

AN OVERVIEW OF CONTROL SYSTEMS FOR PRECISION IRRIGATION IN CROP PRODUCTION

Vu Minh Trung, Pham Chau Thuy, Chu Duc Ha, Pham Minh Trien*

VNU - University of Engineering and Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 07/02/2023	Water management has been considered as one of the central tasks of the agriculture sector for sustainable crop production. However, the conventional irrigation systems may cause a huge waste of water supply. Thus, it would be very significant to construct a variety of irrigation controllers to justify the water flow, water volume, time and position. Unfortunately, the understanding of the generation of irrigation control systems has been still lacking. The purpose of this review article was to comprehensively summarize the open and closed-loop irrigation control systems. Particularly, the operations, advantages and disadvantages of the irrigation control systems were comprehensively summarized, the parameters tightly associated with the atmosphere, crop, and soil were mentioned. Among them, closed-loop irrigation control systems, like linear control, intelligent control, and model predictive control were provided. Taken together, the understanding obtained from this review article could orientate the further establishment of precious irrigation control systems for valuable crop production.
Revised: 14/4/2023	
Published: 19/4/2023	
KEYWORDS	
Irrigation	
Control	
Open loop control	
Closed loop control	
Parameter	

TỔNG QUAN VỀ HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN TƯỚI CHÍNH XÁC TRONG CANH TÁC

Vũ Minh Trung, Phạm Châu Thùy, Chu Đức Hà, Phạm Minh Triễn*

Trường Đại học Công nghệ - ĐH Quốc gia Hà Nội

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 07/02/2023	Quản lý nguồn nước tưới tiêu trong canh tác được xem là một trong những nhiệm vụ trọng tâm của ngành nông nghiệp nhằm đảm bảo năng suất của cây trồng. Các phương pháp tưới tiêu truyền thống gây ra sự lãng phí về nguồn tài nguyên nước. Do đó, cần thiết phải xây dựng hệ thống điều khiển tưới tiêu nhằm can thiệp vào tốc độ nước, lượng nước, thời điểm tưới và vị trí tưới phù hợp. Tuy nhiên, những hiểu biết về xây dựng hệ điều khiển sử dụng trong tưới tiêu vẫn còn hạn chế. Mục tiêu của bài tổng quan này nhằm tóm lược những hệ điều khiển dạng vòng mở và dạng vòng kín được áp dụng phổ biến trong tưới tiêu. Cụ thể, nguyên lý hoạt động và ưu nhược điểm của từng hệ thống được phân tích, các thông số môi trường, cây trồng và đất đã được đề cập một cách cụ thể. Trong đó, các hệ điều khiển dạng vòng kín, điển hình như hệ điều khiển tuyến tính, hệ điều khiển thông minh và điều khiển dự báo dựa trên mô hình đã được tóm lược đầy đủ. Kết quả của bài tổng quan này có thể định hướng cho việc xây dựng những mô hình hệ thống điều khiển tưới chính xác phục vụ canh tác các loại cây trồng có giá trị kinh tế cao.
Ngày hoàn thiện: 14/4/2023	
Ngày đăng: 19/4/2023	
TỪ KHÓA	
Tưới	
Điều khiển	
Điều khiển dạng mở	
Điều khiển dạng kín	
Chỉ tiêu	

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.7294>

* Corresponding author. Email: trienpm@vnu.edu.vn

1. Giới thiệu

Nước là yếu tố cần thiết đối với sinh trưởng và phát triển của cây trồng. Nước là dung môi hòa tan các nguyên tố khoáng giúp cây trồng tiếp nhận chất dinh dưỡng và duy trì các phản ứng sinh lý xảy ra trong tế bào [1]. Cung ứng đủ lượng nước cũng giúp cho cây giữ độ ẩm và bảo vệ khỏi tác động của nhiệt độ cao [2]. Tuy nhiên, tình trạng thiếu nước ngọt trong canh tác, chủ yếu do biến đổi khí hậu và quá trình đô thị hóa đang là mối lo ngại trong phát triển nông nghiệp bền vững tại các nước [3], trong đó có Việt Nam [4]. Do đó, quản lý nguồn nước tưới tiêu được xem là một trong những giải pháp nhằm tối ưu các yếu tố đầu vào trong canh tác bền vững.

Trong giai đoạn trước đây, tưới tiêu truyền thống, được hiểu là áp dụng tưới tiêu đồng đều trên mọi vị trí canh tác là biện pháp được sử dụng chủ yếu trong trồng trọt [4]. Trong đó, phương pháp tưới rãnh và tưới ngập tràn là hai phương pháp tưới phổ biến [5], tuy nhiên gây ra sự lãng phí về nước tưới, có thể thúc đẩy diễn biến của quá trình rửa trôi, gây ảnh hưởng đến sinh trưởng và phát triển của cây trồng [6]. Hiện nay, các biện pháp tưới tiêu chính xác đang từng bước được áp dụng nhằm tiết kiệm hiệu quả lượng nước tưới và mang lại năng suất và sinh khối cây trồng cao hơn [7]. Đây là phương pháp tưới tiêu thông minh được thiết kế thông qua việc theo dõi, lập lịch và kiểm soát nguồn nước tưới tiêu một cách chính xác [8]. Lượng nước tưới được điều khiển dựa theo từng đối tượng cây trồng (nhu cầu nước ở từng giai đoạn) và tính chất của đất dựa trên việc tham khảo các thông số môi trường và chỉ tiêu trên cây trồng. Hệ điều khiển thông minh được áp dụng cho các phương pháp tưới dưới bề mặt (mao dẫn) và tưới trên bề mặt (nhỏ giọt, phun mưa) [8], [9]. Tuy nhiên, các vấn đề về hệ điều khiển tưới tiêu vẫn còn chưa được ghi nhận rộng rãi, nhất là về mặt lý thuyết của mô hình điều khiển dựa trên phân tích các yếu tố đầu vào.

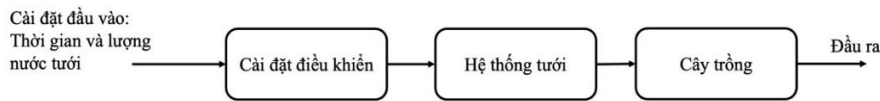
Mục tiêu của bài tổng quan này nhằm cung cấp những kiến thức toàn diện về các khía cạnh của các hệ điều khiển được áp dụng trong tưới tiêu hiện nay. Cụ thể, các hệ thống điều khiển dạng vòng mở và dạng vòng kín sử dụng trong tưới tiêu đã được tóm lược. Trong đó, các mô hình điều khiển đã được đưa ra giới thiệu để đánh giá hiệu quả và nhược điểm của chúng trong thực tế. Cuối cùng, một số định hướng đã được đề xuất nhằm thiết kế các mô hình tưới tiêu trong tương lai.

2. Nội dung tổng quan

2.1. Hệ thống điều khiển vòng hở sử dụng trong tưới tiêu

Điều khiển tưới tiêu theo dạng vòng hở (open loop irrigation controller) được hiểu là kiểu tưới với nguồn nước được điều chỉnh theo kiểu không phản hồi, nghĩa là thông số đầu ra không được giám sát hay so sánh với giá trị mong đợi để điều chỉnh lại cho phù hợp [10]. Trong hệ thống điều khiển dạng vòng hở, việc cung cấp nguồn nước tưới cho cây trồng được thực hiện trực tiếp bằng cách sử dụng bộ hẹn giờ (vận hành cơ học hoặc điện tử) và điều chỉnh lượng nước cần cung cấp hoặc thực hiện gián tiếp dựa trên tốc độ chảy trong ống nước (Hình 1). Trong đó, lượng nước cung cấp và thời gian tưới được quy định dựa trên kiến thức và kinh nghiệm của người vận hành đối với từng đối tượng cây trồng cũng như từng giai đoạn sinh trưởng và phát triển cụ thể của cây [5]. Điều khiển tưới vòng hở tuy không thích nghi với mọi điều kiện môi trường nhưng được ứng dụng rộng rãi do giá thành rẻ và thao tác lắp đặt tương đối dễ dàng và đơn giản, chỉ bao gồm hệ thống bơm và bộ hẹn giờ [11].

Các thông số điều khiển của hệ thống tưới theo dạng vòng hở chỉ bao gồm thời gian và khối lượng nước cung cấp [11]. Tuy nhiên, nhược điểm chính của hệ thống tưới vòng hở là không thể tự động phản hồi với sự thay đổi của điều kiện môi trường cũng như các giai đoạn sinh trưởng khác nhau của cây trồng [11], [12]. Trong thực tế, điều khiển hệ thống tưới vòng hở truyền thống nếu không giám sát chỉ tiêu độ ẩm đất có thể dẫn đến hiện tượng vẫn cung cấp nước cho khu vực canh tác ngay cả trong điều kiện mưa [6]. Việc bổ sung quá mức lượng nước cần thiết có thể gây ra hiện tượng xói mòn đất canh tác [6], gây hại đến sức khỏe cây và đồng thời làm lãng phí nước. Do đó, việc thiết lập lại thời gian tưới và tổng lượng nước tưới cần được thường xuyên điều chỉnh thủ công bởi người vận hành.

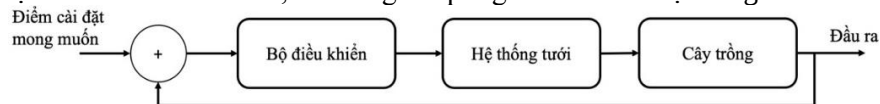


Hình 1. Mô hình hệ thống điều khiển tưới vòng hở

Điều khiển tưới vòng hở phổ biến hiện nay là hệ tưới điều khiển bằng bộ vi điều khiển Arduino tích hợp đồng bộ theo thời gian thực. Ví dụ, một thiết bị tưới tự động và đơn giản đã được thiết kế với hệ thống máy bơm RTC-DS1302 và bộ điều khiển Arduino Mega-2560, cảm biến thời gian để đảm bảo lượng nước tưới tiêu cho canh tác tại khu vực ven biển ở đảo Java, Indonesia [13]. Theo đó, bộ điều khiển được lắp đặt cho hệ thống tưới nhỏ giọt tự động và tưới phun cho trồng hành tây (*Allium cepa*) và bắp cải (*Brassica oleracea*). Hệ thống hẹn giờ được thiết kế sử dụng đồng hồ thời gian thực kết hợp với bộ điều khiển Arduino đã có thể cung cấp nước dạng phun mưa và nhỏ giọt liên tục đến vùng trồng theo ba thời điểm, 07:00, 11:00 và 17:00 trong vòng 15 phút [13]. Trước đó, hệ thống tưới điều khiển với bộ hẹn giờ và cảm biến độ ẩm cũng đã được thiết kế cho canh tác cây xà lách [14]. Kết quả cho thấy, sử dụng hệ thống tưới hẹn giờ với hai công thức, $\Theta = 0,3$ (hàm lượng thể tích nước đạt $0,3 \text{ m}^3 \text{ nước/m}^3 \text{ đất}$) và $\Theta = 0,4$ (hàm lượng thể tích nước đạt $0,4 \text{ m}^3 \text{ nước/m}^3 \text{ đất}$) đã giúp tiết kiệm 17 và 42% lượng dung dịch tưới, đồng thời vẫn duy trì các chỉ tiêu năng suất của cây xà lách [14]. Gần đây, vùng trồng xoài Cát tập trung tại tỉnh Đồng Tháp, Vĩnh Long, Tiền Giang thuộc Đồng bằng sông Cửu Long đã được khuyến cáo áp dụng tưới nhỏ giọt kết hợp chế độ bón phân cho từng giai đoạn sinh trưởng nhằm nâng cao hiệu quả tưới trong điều kiện hạn mặn [15]. Kết quả cho thấy, giai đoạn phân hóa mầm hoa (tháng 12) không áp dụng tưới, giai đoạn ra đọt - bung hoa (tháng 1) áp dụng tưới 55 - 60 lít/gốc/lần, tương đương 15,2 - 16,6 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{lần}$, 15 - 18 lần tưới với tổng lượng nước 239 - 287 m^3/ha , trong khi giai đoạn dưỡng quả (tháng 2 - 4) áp dụng tưới 55 - 60 lít/gốc/lần, tương đương 15,2 - 16,6 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{lần}$, 43 - 49 lần tưới với tổng lượng nước 685 - 780 m^3/ha [15]. Giai đoạn thu hoạch (tháng 4 - 5) không áp dụng tưới, trong khi giai đoạn sau thu hoạch (tháng 5 - 11) đề xuất áp dụng tưới 55 - 60 lít/gốc/lần, tương đương 15,2 - 16,6 $\text{m}^3/\text{ha}/\text{lần}$, 1 - 2 lần tưới với tổng lượng nước 16 - 32 m^3/ha [15].

2.2. Hệ thống điều khiển vòng kín sử dụng trong tưới tiêu

Điều khiển tưới vòng kín (closed loop irrigation controller) được hiểu là hệ thống điều khiển sử dụng tín hiệu phản hồi để hiệu chỉnh tín hiệu đầu ra phù hợp nhằm duy trì độ ẩm mong muốn dựa trên phản hồi từ môi trường (Hình 2). Hệ thống dựa vào sự khác biệt giữa các thông số đo được với ngưỡng đặt trước, đưa ra quyết định vị trí, thời gian và lượng nước cung cấp cho cây trồng [16]. Điểm ưu việt của hệ điều khiển tưới vòng kín là có thể kịp thời bổ sung nước một cách chính xác cho những vị trí cụ thể xảy ra thiếu nước trong khu vực canh tác [16], [17]. Do vậy, hệ thống điều khiển vòng kín sử dụng cho tưới tiêu yêu cầu đo đạc chính xác các thông số môi trường như nhiệt độ, độ ẩm đất, độ ẩm không khí, bức xạ mặt trời [8], thông số của đất và cây trồng [9], [18]. Việc bắt buộc phải giám sát các chỉ tiêu này gây nhiều khó khăn trong việc lắp đặt và hiệu chuẩn các cảm biến, làm tăng chi phí giá thành của hệ thống.



Hình 2. Mô hình hệ thống điều khiển tưới vòng kín

Đến nay, nhiều hệ thống giám sát và điều khiển tưới tích hợp Internet-vật-vật đã được thiết kế và triển khai dựa theo nguyên lý dạng vòng kín [8], [18]. Trong đó, các biến số liên quan đến tính chất đất, thông số môi trường và trạng thái của cây trồng được theo dõi liên tục để có thể đưa ra chế độ tưới phù hợp cho nhu cầu sử dụng nước của cây trồng theo thời gian thực, đồng thời cũng tối ưu hóa được kế hoạch lập lịch tưới. Việc sử dụng nhiều hệ cảm biến để theo dõi thông số môi trường, đất và cây trồng tạo ra thách thức trong cài đặt và quản lý dữ liệu [19]. Đến nay, hệ điều

hiển vòng kín sử dụng trong tưới phổ biến có thể kể đến như hệ điều khiển tuyến tính (linear control), hệ điều khiển thông minh (intelligent control) và điều khiển dự báo dựa trên mô hình (model predictive control) [9], [17], [18].

Hệ điều khiển tuyến tính sử dụng trong tưới tiêu có thể tính toán giá trị sai số là hiệu số giữa giá trị đo cảm biến và giá trị đặt mong muốn. Để thực hiện chức năng này, việc kiểm soát và điều chỉnh tưới tiêu cho cây trồng thông thường được thiết kế dựa trên ba phương thức cơ bản, bao gồm điều chỉnh tỉ lệ (proportional, P) - tạo ra tín hiệu điều chỉnh tỉ lệ với sai lệch đầu vào theo thời gian lấy mẫu, điều chỉnh tích phân của sai lệch (integral, I) - tạo ra các tín hiệu điều chỉnh để độ sai lệch giảm về 0, điều chỉnh đạo hàm (derivative, D) - tạo ra tín hiệu điều chỉnh sao cho tỉ lệ với tốc độ thay đổi sai lệch đầu vào [20]. Cụ thể, bộ điều khiển PID (Proportional Integral Derivative) có thể điều chỉnh tốc độ dòng nước theo tỷ lệ chênh lệch giữa điểm đặt (mức độ ẩm của đất mong muốn) và mức độ ẩm của đất hiện tại (do chức năng của P), tăng tốc độ dòng nước cho đến khi đạt độ ẩm đất mong muốn (do chức năng của I) và kiểm soát dòng chảy để độ ẩm đất không vượt quá bằng cách dự đoán sai số trong tương lai dựa trên tốc độ thay đổi của sai số (do chức năng của D). Như vậy, bằng cách kết hợp ba thành phần này, bộ điều khiển PID có thể điều chỉnh chính xác tốc độ dòng nước để duy trì độ ẩm mong muốn của đất, tối ưu hóa sự phát triển của cây trồng và hiệu quả sử dụng nước [21]. Tuy nhiên, hệ điều khiển tuyến tính với bộ PID vẫn có những hạn chế nhất định. Việc điều chỉnh tích phân và đạo hàm của sai lệch giữa tín hiệu đầu vào và giá trị mong đợi rất phức tạp để hiểu và thực hiện [22]. Bộ điều khiển PID có thể gây ra sự hiệu chỉnh quá mức nếu các tham số môi trường, cây trồng và đất không được đặt chính xác. Bộ điều khiển PID có thể có thời gian phản hồi chậm khi hệ thống được điều khiển có tính phi tuyến tính cao [21]. Những thay đổi nhỏ của các tham số cũng làm ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống tưới. Hơn nữa, việc sử dụng nhiều cảm biến vào hệ thống tưới tiêu đã đặt ra những thách thức về cài đặt và hiệu chuẩn, chúng đòi hỏi nông dân và nhà nghiên cứu phải bỏ ra chi phí triển khai rất lớn [9], [10], [22].

Gần đây, sự phát triển của trí tuệ nhân tạo cùng với sự ra đời của các mô hình học máy (machine learning) đã thúc đẩy sự ra đời của các hệ điều khiển thông minh sử dụng trong tưới nhằm hướng đến nông nghiệp chính xác [23]. Cụ thể hơn, công nghệ học máy đã được triển khai vào nhiều bài toán như quản lý tài nguyên phục vụ trồng trọt [24], mô hình dự đoán cho lập lịch tưới tiêu dựa vào thuật toán phân loại và hồi quy, ước lượng sản lượng và phân tích cảnh báo dịch hại trên cây trồng [25]. Đối với ứng dụng của học máy trong điều khiển thông minh tưới tiêu, các cảm biến, phần mềm và các công cụ khác được sử dụng để điều chỉnh chính xác việc cung cấp yếu tố đầu vào dựa trên nhu cầu hấp thu nước và dinh dưỡng của từng đối tượng cây trồng [18], [23]. Trong đó, bốn mô hình tính toán, bao gồm hệ thống điều khiển mờ (fuzzy logic), mạng thần kinh nhân tạo (artificial neural network), hệ thống chuyên gia (expert system) và một số thuật toán tiến hóa (evolution algorithm) được áp dụng phổ biến trong các hệ điều khiển tưới tiêu thông minh [9], [10].

Đầu tiên, hệ thống điều khiển đơn giản và phổ biến nhất là điều khiển mờ. Về lý thuyết, logic mờ là một phương pháp luận nhằm đưa ra quyết định xây dựng theo nguyên lý tư duy của con người [26]. Phương pháp này được phát triển từ lý thuyết tập mờ để thực hiện lập luận một cách xấp xỉ thay vì lập luận chính xác theo logic cổ điển. Bộ điều khiển mờ thường được sử dụng trong bài toán mà các đối tượng điều khiển có mô hình toán học quá phức tạp, không thể mô tả bằng một mô hình toán học chính xác [26]. Hệ thống điều khiển mờ đưa ra quyết định từ các thông số đầu vào mà không cần quan tâm đến mô hình hệ thống đặc biệt phù hợp với tính thay đổi liên tục của hệ thống tưới tiêu nông nghiệp [26]-[28]. Ví dụ, với mục đích điều khiển hệ thống tưới tiêu, Mousa và cộng sự (2014) đã đánh giá hệ số thoát hơi nước dựa trên các thông số từ hệ cảm biến như nhiệt độ, độ ẩm, gió, thời gian chiếu sáng của mặt trời và phân tích ảnh hưởng của hệ số này tới các quyết định tưới tiêu [26]. Các kết quả kiểm nghiệm cho thấy tính chính xác và khả năng đáp ứng kịp thời của hệ thống tưới tiêu áp dụng logic mờ trong việc giảm thiểu lượng tài nguyên nước thất thoát trong quá trình tưới tiêu do bay hơi [26]. Trong một

nghiên cứu khác, Keswani và cộng sự (2019) đã đề xuất một mô hình mạng thần kinh truyền thẳng (feed-forward neural network) dựa trên phân loại mẫu để dự đoán sự biến thiên của các thông số môi trường đất và áp dụng cho yếu tố đầu vào của hệ thống điều khiển mờ [29]. Trước đó, Fengshen và cộng sự (2018) đã kết hợp mạng dự đoán (neural network predict) và thuật toán điều khiển mờ để giảm thiểu lượng nước tưới, phân bón hoá học và tối ưu chi phí sản xuất [30]. Với mục đích tối ưu hoá hiệu quả của hệ thống tưới tiêu, Hussain và cộng sự (2011) đã phát triển một thuật toán điều khiển mờ để ước lượng lượng nước trong cây trồng sử dụng các thông số đầu vào như mô hình tưới tiêu, dạng đất trồng, điều kiện thời tiết và loại cây trồng áp dụng trong trồng trọt tại nhà kính [31]. Tương tự, Viani và cộng sự (2017) đã phát triển hệ cảm biến không dây để theo dõi và hỗ trợ quản lý tưới tiêu dựa trên kinh nghiệm của người nông dân được mô hình dưới dạng logic mờ [32]. Có thể thấy rằng, phương pháp điều khiển logic mờ đã cho thấy hiệu quả trong việc sử dụng tài nguyên nước trong tưới tiêu [9], [24], [26]. Tuy nhiên, hiệu quả và tính chính xác của nó còn phụ thuộc vào hiểu biết về cây trồng từ các chuyên gia để đưa ra các quy luật mờ [9], [24], [26].

Phương pháp tiếp theo được sử dụng trong điều khiển thông minh hệ tưới tiêu là mạng thần kinh nhân tạo. Đây là một mô hình tính toán dựa trên mô phỏng sinh học của não bộ con người giúp máy tính giải quyết các bài toán phức tạp. Trái ngược với điều khiển mờ, mạng thần kinh nhân tạo sử dụng dữ liệu thống kê phi tuyến để mô hình hoá toán học các tương quan giữa yếu tố đầu vào và đầu ra của hệ thống [33]. Do tính phức tạp của thuật toán, các mạng thần kinh nhân tạo đòi hỏi hệ thống xử lý với khả năng tính toán mạnh. Tuy nhiên, các hệ thống điều khiển dựa trên mạng thần kinh nhân tạo có khả năng học tập và đáp ứng nhanh với mọi thay đổi liên tục của dữ liệu đầu vào [33]. Áp dụng mạng thần kinh nhân tạo vào điều khiển tưới tiêu đang là một hướng nghiên cứu được hướng tới bởi nhiều nhóm nghiên cứu [34]-[37]. Cụ thể, Kelley và cộng sự (2019) đã phân tích các thông số thu thập từ cảm biến thời tiết để đưa vào mạng thần kinh nhân tạo nhằm ước lượng khả năng thoát hơi nước trong khu canh tác [34]. Cùng với đó, Sharma và cộng sự (2016) đã tính toán sự tương quan giữa tỷ lệ tưới tiêu và hệ số thoát hơi nước nhằm giảm thiểu lượng nước thất thoát trong quy trình canh tác do quá trình bốc hơi [35]. Tương tự, Umair và cộng sự (2010) đã tiến hành lập lịch tưới tiêu dựa trên các thông tin thời tiết như nhiệt độ và thời gian chiếu sáng, độ ẩm đất và các đặc tính sinh học của cây trồng để đề xuất mô hình điều khiển bằng mạng thần kinh nhân tạo [36]. Để cải thiện khả năng hội tụ của mạng thần kinh nhân tạo, Gu và cộng sự (2017) đã áp dụng thuật toán lan truyền ngược (back propagation) và hiệu chỉnh bằng thuật toán di truyền [37]. Tóm lại, các nghiên cứu này chỉ ra rằng, mạng thần kinh nhân tạo có thể ghi lại sự thay đổi của hệ thống phi tuyến tính là phù hợp cho bài toán dự đoán điều khiển cho hệ thống tưới tiêu trong nông nghiệp [9].

Hệ thống chuyên gia là một thuật toán được phát triển để mô phỏng khả năng giải quyết vấn đề của chuyên gia trong lĩnh vực chuyên môn cụ thể bằng cách sử dụng trí tuệ nhân tạo [38]. Hệ thống chuyên gia bao gồm cấu trúc và thành phần dựa trên kiến thức, cùng với thành phần suy luận và điều khiển [38]. Khi giải quyết vấn đề, hệ thống chuyên gia sử dụng kinh nghiệm được tư vấn, dựa trên suy luận hướng tình, tin cậy, kinh nghiệm và quy tắc của người. Hệ thống chuyên gia được sử dụng trong các hoạt động giải quyết vấn đề như lập kế hoạch, dự báo, điều khiển hệ thống, giám sát, hợp nhất dữ liệu và giải thích quyết định [9]. Theo Nada và cộng sự (2014), hệ thống kiểm soát tưới cơ bản dựa trên hệ thống chuyên gia nhằm cung cấp cho nông dân kiến thức về cách xác định lượng nước cần thiết cho cây trồng tại thời điểm, thời tiết và môi trường phát triển chính như nhiệt độ, độ ẩm và loại đất [39]. Các kết quả này đồng thuận với nghiên cứu của Shahzadi và cộng sự (2016), cụ thể, một hệ thống chuyên gia cho nông nghiệp thông minh sử dụng công nghệ IoT đã được thiết kế để theo dõi theo thời gian thực với các dữ liệu cảm biến [40]. Như vậy, cấu trúc của hệ thống chuyên gia quyết định tưới cho cây trồng được lập trình bằng ngôn ngữ C, bao gồm cơ sở kiến thức với bộ nhớ làm việc, máy suy luận và giao diện người dùng. Tương tự như hệ thống điều khiển mờ và mạng thần kinh nhân tạo, hệ thống chuyên gia cũng sử dụng một hệ thống mạng cảm biến không dây để theo dõi sản xuất cây trồng [9]. Hệ

thông mạng cảm biến không dây được sử dụng để thu thập và truyền dữ liệu về độ ẩm đất, pH đất và cường độ ánh sáng mặt trời. Dữ liệu thu thập được gửi vào hệ thống chuyên gia trên máy chủ web để quyết định nhu cầu nước và phân bón của cây trồng. Hệ thống chuyên gia sau đó được giao tiếp với một điện thoại android để truy vấn hỗ trợ quyết định theo thời gian thực. Eid và cộng sự (2016) đã phát triển một hệ thống chuyên gia hỗn hợp cho quản lý tưới sử dụng ngôn ngữ lập trình Visual Basic và phần mềm Access để thiết kế cơ sở dữ liệu [41]. Theo đó, các dữ liệu của cây trồng, bao gồm ngày thu hoạch, ngày trồng, hệ số cây trồng, chiều cao cây và độ sâu của rễ, dữ liệu thời tiết và tính chất vật lý của đất được cung cấp cho hệ thống chuyên gia [41]. Kết quả được nhận thấy rằng, hệ thống chuyên gia đã vượt trội 20% so với các phương thức khác trong việc giảm tiêu thụ nước tưới cho cây cà chua [41]. Hệ thống chuyên gia có thể được sử dụng để cải thiện tưới chính xác, bằng cách sử dụng các yếu tố đầu vào dựa trên kiến thức khác nhau để thực hiện quyết định tối ưu cho tưới chính xác. Tuy nhiên, hiệu suất của hệ thống chuyên gia dựa trên chính xác của đầu vào kiến thức và thiết kế quy tắc bởi chuyên gia [9], [38].

Tiếp theo, một phương pháp khác được sử dụng trong điều khiển tưới tiêu thông minh là giải thuật di truyền. Đây là giải thuật dựa trên cách cây trồng có thể thích nghi với môi trường, tức là bằng sự tiến hóa và di truyền [42]. Thuật toán tiến hóa dựa trên quần thể, gồm ba thành phần chính, bao gồm chọn lọc, lai tạo và biến đổi [42]. Bên cạnh đó, hệ thống thông minh lai là sự kết hợp của ít nhất hai thuật toán trí tuệ nhân tạo, điển hình như mạng thần kinh nhân tạo và điều khiển mờ (neuro-fuzzy). Ví dụ, Allawi và cộng sự (2018) đã phát triển một thuật toán học máy, gọi là cá mập (Shark) có hiệu quả hơn so với thuật toán trí tuệ thông minh thông thường để tối ưu lượng nước tưới [43]. Tseng và cộng sự (2018) đã sử dụng dữ liệu hình ảnh thu thập từ thiết bị bay không người lái để tính toán độ ẩm đất hỗ trợ tưới tự động [44]. Cụ thể, nghiên cứu đã đề xuất sử dụng bảy thuật toán học máy khác nhau để điều khiển chỉ tiêu về độ ẩm đất tổng số làm mức tiêu thụ nước tưới giảm 52% so với đối chứng [44].

Một công nghệ điều khiển khác cũng được chú ý đến trong tưới tiêu nông nghiệp là điều khiển dựa trên mô hình dự đoán (model predictive control) [9], [45]. Điều khiển mô hình dự đoán là phương thức điều khiển dựa trên tối ưu hóa trong một khoảng thời gian hữu hạn [9], [45]. Các thuật toán điều khiển dựa trên mô hình dự đoán hoạt động bằng cách xây dựng một bài toán tối ưu hóa, trong đó mục tiêu là giảm thiểu hàm chi phí biểu thị độ lệch giữa giá trị mong muốn và yếu tố đầu vào. Trong nghiên cứu của Puig và cộng sự (2012), hệ điều khiển dựa trên mô hình dự đoán đã được sử dụng để tạo ra các phương thức kiểm soát lượng nước tưới [46]. Lozoya và cộng sự (2014) đã đề xuất việc sử dụng một cách thức kiểm soát dự đoán cho mô hình điều khiển tưới khép kín [48]. Mô hình được đề xuất sử dụng cảm biến giám sát độ ẩm của đất và các yếu tố khí hậu để xác định lượng nước tối ưu mà cây trồng cần và được đánh giá dựa trên hệ thống tưới tiêu truyền thống và dựa trên mô hình kiểm soát độ ẩm cơ bản của đất [47]. Tuy nhiên, hệ điều khiển dựa trên mô hình dự đoán đòi hỏi tài nguyên tính toán đáng kể để giải quyết bài toán tối ưu hóa, đây có thể là một thách thức đối với việc giảm thiểu giá thành triển khai cho người nông dân [9].

2.3. Định hướng xây dựng hệ thống điều khiển sử dụng trong tưới tiêu

Để tối ưu hóa cho việc tưới nước, các thông số môi trường, cây trồng và đất liên quan đến mô hình canh tác cần được giám sát một cách toàn diện theo thời gian thực thông qua các loại cảm biến để bộ điều khiển có thể điều chỉnh lượng nước, tốc độ, thời điểm và vị trí tưới hiệu quả. Trong số 88 công bố về các hệ thống điều khiển sử dụng trong tưới tiêu khai thác trên cơ sở dữ liệu NCBI và IEEE, hầu hết các bộ điều khiển đều sử dụng cảm biến để đo độ ẩm đất (76 trên tổng số 88), mức nước (17 trên tổng số 88) và độ pH của đất hoặc nước (14 trên tổng số 88), trong khi chỉ tiêu về tốc độ nước chảy (9 trên tổng số 88), nhiệt độ đất (7 trên tổng số 88), độ dẫn điện của nước (4 trên tổng số 88), độ ẩm lá (3 trên tổng số 88), chiều cao cây (2 trên tổng số 88), nhiệt độ nước (2 trên tổng số 88) và dinh dưỡng đất (1 trên tổng số 88) ít khi được giám sát [8]. Xem xét về các chỉ tiêu không khí, nhiệt độ và độ ẩm không khí là hai chỉ tiêu được theo dõi phổ biến nhất, ghi nhận ở 58 và 51 trên tổng số 88 hệ thống điều khiển đã công bố, sau đó lần lượt là

chỉ tiêu liên quan đến mưa, gió và âm thanh cũng được báo cáo [8]. Ngoài ra, 15 (trên tổng số 88) hệ thống điều khiển được xây dựng dựa vào số liệu từ Trung tâm Dự báo thời tiết. Xây dựng mô hình trạm thời tiết là cần thiết để cung cấp những dữ liệu quan trọng về khí tượng cho hệ điều khiển tưới tiêu [48]. Như vậy, độ ẩm đất, nhiệt độ không khí và độ ẩm không khí được xem là bộ ba yếu tố đầu vào quan trọng để điều khiển hệ tưới tiêu [9], [48], [49].

Với những kết quả nghiên cứu được tổng hợp ở trên, hầu hết các cảm biến hiện nay mới chỉ tiếp cận đến thông số khí hậu và đất, chưa có nhiều công cụ để đánh giá các chỉ tiêu liên quan đến cây trồng. Sự phát triển của công nghệ viễn thám (remote sensing) đã cho phép người sử dụng theo dõi chỉ số thực vật khác biệt chuẩn hóa (normalized difference vegetation index, NDVI) và chỉ số diện tích lá (leaf area index, LAI) của cây trồng. Các chỉ số NDVI và LAI được xem là hai thông số phản ánh một cách tương đối về tình trạng sức khỏe của cây trồng trong thời điểm thu thập. Các máy bay không người lái tích hợp camera chụp ảnh đa phổ (multispectral camera) có thể được sử dụng để thu thập dữ liệu NDVI và LAI của cây trồng kèm theo sự thay đổi về nhiệt độ và độ ẩm đất, từ đó chỉ ra sự thiếu hụt về nước (hạn) ở những vị trí trong vùng canh tác. Gần đây, nghiên cứu của Afzal và cộng sự (2017) đã dùng cảm biến đo độ dày của lá (leaf thickness, LT) và dung điện của lá (leaf electrical capacitance, CAP) như là biện pháp có thể xác định tình trạng nước của cây [49], [50]. Do đó, các chỉ tiêu NDVI, LAI, LT, CAP là những thông số quan trọng nên được xem xét khi thiết kế hệ điều khiển sử dụng trong tưới tiêu [9], [48], [49].

3. Kết luận

Công tác quản lý nước tại các vùng canh tác được xem là rất quan trọng để đảm bảo năng suất và chất lượng cho địa phương. Phương pháp tưới tiêu truyền thống áp dụng tại các khu vực hiện nay thường gây ra sự lãng phí về nguồn nước. Điều khiển tưới tiêu dạng vòng hở và vòng kín có thể khắc phục một số nhược điểm của các phương pháp truyền thống. Điều khiển dạng vòng kín, chủ yếu sử dụng hệ điều khiển tuyến tính, hệ điều khiển thông minh và điều khiển dự báo dựa trên mô hình sử dụng các thuật toán phù hợp để phân tích các chỉ tiêu về môi trường (độ ẩm không khí, nhiệt độ không khí), cây trồng (NDVI, LAI) và đất (độ ẩm đất) cho phép điều chỉnh lượng nước, tốc độ, thời gian và vị trí tưới một cách chính xác. Các nghiên cứu tiếp theo sẽ được thực hiện nhằm xây dựng các hệ thống điều khiển dạng vòng kín sử dụng trong tưới tiêu đối với một số đối tượng cây trồng quan trọng trong mô hình sản xuất nông lâm nghiệp.

Lời cảm ơn

Công trình này được hỗ trợ bởi Trường Đại học Công Nghệ thông qua Đề tài khoa học và công nghệ có mã số CN23.01.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] D. C. Plett *et al.*, "The intersection of nitrogen nutrition and water use in plants: new paths toward improved crop productivity," *Journal of Experimental Botany*, vol. 71, no. 15, pp. 4452-4468, 2020, doi: 10.1093/jxb/eraa049.
- [2] S. Fahad *et al.*, "Crop production under drought and heat stress: Plant responses and management options," *Frontiers in Plant Science*, vol. 8, p. 1147, 2017, doi: 10.3389/fpls.2017.01147.
- [3] K. Wiebe *et al.*, "Climate change impacts on agriculture in 2050 under a range of plausible socioeconomic and emissions scenarios," *Environmental Research Letters*, vol. 10, 2015, Art. no. 085010, doi: 10.1088/1748-9326/10/8/085010.
- [4] V. H. Nguyen *et al.*, "An assessment of irrigated rice cultivation with different crop establishment practices in Vietnam," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, p. 401, 2022, doi: 10.1038/s41598-021-04362-w.
- [5] Q. T. Ha *et al.*, "Investigation on sweet orange farming practices and establishment of the watering model combined with fertilizing for development of sweet orange in Hung Yen," *Journal of Vietnam Agricultural Science and Technology*, vol. 8, no. 129, pp. 83-88, 2021.
- [6] P. D. Hynds *et al.*, "Contamination of groundwater systems in the US and Canada by enteric pathogens, 1990-2013: A review and pooled-analysis," *PLoS One*, vol. 9, no. 4, 2014, Art. no. e93301, doi: 10.1371/journal.pone.0093301.

- [7] F. A. Ward *et al.*, "Water conservation in irrigation can increase water use," *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 105, no. 47, pp. 18215-18220, 2008, doi: 10.1073/pnas.0805554105.
- [8] L. Garcia *et al.*, "IoT-based smart irrigation systems: An overview on the recent trends on sensors and IoT systems for irrigation in precision agriculture," *Sensors*, vol. 20, no. 4, p. 1042, 2020, doi: 10.3390/s20041042.
- [9] A. A. Emmanuel *et al.*, "A review on monitoring and advanced control strategies for precision irrigation," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 173, 2020, Art. no. 105441, doi: 10.1016/j.compag.2020.105441.
- [10] S. Anderson, "Caloric irrigators: air, open-loop water and closed-loop water," *British Journal of Audiology*, vol. 29, no. 2, pp. 117-128, 1995, doi: 10.3109/03005369509086589.
- [11] F. S. Zazueta *et al.*, "Microcomputer-based control of irrigation systems," *Applied Engineering in Agriculture*, vol. 8, no. 5, pp. 593-596, 1992, doi: 10.13031/2013.26129.
- [12] H. Zia *et al.*, "An experimental comparison of IoT-based and traditional irrigation scheduling on a flood-irrigated subtropical lemon farm," *Sensors*, vol. 21, no. 12, 2021, Art. no. 4175, doi: 10.3390/s21124175.
- [13] A. Sudarmaji *et al.*, "Time based automatic system of drip and sprinkler irrigation for horticulture cultivation on coastal area," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 250, 2019, Art. no. 12074, doi:10.1088/1755-1315/250/1/012074.
- [14] F. F. Montesano *et al.*, "Timer versus moisture sensor-based irrigation control of soilless lettuce: Effects on yield, quality and water use efficiency," *Horticultural Sciences*, vol. 43, no. 2, pp. 67-75, 2016, doi: 10.17221/312/2014-HORTSCI.
- [15] H. Tran *et al.*, "Establishment of the drip irrigation methods combined with the fertilizer levels in cultivation of mango in Mekong Delta," *Journal of Water Resources*, vol. 1, pp. 30-41, 2021.
- [16] M. Rufi-Salis *et al.*, "Closed-loop crop cascade to optimize nutrient flows and grow low-impact vegetables in cities," *Frontiers in Plant Sciences*, vol. 11, 2020, Art. no. 596550, doi: 10.3389/fpls.2020.596550.
- [17] B. Rekha *et al.*, "Review on closed loop automated irrigation system," *The Asian Review of Civil Engineering*, vol. 6, no. 1, pp. 9-14, 2017.
- [18] C. Kamienski *et al.*, "Smart water management platform: IoT-based precision irrigation for agriculture," *Sensors*, vol. 19, no. 2, 2019, Art. no. 176, doi: 10.3390/s19020276.
- [19] M. Mohammed *et al.*, "Efficient IoT-based control for a smart subsurface irrigation system to enhance irrigation management of date palm," *Sensors*, vol. 21, no. 12, 2021, Art. no. 3942, doi: 10.3390/s21123942.
- [20] M. Huang *et al.*, "Parameter optimization of PID controller for water and fertilizer control system based on partial attraction adaptive firefly algorithm," *Scientific Reports*, vol. 12, no. 1, 2022, Art. no. 12182, doi: 10.1038/s41598-022-16425-7.
- [21] M. S. Goodchild *et al.*, "A novel dielectric tensiometer enabling precision PID-based irrigation control of polytunnel-grown strawberries in coir," *Biosystems Engineering*, vol. 165, pp. 70-76, 2018. doi: 10.1016/j.biosystemseng.2017.10.018.
- [22] G. Mantri *et al.*, "Design and optimization of PID controller using genetic algorithm," *International Journal of Research in Engineering and Technology*, vol. 2, no. 6, pp. 926-930, 2013, doi: 10.15623/ijret.2013.0206002.
- [23] A. Gloria *et al.*, "Sustainable irrigation system for farming supported by machine learning and real-time sensor data," *Sensors*, vol. 2, no. 9, 2021, Art. no. 3079, doi: 10.3390/s21093079.
- [24] S. Dimitriadis *et al.*, "Applying machine learning to extract new knowledge in precision agriculture applications," *Panhellenic Conference on Informatics*, 2008, pp. 100-104, doi: 10.1109/PCI.2008.30.
- [25] A. Goldstein *et al.*, "Applying machine learning on sensor data for irrigation recommendations: revealing the agronomist's tacit knowledge," *Precision Agriculture*, vol. 19, pp. 421-444, 2018, doi: 10.1007/s11119-017-9527-4.
- [26] A. K. Mousa *et al.*, "Fuzzy based decision support model for irrigation system management," *International Journal Computer Application*, vol. 104, no. 9, pp. 14-20, 2014, doi: 10.5120/18230-9177.
- [27] F. Hasan *et al.*, "Implementation of fuzzy logic in autonomous irrigation system for efficient use of water," In *Joint 7th International Conference on Informatics, Electronics & Vision and 2nd International Conference on Imaging, Vision & Pattern Recognition*, 2018, pp. 234-238, doi: 10.1109/ICIEV.2018.8641017.

- [28] L. Wang *et al.*, "An adaptive fuzzy hierarchical control for maintaining solar greenhouse temperature," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 155, pp. 251-256, 2018, doi: 10.1016/j.compag.2018.10.023.
- [29] B. Keswani *et al.*, "Adapting weather conditions based IoT enabled smart irrigation technique in precision agriculture mechanisms," *Neural Computing and Applications*, vol. 31, pp. 277-292, 2019, doi: 10.1007/s00521-018-3737-1.
- [30] S. Fengshen *et al.*, "Research on water-fertilizer integrated technology based on neural network prediction and fuzzy control," *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, vol. 170, no. 3, 2018, Art. no. 032168, doi: 10.1088/1755-1315/170/3/032168.
- [31] M. H. Hussain *et al.*, "Fuzzy logic controller for automation of greenhouse irrigation system," *3rd CUTSE International Conference*, 2011, pp. 1-6.
- [32] F. Viani *et al.*, "Low-cost wireless monitoring and decision support for water saving in agriculture," *IEEE Sensors Journal*, vol. 17, no. 13, pp. 4299-4309, 2017, doi: 10.1109/JSEN.2017.2705043.
- [33] S.W. Tsang *et al.*, "Applying artificial intelligence modeling to optimize green roof irrigation," *Energy and Buildings*, vol. 127, pp. 360-369, 2016, doi: 10.1016/j.enbuild.2016.06.005.
- [34] J. Kelley *et al.*, "Using neural networks to estimate site-specific crop evapotranspiration with low-cost sensors," *Agronomy*, vol. 9, 2019, Art. no. 108, doi: 10.3390/agronomy9020108.
- [35] S. Sharma *et al.*, "Prediction of evapotranspiration by artificial neural network and conventional methods," *International Journal of Engineering Research*, vol. 5, no. 1, pp. 184-187, 2016, doi: 10.17950/ijer/v5i1/043.
- [36] S. M. Umair *et al.*, "Automation of irrigation system using ANN based controller," *International Journal of Electrical & Computer Sciences*, vol. 10, no. 2, pp. 45-51, 2010.
- [37] J. Gu *et al.*, "An improved back propagation neural network prediction model for subsurface drip irrigation system," *Computers & Electrical Engineering*, vol. 60, pp. 58-65, 2017, doi: 10.1016/j.compeleceng.2017.02.016.
- [38] J. M. McKinion *et al.*, "Expert systems for agriculture," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 1, no. 1, pp. 31-40, 1985, doi: 10.1016/0168-1699(85)90004-3.
- [39] A. Nada *et al.*, "Irrigation expert system for trees," *International Journal of Engineering and Innovative Technology*, vol. 3, no. 8, pp. 170-175, 2014.
- [40] R. Shahzadi *et al.*, "Internet of things based expert system for smart agriculture," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 7 no. 9, pp. 341-350, 2016, doi: 10.14569/IJACSA.2016.070947.
- [41] S. Eid *et al.*, "Developments of an expert system for on-farm irrigation water management under arid conditions," *Journal of Soil Sciences and Agricultural Engineering*, vol. 9, no. 1, pp. 69-76, 2018, doi: 10.21608/JSSAE.2018.35544.
- [42] W. Chen *et al.*, "Improved nonlinear model predictive control based on genetic algorithm," *Advanced Model Predictive Control*, pp. 1-14, 2011, doi: 10.5772/18778.
- [43] M. F. Allawi *et al.*, "Synchronizing artificial intelligence models for operating the dam and reservoir system," *Water Resources Management*, vol. 32, no. 10, pp. 3373-3389, 2018, doi: 10.1007/s11269-018-1996-3.
- [44] D. Tseng *et al.*, "Towards automating precision irrigation: Deep learning to infer local soil moisture conditions from synthetic aerial agricultural images," *14th International Conference on Automation Science and Engineering*, 2018, pp. 284-291.
- [45] A. A. Emmanuel *et al.*, "A model predictive controller for precision irrigation using discrete lagurre networks," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 181, pp. 105953, 2021, doi: 10.1016/j.compag.2020.105953.
- [46] V. Puig *et al.*, "Model predictive control of combined irrigation and water supply systems: Application to the Guadiana river," *9th International Conference on Networking, Sensing and Control*, 2012, pp. 1-7, doi: 10.1109/ICNSC.2012.6204896.
- [47] C. Lozoya *et al.*, "Model predictive control for closed-loop irrigation," *IFAC Proceedings Volumes*, vol. 47, no. 3, pp. 4429-4434, 2014, doi: 10.3182/20140824-6-ZA-1003.02067.
- [48] P. Patil *et al.*, "Intelligent irrigation control system by employing wireless sensor networks," *International Journal of Computer Applications*, vol. 79, no. 11, pp. 33-40, 2013, doi: 10.5120/13788-1882.
- [49] Q. Bo *et al.*, "Intelligent control of agricultural irrigation through water demand prediction based on artificial neural network," *Computational Intelligence and Neuroscience*, vol. 2021, 2021, Art. no. 7414949, doi: 10.1155/2021/7414949.
- [50] A. Afzal *et al.*, "Leaf thickness and electrical capacitance as measures of plant water status," *Transactions of the ASABE*, vol. 60, no. 4, p. 1063, 2017, doi: 10.13031/trans.12083.