Tạp chí Khoa học Đại học Cần Thơ
Phần A: Khoa học tự nhiên, Công nghệ và Môi trường
ISSN 1859-2333 | e-ISSN 2815-5599

DOI:10.22144/ctujos.2026.004

CẢI TIẾN THUẬT TOÁN ĐẾM RUỒI VÀNG VÀO BẪY ĐIỆN TỬ DỰA TRÊN CƠ SỞ PHÂN TÍCH HÀNH VI

Nguyễn Văn Khanh*, Trần Vỹ Khang và Nguyễn Chí Ngôn
Trường Bách Khoa, Đại học Cần Thơ, Việt Nam
**Tác giả liên hệ (Corresponding author): vankhanh@ctu.edu.vn*

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 17/05/2025
Sửa bài (Revised): 10/06/2025
Duyệt đăng (Accepted): 29/11/2025

Title: *Enhancing the algorithm for counting fruit flies entering electronic traps using behavioral analysis*

Author: *Nguyen Van Khanh*, Tran Vy Khang and Nguyen Chi Ngon*

Affiliation(s): *College of Engineering, Can Tho University, Viet Nam*

TÓM TẮT

Đếm tự động ruồi vàng hại trái là một trong những tác vụ quan trọng trong nông nghiệp. Trong đó, cơ chế đếm kép dựa vào hai cặp thu phát hồng ngoại đã được áp dụng và có hiệu quả tốt. Tuy nhiên, thuật toán đếm dựa trên cơ chế này vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế. Trong nghiên cứu, độ chính xác của cơ chế đếm kép dựa trên cơ sở các hành vi đi vào bẫy của ruồi được tập trung cải tiến. Một bẫy điện tử tích hợp cơ chế đếm kép được thiết kế và thu thập dữ liệu thực tế trong một tháng để phân tích hành vi vào bẫy của ruồi vàng. Các hành vi này được sử dụng phát triển thuật toán đếm lượng ruồi vào bẫy. Kết quả thử nghiệm thực tế cho thấy bẫy hoạt động ổn định, có thể phát hiện và đếm số lượng ruồi đi vào bẫy với độ chính xác đạt 95,05%. Kết quả đạt được của nghiên cứu có thể là cơ sở để phát triển một hệ thống tự động phát hiện, cảnh báo sớm và quản lý phân bố ruồi vàng trong tương lai.

Từ khóa: *Bẫy giám sát tự động, cảm biến quang học, Bactrocera dorsalis (Hendel), cơ chế đếm kép*

ABSTRACT

Automatic counting of fruit flies is one of the important tasks in agriculture. In particular, the double-counting mechanism, based on two pairs of infrared signal transmitters and receivers, has been applied and has good efficiency. However, the counting algorithm based on this mechanism still has many limitations. This study focuses on improving the accuracy of the dual counting mechanism based on the trap-entering behavior of fruit flies. An electronic trap with an integrated double-counting mechanism is designed, and the actual data is collected within one month to analyze the trap-entering behavior of fruit flies. These behaviors were used to develop an algorithm to count the number of fruit flies entering the trap. The experimental results showed that the trap operates stably and can detect and count the number of flies entering the trap with an accuracy of 95,05%. The result of this study could be used to develop an automatic system for detecting early warnings and managing fly distributions in the future.

Keywords: *Automatic monitoring trap, optical sensor, Bactrocera dorsalis (Hendel), double-counting mechanism*

1. GIỚI THIỆU

Ruồi giấm phương đông (Bactrocera dorsalis) thuộc họ ruồi giấm (Diptera: Tephritidae) còn được gọi đơn giản là ruồi vàng, là loài côn trùng gây hại phổ biến trên toàn thế giới (Zeng et al., 2019). Chúng chuyên tấn công vào các loại cây ăn quả và thể hiện hành vi nội thực bằng cách đẻ trứng vào bên trong quả, ấu trùng khi nở tiêu thụ thịt quả từ bên trong gây hư thối quả (Weems et al., 2012). Ruồi vàng là loài đa thực, chúng tấn công nhiều vật chủ khác nhau, chủ yếu là cây ăn quả như cây có múi, xoài, ổi, đu đủ (Iwaizumi, 2004) gây thất thoát sản lượng và kinh tế đáng kể (Papadopoulos et al., 2024). Ruồi vàng có xuất xứ từ Đông Nam Á (Vargas et al., 2015) và nhanh chóng lan rộng khắp khu vực trong đó có cả Việt Nam (Allwood & Leblanc, 1997). Chúng tấn công nhiều loại cây có giá trị xuất khẩu cao như thanh long, nhãn, cây có múi, đào, mận (Hien et al., 2019; Khanh et al., 2014; Tran et al., 2019) làm ảnh hưởng đến thu nhập của nông dân và kinh tế của đất nước. Do đó, việc quản lý và hạn chế sự phá hoại của ruồi vàng là hết sức cần thiết.

Trong những năm gần đây, biện pháp quản lý dịch bệnh tổng hợp IPM (Integrated pest management) được sử dụng rộng rãi ở nhiều nơi trên thế giới do các lợi ích mà nó mang lại như giảm lưu lượng thuốc trừ sâu, bảo vệ thiên địch, mang lại hiệu quả đáng kể (Muriithi et al., 2016). Một trong các công việc chính của IPM là giám sát số lượng và phân bố của côn trùng gây hại. Biện pháp giám sát truyền thống dựa trên việc sử dụng các bẫy khác nhau để thu hút và bẫy côn trùng. Đối với ruồi vàng, nhiều loại bẫy được sử dụng như bẫy dính, bẫy chai, bẫy Mcphail (Navarro-Llopis & Vacas, 2014) đã được sử dụng. Kiểm tra và đếm số lượng ruồi vàng mắc bẫy được thực hiện một cách thủ công để giám sát số lượng và phân bố của chúng. Đây là một công việc tiêu tốn nhiều sức lao động và dễ gây ra sai sót. Bên cạnh đó, việc kiểm tra tại đồng ruộng và bảo trì cũng phải được thực hiện thường xuyên để kịp thời thay thế bẫy cũ (đối với bẫy dính) hoặc loại bỏ xác ruồi và bổ sung chất dẫn dụ (đối với các loại bẫy ruồi vàng khác). Các công việc trên đều tiêu tốn nhiều nhân lực và thời gian, đặc biệt là khi quản lý các khu vực rộng lớn (Ding & Taylor, 2016; Zhang & Swinton, 2009). Do đó, một bẫy được tích hợp các cảm biến có thể tự động đếm số lượng ruồi vàng mắc bẫy là cần thiết để hỗ trợ hiệu quả việc phát hiện và quản lý số lượng ruồi vàng.

Việc giám sát thời gian thực côn trùng gây hại là yếu tố then chốt để nâng cao hiệu quả phòng trị chủ động, giúp giảm thiểu thiệt hại nông nghiệp và bảo vệ hệ sinh thái một cách bền vững. Đối với phương pháp giám sát truyền thống, vốn dựa vào việc kiểm tra thủ công các bẫy côn trùng để xác định số lượng và mật độ của chúng, côn trùng gây hại chỉ được phát hiện khi chúng đã tấn công vườn cây với số lượng nhất định. Dẫn đến việc sử dụng thuốc trừ sâu liên tục và định kỳ nhằm phòng ngừa sự xâm nhập của sâu bệnh. Điều này gây lãng phí và tăng mức độ độc hại do sự tích tụ của thuốc trừ sâu cũng như vô tình tiêu diệt nhiều loài thiên địch khác. Giám sát thời gian thực mang lại khả năng phát hiện sớm sự xuất hiện của côn trùng gây hại, từ đó giúp nông dân và người quản lý có thể đưa ra các giải pháp ngăn ngừa kịp thời và chuẩn xác (John et al., 2023). Do đó, có thể giảm thiểu lượng thuốc trừ sâu được sử dụng dẫn đến tiết kiệm chi phí và thời gian, bảo vệ sức khỏe người nông dân (Liao et al., 2012). Các bẫy điện tử tự động có thể được đặt ở rìa xung quanh khu vực được giám sát để liên tục theo dõi và cảnh báo mỗi khi có sự xuất hiện của côn trùng gây hại.

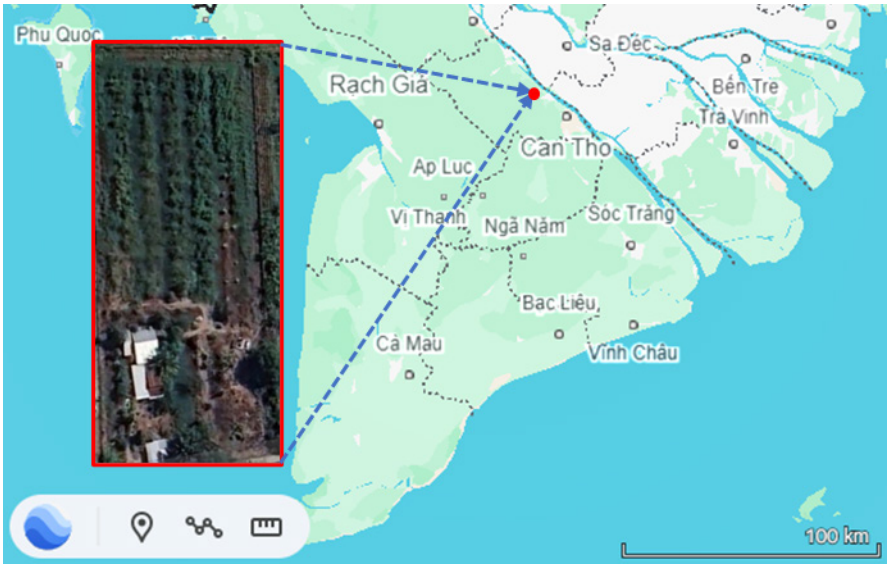
Đã có nhiều nghiên cứu về bẫy điện tử với mục đích tự động quản lý số lượng và nhận diện ruồi vàng gây hại. Hầu hết các nghiên cứu dựa trên hai loại dữ liệu hình ảnh và quang học. Các bẫy điện tử dựa trên dữ liệu hình ảnh có khả năng đếm và nhận diện côn trùng với độ chính xác cao nhờ việc ứng dụng các thuật toán xử lý ảnh và mạng học sâu tiên tiến (Lello et al., 2023). Tuy nhiên, chúng lại yêu cầu các phần cứng mạnh mẽ và bảo trì thường xuyên để có thể hoạt động hiệu quả (Preti et al., 2021), điều này chưa phù hợp với nhu cầu hoạt động liên tục trong thời gian dài của hệ thống tự động giám sát và cảnh báo sự xuất hiện của ruồi vàng. Đối với bẫy điện tử dựa trên cảm biến quang học, cảm biến hồng ngoại thường được sử dụng kết hợp với bẫy dạng chai hoặc bẫy phễu để phát hiện và đếm số lượng ruồi vàng mắc bẫy. Ví dụ, Jiang et al. (2008) đã sử dụng hai cặp LED thu-phát hồng ngoại gắn ở lối vào của một bẫy ruồi vàng thương mại tạo thành cơ chế đếm kép nhằm theo dõi số lượng ruồi vàng xâm nhập vào bẫy. Trong nghiên cứu này, thí nghiệm được thực hiện trong thời gian dài để đánh giá độ chính xác của bẫy và đạt được kết quả là 81,42%. Tuy nhiên, thuật toán đếm trong nghiên cứu này chưa dựa trên sự phân tích chi tiết các các hành vi của ruồi vàng vào bẫy dựa trên tín hiệu thu được dẫn đến giảm độ chính xác của thuật toán. Một cách tương tự, Liao et al. (2012) áp dụng thuật toán đếm kép vào hệ thống giám sát và cảnh báo sớm sự xuất hiện của ruồi vàng. Nghiên cứu đã phân tích một số hành vi của ruồi ảnh hưởng đến kết quả đếm và đề xuất cách khắc phục. Tuy nhiên, đối với trường hợp

ruồi quay ngược trở ra rồi đi vào lại thì vẫn dẫn đến kết quả đếm sai. Một nghiên cứu khác dựa trên cảm biến hồng ngoại và quang trở để phát hiện sự kiện ruồi vàng rơi vào bẫy được thực hiện bởi Holguin et al. (2010). Bẫy xô với mồi dẫn dụ và chất độc được đặt ở phía trên một cái xô được sử dụng trong nghiên cứu. Ruồi vàng bị thu hút bởi mồi và bị giết hoặc choáng bởi chất độc rơi vào xô. Trong quá trình rơi, nó đi qua các cảm biến quang được lắp ở thân xô gây ra một thay đổi điện áp có thể đọc được bằng một vi điều khiển và được xem là một lần đếm. Kết quả thử nghiệm thực tế cho thấy bẫy tồn tại một số hạn chế như côn trùng rơi vào bẫy có thể bay ngược ra dẫn đến kết quả đếm sai và số lượng côn trùng đi vào bẫy ít hơn so với một bẫy truyền thống. Tương tự, Goldshtein et al. (2017) đã thiết kế medfly Automatic Trap (medfly-AT) có dạng một ống hình trụ. Trên đỉnh ống là lối vào và chất dẫn dụ cùng với chất độc. Khi ruồi vàng vào bẫy và bị giết hoặc choáng bởi chất độc nó rơi xuống đáy bẫy qua một phễu được đặt ở thân bẫy. Ở đoạn thu hẹp cuối của phễu, một cặp cảm biến thu phát hồng ngoại được lắp đặt để phát hiện sự kiện xác ruồi vàng rơi qua. Tín hiệu từ cảm biến được đọc bởi một máy tính nhúng Raspberry Pi và được theo dõi để đếm số lượng ruồi mắc bẫy. Kết quả thử nghiệm thực tế tại vườn cây cho thấy độ chính xác dao động từ 83% đến 96% tùy thuộc vào địa điểm và số lượng ruồi thực tế. Số lượng ruồi vào bẫy càng cao thì độ chính xác càng giảm. Có thể thấy, bẫy điện tử sử dụng dao động điện áp từ cảm biến hồng ngoại rất phù hợp để phát hiện ruồi vàng tự động và liên tục trong thời gian thực. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên chưa phân tích chi tiết các hành vi của ruồi vàng gây tác động thế nào đến độ chính xác của tín hiệu thu được từ cảm biến. Một số nghiên cứu tuy có phân tích về một vài trường hợp hành vi bất thường của ruồi vàng nhưng lại chưa đề xuất biện pháp hoặc thuật toán phù hợp để ứng phó.

Mục đích của nghiên cứu này là tập trung cải tiến thuật toán của cơ chế đếm kép dựa trên phân tích hành vi vào bẫy của ruồi vàng trong thời gian dài. Một bẫy điện tử tích hợp cơ chế đếm kép được chế tạo dựa trên bẫy truyền thống. Bẫy được cài đặt chương trình thu thập và lưu trữ tín hiệu điện ngõ ra hai cặp LED thu liên tục trong một tháng để phân tích hành vi ruồi vào bẫy. Các hành vi này là cơ sở để phân tích và cài đặt thuật toán đếm số lượng ruồi vào bẫy. Thuật toán được phát triển tiếp tục được thử nghiệm thời gian thực tại vườn cây ăn trái để đánh giá kết quả. Việc xây dựng thuật toán đếm dựa trên thống kê hành vi vào bẫy của ruồi vàng là nội dung cải tiến quan trọng của nghiên cứu này. Kết quả của nghiên cứu có thể được ứng dụng để phát triển các hệ thống giám sát ruồi vàng quy mô lớn hơn. Hơn nữa, việc kết hợp với công nghệ internet vạn vật hay IoTs (Internet of Things) và công nghệ học máy cũng hứa hẹn nâng cao khả năng nhận diện, phát hiện sớm các loài côn trùng gây hại góp phần vào công tác phòng chống dịch bệnh và bảo vệ sản xuất một cách chủ động, hiệu quả.

2. ĐỊA ĐIỂM THÍ NGHIỆM

Thí nghiệm thu thập dữ liệu và kiểm tra khả năng hoạt động của bẫy được thực hiện tại một vườn táo xanh đang cho quả có diện tích 2000 m^2 tại Thành phố Cần Thơ, Việt Nam (tọa độ: 10.116264, 105.659035). Trong quá trình thu thập dữ liệu và thử nghiệm thực tế, bẫy điện tử được lắp đặt và kích hoạt vào lúc 6 giờ sáng và tắt vào 6 giờ tối vì ruồi vàng không hoạt động vào ban đêm. Mỗi ngày vào buổi tối, dữ liệu được trích xuất từ thẻ nhớ bên trong bẫy để lưu trữ và phân tích. Kết quả được trình bày ở Hình 1 cho thấy vị trí địa điểm được dùng để thực hiện các thí nghiệm bao gồm thu thập dữ liệu và kiểm tra thực địa.

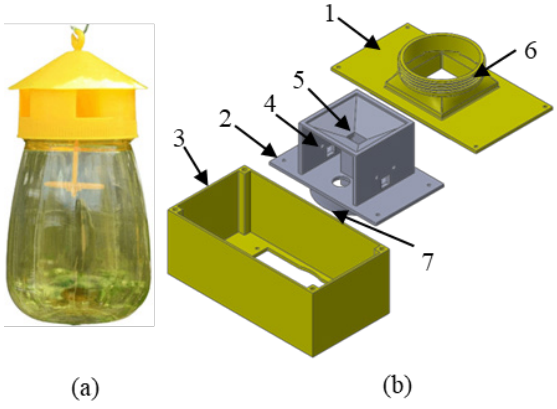


Hình 1. Địa điểm thí nghiệm

3. THIẾT KẾ BẪY ĐIỆN TỬ

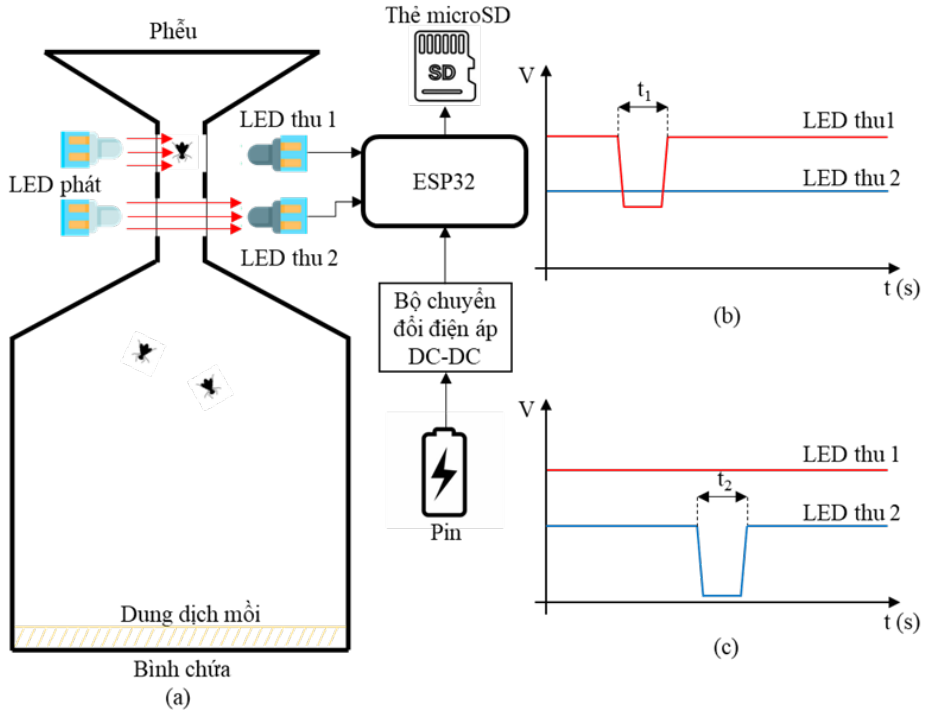
3.1. Mô hình bẫy thu thập dữ liệu ruồi vàng dựa trên cảm biến hồng ngoại

Trong nghiên cứu này bẫy điện tử là một thiết bị được thiết kế nhằm kết hợp với một loại bẫy thương mại truyền thống, như được trình bày ở Hình 2. Loại bẫy truyền thống này được bán phổ biến trên thị trường có cấu tạo như Hình 2a. Kết quả ở Hình 2b trình bày chi tiết thiết kế phần thiết bị trung gian giữa phần nắp và thân của bẫy truyền thống. Đây là một dạng hình hộp chữ nhật gồm 3 phần chính là nắp kết nối bẫy với phần phía trên của bẫy truyền thống, thân dùng để gắn cảm biến cũng là đường dẫn có dạng phễu để ruồi vào bình chứa và chứa phần kết nối với bình chứa, cuối cùng là vỏ để chứa và bảo vệ bản mạch xử lý cùng với nguồn năng lượng. Bẫy sử dụng cơ chế đếm kép để phát hiện ruồi vàng xâm nhập dựa theo cơ chế được đề xuất trong nghiên cứu của Jiang et al. (2008). Tuy nhiên, trong nghiên cứu này, thiết kế lối vào bẫy và vị trí lắp đặt các cảm biến được thiết kế lại để phù hợp với loại bẫy truyền thống được cải tiến. Hai LED thu hồng ngoại cùng 2 cụm LED phát hồng ngoại được đặt đối diện nhau ở đoạn đầu và cuối phần thu hẹp của lối vào dạng phễu. Mỗi khi một cá thể ruồi vàng bò thẳng vào bẫy, nó lần lượt chắn tín hiệu thu được từ hai cảm biến hồng ngoại 1 và 2 tạo ra sụt áp tại chân cảm biến, như được minh hoạ ở Hình 3. Tín hiệu này được theo dõi liên tục bằng một vi điều khiển ESP32 thông qua bộ ADC có độ phân giải 12 bit với tốc độ lấy mẫu 250 Hz nhằm phát hiện kịp thời sự kiện sụt áp khi ruồi di chuyển qua cảm biến. Dữ liệu thu được từ cảm biến, thời điểm phát hiện ruồi vàng và số lượng ruồi đếm được được lưu trữ trong thẻ MicroSD được tích hợp trong mạch điều khiển. Toàn bộ hệ thống được cung cấp năng lượng bởi bộ ba pin 18650 2500 mAh được mắc nối tiếp và thông qua bộ chuyển đổi DC-DC để ổn định điện áp về 5V.



Hình 2. Ý tưởng thiết kế bẫy điện tử

Ghi chú: (a) Bẫy truyền thống được sử dụng trong nghiên cứu; (b) Các bộ phận của thiết bị bao gồm: (1) Nắp thiết bị, (2) Thân, (3) Vỏ thiết bị, (4) Vị trí gắn cảm biến hồng ngoại, (5) Lối vào dạng phễu, (6) Ren ngoài để kết nối với nắp của bẫy truyền thống, và (7) Ren trong để kết nối với bình chứa của bẫy truyền thống



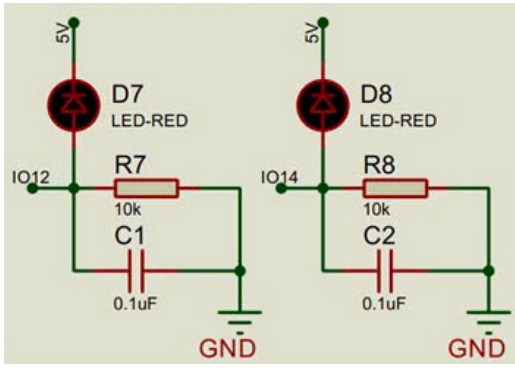
Hình 3. Sơ đồ khối nguyên lý hoạt động của bẫy

Ghi chú: (a) Sơ đồ khối các thiết bị của một bẫy điện tử được đề xuất; (b) Tín hiệu lý tưởng khi ruồi đi qua cặp LED thu phát 1; (c) Tín hiệu lý tưởng khi ruồi đi qua cặp LED thu phát

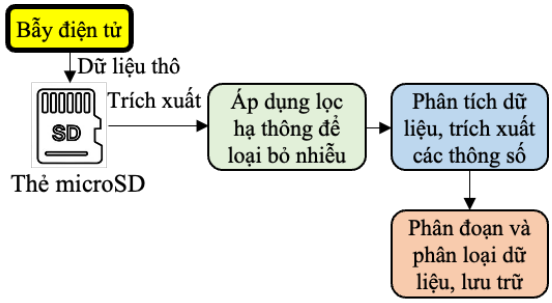
Kết quả được thể hiện ở Hình 4 cho thấy sơ đồ nguyên lý của hai mạch thu hồng ngoại. Các LED được cấp nguồn 5V và được kết nối nối tiếp với một điện trở. Hai GPIO12 và 14 được sử dụng để thu thập dữ liệu tương ứng tại hai ngõ ra IO12 và IO14. Một tụ điện 0,1 μF được mắc song song với điện trở với mục đích giảm nhiễu cao tần. Ở trạng thái bình thường, các LED thu được chiếu sáng bởi cụm LED phát hồng ngoại ở phía đối diện tạo khiến chúng dẫn diện và tạo ra một điện áp ở giữa chúng với điện trở. Khi ruồi vàng xâm nhập và chắn giữa cụm LED phát và LED thu làm giảm lượng ánh sáng hồng ngoại đến LED thu từ đó tạo ra sụt áp tại ngõ ra tương ứng. Hai ngõ vào của mô-đun ADC được sử dụng để chuyển đổi tín hiệu tại hai ngõ ra thành tín hiệu số để phân tích tìm ra sự kiện có ruồi vào bẫy.

3.2. Phương pháp xử lý dữ liệu

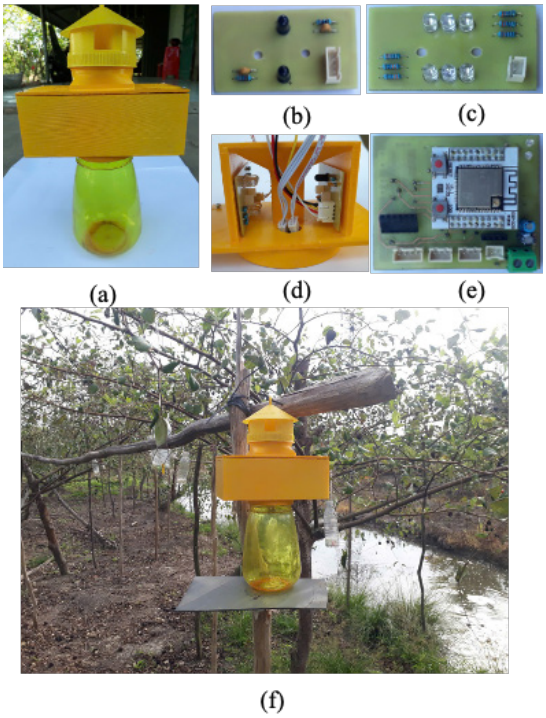
Trên thực tế, ruồi vàng không đơn giản là bò thẳng vào bẫy như kỳ vọng mà nó còn nhiều hành vi khác phức tạp hơn như đã được đề cập bởi Liao et al. (2012). Do đó, trong nghiên cứu này, tín hiệu số của hai ngõ ra của mạch được trình bày ở Hình 4 được thu thập và lưu vào thẻ nhớ trong một tháng từ 17/1/2025 đến 17/2/2025 để phân tích chi tiết hơn hành vi vào bẫy của ruồi vàng. Quy trình xử lý dữ liệu trích xuất từ thẻ nhớ được trình bày trong Hình 5. Trong đó, dữ liệu hồng ngoại thô từ hai cảm biến được trích xuất từ thẻ nhớ ở định dạng text vào mỗi cuối ngày để lưu trữ và xử lý. Các dữ liệu này được lọc hạ thông để loại bỏ nhiễu ở tần số cao và được phân tích để tìm các sự kiện ruồi kích hoạt cảm biến. Sau đó, phân tích thủ công được thực hiện để thống kê các giá trị ngưỡng, biên độ và thời gian của các sự kiện ruồi vào bẫy. Với mỗi sự kiện tìm được, dữ liệu chuỗi thời gian tương ứng được phân đoạn và phân loại dựa theo hành vi của ruồi khi vào bẫy để làm cơ sở phát triển thuật toán đếm.



Hình 4. Sơ đồ nguyên lý kết nối hai LED thu hồng ngoại



Hình 5. Sơ đồ khối quy trình xử lý dữ liệu thu thập được



Hình 6. Bẫy điện tử hoàn chỉnh

Ghi chú: (a) Bẫy hoàn chỉnh bao gồm thiết bị hình hộp chữ nhật kết nối với bẫy truyền thống, (b) Mạch cảm biến thu hồng ngoại, (c) mạch cảm biến phát hồng ngoại, (d) Các cảm biến được lắp đặt vào thân thiết bị; (e) Mạch điều khiển sử dụng ESP32, (f) Bẫy điện tử được lắp đặt tại vườn cây để thu thập dữ liệu và kiểm tra thuật toán

Bộ lọc hạ thông được sử dụng trong nghiên cứu này có tần số cắt 8Hz và hàm truyền như sau:

$$y[n] = a_0 y[n-1] + a_1 y[n-2] + a_2 y[n-3] + a_3 y[n-4] + b_0 x[n] + b_1 x[n-1] + b_2 x[n-2] + b_3 x[n-3] + b_4 x[n-4] \quad (1)$$

Trong đó, $y[.]$*và* $x[.]$ lần lượt là giá trị ngõ ra và ngõ vào của bộ lọc tại thời điểm hiện tại và quá khứ; a=[a_0, a_1, a_2, a_3] và b=[b_0, b_1, b_2, b_3, b_4] lần lượt là hai vector chứa các hệ số của bộ lọc, với a=[3,7368043295; -5,2442977680; 3,2756673762; -0,7682634628] và b=[0,0000055958; 0,0000223833; 0,0000335749; 0,0000223833; 0,0000055958].

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

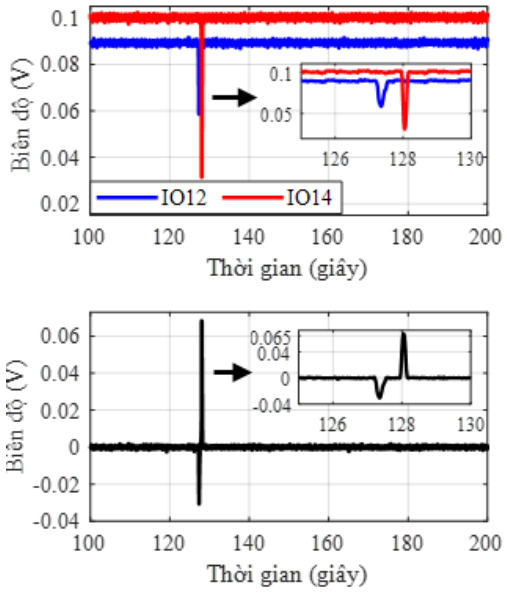
Bẫy điện tử sau khi thiết kế hoàn chỉnh được trình bày ở Hình 6. Hình 6a trình bày bẫy được lắp ráp hoàn thiện với một bẫy truyền thống. Hình 6b, 6c và 6d lần lượt trình bày các cảm biến thu phát hồng ngoại và chúng được lắp ráp vào thân bẫy. Trong đó, hai LED thu 1 và 2 được được lắp đối diện với hai cụm gồm 6 LED phát hồng ngoại. Dữ liệu được thu thập bởi một vi điều khiển ESP32 như Hình 6e. Sau khi lắp ráp hoàn thiện, bẫy được lắp đặt để thu thập dữ liệu tại vườn cây ăn quả như được trình bày trong Hình 6f.

4.1. Phân tích hành vi ruồi vào bẫy dựa trên dữ liệu thu thập

Nhiều hành vi khác nhau khi ruồi vàng đi vào bẫy đã được phát hiện. Hình 7a trình bày tín hiệu lý tưởng khi ruồi đi thẳng vào bẫy lần lượt tạo ra các đỉnh sụt áp tại IO12 (đường màu xanh) và IO14 (đường màu đỏ). Tùy thuộc vào kích thước và vị trí khi ruồi đi qua hai cảm biến mà biên độ của mỗi đỉnh sẽ khác nhau. Hình 7b trình bày hiệu số của hai tín hiệu IO12 và IO14 đã được lọc hạ thông và khử trung bình tín hiệu. Trên tín hiệu này, đỉnh âm là dấu hiệu của sự kiện có một rồi đi qua LED1 và đỉnh dương biểu thị cho sự kiện có một ruồi đi qua LED2. Một thuật toán có thể phát hiện ruồi vào bẫy dựa theo thứ tự xuất hiện của các đỉnh để đếm số lượng. Đây được gọi là cơ chế đếm kép được Jiang et al. (2008) và Liao et al. (2012) đã áp dụng.

Bên cạnh tín hiệu lý tưởng, nhiều hành vi khác của ruồi vàng cũng được ghi nhận và trình bày ở Hình 8. Trong đó, hành vi phổ biến nhất là ruồi vàng di chuyển qua lại trước một LED thu một số lần không xác định rồi mới tiếp tục di chuyển vào bẫy (Hình 8a và 8b). Một hành vi khác cũng xuất hiện khá nhiều là ruồi vàng đứng yên hoặc di chuyển chậm trước trước một trong hai LED thu, như được trình bày ở Hình 8c và 8d. Hành vi này tạo ra một xung âm hoặc dương rất rộng trên tín hiệu kết hợp. Hai hành vi ít phổ biến hơn được ghi nhận và minh hoạ ở Hình 8e và 8f. Trước tiên là hai cá thể ruồi đi vào bẫy liên tiếp nhau ở Hình 8e tạo ra các đỉnh sụt áp liên tiếp nhau và trùng nhau trên IO12 và IO14 dễ gây nhầm lẫn là chỉ có một ruồi vào. Cuối cùng là hành vi ruồi đi ngược ra ngoài bên bẫy như dạng tín hiệu Hình 8f, hành vi này tạo ra hai cặp đỉnh trái

ngược nhau gồm một cặp đỉnh lý tưởng và ngược lại. Khi so sánh giữa 2 tín hiệu tại IO12 và IO14 và tín hiệu kết hợp, hai hành vi trong Hình 8e và 8f có thể dễ bị nhầm lẫn với các trường hợp trước đó khi được biểu diễn dưới dạng tín hiệu kết hợp. Hai hành vi này nhiều khả năng là ngoại lệ và ảnh hưởng đến độ chính xác của thuật toán đếm ruồi.



Hình 7. Tín hiệu lý tưởng khi ruồi đi thẳng vào bẫy

Ghi chú: (a) Tín hiệu tại IO12 và IO14, (b) Tín hiệu kết hợp, lọc và khử trung bình

Bảng 1. Thống kê số lượng hành vi của ruồi vàng khi đi vào bẫy điện tử

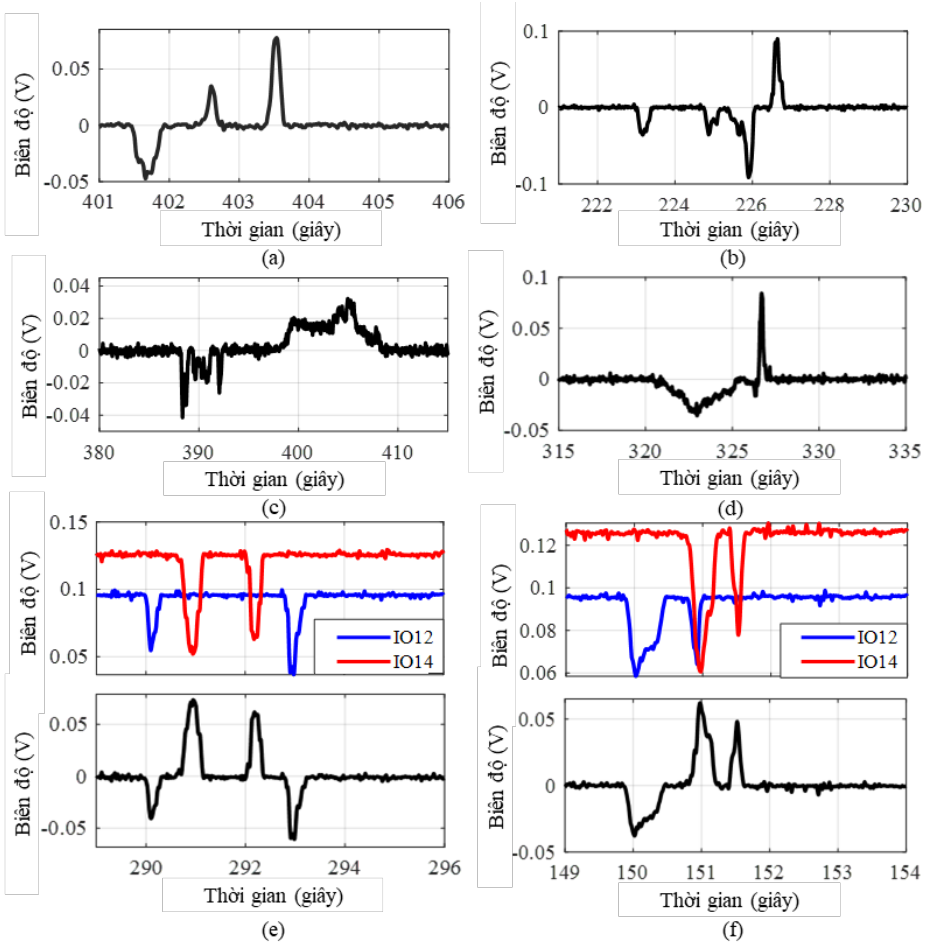
Hành vi	Số mẫu
Lý tưởng hay đi thẳng vào bẫy	262
Ruồi đi qua lại trước một cảm biến (Hình 8a và 8b)	103
Ruồi đứng yên hoặc di chuyển chậm trước một cảm biến (Hình 8c và 8d)	33
Các cá thể ruồi vào bẫy liên tiếp (Hình 8f)	3
Ruồi vào-ra bẫy (Hình 8e)	14
Tổng	415

Bảng 1 trình bày thống kê tần suất xuất hiện của các hành vi đã được liệt kê. Thống kê được thực hiện trên 415 sự kiện ruồi di chuyển qua các LED thu hồng ngoại. Trong đó 262 trường hợp lý tưởng được ghi nhận, chiếm 63,13%. Hai hành vi ruồi vàng di chuyển qua lại trước một LED thu và ruồi đứng yên hoặc di chuyển chậm trước một LED thu lần lượt chiếm 103 trường hợp (24,82%) và 33 trường hợp (7,95%). Hành vi vào bẫy rồi quay ngược ra xuất hiện 14 lần (3,37%). Cuối cùng trường hợp hai cá thể ruồi vào bẫy liên tiếp chỉ xuất hiện 3 lần chiếm 0,72%. Kết quả này chứng minh được sự đa dạng của hành vi vào bẫy của ruồi vàng, chúng cần là cơ sở để phát triển thuật toán đếm.

Một yếu tố quan trọng khác ảnh hưởng không nhỏ đến khả năng phát hiện ruồi tại hai cặp LED thu là biên độ tín hiệu khi ruồi đi qua. Bảng 2 trình bày thống kê của 415 trường hợp ruồi đi qua hai cảm biến hồng ngoại tạo các đỉnh âm và dương có biên độ khác nhau. Có thể thấy, giá trị trung vị của đỉnh âm và dương lần lượt là 0,0325V và 0,042V. Giá trị của đỉnh âm dao động trong khoảng [0,0014;0,092] với điểm tứ phân vị Q1 là 0,16 và Q3 là 0,052. Đối với đỉnh dương, giá trị dao động trong khoảng [0,0039;0,114] với điểm tứ phân vị Q1 là 0,0128 và Q2 là 0,0755. Cả hai giá trị biên độ của đỉnh âm và đỉnh dương đều có khoảng dao động khá lớn, nguyên nhân có thể do hai yếu tố là kích thước của ruồi vàng và vị trí của ruồi vàng khi đi ngang cảm biến. Cả hai yếu tố trên đều ảnh hưởng đến khả năng chắn tia hồng ngoại giữa LED thu và phát. Hình 9 minh hoạ hai cá thể ruồi vàng có kích thước khác nhau được phát hiện trong bẫy. Có thể thấy, ruồi có kích thước bé có thể tạo ra biên độ đỉnh nhỏ hơn nhiều so với ruồi có kích thước to và dễ bị nhầm lẫn với nhiễu. Bên cạnh đó, vị trí của ruồi khi đi vào bẫy cũng tạo ra các góc chắn ánh sáng hồng ngoại khác nhau. Lý tưởng nhất là ruồi đi giữa hai cảm biến và tạo ra biên độ tín hiệu cao. Tuy nhiên, ruồi nhỏ hơn có thể di chuyển ở sát cạnh của lối vào tạo ra biên độ rất thấp. Điều này có thể gây khó khăn trong việc quyết định ngưỡng, vì nếu hạ ngưỡng quá thấp để phát hiện các trường hợp trên dễ bị ảnh hưởng bởi nhiễu hơn và thậm chí tạo ra sai số lớn hơn. Nhìn chung, biên độ của đỉnh dương có xu hướng lớn hơn đỉnh âm nhưng cả hai vẫn tập trung ở khoảng lớn hơn 0,01V đến dưới 0,1V. Đây là kết quả quan trọng được dùng để xác định ngưỡng kích hoạt cho thuật toán phát hiện và đếm ruồi theo thời gian thực.

Bảng 2. Thống kê biên độ đỉnh âm và dương khi ruồi đi qua hai cảm biến thu hồng ngoại

Thông số	Đỉnh dưới	Đỉnh trên
Trung vị	0,0325	0,042
Nhỏ nhất	0,0014	0,0039
Lớn nhất	0,092	0,114
Q1	0,016	0,01275
Q2	0,052	0,0755

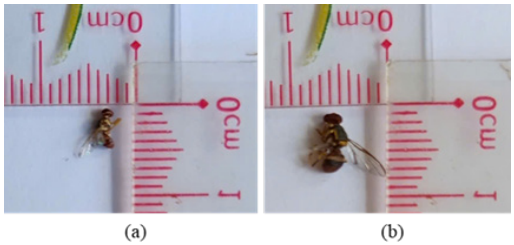


Hình 8. Các hành vi khác của ruồi vàng khi đi vào bẫy với tín hiệu ở hai LED thu (xanh và đỏ) và tín hiệu kết hợp (đen)

Ghi chú: (a), (b) Ruồi vàng di chuyển qua lại trước một LED thu; (c), (d) Ruồi vàng đứng hoặc di chuyển chậm chạp trước một LED thu; (e) Ruồi vàng đi vào bẫy rồi quay ngược trở ra; (f) Hai cá thể ruồi vào bẫy liên tiếp nhau

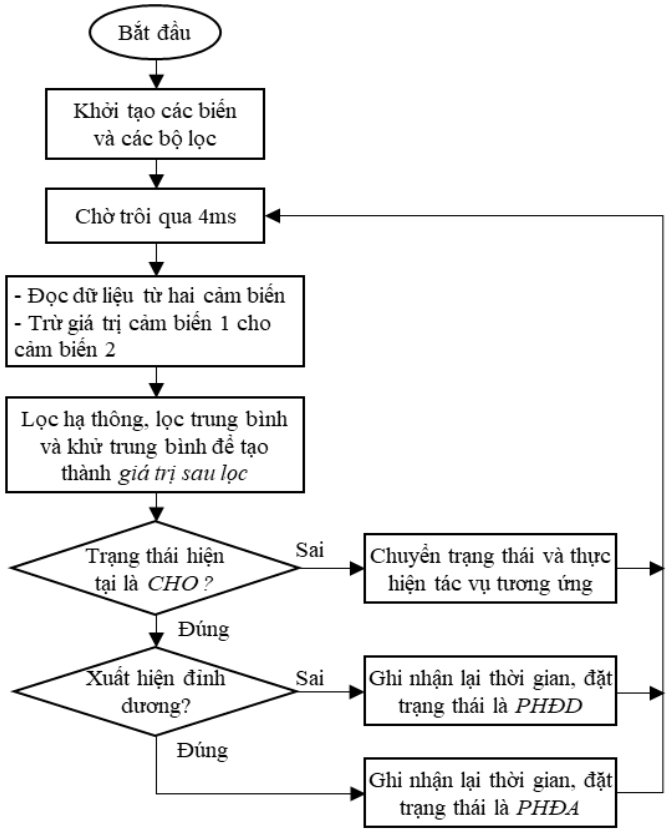
4.2. Thuật toán đếm ruồi dựa trên hành vi

Dựa trên các hành vi và biên độ đã thống kê, một thuật toán phát hiện và đếm số lượng ruồi vàng vào bẫy theo thời gian thực đã được đề xuất như Hình 10. Một bộ định thời được sử dụng để tạo sự kiện ngắt sau mỗi 1 ms. Mỗi khi bộ định thời này kích hoạt, một bộ đếm thời gian gồm các giá trị mili giây, giây, phút và giờ được cập nhật tự động. Chương trình thu thập dữ liệu điện áp từ hai cảm biến mỗi 4 mili giây một lần, tương đương với 250 mẫu mỗi giây. Giá trị tại IO12 được trừ cho giá trị tại IO14, lọc hạ thông và bộ lọc trung bình với cửa sổ trượt 100 mẫu và sau đó được loại trung bình để tạo thành *giá trị sau lọc*. Đến đây, chương trình có bốn trạng thái bao gồm: *chờ (CHO)*, *phát hiện đỉnh âm (PHĐA)*, *phát hiện đỉnh dương (PHĐD)*, và *ổn định (OĐ)*. Trong đó, trạng thái *chờ* là trạng thái mặc định khi khởi động, nó có nhiệm vụ liên tục theo dõi *giá trị sau lọc*. Nếu giá trị sau lọc đột ngột thay đổi nhỏ hơn ngưỡng âm là -0,01 hoặc lớn hơn ngưỡng dương là 0,01 thì chương trình đổi sang trạng thái *PHĐA* hoặc *PHĐD* tương ứng và ghi nhận lại thời gian phát hiện đỉnh.

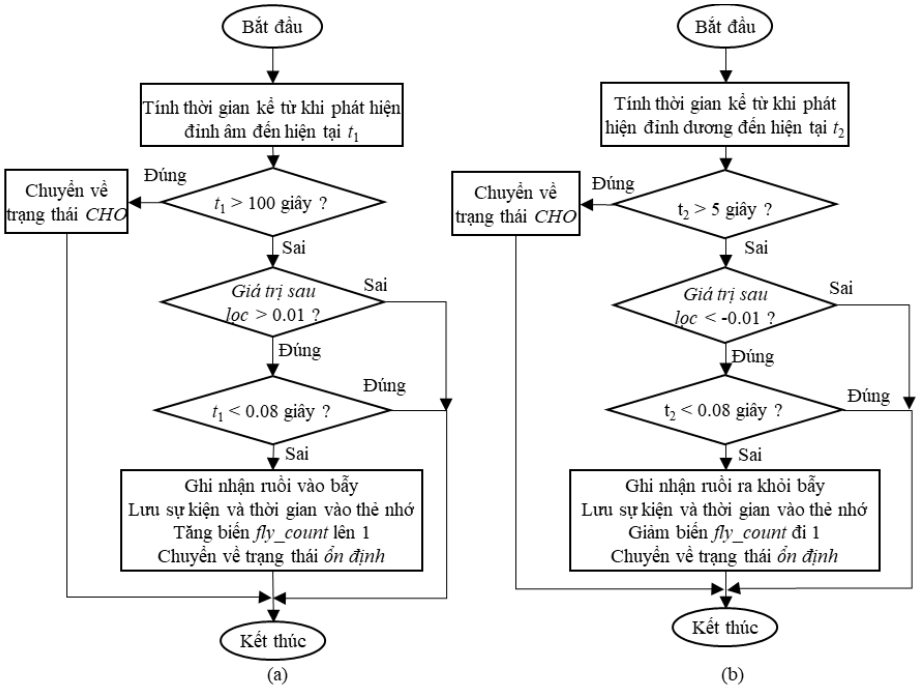


Hình 9. So sánh giữa hai kích thước ruồi

Ghi chú:(a) Ruồi có kích thước nhỏ; (b) Ruồi có kích thước to



Hình 10. Lưu đồ chương trình đếm số lượng ruồi vàng vào bẫy theo thời gian thực



Hình 11. Lưu đồ hai chương trình phát hiện ruồi vào và ra bẫy

Ghi chú:(a) Lưu đồ chương trình trạng thái phát hiện đỉnh âm; (b) Lưu đồ chương trình trạng thái phát hiện đỉnh dương

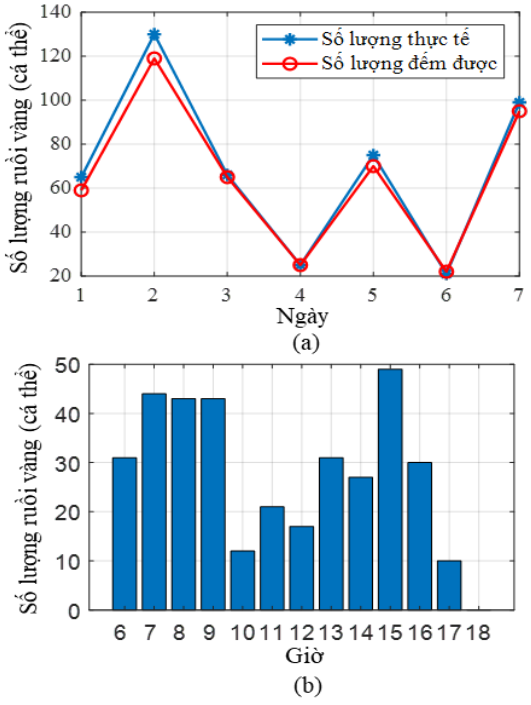
Nguyên lý của hai trạng thái *PHĐA* và *PHĐD* được trình bày trong Hình 11. Trong đó, trạng thái *PHĐA* liên tục so sánh *giá trị sau lọc* với ngưỡng 0,01. Nếu giá trị sau lọc lớn hơn ngưỡng 0,01, nghĩa là nó đã đi qua LED tại IO14 và vào bẫy, chương trình tăng biến đếm *fly_count* lên một và chuyển sang trạng thái *OĐ*. Khoảng thời gian t_1 được tính từ lúc bắt đầu trạng thái *PHĐA* đến thời điểm hiện tại. Nếu t_1 lớn hơn 100 giây, nghĩa là quá thời gian đợi mà ruồi chưa vào bẫy, chương trình về trạng thái *CHO*. Ngược lại, nếu t_1 nhỏ hơn 0,08 giây, nghĩa là sự kiện xuất hiện đỉnh diễn ra quá nhanh có thể do nhiễu gây ra, chương trình cũng trở về trạng thái *CHO*.

Trạng thái *PHĐD* có nguyên lý hoạt động tương tự. Trong đó, chương trình liên tục so sánh giá trị sau lọc với ngưỡng -0,01. Nếu *giá trị sau lọc* nhỏ hơn ngưỡng -0,01, nghĩa là nó đã đi qua LED thu ở IO12, chương trình giảm biến đếm *fly_count* đi 1 đơn vị và chuyển sang trạng thái *OĐ*. Khoảng thời gian t_2 được tính từ lúc bắt đầu trạng thái *PHĐAD* đến thời điểm hiện tại. Nếu t_2 lớn hơn 5 giây, nghĩa là quá thời gian đợi mà ruồi chưa ra khỏi bẫy, chương trình về trạng thái *CHO*. Lý do cho thời gian đợi nhỏ trong trạng thái *PHĐD* là do các sự kiện ruồi đi ngược ra bẫy xảy ra với tỉ lệ ít (chỉ 3,37% theo Bảng 1) và các sự kiện diễn ra khá nhanh. Ngược lại, nếu t_2 nhỏ hơn 0,08 giây, nghĩa là sự kiện xuất hiện đỉnh diễn ra quá nhanh có thể do nhiễu gây ra, chương trình cũng trở về trạng thái *CHO*. Trạng thái *OĐ* có nhiệm vụ chờ tín hiệu sau lọc trở về giá trị nhỏ hơn các ngưỡng âm và dương nhằm tránh việc phát hiện lại đỉnh trước đó

Thuật toán trên được xây dựng nhằm đếm số lượng ruồi vàng đi vào bẫy theo thời gian thực. Các trạng thái được thiết kế để phát hiện hai trường hợp ruồi vào và ra khỏi bẫy. Thêm nữa, các giới hạn thời gian được bổ sung nhằm đối phó với trường hợp đỉnh giả do nhiễu tức thời và hành vi ruồi đứng yên trước một LED hoặc đứng giữa hai LED trong thời gian dài. Các sự kiện phát hiện cùng thời gian xảy ra và số lượng ruồi đếm được được lưu trữ trong thẻ microSD và có thể dễ dàng trích xuất để kiểm tra vào mỗi cuối ngày.

4.3. Kết quả đếm số lượng ruồi vào bẫy

Kết quả thử nghiệm kiểm tra thực tế khả năng tự động đếm ruồi của bẫy được trình bày trong Bảng 3. Trong đó, thí nghiệm được diễn ra trong một tuần từ ngày 9/5/2025 đến ngày 15/5/2025. Bẫy được khởi động và 6 giờ sáng và dừng vào 18 giờ tối mỗi ngày để trích xuất dữ liệu và đếm số ruồi mắc bẫy thực tế. Hình 12a trình bày so sánh giữa số lượng ruồi thực tế và số lượng ruồi do bẫy đếm được trong thời gian thử nghiệm. Có thể thấy, số lượng ruồi mắc bẫy khá lớn với ít nhất là 21 cá thể mắc bẫy ở ngày thứ 6 và đỉnh điểm là 130 cá thể ở ngày thứ 2. Số lượng ruồi do bẫy đếm được bám khá sát với thực tế với độ chính xác dao động từ 90,77% đến 100% và số lượng ruồi mắc bẫy càng lớn thì độ chính xác giảm dần. Nguyên nhân của việc này có thể do khi ruồi vào bẫy với số lượng lớn trong một khoảng thời gian nhất định có thể gây ra các trường hợp ngoại lệ đã được phân tích ở phía trên. Hình 12b trình bày thống kê phân bố số lượng ruồi vàng vào bẫy trong 7 ngày ở các thời gian khác nhau từ 6 giờ đến 18 giờ. Dễ dàng nhận thấy, ruồi vàng hoạt động mạnh nhất ở khoảng thời gian buổi sáng từ 6 giờ đến 9 giờ vì đây là lúc thời tiết mát mẻ, ánh sáng nhiều nhưng cường độ nhẹ. Ngược lại, số lượng ruồi giảm và ít hơn vào khoảng từ 10 giờ đến 12 giờ vì đây là lúc cường độ nắng rất mạnh. Sau đó, số lượng ruồi tiếp tục tăng và đạt đỉnh vào khoảng từ 15 đến 16 giờ và giảm dần cho đến 18 giờ khi trời đã bắt đầu tối dần. Từ các kết quả trên cho thấy thuật toán đếm dựa trên hành vi của nghiên cứu này có khả năng phát hiện và đếm số lượng ruồi vàng vào bẫy với độ chính xác trung bình đạt 95,05% và cao nhất đạt 100% vào ngày 12/5.



Hình 12. Thống kê kết quả thí nghiệm thực tế

Ghi chú: (a) So sánh số lượng thực tế và số lượng đếm được, (b) Biểu đồ phân số lượng ruồi bắt được theo thời gian trong ngày

Bảng 3. Thống kê số lượng ruồi đếm được bằng thuật toán trong quá trình thí nghiệm

Thời gian (giờ)	Ngày						
	9/5	10/5	11/5	12/5	13/5	14/5	15/5
6	5	10	8	0	6	2	0
7	6	8	12	5	12	1	18
8	11	13	5	6	4	4	22
9	2	17	11	4	6	3	10
10	0	6	1	2	2	1	6
11	0	3	0	1	9	8	4
12	6	9	0	1	0	1	7
13	10	12	5	2	0	2	14
14	3	16	1	0	7	0	5
15	3	5	19	1	21	0	3
16	8	15	2	2	3	0	4
17	3	5	1	1	0	0	2
18	0	0	0	0	0	0	0
Tổng	59	119	65	25	70	22	95
Thực tế	65	130	66	25	75	21	99

Như vậy, giải pháp cải tiến thuật toán đếm số lượng ruồi vàng dựa trên nguyên lý đếm kép được đề xuất thành công trong nghiên cứu. Thuật toán cải tiến chủ yếu dựa vào các hành vi vào bẫy của ruồi vàng được phân tích từ dữ liệu thu thập thực tế. Nghiên cứu đã thực hiện một thử nghiệm thực tế trong vòng một tuần để đánh giá thuật toán. Tuần được chọn rơi vào giai đoạn số lượng cá thể ruồi xuất hiện khá cao. Tuy nhiên, thuật toán đã đếm chính xác số lượng ruồi vàng mắc bẫy trung bình 95,05%. Kết quả được thể hiện ở Bảng 4 cho thấy thông tin được tóm tắt về so sánh kết quả đếm của thuật toán cải tiến với các nghiên cứu trước đó. So với một nghiên cứu trước đó cũng sử dụng cơ chế đếm kép của Jiang et al. (2008), nghiên cứu này có độ chính xác tốt hơn. Điều này cho thấy hiệu quả của việc cải tiến thuật toán dựa trên phân tích hành vi. Tuy nhiên, mặc dù thử nghiệm vào giai đoạn có cá thể ruồi đông nhưng thời gian con khá ngắn so với nghiên cứu của Jiang et al. (2008) nên để so sánh toàn diện hơn thuật toán cải tiến cần được thử nghiệm dài hơn nữa. So với hai nghiên cứu khác cũng dựa trên cảm biến hồng ngoại của Holguin et al. (2010) và Goldshtein et al. (2017), nhưng áp dụng nguyên lý đếm đơn dựa trên một cặp LED thu phát hồng ngoại duy nhất, nghiên cứu này đạt độ chính xác tương đương. Tuy nhiên, cả hai nghiên cứu trên đều gặp phải trường hợp đếm vượt quá số lượng thực tế, nguyên nhân là do ruồi một cá thể ruồi có thể bay ra vào bẫy nhiễu lần. Điều đó chỉ xảy ra một lần ở ngày 14/5 với số lượng đếm vượt chỉ một cá thể trong nghiên cứu này do việc áp dụng cơ chế đếm kép và thuật toán đếm bám sát hành vi ruồi vào bẫy.

Bảng 4. So sánh với các nghiên cứu liên quan

Nghiên cứu	Chức năng bẫy	Nguyên lý đếm	Phân tích các hành vi khi ruồi vào bẫy	Độ chính xác khi thử nghiệm thực tế
Nghiên cứu này	Phát hiện và đếm số lượng	Đếm kép	✓	**95,05**% tại địa điểm thí nghiệm ở Hình 1
Jiang et al. (2008)	Phát hiện và đếm số lượng	Đếm kép	✓	81,42% và 73,71% tại hai địa điểm thử nghiệm
Holguin et al. (2010)	Phát hiện và đếm số lượng	Đếm đơn	-	Tỉ lệ dương tính giả là 17,3% và 11,4% tại hai địa điểm thử nghiệm
Goldshtein et al. (2017)	Phát hiện và đếm số lượng	Đếm đơn	-	Độ chính xác dao động từ 83% đến 96% tại 5 địa điểm thí nghiệm khác nhau

Bên cạnh các ưu điểm đạt được, độ chính xác của bẫy điện tử và thuật toán đếm vẫn còn hạn chế. Kết quả được trình bày ở Hình 12a cho thấy độ chính xác của thuật toán có xu hướng tỉ lệ nghịch với số lượng ruồi vào bẫy. Nguyên nhân có thể là khi số lượng ruồi vào bẫy quá đông tại một số thời điểm nhất định như Hình 12b dẫn đến tình trạng các cá thể ruồi tập trung nhiều tại lối vào bẫy. Điều này tạo ra các tín hiệu thất thường từ đó làm sai lệch kết quả phát hiện và đếm số lượng của thuật toán. Đây là một vấn đề phức tạp do tính chất ngẫu nhiên của côn trùng ở môi trường thực địa nên cần được theo dõi và phân tích trong một thời gian dài để tìm ra các giải pháp khắc phục hiệu quả. Đặc biệt hơn, vấn đề này vẫn chưa được đề cập bởi các nghiên cứu liên quan.

5. KẾT LUẬN

Quản lý và kiểm soát côn trùng gây hại tự động giúp việc chống lại các loài côn trùng có số lượng đông đảo trở nên hiệu quả và tiết kiệm thời gian và công sức lao động. Một thiết kế bẫy điện tử cùng với cải tiến thuật toán phát hiện và đếm số lượng ruồi vàng tự động dựa trên cơ chế đếm kép được trình bày trong nghiên cứu. Bẫy điện tử được phát triển dựa trên bẫy ruồi vàng truyền thống bằng cách bổ sung một lối vào dạng phễu cùng các cảm biến và mạch điều khiển. Kết quả phân tích dữ liệu ruồi vàng vào bẫy thực tế cho thấy chúng thể hiện nhiều hành vi khác nhau trong quá trình đi vào bẫy bao gồm: di chuyển liên tục trước một cảm biến, di chuyển chậm chạm hoặc đứng yên trong quá trình đi vào bẫy, đi ngược ra khỏi bẫy sau đi đã đi vào và các cá thể ruồi vàng vào bẫy liên tiếp. Dựa vào các dữ liệu trên, một thuật toán đếm số lượng ruồi vàng vào bẫy dựa trên tín hiệu từ hai cặp LED thu phát hồng ngoại đã được đề xuất. Kết quả thử nghiệm thực tế trong một tuần cho thấy bẫy có khả năng đếm số lượng ruồi vàng đi vào bẫy với độ chính xác 95,05%. Bên cạnh đó, thống kê số lượng ruồi vàng mắc bẫy theo thời gian trong ngày cũng cho thấy thời điểm hoạt động tích cực của ruồi vàng là khoảng từ 6 giờ đến 9 giờ và từ 15 giờ đến 16 giờ. Tuy nhiên, độ chính xác của nghiên cứu còn hạn chế và có xu hướng giảm khi số lượng ruồi vàng vào bẫy nhiều hơn. Điều này cho thấy thuật toán đếm được đề xuất còn hạn chế khi số lượng ruồi vào bẫy quá nhiều trong một thời điểm nhất định. Vấn đề này cần được kiểm tra bằng cách kéo dài thử nghiệm thực tế để tìm ra nguyên nhân chính xác và đề xuất biện pháp khắc phục hiệu quả. Trong tương lai, thuật toán nhận diện ruồi vàng nên được bổ sung nhằm cung cấp khả năng phân biệt loài côn trùng vào bẫy để hoàn thiện bẫy điện tử. Từ đó, một hệ thống tự động phát hiện, cảnh báo sớm và quản lý phân bố ruồi vàng có thể được phát triển.

LỜI CẢM TẠ

Nghiên cứu được sự hỗ trợ kinh phí từ Đề tài Khoa học Công nghệ cấp Bộ, mã số: B2024-TCT-21.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

Allwood, A., & Leblanc, L. (1997). *Losses caused by fruit flies (Diptera: Tephritidae) in seven Pacific Island countries*. ACIAR PROCEEDINGS.

Ding, W., & Taylor, G. (2016). Automatic moth detection from trap images for pest management. *Computers and electronics in agriculture*, 123, 17-28. https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.02.003

Goldshtein, E., Cohen, Y., Hetzroni, A., Gazit, Y., Timar, D., Rosenfeld, L., Grinshpon, Y., Hoffman, A., & Mizrach, A. (2017). Development of an automatic monitoring trap for Mediterranean fruit fly (Ceratitis capitata) to optimize control applications frequency. *Computers and Electronics in Agriculture*, 139, 115-125. https://doi.org/10.1016/j.compag.2017.04.022

Hien, N. T., Trang, V. T., Thanh, V. V., Lien, H. K., Thang, D. Đ., Xuyen, L. T., & Pereira, R. (2019). Fruit Fly Area-Wide Integrated Pest Management in Dragon Fruit in Binh Thuan Province, Viet Nam. *In Area-Wide Management of Fruit Fly Pests* (pp. 343-347). CRC Press. https://doi.org/10.1201/9780429355738-32

Holguin, G. A., Lehman, B. L., Hull, L. A., Jones, V. P., & Park, J. (2010). Electronic traps for automated monitoring of insect populations. *IFAC Proceedings Volumes*, *43*(26), 49-54. https://doi.org/10.3182/20101206-3-JP-3009.00008

Iwaizumi, R. (2004). Species and host record of the Bactrocera dorsalis complex (Diptera: Tephritidae) detected by the plant quarantine of Japan. *Applied Entomology and Zoology*, *39*(2), 327-333. https://doi.org/10.1303/aez.2004.327

Jiang, J. A., Tseng, C. L., Lu, F. M., Yang, E. C., Wu, Z. S., Chen, C. P., Lin, S. H., Lin, K. C., & Liao, C. S. (2008). A GSM-based remote wireless automatic monitoring system for field information: A case study for ecological monitoring of the oriental fruit fly, Bactrocera dorsalis (Hendel). *Computers and Electronics in Agriculture*, *62*(2), 243-259. https://doi.org/10.1016/j.compag.2008.01.005

John, M. A., Bankole, I., Ajayi-Moses, O., Ijila, T., Jeje, T., & Lalit, P. (2023). Relevance of advanced plant disease detection techniques in disease and Pest Management for Ensuring Food Security and Their Implication: A review. *American Journal of Plant Sciences*, *14*(11), 1260-1295. https://10.4236/ajps.2023.1411086

Khanh, L., Hien, N., Trang, V., Toan, T., & Rull, J. (2014). Basic biology and artificial rearing of Bactrocera pyrifoliae (Diptera: Tephritidae), a pest of peaches and plums in northern Vietnam. *International Journal of Tropical Insect Science*, *34*(S1), S148-S153. https://doi.org/10.1017/S1742758414000204

Lello, F., Dida, M., Mkiramweni, M., Matiko, J., Akol, R., Nsabagwa, M., & Katumba, A. (2023). Fruit fly automatic detection and monitoring techniques: A review. *Smart Agricultural Technology*, 100294. https://doi.org/10.1016/j.atech.2023.100294

Liao, M. S., Chuang, C. L., Lin, T. S., Chen, C. P., Zheng, X. Y., Chen, P. T., Liao, K. C., & Jiang, J. A. (2012). Development of an autonomous early warning system for Bactrocera dorsalis (Hendel) outbreaks in remote fruit orchards. *Computers and Electronics in Agriculture*, 88, 1-12. https://doi.org/10.1016/j.compag.2012.06.008

Muriithi, B. W., Affognon, H. D., Diiro, G. M., Kingori, S. W., Tanga, C. M., Nderitu, P. W., Mohamed, S. A., & Ekesi, S. (2016). Impact assessment of Integrated Pest Management (IPM) strategy for suppression of mango-infesting fruit flies in Kenya. *Crop Protection*, 81, 20-29. https://doi.org/10.1016/j.cropro.2015.11.014

Navarro-Llopis, V., & Vacas, S. (2014). Mass trapping for fruit fly control. *Trapping and the detection, control, and regulation of tephritid fruit flies: lures, area-wide programs, and trade implications*, 513-555. https://doi.org/10.1007/978-94-017-9193-9_15

Papadopoulos, N. T., De Meyer, M., Terblanche, J. S., & Kriticos, D. J. (2024). Fruit flies: challenges and opportunities to stem the tide of global invasions. *Annual Review of Entomology*, *69*(1), 355-373. https://doi.org/10.1146/annurev-ento-022723-103200

Preti, M., Verheggen, F., & Angeli, S. (2021). Insect pest monitoring with camera-equipped traps: strengths and limitations. *Journal of Pest Science*, *94*(2), 203-217. https://doi.org/10.1007/s10340-020-01309-4

Tran, H., Van, H. N., Muniappan, R., Amrine, J., Naidu, R., Gilbertson, R., & Sidhu, J. (2019). Integrated pest management of longan (Sapindales: Sapindaceae) in Vietnam. *Journal of Integrated Pest Management*, *10*(1), 18. https://doi.org/10.1093/jipm/pmz016

Vargas, R. I., Piñero, J. C., & Leblanc, L. (2015). An overview of pest species of Bactrocera fruit flies (Diptera: Tephritidae) and the integration of biopesticides with other biological approaches for their management with a focus on the Pacific region. *Insects*, *6*(2), 297-318. https://doi.org/10.3390/insects6020297

Weems, H. V., Heppner, J. B., Nation, J. L., & Fasulo, T. R. (2012). Oriental Fruit Fly, Bactrocera dorsalis (Hendel)(Insecta: Diptera: Tephritidae): *EENY-083/IN240*, rev. 3/2012. EDIS, *2012*(3). https://doi.org/10.32473/edis-in240-2012

Zeng, Y., Reddy, G. V., Li, Z., Qin, Y., Wang, Y., Pan, X., Jiang, F., Gao, F., & Zhao, Z. H. (2019). Global distribution and invasion pattern of oriental fruit fly, Bactrocera dorsalis (Diptera: Tephritidae). *Journal of Applied Entomology*, *143*(3), 165-176. https://doi.org/10.1111/jen.12582

Zhang, W., & Swinton, S. M. (2009). Incorporating natural enemies in an economic threshold for dynamically optimal pest management. *Ecological Modelling*, *220*(9-10), 1315-1324. https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2009.01.027