

연산지연을 가진 이산시간 레귤레이터에 대한 강인한 안정성 유계

이 동 철 · 배 종 일

Robust Stability Bounds for Discrete-Time Regulators with Computation Delays

D. C. Lee · J. I. Bae

Key words : Discrete-time system(이산시간시스템), Optimal regulator(최적레귤레이터), Computation delays(연산지연), Predictive control(예측제어), Robust stability(강인한 안정성)

Abstract

Robust stability of discrete-time regulators which utilize state predictors to compensate computation delays is considered. Novel expressions for the return difference matrices and the complementary sensitivity matrices at the input and the output of the regulator are found to obtain simple bounds for unstructured perturbations. Robust stability for perturbations of the system matrix and / or the gain matrix is also considered. Under certain restriction on the nominal system, simple bounds for the perturbations are obtained directly from the characteristic equation. It is shown that, as far as the effect of the computation delays concerns, these bounds have explicit relation to those for the unstructured perturbations.

1. 서 론

최근, Mita¹⁾는 연산지연을 보상하기 위해 상태 예측기(state-predictor)를 활용하여 이산시간 최적 레귤레이터를 제안했다. 본 연구에서는 레귤레이터

의 일종인 강인한 안정성에 대해 논하고자 한다. 첫째, 레귤레이터의 입·출력에서 불확실성 섭동에 대한 강인한 안정성을 귀환차행렬(return difference matrices)과 보충감도행렬(complementary sensitivity matrices)를 이용하여 논하

* 부경대학교 전기공학과 (원고접수일 : 97년 4월)

여기서,

$$S_0(z) \triangleq I + F(zI - A)^{-1}B \quad (3.2)$$

같은 점에서 보충감도행렬 $T_L(z)$ 는 다음과 같다.

$$T_L(z) = z^{-L}F(zI - A + BF)^{-1}A^L B, L=0,1,\dots, \quad (3.3)$$

(U 2) $S_L(z)$ 에 대한 다음 부등식은 단위원(unit circle)상에 성립한다.

$$\begin{aligned} \sigma[S_L(z)] \geq \sigma[S_0(z)] / \bar{\sigma}[W_L(z)] \geq \sigma[S_0(z)] / \\ \{I + \bar{\sigma}(F)\bar{\sigma}(B)\{I + \bar{\sigma}(A) + \dots + \bar{\sigma}^{L-1}(A)\}\}, |z|=1 \end{aligned} \quad (3.4)$$

여기서, $\sigma[\cdot]$ 과 $\bar{\sigma}[\cdot]$ 는 각각 최소특이치(minimum singular value)와 최대특이치(maximum singular value)를 나타낸다.

또한, $\bar{\sigma}(A - BF) < 1$ 이면

$$1/\bar{\sigma}[T_L(z)] \geq [1 - \bar{\sigma}(A - BF)]/\bar{\sigma}(A)\bar{\sigma}(B)\bar{\sigma}(F), |z|=1 \quad (3.5)$$

(X 1) Fig. 1의 점 X에서 귀환차행렬 $M_L(z)$ 와 보충감도행렬 $N_L(z)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_L(z) = z^L A^{-L} M_0(z) V_L^{-1}(z) A^L, L=0,1,\dots, \quad (3.6)$$

$$N_L(z) = z^{-L} N_0(z) A^L, L=0,1,\dots, \quad (3.7)$$

여기서,

$$M_0(z) \triangleq I + (zI - A)^{-1}BF, N_0(z) \triangleq (zI - A + BF)^{-1}BF \quad (3.8)$$

(X 2) 다음 부등식은 단위원상에 성립한다.

$$\begin{aligned} \sigma[M_L(z)] \geq [\sigma(A)/\bar{\sigma}(A)]^L \sigma[M_0(z)]/\bar{\sigma}[V_L(z)] \\ \geq [\sigma(A)/\bar{\sigma}(A)]^L \sigma[M_0(z)]/ \\ \{1 + \bar{\sigma}(F)\bar{\sigma}(B)\{1 + \bar{\sigma}(A) + \dots + \bar{\sigma}^{L-1}(A)\}\}, \\ |z|=1 \end{aligned} \quad (3.9)$$

$$1/\bar{\sigma}[N_L(z)] \geq 1/\bar{\sigma}^L(A)\bar{\sigma}[N_0(z)], |z|=1 \quad (3.10)$$

또한 $\bar{\sigma}(A - BF) < 1$ 이면

$$1/\bar{\sigma}[N_L(z)] \geq [1 - \bar{\sigma}(A - BF)]/\bar{\sigma}^L(A)\bar{\sigma}(B)\bar{\sigma}(F), |z|=1 \quad (3.11)$$

(증명)

$L=0$ 에 대한 식(3.2)와 식(3.8)의 표현은 잘 알려져 있으며 식(2.5)와 식(2.6)으로부터 식(3.1)과 식(3.3)이 구해진다.

$$\begin{aligned} S_L(z) &\triangleq I - H_L(z)(zI - A)^{-1}B \\ &= W_L^{-1}(z)\{W_L(z) + FA^L(zI - A)^{-1}B\} \\ &= W_L^{-1}(z)\{z^L I + F\{z^{L-1}I + z^{L-2}A + \dots + A^{L-1}\}(zI - A) + A^L\} \\ &\quad (zI - A)^{-1}B \\ &= z^L W_L^{-1}(z)S_0(z) \end{aligned} \quad (3.12)$$

$$\begin{aligned} T_L(z) &\triangleq I - S_L^{-1}(z) \\ &= z^{-L}S_0^{-1}(z)\{z^L S_0(z) - W_L(z)\} \\ &= z^{-L}\{I + F(zI - A)^{-1}B\}^{-1}\{F(zI - A)^{-1}B\{z^L - (zI - A) \\ &\quad (z^{L-1}I + z^{L-2}A + \dots + A^{L-1})\}B\} \\ &= z^{-L}\{I + F(zI - A)^{-1}B\}^{-1}\{F(zI - A)^{-1}A^L B\} \\ &= z^{-L}F(zI - A + BF)^{-1}A^L B \end{aligned} \quad (3.13)$$

식(3.6)과 식(3.7)의 표현은 식(2.7)과 식(2.8)로부터 구해진다.

$$\begin{aligned} M_L(z) &\triangleq I - (zI - A)^{-1}BH_L(z) \\ &= A^{-L}\{V_L(z) + A^L(zI - A)^{-1}BF\}V_L^{-1}(z)A^L \\ &= A^{-L}\{z^L I + \{z^{L-1}I + z^{L-2}A + \dots + A^{L-1}\}(zI - A) + A^L\} \\ &\quad (zI - A)^{-1}BF\}V_L^{-1}(z)A^L \\ &= z^L A^{-L}M_0(z)V_L^{-1}(z)A^L \end{aligned} \quad (3.14)$$

$$\begin{aligned} N_L(z) &\triangleq I - M_L^{-1}(z) \\ &= z^{-L}A^{-L}\{z^{-L}M_0(z) - V_L(z)\}M_0^{-1}(z)A^L \\ &= z^{-L}A^{-L}\{z^L I - \{z^{L-1}I + z^{L-2}A + \dots + A^{L-1}\} \\ &\quad (zI - A)\}(zI - A)^{-1}BF\}M_0^{-1}(z)A^L \\ &= z^{-L}(zI - A)^{-1}BFM_0^{-1}(z)A^L \\ &= z^{-L}\{I + (zI - A)^{-1}BF\}^{-1}(zI - A)^{-1}BFA^L \\ &= z^{-L}N_0(z)A^L \end{aligned} \quad (3.15)$$

특이치의 특성을 이용하여 유계를 구하면 식(3.4), 식(3.5), 식(3.9), 식(3.10), 식(3.11)이 된다.

(주의)

(1) 이상의 결과는 $T_L(z)$ 을 제외한 행렬들이 연산지연의 결과로 표현된 형태로 분리되며, 최소특이치와 최대특이치의 역의 관계에 대한 유계는 불확실성 섭동에 대한 강인성 측정에 이용될 수 있다.

(2) 유계 식(3.5)와 식(3.11)은 페루우프 안정성보다 강한 $\bar{\alpha}(A - BF) < 1$ 이라는 가정에서 유도되고, $L=0$ 인 레귤레이터 문제에 대하여는, 그 가정이 어떤 초기조건에 대한 변화없이 감소하기 위한 상태의 제곱노름(square norm)에 대해서 필요충분 조건이다. 그 가정을 만족하는 많은 실제적인 예가 있다. 예를 들면, 가정 $\bar{\alpha}(A - BF) < 1$ 은 $\bar{\alpha}(A) < 1$ 이라는 조건으로 피이드백 이득행렬 F 가 “작아진다” 것이 만족된다. 어떤 점근적으로 안정한 최소차수시스템(minimal order system)이 시스템 행렬의 최대특이치가 일치한다는 균형관계를 알 수 있다⁷⁾.

(3) 식(3.9)에서 하한(lower bounded)은 시스템 행렬 A 의 특이치를 $\alpha(A)$ 로 나타내며, $\alpha(A)/\bar{\alpha}(A)$ 의 역 조건수(inverse of the condition number)를 포함하며, 조건수(condition number)는 선형방정식을 구할 경우에 계산기 내부에서 순환오차가 해의 오차로 확대되는 비율을 나타낸다. 특히, 행렬 A 를 포함하는 10진 k 행의 계산에서, $\alpha(A)/\bar{\alpha}(A)$ 가 10^k 에 가까운 경우 그 방정식은 악조건(ill-condition)이라고 한다⁸⁾.

4. 행렬 A 및 B에 대한 강인한 안정성 유계

시스템 행렬과 섭동 시스템의 이득행렬은 각각 $A + \delta A$ 및 $B + \delta B$ 로 주어진다고 가정하자. 연산지연과 연산지연이 없는 경우에 대하여, 연속시간 경우²⁾와 같이 Lyapunov함수를 이용하여 섭동에 대한 다음의 유계를 얻는다.

[결과 2]

연산지연이 없는 최적 이산시간 레귤레이터를 고려하자.

P 는 기준시스템 식(2.1)에 대한 Riccati방정식의 해(solution)이며, 식(2.2)는 $L=0$ 의 경우의 평가함수이다.

섭동 페루우프 시스템이

$$\bar{\alpha}(\delta A - \delta BF) < \alpha(A, B, C, R) \quad (4.1)$$

이면 안정하다.

$$\begin{aligned} & \text{여기서, } \alpha(A, B, C, R) \triangleq -\bar{\alpha}(A - BF) \\ & + [\bar{\sigma}^2(A - BF) + \alpha(C^T C + F^T R F) / \bar{\alpha}(P)]^{1/2} \quad (4.2) \end{aligned}$$

[증명]

섭동 페루우프 시스템은 다음과 같이 기술된다.

$$x(k+1) = (A - BF + \Delta)x(k) \quad (4.3)$$

$$\text{여기서, } \Delta \triangleq \delta A - \delta BF \quad (4.4)$$

Lyapunov함수는 다음과 같이 정의한다.

$$\Pi(k) \triangleq x^T(k) P x(k) > 0 \quad (4.5)$$

최적 피이드백 이득행렬 F 를 이용하여 다음과 같은 Riccati방정식을 표현할 수 있다⁹⁾.

$$P = (A - BF)^T P (A - BF) + C^T C + F^T R F \quad (4.6)$$

식(4.3)~식(4.6)으로 부터

$$\begin{aligned} \Pi(k+1) - \Pi(k) &= x^T(k) \{ [\Delta^T P \Delta + \Delta^T P (A - BF) + \\ & (A - BF)^T P \Delta] - (C^T C + F^T R F) \} x(k) \quad (4.7) \end{aligned}$$

부등식은

$$\begin{aligned} & \bar{\sigma}[\Delta^T P \Delta + \Delta^T P (A - BF) + (A - BF)^T P \Delta] \\ & \leq \bar{\sigma}(\Delta) \bar{\alpha}(P) + 2\bar{\alpha}(\Delta) \bar{\alpha}(A - BF) \bar{\alpha}(P) \quad (4.8) \end{aligned}$$

과 같이 표현할 수 있고

$$\alpha(C^T C + F^T R F) > \bar{\sigma}(\Delta) \bar{\alpha}(P) + 2\bar{\alpha}(\Delta) \bar{\alpha}(A - BF) \bar{\alpha}(P) \quad (4.9)$$

이 되면 식(4.7)과 식(4.8)에서 결정된다.

그러므로 $\Pi(k+1) < \Pi(k)$ 인 즉, 섭동 페루우프 시스템은 안정하게 된다. $\bar{\alpha}(\Delta)$ 와 관한부등식(4.9)의 해는 인정유계 식(4.1)에서 구해진다.

$L \geq 1$ 에 대한 다음의 결과는 상기의 결과를 이용하여 직접 얻을 수 있다.

[결과 3]

$L \geq 1$ 에 대한 예측기에 기초한 최적 레귤레이터는 식(2.3)과 식(2.4)에서 주어진다고 하자. 즉, 섭동 페루우프 시스템이

$$\bar{\alpha}(\delta A_L) < \alpha(A_L, B_L, C_L, R) \quad (4.10)$$

이 되면 안정하다.

여기서,

$$A_L \triangleq \begin{bmatrix} A & B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & I & 0 \\ 0 & 0 & 0 & I \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \quad B_L \triangleq \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ I \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

$$C_L \triangleq [C \ 0 \ \dots \ 0] \quad (4.12)$$

그리고

$$\delta A_L \triangleq \begin{bmatrix} \delta A_L & \delta B & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix} \quad (4.13)$$

[증명]

확장 상태벡터는 다음과 같이 정의한다.

$$X(k) \triangleq [x^T(k)u^T(k)u^T(k+1)\dots u^T(k+L-1)]^T \quad (4.14)$$

L스텝의 입력지연을 가진 섭동시스템은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} X(k+1) &= (A_L + \delta A_L)X(k) + B_L v(k), \\ y(k) &= C_L X(k) \end{aligned} \quad (4.15)$$

여기서, $v(k) \triangleq u(k+L)$ 및 행렬은 식(4.11)~식(4.13)에 의해 정의되며, 식(4.15)에서 결과 2를 적용하면 유계 식(4.10)에서 얻을 수 있다.

상기의 인정유계는 섭동행렬 δA_L 의 특별 구조를 사용할 수 없기 때문에 보수적이며, 또한 연산 지연의 효과에 관한 정보는 상기의 결과로부터 얻을 수 없다. 섭동 페루우프 시스템의 특성방정식으로 부터 직접 유계가 유도된다.

[결과 4]

예측기에 기초한 레규레이터는 식(2.3)과 식(2.4)에 의해 주어진다 하고, 피이드백 이득행렬 F는 최적은 아니지만 조건 $\alpha(A - BF) < 1$ 에서 만족된다고 가정한다.

그리고 섭동 페루우프 시스템은 다음과 같이 되면 안정하다.

$$\alpha_L \bar{\sigma}(\delta A) + \beta_L \bar{\alpha}(\delta B) < 1 - \bar{\alpha}(A - BF) \quad (4.16)$$

여기서,

$$\alpha_L \triangleq [\bar{\alpha}(A)/\bar{\alpha}(A)]^L \{1 + \bar{\alpha}(B)\bar{\alpha}(F)[1 + \bar{\alpha}(A) + \dots + \bar{\sigma} - 1(A)]\} \quad (4.17)$$

$$\beta_L \triangleq \bar{\sigma}(A)\bar{\alpha}(F) \quad (4.18)$$

[증명]

섭동시스템 $(zI - A + \delta A)^{-1}(B + \delta B)$ 과 식(2.7)의 전달함수행렬을 이용하여, 다음과 같은 레규레이터의 입력에서 귀환차행렬의 행렬식을 나타낼 수 있다.

$$\phi_L(z) \triangleq \det[I + (zI - A + \delta A)^{-1}(B + \delta B)FV_L^{-1}(z)A^L] \quad (4.19)$$

즉, 페루우프 시스템의 극은 $\phi_L(z)$ 의 영점임을 의미하며, 잘 알려진 행렬식의 성질을 이용하여

$$\phi_L(z) = [\det(zI - A + \delta A)\det V_L(z)]^{-1} \det \phi_L(z) \quad (4.20)$$

여기서,

$$\phi_L(z) \triangleq [zI - A^L(A + \delta A)A^{-L}]V_L(z) + A^L(B + \delta B)F \quad (4.21)$$

즉, $\phi_L(z)$ 의 영점은, $\det(zI - A + \delta A)$ 와 $\det V_L(z)$ 이 z의 다항식이므로 $\det \phi_L(z)$ 임을 알 수 있다.

$$\text{즉, } \Omega_L(z) \triangleq (zI - A)V_L(z) + A^L BF \quad (4.22)$$

로 정의하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Omega_L(z) = z^L(zI - A + BF) \quad (4.23)$$

식(2.8)을 이용하여 식(4.21)을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\phi_L(z) = \Omega_L(z) - [A^L \delta A A^{-L} V_L(z) - A^L \delta B F] \quad (4.24)$$

식(4.24)에서

$$\underline{\sigma}[\Omega_L(z)] > \bar{\alpha}[A^L \delta A A^{-L} V_L(z) - A^L \delta B F], \quad |z| \geq 1 \quad (4.25)$$

이 되면, 행렬 $\phi_L(z)$ 는 정칙(non-singular)이며, 즉

$\det \phi_L(z)$ 는 영점을 갖지 않고 단위원 밖에 성립한다. 식(4.23)에서 $\alpha(A-BF) < 1$ 이라는 가정을 이용하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\sigma[\Omega_L(z)] > 1 - \alpha(A-BF), |z| \geq 1 \quad (4.26)$$

한편, 식(4.17)과 식(4.18)을 이용하여 식(4.25)의 우변에 대해 다음 부등식이 된다.

$$\alpha A^L \delta A A^{-L} V_L(z) - A^L \delta B F < \alpha_L \alpha(\delta A) + \beta_L \alpha(\delta B), |z| \geq 1 \quad (4.27)$$

조건 (4.16)은 $\det \phi_L(z)$ 가 단위원 밖에 영점을 갖지 않는다는 것을 의미하며, 즉 폐루우프 시스템이 안정하기 때문에 식(4.24) - (4.27)이 된다.

[주 의]

(1) 조건 (4.16)은 가정 $\alpha(A-BF) < 1$ 에서 유도되지만 연산지연과 기준행렬(nominal matrices)을 내포하고 있고, 불확실 섭동과의 관계가 [결과 1]의 [주의] (2)에서 논의된 것에 대한 동일한 가정은 결과1에서 이용되었다는 것을 의미한다.

(2) $\delta B = 0$ 을 가정하고, 조건 (4.16)은 $\alpha(\delta A)$ 에 대해 다음과 같이 정의되는 인정유제로 된다.

$$\epsilon_{AL} \triangleq \frac{[\alpha(A)/\alpha(A)]^L [1 - \alpha(A-BF)]}{[1 + \alpha(B)\alpha(F)] \cdot [1 + \alpha(A)] + \dots + \sigma^L(A)} \quad (4.28)$$

$\delta A = 0$ 이면 $\alpha(\delta B)$ 에 대한 인정유제는 다음과 같다.

$$\epsilon_{BL} \triangleq [1 - \alpha(A-BF)] / \sigma^L(A) \alpha(F) \quad (4.29)$$

상기의 특별한 경우는 시스템행렬과 이득행렬에 있어서 섭동과의 사이에는 차이가 분명히 있고 시스템행렬의 조건수는 유제 ϵ_{AL} 뿐만 아니라 ϵ_{BL} 도 포함되어 있다. 또한 결과 1과 비교하여 연산지연 관계에 대한 효과 까지 제안하고 있으며, 유제 식(4.28)과 식(4.29)는 불확실성 섭동에 대한 것도 분명히 관계가 있다.

현재, Lyapunov함수를 이용한 것보다 더 간결한 유제로 사용되고 있는 많은 예제가 있다. 다음은 그 예제 중의 하나이다.

[수치계산 예]

다음과 같은 연속시스템

$$\dot{x}(t) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -2 \end{bmatrix} x(t) + \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix} u(t) \quad (4.30)$$

을 영차홀드(zero-order-hold)와 샘플링주기 $T = 0.1$ 로 이산화 하면 다음과 같다.

$$x(k+1) = \begin{bmatrix} 1.105 & 0 \\ 0.095 & 0.819 \end{bmatrix} x(k) + \begin{bmatrix} 0.105 \\ 0.0048 \end{bmatrix} u(k) \quad (4.31)$$

평가함수 식(2.2)(여기서, $C^T C = I, R = rI$)에 대한 연산지연을 갖는 최적레귤레이터를 고려하고, [결과 3] 및 [결과 4]에서 주어진 섭동유제를 비교한다. $L=0, 1$ 에 대한 섭동유제 $\epsilon(A_L, B_L, C_L, R)$ 는 Fig. 2에 나타냈다. 식(4.28)에서 정의한 섭동유제 $\epsilon_{AL}(L=0, 1, 2, 3)$ 는 Fig. 3에 나타냈다.

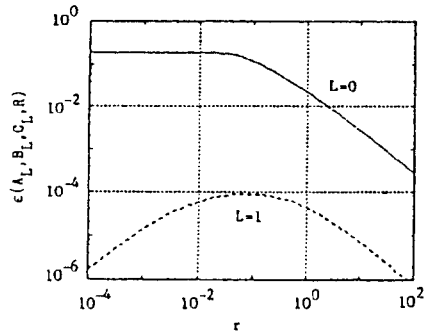


Fig. 2 Perturbation bounds $\epsilon(A_L, B_L, C_L, R)$ of $L=0$ and $L=1$

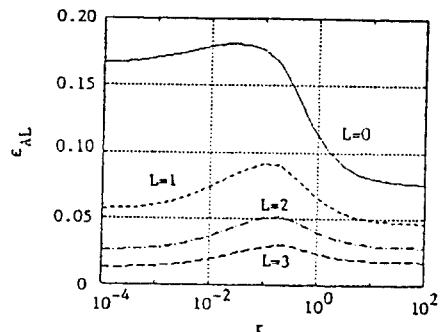


Fig. 3 Perturbation bounds $\epsilon_{AL}(L=0, 1, 2, 3)$ of equation (4.28)

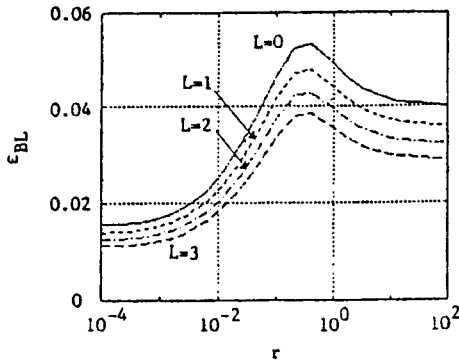


Fig. 4 Perturbation bounds $\epsilon_{BL}(L=0,1,2,3)$ of equation (4.29)

식(4.29)에서 정의한 유계 $\epsilon_{BL}(L=0,1,2,3)$ 는 Fig. 4에 나타냈다.

5. 결 론

이산시간 레귤레이터에 대한 강인한 안정성 유계는 연산지연을 보상하기 위해 상태예측기가 이용되었다. [수치계산 예]에서도 알 수 있는 바와 같이 $L \geq 2$ 에 대한 유계는 $L=1$ 에 대한 것 보다 더 작다. Fig. 2와 Fig. 3을 비교하면 [결과 3]에서 주어진 유계가 $L=0$ 을 제외하고는 매우 보수적임을 나타내며, [결과 4]는 $L \geq 1$ 에 대한 유계가 더 개선된 것을 나타내고 있다. 이들 유계는 연산지연의 효과에 관한 유용한 정보를 제공하지만 여전히 보수적임을 알 수 있었다. 더 나아가서 앞으로의 연구는 섭동에 대해서 더욱 간결한 유계를 얻는 것이 필요하다고 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] T. Mita, "Optimal Digital Feedback Control Systems Counting Computation Time of Control Laws," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-30, No. 6, pp. 542-548, 1985.
- [2] R. V. Patel, M. Toda & B. Sridhar, "Robustness of Linear Quadratic State Feedback Designs in the Presence of System Uncertainty," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-22, No. 6, pp. 945-949, 1977.
- [3] N. A. Lehtomaki, N. R. Sandell, Jr., & M. Athans, "Robustness Results in Linear Quadratic Gaussian Based Multivariable Control Design," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-26, pp. 75-93, 1981.
- [4] U. Shaked, "Guaranteed Stability Margins for the Discrete-Time Linear Quadratic Optimal Regulator," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-31, No. 2, pp. 162-165, 1986.
- [5] J. C. Doyle & G. Stein, "Multivariable Feedback Design: Concepts for a Classical/Modern Synthesis," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-26, No. 1, pp. 4-16, 1981.
- [6] I. Postlethwaite & Y. K. Foo, "Robustness with Simultaneous Pole and Zero Movement across $j\omega$ -axis," Automatica, No. 21, pp. 433-443, 1985.
- [7] L. pernebo & L. Silverman, "Model Reduction via Balanced State Space Representations," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol. AC-27, No. 2, pp. 382-387, 1982.
- [8] 中川 徹, 小柳義夫, 最小2乗法による實驗データの解析-プログラムSALS, 東京大學出版會, 1982