NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA TRỄ TRUYỀN THÔNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN QUA MẠNG TRUYỀN THÔNG

A STUDY ON THE IMPACT OF COMMUNICATION DELAY ON THE QUALITY OF CONTROL IN NETWORKED CONTROL SYSTEMS

Nguyễn Trọng Các[1,*]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2025.375

TÓM TẮT

Các hệ thống điều khiển có nối mạng truyền thông luôn có sự tồn tại của trễ truyền thông. Trễ truyền thông là một trong những nguyên nhân chính dẫn đến sự suy giảm chất lượng của hệ thống điều khiển, cũng như chất lượng dịch vụ; thậm chí nếu trễ truyền thông lớn sẽ gây ra sự tắc nghẽn trên đường truyền tin làm suy giảm hiệu suất đường truyền, gây mất ổn định của hệ thống điều khiển. Mục đích của bài báo này trình bày các kết quả nghiên cứu về sự ảnh ảnh hưởng của trễ truyền thông tới chất lượng của hệ thống điều khiển có nối mạng truyền thông. Bài báo xem xét thực thi ứng dụng điều khiển động cơ điện một chiều qua mạng truyền thông, sử dụng công cụ mô phỏng TrueTime để đánh giá sự ảnh hưởng của trễ truyền thông tới chất lượng của hệ thống điều khiển.

Từ khóa: *Trễ truyền thông; hệ thống điều khiển qua mạng; chất lượng điều khiển, chất lượng dịch vụ; động cơ điện một chiều.*

ABSTRACT

In Networked Control Systems (NCS), communication delay is regarded as an inherent characteristic. It is widely acknowledged as one of the primary factors by which control system performance and Quality of Service (QoS) can be significantly degraded. When substantial delays are introduced, network congestion may be triggered, leading to decreased transmission efficiency and, in certain cases, resulting in system instability. In this paper, the impact of communication delay on the performance of NCSs is systematically investigated; a DC motor control application is developed and deployed over a simulated communication network. The TrueTime simulation tool is utilized to model the system environment and to introduce varying levels of delay, through which the effects on Quality of Control (QoC) and system stability are assessed.

Keywords**:** *Communication delay; networked control system; quality of control; quality of service; DC motor.*

[1]Trường Đại học Sao Đỏ

[*]Email: cacdhsd@gmail.com

Ngày nhận bài: 01/8/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/9/2025

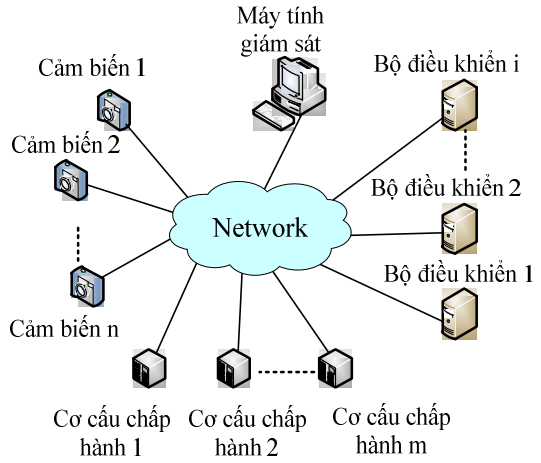
Ngày chấp nhận đăng: 28/11/2025

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh công nghiệp hóa và hiện đại hóa, các hệ thống điều khiển ngày càng được tích hợp với các mạng truyền thông để tạo thành hệ thống điều khiển qua mạng (Networked Control Systems - NCS). NCS là một hệ thống, trong đó các thành phần cơ bản của hệ thống như bộ cảm biến, bộ điều khiển và cơ cấu chấp hành,… trao đổi thông tin với nhau thông qua mạng truyền thông chung như trên hình 1 [1].

NCS được sử dụng phổ biến trong công nghiệp để thay thế phương pháp truyền thông truyền thống điểm - điểm bởi nhiều ưu điểm, đặc biệt là tiết kiệm chi phí cài đặt, nâng cao tính linh hoạt, khả năng mở rộng và dễ dàng trong chẩn đoán. Tuy nhiên, việc truyền tín hiệu điều khiển và phản hồi thông qua mạng truyền thông chung dẫn đến sự xuất hiện không tránh khỏi của các vấn đề như trễ truyền thông, mất gói, và sai lệch thời gian, gây ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng điều khiển và độ ổn định của hệ thống. Trong đó, trễ truyền thông được xem là một trong những yếu tố chính làm suy giảm hiệu suất đường truyền (QoS) và có thể gây ra sự mất ổn định của hệ thống điều khiển (QoC) nếu không được xử lý phù hợp. Việc sử dụng chung đường truyền thông nảy sinh một số vấn đề mà hiện nay đang thu hút sự quan tâm của các nhà nghiên cứu như: mất gói dữ liệu, trễ truyền thông, lượng tử hoá tín hiệu, lập lịch truy nhập đường truyền, thời gian lấy mẫu [2-5]. Việc xây dựng một mô hình NCS có thể xem xét đầy đủ tất cả các yếu tố trên vẫn là một thách thức lớn và là vấn đề còn mang tính thời sự hiện nay. Trong bài báo này tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của trễ truyền thông đến chất lượng điều khiển của NCS, đối tượng điều khiển là động cơ điện một chiều (sử dụng mô hình hàm truyền đạt bậc 2). Công cụ mô phỏng TrueTime được sử dụng

nhằm đánh giá định lượng tác động của các mức độ trễ truyền thông khác nhau đến QoC và độ ổn định của hệ thống [5].

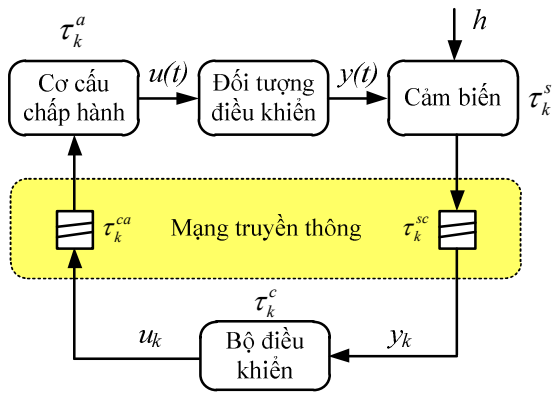


Hình 1. Cấu trúc chung của NCS

Phần còn lại của bài báo được bố cục như sau: phần 2 trình bày cấu trúc chung của NCS với trễ mạng truyền thông. Phần 3 phân tích giao thức mac đối với các luồng dữ liệu trong mạng truyền thông. Phần 4 tập trung đánh giá ảnh hưởng của trễ truyền thông đến chất lượng của hệ thống điều khiển. Cuối cùng, các kết luận được trình bày trong phần 5.

2. CẤU TRÚC CHUNG CỦA NCS VỚI TRỄ MẠNG TRUYỀN THÔNG

Đối với NCS, khi tích hợp mạng truyền thông vào trong hệ thống điều khiển vòng kín sẽ phát sinh nhiều thách thức cần phải giải quyết, trong đó hai thành phần trễ truyền thông đó là trễ truyền thông từ bộ cảm biến đến bộ điều khiển (ký hiệu là τ_k^{sc}) và trễ truyền thông từ bộ điều khiển đến cơ cấu chấp hành (ký hiệu là τ_k^{ca}) là hai thành phần trễ chính làm suy giảm hiệu suất đường truyền và có thể gây ra sự mất ổn định của hệ thống điều khiển.



Hình 2. Cấu trúc chung của NCS với các thành phần trễ trong vòng kín

Hình 2 là cấu trúc chung của NCS với các thành phần trễ trong vòng kín, bao gồm bốn thành phần chính: cảm biến, bộ điều khiển, cơ cấu chấp hành, đối tượng điều khiển và mạng truyền thông; trong đó bộ điều khiển giao tiếp với cơ cấu chấp hành và cảm biến thông qua mạng truyền thông [1, 3]. Cảm biến làm nhiệm vụ lấy mẫu tín hiệu đầu ra y(t) và gửi tín hiệu đầu ra đã lấy mẫu y_k đến bộ điều khiển thông qua mạng truyền thông. Bộ điều khiển nhận tín hiệu y_k từ bộ cảm biến, sau đó tính toán giá trị tín hiệu điều khiển u_k và gửi u_k đến cơ cấu chấp hành thông qua mạng truyền thông. Cơ cấu chấp hành nhận u_k và chuyển đổi u_k sang tín hiệu tương tự u(t) và gửi trực tiếp u(t) đến đối tượng điều khiển.

Từ hình 2, tổng các thành phần trễ trong vòng kín là:

$$\tau_k = \tau_k^s + \tau_k^{sc} + \tau_k^c + \tau_k^{ca} + \tau_k^a \quad (1)$$

Trong đó:

+ τ_k^s - trễ cảm biến, là thời gian từ lúc tín hiệu vật lý được phát hiện đến khi được số hóa và sẵn sàng truyền đi. Thành phần trễ này phụ thuộc vào tốc độ lấy mẫu, thời gian chuyển đổi ADC (Analog to Digital Converter) và tốc độ xử lý tại nút cảm biến; có thể bỏ qua được vì thường rất nhỏ, không đáng kể do bộ chuyển đổi ADC rất nhanh, cảm biến lấy mẫu ở tốc độ cao, không có tiền xử lý phức tạp.

+ τ_k^{sc} - trễ truyền từ cảm biến đến bộ điều khiển, được tính toán trong mỗi chu kỳ, tính từ thời điểm lấy mẫu cho tới khi bộ điều khiển nhận được thông điệp. Thành phần trễ này bao gồm: trễ truy cập mạng, trễ hàng đợi tại bộ đệm, trễ truyền tin.

+ τ_k^c - trễ xử lý tại bộ điều khiển, là thời gian cần thiết để xử lý tín hiệu phản hồi, tính toán thuật toán điều khiển và tạo tín hiệu điều khiển đầu ra. Thành phần trễ này phụ thuộc vào độ phức tạp của thuật toán và năng lực phần cứng của bộ điều khiển; có thể bỏ qua được vì thời gian xử lý thường chỉ vài chục micro giây, không đáng kể do bộ điều khiển tính toán rất nhanh (vi điều khiển, DSP, FPGA,…) và thuật toán điều khiển không quá phức tạp (PI, PD, PID, LQR,…).

+ τ_k^{ca} - trễ truyền từ bộ điều khiển đến cơ cấu chấp hành, được tính từ thời điểm bộ điều khiển gửi thông điệp cho tới khi cơ cấu chấp hành nhận được thông điệp. Thành phần trễ này bao gồm: trễ truy cập mạng, trễ hàng đợi tại bộ đệm, trễ truyền tin.

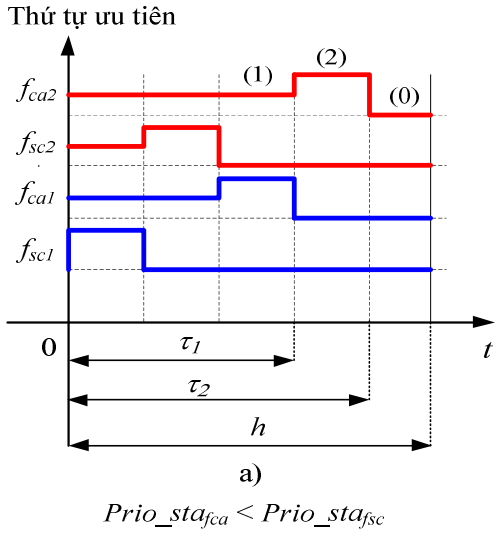
+ τ_k^a - trễ chấp hành, là thời gian từ khi cơ cấu chấp hành nhận được tín hiệu điều khiển và thực hiện hành động vật lý. Thành phần trễ này gắn liền với đặc tính cơ

học hoặc điện tử của thiết bị; có thể bỏ qua được vì cơ cấu chấp hành phản hồi nhanh (servo, DC motor nhỏ), không có giới hạn cơ học lớn hoặc độ trễ do truyền động.

+ Chỉ số k thể hiện trễ truyền thông có thể thay đổi theo thời gian.

Trong bài báo này xem xét với hai thành phần trễ chính đó là τ_k^{sc} và τ_k^{ca} vì hai thành phần trễ này trễ này ảnh hưởng trực tiếp đến tính ổn định và hiệu suất của hệ thống. Nếu không được xử lý thích hợp, trễ lớn có thể gây dao động, suy giảm độ đáp ứng, thậm chí làm hệ thống mất ổn định. Tuy nhiên, với ứng dụng điều khiển chính xác cao hoặc hệ có động học nhanh, cần phải xem xét kỹ và đưa vào mô hình hóa các thành phần trễ còn lại trong vòng kín

3. PHÂN TÍCH GIAO THỨC MAC ĐỐI VỚI CÁC LUỒNG DỮ LIỆU TRONG MẠNG TRUYỀN THÔNG



Hình 3. Thứ tự truy cập đường truyền khác nhau của các luồng dữ liệu

Từ hình 2, chúng ta thấy một NCS gồm có 2 luồng dữ liệu cơ bản: luồng dữ liệu từ cảm biến đến bộ điều khiển gọi là f_{sc} và luồng dữ liệu từ bộ điều khiển đến cơ cấu chấp hành gọi là f_{ca}. Để đảm bảo chất lượng điều khiển tối ưu, cần lựa chọn ưu tiên của luồng f_{ca} (ký hiệu $Prio_sta_{fca}$ lớn hơn ưu tiên của luồng f_{sc} (ký hiệu $Prio_sta_{fsc}$), tức là $Prio_sta_{fca} > Prio_sta_{fsc}$. Để minh họa cho nguyên tắc này, xem xét một NCS gồm 2 ứng dụng điều khiển quá trình, tức là có 4 luồng dữ liệu (f_{sc1}, f_{ca1}, f_{sc2}, f_{ca2}). Thứ tự truy nhập đường truyền của các luồng dữ liệu với trường hợp $Prio_sta_{fca} < Prio_sta_{fsc}$ và $Prio_sta_{fca} > Prio_sta_{fsc}$ được minh họa tương ứng trong hình 3.

Các ký hiệu trong hình 3 được giải thích như sau: mức (0) thể hiện không có gói dữ liệu cần truyền đi, mức (1) thể hiện gói dữ liệu đang chờ để truyền đi nhưng chưa truyền đi được do đường truyền đang được sử dụng bởi nút mạng khác, còn mức (2) thể hiện gói dữ liệu đang truyền đi; τ_1, τ_2 tương ứng là trễ truyền thông của ứng dụng điều khiển quá trình 1 và 2. Trễ truyền thông trung bình của hai ứng dụng điều khiển quá trình là $\tau = (\tau_1 + \tau_2)/2$.

Từ hình 3 chúng ta nhận thấy, trong một chu kỳ lấy mẫu h, trễ truyền thông trung bình τ ở hình 3a (tương ứng với trường hợp $Prio_sta_{fca} < Prio_sta_{fsc}$) lớn hơn ở hình 3b (tương ứng với trường hợp $Prio_sta_{fca} > Prio_sta_{fsc}$).

Như vậy, khi xem xét đến ảnh hưởng của trễ truyền thông, thường chọn luồng dữ liệu từ bộ điều khiển đến cơ cấu chấp hành có mức ưu tiên cao hơn so với luồng dữ liệu từ cảm biến đến bộ điều khiển, tức là lớn hơn về mức ưu tiên.

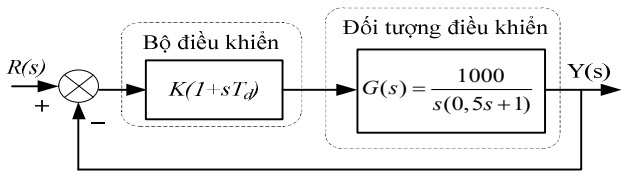
4. ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA TRỄ TRUYỀN THÔNG ĐẾN CHẤT LƯỢNG CỦA HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Để đánh giá ảnh hưởng của trễ truyền thông tới chất lượng của hệ thống điều khiển qua mạng truyền thông, trong nội dung này thực hiện điều khiển động cơ điện một chiều qua mạng truyền thông. Các kết quả được thực hiện trên phần mềm mô phỏng TrueTime [6].

4.1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển

4.1.1. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển khi chưa nối mạng truyền thông

Sơ đồ điều khiển động cơ điện một chiều khi chưa nối mạng truyền thông được thể hiện như trên hình 4 [7].



Hình 4. Sơ đồ điều khiển động cơ điện một chiều khi chưa nối mạng truyền thông

Hàm truyền đạt của hệ thống điều khiển vòng kín là:

$$F(s)=\frac{K(1+T_d s)G(s)}{1+K(1+T_d s)G(s)} \quad (2)$$

$$F(s)=\frac{2000K(1+T_d s)}{s^2+(2+2000KT_d)s+2000K}=\frac{\omega_n^2(1+T_d s)}{s^2+2\zeta\omega_n s+\omega_n^2} \quad (3)$$

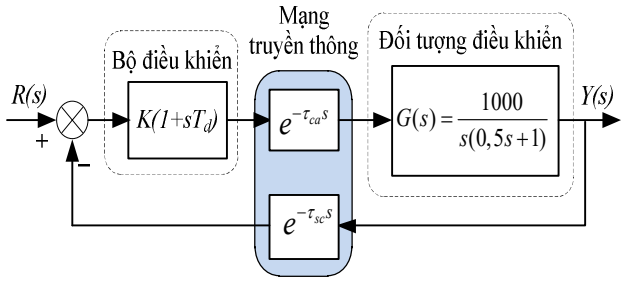
Công thức (3) là hàm truyền đạt dưới dạng bậc 2 chuẩn tắc. Hàm truyền đạt này có hai điểm cực trội được xác định như sau [7]:

$$p_{1,2}=-\zeta\omega_n \pm j\omega_n\sqrt{1-\zeta^2} \quad (4)$$

Với góc pha ban đầu là 60^0, chúng ta tìm được $\omega_n = 32{,}8$ (rad/s), $\zeta = 0{,}6$.

4.1.2. Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển khi nối mạng truyền thông

Sơ đồ cấu trúc hệ thống điều khiển động cơ điện một chiều khi nối mạng truyền thông được thể hiện như trên hình 5.



Hình 5. Sơ đồ điều khiển động cơ điện một chiều khi có nối mạng truyền thông

Từ hình 5, khi tích hợp mạng truyền thông vào trong hệ thống điều khiển vòng kín, xuất hiện hai thành phần trễ mạng truyền thông. Hàm truyền đạt của hệ thống điều khiển vòng kín là:

$$F(s)=\frac{K(1+sT_d)e^{-\tau s}G(s)}{1+K(1+sT_d)e^{-\tau s}G(s)} \quad (5)$$

Sử dụng phương pháp xấp xỉ Padé bậc nhất với các thành phần trễ, ta có [7]:

$$e^{-\tau s}\approx\frac{-s+2/\tau}{s+2/\tau}=\frac{-s+a}{s+a};\ e^{-\tau_{ca}s}\approx\frac{-s+2/\tau_{ca}}{s+2/\tau_{ca}}=\frac{-s+b}{s+b}$$

Với $a=2/\tau,\ b=2/\tau_{ca},\ \tau=\tau_{sc}+\tau_{ca}$

Biểu thức hàm truyền đạt vòng kín cuối cùng của hệ thống là:

$$F(s)=\frac{2000Ka(1+sT_d)(1+s/a)(1-s/b)}{[f_3(s)](1+s/b)} \quad (6)$$

Trong đó: $f_3(s) = s^3 + (2 + a - 2000KT_d)s^2 + (2000aKT_d + 2a - 2000K)s + 2000aK$

Từ công thức (6) có bốn điểm cực đó là: ba điểm cực p_1, p_2, p_3 của đa thức $f_3(s)$ và điểm cực $p_4 = -2/\tau_{ca}$; ba điểm không là: $z_1=-1/T_d, z_2=-2/\tau, z_3=2/\tau_{ca}$

Các tham số của bộ điều khiển được tính toán như sau:

Hệ bậc ba có phương trình đặc trưng với ba điểm cực p_1, p_2, p_3 được viết như sau:

$$\begin{aligned} f_3'(s)&=(s-p_1)(s-p_2)(s-p_3)\\ &=s^3-(2R+p_3)s^2+(2Rp_3+R^2+I^2)s-(R^2+I^2)p_3 \end{aligned} \quad (7)$$

Đồng nhất $f_3(s)$ với $f_3'(s)$ trong công thức (7), ta có:

$$\begin{cases} 2+a-2000KT_d=-(2R+p_3)\\ 2000KT_d a+2a-2000K=2Rp_3+R^2+I^2\\ 2000Ka=-(R^2+I^2)p_3 \end{cases}$$

Do đó, tìm được các tham số của bộ điều khiển K, T_d và điểm cực p_3 (điểm cực chỉ có phần thực) như sau:

$$\begin{cases} p_3=-\dfrac{a^3+(4+2R)a^2-(R^2+I^2)a}{a^2-2Ra+R^2+I^2}\\ K=-\dfrac{(R^2+I^2)p_3}{2000a}\\ T_d=\dfrac{2+a+p_3+2R}{2000K} \end{cases} \quad (8)$$

Cơ sở toán học xây dựng đáp ứng thời gian:

Về mặt toán học, đáp ứng thời gian y(t) được xây dựng từ hàm truyền vòng kín trong công thức (5) với tín hiệu vào bậc thang đơn vị. Bằng cách sử dụng khai triển Padé bậc 1 cho thành phần trễ $e^{-\tau s}$ hệ thống được biểu diễn dưới dạng hàm truyền hữu tỉ, từ đó có thể chuyển đổi về phương trình vi phân trong miền thời gian. Nghiệm của phương trình này có dạng tổng của các hàm mũ tắt dần:

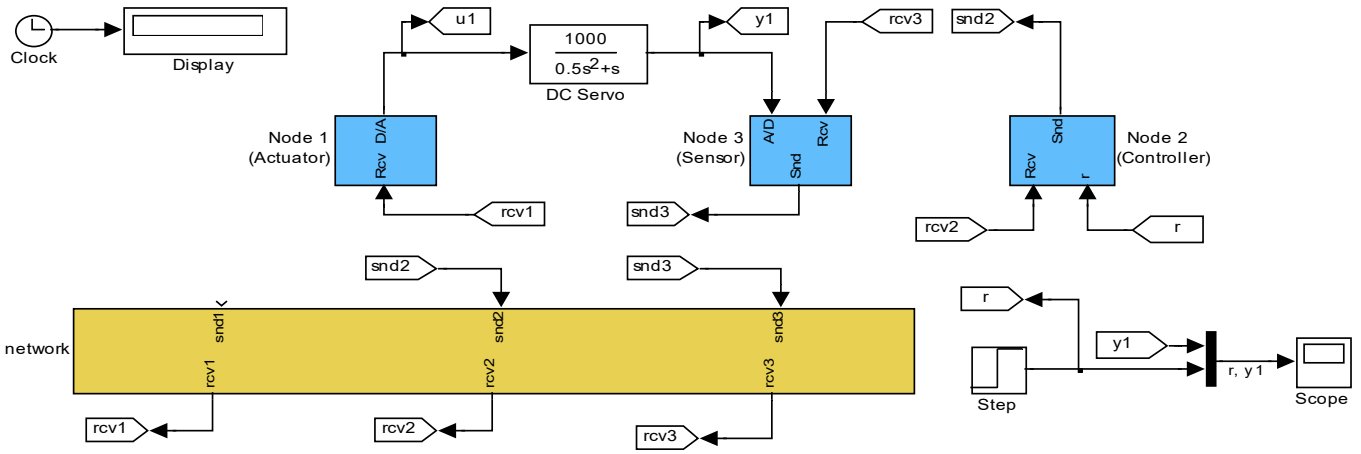
$$y(t)=1-\sum_i A_i e^{s_i t}$$

trong đó: s_i là nghiệm của phương trình đặc trưng. Khi $\tau = 0$, các nghiệm s_i có phần thực âm lớn, hệ nhanh ổn định; khi τ tăng, các nghiệm tiến sát trục ảo, làm đáp ứng dao động mạnh hơn, thời gian xác lập kéo dài và độ quá điều chỉnh tăng.

Từ cơ sở toán học này, ta có thể dự đoán dạng đáp ứng (dao động, quá điều chỉnh, thời gian xác lập).

4.2. Thiết kế mô phỏng

Sơ đồ mô phỏng phục vụ cho nội dung nghiên cứu được thiết lập trong môi trường TrueTime được thể hiên như trong hình 6. TrueTime là một công cụ chạy trên nền Matlab/Simulink cho phép mô phỏng các hệ thống điều khiển phân tán thời gian thực [6].



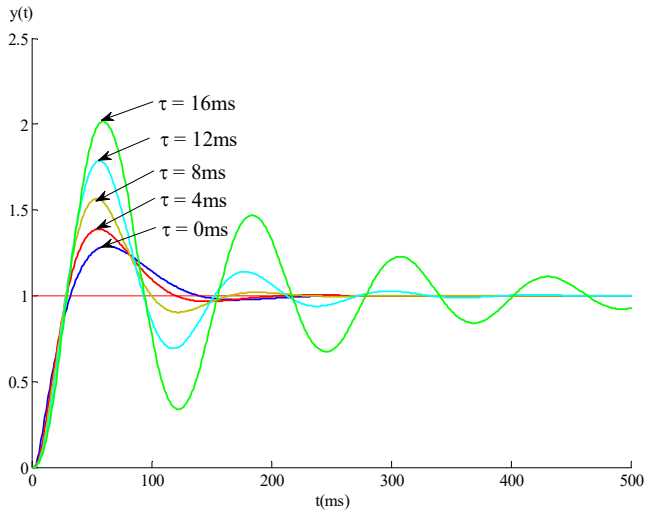
Hình 6. Sơ đồ mô phỏng điều khiển động cơ điện một chiều qua mạng truyền thông

4.3. Đánh giá kết quả

Tiêu chuẩn để đánh giá chất lượng của hệ thống điều khiển được xem xét thông qua đáp ứng thời gian tại đầu ra y(t) và độ quá điều chỉnh [7]. Ảnh hưởng của trễ truyền thông đến chất lượng điều khiển trong hệ thống điều khiển qua mạng được thể hiện trong hình 7 và bảng 1.

Các tham số mô phỏng chính:

- Số lượng cảm biến: 01
- Số lượng bộ điều khiển: 01
- Số lượng cơ cấu chấp hành: 01
- Chu kỳ lấy mẫu: 10 ms
- Kích thước gói tin CAN: 8 bytes
- Tốc độ truyền CAN: 500 kb/s
- Xác suất mất gói: 0%



Hình 7. Ảnh hưởng của trễ truyền thông đến chất lượng điều khiển trong NCS

Bảng 1. Độ quá điều chỉnh tính toán từ đồ thị

Trễ truyền thông τ	y_{max}	Độ quá điều chỉnh
0ms	1,22	22%
4ms	1,45	45%
8ms	1,63	63%
12ms	1,82	82%

Dựa trên hình 7 và bảng 1 có thể nhận thấy rằng:

- Khi không có trễ (τ = 0ms): hệ thống đáp ứng nhanh và ổn định nhất; quá trình hội tụ về giá trị mong muốn nhanh, ít dao động và không có hiện tượng quá điều chỉnh.

- Khi độ trễ tăng (τ tăng dần): độ quá điều chỉnh tăng dần (ví dụ, với τ = 16ms, biên độ dao động vượt ngưỡng rất rõ ràng. Khi dao động tăng, hệ thống trở nên ít ổn định hơn, các dao động lặp lại nhiều lần trước khi hội tụ. Thời gian hội tụ dài hơn, càng trễ thì hệ thống càng mất thời gian để đạt trạng thái ổn định.

Kết quả mô phỏng ở hình 7 thể hiện đúng quy luật đã chỉ ra ở Mục 4.1.2: khi trễ τ tăng, đáp ứng y(t) dao động mạnh hơn, độ quá điều chỉnh tăng và thời gian xác lập kéo dài.

Các kết quả cụ thể được tổng hợp trong bảng 2.

Bảng 2. Tổng hợp kết quả đáp ứng đầu ra

Trễ truyền thông τ	Độ quá điều chỉnh	Dao động	Thời gian hội tụ	Mức độ ổn định	Bù trễ
0ms	Rất thấp	Gần như không	Nhanh	Rất ổn định	
4ms	Nhẹ	Nhẹ	Trung bình	Tốt	
8ms	Trung bình	Vừa	Tăng	Giảm dần	

12ms	Lớn	Cao	Dài hơn	Kém ổn định	Cần có bù trễ
16ms	Rất lớn	Rất cao	Dài nhất	Không ổn định	Khó dự báo chính xác

5. KẾT LUẬN

Trễ truyền thông là một trong những yếu tố then chốt ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu suất và độ ổn định của NCS. Các kết quả mô phỏng đã chứng minh rằng khi trễ tăng, hệ thống có xu hướng suy giảm chất lượng điều khiển, phản hồi chậm và trong một số trường hợp có thể dẫn đến mất ổn định. Do đó, việc phân tích, mô hình hóa và bù trễ là yêu cầu thiết yếu trong thiết kế các hệ thống điều khiển hiện đại.

Để nâng cao độ tin cậy và hiệu quả của NCS trong môi trường truyền thông có trễ, cần có các giải pháp phù hợp để khắc phục ảnh hưởng của trễ truyền thông như: thiết kế điều khiển dự đoán mô hình (MPC), điều khiển phân tán hoặc các kỹ thuật điều khiển thích nghi,… Ngoài ra, việc kết hợp giữa thiết kế điều khiển và tối ưu hóa giao thức truyền thông theo hướng đồng thiết kế (co-design) cũng là một hướng đi đầy hứa hẹn. Trong tương lai, các nghiên cứu nên tập trung vào việc đánh giá tác động đồng thời của trễ biến thiên, chu kỳ lấy mẫu, mất gói và nhiễu truyền thông trong điều kiện thực tế, từ đó phát triển các chiến lược điều khiển thông minh và linh hoạt hơn cho các hệ thống điều khiển phân tán quy mô lớn. Tuy nhiên, việc thêm vào hệ thống điều khiển vòng kín một mạng truyền thông chung làm cho các phân tích, thiết kế và tổng hợp của NCS trở nên phức tạp và có nhiều thách thức hơn; các phương pháp bù trễ kinh điển với nhiều giả thiết lý tưởng cần được xem xét và phân tích lại trước khi áp dụng cho NCS.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. S. Vardhan, R. Kumar, "Simulations for Time-Delay Compensation in Networked Control Systems," *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT),* June Edition, 38 - 43, 2011.

[2]. F. G. Folayan, T. T. Oladimeji, O. D. Idowu, "Communication and control methodologies in networked control systems: A review," *International Journal of Engineering Research Updates*, 2, 2, 9-15, 2022.

[3]. W. Zhou, Y. Wang, Y. Liang, "Sliding mode control for networked control systems: A brief survey," *ISA Transactions*, 124, 249-259, 2022.

[4]. Z. Lu, G. Ge, "Control and communication scheduling co-design for networked control systems: a survey," *International Journal of Systems Science,* 54, 1, 189-203, 2022.

[5]. J. Alcaina, et al., "Delay-independent dual-rate PID controller for a packet-based Networked Control System," *ArXiv:2403.08772,* 39 pages, 2024.

[6]. H. Jiang, W. Tong, J. Yang, "Networked Control System Based on TrueTime Simulation," in: Sugumaran, V., Xu, Z., Zhou, H. (eds), *Application of Intelligent Systems in Multi-modal Information Analytics* (MMIA 2021), *Advances in Intelligent Systems and Computing*, 1385, 32-41, Springer, Cham, 2021.

[7]. Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển tuyến tính* (in lần thứ 3). Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội, 2007.

AUTHOR INFORMATION

Nguyen Trong Cac

Sao Do University, Vietnam