

XÂY DỰNG BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI CHO ROBOT SỬ DỤNG CẢM BIẾN DẠNG VISION

Lê Hoài Quốc

Trường Đại Học Kỹ Thuật

(Bài nhận ngày /1998)

TÓM TẮT: Trường hợp các điều kiện ban đầu của chuyển động và của nhiễu không xác định, thuật toán điều khiển phải được giải quyết trong khuôn khổ của bài toán tổng hợp điều khiển thích nghi trong thời gian thực hay điều khiển thích nghi trực tiếp. Sự phát triển của kỹ thuật cảm biến và kỹ thuật vi xử lý đã có những bước tiến lớn để giải quyết trong lý thuyết và thực tiễn bài toán điều khiển thích nghi cho robot.

Trong khuôn khổ bài báo này, chúng tôi xin đề cập đến một số vấn đề về cơ sở lý thuyết của bài toán hệ thống điều khiển thích nghi trong thời gian thực trong trường hợp sử dụng cảm biến dạng hiển thị (vision) dựa trên một số kết quả khảo sát sơ khởi về lý thuyết và thực nghiệm ở Phòng Thí Nghiệm của Bộ môn KTĐKTD-Khoa Cơ Khí -ĐHKT.

I. VẤN ĐỀ

Việc điều khiển robot trong thời gian thực có tính đến các tình huống thay đổi vị trí của đối tượng thao tác và môi trường hoạt động thường dựa trên cơ sở giải quyết một số bài toán có tính chất thủ tục quan trọng; trong số đó bài toán ngược động học và bài toán ngược động lực học có kể đến quán tính trong chuyển động, sai số động học và ma sát ở các khớp, chướng ngại vật trong không gian thao tác và các tình huống ngẫu nhiên xuất hiện trong quá trình hoạt động thao tác ... Trong trường hợp các điều kiện ban đầu của chuyển động và nhiễu không xác định, thuật toán điều khiển phải được giải quyết trong khuôn khổ của bài toán tổng hợp điều khiển thích nghi trong thời gian thực hay điều khiển thích nghi trực tiếp.

II. XÂY DỰNG BÀI TOÁN.

Bài toán thiết kế hệ thống điều khiển thích nghi trực tiếp của robot thường bao gồm ba phần : xây dựng hàm truyền và thiết bị cảm biến, xử lý thông tin từ các cảm biến và tổng hợp các quy luật điều khiển thích nghi.

1. Cảm biến trong hệ thống điều khiển thích nghi.

Cảm biến trang bị trong hệ thống nhằm thực hiện hai nhiệm vụ chính :

- Bảo đảm thông tin phản hồi để giúp bộ điều khiển thực hiện chế độ vận hành tự động cho robot trong các điều kiện thay đổi khác nhau.
- Nâng cao độ chính xác làm việc của robot.

Để giải quyết hai nhiệm vụ này cần phải trang bị thêm cho robot hai dạng khả năng cảm nhận đồng thời :

- Robot phải tự nhận biết được tình trạng của bản thân; nghĩa là với sự giúp đỡ của các cảm biến phải xác định được các tọa độ trong chuyển động của mình và đánh giá được là các chuyển động cần thiết nào đó mà nó phải thực hiện đã đạt yêu cầu hay chưa bằng cách sử dụng các cảm biến vị trí; dạng thông dụng hiện nay là các cảm biến đếm xung dịch chuyển (dạng bộ mã hóa quang học _ Optical Rotary Encoder cho các chuyển động quay

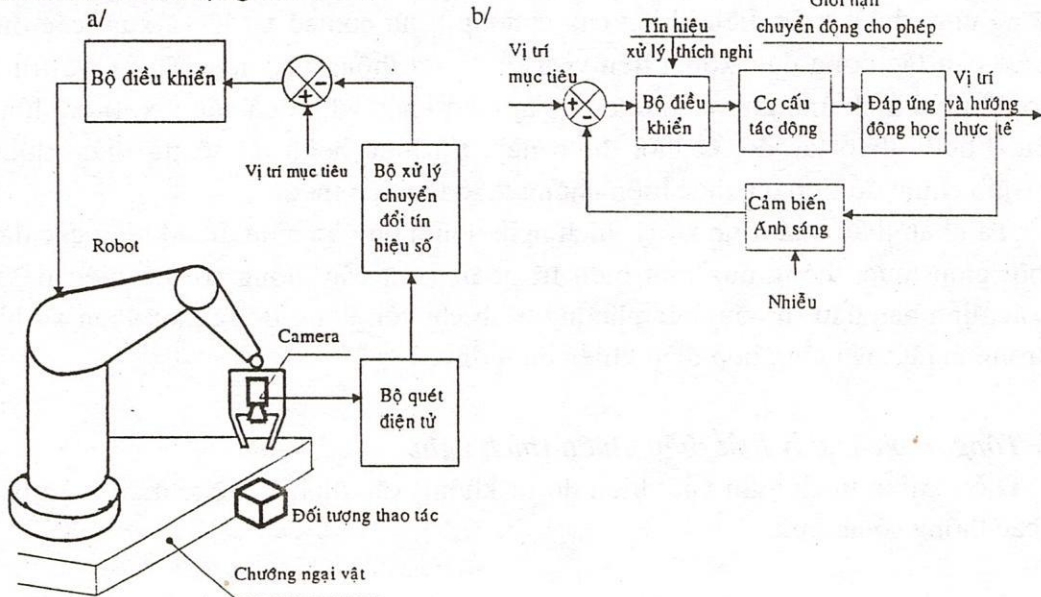
hoặc dạng thước quang học _ Optical Linear Scale cho các chuyển động thẳng), hoặc các cảm biến dạng hiển thị (thường sử dụng các camera tổng hợp và số hóa hình ảnh ghi nhận được) với hệ thống điều khiển theo cơ chế servo kết hợp với bộ điều chỉnh PID .

- Robot phải nhận biết được tình trạng của môi trường xung quanh; nghĩa là phải nhận dạng và định vị được các thiết bị ngoại vi khác (thường là các máy và thiết bị công nghệ dạng CNC) được bố trí trong vùng không gian hoạt động của nó để cùng phối hợp hoạt động. Thông thường thiết bị cảm nhận về vị trí tương quan thường sử dụng hệ thống hiển thị; thông qua camera và bộ phận xử lý so sánh hình ảnh. Ở một số robot làm việc trong các môi trường đặc biệt có thể được trang bị thêm các loại cảm biến cho phép nhận biết về tính chất vật lý như các cảm biến đo lực và mô-men, đo mật độ và áp suất của chất lỏng, rắn và khí, đo nhiệt độ cũng như xác định màu sắc và mùi v.v... Việc nhận biết các tính chất hóa học của môi trường xung quanh để xác định thành phần hóa học có thể sử dụng các bộ phân tích thực hiện nhanh các phản ứng hóa học kiểm chứng cơ bản.

Vấn đề chung ở đây là các cảm biến cung cấp được các tín hiệu vào ở dạng tương tự (analog) như cường độ dòng, điện áp hoặc dạng tín hiệu số (digital), nhưng bên cạnh đó các bộ cảm biến còn phải được xử lý chống nhiễu và đưa mức tín hiệu phản hồi phù hợp với thiết bị đọc và so sánh. Ngoài ra, để tổng hợp quy luật điều khiển còn phải thực hiện thủ tục xử lý các thông tin phản hồi này.

2. Vấn đề xử lý thông tin trong các bộ cảm biến.

Như đã đề cập ở phần trên, trong các hệ thống điều khiển thích nghi hiện nay phần lớn sử dụng các bộ cảm biến dạng hiển thị. Hình 1 dưới đây trình bày sơ đồ của một hệ thống hiển thị đơn giản. Nguyên tắc chung của hệ thống là cho phép nhận biết được đối tượng thông qua ánh sáng phản hồi từ đối tượng khảo sát. Thông thường, hệ thống bao gồm một nguồn sáng và hai hoặc nhiều cảm biến ánh sáng (dạng camera) tùy thuộc vào độ lớn của đối tượng cần nhận biết. Hình ảnh thu nhận được từ các cảm biến được tổng hợp từ các phần tử hình ảnh (pixel). Thoạt tiên nguồn sáng được hướng vào đối tượng khảo sát, sau đó tùy thuộc vào cường độ và bước sóng của ánh sáng phản hồi từ đối tượng, các camera sẽ ghi nhận và thể hiện dưới dạng các pixel. Máy tính sẽ xử lý và tổng hợp lại hình ảnh của đối tượng khảo sát.



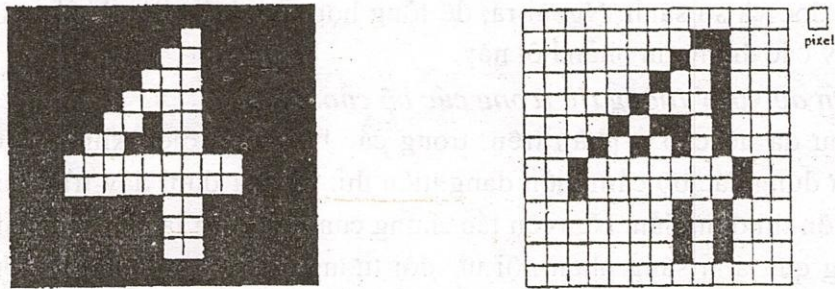
Hình 1. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của hệ thống điều khiển dạng hiển thị đơn giản

a/ Hệ thống dùng camera

b/ Hệ thống dùng cảm biến vị trí dạng hiển thị

Một hình ảnh điện tử là một mảng (tập hợp) các pixel đã được số hóa và đưa vào bộ nhớ của máy tính. Một pixel là một phần tử bé nhất của hình ảnh.

Tương ứng với cường độ ánh sáng và chiều dài bước sóng phản hồi từ đối tượng, mỗi pixel sẽ được mã hóa thành một số nhị phân. Trên hình ảnh nhị phân được hiển thị, mỗi pixel sẽ có giá trị 0 hoặc 1 tương ứng với màu đen hoặc trắng. Trên hình ảnh theo thang sắc độ xám hoặc trên hình màu, thông tin về màu sắc cũng được nhận biết thông qua cường độ và bước sóng của ánh sáng phản hồi từ đối tượng như đã trình bày. Đồng thời, các loại camera khác nhau có thể ghi nhận các tín hiệu hình ảnh phản hồi và được cảm biến xuất ra dưới dạng các tín hiệu nối tiếp, tương tự hoặc tín hiệu video phụ thuộc vào mạch quét điện tử. Tín hiệu tương tự sẽ được chuyển sang tín hiệu số nhờ một bộ chuyển đổi AD nhanh và đưa vào bộ nhớ của máy tính (hình 2).



Hình 2 : a/ Ảnh nhị phân , b/ Ảnh nhị phân có yêu cầu làm nổi phần biên

Máy tính sẽ chuyển sang chương trình con để thực hiện thủ tục so sánh hình ảnh ghi nhận được với ảnh mục tiêu đã được đưa vào bộ nhớ. Trên cơ sở so sánh các pixel ở các vị trí tương ứng, thuật toán điều khiển của chương trình con sẽ xử lý và xuất các tín hiệu cho các cơ cấu tác động đưa Robot đến vị trí mới (hệ thống vision servo). Quá trình tiếp diễn cho đến khi hình ảnh ghi nhận được hoàn toàn khớp (ở tất cả các pixel) với hình ảnh mục tiêu ở bước thao tác đó. Ở thời điểm này, tín hiệu hoàn tất sẽ trả điều khiển cho chương trình chính để tiếp tục thực hiện những thao tác tiếp theo.

Ta nhận thấy quá trình xử lý thích nghi nhằm bù vào hàm điều khiển các đáp ứng trong thời gian thực, thông qua một biến trì hoãn τ và các thông số thể hiện điều kiện không xác định ban đầu (nhiều) của phương trình chuyển động trong giai đoạn xử lý thích nghi ξ trong thuật toán tổng hợp điều khiển dưới đây.

3. Tổng hợp các quy luật điều khiển thích nghi.

Điều khiển thích nghi xuất hiện do sự không xác định của các điều kiện ban đầu và của các thông số nhiễu.

Có thể mô tả phương trình chuyển động của Robot (phần Tay máy) dưới dạng sau

$$A(q, \xi) \ddot{q} + b(q, \dot{q}, \xi) = u \quad (1)$$

Trong đó : $A(q, \xi)$ là ma trận $n \times n$ thông số của Tay máy, $b(q, \dot{q}, \xi)$ là hàm vector n thông số của Tay máy, q, \dot{q}, \ddot{q} là tọa độ suy rộng, vận tốc và gia tốc của nó, ξ là các thông số của phương trình chuyển động; bao gồm những điều kiện ban đầu không xác định

$$\left. \begin{aligned} q(t_0) - q_p(t_0) &\neq 0 \\ \dot{q}(t_0) - \dot{q}_p(t_0) &\neq 0 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

với $q_p(t_0)$ giá trị ban đầu của quỹ đạo cho trước của chương trình điều khiển $q_p(t)$ và các thông số nhiễu :

$$|\xi - \xi'| \neq 0 \quad (3)$$

ξ' mức chuẩn để đánh giá thông số nhiễu ξ .

Phương pháp điều khiển vòng kín không cho phép loại bỏ ảnh hưởng của nhiễu. Phương trình điều khiển trong trường hợp này được thể hiện chỉ xét tới các tín hiệu phản hồi về vị trí và tốc độ :

$$u(q, \dot{q}, \xi', t) = A(q, \xi') [\ddot{q} + H_1(\dot{q} - \dot{q}_p) + H_0(q - q_p)] + b(\dot{q}, q, \xi') \quad (4)$$

trong đó : H_1 và H_0 là ma trận chéo các hệ số xác định theo điều kiện ổn định của chuyển động. Ta sẽ chọn các hệ số của các ma trận này theo điều kiện ổn định của ma trận H :

$$H = \begin{bmatrix} 0 & E \\ H_0 & H_1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Ở đây, E là ma trận đơn vị. Theo [1] việc chọn lựa các hệ số theo điều kiện (5) cho phép bảo đảm chuyển động sẽ ổn định tiệm cận trong chu vi kín, giúp cho bộ phận công tác của robot (end effector) ngày càng tiếp cận đến mục tiêu. Khi đó hàm điều khiển với tín hiệu phản hồi trong chu vi kín có dạng :

$$A(q, \xi) \ddot{q} + b(\dot{q}, q, \xi) = A(q, \xi') [\ddot{q} + H(\dot{q} - \dot{q}_p) + H_0(q - q_p)] + b(\dot{q}, q, \xi') \quad (6)$$

Đây là điều kiện cần để các chuyển động đáp ứng của hệ thống cho phép Robot dịch chuyển dần đến mục tiêu. Tuy nhiên xét đến yếu tố trì hoãn của đáp ứng trong thời

gian thực, ta cần phải tính đến sai số động lực học của hệ thống được mô tả dưới dạng hàm theo thời gian Δt khi $\xi \neq \xi'$.

$$\Delta t = q(t) - q_p(t) \quad (7)$$

Nhằm loại bỏ (hoặc giảm đến mức tối thiểu) sai số Δt kể trên, cần phải bổ sung vào hàm điều khiển yếu tố đánh giá sự trì hoãn của đáp ứng của hệ thống trong thời gian thực, đây chính là yếu tố cơ bản của điều khiển thích nghi. Yếu tố này cho phép ta điều chỉnh thuật toán điều khiển trên cơ sở có tính đến giá trị đo được của nhiễu (chẳng hạn là các sai số động học như độ rở ở các khớp động, biến dạng của hệ thống cơ do sự kém cứng vững của Robot ở các vị trí biên ứng với trường hợp tầm với xa nhất,...).

Gọi τ là hàm vectơ thể hiện các sai lệch về tọa độ và vận tốc trong thời gian đáp ứng, phụ thuộc vào ξ ,

$$\tau = a(t, q, \dot{q}), \quad (8)$$

với a là hàm đánh giá sai lệch, và gọi G là ma trận các hệ số của thuật toán điều khiển ổn định, theo [2], ta có thể viết lại phương trình điều khiển chuyển động dưới dạng:

$$u = G [q, \dot{q}, q_p + H_1 (\dot{q} - \dot{q}_p) + H_0 (q - q_p)] \tau \quad (9)$$

τ được xác định trong thời khoảng chuyển động $[t_k, t_{k+1}]$ theo nghiệm riêng của bất phương trình:

$$|\sigma(\tau, t)| < \delta \quad \text{với} \quad \sigma(\tau, t) = u - G(q, \dot{q}, q) \tau \quad (10)$$

ở đây $\delta > 0$ là thông số hiệu chỉnh thích nghi.

Bằng thuật toán đệ quy ta có thể xác định thời gian đáp ứng thích nghi. Có thể đặt bài toán ở dạng như sau:

$$\tau \equiv \tau_{k+1} = \begin{cases} \tau_k, & \text{nếu } |\sigma(\tau, t)| < \delta \\ a[\tau_k, \sigma(\tau_k, t'_k)], & \text{nếu } |\sigma(\tau_k, t'_k)| \geq \delta \end{cases} \quad (11)$$

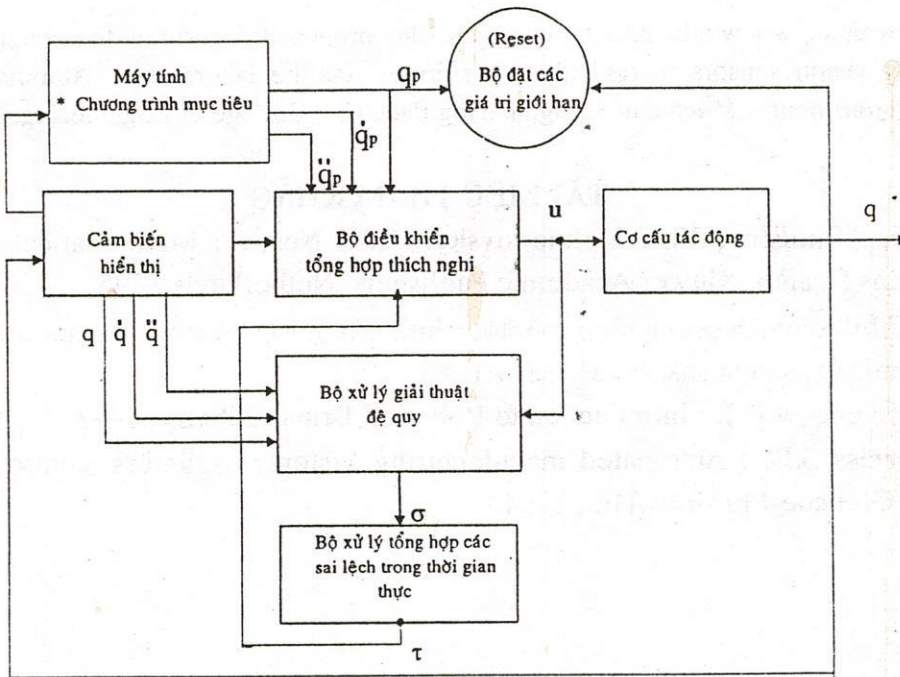
Trong đó t'_k là thời điểm giới hạn khi bất phương trình (10) bắt đầu không nghiệm đúng, $[t_k, t'_k]$ là khoảng thời gian ổn định, $[t'_k, t_{k+1}]$ là khoảng thời gian thích nghi.

Sau một số hữu hạn các vòng của thuật toán đệ quy, sai số cho phép giữa quỹ đạo hay hình ảnh mục tiêu ϵ sẽ được thực hiện sau thời gian $t \geq t_a = \sum (t_k, t_{k+1})$ khi đó:

$$|q(t) - q_p(t)| \leq \epsilon_1 \quad \text{và} \quad |\dot{q}(t) - \dot{q}_p(t)| \leq \epsilon_2 \quad \text{khi } t \geq t_a \quad \forall \xi \in \Xi$$

với Ξ là giới hạn của các sai lệch đã được cho trước khi điều khiển Robot. ϵ_1 và ϵ_2 là các giá trị sai lệch cho phép ở thời điểm khảo sát.

Sơ đồ về quá trình hoạt động của hệ thống điều khiển ổn định thích nghi được trình bày trên hình 2. Việc điều khiển chuyển động của robot ở giai đoạn tiệm cận với mục tiêu sẽ được bộ điều khiển tổng hợp thích nghi thực hiện trên cơ sở so sánh liên tục hình ảnh mục tiêu (từ chương trình mục tiêu) với hình ảnh thu nhận tức thời từ camera thông qua các xử lý trì hoãn để thích nghi.



Hình 2 : Sơ đồ khối biểu diễn quá trình tổng hợp điều khiển thích nghi

Tín hiệu từ bộ điều khiển tổng hợp thích nghi được tách nhánh u một mặt thông qua các mạch khuếch đại công suất sẽ điều khiển các đáp ứng của các cơ cấu tác động (các động cơ servo DC hoặc AC, các van solenoid điều khiển các xy lanh thủy lực, khí nén ...), mặt khác được đưa về bộ đánh giá và xử lý các đáp ứng trong thời gian thực thông qua giá trị của σ sau đó được chuyển đến bộ xử lý tổng hợp nhằm điều chỉnh quy luật điều khiển bằng giá trị τ bù cho các sai lệch về vị trí và tốc độ do điều kiện ban đầu của chuyển động không xác định. Tín hiệu bù trừ thích nghi τ được đưa trở lại bộ điều khiển để tổng hợp tín hiệu điều khiển tiếp theo trên cơ sở thuật toán đã xác định ở phần trên.

III. KẾT LUẬN.

Những khảo sát về lý thuyết và thực nghiệm về vấn đề nêu ra ở bài báo này xuất phát từ khả năng ứng dụng vào thực tế ở một số đơn vị sản xuất công nghiệp. Trên đây là những khảo sát bước đầu nhằm xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi cho Robot theo cơ chế điều khiển servo trong trường hợp sử dụng cảm biến hiển thị sử dụng camera số hóa hình ảnh. Những khảo sát bằng thực nghiệm tiếp theo sẽ tiếp tục được thực hiện để hoàn chỉnh dần thuật toán nêu ra ở đây.

THE PROPOSED ALGORITHM FOR ADAPTIVE CONTROL PROBLEM USING VISION SENSORS

Le Hoai Quoc

ABSTRACT: In the case where the beginning conditions of movements and disturbances are indefinite, the algorithm of control must be resolved as the adaptive synthetic problems in real time or direct adaptive control ones. The development of sensors and microprocessing technology gives us the ability to solve the theoretical and practical questions on adaptive controlled problems of robots.

In this article, we would like to introduce the proposed algorithm for adaptive control problems using vision sensors in real time, performed at the laboratory - Automatic Control Engineering Department – Mechanical Engineering Faculty – College of Engineering.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] V.N. Afanas'ev, V.B. Kolmanovskiy, V.R. Nosov : Mathematical Theory of Control systems Design. Kluwer Academic Publishers, Netherlands,1996
- [2] I.M.Makarov: Oupravlenie robototekhnitrexkimi Ighibkimi avtomatidzirovanymi proizvodstvami. Vysshaya shkola. Moscow,1986
- [3] Mc Kerrow, P.J. : Introduction to Robotics. British Library, 1993
- [4] Morriss S.B. : Automated manufacturing systems: actuators, controls, sensors, and robotics. Glencoe-Mc Graw/Hill, 1994.