

HỆ THỐNG GIÁM SÁT VÀ ĐIỀU KHIỂN ỨNG DỤNG CÔNG NGHỆ IoT PHỤC VỤ CANH TÁC LÚA THEO KỸ THUẬT ƯỚT VÀ KHÔ XEN KÊ AWD

AN IoT-BASED MONITORING AND CONTROL SYSTEM FOR RICE CULTIVATION USING ALTERNATE WETTING AND DRYING IRRIGATION METHOD

Nguyễn Hồng Tín, Lương Vinh Quốc Danh, Trần Nhật Khải Hoàn, Hồng Minh Hoàng,
Hồ Chí Thịnh, Châu Mỹ Duyên, Huỳnh Việt Hùng, Lê Anh Tuấn

Trường Đại học Cần Thơ; nhtin@ctu.edu.vn, lvqdanh@ctu.edu.vn

Tóm tắt - Do tác động của biến đổi khí hậu, vấn đề thiếu hụt nguồn nước tưới là mối đe dọa hiện hữu đối với ngành sản xuất lúa gạo. Trong bài viết này, tác giả trình bày việc thiết kế và triển khai hệ thống giám sát và điều khiển phục vụ canh tác lúa theo kỹ thuật tưới nước tiết kiệm ướT và khô xen kẽ AWD tại Đồng bằng Sông Cửu Long. Hệ thống được xây dựng dựa trên cấu trúc mạng Internet của vạn vật (IoT) cho phép người trồng lúa theo dõi các thông số môi trường như nhiệt độ, ẩm độ không khí, cường độ ánh sáng, độ ẩm đất và mực nước đồng ruộng một cách tự động 24/7. Với tính năng điều khiển thiết bị bơm nước từ xa, hệ thống cho phép nông dân quản lý việc tưới tiêu ruộng lúa một cách thuận tiện và hiệu quả. Kết quả nghiên cứu sẽ được tiếp tục cải tiến và tối ưu để có thể ứng dụng vào canh tác lúa theo cánh đồng mẫu lớn cũng như các mô hình ứng dụng nông nghiệp thông minh tại Việt Nam.

Từ khóa - Canh tác lúa; giám sát và điều khiển; Internet của vạn vật (IoT); quản lý nước tưới; ướT và khô xen kẽ

1. Đặt vấn đề

Theo số liệu của Tổ chức Nông nghiệp và Lương thực của Liên hợp quốc (FAO), gạo là nguồn lương thực chính của hơn một nửa dân số thế giới [1]. Việt Nam là quốc gia đứng thứ 6 thế giới về diện tích trồng lúa gạo với trên 7,6 triệu ha [2]. Quá trình canh tác lúa theo phương pháp truyền thống đòi hỏi lượng nước cung cấp cao hơn nhiều so với các loại cây trồng khác do đồng ruộng cần thường xuyên được duy trì ở điều kiện ngập nước [3]. Tuy nhiên, những tác động của biến đổi khí hậu như bão lụt, hạn hán, sự xâm nhập sâu của nước mặn vào đất liền đã ảnh hưởng đáng kể đến nguồn nước tưới cho sản xuất nông nghiệp nói chung và canh tác lúa nói riêng [4, 5]. Vấn đề thiếu hụt nguồn nước tưới là mối đe dọa hiện hữu đối với việc sản xuất lúa gạo tại Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL) ở hiện tại và trong tương lai. Do vậy, việc tiết kiệm nước và tưới hiệu quả cho ruộng lúa là rất cần thiết nhằm đảm bảo nguồn nước cho hoạt động nông nghiệp, nhất là các vùng thiếu nước ven biển do ảnh hưởng bởi xâm nhập mặn.

Phương pháp tưới nước ướT và khô xen kẽ (AWD) là một trong những kỹ thuật canh tác lúa tiết kiệm nước đã được áp dụng tại Việt Nam và một số nước trong khu vực Châu Á [6, 7]. Đặc điểm chính của kỹ thuật này là việc thường xuyên theo dõi và điều chỉnh mực nước đồng ruộng một cách thích hợp trong suốt quá trình canh tác từ giai đoạn sạ lúa đến khi thu hoạch. Kỹ thuật tưới này đã được áp dụng vào thực tế canh tác lúa và được đánh giá là hiệu quả hơn so với các phương pháp tưới truyền thống ở một số nơi tại vùng ĐBSCL [6, 8].

Sự phát triển nhanh chóng của công nghệ IoT trong những năm gần đây đã mang lại những công cụ hiệu quả để giám sát các thông số môi trường phục vụ canh tác nông

Abstract - Due to the impacts of climate change, the problem of water scarcity is an existential threat to rice cultivation. In this paper, the authors present the design and deployment of a remote monitoring and control system for rice cultivation using the Alternate Wetting and Drying irrigation method (AWD) in Mekong Delta. The designed system is an IoT-based system providing the ricegrowers with the ability to automatically supervise environmental parameters of paddy rice fields such as air temperature and humidity, sunlight intensity, soil moisture and water level on a 24/7 basis. With the function of controlling the water pumps remotely, the designed system allows farmers to manage the irrigation of their rice fields conveniently and effectively. The research results will be further improved and optimized to be applicable to large-scale rice cultivation as well as application models of smart agriculture in Vietnam.

Key words - Rice cultivation; Internet of Things (IoT); monitoring and control; watering management; alternate wetting and drying

ng nghiệp và nuôi trồng thủy sản trên khắp thế giới [9]-[15]. Tại Việt Nam, công nghệ IoT và mạng cảm biến không dây cũng đã được nghiên cứu và ứng dụng trong lĩnh vực nông nghiệp nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất. Mặc dù vậy, một số kết quả nghiên cứu chỉ mới dừng lại ở mức độ thử nghiệm tại phòng thí nghiệm [16, 17]. Bên cạnh đó, một số sản phẩm ứng dụng IoT trong nông nghiệp cũng đã được giới thiệu trên thị trường [18]-[22], tuy nhiên, quá trình thiết kế và triển khai trong thực tiễn chưa được trình bày chi tiết.

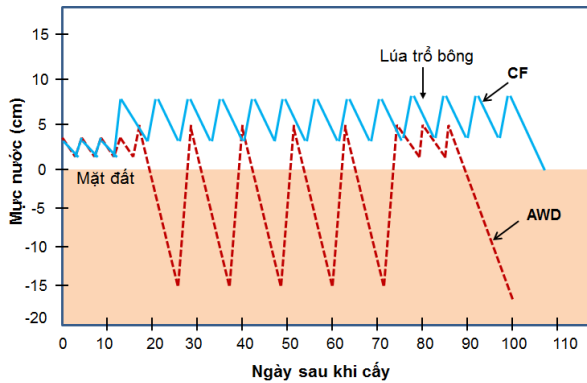
Trong bài viết này, tác giả trình bày việc thiết kế và triển khai một hệ thống giám sát và điều khiển phục vụ canh tác lúa theo kỹ thuật ướT và khô xen kẽ AWD tại Đồng bằng Sông Cửu Long. So với một số hệ thống điều khiển tưới nước đồng ruộng hiện có, hệ thống được xây dựng dựa trên cấu trúc mạng IoT cho phép người trồng lúa không chỉ có thể theo dõi mực nước đồng ruộng theo thời gian thực mà còn thu thập và lưu trữ các thông số môi trường như nhiệt độ, ẩm độ không khí, cường độ ánh sáng, độ ẩm đất bên cạnh việc điều khiển từ xa thiết bị bơm nước.

2. Canh tác lúa theo kỹ thuật ướT và khô xen kẽ

2.1. Giới thiệu phương pháp

Kỹ thuật ướT và khô xen kẽ AWD là việc thực hành quản lý tưới ruộng lúa tiết kiệm nước và giảm phát thải khí gây hiệu ứng nhà kính (greenhouse gas) trong khi vẫn duy trì được năng suất lúa. Hình 1 mô tả sự thay đổi mực nước đồng lúa trong vụ mùa với 2 phương pháp tưới ướT - khô xen kẽ AWD và tưới ngập thường xuyên (Continuous Flooding - CF). Theo phương pháp AWD, sau khi cấy khoảng 2 tuần, nước trong ruộng lúa được để cạn nước sao cho vẫn duy trì đủ lượng nước cho sự phát triển của cây

lúa. Người nông dân có thể theo dõi độ ẩm của đất và bơm nước vào ruộng lúa khi mực nước đạt mức ngưỡng (thường là 15 cm dưới bề mặt đất). Tiếp theo, ruộng lúa sẽ được bơm tưới đến mực nước khoảng 3-5 cm trên mặt đất trước khi tiếp tục để ruộng cạn nước. Chu kỳ trên có thể được tiếp tục thực hiện ngoại trừ khoảng thời gian 1 tuần trước và sau thời điểm lúa trở bông [23].

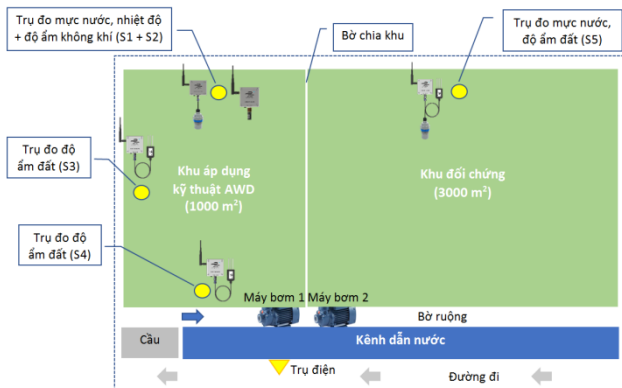


Hình 1. So sánh phương pháp tưới AWD và tưới ngập thường xuyên CF

Phương pháp tưới ướt và khô xen kẽ được Viện nghiên cứu lúa Quốc tế IRRI khuyến khích áp dụng như là một phương pháp tưới nước tiết kiệm thông minh cho ruộng lúa và đã được áp dụng tại một số quốc gia trong đó có Việt Nam. Do vậy, việc ứng dụng hệ thống giám sát và điều khiển tự động bằng công nghệ IoT vào việc canh tác lúa sẽ mang đến cho nông dân một công cụ hữu hiệu để triển khai phương pháp tưới AWD trong thực tế.

2.2. Bố trí thí nghiệm

Trong nghiên cứu này, một ruộng lúa có diện tích khoảng 4000 m² được chia thành 2 khu vực thí nghiệm: khu áp dụng kỹ thuật từ AWD và khu đối chứng. Mục đích của việc này là nhằm so sánh, đánh giá lượng nước tiêu thụ của 2 khu ruộng lúa. Hình 2 trình bày sơ đồ mô tả vị trí lắp đặt các trụ cảm biến đo đạc các thông số môi trường của ruộng lúa phục vụ thí nghiệm. Ngoài các thông số mực nước và độ ẩm đất, hệ thống cũng ghi nhận sự thay đổi của các thông số nhiệt độ, độ ẩm không khí và cường độ ánh sáng. Các thông số này sẽ được sử dụng để tham khảo trong quá trình phân tích số liệu vụ mùa.

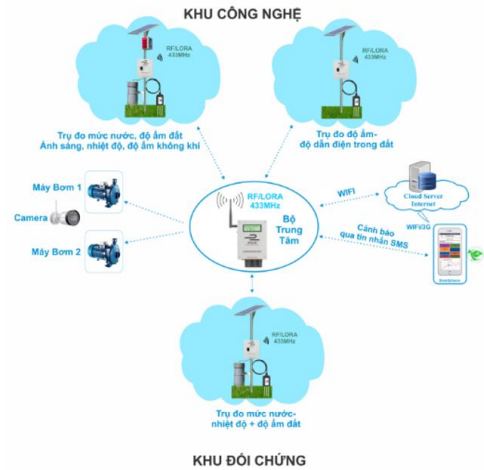


Hình 2. Sơ đồ bố trí cảm biến trên ruộng lúa

3. Thiết kế hệ thống giám sát và điều khiển

Sơ đồ nguyên lý của hệ thống giám sát và điều khiển

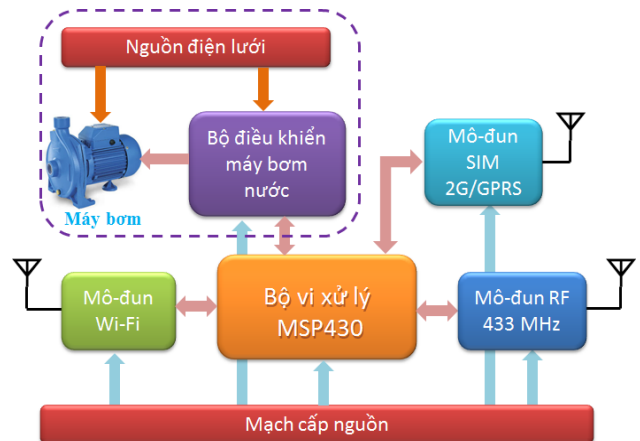
được trình bày ở Hình 3. Hệ thống được thiết kế dựa trên cấu trúc IoT và có cấu tạo bao gồm 5 thành phần chính: bộ điều khiển trung tâm, các nút cảm biến, máy chủ đám mây (Cloud server), phần mềm ứng dụng trên điện thoại thông minh và bộ điều khiển thiết bị bơm nước.



Hình 3. Sơ đồ nguyên lý hệ thống giám sát và điều khiển ứng dụng công nghệ IoT

3.1. Bộ điều khiển trung tâm

Sơ đồ khối Bộ điều khiển trung tâm được trình bày ở Hình 4. Đây là một bo mạch điện tử đóng vai trò bộ điều khiển chính của hệ thống và có cấu tạo bao gồm 01 bộ vi xử lý MSP430, 01 mô-đun truyền dữ liệu không dây theo chuẩn Wi-Fi, 01 mô-đun SIM 2G/GPRS, 01 mô-đun thu/phát sóng vô tuyến RF dải tần số 433 MHz. Mô-đun thu/phát sóng RF thực hiện việc truyền/nhận dữ liệu từ các nút cảm biến. Mô-đun truyền dữ liệu không dây được sử dụng để kết nối Bộ điều khiển trung tâm với máy chủ đám mây thông qua kết nối Wi-Fi. Bộ điều khiển trung tâm sẽ quản lý 04 nút cảm biến được lắp đặt tại các vị trí khác nhau trên đồng ruộng. Dữ liệu thu thập từ các nút cảm biến sẽ được Bộ điều khiển trung tâm truyền đến máy chủ đám mây sau mỗi phút. Thông qua mô-đun SIM 2G/GPRS, Bộ điều khiển trung tâm cũng có thể gửi các tin nhắn SMS cảnh báo đến người dùng khi một thông số môi trường nào đó vượt quá giá trị ngưỡng cài đặt trước. Ngoài ra, bộ điều khiển máy bơm nước cũng nhận tín hiệu điều khiển từ bộ vi xử lý.



Hình 4. Sơ đồ khối mạch điện Bộ điều khiển trung tâm

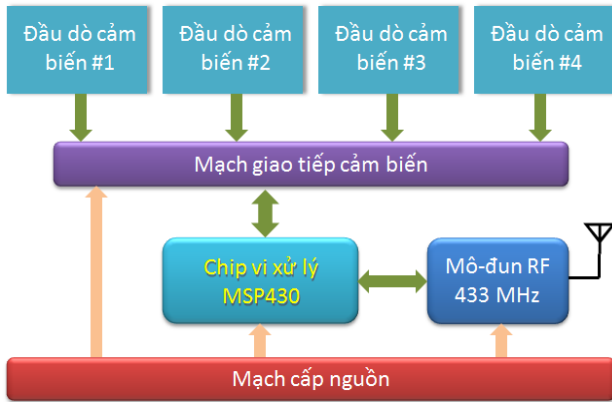
3.2. Các Nút cảm biến

Mạch điện một Nút cảm biến có cấu tạo bao gồm bộ vi xử lý, mạch giao tiếp cảm biến, các đầu dò cảm biến và 01 mô-đun thu/phát sóng RF dải tần số 433 MHz (Hình 5). Trong nghiên cứu này, chip vi xử lý được sử dụng là dòng vi điều khiển MSP430 tiêu thụ điện năng thấp do hãng Texas Instruments sản xuất [24]. Các bộ cảm biến lắp đặt tại một Nút cảm biến gồm có cảm biến đo nhiệt độ - ẩm độ không khí, cảm biến đo cường độ ánh sáng, cảm biến độ ẩm đất và cảm biến mực nước. Các thông số môi trường này sẽ được Nút cảm biến truyền về Bộ điều khiển trung tâm qua kết nối vô tuyến tần số 433 MHz. Với ăng-ten có độ lợi 2 dBi, khoảng cách truyền dữ liệu giữa Nút cảm biến và Bộ điều khiển trung tâm là khoảng 300m. Hình 6 trình bày mạch điện thực tế của Nút cảm biến. Hình 7 mô tả các bộ phận của một Nút cảm biến khi lắp đặt trên đồng ruộng. Trong hình này, các bộ phận của Nút cảm biến được đặt trong hộp bảo vệ để tránh các tác động tiêu cực của môi trường. Nguồn điện năng cung cấp cho hoạt động của Nút cảm biến được lấy từ một pin Li-ion 4,2V/4200 mAh được sạc điện từ các tấm pin năng lượng mặt trời. Dòng điện tiêu thụ trung bình của mạch điện là $I_{avg} = 21$ mA được xác định dựa trên đo đạc thực tế. Khi pin Li-ion được sạc đầy, thời gian sử dụng pin được xác định như sau:

$$T = C_{bat} \times K \times H / I_{avg} = 4200 \times 0,67 \times 0,8 / 21 = 107,2 \text{ giờ}$$

Với, C_{bat} : dung lượng pin danh định; K: hệ số dung lượng pin thực tế; H: hiệu suất của IC chuyển đổi điện áp

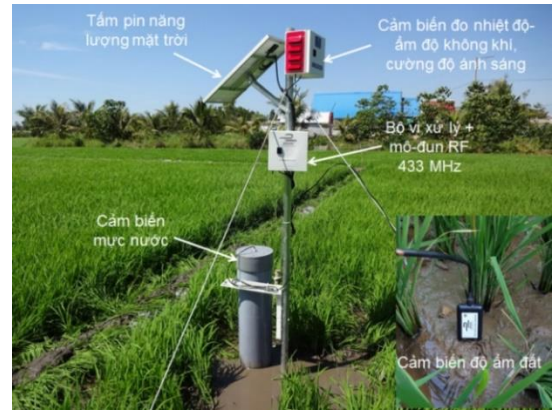
Theo đó, nguồn điện này có khả năng cấp điện cho Nút cảm biến hoạt động liên tục 3–4 ngày trong điều kiện thiếu ánh nắng mặt trời.



Hình 5. Sơ đồ khối mạch điện Nút cảm biến



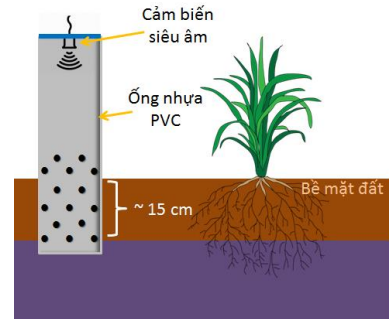
Hình 6. Mạch điện bộ xử lý chính của Nút cảm biến



Hình 7. Các bộ phận cấu thành Nút cảm biến

Hình nhỏ: Cảm biến đo độ ẩm đất

Hình 8 trình bày cấu tạo của cảm biến đo mực nước đồng ruộng. Theo đó, một bộ thiết bị thu/phát sóng siêu âm đặt trong một ống nhựa PVC được sử dụng để xác định khoảng cách từ bề mặt nước đến phần trên của ống. Khoảng cách này được tính toán dựa trên thông số vận tốc và thời gian truyền sóng siêu âm trong không khí. Độ cao của mực nước so với bề mặt đất đồng ruộng sẽ được xác định từ kết quả tính toán trên. Cảm biến đo mực nước được thiết kế để có thể theo dõi được sự thay đổi trong khoảng - 15 cm đến + 15 cm của mực nước đồng ruộng (với sai số ± 1 cm) nhằm đáp ứng yêu cầu của kỹ thuật canh tác AWD.



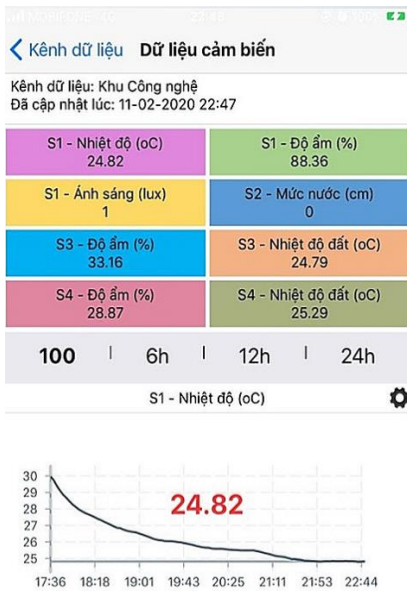
Hình 8. Sơ đồ nguyên lý đo mực nước đồng ruộng

3.3. Máy chủ đám mây

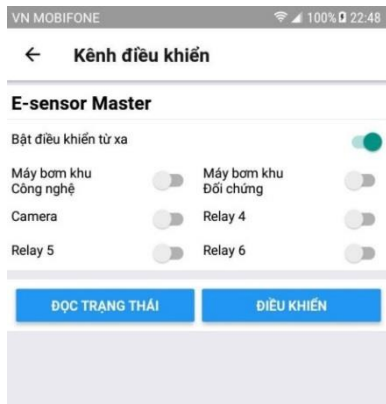
Dữ liệu thông số môi trường của đồng ruộng sẽ được gửi tới máy chủ đám mây bởi Bộ điều khiển trung tâm để lưu trữ và xử lý. Trong nghiên cứu này, hệ thống thiết kế sử dụng nền tảng IoT ThingSpeak của hãng Mathworks [25] để lưu trữ và hiển thị các số liệu đo đạc. Quá trình truyền dữ liệu từ các Nút cảm biến đến máy chủ đám mây được thực hiện theo giao thức HTTP với mã hóa AES 128 bit.

3.4. Phần mềm ứng dụng trên điện thoại thông minh

Chúng tôi đã phát triển một phần mềm ứng dụng trên điện thoại di động (hệ điều hành Android và iOS), sử dụng công cụ lập trình Android Studio [26], cho phép người dùng xem các dữ liệu lưu trữ trên máy chủ đám mây. Điều này cho phép nông dân có thể theo dõi các thông số của đồng ruộng vào bất kỳ lúc nào và bất kỳ nơi nào có kết nối internet (Hình 9). Bên cạnh việc điều khiển thiết bị bơm nước tưới tại chỗ, người dùng cũng có thể điều khiển máy bơm nước từ xa thông qua phần mềm ứng dụng này (Hình 10). Nông dân cũng có thể theo dõi quá trình bơm nước tưới ở ruộng lúa nhờ một camera được lắp đặt tại vị trí thiết bị bơm nước.



Hình 9. Giao diện hiển thị thông số đồng ruộng trên điện thoại



Hình 10. Giao diện phần mềm điều khiển thiết bị bơm nước

3.5. Bộ điều khiển thiết bị bơm nước

Bộ phận này nhận lệnh trực tiếp từ chip vi xử lý ở Bộ điều khiển trung tâm cho phép người dùng bật/tắt máy bơm nước ngay tại tủ điện Bộ điều khiển trung tâm hoặc từ phần mềm ứng dụng trên điện thoại thông minh. Máy bơm được sử dụng có công suất từ 2 đến 4 Hp tùy theo diện tích ruộng lúa. Bộ điều khiển và máy bơm được lắp đặt trong một khung kim loại để bảo vệ và che mưa nắng (Hình 11). Nghiên cứu này sử dụng 2 máy bơm riêng rẽ cho khu thí nghiệm và khu đối chứng và kết hợp sử dụng các đồng hồ đo lưu lượng nước để có thể xác định lượng nước tiêu thụ của đồng lúa sau mỗi vụ mùa.



Hình 11. Thiết bị bơm nước tưới đồng ruộng
Ảnh nhỏ: máy bơm và đồng hồ đo lưu lượng nước

4. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

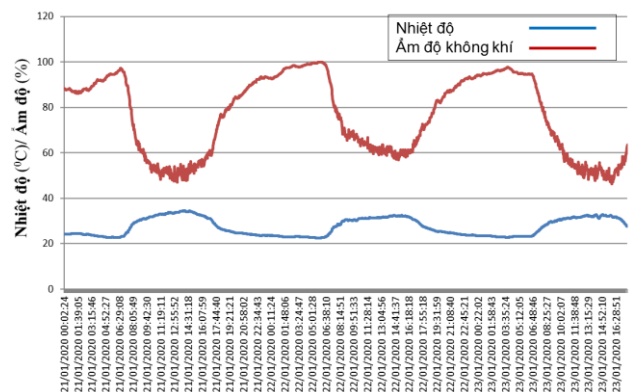
Hệ thống giám sát và điều khiển được triển khai lắp đặt tại 02 mô hình canh tác lúa theo kỹ thuật AWD tại Huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long và Thị xã Ngã Năm, tỉnh Sóc Trăng cho vụ lúa Đông – Xuân năm 2019 (Hình 12). Hình 13 trình bày hình ảnh bố trí các Nút cảm biến trên ruộng lúa thí nghiệm tại Sóc Trăng.



Hình 12. Địa điểm lắp đặt thiết bị ở ĐBSCL



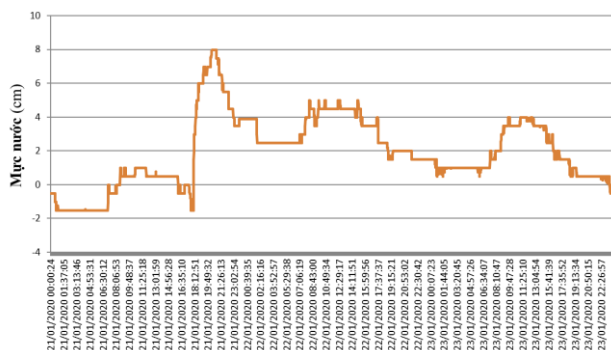
Hình 13. Các nút cảm biến lắp đặt trên ruộng lúa tại Thị xã Ngã Năm, tỉnh Sóc Trăng



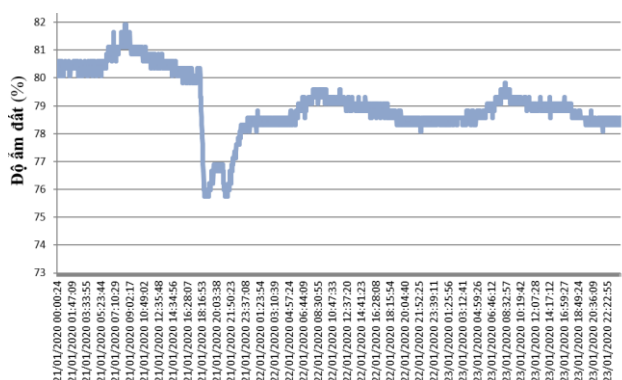
Hình 14. Số liệu đo đặc nhiệt độ - ẩm độ không khí tại ruộng lúa ở H. Long Hồ trong các ngày 21~23/01/2020

Một số đồ thị trình bày các thông số môi trường tiêu biểu như nhiệt độ, ẩm độ không khí, mực nước, độ ẩm đất tại các ruộng lúa nói trên được mô tả ở các Hình 14, 15 và 16. Qua các kết quả này, chúng ta cũng có thể thấy rõ được sự thay đổi tuần hoàn của nhiệt độ và độ ẩm không khí trong một ngày và sự thay đổi của mực nước đồng ruộng theo thời gian. Người dùng có thể sử dụng thiết bị di động truy cập vào máy chủ đám mây ThingSpeak để theo dõi các

thông số môi trường của đồng ruộng tại bất kỳ thời điểm nào. Dữ liệu thông số môi trường đồng ruộng được hệ thống lưu trữ đến 01 năm tạo điều kiện thuận lợi cho việc phân tích, đánh giá kết quả kỹ thuật canh tác qua từng vụ mùa.



Hình 15. Số liệu đo đặc mực nước tại ruộng lúa ở TX. Ngã Năm trong các ngày 21~23/01/2020



Hình 16. Số liệu đo đặc độ ẩm đất tại ruộng lúa ở TX. Ngã Năm trong các ngày 21~23/01/2020

Nhìn chung, hiệu quả của mô hình tưới khô xen kẽ (AWD) phụ thuộc vào nhiều thông số kỹ thuật, trong đó, quan trọng nhất là ẩm độ đất, mực nước đồng ruộng, ẩm độ và nhiệt độ không khí. Những thông số này liên quan đến kỹ thuật canh tác lúa như cung cấp dưỡng chất và quản lý dịch hại. Những nghiên cứu trước đây cho thấy kỹ thuật AWD có ưu điểm hơn canh tác truyền thống như tiết kiệm lượng nước tưới, giảm lượng phát thải khí nhà kính và lượng phân đạm bón cho lúa, cây lúa ít bị đổ ngã và do vậy năng suất lúa được đảm bảo. Hạn chế lớn nhất của kỹ thuật AWD là người nông dân phải tốn thời gian, công sức theo dõi mực nước trên đồng ruộng, ẩm độ đất và độ ẩm không khí bằng những dụng cụ đo đạc thủ công. Hơn thế nữa, việc đo đạc thủ công chỉ cho giá trị số liệu tại một thời điểm nhất định, không có tính liên tục cập nhật và đòi hỏi sự ghi chép cẩn thận. Đây chính là điều khó khăn đối với người nông dân.

Đối với mô hình hệ thống tưới được thiết lập trong nghiên cứu này, các dữ liệu nói trên không cần phải ghi chép thủ công và được cập nhật tự động, liên tục. Số liệu thu được là dạng chuỗi, cho phép dự đoán xu hướng thay đổi của các thông số. Điều này giúp người canh tác lúa (nông dân, trang trại) có thể đưa ra những quyết định hợp lý trong quá trình canh tác nhằm cải thiện hiệu quả sản xuất lúa. Ví dụ, khi lúa bị bệnh đạo ôn (*Pyricularia oryzae*), điều tối kỵ là để cho ruộng lúa thiếu ẩm (mực nước thấp), bởi vì khi ruộng lúa

khô sẽ làm cho quá trình khoáng hóa giải phóng lượng đạm xảy ra, cây lúa hút dinh dưỡng đạm làm lá lúa mềm, mầm cảm với nấm gây bệnh đạo ôn, bệnh trên lúa trở nên trầm trọng hơn. Lúc này, nếu không sử dụng công nghệ IoT, người canh tác lúa phải thực hiện việc đo ẩm độ đất, quan sát mực nước và đi đến quyết định điều chỉnh mực nước (độ ẩm đất) trên ruộng lúa phù hợp để hạn chế sự phát triển của bệnh đạo ôn. Nếu quá trình này diễn ra trong một thời gian nhất định sẽ tạo cơ hội cho sự khuếch tán bệnh trên ruộng lúa. Ngược lại, bằng việc ứng dụng công nghệ IoT, những thông số về độ ẩm đất, mực nước được cung cấp kịp thời và liên tục, giúp người canh tác lúa có đủ thông tin để đưa ra các quyết định phù hợp và đúng thời điểm.

Xa hơn nữa, bằng việc tận dụng ưu điểm của công nghệ IoT, các nhà nghiên cứu có thể xây dựng một ứng dụng hỗ trợ ra quyết định trong quản lý đồng ruộng. Theo đó, ngưỡng tối ưu của độ ẩm đất, mực nước đồng ruộng, dinh dưỡng, ngưỡng phun thuốc bảo vệ thực vật để kiểm soát dịch hại ở từng giai đoạn sinh trưởng của cây lúa sẽ được khuyến cáo cho người trồng lúa. Từ đó, kết hợp với điều kiện thực tế canh tác lúa của nông dân để có thể chọn những phương án tốt nhất nhằm tối ưu hiệu quả sản xuất.

5. Kết Luận

Nội dung bài viết đã trình bày việc thiết kế và triển khai hệ thống giám sát và điều khiển ứng dụng công nghệ IoT phục vụ canh tác lúa theo kỹ thuật ướt và khô xen kẽ AWD. Hệ thống được thiết kế mang đến cho người trồng lúa khả năng theo dõi các thông số môi trường tại đồng ruộng một cách thường xuyên và liên tục. Hệ thống này đã được triển khai thử nghiệm trên ruộng lúa tại 2 địa phương là Huyện Long Hồ, tỉnh Vĩnh Long và Thị xã Ngã Năm, tỉnh Sóc Trăng để giám sát các thông số nhiệt độ, ẩm độ không khí, cường độ ánh sáng, độ ẩm đất và mực nước đồng ruộng. Hệ thống cũng cho phép nông dân quản lý việc tưới tiêu ruộng lúa một cách thuận tiện và hiệu quả thông qua tính năng điều khiển thiết bị bơm nước từ xa. Trong thời gian tới, nhóm tác giả sẽ tiếp tục cải tiến và tối ưu hệ thống để có thể ứng dụng vào canh tác lúa theo cánh đồng mẫu lớn cũng như các mô hình ứng dụng nông nghiệp thông minh tại Việt Nam.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Dự án Nâng cấp Trường Đại học Cần Thơ VN14-P6 bằng nguồn vốn vay ODA từ chính phủ Nhật Bản.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] FAO. URL: <http://www.fao.org/3/i3107e/i3107e03.pdf>, truy cập ngày 18/3/2020.
- [2] Việt Nam lọt top 10 quốc gia có diện tích trồng lúa gạo lớn nhất thế giới. URL: <https://tammhin.net.vn/viet-nam-lot-top-10-quoc-gia-co-dien-tich-trong-lua-gao-lon-nhat-the-gioi-1862.html>, truy cập ngày 18/3/2020.
- [3] Monaco, F., Sali, G., Ben Hassen, M., Facchi, A., Romani, M., Valè, G., "Water Management Options for Rice Cultivation in a Temperate Area: A Multi-Objective Model to Explore Economic and Water Saving Results", *Water* 2016, 8, 336.
- [4] USAID Mekong ARCC Climate Change Impact and Adaptation Study: Summary. *Technical report*, Nov. 2013. URL: <https://bit.ly/33tsngA>, truy cập ngày 18/3/2020.
- [5] Xâm nhập mặn ảnh hưởng nghiêm trọng đến sản xuất nông nghiệp và sinh hoạt của người dân. URL: <https://congthuong.vn/xam-nhap-man-anh-huong-nghiem-trong-den-san-xuat-nong-nghiep-va-sinh-hoat-cua-nguoi-dan>

- hoat-cua-nguoi-dan-133363.html, truy cập ngày 18/3/2020.
- [6] Nguyen Hong Tin, Dang Kieu Nhan, and To Lan Phuong, “Effectiveness of alternate wetting and drying (AWD) technique rice production adapting to saline intrusion and water shortage in the Mekong Delta, Vietnam - Case study in Soc Trang Province”, The 4th International Rice Congress, Thailand, 2014, 51-52.
- [7] Allen, Justin Sander, Bjoern Ole, “The Diverse Benefits of Alternate Wetting and Drying (AWD)”. URL: <https://ccafs.cgiar.org/publications/diverse-benefits-alternate-wetting-and-drying-awd>, truy cập ngày 18/3/2020.
- [8] Hồng Minh Hoàng, Văn Phạm Đăng Trí và Nguyễn Hiếu Trung, “So sánh lượng nước và số lần tưới của các kỹ thuật tưới nước cho cây lúa: áp dụng mô hình hệ thống STELLA”, *Tạp chí Khoa học trường Đại học Cần Thơ, Phần A: Khoa học Tự nhiên, Công nghệ và Môi trường*, Số 40 (2015): 50-61.
- [9] Köksal, Ö., Tekinerdogan, B., “Architecture design approach for IoT-based farm management information systems”, *Precision Agriculture*, Vol.20, pp. 926-958, 2019.
- [10] Laxmi S, Shabadi and Hemavati B Biradar, “Design and Implementation of IoT-based Smart Security and Monitoring for Connected Smart Farming”, *International Journal of Computer Applications*, 179 (11):1-4, January 2018.
- [11] Sidhanth Kamath B., Kiran K Kharvi, Abhir Bhandary, Jason Elroy Martis, “IoT based Smart Agriculture”, *International Journal of Science, Engineering and Technology Research*, Vol. 8, Issue 4, April 2019.
- [12] Tran Anh Khoa, Mai Minh Man, Tan-Y Nguyen, Van Dung Nguyen and Nguyen Hoang Nam, “Smart Agriculture Using IoT Multi-Sensors: A Novel Watering Management System”, *J. Sens. Actuator Networks*, Vol.8, issue 45, 2019.
- [13] Muhammad Shoaib Farooq, Shamyla Riaz, Adnan Abid, Tariq Umer and Yousaf Bin Zikria, “Role of IoT Technology in Agriculture: A Systematic Literature Review”, *Electronics*, 9, 319, 2020.
- [14] Charlotte D., Philippe C. and Samuel D., “IoT for Aquaculture 4.0: Smart and easy-to-deploy real-time water monitoring with IoT”, Conference: 2018 Global Internet of Things Summit (GloTS), Bilbao, Spain, 4-7 June 2018.
- [15] Daudi S. Simbeye and Shi Feng Yang, “Water Quality Monitoring and Control for Aquaculture Based on Wireless Sensor Networks”, *Journal of Networks*, Vol. 9, No. 4, pp. 840-849, April 2014.
- [16] Hoàng Văn Thực, Phạm Thành Nam, Nguyễn Văn Cường, “Thiết kế hệ thống quan trắc nông nghiệp thời gian thực dựa trên nền tảng IoT”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Đại học Thái Nguyên*, 208(15): 111 – 116, 2019.
- [17] Nguyễn Văn Đưa, Nguyễn Hoàng Long, Phạm Đình Kha, Trịnh Thị Thương, Nguyễn Việt Cảnh, Đỗ Trọng Tấn, “Công nghệ LoRa và ứng dụng trong nông nghiệp công nghệ cao”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, Số 50, trang 27-31, 2019.
- [18] Giải pháp ứng dụng công nghệ cao trong sản xuất nông nghiệp của VNPT. URL: <https://sta.soctrang.gov.vn/tin-tuc-su-kien/giai-phap-ung-dung-cong-nghe-cao-trong-san-xuat-nong-nghiep-cua-vnpt.html>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [19] Giải pháp nông nghiệp thông minh – Hệ thống quan trắc môi trường Nông nghiệp điều khiển thiết bị và chăm phân tự động qua smartphone. URL: <https://www.nextfarm.vn/giai-phap-nong-nghiep-thong-minh-he-thong-quan-trac-moi-truong-nong-nghiep-dieu-khien-thiet-bi-va-cham-phan-tu-dong-qua-smartphone-2>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [20] Phạm Văn Bình, Nguyễn Hồng Quân, Phạm Văn Hiền, “Xây dựng nền tảng IoT (Internet of Things) cho nông nghiệp”. URL: <https://case.vn/vi-VN/26/28/534/details.case>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [21] Ứng dụng công nghệ trong thời đại công nghiệp 4.0 trong sản xuất lúa. URL: <https://binhdien.com/truyenthong/tintuc/ung-dung-cong-nghe-4-0-trong-san-xuat-lua.html>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [22] Cùng nông dân canh tác ruộng lúa trên smartphone. URL: <https://www.thesaigontimes.vn/1f/299951/cung-nong-dan-canhtac-ruong-lua-tren-smartphone.html>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [23] Siopongco, Joel & Sander, Bjoern Ole & Wassmann, Reiner. "Alternate wetting and drying in Philippine rice production: feasibility study for a Clean Development Mechanism". *Technical Report*, IRRI, 2013.
- [24] MSP430 ultra-low-power sensing & measurement MCUs. URL: <http://www.ti.com/microcontrollers/msp430-ultra-low-power-mcus/overview.html>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [25] ThingSpeak. URL: <https://thingspeak.com/>, truy cập ngày 15/02/2020.
- [26] Android Studio. URL: <https://developer.android.com/studio>, truy cập ngày 15/02/2020.

(BBT nhận bài: 23/3/2020, hoàn tất thủ tục phản biện: 25/8/2020)