รายการอ้างอิง

Athans, M., and P. L. Falb, Optimal Control: An Introduction to the Theory and Its Applications, McGraw-Hill, New York, 1964.

Bamieh, B., and J. B. Pearson, "The H^2 Problem for Sampled-Data Systems," *Proc. CDC* (1991): 591-595.

Bamieh, B., and J. B. Pearson, "A General Framework for Linear Periodic Systems with Application to H_∞ Sampled-Data Control," *IEEE Trans. on AC.*, 37 (April 1992): 418-435.

Boyd, B. P., and C. H. Baratt, Linear Controller Design: Limit of Performance, Prentice Hall, 1991.

Bryson, A. E., and Y. C. Ho, Applied Optimal Control: Optimization Estimation and Control , Ginn and Company, 1969.

Chen, T., and B. A. Francis, "Input-output Stability of Sampled-Data System," *IEEE Trans. on AC.*, 36 (January 1991): 50-58.

Chen, T., and B. A. Francis, "H_2-Opimal Sampled-Data Control," *IEEE Trans. on AC.*, 36 (April 1997): 387-397.

Chen, T., and B. A. Francis, "Linear Time-varying H_2-optimal Control of Sampled-data Systems," *Automatica,* 27 (1991): 963-974.

Chen, T., and B. A. Francis, "State-Space Solution to Discrete-Time and Sampled-Data H_2 Control Problems," *Proc. CDC,* (1992): 1111-1116.

Chen, T. C., Linear Systems Theory and Design , Holt Rinehart & Winston, New York, 1984.

Doyle, J. C., K. Glover, P. P. Khargonekar, and B. A. Francis, "State-Space Solution to Standard H_2 and H_∞ Control Problem," *IEEE Trans. on AC.*, 34 (August 1989): 831-847.

Francis, B. A., and T. T. Georgiou, "Stability Theory for Linear Time-Invariant Plants with Periodic Digital Controllers," *IEEE Trans. on AC.*, 33 (September 1988): 820-832.

Franklin, G. F., and J. D. Powell, Digital Control of Dynamic Systems, New York, Addison Wesley, 1980.

Fujioka, H., H_2 and H_∞ Control for Sampled-Data Feedback Systems, Ph.D. thesis, Tokyo Institute of Technology, 1994.

Furuta, K., S. B. Kim, "Pole Assignment in a Specified Disk," *IEEE Trans. on AC.*, 32 (May 1987): 423-427.

Green, M., and D. J. N. Limebeer, Linear Robust Control , New Jersey: Prentice Hall, 1995.

Hadddad, W. M., and D. S. Bernstein, "Controller Design with Regional Pole Constraints," *IEEE Trans. on AC.*, 37 (January 1992): 54-69.

Hagiwara, T., and M. Araki, "FR-Operator Approach to the H_2 Analysis and Synthesis of Sampled-Data Systems," *IEEE Trans. on AC.*, 40 (August 1995): 1411-1421.

Hagiwara, T.,Y. Ito, and M. Araki, "Frequency Response Gain and H_∞-Norm of a Sampled-Data System," *Proc. CDC,* (1994): 722-723.

Hagiwara, T.,Y. Ito, and M. Araki, "On the Structure of H_2-Optimal Sampled-Data Controller," *Proc. CDC,* (1996): 917-918.

Hara, S., H. Fujioka, and P. T. Kabamba, "A Hybrid State Space Approach to Sampled-Data Feedback Control," *Linear Algebra and Its Applications*, 205-206 (1994): 675-712.

Hara, S., Y. Yamamoto, and H. Fujioka, "Modern and Classical Analysis/Synthesis Methods in Sampled-Data Control-A Brief Overview with Numerical Examples,"*Proc. CDC,* (1996): 1251-1255.

Hayakawa, Y., S. Hara, and Y. Yamamoto, "H_∞ Type Problem for Sampled-Data Control Systems: A Solution via Minimum Energy Characterization," *IEEE Trans. on AC.*, 39 (Noverber 1994): 2278-2284.

Kabamba, P. T., and S. Hara, "Worst Case Analysis and Design of Sampled-Data Control Systems," *IEEE Trans. on AC.*, 38 (September 1993): 1337-1357.

Keller, J. P., and B. D. O. Anderson, "A New Approach to the Discretization of Continuous-Time Controller," *IEEE Trans. on AC.*, 37 (February 1992): 214-223.

Khargoneker, P. P., and N. Sivashankar, "H_2-Optimal Control for Sampled-Data Systems," *System and Contr Letters*, 17(1992): 425-436.

Kuo, B. C., Analysis and Synthesis of Sampled-Data Control Systems, Prentice Hall, 1983.

Laub, A. J., "A Schur Method for Solving Algebraic Riccati Equations," *IEEE Trans. on AC.*, 24 (December 1979): 911-921.

Lewis, F. L., Applied Optimal Control and Estimation, Prentice Hall, 1992.

Loan, C. F. V., "Computing Integrals Involving the Matrix Exponential," *IEEE Trans. on AC.*, 23 (December 1979): 395-4048.

Maciejowski, J. M., Multivariable Feedback Design, Addison-Wesley, 1989.

Middleton, R. H., and G. C. Goodwin, Digital Control and Estimation: A Unified Approach, Prentice Hall, 1990.

Molinari, B. P., "The Stabilizing Solution of the Discrete Algebraic Riccati Equation," *IEEE Trans.on AC.*, 20 (December 1979): 396-399.

Pappas, T., A. J. Laub, and N. R. Sandell, "On the Numerical Solution of the Discrete-Time Algebraic Riccatic Equation," *IEEE Trans. on AC.*, 25 (August 1980): 631-641.

Sage, A. P., and C. C. White, Optimum Systems Control, Prentice Hall, 1977.

Sivashankar, N., and P. P. Khargonekar, "Characterization of the L_2-induced Norm for Linear Systems with Jump Applications to Sampled-Data Systems," *SIAM J. Control and Optimization*, 32 (July 1994): 1128-1150.

Sivashankar, N., I. Kaminer, and P. P. Khargonekar, "Optimal Controller Synthesis with Regional Stability Constraints," *Proc. CDC,* (1993): 110-115.

Stengel, R. F., Optimal Control and Estimation, Dover, New York, 1994.

Sun, W., K. M. Napal, and P. P. Khargonekar, "H_∞ Control and Filtering for Sampled-Data Systems," *IEEE Trans. on AC.*, 38 (August 1993): 1162-1175.

Toivonen, H. T., "Worst-Case Sampling for Sampled-Data H_∞ Design," *Proc. CDC,* (1993): 337-342.

Trentelman, H. L.,and A. A. Stoorvogel, "Sampled-Data and Discrete-time H_2 Optimal Control," *SIAM J. Control and Optimization*, 33 (May 1995): 834-862.

Yamamoto, Y., "A Function Space Approach to Sampled-Data Control Systems and Tracking Problems," *IEEE Trans. on AC.*, 39 (April 1994): 703-713.

Yamamoto, Y., and P. P. Khargonekar, "Frequency Response of Sampled-Data Systems," *IEEE Trans. on AC.*, 41 (February 1996): 166-176.

Zhou, K., J. C. Doyle and K. Glover, Robust and Optimal Control, Prentice Hall, 1996.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

แบบจำลองที่ใช้แก้ปัญหาระบบชักตัวอย่างข้อมูล

ดังที่ได้กล่าวไปแล้วว่า ในปัจจุบันได้มีผู้เสนอแบบจำลองสำหรับใช้ในการศึกษาระบบชักตัวอย่างข้อมูลรวม 3 แบบ คือแบบจำลองระบบลูกผสม, แบบจำลองฟังก์ชันสเปซและแบบจำลองดิสคริตจัมพ์ ซึ่งในบทที่ 3 ได้กล่าวถึงแบบจำลองระบบลูกผสมที่ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ในภาคผนวก ก. นี้ จะกล่าวถึงลักษณะของแบบจำลองฟังก์ชันสเปซและแบบจำลองดิสคริตจัมพ์โดยสังเขป เพื่อให้เข้าใจถึงความแตกต่างในแต่ละแบบจำลอง

แบบจำลองฟังก์ชันสเปซ (Function Space Model หรือ Lifting Model)

แบบจำลองฟังก์สเปซเป็นแบบจำลองที่ทำการเปลี่ยนจากระบบชักตัวอย่างข้อมูลที่มีคุณลักษณะที่แปรตามเวลาแบบรายคาบไปเป็นระบบที่มีคุณลักษณะที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

แนวคิดเบื้องต้นของแบบจำลองนี้ จะฟังก์ชันต่อเนื่อง $f(\cdot)$ ในแต่ละคาบการชักตัวอย่าง τ เป็นลำดับ โดยในแต่ละลำดับมีลักษณะของฟังก์ชันของ $\xi, 0 \le \xi \le \tau$

กำหนดให้ $\boldsymbol{W}_\tau : L_{2e} \to l_{2e}^{L_2[0,\tau]}$ เป็นตัวดำเนินการการยก (lifting operator) สำหรับ τ ซึ่ง $\boldsymbol{W}_\tau$ มีลักษณะดังนี้

$$\boldsymbol{f} := \boldsymbol{W}_\tau f\,; \quad \boldsymbol{f}[k](v) = f(k\tau + v), \quad 0 \le v \le \tau \qquad (ก.1)$$

กำหนดให้ ระบบชักตัวอย่างข้อมูล G_S มีลักษณะดังนี้

$$G_s := \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & S_\tau \end{pmatrix} G \begin{pmatrix} I & 0 \\ 0 & \mathcal{H}_\tau \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{21}\mathcal{H}_\tau \\ S_\tau G_{21} & S_\tau G_{22}\mathcal{H}_\tau \end{pmatrix} : \begin{pmatrix} w \\ u \end{pmatrix} \mapsto \begin{pmatrix} z \\ y \end{pmatrix} \qquad (ก.2)$$

โดย G สามารถได้จากสมการที่ (3.47) ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็นดังนี้

$$\begin{pmatrix} z \\ y \end{pmatrix} = G \begin{pmatrix} w \\ u \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} G_{11} & G_{12} \\ G_{21} & G_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} w \\ u \end{pmatrix} \qquad (ก.3)$$

ดังนั้นเมื่อใช้ตัวดำเนินการยกจะได้สัญญาณที่ผ่านตัวดำเนินการยกดังต่อไปนี้

$$\boldsymbol{w} := \boldsymbol{W}_\tau w, \quad \boldsymbol{u} := \boldsymbol{W}_\tau u, \quad \boldsymbol{y} := \boldsymbol{W}_\tau y, \quad \boldsymbol{z} := \boldsymbol{W}_\tau z$$

และกำหนดให้ตัวแปรสถานะใหม่ที่เกี่ยวข้องกับในระบบเวลาเต็มหน่วยเป็นดังนี้

$$x_s[k] := x_c(k\tau) \in \mathcal{R}^{n_c} \tag{ก.4}$$

จะเห็นได้ว่าตัวแปรสถานะในระหว่างคาบการชักตัวอย่างมีลักษณะดังนี้ โดยสมมุติว่า $x_c(0) = 0$

$$\begin{aligned}
x_c(k\tau + v) &= \int_0^{k\tau+v} e^{A(k\tau+v-\xi)}\big(B_1 w(\xi) + B_2 u[k]\big)d\xi \\
&= \int_0^{k\tau} e^{A(k\tau+v-\xi)}\big(B_1 w(\xi) + B_2 u[k]\big)d\xi \\
&\quad + \int_{k\tau}^{k\tau+v} e^{A(k\tau+v-\xi)}\big(B_1 w(\xi) + B_2 u[k]\big)d\xi \\
&= e^{Av} \int_0^{k\tau} e^{A(k\tau-\xi)}\big(B_1 w(\xi) + B_2 u[k]\big)d\xi \\
&\quad + \int_0^{v} e^{A(k\tau+v-(k\tau+\xi))}\big(B_1 w(k\tau+\xi) + B_2 u[k]\big)d\xi \\
&= e^{Av} x_c(k\tau) + \int_0^{\tau} B_{s1}(\xi) w(k\tau+\xi)d\xi + B_{s2} u[k]
\end{aligned}$$

ดังนั้นจะได้ตัวแปรสถานะที่ผ่านตัวดำเนินการการยกดังนี้

$$x_s[k+1] = A_s x_s[k] + \boldsymbol{B}_{s1}\boldsymbol{w}[k] + B_{s2} u[k] \tag{ก.5}$$

โดยฟังก์ชัน $\boldsymbol{B}_{s1}$ และเมตริกซ์ A_s, B_{s2} สามารถหาได้จากสมการที่ (3.54) และ (3.51) และสมการสัญญาณออกจะได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
z_c[k] &= \boldsymbol{C}_{s1} x_s[k] + \boldsymbol{D}_{s11} w[k] + \boldsymbol{D}_{s12} u[k] \\
\boldsymbol{y}_c[k] &= C_{s2} x_s[k]
\end{aligned} \tag{ก.6}$$

โดยฟังก์ชัน $\boldsymbol{C}_{s1}, \boldsymbol{D}_{s11}, \boldsymbol{D}_{s12}$ และเมตริกซ์ C_{s2} สามารถหาได้จากสมการที่ (3.58), (3.59) และ(3.51) ตามลำดับ สำหรับรายละเอียดเพิ่มเติมสามารถหาได้จาก Bamiah และ Pearson (1992) หรือ Yamamoto (1994)

แบบจำลองดิสคริตจัมพ์ (Discrete Jump Model)

แบบจำลองดิสคริตจัมพ์ถูกเสนอโดย Sun et al. (1993) โดยปริภูมิของแบบจำลองนี้มีลักษณะดังนี้

$$\begin{aligned}
\dot{\tilde{x}}(t) &= \tilde{A}_c(t)\tilde{x}(t) + \tilde{B}_c(t)\tilde{w}(t), \qquad t \neq k\tau \\
\tilde{x}(k\tau^+) &= \tilde{A}_d\, \tilde{x}(k\tau) + \tilde{B}_d w_d[k] \\
z_c(t) &= \tilde{C}_c(t)\tilde{x}(t)
\end{aligned} \tag{ก.7}$$

จะเห็นได้ว่าทั้งระบบในโดเมนเวลาต่อเนื่องและในเวลาเต็มหน่วย เป็นกรณีเฉพาะ

(special case) ของแบบจำลองดิสคริตจัมพ์ เช่นในระบบโดเมนเวลาต่อเนื่องจะได้ $\widetilde{A}_d[k] = I$, $\widetilde{B}_d[k] = 0$ ขณะที่ในระบบเวลาเต็มหน่วยจะได้ $\widetilde{A}_c(t) = 0,\ \widetilde{B}_c(t) = 0, \widetilde{C}_c(t) = 0$ จากรูปที่ 3.6 มีสมการสถานะและสมการสัญญาณออกของทั้งกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องและตัวควบคุมเชิงเลขดังในสมการที่ (3.47) และ (3.48) เราสามารถแทนแบบจำลองระบบลูกผสมในแบบจำลองดิสคริตจัมพ์ได้ดังต่อไปนี้

$$\widetilde{A}_c(t) = \begin{pmatrix} A & B_2\mathcal{H}_\tau(t) & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad \widetilde{A}_d[k] = \begin{pmatrix} I & 0 & 0 \\ D_k C_2 & 0 & C_k \\ B_k C_2 & 0 & A_k \end{pmatrix}$$

$$\widetilde{B}_c(t) = \begin{pmatrix} B_1 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix}, \quad \widetilde{B}_d[k] = \begin{pmatrix} 0 \\ D_k D_{d21} + B_{d1} \\ B_k D_{d21} \end{pmatrix}, \quad \widetilde{x}(t) = \begin{pmatrix} x_c(t) \\ u[k] \\ x_k[k] \end{pmatrix}$$

$$\widetilde{C}_c(t) = \begin{pmatrix} C_1 & D_{12}\mathcal{H}_\tau(t) & 0 \end{pmatrix}$$

หรือการแทนแบบจำลองลูกผสมดังต่อไปนี้

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_c(t) \\ x_d[k+1] \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_c + A_{cs}(t)S_\tau & A_{cd}(t) \\ A_{ds}S_\tau & A_d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c(t) \\ x_d[k\tau] \end{pmatrix}$$

ในแบบจำลองดิสคริตจัมพ์ได้ดังนี้

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_c(t) \\ \dot{x}_s(t) \\ \dot{x}_d(t) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_c & A_{cs} & A_{cd} \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c(t) \\ x_s(t) \\ x_d(t) \end{pmatrix}$$

$$\begin{pmatrix} x_c(k\tau^+) \\ x_s(k\tau^+) \\ x_d(k\tau^+) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} I & 0 & 0 \\ I & 0 & 0 \\ A_{ds} & 0 & A_d \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_c(k\tau) \\ x_s(k\tau) \\ x_d(k\tau) \end{pmatrix}$$

ภาคผนวก ข.

การคำนวนเมตริกซ์เลขชี้กำลัง (Matrix Exponential)

จากบทที่ 3 ถึงบทที่ 5 ของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เห็นได้ว่า จะกล่าวถึงการคำนวนเมตริกซ์เลขชี้กำลังในลักษณะต่าง ๆ ที่ได้ใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำหรับรายละเอียดและขั้นตอน ในพิสูจน์สามารถหาได้จาก Loan (1978)

การคำนวนเมตริกซ์เลขชี้กำลัง

กำหนดให้ A และ Q เป็นเมตริกซ์จำนวนจริงที่มีมิติเข้ากันได้ (compatible dimensions) ที่มีลักษณะดังนี้

$$H_0(A,Q) := e^{A\tau} \quad \text{(ข.1)}$$

$$H_1(A,Q) := \int_0^\tau e^{At} Q dt \quad \text{(ข.2)}$$

$$H_2(A,Q) := \int_0^\tau e^{A^T t} Q e^{At} dt \quad \text{(ข.3)}$$

$$H_3(A,Q) := \int_0^\tau \int_0^t e^{A^T \xi} Q e^{A\xi} d\xi dt \quad \text{(ข.4)}$$

โดยเราจะได้

- $$H_0(A,Q) = \bar{\Phi}_1 \; ; \quad \begin{pmatrix} \bar{\Phi}_1 & \bar{\Phi}_2 \\ 0 & \bar{\Phi}_3 \end{pmatrix} := \exp\left(\begin{bmatrix} A & Q \\ 0 & 0 \end{bmatrix}\tau\right) \quad \text{(ข.5)}$$

- $$H_1(A,Q) = \Phi_2 \; ; \quad \begin{pmatrix} \Phi_1 & \Phi_2 \\ 0 & \Phi_3 \end{pmatrix} := \exp\left(\begin{bmatrix} A & Q \\ 0 & 0 \end{bmatrix}\tau\right) \quad \text{(ข.6)}$$

- $$H_2(A,Q) = \tilde{\Phi}_3^T \tilde{\Phi}_2 \; ; \quad \begin{pmatrix} \tilde{\Phi}_1 & \tilde{\Phi}_2 \\ 0 & \tilde{\Phi}_3 \end{pmatrix} := \exp\left(\begin{bmatrix} -A^T & Q \\ 0 & A \end{bmatrix}\tau\right) \quad \text{(ข.7)}$$

- $$H_3(A,Q) = \hat{\Phi}_2^T \hat{\Phi}_1 \; ; \quad \begin{pmatrix} * & * & \hat{\Phi}_1 \\ 0 & * & * \\ 0 & 0 & \hat{\Phi}_2 \end{pmatrix} := \exp\left(\begin{bmatrix} -A & I & 0 \\ 0 & -A & Q \\ 0 & 0 & A^T \end{bmatrix}\tau\right) \quad \text{(ข.8)}$$

ภาคผนวก ค.

คำสั่งโปรแกรมที่ใช้

ในภาคผนวก ค. นี้จะอธิบายรายละเอียดของไฟต์ M ฟังก์ชัน (function M-files) ในส่วนของ *SAM_DATA Toolbox* ที่ใช้โปรแกรม MATLAB ในการออกแบบระบบควบคุมแบบชักตัวอย่างข้อมูลด้วยนอร์ม H_2 นัยทั่วไป เริ่มจากการแบ่งกลุ่มของฟังก์ชันในลักษณะต่าง ๆ ฟังก์ชัน ทั้งหมดของ *SAM_DATA Toolbox* จะรวบรวมอยู่ภายในภาคผนวก ค. นี้ ส่วนฟังก์ชันที่อ้างอิงจากโปรแกรม MATLAB ที่ได้จาก Toolbox อื่น ๆ จะอ้างอิงแทรกมาตอนท้าย

การพิจารณาการออกแบบระบบควบคุมแบบชักตัวอย่างข้อมูลด้วยนอร์ม H_2 นัยทั่วไป เริ่มจากการพิจารณาพิมพ์คำสั่ง :>> help function ในโปรแกรม MATLAB และ function ที่กล่าวถึง นี้ต้องอยู่ภายใน *SAM_DATA Toolbox* ก่อนใช้ควรพิมพ์คำสั่ง :>> help sam_data ซึ่งจะให้รายละเอียดโดยย่อของแต่ละฟังก์ชันใน *SAM_DATA Toolbox*

การออกแบบระบบควบคุมแบบชักตัวอย่างข้อมูลด้วยนอร์ม H_2 นัยทั่วไปแบ่งได้เป็น 2 ลักษณะคือ

1. เมื่อประกอบด้วยนอร์ม H_2 ที่มีคุณลักษณะที่แปรผันตามเวลา (Time varying weighting)
2. เมื่อประกอบด้วยนอร์ม H_2 ที่มีคุณลักษณะที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา (Time variant weighting)

โปรแกรมที่ใช้ในการออกแบบพิจารณาเฉพาะเมื่อมีเพียงสัญญาณออกในโดเมนเวลาต่อเนื่องเท่านั้น

Time-varying weighting function	
lift_alp( )	การแปลงจากกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่ยังคงค่านอร์ม H_2 ไว้เท่าเดิม

Time-variant weighting function	
lift_gam( )	การแปลงจากกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่ยังคงค่านอร์ม H_2 ไว้เท่าเดิม

General Utilities	
lyap_eqz( )	ผลเฉลยของสมการลียาพูนอฟในโดเมน Z
sdh2_synz( )	การสังเคราะห์ตัวควบคุมเชิงเลขที่เหมาะที่สุดและให้ระบบวงรอบปิดในโดเมนเวลาเต็มหน่วยในโดเมน Z
ric_eqz( )	ผลเฉลยของสมการพีชคณิตริคคาติในโดเมน Z

การออกแบบระบบควบคุมแบบชักตัวอย่างด้วยการแปลงเดลต้า

Sampled-Data Control System Design by Delta transform	
lift_del( )	กระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่มีค่านอร์ม H_2 สมมูลกับกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องในโดเมนเดลต้า

General Utilities	
lyap_eqd( )	ผลเฉลยของสมการลียาพูนอฟในโดเมนเดลต้า
sdh2_synd( )	การสังเคราะห์ตัวควบคุมเชิงเลขที่เหมาะที่สุดที่มีอันดับลดลง (reduced order) และให้ระบบวงรอบปิดในโดเมนเวลาเต็มหน่วยในโดเมนเดลต้า
ric_eqd( )	ผลเฉลยของสมการพีชคณิตริคคาติในโดเมนเดลต้า
c2del( )	การแปลงจากโดเมนเวลาต่อเนื่อง (Continuous time) ไปยังโดเมนเดลต้า

H_2-norms	
h2_normz( )	นอร์ม H_2 ในโดเมน Z
h2_normd( )	นอร์ม H_2 ในโดเมนเดลต้า

c2del c2del

Purpose

การแปลงจากโดเมนเวลาต่อเนื่องไปยังโดเมนเดลต้า

Synopsis

[ad,bd] = c2del(a,b,Ts]

Description

c2del ทำการเปลี่ยนแบบจำลองปริภูมิสถานะจากโดเมนเวลาต่อเนื่องไปสู่โดเมนเดลต้า สมมุติว่าได้รับสัญญาณเข้าจากตัวดำเนินการโฮลอันดับศูนย์ (zeroth order hold)

[ad,cd] = c2del(a,b,Ts) ทำการเปลี่ยนระบบปริภูมิสถานะในโดเมนเวลาต่อเนื่องดังต่อไปนี้

$$\dot{x} = Ax + Bu$$

สู่ระบบในโดเมนเดลต้า

$$\delta x[k] = A_\delta x[k] + B_\delta u[k]$$

สมมุติว่าสัญญาณเข้าควบคุมเป็นค่าคงตัวในระหว่างคาบการชักตัวอย่าง

Algorithm

c2del จะใช้เมตริกซ์เลขชี้กำลังซึ่งคำนวณได้จากการประมาณของ Pade ในฟังก์ชัน expm

See Also

expm, c2d จากโปรแกรม MATLAB

lift alp lift alp

Purpose

การแปลงกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่ยังคงค่านอร์ม H_2 ไว้เท่าเดิมเมื่อประกอบด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่แปรผันตามเวลา

Synopsis

[al,bl1,bl2,cl1,cl2,dl11,dl12,dl21,dl22] = lift_alp(a,b1,b2,c1,c2,d11,d12,d21,d22,bd1,dd21,alp)

Description

ฟังก์ชัน lift_alp ทำการแปลงไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่มีค่านอร์ม H_2 หลังจากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขต่อไป

See Also

c2d จากโปรแกรม MATLAB

lift del lift del

Purpose

การแปลงกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยในโดเมนเวลาเดลต้าที่ยังคงค่านอร์ม H_2 ไว้เท่าเดิม

Synopsis

[al,bl1,bl2,cl1,cl2,dl11,dl12,dl21,dl22] = lift_del(a,b1,b2,c1,c2,d11,d12,d21,d22)

Description

ฟังก์ชัน lift_del ทำการแปลงไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยในโดเมนเดลต้าที่มีค่านอร์ม H_2 หลังจากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขในโดเมนเดลต้าต่อไป

See Also

c2d, chol, จากโปรแกรม MATLAB

lift gam lift gam

Purpose

การแปลงกระบวนการในโดเมนเวลาต่อเนื่องไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่ยังคงค่านอร์ม H_2 ไว้เท่าเดิมเมื่อประกอบด้วยฟังก์ชันถ่วงน้ำหนักที่ไม่แปรเปลี่ยนตามเวลา

Synopsis

[al,bl1,bl2,cl1,cl2,dl11,dl12,dl21,dl22] = lift_gam(a,b1,b2,c1,c2,d11,d12,d21,d22,bd1,dd21,gam)

Description

ฟังก์ชัน lift_gam ทำการแปลงไปยังกระบวนการในโดเมนเวลาเต็มหน่วยที่มีค่านอร์ม H_2 หลังจากนั้นทำการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขต่อไป

See Also

c2d, chol จากโปรแกรม MATLAB

lyap eqz, lyap eqd

Purpose

ผลเฉลยของสมการลียาพูนอฟ

Synopsis

xz = lyap_eqz(A,B)

xdel = lyap_eqd(A,B,Ts)

Description

ผลเฉลยของสมการเมตริกซ์ลียาพูนอฟในระบบโดเมนเวลาเต็มหน่วย

$$AXA^T + BB^T = X$$

ผลเฉลยของสมการเมตริกซ์ลียาพูนอฟในโดเมนเดลต้า

$$A^T X + XA + T_s A^T XA + BB^T = 0$$

See Also

lyap, dlyap จากโปรแกรม MATLAB

h2 normz, h2 normd

Purpose

ค่านอร์ม H_2 ในโดเมน Z และเดลต้า

Synopsis

h2z = h2_normz(Az,Bz,Cz,Dz)

h2d = h2_normd(Ad,Bd,Cd,Dd)

Description

ค่านอร์มในระบบโดเมนเวลาเต็มหน่วยหาได้จาก

$$\|G_z\|_2 = \left(Cz \cdot X_z \cdot Cz^T + Dz \cdot Dz^T\right)^{1/2}$$

โดย X_z หาได้จากสมการ $Az \cdot X_z \cdot Az^T + Bz \cdot Bz^T = X_z$

ค่านอร์มในระบบโดเมนเดลต้าหาได้จาก

$$\|G_d\|_2 = \left(Cd \cdot X_d \cdot Cd^T + Cd \cdot Cd^T\right)^{1/2}$$

โดย X_d หาได้จากสมการ

$$Ad^T \cdot X_z + Ad \cdot X_z + T_s \cdot Ad^T \cdot X_z \cdot Ad + Bd \cdot Bd^T = 0$$

See Also

lyap, normh2 จากโปรแกรม MATLAB

ric eqz, ric eqd — ric eqz,ric eqd

Purpose

ผลเฉลยของสมการพีชคณิตริคคาติ

Synopsis

xz = ric_eqz(Ham,epp,balflag,full or reduce order)

xdel = ric_eqd(Ham,epp,balflag,Ts)

Description

ผลเฉลยของสมการพีชคณิตริคคาติในระบบโดเมนเวลาเต็มหน่วยเมื่อมีอันดับเต็ม (full order) ซึ่งแสดงในการออกแบบตัวควบคุมเชิงเลขในบทที่ 2 หรือถ้าพิจารณาผลเฉลยของสมการ พีชคณิตริคคาติเมื่อมีอันดับลดลงซึ่งอ้างอิงจาก Hagiwara และ Araki (1996)

ผลเฉลยของสมการพีชคณิตริคคาในโดเมนเดลต้า ซึ่งแสดงในส่วนของการพิจารณาระบบชักตัวอย่างด้วยการแปลงเดลต้า

See Also

ric_eig, ric_schur จากโปรแกรม MATLAB

sdh2 synz, sdh2 synd — sdh2 syn, sdh2 synd

Purpose

ทำการสังเคราะห์ตัวควบคุมเชิงเลขและระบบวงรอบปิดในระบบเวลาเต็มหน่วย

Synopsis

[az,bz,cz,dz,acz,bcz,ccz,dcz] = sdh2_synz(system,num_mea_output,num_cont_input)

[ad,bd,cd.dd,acd,bcd,ccd,dcd]=sdh2_synd(system,num_mea_output,num_cont_input)

Description

sdh2_synz( ) ทำการสังเคราะห์ตัวควบคุมเชิงเลขและระบบวงรอบปิดในระบบเวลาเต็มหน่วยซึ่งอยู่ในโดเมน Z

sdh2_synd( ) ทำการสังเคราะห์ตัวควบคุมเชิงเลขและระบบวงรอบปิดในระบบเวลาเต็มหน่วยซึ่งอยู่ในโดเมนเดลต้า

See Also

h2syn จากโปรแกรม MATLAB

ผลการคำนวนตัวควบคุมเชิงเลขจากตัวอย่างที่ 3.1 เมื่อค่า alpha = 0

```
Startup execution:
load initial environent
alp =          samp_time =

  0                 0.02
>>a =          >>b1 =        >>b2 =

 !  0    1 !     ! 0 !         ! 0 !
 !  -1   -2 !    !  1 !        ! 1 !
>>c1 =         >>c2 =

 ! 1    0 !      ! 1    0 !
 ! 0    1 !
 ! 0    0 !
>>d11 =        >>d12 =

 ! 0 !           ! 0 !
 ! 0 !           ! 0 !
 ! 0 !           ! 1 !
>>d21 =        >>d22 =

 ! 0 !           ! 0 !
>>bd1 =        >>dd21 =

 ! 0 !           ! 1 !
>>[al,bl1,bl2,cl1,cl2,dl11,dl12,dl21,dl22] =
        lift_alp(a,b1,b2,c1,c2,d11,d12,d21,...
        d22,bd1,dd21,alp)
```

```
al =

 ! 0.9998    0.0196 !
 ! -0.0196   0.9606 !
bl1 =

 ! 0.0114      0        0 !
 ! 0.8446    0.4975     0 !
bl2 =

 ! 0.0002 !
 ! 0.0196 !
cl1 =                      cl2 =

 ! 0.1414    0.0000 !        ! 1    0 !
 !    0      0.1386 !
 !    0        0    !
dl11 =              dl12 =
 ! 0.0987  0       0 !     !   0    !
 !  0      0       0 !     ! 0.0014 !
 !  0      0       0 !     ! 0.1414 !
dl21 =                     dl22 =

 ! 0       0       1 !     ! 0 !

>>system = pck(al,[bl1,bl2],[cl1;cl2],[dl11,...
           dl12;d21,dl22]);
```

```
>>[az,bz,cz,dz,acz,bcz,ccz,dcz] =
        sdh2_synz(system,1,1);
% num_mea_output = 1
% num_cont_input   = 1

>>[num,den]=ss2tf(az,bz,cz,dz)
>>printsys(num,den)
num/den =
        -0.3081 s^2+0.302 s
        ----------------------------
        s^2 -1.791 s+0.8103
% digital controller for sampled-data system
 >>cl_pole = eig(acz)
cl_pole =
        0.8995+0.0893i
        0.8995-0.0893i
        0.9802
        0.9721

>>n2sys = h2_normz(acz,bcz,ccz,dcz)
n2sys =
        0.6653

>>xd = lyap_eqz(acz,bcz*bcz')
xd =
 ! 8.4668   -0.0001    -8.2909    0.7112 !
 ! -0.0001   11.6349   0.7112    -4.6275 !
 ! -8.2909    0.7112    8.2909   -0.7112 !
 ! 0.7112   -4.6275    -0.7112    4.6275 !
% xd > 0 (positive definite)
>>quit
```

ประวัติผู้วิจัย

นาย อดิรักษ์ กาญจนหฤทัย เกิดวันที่ 19 เมษายน พ.ศ. 2516 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม ภาควิชาวิศวกรรมระบบควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ในปีการศึกษา 2538 และเข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สาขาระบบควบคุม ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2538 และในระหว่างปี พ.ศ. 2538 ได้รับหน้าที่เป็นผู้ช่วยสอนของห้องวิจัยระบบควบคุมภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า