜 축에 회전을 일으키며 수직방향 회전(각 θ)과 수평방향 회전(각 ϕ)이 각각 하나의 프로펠러에 의해서 주로 영향을 받도록 서로 직교하는 방향으로 연결되어 있다. 이 장치는 각각의 프로펠러의 관성력이 상호 작용을 하여 회전각에 서로 영향을 미치는 다변수 시스템이다. 그리고 두 팔간의 무게와 전체 시스템의 안정성을 위해 지지대 중심에는 m_3 질량의 추가 달려 있으며, 각 θ (수직 방향), ϕ (수평 방향)의 회전각 측정을 위해 디지털 엔코더가 수직과 수평방향으로 장치되어 있다.[3]

2.2 TRMS의 수학적 모델

TRMS의 구성을 블록선도로 나타내면 아래 [그림2]와 같다. 입력전압 U_1 과 U_2 는 프로펠러를 구동하는 전동기의 입력이고 전동기의 전달함수는 다음과 같이 1차로 표현된다.

$$\frac{w}{U} = \frac{K_m}{T_m s + 1}, w : \text{각속도} \quad (1)$$

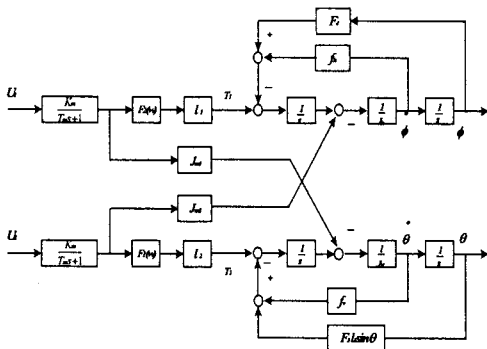


그림 2. TRMS 장치의 구성 블록선도

최대허용 제어전압은 $\pm 10V$, 전동기의 각속도는 프로펠러의 수직인 팔에 F 의 힘으로 작용함으로써 각축이 회전하게 된다. 운동량 보존의 법칙에 의해서 회전에 의한 각운동량은 프로펠러 지지대에 의해서 보상되며, 전동기와 프로펠러의 관성력 즉, J_{m1} 과 J_{m2} 는 각각의 전달함수에 상호작용을 하게 된다. 각각 l_1, l_2 길이를 가지는 팔에 가해지는 힘 F_1, F_2 의 곱은 회전토크를 발생시키며, 발생된 토크는 이차함수로 표시, 기계적 전달의 입력으로 가해진다. 또한 J_ϕ 와 J_θ 는 각각 팔과 프로펠러에 의해 발생하는 수직성분과 수평성분의 관성력이고 f_ϕ, f_θ 는 각 방향으로의 마찰력을 나타낸다. F_1, F_2 는 전동기의 회전에 의한 양력으로서 회전의 속도 w 와 다음과 같은 비선형 관계로 표시된다.[3]

$$F_i = C_T \lambda (wR)^2 \pi R^2, i = 1, 2 \quad (2)$$

여기서, C_T 는 양력계수, λ 는 공기밀도, R 은 각 프로펠러의

지름을 나타낸다. 이 대상 시스템은 위에서 살펴본 바와 같이 비선형성을 지니고 있다.

3. TRMS의 시스템식별

대상 시스템의 식별을 위해 아래와 같은 절차를 사용한다. [1]

- 플랜트에 대한 개로 식별/ 식별모델 평가
- 개로 모델에 대한 제어기 설계
- 플랜트에 대한 폐로 식별/ 식별모델 비교 평가
- 가장 근사한 플랜트 모델 유도
- 근사 플랜트모델에 대한 제어기 설계

위의 각단계를 통해서 TRMS에 대한 모델을 유도하고 성능을 비교해보기로 한다.

3.1 개로 식별법

개로 식별법을 사용하기 위해 먼저, 시뮬레이션에서 TRMS의 전달함수 블록을 플랜트로 가정하고, 평형점에서 입력단에 영평균 랜덤 입력과 출력력을 관측. 임.출력 데이터를 이용하여 개로 식별법 중 하나인 ARX모델로 유도를 하였다. 이때 TRMS가 다변수 시스템 이므로, 보조 프로펠러 모터 입력에 따른 각각의 출력과 주프로펠러 모터에 대해서 각각 전달함수를 유도하였고, 주프로펠러 입력에 따른 출력 역시 이와 같은 방법으로 유도하였다. 샘플간격은 일반적인 프로세서에서 구현하기 쉬운 0.1초 간격으로 하였으며, 각각에 전달함수에 대해서는 2차 다항식 형태로 유도 하였다. 개로 식별에서 전달함수를 (3),(4)에 대한 다항식 형태로 사용한다.[2]

$$G(q) = q^{-nk} \frac{B(q)}{A(q)} ; H(q) = \frac{1}{A(q)} \quad (3)$$

$$A(q) = 1 + a_1 q^{-1} + \dots + a_{na} q^{-na}$$

$$B(q) = b_1 + b_2 q^{-1} + \dots + b_{nb} q^{-nb+1} \quad (4)$$

$$A(q)y(t) = B(q)(t - nk) + e(t) ;$$

na, nb : 분모,분자 다항식 차수, nk : 지연시간

q^{-1} : 지연 연산자

시뮬레이션에서는 $na = 2, nb = 3, nk = 0$ 으로 설정하며

개로 식별은 [그림3]과 같은 방법으로 수행한다.

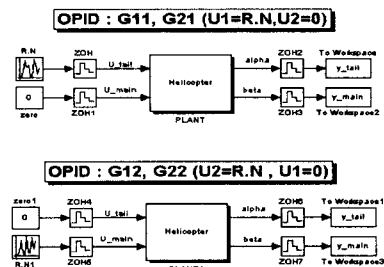


그림 3. 개로 식별 시뮬레이션 블록

3.2 페로 식별법.

페로 식별법은 제어기와 플랜트가 연결된 상태에서 입,출력 데이터를 이용하여 시스템 식별을 한다.페로 식별법을 적용하기 위한 기본구성은 [그림4]와 같다.

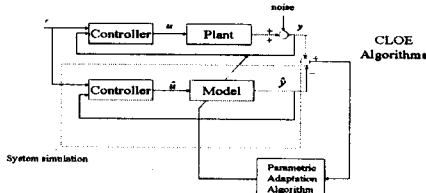


그림4. CLOE(Close-Loop output error) Algorithm

[그림4] 에서 페로 식별법을 적용하기 위해서 제어기 블록은 RST형태로 들어간다.[1] TRMS에 병렬형PID 제어기를 사용하는 경우에는 이것을 RST제어기 블록으로 변환시켜 주어야 하므로 제어 입력을 [그림5]처럼 PID에서 RST형태로 변환한다.

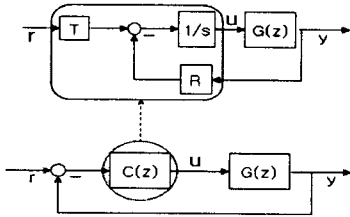


그림5. PID제어기의 RST 형태 변환

[그림5]의 과정을 처리하기 위해 제어입력과 되먹임 오차신호에 관계를 통해서 아래 식처럼 PID를 RST형태로 변형할 수 있다.[5]

$$U(t) = S(z^{-1})u(t) + T(z^{-1})r(t) - R(z^{-1})y(t) \quad (5)$$

$$C(z) = K_p + K_i \frac{Tz}{z-1} + K_d \frac{z-1}{Tz}$$

$$T = (K_p + K_i T_s + K_d/T_s) - (K_p + 2K_d/T_s)z^{-1} + (K_d/T_s)z^{-2}$$

$$S = 1 - z^{-1}$$

$$R = T_s \text{ (단위 되먹임의 경우)}$$

여기서 T_s 는 샘플링 시간이다. (6)

식(5),(6)에서처럼 제어기 블록을 이산형으로 변환하여 사용하며, 플랜트의 결합된 항은 무시하고, 제어기를 주-프로펠러와 보조-프로펠러 각각에 대한 성분에 대해서만 작용하는 것으로 놓고 페로식별법을 적용한다.

4. 결과 및 결론

모의실험 결과는 [그림6],[그림7]과 같다.[그림6]은 보조 프로펠러에 대한 플랜트와 OPID, CLID의 단위계단응답 출력이며, [그림7]은 주 프로펠러에 대한 단위 계단응답이다. 결과그림을 살펴보면, 페로 식별법에 의한 모델의 출력 응답이 개로 식별 모델보다 플랜트 출력응답에 더 근접하는 양상으로 추종함을 확인할 수 있다.

이 연구에서 제시한 페로식별법은 다변수 시스템의 비대각

항 결합계수가 작은 경우에는 효과적이지만, 그렇지 않은 경우에는 이를 보상할 수 있는 방법에 대한 연구가 필요하다.

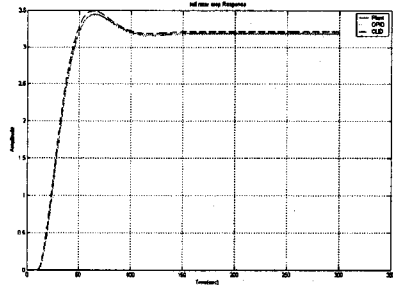


그림6. 플랜트와 각 식별 모델의 보조-프로펠러 단위계단응답 .

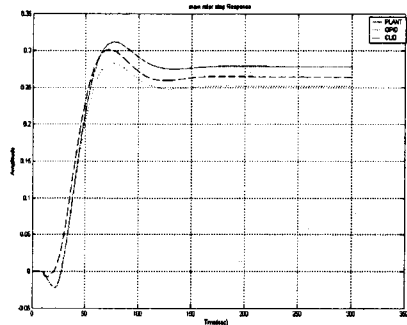


그림7. 플랜트와 각 식별 모델의 주-프로펠러 단위계단응답

참 고 문 헌

- [1] I.D. Landau: "Identification in Closed Loop: a Powerful Design Tool (better design models, simpler controllers)" *MIC'04, Tutorial*, February 2004
- [2] L.Ljung, *System Identification Theory for the User*, Second Edition, Prentice Hall, New Jersey, USA, 1999
- [3] 이승국, 이명의, 권오규, "전실한 다변수 제어에 의한 모형 헬리콥터의 자세제어기 설계 및 실현", *제어·자동화·시스템공학 논문지*, 1호, 제 4권, pp32-37, 1998. 2.
- [4] L.Ljung: *System Identification Toolbox: For use with MATLAB*, The Mathwork Inc., Mass ,USA, 1995
- [5] 권옥현, 권오규. *자동제어공학*, 청문각, 2003.