최적화 기법을 이용한 외란 억제 및 고장 분리에 대한 고유구조 지정

Eigenstructure Assignment Using Optimization Method for Disturbance Suppression and Fault Isolation

°서 영 봉*, 최 재 원**

* 부산대학교 기계공학부(Tel : 051-510-3203; Fax : 051-514-0685 ; E-mail: ybseo@hyowon.pusan.ac.kr)
** 부산대학교 기계공학부(Tel : 051-510-2470; Fax : 051-514-0685 ; E-mail: choijw@hyowon.pusan.ac.kr)

Abstract : In this paper, we present a systematic optimization method that has flexibility of exact assignment of eigenstructure with disturbance suppression and fault isolation capability. The eigenstructure for fault isolation is assigned by the inclusion of a eigenstructure assignment problem in the objective function as well as a disturbance suppression term is also included in the objective function enhance the robustness of the control scheme. The proposed scheme is applied to designing a simple system to confirm the usefulness of the scheme.

Keywords : eigenstructure assignment, disturbance suppression, fault isolation, optimization

I. 서론

시스템에서 발생할 수 있는 다양한 고장들을 서로 분리하고, 외란, 잡음, 비선형 효과, 그리고 고장이 아닌 정상적인 매개변수 변화와 같은 비고장요소들과 고장을 정확히 구별해 내기 위해서는 효과적이며 강인한 고장 검출 및 분리 기법에 대한 연구가 이루어져야 한다[1-4]. 그러나, 기존의 관측기, 확률 추정필터, 패리티 공간, 매개변수 추정 등과 같은 방법으로는 구조의 제약으로 인하여 고장 분리와 외란 억제를 동시에 만족시키는 것은 불가능하다. 좌 고유구조 지정기법의 경우, 시스템의 좌 고유구조(고유치와 좌 고유벡터)의 적절한 지정을 통하여 제어력의 효과적인 전달 능력과 외란의 억제 능력을 동시에 가진 제어기의 설계가 가능하지만[5-8], 좌 고유벡터는 외란 입력행렬에 수직, 고장 입력행렬에 평행해야하므로 동시에 만족시키는 것은 불가능하다.

한편, 관측기 설계 문제에 제어기의 쌍대(dual) 문제로서 고유구조 지정기법이 사용되어 왔다[2-4]. 즉, 제어기에서의 우(좌) 고유구조는 관측기에서는 좌(우) 고유구조에 대응되므로 이러한 관계에 기초하여 관측기 설계문제에서는 주로 좌 고유구조의 지정에 관한 연구가 수행되었다.

최근에 Liu와 Si[1]는 새로운 고장 검출 필터 설계 방법을 제안하였는데, 제안된 필터는 그 목적을 근사적으로 동시 다발적인 고장을 하나의 전상태 관측기를 통하여 분리하는데 두고 있다. Choi와 Lee[2]는 좌 고유구조 지정 개념을 관측기에 도입한 새로운 고장 분리 필터 설계법을 제안하여 Liu와 Si의 결과보다 나은 결과를 얻을 수 있음을 보였다.

그러나, 이들의 기법에 사용된 설계 구조는 외란에 대한 어떠한 고려도 할 수 없거나 고려를 하여도 두 설계 조건(고장 분리와 고장 억제)을 동시에 만족할 수 없게 되어 있고, 관측기의 안정성 문제와 분리 가능한 고장의 갯수에 한계가 있었다. 따라서, 본 논문에서는 고유구조 지정기법을 이용하여 외란과 독립된 잔차를 만들기 위한 새로운 알고리즘을 제시하여 외란 억제와 고장 분리가 동시에 가능하도록 한다. 요구되는 고유구조와 외란의 상태추정오차를 동시에 새로운 성능지수로 정의하여 최적화하는 기법을 제시하고, 간단한 예제 시스템에 적용하여 타당성과 유용성을 검증한다.

II. 문제 설정

잔차 생성과 응답에 대해 알아보기 위해 다음과 같이 미지 입력항이 첨가된 연속 시스템을 고려하자.

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t) + L\xi(t) + Rf(t) \tag{1}$$
$$y(t) = Cx(t) \tag{2}$$

여기서, $x(t)\in\mathbb{R}^n$은 상태 벡터, $y(t)\in\mathbb{R}^r$은 출력 벡터, $u(t)\in\mathbb{R}^m$은 기지(known) 입력 벡터, 그리고 $\xi(t)\in\mathbb{R}^q$는 미지(unknown) 입력(또는 외란) 벡터로서 강도 Ξ인 0-평균 백색잡음(white noise)으로 가정하고, $f(t)\in\mathbb{R}^a$는 미지 시간 함수로 고려된 고장 벡터를 나타낸다. A, B, C 및 L은 각각 적합한 차원을 가진 알려진 행렬들이다. 행렬 R은 시스템 고장이 감지되고 분리되는 곳을 설계자가 알아내었다고 가정했을 때의 고장 분포행렬이다.

전차수 관측기에 기초한 상태추정벡터 방정식은 다음과 같이 표현된다.

$$\begin{aligned}\dot{\hat{x}}(t) &= A\hat{x}(t) + Bu(t) + H(y(t) - C\hat{x}(t)) \\ &= (A-HC)\hat{x}(t) + Bu(t) + Hy(t)\end{aligned} \tag{3}$$

$$\hat{y}(t) = C\hat{x}(t) \tag{4}$$

$$r(t) = Q(y(t) - \hat{y}(t)) \tag{5}$$

여기서, $r(t)\in\mathbb{R}^p$는 잔차 벡터, $\hat{x}(t)$와 $\hat{y}(t)$는 각각 상태와 출력 추정치이다. 행렬 $Q\in\mathbb{R}^{p\times m}$는 잔차에 대한 가중 인자이다. 잔차는 출력 추정치 오차의 선형 변환이므로, 잔차 차원 p는 출력 차원 m보다 작거나 같다.

식 (3)-(5)의 잔차 생성기가 식 (1)-(2)의 시스템에 인가되면, 상태 추정오차와 잔차는 다음 식에 의해 지배를 받게 된다.

$$\dot{\tilde{x}}(t) = (A-HC)\tilde{x}(t) + L\xi(t) + Rf(t) \tag{6}$$

$$r(t) = QC\tilde{x}(t) \tag{7}$$

여기서, $\tilde{x}(t) = x(t) - \hat{x}(t)$이다. 잔차와 외란에 Laplace 변환을 적용하면 잔차 응답은 다음과 같다.

$$r(s) = QC(sI-A+HC)^{-1}Rf(s) + QC(sI-A+HC)^{-1}L\xi(s) \tag{8}$$