

大規模 시스템에 대한 適應技法의 具現

下 增 男
(韓國科學技術院 教授)

柳 鎔
(韓國科學技術院 博士課程)

■ 차 례 ■

- | | |
|-----------------|--------|
| 1. 서 론 | 4. 결 론 |
| 2. 적응기법 구현시 문제점 | 참고문헌 |
| 3. 연구현황 | |

1 서 론

대규모 시스템은 흔히 상호연결 (interconnection) 된 낮은 차원의 부시스템 (subsystem) 들로 모델링 된다. 개념적이나 계산상의 관점에서 볼때, 대규모 시스템을 여러개의 상호연결된 부시스템들로 나누어 생각하는 것이 타당하기 때문이다. 구체적으로 어떤 선형 대규모 시스템이 N개의 상호연결된 부시스템들로 구성되어있다 하면 각각은 다음과 같이 표시된다.¹⁾

$$\dot{x}_i = A_i x_i + B_i u_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N A_{ij} x_j \quad (1-1)$$

$$y_i = C_i x_i \quad (1-2)$$

여기서, n_i 차원의 x_i 는 i 번째 부시스템의 상태 변수들을, m_i 차원의 u_i 는 그의 제어 입력변수들을, r_i 차원의 y_i 는 그의 출력 변수들을 나타낸다. 그동안에 (1-1)식 또는 (1-1)과 (1-2) 식들로 주어지는 대규모 선형시스템에 대해 안정화 및 최적화등의 목적아래 많은 연구가 진행되어 왔는데, 이에 대한 자세한 연구현황은 1) 과 2) 를 참조하기로 하고, 여기서는 문제 접근 방법의 중요한 특징에 대해서만 언급하기로 한다. 즉 대규모 시스템에서 흔히 대두되는 정보구조상의 제약을 다루기 위하여, 비집중 방식 및 계층적 방식이 주로 사용되어 왔다는 점을 지적할 수 있다. 여기서, 비집중 방식은 각 부시스템에서 정보를 분산처리하는 방법을 말하며(그림 1 참조), 계층적 방식은 각 부시스템에

기능을 할당시키되 전체를 통괄하는 조정자(coordinator)를 두자는 개념이다 (그림 2 참조).

차수가 크고 복잡한 동적 특성을 갖는 실제 대규모 시스템에 있어, 시스템 파라미터들을 모르는 경우나, 파라미터들이 부정확하게 모델링되는 경우가 많이 발생한다. 그럼에도 불구하고, 기존의 대부분 연구 결과들이 비교적 정확한 시스템 모델이 주어졌다는 가정아래서 이루어졌기 때문에, 실제 시스템에 이러한 결과들을 응용하기에는 적합치 못한 면이 있었다. 이러한 상황은 전력시스템^{3), 4)}, 로봇 시스템^{5), 6)}, 프로세서 제어시스템⁷⁾, 항공시스템⁸⁾, 경제시스템⁹⁾ 등에서 찾아 볼 수 있는데, 구체적으로 다음의 전력 시스템 예¹⁰⁾를 살펴보기로 하자.

그림 3과 같이 주어지는 4개의 발전소로 구성된 전력시스템을 생각하자. 여기서, 발전소 1은 화력, 발전소 2와 3은 수력, 발전소 4는 다른 발전소에 비해 inertia가 커서 전압변동이 거의 없는 기준 발전시스템이다. 각 발전소의 상태변수로서는 main field의 flux linkage, rotor와 armature 사이에 인가되는 air gap 전압, torque 각(전압과 전류사이의 위상차), 회전축의 각 속도를 선택하고, 제어 입력으로는 exciter field에 흐르는 전류량을 조절하도록 한다.

문제는 전체 전력시스템이, 시스템 파라미터의 변화내지 외부의 잡음의 영향에도 불구하고, 어떤 주어진 정상 상태에서 항상 동작하도록 하자는 것인데, 이를 위하여 우선 동작점을 기준으로 시스템의 동적

변화를 묘사하는 선형 perturbation 모델을 구한다. 그러나, (1-1)식의 형태로 주어지는 선형모델 안에, 예기치 못한 부하변동이라든지 기타 바람직하지 못한 영향을 고려하기가 어렵다. 만약 이 선형모델이 허용 범위내의 정확도를 가지지 못한다면, 기존의 정확한 모델에 바탕을 둔 안정화내지 조정(regulation)기법이 사용될 수 없을 것이다.

위의 예에서 보는 바와같이, 특히 대규모 시스템에서 시스템 파라미터의 불확실성에 봉착하게 되는 경우가 많을 수 있는데, 아울러 다음과 같은 상황도 생각할 수 있을 것이다. 즉, 복잡한 모델을 통하여 시스템의 동적특성을 잘 표현했다 하더라도, 그와 같은 모델이 안정화 및 최적화등의 제어목적에 얼마만큼 부합될 수 있을 것인가에는 의문의 여지가 남는다는 점이다.

이와 같이 대규모 시스템에 있어, 정확하고 간단한 시스템 모델을 구하기 어렵기 때문에, 이를 극복하기 위해서 적응기법의 구현에 대한 연구가 근래에 많이 진행되고 있다. ^{4)~18)} 적응기법이 어떻게 사용되고 있는지를 보기 위하여 앞의 예를 다시 살펴보자. 먼저 선형 perturbation 모델을 미지의 시스템

파라미터를 갖는 시불변(time-invariant)시스템이라 가정하고, 적응 안정화기법을 구성하게 되는데, 최종적으로는 전체 적응시스템의 안정성이 보장되어야 한다.

지금까지, 대규모 시스템에 적응기법을 도입하게 된 배경에 대해 설명하였는데, 이후에는 적응기법 구현시 발생하는 어려운 점 및 그동안의 연구동향을 중심으로 기술하기로 한다.

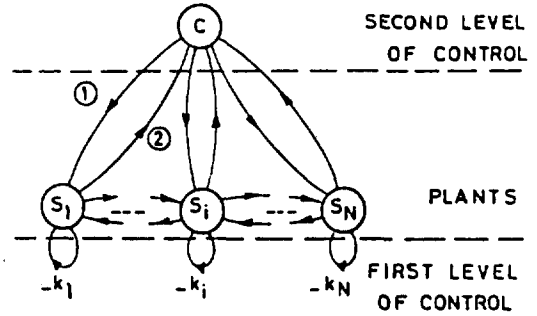


그림 2. 2레벨 계층적 제어시스템

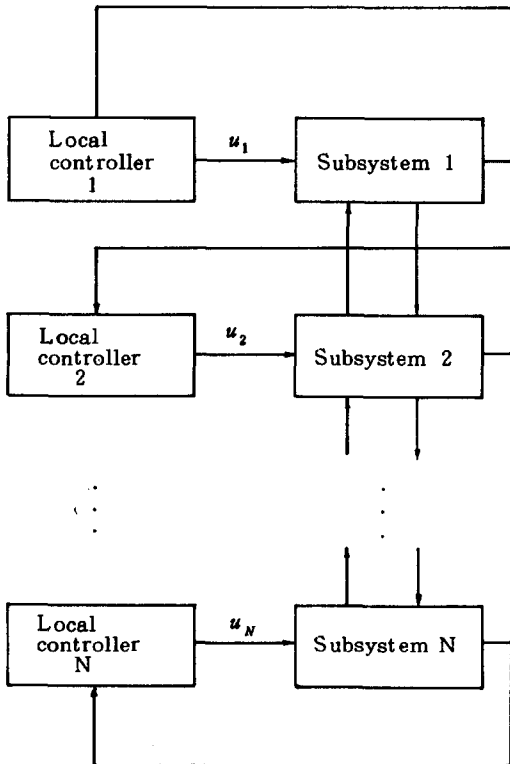


그림 1. 비집중 제어시스템

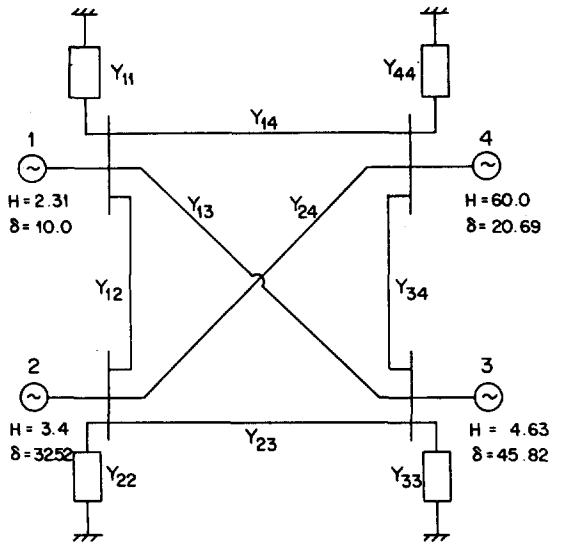


그림 3. 상호연결된 전력시스템

2 적응기법 구현시 문제점

그동안에 불확실한 시스템에 대하여 시스템 identification 문제, 그리고 미리 규정된 기준모델이나 기준 trajectory를 궁극적으로 따라가도록 하는 제어문제등을 위한 많은 적응기법들이 개발되어 왔다. 그러나, 대부분의 연구결과들이 차수가 낮은 시스템

에 대하여 이루어 졌기 때문에, 실제 차수가 높은 대규모 시스템에 이러한 결과들을 적용하는 데는 적지 않은 어려움이 따르게 된다. 우선 많은 양의 파라미터들을 조정함에 따라 수치 계산상의 어려움을 생각할 수 있다. 반면에, 수치 계산상의 어려움을 피하고 정보구조상의 제약을 다루기 위하여 비집중 방식을 사용할 수 있는데, 이때는 미지의 상호 연결형태 아래서 어떻게 분산처리를 할 것인가라는 난제에 봉착하게 된다. 이러한 상황은 구체적으로 다음의 예¹⁰⁾에서 찾아 볼 수 있다.

(1-1)식으로 주어지는 대규모 시스템을 생각하자. 여기서 각 부시스템의 행렬 A_i 와 B_i 에 대해서는 잘 모르나, 상호 연결형태 A_{ij} 에 대해서는 정확하게 알고 있다고 가정한다. 또, 상태변수 x_i 는 i 번째 부시스템내에서만 측정가능하고, 각 고립된(isolated) 부시스템들은 완전 가제어하다(controlable)고 가정한다.

이제 문제는 각 부시스템의 행렬 A_i 와 B_i 를 알아내기(identify) 위한 비집중 적응방식을 구성하는 일인데, 먼저 다음과 같은 조정(adjustable) 모델을 선정하자.

$$\dot{\hat{x}}_i = F_i \hat{x}_i + (\hat{A}_i(t) - F_i) x_i + \hat{B}_i(t) u_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N A_{ij} \hat{x}_j, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2-1)$$

여기서 기호 \wedge 는 각 해당하는 양의 추정치를 의미하고, F_i 는 임의의 안정 행렬이다.

그러나, (2-1)식에서 보는바와 같이 어떤 한 부시스템의 모델을 구현하기 위해서는 다른 부시스템들로부터 해당하는 모델의 상태변수들을 가져와야 되기 때문에, 완전한 비집중이라 볼 수 없다. 이러한 면은 상호 연결상태 A_{ij} 를 정확하게 안다는 가정과 함께 실제적인 제약조건으로 등장하고 있으며, 이러한 조건아래서는 기존의 적응기법들이 쉽게 확장될 수 있다.

위의 예에서 관찰할 수 있는 바와 같이 대규모 시스템에 비집중 방식을 실현하기 위해서는 미지의 상호 연결형태아래서 분산처리라는 큰 장벽이 가로막혀 있음을 알 수 있다.

이러한 어려움은 계층적 적응기법을 구현할 때에도 마찬가지로 발생한다. 즉, 실제 계층적 방식에서는 상호연결이 부시스템에 미치는 영향을 보상하기 위하여, 조정자 레벨에서 상호 연결형태를 정확히 알아야 하거나, 각 부시스템에서 상호 간섭량을 측정할 수 있어야 되는 제약을 가지고 있다. 만약 후자

의 제약이 허용되는 상황에서라면, 굳이 계층적 방식이 아니더라도 비집중 방식에 의하여 적응기법을 쉽게 구현할 수 있는데, 이는 앞에 제시된 예를 통하여 다음과 같이 보여진다.

(2-1)의 조정모델은

$$\hat{x} = F_i \hat{x}_i + (\hat{A}_i(t) - F_i) x_i + \hat{B}_i(t) u_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N A_{ij} x_j, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2-2)$$

으로 대체되며, (1-1)식과 (2-2)식으로 부터 다음의 error 시스템을 유도할 수 있다.

$$\dot{\hat{e}}_i = F_i e_i + (A_i - \hat{A}_i(t)) x_i + (B_i - \hat{B}_i(t)) u_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2-3)$$

(2-3)식에서 보는 바와 같이 이제는 상호 연결작용이 완전히 상쇄되어 낮은 차수의 부시스템들을 독립적으로 다룰 수 있게 되었기 때문에, 기존의 적응기법들이 직접 적용될 수 있다.

이와같이, 계층적 적응기법을 구현하는데 있어서도 미지의 상호 연결상태를 어떻게 처리할 것인가에 대해서는 아직 미지수로 남아 있다.

3 연구 현황

대규모 시스템에 적응기법을 구현하는데 있어서 정보구조상의 제약을 다루기 위하여 비집중 방식이나 계층적 방식의 채택이 바람직한데, 2장에서 지적된 문제점을 극복하기 어려운 관계로 이에 대한 연구가 많이 되어 있지 못한 실정이다. 본 고에서는 이러한 실정에 비추어 현존하는 연구결과들을 토대로 적응기법의 구현방법을 몇 가지 소개하고자 한다.

(1) 근래에 안정화 문제에 관련하여 비집중 적응기법이 제안되었는데^{11)~13)}, 이 방법은 기존에 잘 알려진 선형제환과 새로운 개념의 적응제환을 결합한 형태로 비집중 적응제어기를 제시하였다. 여기서 선형제환은 전체 시스템의 불안정을 유발하는 상호 간섭작용을 제압하기 위한 목적으로, 적응제환은 각 부 시스템의 모르는 파라미터들의 영향을 상쇄시키기 위한 목적으로 구성되었다. 이 방법을 사용하여 나온 주 결과들을 보면 대개 비집중 안정화를 위한 충분조건으로 주어지는데, 이 조건을 만족시키기 위해서 주어진 설계 파라미터를 변화시켜 나가는 반복과정이 필요하게 된다. 이러한 의미에서 이 방법에 의거한 결과들은 보수적(conservative)이라는 단점을 갖는다. 아울러, 이 방법은 아직 (1-1)식의 특수한 경우에 해당되는 시스템에 대해서만 적용가능하기 때문에, 이에 대한 확장연구가 필요하다. 여기

서 특수한 경우란 구체적으로 단입력 및 각 부시스템의 행렬 (A_i, B_i) 이 가제어 형태로 주어지는 상황을 의미한다.

(2) 시스템 identification 문제와 관련하여 계층적 방식이 제시되었는데^{4), 7)~9)}, 여기서의 방법은 identification 을 위한 계층적 적응기법이라기 보다는 기존의 계층적 최적제어기법에 의존하고 있다. 즉 미지의 시스템 파라미터들을 상태변수로 정의하여 시스템 자체에 포함시키면 (augment), 원래의 문제는 잡음이 섞인 측정치들로부터 상태변수를 최적으로 추정하는 문제로 바꾸어 생각할 수 있는데, 상태변수의 차수증가에 따른 계산상의 어려움을 타개하기 위하여 계층적 최적제어 기법이 사용되었다. 그러나 앞의 문제 변형과정이 성립되기 위해서는 모르는 파라미터들이 어떤 주어진 dynamics 를 가지고 변화한다는 가정이 수반되어야 한다. 예를들어, 모르는 파라미터의 벡터를 p 라 했을때, p 는 다음과 같은 dynamics 를 가지고 변화한다 하자.

$$\dot{p}(t) = A p(t) + \omega(t)$$

여기서 A 는 주어진 행렬이고 ω 는 랜덤 (random) 파라미터 잡음이다.

이와 같이, identification 문제에 대하여 소수의 결과가 보고되어 있을뿐, 계층적 구조를 갖는 적응기법의 구현이라는 측면에서 볼때 연구가 거의 안되어 있는 상태이다.

(3) 이외에 약결합 (weak coupling) 의 성질로부터 무시되는 상호간섭과 강결합 (strong coupling) 의 성질로부터 무시되는 fast mode 를 다루기 위한 기존 적응기법의 확장연구^{14), 15)}, 분산 (distributed) 파라미터 시스템의 축소 (reduced order) 모델을 통한 적응기법의 구현에 관한 연구^{16), 17)}, 대규모 시스템에 복잡성이 제한된 (restricted complexity) 적응조정기의 구현을 위한 시도연구¹⁸⁾ 등이 진행되고 있다.

약결합이 존재하는 동적시스템은 보통 다음과 같이 표시되며²⁾

$$\begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} A_{11} & \epsilon A_{12} \\ \epsilon A_{21} & A_{22} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} B_1 & 0 \\ 0 & B_2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} u_1 \\ u_2 \end{pmatrix}$$

$$(3-1)$$

식 (3-1) 에서 ϵ 가 충분히 작다고 가정할 때 두 개의 작은 차수를 갖는 독립적인 시스템으로 분리된다. 반면에, 강결합이 존재하는 동적시스템은 다음과 같이 표시되며²⁾

$$\dot{x}_1 = A_{11} x_1 + A_{22} x_2 + B_1 u_1 \text{ (Slow 시스템)}$$

$$\epsilon \dot{x}_2 = A_{21} x_1 + A_{22} x_2 + B_2 u_2 \text{ (Fast 시스템)} \tag{3-2}$$

식 (3-2) 에서 $\epsilon = 0$ 이라 할때, 즉 Fast mode 를 무시할때, x_1 의 차수에 해당되는 부분으로 축소된다. 이와 같이 약결합 혹은 강결합이 존재하는 시스템에 대하여 적응기법을 구현하기 위한 해결방안이 14), 15)에서 모색되었다.

Distributed 파라미터 시스템은 시스템구조가 공간적내지 지리적으로 넓게 퍼져있어서 소규모 lumped 모델로는 이의 동적특성을 정확하게 나타낼 수 없는 시스템으로 지칭된다. 이러한 어려운 면을 효과적으로 다루기 위한 방안으로서, 16), 17)에서는 우세한 (dominant) 특성을 가지도록 축소모델을 정한 뒤, 여기에 바탕을 두어 적응기법을 구현하는 방법을 제시하였다.

마지막으로, 대규모 시스템에서 제어기 구조로 비집중이면서 되도록 간단한 형태가 바람직하는데, 18)에서는 이러한 사실에 입각하여 복잡성이 제한된 적응 조정기의 구현가능성을 검토하였다.

4 결론

지금까지 대규모 시스템에 적응기법 구현의 필요성 및 구현시의 발생되는 어려운 점, 그동안의 연구결과를 토대로한 연구현황에 대해 기술하였다.

앞으로 이 분야에 대한 연구가 활성화되기 위해서는, 비집중 및 계층적 적응기법의 구현에 있어 미지의 상호간섭작용을 효과적으로 처리할 수 있는 방법이 모색되어야 하겠다. 좀더 구체적으로 말하면,

14)~18)에 제시된 문제 접근방법들에서 처럼, 기존의 낮은 차수의 시스템에 적용가능한 적응기법들을, 대규모 시스템에 적합한 형태가 될 수 있도록, 수정 및 보완하는 연구가 계속되어야 할 것이다.

참고 문헌

- 1) N.R. Sandell, P. Varaiya, M. Athans and M.G. Safonov; "Survey of decentralized control methods for large scale systems," IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-23, pp. 108-128, 1978.
- 2) 서일홍; "대규모 시스템의 해석 및 제어에 관한 연구동향," 전기학회지 Vol. 32, pp. 93-102, 1983.
- 3) M.G. Youssef and M. Kimura; "A modal control method for designing a decentralized controller

- to stabilize power systems," Preprints of the 8th Triennial world congress, IFAC, Kyoto Japan, 1981.
- 4) S. Arafeh and A.P. Sage ; "Hierarchical system identification of states and parameters in interconnected power systems," Int. J. Systems Sci., Vol. 9, p. 817, 1974.
 - 5) J. Zaprianov and S. Boeva; "Hierarchical decentralized control of industrial robots," Preprints of the 8th Triennial world congress, IFAC, Kyoto Japan, 1981.
 - 6) A.J. Koive and T.H. Guo; "Adaptive linear controller for robotic manipulators," IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-28, pp. 162-170, 1983.
 - 7) H. Tamura; "On identification, estimation, control of river quality using distributed-lag models," in Handbook of Large Scale Systems and Engineering Applications, M.G. Singh and A. Titli (eds.), North-Holland, New York, 1979.
 - 8) C.M. Fry and A.P. Sage; "Identification of aircraft stability and control parameters using hierachical state estimation," IEEE Trans. Aero. Elec. Syst., Vol. AES-10, p. 255, 1974.
 - 9) A.P. Sage; "Hierachical estimation and identification method for large scale systems," in Handbook of Large Scale Systems Engineering Applications, M.G. Singh and A. Titli (eds.), North-Holland, New York, 1979.
 - 10) M.K. Sundarshan; "A condition for decentralization in model reference adaptive systems," IEEE Trans. Auto. Contr., vol. AC-21, pp. 880-881, 1976.
 - 11) A. Hmamed and L. Radouane; "Decentralized nonlinear adaptive feedback stabilization of large-scale interconnected systems," IEE Proc. D, Contr. Theory & Appl., vol. 130, pp. 57-62, 1983.
 - 12) J. Lyou and Z. Bien; "A note on decentralized stabilization of unknown interconnected systems," accepted for publication in IEE Proc. D, Contr. Theory & Appl.
 - 13) J. Lyou and Z. Bien; "Decentralized adaptive stabilization of a class of large-scale interconnected discrete systems," submitted to ASME Trans., Jour. of Dyn. Meas. and Contr.
 - 14) P.A. Ioannou; "Design of decentralized adaptive schemes," in Advances in Large Scale Systems-Theory and Applications, J.B. Cruz (eds.), 1983.
 - 15) P.A. Ioannou and P.V. Kokotovic ; "Decentralized adaptive control in the presence of multi parameter singular perturbations and bounded disturbances," American Control Conference, San Francisco CA, 1983.
 - 16) M. Balas and C. R. Johnson, Jr. ; "Adaptive identification and control of large-scale or distributed parameter systems using reduced order models," Proc. 2nd Yale Workshop on Applications of Adaptive Control, 1981.
 - 17) M. Balas and C.R. Johnson, Jr. ; "Toward adaptive control of large structure in space," in Applications of Adaptive Control, K. Narendra and R. Monopoli (eds.), Academic Press, 1980.
 - 18) G.C. Goodwin and P.J. Ramadge; "Design of restricted complexity adaptive regulators," IEEE Trans. Auto. Contr., Vol. AC-24, pp. 584-588, 1979.

< P. 56에서 계속 >

33-3-5 : 時變 塔脚 接地 抵抗値를 가지는 鐵塔의 過渡 過電壓 特性

郭 熙 魯

本 論文에서는 送電線路에서 雷擊電流가 大地로 흐를경우 時變塔脚接地低抗에 의한 鐵塔의 過渡過電壓特性에 대하여 研究檢討하였다. 時變塔脚接地低抗

을 갖는 鐵塔을 simulation 하고 電擊電流에 의한 鐵塔의 過渡過電壓을 Nodal Solution Method에 의해 計算하였다. 그 결과로 부터 誘導性塔脚接地抵抗의 上限値를 定常値로 決定할 경우 애자련의 CFO 電壓보다 높은 過渡過電壓을 유발할 수 있고 逆閃絡率을 計算할때 애자련의 V-T特性도 고려 되어야 함을 알 수 있었다.