

THIẾT KẾ VÀ XÂY DỰNG MẠNG LƯỚI GIÁM SÁT BỤI PM_{2,5} VÀ PM₁₀ THEO THỜI GIAN THỰC

Nguyễn Thành Trung^{a,b}, Đinh Thị Phương Lan^a, Đàm Hồng Duân^c, Lê Hữu Tuyền^{d,*}

^aKhoa Kỹ thuật Môi trường, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Môi trường, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
số 334 đường Nguyễn Trãi, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

^cKhoa Điện - Điện tử, trường Cao Đẳng Nghề Công Nghệ Cao Hà Nội,
xã Tây Mỗ, quận Nam Từ Liêm, Hà Nội, Việt Nam

^dTrung tâm Nghiên cứu công nghệ Môi trường và Phát triển Bền vững, Trường Đại học Khoa học Tự nhiên,
Đại học Quốc gia Hà Nội, số 334 đường Nguyễn Trãi, quận Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 26/11/2019, Sửa xong 18/12/2019, Chấp nhận đăng 19/12/2019

Tóm tắt

Cuộc cách mạng công nghiệp 4.0 đã có những thay đổi tích cực mang lại hiệu quả cao cho công tác quản lý môi trường. Công nghệ cảm biến đo bụi đã có mặt trên thị trường làm thay đổi cách mạng trong việc giám sát và đánh giá ô nhiễm môi trường không khí. Mục tiêu của nghiên cứu này là xác định tính hiệu quả và khả thi của bộ thiết bị đo bụi (MoD-Mobile Dust Meter) và các ứng dụng đưa các thông số lên web. Hệ thống được thiết kế và sản xuất bởi nhóm tác giả để theo dõi bụi PM_{2,5} và PM₁₀ và ghi dữ liệu trực tuyến theo thời gian thực. Kết quả cho thấy dữ liệu được thu thập và hiển thị lên web là đáng tin cậy và dễ đánh giá. Hệ thống thiết bị được sản xuất với chi phí thấp, dễ dàng vận hành và bảo trì.

Từ khóa: MoD; thiết bị đo bụi di động; cảm biến đo bụi; PM_{2,5}; PM₁₀.

DESIGN AND BUILD NETWORK MONITORING DUST PM_{2,5} AND PM₁₀ IN REAL TIME

Abstract

The Industrial Revolution 4.0 has led to higher efficiency in environmental management areas. Dust sensor technologies available on the market allows revolutionary changes in air pollution monitoring and assessment. The objective of this study was to identify the effectiveness and feasibility of mobile dust meter (MoD) equipment and web-based applications. The system was designed and manufactured by authors for monitoring PM_{2,5} and PM₁₀ and recording data online in real time. The result showed that data collected and displayed on website were reliable and easy to assess. System was manufactured with low cost and easy for operating and maintaining.

Keywords: MoD; Mobile Dust Meter; dust sensor; PM_{2,5}; PM₁₀.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(1V\)-11](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(1V)-11) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Ô nhiễm không khí ảnh hưởng đến mọi đối tượng và người dân ở tất cả các khu vực trên thế giới. Nhiều nghiên cứu đã khẳng định các chất gây ô nhiễm không khí như nitơ dioxide (NO₂), sulfurdioxide (SO₂), ozone (O₃) và bụi (PM) gây ảnh hưởng đến sức khỏe con người, trong đó ô

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: lehuutuyen@gmail.com (Tuyền, L. H.)

nh nhiễm bụi có kích thước nhỏ ($PM_{2,5}$, PM_{10}) là một trong những vấn đề đang được quan tâm ở quy mô toàn cầu [1, 2]. Tiếp xúc lâu dài với không khí ô nhiễm có liên quan đến tử vong và nhập viện của phụ nữ (độ tuổi trung bình 63 tuổi), triệu chứng lần đầu xuất hiện bệnh về tim mạch tăng lên 1,24 lần và tất cả các nguyên nhân liên quan đến tim mạch tăng lên 1,19 lần cho mỗi 10 μg của $PM_{2,5}$ trong một mét khối không khí [3].

Ở Việt Nam, trong khoảng thời gian 20 năm trở lại đây, sự phát triển kinh tế và quá trình đô thị hóa diễn ra nhanh chóng dẫn đến sự gia tăng mạnh các hoạt động sản xuất công nghiệp, giao thông đô thị, phát triển xây dựng cơ sở hạ tầng [4]... Điều này dẫn tới các vấn đề về ô nhiễm môi trường không khí ở các khu vực dân cư đô thị và các vấn đề ảnh hưởng sức khỏe có liên quan, đặc biệt là đối với một số nhóm người dễ bị tổn thương như người già, trẻ em, người mắc bệnh tật...

Dựa trên thống kê về các hoạt động tại Hà Nội và các tỉnh phía Bắc Việt Nam, được thu thập và xử lý bởi VAST (Vietnam Academy of Science and Technology) trong năm 2015, mô hình hóa GAINS cho thấy nồng độ $PM_{2,5}$ trong khí quyển đã được ước tính cho khu vực Hà Nội là cao nhất (lên tới 55 $\mu g/m^3$). Các phân tích của mô hình GAINS cũng ước tính có khoảng 20 triệu người tiếp xúc với nồng độ $PM_{2,5}$ trong không khí cao hơn tiêu chuẩn quốc gia, đặc biệt là ở Hà Nội, Bắc Ninh và Hưng Yên [5].

Nhằm định hướng và từng bước kiểm soát ô nhiễm, đưa hoạt động bảo vệ môi trường phát triển bền vững trong xu thế phát triển mới, Thủ tướng Chính phủ đã phê duyệt Quyết định 1261/QĐ-TTg ngày 5/9/2012 về Chiến lược Bảo vệ môi trường quốc gia đến năm 2020, tầm nhìn đến năm 2030, Chiến lược đã gặt hái được những kết quả quan trọng góp phần cho sự phát triển môi trường bền vững. Tại các thành phố lớn (ví dụ như Hà Nội), ngoài các trạm đã được đầu tư có quy mô lớn như các trạm quan trắc của Bộ Tài nguyên và Môi trường, của Đại sứ quán Mỹ, của Bộ tư lệnh Lãng, Chính quyền thành phố đã đầu tư trang bị 10 trạm quan trắc không khí cố định, di động và liên tục. Tuy nhiên các trạm này vẫn chưa thể phủ lấp toàn bộ địa giới của Hà Nội và cung cấp đủ thông tin tất cả các khu vực trong khi chi phí đầu tư cho các thiết bị này là khá cao. Việc thiếu những dữ liệu quan trọng này đã gây khó khăn cho việc phân tích dữ liệu ô nhiễm không khí theo không gian, thời gian cũng như những đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến ô nhiễm không khí một cách chính xác nhất. Có thể thấy, việc xây dựng bản đồ ô nhiễm và phân tích các yếu tố tác động trên địa bàn rộng lớn là một thách thức rất lớn [6]. Vì vậy việc xây dựng một hệ thống cho phép thu thập dữ liệu quan trắc môi trường không khí, đặc biệt là các chỉ tiêu $PM_{2,5}$ và PM_{10} là một nhu cầu cấp thiết cho các thành phố tại Việt Nam. Trong nghiên cứu này, một mạng cảm biến không dây ứng dụng trong môi trường không khí đô thị được thiết kế, xây dựng với các cảm biến có chức năng thu thập các thông số về nhiệt độ, độ ẩm, bụi $PM_{2,5}$ và PM_{10} gửi đến trạm trung tâm và sau đó sẽ được gửi lên đám mây (icloud) để quản lý và lưu trữ. Người dùng có thể theo dõi những thông số đó qua trang web hoặc các thiết bị không dây thông minh.

2. Đo lường bụi và Xây dựng mạng lưới đo

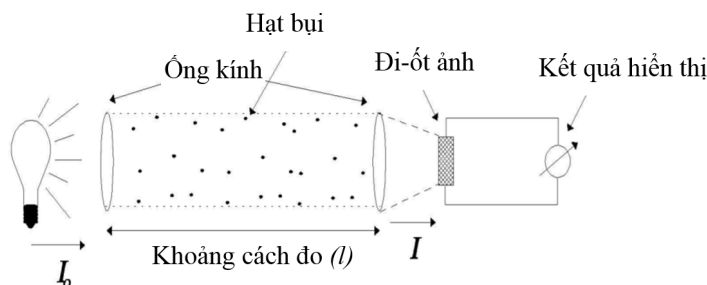
2.1. Đo lường bụi và các vấn đề liên quan

Các nguyên tắc được biết đến nhiều nhất của các thiết bị đo bụi hiện nay là đo trọng lực, đo quang học và đo điện áp. Mỗi nguyên tắc đo sẽ được sử dụng phù hợp với nồng độ bụi, độ ẩm và khu vực đo. Trong nghiên cứu này chúng tôi sử dụng thiết bị đo quang học, nguyên lý đo dựa trên sự suy giảm cường độ của chùm sáng do hấp thụ hoặc tán sắc khi xuyên qua đám mây các hạt rắn (Hình 1).

Định luật Lambert-Beer [7] mô tả mối quan hệ giữa sự truyền ánh sáng và nồng độ bụi C, theo phương trình:

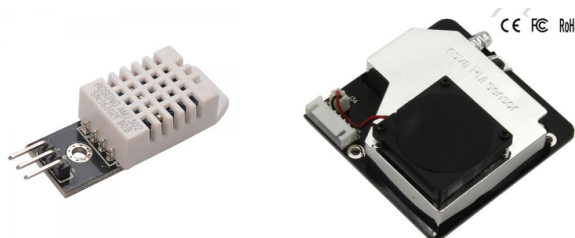
$$I = I_0 \cdot e^{-\alpha \cdot C \cdot l} \quad (1)$$

trong đó các thông số I_0 là cường độ đầu vào của chùm sáng; I là cường độ đầu ra của chùm sáng; ϑ là hệ số tắt (hằng số cụ thể cho loại bụi và thiết bị); l là khoảng cách; C là nồng độ bụi.



Hình 1. Sơ đồ nguyên lý đo bụi quang học

Cảm biến đo bụi loại SDS011 (Hình 2) sử dụng nguyên lý đo tán xạ ánh sáng, ánh sáng tán xạ được gây ra khi các hạt bụi đi qua khu vực phát hiện. Ánh sáng tán xạ được chuyển thành tín hiệu điện, các tín hiệu này sẽ được khuếch đại và xử lý. Số lượng và đường kính của các hạt có thể có được bằng phân tích vì tín hiệu sóng có mối quan hệ nhất định với đường kính hạt.



Hình 2. Cảm biến DHT22 (nhiệt độ, độ ẩm) và cảm biến bụi SDS011

SDS011 có thể đo được các hạt bụi có kích thước từ $0,3 \mu\text{m}$ đến $10 \mu\text{m}$ trong không khí với tín hiệu đầu ra kỹ thuật số ổn định và tin cậy. Phạm vi đo $0,0 - 999,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$, độ phân giải cao $0,3 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Nguồn cung cấp điện áp từ $4,7 \text{ V} - 5,3 \text{ V}$, $70 \text{ mA} \pm 10 \text{ mA}$. Tuổi thọ của sản phẩm 8000 giờ. Nếu cần dữ liệu thời gian thực (như máy dò), có thể sử dụng cấu hình mặc định đo ở tần số 1 lần mỗi giây. Trong trường hợp nhu cầu thời gian thực không cao (như bộ lọc, giám sát chất lượng không khí, v.v.), có thể sử dụng phương pháp làm việc không liên tục để kéo dài tuổi thọ (có thể khởi động cảm biến trong 30 giây mỗi phút). Sản phẩm này đã được chứng nhận về CE (Conformance de Europe), FCC (Federal Communication Commission) và RoHS (Restriction of Certain Hazardous Substances).

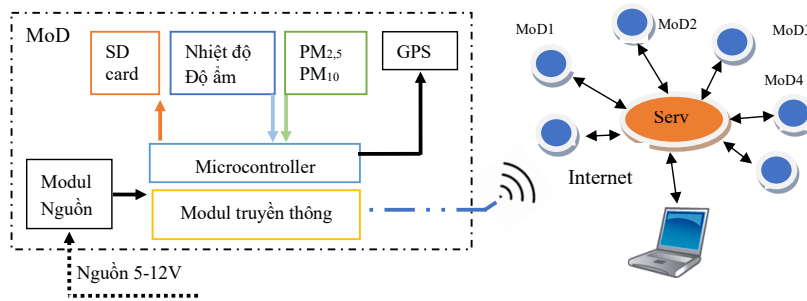
Trong thiết bị có lắp đặt cảm biến đo nhiệt độ và độ ẩm loại DHT22 với các thông số kỹ thuật: Điện áp hoạt động từ $3,3 \text{ V} - 5,5 \text{ V}$; độ ẩm từ $0 - 100\%$, sai số $\pm 2\%$; nhiệt độ từ $-40 \div 80^\circ\text{C}$, sai số $\pm 0,5^\circ\text{C}$. DHT22 sử dụng một cảm biến độ ẩm điện dung và một cảm biến nhiệt để đo không khí xung quanh và tạo ra một tín hiệu số trên pin dữ liệu, dữ liệu xuất ra thông qua giao tiếp 1 wire (giao tiếp digital 1 dây truyền dữ liệu duy nhất).

Nguyên lý xác định độ ẩm sử dụng cảm biến cơ bản DHT22 (Hình 2): khi độ ẩm môi trường thay đổi thì điện dung của tụ điện tương đương DHT22 cũng thay đổi theo, do đó làm thay đổi thời gian phóng và nạp của tụ DHT22, xung đầu ra sẽ thay đổi trong khoảng từ giá trị nhỏ nhất đến giá trị lớn nhất tương ứng với độ ẩm thay đổi từ $0\% - 100\%$.

2.2. Xây dựng mạng lưới đo bụi

Trong nghiên cứu [8] đã thiết kế, chế tạo và tích hợp được hệ thống thiết bị tự động quan trắc môi trường độc lập với các thông số khí CO, NO₂, SO₂, bụi PM₁₀ trong khu vực đô thị, đưa thông tin về trung tâm thông qua tin nhắn, hệ thống thiết bị kết nối một thiết bị đo ngoài hiện trường với một bộ tiếp nhận trung tâm.

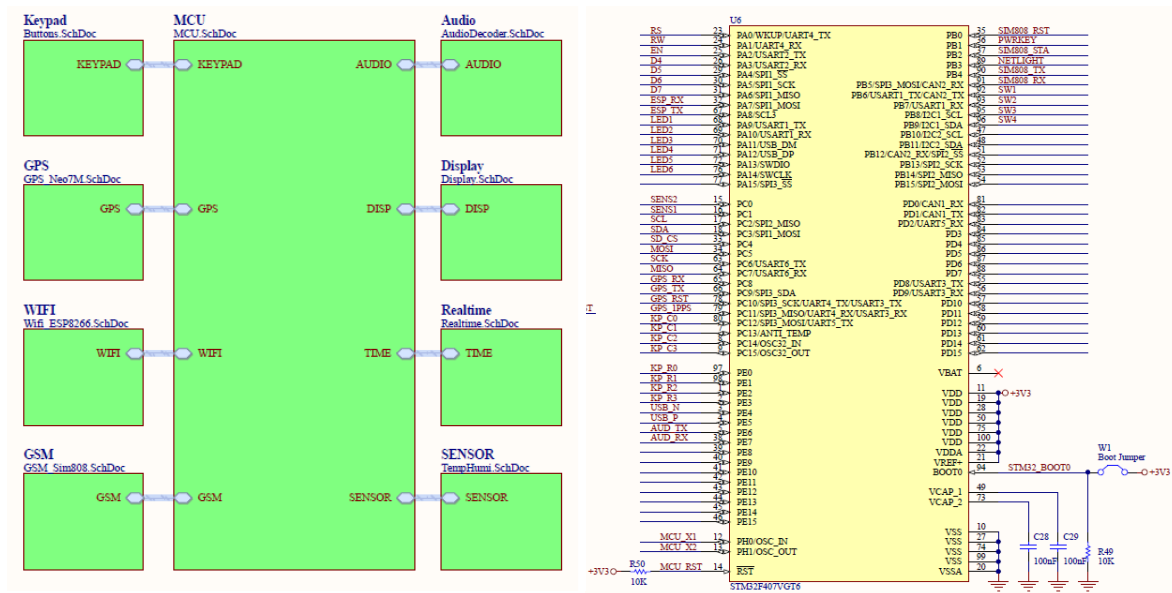
Để đảm bảo tính linh hoạt, mang tính hệ thống và trải rộng trong không gian lớn với các thông số đo được tập trung vào bụi PM_{2,5} và PM₁₀ nên chúng tôi đã xây dựng cấu hình của hệ thống theo sơ đồ như Hình 3.



Hình 3. Mô hình mạng của hệ thống

Mạng cảm biến không dây WSN (Wireless Sensor Networks) bao gồm nhiều nút cảm biến MoD tạo nên một mạng cảm biến không dây phủ sóng một vùng nhằm giám sát, theo dõi và quản lý các thông số trong toàn bộ vùng đo.

Thiết kế nút mạng cảm biến không dây trong nghiên cứu này chính là thiết kế nhiều MoD sử dụng cảm biến đo nhiệt độ, đo độ ẩm cơ bản loại DHT22, cảm biến đo bụi SDS011 và GPS. Các trạm đo thông minh này tích hợp module Sim 808 để truyền dữ liệu đo qua mạng GSM/GPRS về trạm thu thập dữ liệu cơ sở, được xử lý và điều khiển hiển thị, truyền thông tin, quản lý nguồn nhờ vi điều khiển ARM cortex-M4 STM32F4. Hình 4 trình bày mạch nguyên lý ghép nối DHT22, SDS022, LCD, GPS, Sim 808 với ARM cortex-M4 STM32F4.



Hình 4. Mạch nguyên lý ghép nối các thiết bị với ARM

STM32F4 là vi điều khiển 32 bit kết hợp các ưu điểm về hiệu suất cao, khả năng xử lý thời gian thực, xử lý tín hiệu số, tiêu thụ ít năng lượng, hoạt động điện áp thấp, trong khi duy trì khả năng tích hợp đầy đủ và dễ dàng phát triển ứng dụng. STM32F4 có thể hoạt động ở điện áp 3,3 V, chạy ở tần số 168 MHz và dòng tiêu thụ chỉ có 36 mA với tất cả các khối bên trong vi điều khiển đều được hoạt động, đầy đủ kết nối ngoại vi. Kết hợp với các chế độ tiết kiệm năng lượng của Cortex, STM32F4 chỉ tiêu thụ 2 μ A khi ở chế độ chờ (Standby) [9].

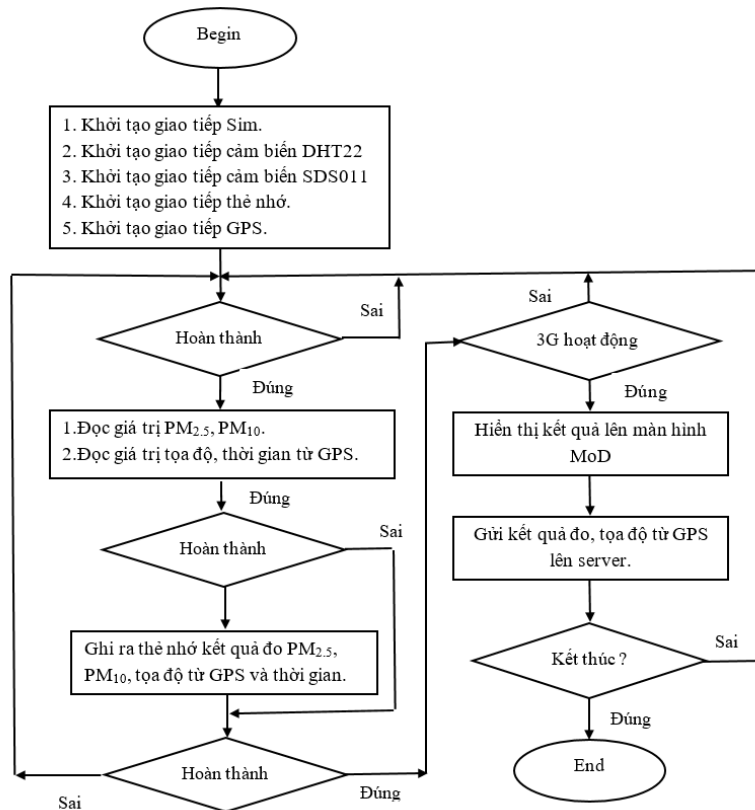
Chương trình sẽ đưa ra cảnh báo ô nhiễm qua màu sắc đèn Led và tin nhắn SMS đến số điện thoại đăng ký khi các thông số bụi $PM_{2.5}$ và PM_{10} vượt ngưỡng quy định. Ngoài ra trên mỗi MoD có màn hình hiển thị các giá trị đo thực để xem trực tiếp các thông số nhiệt độ, độ ẩm, bụi $PM_{2.5}$ và PM_{10} , tọa độ GPS.

Giữa các trường thông tin của một bản tin được sắp xếp theo một trật tự nhất định và được ngăn cách với nhau bằng một ký tự “g”. Một bản tin hợp lệ là một bản tin được bắt đầu bằng ký tự “A” và kết thúc bằng ký tự “e”. Khi phát hiện bản tin của tủ đo gửi về bị lỗi bản tin sẽ bị loại bỏ (Hình 5).

A	g	Nhiệt độ	g	Độ ẩm	g	$PM_{2.5}$	g	PM_{10}	g	Kinh độ	g	Vĩ độ	g	e
---	---	----------	---	-------	---	------------	---	-----------	---	---------	---	-------	---	---

Hình 5. Cấu trúc bản tin

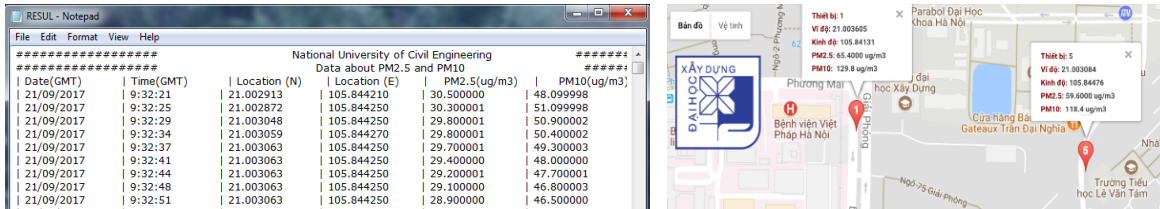
Để các thông số được đưa về trung tâm, cấu trúc xây dựng bản tin mang thông tin từ module sim808 server ngắn gọn, đầy đủ và kiểm soát được lỗi, hiệu quả về mặt kinh tế. Thiết bị MoD đo gửi lên Sever là bản tin dữ liệu, chứa thông tin giá trị đọc được từ cảm biến và GPS theo lưu đồ chương trình (Hình 6).



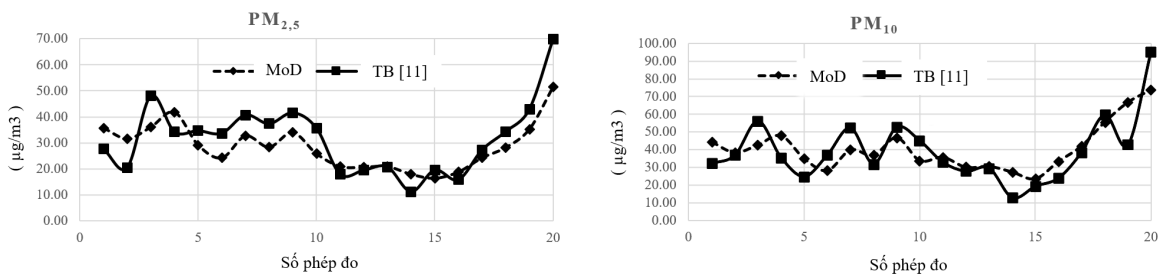
Hình 6. Lưu đồ chương trình

3. Kết quả và thảo luận

Các kết quả đo từ MoD được ghi trong thẻ nhớ SD dạng text thể hiện dưới dạng bảng để theo dõi và xử lý số liệu và có hiển thị trên web rất trực quan (Hình 7), so sánh với kết quả trung bình tính toán dựa trên 20 phép đo thực hiện cùng với thiết bị kiểm chứng [10, 11] cho thấy sự biến động kết quả theo giờ trong ngày khá tương đồng (Hình 8). Chúng tôi cũng đã tiến hành thử nghiệm với năm bộ MoD gửi dữ liệu đồng thời đến máy chủ và thu được kết quả hiển thị trên trang web (Hình 7). Tần suất lấy mẫu, thời gian hiển thị có thể được lập trình để đáp ứng điều kiện cơ sở hạ tầng mạng thông tin.



Hình 7. Kết quả ghi trong thẻ nhớ và hiển thị trên bản đồ



Hình 8. Kết quả so sánh MoD và thiết bị kiểm chứng [10]

Trong bài báo này, chúng tôi đã trình bày cách thiết kế, chế tạo một bộ thiết bị cảm biến MoD không dây để đo nồng độ bụi PM_{2.5}, PM₁₀, nhiệt độ, độ ẩm và tọa độ GPS tại bất kỳ khu vực nào, bằng cách kết hợp công nghệ thu thập dữ liệu thông minh và mạng cảm biến không dây. Tất cả các bộ phận được thiết kế, chế tạo và ghép nối thành một bộ thiết bị hoàn chỉnh tạo nên mạng lưới giao tiếp và kết nối ổn định. Ngoài chi phí thấp, một MoD còn có ưu điểm sử dụng năng lượng bằng ắc quy có thể hoạt động trong thời gian dài, mạng lưới cho phép bổ sung các MoD vào mạng và mở rộng mạng lên đến hàng chục hoặc thậm chí hàng trăm MoD.

Các thông tin cần thiết như yêu cầu ban đầu đã hiển thị rõ ràng đối với khu vực cụ thể, tuy nhiên nếu để đánh giá sự đóng góp hoặc phân tích thông tin các nguồn ô nhiễm từ nơi khác đến khu vực đặt thiết bị thì bộ MoD cần thêm cảm biến về hướng gió [12], trong thể hệ tiếp theo chúng tôi sẽ bổ sung cảm biến này.

4. Kết luận

Thiết bị và mạng lưới đã được thiết kế và hiển thị được các thông số nhiệt độ, độ ẩm, bụi PM₁₀ và PM_{2.5} tại khu vực đặt thiết bị thử nghiệm (khu vực trường Đại học Xây dựng, số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam), các thông số hiển thị ổn định. Thời gian tương tác

của con người giảm đáng kể khi có mạng lưới quan trắc, đặc biệt gặp môi trường nguy hiểm khi con người không thể tiếp cận được.

Nghiên cứu này cho thấy việc chủ động thiết kế, chế tạo thiết bị trong các nghiên cứu khoa học sẽ giảm rất lớn các chi phí từ đội ngũ kỹ thuật vận hành và bảo dưỡng cũng như thay thế các thiết bị trong thời gian dài hoạt động.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Trường Đại học Xây dựng cho đề tài “Khảo sát hàm lượng bụi PM_{2,5}, PM₁₀ và đánh giá rủi ro gây ung thư bởi các hợp chất PAHs có trong hạt bụi tại các chung cư cao tầng”, mã số 177-2018/KHXD-TĐ và Quỹ Nafosted cho đề tài “Xác định và đánh giá độc tính của các hợp chất hydrocacbon thơm (PAHs) và các hợp chất liên quan trong bụi khí (PM_{2,5} và PM₁₀) tại khu vực Hà Nội sử dụng kết hợp phương pháp phân tích hóa học và thử nghiệm sinh học”, mã số Nafosted 104.99-2015.88.

Tài liệu tham khảo

- [1] Kappos, A. D., Bruckmann, P., Eikmann, T., Englert, N., Heinrich, U., Höppe, P., Koch, E., Krause, G. H. M., Kreyling, W. G., Rauchfuss, K. (2004). Health effects of particles in ambient air. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 207(4):399–407.
- [2] Beckerman, B. S., Jerrett, M., Finkelstein, M., Kanaroglou, P., Brook, J. R., Arain, M. A., Sears, M. R., Stieb, D., Balmes, J., Chapman, K. (2012). [The association between chronic exposure to traffic-related air pollution and ischemic heart disease](#). *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 75(7): 402–411.
- [3] Miller, K. A., Siscovick, D. S., Sheppard, L., Shepherd, K., Sullivan, J. H., Anderson, G. L., Kaufman, J. D. (2007). [Long-term exposure to air pollution and incidence of cardiovascular events in women](#). *New England Journal of Medicine*, 356(5):447–458.
- [4] Lượng, N. Đ., Trung, N. T., Thái, N. D., Động, N. D., Sĩ, N. V. (2014). [Khảo sát và đánh giá sơ bộ hệ số phát thải khí CO₂ cho các công nghệ lò nung sử dụng trong ngành công nghiệp sản xuất gạch nung](#). *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng (TCKHCN XD)-ĐHXD*, 8(3):81–85.
- [5] Amann, M., Klimont, Z., Hà, T. A., Rafaj, P., Kiesewetter, G., Nguyen, B., Thu, N. T., Thúy, K. M., Schöpp, W., Sander, R. et al. (2018). [Dự báo chất lượng không khí tại Hà Nội và khu vực phía Bắc Việt Nam](#). Dự án VAST-IIASA.
- [6] Hùng, N. T., Lý, B. S. (2009). [Ứng dụng mô hình tính lan tỏa ô nhiễm không khí từ đường phố OSPM để xác định hệ số phát thải trung bình của các dòng xe tại Hà Nội](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 3(3).
- [7] Hauert, F., Vogl, A. (1995). Measurement of dust cloud characteristics in industrial plants. *Proceedings of the Dust Explosion Conference, London, CREDIT-Project of the European Commission*.
- [8] Trung, N. T., Tới, P. V., Lan, Đ. T. P. (2016). Kết quả bước đầu trong nghiên cứu, thiết kế thiết bị quan trắc không khí khu vực đô thị. *Tạp chí Môi trường Đô thị Việt Nam*, 31–35.
- [9] [Giới thiệu dòng vi điều khiển STM32](#). Truy cập ngày 24/11/2019.
- [10] Hiếu, B. T., Trung, N. T. (2018). [Đánh giá độ tin cậy của thiết bị giám sát chất lượng môi trường không khí trong công tác quan trắc môi trường không khí xung quanh](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 12(4):106–114.
- [11] Trung, N. T., nnc (2014). [Nghiên cứu thiết kế, chế tạo hệ thống thiết bị giám sát chất lượng môi trường không khí ở khu vực dân cư đô thị](#). Bộ Giáo dục và Đào tạo.
- [12] Baumann, R., Krzyzanowski, M., Chicherin, S. (2006). [Framework plan for the development of monitoring of particulate matter in EECCA](#). Copenhagen: WHO Regional Office for Europe.