

NGHIÊN CỨU PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG GIÁM SÁT ĐỘ ĐỤC CỦA NƯỚC SỬ DỤNG INTERNET VẠN VẬT (IOT) BỔ SUNG CHO DỮ LIỆU ẢNH VIỄN THÁM

**Đoãn Minh Chung, Huỳnh Xuân Quang, Mai Thị Hồng Nguyên
Đinh Ngọc Đạt, Phạm Văn Bạch Ngọc, Phạm Hồng Quân**

Viện Công nghệ vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Tóm tắt

Ô nhiễm nguồn nước đang là vấn đề được quan tâm trong thời gian gần đây. Ngày nay, dữ liệu viễn thám đang được sử dụng để giám sát nguồn nước trên diện rộng. Tuy nhiên, dữ liệu viễn thám bị ảnh hưởng lớn bởi độ phân giải không gian, thời gian quan sát của vệ tinh và các yếu tố khí quyển khác. Độ chính xác của dữ liệu viễn thám quyết định chất lượng quá trình quan trắc môi trường vì thế ứng dụng viễn thám kết hợp công nghệ cao để thực hiện việc giám sát chất lượng nước đang là xu thế nghiên cứu hiện nay. Nghiên cứu này tập trung vào giải pháp xây dựng hệ thống giám sát ô nhiễm nước mặt sử dụng cảm biến hiện đại kết hợp công nghệ Internet vạn vật (IoT) nhằm bổ sung nguồn dữ liệu tăng cường độ chính xác cho các dữ liệu viễn thám. Kết quả của nghiên cứu là một bộ mô hình thử nghiệm hệ thống cảm biến chất lượng nước mặt sử dụng công nghệ IoT. Bước đầu, nghiên cứu này tập trung xây dựng bộ thiết bị có khả năng giám sát liên tục hai chỉ số độ đục và nhiệt độ của nước. Các dữ liệu đo được sẽ được gửi tới máy chủ phục vụ cho việc nghiên cứu đánh giá chất lượng nguồn nước. Kết quả thử nghiệm thiết bị đã chế tạo sẽ được so sánh với kết quả quan trắc môi trường nước trong phòng thí nghiệm nhằm đánh giá chất lượng bộ thiết bị đã được phát triển.

Từ khóa: IoT; Viễn thám; Chất lượng nước.

Abstract

Development of water turbidity monitoring system using the Internet of Things (IoT) additional to remote sensing data

Water pollution is one of the current concerns. The development of remote sensing technology has provided an effective tool to perform water quality monitoring. However, remote sensing data is highly affected by the spatial resolution, satellite observation time and a number of other atmospheric factors. This study focuses on the solution of building a water pollution monitoring system using Internet of Things (IoT) technology to provide additional data sources to enhance the accuracy of remote sensing data. A prototype of a IoT sensor system that initially research and continuously monitor two indicators of the water turbidity and its temperature has been developed and tested. The measured data will be transmitted to the host for further work.

Keywords: IoT; Remote sensing; Water quality.

1. Mở đầu

Nước là một trong những thành phần quan trọng nhất của sự sống. Môi trường nước là nơi các hệ sinh thái, môi trường sống tự nhiên và tạo thành một phần của chuỗi thức ăn từ thực vật đến động vật và con người [1]. Trong thời gian gần đây, sự gia tăng mạnh mẽ của dân số đã dẫn đến sự gia tăng đáng kể nhu cầu nước ngọt trên toàn thế giới. Cùng với các yếu tố khác như sự nóng lên toàn cầu và các yếu tố do con người gây ra (ô nhiễm do xả nước thải đô thị và công nghiệp), là các tác nhân gây ô nhiễm nguồn nước [2].

Việc giám sát chất lượng nguồn nước hiện đang là mối quan tâm lớn đối với các chuyên gia trên khắp thế giới. Với việc phát triển của nền khoa học công nghệ, việc ứng dụng các công nghệ tiên tiến giúp giám sát và dự báo ô nhiễm nguồn nước được ứng dụng rất nhiều. Trong những năm gần đây, ứng dụng viễn thám trong giám sát chất lượng nước đã trở nên phổ cập và ngày càng phát triển. Nó đã trở thành một xu hướng mới để quan sát các đặc điểm chất lượng nước thông qua dữ liệu thu được từ các cảm biến quang học trên vệ tinh, đã được các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu [3 - 5] với ưu điểm về khả năng cung cấp thông tin phổ nhanh, hiệu quả và linh hoạt. Nguyên lý cơ bản của giám sát viễn thám là sử dụng tín hiệu thu được thông qua các thuật toán bán thực nghiệm để chuyển đổi các giá trị phản xạ thành các đặc trưng vật lý. Trong nghiên cứu của tác giả Duan và cộng sự [6] đã sử dụng dữ liệu viễn thám để thu thập dữ liệu, phân tích tác động sạt lở đất ở các khu vực khai thác mỏ, và thực hiện một cách hiệu quả đánh giá tình trạng ảnh hưởng tới các hồ chứa nước. Lấy hồ nước

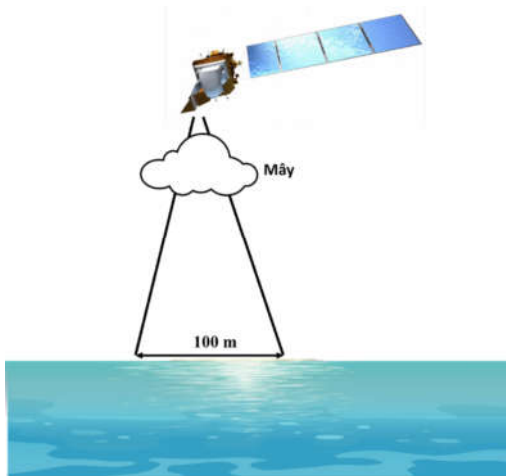
trong khuôn viên của Đại học Chiết Giang là đối tượng nghiên cứu; tác giả Liu và các cộng sự [7] thu được dữ liệu về giá trị phổ bằng cảm biến đa phổ gắn trên vệ tinh, đã xây dựng các mô hình đảo ngược của tổng phát xạ (TP), nồng độ chất lơ lửng (SS) và độ đục (TUB) và nghiên cứu sự phân bố vùng ngoài hồ nước, từ đó cung cấp một phương pháp mới để giám sát thông số chất lượng nước. Một số nghiên cứu quan tâm tới giám sát lưu vực sông, sử dụng ảnh viễn thám được sử dụng để giám sát việc sử dụng đất và sự thay đổi đất theo thời gian, sự thay đổi về chất lượng và màu nước, theo dõi một số thông số như Chlorophyll a (Chl-a) và các chỉ số chất lượng nước khác [8, 9].

Ở trong nước, một số nhóm nghiên cứu đã thực hiện các nghiên cứu ứng dụng công nghệ viễn thám kết hợp với đo thực địa nhằm giám sát chất lượng nước. Như nghiên cứu của Nguyễn Văn Thảo và các cộng sự thuộc Viện Tài nguyên và Môi trường biển, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã sử dụng dữ liệu vệ tinh Landsat-8/OLI và VNREDSat-1 nghiên cứu vật chất lơ lửng vùng cửa sông ven bờ [20]. Hoặc nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám xác định nồng độ bùn cát lơ lửng vùng cửa Hới sông Mã do nhóm nghiên cứu Nguyễn Thanh Hùng và các cộng sự thực hiện sử dụng ảnh vệ tinh Landsat-8/OLI [21].

Tuy nhiên, việc sử dụng ảnh vệ tinh cũng có một số hạn chế. Các dữ liệu thu được dựa trên cảm biến vệ tinh có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố trong quá trình quan sát như bị mây bao phủ và độ phân giải của cảm biến trên vệ tinh Hình 1. Các vấn đề về phản xạ, tán xạ ngược và nhiệt độ nghiên cứu của Moran và cộng sự [10]

Nghiên cứu

chỉ ra rào cản trong việc triển khai viễn thám cho các ứng dụng trong quan sát chất lượng nước sử dụng vệ tinh. Nghiên cứu của Dlamini và cộng sự [11] cho thấy tầm quan trọng của việc kết hợp một số công nghệ để giám sát tình trạng chất lượng nước. Các công cụ được sử dụng để thu thập dữ liệu tại chỗ bao gồm các hệ thống đo đa thông số, trạm đo cố định, thiết bị ghi mực nước, trạm khí tượng và máy phân tích các chỉ số hóa học.

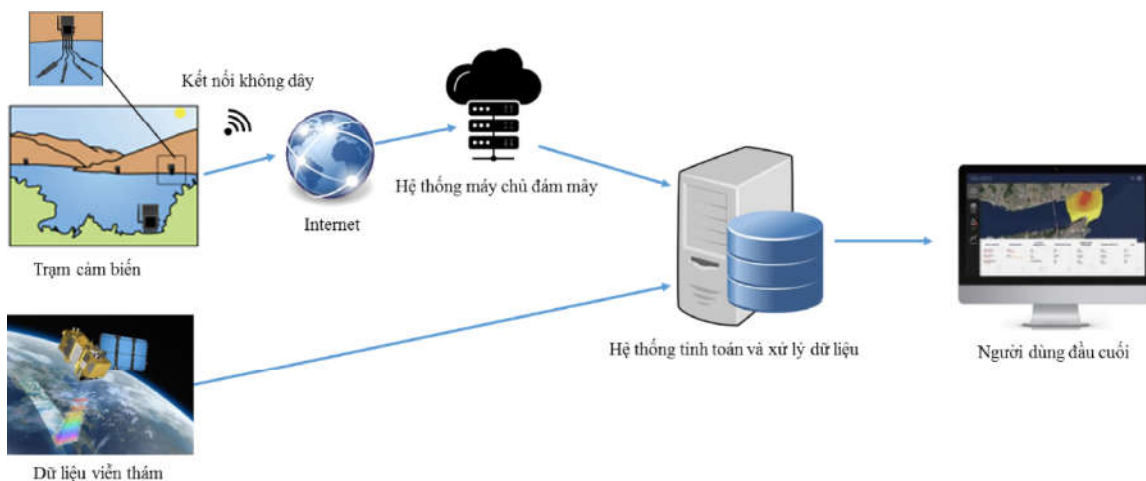


Hình 1: Một số ảnh hưởng tới giám sát chất lượng nước sử dụng công nghệ viễn thám

Để khắc phục các hạn chế của việc sử dụng viễn thám trong giám sát chất

lượng nước từ ảnh vệ tinh viễn thám, các nhóm nghiên cứu trên thế giới sử dụng các phương pháp lấy mẫu mặt đất để bổ sung thêm tính chính xác cho dữ liệu viễn thám. Với việc phát triển không ngừng của công nghệ không dây và truyền thông, các hệ thống cảm biến không dây giám sát chất lượng nước, các hệ thống trạm quan sát và các thiết bị giám sát sử dụng công nghệ vạn vật Internet được sử dụng phổ biến trong giám sát chất lượng nước [12 - 19]. Các hệ thống này giúp cho việc thu thập dữ liệu nhanh và chính xác thời gian thực. Tuy nhiên, các ứng dụng kết hợp dữ liệu giữa hệ thống cảm biến IoT và viễn thám nhằm tăng diện tích giám sát và độ chính xác trong giám sát chất lượng nước vẫn chưa được áp dụng nhiều.

Chính vì thế nhóm nghiên cứu đề xuất phương pháp sử dụng kết hợp đa dữ liệu từ ảnh đa phổ vệ tinh Landsat-9/OLI2 được đưa lên quỹ đạo tháng 9 năm 2021 và dữ liệu chất lượng nước ở các trạm trên mặt đất thu thập được xử lý, sau đó sẽ được chuyển đến người dùng để giám sát chất lượng nước. Hoạt động của hệ thống được thể hiện trong Hình 1.



Hình 2: Hệ thống giám sát chất lượng nước kết hợp dữ liệu đa nguồn

Mục tiêu chính của nghiên cứu này là phát triển các hệ thống cảm biến vạn vật internet (IoT), bao gồm nhiều cảm biến, liên kết truyền thông, khả năng lưu trữ và xử lý, năng lượng để cấp nguồn cho thiết bị,... để giám sát độ đục trong nước, xác định nguyên nhân và các yếu tố ảnh hưởng đến chất lượng nước xung quanh khu vực lân cận. Địa điểm thử nghiệm ở khuôn viên Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã được chọn cho nghiên cứu nơi hệ thống IoT được đặt thử nghiệm. Trong nghiên cứu này, các cảm biến được chọn sẽ chỉ tập trung vào các thông số quan trọng nhất là độ đục và nhiệt độ của nước. Nghiên cứu đã tính đến việc đo lường các thông số xác định để đưa ra phản hồi giám sát trực tuyến theo thời gian thực cho người dùng. Dữ liệu thu thập từ các cảm biến IoT khác nhau sẽ được sử dụng kết hợp với các dữ liệu khác để thực hiện phân tích dữ liệu và kết quả thu được được sử dụng để đề xuất các biện pháp phòng ngừa về cách giảm thiểu tác động của ô nhiễm. Các điều kiện đo được đặt ra trong nghiên cứu này sẽ được giữ để phát triển một hệ thống IoT tích hợp đầy đủ trong tương lai. Phần tiếp theo sẽ cung cấp thông tin chi tiết về lựa chọn thành phần nghiên cứu, thiết lập nguyên mẫu, hiệu chuẩn cảm biến và lựa chọn địa

điểm thử nghiệm.

2. Thiết kế, chế tạo hệ thống cảm biến độ đục và nhiệt độ

2.1. Thiết kế tổng thể hệ thống

Việc phát triển một hệ thống nguyên mẫu đơn giản phù hợp để giám sát chất lượng nước cần phải bao gồm các thành phần sau:

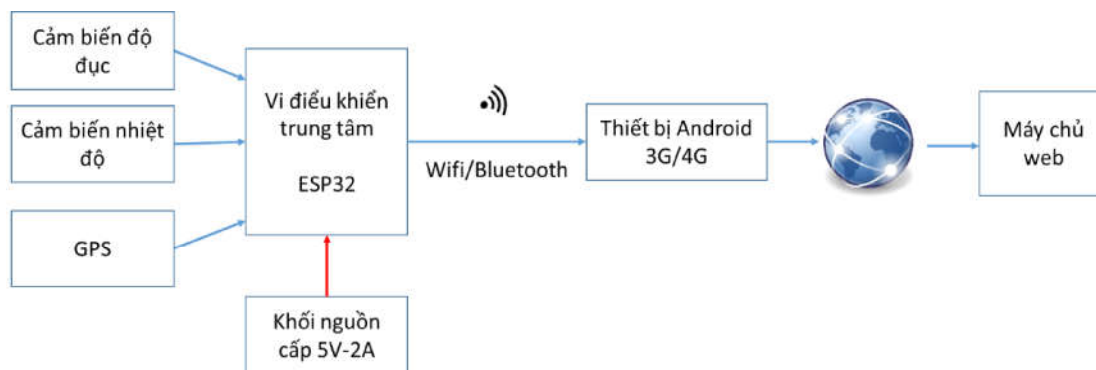
- + Cảm biến để thu thập dữ liệu có liên quan từ môi trường như độ đục và nhiệt độ môi trường nước. Hai cảm biến này được kết nối với vi điều khiển. Thông tin đo lường được gửi đến vi điều khiển. Vì vậy, tín hiệu ra của cảm biến (tương tự) được chuyển đổi thành tín hiệu số bằng cách sử dụng ADC (Bộ biến đổi tương tự - số).

- + Hệ thống định vị GPS nhằm ghi lại thông số vị trí tọa độ các điểm đo.

- + Một bộ vi điều khiển trung tâm nhận kết quả đo từ các cảm biến lưu trữ và truyền thông về thiết bị đầu cuối di động.

- + Thiết bị đầu cuối di động với phần mềm (do nhóm nghiên cứu phát triển) để đọc dữ liệu số và hiển thị dữ liệu ở định dạng trên màn hình. Đồng thời, dữ liệu được gửi về hệ thống máy chủ.

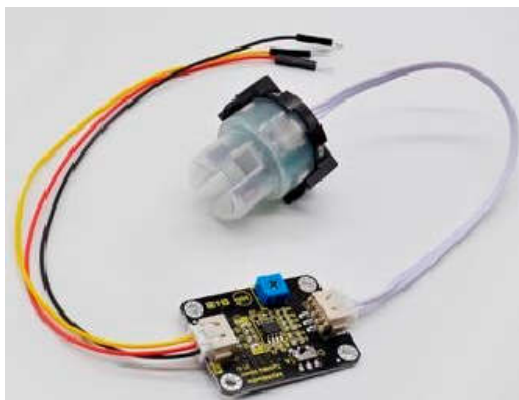
Mô tả hoạt động hệ thống của các thành phần được hiển thị trong Hình 3.



Hình 3: Nguyên lý hoạt động của hệ thống

Nghiên cứu

Khối vi điều khiển trung tâm ESP32 sử dụng CPU Xtensa Dual-Core LX6 tốc độ xử lý 160 MHz up to 240 MHz với bộ nhớ Ram 520 Kbyte. Kết nối hỗ trợ wifi chuẩn 802.11 b/g/n/e/I và kết nối Bluetooth chuẩn v4.2 BR/EDR and BLE

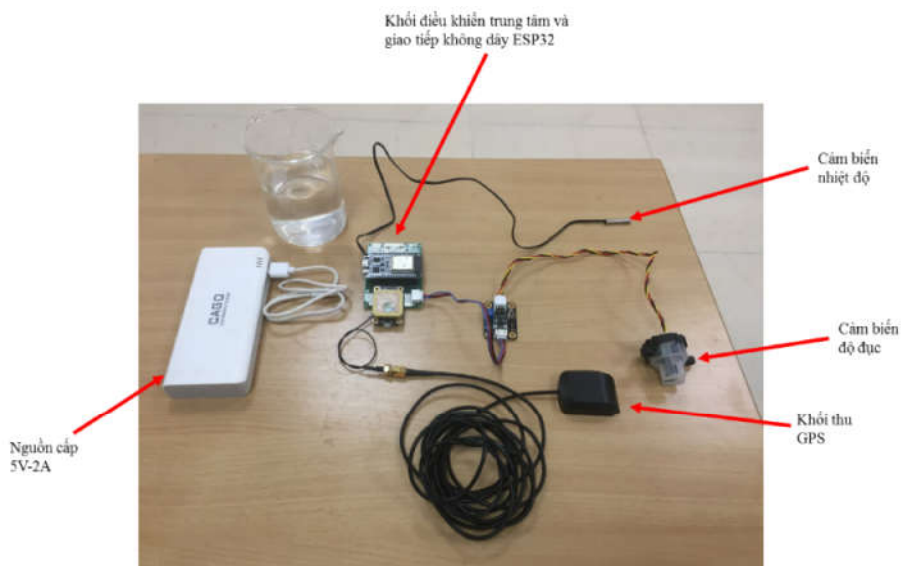


Hình 4: Cảm biến đo độ đục và cảm biến nhiệt độ

Cảm biến độ đục của hãng Dfrobot có thông số điện áp hoạt động 5V dòng điện 40mA thời gian đáp ứng: <500 ms tín hiệu đầu ra: Analog đầu ra tương tự: 0 - 4,5V, đầu ra kỹ thuật số: tín hiệu mức cao/ mức thấp (bạn có thể điều chỉnh giá trị ngưỡng bằng cách điều chỉnh chiết áp)

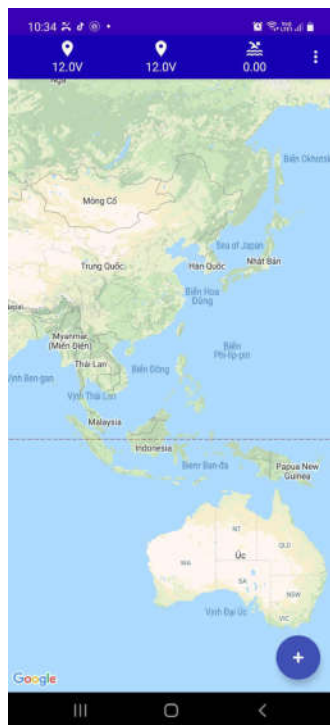
Cảm biến nhiệt độ DS18B20 được sử dụng để đo nhiệt độ của nước dạng số. Có khả năng đo đến 125 °C. Do là cảm biến dạng số, vì vậy sẽ không nhận được bất kỳ sự suy giảm tín hiệu nào ngay cả khi ở khoảng cách xa. Cảm biến có 3 dây: đỏ (VCC), đen (GND) và vàng (Dữ liệu). Đây là một cảm biến kỹ thuật số nên nó được kết nối trực tiếp với vi điều khiển.

Hệ thống GPS có thể theo dõi tới 22 vệ tinh trên 50 kênh và đạt được mức độ nhảy cao nhất. Nguồn cấp: 3,3 - 5V giao thức giao tiếp: NMEA, UBX Binary, RTCM tốc độ baud: hỗ trợ từ 4800 bps đến 230400 bps (mặc định 9600 bps). Có 2 loại: loại có cổng micro USB gắn liền anten và loại không có cổng micro USB và dùng anten rời.



Hình 5: Toàn bộ hệ thống sau khi được tích hợp

Nhóm nghiên cứu cũng thực hiện xây dựng một phần mềm chạy trên thiết bị sử dụng hệ điều hành Android và máy chủ lưu trữ dữ liệu. Dữ liệu từ hệ thống cảm biến sẽ gửi đến thiết bị dùng Android bằng Bluetooth hoặc Wifi.



Hình 6: Giao diện ứng dụng hiển thị kết quả đo trên điện thoại Android

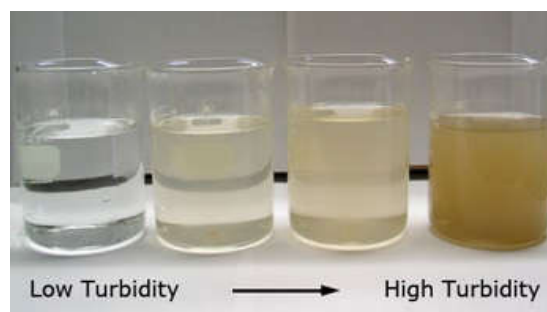
Bảng 1. Kết quả hiệu chuẩn cảm biến độ đục

Khối lượng đất (g)	Thể tích nước (L)	Giá trị độ đục đo được (NTU)	Giá trị NTU trung bình	Giá trị điện áp trung bình (V)
1.0169	0.6	120.1, 128.3, 140.4, 121.3, 120.6	126.14	3.97
2.0190	0.6	392.0, 398.0, 392.0, 396.0, 400.0	395.60	3.68
3.0096	0.6	407.0, 422.0, 412.0, 428.0, 422.0	418.20	3.58
4.0201	0.6	677.0, 657.0, 690.0, 702.0, 664.0	678.00	3.25

Sau khi phân tích các điều kiện phù hợp, thí nghiệm được tiến hành tại một hồ nước nhỏ trong khuôn viên Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, thể hiện trong Hình 9. Khu vực hồ nước này có hệ thống nước cấp tuần hoàn tuy nhiên ít khi sử dụng. Xung quanh hồ nước các loại cây to che phủ. Trong 2 tuần thử nghiệm thiết bị, thời tiết không có mưa.

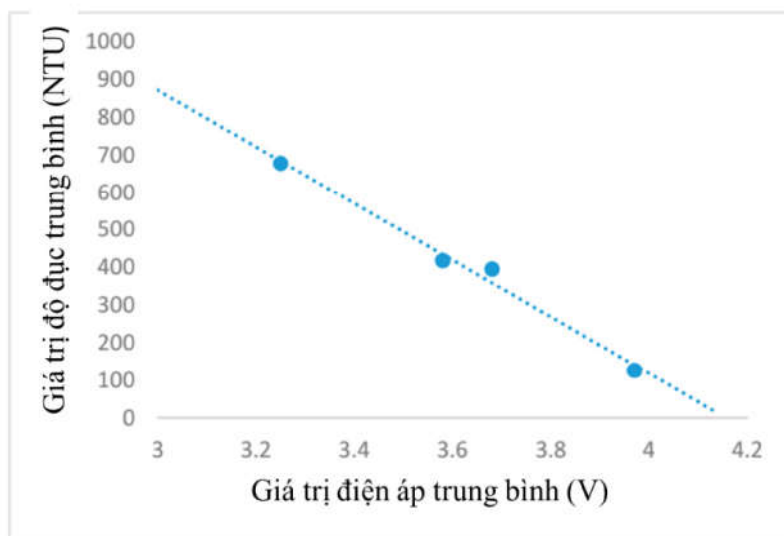
2.2. Thử nghiệm thiết bị

Cảm biến độ đục yêu cầu hiệu chuẩn để chuyển đổi các giá trị đọc điện áp thu được thành các giá trị độ đục tương ứng. Để hiệu chuẩn, các nồng độ khác nhau hỗn hợp đất và nước được sử dụng để hiệu chỉnh độ đục tương ứng như Hình 7. Cảm biến độ đục đã được hiệu chuẩn bằng cách đo một số hỗn hợp đất và nước được làm từ khối lượng đất đã biết trộn với 0,6 lít nước. Dữ liệu được lập bảng bên dưới trong Bảng 1



Hình 7: Các mẫu nước dùng hiệu chuẩn

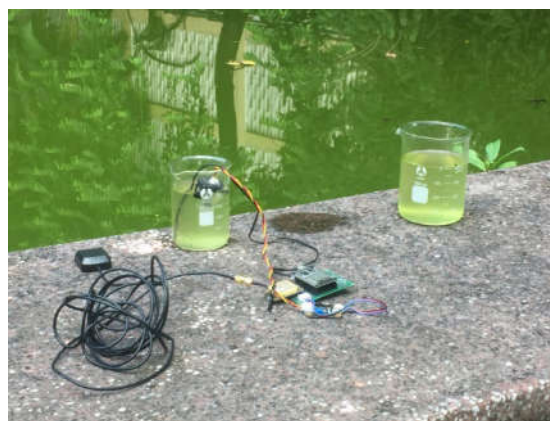
Thí nghiệm đã được thực hiện trong khoảng thời gian 10 ngày. Dữ liệu được lấy một lần vào buổi sáng lúc 10 giờ sáng và một lần vào buổi chiều lúc 4 giờ chiều. Quá trình đọc dữ liệu được thực hiện 10 s/lần trong khoảng thời gian 2 phút để thiết lập giá trị đọc trung bình cho một lần đo. Một thiết bị đo nhiệt độ cầm tay được sử dụng để đo độ lệch nhiệt độ các mẫu để làm kết quả đối chiếu.



Hình 8: Mỗi tương quan giữa giá trị độ đục và điện áp



Hình 9: Khu vực tiến hành thử nghiệm



Hình 10: Tiến hành đo thử nghiệm

3. Kết quả thực nghiệm và thảo luận

Các kết quả thử nghiệm thu được trong các lần đo khác nhau được thể hiện trong Bảng 2. Bảng hiển thị thời gian đo, thông số đo lường được xem xét. Giá trị đo trong phòng thí nghiệm và giá trị đo hệ thống cảm biến được so sánh. Mẫu đo được thực hiện lấy tại hồ được đo tại chỗ bằng hệ thống cảm biến được phát triển bởi nhóm nghiên cứu, sau đó mẫu nước sẽ được đo kiểm nghiệm lại tại Viện Công nghệ môi trường- Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam. Các kết quả đo tại cùng một thời điểm từ thiết bị đã phát triển được so sánh với kết quả phân tích

trong phòng thí nghiệm và cho kết quả gần bằng nhau.

Điều này cho thấy rằng hệ thống được đề xuất có thể được sử dụng để đo lường chất lượng của nước theo thời gian thực.



Hình 11: Tiến hành thí nghiệm tại Viện Công nghệ môi trường

Bảng 2. Kết quả đo thực địa và trong phòng thí nghiệm

TT	Ngày đo	Thời gian đo	Đo kiểm nghiệm		Hệ thống cảm biến	
			Nhiệt độ (°C)	Độ đục (NTU)	Nhiệt độ (°C)	Độ đục (NTU)
1	Thứ 2 Ngày 13/09/2021	10h	26.5	2470.24	27	2439.30
2	Thứ 2 Ngày 13/09/2021	16h10	27.3	2300.65	27.8	2378.12
3	Thứ 3 Ngày 14/09/2021	10h20	26.4	2334.41	27.5	2321.12
4	Thứ 3 Ngày 14/09/2021	16h	27.5	2557.36	27.2	2599.11
5	Thứ 4 Ngày 15/09/2021	10h10	27.3	2677.27	27	2645.32
6	Thứ 4 Ngày 15/09/2021	16h	28.5	2503.56	28.7	2510.20
7	Thứ 5 Ngày 16/09/2021	10h	28.7	2523.24	28.3	2510.34
8	Thứ 5 Ngày 16/09/2021	16h	28.5	2530.45	28.2	2510.27
9	Thứ 6 Ngày 17/09/2021	10h	28	2512.34	28.7	2507.23
10	Thứ 6 Ngày 17/09/2021	16h	27.4	2510.76	27.3	2520.17
11	Thứ 2 Ngày 20/09/2021	10h	27.2	2570.32	27.1	2523.56
12	Thứ 2 Ngày 20/09/2021	16h	27.4	2423.07	27.2	2450.35
13	Thứ 3 Ngày 21/09/2021	10h	26.5	2501.19	26.2	2510.02
14	Thứ 3 Ngày 21/09/2021	14h	26.5	2608.23	26.3	2617.11
15	Thứ 4 Ngày 22/09/2021	10h	26.7	2507.57	26.5	2511.05
16	Thứ 4 Ngày 22/09/2021	16h	26.1	2410.21	26.4	2420.56
17	Thứ 5 Ngày 23/09/2021	10h	26.4	2473.67	26.5	2460.78
18	Thứ 5 Ngày 23/09/2021	16h	26.2	2580.45	26.6	2567.79
19	Thứ 6 Ngày 24/09/2021	10h	26.2	2513.81	26	2527.45
20	Thứ 6 Ngày 24/09/2021	16h	26.9	2556.45	27.1	2534.21

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy thiết bị hoạt động tốt, tin cậy. Tuy nhiên, do hồ nước không sử dụng hệ thống tuần hoàn, nên thông số độ đục không thay đổi nhiều trong suốt quá trình đo. Do đó, hệ thống cảm biến cần phải kiểm tra thêm để xác định thêm tính chính xác của dữ liệu và khả năng hoạt động của hệ thống hiện tại triển khai ở những địa điểm khác. Nguyên mẫu vẫn thiếu một số tính năng và do đó yêu cầu nâng cấp và mở rộng, cụ thể là bổ sung thêm các cảm biến đo các thông số khác. Ngoài ra, thẻ nhớ sẽ cho phép lưu trữ lượng lớn dữ liệu từ vi điều khiển. Hệ thống kết hợp trung tâm phải được bọc kín để ngăn chặn những tác động có thể gây hỏng hóc khi tiếp xúc với môi trường nước và các điều kiện thời tiết khác. Trong

số các cảm biến, cần cải tiến cảm biến độ đục hoặc được thay thế hoàn toàn. Một lỗ hở ở trên cùng của cảm biến độ đục cho phép nước vào nếu cảm biến được hạ xuống quá sâu vào dòng và dòng chảy gây ra nhiễu trực tiếp trong các lần đo. Việc triển khai hệ thống các cảm biến IoT bổ sung trong nghiên cứu sẽ cho phép theo dõi các thông số phụ, đặc biệt là nồng độ của các ion khác nhau. Nhóm nghiên cứu sẽ tiếp tục hoàn thiện để có thể lắp đặt hệ thống cảm biến trên thiết bị tự hành mặt nước để có thể thu được các thông số ở các vùng nước rộng hơn.

Lời cảm ơn: Bài báo là sản phẩm và là kết quả của đề tài mã số NVCC34.01/21-21. Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Viện Công nghệ Vũ trụ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã tạo

mọi điều kiện thuận lợi để tài thực hiện thành công.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bianchi, T. S; Allison, M.A (2009). *Large-river delta-front estuaries as natural "recorders" of global environmental change*. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 106, 8085 - 8092.
- [2]. Zhang, Y; Wu, Z; Liu, M; He, J; Shi, K; Wang, M; Yu, Z (2014). *Thermal structure and response to long-term climatic changes in Lake Qiandaohu, a deep subtropical reservoir in China*. Limnol. Oceanogr. 59, 1193 - 1202.
- [3]. Govender, M; Chetty, K; Bulcock, H (2007). *A review of hyperspectral remote sensing and its application in vegetation and water resource studies*. Water Sa, 33, 145 - 151.
- [4]. He, W; Chen, S; Liu, X; Chen, J (2008). *Water quality monitoring in a slightly-polluted inland water body through remote sensing - case study of the Guanting reservoir in Beijing, China*. Frontiers of Environmental Science & Engineering, 2, 163 - 171.
- [5]. Hossen, H; Negm, A (2016). *Change detection in the water bodies of Burullus lake, Northern Nile delta, Egypt, using RS/GIS*. Procedia Engineering, 154, 951 - 958.
- [6]. Duan, H; Cao, Z; Shen, M; Liu, D; Xiao, Q (2019). *Detection of illicit sand mining and the associated environmental effects in China's fourth largest freshwater lake using daytime and nighttime satellite images*. Sci. Total Environ. 647, 606 - 618.
- [7]. Liu, T; D. Kuang and O. Yin (2004). *Study on hyperspectral quantitative model of concentrations for Chlorophyll a of Alga and suspended particles in Tailake*. Journal infrared millimeter and waves 23 (1): 11 - 15. doi:10.3321/j.issn:1001-9014.2004.01.003.
- [8]. Shi, K; Zhang, Y; Zhu, G; Liu, X; Zhou, Y; Xu, H; Qin, B; Liu, G; Li, Y (2015). *Long-term remote monitoring of total suspended matter concentration in Lake Taihu using 250 m MODIS - Aqua data*. Remote Sens. Environ. 164, 43 - 56.
- [9]. Chen, S; Fang, L; Li, H; Chen, W; Huang, W (2011). *Evaluation of a three-band model for estimating chlorophyll-a concentration in tidal reaches of the Pearl river estuary, China*. ISPRS J. Photogramm. Remote Sens. 66, 356 - 364.
- [10]. Moran, M. S; Inoue, Y; Barnes, E. M (1997). *Opportunities and limitations for image-based remote sensing in precision crop management*. Remote Sens. Environ. 61, 319 - 346. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(97\)00045-X](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(97)00045-X).
- [11]. Dlamini, S; Nhapi, I; Gumindoga, W; Nhiwatiwa, T; Dube, T (2016). *Assessing the feasibility of integrating remote sensing and in-situ measurements in monitoring water quality status of Lake Chivero, Zimbabwe*. Phys. Chem. Earth 93, 2 - 11. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2016.04.004>.
- [12]. McClelland, C (2019). *What Is IoT? A simple explanation of the Internet of Things*. Available online: <https://www.iotforall.com/what-is-iot-simple-explanation/> (accessed on 13 May 2019).
- [13]. Diène, B; Rodrigues, J. J. P. C; Diallo, O; Ndoeye, E. H. M; Korotaev, V.V (2020). *Data management techniques for Internet of Things*. Mech. Syst. Signal Process. 138, 106564.
- [14]. McClelland, C (2016). *IoT Explained - How does an IoT system actually work?* Available online: <https://www.leverage.com/blogpost/iot-explained-how-does-an-iot-system-actually-work> (accessed on 29 October 2016).
- [15]. Li, C.-Z.-E; Deng, Z. W (2020). *The embedded modules solution of household Internet of Things system and the future development*. Procedia Comput. Sci. 166, 350 - 356.
- [16]. Dachyar, M; Zagloel, T; Saragih, L (2020). *Knowledge growth and development: Internet of Things (IoT) research, 2006 - 2018*. Heliyon, 5, e02264.
- [17]. Zhu, X; Li, D; He, D; Wang, J; Ma, D; Li, F (2010). *A remote wireless system for water quality online monitoring in intensive*

fish culture computer. Electron. Agric. 715, 53 - 59.

[18]. Francisco, J; Epinosa, F; Guillermo, E; Rendon, R (2012). *A ZigBee wireless sensor network for monitoring an aquaculture recirculating system*. Appl. Res. Technol. 10, 380 - 387.

[19]. Huang, J; Wang, W; Jiang, S; Sun, D; Ou, G; Lu, K (2013). *Development and test of aquacultural water quality monitoring system based on wireless sensor network*. Trans. Chin. Soc. Agric. Eng. (Trans. CSAE) 29, 183 - 190.

[20]. Nguyễn Văn Thảo, Vũ Duy Vĩnh, Nguyễn Đắc Vệ, Phạm Xuân Cảnh (2016).

Xây dựng thuật toán xử lý dữ liệu viễn thám xác định hàm lượng vật chất lơ lửng tại vùng biển ven bờ châu thổ sông Hồng. Tạp chí Khoa học và Công nghệ biển; Tập 16, Số 2, tr. 129 - 135.

[21]. Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Thành Luân, Vũ Đình Cường, Đặng Hoàng Thanh, Vũ Hữu Long, Nguyễn Vũ Giang (2017). *Nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám xác định nồng độ bùn cát lơ lửng vùng cửa Hới sông Mã*. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi, số 37.

BBT nhận bài: 20/10/2021; Phản biện xong: 23/11/2021; Chấp nhận đăng: 28/3/2022