

ỨNG DỤNG BỘ LỌC KALMAN TRONG VIỆC XỬ LÝ TÍN HIỆU THU ĐƯỢC TỪ CẢM BIẾN ĐO NỒNG ĐỘ BỤI SHARP GP2Y1010AU0F

A STUDY ON KALMAN FILTER IN PROCESSING SIGNALS FROM GP2Y1010AU0F DUST SENSOR

CN. Trịnh Tuấn Dương, TS. Nguyễn Ngọc Linh
Trường Đại học Công nghệ - Đại học Quốc gia Hà Nội

Email: nlnguyen@vnu.edu.vn

Số điện thoại liên hệ: 0902 152 648

TÓM TẮT

Bài báo trình bày việc áp dụng thuật toán lọc Kalman trong việc xử lý tín hiệu thu thập được từ cảm biến đo nồng độ bụi Sharp GP2Y1010AU0F. Kết quả được kiểm chứng trên một hệ thống được thiết kế gồm: Một module có nhiệm vụ thu thập và biến đổi dữ liệu thu được từ cảm biến đo nồng độ bụi; một module có nhiệm vụ xử lý và lọc dữ liệu này nhờ bộ lọc Kalman, rồi gửi dữ liệu lên máy tính thông qua giao tiếp RS232. Hai module giao tiếp không dây với nhau bằng sóng vô tuyến 2.4 GHz.

Từ khóa: Cảm biến nồng độ bụi Sharp GP2Y1010AU0F, bộ lọc Kalman, xử lý tín hiệu.

ABSTRACT

This paper presents the application of using Kalman filtering to filter the data which collected from Sharp GP2Y1010AU0F dust level sensor. A real system combined by two modules communicating with each other through a 2.4 GHz radio frequency line is designed to apply the method. One module collects and transforms data while the other one filters data with a Kalman filter then transfers this data to PC.

Keywords: Sharp GP2Y1010AU0F dust level sensor, Kalman filter

1. GIỚI THIỆU

Chất lượng không khí là một vấn đề nhận được rất nhiều chú ý trong thời gian gần đây đặc biệt là tại các thành phố lớn do tình trạng ô nhiễm không khí ngày càng ra tăng. Trong khi đó ở nước ta, các trạm quan trắc chất lượng không khí còn ít, và mới chỉ cung cấp được chỉ số không khí một cách tổng thể trên diện rộng. Do đó, việc chủ động nắm được thông tin về mức độ chất lượng không khí trong phạm vi hẹp, ngay tại nơi làm việc và sinh sống là việc quan trọng và cần thiết để có thể có các biện pháp kịp thời phòng tránh hoặc làm giảm tác động do ô nhiễm không khí gây ra. Hiện nay có rất nhiều loại cảm biến có chức năng đo nồng độ bụi trong không khí ví dụ như Plant tower PMS3003, PMS5003, PMS7003. Các cảm biến này có thể đo được nhiều loại hạt bụi với kích thước khác nhau, dùng nguyên lý laser nên kết quả tương đối chính xác. Tuy nhiên có nhược điểm là giá thành cao và khó mua ở Việt Nam. Một loại cảm biến nồng độ bụi khác là Sharp GP2Y1010AU0F có ưu điểm là giá thành rất rẻ, phổ biến nhưng nhược điểm là dùng nguyên lý đo bằng hồng ngoại nên chịu ảnh hưởng rất nhiều bởi nhiễu dẫn đến kết quả đo đặc biệt động lớn gây khó khăn trong việc quan sát của người dùng cũng như hạn chế khả năng áp dụng trong các loại thiết bị tự động như máy lọc không khí tự chế. Vì vậy, việc xử lý tín hiệu từ cảm biến này trước khi sử dụng là việc cần thiết. Bài viết này trình bày việc thu thập dữ liệu và lọc nhiễu cho cảm biến nồng độ bụi Sharp GP2Y1010AU0F bằng bộ lọc Kalman. Kết quả thực nghiệm được kiểm chứng thông qua việc thiết kế, chế tạo các module đo đặc sử dụng cảm biến này.

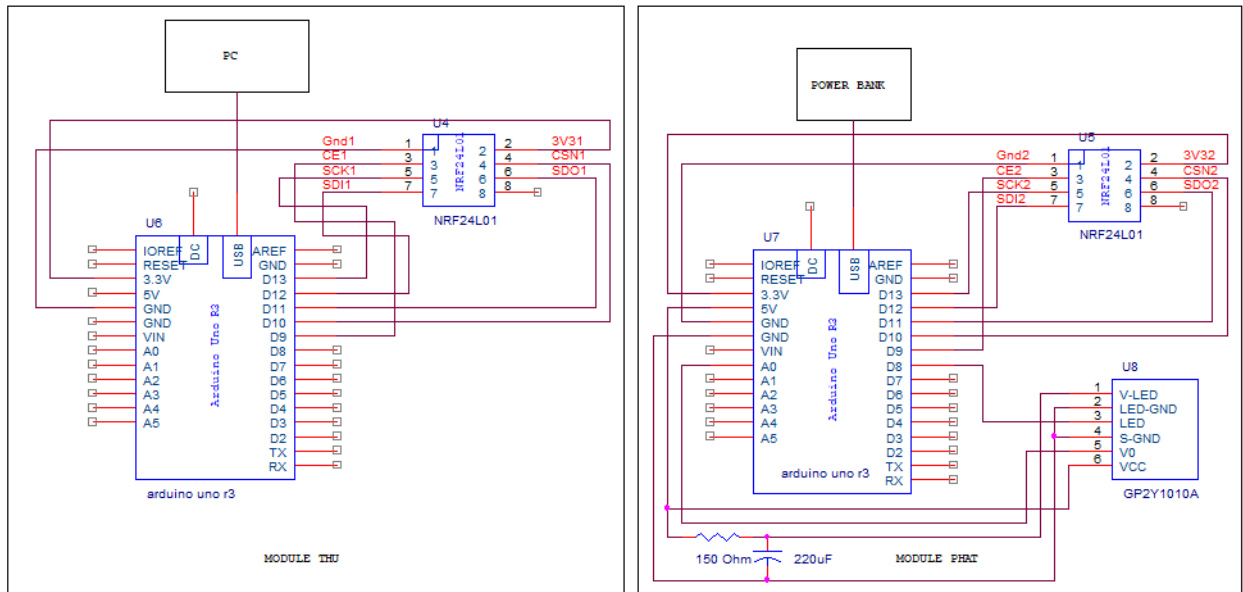
2. THU THẬP VÀ XỬ LÝ TÍN HIỆU CẢM BIẾN

2.1 Thiết kế module thu thập dữ liệu từ cảm biến và truyền nhận dữ liệu



Hình 1. Sơ đồ khối nguyên lý hoạt động của hệ thống

Hệ thống được thiết kế gồm 2 module sử dụng vi điều khiển Arduino. Module xử lý dữ liệu có nhiệm vụ thu thập tín hiệu từ cảm biến theo nguyên lý biến đổi ADC, rồi gửi dữ liệu qua giao tiếp vô tuyến sang module nhận dữ liệu.



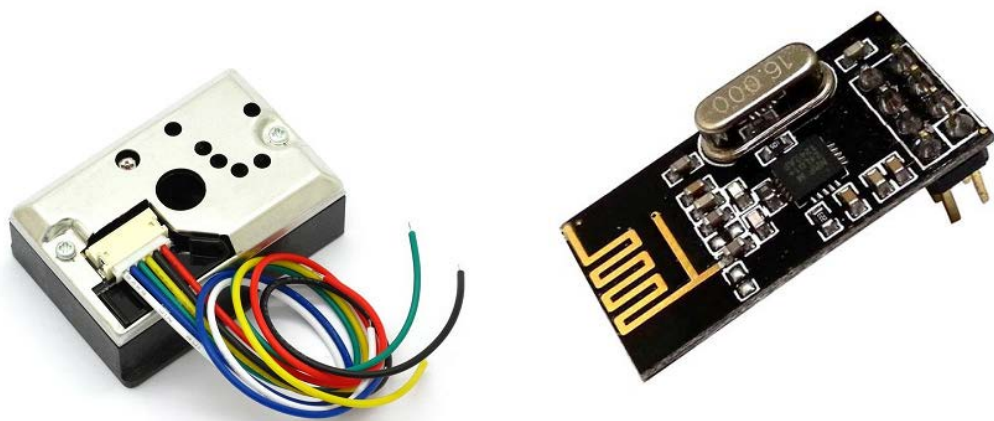
Hình 2. Mạch nguyên lý của hệ thống

Module nhận dữ liệu tiếp nhận dữ liệu, lọc nhiễu, biến đổi tín hiệu này từ giá trị digital sang giá trị khoảng cách rồi gửi lên PC thông qua giao tiếp RS232. Việc thiết lập một giao tiếp không dây ở đây là điều quan trọng vì cảm biến nồng độ bụi cần được đặt ở những vị trí thuận lợi trong việc đo đạc và có thể cách xa module xử lý, hiển thị dữ liệu.

2.2 Lập phương trình liên hệ giữa nồng độ bụi đo được và điện áp đầu ra của cảm biến nồng độ bụi Sharp GP2Y1010AU0F

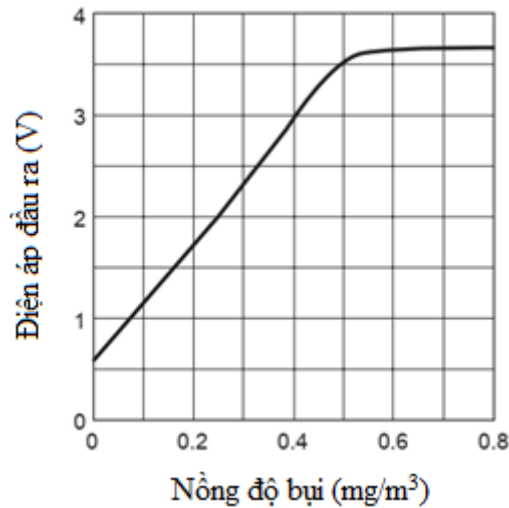
Cảm biến đo nồng độ bụi Sharp GP2Y1010AU0F có một số đặc tính như sau [1]:

- Điện áp làm việc: 5 Volt
- Độ nhạy $\approx 0.5 \text{ Volt} / 0.1 \text{ mg/m}^3$



Hình 3. Cảm biến nồng độ bụi Sharp GP2Y1010AU0F và module RF NRF24L01

Tín hiệu điện áp analog thu được từ cảm biến sẽ được biến đổi ADC sang giá trị digital với điện áp so sánh $V_{ref} = 5 \text{ volt}$ và được lưu vào thanh ghi 10 bit.



Hình 4. Biểu đồ tham khảo nhà sản xuất đưa ra về mối liên hệ giữa điện áp đầu ra và nồng độ bụi trên cảm biến Sharp GP2Y1010AU0F [1]

Dựa vào biểu đồ tham khảo nhà sản xuất đưa ra (hình 4) thì mối liên hệ giữa điện áp đầu ra của cảm biến và nồng độ bụi có mối liên hệ tuyến tính trên một khoảng giá trị xấp xỉ từ 0.6 Volt cho đến 3.5 Volt. Do đó, mối liên hệ này có thể được lập theo công thức (1):

$$y = a * x + b \quad (1)$$

Trong đó: y là điện áp đầu ra của cảm biến (Volt)

x là nồng độ bụi đo được (mg/m³)

a, b là các hằng số cần tìm.

Tuy nhiên, trên thực tế khoảng giá trị tuyến tính của điện áp có thể bị lệch đi một khoảng khác nhau với mỗi cảm biến cụ thể. Do đó, phải dựa vào giá trị đo thực nghiệm để hiệu chỉnh và tìm ra công thức chính xác. Với cảm biến dùng để thí nghiệm, kết quả đo được khoảng biến thiên tuyến tính điện áp là từ 0.45 Volt đến 3.74 Volt.

Từ đó, dựa theo công thức (1) và biến đổi, mối quan hệ giữa nồng độ bụi và điện áp đầu ra của cảm biến có dạng như sau:

$$x = 0.152 * y - 0.068 \quad (2)$$

Sau khi thu được nồng độ bụi từ công thức (2), kết quả sau đó khi đưa vào tính toán được chuyển sang đơn vị (ug/ m³) để có thể dễ dàng so sánh theo các chỉ tiêu AQI [5]

2.3 Truyền nhận dữ liệu giữa các module

Dữ liệu ADC thu được sẽ được truyền từ module thu thập dữ liệu sang module nhận dữ liệu thông qua giao tiếp sóng vô tuyến ở tần số 2.4 GHz nhờ hai module NRF24L01 [3]. Hai module này thực hiện việc giao tiếp với các vi điều khiển thông qua giao tiếp SPI. Để tăng tính chính xác và bảo mật trong quá trình truyền nhận dữ liệu thì dữ liệu sẽ được truyền theo protocol quy ước như sau:

Start byte 1	Start byte 2	Data byte	Check byte
0x42	0x42		

Với Check byte = Start byte 1 + Start byte 2 + Data byte.

Dữ liệu từ module nhận sau đó được truyền lên PC thông qua giao tiếp RS232 tốc độ BAUD 9600.

2.4 Áp dụng bộ lọc Kalman để ước lượng nồng độ bụi

Dữ liệu thu được sẽ được biến đổi sang nồng độ bụi theo công thức (2) rồi đưa vào làm dữ liệu đo đạc cho bộ lọc Kalman. Bộ lọc Kalman được phát triển bởi Rudolf Kalman [3], là một công cụ rất hiệu quả trong việc xử lý tín hiệu hay ước lượng trạng thái của hệ thống. Giả sử đã biết phương trình trạng thái của hệ thống, thì do các tác động khách quan từ bên ngoài có

thể ngẫu nhiên hoặc chưa được tính đến nên kết quả thu được từ phương trình sẽ không chính xác. Tương tự như vậy, khi sử dụng cảm biến để đo một số trạng thái của hệ thống thì kết quả này cũng chỉ chính xác một cách tương đối do ảnh hưởng bởi nhiễu. Tận dụng cả thông tin từ việc ước lượng từ phương trình trạng thái của hệ thống cũng như thông tin từ việc đo đạc, với cơ sở nhiễu quá trình và nhiễu đo đạc đều có phân bố Gauss thì thuật toán Kalman có thể đưa ra được ước lượng tốt nhất về trạng thái của hệ thống.

Các phương trình của bộ lọc Kalman rời rạc có dạng như (3) và (4) và tạo thành một vòng lặp [2] :

Các phương trình cập nhật theo thời gian của bộ lọc Kalman rời rạc:

$$\begin{cases} \hat{x}_k^- = A\hat{x}_{k-1}^- + Bu_{k-1} \\ P_k^- = AP_{k-1}A^T + Q \end{cases} \quad (3)$$

Các phương trình cập nhật theo việc đo lường của bộ lọc Kalman rời rạc:

$$\begin{cases} K_k = P_k^- H^T (HP_k^- H^T + R)^{-1} \\ \hat{x}_k = A\hat{x}_k^- + K_k(y_k - H\hat{x}_k^-) \\ P_k = (I - K_k H)P_k^- \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó:

Bảng 1: Ý nghĩa của các ký hiệu dùng trong thuật toán Kalman

Ý nghĩa	Ký hiệu
Các chỉ số dưới thể hiện bước lặp	k, k-1
Trạng thái ước lượng hậu nghiệm và trạng thái ước lượng tiền nghiệm của hệ	\hat{x}, \hat{x}^-
Ma trận trạng thái	A
Ma trận đầu vào	B
Ma trận hiệp phương sai của sai số ước lượng hậu nghiệm và ma trận hiệp phương sai của sai số ước lượng tiền nghiệm	P, P ⁻
Ma trận hiệp phương sai của nhiễu quá trình và ma trận hiệp phương sai của nhiễu đo lường	Q, R
Giá trị đo lường	y
Hệ số Kalman	K
Ma trận trạng thái đo	H

Vì tốc độ lấy mẫu của hệ thống rất nhanh và các nguồn gây biến đổi nồng độ bụi là không xác định nên các phương trình Kalman được lập như sau:

Các phương trình cập nhật theo thời gian:

$$\begin{cases} \hat{x}_k^- = \hat{x}_{k-1}^- \\ P_k^- = P_{k-1} + Q \end{cases} \quad (5)$$

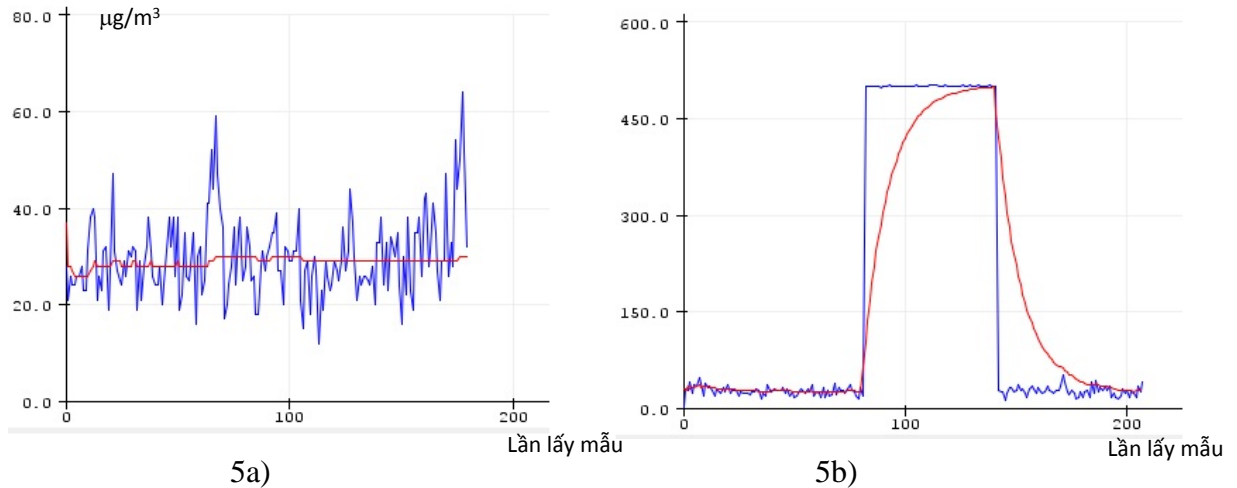
Các phương trình cập nhật đo lường:

$$\begin{cases} K_k = P_k^- (P_k^- + R)^{-1} \\ \hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K_k(y_k - H\hat{x}_k^-) \\ P_k = (I - K_k H)P_k^- \end{cases} \quad (6)$$

Khi khởi chạy chương trình, hệ thống sẽ tiến hành lấy mẫu tự động để xác định giá trị phương sai của nhiễu đo lường:

Bảng 2. Kết quả lấy mẫu 20 lần đo nồng độ bụi được chương trình thực hiện tự động khi khởi chạy nhằm mục đích tính phương sai của nhiễu đo lường.

Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³
1	31.45	6	35.91	11	50.01	16	24.77
2	38.87	7	29.97	12	49.27	17	42.59
3	33.68	8	30.71	13	48.52	18	35.91
4	18.09	9	38.13	14	36.65	19	38.13
5	30.71	10	27	15	40.36	20	41.1



Hình 5. Hai kết quả đo nồng độ bụi trong hai thời điểm khác nhau. Đường màu xanh thể hiện kết quả trước khi lọc nhiễu, đường màu đỏ thể hiện kết quả sau khi áp dụng thuật toán Kalman.

Từ các dữ liệu thu được ở bảng 2, phương sai của nhiều đo lường được tính như công thức (7):

$$\sigma_w^2 = \frac{1}{n} [(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_{20} - \bar{x})^2] \approx 64 (\text{ug/m}^3)^2 \quad (7)$$

Vì mức độ không xác định về trạng thái của hệ thống lớn do thông tin về hệ thống không có nhiều nên cần đặt P_0 lớn. Tiến hành thử nghiệm trong phòng làm việc với các giá trị khởi tạo: $Q = 0.5$, $R = 64$, $P_0 = 1000$, $x_0 = 36$ kết quả thu được như trên hình 5 và bảng 3.

Hình 5a: Kết quả đo nồng độ bụi trong môi trường phòng làm việc kín. Dữ liệu thu được sau khi xử lý bằng bộ lọc Kalman cho kết quả ổn định hơn rất nhiều so với dữ liệu chưa được xử lý. Hình 5b. Kết quả khi chủ động tác động để nồng độ bụi thay đột ngột từ giá trị thực tế đang đo đạc được tới ngưỡng cực đại với mục đích quan sát tốc độ đáp ứng của hệ thống. Dữ liệu sau khi được xử lý bằng bộ lọc Kalman sẽ có độ trễ so với dữ liệu chưa được xử lý. Theo như hình 5a, dù hoạt động ở phòng làm việc kín, là môi trường nồng độ bụi ít biến đổi, nhưng do nhiều đo đạc mà kết quả trước khi lọc có sự biến đổi rất lớn. Điều này sẽ làm hạn chế khả năng ứng dụng của cảm biến vì theo chỉ tiêu AQI [5] thì giới hạn của một mức chất lượng không khí thường trong khoảng 50 ug/m^3 . Vì vậy, nếu như phương sai của kết quả lớn sẽ làm cho kết quả sẽ bị dao động giữa các mức chất lượng không khí, gây ra đáp ứng thay đổi liên tục của thiết bị hoặc hệ thống mà cảm biến này được áp dụng vào. Cũng trên hình 5a, có thể thấy thông số nồng độ bụi sau khi đã được lọc bằng thuật toán Kalman là rất ổn định và có phương sai nhỏ và do đó đã giải quyết được vấn đề nêu trên. Hình 5b thể hiện độ trễ của trạng thái khi được lọc bằng Kalman. Tốc độ đáp ứng này có thể được thay đổi thông qua việc điều chỉnh phương sai nhiễu quá trình. Tuy nhiên, với việc xung nhịp trang bị trên các vi điều khiển là rất cao, ví dụ với Arduino Uno đang sử dụng trong bài viết là 16Mhz; và việc thời gian hoàn thành mỗi lần

lấy mẫu đo nồng độ bụi của cảm biến chỉ khoảng 10ms theo như datasheet của nhà sản xuất [1], thì độ trễ ở đây (số lần lấy mẫu nhân với thời gian mỗi lần lấy mẫu) có thể coi là không đáng kể trong các ứng dụng dân dụng.

Bảng 3. Kết quả lấy mẫu để đánh giá phương sai của kết quả sau khi đã áp dụng thuật toán Kalman.

Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³
1	35.11	6	36.81	11	36.64	16	36.35
2	35.06	7	36.64	12	36.65	17	36.46
3	35.92	8	36.67	13	36.64	18	36.55
4	36.44	9	36.64	14	35.48	19	36.63
5	36.89	10	36.65	15	35.91	20	36.72

Việc đánh giá kết quả dựa trên đồ thị mới chỉ mang tính trực quan, do đó một lần thí nghiệm khác được thực hiện trong cùng điều kiện phòng làm việc kín để lấy mẫu tính phương sai (Bảng 3). Kết quả thu được từ công thức 8 cho thấy phương sai của kết quả là rất nhỏ, cho thấy tính ổn định của kết quả sau khi được lọc bằng thuật toán Kalman.

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{n} [(x_1 - \bar{x})^2 + (x_2 - \bar{x})^2 + \dots + (x_{20} - \bar{x})^2] \approx 0.316 \text{ (ug/m}^3\text{)}^2 \quad (8)$$

Chương trình cũng được thử nghiệm lấy mẫu ở các môi trường có nồng độ bụi cao hơn. Bảng 4 và bảng 5 thể hiện kết quả lấy mẫu nồng độ bụi tại ngã tư Cầu Giấy. Từ bảng 4 có thể thấy rằng nếu như không áp dụng thuật toán lọc Kalman thì theo tiêu chuẩn AQI của một số nước như Hàn Quốc, Singapore, Trung Quốc [5] chất lượng không khí sẽ liên tục bị dao động giữa các ngưỡng trung bình (51-100) và không tốt (101 – 200). Còn kết quả trên bảng 5 ổn định hơn, thường xuyên ở mức không tốt (101 – 200).

Bảng 4. Các mẫu đo kết quả đo nồng độ bụi tại ngã tư Cầu Giấy trước khi áp dụng thuật toán Kalman

Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³
1	89	6	100.75	11	105.95	16	100.75
2	81.45	7	80.71	12	115.59	17	91.1
3	103.73	8	100.74	13	88.87	18	91.84
4	85.91	9	117.08	14	94.07	19	103.72
5	90.36	10	93.33	15	105.95	20	122.27

Bảng 5. Các mẫu đo kết quả đo nồng độ bụi tại ngã tư Cầu Giấy sau khi áp dụng thuật toán Kalman.

Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³	Lần đo	ug/ m ³
1	96.7	6	106.63	11	107.71	16	107.51
2	101.9	7	106.48	12	108.64	17	108.27
3	105.4	8	106.91	13	107.81	18	108.24
4	107.14	9	107.2	14	107.51	19	108.21
5	106.8	10	107.5	15	107.47	20	108.38

3. KẾT LUẬN

Cảm biến *Sharp GP2Y1010AU0F* có giá thành rẻ, và có nguyên lý đo tương đối đơn giản. Tuy nhiên, qua việc tiến hành thực nghiệm, có thể thấy tín hiệu thu được từ cảm biến nồng độ

bụi này bị ảnh hưởng tương đối mạnh từ nhiễu đo đạc. Việc áp dụng thuật toán Kalman trong việc xử lý dữ liệu thu được có tác dụng làm giảm tác động của nhiễu, nâng cao tính ổn định của dữ liệu để từ đó có thể nâng cao khả năng ứng dụng của cảm biến. Tuy nhiên, với việc các nguồn tác động đến nồng độ bụi là khó xác định để có thể lập phương trình ước lượng một cách chính xác. Do đó, tùy vào môi trường làm việc của cảm biến mà cần có sự điều chỉnh phương sai nhiễu quá trình để có thể nâng cao chất lượng đáp ứng của hệ thống.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Sharp, *GP2Y1010AU0F dust sensor level datasheet*.
- [2] Greg Welch, Gary Bishop (2006); “*An introduction to the Kalman filter*”; UNC.
- [3] Kalman, R. E. (1960), “*A New Approach to Linear Filtering and Prediction Problems*”
Journal of Basic Engineering.
- [4] Nordic semiconductor; *NRF24L01 Product specification*.
- [5] Wikipedia: https://en.wikipedia.org/wiki/Air_quality_index