■ 解　　說 ■

制御工學分野의 最近 國內外 動向

梁　興　錫*

——차　례——

1. 緖　論
2. 美國에서의 傾向
2—1. 線型 및 離散型系統
2—2. 安定理論 및 非線型系統
2—3. 最適 시스템
2—4. 適應制御 및 學習시스템
2—5. 確率시스템
3. 日本 및 其他 地域에서의 傾向
4. 우리나라의 傾向

1. 緖　論

現代制御理論의 특징을 몇가지 들면 다음과 같다.

첫째 狀態 또는 空間의 槪念을 명확히 하고, 數學的 엄밀성이 더욱 요구되었다.

둘째 古典理論에서는 入出力間의 관계만 알면, 充分하였지만 現代理論에서는 系統의 內部에까지도 파고들어가 그 變化를 추적하게 되었다.

셋째 電子計算機의 발달과 아울러 이것이 有機的으로 시스템과 결합됨으로써 더욱 큰 시스템理論으로 확장되었다.

현재 제일 큰 문제는 知能制御 및 Global modeling (또는 世界 model)의 問題일 것이다. 前者는 認知, 判斷뿐만 아니라 創造의 문제까지 관계되는 것이고, 後者는 새로운 世界像을 구하여 工學的 大規模시스템 뿐만 아니라 社會, 環境, 經濟, 醫學, 生物學, 農學등 모든 시스템을 modeling하는 문제이다.

現代制御理論 및 그 應用은 범위가 너무 넓기 때문에 여기서는 1970年 이후 數年間의 경향을 살펴보기로 하였다. 발표된 論文을 內容別로 분류하면 (가)데이타處理 (나)固定問題 (다)모델表現 (라)퍼래미터, 狀態推定 (마)最適制御 (바)시스템의 應答解析 (사)安定問題 등이다.

여기서는 IEEE의 分類法에 따라 系統別로 分類하였다.

2. 美國에서의 傾向

2—1 線型 및 離散型系統(Linear systems and discrete systems)

근본적으로 構造에 관한 문제가 다루어지고 있는데 構造에 관한 制限條件에 두가지 형태가 있다. 즉 線型時不變인 系統에서

첫째, 각각의 제어 방식이 측정 가능한 상태의 한 集合으로 보거나[1],

둘째, 각각의 제어 방식을 측정 가능한 상태들의 다른 集合으로 보는 것이다[2~3].

이러한 조건은 실제로 어느 제어 문제에 있어서도 중요한 것으로, 이러한 조건하에서 dynamic feedback Controller를 사용하여 線型離散系統을 해석하고 있다. 근래에 이 系統에서의 recursive estimation [4~6], 또는 simultaneous estimation [7]의 새로운 방법들이 모색되고 있고, Kalman filter [8~10]의 실제 적용문제도 크게 취급되고 있는 점은 주목할만한 일이라 할 수 있다.

2—2 安定理論 및 非線型系統(Stability theory and nonlinear systems)

근래에 와서 제어공학은 여러 종류의 能動素子의 개발에 따라서 領域이 확대되어 왔는데, 그 영향 중 상당한 비중을 차지하고 있는 것이 非線型系統에 관한 분야이다. 그런데 非線型系統에서의 방법은 線型系統에서보다 일반적이어야 하므로 다음과 같은 면에서의 연구가 중요하리라고 생각된다.

첫째 線型系統에서 많이 취급되고 있었던 周波數領域에서의 고찰이 時間領域으로 옮겨지고

둘째 時不變系統을 일반화하여 時變系統(time varing system)으로

셋째 系統의 확장에 따른 large scale system [11~12]의 효과적인 분석,

네째 근래에 여러 분야에서 많이 다루어지는 確率論 [13]을 이용한 방법 등이다.

* 正會員 : 서울工大 敎授 (當學會 事業理事 · 工學博士)

安定性에 관한 研究는 앞서 말한 시스템의 일반화에 의해서 그 領域이 확대되고 있으나, 그 방법은 대부분 古典的인 Lyapnov의 方法이 많이 이용, 확대되고 있다. 非線型系統, 大規模시스템에 대한 安定性[14~17] 또는 不安定性判別法[18~19]에 관한 研究 및 可制御性[20] 등에 관한 고찰이 중점적으로 다루어지고 있다.

2—3 最適시스템(Optimal systems)

"最適보다 더 좋은 것은 없다" 이것은 現代制御理論의 哲學이며, 中心課題이기도 하다. 1950年代에 最大原理가 발표된 이래, 이 原理는 不動作時間이 있는 경우, 分布定數系, 離散時間系, 不連續性이 있는 경우, 狀態變數에 제한이 있는 경우 등에도 適用되었다. 다음에 Bellman의 動的計劃法(D.P.)은 그 理論이 더욱 확장되어, 準線型化(quasilinearization)의 理論, 또는 不變埋込(invariant imbedding)의 理論으로 발전하고, 최근에는 數理生理學으로 발전하고 있다. 그 방법은 準線型化의 理論 등으로, 먼저 生物시스템의 識別을 하고, 識別된 시스템을 기초로 하여 D.P.를 써서 制御過程으로 취급하는 方法이다. 이 방법은 生物系에 한하지 않고, 環境問題 등 모든 문제에 적용될 것이다.

最適시스템은 너무나 광범위하고 論文이 나와 있으나 대체의 경향은 다음과 같다.

첫째 線型時不變系統의 最適制御器設計[21~22], 및 sensitivity[23] 문제 등이 다루어졌으며,

둘째 주로 離散系統[24~28]과 分布定數系統[29]에서 最適問題가 다루어졌고,

셋째 특히 응용문제[30~32]가 광범위하며,

네째 optimal decoupling 문제[33] 또는 optimal regulator의 逆問題[34] 등이 취급되고 있다.

결론적으로 최근의 추세로는 좀더 복잡한 시스템, 즉 離散, 分布定數 또는 多變數 시스템의 最適制御로의 경향이 짙어가고, 응용 분야가 많아지고 있다.

2—4 適應制御 및 學習시스템(adaptive and learning systems)

일반적으로 適應制御系統을 설계하는데 있어 制御프로세스에 대한 情報에 따라 다음 세가지로 구분할 수 있다.

첫째 制御프로세스에 대한 모든 priori information을 알고, 또한 결정론적으로 나타낼 수 있을 때이며, 이 경우는 決定論的 最適化法에 의해서 設計할 수 있다.

둘째 制御프로세스에 대한 전부 혹은 일부의 priori information을 통계적으로만 나타낼 수 있을 때이며, 이 경우는 統計的 또는 確率論的 設計法에 의한다.

셋째 priori information을 알지 못하거나, 불완전하게 알 때이며, 이 경우는 古典的方法에 의해서는 最適化를 할 수 없다.

여기에 실린 論文[35~40]은 이 셋째 경우의 制御시스템에 대한 것이다.

최근의 學習制御는 學習機能 이외에 發見(heuristic)이나, 槪念構成, 推理, 聯想, 進化, 一般化, 創造 등의 人工知能의 諸機能을 가미한 소위 知能制御로 발전하고 있다[41~45]. 이와 같이 확대된 學習制御의 분야에는

첫째 人間操作者가 행하는 制御시스템

둘째 人間—機械協調시스템

셋째 自律性 로봇·시스템

네째 學習과 發見法과의 協調시스템

등이 있다.

2—5 確率시스템(stochastic systems)

최근 이 계통에서는 시스템의 最適問題 및 安定性에 관한 論文들이 주로 나타나고 있다.

最適問題에는 確率퍼래미터를 갖는 系統[46~48], 특수 performance criteria를 취급하는 문제[49~50], 그리고 非線型系統[51], 또는 Filtering理論을 적용한 最適化[52], 그 밖에 특수한 형태의 시스템[53~54]등이 취급되고 있다.

安定性은 線型 또는 非線型 確率시스템의 周波數領域에서의 安定性에 관한 문제[55~56]가 고찰되고 있다.

그 외에 estimation[57~58], L.P.[59] 등이 確率시스템에 적용되고 있다.

3. 日本 및 其他 地域에서의 경향

日本의 경향은 대체로 美國의 知識을 흡수하고, 이것을 발전시키는데 主眼點을 두고 있는 느낌이다. 美國에서 새로운 論文이 발표된 후, 대개 1年 내지 3年 이내에 이것을 발전시킨 論文들이 발표되고 있는 實情이다. 그러나 그 論文의 量이나, 質은 상당히 高度의 것이고, 특히 確率시스템에 관하여는 重點的으로 研究가 진행되어 世界的 水準에 도달하고 있고, 최근에는 生體시스템에 관하여도 많이 研究하고 있다. 日本電氣學會誌, 通信學會誌, 自動制御學會論文集, 시스템과 制御, 機械學會誌 기타 많은 學術論文發表會를 통하여 많은 論文이 발표되고 있으나, 여기서는 일일히 言及하지 않겠다.

歐羅巴諸國들은 理論的인 면에서는 그리 화려하지 않으나, 各自가 重點的으로 자기 나라 特色을 살리고 있고, 특히 實用的 應用面에 치중하여 많은 발전을 하고 있다.

4. 우리나라의 경향

1969년부터 현재까지 電氣學會誌 및 電子工學會誌를 조사한 결과 發表論文件數는 다음 표와 같다.

	電氣學會	電子學會
(1) 線型 및 離散型 系統	1	1
(2) 安定性 및 非線型 系統	2	2
(3) 最適 시스템	6	3
(4) 最應制御	1	0
(5) 確率시스템	3	1
(6) 應用	9	3
(7) 電子計算機	3	8
(8) 回路 및 시스템	12	5
計	37	23

위에서 보는 바와 같이 電氣學會에서는 最適制御, 確率시스템, 應用 및 시스템이론에 注力하고 있고, 電子工學會에서는 電子計算機 및 回路에 注力하고 있음을 알 수 있다. 그러나 量과 質이 모두 不足하여 앞으로 더욱 더 분발할 것이 요망된다.

參 考 文 獻

1. ROBERT L. KOSUT, "Suboptimal Control of Linear Time-Invariant Systems Subject to Control Structure Constraints" IEEE Trans. Automatic Control (1970), pp. 557~563.
2. DAVID RAPPAPORT and LEONARD M. SILVERMAN, "Structure and Stability of Discrete-Time Optimal Systems" IEEE Traus. Automatic Control (1971), pp. 227~233.
3. A. STEPHEN MORSE, "Structure and Design of Linear Model Following Systems" IEEE Trans. Automatic Control (1973), pp. 346~354.
4. GEORGE N. SARIOIS and ROBERT N. LOBBIA, "Parameter Identification and Control of Linear Discrete-Time System" IEEE Trans. Automatic Control (1972), pp. 52~60.
5. R.L. KASHYAP, "A New Method of Recursive Estimation in Discrete Linear Systems" IEEE Trans. Automatic Control (1970), pp. 18~24.
6. EDISON TSE and MICHAEL ATHANS, "Optimal Minimal-Order Observer-Estimators for Discrete Linear Time-Varying Systems" IEEE Trans. Automatic Control (1970), pp. 416~426.
7. YAAKOV BAR-SHALOM, "Optimal Simultaneous State Estimation and Parameter Identification in Linear Discrete-Time Systems" IEEE Trans. Automatic Control (1972), pp. 308~319.
8. EDWARD J. DAVISON, "The Output Coutrol of Linear Time-Invariant Multivariable Systems with Unmeasurable Arbitrary Disturbances" IEEE Trans. Automatic Control(1972), pp. 621~629.
9. EDWARD J. DAVISON and SHIH-HO WANG, "Properties of Linear Time-Invariant Multivariable Systems Subject to Arbitrary output and State Feedback" IEEE Trans. Automatic Control (1973) pp. 24~32.
10. EDISON TSE and YAAKOV BAR-SHALOM, "An Actively Adaptive Control for Linear Systems with Random Parameters via the Dual Control Approach" IEEE Trans. Automatic Control (1973) pp. 109~117.
11. A.N. Netravali & R.P. De Figveiredo "On the Identification of Nonlinear Dynamical Systems" IEEE Trans. Automat. Contr., vol AC-16 pp. 28 Feb. 1971.
12. R. Mekel & p. Rervo, "Design of Controllers for a Class of Nonlinear Control Systems," IEEE Trans. vol Ac-17 pp. 206 Apr. 1972.
13. D.L. Alspach & H.W. Sorenson, "Nonlinear Bayesian Estimation Using Gaussian Sum Approximations," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-17 pp. 439 Aug. 1972.
14. J.L. Williams, "Direcat Methods for Transient Stability Studies in Power System Analysis, IEEE Trans. Automat. Contr., vol AC-16 pp. 332, Aug. 1971.
15. Y.V. Venkatesh, "Non causal Multipliers for Nonlinear System Stability," IEEE Trans. Automat, Contr., vol. AC-15 pp. 195, Apr. 1970.
16. R.F. Estrada, "On the Stability of Multiloop Feedback Systems," IEEE Trans. Automat. Contr., vol AC-17 pp. 781 Dec. 1972.
71. J.H. Davis, "Mean Square Gain Criteria for

the Stability and Instability of Time Varying Systems," IEEE Trans. Automat. Contr., vol. AC-17 pp. 214 Apr. 1972.

18. R.A. Skoog & C.G.Y. Lau, "Instability of Slowly Varying Systems," IEEE Trans Automat. Contr., vol. AC-17 pp. 86 Feb. 1972.
19. L.T. Grujic, & D.D. Siljak, "Asymptotic stability and Instability of Large Scale Systems, IEEE Trans. Automat. Contr., vol AC-18 pp. 636, Dec. 1973.
20. S.B. Gershwin & D.H. Jacobson, "A controllability Theory for Nonlinear Systems," IEEE Trans. Aatomat. Contr., Vol. AC-16 pp. 37, Feb. 1971.
21. R.L. Kosut, "Suboptimal Control of linear time-in-variant systems subject to control structure constraints," IEEE Trans, on AC, pp. 557~562, Oct. 1970.
22. J.B Moore, "Ano te an feedback Compensator in Optimal linear systems" IEEE Trans, on AC pp. 494~495, Aug. 1970.
23. N.K. Sinha and S.U. Dai, "Reduction of the Sensitivity of an Optimal Control systems to plant Parameter Variations" IEEE Transon, AC, pp. 589~590, Oct. 1970.
24. S.G. Rao and A.C Soudack, "Synthesis of optimal Control systems with near Sensitivity feedback," IEEE Trans on, AC, pp. 194~196, Apr. 1971.
25. P. Courtin and J. Rootenburg." Performance Index Sensitivity of Optimal Control systems," IEEE Trans on, AC, pp. 275~277 June 1971.
26. W.S. Levine, T.L. Johnson and M, Athans, "Optimal limited State variable feedback controllers for linear systems" IEEE Trans on, AC, pp. 785~793, Dec. 1971.
27. P.J McLane, "Optimal stochastic control of linear systems with state and control dependent disturbunce. IEEE Trans on, AC, pp. 793~798, 1971.
28. L, Mariani and B. Nicoletti "Optimal discrete systems with pure delays" IEEE Trans on, AC, pp. 311~313, June 1973.
29. M.A Leibowitz and K Suren Dran "Optimal Control of a class of distributed systems" IEEE Trans on, AC, pp. 69~70, Feb. 1973.
30. T.R.Blackurn and D. R Vauguhn "Application of linear optimal control and filtering theory on the Saturn V launch veicle," IEEE Trans on, AC, pp. 799~806, Dec. 1971.
31. T. Pecsuaradi, "Optimal horizontal guidance law for aircraft in the terminal area," IEEE Trans on, AC, pp. 763~772, Dec. 1972.
32. J.S. Lee, "Optimal SAM defence System.: An Application of optimal control Concept to Operation Research," IEEE Transon, AC, pp. 485~489, Oct. 1973.
33. T.C. Hsia, "Optimal dscoupling of linear systems." IEEE Trans on, AC, pp. 375~377, June 1972.
34. R. Yokoyama and E, Kinnen, "The Inverse problem of the optimal regulator" IEEE Trans on, AC, pp. 497~504, Aug. 1972.
35. I.S. Parry and C.H. Houpis, "A parameter Identification Self-adaptive Control System" IEEE vol AC-15, pp. 462~468. Aug. 1970.
36. D.D. Sworder "Uniform Performance-Adaptive Renewal policies for Linear Systems" IEEE vol. AC-15, pp. 581~583 October 1970.
37. E. Tse and M. Athans "Adaptive stochastic Control for a Class of Linear Systems" IEEE vol. Ac-17, pp. 38~52, February 1972.
38. Y. Sawaragi, T. katayama, S. Fujishige "Adaptive Estimation for a Linear System with Interrupted observation" IEEE vol AC-18, pp. 152~154, April. 1973.
39. R.L. Carroll and D.P. Lindorff "An Adaptive observer for Single Input Single-Output Liner Systems" IEEE vol AC-18 pp. 428~435 October 1973.
40. R. Ku. and M. Athans "On the Adaptive Control of Linear Systems Using the Open-Loop-Feedback-Optimal Approach" IEEE vol. AC-18, pp. 489~493, October 1973.
41. K.S. Fu, "Learning Control Systems Re[illegible] and Outlook" IEEE vol. Ac-15, pp. 210~221 Apr. 1970.
42. J.D. Lambert and M.D. Levine, "A Two-stag[illegible] Learning Control System" IEEE vol. A[illegible] 15, pp. 351~354, June, 1970.

43. K.S. Fu "Learning Control Systems and Intelligent Control Systems An Intersection of Artificial Intelligence and Automatic Con trol" IEEE Vol AC-16, pp.70~72 February 1971.
44. M.D. Levine and T. Vilis "On-Line Learning optimal Control Using Successive Approximation Techniques" IEEE Vol AC-18, pp.279 ~284, June 1973.
45. L.G. Mason "An Optimal Learning Algorithm for S-Model Environments" IEEE Vol AC-18, pp.493~496, October 1973.
46. R.L. Klein & E.D. Eyman "Filtering & Filter Sensitivity for Stochastic Parameter Sys tems", IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-15, pp.25~31 Feb. 1970.
47. M. Athans, "The Role and Use of the Stochastic Linear-Quatratic-Gaussian Problem in Control System Design", IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-16, pp.529~551 Dec. 1971.
48. E. Tse. and M. Athans, "Adaptive Stochastic Control for a Class of Linear Systems," IEEE Trans. Automat Contr., Vol AC-17, pp. 38~51 Feb. 1972.
49. E. Tse, "On the optimal Control of Stochastic Linear Systems," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-16, pp.776~784 Dec. 1971.
50. D.H. Jacobson, "Optimal Stochastic Linear Systems with Exponential Performance Criteria and Their Relation to Deterministic Differential Games," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-18, pp.124~131 Apr. 1973.
51. E.Tse, Y. Bar-Shalom, L. Meier Ⅲ, "Wide-Sense Adaptive Dual Control for Nonlinear Stochastic Systems," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-18, pp.98~108 Apr. 1973.
52. T.J. Tarn," Stochastic Optimal Control with Imperfectly Known Plant Disturbances,"IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-15, pp.250 ~252 Apr. 1970.
Y.S. Lim," Linearization and Optimization of Stochastic Systems with Bounded Con trol," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-15, pp.49~52, Feb. 1970.
54. C.Y. Chong & M. Athans, "On the Stochastic Control of Linear Systems with Different Information Sets," IEEE Trans, Automat. Contr., Vol AC-16, pp.423~430. Oct. 1971
55. J.C. williams & G.L. Blankenship, "Frequency Domain Stability Criteria for Stochastic Systems." IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-16, pp.292~299, Aug. 1971.
56. A.K. Mahalanabis & S. Purkayastha, "Frequency Domain Criteria for Stability of a Class of Nonlinear Stochastic systems," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-18, pp. 266 ~270, Jun. 1973.
57. R.L. Kashyap, "Maximum Likelihood Identification of Stochastic Linear Systems," IEEE Trans. Automat. Contr., Vol AC-15, pp. 25~33, Feb. 1970.
58. S.C. Sworder and D.D. Sworder, "Feedback Estimation Systems and the Separation Principle of Stochastic Control," IEEE Trans, Automat. Contr., Vol AC-16, pp. 350~353, Aug. 1971.
59. K.A. Fegley S. Blum, J.O. Bergholm, A.J. Calise, J.E. Marowitz, G. Porcelli, L.P. Sinha "Stochastic and Deterministic Design and Control via Linear and Quardratic Programming," IEEE Trans. Automat., Contr., Vol AC-16, pp.759~766, Dec. 1971.

著 書

1—1. J.L. Melsa and D.G. Schultz, "Linear Control Systems" New York, McGraw-Hill, 1969, pp.621.
1—2. C.A. Desoer "Notes for a Second Course on Linear Systems" New York, Van Nostrand, 1970, pp. 199.
1—3. Benjamin C. Kuo "Discrete-Data Control Systems" Englewood Cliffs N.J, Preutice-Hall, 1970, pp.399.
1—4. R.W. Brockett "Finite Dimensional Linear Systems" New York, Wiley, 1970, pp. 244.
1—5. J.E. Rubio "The Theory of Linear Systems" New York, Academic, 1971, pp.329.
1—6. C.T. Chen "Introduction to Linear System Theory" New York, Holt, Rinehart, and Winston, 1970, pp.431.
2—1, Gibson, "Nonliner Automatic Control" Mc-

Graw-Hill, 1963, pp. 585

2—2. Himmelblaw, "Applied Nonlinear programming" Mcgraw-Hill, 1971, pp. 416

2—3. Stern, "Nonlinear Networks and Systems" Addison Wesley, 1965, pp. 309

3—1. E. Bryson-Sr and Yu-Chi Ho "Applied Optimal Control" Blaisdell, 1969, pp. 481

3—2. DYER and S.R. MCREYNOLD "The Computation and Theory of Optimal Control" Academic, 1970, pp. 242

3—3. J.L. Lions "Optimal Control of Systems Goverened by partial Differential Equations" Springer, 1971, pp. 394

3—4. D.E. Kirk "Optimal Control Theory: An Intro duction„ Prentice-Hall, 1970, pp. 452

3—5. G.S. Beveridge and R.S. Schechter "Optimization; Theory and Practice" MGH, 1970, pp. 773

3—6. H. KWA KERWAK and R Sivan "Linear Optimal Control Systems" 1972.

4—1. J.M. Mendel and K.S. Fu. Zds "Adaptive, Learning and Pattern Recognition Systems: Theory and Application" New York, Academic press, 1970, pp. 424

4—2. R. Bellmann "Adaptive Control Processes A Guided Tour" Princeton. N.J. Princeton Univ. 1961.

4—3. N.J. Nillson "Learning Machine New York, McGraw-Hill, 1965.

4—4. K.S. Fu "Sequential Methods in Pattern Recognition and Machine Learning" New York, Academic, 1968.

4—5. Yu. Z. Tsyspkin "Adaptation and Learning in Automatic Systems" (transl. by Z.J. Nikolic) New York, Academic, 1971.

4—6. K.S. Fu. L.A Zadeh and E. Polak. Eds "Learning System Theory"—in system Theory— New York, McGraw-Hill, 1969.

4—7. K.S. Fu. J.T. Tou and R.H. Wilcox "Learning Control Systems"-in computer and in formation sciences-Washington, D.C Spartan, 1964.

5—1. H. Kushner "Introduction to stochastic Control" New York, Holt, Rinehart and Winston, 1971.

5—2. A.H. Jazwinski "stochastic Processes and Filtering Theory" New York, Academic, 1970.

5—3. E. Wing "Stochastic Processes in Information and Dynamical Systems" New York, McGraw-Hill, 1971.

5—4. J.S. Meditch "Stochastic Optimal Linear Estimation and Control" New York, McGraw-Hill, 1969.

5—5. R.S. Bucy & P.D. Joseph "Filtering for Stochast.ic Processes with Opplications to Guidance" New York, Interscience, 1968.