MỘT PHIÊN BẢN GPC KHÔNG SỬ DỤNG NGHIỆM PHƯƠNG TRÌNH DIOPHANTINE ĐỂ ĐIỀU KHIỂN HỆ CÓ NHIỄU ĐẦU RA

Lê Thị Thu Hà[1*], Đặng Danh Hoằng[1], Nguyễn Doãn Phước[2]
[1]Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp Thái Nguyên, [2]Trường Đại học bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Phương pháp điều khiển GPC (Generalized Predictive Control) được biết đến như một công cụ thiết kế hữu hiệu bộ điều khiển dự báo phản hồi đầu ra cho hệ tuyến tính. Điều này đã được thực tế chứng minh thông qua nhiều ứng dụng vào điều khiển quá trình. Tuy vậy, để cài đặt được phương pháp này cho từng bài toán cụ thể, người ta cần phải trực tiếp hay gián tiếp sử dụng một bước trung gian là xác định nghiệm hệ phương trình Diophantine. Bài báo này giới thiệu một phương pháp cài đặt khác của GPC, được tạm gọi là AGPC (alternative GPC) mà ở đó người cài đặt không cần sử dụng tới bước trung gian này. Hơn thế nữa, khác với GPC truyền thống, phương pháp AGPC được giới thiệu ở đây có cấu trúc chung cho cả hệ SISO và MIMO, rất tiện lợi cho việc cài đặt vào các bài toán thực tế sau này.

Từ khóa: *Điều khiển dự báo; Phương trình Diophantine; Thuật toán AGPC; Tối ưu hóa; Hệ truyền động bánh răng.*

ĐẶT VẤN ĐỀ

Điều khiển dự báo được khởi đầu từ khoảng đầu những năm 70 thế kỷ trước bởi tập đoàn nghiên cứu dầu khí Shell với hai phiên bản điều khiển hở là MAC (Model Algorithmic Control) và DMC (Dynamic Matrix Control) 0. Sau đó nó đã được Clark phát triển thành GPC (Generalized Predictive Control) năm 1987 0, 0 để áp dụng cho bài toán điều khiển phản hồi đầu ra hệ LTI rời rạc mô tả bởi hàm truyền (với hệ SISO) hoặc ma trận hàm truyền (hệ MIMO). Ý nghĩa của phương pháp GPC trong ứng dụng thực tế cũng đã được minh chứng trong tài liệu 0. Thêm vào đó các đánh giá đầy đủ về ưu nhược điểm của phương pháp GPC này cũng đã được tổng kết trong 0 bao gồm tính thích nghi với nhiễu, bền vững với sai lệch mô hình....

Tuy nhiên, có một nhược điểm khi cần phải cài đặt phương pháp GPC này mà tài liệu 0 không đề cập tới. Đó là ở GPC người ta phải sử dụng nghiệm của N (với hệ SISO) hoặc của $N \times pq$ (với hệ MIMO) phương trình Diophantine, trong đó N là độ rộng cửa sổ dự báo, p, q lần lượt là số tín hiệu đầu ra và đầu vào của hệ.

Mặc dù phương pháp tìm nghiệm hệ phương trình Diophantine không còn là vấn đề phải nghiên cứu, nhiều thuật toán số hỗ trợ việc tìm nghiệm này cũng đã được trình bày trong 0, 0, song việc sử dụng các thuật toán này, dù trực tiếp hay gián tiếp, cũng sẽ kéo theo số lượng các phép tính cần thực hiện tăng lên, theo cấp số của số các tín hiệu vào ra trong hệ. Điều này không tránh khỏi sẽ có những sai số tính toán tích lũy trong kết quả thu được, làm ảnh hưởng tới chất lượng điều khiển.

Bài báo giới thiệu một phương pháp cài đặt bộ điều khiển GPC mà ở đó không cần sử dụng tới nghiệm hệ phương trình Diophantine, giúp phần nào giảm thiểu được sự tích lũy sai số tính toán này.

NỘI DUNG PHƯƠNG PHÁP

Đối tượng quan tâm của bài báo là hệ MIMO rời rạc, tuyến tính, tham số hằng, bị tác động bởi nhiễu $\underline{d}_k$ ở đầu ra, mô tả bởi hệ gồm p phương trình sai phân bậc (m,n) như sau:

$$\underline{y}_k + A_{1,0}\underline{y}_{k-1} + \cdots + A_{n,0}\underline{y}_{k-n} + D_0\underline{d}_k = \\ = B_{0,0}\underline{u}_k + \cdots + B_{m,0}\underline{u}_{k-m} \qquad (1)$$

* *Email: hahien1977@gmail.com*

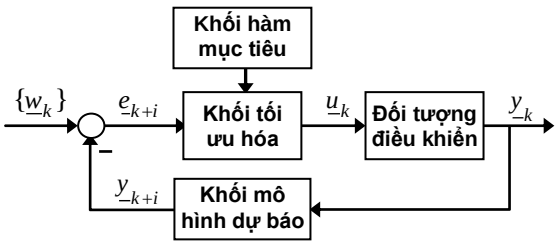
trong đó

- $\underline{u}_k = \left(u_1(k), \ldots, u_q(k)\right)^T$ là vector của q tín hiệu đầu vào,
- $\underline{y}_k = \left(y_1(k), \ldots, y_p(k)\right)^T$ là vector của p tín hiệu đầu ra,
- $D_0, A_{1,0}, \ldots, A_{n,0}, B_{0,0}, \ldots, B_{m,0}$ là những ma trận tham số của mô hình.

Có thể thấy rằng mô hình trên là tổng quát cho cả trường hợp hệ có trễ và có bậc các kênh khác nhau. Chẳng hạn khi hệ có trễ đầu vào là τ thì các ma trận hệ số $B_{0,0}, \ldots, B_{\tau-1,0}$ sẽ đồng nhất bằng Θ (ma trận có tất cả các phần tử bằng 0). Còn khi bậc từng kênh là khác nhau thì (m,n) trong (1) sẽ là giá trị cực đại của bậc tất cả các kênh này.

Nhiệm vụ điều khiển được đặt ra ở đây là xây dựng bộ điều khiển dự báo ứng với độ rộng của số dự báo $N \geq 2$ tùy chọn, sao cho tín hiệu đầu ra $\underline{y}_k$ của hệ bám theo được tín hiệu đặt $\underline{w}_k$ theo nghĩa có được sai lệch bám $\underline{e}_k = \underline{y}_k - \underline{w}_k$ tiệm cận về $\underline{0}$ và hữu hạn, tức là có $\left|\underline{e}_k\right| < \infty, \forall k$, trong đó dãy giá trị tín hiệu đặt $\{\underline{w}_k\} = \underline{w}_0, \underline{w}_1, \ldots$ là cho trước.

Bộ điều khiển dự báo được thiết kế sẽ gồm ba khối chính là khối mô hình dự báo, khối hàm mục tiêu và khối tối ưu hóa như mô tả ở hình 1.



Hình 1: *Cấu trúc hệ điều khiển dự báo*

Khối mô hình dự báo

Nhiệm vụ của khối này là xác định được các đầu ra tương lai $\underline{y}_{k+i}$ tính từ thời điểm k hiện tại dưới dạng các hàm của những tín hiệu đầu vào tương lai $\underline{u}_k, \underline{u}_{k+1}, \ldots, \underline{u}_{k+N-1}$ thuộc của số dự báo hiện tại là $[k,N)$, trong đó $N \geq 2$ là độ rộng cửa sổ dự báo, hay còn gọi là tầm dự báo. Nó là một số nguyên dương tùy chọn.

Ta sẽ sử dụng phương pháp quy nạp để xác định $\underline{y}_{k+i}$, $i = 1, 2, \ldots, N$. Trước tiên ta xem nhiễu $\underline{d}_k$ đã được ước lượng bởi $\underline{d}_k^{/}$ và giá trị ước lượng này là không đổi trong toàn bộ cửa sổ dự báo hiện tại. Vậy khi $i = 1$ thì từ mô hình (1) của hệ ta có được ngay:

$$\begin{aligned}
\underline{y}_{k+1} &= \left(B_{0,0}\underline{u}_{k+1} + B_{1,0}\underline{u}_k + \cdots + B_{m,0}\underline{u}_{k+1-m}\right) - \\
&\quad - \left(A_{1,0}\underline{y}_k + A_{2,0}\underline{y}_{k-1} + \cdots + A_{n,0}\underline{y}_{k+1-n} + D_0\underline{d}_k^{/}\right) \\
&= \left(B_{0,0}\underline{u}_{k+1} + B_{1,0}\underline{u}_k + \cdots + B_{m,0}\underline{u}_{k+1-m}\right) - \\
&\quad - \Big(A_{1,0}\Big[\left(B_{0,0}\underline{u}_k + \cdots + B_{m,0}\underline{u}_{k-m}\right) - \\
&\quad - \left(A_{1,0}\underline{y}_{k-1} + \cdots + A_{n,0}\underline{y}_{k-n} + D_0\underline{d}_k^{/}\right)\Big] + \\
&\quad + A_{2,0}\underline{y}_{k-1} + \cdots + A_{n,0}\underline{y}_{k+1-n} + D_0\underline{d}_k^{/}\Big)
\end{aligned}$$

Do đó, nếu sử dụng các ký hiệu:

$$\begin{aligned}
B_{0,1} &= B_{0,0} \\
B_{1,1} &= B_{1,0} - A_{1,0}B_{0,0} \\
&\vdots \\
B_{m,1} &= B_{m,0} - A_{1,0}B_{m-1,0} \\
B_{m+1,1} &= -A_{1,0}B_{m,0} \\
A_{1,1} &= A_{2,0} - A_{1,0}A_{1,0} \\
A_{2,1} &= A_{3,0} - A_{1,0}A_{2,0} \\
&\vdots \\
A_{n-1,1} &= A_{n,0} - A_{1,0}A_{n-1,0} \\
A_{n,1} &= -A_{1,0}A_{n,0} \\
D_1 &= D_0 - D_0A_{1,0}
\end{aligned} \tag{2}$$

thì mô hình dự báo trên ứng với $i = 1$ sẽ được viết gọn lại thành:

$$\begin{aligned}
\underline{y}_{k+1} &= \left(B_{0,1}\underline{u}_{k+1} + B_{1,1}\underline{u}_k + \cdots + B_{m+1,1}\underline{u}_{k-m}\right) - \\
&\quad - \left(A_{1,1}\underline{y}_{k-1} + \cdots + A_{n,1}\underline{y}_{k-n} + D_1\underline{d}_k^{/}\right)
\end{aligned} \tag{3}$$

Ta thấy được ngay là mô hình dự báo (3) cho trường hợp $i = 1$ có cấu trúc hoàn toàn tương tự như mô hình (1) của hệ thống khi $i = 0$. Bởi vậy, bằng quy nạp cho tất cả các chỉ số $i = 2, 3, \ldots, N$ còn lại thì từ (2) và (3) ta sẽ có:

$$\begin{aligned}
\underline{y}_{k+i} &= \left(B_{0,i}\underline{u}_{k+i} + B_{1,i}\underline{u}_{k+i-1} + \cdots + B_{m+i,i}\underline{u}_{k-m}\right) - \\
&\quad - \left(A_{1,i}\underline{y}_{k-1} + \cdots + A_{n,i}\underline{y}_{k-n} + D_i\underline{d}_k^{/}\right)
\end{aligned}$$

trong đó:

$$
\begin{aligned}
B_{0,i} &= B_{0,i-1} \\
B_{1,i} &= B_{1,i-1} \\
&\vdots \\
B_{i-1,i} &= B_{i-1,i-1} \\
B_{i,i} &= B_{i,i-1} - A_{1,i-1}B_{0,0} \\
&\vdots \\
B_{m+i-1,i} &= B_{m+i-1,i-1} - A_{1,1}B_{m-1,0} \\
B_{m+i,i} &= -A_{1,i-1}B_{m,0} \\
A_{1,i} &= A_{2,i-1} - A_{1,i-1}A_{1,0} \\
A_{2,i} &= A_{3,i-1} - A_{1,i-1}A_{2,0} \\
&\vdots \\
A_{n-1,i} &= A_{n,i-1} - A_{1,i-1}A_{n-1,0} \\
A_{n,i} &= -A_{1,i-1}A_{n,0} \\
D_i &= D_{i-1} - D_{i-1}A_{1,i-1}
\end{aligned} \tag{4}
$$

Tiếp theo, để đơn giản trong biểu diễn hàm mục tiêu sau này, ta sẽ ghép chung tất cả các tín hiệu đầu ra $\underline{y}_{k+i}$, $i = 0,1, \ldots ,N$ có được từ mô hình dự báo trên, thành một vector như sau:

$$\underline{\boldsymbol{y}} = \mathbf{Y}\underline{\boldsymbol{u}} + \underline{\boldsymbol{g}} \tag{5}$$

trong đó: $\underline{\boldsymbol{g}} = \mathbf{B}\underline{\boldsymbol{u}}_b - \mathbf{A}\underline{\boldsymbol{y}}_b - \mathbf{D}\underline{d}_k^{/}$ (6)

và

$$
\underline{\boldsymbol{y}} = \begin{pmatrix} \underline{y}_k \\ \underline{y}_{k+1} \\ \vdots \\ \underline{y}_{k+N} \end{pmatrix}, \ \underline{\boldsymbol{u}} = \begin{pmatrix} \underline{u}_{k+N} \\ \underline{u}_{k+N-1} \\ \vdots \\ \underline{u}_k \end{pmatrix}, \ \underline{\boldsymbol{u}}_b = \begin{pmatrix} \underline{u}_{k-1} \\ \underline{u}_{k-2} \\ \vdots \\ \underline{u}_{k-m} \end{pmatrix},
$$

$$
\underline{\boldsymbol{y}}_b = \begin{pmatrix} \underline{y}_{k-1} \\ \underline{y}_{k-2} \\ \vdots \\ \underline{y}_{k-n} \end{pmatrix}, \ \mathbf{A} = \begin{pmatrix} A_{1,0} & A_{2,0} & \cdots & A_{n,0} \\ A_{1,1} & A_{2,1} & \cdots & A_{n,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ A_{1,N} & A_{2,N} & \cdots & A_{n,N} \end{pmatrix},
$$

$$
\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} \Theta & \cdots & \Theta & B_{0,0} \\ \Theta & \cdots & B_{0,1} & B_{1,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{0,N} & \cdots & B_{N-1,N} & B_{N,N} \end{pmatrix}, \ \mathbf{D} = \begin{pmatrix} D_0 \\ D_1 \\ \vdots \\ D_N \end{pmatrix},
$$

$$
\mathbf{B} = \begin{pmatrix} B_{1,0} & B_{2,0} & \cdots & B_{m,0} \\ B_{2,1} & B_{3,1} & \cdots & B_{m+1,1} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ B_{N+1,N} & B_{N+2,N} & \cdots & B_{m+N,N} \end{pmatrix}, \tag{7}
$$

Có thể thấy $\underline{\boldsymbol{g}}$ là vector xác định được từ các giá trị đầu vào ra trong quá khứ $\underline{\boldsymbol{u}}_b$, $\underline{\boldsymbol{y}}_b$, nên vector các tín hiệu đầu ra tương lai $\underline{\boldsymbol{y}}$ chỉ còn là hàm của các đầu vào tương lai $\underline{\boldsymbol{u}}$.

Ước lượng nhiễu

Tiếp theo, để có được $\underline{\boldsymbol{g}}$ cho mô hình dự báo ở công thức (5) ta cần ước lượng được thành phần nhiễu $\underline{d}_k$ thông qua $\underline{d}_k^{/}$. Từ mô hình (1) ta thấy nếu như nhiễu $\underline{d}_k$ là biến đổi chậm thì nó hoàn toàn có thể ước lượng được từ những tín hiệu vào ra trong quá khứ của hệ như sau:

$$
\begin{aligned}
\underline{d}_k^{/} \approx \underline{d}_{k-1} &= B_{0,0}\underline{u}_{k-1} + \cdots + B_{m,0}\underline{u}_{k-m-1} - \\
&\quad - \left(\underline{y}_{k-1} + A_{1,0}\underline{y}_{k-2} + \cdots + A_{n,0}\underline{y}_{k-n-1}\right) \\
&= \left(B_{0,0}, \ldots ,B_{m,0}\right)\underline{\boldsymbol{u}}_b^{/} - \left(I_p, A_{1,0}, \ldots ,A_{n,0}\right)\underline{\boldsymbol{y}}_b^{/}
\end{aligned} \tag{8}
$$

trong đó

$$
\underline{\boldsymbol{u}}_b^{/} = \begin{pmatrix} \underline{\boldsymbol{u}}_b \\ \underline{u}_{k-m-1} \end{pmatrix}, \ \underline{\boldsymbol{y}}_b^{/} = \begin{pmatrix} \underline{\boldsymbol{y}}_b \\ \underline{y}_{k-n-1} \end{pmatrix}, \tag{9}
$$

Nếu ta sử dụng hai vector $\underline{\boldsymbol{u}}_b^{/}$, $\underline{\boldsymbol{y}}_b^{/}$ cho ở công thức (9) thay cho $\underline{\boldsymbol{u}}_b$, $\underline{\boldsymbol{y}}_b$ trong (6) thì vector $\underline{\boldsymbol{g}}$ sẽ viết lại được thành:

$$
\begin{aligned}
\underline{\boldsymbol{g}} &= \left(\mathbf{B}, \Theta_{(N+1)q,q}\right)\underline{\boldsymbol{u}}_b^{/} - \left(\mathbf{A}, \Theta_{(N+1)p,p}\right)\underline{\boldsymbol{y}}_b^{/} - \mathbf{D}\underline{d}_k^{/} \\
&= \mathbf{B}^{/}\underline{\boldsymbol{u}}_b^{/} - \mathbf{A}^{/}\underline{\boldsymbol{y}}_b^{/} - \mathbf{D}\underline{d}_k^{/}
\end{aligned} \tag{10}
$$

trong đó Θ_{ij} là ma trận không kiểu $i \times j$ và

$\mathbf{B}^{/} = \left(\mathbf{B}, \Theta_{(N+1)q,q}\right)$ và

$$\mathbf{A}^{/} = \left(\mathbf{A}, \Theta_{(N+1)p,p}\right) \tag{11}$$

Hàm mục tiêu

Trước tiên ta thấy sẽ có nhiều hàm mục tiêu phù hợp với yêu cầu chất lượng $\underline{e}_k \to \underline{0}$ và $\left|\underline{e}_k\right| < \infty, \forall k$ đặt ra ban đầu cho hệ kín, trong đó $\underline{e}_k = \underline{y}_k - \underline{w}_k$ là sai lệch bám tại thời điểm k. Tuy nhiên, để công việc tối ưu hóa sau này được đơn giản, ta sẽ sử dụng hàm mục tiêu dạng toàn phương ứng trong toàn bộ cửa sổ dự báo hiện tại $[k,N)$ như sau:

$$J = \underline{\boldsymbol{e}}^T Q \underline{\boldsymbol{e}} + \underline{\boldsymbol{u}}^T R \underline{\boldsymbol{u}} \to \min \quad (12)$$

trong đó Q, R là hai ma trận đối xứng xác định dương tùy chọn, cũng như $\underline{\boldsymbol{e}}$ là vector hợp tất cả các sai lệch bám trong cửa sổ dự báo đó, tức là:

$\underline{\boldsymbol{e}} = \underline{\boldsymbol{y}} - \underline{\boldsymbol{w}}$ và

$$\underline{\boldsymbol{w}} = col\left(\underline{w}_k, \underline{w}_{k+1}, \ldots, \underline{w}_{k+N}\right) \quad (13)$$

Thay công thức mô hình dự báo (5) vào (13) rồi thay tiếp vào hàm mục tiêu (12) và bỏ đi các thành phần không chứa $\underline{\boldsymbol{u}}, \underline{\boldsymbol{y}}$ trong J, ta sẽ được hàm mục tiêu tương đương là:

$$J' = \underline{\boldsymbol{u}}^T E \underline{\boldsymbol{u}} - 2\underline{h}^T \underline{\boldsymbol{u}} \to \min \quad (14)$$

trong đó

$$E = \mathbf{Y}^T Q \mathbf{Y} + R \text{ và } \underline{h} = \mathbf{Y}^T Q(\underline{\boldsymbol{w}} - \underline{\boldsymbol{g}}). \quad (15)$$

Rõ ràng khi có được $\underline{\boldsymbol{u}}$ để J' đạt giá trị nhỏ nhất, hàm J ban đầu cũng sẽ trở thành cực tiểu và do đó sai lệch $\underline{\boldsymbol{e}}$ sẽ là nhỏ nhất. Hiển nhiên, cửa sổ dự báo N được chọn càng lớn, $|\underline{\boldsymbol{e}}|$ sẽ càng nhỏ, nên hệ bám càng nhanh, song trả giá số lượng các phép tính phải thực hiện càng nhiều dẫn tới sai số tính toán sẽ càng lớn.

Ngoài ra, vì Q, R là tùy chọn nên ta còn có cơ hội chọn chúng sao cho kết quả thu được sau này thỏa mãn thêm các điều kiện ràng buộc bắt buộc.

D) Tối ưu hóa

Hàm J' cho ở (14) có dạng toàn phương chuẩn nên nghiệm tối ưu của nó sẽ là 0:

$\underline{\boldsymbol{u}} = E^{-1}\underline{h}$.

Suy ra, tín hiệu điều khiển ở thời điểm k là:

$$\underline{u}_k = \left(\Theta, \cdots, \Theta, I_q\right)\underline{\boldsymbol{u}} = \left(\Theta, \cdots, \Theta, I_q\right)E^{-1}\underline{h} \quad (16)$$

Thuật toán AGPC

Bộ điều khiển AGPC trình bày ở các công thức (2)-(16), khi cài đặt, sẽ được khởi tạo với (2),(4) và (7) sau đó được thực hiện lần lượt theo từng vòng lặp cho $k = 0,1,\ldots$ với (8),(9),(15),(16). Chi tiết hơn, để thuận lợi cho công việc cài đặt AGPC sau này, thuật toán sau sẽ trình bày thứ tự thực hiện các bước tính toán đó:

1) Khởi tạo: Tùy chọn $N \geq 2$. Từ tham số mô hình $A_{1,0}, \ldots, A_{n,0}, B_{0,0}, \ldots, B_{m,0}$ xây dựng các ma trận $A_{j,i}, B_{l,j}, D_j$ nhờ công thức (2) và (4), trong đó $1 \leq j \leq n$, $1 \leq i \leq N$, $0 \leq l \leq m+N$. Chọn hai ma trận đối xứng xác định dương Q, R có số chiều lần lượt là $(N+1)p$ và $(N+1)q$.

   Sử dụng công thức (7) để xác định các ma trận $\mathbf{A}, \mathbf{B}, \mathbf{Y}, \mathbf{D}$ và từ đó là E^{-1} với ma trận E cho ở công thức (15) và $\mathbf{A}'$, $\mathbf{B}'$ cho ở (11).

   Khai báo hai mảng dữ liệu $\underline{\boldsymbol{u}}_b'$, $\underline{\boldsymbol{y}}_b'$ có số chiều lần lượt là $(m+1)q$, $(n+1)p$ và gán tất cả các phần tử của chúng bằng 0. Ký hiệu các vector phần tử của $\underline{\boldsymbol{u}}_b'$, $\underline{\boldsymbol{y}}_b'$ là:

   $$\underline{\boldsymbol{u}}_b' = (\underline{u}_1^b, \ldots, \underline{u}_{m+1}^b), \underline{\boldsymbol{y}}_b' = (\underline{y}_1^b, \ldots, \underline{y}_{n+1}^b).$$

   Xây dựng vector $\underline{\boldsymbol{w}}$ từ dãy các giá trị đặt $\{\underline{w}_k\}$ đã cho theo (13).

2) Ước lượng $\underline{d}_k'$ theo (8) và tính $\underline{\boldsymbol{g}}$ theo (10).

3) Tính $\underline{h}$ theo (15) và $\underline{u}_k$ theo (16).

4) Đưa $\underline{u}_k$ vào điều khiển đối tượng trong khoảng thời gian trích mẫu.

5) Đo tín hiệu đầu ra $\underline{y}_k$ và sắp xếp lại hai mảng dữ liệu $\underline{\boldsymbol{u}}_b'$, $\underline{\boldsymbol{y}}_b'$ theo thứ tự như sau:

   $$\underline{u}_i^b := \underline{u}_{i-1}^b, \; i = 2, \ldots, m+1$$
   $$\underline{y}_j^b := \underline{y}_{j-1}^b, \; j = 2, \ldots, n+1$$

6) Gán $\underline{u}_1^b := \underline{u}_k$ và $\underline{y}_1^b := \underline{y}_k$ rồi quay lại bước 2.

Chú ý, trong trường hợp cần chọn Q, R để bộ điều khiển thỏa mãn thêm điều kiện các ràng buộc, ta cần chọn và thay đổi chúng trong vòng lặp (từ bước 2 đến bước 6). Tương ứng bước tính ma trận E và E^{-1} cũng được chuyển vào trong vòng lặp này thay vì ở bước khởi tạo.

HAI VÍ DỤ ỨNG DỤNG THỰC TẾ

Ví dụ thứ nhất là điều khiển hệ buồng sấy giấy có 2 vào và 2 đầu ra cùng kết quả so sánh chất lượng khi sử dụng bộ điều khiển GPC truyền thống đã được công bố ở tài liệu 0. Theo kết quả này thì bộ điều khiển AGPC đạt được chất lượng kháng nhiễu và tách kênh tốt hơn bộ điều khiển GPC truyền thống.

Ví dụ thứ hai là ứng dụng AGPC của bài báo để điều khiển hệ truyền động bánh răng có mô hình hàm truyền gần đúng cho ở tài liệu 0, 0 như sau:

$$G(z) = \frac{b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}. \qquad (17)$$

Vậy khi so sánh với mô hình (1), ta thấy (17) là đối tượng SISO và có:

$$\begin{aligned} &m = 2,\ B_{0,0} = 0,\ B_{1,0} = b_1,\ B_{2,0} = b_2 \\ &n = 2,\ A_{1,0} = a_1,\ A_{2,0} = a_2,\ D_0 = 1 \end{aligned} \qquad (18)$$

hay tất cả các tham số mô hình (1) đối với hệ truyền động bánh răng (17) không còn là ma trận mà đều là những số thực. Suy ra:

$$\mathbf{A}^{/} = \begin{pmatrix} A_{1,0} & A_{2,0} & 0 \\ A_{1,1} & A_{2,1} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ A_{1,N} & A_{2,1} & 0 \end{pmatrix},\ \mathbf{B}^{/} = \begin{pmatrix} B_{1,0} & B_{2,0} & 0 \\ B_{2,1} & B_{3,1} & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots \\ B_{N+1,N} & B_{N+2,N} & 0 \end{pmatrix}$$

$$\mathbf{Y} = \begin{pmatrix} 0 & \cdots & 0 & 0 \\ 0 & \cdots & B_{0,1} & B_{1,1} \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ B_{0,N} & \cdots & B_{N-1,N} & B_{N,N} \end{pmatrix},\ \mathbf{D} = \begin{pmatrix} 1 \\ D_1 \\ \vdots \\ D_N \end{pmatrix}$$

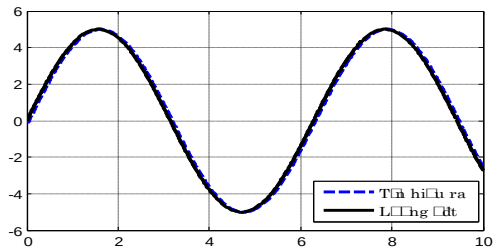
với $N \geq 2$ tùy chọn và những số thực $A_{j,i}, B_{l,j}, D_j$, $1 \leq j \leq 2,\ 1 \leq i \leq N,\ 0 \leq l \leq 2+N$ được xác định từ tham số mô hình (18) ban đầu theo các công thức truy hồi đã cho ở (2) và (4).

Hình 2 là kết quả mô phỏng của hệ kín với đối tượng có mô hình (17) được thực hiện với các tham số cụ thể:

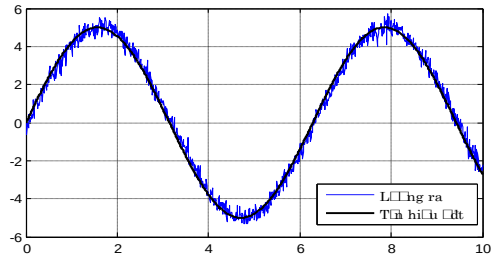
$$b_1 = 3,\ b_2 = 1,\ a_1 = 1,\ a_2 = 0.5,\ N = 2$$

Chi tiết hơn, hình 2a biểu diễn kết quả mô phỏng chất lượng hệ kín gồm bộ điều khiển AGPC và đối tượng truyền động bánh răng (17) khi không có nhiễu tác động, trong đó đường nét rời là đồ thị tín hiệu đầu ra thực có của hệ y_k và đường nét liền biểu diễn dãy giá trị tín hiệu mẫu cho trước có dạng tín hiệu điều hoà hình sin: $w_k = 5\sin(314k)$.

Hình 2b là kết quả mô phỏng thu được khi có nhiễu ồn trắng (noise power: 0,001).



Hình 2a. *Kết quả mô phỏng khi không có nhiễu*



Hình 2b. *Kết quả mô phỏng khi có nhiễu ồn trắng*

KẾT LUẬN

Bài báo đã giới thiệu một phiên bản để thực hiện công việc cài đặt khác cho nguyên lý điều khiển dự báo GPC, được gọi tên là AGPC. Ở phiên bản này, để xác định tín hiệu điều khiển, ta không cần phải thực hiện bước trung gian là tìm nghiệm của hệ phương trình Diophantine. Nhờ đó đã giúp phần làm giảm sai số tính toán. Kết quả mô phỏng trình bày trong bài báo đã xác nhận điều này.

Hơn nữa, khác với GPC truyền thống, thuật toán điều khiển AGPC này cũng còn dùng được chung cho cả hai trường hợp khi đối tượng là SISO và MIMO.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Camacho E. and Bordons C. (1999), *Model predictive control*, Springer.
2. D. W. Clarke (1988), "Application of generalized predictive control to industrial processes", *IEEE Control Systems Magazine*, Volume 8, Issue 2, pp. 49–55.
3. D. W. Clarke and C. Mohtadi (1989), "Properties of generalized predictive control", *Automatica*, Volume 25, Issue 6, November 1989, pp. 859-875.
4. Schmidt W. (1991), *Diophantine approximations and Diophantine equations*, *Lecture Notes in Mathematics*, 1467. Springer.
5. Everest G. and Ward T. (2006), *An Introduction to Number Theory*, Springer.
6. Phước N. D. (2015), *Tối ưu hóa trong điều khiển và điều khiển tối ưu*, Nxb Bách khoa.
7. Quyên,T.K. (2016), "Nghiên cứu nâng cao chất lượng điều khiển phản hồi đầu ra cho quá trình đa biến buồng sấy giấy", *Luận án TS kỹ thuật*, Đại học Bách khoa Đà Nẵng.
8. Hà L. T. T. và Phước N. D (2015), "Thiết kế bộ điều khiển PID dự báo với cửa sổ dự báo vô hạn để điều khiển thích nghi hệ truyền động qua bánh răng", *Tuyển tập báo cáo Hội nghị VCCA-2015*, trang 7-12. Thái Nguyên 28-29.11.2015.
9. Hà L. T. T. (2014), "Mô hình hóa hệ truyền động bánh răng", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Thái Nguyên*, tập 118, số 4, 2014, trang 67-78.

SUMMARY

AN ALTERNATIVE GPC WITHOUT USING SOLUTIONS OF DIOPHATINE EQUATIONS FOR CONTROL OF OUTPUT DISTURBED SYSTEMS

Le Thi Thu Ha[1*], Dang Danh Hoang[1], Nguyen Doan Phuoc[2]
[1]University of Technology – TNU, [2]Hanoi University of Sciences and Technology

The Generalized Predictive Control (GPC) method is known as an effective methodology for designing predictive feedback control for linear systems. This has been practically proven through many applications into process control. However, to install this method for specific problems, one must directly or indirectly use an intermediary step to determine the solution to the Diophantine system. This article introduces another installation method of GPC, which is called AGPC (alternative GPC), where the installer does not need to use this intermediate step. Furthermore, unlike traditional GPC, the AGPC method introduced here has a common structure for both SISO and MIMO systems, which is very convenient for installing into real-world problems later on.

Keywords: *Model predictive control; Diophantine equations; AGPC algorithm; Optimized; gearing transmission systems.*

Ngày nhận bài: 01/9/2017; Ngày phản biện: 21/9/2017; Ngày duyệt đăng: 16/10/2017

[*] *Email: hahien1977@gmail.com*