

Nghiên cứu bộ dự đoán Smith và ứng dụng cho hệ thống điều khiển có trễ áp dụng trong môn học Lý thuyết điều khiển nâng cao

Vũ Anh Đào*, Bùi Thị Dân*

*Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông

Received: 2/12/2023; Accepted: 11/12/2023; Published: 21/12/2023

Abstract: This paper discusses the utilization of the Smith Predictor for compensating time delays in control systems. Time delay is a factor that often undermines system stability, making it crucial to mitigate its effects for enhanced system stability. The Smith Predictor is one mathematical model used to characterize the structure of the delay component in a control system. This model not only elegantly describes the structure of the delay component but also provides an intuitive explanation of the compensation process.

Keywords: Smith Predictor, time delay, control system

1. Đặt vấn đề

Bộ dự đoán Smith (Smith predictor) [1],[2] hoạt động bằng cách sử dụng một mô hình dự đoán đối tượng điều khiển để ước lượng và dự đoán tương lai cho hệ thống. Thay vì phản ứng trực tiếp với đầu ra, hệ thống sử dụng thông tin từ mô hình dự đoán để điều chỉnh đầu ra. Điều này giúp giảm thiểu ảnh hưởng của trễ thời gian và cải thiện hiệu suất tổng thể của hệ thống điều khiển [3]. Bộ dự đoán Smith thường được áp dụng trong các ứng dụng mà trễ thời gian có thể ảnh hưởng đáng kể đến hiệu suất, chẳng hạn như trong quá trình hóa học, điều khiển robot, hay các hệ thống tự động khác. Sự tích hợp của mô hình dự đoán giúp tối ưu hóa điều khiển và làm giảm thiểu ảnh hưởng tiêu cực của trễ thời gian trong quá trình điều khiển.

Phương pháp kiểm soát đặc biệt này được đề xuất bởi O.J.M.Smith khoảng 50 năm trước và vẫn thu hút sự chú ý lớn vì độ hữu ích của nó. Bài báo này chỉ tập trung phân tích hệ thống có một đầu vào – một đầu ra (SISO) [4].

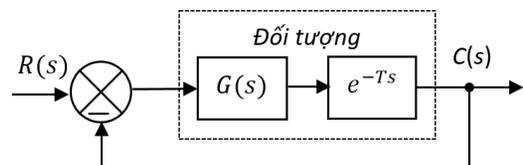
2. Nội dung nghiên cứu

2.1. Bộ dự đoán Smith

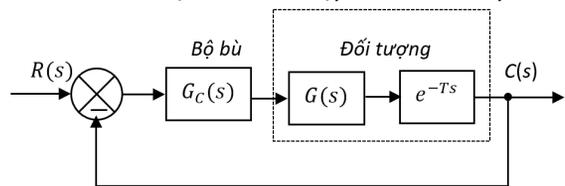
Trễ là một hiện tượng thường xuyên xảy ra trong các hệ thống vật lý, hóa học, sinh học, động lực học[1]... Trễ có thể do truyền dẫn, thời gian để nhận được phản hồi trong một hệ thống cảm biến yêu cầu lấy mẫu và phân tích, thời gian để tạo ra tín hiệu điều khiển... Trễ làm hệ thống giảm ổn định, vì vậy việc phân tích tính ổn định hệ thống có trễ là một việc rất quan trọng trong các hệ thống điều khiển.

Trong các hệ thống khi đối tượng điều khiển có trễ, bộ điều khiển thông thường khó có thể cho kết

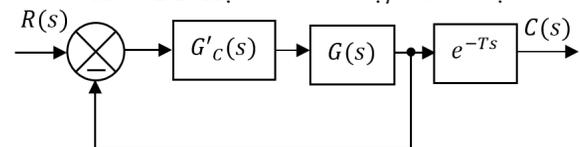
quả điều khiển mong muốn. Khi đó, chúng ta có thể sử dụng mô hình dự đoán của Smith với phương pháp bù trễ. Ý tưởng thiết kế là dịch chuyển thành phần trễ ra khỏi vòng lặp của hệ thống. Hình 2.1 là hệ thống điều khiển có thành phần trễ (e^{-Ts}) nằm bên trong vòng lặp. Để dịch chuyển thành phần trễ ra khỏi vòng lặp, bộ bù $G_c(s)$ có thể được thêm vào hệ thống như hình 2.2. Khi đó, hệ thống có thể di chuyển được thành phần trễ ra ngoài vòng lặp, như hình 2.3. Nguyên tắc dự đoán của Smith là đề xuất bộ điều khiển riêng $G'_c(s)$ cho đối tượng $G(s)$ không có trễ.



Hình 2.1. Hệ điều khiển lặp kín có thành phần trễ



Hình 2.2. Hệ điều khiển lặp kín có bộ bù



Hình 2.3. Tách phần trễ ra khỏi vòng lặp
Từ hình 2.2 và hình 2.3 ta có:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G_c(s)G(s)e^{-Ts}}{1+G_c(s)G(s)e^{-Ts}} = \frac{G'_c(s)G(s)}{1+G'_c(s)G(s)}e^{-Ts} \quad (1)$$

$$\Leftrightarrow [1+G'_c(s)G(s)]G_c(s)G(s)e^{-Ts} = G'_c(s)G(s)e^{-Ts}[1+G_c(s)G(s)e^{-Ts}] \quad (2)$$

Biến đổi (2) ta có:

$$\begin{aligned} G_c(s)G(s)e^{-Ts} + G'_c(s)G(s)G_c(s)G(s)e^{-Ts} \\ = G'_c(s)G(s)e^{-Ts} + G'_c(s)G(s)e^{-Ts}G_c(s)G(s)e^{-Ts} \\ \Leftrightarrow G_c(s)[G(s)e^{-Ts} + G'_c(s)G(s)G(s)e^{-Ts} - G'_c(s)G(s)e^{-Ts}G(s)e^{-Ts}] \\ = G'_c(s)G(s)e^{-Ts} \\ \Leftrightarrow G_c(s)[1+G'_c(s)G(s) - G'_c(s)G(s)e^{-Ts}] = G'_c(s) \end{aligned}$$

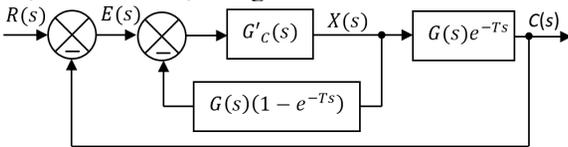
Vì vậy, hàm truyền đạt bộ bù là:

$$G_c(s) = \frac{G'_c(s)}{1+G'_c(s)G(s)(1-e^{-Ts})} \quad (3)$$

Sử dụng công thức này, ta có thể mô tả cấu trúc của bộ dự đoán Smith như hình 2.4. Cấu trúc bộ dự đoán như hình 2.4 là lý tưởng khi hàm truyền đạt $G(s)(1-e^{-Ts})$ loại bỏ hoàn toàn ảnh hưởng của trễ trong vòng lặp. Điều này được giải thích bằng phương trình của hàm truyền đạt trong hình 2.4:

$$\begin{aligned} \frac{C(s)}{R(s)} &= \frac{\frac{G'_c(s)}{1+G'_c(s)G(s)(1-e^{-Ts})}G(s)e^{-Ts}}{1+\frac{G'_c(s)}{1+G'_c(s)G(s)(1-e^{-Ts})}G(s)e^{-Ts}} \\ &= \frac{\frac{G'_c(s)G(s)e^{-Ts}}{1+G(s)(1-e^{-Ts})}}{1+G'_c(s)G(s)(1-e^{-Ts})+G'_c(s)G(s)e^{-Ts}} \\ &= \frac{G'_c(s)G(s)e^{-Ts}}{1+G(s)(1-e^{-Ts})} \\ &= \frac{G'_c(s)G(s)e^{-Ts}}{1+G'_c(s)G(s)} \end{aligned} \quad (4)$$

Phương trình (4) đối với hệ thống trong hình 2.3 chính là cấu trúc hệ thống mong muốn sau khi bộ bù được thêm vào hệ thống.



Hình 2.4. Cấu trúc bộ điều khiển Smith cho thành phần trễ

Bù trễ trong hình 2.4 yêu cầu phải ước lượng chính xác hàm truyền đạt của đối tượng ($G(s)e^{-Ts}$), điều này thường khó thực hiện. Để sử dụng bộ dự đoán Smith cho các hệ thống thực tế, cần phải ước lượng các giá trị của $G(s)$ và e^{-Ts} . Ký hiệu các ước lượng này tương ứng là $G_e(s)$ và $e^{-T_e s}$, cấu trúc bộ

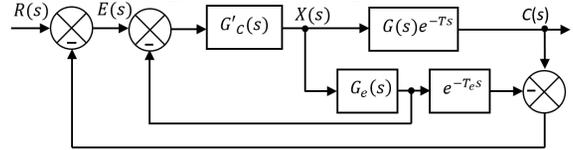
dự đoán Smith được mô tả như hình 2.5. Theo hình 2.5 ta có:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G'_c(s)G(s)e^{-Ts}}{1+G'_c(s)G_e(s)(1-e^{-T_e s})} \quad (5)$$

Do đó ta có:

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G'_c(s)G(s)e^{-Ts}}{1+G'_c(s)G_e(s)+G'_c(s)[G(s)e^{-Ts}-G_e(s)e^{-T_e s}]} \quad (6)$$

Điều này có nghĩa là nếu tham số của đối tượng có thể được mô hình hóa chính xác thì hàm truyền đạt của hệ thống sẽ tương đương với hình 2.3.



Hình 2.5. Bộ dự đoán Smith có đánh giá tham số đối tượng

2.2. Kết quả mô phỏng

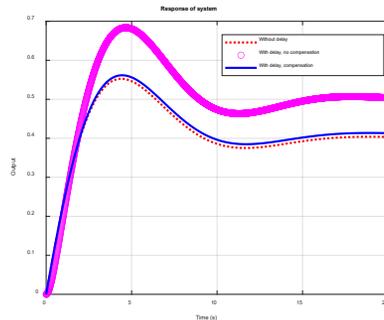
Bài báo đã thực hiện mô phỏng để minh họa khả năng của bộ dự đoán Smith khi hệ thống có trễ trong hai trường hợp:

Trường hợp 1: Đối tượng điều khiển có hàm truyền đạt $G_c(s) = 1; G(s) = \frac{s + 0.4}{4s^2 + 2s + 1}$, thời

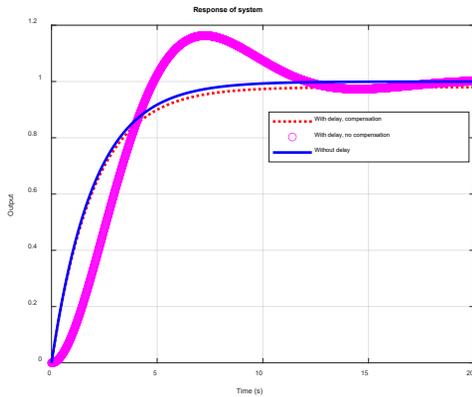
gian trễ $T = 1 (s)$, tín hiệu vào là hàm Step $1(t)$. Đáp ứng của hệ thống được minh họa trên hình 2.6 tương ứng với ba trường hợp là không trễ, có trễ không được bù và có trễ được bù.

Trường hợp 2. Đối tượng điều khiển có hàm truyền đạt $G_c(s) = 1; G(s) = \frac{1}{2s + 1}$, thời gian trễ

$T = 0.7 (s)$, tín hiệu vào là hàm Step $1(t)$. Đáp ứng của hệ thống được minh họa trên hình 2.7 tương ứng với ba trường hợp là không trễ, có trễ không được bù và có trễ được bù.



Hình 2.6. Đáp ứng hệ thống trong trường hợp 1



Hình 2.7. Đáp ứng hệ thống trong trường hợp 2

Qua hình 6 và hình 2.7 ta thấy, đáp ứng của hệ thống khi giả thiết không có trễ và khi được bù trễ bằng cách sử dụng bộ dự đoán Smith cho kết quả khá giống nhau, hệ có trễ sẽ làm giảm chất lượng của hệ thống như tồn tại sai số xác lập, dao động nhiều nên giảm độ ổn định của hệ thống

3. Kết luận

Bộ Dự đoán Smith là một mô hình toán học mạnh được sử dụng để giảm thiểu độ trễ và nâng cao độ ổn định của hệ thống. Bộ Dự đoán Smith hoạt động bằng

cách loại bỏ phần độ trễ khỏi vòng lặp kín của hệ thống, làm cho hệ thống có thể được phân tích và điều khiển giống như khi không có trễ. Có thể kết luận rằng bộ dự đoán Smith có thể cải thiện khả năng ổn định của hệ thống khi có đối tượng điều khiển có trễ.

Tài liệu tham khảo

[1] Ziwei Li, Jianjun Bai and Hongbo Zou, *Modified two-degree-of-freedom Smith predictive control for processes with time-delay*, Measurement and Control, Vol. 53(3-4) 691–697, 2020

[2] Gurban EH and Andreescu GD, *Comparison of modified Smith predictor and PID controller tuned by genetic algorithms for greenhouse climate control*, IEEE international symposium on applied computational intelligence & informatics, Timisoara, 15–17 May 2014.

[3] Wei T, Shi S and Wang M, *A novel smith predictor with double-controller structure*, American control conference, Anchorage, AK, 8–10 May 2002.

[4]. M.GnanaMurugan, Mr.A.Senthilkumar, *Smith Predictor for Control of the Process with Long Dead Time*, International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT), RTIA' 14 Conference Proceedings.

Giải pháp nâng cao chất lượng.....(tiếp theo trang 241)

2.2.7. Trong quá trình giảng dạy võ thuật, giảng viên phải nghiên cứu, xây dựng nội dung huấn luyện thật khoa học đồng thời từng bước cải tiến phương pháp huấn luyện phát huy hiệu quả cao nhất. Bên cạnh đó, giảng viên phải biết sử dụng kết hợp nhuần nhuyễn nhiều phương pháp huấn luyện tùy thuộc vào mục đích của bài giảng và nội dung cần truyền tải đến học viên.

2.2.8. Chủ động đổi mới tiêu chí, nội dung và thường xuyên tăng cường công tác kiểm tra, đánh giá kết quả tập luyện và học tập của học viên Nhà trường. Thông qua công tác kiểm tra thường xuyên sẽ góp phần phát hiện, sửa đổi và khắc phục những điểm khó khăn trong việc tập luyện của học viên.

3. Kết luận

Trên đây là một số giải pháp có liên quan đến nâng cao chất lượng giảng dạy võ thuật CAND cho học viên hệ Văn bằng 2 chính quy tuyển mới trên cơ sở nghiên cứu, khảo sát thực tiễn. Trong tương lai kỹ năng võ thuật sẽ trở thành một trong những nét đặc trưng, thành tựu đáng tự hào của không chỉ đối

với học viên hệ Văn bằng 2 chính quy tuyển mới tại Trường Đại học Cảnh sát nhân dân và trong toàn thể lực lượng CAND./.

Tài liệu tham khảo

1. Bộ Công an (2021), *Thông tư số 09/2021/TT-BCA, ngày 20/01/2021 về quy định về kiểm tra điều lệnh, quân sự, võ thuật CAND*, Hà Nội.

2. Bộ Giáo dục và Đào tạo (2015), *Thông tư số 25/2015/TT-BGDĐT ngày 14/10/2015 quy định về chương trình môn học GDTC thuộc các chương trình đào tạo trình độ đại học*, Hà Nội.

3. Lê Đức Ngọc (2005), *Giáo dục đại học: Phương pháp dạy và học*, Nxb ĐHQG Hà Nội.

4. Nguyễn Ngọc Tâm (2002), *Đào tạo và bồi dưỡng giáo viên các trường trung học CAND trong thời kỳ mới – Thực trạng và giải pháp*, Đề tài khoa học cấp cơ sở.

5. Nguyễn Văn Thắng (2000), *Giải pháp nâng cao chất lượng dạy và học của bậc đại học, cao học, nghiên cứu sinh của Trường Đại học ANND, Đề tài khoa học cấp cơ sở*, Tp Hồ Chí Minh.