

H_∞ 성능을 가지는 안정화 예측제어 : 상태공간 접근법

Stabilizable Predictive Control with H_∞ performance : The State-space approach

정 중 남, 조 상 현*, 전 재 완*, 박 흥 배**

* 경북대학교 전자전기공학부(TEL : +82-053-940-8648 ; E-mail : jjnami@palgong.knu.ac.kr)

** 경북대학교 전자전기공학부(TEL : +82-053-950-5548 ; E-mail : hbpark@ee.knu.ac.kr)

Abstract : This paper presents a predictive control with H_∞ suboptimal performance which is robust to disturbances and has a guaranteed stability. In order to derive the control law conveniently, state-space based approach, where the state variable is involved explicitly in the controller design and implementation, is allowed. So an input-output model is converted to an equivalent observable canonical state-space form. The suggested control guarantees the norm bounded system output values from disturbances. A systematic way using the LMI method is presented to obtain appropriate parameters for Quadratic stability condition and optimization problem.

Keywords : predictive control, H_∞ suboptimal performance, state-space model, Quadratic stability, LMI

1. 서론

예측제어는 과거의 입출력 데이터와 미리 가정된 제어입력, 그리고 플랜트의 모델을 이용하여 유한구간영역의 미래 출력을 예측하여 외부 기준입력과의 오차를 감소시키는 방향으로 이루어진다. 예측제어에 적합한 접근 모델로 상태공간 모델과 입출력 모델이 사용되고 있으나, 안정성(stability)과 성능(performance)에 대한 분석이 상태공간에서 용이하기 때문에 최근에는 상태공간에서의 예측제어에 대한 연구[1]가 활발히 이루어지고 있다. 이러한 상태공간에서의 예측제어에 관한 연구는 상태공간 접근법이 현대 예측제어이론의 기본적인 면서도 중요한 위치를 차지하게 하였다. 상태공간 모델에서는 입출력의 관계가 상태벡터라는 임의의 양으로 표현되므로 적응제어와 예측제어에서는 입출력 모델을 근거로 한 상태공간 표현식의 접근법이 연구, 발전되어 왔다.

대표적 형태의 입출력 모델은 이산치 적응제어에서 일반적으로 사용되는 ARX(autoregressive moving average with exogenous) 모델로 현재의 출력이 과거의 입출력의 조합으로 표현된다. Juang 등[2-4]은 ARX 모델의 상태공간으로의 변환방법을 제시하여 등가 ARX 모델을 가관측성 표준형이나 가제어성 표준형 상태공간 표현식의 모델로 변환하였다. 본 논문에서는 시스템 안정성 해석과 성능 분석을 용이하게 하기 위해 ARX 모델을 가관측성 표준형 상태공간 모델로 변환하여 접근하였다.

시스템에 추가되는 외란 등이 전체시스템의 안정성 문제와 성능에 많은 영향을 미친다는 것은 여러 연구를 통해 확인되었으며 이를 해결하기 위한 많은 연구들이 이루어져 왔다. 이러한 외란 등에 강한 제어기법으로 H_∞ 제어기법이 있다. 이 제어기법은 외란에 대한 시스템 출력을 H_∞ 노름(norm) 한계치로 제한함으로써 시스템의 안정성 및 성능을 보장한다. Doyle, Glover 등 [5]이 체계화한 이 이론은 많은 다른 이론에 접목되어 시스템의 안정성 문제에 기여해 왔으며 예측제어 분야에도 최대-최소 알고리즘 등[6]과 같이 H_∞ 이론을 적용하려는 노력이 이루어져 왔

다. 그러나 예측제어 분야를 상태공간에서 적용[7]하는 문제가 있어서는 체계적으로 H_∞ 이론을 적용하는 방법이 제시되지 않았다.

따라서, 본 논문에서는 상태공간에서의 이산치 시스템 H_∞ 제어기법[8]을 도입, 적용하여 예측제어시스템에서의 외란에 대한 출력값을 γ 값 이하로 제한함으로써 시스템의 성능향상 및 시스템 안정성을 확보한다. 자승적 안정성 보장을 위해 리아푸노프 함수를 이용하고 예측제어에서의 최적화 문제와 H_∞ 이론을 동시에 만족하는 성능지수를 제시한다. 이러한 리아푸노프 함수와 성능지수를 이용하여 시스템의 자승적 안정성과 성능을 보장하는 제약조건을 구한다. 제어기를 설계하고 제어입력을 구하기 위한 파라미터를 얻기 위해서 선형행렬부등식(LMI: linear matrix inequality)[9]을 이용한다.

본문의 구성은, 먼저 2장에서 등가 ARX 모델의 변환된 가관측성 표준형 상태공간 모델과 이를 바탕으로 하여 가정하는 출력측 외부 외란입력에 대한 예측구간까지의 미래 예측출력을 구하고, 3장에서는 H_∞ 노름 한계조건 γ 를 만족하는 예측제어시스템의 성능지수와 리아푸노프 함수를 이용한 자승적 안정화 조건을 제시하고, 4장에서는 성능지수와 안정화 조건을 이용하여 구한 전체 폐루프시스템 자승적 안정화 조건으로부터 제어시스템 설계를 위한 파라미터를 구하는 선형행렬부등식을 제시한다. 그리고, 마지막으로 5장에서 본 논문에서 제시되는 이론적 의미를 토대로 한 결론을 맺는다.

2. 상태공간 표현식과 예측출력

2.1 가관측성 표준형 상태공간 모델

이 절에서는 주어진 ARX 입출력 모델을 상태벡터설정 및 시간축이동 등을 이용하여 가관측성 표준형 상태공간 모델로 변환한다.

시스템 출력이 p 차원의 과거 입출력의 조합으로 이루어진 ARX 모델

본 논문은 동일문화재단의 2000사회학술문화사업 지원으로 수행되었음.