

ĐIỀU KHIỂN VÀ GIÁM SÁT HỆ THỐNG TƯỚI NƯỚC TỰ ĐỘNG SỬ DỤNG MẠNG KHÔNG DÂY TRONG THỜI ĐẠI CÔNG NGHỆ IoT

LÊ THÁI HIỆP^{1*}, BÙI LIÊM TÙNG²

¹ Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

² Sinh viên Khoa Kỹ thuật và Công nghệ, Trường Đại học Quy Nhơn

TÓM TẮT

Cung cấp đủ nước theo nhu cầu sinh trưởng của cây trồng là yếu tố quyết định đến năng suất. Do đó, bài báo đề xuất cấu trúc điều khiển hệ thống tưới nước tự động theo kiểu IoT đáp ứng được yêu cầu về độ ẩm theo đặc tính sinh trưởng của cây trồng. Tại cụm cây trồng thứ i trong trang trại, các thông số về độ ẩm của đất và nhiệt độ được các cảm biến đo đạc và gửi đến mạch Arduino i. Mạch này sẽ gửi yêu cầu điều khiển đến Arduino Server qua mạng WiFi để phối hợp điều khiển tưới nước. Tất cả các Arduino kết nối với nhau qua WiFi và kết nối với các smartphone qua mạng internet hoặc mạng di động để điều khiển và giám sát từ xa. Hệ thống này cho phép người sử dụng giám sát và điều khiển quá trình tưới nước ở bất cứ nơi đâu. Kết quả của hệ thống thử nghiệm đã đáp ứng được yêu cầu về độ ẩm đất cho rau Diễn.

Từ khóa: Hệ thống tưới nước tự động, độ ẩm của đất, mạng WiFi, arduino, công nghệ IoT.

ABSTRACT

Control and Supervise Automatic Irrigation System Using Wireless Network in the Time of IoT Technology

Providing enough water to meet the growing needs of the crops is an important element that impacts on the productivity of crops. Therefore, the article suggests a control structure of the automatic irrigation system according to IoT technology to meet the moisture requirements of the growth characteristics of crops. At the ith plant cluster on the farm, the soil moisture and temperature parameters are measured and sent to Arduino i. This circuit sends control requests to the Arduino Server via a WiFi network, after that they combine to control the irrigation system. All the Arduinos connect to each other via WiFi and connect to smartphones via the Internet or the mobile network for remote control and supervision. This system allows users to supervise and control the watering process anywhere. The results of the test system have met the moisture requirements of Dicliptero chinensis (L.) Ness.

Key words: Automatic irrigation system, soil moisture, WIFI network, arduino, IoT technology.

1. Đặt vấn đề

Hiện nay nông nghiệp sạch là những vấn đề đang được nhiều người quan tâm, nhất là nông nghiệp công nghệ cao trong nhà kính đang phát triển mạnh mẽ. Trong đó chủ động điều chỉnh độ ẩm đất trong trang trại (kể cả trong nhà kính) là vấn đề quan trọng có tính quyết định đến năng suất của cây trồng [1]. Việc tưới thủ công vốn là một công việc tốn rất nhiều nhân lực mà độ ẩm thường không đúng yêu cầu kỹ thuật.

*Email: lethaihiiep@qnu.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/8/2018; Ngày nhận đăng: 18/10/2018

Xu hướng công nghệ tưới nước hiện nay đang áp dụng theo công nghệ ở Israel, gồm có các công nghệ (Hình 1): tưới thấm trong lòng lớp đất canh tác; tưới nhỏ giọt; tưới phun bụi; tưới phun văng.



Hình 1. Hình ảnh về công nghệ tưới nước

a) Tưới thấm trong lòng lớp đất canh tác; b) Tưới nước nhỏ giọt; c) Tưới phun sương; d) Tưới phun văng.

Công nghệ tưới thấm trong lòng lớp đất canh tác là công nghệ cung cấp trực tiếp nước, phân bón, không khí, kể cả thuốc bảo vệ thực vật (qua rễ) vào trong lòng lớp đất canh tác. Công nghệ này có thể đạt hiệu suất sử dụng nước xấp xỉ 100%. Công nghệ này cung cấp một chế độ tối ưu về ẩm độ và dưỡng khí để tạo ra năng suất và chất lượng sản phẩm cao nhất của cây trồng.

Công nghệ tưới nhỏ giọt cấp nước thành giọt vào vùng rễ cây. Phương thức này thường kết hợp với bón phân và thuốc bảo vệ thực vật (qua rễ). Công nghệ này có thể đạt hiệu suất sử dụng nước, phân bón rất cao. Qua đó, trực tiếp góp phần làm tăng năng suất, chất lượng cây trồng.

Theo công nghệ tưới phun bụi thì một đầu phun bụi tưới cho một diện tích cây trồng nhất định. Phương thức này có thể kết hợp thực hiện các biện pháp bảo vệ thực vật và bón phân qua lá. Công nghệ tưới phun bụi chỉ thích hợp cho canh tác trong nhà kính với mật độ gốc tương đối nhiều.

Công nghệ tưới phun văng là công nghệ tưới nước đã chiến, chủ yếu áp dụng cho các cánh đồng rộng, trồng cây với mật độ cao. Hiệu quả sử dụng nước của công nghệ này không cao như các loại hình tưới nước nêu trên.

Hiện nay đã có nhiều nghiên cứu và ứng dụng hệ thống tưới nước tự động vào trong sản xuất. Ví dụ như, hệ thống tưới phun tự động đa năng gồm một cảm biến đo nhiệt độ và một cảm biến đo độ ẩm của đất đặt tại nhà màng trồng hoa, được điều khiển bởi PLC-S7-1200 [2]. PLC điều khiển để nhận nước và tưới phun đúng 05 phút sẽ ngừng tưới, hoặc khi cảm biến báo độ ẩm hoặc nhiệt độ đã đạt yêu cầu [2]. Hệ thống này có nhược điểm lớn nhất là không thể giám sát và điều khiển từ xa. Bên cạnh đó cũng có nghiên cứu đã đề xuất hệ thống giám sát nhiệt độ và độ ẩm trong nhà kính [3]. Tuy nhiên hệ thống này chưa đáp ứng nhu cầu tưới tự động. Ngoài ra, có nghiên cứu đã thử nghiệm hệ thống tưới tự động sử dụng mạng lưới các cảm biến không dây kết nối với các thiết bị giám sát từ xa qua mạng GPRS [4]. Nghiên cứu này chưa chú trọng việc điều khiển hệ thống tưới tự động.

Chính vì vậy, cần một hệ thống đáp ứng được các yêu cầu công nghệ cao, có khả năng mở rộng tùy ý và giải phóng được người lao động khỏi vị trí làm việc.

2. Vật tư và phương pháp

2.1. Vật tư

Mạch Arduino Uno R3 bao gồm một vi điều khiển AVR với các linh kiện bổ sung giúp dễ dàng lập trình và có thể kết nối mở rộng với các mạch khác.

Module cảm biến độ ẩm đất FC-28 với phần đầu đo của cảm biến được cắm vào đất tương ứng với độ sâu có nhiều rễ của cây trồng để phát hiện độ ẩm của đất. Để đặt được thông số theo chương trình một cách linh hoạt thì cần lấy giá trị tương tự ở AO của cảm biến qua chân Analog trên Arduino.

Cảm biến nhiệt độ loại DS18B20 đo được trong phạm vi -55°C đến $+125^{\circ}\text{C}$ và có độ chính xác $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ trong phạm vi -10°C đến $+85^{\circ}\text{C}$. Cảm biến này có thể được nối thêm dây dẫn và bọc đầu bằng kim loại để bảo vệ.

Module WiFi ESP8266 có chức năng kết nối các Arduino vào mạng WiFi tạo thành một hệ thống. Module này chuẩn 802,11 b/g/n, tần số 2,4 GHz, có 3 chế độ hoạt động: Client, Access Point, cả Client và Access Point.

Router WiFi TP-Link TL-WR841N, tốc độ 300 Mbps, chuẩn không dây IEEE 802.11 b/g/n, tần số phát tín hiệu 2,4 GHz. Các router này có chức năng tạo thành một mạng WiFi để các Module WiFi ESP8266 truy cập vào.

Ngoài ra còn sử dụng modem cáp quang GPON IGATE GW040, module Sim 900A, màn hình LCD, mạch Relay, bơm nước, van điện từ, cảm biến áp suất... Module Sim 900A hoạt động ở 2 tần số: GSM EGSM 900 MHz; DCS 1800 MHz như một thiết bị đầu cuối với chức năng gọi điện thoại và nhắn tin SMS. Bài báo chọn bơm chìm để bơm nước vì loại này có độ tin cậy cao, không cần mỗi nước khi bơm.

Các thiết bị sử dụng trong hệ thống có thể thay thế tương đương tùy vào điều kiện ứng dụng.

2.2. Phương pháp

Từ các vấn đề gặp phải về việc tưới nước trong sản xuất nông nghiệp, kết hợp với công nghệ M2M (Machine to Machine) hiện nay và xu hướng công nghệ IoT (Internet of Things), bài báo đề xuất hệ thống tưới nước tự động trong nông nghiệp. Sau đó nhóm nghiên cứu chế tạo mô hình thử nghiệm và đánh giá tính khả thi của đề xuất về ứng dụng thực tế, cũng như khả năng mở rộng.

2.2.1. Cơ sở khoa học

Việc tưới nước không chỉ cung cấp nước cho cây mà còn giúp điều hòa độ ẩm và nhiệt độ của môi trường xung quanh cây trồng, qua đó tác động đến năng suất của cây. Nhiệt độ trong nhà kính hoặc trang trại sẽ giảm thấp ở nơi có nhiều hơi nước và cây trồng tươi tốt [5]. Bên cạnh đó, trong một ngày, tương ứng với lúc độ ẩm cao vào buổi tối và buổi sáng thì nhiệt độ thấp, vào buổi trưa và buổi chiều thì ngược lại [6].

Cây trồng bị thoát mất một lượng hơi nước ET_c để duy trì quá trình sinh trưởng hàng ngày (tính theo (1)). Đồng thời mặt đất cũng bị bốc hơi mất một lượng hơi nước ET nào đó trong ngày (tính theo (2)). Nếu không được cung cấp bổ sung nước thông qua tưới, hoặc mưa, hoặc sương thì độ ẩm của đất sẽ bị giảm dần.

Lượng bốc thoát hơi nước qua lá cây ET_c được xác định theo công thức sau [7]:

$$ET_c = K_c \cdot ET_o \quad (1)$$

Trong đó: ET_o – Lượng bốc thoát hơi nước cây trồng tham chiếu được tính theo công thức FAO Penman–Monteith [6]; K_c – Hệ số cây trồng.

Lượng bốc thoát hơi nước qua bề mặt đất ET được xác định theo biểu thức sau [8]:

$$ET = K \cdot ET_o \quad (2)$$

Với K là hệ số tỷ lệ, phụ thuộc vào bề mặt và độ ẩm của đất [6], [8].

2.2.2. Đề xuất hệ thống tưới tự động

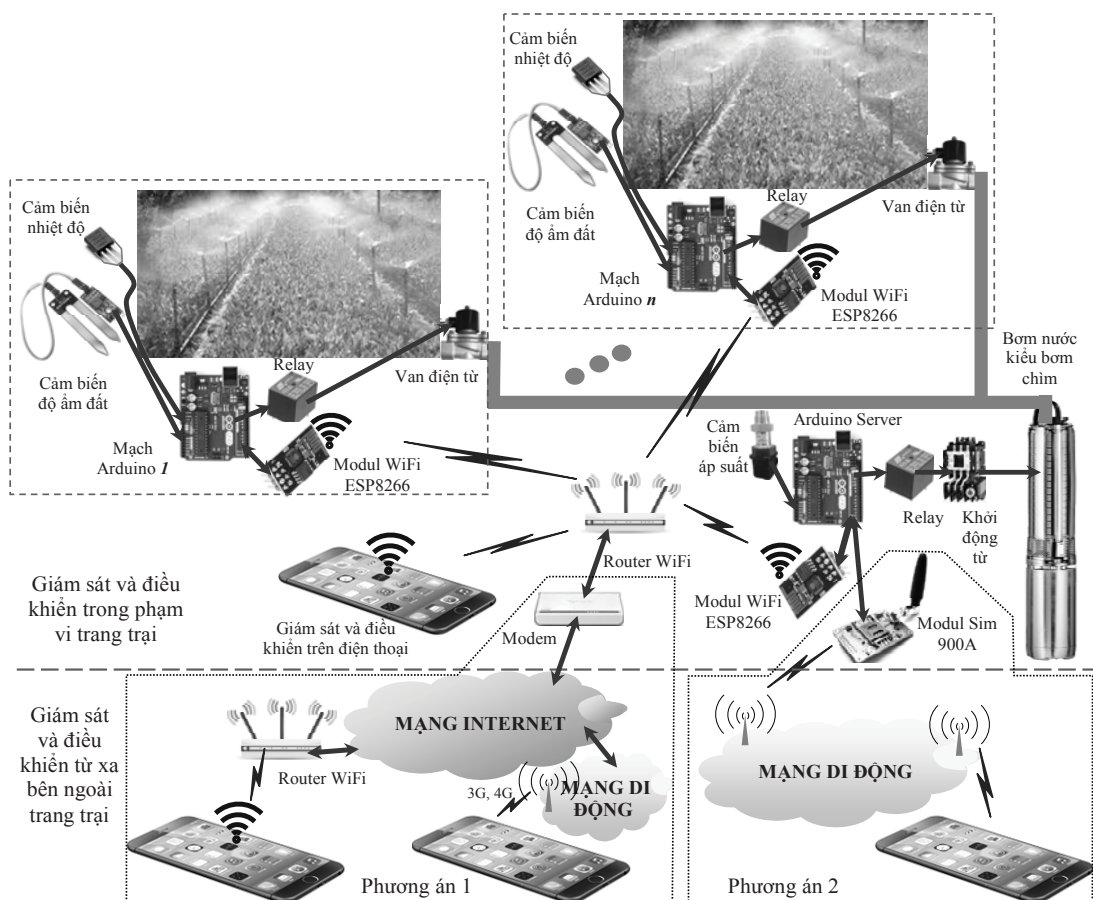
Trong một trang trại nông nghiệp rộng lớn thì nhiệt độ và độ ẩm mỗi nơi sẽ khác nhau, kể cả nhu cầu nước mỗi loại cây trồng cũng khác nhau. Ứng với mỗi loại cây trồng, người sử dụng chỉ cần đặt thông số độ ẩm yêu cầu, hệ thống sẽ tự động đáp ứng. Đây chính là yêu cầu cơ bản mà hệ thống tưới nước tự động được đề xuất trong bài báo phải đáp ứng. Cấu trúc của hệ thống tưới nước tự động được đề xuất như Hình 2, hệ này có thể áp dụng cho tất cả các công nghệ tưới hiện nay. Hệ thống ứng dụng các thiết bị kỹ thuật M2M hiện có theo xu hướng công nghệ IoT.

Ở một khu vực trong trang trại, nếu độ ẩm của đất (hoặc vật liệu trồng rau, trồng nấm... trong bài báo tạm gọi là đất) được đo qua cảm biến độ ẩm có giá trị RH_m thấp hơn giá trị đặt mức thấp RH_{min} thì mạch Arduino từng khu vực sẽ điều khiển để tưới cho cây trồng. Hệ thống sẽ tưới đến khi độ ẩm đất đạt giá trị đặt mức cao RH_{max} thì có thể xử lý theo một trong hai cách sau:

Cách thứ nhất, tiến hành dừng tưới. Cách này áp dụng với những cây trồng có phạm vi độ ẩm phù hợp hẹp.

Cách thứ hai, tiếp tục kéo dài thời gian tưới thêm để chậm tưới lặp lại. Vì khi tưới thì độ ẩm của lớp đất nông nhanh chóng đạt giá trị ngưỡng trên, nếu dừng việc tưới tại thời điểm này thì đất sẽ nhanh khô. Trường hợp này áp dụng với cây trồng có dải độ ẩm phù hợp khá rộng và có khả năng chịu ngập nước tạm thời (từ 10 đến 60 phút).

Trong trường hợp hệ thống tưới phun sương, nếu nhiệt độ đo bởi cảm biến nhiệt độ có giá trị T_m cao hơn nhiệt độ đặt T_s thì sẽ tiến hành tưới để điều hòa nhiệt độ. Nếu phun đến khi độ ẩm đạt giá trị đặt RH_{max} nhưng nhiệt độ vẫn còn cao thì phải ngừng phun. Việc hỗ trợ điều hòa nhiệt độ là yếu tố phụ, còn nhiệm vụ điều chỉnh độ ẩm đất đóng vai trò chính của hệ thống tưới.



Hình 2. Sơ đồ hệ thống tưới nước tự động

Người dùng có thể giám sát thông số trạng thái của hệ thống trên smartphone, trong phạm vi trang trại thì sử dụng WiFi, còn bên ngoài phạm vi trang trại thì thực hiện theo một trong hai phương án (như Hình 2):

- *Phương án 1*, sử dụng WiFi kết nối mạng Internet để giám sát và điều khiển, cũng có thể sử dụng mạng Internet thông qua mạng 3G hoặc 4G. Phương án này phải lắp đặt thêm modem hoặc sử dụng modem kết hợp router WiFi và phải trả cước phí sử dụng Internet.

- *Phương án 2*, sử dụng mạng di động để giám sát và điều khiển. Phương án này phải lắp đặt thêm Modul sim 900A kết nối với Aduino Server, và phải trả cước phí tin nhắn cho mạng di động. Các lệnh điều khiển cũng có thể thực hiện theo hình thức nhá máy để giảm cước phí.

Trong tương lai thì sử dụng phương án 1 là chính, phương án 2 là dự phòng. Tuy nhiên hiện nay, cước phí các dịch vụ 3G, 4G, Internet còn khá cao so với cước phí tin nhắn. Nên tạm thời phương án 2 là phương án chính cho ứng dụng ở nông thôn, vì mạng Internet chưa phổ biến ở các vùng này. Tuy nhiên, đối với khu vực thành phố thì nên sử dụng phương án 1, vì rất nhiều nơi có sẵn mạng WiFi kết nối Internet.

2.2.3. Đề xuất thuật toán điều khiển hệ thống tưới tự động

Trong hệ thống đề xuất (trên Hình 2), mạch Aduino Server điều khiển bơm đóng vai trò là mạch chủ, chi phối hoạt động chính của hệ thống. Các mạch Aduino i (với $i = \overline{1, n}$) tại các khu vực là các mạch con, có chức năng điều khiển, giám sát tại chỗ và gửi yêu cầu đến mạch Aduino Server.

Điều khiển tại hiện trường trong phạm vi trang trại: cứ mỗi khu vực (có thể chia phạm vi theo khả năng của bơm, hoặc chia theo loại cây trồng) sẽ cắm một cảm biến đo độ ẩm đất và một cảm biến nhiệt độ kết nối với một mạch Aduino. Mạch Aduino i sẽ làm việc theo chương trình đã lập trình để bật bơm nhờ truyền thông trên mạng WiFi thông qua Modul WiFi ESP8266. Bơm được bật theo lệnh từ mạch Aduino i . Đồng thời mạch Aduino i tại khu vực cũng nhận phản hồi của Aduino Server để ra lệnh mở van điện từ và dẫn nước đến các đầu phun (theo thuật toán trên Hình 3). Nếu cùng lúc có nhiều mạch Aduino tại các khu vực gửi lệnh bật bơm đến mạch Aduino Server thì thực hiện theo nguyên lý xếp hàng. Các van điện từ tại các khu vực được mở theo đúng thứ tự xếp hàng (theo thuật toán trên Hình 3).

Quá trình tưới văng được thực hiện theo một trong hai trường hợp (Hình 3):

- *Trường hợp thứ nhất*, nếu độ ẩm RH_{max} được đặt nhỏ hơn 99% thì tưới khi độ ẩm đo RH_m có giá trị thấp hơn giá trị đặt mức thấp RH_{min} và ngừng tưới khi độ ẩm đất đạt giá trị đặt mức cao RH_{max} , tương ứng với cách thứ nhất đã trình bày ở trên. Các giá trị RH_{min} và RH_{max} được cài đặt m cặp tương ứng theo từng ngày (hoặc từng giờ với cây rất ngắn ngày) phù hợp với quá trình sinh trưởng của cây trồng. Với m cài đặt bằng số ngày (hoặc số giờ) sinh trưởng của cây trồng. Nếu cây lâu năm thì đặt $m = 1$, nghĩa là ngày hôm sau có giá trị đặt như ngày hôm trước.

- *Trường hợp thứ hai*, nếu độ ẩm RH_{max} được đặt lớn hơn hoặc bằng 99% thì phải tính toán thời gian tưới t_{on} theo (3), tương ứng với cách thứ hai đã trình bày ở trên. Các giá trị RH_{min} và RH_{max} cũng được cài đặt linh hoạt phù hợp với quá trình sinh trưởng của cây trồng.

$$t_{on} = \frac{t_s \cdot T_m}{T_s} \quad (3)$$

Với t_s – thời gian được cài đặt, T_m – nhiệt độ đo được theo cảm biến nhiệt, T_s – nhiệt độ được cài đặt.

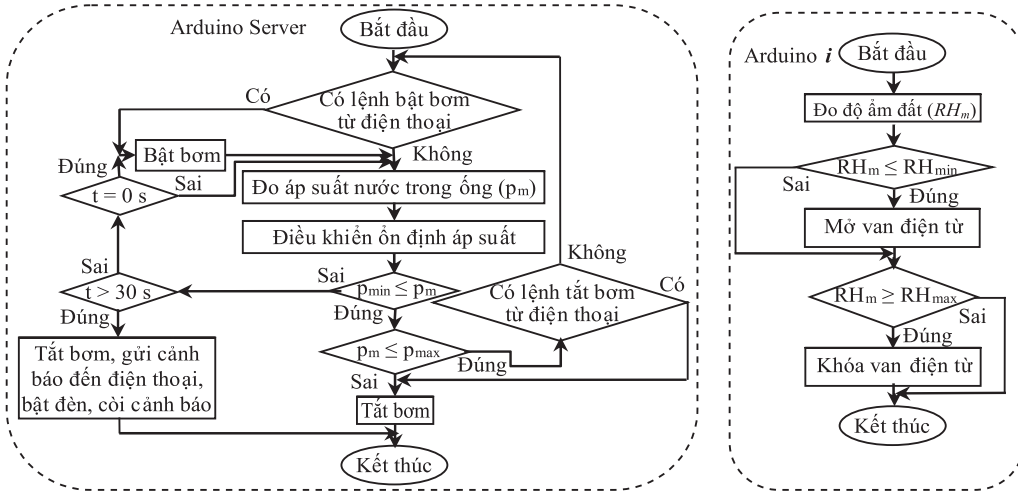

$$p_{min} \leq p_m \leq p_{max} \quad (4)$$

Trong đó p_{\min} và p_{\max} lần lượt là giá trị đặt nhỏ nhất và lớn nhất cho phép tưới.

Nếu áp dụng hệ thống theo kiểu tưới phun sương thì thuật toán cũng như tưới phun văng

Nếu áp dụng hệ thống theo kiểu tưới nhỏ giọt hoặc tưới thấm trong lòng đất thì các van điện từ thứ i được đóng mở trực tiếp bởi các Arduino i tại khu vực (như thuật toán trên Hình 4). Khi

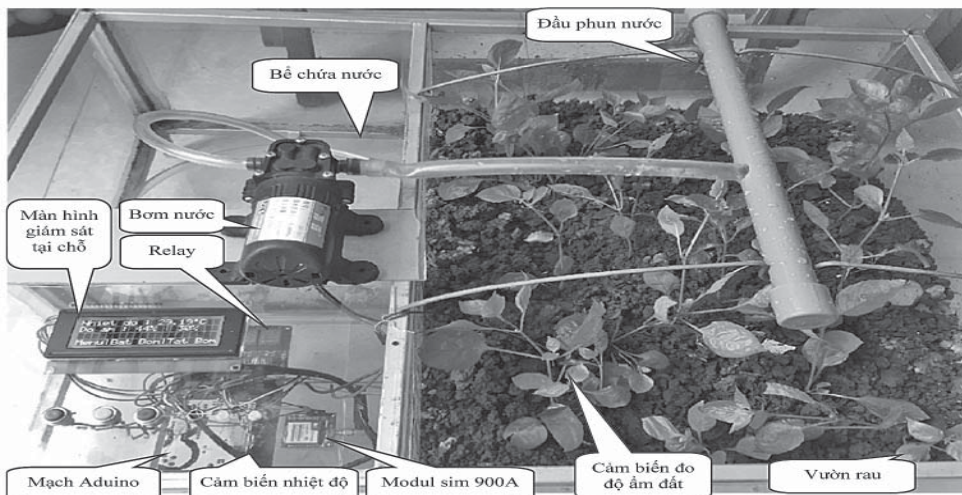
đó máy bơm có chức năng bơm điều áp cho đường ống dẫn nước chính. Khi áp suất đường ống p_m đo bởi cảm biến áp suất thấp thì Arduino Server điều khiển biến tần để bơm nhiều nước hơn để đưa áp suất về giá trị đặt mong muốn. Khi áp suất đường ống cao thì điều khiển ngược lại. Nếu giá trị áp suất đường ống đo được lớn hơn giá trị đặt p_{max} thì ngừng bơm, đây chính là lúc hệ thống không còn tưới cho khu vực nào cả. Nếu áp suất đo được p_m thấp hơn giá trị đặt p_{min} thì cảnh báo, tương ứng với trường hợp không bơm được nước.



Hình 4. Lưu đồ thuật toán điều khiển hệ thống tưới nhỏ giọt hoặc tưới thấm

2.2.4. Mô hình thử nghiệm hệ thống tưới nước tự động

Mô hình thử nghiệm được lắp đặt có cấu trúc như Hình 5. Trong mô hình thử nghiệm, việc giám sát từ xa các thông số về độ ẩm, nhiệt độ, trạng thái hoạt động của hệ thống tưới, kể cả việc điều khiển bật, tắt bơm từ xa được thực hiện trên smartphone theo phương án 2 (như trên Hình 6). Mô hình thử nghiệm được thực hiện theo phương án này nhằm đáp ứng cho các ứng dụng tại thời điểm hiện nay ở nông thôn.



Hình 5. Mô hình tưới nước tự động



Hình 6. Điều khiển hệ thống tưới nước thông qua smartphone

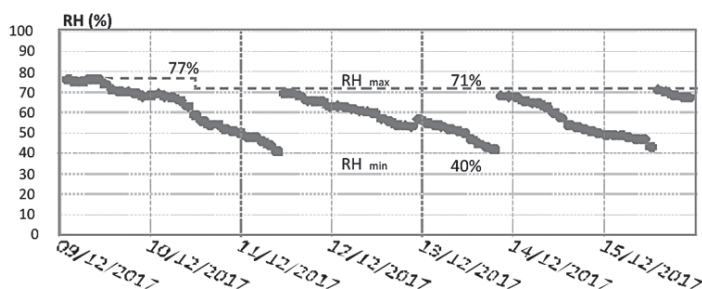
Trong mô hình này, việc điều khiển và cài đặt thông số tại hiện trường được thực hiện thông qua các nút nhấn (như Hình 7). Các hướng dẫn và thông số điều chỉnh được hiển thị trên màn hình LCD (như Hình 7). Kèm theo đó hệ thống có thông báo bằng LED: LED sáng tương ứng với đang tưới, LED tắt tương ứng với ngừng tưới.



Hình 7. Thiết lập thông số, điều khiển tại chỗ

3. Kết quả và bình luận

Trong mô hình thử nghiệm, lúc đang khảo sát thì độ ẩm giới hạn thấp RH_{min} được đặt ở mức 40%. Khi độ ẩm đất thấp hơn giá trị này thì hệ thống sẽ tự động tưới cho tới khi đạt giá trị RH_{max} . Giá trị RH_{max} ban đầu đặt ở mức 77%, đến trưa ngày 10/12/2017 thì đặt lại ở mức 71% (Hình 8). Hệ thống được thiết lập sẽ tự động thu thập dữ liệu độ ẩm theo chu kỳ 02 giờ 01 lần nhằm phục vụ cho quá trình khảo sát, đánh giá.

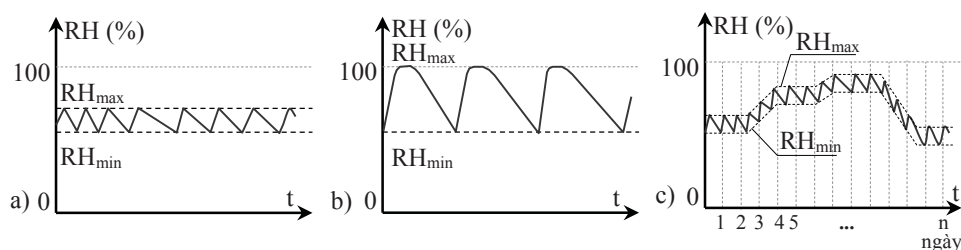


Hình 8. Đồ thị độ ẩm đo bởi mô hình thử nghiệm từ ngày 09/12/2017 đến ngày 15/12/2017

Trong quá trình thử nghiệm có những lúc hệ thống không tưới nhưng độ ẩm của đất có tăng nhẹ là do hấp thụ hơi nước trong không khí, vì mô hình được đặt ngoài trời để rau quang hợp. Rau trồng thử nghiệm là rau Diếp.

Các cây trồng thường hấp thụ nước tốt nhất trong một giới hạn được gọi là nước dễ tiêu [9]. Nếu độ ẩm thấp quá thì cây khó hút nước vì lúc này chỉ còn các phân tử nước có liên kết chặt chẽ với đất. Ngược lại, nếu độ ẩm cao quá thì ảnh hưởng xấu đến sinh trưởng của cây bởi vì lượng không khí trong đất không đủ để rễ cây hấp thụ.

Chính vì thế, có một số loại cây trồng yêu cầu phải giữ độ ẩm trong phạm vi hẹp (như Hình 9.a) thì mới sinh trưởng tốt, chẳng hạn như nấm và một số loài cây ở Bảng 1. Tuy nhiên với một số loại cây cần lúc thì phải có độ ẩm cao, sau đó phải để đất đủ khô (độ ẩm thấp) thì mới tưới lặp lại, như cây cà phê, tiêu,... (Hình 9.b). Phần lớn các loại cây lâu năm và rau đều có khả năng chịu độ ẩm 100% trong thời gian ngắn (lúc đang tưới). Bên cạnh đó có một số loại cây trồng yêu cầu phải có độ ẩm thay đổi theo quá trình sinh trưởng một cách nghiêm ngặt (như Hình 9.c).



Hình 9. Đồ thị biến thiên độ ẩm của đất thông qua tưới nước bởi hệ thống được đề xuất

- a) Giữ độ ẩm trong phạm vi hẹp; b) Giữ độ ẩm trong phạm vi rộng với $RH_{max} = 100\%$; c) Giữ độ ẩm theo quá trình sinh trưởng của cây trồng.

Bảng 1. Thông số độ ẩm, nhiệt độ phù hợp cho sinh trưởng của một số loài cây trồng

Loại cây trồng	Độ ẩm	Nhiệt độ
Nấm Linh chi đỏ	90 ÷ 95% [10]	-
Nấm sò	80 ÷ 100%	25 ÷ 35°C [11]
Nấm sò vua	70 ÷ 85%	13 ÷ 22°C [12]
Cây húng tây	50 ± 5%	24 ± 2°C [13]
Hoa hồng	75%	19 ÷ 20,5°C [14]

4. Kết luận

Hệ thống tưới nước tự động được đề xuất trong bài báo tự động thu thập các thông số nhiệt độ, độ ẩm. Từ đó hệ thống tiến hành tưới theo các số liệu đã thiết lập phù hợp với quá trình sinh trưởng của cây trồng. Đây là yêu cầu quan trọng trong nông nghiệp công nghệ cao. Đồng thời hệ thống cho phép người dùng giám sát và điều khiển từ xa trên smartphone. Nhờ đó người sử dụng có thể quản lý, chăm sóc trang trại của mình gián tiếp ở bất kỳ nơi đâu.

Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống đề xuất hoàn toàn khả thi cho ứng dụng trong thực tế. Người sử dụng chỉ cần hiểu rõ đặc tính sinh trưởng của cây trồng. Từ đó nhập các giá trị độ ẩm RH_{min} và RH_{max} thì hệ thống sẽ tự động đáp ứng đúng nhu cầu nước cho cây trồng.

Hệ thống này có khả năng ứng dụng vào thời điểm hiện tại và cả trong tương lai khi công nghệ IoT được sử dụng phổ biến. Đây là xu hướng của cuộc cách mạng công nghệ 4.0.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Leive M. Mortensen, *Effects of air humidity on growth, flowering, keeping quality and water relations of four short-day greenhouse species*, Elsevier - Scientia Horticulturae, 86, pp. 299 - 310, (2000).
2. Le Dinh Hieu, Le Van Luan, *Prospect of automatical multi function spill S7-I200 application for Mokara Orchids productivity*, The second Vietnam Conference on Control and Automation, pp. 812 - 819, (2013).
3. Phạm Mạnh Toàn, *Xây dựng hệ thống giám sát nhiệt độ, độ ẩm trong nhà kính nông nghiệp dựa trên công nghệ mạng không dây Wi-Fi*, Tạp chí KH-CN Nghệ An, Số 8, trang 9 - 12, (2016).
4. Joaquín Gutiérrez, Juan Francisco Villa-Medina, Alejandra Nieto-Garibay, and Miguel Ángel Porta-Gándara, *Automated Irrigation System Using a Wireless Sensor Network and GPRS Module*, IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. 63 (1), pp. 166 - 176, (2014).
5. Inge Sandholt, Kjeld Rasmussen, Jens Andersen, *A simple interpretation of the surface temperature/vegetation index space for assessment of surface moisture status*, Elsevier - Remote Sensing of Environment, 79, pp. 213 - 224, (2002).
6. Allen, R.G., Pereira, L.S., Raes, D., Smith, M., *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements - FAO Irrigation and drainage paper 56*, FAO, Rome, Italy, (1998).
7. Nguyễn Quang Phi, *Xác định nhu cầu nước tưới cho cây lạc bằng phương trình FAO Penman - Monteith và phương pháp hệ số cây trồng đơn*, Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường, số 46, trang 79 - 85, (2014).
8. Haofang Yan, Chuan Zhang, Hiroki Oue, Hideki Sugimoto, *Comparison of different methods for estimating soil surface evaporation in a bare field*, Springer - Meteorol Atmos Phys, 118, pp. 143 - 149, (2012).
9. Chu Thị Thom, Phan Thị Lài, Nguyễn Văn Tó, *Độ ẩm đất với cây trồng*, Nhà xuất bản Lao động, Hà Nội, (2006).
10. Vũ Thị Phương Thảo, Bùi Thị Tươi, Phạm Văn Hưng, Nguyễn Thị Hồng Gấm, *Nghiên cứu kỹ thuật nuôi trồng nấm linh chi *Ganoderma lucidum* trên thân cây gỗ*, Hội nghị KHCN tuổi trẻ các Trường Nông, Lâm nghiệp và Thủy sản, trang 1 - 5, (2016).
11. M.I. Bhatti, M.M. Jiskani, K. H. Wagan, M.A. Pathan and M.R. Magsi, *Growth, development and yield of oyster mushroom, *Pleurotus ostreatus* (jacq. ex. fr.) kummer as affected by different spawn rates*, Pak. J. Bot, 39 (7), pp. 2685 - 2692, (2007).
12. Mahbuba Moonmoon, Md. Nazim Uddin, Saleh Ahmed, Nasrat Jahan Shelly, Md. Asaduzzaman Khan, *Cultivation of different strains of king oyster mushroom (*Pleurotus eryngii*) on saw dust and rice straw in Bangladesh*, Saudi Journal of Biological Sciences, 17, pp. 341 - 345, (2010).
13. Nguyễn Thụy Phương Duyên, Hoàng Ngọc Nhung, Nguyễn Thị Quỳnh, *Nghiên cứu khả năng sinh trưởng của cây húng tây (*Thymus Vulgaris* L.) dưới tác động của một số yếu tố hóa học và vật lý của môi trường nuôi cấy*, Tạp chí Sinh học, 34 (3SE), trang 234 - 241, (2012).
14. L. M. Mortensen and H. R. Gislerød, *Effect of Air Humidity on Growth, Keeping Quality, Water Relations, and Nutrient Content of Cut Roses*, Gartenbauwissenschaft, 65 (1), pp. 40 - 44, (2000).