TẠP CHÍ
KHÍ TƯỢNG THỦY VĂN

Check for updates

Bài báo khoa học

Phát triển thử nghiệm hệ thống tưới thông minh tích hợp cảm biến IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học

Trần Thành Long[1,2]*, Nguyễn Thiện Phú[1,2], Lê Minh Huy[1,2], Lê Trọng Nhân[3,2]

[1] Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM; ttlong@hcmut.edu.vn; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.vn; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn

[2] Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh; ttlong@hcmut.edu.vn; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.vn;huy.leminh1504@hcmut.edu.vn; trongnhanle@hcmut.edu.vn

[3] Khoa Khoa học và Kỹ thuật Máy tính, Trường Đại học Bách khoa Tp. HCM; trongnhanle@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: ttlong@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–862616861

Ban Biên tập nhận bài: 22/5/2024; Ngày phản biện xong: 3/7/2024; Ngày đăng bài: 25/12/2024

Tóm tắt: Không gian xanh trường học không chỉ làm đẹp cảnh quan và tạo giá trị giải trí, mà còn giảm căng thẳng, mệt mỏi và cải thiện chất lượng không khí cho cư dân, được xem như "giải pháp dựa trên thiên nhiên" cho các thách thức xã hội và môi trường. Ngoài ra, không gian xanh còn hấp thụ nước mưa dư thừa và giảm tác động tiêu cực của các trận mưa lớn. Trong quá trình duy trì mảng xanh trong khuôn viên trường học, hầu hết công nhân chăm sóc thường dựa vào kinh nghiệm của họ để quyết định lượng nước tưới tiêu, dẫn đến việc sử dụng nước không hiệu quả cho mảng xanh và dẫn đên việc mảng xanh thường xuyên phải thay mới do ngập úng hoặc khô hạn. Do đó, nhóm nghiên cứu trong bài báo này đã phát triển thử nghiệm mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên cảm biến IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học. Kết quả cho thấy, đất cát pha để tăng độ ẩm đất thêm 1-2%, cần tưới khoảng 0,015 m (15 lít/m²) nước, trong khi tưới thường xuyên cho khu vực xanh trong đô thị với lượng nước trên 0,02 m (20 lít/m²) có thể ngập úng cho cây trồng và lãng phí nước. Hệ thống tưới tiêu tự động này có khả năng dự báo lượng nước tưới tốt và giảm thiểu lượng nước tưới đến 40% so với lượng nước quan trắc. Để cải thiện độ chính xác, cần phát triển các cảm biến độ ẩm tốt hơn và sử dụng nhiều cảm biến hơn để đánh giá toàn diện độ ẩm của khu vực xanh. Quy trình của nghiên cứu này có thể làm cơ sở cho các nghiên cứu ứng dụng tưới tiêu và sử dụng nước thông minh hiệu quả cho các khu vực xanh trong trường học và đô thị.

Từ khóa: Hydrus 1D; ANN; Tưới tiêu thông minh; Cảm biến quan trắc IoT.

1. Giới thiệu

Không gian xanh trong trường học không chỉ góp phần làm đẹp cảnh quan và tạo giá trị giải trí, mà còn đóng vai trò quan trọng trong việc giảm căng thẳng, mệt mỏi và cải thiện chất lượng không khí cho cư dân, được xem như 'giải pháp dựa trên thiên nhiên' để giải quyết các thách thức xã hội và môi trường [1, 2]. Bên cạnh đó, không gian xanh trong trường học có vai trò hấp thụ nước mưa dư thừa và giảm bớt tác động tiêu cực của các sự kiện mưa lớn [3, 4]. Tuy nhiên, việc duy trì không gian xanh trong trường học đang dần đối mặt khó khăn trong mùa khô, đặc biệt là ở các đô thị mới ở Việt Nam, do tình trạng mùa khô kéo dài từ năm 2006 đến năm 2018 [5, 6].

Trong quá trình duy trì mảng xanh trong khuôn viên trường học, hầu hết công nhân chăm sóc thường dựa vào kinh nghiệm của họ để quyết định lượng nước tưới tiêu, dẫn đến việc sử dụng nước không hiệu quả cho cho mảng xanh và dẫn đên việc mảng xanh thường xuyên phải thay mới do ngập úng hoặc khô hạn. Cỏ thường được chọn để phủ xanh các khu vực rộng lớn trong không gian xanh đô thị, bao gồm cả trường học, vì lý do thẩm mỹ và thực tiễn, mặc dù nhu cầu nước cao [7]. Ngược lại, cây cối và bụi rậm trong không gian xanh cần ít nước hơn và bóng mát của cây giúp giảm sự thoát hơi nước. Điều này làm cho việc xác định lượng nước tưới cần thiết trở nên phức tạp hơn khi kết hợp nhiều loại thảm thực vật khác nhau [8]. Đồng thời, với phương pháp tưới phun truyền thống, lượng nước tiêu thụ để tưới thường cao hơn so với nhu cầu ước tính của không gian xanh [9, 10]. Do đó, việc xây dựng hệ thống tưới nước hiệu quả cho không gian xanh đô thị, đặc biệt là trong trường học, là điều cần thiết để tạo điều kiện tiên quyết cho sự phát triển bền vững ở các đô thị mới.

Nước tưới tiêu hợp lý có thể được xác định thông qua việc đo độ ẩm đất bằng cảm biến. Bằng cách sử dụng cảm biến nông nghiệp, người nông dân có thể theo dõi độ ẩm đất của cây trồng cho từng loại cây và đưa ra quyết định tốt hơn về việc tưới nước cho nông trại của họ [11]. Hơn nữa, quản lý tối ưu hóa của tài nguyên nước có sẵn tại mức nông trại là cần thiết do sự gia tăng về nhu cầu và tài nguyên hạn chế. Nguồn cung cấp nước hạn chế nên được sử dụng một cách hiệu quả để tưới tiêu nhiều khu vực hơn với lượng nước tương tự [12].

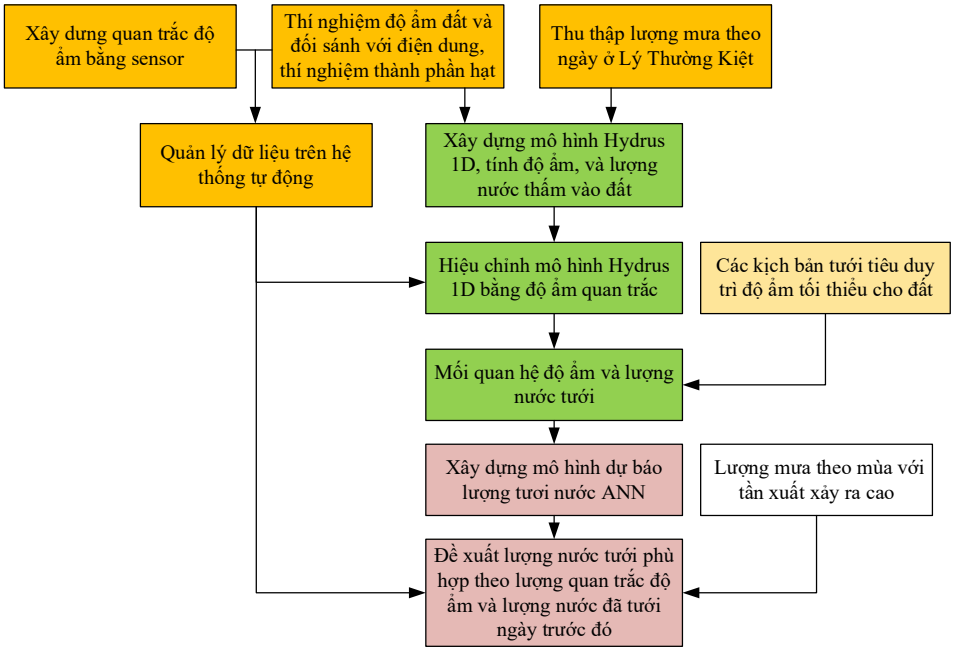
Goap và nhóm nghiên cứu [13] phát triển một hệ thống tưới thông minh dựa trên IoT và học máy. Hệ thống sử dụng dữ liệu cảm biến (độ ẩm đất, nhiệt độ đất, tia UV) và dự báo thời tiết (lượng mưa, nhiệt độ không khí) để dự đoán độ ẩm đất và xác định nhu cầu tưới. Thuật toán lập lịch tưới sẽ điều khiển tưới tự động khi độ ẩm đất dưới ngưỡng tối thiểu, đảm bảo cây trồng luôn có đủ nước. Nghiên cứu [14] đã thực hiện một mô hình kiểm soát tưới tiêu bằng cách phát hiện thiếu nước đất trong vùng gốc (RZSMD) bằng cách sử dụng khái niệm về thời gian thực, và để làm điều này, tác giả đã sử dụng hệ thống xác định dữ liệu cân bằng nước để lấy một mô hình chuỗi thời gian tuyến tính. Nghiên cứu [15] đã đề xuất một hệ thống dự đoán độ ẩm đất cho một vườn lựu bằng cách sử dụng mô hình *Deep Long Short-Term Memory* (LSTM), đó là một mô hình chuỗi thời gian tuyến tính sử dụng xử lý tuần tự theo thời gian. Nghiên cứu [16] đã phân tích khả năng chấp nhận hệ thống tưới tự động trong canh tác lúa thông minh ở Đồng bằng sông Cửu Long. Mặc dù những mô hình này cho phép kiểm soát tưới tiêu tốt hơn nhưng hệ thống phụ thuộc vào cảm biến độ ẩm đất đắt tiền và giới hạn trong bộ số liệu mà nó cần được hiệu chuẩn.

Để quản lý tài nguyên nước cho khu vực cảnh quan xanh trong trường học một cách hiệu quả, duy trì độ ẩm đất phù hợp thông qua cảm biến độ ẩm đất là rất quan trọng. Bài báo này tập trung vào phát triển một mô hình hệ thống tưới tiêu tích hợp tự động dựa trên cảm biến quan trắc IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong một trường học, đảm bảo rằng việc tưới nước đáp ứng đủ nhu cầu nước một cách hiệu quả. Mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo có thể giúp đưa ra lượng nước tưới tiêu tối ưu và lịch trình tưới tiêu phù hợp với thời tiết theo mùa. Hệ thống này sử dụng dữ liệu thời tiết và kết hợp với lượng độ ẩm đất từ sensor quan trắc giá rẻ là một trong các thông tin đầu vào của nó, cho phép nó ra quyết định dựa trên tình hình thời tiết hiện tại về thời gian và lượng nước tưới tiêu phù hợp. Bên canh đó, vơi mô hình tích hợp này bộ số liệu để huấn liệu sẽ Sự tích hợp dữ liệu thời tiết vào hệ thống tưới tiêu giúp tiết kiệm tài nguyên nước bằng cách tránh tưới tiêu không cần thiết trong những giai đoạn có mưa hoặc độ ẩm cao, từ đó góp phần vào việc quản lý tài nguyên nước bền vững.

2. Số liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này tập trung vào việc xây dựng một mô hình hệ thống tưới tiêu tích hợp tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học, nhằm đảm bảo việc tưới nước hiệu quả và đáp ứng đúng nhu cầu về nước. Quy trình nghiên cứu bắt đầu bằng việc sử dụng Arduino để xây dựng hệ thống quan trắc độ ẩm tự động, theo dõi độ ẩm đất một cách liên tục và chính xác. Tiếp theo, nghiên cứu xây dựng mô hình thấm đất 1D theo mô hình Hydrus để mô phỏng và tìm hiểu mối quan hệ giữa độ ẩm đất, lượng mưa và nhu cầu tưới tiêu. Dựa trên mô

hình thấm đã hiệu chỉnh Hydrus, nhóm nghiên cứu xây dựng dữ liệu kịch bản tưới tiêu phù hợp để huấn luyện trí tuệ nhân tạo nhằm tối ưu hóa việc sử dụng nước. Cuối cùng, nhóm nghiên cứu tích hợp mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo. Hệ thống này tính toán lượng nước phù hợp cho không gian xanh dựa trên độ ẩm, lượng nước tưới và lượng nước mưa mà mảng xanh đã hấp thụ ngày hôm trước. Hệ thống đảm bảo việc tưới nước diễn ra với lượng nước tối ưu và lịch trình tưới tiêu phù hợp với điều kiện thời tiết hiện tại và theo mùa. Thông qua quy trình này, nghiên cứu nhằm quản lý tài nguyên nước hiệu quả cho các khu vực cảnh quan xanh trong trường học, duy trì độ ẩm đất ở mức phù hợp và góp phần vào sự phát triển bền vững.



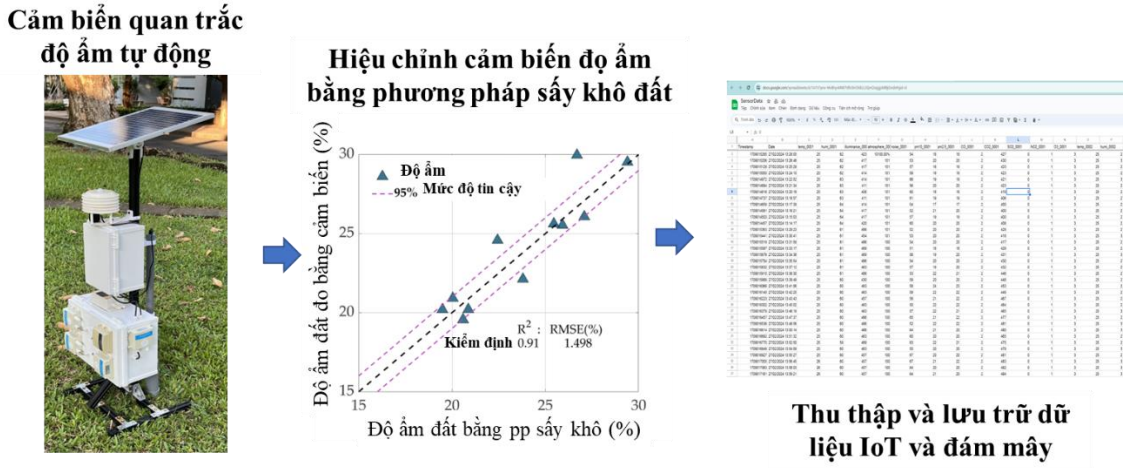
Hình 1. Sơ đồ quy trình nghiên cứu.

2.1. Số liệu sử dụng

Nghiên cứu được thực hiện tại khu vực xanh trong khuôn viên trường Đại học Bách Khoa Thành phố Hồ Chí Minh (HCMUT), Việt Nam, nơi có loại đất cát pha sét (Hình 2) khu vực này bao gồm cỏ và cây lâu năm. Hệ thống tưới tự động được cài đặt để hoạt động hai lần mỗi ngày với tỉ lệ 6-22 lít/m²/ngày. Lượng mưa được quan trắc thông qua thiết bị tự ghi tại Trung tâm Nghiên cứu và Phát triển Kỹ thuật Môi trường (*CARE-HCMUT*). Độ ẩm đất được quan trắc trong khoản thời gian 27/02 - 31/03/2024. Độ sâu giám sát độ ẩm đất là 20cm dưới bề mặt, nơi mà tình trạng độ ẩm của đất nằm trong vùng rễ quan trọng của cỏ. Hiệp hội Golf Hoa Kỳ (USGA) [17] cũng như [18] khuyến nghị độ ẩm đất của mảng xanh nên nằm trong khoảng từ 15-25% theo thể tích để cỏ phát triển tốt nhất. Độ ẩm đất quan trắc từ cảm biến được hiệu chỉnh với độ ẩm đất đo được bằng phương pháp sấy khô. Cảm biến bao gồm hai phần: phần cảm biến và phần ghi nhận. Phần cảm biến bao gồm một bảng mạch Arduino, mô-đun độ ẩm đất, và cảm biến độ ẩm đất. Bộ thiết bị IoT được vận hành tự đông bằng nguồn năng lượng từ tấm pin mặt trời và sử dụng công nghệ NB-IoT (*Narrow-band Internet of Things*), như được minh họa trong Hình 3. Mỗi 10 phút, thiết bị ghi lại và gửi dữ liệu cảm biến đến máy chủ, bao

Hình 2. Sơ đồ bố trí vị trí quan trắc độ ẩm phục vụ tưới tiêu cho khuôn viên xanh trường ĐHBK- TpHCM.

gồm 24 cột thông tin bao gồm thời gian, nhiệt độ môi trường, độ ẩm, điều kiện đất… và tình trạng cung cấp điện cho thiết bị.



Hình 3. Thiết bị quan quắc độ ẩm bằng cảm biến IoT.

2.2. Mô hình thấm đứng Hydrus 1D

Để mô phỏng dòng thấm đứng, nhóm tác giả đã sử dụng mô hình Hydrus 1D để mô phỏng dòng chảy ngầm và sự thay đổi độ ẩm trong đất.Dòng chảy thấm theo phương thẳng đứng trong đất (đồng nhất và cân bằng) được xác định bởi phương trình Richards như sau [19]:

$$\frac{\delta\theta}{\delta t} = \frac{\delta}{\delta z}\left[K\left(\frac{\delta h}{\delta z} + \cos\alpha\right)\right] - S(h) \tag{1}$$

Trong đó h là áp lực cột nước trong đấy (m); θ là độ ẩm đất (m^3/m^3); t là bước thời gian tính toán (ngày); x là tọa độ không gian (mang dấu dương khi hướng lên); S là lượng nước thêm vào/mất đi trên một đơn vị thể tích (*sink/ source term*) (m^3/m^3 .ngày); α là góc được tạo bởi dòng chảy NDĐ và trục thẳng đứng (α=0º đối với dòng chảy thẳng đứng, 90º - dòng chảy ngang, và 0º < α < 90º - dòng chảy nghiêng); K là hệ số thấm chưa bão hòa (m/ngày).

Trong nghiên cứu này, điều kiện biên đầu vào được thiết lập là điều kiện biên khí quyển (*Atmospheric boundary*) bao gồm lượng mưa, lượng tưới tiêu, độ bốc hơi. Điều kiện biên đầu ra cho dòng chảy thẳng đứng ở độ sâu 40 cm được đặt là biên dòng chảy tự do (*Free flow boundary*). Hình 4 minh họa các điều kiện biên của mô phỏng thấm qua Hydrus 1D. Ngoài ra, thông số thủy văn của đất, cũng như tương quan giữa hệ số thấm chưa bão hòa K(h) và độ ẩm θ(h) được xác định bởi sự phân bố kích thước lỗ rỗng, các biểu thức độ ẩm θ(h), hệ số nhả nước theo chiều cao cột nước $S_e(h)$, và hệ số thấm K(h) sử dụng trong nghiên cứu này được áp dụng bằng phương trình Van Genuchten [19].

$$K(h) = K_S S_e^{1/2}\left[1-\left(1-S_e^{1/m}\right)^m\right]^2 \tag{2}$$

$$\theta(h) = \begin{cases} \theta_r + \frac{\theta_s-\theta_r}{[1-|\alpha h|^n]^m} & h < 0 \\ \theta_s & h \geq 0 \end{cases} \tag{3}$$

$$S_e = \frac{\theta-\theta_r}{\theta_S-\theta_r} \tag{4}$$

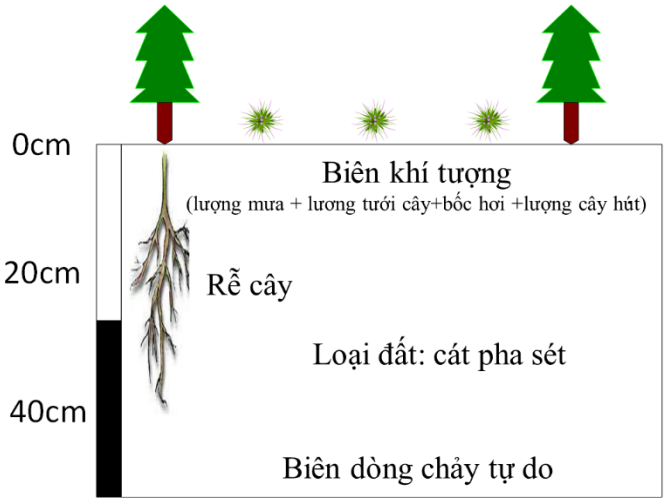
Lời giải của phương trình (1) là (dh/dx) và độ ẩm θ tại mỗi dx trên mặt cắt đất. Thay dh/dx vào định luật Darcy, lưu lượng Darcy (q) theo phương trình sau:

$$q_i = -K\frac{dh}{dx} \tag{5}$$

Khi đó, vận tốc nước qua lỗ rỗng được xác định:

$$v_i = \frac{q_i}{\theta} = -\frac{K}{\theta}\frac{dh}{dx} \tag{6}$$

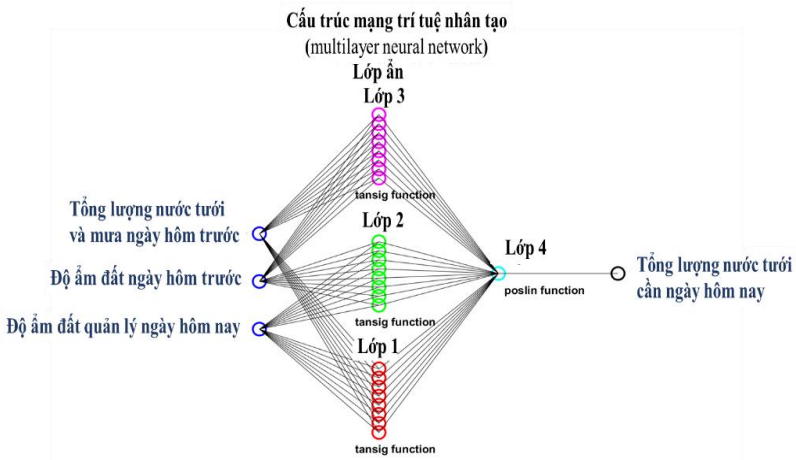
Các tham số mô hình Van Genuchten điển hình bao gồm độ ẩm đất tồn dư (θ_r) từ 0,03-0,1, độ ẩm đất bão hòa (θ_s) từ 0,37-0,41, K_s = 1,06 m/day, α từ 0,021-0.035 và n từ 1,31-2,39, được tham khảo từ cơ sở dữ liệu UNSODA [20] và được hiệu chỉnh bằng cách mô hình hóa ngược để khớp dữ liệu độ ẩm đất mô phỏng với dữ liệu quan trắc thực tế trong thực địa.



Hình 4. Sơ đồ xây dựng mô hình Hydrus 1D.

2.3. Mô hình mạng trí tuệ nhân tạo

Để xây dựng mô hình mạng Nơ-ron nhân tạo (ANN) nhằm dự đoán lượng nước tưới tiêu cho khu vực xanh, tác giả đã lựa chọn cấu trúc ANN với 3 đầu vào, 3 lớp ẩn, và 1 lớp đầu ra. Các lớp ẩn có chức năng xử lý và học mối quan hệ giữa các dữ liệu đầu vào. Các dữ liệu đầu vào gồm độ ẩm của ngày hôm trước, độ ẩm mục tiêu trong ngày hiện tại, và lượng nước tưới của ngày hôm trước. Số nơron trong các lớp ẩn được xác định qua quá trình thử nghiệm từ 4 đến 8. Các thông số khác của mô hình được diễn giải như sau: Số lượng nơron trong mỗi lớp ẩn: 8; Số lượng nơron trong lớp đầu ra: 1; Hàm kích hoạt: tansigmoid; Tốc độ học: 0.001; Bộ tối ưu hóa: Levenberg-Marquadt; Hàm mất mát: MSE; Số lần lặp tối đa: 10,000; Các kỹ thuật sử dụng: Dừng sớm (Early Stopping), Regularizer. Hình 5 trình bày cấu trúc của mạng Nơ-ron nhân tạo (ANN).



Hình 5. Cấu trúc mạng trí tuệ nhân tạo được xây dựng để dự báo lượng nước cần tưới tiêu trong khuôn viên trường.

2.4. Phương pháp đánh giá sai số

Để đánh giá độ tinh cậy của kết quả tính toán, tác giả sử dụng các chỉ số sau: Căn bình phương trung bình sai số (RMSE), và hệ số tương quan (R^2). Các chỉ số này được tính toán theo các công thức dưới đây. Mô hình tính toán được xem là chính xác khi R^2 gần bằng 1 và các sai số có giá trị nhỏ.

$$\mathrm{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_i\right)^2} \tag{7}$$

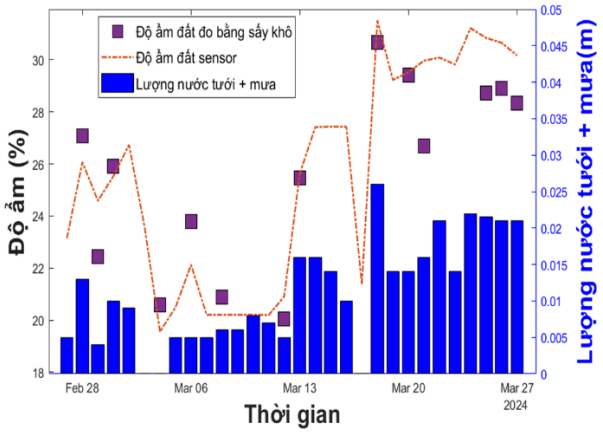
$$R^2 = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - y_i\right)^2}{\sum_{i=1}^{n}\left(y_i - \overline{y}\right)^2} \tag{8}$$

Trong đó n là tổng số quan trắc, y_i là giá trị quan trác thứ i, $\hat{y}_i$ là giá trị mô phỏng tương ứng thứ i, và $\overline{y}$ là giá trị trung bình của n quan trắc.

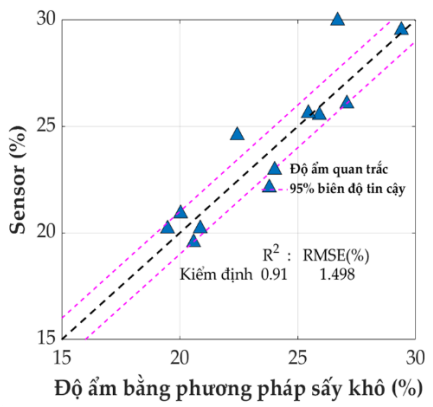
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả quan trắc độ ẩm và lượng tưới tiêu

Kết quả đo lường độ ẩm tự động đã được điều chỉnh bằng phương pháp sấy khô. Kết quả cho thấy mô hình có độ tin cậy cao với chỉ số R^2 và sai số RMSE chỉ 1,5%, cho thấy rằng máy cảm biến độ ẩm tự động mang lại kết quả đáng tin cậy và có thể được áp dụng trong các hoạt động tưới cây thực tế (Hình 6). Ngoài ra, độ ẩm cũng tương quan với lượng nước cần tưới cây trong khu vực nghiên cứu. Việc tưới cây thường xuyên diễn ra vào cuối tháng 3, đảm bảo độ ẩm đất duy trì khoảng 30%, trong khi vào cuối tháng 2, các hoạt động như kết thúc học kỳ và lễ tết có thể ảnh hưởng đến lịch trình tưới cây. Dựa trên các kết quả này, độ ẩm đo lường sẽ được điều chỉnh và so sánh với kết quả mô hình Hydrus 1D trong phần tiếp theo của nghiên cứu.



a) Quan trắc độ ẩm từ 27/2-31/3/2024



B) Hiệu chỉnh độ ẩm với phương pháp sấy khô

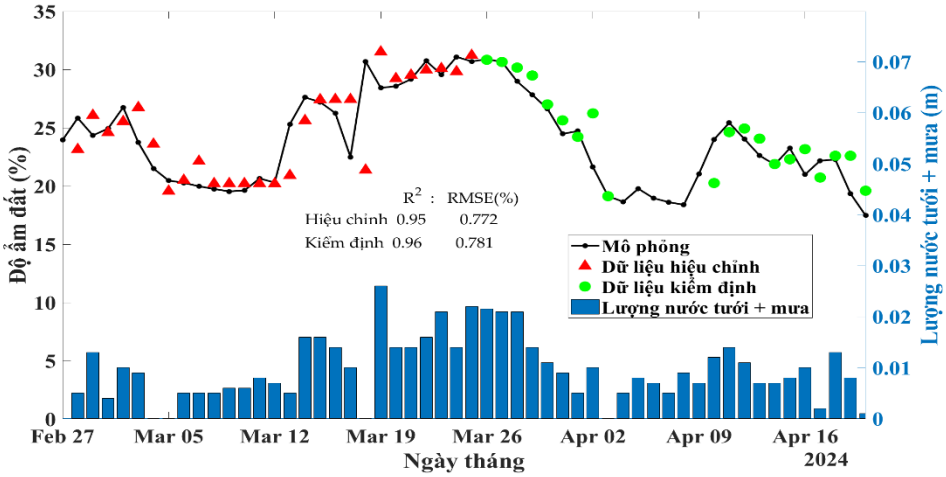
Hình 4. Kết quả quan trắc từ máy cảm biến tự động.

3.2. Hiệu chỉnh mô hình Hydrus1D và xây dựng số liệu tưới cây

Hình 7 thể hiện kết quả hiệu chỉnh mô hình Hydrus 1D. Kết quả tính toán cho thấy sự chính xác của mô hình, với số liệu độ ẩm cần với số liệu quan trắc. Hệ số tương quan R^2 của các bước hiệu chỉnh và bước kiểm định lần lượt là 0,95 và 0,96. Sai số bình phương trung bình căn (RMSE) cũng cho kết quả thấp, lần lượt là 0,772 và 0,781. Độ ẩm tính toán này này đồng thời cho thấy độ ẩm đất có sự tương quan chặt chẽ với lượng nước tưới trong suốt 54 ngày quan trắc.

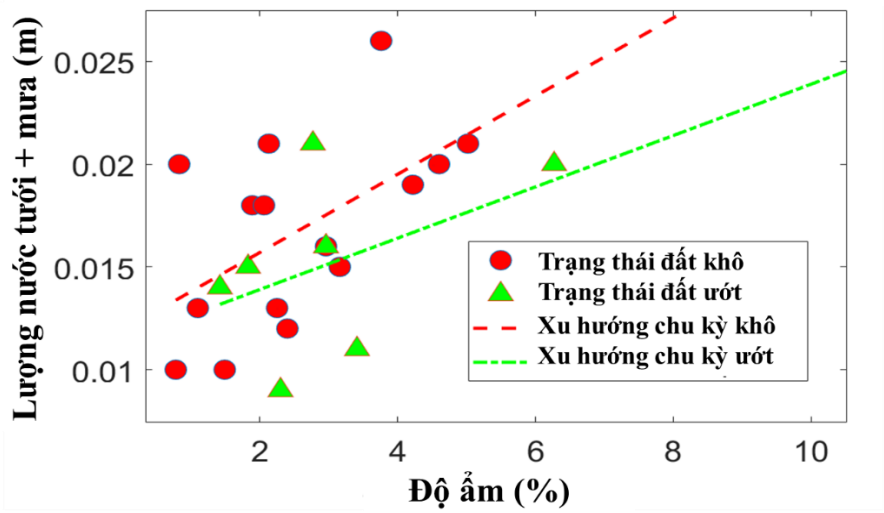
Từ số liệu quan trắc, ta có thể nhận thấy rằng độ ẩm của đất sẽ giảm khoảng 1% mỗi ngày nếu việc tưới nước bị đình trệ trong thời gian dài. Điều này cho thấy rằng nếu không tưới nước đều đặn, độ ẩm đất sẽ giảm nhanh chóng. Ngoài ra, để khôi phục độ ẩm từ 15% lên 20%, cần sử dụng một lượng nước lớn hơn bình thường. Việc tưới cây đều đặn với lượng 0,01 m/m², tương đương 10 l/m², sẽ giúp duy trì độ ẩm hiện có của đất và ngăn ngừa sự mất

nước do bốc hơi trong điều kiện nắng nóng. Tuy nhiên, khi độ ẩm đất đã đạt 30%, việc tưới cây thường xuyên sẽ không làm tăng thêm độ ẩm mà còn gây lãng phí nước, thậm chí có thể làm ngập úng rễ cây, gây ảnh hưởng xấu đến sự phát triển của mảng xanh.



Hình 5. Kết quả hiệu chỉnh tính toán độ ẩm đất từ mô hình Hydrus1D.

Hình 8 minh họa mối quan hệ giữa độ ẩm của đất và lượng nước tưới. Kết quả cho thấy, khi đất khô đi, tức là độ ẩm giảm so với ngày hôm trước, cần lượng nước tưới nhiều hơn so với khi đất còn ẩm. Cụ thể, để tăng độ ẩm của đất thêm 1-2%, cần tưới khoảng 0,015 m (tương đương 15 lít/m²) nước. Tuy nhiên, nếu tưới thường xuyên với lượng nước trên 0,02 m (20 lít/m²), độ ẩm của đất không những không tăng mà còn có thể gây hại cho cây trồng và lãng phí nước. Kết quả này cho thấy lượng nước thấm đứng vào lớp đất tương đồng với nghiên cứu [21] cho thấy khả năng tưới nước để tăng độ ẩm của đất ở trạng thái ướt và khô là tương tự. Điều này khẳng định rằng việc tưới tiêu thường xuyên với lượng nước phù hợp sẽ giữ cho đất luôn ẩm và hiệu quả hơn so với việc để đất khô rồi tưới hoặc tưới thường xuyên với lượng nước cố định. Điều này có ý nghĩa vì vào mùa mưa, đất khô sẽ dễ dàng hấp thụ lượng nước mưa nhiều hơn, giúp giảm thiểu dòng chảy tràn.

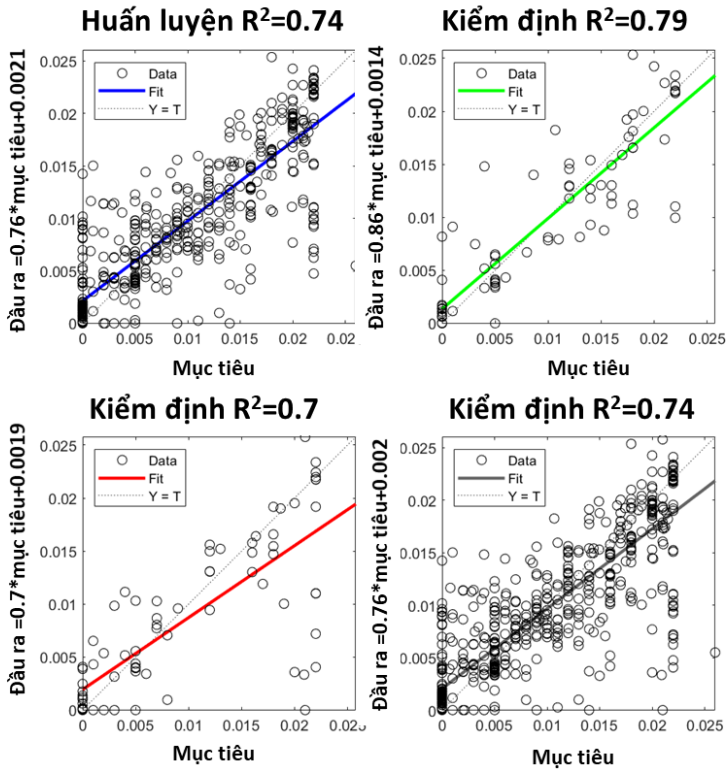


Hình 8. Tương quan độ ẩm và lượng nước tưới.

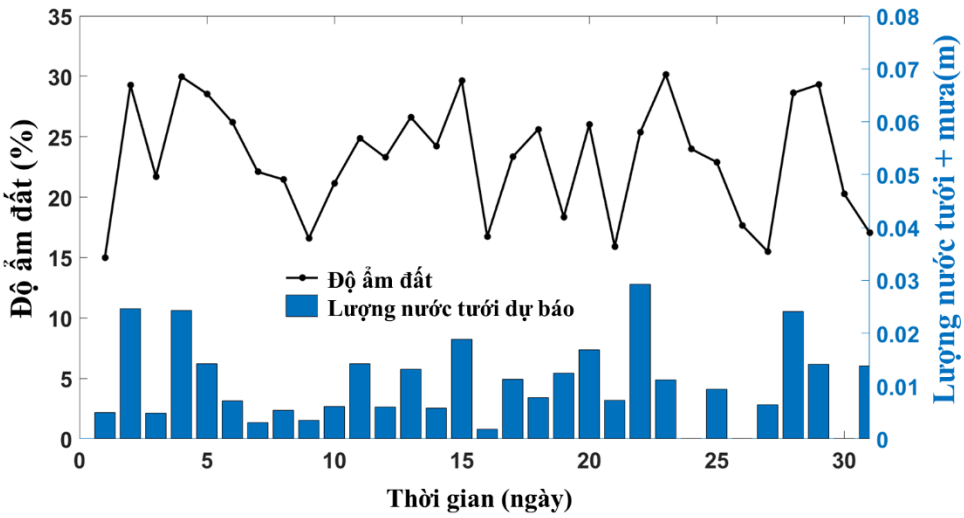
3.3. Xây dựng mô hình mạng trí tuệ (ANN) dự báo lượng nước tưới cần thiết

Từ kết quả mô hình Hydrus 1D, nghiên cứu đã xây dựng các kịch bản tưới để đảm bảo độ ẩm đất không nằm dưới độ ẩm cực tiểu của độ ẩm quan trắc được là 15% và cũng theo khuyến nghị của Hiệp hội Golf Hoa Kỳ (USGA) cũng như kết quả nghiên cứu [18]. Sau đó, nghiên cứu xây dựng bộ số liệu đầu vào cho mô hình mạng nơron nhân tạo (ANN) với các số liệu độ ẩm đầu vào là độ ẩm của ngày hôm trước, độ ẩm mục tiêu trong ngày hiện tại, và lượng nước tưới của ngày hôm trước. Hình 9 cho thấy kết quả học của mô hình ANN có biểu

hiện tốt khi R^2 xấp xỉ 0,8. Hình 10 nghiên cứu đã tiến hành thử nghiệm cho mô hình ANN tự tính toán lượng nước tưới cho mảng xanh trong 30 ngày. Kết quả cho thấy máy học có khả năng dự báo lượng nước tưới tiêu tốt và giảm thiểu lượng nước tưới đến 40% so với lượng nước đã quan trắc được.



Hình 6. Kết quả học và kiểm đỉnh của mô hình Trí tuệ nhân tạo (ANN).



Hình 7. Lượng nước tưới dự báo bằng mạng nơron để suy trì độ ẩm trên 15%.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã thành công phát triển một mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên cảm biến quan trắc IoT và trí tuệ nhân tạo cho các khu vực xanh trong trường học, đảm bảo việc tưới nước đáp ứng đủ nhu cầu một cách hiệu quả. Thông qua số liệu quan trắc và mô hình Hydrus 1D, tương quan giữa độ ẩm và lượng nước tưới đã được làm rõ. Cụ thể, để tăng độ ẩm của đất

thêm 1-2%, cần tưới khoảng 0,015 m (15 lít/m²) nước, nhưng nếu tưới thường xuyên với lượng nước trên 0,02 m (20 lít/m²) có thể gây hại cho mảng xanh trong trường học và lãng phí nước. Mô hình hệ thống tưới tiêu tự động dựa trên trí tuệ nhân tạo cho thấy khả năng dự báo lượng nước tưới tiêu tốt và giảm thiểu lượng nước tưới đến 40% so với lượng nước đã quan trắc. Tuy nhiên, để nâng cao độ chính xác, cần phát triển các cảm biến độ ẩm tốt hơn và sử dụng nhiều cảm biến hơn để đánh giá toàn diện độ ẩm của khu vực xanh. Do điều kiện nghiên cứu còn hạn chế, trong giai đoạn tiếp theo, hệ thống tưới tiêu tự động cần quan trắc và đánh giá giai đoạn sinh trưởng của cây trồng cũng như các loại đất khác nhau để máy học có thể mô hình hóa việc tưới cây một cách hiệu quả và toàn diện hơn. Quy trình nghiên cứu này có thể làm nền tảng cho các nghiên cứu và ứng dụng tưới tiêu thông minh hiệu quả trong tương lai. Các nghiên cứu tiếp theo cần áp dụng các kịch bản dự báo khí hậu để tối ưu hóa việc sử dụng nguồn nước mưa và tiết kiệm điện năng vận hành máy bơm.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.L.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.L.; Xử lý số liệu: T.T.L.; Quan trắc độ ẩm: N.T.P.; Phân tích mẫu đất: L.M.H.; Lấy mẫu đất: T.T.L.; Viết bản thảo bài báo: T.T.L.; Chỉnh sửa bài báo: L.T.N.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi trường Đại học Bách Khoa - ĐHQG-HCM trong khuôn khổ đề tài mã số: To-KTXD-2023-09.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây, không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Nassary, E.K.; Msomba, B.H.; Masele, W.E.; Ndaki, P.M.; Kahangwa, C.A. Exploring urban green packages as part of Nature-based Solutions for climate change adaptation measures in rapidly growing cities of the Global South. *J. Environ. Manage*. **2022**, *310*, 114786.
2. Lafortezza, R.; Davies, C.; Sanesi, G.; Konijnendijk, C.C. Green Infrastructure as a tool to support spatial planning in European urban regions. *iForest - Biogeosc. For. iForest*. **2013**, *6*, 102.
3. Mees, H.L.P.; Driessen, P.P.J. Adaptation to climate change in urban areas: Climate-greening London, Rotterdam, and Toronto. *Clim. Law* **2011**, *2*, 251–280.
4. Liu W, Chen W, Peng C. Assessing the effectiveness of green infrastructures on urban flooding reduction: A community scale study. *Ecol. Modell.* **2014**, *291*, 6–14.
5. Sagris, T.; Tahir, S.; Möller-Gulland, J.; Quang, N.; Abbott, J.; Yang, L. Vietnam: hydro-economic framework for assessing water sector challenges. 2019.
6. Thang, N.V.; Khiem, M.V.; Trong, T.D. Study of Droughts in Ca Mau Province: Characteristics and Prediction Capabilities. *VN J. Hydrometeorol*. **2018**, *1*, 11–19.
7. Parés-Franzi, M.; Saurí-Pujol, D.; Domene, E. Evaluating the environmental performance of urban parks in Mediterranean cities: An example from the Barcelona Metropolitan Region. *Environ. Manage.* **2006**, *38*, 750–759.
8. Monteiro, L.; Cristina, R.; Covas, D. Water and energy efficiency assessment in urban green spaces. *Energies* **2021**, *14*, 5490.
9. Canales-Ide, F.; Zubelzu, S.; Rodríguez-Sinobas, L. Irrigation systems in smart cities coping with water scarcity: The case of Valdebebas, Madrid (Spain). *J. Environ. Manage*. **2019**, *247*, 187–195.
10. Gupta, A.D.; Pandey, P.; Feijóo, A.; Yaseen, Z.M.; Bokde, N.D. Smart water technology for efficient water resource management: A review. *Energies* **2020**, *13*, 6268.
11. Yu, L.; Gao, W.; Shamshiri, R.R.; Tao, S.; Ren, Y.; Zhang, Y.; et al. Review of research progress on soil moisture sensor technology. *Int. J. Agric. Biol. Eng.* **2021**, *14*, 32–42.

12. Sable, R.; Kolekar, S.; Gawde, A.; Takle, S.; Pednekar, A.J.A.A.R. A review on different irrigation methods. *Int. J. Appl. Agric. Res.* **2019**, *14*, 49–60.
13. Goap, A.; Sharma, D.; Shukla, A.K.; Krishna, C.R. An IoT based smart irrigation management system using Machine learning and open source technologies. *Comput. Electron. Agric.* **2018**, *155*, 41–49.
14. Delgoda, D.; Saleem, S.K.; Malano, H.; Halgamuge, M.N.J.A.W.M. Root zone soil moisture prediction models based on system identification: Formulation of the theory and validation using field and AQUACROP data. *Agric. Water Mange.* **2016**, *163*, 344–353.
15. Gao, P.; Qiu, H.; Lan, Y.; Wang, W.; Chen, W.; Han, X.; Lu, J. Modeling for the prediction of soil moisture in litchi orchard with deep long short-term memory. *Agriculture* **2021**, *12*, 25.
16. Nguyễn, T.T.; Lâm, Đ.V.; Lương, V.Q.D.; Hồ, C.T.; Nguyễn, H.T.; Lê, A.T. Nghiên cứu khả năng chấp nhận hệ thống tưới tự động trong canh tác lúa thông minh ở Đồng bằng sông Cửu Long *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Nông nghiệp Việt Nam* **2019**, *11*, 1–17.
17. McCarty, L. Golf turf management: CRC Press, 2018.
18. Hùng, T.T.; Trí, V.K.; Sâm, L. Nghiên cứu thực nghiệm xây dựng đường đặc trưng ẩm của đất (PF) phục vụ xác định chế độ tưới hợp lý cho cây trồng cạn tại vùng khô hạn Nam Trung Bộ. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường* **2017**, *57*, 40–49.
19. Simunek, J.; Van Genuchten, M.T.; Sejna, M. The HYDRUS-1D software package for simulating the one-dimensional movement of water, heat, and multiple solutes in variably-saturated media. University of California-Riverside Research Reports. **2005**, *3*, 1–240.
20. Leij, F.J. UNSODA unsaturated soil hydraulic database. 1996.
21. Long, T.T. Koontanakulvong S. Deep percolation characteristics via soil moisture sensor approach in Saigon river basin, Vietnam. *Int. J. Civ. Eng. Technol.* **2019**, *10*, 403–412.

Experimental development of a smart irrigation system integrated with IoT sensors and artificial intelligence for urban green areas

Tran Thanh Long[1,2]*, Nguyen Thien Phu[1,2], Le Minh Huy[1,2], Le Trong Nhan[3,2]

[1] Faculty of Civil Engineering, Hochiminh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; ttlong@hcmut.edu.vn; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.com; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn

[2] Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Trung Ward, Thu Duc City, Ho Chi Minh City, Vietnam; phu.nguyenk22090804@hcmut.edu.com; huy.leminh1504@hcmut.edu.vn; trongnhanle@hcmut.edu.vn

[3] Computer Science & Engineering Department, Hochiminh City University of Technology (HCMUT), 268 Ly Thuong Kiet Street, District 10, Ho Chi Minh City, Vietnam; trongnhanle@hcmut.edu.vn

Abstract: Green spaces in school environments not only enhance the aesthetic appeal and provide recreational value but also reduce stress and fatigue while improving air quality for residents. These spaces are regarded as “nature-based solutions” to social and environmental challenges. Additionally, green spaces absorb excess rainwater and mitigate the negative impacts of heavy rainfall. However, maintaining these green spaces often involves caretakers relying on their experience to determine the amount of water needed, leading to

inefficient water usage and frequent replacements of plants due to overwatering or drought. Therefore, our research team developed an experimental model of an automated irrigation system based on IoT sensors and artificial intelligence for green areas in schools. The findings suggest that maintaining sandy soil at 1-2% moisture content, equivalent to 0.015 m (15 liters/m²) of water, is optimal. However, frequent irrigation exceeding 0.02 m (20 liters/m²) can adversely affect plant health and lead to water wastage. This automated irrigation system effectively predicts and reduces irrigation water by up to 40% compared to measured water levels. To enhance accuracy, further development of advanced moisture sensors and increased sensor deployment is necessary to comprehensively assess green area moisture levels and plan growth. This research process serves as a base case for future studies applying efficient smart irrigation and water use practices.

Keywords: Hydrus 1D; Artificial Neural Networks (ANN); Smart irrigation; IoT sensors.