

THIẾT KẾ HỆ THỐNG MẠNG TRUYỀN THÔNG KHÔNG DÂY TRÊN CƠ SỞ CÔNG NGHỆ BĂNG THÔNG SIÊU RỘNG

Nguyễn Thế Truyền¹, Nguyễn Thế Vinh^{1*}, Nguyễn Lê Thùy Dương¹, Nguyễn Xuân Đồng¹, Đinh Đức Tùng¹, Sergey V. Volvenko², Sergey V. Zavjalov², Alexander S. Gruzdev², Andrey V. Rashich²

¹Viện NC Điện tử, Tin học, Tự động hóa

²Đại học Bách Khoa Saint Petersburg

TÓM TẮT

Bài báo trình bày về thiết kế hệ thống mạng truyền thông không dây trên cơ sở băng thông siêu rộng. Truyền thông băng thông siêu rộng là một công nghệ truyền thông mới, tốc độ cao trong khoảng ngắn với dải tần từ 3,1 GHz đến 10,6 GHz. Công nghệ truyền thông băng thông siêu rộng có đặc điểm khác với các hệ thống thông tin băng hẹp trong quá trình mã hóa thông tin, công nghệ này sử dụng các xung hẹp cỡ nano giây thay vì sử dụng sóng sine. Do đó, công nghệ băng thông siêu rộng có nhiều ưu điểm như băng thông lên tới 7,5 GHz và công suất tiêu thụ rất thấp,... Các kết quả nghiên cứu của bài báo góp phần vào sự phát triển của nhiều ứng dụng như hệ thống mạng cảm biến không dây tiết kiệm năng lượng, hệ thống định vị trong nhà.

Từ khóa: Băng thông siêu rộng; Bộ truyền băng thông siêu rộng; Bộ nhận băng thông siêu rộng; Điều chế On-Off keying; Xung UWB

MỞ ĐẦU

Hiện nay, các hệ thống truyền tin không dây đang được sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực: theo dõi môi trường, y học, tự động hóa công nghiệp,... Ứng dụng các hệ thống băng thông hẹp (Bluetooth, ZigBee, WiFi,...) là phương pháp kinh điển của các hệ thống truyền tin không dây, tuy nhiên, công nghệ băng thông siêu rộng (Ultra-Wideband - UWB) có những ưu điểm, cụ thể:

- Thứ nhất, đặc điểm của UWB là sử dụng các xung rất hẹp để truyền thông mà không cần sóng mang do đó cho phép chế tạo các thiết bị đầu cuối nhỏ gọn, giá thành rẻ, tiêu hao năng lượng ít (những ưu điểm này càng rõ hơn khi kết hợp sử dụng kỹ thuật ALOHA với điều chế On-Off Keying) và ít bị tác động của nhiễu đa đường cũng như nhiễu liên ký tự [1], [2], [3], [8].

- Thứ hai, với xung tín hiệu có độ rộng nhỏ (cỡ nano giây) do đó băng thông siêu rộng, một phần tần số thấp của tín hiệu UWB có thể đi qua các vật cản dẫn đến phía bộ thu vẫn nhận được tín hiệu vì vậy tín hiệu UWB có thể đi xuyên qua các vật cản [4], [5].

- Thứ ba, vì sử dụng các xung cực hẹp để truyền nên công nghệ UWB cho phép truyền

không dây có thể đạt tới tốc độ 2 Gbps trong khoảng cách ngắn [6], [7].

- Thứ tư là sự khan hiếm tần số, hiện nay hầu hết các dải tần số đã được cấp phát cho các hệ thống quân sự và dân sự, hơn nữa nếu muốn sử dụng một dải tần số nào đó cần phải có sự đồng ý và cấp phép của cơ quan quản lý tần số. Nhưng với UWB, đây là một dải tần số miễn phí [8].

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về công nghệ băng thông siêu rộng. Tuy vậy, về mặt sản phẩm thì còn hạn chế, ngay các hãng lớn trên thế giới như Samsung, LG Electronics,... Hiện nay, Viện công nghệ Samsung đang phát triển chipset UWB dựa trên cả hai công nghệ DS-UWB và kỹ thuật điều chế OFDM. Trong khi đó, các sản phẩm của LG Electronics cũng được trang bị chipset UWB dựa trên kỹ thuật OFDM từ hãng Freescale [7].

Đây là một công nghệ mới, có nhiều ứng dụng tiềm năng: truyền thông trong hệ thống không dây [2], [3], định vị trong nhà [4], radar [5]. Vì vậy, việc nghiên cứu thiết kế chế tạo hệ thống mạng không dây sử dụng công nghệ UWB là một vấn đề cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

Các phần tiếp theo của bài báo được tổ chức như sau: Phần 2 trình bày về Phương pháp

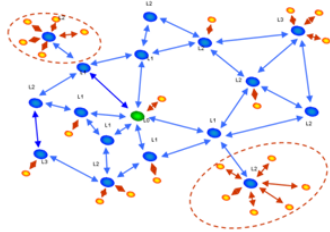
*Tel: 0914 871304, Email: ntvci@ yahoo.com

nghiên cứu thiết kế hệ thống, Phần 3 là Kết quả và bàn luận, Phần 4 là Kết luận tóm tắt những vấn đề quan trọng của bài báo.

PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

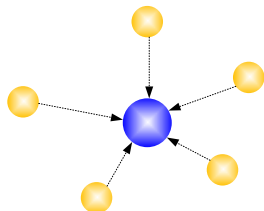
Thiết kế cấu trúc hệ thống

Hệ thống mạng truyền thông không dây bao gồm các thiết bị liên kết không dây để phối hợp thực hiện nhiệm vụ thu thập thông tin dữ liệu. Với những ứng dụng mà có số lượng các nút không dây được triển khai trên một vùng địa lý lớn thì truyền thông đa liên kết được lựa chọn, Hình 1.



Hình 1. Cấu trúc hệ thống truyền đa liên kết

Ngược lại, chúng ta nên chọn cấu trúc hệ thống truyền thông đơn liên kết, Hình 2, trong những ứng dụng đặc thù để đảm bảo hiệu quả của toàn bộ hệ thống.



Hình 2. Cấu trúc hệ thống truyền đơn liên kết

Với cấu trúc mạng dạng đơn liên kết thì có một số ưu điểm như sau:

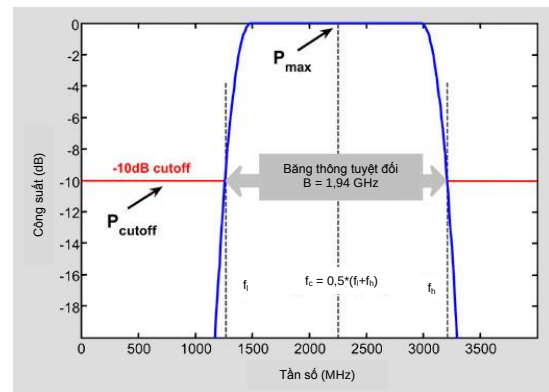
- Cấu trúc của các nút mạng đơn giản vì chúng hoặc chỉ là bộ phận tiếp nhận thông tin hoặc chỉ là bộ phận phát thông tin, cũng chính vì sự đơn giản đó dẫn đến khả năng hoạt động ổn định cao của toàn bộ hệ thống.
- Tiết kiệm năng lượng cho bộ phát, do đó thích hợp trong trường hợp sử dụng nguồn pin.
- Ngoài ra, vì thông tin được truyền trực tiếp từ từng bộ phát tới bộ thu nên trong trường hợp một bộ phát nào đó bị hỏng thì các bộ phát còn lại vẫn truyền được thông tin về cho bộ thu.

Trên cơ sở phân tích đó, chúng tôi lựa chọn xây dựng cấu trúc mạng không dây UWB kiểu đơn liên kết, cấu trúc mạng như được trình bày trên Hình 2.

Thiết kế bộ phát và bộ thu UWB

Yêu cầu đối với UWB

Theo Ủy ban truyền thông liên bang Hoa Kỳ (Federal Communications Commission: FCC) định nghĩa, thiết bị UWB là bất kỳ thiết bị nào có tỷ số độ rộng băng tần đo tại điểm -10 dB lớn hơn hoặc bằng 20%, hoặc có độ rộng băng tần tuyệt đối ít nhất bằng 500MHz. Các quy định của FCC về tỷ số độ rộng băng tần và độ rộng băng tần tuyệt đối như được minh họa trên Hình 3.



Hình 3. Minh họa quy định của FCC về UWB

Nếu gọi f_h là tần số lớn nhất, f_l là tần số bé nhất và f_c là tần số trung tâm của dải phổ UWB thì tỷ số độ rộng băng tần FB phải thỏa mãn điều kiện (1)

$$FB = \frac{f_h - f_l}{f_c} \geq 20\% \quad (1)$$

Để tránh ảnh hưởng đến các hệ thống khác, UWB phải tuân theo các quy định chặt chẽ về công suất phát xạ. Theo FCC công suất phát xạ đẳng hướng tương đương trong dải tần số 3,1÷10,6 GHz không được vượt quá -41,3 dBm/MHz. Thiết kế bộ phát UWB đáp ứng theo quy định FCC là một vấn đề phức tạp.

Lựa chọn kỹ thuật thực hiện UWB

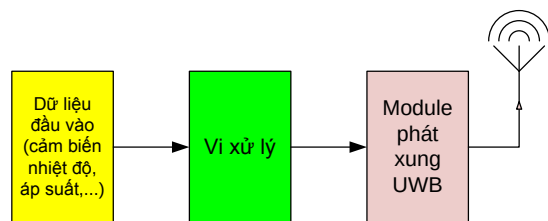
Có hai kỹ thuật UWB chủ yếu được sử dụng là kỹ thuật Impulse UWB và kỹ thuật Multiband OFDM. So sánh giữa Impulse UWB và Multiband OFDM ta có nhận xét:

- Về năng lượng: Impulse UWB tiết kiệm năng lượng hơn vì kỹ thuật này chỉ sử dụng các xung cực ngắn để truyền thông tin.
- Về công nghệ: Impulse UWB đơn giản hơn trong việc thiết kế phần cứng và xây dựng phần mềm.
- Về tốc độ: Kỹ thuật OFDM được ứng dụng trong những truyền thông tốc độ thấp (từ 53Mbps đến 480Mbps) trong khi đó với kỹ thuật Impulse UWB ta có thể truyền với tốc độ lên tới hàng Gbps.

Từ những nhận xét đó chúng tôi lựa chọn kỹ thuật Impulse UWB. Theo đó, ta tiến hành thực hiện nghiên cứu thiết kế bộ phát UWB và bộ thu UWB.

Thiết kế bộ phát UWB

Cấu trúc bộ phát UWB được thể hiện trong Hình 4.



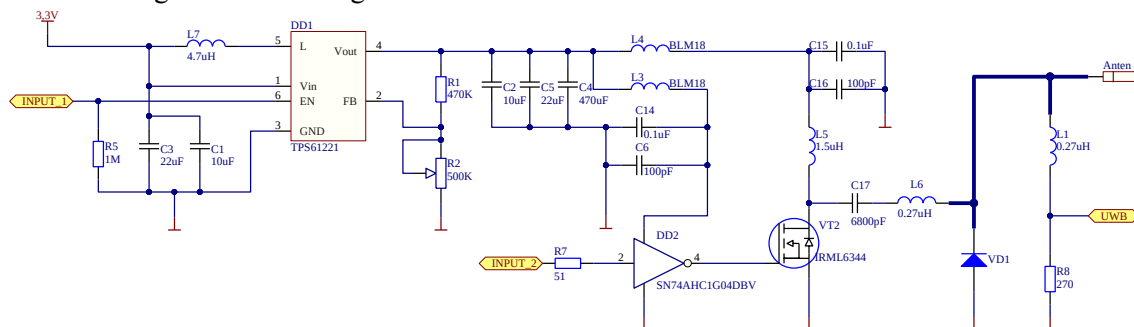
Hình 4. Cấu trúc bộ phát UWB

Bộ phát UWB được cấu tạo bởi các cảm biến, vi điều khiển STM32F051 và module phát xung UWB. Vi điều khiển thực hiện quá trình xử lý dữ liệu từ các cảm biến và điều chế các bit dữ liệu theo kỹ thuật On-Off Keying, tiếp theo tạo khung liên kết dữ liệu cũng như các gói tin lớp vật lý. Sau đó, các gói tin lớp vật lý được chuyển tới module phát xung UWB.

Thực tế cho thấy, xung Gaussian đơn và đạo hàm của xung Gaussian không thỏa mãn hoàn

toàn những quy định của FCC về mật độ phổ công suất do chúng có thành phần tần số thấp trong phổ tần. Vì vậy, những xung này đòi hỏi phải được lọc thành phần tần số thấp để phù hợp với quy định của FCC, theo đó, mạch nguyên lý module phát xung UWB được chúng tôi thiết kế như trên Hình 5.

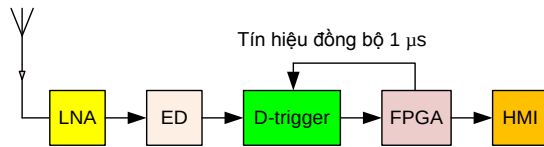
Phân tích nguyên lý module phát xung UWB: Đầu vào dữ liệu của module phát xung là chân Input_2, chân này được kết nối tới cổng SPI của vi điều khiển STM32F051. Tín hiệu tại Input_2 được điều chế theo kỹ thuật On-Off Keying bởi vi điều khiển STM32F051 và truyền tới khối phát xung UWB thông qua mạch logic đảo DD3 nhằm tiết kiệm năng lượng cũng như tránh cho VT2 luôn trong trạng thái mở khi vi điều khiển không truyền dữ liệu. Để tạo thành dạng xung UWB theo quy định của FCC, khối phát xung UWB được cấu tạo bởi một diode đặc biệt MAVR-044769-12790T (VD1) kết hợp với tụ điện C17, cuộn cảm lõi không khí L1, L5, L6, điện trở R8 và transistor trường VT2. Diode VD1 đóng vai trò quan trọng trong việc tạo hình dạng xung UWB để đảm bảo quy định của FCC. Với thiết kế này, công suất phát của module phát xung UWB đạt khoảng 4 dBm. Ta có thể điều chỉnh công suất phát như sau: thay đổi giá trị điện trở R2, qua đó thay đổi giá trị điện áp tại chân Vout của DD1 dẫn đến thay đổi được điện áp đỉnh của xung UWB; thay đổi giá trị tụ điện C17 để qua đó thay đổi năng lượng phóng nạp, từ đó ta thay đổi giá trị điện áp đỉnh xung UWB.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý module phát UWB

Thiết kế bộ thu UWB

Cấu trúc bộ thu UWB thể hiện trên Hình 6.

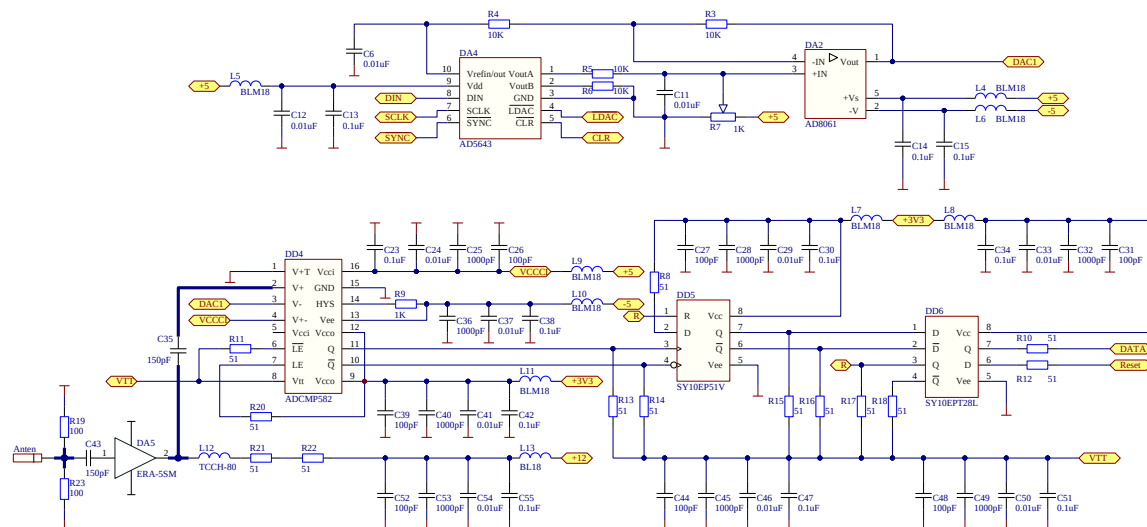


Hình 6. Cấu trúc module thu UWB

Bộ thu bao gồm bộ khuếch đại tiếng ồn thấp (LNA), bộ dò năng lượng (ED), D-trigger và module FPGA. Các tín hiệu thu được từ anten sau khi khuếch đại bởi bộ khuếch đại LNA, được so sánh với mức điện áp tham chiếu bằng cách sử dụng bộ so sánh tín hiệu tốc độ cao “ED”. Khối D-trigger cùng với xung đồng bộ từ FPGA hình thành các xung hình chữ nhật có độ rộng xung 400 ns cho FPGA, trên cơ sở lấy mẫu các xung này, bằng các thuật toán xử lý cài đặt trong FPGA ta thu được các dữ liệu gửi từ các bộ phát UWB. Dữ liệu sau đó được module FPGA gửi tới module HMI để hiển thị và xử lý, thông qua cổng truyền thông nối tiếp.

Khi làm việc với tín hiệu xung UWB cỡ nano giây và các xung này xuất hiện kế tiếp nhau trong khoảng thời gian ngắn thì đòi hỏi chúng ta cần có phương pháp tiếp cận đặc biệt. Trước hết ta cần phân tích về hình dạng xung vì đây là một đặc điểm quan trọng trong quá trình tiếp cận và tiền xử lý. Về hình dạng, các

xung UWB có độ rộng xung cỡ nano giây và có thể phân chia một xung UWB thành ba phần: phần thứ nhất là giai đoạn đầu của xung, giai đoạn này thì xung có dạng cực dốc; phần tiếp đó là khu vực xung quanh đỉnh của xung, phần này thì lại tương đối bằng phẳng; và phần thứ ba là giai đoạn cuối cùng của xung, phần này là sự suy giảm cực nhanh của xung. Từ đặc điểm đó chúng tôi thiết kế mạch nguyên lý bộ thu như Hình 7. Để tiền xử lý chúng tôi sử dụng bộ khuếch đại băng rộng và tiếng ồn thấp ERA-5SM, với hệ số khuếch đại cứng từ 15 đến 20 dB. Sau đó, tín hiệu được truyền tới khối so sánh điện áp, khối này được cấu tạo bởi IC so sánh điện áp ADCMP582, bộ chuyển đổi DAC AD5643R, và biến trở R7. Bộ chuyển đổi DAC và biến trở R7 đóng vai trò tạo ngưỡng điện áp tham chiếu. Tín hiệu đầu ra của ADCMP582 là tín hiệu dạng xung vuông có độ rộng xung cực nhỏ cỡ nano giây. Để xử lý các xung vuông có độ rộng xung nhỏ cỡ nano giây, tín hiệu đầu ra của ADCMP582 được đưa vào khối kéo dẫn độ rộng xung. Khối kéo dẫn độ rộng xung được cấu tạo bởi D-trigger SY10EP51V và SY10ET28L cùng với tín hiệu đồng bộ tạo bởi FPGA thông qua chân reset. Sau khi qua khối này, xung tín hiệu được “kéo dẫn” với độ rộng mong muốn khoảng 400 ns theo các mẫu tín hiệu nhận được.



Hình 7. Sơ đồ nguyên lý module thu UWB

KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

Thiết lập mô hình thử nghiệm

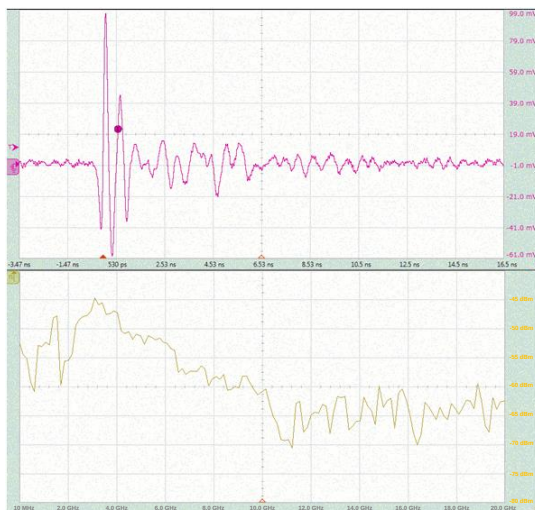
Các thiết bị chính dùng để thử nghiệm đánh giá kết quả thu phát tín hiệu UWB:

- 04 bộ phát UWB: DAPU-1, DAPU-2, SENSOR-1, và SENSOR-2;
- 01 module thu UWB;
- 01 module FPGA Artix-7;
- Thiết bị phân tích phổ;
- 01 máy tính PC + phần mềm hiển thị số liệu.

Các thử nghiệm và bàn luận

Thử nghiệm 1: Kiểm tra tín hiệu UWB

Thử nghiệm này chúng tôi ghi lại hình dạng của xung phát UWB để kiểm tra theo quy định của FCC. Như chúng ta có thể thấy thời gian xung UWB nhỏ hơn 10 ns, và phổ của nó (phía dưới) như được thấy trong Hình 8.



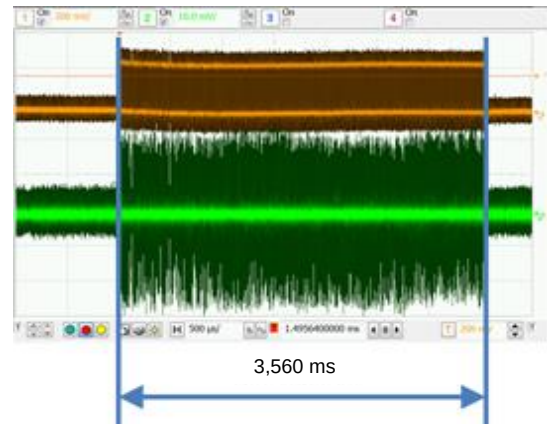
Hình 8. Xung phát UWB và phổ của nó

Từ Hình 8, ta thấy tín hiệu UWB có tần số trung tâm khoảng 4,2 GHz. Cũng theo đồ thị phổ ta ước tính tỷ số độ rộng băng tần là $FB = [(6-2)/4,2] * 100\% = 95\%$, mật độ phổ không vượt quá -41,3 dBm/MHz, vậy thỏa mãn yêu cầu của FCC về tín hiệu UWB.

Thử nghiệm 2: Kiểm tra truyền thông

Trong thử nghiệm về truyền thông, trước hết chúng tôi kiểm tra thời gian truyền gói tin, tiếp đó là kiểm tra chu kỳ truyền gói tin, và cuối cùng là kiểm tra tỷ lệ gói tin truyền thành công. Thiết lập thử nghiệm: các bộ phát đặt cách bộ thu 5 mét. Kết quả kiểm tra thời gian

truyền một gói tin của bộ phát DAPU-1 trình bày trên Hình 9.



Hình 9. Thời gian truyền một gói tin

Theo tính toán lý thuyết, tổng số bit truyền đi từ cổng SPI của vi xử lý đến module phát xung UWB là 28480 bits, tốc độ cổng SPI là 8 Mbps, vậy tổng thời gian truyền gói tin là: $28480 \text{ bits} * 125 \text{ (ns/bit)} = 3,560 \text{ ms}$.

Thử nghiệm tiếp theo về kiểm tra chu kỳ truyền gói tin, kết quả trình bày trên Hình 10.



Hình 10. Chu kỳ truyền gói tin

Theo lý thuyết, chúng tôi thiết lập chu kỳ truyền là 200 ms. Trong cả hai trường hợp truyền không lặp lại và lặp lại gói tin bốn lần, ta thấy khoảng thời gian truyền giữa hai lần liên tiếp là 200 ms, phù hợp với lý thuyết.

Thử nghiệm cuối cùng về truyền thông của hệ thống, chúng tôi kiểm tra về tỷ lệ truyền thông thành công. Thử nghiệm này, tất cả bốn bộ phát UWB được hoạt động và truyền các gói tin cho bộ thu, khoảng cách từ các bộ phát UWB đến bộ thu UWB là 5 mét. Kết quả được trình bày như trong Bảng 1, thống kê

trong 5 giờ liên tục. Từ Bảng 1, ta thấy tỷ lệ truyền thông thành công cao, do vấn đề xung đột đường truyền, tuy nhiên với kết quả đó thì có thể ứng dụng công nghệ này trong một số các hệ thống truyền thông không dây.

Bảng 1. Tỷ lệ truyền thông thành công

Tên bộ phát UWB	Tỷ lệ truyền thành công
DAPU-1	96,02%
DAPU-2	97,15%
SENSOR-1	96,09%
SENSOR-2	96,13%

KẾT LUẬN

Bài báo vừa trình bày kết quả nghiên cứu thiết kế hệ thống truyền thông không dây băng thông siêu rộng, trong đó trình bày chi tiết về thiết kế chế tạo bộ phát và bộ thu UWB. Từ những kết quả đó, chúng ta có thể phát triển cho nhiều ứng dụng khác nhau. Kết quả nghiên cứu của chúng tôi còn những hạn chế: thứ nhất là nghiên cứu dừng ở hệ thống truyền thông đơn liên kết, hướng tiếp theo là nghiên cứu hệ thống truyền thông đa liên kết; thứ hai là tỷ lệ truyền thông thành công chưa cao, nguyên nhân chính của vấn đề là do xung đột đường truyền, vì vậy cần tiếp tục nghiên cứu để giảm lỗi xung đột trên cơ sở cải tiến giao thức ALOHA.

SUMMARY

DESIGN OF A WIRELESS COMMUNICATION NETWORK SYSTEM BASED ON ULTRA-WIDEBAND TECHNOLOGY

Nguyen The Truyen¹, Nguyen The Vinh^{1*}, Nguyen Le Thuy Duong¹,
 Nguyen Xuan Dong¹, Dinh Duc Tung¹, Sergey V. Volvenko²,
 Sergey V. Zavjalov², Alexander S. Gruzdev², Andrey V. Rashich²

¹Vietnam Research Institute of Electronics, Informatics and Automation

²Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, Saint Petersburg, Russia

In this paper, design of a wireless communication network system based on ultra-wideband technology is presented. The ultra-wideband provides an interesting new technology for short range ultra high speed communications in the frequency band 3.1 GHz to 10.6 GHz. Unlike narrowband technologies that use sine waves to encode information, the ultra-wideband technology uses very short pulses (nanosecond). Therefore, the ultra-wideband has many advantages: i.e., ultra wide 7.5 GHz spectrum bandwidth, very low power consumption, etc. The results presented in this paper contribute to developments of wireless applications, such as energy-saving wireless sensor networks, indoor positioning systems.

Keywords: Ultra-Wideband; UWB Transmitter; UWB Receiver; On-Off keying; Impluse UWB

Ngày nhận bài: 18/01/2018; **Ngày phản biện:** 01/03/2018; **Ngày duyệt đăng:** 05/3/2018

*Tel: 0914 871304, Email: ntvacie@yahoo.com

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ghavami, M., et al., (2004), *Ultra-Wideband signals and systems in communication engineering*, Wiley, USA.
2. Osama Hassan Hussein Aly, et al., (2016), "Design and Implementation of Impulse Radio Ultra-Wideband Transmitter", *Proceedings of the 10th ICEENG Conference*, pp. 1-12.
3. Ameti, A., et al., (2004), "Ultra-Wideband Technology for Aircraft Wireless Intercommunications Systems Design", *IEEE Aerospace and Electronic Systems Magazine*, pp. 14-18.
4. Junhai Luo, Huanbin Gao, (2016), "Deep Belief Networks for Fingerprinting Indoor Localization Using Ultra-Wideband Technology", *International Journal of Distributed Sensor Networks*, pp. 1-8.
5. Immoreev I. Y., (2006), "Practical Application of Ultra-Wideband Radars", *IEEE Ultrawideband and Ultrashort Impulse Signals*, pp. 44-49.
6. A. R. Mohammed et al., (2012), "A Novel IR-UWB Pulse Generator Design Using BPM and FM Technique", *Journal of Electrical & Electronics Engineering*, pp. 1505-1509.
7. Md. Abdur Rahim, (2010), *Interference Mitigation Techniques to Support Coexistence of Ultra-Wideband Systems*, Vogt, Dresden.
8. Nguyễn Chí Nhân, và cộng sự, (2012), "Phân tích các tính chất vật lý của mô hình kênh Ultra-Wideband trong việc truyền thông ở khoảng cách ngắn", *Tạp chí phát triển KH&CN*, tr. 17-26.