Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 13, S. 4 (1997) (11-24)

CÁC HỆ THỐNG TỰ ĐỘNG: BẤT ĐỊNH VÀ ĐIỀU KHIỂN*

VŨ NGỌC PHÀN

Abstract. Model uncertainties always are hindrances to effectiveness of the control system design and analysis. The contention of the present paper is to show that it is not capable of completely avoiding model uncertainties because the realworld is beyond our cognition. To find control algorithms working with model uncertainties is better than looking for the way avoiding them. The purpose of this paper is to clarify the nature of uncertainties and control algorithms. Then, some control techniques as adaptive control, robust control, extremal control, stochastic control will be represented to demonstrate feasibilities of overcoming uncertainties.

I. MỞ ĐẦU

Từ bộ điều khiển mức nước bể chứa do Polsunow thiết kế năm 1965, đến nay các hệ thống tự động đã trở thành quen thuộc không chỉ trong sản xuất công nghiệp mà cả trong đời sống thường ngày. Các hệ thống tự động là đối tượng nghiên cứu, thực nghiệm và cũng là kết quả của nhiều nghành kỹ thuật khác nhau. Trong hệ thống tự động tồn tại ba quá trình cơ bản. Đó chính là quá trình thu thập và truyền thông tin, quá trình xử lý thông tin và ra quyết định, quá trình tạo ra và thực hiện tác động điều khiển. Ba quá trình trên thể hiện một cách tường minh (explicit) hoặc không tường minh (implicit).

Chúng ta không có ý định đánh giá tầm quan trọng của từng quá trình đối với sự hình thành các hệ thống tự động. Bài này chỉ tập trung vào *quá trình điều khiển* (control process), xem nó là tác động trực tiếp tạo lập các trạng thái mong muốn ở các hệ thống có tổ chức. Như đã biết, các quá trình tự nhiên có xu thế tiến tới trạng thái cân bằng (equilibrium). Trạng thái cân bằng là trạng thái hỗn loạn và mất trật tự nhất. Sự hỗn loạn và mất trật tự đi liền với khái niệm *entropy* trong nhiệt động học. Entropy là phần năng lượng không thể tự chuyển thành công có ích vì nó đã được dùng vào việc tạo ra sự hỗn loạn và mất trật tự. Định luật thứ hai của nhiệt động học phát biểu rằng, trong một hệ thống khép kín *entropy* không tự giảm. Muốn giản entropy phải có một *tác động hướng đích* vào hệ thống.

---

* Do yêu cầu hạn chế số trang của tạp chí, bài này viết thu gọn từ một công trình nghiên cứu dài với những diễn giải tương đối chi tiết các thí dụ minh họa, một số lượng lớn các tài liệu tham khảo. Bạn đọc có nhu cầu tìm hiểu sâu hơn, xin liên hệ với tác giả.

Nhìn chung, các hệ thống có tổ chức có khả năng hướng tác động của môi trường xung quanh theo những cơ chế nào đó để duy trì trạng thái của nó theo chiều giảm sự mất trật tự và hỗn loạn. Thuật ngữ chuyên môn gọi cơ chế đó là *điều khiển*. Chúng ta có thể mở rộng khái niệm entropy của nhiệt động học để chỉ tình trạng vô trật tự, hỗn loạn, mất ổn định, chệch mục tiêu của các hệ thống tổng quát. Sự mở rộng này cho ta kết quả, trong một hệ đóng kín entropy không tự giảm. Điều khiển là cơ chế làm giảm entropy. Ở đâu entropy không tăng, ở đó đang diễn ra quá trình điều khiển.

So với khái niệm entropy, khái niệm bất định (uncertainty) mang nhiều tính chất heuristic. Entropy là thuộc tính của *thực tế khách quan* (objctive reality) còn bất định là thuộc tính của *nhận thức* (cognition). Tuy nhiên sau này ta sẽ thấy rằng, bất định là kết quả chứa cả hai yếu tố *khách quan* và *chủ quan*. Vì vậy, việc cố gắng loại trừ hoàn toàn bất định là điều không thể thực hiện được.

Sự quan tâm của chúng ta đối với *bất định* bắt nguồn từ hai lý do sau:

- Các hệ thống mà chúng ta quan tâm tới ngày càng có độ phức hợp và/hoặc có độ phức tạp lớn hơn. Như trong các phần sau chúng ta sẽ thấy rõ, việc tồn tại bất định là điều khiển không tránh khỏi.
- Bất định là thuộc tính của nhận thức trong đó có quá trình tư duy (xử lý thông tin và ra quyết định). Các thiết bị xử lý thông tin và ra quyết định ngày nay đã trở thành một phần quan trọng trong các hệ thống tự động hóa, tương tác trực tiếp với các thiết bị điều khiển.

Đến đây trước mắt chúng ta hiện lên một vấn đề thực tế rất đơn giản và cũng rất lý thú. Muốn giảm entropy phải nhờ vào điều khiển, khi tiến hành điều khiển thì vấp phải bất định. Chấp nhận sự có mặt của bất định, đưa ra những chiến lược và phương pháp điều khiển có khả năng chung sống với bất định. Đó chính là mục tiêu của lý thuyết điều khiển hiện đại.

II. BẤT ĐỊNH

Khái niệm *bất định* (uncertainty) mới xuất hiện trong lý thuyết điều khiển từ khi *điều khiển bền vững* (robust control) ra đời, mở đầu bằng các công trình của J. Ackermann [1] và J.C. Doyle [16] vào những năm đầu của thập kỷ 80. *Uncertainty*, tiếng Anh có nghĩa là sự không chắc chắn, sự không rõ ràng, tính không xác thực, tính dễ thay đổi. J. C. Doyle dùng khái niệm uncertainty để thay thế những khái niệm như *sự thiếu thông tin, thông tin không đầy đủ, mô hình với tham số chưa biết, mô hình không đầy đủ* v.v., trước đó vẫn dùng trong điều khiển, đặc biệt trong *điều khiển tự thích nghi* (adaptive control). Uncertainty đối lập với *robustness* (tính bền vững, tính chắc chắn). Với khái niệm *bất định* trong tiếng Việt, chúng ta muốn nói tới tất cả những gì không xác định được (ít ra thì chưa xác định được) vào thời điểm giải bài toán phân tích hay tổng hợp hệ thống điều khiển. Với cách hiểu này, bất định trong điều khiển là phần thiếu hụt của nhận thức so với thực tế khách.

1. Tính tự nhiên của bất định

Như đã biết, trong thế giới vi mô, không có khái niệm chuyển động thẳng. Sự thay đổi trạng thái của một hạt cơ bản được diễn tả bởi phương trình Shrödinger

$$ik\,\frac{\partial\Psi(s,t)}{\partial t} = H\,\Psi(s,t) \qquad (1)$$

Ở đây $\Psi(s,t)$ là hàm sóng, s là vị trí của vật trong không gian phi tương đối, t là thời gian, $i^2 = -1$, $k = 1{,}054 \times 10^{-27}$ ergs, H là toán tử Hamilton. Dạng thức của toán tử Hamilton phụ thuộc vào cấu trúc của hệ thống các hạt cơ bản. Chúng ta không đi sâu vào nội dung chi tiết của cơ học lượng tử cũng như cách giải phương trình (1), chỉ nêu ra đây vài kết quả có ý nghĩa đối với vấn đề của chúng ta. Gọi $\{(\Delta p)^2\}$ và $\{(\Delta s)^2\}$ là sai số bình phương trung bình khi xác định giá trị xung lực và vị trí của một hạt cơ bản. Heisenberg đã chỉ ra rằng

$$\{(\Delta p)^2\}\{(\Delta s)^2\} \geq k^2/4 \qquad (2)$$

Theo công thức (2), khi $\{(\Delta p)^2\} = 0$ thì $\{(\Delta s)^2\} = \infty$ và ngược lại. Đây chính là nội dung của nguyên lý bất định nổi tiếng của Heisenberg [7]. Xung lực và vận tốc phụ thuộc nhau qua khối lượng của vật chuyển động. Do đó, có thể phát biểu nguyên lý bất định của Heisenberg thành lời như sau: *Không thể xác định vận tốc và vị trí của một hạt cơ bản với cùng độ chính xác cho trước. Nếu đại lượng này được xác định chính xác bao nhiêu thì đại lượng kia được xác định kém chính xác bấy nhiêu.* Bất định có nguồn gốc ngay trong thế giới vi mô. Rất buồn là thế giới vĩ mô, trong đó có chúng ta, được tạo ra từ thế giới vi mô ấy. Công nhận nguyên lý bất định hay không là quyền của chúng ta.

Ngẫu nhiên là thuộc tính của tự nhiên, ngẫu nhiên là nguồn gốc sinh ra bất định. Chẳng hạn, chúng ta xét một vấn đề rất quan trọng trong kỹ thuật, vấn đề đánh giá độ tin cậy của các thiết bị công nghiệp. Việc đánh giá này thường dựa vào các phương pháp phân tích thống kê. Nhưng như ta đã biết, khi đưa ra những kết luận đánh giá, chúng ta có thể mắc hai loại sai lầm sau:

- Sai lầm thứ nhất có dạng tổng quát: giả thiết đúng - kết luận sai.
- Sai lầm thứ hai có dạng tổng quát: giả thiết sai - kết luận đúng.

Hai nguy cơ sai lầm này có tính chất đối kháng. Muốn hạn chế nguy cơ mắc sai lầm này thì nguy cơ mắc sai lầm kia càng lớn hơn và ngược lại. Hiện tượng này cũng xảy ra trong mọi quá trình quyết định. Lý thuyết quyết định (decision theory) đã chỉ ra rằng, bất kỳ một quyết định nào cũng gắn liền với rủi ro (risk).

Khi ta chọn một mô hình toán học để mô tả đối tượng điều khiển, ta cũng mắc sai lầm này [15]. Không nên nghĩ rằng tốt nhất là để cho hai nguy cơ sai lầm bằng nhau. Bởi vì làm như vậy chẳng giúp ta làm giảm bớt bất định.

2. Bất định: giới hạn của khả năng nhận thức

Tiếp cận hệ thống

Trong thế giới vật chất cũng như thế giới phi vật chất, chúng ta phân biệt các *hệ thống tĩnh* (static systems) và các *hệ thống động* (dynamic systems). Thực ra theo quan điểm duy vật, thế giới tồn tại trong sự vận động và vì thế không tồn tại hệ thống tĩnh tuyệt đối. Khái niệm *tĩnh* và *động* được hiểu một cách tương đối theo mức độ cảm nhận và mục đích quan sát những biến đổi theo thời gian. Cũng xuất phát từ quan điểm này ta thấy rằng, không tồn tại hệ thống với tham số bất biến theo thời gian (systems with time-invariant parameter). Khái niệm tham số bất biến theo thời gian cũng chỉ là một quy ước mang tính heuristic.

Vấn đề bất định thực sự trở nên nghiêm trọng khi ta xét *các hệ thống phức hợp* (complex systems) và *các hệ thống phức tạp* (complicated systems). Hai khái niệm này nhiều khi hay bị nhầm lẫn với nhau. Ta công nhận rằng, độ phức hợp của hệ thống tăng theo số lượng phần tử tham gia hệ thống và những mối tương tác giữa chúng. Một hệ thống phức hợp thường là phức tạp. Tuy nhiên có những hệ thống ít phức hợp hơn nhưng lại phức tạp hơn. Độ phức tạp của hệ thống thường đặc trưng bởi các tính chất sau đây:

- Tính không đồng nhất của các phần tử.
- Tính phi tuyến và động lực học bậc cao của các phần tử.
- Tính trễ của các quá trình xảy ra trong hệ thống .
- Tính đa dạng của các mối tương tác giữa các phần tử.
- Tính nhạy cảm đối với những thay đổi của môi trường.

Phải công nhận một thực tế là, nếu độ phức tạp của hệ thống tăng lên, khả năng của chúng ta mô tả một cách chính xác và khả dụng hành trạng của các hệ thống này giảm dần. Đến một ngưỡng nào đó, độ chính xác và tính khả dụng của sự mô tả trở thành những đơn tử loại trừ nhau. Hiện tượng này được L. A. Zadeh đặt tên là *nguyên lý bất phù hợp* (principle of incompatilibity) [19]. Nguyên lý bất phù hợp của L. A. Zadeh khẳng định một lần nữa yếu tố chủ quan của bất định.

Công cụ toán học và lô-gich

Các nhà điều khiển thường dùng các công cụ toán học (giải tích, đại số, tô-pô) để mô tả, phân tích và thiết kế các hệ thống. Vì toán học được các nhà điều khiển coi như những "công cụ có sẵn" nên ít quan tâm đến tính lô-gich đúng đắn của nó mà chỉ quan tâm đến hiệu quả sử dụng. Giải quyết các vấn đề liên quan tới các hệ thống phức tạp đòi hỏi phải có những công cụ mạnh và thích hợp. Tuy vậy, các nhà điều khiển không để ý rằng, bất định tiềm ẩn ngay trong công cụ họ đang xử dụng. P.X. Nôvicôp đã chỉ ra sự bất định này qua việc phân tích khái niệm *vô cùng* hay *vô hạn*, một khái niệm được dùng rất phổ biến trong khi nghiên cứu các hệ điều khiển.

Suy luận (inference) là một khâu quan trọng của quá trình nhận thức (cognition). Khi suy luận người ta thường dựa vào một thứ lô-gich nào đó. Từ góc độ lịch sử người ta phân biệt lô-gich Arixrôt (Aristolelean logic), lô-gich cổ điển (classic logic) và lô-gich hiện đại (modern logic) v.v... Các nhà triết học phân biệt lô-gich hình thức (formal logic), lô-gich trực giác (intuitionistic logic), lô-gich biện chứng (dialectical logic) v.v... Các nhà toán học nghiên cứu lô-gich kiến thiết (constructive logic), lô-gich qui nạp (inductive logic), lô-gich tổ hợp (combinatory logic) v.v... Chúng ta quan tâm đến lô-gich hai trị (binary logic), lô-gich đa trị (multivalued hay many-valued logic), lô-gich phân hoạch (fractal logic), lô-gich đa ngữ cảnh (polycontextural logic) v.v...

Vấn đề đáng lưu ý nhất liên qua tới bất định là phép kéo theo được sử dụng trong tất cả các lô-gich hình thức vừa nhắc đến trên kia. Trong lô-gich hai trị, mệnh đề "if A then B" nhận giá trị sai khi và chỉ khi A đúng và B sai, nói cách khác, mệnh đề trên sai khi và chỉ khi A không dẫn tới B. Khi A sai, mệnh đề trên nhận kết quả đúng, không phụ thuộc vào mệnh đề B đúng hay sai. Hơn nữa, khi áp dụng phép toán này, người ta không quan tâm đến việc mệnh đề A có phản ánh đúng hiện thực khách quan không. Trong lô-gich mờ, mệnh đề A với hàm thuộc $f(A)$ cho trước, B sẽ nhận giá trị $f(B)$ bằng bao nhiêu qua phép toán "if A then B"?. Giá trị $f(B)$ hoàn toàn do ta quy ước (poorly defined). M. Peschel cũng đã chỉ ra rằng, qui tắc bắc cầu của phép kéo theo không phù hợp hoàn toàn với duy vật biện chứng [12].

Lỗi lầm của chúng ta

Như đã nói ở phần đầu, bất định là thiếu hụt giữa hiểu biết của chúng ta so với thực tế khách quan. Sự thiếu hụt ấy một phần do khách quan gây ra như vừa trình bày ở trên, một phần do lầm lỗi của chính chúng ta. Đôi khi trong quá trình tư duy, chúng ta đã "lấy tay che mắt mình". Một dạng "lấy tay che mắt mình" là sự ngụy biện (vô tình hoặc có chủ ý) trong các lập luận khoa học. Ta có thể nêu ra vài dạng ngụy biện như sau:

- Ngụy biện liên hệ đến sự kiện.
- Những ngụy biện liên quan đến từ ngữ.
- Những ngụy biến liên hệ đến định nghĩa và suy luận.

III. ĐIỀU KHIỂN

Chúng ta hãy xét một bài toán cổ điển để làm sáng tỏ một vấn đề trong thiết kế điều khiển. Cho hệ thống rời rạc diễn tả bởi.

$$Ay = Bu \tag{3}$$

trong đó u là tín hiệu điều khiển và y là tín hiệu đầu ra. A và B là các đa thức phụ thuộc toán tử tịnh tiến. Giả sử rằng cần phải thiết kế một bộ điều khiển sao cho tín hiệu ra mong muốn y_m và tín hiệu chỉ dẫn u_c tuân theo quan hệ

$$A_m\, y_m = B_m\, u_c \tag{4}$$

Luật điều khiển được dùng ở đây là

$$Ru = Tu_c - Sy \tag{5}$$

trong đó R, S và T là các đa thức. Từ các công thức trên đây ta thu được phương tình diễn tả hệ vòng kín.

$$(AR + BS)\, y = B\, T\, u_c \tag{6}$$

Các nghiệm của hệ vòng hở là nghiệm của đa thức B. Các nghiệm này cũng là nghiệm của hệ vòng kín nếu nó không được triệt tiêu bởi các cực của hệ vòng kín. Hiển nhiên là chỉ có các nghiệm ổn định được triệt tiêu, do vậy chúng ta tách B thành dạng.

$$B = B_n\, B_0 \tag{7}$$

trong đó B_n chứa các nghiệm không ổn định còn B_0 chứa các nghiệm ổn định. Trong công thức (3.4), $(AR + BS)$ là đa thức đặc trưng của hệ vòng kín. Đa thức này được thiết kế gồm ba thành phần: thành phần triệt tiêu các nghiệm ổn định của B_0, thành phần chứa các cực mong muốn của mô hình và thành phần chứa các cực quan sát mong muốn khi quan tâm đến trạng thái của hệ. Như vậy ta có thể viết một cách hình thức

$$(AR + BS) = B_0\, A_m\, A_0 \tag{8}$$

Vì B_0 là ước số của B, để thỏa mãn (3.6) R cần có các ước số là B_0. Giả sử

$$R = B_0\, R_1 \tag{9}$$

khi đó biểu thức (8) có thể viết thành

$$(A\, R_1 + B_n\, S) = A_m\, A_0 \tag{10}$$

Quan hệ giữa tín hiệu chỉ dẫn và tín hiệu đầu ra của hệ phải thỏa mãn biểu thức (4), suy ra

$$B_m = B_n B_1 \tag{11}$$

nghĩa là B_m phải có ước số là B_n. Từ (6), (10), và (11) suy ra

$$T = A_0 B_1 \tag{12}$$

Để thu được kết quả thỏa đáng, cần lưu ý rằng

$$\deg(S) \leq \deg(R) \tag{13}$$

Bậc nhỏ nhất khả dĩ của S được xác định bởi

$$\deg(S) \leq \deg(A) - 1 \tag{14}$$

Từ công thức (10) ta có thể suy ra

$$\deg(R) = \deg(A_0) + \deg(A_m) + \deg(B_0) - \deg(A) \tag{15}$$

Các điều kiện

$$\deg(A_0) \geq 2\deg(A) - \deg(A_m) - \deg(B_0) - 1 \tag{16}$$

$$\deg(A_m) - \deg(B_m) \geq \deg(A) - \deg(B) \tag{17}$$

đảm bảo cho các hàm truyền S/R và T/R là các hàm truyền chân chính.

Bài toán cổ điển trên đây cho phép chúng ta rút ra những kết luận rất quan trọng làm đau đầu các nhà lý thuyết điều khiển. Bài toán đơn giản này sẽ không có lời giải hoặc lời giải không dùng được khi:

- Bậc của A và/hoặc bậc của B không phù hợp với bậc thực sự của đối tượng điều khiển. (Bất định về động lực học, các điều kiện (14), (15), (16), và (3.15) thỏa mãn trên tính toán nhưng không thỏa mãn trên thực tế).
- Nếu các hệ số của các đa thức A và B không phù hợp với đối tượng thật, đặc biệt nếu B_0không chứa các nghiệm ổn định thật sự của đối tượng. (Bất định tham số, các điều kiện (8), (9), (10), (11) và (12) thỏa mãn trên tính toán nhưng không phù hợp với thực tế).

Gần nửa thế kỷ qua các nhà nghiên cứu lý thuyết điều khiển đã ra sức tìm kiếm các giải pháp khắc phục tình trạng này. Có hai hướng chính để vượt qua những khó khăn trên đây.

- Tiếp tục tìm kiếm phương pháp nhận dạng hệ thống (system indetification) để loại trừ bất định. Cho đến nay hướng này vẫn tiếp tục được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm [9], [14]. Tuy nhiên đối với các hệ thống phức tạp (thí dụ các hệ thống với tham số phân tán, các hệ thống có bậc động lực cao hoặc các hệ thống với sự biến đổi tham số nhanh) thì những cố gắng theo hướng này trở nên bế tắc.
- Tìm kiếm các chiến lược điều khiển có khả năng "chung sống" với bất định. Có thể kể tới một vài nghành của hướng này như điều khiển tự thích nghi (adaptive control) [6], [8], điều khiển bền vững (robust control) [1], [2], [5], [11], [17], kết hợp hai phương pháp tự thích nghi và bền vững (robust - adaptive control) [13], [18], điều khiển mờ [10], điều khiển thông minh (intelligent control) [4] v.v...

Sau đây chúng ta sẽ điểm qua nội dung cơ bản của một vài phương pháp điều khiển có khả năng chấp nhận sự bất định. Do khuôn khổ của bài báo có hạn ở đây chỉ trình bày rất ngắn gọn.

1. Điều khiển tự thích nghi

Điều khiển tự thích nghi (adaptive control) là một giải pháp tốt để chấp nhận bất định, đặc biệt ở những hệ với bất định tham số hay tham số biến đổi. Điều khiển tự thích nghi được nghiên cứu mạnh vào cuối những năm 60 và trong suốt thập kỷ 70. Tư tưởng triết học của điều khiển tự thích nghi là chủ thể tự thay đổi hình thức tồn tại để phù hợp với điều kiện tồn tại. Theo tinh thần đó, hệ thống điều khiển tự thích nghi là hệ thống có khả năng *tự thay đổi tham số và/hoặc cấu trúc* để phù hợp với những thay đổi của hoàn cảnh. Có nhiều cơ chế tự thích nghi. Trong những trường hợp nhất định có thể tìm thấy các đại lượng phụ liênhệ trực tiếp với sự thay đổi động lực học của đối tượng. Trên cơ sở đó có thể hạn chế ảnh hưởng sự biến đổi tham số của đối tượng bằng cách thay đổi tham số bộ điều khiển như là các hàm phụ thuộc biến phụ. Cơ chế này có tên gọi là *Gain Scheduling*. Một cách khác để hiệu chỉnh tham số bộ điều khiển được thể hiện qua cơ cấu *Model Reference Adaptive System* (MRAS). Bộ điều khiển có thể được xem như gồm hai vòng. Vòng trong là hệ điều khiển thông thường gồm đối tượng và bộ điều khiển theo nghĩa thông thường. Tham số bộ điều khiển vòng trong được thay đổi bởi một vòng điều khiển ngoài trên nguyên tắc sao cho sai lệch giữa đầu ra của đối tượng và đầu ra của mô hình đạt giá trị nhỏ nhất. Vấn đề then chốt của cơ cấu MRAS là xác định thuật toán hiệu chỉnh tham số bộ điều khiển sao cho, trong trường hợp đối tượng là một hệ ổn định, sai lệch giữa đầu ra của đối tượng và đầu ra của mô hình hoàn toàn triệt tiêu. Một trong những thuật toán kinh điển của MRAS được diễn tả dưới dạng

$$\frac{d\Theta}{dt} = ke\,\mathrm{grad}_{\Theta} e \qquad (18)$$

trong đó e là độ sai lệch giữa đầu ra của đối tượng và đầu ra của mô hình, Θ là vectơ tham số cần hiệu chỉnh của bộ điều khiển, k là một số chọn trước đặc trưng cho tốc độ tự thích nghi. Vòng điều khiển ngoài dùng để hiệu chỉnh tham số bộ điều khiển ở vòng trong cũng có thể được xây dựng theo một cách khác, bao gồm một bộ ước lượng tham số (estimator) và một bộ tính toán tham số của bộ điều khiển vòng trong (design calculator). Cơ cấu tự thích nghi này có tên là *Self-Tuning Regulator* (STR), là cơ cấu tự thích nghi được coi là có hiệu quả nhất hiện nay.

Điều khiển tự thích nghi có khả năng chung sống với bất định nhưng nó lại gây ra những khó khăn mới. Cũng có thể nói, chính nó gây ra bất định mới. Các cơ cấu tự thích nghi như vừa trình bày đều dẫn tới một hệ thống điều khiển vòng kín có dạng phi tuyến. Do đó việc phân tích ổn định của hệ thống trở nên khó khăn. Hiện tượng *nổi gió* (windup) làm cho khả năng ứng dụng cúa điều khiển tự thích nghi vào thực tế bị hạn chế rất nhiều.

2. Điều khiển bền vững

Như đã thấy, một lần nữa bất định vẫn cố tình bám theo chúng ta. Nhưng sự cố gắng của các nhà lý thuyết điều khiển cũng không kém phần quyết liệt. Quan sát thế giới sinh vật, ta thấy chúng có những khả năng thật kỳ diệu. Hệ thống điều khiển nhiệt độ cơ thể của những con hải ly vùng bắc cực có thể được xếp vào những hệ thống điều khiển hoàn mỹ nhất. Chúng có thể tồn tại trong giải nhiệt độ môi trường thay đổi từ -50°C đến +30°C mà không cần phải lẩn trốn trong hang hay di cư về những vùng khí hậu ấm áp. Trong trường hợp này, chủ thể không thay đổi hình thái tồn tại khi điều khiển tồn tại thay đổi. Hình thái tồn tại đủ bền vững trước tác động của điều kiện tồn tại. Đây chính là nguồn gốc tư tưởng của lý thuyết điều khiển bền vững ra đời vào đầu thập kỷ 80 và phát triển mạnh mẽ cho tới hiện nay.

Tính bền vững được hình thành bằng cách, khi thiết kế bộ điều khiển người ta không thiết kế nó cho một đối tượng duy nhất mà cho một họ đối tượng. Họ các đối tượng có thể là một tập hữu hạn (bài toán multi-model control) hoặc một tập vô hạn (bài toán robust control). Họ các đối tượng thường được diễn tả bằng cách, trong đó mỗi thành viên của họ bao gồm hai phần, phần đã biết chắc chắn (mô hình danh định) và phần bất định. Mô hình danh định (nominal model) chính là mô hình đối tượng hiểu theo nghĩa cổ điển. Bất định có thể chia làm hai dạng chính: *bất định tham số* (parameter uncertainty) và *bất định động lực học* (dynamic uncetainty). trong trường hợp bất định tham số, ta giả thiết rằng mọi thành viên của họ các mô hình có cùng động lực học nhưng tham số thì khác nhau. Một họ như vậy có thể diễn tả dưới dạng

$$M(P) := \{P(s, p) : p \in \Omega \subseteq R^n\} \tag{19}$$

trong đó Ω là không gian tham số (thường được giả thiết là compact). Chẳng hạn hệ thống SISO với bất định tham số có thể diễn tả bởi

$$P(s,\, p) = \sum_{i=0}^{m} a_i(p)s^i \Big/ \sum_{j=0}^{n} b_j(p)s^j \tag{20}$$

trong đó $p \in \Omega \subseteq R^n$ và $\Omega := \{p_{\min} \geq p \geq p_{\max}\}$. Khi $a_i(p)$ và $b_j(p)$ chỉ phụ thuộc tuyến tính vào các thành phần của vectơ tham số p, ta nói rằng hệ thống (20) là hệ thống có *cấu trúc bất định tuyến tính affine* (affine linear uncetainty structure). Một trường hợp đặc biệt của các hệ thống có cấu trúc bất định tuyến tính affnie là hệ thống có *cấu trúc bất định độc lập* (independent uncertainty structure). Trong trường hợp này, mỗi hệ số a_i và b_j chỉ phụ thuộc vào một thành phần của vectơ tham số p. Những kết quả thu được về tính bền vững của hệ thống có cấu trúc bất định độc lập chủ yếu dựa trên định lý của Kharitonov. Đối với các hệ MIMO ta cũng có thể làm tương tự. Một hệ MOMO với bất định tham số có thể diễn tả bởi

$$\dot{x} = A(p)\, x + B(p)\, u\,, \quad y = C(p)\, x \tag{21}$$

Định lý Kharitonov cũng có khả năng được áp dụng vào hệ MIMO khi trong biểu thức (21) chỉ có A phụ thuộc vectơ tham số p. Các khái niệm cấu trúc bất định tuyến tính affine và cấu trúc bất định độc lập sẽ được dùng căn cứ vào tính chất của đa thức đặc trưng

$$h(s,\, p) = \det(sI - A(p)) \tag{22}$$

Bất định động lực học là dạng bất định khá phức tạp và đã không được giải quyết trong điều khiển tự thích nghi. Đa số các công trình nghiên cứu về điều khiển bền vững đề cập đến bất định động lực học thường sử dụng mô hình trong miền tần số. Chẳng hạn có thể diễn tả một họ như vậy bởi

$$M(P) := \{P(s) : P(s) = P_0(s) + \Delta(s) \tag{23}$$

trong đó $P_0(s)$ là mô hình danh định, $\Delta(s)$ là phần động lực học bất định. Trước hết bộ điều khiển được thiết kế để ổn định hệ thống và thỏa mãn những yêu cầu chất lượng khác (như tính bám theo đại lượng chỉ dẫn, khả năng loại trừ nhiễu ngoại lai v.v.) dựa trên mô hình danh định $P_0(s)$. Sau đó sẽ chỉ ra những điều kiện nào $\Delta(s)$ phải thỏa mãn để mọi $P(s) \in M(P)$ cũng ổn định và thỏa mãn các yêu cầu chất lượng. Đại lượng đặc trưng của $\Delta(s)$ là chuẩn H_∞ hay giá trị kỳ dị $\mu(\Delta(s))$. Ở các hệ MIMO, do $\Delta(s)$ có số chiều lớn, việc xác định giá trị kỳ dị của nó nhiều khó khăn. Hơn nữa, độ bất định của từng phần tử của ma trận hàm truyền trên thực tế không giống nhau. Để sử dụng tối đa các thông tin tiên nghiệm, người ta thay *bất định không được kiến thiết* (unstructured uncertainty) của họ (23) bằng *bất định được kiến thiết* (structuerd uncertainty).

$$M(P) := \{P(s) : P(s) = P_0(s) + \Delta(s)\,W(s)\} \tag{24}$$

Trong (24), $\Delta(s)$ là ma trận bất định được kiến thiết, $W(s)$ là một hàm trọng diễn tả mức độ bất định của từng phần tử của ma trận hàm truyền. Có nhiều cách kiến thiết $\Delta(s)$. Khi thiết kế điều khiển cho các hệ MIMO theo mô hình danh định, ngoài các phương pháp kinh điển, phương pháp tối ưu theo chuẩn H_∞ có vai trò đặc biệt quan trọng.

3 Điều khiển cực trị

Công bằng mà nói, các hệ thống đầu tiên có khả năng khắc phục bất định trong điều khiển là các hệ cực trị (extremal systems). Bài toán điều khiển cực trị (extremal control) có thể mô tả một cách đơn giản như sau. Giả sử có hệ thống với quan hệ giữa đầu vào u và đầu ra y diễn tả bởi

$$y = f(u) \tag{25}$$

Nói chung $f(u)$ là một hàm phi tuyến theo u. Để đơn giản cách trình bày, ta giả thiết y chỉ có một điểm cực trị (minimum hoặc maximum). Nếu $f(u)$ được biết một cách đầy đủ (không chứa bất định) thì ta có thể giải (theo phương pháp giải tích chẳng hạn) để tìm điều khiển u ứng với điểm cực trị mong muốn. Khi $f(u)$ không được biết đầy đủ (bất định về đối tượng) hoặc $f(u)$ bị nhiễu bên ngoài tác động (bất định nhiễu), vấn đề trở nên phức tạp. Thứ nhất, điểm cực trị mà ta tìm được trên mô hình $f(u)$ không phải là điểm cực trị của hệ thống. Thứ hai, trong nhiều trường hợp, điểm cực trị không phải là điểm ổn định. Cần phải xây dựng cơ cấu điều khiển sao cho y chuyển từ giá trị không tối ưu đến giá trị tối ưu sau một thời gian nhất định và duy trì nó.

Có nhiều cách xây dựng hệ điều khiển cực trị. Phương pháp dễ hình dung nhất là phương pháp đạo hàm. Tạithời điểm t ta tìm đạo hàm dy/du thông qua việc xác định dy/dt và du/dt nhờ các phép đo. Sau đó điều khiển u sẽ được tính bởi công thức

$$u = \frac{1}{T}\int_0^t K\,\frac{dy}{du}\,d\tau \tag{26}$$

Phương pháp này có nhược điểm, khi y đã đạt giá trị tối ưu, $dy/du = 0$. Khi đó biểu thức (26) sẽ có giá trị 0 (không phải là giá trị u ứng với điểm cực trị). Hệ thống sẽ trượt ra khỏi điểm cực trị. Để khắc phục nhược điểm này, người ta đưa thêm vào công thức (26) một thành phần giao động và u được xác định theo công thức

$$u = \frac{1}{T}\int_0^t K\,\frac{dy}{du}\,d\tau + A\sin\omega_0 t \tag{27}$$

trong đó A và ω_0 là các hằng số được chọn một cách thích hợp.

4. Điều khiển ngẫu nhiên

Trong các phương pháp điều khiển đã nhắc đến ở trên, các quá trình xảy ra trong hệ thống được giả thiết là những quá trình tiền định (determinestic proceses), chỉ có điều ta chưa biết hoặc không thể biết một cách đầy đủ mà thôi. Trên thực tế chúng ta cũng gặp các hệ thống mà ở đó sự bất định không thể loại bỏ nhưng có thể mô tả nó bằng một mô hình ngẫu nhiên (stochastic model). Chẳng hạn ta có thể mô tả hệ thống như vậy bởi phương trình

$$y = f(u, v) \tag{28}$$

trong đó u, y là các đại lượng tiền định, f là một hàm phi tuyến, v là đại lượng ngẫu nhiên. Một trong những bài toán thường gặp là tìm điều khiển u sao cho hệ thống (28) ổn định và kỳ vọng của hàm mục tiêu $J(u, y)$ đạt giá trị cực tiểu. Trong trường hợp giả thiết tồn tại điểm cực tiểu, bài toán này có thể giải được nhờ phương pháp quy hoạch động Bellman. Tương tự như trường hợp STR, bộ điều khiển ở đây cũng có thể xem như gồm hai phần: bộ điều khiển phản hồi theo nghĩa thông thường và bộ ước lượng mật độ xác suất có điều kiện của trạng thái của hệ từ các thông tin thu được.

Điều khiển ngẫu nhiên đã xây dựng thành một lý thuyết riêng khá hoàn chỉnh trong thập kỷ 60 và đã thu được nhiều kết quả ứng dụng. Nhưng bất định vẫn không rời bỏ chúng ta. Khi v không tuân theo phân bố chuẩn và nhất là khi không biết hàm mật độ xác suất của v, bài toán trở nên vô cùng phức tạp. Thêm vào đó, nếu hàm f cũng không được biết đầy đủ thì chúng ta đành chấp nhận thất bại.

IV. KẾT LUẬN

Trên đây chúng ta đã đề cập đến vấn đề bất định trong các hệ thống điều khiển và những khả năng khắc phục nó. Trong lý thuyết điều khiển, khái niệm bất định được dùng như là một khái niệm bao trùm để chỉ sự thiếu thông tin, thông tin không đầy đủ, mô hình với tham số chưa biết, mô hình không đầy đủ v.v... Chúng ta cũng có thể coi *bất định* là tất cả những gì không xác định được (ít ra thì chưa xác định được) vào thời điểm giải bài toán phân tích hay tổng hợp hệ thống. Với cách hiểu này, bất định trong điều khiển là phần thiếu hụt của nhận thức so với thực tế khách quan. Loại trừ hoàn toàn bất định là một việc vượt ra ngoài khả năng của con người. Tuy nhiên bất định có thể được khắc phục. Trong bài này đã nêu nguyên lý cơ bản của một vài phương pháp điều khiển với mục đích chỉ ra các khả năng khắc phục sự có mặt của bất định. Do khuôn khổ có hạn, bài này chưa đề cập đến một số hướng điều khiển khác có khả năng khắc phục bất định (như điều khiển mờ [10], điều khiển với quá trình học [4], v.v). Đây là hướng nghiên cứu rất đáng quan tâm. Tìm kiếm các khả năng mới để khắc phục bất định trong việc xây dựng hệ thống tự động là mục đích của lý thuyết điều khiển hiện đại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ackermann J., *Parameter Space Design of Robust Control Systems*, IEEE Trans. on AC, Vol. AC-25, 6 (1980) 1058-1072.
2. Ackermann J., *Entwurfsverfahren für robuste Regelungen*, RT 32 (1984), H.5.
3. Bandemer H., Gottwald S., *Einfürung in Fuzzy-Methoden*, Akademie Verlag Berlin, 1989. Lv. 3564/1990.
4. Cassandras C. G., *Optimal Policies for "Yiels learning" Problem in Manufacturing Systems*, IEEE Trans. on AC. Vol. 41, No. 8 (1996) 1210-1213.
5. Chen N. J., Desoer C. A., *Stability of Linear Distributes Feedback Systems*, Int. J. of Control, Vol. 35 (1982) 255-268.
6. Datta A., Ochoa J., *Adaptive Internal Model Control: Design and Stability analysis*, Automatica, Vol. 32, No. 2 (1996) 261-266.
7. Dawidow A. S., *Quanten Mechanik*, VEB Deutscher Verlag der Wissenchaften, Berlin, 1974.
8. Feng C. B., Wu Y. Q., *A Design Scheme of variable structure adaptive control for Unertain dynamic systems*, Automatica, Vol. 32, No. 4 (1996) 561-567.
9. Johansen T. A., *Identification of Non-linear systems using Empirical Data and Prior Knowlege - An Optimization Approach*, Automatica, Vol. 32, No. 3 (1996) 337-356.
10. Kramer U., *Perspektiven von Systemkonzepten nichtklassischer Logiken*, Proceeding of International Fuzzy - Conference, Zittau, Germany, 1996.
11. Morari M., Zafiriou E., *Robust Prosess control*, Prentice Hall. NJ., 1986.
12. Peschel M., *Fractal Logics of Nature*, Proseedings of International Fuzzy-Conference, Zittau, Germany, 1996.
13. Polycarpou M. M., Loannou P. A., *A Robust adaptive Nonlinear Control Design*, Automatica, Vol. 32, No. 3 (1996) 423-427.
14. Vũ Ngọc Phàn, *Nhận dạng các đối tượng MIMO ổn định với giới hạn bất định cho trước*, Tạp chí Tin học và Điều khiển, T. 12, S. 4 (1996) 35.
15. Vũ Ngọc Phàn, *Về các phép biến đổi tương đương trong điều khiển bền vững các đối tượng nhiều đầu vào nhiều đầu ra*, Tuyển tập Báo cáo khoa học, Đề tài CS-96-07, 1996.
16. Vũ Ngọc Phàn, *Các hệ thống điều khiển nhiều đầu ra*, Báo cáo khoa học của đề tài KC-02-09, 1994.

17. Vũ Ngọc Phàn, *Điều khiển bền vững hệ MIMO với bất định đầu vào*, Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T. 12, S. 3 (1996) 35.

18. Wen C., *An indirect Robust Continuous-time Adaptive controller with Minimal Modifications*, Automatica, Vol. 31, No. 2 (1995) 293-296.

19. Zadeh L. A., *Outline of a new approach to the analysis of complex systems and decision processes*, IEEE Trans. System man Cybernetic, 3 (1973).

Viện Công nghệ thông tin
Trung tâm KHTN và CNQG

Nhận bài ngày 8-5-1997