

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ MẠNG WSNs THU THẬP MỘT SỐ THÔNG SỐ MÔI TRƯỜNG TẦNG HẦM

RESEARCH AND DESIGN OF WSNs FOR MEASURING SOME PARAMETERS
IN THE ENVIRONMENT OF BUILDING BASEMENTS

Quách Đức Cường*,
Bùi Văn Huy, Đỗ Duy Hợp

TÓM TẮT

Mạng cảm biến không dây (WSNs) ngày càng phổ biến và được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật. Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu việc tổ chức thiết kế một cấu trúc mạng WSNs để thu thập một số thông số trong môi trường tầng hầm. WSNs được thiết kế dựa trên nền tảng mạng RF 433 MHz và hệ thống nhúng PIC (PIC18F4550) của Microchip. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định và tin cậy.

Từ khóa: Mạng cảm biến không dây, lập trình, mạng không dây.

ABSTRACT

Wireless sensor networks (WSNs) are becoming increasingly popular and widely used in many technical areas. In this paper, we introduce the organization to design a WSNs network structure in order to measure some parameters in the environment of building basements. The WSNs are designed based on the 433 MHz RF network platform and Microchip's PIC (PIC18F4550) embedded system. Experimental results show that the system operates stably and reliably.

Keywords: Wireless Sensor nodes, programming, wireless networks.

Khoa Điện, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: quachcuong304@gmail.com

Ngày nhận bài: 15/01/2019

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 25/4/2019

Ngày chấp nhận đăng: 10/6/2019

KÝ HIỆU

Ký hiệu	Ý nghĩa
A_n	Địa chỉ nút SN và RT
A_{parent}	Địa chỉ GW

CHỮ VIẾT TẮT

WSNs	Mạng cảm biến không dây
RF	Sóng vô tuyến
RT	Khâu định tuyến mạng (Router)
SN	Điểm cảm biến (Sensor Node)
NC	Điểm điều phối (Network Coordinator)
GW	Điểm chuyển đổi giao thức mạng (Gateway)

1. GIỚI THIỆU

Mạng cảm biến không dây (WSNs) là một hệ thống phân tán tự tổ chức bao gồm nhiều nút cảm biến thu thập dữ liệu hiện trường và liên kết, trao đổi thông tin với nhau qua mạng giao tiếp không dây. Phạm vi ứng dụng của WSNs rất rộng, bao trùm nhiều lĩnh vực khác nhau: hệ thống mạng dữ liệu trong công nghiệp; nông nghiệp thông minh; y tế; giám sát môi trường; nhà thông minh [1]... WSNs tích hợp công nghệ cảm biến, mạng truyền thông, kỹ thuật xử lý tín hiệu, công nghệ nhúng... Trong những năm gần đây, nghiên cứu và ứng dụng WSNs vào thực tiễn đã có những bước phát triển mạnh mẽ. Tại Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội, Bộ môn Tự động hóa - Khoa Điện và Viện Công nghệ HaUI cũng đã phối hợp thực hiện một số đề tài, dự án liên quan đến WSNs như: 1) mạng cảm biến diện rộng thu thập dữ liệu tham số chất lượng nước công nghiệp thải ra môi trường tại các khu công nghiệp trên địa bàn Hải Dương; 2) WSNs thu thập dữ liệu nồng độ khí độc hại và khí cháy nổ tại tầng hầm tòa nhà;... Thành công bước đầu của những dự án trên đã tạo nền móng cho việc nghiên cứu phát triển và ứng dụng WSNs vào công nghiệp tại Bộ môn Tự động hóa - Khoa Điện và Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội [4, 5]. Dựa trên những thành quả đã đạt được trong thực tiễn, nhóm nghiên cứu sẽ giới thiệu sơ lược về thiết kế WSNs sử dụng mạng RF 433MHz và vi điều khiển PIC18F4550 của hãng Microchip.

2. MỘT SỐ CÔNG NGHỆ MẠNG KHÔNG DÂY VÀ CẤU TRÚC MẠNG

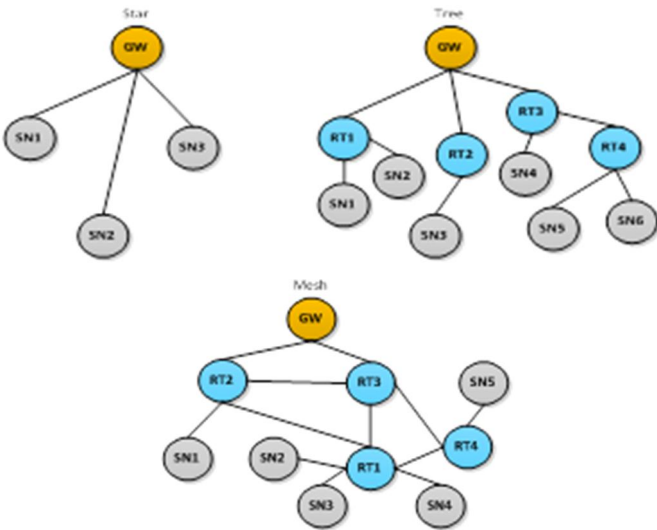
Trong thực tiễn phổ biến một số mạng không dây như: Zigbee, Wi-fi, BlueTooth (BLE), RF, Z-Wave hay LoRa. Mỗi một công nghệ mạng sẽ có đặc điểm kỹ thuật phù hợp với một số ứng dụng cụ thể. Ví dụ, mạng Zigbee có công suất tiêu thụ thấp, khoảng truyền dưới 100m sẽ phù hợp cho các hệ thống WSNs sử dụng nguồn pin và mật độ phân bố SN tương đối cao. Mạng RF có khoảng truyền xa nhưng công suất tiêu thụ lớn sẽ phù hợp với môi trường nhà máy, xí nghiệp hoặc những nơi có sẵn nguồn điện lưới. Bài báo này, chúng tôi giới thiệu thực hiện WSNs dựa trên mạng RF

ở dải tần điều chế 433MHz dùng trong công nghiệp. Đây là mạng có công suất tiêu thụ cao, bù lại khoảng truyền khá lớn đạt tới một vài km trong điều kiện không gian phẳng không vật cản.

Bảng 1. Một số công nghệ mạng không dây [6, 11, 12]

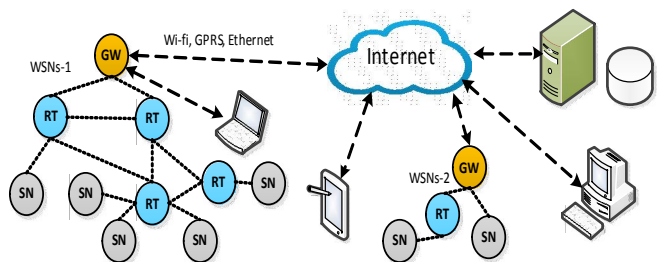
STT	Mạng	Đặc điểm kỹ thuật
1	Zigbee	IEEE 802.15.4, tiết kiệm pin, giao thức đa dạng, khoảng truyền ngắn 10-100m, 2,4GHz
2	Wi-fi	Phủ sóng < 100m, 2,4GHz hoặc 5GHz
3	BLE	Phủ sóng ngắn < 10m, 2,4GHz
4	RF	Phủ sóng xa vài km, 3kHz - 300GHz, 433MHz, tiêu tốn CS
5	Z-Wave	Phủ sóng ngắn < 100m, 908,42MHz, tiết kiệm pin
6	LoRa	Phủ sóng xa tới 10km, công suất thấp, 433MHz, 915MHz

Cấu trúc mạng phổ biến có ba dạng như trên hình 1. Trong đó GW, RT và SN lần lượt là cổng mạng dữ liệu, thiết bị định tuyến và các điểm cảm biến. Dạng hình sao (Star) có ưu điểm đơn giản nhưng khả năng phủ rộng thấp do khoảng cách truyền vô tuyến bị hạn chế. Trường hợp cần WSNs với khoảng phủ lớn có thể sử dụng cấu trúc hình cây (Tree) hoặc dạng lưới (Mesh). Lúc này trong hệ thống WSNs cần bổ sung thêm các thiết bị định tuyến RT.



Hình 1. Một số cấu trúc mạng WSNs điển hình

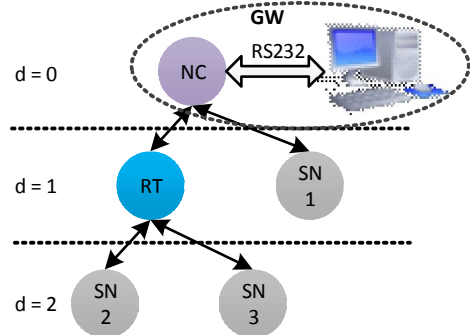
Trường hợp cần tạo ra một mạng WSNs diện rộng, chúng ta có thể kết nối dữ liệu của mạng WSNs vào môi trường Internet thông qua các dịch vụ mạng như GSM/GPRS, Internet... Cấu trúc mạng diện rộng được tổ chức như trên hình 2.



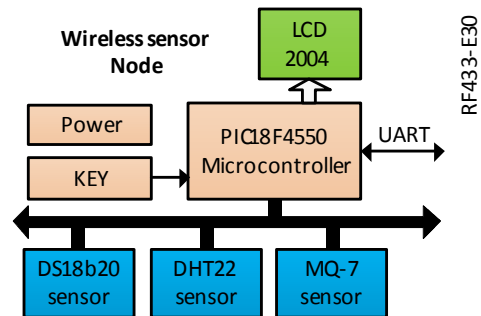
Hình 2. Cấu trúc WSNs diện rộng sử dụng dịch vụ mạng Internet

3. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG

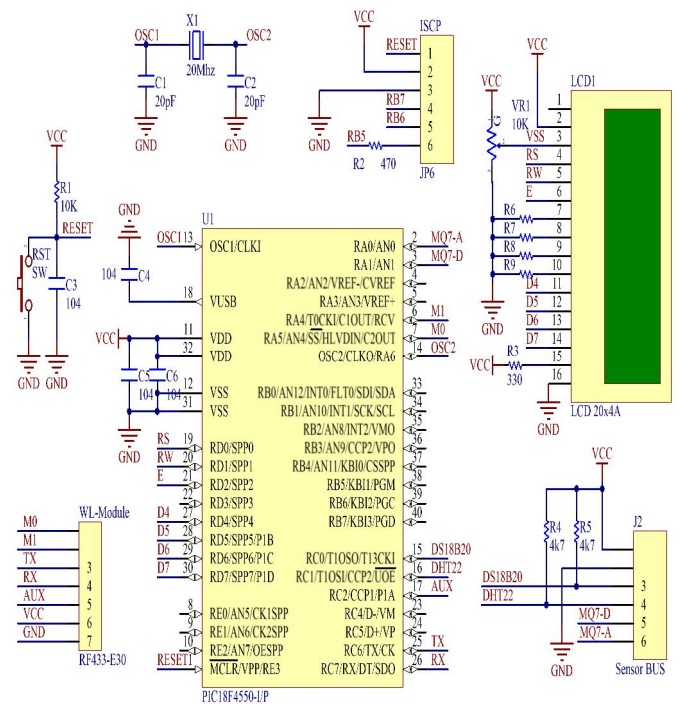
Trong bài báo này, chúng tôi giới thiệu việc thiết kế mạng WSNs dựa trên mạng RF. Quá trình thiết kế và thực nghiệm tập trung vào vấn đề kết nối mạng, lập trình và kiểm tra lỗi mạng cục bộ. Các yếu tố như tối ưu hóa năng lượng tiêu thụ của nút cảm biến hay toàn mạng, bằng thông, lưu trữ, khả năng sống sót trong môi trường khắc nghiệt... chưa được đề cập đến.



Hình 3. Cấu trúc lớp mạng

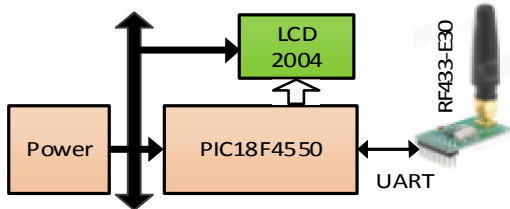


Hình 4. Cấu trúc khối của nút cảm biến SN

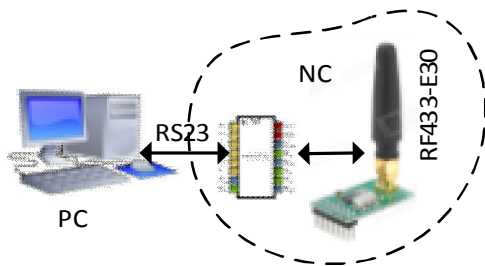


Hình 5. Sơ đồ nguyên lý của SN

Cấu trúc mạng thử nghiệm bao gồm ba tầng lớp, một Router RT, một GW (bao gồm máy tính PC và thiết bị điều phối NC) và ba nút cảm biến SN như trên hình 3. Các nút SN được thiết kế dựa trên MCU PIC18F4550 của Microchip được mô tả bằng sơ đồ khối như trên hình 4 và trên sơ đồ nguyên lý như hình 5. Mỗi SN kết nối với các cảm biến DS18B20, DHT22 và MQ-7 để đo các thông số nhiệt độ, độ ẩm và nồng độ khí CO. Module Wireless sử dụng loại RF433-E30 hoạt động ở dải tần 433MHz, công suất 100 mW và khoảng truyền xa trong điều kiện lý tưởng là 3000 m. Ngoài ra trên module SN còn tích hợp thêm màn hình LCD thuận tiện cho việc quan sát dữ liệu tại hiện trường.



Hình 6. Sơ đồ khối RT



Hình 7. Sơ đồ khối GW

Thiết bị RT đơn giản là khối MCU PIC18F4550 kết nối với module RF433-E30 qua cổng UART. MCU PIC18F4550 sẽ nhận khung dữ liệu từ khối NC qua UART và định tuyến đường truyền (hình 6). Khối GW đóng vai trò chuyển đổi giao thức kết nối dữ liệu của WSNs với mạng Internet. GW bao gồm khâu điều phối mạng NC và máy tính PC. Trong đó NC thực chất là module RF433-E30 kết nối với PC qua vi mạch MAX232 như hình 7.

4. TỔ CHỨC ĐỊA CHỈ VÀ LẬP TRÌNH MẠNG

4.1. Tổ chức địa chỉ và lưu đồ thuật toán tổng quát

Địa chỉ nút mạng A_n được thiết lập theo cách thiết lập địa chỉ nút mạng Zigbee và được xác định theo (2) [2], [3].

$$C_{skip}(d) = \begin{cases} 1 + C_m \times (L_m - d - 1); & \text{khi } R_m = 1 \\ \frac{1 + C_m - R_m - C_m \times R_m^{(L_m - d - 1)}}{1 - R_m}; & \text{khi } R_m \neq 1 \end{cases} \quad (1)$$

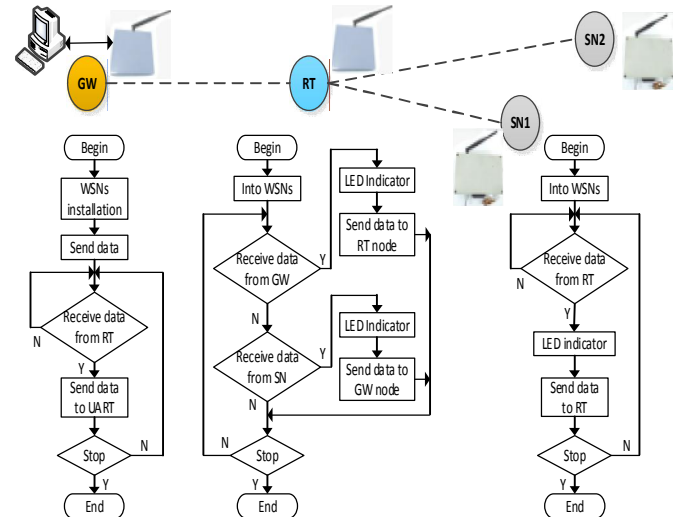
$$A_n = A_{parent} + C_{skip}(d) \times R_m + n \quad (2)$$

Trong đó, L_m, C_m, R_m lần lượt là độ sâu của tầng mạng, số lượng nút lớn nhất (bao gồm cả RT và SN) kết nối với tầng phía trên, số lượng nút RT lớn nhất kết nối tầng phía trên. Chỉ số n, A_{parent} lần lượt là thứ tự nút cảm biến và địa chỉ gốc của GW.

Lưu đồ thuật toán tổng quát thực hiện trên GW, RT và SN như trên hình 8 [2]. Phát hiện quá trình nhận dữ liệu của các

Node thông qua sự kiện ngắt cổng UART trên MCU. Để tránh xảy ra lỗi trong quá trình thu nhận chuỗi dữ liệu, cần thực hiện một số kỹ thuật: 1) mã hóa khung dữ liệu; 2) kết hợp giải thuật kiểm tra lỗi khung dữ liệu; 3) thực hiện chế độ “thời gian chờ” tại cổng UART, nếu vượt quá khoảng thời gian chờ của 1 byte thì kết thúc quá trình nhận chuỗi dữ liệu.

Khi khởi động mạng, GW thực hiện việc truyền dữ liệu cài đặt tới tất cả các SN (bao gồm các thông số: địa chỉ SN, các dữ liệu về tần số lấy mẫu các ngưỡng cảnh báo của SN...) và thiết lập định khối định tuyến RT (địa chỉ RT và quản lý những địa chỉ nào...). NC sẽ nhận dữ liệu từ các địa chỉ gửi về và gửi lên PC thông qua UART. PC nhận dữ liệu trong chế độ chờ và hỏi vòng. Đối với RT, khi RT nhận khung dữ liệu yêu cầu từ NC, RT sẽ phân tách khung dữ liệu để tìm địa chỉ của SN. Sau đó so sánh địa chỉ này với danh mục địa chỉ mà RT đang quản lý. Nếu địa chỉ này thuộc phạm vi RT quản lý thì RT sẽ truyền tiếp khung dữ liệu từ NC gửi tới SN, ngược lại nó sẽ không phát khung dữ liệu. Quá trình nhận dữ liệu NS gửi về NC tương tự như trên. Đối với SN khi nhận được khung dữ liệu (có kèm địa chỉ), SN sẽ phân tách dữ liệu trong khung (lọc địa chỉ, kiểm tra CRC, phân tích mã lệnh yêu cầu...) nếu đúng là địa chỉ của SN thì nó sẽ kiểm tra CRC bản tin và thực hiện lệnh truyền dữ liệu về NC.



Hình 8. Lưu đồ thuật toán dạng tổng quát của WSNs [2]

4.2. Định dạng khung dữ liệu

Định dạng khung dữ liệu từ SN gửi lên GW mô tả trên hình 9. Trong đó:

- n là số lượng byte dữ liệu cần truyền;
- byte khởi đầu (start byte) và byte kết thúc (stop byte) đều có giá trị 0x7E;
- byte trạng thái S, nếu hệ hoạt động bình thường $S = 0x17$ và ngược lại $S = 0x1D$.
- Add là hai byte địa chỉ của thiết bị;

1	2	3, 4	5-n	n+1	n+2	n+3
0x7E	S	Add	Data	CRC	CRC	0x7E

Hình 9. Khung dữ liệu từ SN gửi lên GW

- Chuỗi dữ liệu Data: bao gồm tập dữ liệu của nhiều thông số cần đo, mỗi thông số cần đo bao gồm 3 thông tin:

Byte 1 là ID của dữ liệu; Byte 2, 3 là giá trị byte cao, byte thấp của dữ liệu thông số cần đo.

Bảng 2. Giá trị ID mã hóa cho các thông số

TT	Thông số	ID
1	Nhiệt độ môi trường	0x01
2	Độ ẩm	0x02
3	Nồng độ khí CO	0x03

Kiểm tra/đối sánh dữ liệu sử dụng mã CRC-16, giá trị này chứa đựng trong 2 byte n+1 và n+2. SN sẽ tính giá trị CRC-16 tương ứng với chuỗi dữ liệu và gửi lên PC. PC sẽ tính lại các giá trị này để đối sánh phát hiện lỗi chuỗi dữ liệu. Hàm kiểm tra CRC-16 được thực hiện như code dưới đây:

```
int16 CRC16_Soft_Process(int *pktcrc,int pktLen,long int CRC_16)
{//pktLen là số lượng phần tử trong mảng dữ liệu
*pkctrc, CRC_16 = 0x1021 là số mã hóa
long int    crc=0;
unsigned char  crc_Cur=0;
unsigned char  i=0;
while(crc_Cur<pktLen)
{
    crc=(crc^(long int)*(pktcrc+crc_Cur*256));
    for(i=0;i<8;i++)
    {
        if(crc&0x8000)
            (long int)crc=(crc*2)^CRC_16;
        else
            (long int)crc=crc*2;
        crc_Cur++;
    }
    return (long int)crc; //trả lại giá trị CRC-16bit
}
}
```

Trong toàn bộ khung dữ liệu từ byte thứ 2 đến byte thứ n+2 nếu tồn tại một byte nào có giá trị là 0x7E (trùng với giá trị của byte đầu và byte cuối) hoặc 0x7D thì cần phải đổi lại giá trị theo quy luật sau: Nếu dữ liệu là 0x7D đổi thành 0x7D 0x5D và nếu dữ liệu là 0x7E đổi thành 0x7D 0x5E. Như vậy có thể thấy độ dài khung dữ liệu không cố định, nó phụ thuộc vào số lượng byte có giá trị 0x7D và 0x7E trong toàn bộ khung truyền trừ 2 byte đầu và cuối của khung dữ liệu.

Dữ liệu của cảm biến được chỉ định thu thập định kỳ và tại hiện trường SN còn có chức năng cảnh báo khi tham số cần đo vượt ngưỡng. Do đó, cần phải thiết lập ba loại tham số của cảm biến thông qua lệnh cổng nối tiếp và các tham số này không bị mất khi tắt nguồn (lưu giữ trong EEPROM của MCU). Các tham số cần được cấu hình là: 1) loại dữ liệu được thu thập bởi SN; 2) chu kỳ thu thập dữ liệu; 3) ngưỡng dữ liệu an toàn. Định dạng khung giao thức cấu hình tham số cảm biến mô tả trong hình 10.

1	2	3,4	5	6	7	8-9	10
0x7E	S	Add	ID	0x00	0x00	CRC	0x7E

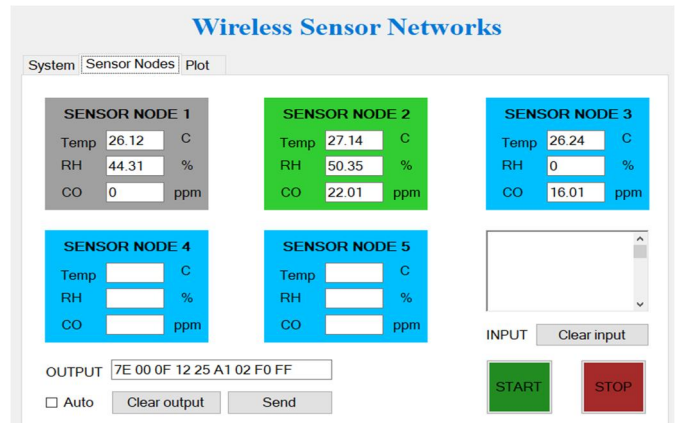
Hình 10. Khung dữ liệu từ PC xuống thiết bị

Byte bắt đầu 0x7E, byte kết thúc 0x7E. Mã lệnh chỉ thị cấu hình SN: S = 0x18. Add là địa chỉ của SN. Từ lệnh cấu hình cảm biến (ID): Theo yêu cầu của các tham số cấu hình, có 7 loại lệnh cấu hình: 0xFE ~ 0xF9. Các lệnh cấu hình chi tiết thể hiện trong bảng 3.

Bảng 3. Giá trị ID tương ứng với ý nghĩa thiết lập

TT	Thông số	ID
1	Bố trí chu kỳ lấy mẫu	0xFE
2	Ngưỡng trên của nhiệt độ	0xFD
3	Ngưỡng dưới của nhiệt độ	0xFC
4	Ngưỡng trên của độ ẩm	0xFB
5	Ngưỡng dưới của độ ẩm	0xFA
6	Ngưỡng trên của CO	0xF9

Phần mềm giao diện được phát triển trên Visual Basic 2012. Phần mềm có chức năng tự phát hiện cổng kết nối để thực hiện kết nối thiết bị trung tâm với máy tính hiện trường. Giao diện thân thiện, dễ sử dụng và có thể cấu hình các trạng thái hoạt động của các SN.



Hình 11. Phần mềm và thiết bị SN, RT, GW

5. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM



Hình 12. Mô hình thử nghiệm



Hình 13. Thiết bị thực nghiệm

Mô hình thiết bị mạng WSNs được chế tạo thử nghiệm như trên hình 12 và 13. Hệ thống được cấp nguồn nuôi 5V.

Hệ thống thử nghiệm bao gồm 3 SN kết nối với GW thông qua một RT như trên hình 3. Quá trình thử nghiệm được thực hiện tại tầng hầm chung cư Gemek tower II, xã An Khánh, huyện Hoài Đức, thành phố Hà Nội. Các giá trị trung bình của 5 lần đo thu thập được cho trong bảng 4, 5 và 6.

Bảng 4. Thu thập dữ liệu từ SN 1 tại khoảng cách 50m trong tầng hầm

SN 1	Đơn vị	Giá trị đo trong ngày 24/02/2019					
Lần đo	1-5	1 10h00	2 10h15	3 10h30	4 10h45	5 11h00	Trung bình
Nhiệt độ	°C	28,8	29,8	28,4	30,1	29,5	29,32
Độ ẩm	% RH	78,6	77,6	77,5	79,1	76,6	77,88
Nồng độ CO	ppm	28,5	27,2	31,84	30,6	30,1	29,65

Bảng 5. Thu thập dữ liệu từ SN 2 tại khoảng cách 40m trong tầng hầm

SN 2	Đơn vị	Giá trị đo trong ngày 24/02/2019					
Lần đo	1-5	1 10h00	2 10h15	3 10h30	4 10h45	5 11h00	Trung bình
Nhiệt độ	°C	27,2	27,8	26,8	28,1	27,5	27,48
Độ ẩm	% RH	78,4	76,6	77,8	76,2	78,1	77,40
Nồng độ CO	ppm	26,5	27,7	27,8	28,6	29,3	27,95

Bảng 6. Thu thập dữ liệu từ SN 3 tại khoảng cách 20m trong tầng hầm

SN 3	Đơn vị	Giá trị đo trong ngày 24/02/2019					
Lần đo	1-5	1 10h00	2 10h15	3 10h30	4 10h45	5 11h00	Trung bình
Nhiệt độ	°C	26,7	27,1	26,8	26,1	26,5	26,64
Độ ẩm	% RH	78,6	78,1	76,8	77,6	78,4	77,90
Nồng độ CO	ppm	28,5	30,7	31,3	30,8	29,7	30,21

Khoảng cách truyền tối đa của module RF433-E30 trong điều kiện lý tưởng là 3000m do nhà sản xuất thiết bị cung cấp. Tuy vậy trong thực tiễn khoảng truyền này phụ thuộc nhiều vào địa hình thực tại (vật cản, mật độ vật cản, nhà cao tầng, không gian, cây xanh, vị trí đặt điểm thu và điểm phát...). Kết quả thử nghiệm trong môi trường thành phố với điều kiện thiết bị thu-phát đều đặt dưới mặt đất cho thấy khoảng cách truyền chỉ đạt được con số dưới 150m, thậm chí trong môi trường không gian với nhiều vật cản khoảng cách này còn nhỏ hơn 90m.

Trong quá trình thử nghiệm, nhóm tác giả đã thử kiểm tra sai các khung truyền dữ liệu trong 20 lần dữ liệu ngẫu nhiên và sử dụng phần mềm test thiết bị viết trên Visual Basic 2012. Kết quả cho thấy 100% phát hiện lỗi khung truyền dữ liệu. Điều đó cho thấy độ tin cậy của đường truyền dữ liệu được tổ chức, thiết kế và cấu hình.

6. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Bài báo đã trình bày sơ lược về quá trình thiết kế phần cứng, phần mềm, cách thức tổ chức địa chỉ các Node và định dạng khung dữ liệu trong hệ thống WSNs. Hệ thống WSNs được thiết kế thử nghiệm trên MCU PIC18F4550 của Microchip với 3 điểm thu thập dữ liệu (SN), 1 thiết bị định

tuyến (RT) và 1 cổng thu thập dữ liệu trung tâm (GW). Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống hoạt động ổn định, khả năng phát hiện lỗi đường truyền cao. Tuy vậy hệ thống WSNs trên vẫn chưa hoàn thiện. Trong đó tồn tại một số vấn đề như: tốc độ thu thập chậm do cơ chế thu thập dữ liệu thực hiện tuần tự từ yêu cầu lệnh trên GW; chưa quan tâm đến vấn đề tối ưu định tuyến đường truyền; các vấn đề về thiết kế tiết kiệm nguồn nuôi... Những vấn đề này sẽ được nhóm nghiên cứu phát triển quan tâm và thực hiện trong những nghiên cứu tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin chân thành gửi lời cảm ơn tới Bộ môn Tự động hóa, Khoa Điện và Viện Công nghệ HaUI, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội đã hỗ trợ trong quá trình thực hiện nghiên cứu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Prashant Tiwari, Varun Prakash Saxena, Raj Gaurav Mishra, Devendra Bhavsar, 2015. *Wireless Sensor Networks: Introduction, Advantages, Applications and Research Challenges*. HCTL Open International Journal of Technology Innovations and Research (IJTIR), Volume 14, April 2015.
- [2]. Wang Xiaoqiang, Ouyang, Huang Ning, 2012. *ZigBee Wireless Sensor Network Design and Implementation*. Chemical Industry Press, 134-137.
- [3]. Qingdao Donghe Information Technology Co., Ltd., 2014. *ZigBee development technology and actual combat*. Xi'an University of Electronic Science and Technology Press.
- [4]. Quách Đức Cường, 2018. *Nghiên cứu, thiết kế và xây dựng hệ thống quan sát và cảnh báo tự động nguy cơ cháy nổ tại tầng hầm tòa nhà*. Đề tài cấp Bộ, Bộ Công Thương.
- [5]. Trịnh Trọng Chương, Nguyễn Hồng Minh, 2017. *Xây dựng hệ thống giám sát tự động thông số môi trường nước thải ở các khu công nghiệp tại tỉnh Hải Dương bằng công nghệ GSM/GPRS*. Đề tài cấp sở, Sở Khoa học Công nghệ tỉnh Hải Dương.
- [6]. Dai Qingyun, Bao Hong Liu Yihong, Liu Zexi, Zhou Ke, Wang Jin, 2008. *433MHz Wireless Network Technology for Wireless Manufacturing*. 2008 Second International Conference on Future Generation Communication and Networking.
- [7]. M.A. Matin, M.M. Islam, 2012. *Overview of Wireless Sensor Network*. <http://cdn.intechopen.com/pdfs/38793/InTechOverview_of_wireless_sensor_network.pdf>.
- [8]. Bhaskar Krishnamachari, 2005. *An Introduction to Wireless Sensor Networks*. <http://ceng.usc.edu/~bkrishna/research/talks/WSN_Tutorial_Krishnamachari_ICISIP05.pdf>.
- [9]. Microchip Technology Inc, 2006. *PIC18F2455/2550/4455/4550 Data Sheet*. <<https://ww1.microchip.com/downloads/en/devicedoc/39632c.pdf>>
- [10]. Nigel Gardner, 2008. *PICmicro MCU C® An introduction to programming The Microchip PIC in CCS C*. <<http://teachers.teicm.gr/kalomiro/Mtptx/e-books/eBook%20-%20PIC%20Programming%20with%20C.pdf>>.
- [11]. <https://www.baseapp.com/iot/protocols-for-iot/>
- [12]. https://www.cse.wustl.edu/~jain/cse570-15/ftp/iot_dlc.pdf

AUTHORS INFORMATION

Quach Duc Cuong, Bui Van Huy, Do Duy Hop

Faculty of Electrical Engineering Technology, Hanoi University of Industry