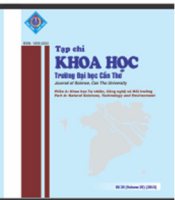




Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ  
website: [sj.ctu.edu.vn](http://sj.ctu.edu.vn)



## XÂY DỰNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY TRONG NÔNG NGHIỆP CHÍNH XÁC

Lê Đình Tuấn<sup>1</sup> và Thái Doãn Ngọc<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An

### Thông tin chung:

Ngày nhận: 03/09/2013

Ngày chấp nhận: 21/10/2013

### Title:

Wireless sensor networks in agriculture

### Từ khóa:

Mạng cảm biến không dây, nông nghiệp chính xác

### Keywords:

Wireless sensor networks, precision agriculture

### ABSTRACT

This paper describes the design, implementation, and deployment of wireless sensor network for precision agriculture at Long An University of Economics and Industry. Precision agriculture is a farming management concept which applies the right amount of input (water, fertilizer, pesticide, etc.) at the right location and at the right time to enhance production and improve quality, while protecting the environment. Wireless sensor network is built for monitoring and controlling environmental parameters, such as the environmental parameters (air temperature, air humidity, light, insects, weeds, etc.) and other parameters related to soil conditions (soil moisture, pH, etc.). The data are collected, stored and transmitted wirelessly to the farmers to handle, through which they can control and take appropriate actions for their farm to increase production and quality. From the hardware side, the system consists of three components: wireless sensor nodes DHLA-WSN, wireless sensor node manager DHLA-WMN, and a server controller. Software was built at each node to carry out their task. The deployed system is testing on the field, working properly and promising which brings significantly benefits to the agriculture field.

### TÓM TẮT

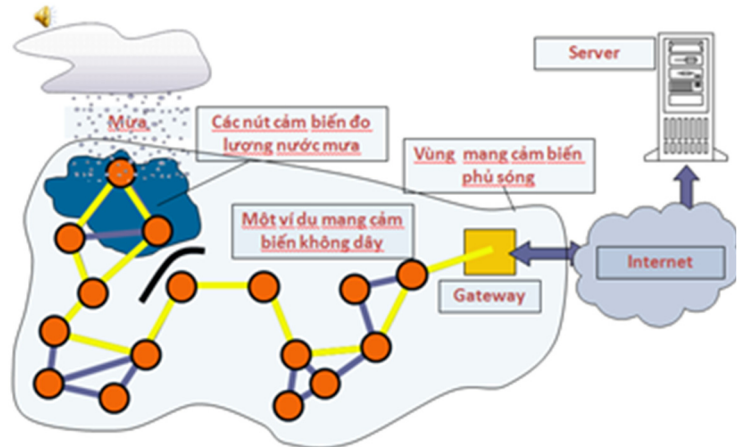
Bài báo này mô tả việc thiết kế, xây dựng và triển khai mạng cảm biến không dây phục vụ nông nghiệp chính xác tại Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An. Nông nghiệp chính xác hoặc canh tác chính xác là kỹ thuật áp dụng đúng số lượng đầu vào (nước, phân bón, thuốc trừ sâu, ...) vào đúng vị trí và vào đúng thời điểm để tăng cường sản xuất và nâng cao chất lượng [1]. Mạng cảm biến không dây được xây dựng nhằm phục vụ yêu cầu của nông nghiệp chính xác. Thông qua mạng cảm biến không dây, người nông dân có thể thu thập được các thông số đến quy trình sản xuất nông nghiệp như nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí, ánh sáng, độ ẩm đất, độ pH, ... Các thông tin này được thu thập, lưu trữ và truyền tải không dây đến trạm quản lý để phân tích và xử lý, qua đó người sử dụng có thể điều khiển và đưa ra các quyết định phù hợp nhằm tăng cường sản xuất và nâng cao chất lượng cây trồng. Hệ thống được thiết kế và xây dựng cả phần cứng và phần mềm. Về phần cứng, hệ thống gồm 3 phần chính: các nút cảm biến DHLA-WSN tại khu vực giám sát, các nút quản lý vùng DHLA-WMN, và trung tâm điều hành (server). Tại mỗi nút các phần mềm được xây dựng để lập trình hệ thống hoạt động theo yêu cầu. Hệ thống đã chạy thử nghiệm tại trường bước đầu hoạt động tốt và hứa hẹn đem lại nhiều lợi ích đáng kể trong hệ thống sản xuất nông nghiệp.

## 1 GIỚI THIỆU MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

Mạng cảm biến không dây (Wireless Sensor Networks, gọi tắt là WSNs) là một mạng bao gồm nhiều nút cảm biến (sensor nodes), được trang bị các nút cảm biến có khả năng cảm biến môi trường như cảm biến nhiệt độ, cảm biến độ ẩm, cảm biến cường độ ánh sáng,... và có khả năng giao tiếp

không dây (wirelessly) với các nút còn lại tạo thành một mạng cảm biến không dây phủ sóng một vùng vật lý nào đó nhằm giám sát, theo dõi và quản lý vùng đó [2]. Thông tin thu được từ một nút cảm biến sẽ được truyền về một trạm gốc (base station hay gateway) thông qua các nút cảm biến khác, và cuối cùng thông qua Internet truyền về trung tâm dữ liệu để lưu trữ, phân tích và xử lý.

Hình 1: Một ví dụ về mạng cảm biến không dây theo dõi lượng nước mưa

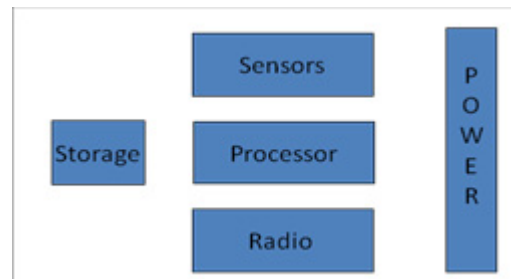


Một nút cảm biến thông thường bao gồm các thành phần sau: Bộ vi xử lý nhỏ và sử dụng năng lượng ít (low power processor); Bộ nhớ (Memory); Radio để truyền dữ liệu không dây; nguồn điện/pin (power source); và các bộ cảm biến (sensors).

Mạng cảm biến không dây được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như: giám sát kết cấu của công trình (cầu, tòa nhà...); theo dõi cuộc sống của các loài thú hoang dã; cảnh báo cháy rừng; phát hiện rò rỉ hóa chất trong các nhà máy; giám sát các tòa nhà thông minh...

## 2 ỨNG DỤNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY TRONG NÔNG NGHIỆP

Theo truyền thống nông nghiệp là việc thực hiện một nhiệm vụ cụ thể, chẳng hạn như trồng hoặc thu hoạch, với một lịch trình định trước. Nhưng bằng cách thu thập dữ liệu thời gian thực về thời tiết, đất và chất lượng không khí, theo dõi sự trưởng thành của cây trồng và thậm chí cả trạng thái thiết bị và chi phí lao động, các phân tích có thể được sử dụng để đưa ra quyết định thông minh hơn. Đây được gọi là nông nghiệp chính xác (hoặc canh tác chính xác). Một định nghĩa của nông nghiệp chính xác có thể là như sau: kỹ thuật áp dụng đúng số lượng đầu vào (nước, phân bón, thuốc trừ sâu,...) vào đúng vị trí và vào đúng thời điểm để tăng cường sản xuất và nâng cao chất lượng [1].



Hình 2: Cấu trúc một nút cảm biến

Với nông nghiệp chính xác, trung tâm kiểm soát thu thập và xử lý dữ liệu trong thời gian thực để giúp nông dân đưa ra quyết định tốt nhất liên quan đến trồng, bón phân và thu hoạch cây trồng có. Các nút cảm biến được đặt tại nơi trồng để đo nhiệt độ và độ ẩm của đất và không khí xung quanh. Ứng dụng cảm biến không dây trong nông nghiệp chính xác nâng cao hiệu quả, năng suất và lợi nhuận trong nhiều hệ thống sản xuất nông nghiệp, trong khi giảm thiểu tác động không mong muốn đến địa điểm nơi trồng. Các thông tin thời gian thực thu được từ các lĩnh vực có thể cung cấp một cơ sở vững chắc cho nông dân để điều chỉnh chiến lược bất cứ lúc nào. Thay vì đưa ra quyết định dựa vào một số điều kiện trung bình giả thuyết hay kinh nghiệm chủ quan của cá nhân, có thể không tồn tại bất cứ nơi nào trong thực tế, một cách tiếp cận nông nghiệp chính xác nhận ra sự khác biệt và điều chỉnh hoạt động quản lý tối ưu.

Việc ứng dụng mạng cảm biến không dây để quản lý hoạt động nông nghiệp chính xác làm giảm đáng kể số lượng đầu vào như phân bón, nước, thuốc trừ sâu... được sử dụng trong khi tăng sản lượng. Nông dân do đó thu được lợi nhuận trên đầu tư của mình bằng cách tiết kiệm chi phí kiểm dịch thực vật và phân bón. Áp dụng đúng số lượng đầu vào ở đúng nơi và đúng thời điểm đem lại lợi ích cho cây trồng, trong khi tiết kiệm nguồn tài nguyên như đất và nước ngầm, và do đó tối ưu hóa toàn bộ chu kỳ trồng trọt. Nông nghiệp bền vững tìm cách để đảm bảo một nguồn cung cấp liên tục của thực phẩm trong giới hạn sinh thái, kinh tế và xã hội cần thiết để duy trì sản xuất trong dài hạn. Do đó độ chính xác nông nghiệp bằng cách sử dụng mạng cảm biến không dây sẽ cho phép theo đuổi mục tiêu này.

Ngoài ra, mạng cảm biến không dây còn được sử dụng để điều khiển trong nhà kính [3][4][5]. Một nhà kính là một cấu trúc bao phủ mặt đất thường được sử dụng cho sự tăng trưởng và phát triển của cây. Cấu trúc này được gắn với mục đích bảo vệ cây trồng và cho phép một môi trường tốt hơn để phát triển. Sự bảo vệ này đủ để đảm bảo đem lại chất lượng cao trong sản xuất cây trồng.

Chức năng chính của một nhà kính là để cung cấp một môi trường thuận lợi hơn so với bên ngoài. Các yếu tố chính liên quan đến hệ thống điều khiển nhà kính: nhiệt độ, độ ẩm, khí CO<sub>2</sub>, nồng độ, bức xạ, nước và chất dinh dưỡng có thể được điều khiển bằng mạng cảm biến không dây. Hệ thống tưới tiêu thông minh sử dụng mạng cảm biến không dây cũng là một trong các nghiên cứu được quan tâm nhiều vì lợi thế trong việc tiết kiệm nhân lực và tiết kiệm nước [6][7][8]. Cây trồng cần ánh sáng mặt trời, các chất dinh dưỡng và nước để phát triển. Tất cả các nhà sản xuất nông nghiệp có một yêu cầu lượng nước tối thiểu hàng năm để tồn tại và yêu cầu lượng nước tối ưu hàng năm cho sản xuất tối đa. Do đó hệ thống tưới tiêu thông minh là cần thiết để nâng cao năng suất cây trồng.

### 3 XÂY DỰNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY PHỤC VỤ NÔNG NGHIỆP TẠI TRƯỜNG ĐẠI HỌC KINH TẾ CÔNG NGHIỆP LONG AN

Phần này mô tả mô hình mạng cảm biến không dây phục vụ nông nghiệp chính xác và việc triển khai thử nghiệm tại Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An.

**Hình 3: Một nút cảm biến được triển khai tại Trường Đại học KTCN Long An**



#### 3.1 Mô hình tổng thể của hệ thống

Hình 4 mô tả mô hình tổng thể của hệ thống mạng cảm biến không dây phục vụ nông nghiệp chính xác. Tại mỗi khu vực canh tác các nút cảm biến được triển khai nhằm theo dõi các thông số kỹ thuật liên quan đến chất lượng cây trồng như nhiệt độ không khí, độ ẩm không khí, ánh sáng,... và các thông số liên quan đến điều kiện đất trồng độ ẩm đất, độ pH,... Tại mỗi khu vực, các dữ liệu này

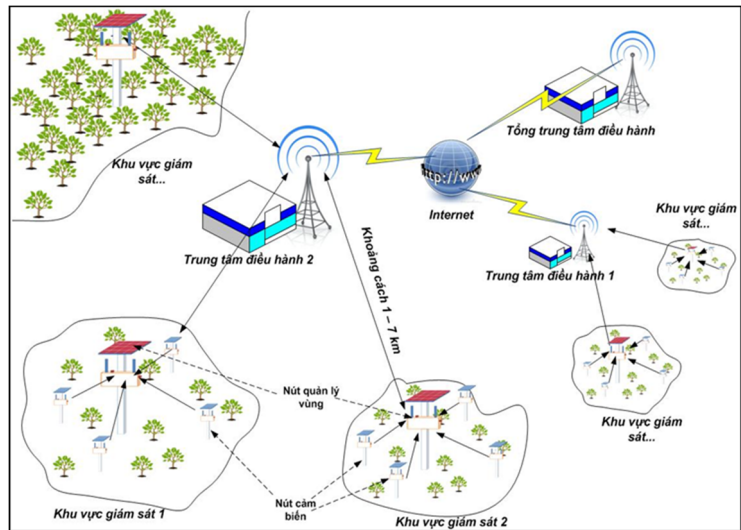
được thu thập, lưu trữ và truyền tải không dây về một nút quản lý vùng, và sau đó dữ liệu được tiếp tục được truyền tải đến trung tâm điều hành và cuối cùng về trung tâm tổng điều hành thông qua mạng Internet. Dựa trên các thông số thu thập được, người dùng có thể xử lý và điều khiển từ các trung tâm điều hành hoặc trung tâm tổng điều hành để đưa ra các biện pháp thích hợp trong sản xuất nông nghiệp nhằm tăng cường sản xuất và nâng cao chất lượng. Ví dụ, nếu xác định độ ẩm đất tại một khu

vực thấp hơn yêu cầu, người dùng có thể ra lệnh từ xa kích hoạt máy bơm nước tại khu vực để cải thiện độ ẩm.

Do mô hình hệ thống có khả năng mở rộng nên

hệ thống này có thể triển khai trên quy mô nhỏ (như một cánh đồng canh tác của một cá thể) đến quy mô lớn (như khu vực diện rộng ở cấp huyện, cấp thị xã, thành phố thậm chí cấp quốc gia).

**Hình 4: Mô hình tổng thể của hệ thống**

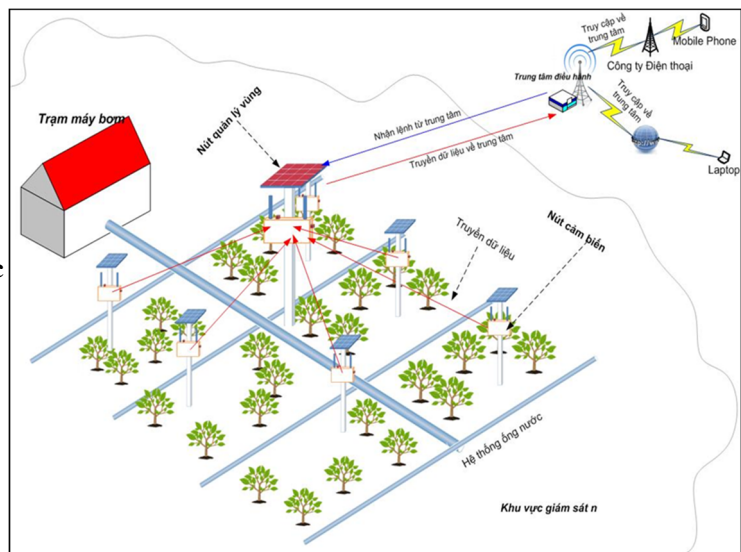


### 3.2 Mô hình chi tiết một khu vực giám sát

Hình 5 mô tả chi tiết cấu trúc của hệ thống tại

một khu vực giám sát, bao gồm các nút cảm biến và một nút quản lý vùng.

**Hình 5: Mô hình chi tiết một khu vực giám sát**



#### a. Nút cảm biến (Sensor nodes)

Nút cảm biến (Sensor nodes) là một thiết bị được trang bị khả năng cảm biến môi trường như độ ẩm không khí, nhiệt độ, độ pH, lượng mưa, tốc độ và hướng gió, cường độ ánh sáng, hình ảnh... (tùy vào cảm biến được trang bị). Ngoài ra, nút cảm biến còn có khả năng giao tiếp với các nút cảm biến khác trong cùng 1 vùng phủ sóng và truyền tải không dây các dữ liệu thu thập được về trạm trung gian nội bộ.

#### b. Nút quản lý vùng (Field Management Nodes)

Nút quản lý vùng là nút có nhiệm vụ quản lý các nút cảm biến trong vùng phủ sóng và đóng vai trò là nút trung gian giữa các nút cảm biến và trung tâm điều hành, nhận dữ liệu từ các nút cảm biến trong khu vực và truyền dữ liệu này về trung tâm điều hành gần nhất. Ngoài ra, nút quản lý vùng còn có nhiệm vụ nhận và truyền lệnh từ trung tâm điều hành.



hành đến các nút cảm biến để thực thi lệnh theo yêu cầu của trung tâm điều hành.

### 3.3 Phần cứng

Phần này mô tả phần cứng của hệ thống được xây dựng tại khu vực giám sát và trung tâm điều hành.

#### 3.3.1 Khu vực giám sát

##### a. Nút cảm biến (DHLLA-WSN)

Hình 6 mô tả cấu trúc của một nút cảm biến trong hệ thống. Một nút cảm biến gồm 5 thành phần sau đây:

– Khối cung cấp năng lượng: khối này sẽ cấp nguồn điện 12V cho thiết bị hoạt động. Điện có thể lấy từ năng lượng mặt trời, pin dự trữ ...

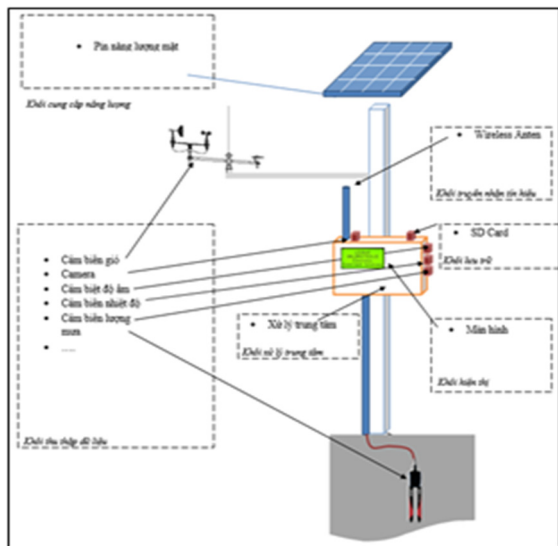
– Khối thu thập dữ liệu: bao gồm các cảm biến:

- Ánh sáng: thu thập cường độ ánh sáng.
- Nhiệt độ: thu thập nhiệt độ môi trường.
- Độ ẩm: thu thập các thông số độ ẩm của đất, độ ẩm không khí.
- Độ pH: đo độ pH của nước.

– Khối trung tâm xử lý: Đảm nhận việc tập hợp dữ liệu từ khối thu thập dữ liệu sau đó điều khiển khối giao tiếp để truyền về nút quản lý vùng, và ra lệnh cho khối hiện thị xuất ra màn hình.

– Khối giao tiếp: Sau khi khối trung tâm xử lý tập hợp dữ liệu và gửi cho khối giao tiếp, khối giao tiếp sẽ thực hiện công việc truyền dữ liệu về nút quản lý vùng.

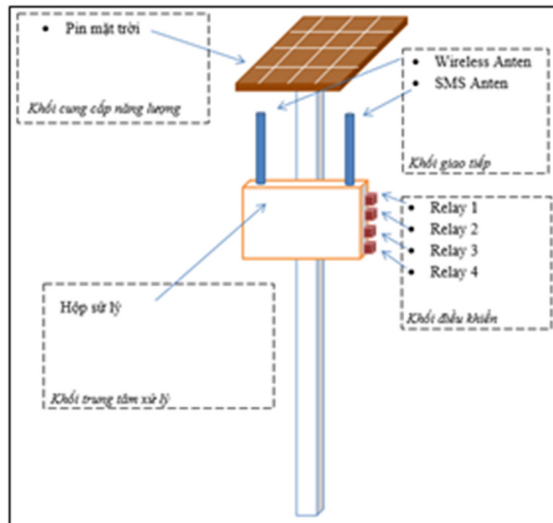
– Khối lưu trữ: Công việc duy nhất là lưu lại dữ liệu vào thẻ nhớ.



Hình 6: Cấu trúc nút cảm biến (DHLLA-WSN)

##### b. Nút quản lý vùng DHLLA-WMN

Nút trung gian DHLLA-WMN là nơi nhận dữ liệu từ nút cảm biến rồi truyền về cho trung tâm điều hành và đồng thời nhận lệnh từ trung tâm điều hành truyền về cho nút cảm biến để thực thi.



Hình 7: Cấu trúc nút quản lý vùng (DHLLA-WMN)

Hình 7 mô tả cấu trúc của một nút quản lý vùng. Một nút quản lý vùng 4 thành phần sau:

– Khối cung cấp năng lượng: khối này sẽ cấp nguồn điện 12V cho thiết bị hoạt động. Điện có thể lấy từ năng lượng mặt trời, pin dự trữ ...

– Khối trung tâm xử lý: xử lý các thông tin nhận được từ khối giao tiếp và trả dữ liệu về nếu cần.

– Khối giao tiếp: đảm nhận công việc giao tiếp dữ liệu các nút cảm biến và trung tâm điều hành.

– Khối điều khiển: thực hiện đóng, mở các thiết bị như máy bơm, máy phun sương, đèn, quạt gió...

#### 3.3.2 Trung tâm điều hành

Trung tâm điều hành là nơi nhận và xử lý số liệu, tại trung tâm khi nhận dữ liệu sẽ được lưu và hiển thị trên PC, giúp các nhà sản xuất, nhà nghiên cứu có dữ liệu chính xác ngay tại thời điểm.

Với các dữ liệu được lưu trên PC và một số thuật toán phân tích số liệu đặc thù sẽ giúp cho nông dân, nhà sản xuất có một góc nhìn tổng thể về khu vực họ cần giám sát, hỗ trợ cho họ một số quyết định (hệ hỗ trợ quyết định)

Từ PC họ có thể điều khiển lập ra lịch cho hệ thống tưới tiêu hay hoạt động khi thỏa một số yêu

cầu mà họ đề ra. PC sẽ tự động gửi lệnh về hệ thống tưới tiêu.

Tại trung tâm có kết nối với Internet, GPRS, SMS hỗ trợ giám sát hoặc điều khiển từ xa. Hệ thống máy tính, thiết bị tại trung tâm DHLA\_CENTER được xây dựng như sau:

#### Phần cứng

- Máy Server: chức năng quản lý các thiết bị ngoại vi.
- Modem SMS: gửi, nhận SMS qua các nhà mạng.
- Modem wireless: thiết bị thu phát dữ liệu không dây.
- Modem ADSL: thiết bị thu phát mạng băng thông rộng.

### 3.4 Phần mềm giám sát, điều khiển DHLA\_SOFT

#### 3.4.1 Tại các nút cảm biến (DHLA-WSN-SOFT)

Chương trình được xây dựng tại các nút cảm biến cứ sau 1 khoảng thời gian sẽ cảm biến môi trường, thông qua bộ lọc dữ liệu (data filter) và gửi về nút quản lý vùng. Thông tin có thể gửi đi với lịch trình định trước hoặc gửi đi khi nhận được yêu cầu từ nút quản lý vùng.

#### 3.4.2 Nút quản lý vùng DHLA-WMN-SOFT

DHLA-WMN-SOFT có 2 chức năng chính: xử lý các thông tin nhận được từ các nút DHLA-WSN

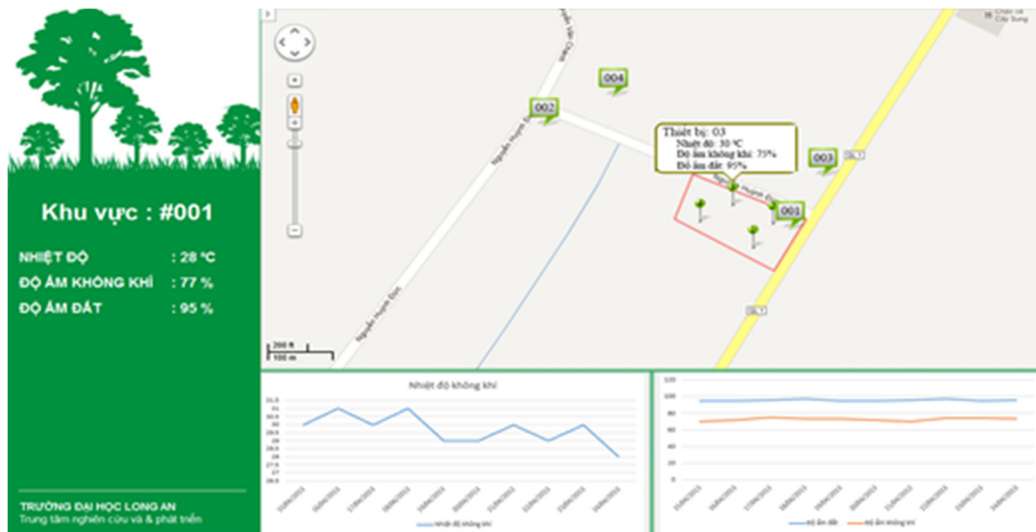
và truyền về trung tâm điều hành; tiếp nhận và xử lý các yêu cầu từ trung tâm điều hành với các nút DHLA-WSN.

#### 3.4.3 Trung tâm điều hành

Phần mềm DHLA\_SOFT được triển khai tại trung tâm điều hành hoặc tổng trung tâm điều hành. Phần mềm DHLA\_SOFT gồm các chức năng chính sau:

- Hiện thị trên bản đồ vùng giám sát (Hình 8).
- Hiện thị và lưu trữ thông dữ liệu thông số môi trường phục vụ việc theo dõi lâu dài cho người sử dụng (Hình 9).
- Lập lịch và lập kế hoạch điều khiển tự động vùng giám sát quản lý (Hình 10). Các nhà nông dân sử dụng có thể lập kế hoạch cho hệ thống hoạt động theo một chu trình nào đó. Ví dụ hệ thống sẽ tưới tiêu từ 8 giờ đến 9 h hằng ngày từ thứ 2 đến thứ 7. Tuy nhiên việc lập lịch không thể linh hoạt theo sự thay đổi của môi trường, nên hệ thống phần mềm cũng cung cấp cho việc lập kế hoạch điều khiển tự động dựa vào những thông số mà nút quản lý vùng gửi về (Hình 11). Ví dụ khi nhiệt độ tăng cao hơn 30°C thì hệ thống sẽ phun sương để làm mát môi trường và tăng độ ẩm, đến khi nhiệt độ hạ xuống 25°C thì hệ thống sẽ tắt phun sương.

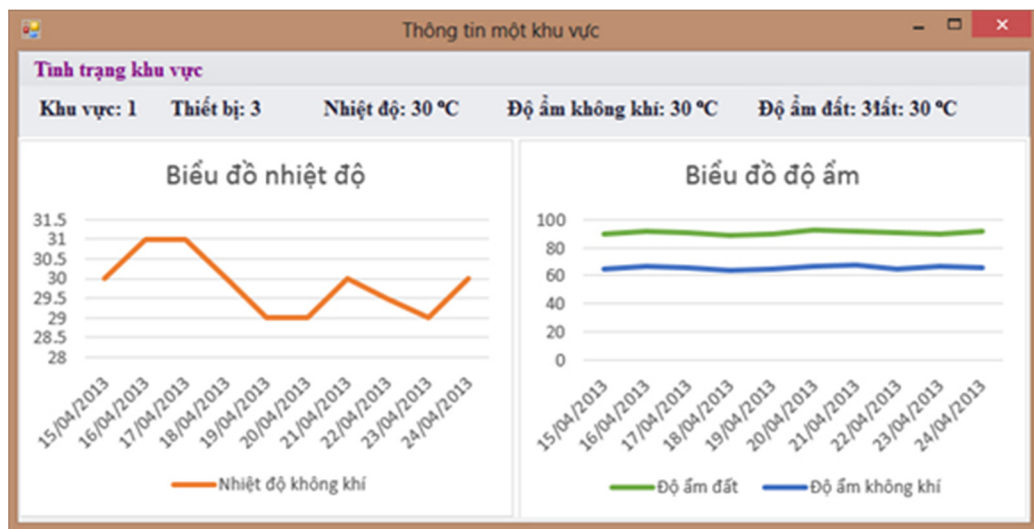
Hệ hỗ trợ ra quyết định, với dữ liệu mà hệ thống thu thập được theo thời gian, và dữ liệu về cây trồng thì phần mềm có thể giúp người dùng chăm sóc cây trồng tốt hơn.



Hình 8: Giao diện thông tin khu vực giám sát



Hình 9: Giao diện thông tin nhiệt độ và độ ẩm tại một nút cảm biến



Hình 10: Giao diện thiết lập kế hoạch tưới tiêu theo thời gian



Hình 11: Giao diện thiết lập điều khiển kiểm soát môi trường tự động

#### 4 KẾT LUẬN

Bài viết này đã giới thiệu việc thiết kế, xây dựng và triển khai mạng cảm biến không dây phục vụ nông nghiệp chính xác tại Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An. Hệ thống đã được xây dựng, triển khai và chạy thử nghiệm tại trường bước đầu hoạt động tốt hứa hẹn đem lại nhiều lợi ích đáng kể. Đây là công nghệ mới giúp nông dân và doanh nghiệp dễ dàng tiếp cận và ứng dụng vào sản xuất nông nghiệp, tiết kiệm nguyên liệu đầu vào, nâng cao hiệu quả, năng suất và lợi nhuận trong hệ thống sản xuất nông nghiệp. Đặc biệt, với việc làm chủ công nghệ hoàn toàn từ việc thiết kế xây dựng phần cứng đến phần mềm cho các nút cảm biến hoạt động nên giá thành của sản phẩm không cao, ít phụ thuộc vào công nghệ nước ngoài và phù hợp với thị trường tại Việt Nam.

Mô hình này có thể được phát triển và ứng dụng rộng rãi cùng với các chuyên gia nông nghiệp để tìm ra bộ thông số tối ưu cho mỗi loại cây trồng phù hợp cho mỗi địa phương, phát huy được tiềm năng và thế mạnh của sản xuất tại địa phương để tạo ra sản phẩm năng suất cao và giá trị được lợi nhuận trên đầu tư của mình bằng cách tiết kiệm các chi phí có liên quan.

Mạng cảm biến không dây phục vụ cho nông nghiệp là một hướng đi mới cho nông nghiệp đồng bằng sông Cửu Long nói riêng và cả nước nói chung để hướng tới nông nghiệp bền vững. Nông nghiệp bền vững tìm cách để đảm bảo một nguồn cung cấp liên tục của thực phẩm trong giới hạn sinh thái, kinh tế và xã hội cần thiết để duy trì sản xuất trong dài hạn. Do đó, nông nghiệp chính xác bằng cách sử dụng mạng cảm biến không dây sẽ cho phép theo đuổi mục tiêu này.

#### LỜI CẢM ƠN

Chúng tôi xin chân thành cảm ơn Ban Lãnh đạo Trường Đại học Kinh tế Công nghiệp Long An đã tài trợ cho công trình nghiên cứu này. Chúng tôi cũng xin gửi lời cảm ơn đến Ông Samuel Raj, Tổng giám đốc công ty Seyerswide Pte Ltd, Singapore; TS. Wen Hu, Senior Research Scientist

tại Viện Nghiên cứu Úc CSIRO, Brisbane, Australia; TS. Sarfraz Nawaz, Researcher tại Trường Đại học Cambridge, UK đã hỗ trợ và tư vấn kỹ thuật cho chúng tôi.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Xiong, S.-M.; Wang, L.-M.; Qu, X.-Q.; Zhan, Y.-Z. Application Research of WSN in Precise Agriculture Irrigation. In Proceedings of International Conference on Environmental Science and Information Application Technology, Wuhan, China, 4–5 July 2009; Volume 2, pp. 297–300.
2. Jennifer Yick, Biswanath Mukherjee, Dipak Ghosal, Wireless Sensor Network Survey, Computer Networks, August 2008, Volume 52, Issue 12, pp. 2292–2330.
3. Al-hamdi, Ali, Ahmed Monjurul Hasan, and Muhammad Akram. "WSN-based Support for Irrigation Efficiency Improvements in Arab Countries."
4. KSHITIJ SHINGHAL, ARTI NOOR, etc, Wireless Sensor Networks in agriculture: for potato farming.
5. de Lima, G.H.E.L.; e Silva, L.C.; Neto, P.F.R. WSN as a Tool for Supporting Agriculture in the Precision Irrigation. In Proceedings of International Conference on Networking and Services, Cancun, Mexico, 7–13 March 2010; pp. 137–142.
6. Kim, Y.; Evans, R.; Iversen, Remote Sensing and Control of an Irrigation System Using a Distributed Wireless Sensor Network. IEEE Trans. Instrum. Meas. 2008, 57, 1379–1387.
7. Aline Baggio, (2004), "Wireless sensor networks in precision agriculture", The Netherlands IEEE Pervasive Computing, 3(1):38–45, Jan-Mar 2004.
8. B. S. Kang, S. Kim, F. Ren, B. P. Gila, C. R. Abernathy and S. J. Pearton, (2005), "Comparison of MOS and Schottky W/Pt–GaN diodes for hydrogen detection," *Sens. Actuators, Chem.*, vol.104, pp.232, 2005.