

논문 2012-49-10-22

변수 불확실성을 가지는 시스템에 대한 견실비약성 H_∞ 칼만형필터 설계: PLMI 접근법

(Design of Robust and Non-fragile H_∞ Kalman-type Filter
for System with Parameter Uncertainties: PLMI Approach)

김 준 기*, 양 승 협**, 방 경 호***, 박 흥 배****

(Joon Ki Kim, Seung Hyeop Yang, Kyung Ho Bang, and Hong Bae Park)

요 약

본 논문에서는 변수 불확실성과 필터이득 섭동을 가지는 시스템에 대한 견실비약성 H_∞ 칼만형필터 설계기법을 제안한다. 필터가 존재할 충분조건과 견실비약성 H_∞ 필터 설계기법을 선형행렬부등식 (LMI: Linear Matrix Inequality 접근법으로 제안하고 시스템과 필터의 불확실성을 매개변수화 선형행렬부등식(PLMI: Parameterized Linear Matrix Inequality)으로 구조화된 불확실성의 형태로 표현한 후 Lyapunov 함수를 통해 시스템의 불확실성과 더불어 필터이득섭동을 고려한 칼만형 H_∞ 필터가 존재할 충분조건과 필터설계기법을 PLMI 형태로 보인다. PLMI는 무한개의 LMI의 형태로 나타나므로 완화기법(relaxation technique)을 적용하여 유한개의 LMI의 형태로 변환한 후 견실하고 최적화된 필터이득과 필터섭동범위를 계산하고, 예제와 모의실험을 통해 제시된 필터의 타당성을 검증한다.

Abstract

In this paper, we describe the synthesis of robust and non-fragile Kalman filter design for a class of uncertain linear system with polytopic uncertainties and filter gain variations. The sufficient condition of filter existence, the design method of robust non-fragile filter, and the measure of non-fragility in filter are presented via LMIs(Linear Matrix Inequality) technique. And the obtained sufficient condition can be represented as PLMIs(parameterized linear matrix inequalities) that is, coefficients of LMIs are functions of a parameter confined to a compact set. Since PLMIs generate infinite LMIs, we use relaxation technique, find the finite solution for robust non-fragile filter, and show that the resulting filter guarantees the asymptotic stability with parameter uncertainties and filter fragility. Finally, a numerical example will be shown.

Keywords : Kalman, Robust filter, Non-fragile, H_∞ , PLMI

* 정회원-교신저자, LIG 넥스원 구미 기술연구소
(Gumi R&D Center, LIG Nex1)

** 학생회원, **** 정회원, 경북대학교 전자공학부
(Dept. of Electronics Engineering, Kyungpook
National University)

*** 정회원, 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수
(Dept. of Computer and Electronic Engineering,
Myongji College)

※ 이 논문은 2012학년도 경북대학교 학술연구비에 의
하여 연구되었음.

접수일자:2012년6월19일, 수정완료일:2012년10월3일

I. 서 론

칼만필터 접근법은 선형 상태공간 모델로 표현된 시스템에 대한 상태추정에 우수한 성능을 보이고 있으며 칼만필터 기법이 공개된 이래로 제어공학, 목표추적, 통신 및 신호처리에까지 적용되고 있다. 그러나 시스템모델을 정확하게 분석하지 않은 경우 칼만필터 접근법을 적용하면 큰 성능저하를 야기할 수 있으므로 견실성에

기반한 필터 설계기법이 필요하다. 또한 칼만필터 자체의 이득섭동과 외란이 존재할 경우에도 필터이득 섭동에 의해 상태추정 성능이 악화될 수 있으므로 비약성 및 외란감쇠를 고려한 필터 설계가 필요하다.^[1-6]

따라서 본 논문에서는 시스템의 상태추정 성능향상을 위해 견실비약성 H_∞ 칼만형 필터 설계기법을 제안한다. 시스템과 필터의 불확실성을 구조화된 형태로 나타내고 Lyapunov 함수와 변수치환, 슈어 여수정리를 통해 견실비약성 H_∞ 필터가 존재할 충분조건을 PLMI 형태로 제시한다. PLMI는 변수 불확실성 정도에 따라 무한개의 LMI 형태로 나타날 수 있으나 완화기법을 적용하여 유한개의 LMI로 정리하면 이로부터 시스템의 불확실성, 필터이득섭동, 외란이 존재하더라도 추정성능이 보장되는 해와 더불어 비약성의 척도와 견실비약성 필터 이득까지 함께 구할 수 있다. 마지막 절에서는 제안한 필터 설계방법의 타당성을 예제와 모의실험을 통해 확인한다.

II. 문제 설정

변수 불확실성을 가지는 선형시스템

$$\begin{aligned} \dot{x}(t) &= A(t, \alpha)x(t) \\ y(t) &= C(t, \alpha)x(t) \end{aligned} \quad (1)$$

을 다룬다. 여기서 $x(t) \in R^n$ 은 상태변수, $y(t) \in R^m$ 은 측정출력, 시스템행렬 $A(t, \alpha)$ 와 $C(t, \alpha)$ 는 적절한 차원과

$$\begin{aligned} A(t, \alpha) &= A_0 + \sum_{i=1}^L \alpha_i(t) A_i, \\ C(t, \alpha) &= C_0 + \sum_{i=1}^L \alpha_i(t) C_i, \\ \alpha(t) &\geq 0, \sum_{i=1}^L \alpha_i = 1, i = 1, 2, \dots, L \end{aligned} \quad (2)$$

의 시변구조를 가지고, 구조화된 불확실성(structured uncertainty)을 폴리토프 형태로 표현한다.

시스템 (1)에 대해 외란을 고려한 전차수(full-order) 필터는

$$\begin{aligned} \dot{x}_f(t) &= A_f x_f(t) + K(t, \beta) [y(t) - C_f x_f(t)] + B_f w(t) \\ y_f(t) &= C_f x_f(t) \end{aligned} \quad (3)$$

이며, 여기서 $x_f(t)$ 는 필터의 상태, $w(t)$ 는 제한된 에너지를 가지는 외란입력, A_f 와 B_f 와 C_f 는 필터행렬이다. (1)과 (3)으로부터 필터의 추정오차는

$$e(t) = x(t) - x_f(t) \quad (4)$$

이고, 추정오차의 다음 상태 $\dot{e}(t)$ 는

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) &= \dot{x}(t) - \dot{x}_f(t) \\ &= A(t, \alpha)x(t) \\ &\quad - \{A_f x_f(t) + K(t, \beta) [y(t) - C_f x_f(t)] + B_f w(t)\} \\ &= A_k(t, \alpha, \beta)x(t) - A_{kf}(t, \beta)x_f(t) - B_f w(t) \end{aligned} \quad (5)$$

이며, 여기서

$$\begin{aligned} A_k(t, \alpha, \beta) &= A(t, \alpha) - K(t, \beta) C(t, \alpha) \\ A_{kf}(t, \beta) &= A_f - K(t, \beta) C_f \end{aligned} \quad (6)$$

이다.

(3)으로부터 견실비약성 필터이득과 변동영역을

$$\begin{aligned} K(t, \beta) &= K_0 + \sum_{j=1}^L \beta_j(t) \tilde{K}_j, \quad \tilde{K}_j = K_j - K_0, \\ \beta_j(t) &\geq 0, \sum_{j=1}^L \beta_j(t) = 1, j = 1, 2, \dots, L \end{aligned} \quad (7)$$

으로 정의한다. 여기서 $K(t, \beta)$ 는 필터이득의 변동영역이고, K_0 는 여기되지 않은 공칭 필터이득, \tilde{K}_j 는 필터의 이득변화에 대비한 비약성의 척도를 나타낸다.

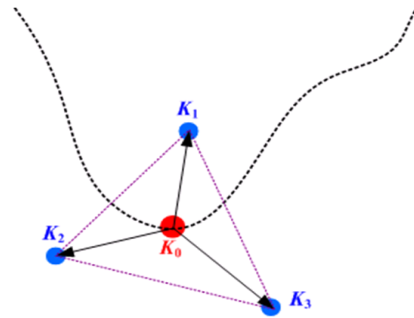


그림 1. 비약성 제어의 기본 배경
Fig. 1. The basic concept of non-fragile control.

III. 견실비약성 필터 설계

본 절에서는 필터 (3)의 추정성능을 보장하는 견실비약성 필터의 존재조건과 설계방법을 제시한다. 다음 정

리는 Lyapunov 함수를 이용하여 추정성능을 판별하는 해법을 보인다.

보조정리 1: 필터이득 (7)을 가지는 필터의 추정오차 (4)는 다음 조건을 만족하는 양한정행렬(positive-definite matrix) P 가 존재하면 점근적으로 안정하다.

$$\begin{bmatrix} A_k^T(t, \alpha, \beta)P + PA_k(t, \alpha, \beta) & & \\ * & & \\ -A_k^T(t, \alpha, \beta)P - PA_{kf}(t, \beta) & & \\ A_{kf}^T(t, \beta)P + PA_{kf}(t, \beta) & & \end{bmatrix} < 0. \quad (8)$$

여기서 *는 대칭행렬(symmetric matrix)의 주 대각선 아래 놓이는 요소이다.

증명: 필터의 추정오차의 점근적 안정성을 위해 적절한 Lyapunov 후보(candidate) 함수를

$$V(x, t) := e^T(t)Pe(t) \quad (9)$$

로 정의한다. 미분 $\dot{V}(x, t)$ 를 시스템 (1)과 필터 (3)에 대하여 구하면

$$\begin{aligned} \dot{V}(x, t) &:= e^T(t)Pe(t) + e^T(t)\dot{P}e(t) \\ &= [A_k(t, \alpha, \beta)x(t) - A_{kf}(t, \beta)x_f(t)]^T P[x(t) - x_f(t)] \\ &\quad + [x(t) - x_f(t)]^T P[A_k(t, \alpha, \beta)x(t) - A_{kf}(t, \beta)x_f(t)] \end{aligned} \quad (10)$$

이다. $\xi(t) = [x^T(t) \ x_f^T(t)]$ 라 정의하면 (10)은

$$\begin{aligned} \xi^T(t) &\begin{bmatrix} A_k^T(t, \alpha, \beta)P + PA_k(t, \alpha, \beta) & & \\ * & & \\ -A_k^T(t, \alpha, \beta)P - PA_{kf}(t, \beta) & & \\ A_{kf}^T(t, \beta)P + PA_{kf}(t, \beta) & & \end{bmatrix} \xi(t) \\ &:= \xi^T(t)S_f(t, \alpha, \beta)\xi(t) \end{aligned} \quad (11)$$

로 표현할 수 있고, (11)이 자승적으로 안정하기 위한 필요충분조건이 $S_f(t, \alpha, \beta) < 0$ 이므로 필터의 추정오차 (4)는 점근적으로 안정하게 된다. ■

정리 1: 변수불확실성과 외란, 이득섭동을 가지는 필터 시스템에 행렬 $M_0, M_j (j=1, 2, \dots, L)$ 와 양한정 행렬 P , 양수 σ 가 존재하면 필터의 추정오차가 점근적으로 안정하고 외란감쇠율 γ 와 비약성을 가진다.

$$\begin{bmatrix} \phi_1 & \phi_2 & -PB_f & 0 \\ * & \phi_3 & PB_f & C_f^T \\ * & * & -\sigma I & 0 \\ * & * & * & -I \end{bmatrix} < 0. \quad (12)$$

여기서 각 변수는

$$\begin{aligned} \phi_1 &= A^T(t, \alpha)P + PA(t, \alpha) - C^T(t, \alpha)M^T - MC(t, \alpha) \\ \phi_2 &= -A^T(t, \alpha)P - PA_f + C^T(t, \alpha)M^T + MC_f \\ \phi_3 &= A_f^T P + PA_f - C_f^T M^T - MC_f \\ M_0 &= PK_0, \quad M_j = \tilde{P}K_j, \quad \sigma = \gamma^2 \end{aligned} \quad (13)$$

이다.

증명: 보조정리 1을 만족할 때 필터의 추정오차는 점근적으로 안정하므로, H_∞ 성능을 만족시키기 위해 성능지수를

$$J \leq \int_0^\infty [y_f^T(t)y_f(t) - \gamma^2 w^T(t)w(t) + \dot{V}(x, t)] dt \quad (14)$$

로 설정하고 (10)과 (14)를 정리하면

$$J \leq \begin{bmatrix} x(t) \\ x_f(t) \\ w(t) \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} \phi_4 & \phi_5 & -PB_f \\ * & \phi_6 & PB_f \\ * & * & -\gamma^2 I \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ x_f(t) \\ w(t) \end{bmatrix} \quad (15)$$

이며 여기서

$$\begin{aligned} \phi_4 &= A^T(t, \alpha)P + PA(t, \alpha) \\ &\quad - PK(t, \beta)C(t, \alpha) - C^T(t, \alpha)K(t, \beta)^T P \\ \phi_5 &= -A^T(t, \alpha)P - PA_f \\ &\quad + PK(t, \beta)C_f + C^T(t, \alpha)K(t, \beta)^T P \\ \phi_6 &= A_f^T P + PA_f - PK(t, \beta)C_f - C_f^T K(t, \beta)^T P + C_f^T C_f \end{aligned} \quad (16)$$

이고 (12)는 변수치환과 슈어 여수정리를 이용하여 얻을 수 있다. ■

제한한 견실비약성 H_∞ 필터의 필터이득 (7)이 존재하기 위한 충분조건은 PLMI와 완화기법을 통해 얻을 수 있다.

보조정리 2^[7]: 행렬부등식 (12)를 같은 다각형 집합으로 합치면

$$M_0(z) + \sum_{i=1}^L \theta_i M_i(z) + \sum_{1 \leq i \leq j \leq L} \theta_i \theta_j M_{ij}(z) < 0 \quad (17)$$

와 같은 PLMI 형태를 구할 수 있다. 여기서 z 는 결정 변수이고, $M_i(z)$ 와 $M_{ij}(z)$ 는 z 에 대한 어파인 대칭행렬함수이며, 변수 θ 는

$$\theta \in \Gamma := \left\{ \theta = (\theta_1, \theta_2, \dots, \theta_L) : \sum_{i=1}^L \theta_i = 1, \theta_i \geq 0, i = 1, 2, \dots, L \right\} \quad (18)$$

의 폴리토프이다.

(12)와 (17)으로부터 제안한 견실비약성 H_∞ 칼만형필터가 존재하기 위한 충분조건은 PLMI의 형태로 표현되지만 일반적인 LMI의 해를 구하는 것과는 달리 PLMI는 변수에 따라 무한히 생성되는 LMI로부터 해를 찾아야하는 문제가 발생한다. 이는 완화기법을 사용하여 PLMI를 유한한 수의 LMI로 변환함으로써 해결할 수 있다.

정리 2^[7]: (12)와 (17)으로부터 변수 불확실성을 가지는 필터시스템에 다음 조건을 만족하는 행렬 M_0 , $M_i (i=1, 2, \dots, L)$, $N_j (j=1, 2, \dots, L)$ 와 양정행렬 P , 양수 σ 가 존재하면 필터의 추정오차가 점근적으로 안정하고 필터시스템이 비약성과 외란감쇠율 γ 를 만족한다.

$$\begin{aligned} & x^T M_0(z) x + \sum_{i=1}^L \alpha_i x^T M_i(z) x + \sum_{j=1}^L \beta_j x^T N_j(z) x \\ & + \sum_{1 \leq i \leq j \leq L} \max \left\{ -x^T M_{ij}(z) x \right. \\ & \times \left(\frac{\alpha_i^2 + \beta_j^2}{2} - \frac{\alpha_i + \beta_j}{2} + 0.125 \right), \\ & \left. x^T M_{ij}(z) x \cdot \frac{\alpha_i^2 + \beta_j^2}{2} \right\} < 0 \\ & \forall \|x\| = 1, (\alpha_i, \beta_j) \in \Gamma \end{aligned} \quad (19)$$

이며, 여기서 $M_i(z)$, $N_j(z)$, $M_{ij}(z)$ 는

$$M_0(z) = \begin{bmatrix} \phi_7 & \phi_8 & -PB_f & 0 \\ * & \phi_9 & PB_f & C_f^T \\ * & * & -\sigma I & 0 \\ * & * & * & -I \end{bmatrix},$$

$$M_i(z) = \begin{bmatrix} \phi_{10} & \phi_{11} & 0 & 0 \\ * & 0 & 0 & 0 \\ * & * & 0 & 0 \\ * & * & * & 0 \end{bmatrix},$$

$$N_j(z) = \begin{bmatrix} \phi_{12} & \phi_{13} & 0 & 0 \\ * & \phi_{14} & 0 & 0 \\ * & * & 0 & 0 \\ * & * & * & 0 \end{bmatrix},$$

$$M_{ij}(z) = \begin{bmatrix} \phi_{15} & \phi_{16} & 0 & 0 \\ * & 0 & 0 & 0 \\ * & * & 0 & 0 \\ * & * & * & 0 \end{bmatrix} \quad (20)$$

이고 각 변수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \phi_7 &= A_0^T P + P A_0 - C_0^T M_0^T - M_0 C_0, \\ \phi_8 &= -A_0^T P - P A_f + C_0^T M_0^T + M_0 C_f, \\ \phi_9 &= A_f^T P + P A_f - C_f^T M_0^T - M_0 C_f, \\ \phi_{10} &= A_i^T P + P A_i - C_i^T M_0^T - M_0 C_i, \\ \phi_{11} &= -A_i^T P + C_i^T M_0^T, \\ \phi_{12} &= -C_0^T M_j^T - M_j C_0, \\ \phi_{13} &= C_0^T M_j^T + M_j C_f, \\ \phi_{14} &= -C_f^T M_j^T - M_j C_f, \\ \phi_{15} &= -C_i^T M_j^T - M_j C_i, \\ \phi_{16} &= C_i^T M_j^T. \end{aligned} \quad (21)$$

이는 보조정리 2와 칼만필터의 불확실성을 고려한 필터 설계의 해결방법으로서 제시된 완화기법 (19)를 사용하여 증명 할 수 있다. ■

IV. 모 의 실험

제안한 견실비약성 H_∞ 칼만형필터 설계기법의 유효성을 검증하기 위해 변수 불확실성을 가지는 선형 시스템의 공칭 시스템행렬을

$$A_0 = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 5 & -1 \end{bmatrix}, \quad C_0 = [1 \quad 1] \quad (22)$$

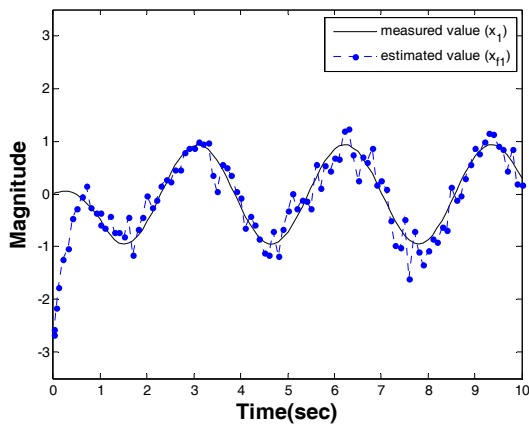
로 설정하고 시스템 불확실성의 범위를 $\pm 1\%$ 로 가정하면 A_i 와 C_i 는

$$A_1 = \begin{bmatrix} 1.01 & -1.01 \\ 5.05 & -1.01 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0.99 & -0.99 \\ 4.95 & -0.99 \end{bmatrix},$$

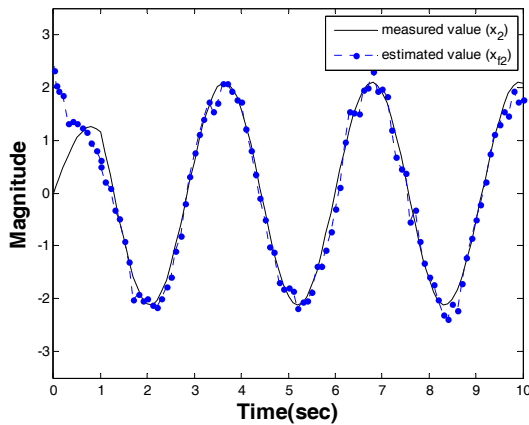
$$C_1 = [1.01 \quad 1.01], \quad C_2 = [0.99 \quad 0.99] \quad (23)$$

이며 필터시스템 행렬은

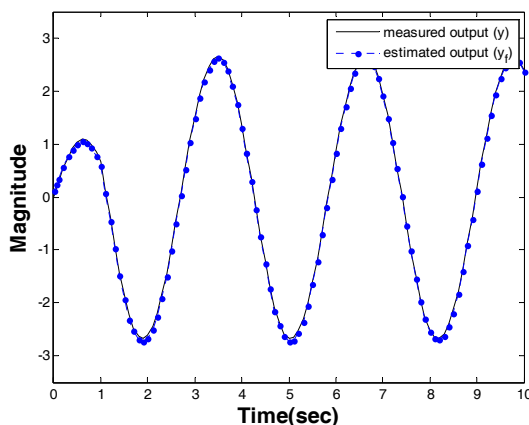
$$A_f = A_0, \quad C_f = C_0 \quad (24)$$



(a) 상태 x_1 과 그에 따른 추정값 x_{f1}



(b) 상태 x_2 와 그에 따른 추정값 x_{f2}



(c) 출력 y 와 그에 따른 추정값 y_f

그림 2. 측정값 x_1, x_2, y 와 추정값 x_{f1}, x_{f2}, y_f
Fig. 2. Measured value x_1, x_2, y with estimated value x_{f1}, x_{f2}, y_f .

이다.

이 문제를 풀기 위해 완화기법으로 풀어낸 PLMI (19)와 Matlab의 LMI toolbox를 사용하여 구한 해는

$$P = \begin{bmatrix} 0.5962 & -0.6910 \\ -0.6910 & 1.6985 \end{bmatrix},$$

$$M_0 = \begin{bmatrix} 2.3761 \\ 3.1403 \end{bmatrix},$$

$$M_1 = \begin{bmatrix} -0.7127 \\ -1.2458 \end{bmatrix},$$

$$M_2 = \begin{bmatrix} 1.2186 \\ 2.3313 \end{bmatrix},$$

$$\sigma = 0.7359 \quad (25)$$

이고, 비약성을 만족하는 견실비약성 H_∞ 필터이득과 이득섭동의 꼭지점과 외란감쇠율 γ 를 구하면

$$K_0 = \begin{bmatrix} 11.5948 \\ 6.5661 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{K}_1 = \begin{bmatrix} -3.8701 \\ -2.3080 \end{bmatrix},$$

$$\tilde{K}_2 = \begin{bmatrix} 6.8771 \\ 4.1705 \end{bmatrix},$$

$$\gamma = 0.8578 \quad (26)$$

이며 모의실험결과는 다음 그림 2와 같다. 시변파라미터 $A(t, \alpha), A_d(t, \alpha), C(t, \alpha), K(t, \beta)$ 는 각각

$$A(t, \alpha) = A_0 + \tilde{A}_1 \sin^2 at + \tilde{A}_2 \cos^2 at,$$

$$A_d(t, \alpha) = A_{d0} + \tilde{A}_{d1} \sin^2 at + \tilde{A}_{d2} \cos^2 at,$$

$$C(t, \alpha) = C_0 + \tilde{C}_1 \sin^2 at + \tilde{C}_2 \cos^2 at,$$

$$K(t, \beta) = K_0 + \tilde{K}_1 \sin^2 bt + \tilde{K}_2 \cos^2 bt,$$

$$a \in \mathbb{N}, b \in \mathbb{N}, a \neq b \quad (27)$$

이며, 모의실험에서 외란은 $\|w(t)\| \leq 1$ 인 백색잡음을 사용하였다.

그림 2의 모의실험결과로부터 제안한 견실비약성 H_∞ 칼만형필터가 변수 불확실성과 외란이 존재함에도 불구하고 추정오차의 점근적 안정성과 $\gamma = 0.8578$ 의 외란감쇠율을 보장함을 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 변수 불확실성과 필터이득섭동, 외란이 존재하는 필터시스템에 대하여 추정오차를 줄이기 위한 견실비약성 H_∞ 칼만형 필터의 설계방법을 제안하

였다. 필터의 존재조건과 설계방법을 블록최적화가 가능하도록 구하고자 하는 모든 변수의 측면에서 PLMI 형태로 나타내고, 완화기법으로 PLMI를 유한한 수의 LMI로 한정하여 조건을 만족하는 필터이득과 섭동꼭지점, 외란감쇠율을 함께 구하였다. 또한 제한한 필터가 견실비약성과 외란감쇠율을 보장함을 모의실험으로 확인하였다.

참 고 문 헌

[1] J. Feng, Z. Wang, and M. Zeng, "Optimal robust non-fragile Kalman-type recursive filtering with finite-step autocorrelated noises and multiple packet dropouts," *Aerospace Science and Technology*, vol. 15, no. 6, pp. 486-494, 2011.
 [2] L. H. Keel and S. P. Bhattacharyya, "Robust, fragile, or optimal," *IEEE Trans, Automat. Contr.*, vol. 42, no. 8, pp. 1098-1105, 1997.

[3] G. H. Yang and J. H. Wang, "Robust Non-fragile Kalman Filtering for Uncertain Linear Systems with Estimator Gain Uncertainty," *IEEE Trans. Automat. Contr.*, vol. 46, no. 2, pp. 343-348, 2001.
 [4] G. H. Yang and J. H. Wang, "Robust non-fragile H_∞ control for linear systems with multiplicative controller gain variations," *Automatica*, vol. 37, no. 5, pp. 727-737, 2001.
 [5] X. G. Guo and G. H. Yang, "Non-fragile H_∞ Filter Design for Delta Operator Formulated Systems with Circular Region Pole Constraints: an LMI Optimization Approach," *Acta Automatica Sinica*, vol. 35, no 9, pp.1209-1215, 2009.
 [6] P. Dorato, "Non-fragile controller design: an overview," *Proc. Amer. Contr. Conf.* in Philadelphia, Pennsylvania, pp. 2829-2831, 1998.
 [7] H. D. Tuan and P. Apkarian, "Relaxation of parameterized LMIs with control applications," *Int. J. of Robust Nonlinear Contr.*, vol. 9, pp. 59-84, 1999.
 [8] S. Boyd, L. E. Ghaoui, E. Feron, and V. Balakrishnan, *Linear Matrix Inequalities in System and Control Theory*, SIAM, 1994.

— 저 자 소 개 —



김 준 기(정회원)-교신저자
 1999년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업
 2001년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업
 2008년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업

2006년~2008년 Hitchi-LG Data Storage 연구원
 2008년~현재 LIG 넥스원 선임연구원
 <주관심분야 : 견실제어, 비약성제어, 서버시스템 설계>



방 경 호(정회원)
 1991년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업
 1993년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업
 1997년 경북대학교 전자공학과 박사 졸업

1997년~2001년 대우중공업, 한국항공우주산업 시뮬레이터팀 선임연구원
 2001년~현재 명지전문대학 컴퓨터전자과 교수
 <주관심분야 : 제어시스템 컴퓨터 설계, 임베디드 시스템, 견실제어>



양 승 협(학생회원)
 2008년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업
 2010년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업
 2010년~현재 경북대학교 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 견실제어, 비약성제어, 임베디드 시스템>



박 흥 배(정회원)
 1977년 경북대학교 전자공학과 학사 졸업
 1979년 경북대학교 전자공학과 석사 졸업
 1988년 University of New Mexico 전자공학과 박사 졸업

2004년~2006년 모바일단말상용화센터 센터장
 1988년~현재 경북대학교 IT대학 전자공학부 교수
 <주관심분야 : 견실제어, 이동통신, 임베디드시스템, 전자후각시스템>