

BÃY ĐÈN RẦY NÂU TỰ ĐỘNG

Nguyễn Minh Kỳ¹, Lâm Hoài Bảo^{2,3}, Trương Phong Tuyên⁴, Phạm Thị Minh Hiếu⁵, Hồ Văn Chiến⁶, Bernard Pottier⁷ và Huỳnh Xuân Hiệp^{2,3}

¹ Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Kỹ thuật – Công nghệ Cần Thơ

² Khoa Công nghệ Thông tin & Truyền thông, Trường Đại học Cần Thơ

³ Nhóm nghiên cứu liên ngành DREAM-CTU/IRD

⁴ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

⁵ Chi cục Bảo vệ Thực vật, Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Cần Thơ

⁶ Trung tâm Bảo vệ Thực vật phía Nam, Bộ Nông nghiệp & Phát triển nông thôn

⁷ LabSTICC, l'Université de Bretagne Occidentale

Thông tin chung:

Ngày nhận: 19/09/2015

Ngày chấp nhận: 10/10/2015

Title:

Automatic light-trap using sensors

Từ khóa:

Rầy nâu, *Nilaparvala lugens*, bẫy đèn, mạng cảm biến không dây

Keywords:

Brown Planthopper (BPH), *Nilaparvala lugens*, pest light-trap, Wireless Sensor Network (WSN)

ABSTRACT

Brown Planthopper (BPH) light-traps for observing and collecting infield data play the important role in pest management. Currently, these traps prove effective evidences in plant protection; however, some tasks relating to them require manual handling. Automatic mechanism light-traps are expected to replace the old ones to bring great supports for BPH prevention. This article proposes a new model of automatic sensor-based light-trap to continuously collect data. These new light-traps are adapted to form a wireless network so that they can automatically cooperate with each other. Collected data is analyzed constantly to provide instant warnings in case of high densities of BPH population. Periodically, all the data are aggregated at the control center for pest observing and predicting missions.

TÓM TẮT

Đặt bẫy đèn rầy nâu để quan sát, thu thập thông tin nhằm phản ứng nhanh, đưa ra các biện pháp xử lý kịp thời, đồng bộ là việc làm hết sức quan trọng. Các mô hình bẫy đèn hiện nay, tuy mức độ tự động hóa chưa cao, cũng đã mang đến sự hỗ trợ đắc lực cho công tác phòng tránh rầy. Bài viết này đề xuất mô hình bẫy đèn rầy nâu tự động dựa trên cảm biến. Một bẫy đèn được thiết kế tích hợp cho phép thu thập số liệu liên tục. Tập hợp các bẫy đèn tạo thành một mạng không dây tự động phối hợp làm việc với nhau. Số liệu được phân tích liên tục nhằm đưa ra cảnh báo tức thời trong trường hợp cấp độ nhiễm rầy thay đổi. Đồng thời, toàn bộ dữ liệu được tập trung về trung tâm điều hành nhằm phục vụ cho công tác theo dõi và dự báo trong tương lai.

1 GIỚI THIỆU

Rầy nâu (*Nilaparvata lugens* (Stål)) [1] [2] [3] [4] là côn trùng gây hại nguy hiểm bởi các đặc tính chích hút nhựa sống và là môi giới lây truyền vi rút

gây bệnh vàng lùn, lùn xoắn lá khiến cây lúa giảm năng suất nghiêm trọng, thậm chí mất trắng vụ mùa trên diện rộng [5] [6] [7]. Bẫy đèn rầy nâu [8] dựa trên tính hướng sáng của rầy nâu, phát ánh sáng về

đem dẫn dụ rầy tập trung về, từ đó có thể quan sát, theo dõi rầy, đếm tổng số rầy vào bẫy, có các biện pháp ứng phó phù hợp [9] [10] [11] [12] [13]. Các mô hình bẫy đèn hiện nay, tuy mức độ tự động hóa chưa cao, cũng đã mang đến sự hỗ trợ đắc lực cho công tác phòng tránh rầy^{1, 2, 3}.

Thời tiết đóng vai trò chi phối trong sản xuất nông nghiệp. Những biến động về thời tiết dù rất nhỏ cũng có ảnh hưởng đến cây trồng, vật nuôi và môi trường sống của chúng. Sâu bệnh, dịch hại cũng theo đó mà bùng phát, hoành hành. Các nghiên cứu chỉ ra các yếu tố khí hậu như nhiệt độ, độ ẩm, lượng mưa, gió và tiểu khí hậu có ảnh hưởng đến khả năng sinh trưởng, sinh sản và mật số rầy nâu [14] [15]. Tốc độ lây lan của rầy cũng chịu ảnh hưởng lớn của hướng gió, tốc độ gió [16]. Như vậy, theo dõi thời tiết là nhu cầu thiết thực nhằm phục vụ cho sản xuất nông nghiệp, phòng tránh thiên tai, dịch họa và hỗ trợ công tác dự tính, dự báo. Công cụ phục vụ cho việc theo dõi này là cảm biến. Cảm biến là một thiết bị cho phép nhận biết sự thay đổi của một hiện tượng vật lý nào đó và chuyển thành tín hiệu điện mà thiết bị đọc cảm biến hay máy tính có thể diễn dịch được. Có rất nhiều loại cảm biến khác nhau như cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, độ sáng, hướng gió, tốc độ gió, màu sắc, âm thanh. Cảm biến đóng vai trò như các giác quan của hệ thống.

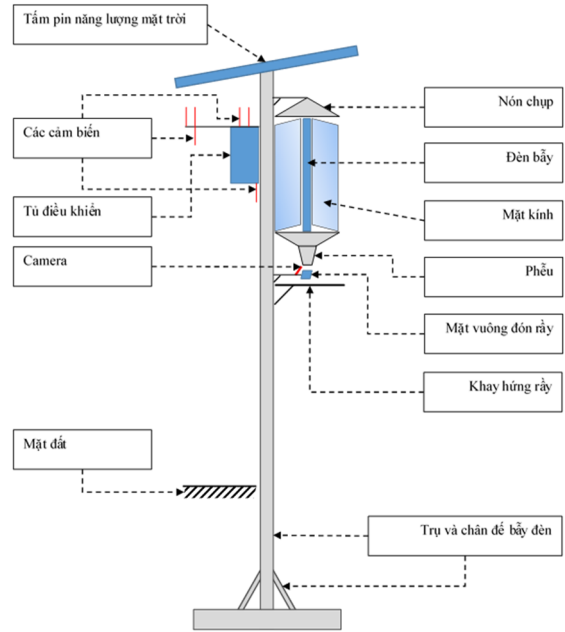
Trong bài viết này, chúng tôi đề xuất một mô hình mới về bẫy đèn tích hợp, hoạt động tự động dựa trên cảm biến. Một bẫy đèn tự động là một tổ hợp hoàn chỉnh, tự chủ về điện năng, có khả năng làm việc độc lập mà không cần người điều khiển. Tập hợp các bẫy đèn tạo thành một mạng không dây tự động phối hợp làm việc với nhau. Bẫy đèn tự động sẽ thu thập số liệu liên tục, phân tích, lưu trữ, cảnh báo nếu có và truyền nhận dữ liệu vào hệ thống mạng. Đích đến cuối cùng của dữ liệu là trung tâm điều hành.

Bài viết này gồm năm phần. Phần một giới thiệu về tác hại của rầy nâu, các mô hình bẫy đèn hiện nay, ảnh hưởng của thời tiết đến sản xuất nông nghiệp và côn trùng gây hại, đề xuất mô hình bẫy đèn tự động mới. Phần hai mô tả chi tiết về mô hình bẫy đèn tự động, các phác họa cấu trúc bẫy đèn, thông số kỹ thuật, sơ đồ thiết kế của các vi mạch xử lý, các cơ chế vận hành của bẫy đèn. Phần

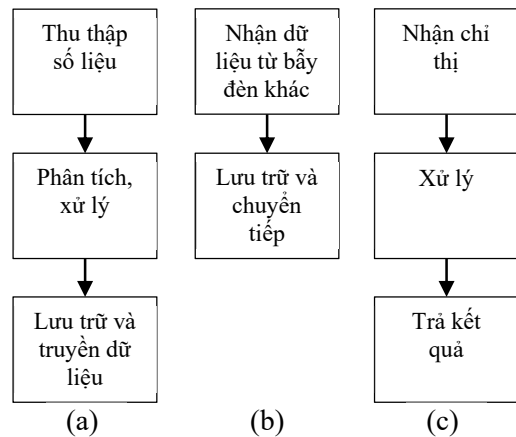
ba trình bày cơ chế truyền nhận thông tin, với các phương án và giải thuật giúp thông tin được thông suốt trong toàn hệ thống. Phần bốn trình bày phân tích tình huống các kịch bản khác nhau. Phần năm tóm lược lại bài viết và kết luận.

2 MÔ HÌNH BÃY ĐÈN TỰ ĐỘNG DỰA TRÊN CẢM BIẾN

2.1 Thông tin bẫy đèn tự động



Hình 1: Thiết kế bẫy đèn tự động



Hình 2: Các chức năng chính của một bẫy đèn

Chức năng quan trọng nhất của bẫy đèn tự động là thu thập, phân tích tại chỗ, xử lý và truyền các số liệu rầy nâu và thời tiết tại chỗ (Hình 2a). Dữ liệu được truyền về trung tâm điều hành thông qua các cơ chế truyền thông tin, trong đó từ nguồn truyền

¹ <http://www.bvtvhcm.gov.vn/technology.php?id=66>

² <http://nongnghiep.vn/kiem-tra-dich-hai-bang-bay-den-post141233.html>

³ <http://nongnghiep.vn/kiem-tra-he-thong-bay-den-o-phu-yen-post141599.html>

dữ liệu đến đích có thể vận dụng các bể đèn trung gian là các láng giềng địa lý của nhau (Hình 2b). Ngoài năng lực tự động vận hành, bể đèn còn có khả năng xử lý các điều khiển từ xa thông qua các chỉ thị với cú pháp định trước (Hình 2c).

2.2 Cơ chế vận hành

Các bộ phận của bể đèn tự động được nhóm thành các tổ hợp khác nhau tương ứng với các cơ chế vận hành. Các thông số kỹ thuật đều là các giá trị đề nghị và có thể thay thế tương thích tùy nhu cầu.

2.2.1 Cơ chế cung cấp năng lượng

Cơ chế này đảm bảo năng lượng điện cho toàn bộ hoạt động của bể đèn tự động. Việc lựa chọn các thiết bị trong tổ hợp cung cấp năng lượng cần phù hợp với nhau về cấu hình và đáp ứng được nhu cầu năng lượng toàn bộ bể đèn tự động. Tổng công suất tiêu thụ toàn bể đèn trên ngày được xem là tổng của công suất phát sáng đèn bể trong 3h và công suất tối đa của tổ hợp xử lý (Raspberry và Arduino) trong 24h và được tính bằng:

$$P = (18W \times 3) + (5W \times 24) + (0.6W \times 24) = 188.4W$$

Tấm pin năng lượng mặt trời cung cấp nguồn năng lượng sạch, tiết kiệm bằng cách thu nhận năng lượng mặt trời, chuyển hóa thành điện năng và lưu trữ vào ắc quy. Đây là cơ sở cho bể đèn vận hành độc lập, tự động. Để thu quang năng được tốt, tấm pin được đặt ở vị trí cao nhất của bể đèn, tấm ngay trụ bể, mặt trên xoay về hướng mặt trời mọc và mặt dưới hợp với mặt đất góc 10° .

Bình ắc quy cung cấp điện cho đèn bể và sạc cho pin dự phòng. Ắc quy còn đóng vai trò dự phòng cho toàn bộ bể đèn trong trường hợp pin năng lượng mặt trời không thu nhận đủ điện năng do thiếu ánh sáng mặt trời, ví dụ trong những ngày mưa.

Pin dự phòng cung cấp điện cho hoạt động của toàn bộ tổ hợp xử lý. Trong trường hợp ắc quy không còn đủ điện để thắp sáng đèn bể, pin dự phòng vẫn cho phép tổ hợp xử lý và các cảm biến tiếp tục hoạt động thêm một thời gian.

SCR (silicon controlled rectifier) được dùng để đóng/ngắt mạch điện một cách tự động, cho phép điều khiển bật/tắt đèn bể.

Tủ điều khiển chứa tổ hợp năng lượng (trừ tấm pin năng lượng mặt trời) và tổ hợp xử lý, bảo vệ các tổ hợp này khỏi bụi bẩn và nước văng. Tủ cũng có khóa để tránh các can thiệp không mong muốn.

2.2.2 Cơ chế bể rây

Cơ chế bể rây tương tự như cơ chế hiện có của các bể đèn truyền thống với một số cải tiến.

Đèn bể được mặc định bật từ 19h – 22h tối. Thông số thời gian này có thể được tùy chỉnh theo nhu cầu nhưng không được vượt quá dung lượng bình ắc quy. Đèn bể sử dụng điện một chiều cho cả hai phương án đèn huỳnh quang (*Fluorescent*) và LED (*Light-emitting diode*). Trong các mô hình bể đèn truyền thống, *đèn huỳnh quang* được sử dụng phổ biến. Đèn cho ánh sáng trắng gần với ánh sáng tự nhiên. Khảo sát trên đại diện các bộ côn trùng khác nhau [17] cho thấy hầu hết côn trùng đều sở hữu thụ thể xanh dương (bước sóng $\lambda_{max} \sim 440$ nm), thụ thể xanh lá nhạy cảm nhất với $\lambda_{max} \sim 530$ nm, thụ thể cực tím (Ultraviolet) ($\lambda_{max} \sim 350$ nm) cũng được tìm thấy và chưa có loài côn trùng nào được xác nhận thiếu vắng thụ thể cực tím. Cảm nhận màu trong phổ cực tím đóng vai trò quan trọng trong việc tìm môi, định hướng và tìm bạn của cả động vật không xương sống bay và trên cạn [18]. Có nhiều côn trùng hoạt động lúc chạng vạng tối khi mà sắc xanh dương đen và cực tím áp đảo các màu sắc khác. Rây nâu có thể cũng chịu ảnh hưởng bởi các màu sắc trên. Phương án bể sử dụng *đèn LED* [19] cho phép nghiên cứu mức độ thu hút rây nâu ứng với các màu sắc ánh sáng khác nhau: cực tím A (UVA), xanh dương, xanh lá. Bóng đèn LED có kích thước và công suất tương thích với bóng đèn huỳnh quang nên có thể thay thế cho nhau nếu cần. Đặc điểm nổi bật của đèn LED là cho độ sáng cao, tiết kiệm điện năng và tuổi thọ đèn cao.

Các bộ phận phụ trợ trong bể đèn truyền thống bao gồm nón chụp, mặt kính và phễu. *Nón chụp* là một vành kim loại nhẹ, không gì để che mưa nắng cho đèn bể và các bộ phận bên dưới. *Mặt kính* giúp phát tán ánh sáng, gồm 4 tấm kính được đặt vuông góc, đối xứng nhau qua đèn bể. *Phễu* cho phép dễ tập trung rây rớt từ đèn xuống bộ phận hứng phía dưới.

Mặt vuông đón rây là một điểm mới so với mô hình bể đèn truyền thống. Mặt vuông này là một tấm mica kích thước 0.1×0.1 m, màu trắng không phản chiếu được đặt ngay dưới phễu. Mặt vuông được điều khiển tự động cho phép nó xoay một góc 90° khiến rây rớt xuống khay hứng rây.

Khay hứng rây là một mặt phẳng kích thước 0.4×0.5 m dùng để hứng rây từ mặt vuông đón rây. Trong khay có thể bôi một ít dầu hoặc hóa chất để diệt rây. Tác dụng của khay hứng rây bây giờ chỉ là

diệt rầy. Có thể thay thế khay hứng rầy bằng túi nilon vẫn cho hiệu quả như nhau.

Trụ bẫy đèn là thanh kim loại không gỉ kích thước 0.7 x 0.7 x 3 m. Trụ gồm hai khớp nối lồng vào nhau và có các lỗ ốc vít cho phép tăng đưa thay đổi độ cao của trụ nếu cần. Chân đế gồm các thanh kim loại được hàn chéo và có thể được đổ bê tông để tạo độ vững chắc cho trụ. Chân đế được chôn dưới mặt đất.

2.2.3 Cơ chế thu thập dữ liệu

Dữ liệu hình ảnh rầy được thu nhận bởi camera và phân tích, đếm tổng số rầy. Trong bối cảnh bẫy đèn hoạt động về đêm, cần lựa chọn camera có khả năng hoạt động trong điều kiện thiếu ánh sáng. Camera được đặt cạnh bên mặt vuông đón rầy định

kỳ thu nhận hình ảnh rầy. Trước mỗi lần chụp ảnh, rầy cũ đang bám trên mặt vuông được loại bỏ vào khay hứng rầy.

Bên cạnh mục tiêu trọng tâm là thu thập số liệu về rầy, mô hình còn sử dụng các cảm biến (sensor) được đặt ở vị trí thuận tiện, không bị cản trở hay nhiễu để ghi nhận các số liệu về thời tiết thực địa một cách nhanh chóng và liên tục. Điều này mở ra khả năng hỗ trợ nhiều hơn cho ngành nông nghiệp trong việc theo dõi các diễn biến bất thường trên vùng sản xuất nông nghiệp. Mô hình cũng cung cấp công cụ để nghiên cứu mối liên hệ giữa côn trùng gây hại và điều kiện thời tiết tương ứng như khí tượng [14] [20] [21], ánh sáng [22] [23], âm thanh [24] [25].

Bảng 1: Thông số các cảm biến

| Loại cảm biến | Model | Interface | Phạm vi hoạt động | Sai số |
|---------------|------------------|------------------|-------------------|---------------------|
| Độ ẩm | DHT22 | Analog | 0 .. 100% RH | ±2% RH (Max ±5% RH) |
| Nhiệt độ | | | -40 .. 80°C | ±0.5°C |
| Ánh sáng | BH1750 | I ² C | 1 - 65535 lx | ±20% |
| Tốc độ gió | Gill WindSonic M | RS232 | 0 - 60 m/s | ±2% @ 12 m/s |
| Hướng gió | | | 0 - 359° | ±2° @ 12 m/s |
| Âm thanh | SEN12945P | Analog | 20 - 16.000 Hz | -50 dB ± 2.0 @ 1KHz |

2.2.4 Cơ chế xử lý

Đèn bẫy điều khiển tự động được bật tắt tự động vào những khung giờ mặc định (19h – 22h) hay điều chỉnh từ xa nhờ vào sự hỗ trợ của rơ le tự động. Điều khiển tự động còn thể hiện ở khả năng loại bỏ rầy cũ trước mỗi lần thu nhận dữ liệu. Mặt vuông đón rầy được gắn với bộ phận truyền động Stepper motor cho phép điều khiển nó xoay một góc nhất định (90°).

Bảng 2: Bảng phân cấp rầy vào đèn

| Số lượng rầy vào đèn (con/bẫy) | Cấp rầy vào đèn |
|--------------------------------|-----------------|
| <1000 | 1 |
| ≥1000 - <2500 | 2 |
| ≥2500 - <5000 | 3 |
| ≥5000 - <10000 | 4 |
| ≥10000 | 5 |

Hình ảnh rầy nâu chụp được sẽ được phân tích tại chỗ bằng các phương pháp xử lý ảnh và đếm số lượng. Tổng các kết quả đếm Np cho biết tổng số rầy vào bẫy. Kết quả này được đối chiếu với khung tham chiếu định trước (Bảng 2) để xác định cấp rầy vào bẫy đèn [26]. Do mô hình bẫy đèn truyền thống được tái sử dụng, các số liệu phân tích sẽ tương thích với các bảng tham chiếu hiện có về cấp độ nhiễm rầy nâu. Khi cấp rầy vào đèn thay đổi, định kỳ chụp ảnh và phân tích được gia giảm tự

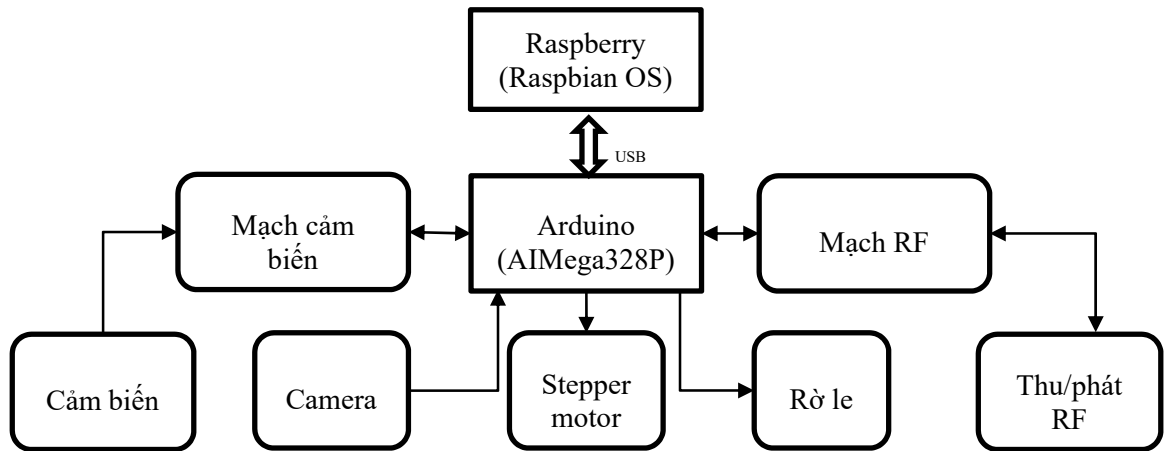
động, thể hiện sự tăng cường hay giảm tần suất theo dõi diễn biến rầy.

Các số liệu về thời tiết ở dạng tín hiệu analog được tiền xử lý về các giá trị có ý nghĩa, ví dụ đầu ra 2.5V từ cảm biến nhiệt độ tương ứng với giá trị 50°C. Các giá trị cần ghi nhận bao gồm nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí tương đối, độ rọi sáng, tốc độ gió, hướng gió, âm lượng. Ngoài ra, tín hiệu âm thanh còn được tổng hợp thành dữ liệu đa phương tiện, lưu trữ cục bộ và gửi về trung tâm khi có yêu cầu.

Bẫy đèn tự động có thể nhận và xử lý các chỉ thị điều khiển từ xa từ trung tâm điều hành với cú pháp quy định trước. Các chỉ thị này cho phép yêu cầu dữ liệu hay điều khiển các tham số hoạt động của bẫy đèn.

Tổ hợp được xem như não bộ của bẫy đèn tự động, với các bộ phận cấu thành gồm vi điều khiển, các bo mạch và các linh kiện được lựa chọn và được kết nối với nhau như Hình 3.

Raspberry [27] [28] là một máy vi tính mini hoàn chỉnh, với đầy đủ các ngõ giao tiếp chuẩn. Mô hình sử dụng Raspberry Pi 2 với thẻ nhớ MicroSD có cài đặt hệ điều hành Raspbian. Module thời gian thực được kết nối với Raspberry để cung cấp thời gian cho toàn bẫy đèn. Các chức năng xử lý như phân tích hình ảnh rầy, xử lý chỉ thị điều khiển từ xa được thực hiện trên Raspberry.



Hình 3: Sơ đồ khối tổng quát

Arduino [29] [30] được kết nối với với Raspberry thông qua công USB. Arduino là một vi xử lý cho phép nó thực hiện một số tác vụ đơn giản. Để mở rộng thêm chức năng, Arduino có thể được kết nối với các thiết bị khác. Mô hình sử dụng Arduino Mega 2560 để tiền xử lý các tác vụ đơn giản như chuyển đổi các tín hiệu trong tự đến từ các cảm biến về dạng dữ liệu máy tính.

Shield là một dạng mạch chức năng có thể kết nối với các bộ phận chức năng tương thích như các cảm biến hay các module truyền tin. Shield được thiết kế để cắm chồng lên nhau và lên Arduino. Multiprotocol Radio shield gồm hai khe cho phép lắp phối hợp các loại module khác nhau như 3G, Xbee, LoRa, WiFi, Bluetooth,... để truyền nhận dữ liệu qua sóng vô tuyến. Như vậy, mỗi shield này đáp ứng được hai phương án truyền khác nhau. Sensor shield cho phép kết nối với nhiều cảm biến. Có thể nhận cả tín hiệu analog và tín hiệu digital.

2.2.5 Cơ chế truyền không dây

Toàn bộ giao tiếp giữa các bầy đèn tự động và giữa bầy đèn với trung tâm điều thông qua các kênh truyền không dây, với các phương án khác nhau được lựa chọn và phối hợp sử dụng.

Truyền cự ly dài (long-range) được áp dụng khi khoảng cách địa lý giữa điểm giao tiếp xa nhau nhiều km. Trong cự ly này, phương án dịch vụ nhà mạng di động cho phép sử dụng lợi thế cơ sở hạ tầng viễn thông rộng khắp hiện có. Tùy chất lượng và dịch vụ dữ liệu được cung cấp bởi nhà mạng mà lựa chọn loại hình dữ liệu phù hợp. Dữ liệu có thể là văn bản thuần và được gửi bằng tin nhắn SMS. Dữ liệu cũng có thể có kích thước lớn hơn, truyền tải được nhiều thông tin hơn thông qua các gói dịch vụ dữ liệu GPRS hay 3G. Với phương án này, bầy

đèn có thể giao tiếp trực tiếp với trung tâm điều hành mà không cần phải thông qua các bầy đèn khác. Tuy nhiên, chi phí duy trì dịch vụ mạng di động cần được tính đến khi lưu lượng dữ liệu cao hay khi vị trí địa lý của bầy đèn ở khu vực không sử dụng được các gói dịch vụ dữ liệu. Điều này mở ra nhu cầu áp dụng thêm các phương án truyền khác trên các tần số cho phép thuộc băng tần ISM (Industrial, Scientific and Medical) được quốc tế và Việt Nam quy hoạch [31] dành riêng cho các lĩnh vực ngoài viễn thông như công nghiệp, khoa học và y học. Một đặc điểm cần lưu ý là truyền sóng radio đòi hỏi đường truyền thẳng (Line-of-Sight - LOS) để cho chất lượng truyền tốt nhất. Do đó, các thiết bị thu phát cần đặt ở vị trí cao và không bị che khuất. Phương án LoRa [32] cho phép phát sóng radio tầm xa tùy vùng địa lý như ngoại ô (15 km) hay đô thị (2-5 km). Mô hình bầy đèn tự động sử dụng LoRa trên tần số 434 MHz thuộc ISM.

Truyền cự ly trung bình (medium-range) sử dụng Module Xbee với giao thức ZigBee [33] (chuẩn IEEE 802.15.4 [34]). Đây là lựa chọn phổ biến khi xây dựng mạng cảm biến không dây (Wireless Sensor Networks - WSN). Một mô hình mạng khác thuộc cự ly này là mạng không dây WiFi (chuẩn IEEE 802.11 a/b/g [35]).

Truyền cự ly ngắn (short-range) được áp dụng trên điều kiện người điều hành đang ở thực địa, gần một bầy đèn tự động và có nhu cầu giao tiếp trực tiếp với bầy đèn đó. Người điều hành có thể yêu cầu bầy đèn trực tiếp gửi dữ liệu thông qua kênh Bluetooth.

2.2.6 Cơ chế cảnh báo

Khi cấp rầy vào đèn thay đổi, liên tục gửi cảnh báo về trung tâm điều hành đến khi nào nhận được chỉ thị mới. Nhờ vào cơ chế cảnh báo, các diễn

biến bất thường về rầy và thời tiết được cập nhật tức thời về trung tâm. Từ trung tâm có thể phát yêu cầu toàn bộ hệ thống thay đổi tần suất theo dõi rầy bằng các chỉ thị từ xa. Cơ chế cảnh báo sẽ được trình bày chi tiết hơn ở phần sau.

3 CƠ CHẾ TRUYỀN NHẬN THÔNG TIN

3.1 Các định nghĩa

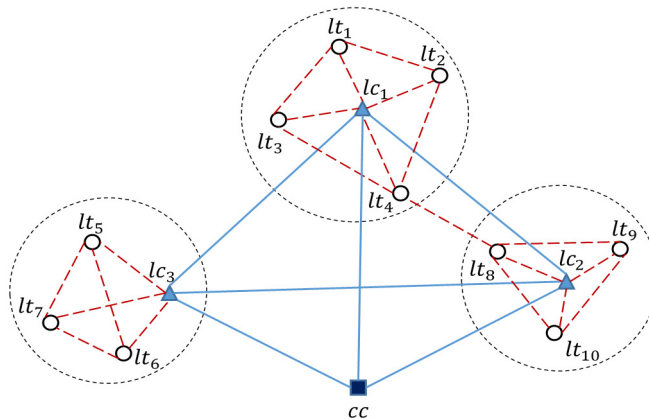
Nút là chủ thể truyền nhận thông tin trong mạng. Mỗi nút có mã số *ID* duy nhất để nhận dạng trong toàn bộ mạng. Nút vừa là nút thu, vừa là nút phát tùy vai trò nhận hay truyền thông tin tại một thời điểm xác định. Thông tin trong mạng bầy đàn tự động được chia thành hai loại: thông tin điều khiển (còn gọi là chỉ thị) và thông tin dữ liệu. Có ba loại nút khác nhau tùy chức năng: bầy đàn, trung tâm địa phương hay trung tâm điều hành. Nguồn dữ liệu được phát sinh từ *nút bầy đàn*, được chuyển tiếp qua các nút bầy đàn trung gian và truyền về *nút trung tâm địa phương* (gọi tắt là nút địa phương). Mỗi vùng sản xuất nông nghiệp có thể đặt một nút địa phương làm nhiệm vụ tập trung dữ liệu và thực hiện các phép tính, ví dụ tính giá trị lớn nhất hay giá trị trung bình, để xác định cấp độ rầy và thông tin thời tiết đại diện cho vùng sản xuất đó. Toàn bộ các dữ liệu được đưa về đích cuối cùng là *nút trung tâm điều hành* (gọi tắt là nút điều hành) thực hiện các điều khiển và phản hồi tương ứng với cấp độ rầy và thời tiết. Tập hợp tất cả các nút được ký hiệu là $N = \{CC\} \cup \{LC\} \cup \{LT\}$,

trong đó $\{CC\} = cc$ là nút trung tâm điều hành, $\{LC\} = \{lc_1, lc_2, \dots, lc_i\}$ là tập các nút trung tâm địa phương và $\{LT\} = \{lt_1, lt_2, \dots, lt_j\}$ là các nút bầy đàn.

Hai nút được gọi là láng giềng khi khoảng cách địa lý của chúng gần nhau sao cho cự ly thu phát sóng của nút này phủ được tới nút kia. *Cạnh* là liên kết hai chiều của một cặp nút láng giềng, cạnh thể hiện khả năng truyền nhận thông tin giữa hai nút. Giữa hai nút bất kỳ trong mạng chỉ tồn tại tối đa một cạnh. Tập hợp các cạnh được ký hiệu là $E = \{e_1, e_2, \dots, e_k\}$.

Tập các nút có cạnh nối đến một nút trung tâm bất kỳ tạo thành *cụm*. Một cụm $G_i = \{lc_i\} \cup \{LT_i\}$ gồm một nút trung tâm địa phương lc_i và tập $\{LT_i\} \subset \{LT\}$ các nút bầy đàn liên kết với nó. Cụm $G_c = \{CC\} \cup \{LC\}$ thể hiện khung xương sống (backbone) của mạng, gồm một nút trung tâm điều hành và tất cả các nút địa phương liên kết với nhau (mạng mesh hoàn chỉnh – một liên kết với tất cả). Nút trung tâm có thể ra chỉ thị điều khiển cho các nút thành viên trong cụm.

Hình 4 minh họa một mạng bầy đàn tự động gồm mười bầy đàn (hình tròn) từ $lt_1, lt_2, \dots, lt_{10}$ được điều khiển bởi ba trung tâm địa phương (hình tam giác) lc_1, lc_2, lc_3 và một trung tâm điều hành (hình vuông) cc :



Hình 4: Đồ thị mạng bầy đàn tự động

3.2 Giải thuật phát

Khung thời gian T_i là giá trị được gán cho khoảng thời gian giữa hai lần thu thập dữ liệu. Dữ liệu cần được gán khung thời gian để biết khoảng thời gian phát sinh dữ liệu đó. Giải thuật 1 được chạy thường trú ở nút trung tâm điều hành cho

phép phát T_i định kỳ vào mạng, làm cơ sở cho toàn bộ hoạt động của hệ thống.

Dữ liệu được các nút trong mạng thu nhận và phát đi liên tục. Một bộ dữ liệu gồm các đơn vị số liệu về tổng số lượng rầy Np (con), nhiệt độ không khí T ($^{\circ}C$), độ ẩm không khí tương đối RH (%), độ

rọi sáng L (lx), tốc độ gió Ws (m/s), hướng gió Wd (góc °), âm lượng S (Hz). Dữ liệu được tổng hợp và biểu diễn dạng $Data = [Np, T, RH, L, Ws, Wd, S]$.

Bộ giá trị $Header = [ID, Ti, Lv]$ cho phép xác định nhanh những giá trị quan trọng nhất của dữ liệu. Trong đó cặp ID và Ti cho phép xác định vùng địa lý và khung thời gian mà dữ liệu đại diện. Giá trị cấp độ rầy Lv dao động từ bình thường (0) đến cảnh báo (từ 1 đến 5) giúp phản ứng nhanh khi

có biến động bất thường.

Gói tin $Packet = Header + Data$ tạo thành một bộ thông tin đầy đủ và được vận chuyển trên toàn hệ thống mạng. Từ nút phát, gói tin đi qua nhiều nút trung gian khác nhau để đến được nút thu. Tập hợp nút phát, các nút trung gian và nút thu tạo thành một đường đi ứng với gói tin đó. Cùng một gói tin có thể đi qua nhiều con đường khác nhau đến nút thu.

Giải thuật 1 : Phát khung thời gian từ nút trung tâm điều hành

Begin

```

Khởi tạo  $interval = 120$  ; // tần suất phát khung thời gian trong điều kiện  $Lv = 0$ 
Khởi tạo  $Ti = 0$  ; // giá trị khung thời gian
Loop qua mỗi phút trong ngày
    Gán  $currentMinute$  bằng phút hiện hành ; // tính từ 00:00
    Nếu  $currentMinute$  bằng 0 // lúc 00:00
        Gán  $currentDay$  bằng ngày hiện hành ;
        Gán  $Ti = 0$  ;
        Output : Phát  $currentDay$  vào mạng bẫy đèn;
    Nếu  $currentMinute \text{ MOD } interval$  bằng 0 // đến định kỳ phát
        Output : Phát giá trị khung thời gian  $Ti$  vào mạng bẫy đèn;
        Lưu cập giá trị  $Ti$  và  $currentMinute$  ;
        Tăng  $Ti$  lên 1 ;
    Input : Cấp rầy hiện hành trên toàn hệ thống  $Level$  ;
    Nếu  $Level$  lớn hơn 0 // cấp rầy biến động
         $interval = 60 / Level$  ; // thay đổi tần suất
    Ngược lại // không có rầy
         $interval = 120$  ;
End Loop;

```

End ;

Giải thuật 2 : Phát dữ liệu từ nút bẫy đèn

Begin

```

Khởi tạo  $ID$  bằng mã số định danh của nút ;
Khởi tạo số ngẫu nhiên  $Rand = \text{random}(\text{seed} = ID)$  ;
Khởi tạo  $lastTi = 0$  ;
Khởi tạo  $txInterval = 24$  ; // tần suất phát dữ liệu trong điều kiện  $Lv = 0$ 
Khởi tạo  $lastMinute =$  phút hiện hành ; // tính từ 00:00
Loop qua mỗi phút trong ngày
    Gán  $currentMinute$  bằng phút hiện hành ;
    Đọc giá trị khung thời gian hiện hành  $Ti$  của nút ;
    Nếu  $Ti$  khác  $lastTi$ 
         $txInterval = (currentMinute - lastMinute) / 5$  ;
        Gán  $lastTi$  bằng  $Ti$  ;
    Nếu  $(currentMinute + Rand) \text{ MOD } txInterval$  bằng 0 // đến định kỳ phát
        Input : Nhận các giá trị  $Lv, Data$  ;
        Khởi tạo  $Header = [ID, Ti, Lv]$  ;
        Khởi tạo  $Packet = [Header, Data]$  ;
        Output : Phát  $Packet$  trên tất cả các kênh truyền khả dụng: short-range, medium-range, long-range ;
End Loop;

```

End ;

3.3 Giải thuật thu

Khi một nút khác nút điều hành nhận được một gói tin, nó duyệt qua các gói tin đã có để tìm gói tin

trùng *Header*, ghi nhận tối đa 5 gói tin trùng và gửi ngược lại vào mạng một phiên bản duy nhất của gói tin cần chuyển tiếp.

Giải thuật 3 : Thu dữ liệu ở các nút bẫy đèn

Begin

```

Loop qua mỗi phút trong ngày
    Gán currentMinute bằng phút hiện hành ;
    Nếu nhận currentDay
        Tạo tập tin có tên currentDay để lưu trữ các giá trị nhận được trong ngày ;
    Nếu nhận Ti lớn hơn T hiện hành của nút
        Gán T hiện hành bằng Ti mới
    Input : Gói tin đến rxPacket, txInterval ;
    Đọc rxHeader của rxPacket ;
    Khởi tạo biến đếm count = 0 ;
    Loop qua các oldPacket // các Header đã có
        Nếu rxHeader trùng với oldHeader
            Tăng count lên 1 ;
    End Loop ;
    Nếu count <= 5
        Lưu trữ rxPacket vào tập tin hiện hành ;
    Ngược lại
        Nếu currentMinute MOD txInterval bằng 3
            Output: Phát rxPacket trên tất cả các kênh truyền khả dụng: short-range, medium-range, long-range ;
    End Loop ;

```

End ;

3.4 Giải thuật cảnh báo

Khi một nút bẫy đèn trong mạng ghi nhận cấp rầy vào cấp cảnh báo, cơ chế cảnh báo (giải thuật 4) sẽ hoạt động để gửi cảnh báo về trung tâm, thực hiện các giao tiếp giữa bẫy đèn và trung tâm qua các chỉ thị, nâng tần suất theo dõi rầy tương ứng cho nút bẫy đèn đó hay cả cụm.

Tiếp theo, nút trung tâm điều hành sẽ khởi chạy giải thuật 5 để phát các điều khiển phù hợp với từng cấp độ cảnh báo. Các chỉ thị có thể là tăng tần suất theo dõi, yêu cầu dữ liệu tức thời tại một nút bẫy đèn bất kỳ hay đặt lại thời lượng phát sáng đèn bẫy tại một nút bẫy đèn hay một cụm nút.

Giải thuật 4 : Phát cảnh báo ở nút bẫy đèn

Input : Cấp rầy hiện hành *Lv* ;

Begin

```

    Nếu Lv lớn hơn 0
        Khởi tạo lastTi = 0 ;
        Đọc giá trị khung thời gian hiện hành Ti của nút ;
        Nếu Ti khác lastTi
            Gán tần suất phát hiện hành txInterval = txInterval / Lv ;
            Gán lastTi bằng Ti ;
        Nếu Lv lớn hơn hoặc bằng 4
            Không tiếp nhận thông tin từ các láng giềng nữa mà chỉ giao tiếp với trung tâm ;
        Nếu Lv bằng 5
            Input : Chỉ thị của trung tâm
            Thực thi theo chỉ thị của trung tâm ;
        Output : Yêu cầu chỉ thị <CMD_GET: ID, Lv > // ưu tiên sử dụng kênh long-range, medium-range, short-range

```

End ;

Giải thuật 5 : Xử lý cảnh báo ở nút trung tâm điều hành

Input : < CMD_GET: ID, Lv >

Begin

Giảm định kỳ phát Ti : $interval = interval / Lv$;

Output : Thông báo đến toàn hệ thống < CMD_WARN : Des = ALL, Lv = Lv > ;

Output : Ra chỉ thị cho nút bẫy đèn trực tiếp giao tiếp với trung tâm < CMD_COMM : Des = ID > ; // ưu tiên sử dụng kênh *long-range, medium-range, short-range*
 Nếu Lv bằng 5

Gán cấp rầy toàn hệ thống $Level = Lv$;

Output : < PSET : Des = ALL, Lv = Level > ;

Input : Chỉ thị từ người điều hành ;

Output : Ra chỉ thị theo điều khiển ;

Output : Phát Ti tiếp theo ;

End ;

3.5 Cơ chế lưu trữ

Tập các giá trị nhận được trong một ngày được lưu trữ vào một tập tin định dạng Comma Separated Value (CSV) có tên trùng với ngày đó. Mỗi dòng trong tập tin là đại diện cho một mẫu tin. Mỗi mẫu tin có các trường được ngăn cách bởi dấu phân cách (dấu phẩy). Cấu trúc lưu trữ này cho phép đọc dữ liệu thành dạng bảng một cách dễ dàng. Ở nút địa phương và nút điều hành, tập hợp các tập tin trên được tổ chức lưu trữ trong cơ sở dữ liệu, cho phép những phân tích phức tạp hơn hay khai thác tri thức từ dữ liệu.

4 PHÂN TÍCH TÌNH HUỐNG

4.1 Công cụ lõi nhúng

Hai công cụ nguồn mở *Arduino Software (IDE)* [29] và *Processing* [36] [37] được cài đặt trên Raspberry và sử dụng phối hợp với nhau. Trên hai công cụ này, toàn bộ các mã lệnh xử lý cho bẫy đèn được cài đặt và thực thi. *Arduino Software (IDE)* (phiên bản 1.6.5) giúp việc thể hiện ý tưởng nhúng được đơn giản hơn. Mã lệnh tiền xử lý các giá trị analog, thu phát sóng vô tuyến và truyền nhận dữ liệu được thể hiện trên công cụ này và nhúng vào vi điều khiển Arduino. Thông qua cổng Serial COM, vi xử lý Arduino và Raspberry giao tiếp với nhau để gửi nhận dữ liệu cảm biến và dữ liệu cần thu phát qua mạng bẫy đèn. *Processing* (phiên bản 2.2.1) thực thi các mã lệnh để thường trực đọc ghi thông tin qua cổng Serial. Các xử lý để xác định cấp độ nhiệm rầy, xử lý chỉ thị điều khiển được thực hiện dựa trên công cụ này.

4.2 Mô tả tình huống

Bẫy đèn tự động hoạt động xuyên suốt trong ba tình huống chính: tình huống ngày, tình huống đêm bình thường và tình huống đêm cao điểm rầy. Trong

tình huống ngày, các bẫy đèn không thu nhận số liệu rầy mà chỉ thu nhận số liệu thời tiết. Các số liệu này được thu thập với tần suất thấp, định kỳ mỗi 120 phút, cho phép theo dõi diễn biến thời tiết thực địa. *Tình huống đêm bình thường* không có hoặc rất ít rầy, các bẫy đèn thu thập số liệu, phân tích và truyền nhận dữ liệu với tần suất tương đối. *Tình huống đêm cao điểm rầy*, các bẫy đèn hoạt động với tần suất cao và thể hiện các xử lý và giao tiếp phức tạp hơn tình huống thông thường.

4.3 Kịch bản 1: Thu thập dữ liệu

Lúc 08:30 sáng ngày 20/09/2015, vào khung thời gian $Ti = 5$ xét hoạt động thu thập dữ liệu tại cụm G_2 . Lúc này là buổi sáng nên không ghi nhận dữ liệu rầy nâu, cấp độ rầy $Lv = 0$. Số liệu ghi nhận được như sau :

Bẫy đèn 5 : (5, 5, 0, 0, 29, 62, 55000, 13, 278)

Bẫy đèn 8 : (8, 5, 0, 0, 30, 62, 55000, 15, 276)

Bẫy đèn 11 : (11, 5, 0, 0, 29, 62, 55000, 14, 273)

Tại trung tâm địa phương $ID = 2$ là trung tâm của cụm G_2 . Dữ liệu từ các bẫy đèn 5, 8, 11 được tập trung về trung tâm địa phương để tính max. Giá trị tính được là đại diện cho toàn bộ cụm : (2, 5, 0, 0, 30, 62, 55000, 15, 278).

4.4 Kịch bản 2: Phát dữ liệu

Xét trên một bẫy đèn $ID = 5$. Lúc 18:00 tối ngày 20/09/2015 bẫy đèn nhận $Ti = 9$. Bẫy đèn đọc giá trị các cảm biến, tạo bộ dữ liệu Data và phát dữ liệu. Sau thời điểm này, cách 20 phút bẫy đèn phát dữ liệu một lần với Ti vẫn là 9. Đến 20:35, do cấp rầy có biến động lên cấp 1 ở một khu vực khác, trung tâm điều hành phát khung thời gian mới $Ti = 11$ cho toàn hệ thống. Bẫy đèn thực hiện tính

$txInterval = (1235 - 1080) / 5 = 31$ phút. Bẫy đèn thực hiện khởi tạo và phát dữ liệu theo tần suất 31 phút một lần với Ti mới.

4.5 Kịch bản 3: Cảnh báo

Xét bẫy đèn $ID = 8$. Tại thời điểm 19:00 tối, bẫy đèn thực hiện thu thập dữ liệu. Các giá trị đều bình thường và bẫy đèn duy trì hoạt động bình thường. Đến 20:03 tối, bẫy đèn $ID = 8$ thu thập được giá trị số lượng rầy Np là 320 con, tương ứng với cấp độ rầy Lv là 1. Lập tức bẫy đèn phát cảnh báo về trung tâm. Trong thời gian chờ chỉ thị phản hồi, bẫy đèn tăng tần suất hoạt động và phát dữ liệu tương ứng theo cấp rầy hiện hành. Phản hồi tự động từ trung tâm đến yêu cầu bẫy đèn tiếp tục duy trì tần suất hoạt động hiện tại. Khi đó, các bẫy đèn lảng giềng và trung tâm địa phương cũng đã được nâng mức độ cảnh báo. Đến 21:05, Np tăng vọt lên 5500 con, đạt cấp rầy 4. Lúc này bẫy đèn không tiếp nhận thông tin từ bẫy đèn khác nữa mà chỉ giao tiếp trực tiếp với trung tâm địa phương và trung tâm điều hành. Trung tâm ra chỉ thị duy trì tần suất theo dõi và tăng thời lượng phát sáng đèn bẫy thêm 30 phút. Đến 22:30 cấp rầy vẫn không vượt quá 4, bẫy đèn thực hiện gửi dữ liệu trước khi tắt đèn bẫy và quay về tần suất theo dõi bình thường (do không còn ghi nhận số lượng rầy vào đèn nữa).

5 KẾT LUẬN

Trong bài viết này, chúng tôi xây dựng một mô hình bẫy đèn tự động mới dựa trên các cảm biến. Giao tiếp giữa các bẫy đèn và giữa bẫy đèn với trung tâm được thực hiện hoàn toàn trên các kênh truyền không dây với các cự ly dài, trung bình, ngắn khác nhau. Bài viết trình bày các thiết kế phần cứng với nhiều tùy chọn khác nhau, các cơ chế vận hành và các giải thuật cần thiết để hệ thống hoạt động. Các kịch bản hoạt động khác nhau được đưa ra ứng với các chức năng quan trọng nhất. Các xử lý về thu thập số liệu và truyền nhận dữ liệu đã được cài đặt. Tuy nhiên, việc lắp đặt các bẫy đèn tự động hoàn chỉnh để có thể hoạt động trên thực địa vẫn đang được thực hiện. Trên cơ sở tăng cường tính tự động, tức thời và linh động, mô hình có thể cung cấp thêm cho ngành nông nghiệp một công cụ hỗ trợ trong công tác quản lý côn trùng gây hại.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. B. B. Bùi, H. V. Nguyễn, H. H. Nguyễn, C. V. Hồ, V. V. Ngô, P. T. Mai, D. V. Phạm và R. Cabunagan, *Sổ tay hướng dẫn phòng trừ rầy nâu truyền bệnh vàng lùn, lùn xoắn lá hại lúa*,

Trung tâm Khuyến nông Quốc gia - Bộ Nông nghiệp và Phát triển Nông thôn, 2006.

2. C. N. Trần, T. Đ. Ninh và H. T. T. Nguyễn, *Sổ tay quy trình kỹ thuật quản lý rầy và bệnh lùn sọc đen hại lúa*, Chi cục Bảo vệ Thực vật Nam Định - Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn Nam Định, 2012.
3. M. D. Pathak and Z. R. Khan, "Rice leafhoppers and planthoppers," in *Insect Pests of Rice*, International Centre of Insect Physiology and Ecology - IRRI, 1994, pp. 19-27.
4. H. V. Nguyễn và S. T. Lê, *Côn trùng gây hại cây trồng*, Nhà xuất bản Nông nghiệp, 2011.
5. K. Mueller, *Những thiệt hại trên ruộng lúa nhiệt đới (xuất bản lần 2)*, Viện Nghiên cứu Lúa gạo Quốc tế (IRRI) & Trường Đại học Cần Thơ, 1983.
6. H. H. Nguyễn, *Thông báo tình hình dịch hại rầy nâu, bệnh vàng lùn, lùn xoắn lá (Số 40/BNN-BVTV-BCD-TB)*, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2008.
7. D. S. Bùi, *Thông báo tình hình dịch hại chủ yếu 7 ngày trên một số cây trồng (Số 23/TBSB-BVTV-TV)*, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn - Cục Bảo vệ Thực vật, 2015.
8. M. Shimoda and K.-i. Honda, "Insect reactions to light and its applications to pest management," *Applied Entomology and Zoology*, pp. 413-421, 2013.
9. M. Q. Nguyễn, *Quyết định Công nhận "Quy trình phòng chống bệnh virút vàng lùn, lùn xoắn lá do rầy nâu là môi giới truyền bệnh tại các tỉnh phía Nam" là tiến bộ khoa học kỹ thuật*, Cục Bảo vệ Thực vật - Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2009.
10. P. Đ. Cao, *Chỉ thị số 96/2006/CT-BNN về việc phòng trừ rầy nâu, bệnh vàng lùn, lùn xoắn lá hại lúa ở các tỉnh phía Nam*, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2006.
11. C. V. Hồ, C. Q. Lê và T. V. Đỗ, *Tài liệu về chống rầy của Trung tâm bảo vệ thực vật phía Nam*, Cục Bảo vệ Thực vật - Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2009.
12. D. P. Nguyễn, D. V. Phạm và H. V. Nguyễn, "Nghiên cứu đặc tính truyền vi rút lùn lúa cỏ (rice grassy stunt virus, rgsv) của côn trùng vector," *Tạp chí Khoa học Trường Đại học An Giang* 4(3), pp. 11-18, 2014.
13. Q. V. Phạm, K. T. Nguyễn, S. T. M. Nguyễn và N. V. Phan, *Kỹ thuật "Né rầy"*

- ôm nước”, Cục Bảo vệ Thực vật - Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, 2010.
14. F. A. Crummay and B. W. Atkinson, "Atmospheric influences on light-trap catches of the brown planthopper rice pest," *Agricultural and Forest Meteorology*, vol. 88, pp. 181-197, 1997.
 15. V. A. Dyck, B. C. Misra, S. Alam, C. N. Chen, C. Y. Hsieh and R. S. Rejesus, "Ecology of the brown planthopper in the tropics," in *Brown Planthopper: Threat to Asian Rice Production*, Los Baños, Phillipines, International Rice Research Institute, 1979, pp. 61-98.
 16. R. Kisimoto, "Synoptic weather conditions inducing long distance immigration of planthoppers, *Sogatella furcifera* Horvath and *Nilaparvata lugens* Stal," *Ecological Entomology*, pp. 95-109, 2008.
 17. A. D. Briscoe and L. Chittka, "The Evolution of Color Vision in Insects," *Annual Reviews Entomol.*, pp. 471-510, 2001.
 18. M. S. Cruz and R. Lindner, "Insect Vision: Ultraviolet, Color, and LED Light," University of Georgia Department of Entomology, 2011
 19. L. Bergström, P. Delsing, A. L'Huillier and O. Inganäs, *Blue LEDs – Filling the world with new light*, The Nobel Prize in Physics 2014 - The Royal Swedish Academy of Sciences, 2014.
 20. P. Zhang, . A. Ryzhkov et D. Zrnic, "Detection of Birds and Insects using Polarimetric Radar Observation," *Preprints, 11th Conf. on Aviation, Range, and Aerospace Meteorology*, vol. 5, 2004.
 21. D. Zrnic et A. Ryzhkov, "Observations of insects and birds with a polarimetric radar," *Geoscience and Remote Sensing*, vol. 36, n° 12, pp. 661-668, 1998.
 22. L. Beaudouin, “Le comportement des animaux en présence de sources lumineuses (Théorie de l'éclairage directionnel)”, chez *Les Cahiers de liaison de l'OPIE* 19, 1985, pp. 25-41.
 23. L. Nowinszky, A. Hirka, G. Csoka, G. Petranyi et J. Puskas, "The influence of polarized moonlight and collecting distance on the catches of winter moth *Operophtera brumata* (Lepidoptera: Geometridae) by light traps," *Europe Journal of Entomology*, vol. 1, pp. 29-34, 2012.
 24. K. Saxena and H. Kumar, "Interruption of acoustic communication and mating in a leafhopper and a planthopper by aerial sound vibrations picked up by plants," *Experientia* 36, pp. 933-936, 1980.
 25. N. Srivastava, G. Chopra, P. Jain et B. Khatter, "Pest Monitor and Control System using Wireless Sensor Network (With Special Reference to Acoustic device wireless sensor)," in *International Conference on Electrical and Electronics Engineering 27th*, 2013.
 26. Q. C. Truong, M. Q. Võ, C. T. H. Nguyễn và C. V. Hồ, “Quản lý dữ liệu rầy vào đèn phục vụ canh tác lúa ở Đồng bằng sông Cửu Long,” trong *Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc*, 2013.
 27. S. Monk, *Raspberry Pi Cookbook*, O'Reilly, 2014.
 28. M. Richardson and S. Wallace, *Getting Started with Raspberry Pi*, O'Reilly, 2013.
 29. M. Margolis, *Arduino Cookbook*, O'Reilly, 2011.
 30. T. Igoe, *Making Things Talk (Second Edition)*, O'Reilly, 2011.
 31. D. T. Nguyễn, *Ban hành Quy hoạch phổ tần số vô tuyến điện quốc gia (Số 71/2013/QĐ-TTg)*, Thủ tướng Chính phủ, 2013.
 32. *Semtech Wireless RF Solutions*, Semtech, 2014.
 33. R. Faludi, *Building Wireless Sensor Networks*, O'Reilly Media, 2011.
 34. *IEEE Standard for Local and metropolitan arean networks - Part 15.4: Low-Rate Wireless Personal Area Networks (LR-WPANs)*, IEEE Standards Association, 2011.
 35. *IEEE Standard for Local and metropolitan arean networks - Part 11: Wireless LAN Medium Access Control (MAC) and Physical Layer (PHY) Specifications*, IEEE Standards Association, 2012.
 36. C. Reas and B. Fry, *Getting Started with Processing*, O'Reilly, 2010.
 37. N. Gradwohl, *Processing 2: Creative Coding Hotshot*, Packt Publishing, 2013.