

AUTOMATIC CONTROL OF BLACK TEA FERMENTATION TECHNOLOGY PARAMETERS BASED ON FUZZY LOGIC AND COMPUTER VISION

Lai Khắc Lai¹, Phạm Thanh Bình^{2*}

¹TNU – University of Technology

²Northern mountainous Agriculture and Forestry Science Institute

ARTICLE INFO		ABSTRACT
Received:	01/3/2023	Black tea is one of the most popular drinks with many good values that it brings to people. In the production of black tea, fermentation is the most important factor that determines the quality of tea. The technological parameters that need to be adjusted during the fermentation of black tea include fermentation time, temperature and humidity. This paper introduces an automatic line that controls the OTD black tea fermentation process. The observation and control of technological parameters is done at 3 times with 3 positions on the conveyor belt, including 2 positions for humidity control and 1 position for speed control. Observation and adjustment are made automatically based on computer vision, image processing and fuzzy logic. The research results, which have been implemented experimentally in practice, show that the proposed system works precisely, stably and reliably.
Revised:	05/5/2023	
Published:	05/5/2023	
KEYWORDS		
Fuzzy logic		
Black tea		
Computer vision		
Automatic control		
Technological parameters		

ĐIỀU KHIỂN TỰ ĐỘNG THÔNG SỐ CÔNG NGHỆ QUÁ TRÌNH LÊN MEN CHÈ ĐEN DỰA TRÊN LOGIC MỜ VÀ THỊ GIÁC MÁY TÍNH

Lai Khắc Lai¹, Phạm Thanh Bình^{2*}

¹Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - ĐH Thái Nguyên

²Viện Khoa học Kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía Bắc

THÔNG TIN BÀI BÁO		TÓM TẮT
Ngày nhận bài:	01/3/2023	Chè đen là một trong những đồ uống phổ biến nhất với nhiều giá trị tốt mà nó mang lại cho con người. Trong sản xuất chè đen công đoạn lên men là quan trọng nhất quyết định đến chất lượng chè. Các thông số công nghệ cần điều chỉnh trong quá trình lên men chè đen bao gồm thời gian lên men, nhiệt độ và độ ẩm. Bài báo này đề xuất một dây chuyền tự động điều khiển quá trình lên men chè đen OTD. Việc quan sát và điều khiển thông số công nghệ được thực hiện tại 3 thời điểm ứng với 3 vị trí trên băng chuyền gồm 2 vị trí điều chỉnh độ ẩm và 1 vị trí điều khiển tốc độ. Việc quan sát và điều chỉnh được thực hiện tự động dựa trên thị giác máy tính, xử lý hình ảnh và logic mờ. Kết quả nghiên cứu được triển khai thực nghiệm trong thực tế cho thấy hệ thống đề xuất hoạt động chắc chắn, ổn định, tin cậy.
Ngày hoàn thiện:	05/5/2023	
Ngày đăng:	05/5/2023	
TỪ KHÓA		
Logic mờ		
Chè đen		
Thị giác máy tính		
Điều khiển tự động		
Các thông số công nghệ		

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7465>

* Corresponding author. Email: binh.nomafsi@gmail.com

1. Mở đầu

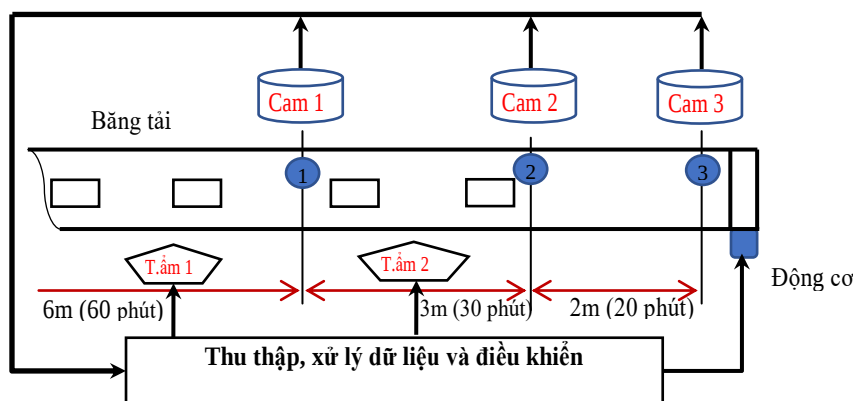
Trà là một trong những thức uống phổ biến nhất và có chi phí thấp nhất trên thế giới [1]. Hiện nay, hơn 3 tỷ tách trà được tiêu thụ mỗi ngày trên toàn thế giới. Sự phổ biến này là do các lợi ích sức khỏe của nó, bao gồm ngăn ngừa ung thư vú [2], ung thư da [3], ung thư ruột kết [4], biến chứng thoái hóa thần kinh [5], ung thư tuyến tiền liệt [6] và nhiều bệnh khác. Trà cũng được cho là ngăn ngừa bệnh tiểu đường và thúc đẩy quá trình trao đổi chất [7]. Tùy thuộc vào kỹ thuật sản xuất, có thể chế biến thành các dạng sản phẩm trà xanh, đen, ô long, trắng, vàng và trà ép bánh [8]. Đối với sản xuất chè đen, công đoạn lên men là một giai đoạn cực kỳ quan trọng, nó quyết định các đặc tính của chè bao gồm màu sắc, hương vị và hình dạng của chè. Trong quá trình lên men chè được cung cấp nhiệt độ và độ ẩm và thời gian phù hợp để tạo ra một môi trường hoàn hảo cho quá trình lên men. Các sắc tố đặc trưng cho chè đen chủ yếu được hình thành trong quá trình lên men. Màu sắc của chè đen là sự kết hợp của nhiều hợp chất màu khác nhau và thay đổi màu sắc trong quá trình lên men, từ màu xanh hơi nâu, đến màu xanh nâu và cuối cùng là màu đồng đỏ. Màu sắc của chè phụ thuộc vào hàm lượng tuyệt đối của hai nhóm màu là Theaflavin (màu vàng) và Thearubigin (màu đỏ) [9], [10]. Các nghiên cứu đã chỉ ra màu sắc chè trong quá trình lên men là một thuộc tính quan trọng quyết định chất lượng chè đen và được sử dụng làm cơ sở để điều chỉnh môi trường (các thông số công nghệ) lên men của chè bao gồm nhiệt độ, độ ẩm, thời gian lên men [11] – [13].

Xuất phát từ những phân tích trên chúng tôi đã đề xuất xây dựng dây chuyền điều khiển lên men tự động chè đen, trong đó việc điều khiển các thông số công nghệ trong quá trình lên men được thực hiện hoàn toàn tự động dựa trên thị giác máy tính và suy luận mờ. Các nội dung tiếp theo của bài báo bao gồm phần 2 giới thiệu dây chuyền lên men tự động chè đen và trình bày giải pháp điều khiển các thông số công nghệ quá trình lên men, phần 3 trình bày một số kết quả thực nghiệm, cuối cùng là kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Giới thiệu dây chuyền lên men chè đen OTD

2.1.1. Sơ đồ khối hệ thống



Hình 1. Sơ đồ khối dây chuyền lên men tự động

Sơ đồ khối hệ thống điều khiển lên men tự động chè đen đề xuất được thể hiện trên Hình 1. Hệ thống này sử dụng thị giác máy tính để kiểm soát chất lượng lên men và sử dụng hơi ẩm để kiểm soát nhiệt độ quá trình lên men. Hệ thống bao gồm các thiết bị chính như sau:

- Băng tải chứa chè lên men chiều dài 12m, rộng 1,7m (tự động điều khiển tốc độ).
- 3 camera theo dõi màu sắc lắp ở các vị trí 1, 2 và 3.

▪ 2 máy tạo ẩm có nhiệm vụ phun sương điều khiển nhiệt độ nội sinh bán thành phẩm trong quá trình lên men. Mỗi máy tạo ẩm được điều khiển bởi 1 hệ thống biến tần - động cơ có công suất 2,2kW.

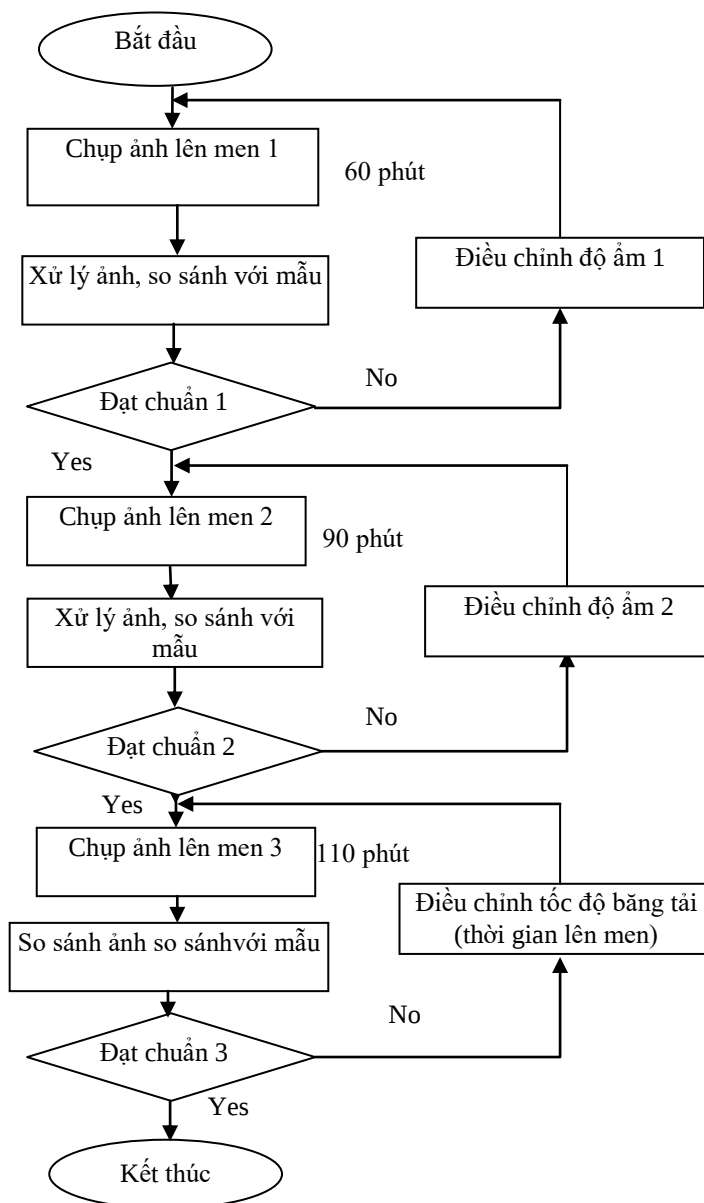
▪ Động cơ truyền động cho băng tải công suất 2,2kW sử dụng hệ thống biến tần - động cơ.

▪ Máy tính và các thiết bị ngoại vi làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu, xử lý dữ liệu và phát tín hiệu điều khiển hệ thống.

▪ Ngoài ra trong hệ thống còn một số thiết bị khác (không được mô tả trên Hình 1) như cơ cấu gạt chè, hệ thống dẫn và thổi hơi ẩm lên băng tải.

2.1.2. Nguyên lý hoạt động

Lưu đồ thuật toán nhận dạng và điều khiển quá trình lên men tự động chè đen được chỉ ra trên Hình 2.



Hình 2. Lưu đồ của thuật toán nhận dạng và điều khiển quá trình lên men

Các camera thu thập dữ liệu ảnh từng dòng quét theo thời gian đặt (5 phút/1 lần). Đây là bước quan trọng hàng đầu để đảm bảo nhận dạng đủ tín hiệu của từng thời điểm chè lên men. Tại các vị trí điểm ảnh của khối chè lên men là không đồng đều tại các vị trí quét, do vậy tín hiệu được trung bình hóa các điểm ảnh. Camera được chọn tần số quét thích hợp, ta sẽ thu thập được toàn bộ tín hiệu hình ảnh của chè lên men. Sau bước này, dữ liệu ảnh thu được được chứa trong bộ đệm. Bộ xử lý dữ liệu phân tích, xác định bề mặt chè lên men và màu vào nhóm cần phải thay đổi các yếu tố công nghệ hay không căn cứ vào màu bề mặt chè lên men rơi vào dải màu nào: Xanh, đỏ nâu... Nếu sau bề mặt chè lên men đạt yêu cầu tại từng vị trí quan sát thì tốc độ của băng tải lên men vẫn giữ nguyên, trường hợp chưa đạt màu sắc tại vị trí quan sát thì hệ thống tự động thay đổi tốc độ băng tải.

Từ lưu đồ thuật toán trên ta thấy bước xác định hình ảnh ứng với mỗi thời điểm đã đặt. Tại vị trí chè lên men được 60, 90, 110 phút trên băng tải liên tục, hệ thống tự động chụp ảnh và hình ảnh này được so sánh với bộ dữ liệu ảnh, nếu màu sắc đạt so với cùng thời điểm so với ảnh mẫu thì hệ thống tiếp tục chạy và trong trường hợp màu sắc của chè lên men chưa đạt thì hệ thống tự động thay đổi lưu lượng không khí vào các khoang (thay đổi nhiệt độ và độ ẩm). Tại vị trí chè lên men được 110 phút hệ thống tự động cập nhật dữ liệu ảnh qua camera, dữ liệu thu được lại tiếp tục được so sánh với bộ dữ liệu ảnh gốc, nếu chất lượng chè lên men đạt thì hệ thống vẫn tiếp tục chạy và không đạt thì hệ thống tự động thay đổi tốc độ băng tải để đảm bảo chất lượng chè lên men luôn ổn định. Quá trình này làm việc liên tục và lặp lại theo lưu đồ thuật toán trên.

2.2. Yêu cầu và giải pháp điều khiển quá trình lên men tự động

Như đã trình bày trong lưu đồ thuật toán, ta thấy rằng để điều khiển chính xác hoạt động của dây chuyền lên men tự động ta cần giải quyết 3 bài toán cơ bản:

- Bài toán 1: Xử lý ảnh và thiết lập dữ liệu các bộ ảnh mẫu ở 3 vị trí đặt camera
- Bài toán 2: Điều chỉnh các thông số công nghệ trong quá trình lên men
- Bài toán 3: Tạo tín hiệu điều khiển dựa trên thị giác máy tính

2.2.1. Xử lý ảnh và thiết lập các ảnh mẫu

Tập dữ liệu ảnh mẫu của chè lên men tại 3 vị trí nhận được từ thực nghiệm và thông qua các giải thuật nhận dạng và xử lý ảnh, còn ảnh quan sát trực tiếp của các camera cũng cần thông qua giải thuật nhận dạng và xử lý trước khi đưa đến so sánh với tập ảnh mẫu. Bài toán này đã được chúng tôi giới thiệu trong các tài liệu [11] – [13].

2.2.2. Điều khiển các thông số công nghệ

Chất lượng của chè đen trong giai đoạn lên men được đánh giá bởi các thông số: Hàm lượng theaflavin (TF), thearubigin (TR), tỷ lệ TF: TR, màu nước (TLC), các chất cao phân tử (HPS) và tổng hàm lượng phenolic (TPC). Các thông số này phụ thuộc vào 3 yếu tố là thời gian lên men, nhiệt độ và độ ẩm tương đối của không khí.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm tại Viện Khoa học kỹ thuật nông lâm nghiệp miền núi phía Bắc và nhà máy chè đen Sông Lô - Tuyên Quang cho thấy thời gian lên men tối ưu của chè đen OTD trong khoảng 110 - 130 phút. Trong giai đoạn 60 phút đầu tiên nhiệt độ từ (30-32)^oC, độ ẩm tương đối từ (90-92)%; trong giai đoạn 30 phút tiếp theo nhiệt độ từ (31-33)^oC, độ ẩm tương đối từ (91-93)%; trong thời gian còn lại nhiệt độ từ (31,5-33,5)^oC độ ẩm tương đối từ (92-93,5)%.

Các thông số công nghệ nêu trên có mối liên quan đến nhau, đặc biệt thông số về nhiệt độ và độ ẩm tương đối, do vậy điều khiển riêng rẽ từng thông số rất khó. Vì vậy chúng tôi đề xuất giải pháp kiểm soát độ ẩm trong giai đoạn 1 và 2 và kiểm soát thời gian trong giai đoạn 3 của quá trình lên men.

2.2.3. Tạo tín hiệu điều khiển dựa trên thị giác máy tính

Tín hiệu điều khiển được tạo ra thông qua việc so sánh ảnh mẫu và ảnh camera quan sát ở mỗi giai đoạn của quá trình lên men.

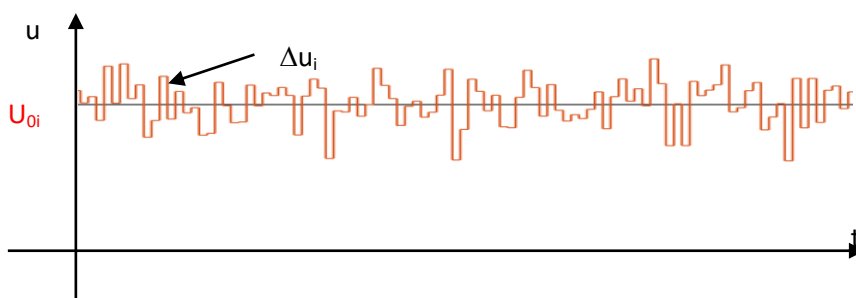
Trong dây chuyền lên men tự động đề xuất, các thông số công nghệ cần điều chỉnh để đạt hiệu quả lên men tốt nhất là điều khiển nhiệt độ và độ ẩm ở giai đoạn 1 (60 phút) và giai đoạn 2 (từ 61 - 90 phút); điều chỉnh tốc độ băng chuyền ở giai đoạn 3 (từ phút 91- 120 phút)

Nhiệt độ và độ ẩm chèn trong quá trình lên men có quan hệ chặt chẽ với nhau, chúng quyết định đến màu sắc và chất lượng của chè, việc điều chỉnh riêng nhiệt độ và độ ẩm là rất khó. Vì vậy chúng tôi chọn phương án khống chế độ ẩm theo màu sắc chè. Việc thay đổi độ ẩm được thực hiện bởi 2 máy phun ẩm sử dụng hệ thống biến tần động cơ dị bộ (BT-AC). Việc điều khiển tốc độ băng chuyền trong giai đoạn 3 cũng sử dụng hệ thống biến tần - động cơ không đồng bộ.

2.2.4. Tín hiệu tham chiếu điều khiển các thông số công nghệ

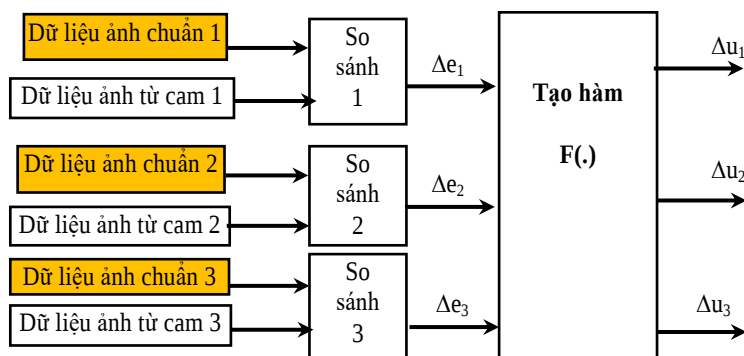
Tín hiệu tham chiếu là đường cong điện áp mong muốn đưa tới ngõ vào của các bộ BT- AC để có được tín hiệu ngõ ra mong muốn, đáp ứng yêu cầu công nghệ. Trong dây chuyền lên men tự động chè đen đề xuất có 3 hệ thống BT-AC do vậy cần xây dựng 3 tín hiệu tham chiếu, 2 tín hiệu tham chiếu sử dụng cho máy tạo ẩm ở giai đoạn 1 và 2 của quá trình lên men, tín hiệu còn lại dùng cho việc điều khiển tốc độ băng tải ở giai đoạn 3.

Mỗi tín hiệu tham chiếu bao gồm 2 thành phần (Hình 3): Thành phần không đổi $U_{0i} > 0$ ($i = 1, 2, 3$) có nhiệm vụ duy trì thông số công nghệ (độ ẩm ở các giai đoạn cũng như tốc độ băng tải ở giai đoạn cuối) ở 1 giá trị xác định; thành phần thay đổi Δu_i ($i = 1, 2, 3$) có thể có giá trị âm, dương hoặc bằng 0 tùy theo kết quả so sánh ảnh mẫu với ảnh quan sát bởi camera, kết hợp với U_{0i} để thay đổi thông số công nghệ phù hợp với thực tế quan sát của các camera.



Hình 3. Tín hiệu tham chiếu điều khiển thông số công nghệ

Nguyên tắc tạo ra thành phần biến thiên của tín hiệu tham chiếu (Δu_i) được trình bày trên Hình 4. Trong mỗi giai đoạn của quá trình lên men dữ liệu ảnh thu được từ camera quan sát được so sánh với dữ liệu ảnh chuẩn, sai lệch dữ liệu từ phép so sánh (Δe_i) được đưa tới bộ tạo hàm để tạo ra (Δu_i).



Hình 4. Sơ đồ khối tạo ra thành phần biến thiên của tín hiệu tham chiếu

2.2.5. Xây dựng tín hiệu tham chiếu từ suy luận mờ

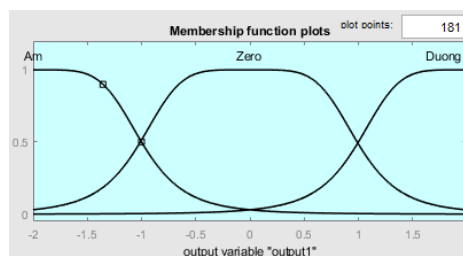
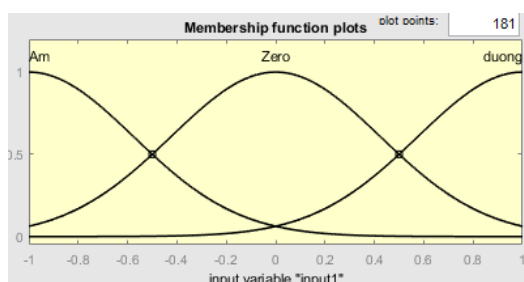
Như đã phân tích ở trên các sai lệch thu được thông qua thị giác máy tính và phần mềm xử lý ảnh Δe_i cần đưa qua bộ tạo hàm để thu được các tín hiệu Δu_i . Thực tế cho thấy quan hệ giữa Δu_i và Δe_i ($\Delta u_i = f_i(\Delta e_i)$) là một quan hệ phi tuyến phức tạp. Trong nghiên cứu này sử dụng phương pháp thực nghiệm và suy luận mờ để xây dựng quan hệ $f_i(\cdot)$ $i = 1, 2, 3$.

Bộ suy luận mờ có 2 chức năng chính là khuếch đại tín hiệu sai số từ phép so sánh ảnh và tạo ra quan hệ phi tuyến phù hợp giữa các tín hiệu vào/ra $\Delta e_i = f(\Delta u_i)$ $i = 1, 2, 3$ chúng gồm có 3 đầu vào và 3 đầu ra, mỗi cặp vào/ra xử lý một bộ dữ liệu thu được từ thực nghiệm, tương ứng với mức dưới đạt/đạt/trên đạt. Hàm liên thuộc của dữ liệu vào/ra thứ i như Hình 5(a và b). Luật suy diễn mờ có dạng tổng quát sau:

if input_i is Am then output_i is Am (or)

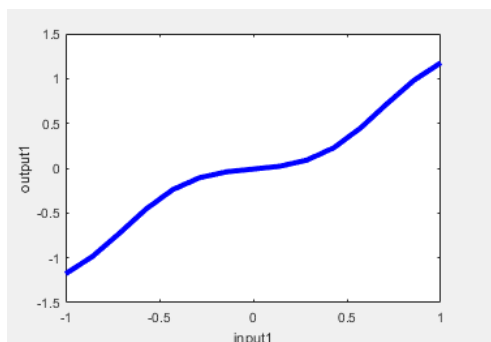
if input_i is Zero then output_i is Zero (or)

if input_i is Duong then output_i is Duong



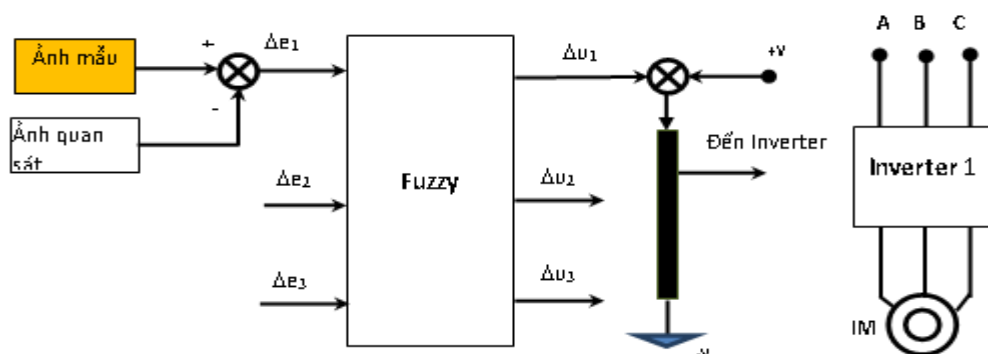
Hình 5. a) Hàm liên thuộc đầu vào; b) Hàm liên thuộc đầu ra của bộ suy diễn mờ

Quan hệ vào ra của bộ suy diễn mờ như Hình 6, quan hệ này được so sánh và hiệu chỉnh theo số liệu thực nghiệm. Ưu điểm cơ bản của việc sử dụng suy diễn mờ để tạo hàm $f(\cdot)$ là ta có thể dễ dàng điều chỉnh quan hệ vào ra thông qua điều chỉnh hình dạng và vị trí các hàm liên thuộc phù hợp với số liệu thu được từ thực nghiệm.



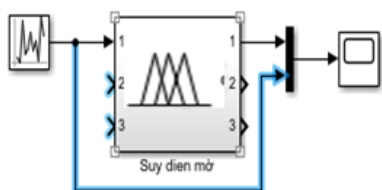
Hình 6. Quan hệ vào - ra của bộ suy diễn mờ

Hệ thống điều khiển tự động thông số công nghệ dây chuyền lên men chè đen gồm 3 kênh, 2 kênh điều khiển độ ẩm và 1 kênh điều khiển tốc độ băng tải. Cấu trúc của các bộ điều khiển giống nhau, chỉ khác nhau về công suất của hệ thống biến tần động cơ. Sơ đồ cấu trúc của 1 kênh điều khiển được chỉ ra trên Hình 7.

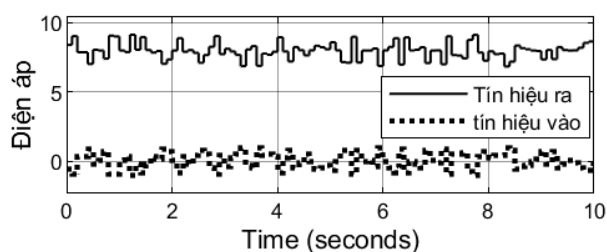


Hình 7. Sơ đồ cấu trúc 1 kênh điều khiển trong dây chuyền tự động

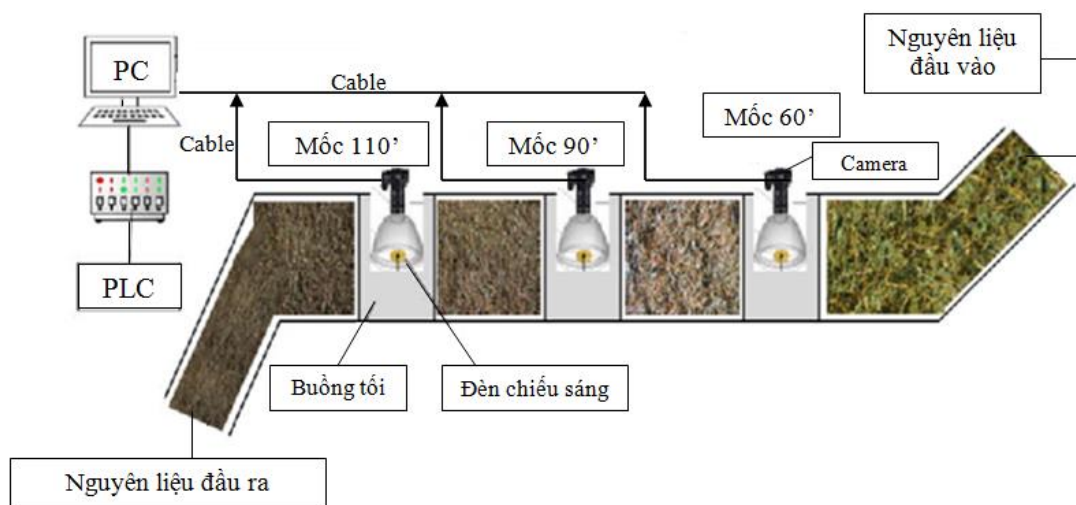
3. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm



Hình 8. Sơ đồ mô phỏng 1 kênh



Hình 9. Tín hiệu ra 1 kênh đối với tín hiệu vào là hàm ngẫu nhiên



Hình 10. Sơ đồ bố trí thiết bị hệ thống lên men tự động chè đen

Sơ đồ mô phỏng trên phần mềm Matlab - Simulink như Hình 8. Kết quả mô phỏng cho 1 kênh với tín hiệu vào là hàm ngẫu nhiên, điện áp một chiều $U_0 = 8V$ được chỉ ra trên Hình 9. Ta thấy rằng tín hiệu sai số từ thuật toán so sánh ảnh thực tế với ảnh mẫu đã được khuếch đại lên và kết hợp với tín hiệu một chiều để thu được tín hiệu tham chiếu điều khiển một cách linh hoạt.

Dây chuyền điều khiển quá trình lên men tự động chè đen được lắp đặt chạy thử nghiệm và hoàn thiện tại nhà máy chè đen Sông Lô - Tuyên Quang. Sơ đồ bố trí thiết bị như Hình 10, hình ảnh hệ thống sau khi lắp đặt được chỉ ra trên Hình 11.



Hình 11. Một vài hình ảnh hệ thống hoàn thiện

Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống lên men chè đen làm việc đúng qui trình công nghệ, hệ thống làm việc hoàn toàn tự động, năng suất cao, chất lượng chè đen ổn định. Hệ thống đã được nghiệm thu, bàn giao cho Công ty cổ phần chè Sông Lô đưa vào sản xuất.

4. Kết luận và kiến nghị

Từ phân tích yêu cầu công nghệ quá trình lên men chè đen OTD, bài báo này đề xuất một dây chuyền điều khiển tự động quá trình lên men chè đen, trong đó các thông số công nghệ được điều chỉnh tự động dựa trên thị giác máy tính, xử lý hình ảnh và logic mờ. Kết quả nghiên cứu được triển khai thực nghiệm trong thực tế cho thấy hệ thống đề xuất hoạt động chắc chắn, ổn định, tin cậy. Nghiên cứu cũng cho thấy chất lượng quá trình lên men phụ thuộc vào nguyên liệu đầu vào theo mùa thu hoạch và theo điều kiện thời tiết, vì vậy cần tiếp tục nghiên cứu để hiệu chỉnh hệ thống phù hợp với các dạng nguyên liệu khác nhau.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] G. Sigley, "Tea and China's rise: Tea, nationalism and culture in the 21st century," *Int. Commun. Chin. Cult.*, vol. 2, pp. 319–341, 2015.
- [2] E. Yiannakopoulou, "Green Tea Catechins: Proposed Mechanisms of Action in Breast Cancer Focusing on the Interplay between Survival and Apoptosis," *Anti-Cancer Agents Med. Chem.*, vol. 14, pp. 290–295, 2014.
- [3] K. Miura, M. C. B. Hughes, N. I. Arovah, J. C. V. D. Pols, and A. C. Green, "Black Tea Consumption and Risk of Skin Cancer: An 11-Year Prospective Study," *Nutr. Cancer*, vol. 67, pp. 1049–1055, 2015.
- [4] F. Hajiaghaalipour, M. S. Kanthimathi, J. Sanusi, and J. Rajarajeswaran, "White tea (*Camellia sinensis*) inhibits proliferation of the colon cancer cell line, HT-29, activates caspases and protects DNA of normal cells against oxidative damage," *Food Chem.*, vol. 169, pp. 401–410, 2015.
- [5] E. Sironi, L. Colombo, A. Lompo, M. Messa, M. Bonanomi, M. E. Regonesi, M. Salmona, and C. Airolidi, "Natural compounds against neurodegenerative diseases: Molecular characterization of the interaction of catechins from green tea with A β 1-42, PrP106-126, and ataxin-3 oligomers," *Chem. A Eur. J.*, vol. 20, pp. 13793–13800, 2014.
- [6] R. Gopalakrishna, T. Fan, R. Deng, D. Rayudu, Z. W. Chen, W. S. Tzeng, and U. Gundimeda, "Extracellular matrix components influence prostate tumor cell sensitivity to cancer-preventive agents selenium and green tea polyphenols," in *Proceedings of the AACR Annual Meeting*, San Diego, CA, USA, April 5–9, 2014, p. 232.
- [7] J. B. Lazaro, A. Ballado, F. P. F. Bautista, J. K. B. So, and J. M. J. Villegas, "Chemometric data analysis for black tea fermentation using principal component analysis," in *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC: Melville, NY, USA, 2018, vol. 2045, Art. no. 020050.
- [8] D. Saikia, P. K. Boruah, and U. Sarma, "A Sensor Network to Monitor Process Parameters of Fermentation and Drying in Black Tea Production," *MAPAN*, vol. 30, pp. 211–219, 2015.
- [9] C. Pasha and G. Reddy, "Nutritional and medicinal improvement of black tea by yeast fermentation," *Food Chemistry*, vol. 89, no. 3, pp. 449–453, February 2005.

-
- [10] C.-C. Lin, M.-J. Lu, S.-J. Chen, and S.-C. Ho, "Heavy fermentation impacts NO-suppressing activity of tea in LPS-activated RAW 264,7 macrophages," *Food Chemistry*, vol. 98, no. 3, pp.483-489, 2006.
 - [11] B. T. Pham, N. T. Cam, and D. H. Dao, "Detection and Diagnosis Gray Spots on Tea Leaves Using Computer Vision and Multi-layer Perceptron," in *International Conference on Engineering Research and Applications*, 2019, pp. 230-237.
 - [12] B. T. Pham, N. T. Cam, and D. H. Dao, "Control and optimize black tea fermentation using computer vision and optimal control algorithm," in *International Conference on Engineering Research and Applications*, 2019, pp. 311-319.
 - [13] D. H. Dao, N.T. Cam, and B. T. Pham, "Optimization of the process analysis model on black tea fermentation using the Random Forest Model," in *International Conference on Engineering Research and Applications*, 2021, pp. 739-753.