

ULTRA-WIDEBAND

Nguyễn Phạm Anh Tùng

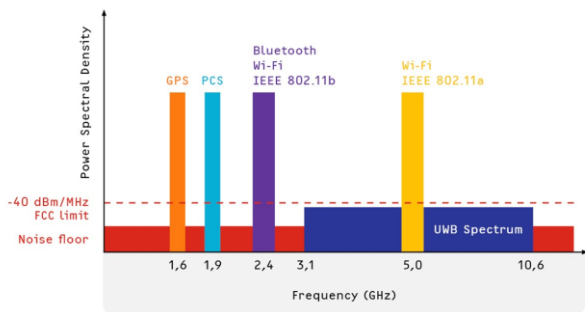
Tóm tắt—Công nghệ Ultra-Wideband (UWB) là một phương pháp truyền thông không dây sử dụng băng thông rộng vượt trội hơn so với các phương pháp truyền thông truyền thống. Trong các kỹ thuật truyền thông UWB, Direct Sequence (DS) là một trong những phương pháp phổ biến. Hiện nay, với sự phát triển của công nghệ, UWB không chỉ được sử dụng trong các ứng dụng quân sự, nó dần được sử dụng nhiều hơn trong các ứng dụng truyền thông, tích hợp vào điện thoại thông minh và những ứng dụng cá nhân hóa cho người dùng. Bài báo này sẽ nghiên cứu tổng quan về UWB, các module và một số ứng dụng sử dụng kỹ thuật DS-UWB

Index Terms—UWB: Ultra-WideBand, DSSS: Direct Sequence Spread Spectrum, PPM: Pulse Position Modulation, BPSK: Bi-Phase Shift Keying, LNA: Low Noise Amplifier, AGC: Automatic Gain Control.

I. TỔNG QUAN

ULTRA-WIDEBAND (UWB) là một công nghệ truyền thông không dây, đặc trưng bởi băng thông cực kỳ rộng với dải tần từ 3.1 đến 10.6 GHz và khả năng tích hợp vào các quy trình chi phí thấp, ít tiêu thụ năng lượng. UWB sử dụng các xung vô tuyến để truyền tín hiệu, độ phức tạp thấp và là giải pháp hiệu quả cho các ứng dụng yêu cầu độ chính xác về phạm vi thời gian. Tuy nhiên nó không phù hợp với các ứng dụng yêu cầu tốc độ cực cao và truyền trong không gian rộng.

UWB (Ultra-WideBand) có nghĩa là băng thông siêu rộng. UWB được tạo ra bằng cách sử dụng kỹ thuật DSSS (trải phổ chuỗi trực tiếp) để tạo ra các xung ngắn, rất nhanh, mỗi xung có thời lượng khoảng 1 nano giây. Vì xung càng ngắn nên phổ của UWB càng rộng nên yêu cầu băng thông rộng hơn nhiều so với các truyền thông hẹp thông thường.



Hình 1. Quy định của FCC đối với hệ thống UWB (FCC: Federal Communication Community)

A. Lịch sử phát triển

Năm 1960, công nghệ này phát triển đáng kể vào giữa thế kỷ 20, chủ yếu ở Mỹ. Lúc này, UWB bị giới hạn trong các ứng

dụng quân sự về radar và truyền thông từ những năm 1990. Năm 2002, Ủy ban Truyền Thông Liên Bang (FCC) đã chấp thuận, cho phép sử dụng không có giấy phép các hệ thống UWB trong các ứng dụng radar, an toàn công cộng và truyền thông dữ liệu. Tuy nhiên, các quy tắc nghiêm ngặt về tần số cho phép, giới hạn công suất và sự bất đồng giữa các nhà tham gia thị trường đã làm trì hoãn quá trình phát triển của UWB. Sau đó, UWB vẫn liên tục phát triển và được sử dụng trong nhiều ứng dụng cụ thể. Năm 2019, Apple là hãng đầu tiên bổ sung chip UWB cho các mẫu điện thoại thông minh mới nhất của mình.

B. Ưu điểm

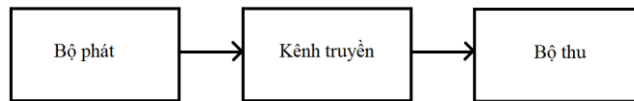
UWB có tốc độ truyền dữ liệu cao và có thể đạt hàng trăm đến vài Gbps nên thường được sử dụng trong các ứng dụng đòi hỏi truyền dữ liệu lớn trong khoảng cách ngắn. Chi phí thiết bị sử dụng UWB khá thấp, giá thành rẻ. Ngoài ra UWB còn sử dụng năng lượng thấp và có khả năng chống đa đường, chống lại những ảnh hưởng từ các tín hiệu phản xạ.

C. Thách thức

UWB chiếm một băng thông rất rộng, do vậy vấn đề quy định là một thách thức rất lớn. Sự thiếu thống nhất trong sự tương tác giữa các thiết bị UWB từ các nhà sản xuất khác nhau. Bên cạnh đó, vẫn còn gặp thách thức về nhiễu và hoạt động ở công suất thấp và những vấn đề liên quan tới an toàn và bảo mật trong truyền thông UWB.

II. HỆ THỐNG VÔ TUYẾN UWB

Ở chương 2 em sẽ nghiên cứu về hệ thống truyền thông vô tuyến của UWB. Đi sâu vào mô hình chung của một hệ thống giao tiếp thông tin vô tuyến [1] gồm bộ phát, bộ thu, kỹ thuật đa truy cập và nghiên cứu rõ hơn về từng khối của nó trong UWB.



Hình 2. Mô hình chung của một hệ thống giao tiếp.

Ở bộ phát, nhiệm vụ của nó là nhóm luồng dữ liệu kỹ thuật số thành các ký hiệu, ánh xạ các ký hiệu này vào một dạng sóng tương tự, sau đó truyền chúng ra không gian thông qua một anten. Kênh truyền làm nhiệm vụ biểu thị tác động của việc đi qua không gian, bao gồm sự phản chiếu và biến dạng khi các xung điện từ tác động lên vật khác. Ở bộ thu, thu thập năng lượng điện từ anten, tái tạo lại thành hình dạng xung, ánh xạ nó

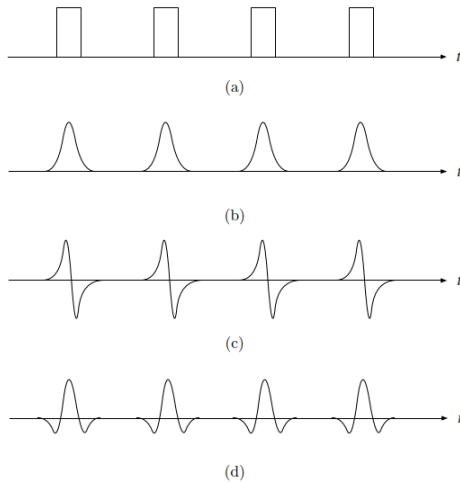
> MSSV: 21161420<

vào các ký hiệu phù hợp và sau đó vào luồng bit nhị phân.

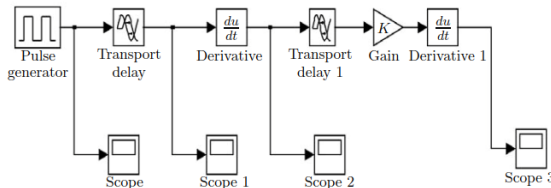
A. Tạo xung

Xung Gaussian được chọn để sử dụng trong hệ thống UWB cho việc truyền và nhận dữ liệu.

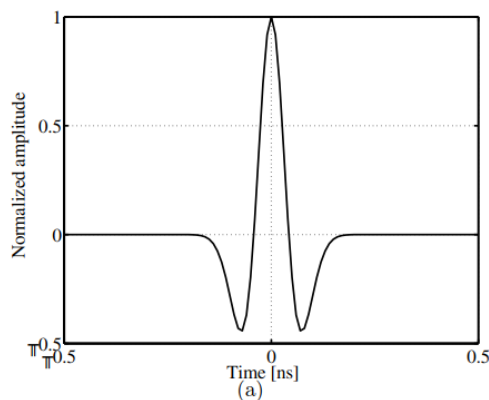
Tạo hình dạng xung: một xung vuông được tạo ra bằng cách bật tắt transistor, do các xung UWB thường có thời gian trong khoảng nano giây hoặc pico giây. Chuỗi xung vuông đưa vào bị biến đổi hình dạng, cách cạnh được làm mịn đi, sau khi đi qua đạo hàm bậc 2 thì tạo ra được xung Gaussian mong muốn [1].



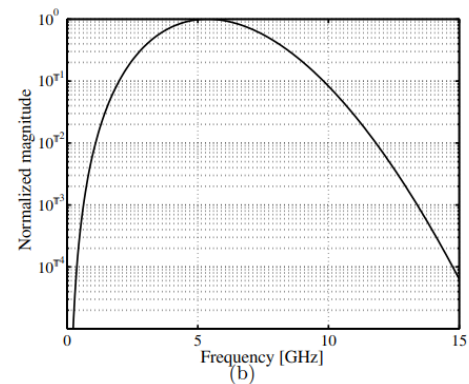
Hình 3. (a) Xung vuông; (b) xung giống gaussian; (c) Xung đạo hàm bậc nhất; (d) xung gaussian.



Hình 4. Mô hình mạch đơn giản trên matlab để tạo ra 2 chu kỳ Gaussian.



Hình 5. Hình dạng xung UWB lý tưởng



Hình 6. Hình dạng phổ của xung UWB lý tưởng

B. Phương pháp điều chế tín hiệu

Phương pháp điều chế trong UWB thường được chia thành 2 loại chính là kỹ thuật dựa trên thời gian và kỹ thuật dựa trên hình dạng xung. [1] Ở đây chúng ta sẽ đề cập tới 2 phương pháp điều chế phổ biến là điều chế PPM (điều chế vị trí xung) và điều chế BPSK (điều chế hình dạng xung).

Kỹ thuật dựa trên thời gian

Pulse position modulation (PPM)

Kỹ thuật dựa trên hình dạng xung

Bi-phase modulation (BPM)

On-off keying (OOK)

Pulse amplitude modulation (PAM)

General pulse shape modulation (e.g., orthogonal pulse modulation, OPM)

Hình 7. Những phương pháp điều chế cho UWB

PPM (Pulse Position Modulation) là phương pháp điều chế vị trí xung, tham số quan trọng trong PPM là tham số về độ trễ xung. Phương trình dưới đây [2] minh họa mối quan hệ giữa các xung đầu ra và tham số trễ τ_i :

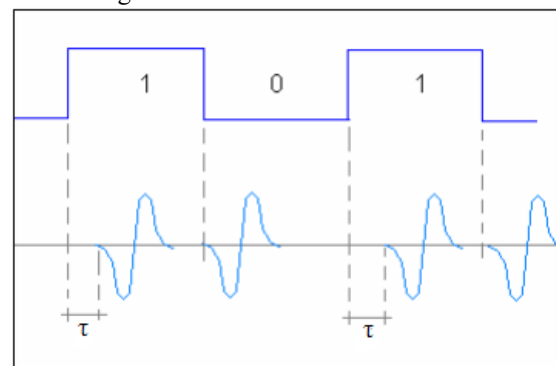
$$s_i = p(t - \tau_i) \quad (1)$$

Trong đó:

s_i : các xung được điều chế

τ_i : tham số trễ

t : thời gian



Hình 8. Dạng sóng của PPM

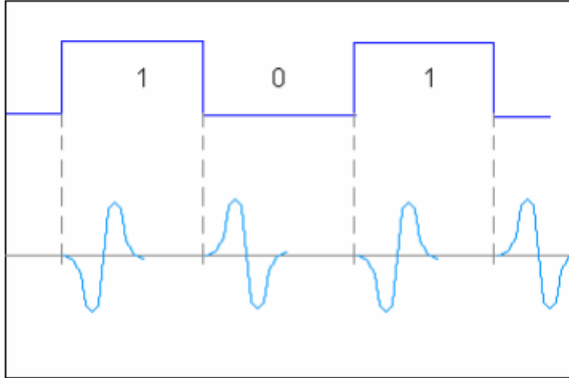
BPSK (Bi-Phase Shift Keying) là một phương pháp điều chế hình dạng xung bằng cách đảo pha hay đảo ngược một hình

> MSSV: 21161420<

dạng xung nào đó, nó được tuân theo phương trình dưới đây [2]:

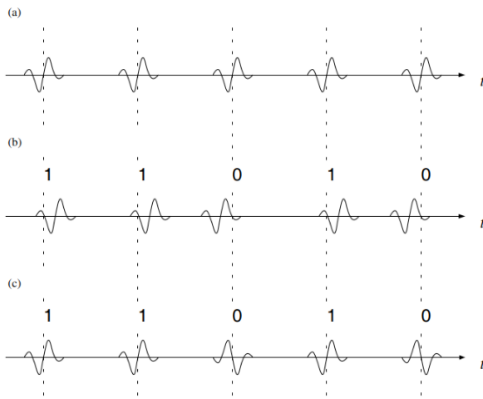
$$s_i = \sigma_i p(t) \quad (2)$$

Trong đó: $\sigma_i = 1$ hoặc -1 , được gọi là tham số hình dạng xung. Hai hình dạng xung s_1, s_2 được định nghĩa là $s_1 = p(t)$ và $s_2 = -p(t)$.



Hình 9. Dạng sóng của BPSK

Dưới đây là một ví dụ về chuỗi xung khi sử dụng điều chế PPM và BPSK:



Hình 10. (a) chuỗi xung chưa điều chế, (b) chuỗi xung được điều chế PPM, (c) chuỗi xung được điều chế BPSK.

C. Phương thức đa truy cập

Có 3 phương thức truy cập chính được sử dụng trong UWB là phương thức đa truy cập phân chia theo tần số, thời gian và mã [1]. Ở đây chúng ta xem xét tới phương thức đa truy cập theo mã, sử dụng kỹ thuật trải phổ chuỗi trực tiếp UWB hay DS-UWB.

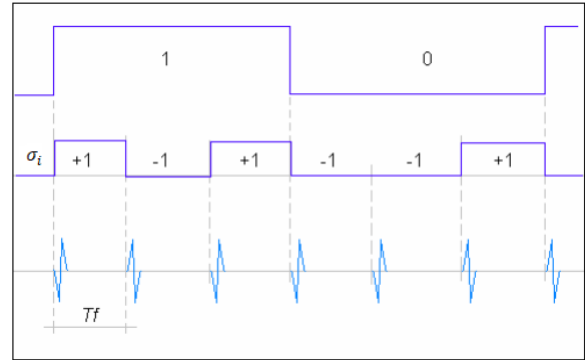
Kỹ thuật DS – UWB là một kỹ thuật đơn băng tần sử dụng các xung UWB hẹp và xử lý tín hiệu trên miền thời gian kết hợp với kỹ thuật trải phổ chuỗi trực tiếp (DSSS) để truyền và nhận thông tin. Cụ thể hơn, nó biến các bit thông tin cần truyền thành chuỗi xung nhị phân hoặc tam phân. Xung dương có thể được biểu diễn bằng bit “+1” và xung âm được biểu diễn bằng bit “-1” hoặc trong một số tài liệu thì xung âm được biểu diễn bằng bit “0” [3]. Bằng cách này, DS-UWB có thể tạo ra các xung rất ngắn và nhanh và truyền trong băng thông rộng hơn.

Trong kỹ thuật DS-UWB, tín hiệu được truyền cho một thiết bị sử dụng điều chế BPSK và được biểu diễn dưới dạng phương trình [2]:

$$s_{tr} = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} p_{tr}(t - iT_f) \sigma_i \left(2d \frac{i}{N_s} - 1 \right) \quad (3)$$

Trong đó:

- p : dạng sóng xung
- T_f : thời gian lặp lại xung
- σ_i : tham số hình dạng xung (mã giả ngẫu nhiên) nhận giá trị 1 hoặc -1
- d : dữ liệu nhị phân
- N_s : số lượng xung được truyền cho mỗi bit



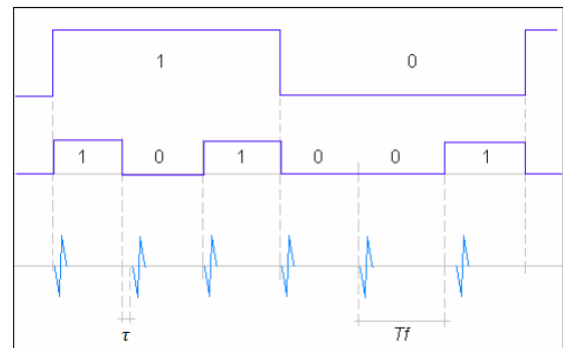
Hình 11. DS – UWB sử dụng BPSK

Mặt khác, trong kỹ thuật DS – UWB tín hiệu được truyền cho một thiết bị sử dụng điều chế PPM và được biểu diễn dưới dạng phương trình:

$$s_{tr} = \sum_{i=-\infty}^{i=\infty} p_{tr} \left(t - iT_f - \tau d \frac{i}{N_s} \oplus n_j \right) \quad (4)$$

Trong đó:

- p : dạng sóng xung
- T_f : thời gian lặp lại xung
- n_j : mã giả ngẫu nhiên nhận giá trị 0 hoặc 1
- d : dữ liệu nhị phân
- τ : tham số trễ
- N_s : số lượng xung được truyền cho mỗi bit



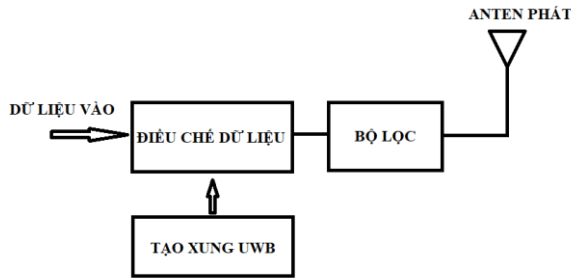
Hình 12. DS – UWB sử dụng PPM

D. Bộ phát

Ở bộ phát, dữ liệu được đưa vào và kết hợp với dạng xung UWB từ khối tạo xung, thông qua khối điều chế tín hiệu PPM hoặc BPSK sử dụng kỹ thuật DS – UWB để tạo ra các xung chuyển đến anten truyền đi, trước khi qua anten thì các xung

> MSSV: 21161420<

được qua khối bộ lọc để điều chỉnh và cải thiện tín hiệu, lọc nhiễu [4].



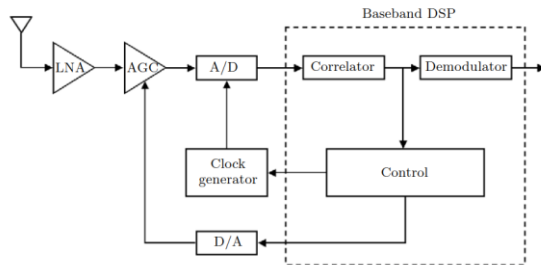
Hình 13. Bộ phát UWB.

E. Bộ thu

Để thu được các xung cực kỳ ngắn thì bộ thu đòi hỏi sự phức tạp hơn. Tín hiệu nhận đi vào bộ thu thông qua anten. Sau đó tín hiệu được lọc để loại bỏ nhiễu nằm ngoài dải tần cho phép, sau đó được tăng cường và khuếch đại bằng khối LNA (bộ khuếch đại tạp âm thấp). Đầu ra của khối LNA được đưa vào khối AGC để điều chỉnh tín hiệu ổn định. Sau đó, tín hiệu được số hóa bằng khối ADC và được giải điều chế giống với phương pháp điều chế ở bộ thu. Có 2 loại bộ thu phổ biến thường được sử dụng nhất là bộ thu tương quan (bộ lọc thích ứng) và bộ thu Rake [1].

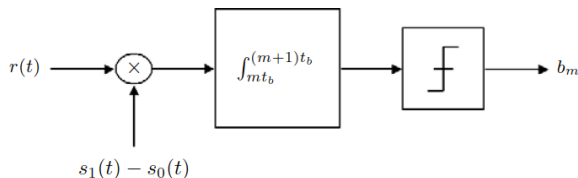
LNA (Low – Noise Amplifier): là một bộ khuếch đại tạp âm thấp, khuếch đại tín hiệu ở đầu bộ thu.

ADC (Automatic Gain Control): là một bộ điều chỉnh tự động độ lợi, duy trì mức tín hiệu đầu vào ổn định và phù hợp với quy mô hoặc yêu cầu xử lý tín hiệu của hệ thống.



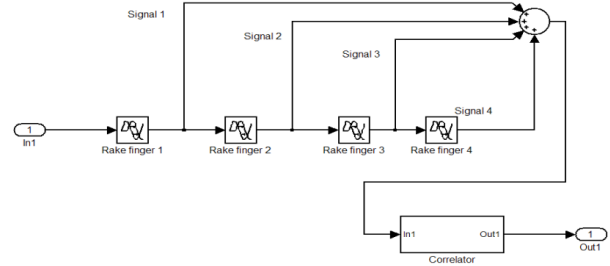
Hình 14. Bộ thu UWB

Bộ thu tương quan: tín hiệu nhận được tương quan với tín hiệu mong đợi, so sánh và đo lường độ tương quan giữa tín hiệu nhận được với tín hiệu mong đợi. Mục đích là để điều chỉnh tín hiệu nhận được để tối ưu hóa chất lượng và độ chính xác của dữ liệu [1].



Hình 15. Bộ thu tương quan

Bộ thu Rake: kênh không dây chịu hưởng từ tín hiệu đa đường, nó gây ra nhiễu của xung được truyền tới bộ thu. Do đó bộ thu Rake được sử dụng để cải thiện chất lượng nhận đồng thời giảm hiện tượng nhiễu bằng cách thu tín hiệu từ nhiều đường tại các thời điểm khác nhau, sau đó kết hợp lại để tăng cường độ chủ đích, sau đó qua khối tương quan rồi chuyển tới ngõ ra [4].



Hình 16. Bộ thu Rake

IV. ỨNG DỤNG

A. Ứng dụng UWB trong y học

Radar UWB trong y tế có thể được sử dụng như một máy ảnh cho y khoa, tương tự như cách radar xuyên mặt đất cung cấp hình ảnh về các đối tượng trong lòng đất. Các xung điện từ ngắn được truyền từ radar UWB có khả năng xâm nhập và khảo sát cơ thể con người. Có nhiều đề xuất về các ứng dụng trong lĩnh vực y học: đánh giá cơ học tim mạch, đánh giá chuyển động ngược, nghiên cứu cơ học mô mềm ... Ở đây chúng ta sẽ tìm hiểu về radar UWB được sử dụng trong y tế [1].

Radar UWB có thể theo dõi từ xa các hoạt động tim và hô hấp của bệnh nhân. Tín hiệu UWB có thời gian từ 0.2 đến 1ns được sử dụng để truyền các sóng điện từ.

Bộ phát sẽ tạo ra các chuỗi xung ngắn có thời gian khoảng 250ps, kích thích một anten và được phát vào không gian.

$$T = \frac{d}{c} \quad (5)$$

Trong đó:

d: là khoảng cách không gian giữa các xung

c: là tốc độ ánh sáng

T: là chu kỳ lặp lại của xung

Chuỗi xung này được phản xạ lại từ vật thể. Chu kỳ lặp lại của xung không đổi nếu vật thể đứng yên. Khi vật thể di chuyển theo quy luật tuần hoàn, vận tốc được biểu diễn dưới dạng phương trình:

$$V = V_s \sin(\omega_s t)$$

Và khoảng cách không gian giữa các xung được viết lại thành:

$$d_s = d - TV_s \sin(\omega_s t)$$

Do đó tần số lặp lại của xung sẽ bằng:

$$f_s = \frac{c}{d - TV_s \sin(\omega_s t)} = \frac{f}{1 - \left(\frac{V_s \sin(\omega_s t)}{c} \right)} \quad (6)$$

Như vậy chúng ta thu được một tín hiệu tần số biến thiên với mối quan hệ phi tuyến giữa tần số và vận tốc di chuyển. Chuỗi xung sẽ được module hóa, mang thông tin về thông số và đặc tính của các cơ quan được kiểm tra.

> MSSV: 21161420<

B. Ứng dụng UWB trên điện thoại thông minh

Công nghệ “AirTag” của Apple. AirTag là một thiết bị có dạng chiếc đĩa hình tròn nhỏ có kích thước giống như nắp chai, có thể được bỏ vào các đồ dùng cá nhân như xe, balo, vali, chìa khóa,..và sử dụng iphone có tích hợp con chip U1 sử dụng công nghệ UWB để định vị chính xác và tìm kiếm nó trong khoảng cách 10m.



Nguyễn Phạm Anh Tùng đang theo học ngành CNKT Điện tử - Viễn thông, khoa Điện – Điện tử, trường đại học Sư Phạm Kỹ Thuật thành phố Hồ Chí Minh.

Hình 17. Thiết bị AirTag

V. KẾT LUẬN

Trong bài báo này em đã nghiên cứu tổng quan về công nghệ UWB, kỹ thuật được sử dụng, các module cũng như các ứng dụng của UWB. Đã nêu rõ được lên các khối của bộ phát, các hoạt động. Nhưng với bộ thu, mới trình bày được tổng quan các khối, chưa đi sâu vào cách hoạt động cũng như việc giải điều chế tín hiệu thu.

Công nghệ UWB là công nghệ có tiềm năng vô cùng to lớn trong tương lai với nhiều ứng dụng đa dạng, là lựa chọn ưu tiên trong việc xác định vị trí trong nhà, kết nối IoT và lĩnh vực ô tô tự lái. Có độ chính xác cao cũng như khả năng tiêu tốn năng lượng ít khiến UWB trở thành một công nghệ hứa hẹn cho nhiều ứng dụng trong tương lai bao gồm cả y tế, công nghiệp và các lĩnh vực khác.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. Ghavami, L. B. Michael, R. Kohno, Ultra-Wideband Signals and Systems in Communication Engineering, England: John Wiley & Sons Ltd, 2007.
- [2] S. R. Duenas, "Design of a DS-UWB Transceiver," Master Thesis IMIT/LECS, Stockholm, 2005.
- [3] Roberto Aiello, Anuj Batra, "Direct-Sequence UWB," in *Ultra Wideband Systems*, Elsevier Inc., 2006, p. 147.
- [4] Nguyễn Chí Nhân, Nguyễn Văn Thái Bình, Dương Hoài Nghĩa, Đinh Văn Anh, "Thiết kế và mô phỏng hệ thống UWB và đề xuất giải pháp kết nối UWB trong mạch tích hợp 3-D," Tạp Chí Khoa Học Giáo Dục Kỹ Thuật, số 20(2011), Tp Hồ Chí Minh, 2011.