

NGHIÊN CỨU THIẾT KẾ NÚT CẢM BIẾN KHÔNG DÂY SỬ DỤNG CÔNG NGHỆ ZIGBEE

Đặng Văn Ngọc*

Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện một nghiên cứu thiết kế nút cảm biến không dây sử dụng công nghệ ZigBee dựa trên module XBee ZB Serial 2 để đánh giá hiệu năng của các nút cảm biến bao gồm các thông số như sau: Công suất tiêu thụ, tỉ lệ truyền nhận gói tin, khả năng định tuyến cấu hình mạng. Hai kịch bản mạng chính được đánh giá: (i) truyền dẫn trực tiếp giữa nút Coordinator và các nút End device trong môi trường có vật cản và không có vật cản, (ii) truyền dẫn gói tin giữa nút Coordinator đến các nút End device thông qua các nút Router. Phần cứng của nút cảm biến được thiết kế cho thí nghiệm này gồm có module truyền thông không dây ZigBee của hãng Digi International. Phần mềm miễn phí XCTU của Digi International được dùng cho việc cấu hình các tham số và kiểm tra module ZigBee của mỗi nút cảm biến. Sau khi cấu hình xong, toàn bộ mạng sẽ được mô phỏng trong thời gian thực sử dụng phần mềm XCTU.

Từ khóa: Công suất tiêu thụ, Mạng cảm biến không dây, Định tuyến, Tỉ lệ truyền nhận gói tin, XBee, ZigBee

GIỚI THIỆU

Mạng cảm biến không dây (Wireless Sensor Network WSN) là tập hợp các nút cảm biến có khả năng tự cấu hình và giao tiếp không dây với nhau tạo thành một mạng lưới khi triển khai trong kiểu Ad-hoc. Mạng cảm biến không dây ngày càng được sử dụng nhiều trong mọi lĩnh vực. Một số ứng dụng hiện nay là giám sát môi trường, hệ thống đo lường và giám sát tại các nhà máy, các tòa nhà và bệnh viện, nông nghiệp thông minh và ở những nơi mà việc cài đặt cảm biến và đi dây gặp khó khăn.

Trong các công nghệ không dây dùng trong mạng cảm biến (Wifi, Bluetooth, ZigBee) xu hướng hiện nay sử dụng nhiều công nghệ ZigBee [1] và IEEE 802.15.4 [2] do công suất tiêu thụ nhỏ, giá thành thấp, dễ mở rộng mạng, truyền nhận dữ liệu đáng tin cậy. Trong nghiên cứu này, chúng tôi sẽ nghiên cứu, phân tích hiệu suất của một mạng cảm biến không dây sử dụng chuẩn ZigBee. ZigBee được xây dựng trên chuẩn IEEE 802.15.4 định nghĩa lớp MAC và lớp vật lý, hoạt động trong dải tần không đăng ký 2.4 GHz. Xét về khả năng kết nối mạng, chuẩn ZigBee hỗ trợ ba loại giao thức truyền thông

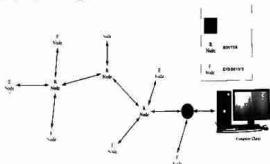
như là điểm - điểm, điểm - nhiều điểm, cấu trúc liên kết mạng lưới. ZigBee cho phép những thiết bị hoạt động với chu kỳ xung nhịp thấp, vì lý do đó tuổi thọ pin cũng sẽ được kéo dài hơn giúp cho các thiết bị được sử dụng rộng rãi hơn trong mạng cảm biến không dây. Giao thức ZigBee cũng có chức năng truyền thông đa bước, do đó cung cấp một phạm vi truyền thông và vùng phủ sóng rộng lớn.

Những tác giả trong [3], [5] đã tập trung vào kiểm tra những thuộc tính không dây (radio) của ZigBee như là khoảng cách và định thời, đánh giá năng lượng sử dụng của các nút cảm biến, khả năng định tuyến dựa trên chế độ lệnh AT. Tuy nhiên, bài báo này sẽ tập trung vào việc sử dụng chế độ giao diện lập trình ứng dụng (Application Programming Interface API) cấu hình cho các nút cảm biến. Bởi vì chế độ API sẽ giảm bớt được những hạn chế của chế độ AT [6]. Qua đó đánh giá một số chỉ số hiệu suất phổ biến khi sử dụng chế độ này như năng lượng sử dụng của các nút cảm, tỉ lệ truyền nhận gói tin và khả năng định tuyến cấu hình mạng với hai kịch bản thử nghiệm trong môi trường có vật cản và không vật cản.

* Tel: 01689 964729

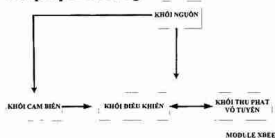
CẤU TRÚC HỆ THỐNG

Nói chung trong một WSN thì bao gồm nhiều nút End device. Router nhưng chỉ có duy nhất một nút Coordinator và một máy tính được thể hiện trong hình 1



Hình 1. Nền tảng phần cứng của nút cảm biến

Giải pháp Phần cứng



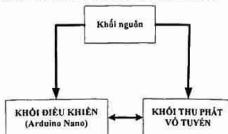
Hình 2. Sơ đồ khối chức năng của nút End device và Router

Trong thiết kế này, chúng tôi sử dụng module XBee Serial 2.2 mW [7] từ hãng Digi International. Chức năng của module XBee là thu thập trực tiếp dữ liệu từ cảm biến nhiệt độ TMP 36 và truyền tải nó mà không cần một vi điều khiển bên ngoài. Việc sử dụng một mình module XBee có thể giúp kích thước của các nút cảm biến được nhỏ gọn, trong lượng được giảm tối thiểu. Mặt khác, việc không sử dụng vi điều khiển ngoài giúp cho việc giảm năng lượng sử dụng. Điều này là một lợi thế quan trọng để tăng tuổi thọ của mạng

Cảm biến TMP36 là một cảm biến nhiệt độ điện áp thấp. Ngõ ra điện áp là tuyến tính theo tỉ lệ với nhiệt độ C và nhiệt độ K [8]. TMP36 không yêu cầu phải có thêm mạch tinh chỉnh bên ngoài để cung cấp độ chính xác ở nhiệt độ phòng

Trong WSN, nút Coordinator sử dụng Kit Arduino Nano [9] kết nối với module XBee để truyền thông dữ liệu giữa WSN với máy

tính thông qua giao diện UART. Kit Arduino là một nền tảng phát triển dựa trên vi điều khiển AVR, nó đang được sử dụng rất phổ biến trong nhiều ứng dụng hiện nay vì tính dễ dàng trong lập trình và kết nối với các module khác.



Hình 3. Sơ đồ khối chức năng của nút Coordinator

Cấu hình phần cứng

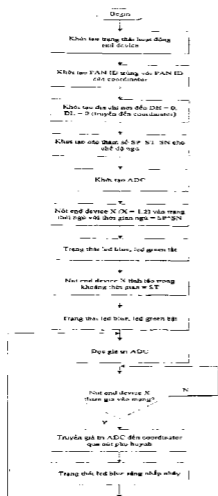
Trong các thử nghiệm của mình, chúng tôi sử dụng phần mềm miễn phí XCTU được cung cấp bởi hãng Digi International. Với phần mềm này người dùng có thể cập nhật các tham số, nâng cấp firmware (Coordinator, Router, End device) và thực hiện kiểm tra truyền thông dễ dàng Truyền thông với module XBee thì thực hiện thông qua bo mạch giao diện USB XBee với máy tính sử dụng cáp USB như thể hiện trong hình 4 Tất cả các nút trong một mạng sẽ được cấu hình PAN ID giống nhau với tốc độ truyền được chọn 115200bps [5]. Trong chế độ API, tất cả dữ liệu đi vào và rời khỏi module truyền thông thì được chứa trong những khung truyền cái mà định nghĩa sự hoạt động. Trong bài báo này chúng tôi sử dụng chế độ API có kiểu khung truyền là 0x92 Kích thước của khung là 22 Byte, trong đó byte đầu tiên là byte bắt đầu có giá trị bằng 0x7E, byte 2, 3 cho biết độ dài của khung và giá trị của nó bằng 0x0014, byte 4 là kiểu khung 0x92, 8 byte tiếp theo là địa chỉ 64 bit của thiết bị nguồn, 2 byte tiếp theo là địa chỉ 16 bit của nút gửi Byte 21, 22 là đọc giá trị ADC



Hình 4. Module XBee kết nối với máy tính qua cáp giao diện XBee

Giải pháp Phần mềm

Hình 5, 6 minh họa phần mềm nhúng cho nút cảm biến End device hoặc Router và nút Coordinator.



Hình 5. Phần mềm nhúng cho nút End device hoặc Router

KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ

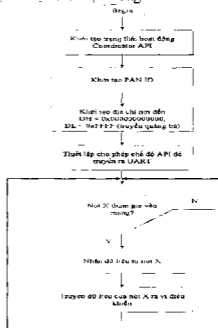
Thử nghiệm kiểm tra khả năng định tuyến cấu hình mạng

Kiểm tra khoảng cách giữa các nút trong mạng

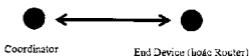
Bảng 1. Kết quả đo trong không gian không có vật cản

Số lần thực hiện	Khoảng cách (m)
1	186 feet (186 x 0.3 = 55.8m)
2	186 feet (186 x 0.3 = 55.8m)
3	182 feet (182 x 0.3 = 54.6m)
4	186 feet (186 x 0.3 = 55.8m)
5	184 feet (184 x 0.3 = 55.2m)
6	180 feet (184 x 0.3 = 54m)
7	186 feet (186 x 0.3 = 55.8m)
8	188 feet (188 x 0.3 = 56.4m)
9	184 feet (184 x 0.3 = 55.2m)
10	186 feet (186 x 0.3 = 55.8m)

Nút End device (hoặc Router) đo giá trị nhiệt độ rồi gửi về cho nút Coordinator sau mỗi 1 giây. Sau đó di chuyển nút End device (hoặc Router) ra xa cho đến khi mất kết nối với nút Coordinator thì đó xác định được khoảng cách truyền - nhận giữa hai nút. Mô hình thí nghiệm được thể hiện trong hình 7.



Hình 6. Phần mềm nhúng cho nút Coordinator



Hình 7. Khoảng cách hoạt động của 2 nút trong mạng

- Trường hợp không gian không có vật cản
 Trong không gian không có vật cản khoảng cách truyền - nhận từ nút End device tới nút Coordinator bằng 55.44 m. Kết quả này được tính bằng cách lấy trung bình cộng của 10 phép đo được thể hiện trong bảng 1.

- Trường hợp không gian có vật cản

Thí nghiệm này được thực hiện với nút Coordinator đặt ở trong phòng còn nút End device thì được di chuyển ra bên ngoài hành lang. Khi đó khoảng cách có thể truyền - nhận trong không gian có vật cản từ nút End device tới nút Coordinator bằng 25.5 m. Kết quả này được tính bằng cách lấy trung bình cộng của 10 phép đo được thể hiện trong bảng 2.

Bảng 2. Kết quả đo trong không gian có vật cản

Số lần thực hiện	Khoảng cách (m)
1	86 feet (86 x 0.3 = 25.8m)
2	76 feet (76 x 0.3 = 22.8m)
3	88 feet (88 x 0.3 = 26.4m)
4	90 feet (90 x 0.3 = 27m)
5	74 feet (74 x 0.3 = 22.2m)
6	80 feet (80 x 0.3 = 24m)
7	88 feet (88 x 0.3 = 26.4m)
8	96 feet (96 x 0.3 = 28.8m)
9	84 feet (84 x 0.3 = 25.2m)
10	88 feet (88 x 0.3 = 26.4m)

Thử nghiệm mở rộng tầm hoạt động của mạng

Mô hình cấu trúc được thể hiện trong hình 8 gồm một nút End device kết nối với nút Router gần nhất. Bản thân nút End device không có khả năng định tuyến vì thế nút Router sẽ thay mặt nút End device quản lý quá trình nhận và gửi gói tin. Trong thử nghiệm này khoảng cách truyền - nhận mà được tăng lên (lớn hơn nhiều so với 55 m) thì ta có thể đánh giá nút Router có thể thực hiện chức năng chuyển tiếp gói tin.

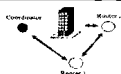


Hình 8. Mô hình truyền thông qua một router

Thực hiện thí nghiệm với khoảng cách từ nút Coordinator đến nút End device là 100 m thì chúng tôi thấy nút Coordinator vẫn nhận được gói tin từ nút End device chứng tỏ nút Router đã hoạt động như mô hình đưa ra.

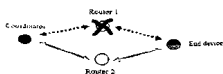
Thử nghiệm giải pháp định tuyến gói tin khi hai nút không truyền được cho nhau

Khi nút Router 1 chưa kết nối vào mạng thì nút Router 2 không thể truyền trực tiếp đến nút Coordinator do có vật cản chắn ở giữa 2 nút. Vì vậy khi nút Router 1 tham gia vào mạng thì nút Router 2 sẽ tự động định tuyến và chuyển gói tin của nó đến nút Router 1 để truyền về nút Coordinator. Mô hình thí nghiệm được thể hiện trong hình 9.



Hình 9. Mô hình truyền giữa hai nút khi có vật cản
Thử nghiệm khả năng khôi phục liên kết hỏng trong định tuyến mạng

Xây dựng một mạng lưới ZigBee được thực hiện tự động và liên tục bởi các thiết bị ZigBee. Nút Coordinator bắt đầu một mạng ZigBee và các thiết bị khác sau đó tham gia vào mạng bằng cách gửi yêu cầu liên kết mạng. ZigBee được coi là mạng tự hình thành (self-forming networks). Sau khi hình thành mạng để chuyển tiếp gói tin từ một thiết bị đến thiết bị khác, con đường tối ưu nhất sẽ được lựa chọn. Tuy nhiên, nếu một trong những nút Router bị hư hỏng hoặc không thể giao tiếp do cạn kiệt pin của nó, mạng có thể lựa chọn một tuyến đường thay thế. Vì thế, một trong những đặc điểm quan trọng nhất của mạng lưới ZigBee là khả năng tự khôi phục mạng thông qua định tuyến mạng lưới. Thí nghiệm này sử dụng cấu trúc mạng được thể hiện như hình 10.



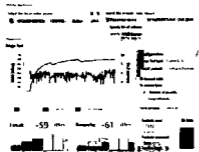
Hình 10. Cấu trúc mạng phục hồi liên kết hỏng

Đầu tiên dữ liệu được gửi từ nút End device đến nút Coordinator. Sau đó cho nút End device tiến ra xa nút Coordinator cho đến khi bị ngắt kết nối. Sau đó, chúng tôi thêm nút Router 1 và nút Router 2 vào mạng để chuyển tiếp gói tin từ nút End device đến nút Coordinator. Sau khi kiểm tra chúng tôi thấy gói tin của nút End device được chuyển tiếp qua nút Router 1 để đến nút Coordinator. Sau một khoảng thời gian làm việc chúng tôi tắt nút Router 1 để cho nút End device phải tìm một con đường khác để chuyển gói tin đến nút Coordinator. Khi nút Router 1 tắt chúng tôi thấy đường liên kết dữ liệu được chuyển sang nút Router 2 để chuyển gói tin từ nút End device đến nút Coordinator. Vậy kết luận mạng có khả năng phục hồi liên kết hỏng

Thử nghiệm tỉ lệ truyền nhận gói tin

+ Trường hợp môi trường không có vật cản

Nút Coordinator được đặt cách nút End device với khoảng cách 25 m. Chúng tôi sử dụng phần mềm XCTU với tính năng range test để thiết lập thử nghiệm gửi 1000 gói tin từ nút Coordinator đến nút End device.



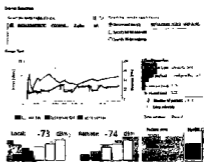
Hình 11. Tỷ lệ truyền nhận gói tin ở khoảng cách 25m không có vật cản

Kết quả thử nghiệm chúng tôi thu được với 1000 gói tin gửi đi từ nút Coordinator thì có 121 gói tin truyền đi bị lỗi. Nút End device nhận được 860 gói tin, trong quá trình truyền có 18 gói tin bị mất. Tỷ lệ truyền nhận gói tin thành công là 86,09%.

+ Trường hợp môi trường có vật cản

Nút Coordinator và End device được đặt trong hai phòng khác nhau với khoảng giữa hai phòng là 25 m. Sử dụng tính năng range

test của phần mềm XCTU để thiết lập thử nghiệm gửi 1000 gói tin từ nút Coordinator đến nút End device.



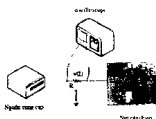
Hình 12. Tỷ lệ truyền nhận gói tin ở khoảng cách 15m trong môi trường có vật cản

Kết quả thu được với 1000 gói tin gửi đi từ nút Coordinator thì có 393 gói tin truyền đi bị lỗi. Nút End device nhận được 594 gói tin, trong quá trình truyền có 13 gói tin bị mất. Tỷ lệ truyền nhận gói tin là 59,40%.

Đánh giá năng lượng tiêu thụ và dự đoán tuổi thọ pin

Trong mạng cảm biến không dây thì hiệu suất năng lượng là một chỉ số quan trọng vì nó ảnh hưởng trực tiếp đến chu kỳ sống của hệ thống. Thay pin thường xuyên cho những nút cảm biến hết pin trong mạng cảm biến không dây lớn là không khả thi do sự giới hạn về địa hình và không gian cũng như do môi trường nguy hiểm trong những chỗ mà cảm biến được đặt [10]. Bởi vậy, phương pháp tốt nhất để tiết kiệm năng lượng là thiết lập cơ chế ngủ. Việc thực hiện đo năng lượng tiêu thụ chỉ được thực hiện đối với nút End device và nút Router, còn với nút Coordinator thì nguồn cung cấp là nguồn lưới.

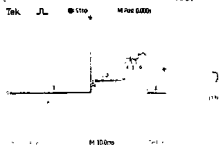
Trong thí nghiệm này, một nút End device được cấu hình trong chế độ chu kỳ giấc ngủ (SM=4) và chế độ API. Sau khi truyền dẫn hoàn thành nút End device sẽ trở về chế độ ngủ để bắt đầu cho một chu kỳ ngủ khác. Để giám sát mức tiêu thụ hiện tại và thời gian cho chế độ hoạt động của các nút End device, chúng tôi đặt một điện trở với giá trị $R = 10 \Omega$ ở giữa nguồn cung cấp và nguồn pin của nút End device. Sơ đồ thực hiện phép đo được thể hiện như hình 13.



Hình 13. Cấu hình thí nghiệm phép đo

Trong thí nghiệm này nút Coordinator được đặt cách nút End device 1 m, trong khi diên áp và biểu đồ thời gian cho hoạt động truyền dữ liệu của nút cảm biến đến nút Coordinator được minh họa trong hình 14

Trong Bảng 3 cho thấy mức tiêu thụ năng lượng hiện tại và các khoảng thời gian trong các chế độ khác nhau của nút end device.



Hình 14. Đồ diễn áp cung cấp trong việc truyền dữ liệu ở các giai đoạn khác nhau

Bảng 3. Phép đo hiện tại của nút End device

Tham số	Giai đoạn	Giá trị
Cường độ dòng điện hiện tại trong chế độ ngủ (I_{ng1})	1	0.8 mA
Thời gian bật/tắt của module thu phát (t_{bt2})		3 ms
Cường độ dòng điện trong chế độ bật/tắt của module thu phát (I_{bt2})	2	10 mA
Thời gian tiêu thụ điện năng của các Led và cảm biến nhiệt độ trước khi truyền (t_{led3})	3	19 ms
Cường độ dòng điện tiêu thụ của các Led và cảm biến nhiệt độ trước khi truyền (I_{led3})		18 mA
Thời gian lắng nghe trước khi truyền (t_{ln4})		4 ms
Cường độ dòng điện trong chế độ lắng nghe trước khi truyền (I_{ln4})	4	46 mA
Thời gian truyền (t_{tr5})		4 ms
Cường độ dòng điện trong chế độ truyền (I_{tr5})	5	44 mA
Thời gian lắng nghe sau khi truyền (t_{ln6})		7 ms
Cường độ dòng điện trong chế độ lắng nghe sau khi truyền (I_{ln6})	6	52 mA
Điện áp pin		3.6V
Dung lượng pin		1200 mAh

Dựa trên các phép đo thực tế ta có thể tính toán cường độ dòng điện ở mỗi chế độ. Giá trị cường độ dòng điện trung bình tiêu thụ bởi nút cảm biến để truyền một gói tin dữ liệu được thể hiện trong phương trình (1).

$$I_{hd} = \frac{(I_{bt2} \cdot t_{bt2}) + (I_{led3} \cdot t_{led3}) + (I_{ln4} \cdot t_{ln4})}{t_{hd}} + \frac{(I_{tr5} \cdot t_{tr5}) + (I_{ln6} \cdot t_{ln6})}{t_{hd}} \quad (1)$$

Trong đó: t_{hd} là thời gian hoạt động của nút cảm biến được tính toán như trong phương trình (2)

$$t_{hd} = t_{bt2} + t_{led3} + t_{ln4} + t_{tr5} + t_{ln6} \quad (2)$$

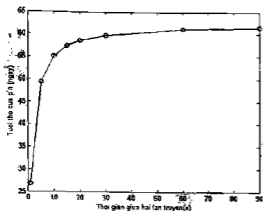
Từ đó ta có thể tính giá trị cường độ dòng điện tiêu hao như sau:

$$I_{th} = \frac{t_{hd}}{T} I_{hd} + (1 - \frac{t_{hd}}{T}) I_{ng1} \quad (3)$$

Trong đó: T là thời gian giữa hai lần truyền liên Vây tuổi thọ tính theo ngày của pin với dung lượng C (mAh) có thể được đánh giá từ I_{th} như sau.

$$L = \frac{C}{24 \cdot I_{th}} \quad (4)$$

Dựa vào những phân tích trên, ta sử dụng phần mềm mô phỏng Matlab để tiến hành đánh giá tuổi thọ của nút cảm biến không dây với những giá trị khác nhau của thời gian giữa hai lần truyền liên tiếp được thể hiện trong hình 15.



Hình 15. Dự đoán tuổi thọ pin của nút cảm biến

KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã chế tạo được các nút cảm biến không dây sử dụng module XBee ZB Serial 2 được cấu hình trong chế độ API cho nhiệm vụ truyền thông và các nút cảm biến thì không sử dụng bất kỳ nền tảng vi điều khiển nào. Dựa trên các nút cảm biến đã thiết kế, chúng tôi đã thiết lập một số thử nghiệm để đánh giá công suất tiêu thụ, tỉ lệ truyền nhận gói tin, khả năng định tuyến cấu hình mạng của các nút cảm biến trong môi trường có vật cản và không có vật cản. Với kết quả dự đoán của chúng tôi, chúng tôi có một số đánh giá như sau: 1. Tuổi thọ của nút cảm biến được kéo dài do thời gian sử dụng cho quá trình truyền nhận dữ liệu ngắn, 2. Tỉ lệ gói tin bị lỗi và mất trong quá trình truyền giảm do dữ liệu được định dạng khung truyền, 3. Khả năng định tuyến cấu hình mạng trong chế độ API của WNS là linh hoạt trong mọi cấu trúc mạng.

Đối với công việc trong tương lai của chúng tôi sẽ phát triển nút cảm biến tích hợp được nhiều thiết bị đo lường hơn, đồng thời chế tạo

các nút điều khiển để xây dựng WSN có tính hai chiều

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. "ZigBee wireless Standard", URL: <http://www.digi.com/technology/rfarticles/wirelesszigbee>.
2. N. Salman, I Rasool and A. H Kemp (2010), "Overview of the IEEE 802.15.4 standards family for Low Rate Wireless Personal Area Networks", *IEEE 7th International Symposium on Wireless Communication Systems*, United Kingdom, pp 701-705, September 19-22, 2010
3. O Hyncica, P. Kacz, P Fiedler, Z. Bradac, P Kucera, and R Vrba (2006), "The Zigbee experience", *Proceedings of the 2nd International Symposium on Communications, Control, and Signal Processing*.
4. M Pawar, J. Manore, and M Kuber. (2011), "Life Time Prediction of Battery Operated Node for Energy Efficient WSN Applications" *International Journal of Computer Science And Technology*, vol. 2, pp. 491-495
5. Rajeev Piyare, Seong-ro Lee. (April-2013), "Performance Analysis of XBee ZB Module Based Wireless Sensor Networks", *International Journal of Scientific & Engineering Research*, Volume 4, Issue 4, pp. 1615-1621
6. Dharti Vyas, Amol Borole, Shikha Singh (2016), "Smart Agriculture Monitoring and Data Acquisition System", *International Research Journal of Engineering and Technology*, volume 03, Issue 03, 2016
7. D. International (2012), "XBee User Manual", *Digi International*, pp 1-155.
8. "Low Voltage Temperature Sensors TMP35/TMP36/TMP37", URL: http://ctms.engin.umich.edu/CTMS/Content/Activities/TMP35_36_37.pdf.
9. <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardNano>
10. F Ding, G Song, K Yin, J Li, and A Song, (2009), "A GPS-enabled wireless sensor network for monitoring radioactive materials," *Sensors and Actuators A. Physical*, vol 155, pp 210-215

SUMMARY AN IMPLEMENTATION OF WIRELESS SENSOR NODES USING ZIGBEE TECHNOLOGY

Dang Van Ngoc*

University of Information and Communication Technology - TNU

In this paper an implementation of wireless sensor nodes using zigbee technology based on module XBee ZB to evaluate the performance of the sensor node consists of the following parameters: power consumption, packet transmission rate, the ability to configure the network routing. Two main groups of network scenarios have been evaluated: (1) direct transmissions between the coordinator and the End device nodes in an environment with obstructions and no obstructions, and (n) transmissions with routers which relay the packet between the coordinator and the End device nodes. The wireless sensor node hardware designed for this experimentation consists of ZigBee (XBee S2 with 2mW wire antenna) wireless communication module from Digi International. XCTU software is utilized for configuring and testing the ZigBee module of each sensor node. After configuration, the entire network is simulated in real time using XCTU software.

Keywords: *Power consumption, Wireless sensor networks, Routing, Packet transmission rate, XBee, ZigBee*

Ngày nhận bài: 13/02/2017; Ngày phân biệt: 08/3/2017; Ngày duyệt đăng: 31/5/2017

* Tel: 01639 964729