

THIẾT KẾ PHẦN CỨNG BỘ ĐIỀU CHẾ SỐ TÍCH HỢP CỦA CHUẨN 802.11AH SỬ DỤNG CHO IoT

Hoàng Đại Long*, Nguyễn Đức Nhật Quang, Vương Quang Phước

Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ Vật liệu, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: longhoang@husc.edu.vn

Ngày nhận bài: 22/6/2022; ngày hoàn thành phản biện: 28/6/2022; ngày duyệt đăng: 4/8/2022

TÓM TẮT

Công nghệ Internet vạn vật - Internet of Things (IoT) đang trở nên rất phổ biến và trở thành xu hướng công nghệ của tương lai, cho phép kết nối tất cả các thiết bị với nhau. Trong hệ sinh thái IoT, các thiết bị được kết nối và trao đổi thông tin với nhau chủ yếu dựa trên nền tảng truyền thông vô tuyến. Hiện nay, có nhiều chuẩn vô tuyến đã và đang được phát triển nhằm phục vụ cho quá trình này. Một trong các chuẩn không dây thu hút được nhiều sự quan tâm nghiên cứu là chuẩn 802.11ah, đây là chuẩn không dây mới với nhiều ưu điểm như: có vùng phủ rộng, công suất tiêu thụ thấp và chi phí thấp. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện nghiên cứu về chuẩn 802.11ah, cụ thể là lớp vật lý, từ đó đề xuất thiết kế phần cứng của bộ điều chế số tích hợp, cho phép thực hiện nhiều định dạng điều chế từ đơn giản đến phức tạp (BPSK, QPSK, 16-256 QAM) theo chuẩn 802.11ah. Phần cứng được chúng tôi thiết kế bằng ngôn ngữ mô tả phần cứng Verilog và kiểm thử bằng phần mềm mô phỏng ModelSim.

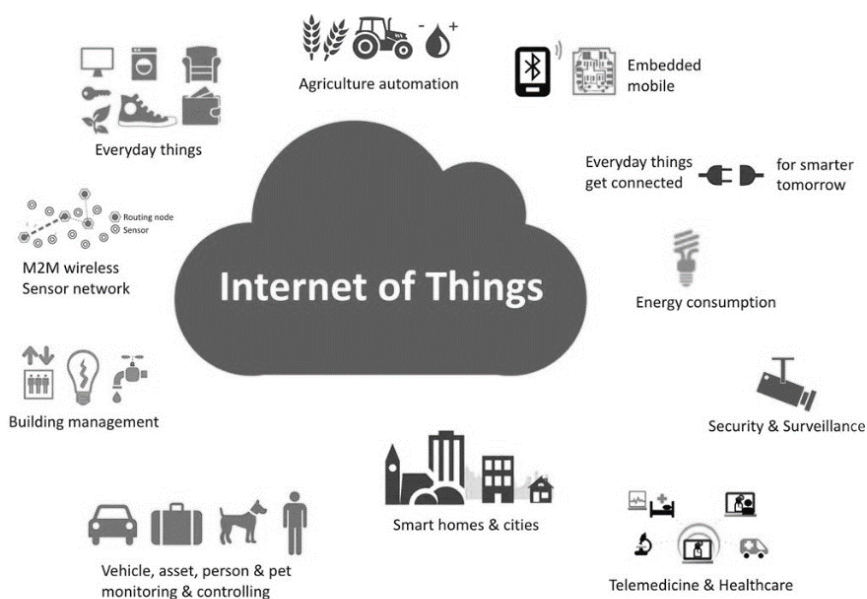
Từ khóa: 802.11ah, thiết kế phần cứng, bộ điều chế tích hợp.

1. MỞ ĐẦU

Ngày nay, Internet vạn vật - Internet of Things (IoT) trở nên rất phổ biến và đóng vai trò quan trọng trong nhiều ứng dụng như thành phố thông minh, lưới điện thông minh, nông nghiệp thông minh và chăm sóc sức khỏe thông minh như Hình 1 [1]. Các ứng dụng IoT được kết nối chủ yếu dựa vào trên các kết nối không dây. Trong số nhiều mạng vô tuyến như Zigbee, LoRa, Bluetooth LowEnergy, v.v., IEEE 802.11ah là một ứng cử viên trong việc phát triển bộ thu phát cho các ứng dụng IoT. Một số ưu điểm nổi bật của chuẩn 802.11ah có thể kể đến: vùng phủ sóng lớn (lên đến 1 km); hỗ trợ số lượng lớn thiết bị (lên tới 8192 thiết bị trên mỗi điểm truy cập); công suất và chi phí thấp [2]. Để đạt được những ưu điểm trên, chuẩn 802.11ah có nhiều thay đổi so với các chuẩn 802.11 khác, cụ thể là ở lớp điều khiển truy nhập đường truyền - Media Access Control

(MAC) và lớp vật lý - Physical layer (PHY). Trong đó, lớp MAC cung cấp giao thức và các cơ chế điều khiển cần thiết cho một phương pháp truy cập kênh nhất định. Lớp PHY là lớp thấp nhất trong mô hình bảy tầng OSI - Open Systems Interconnection, cung cấp phương tiện truyền tín hiệu thô sơ ở dạng bit. Tầng này thường được hiểu là phần cứng của mạng truyền thông.

Hiện nay, việc tìm hiểu, nghiên cứu về các chuẩn không dây cho IoT đang được các nhà nghiên cứu trên thế giới triển khai. Trong nghiên cứu [3] giới thiệu một số chuẩn không dây cho IoT, nghiên cứu [4] trình bày về chuẩn không dây LoRa và NB-IoT cho IoT, chuẩn không dây 802.11ah được giới thiệu trong nghiên cứu [5]. Ở Việt Nam, việc nghiên cứu các chuẩn không dây cũng như các ứng dụng của IoT đang được thực hiện như trong các nghiên cứu [6], [7], [8]. Tuy nhiên, việc nghiên cứu và thiết kế phần cứng cho các chuẩn không dây như 802.11ah hầu như chưa được thực hiện. Vì vậy, với mục đích nghiên cứu thiết kế phần cứng nói chung và cho chuẩn 802.11ah nói riêng, chúng tôi đã thực hiện nghiên cứu và thiết kế phần cứng cho bộ điều chế số tích hợp của chuẩn 802.11 ah, bao gồm các kiểu điều chế BPSK, QPSK, 16-256 QAM. Đây là cơ sở cho việc thiết kế phần cứng toàn bộ lớp vật lý của chuẩn 802.11ah.



Hình 1. Các ứng dụng của Internet vạn vật [1].

Trong bài báo này chúng tôi trình bày về việc thiết kế phần cứng của khối điều chế tích số hợp của chuẩn không dây 802.11ah cho các ứng dụng IoT với các nội dung. Phần mở đầu giới thiệu về mục đích thiết kế phần cứng. Giới thiệu về chuẩn 802.11ah được trình bày ở phần 2. Phần 3 mô tả về các kiểu điều chế số sẽ được thiết kế. Phần 4 trình bày về quá trình thiết kế phần cứng và kiểm thử. Cuối cùng là kết luận của bài báo.

2. CHUẨN KHÔNG DÂY 802.11ah

2.1. Giới thiệu về chuẩn 802.11ah

IEEE 802.11ah hay thường gọi là HaLow là công nghệ được sử dụng để cải thiện Wi-Fi bằng cách hoạt động ở dải phổ dưới 1 GHz để cung cấp phạm vi rộng hơn và kết nối với mức tiêu thụ điện năng thấp hơn. Đây là chuẩn giao thức được đánh giá phù hợp và lý tưởng cho các thiết bị IoT, vốn cần hoạt động trong phạm vi rộng nhưng không cần tốc độ truyền dữ liệu thông qua môi trường vô tuyến quá lớn.

Nhờ các đặc tính lan truyền của phổ tần số thấp, chuẩn 802.11ah có thể cung cấp phạm vi truyền dẫn lớn hơn so với các WLAN 802.11 thông thường hoạt động ở băng tần 2,4 GHz và 5 GHz. Chuẩn 802.11ah có thể được sử dụng cho các mục đích khác nhau như mạng cảm biến quy mô lớn, điểm phát sóng mở rộng và Wi-Fi ngoài trời để giảm tải lưu lượng di động, trong khi băng thông khả dụng tương đối hẹp [9].

Bản sửa đổi IEEE 802.11ah nhằm mục đích định nghĩa một lớp vật lý mở rộng với kỹ thuật ghép kênh phân chia theo tần số trực giao (OFDM) cho phép sử dụng các băng tần công nghiệp, khoa học và y tế - Industrial, Scientific and Medical (ISM) miễn cấp phép dưới 1 GHz, có sẵn để truyền vô tuyến ở một số khu vực, bao gồm Trung Quốc, Châu Âu, Nhật Bản, Singapore, Hàn Quốc và Hoa Kỳ [10].

2.2. Các tính năng nổi bật của lớp vật lý 802.11ah

Lớp vật lý của chuẩn 802.11ah có một số thay đổi so với các chuẩn 802.11 trước và có một số tính năng nổi bật như sau [11]:

- ✓ Lớp vật lý 802.11ah kế thừa thiết kế cơ bản từ 802.11ac/n
 - Băng thông 20, 40, 80, 160 MHz giảm xuống 2, 4, 8, 16 MHz.
 - Hỗ trợ tối đa 4 luồng không gian.
- ✓ Hỗ trợ phạm vi mở rộng (1km).
 - Chế độ băng thông mới 1 MHz dựa trên chuyển đổi FFT 32 điểm.
 - Chế độ 150kbps được lặp lại ở mode BPSK, tốc độ mã $\frac{1}{2}$ và lặp lại ở mode MCS10 như Bảng 1.
- ✓ Hỗ trợ cụ thể cho môi trường ngoài trời.
 - Truyền tín hiệu pilot trong môi trường Doppler cao.
 - Khoảng thời gian bảo vệ dài hơn với khoảng thời gian bảo vệ kép (16 usec).
- ✓ Các mức đánh giá kênh - Clear Channel Assessment (CCA).
 - Loại 1 chủ yếu được sử dụng cho các trạm cảm biến:

- + Ưu tiên bảo vệ các đường truyền đang diễn ra và tăng phạm vi truyền của thiết bị.
- + -98 dBm trong kênh 1 MHz.
- Loại 2 chủ yếu được sử dụng cho các trạm không có cảm biến
- + Không cảm biến thiên về băng thông rộng hơn và tốc độ truyền dữ liệu cao hơn, tăng khả năng tái sử dụng băng thông.
- + - 89 dBm trong kênh 1 MHz.

Lược đồ mã hóa điều chế của 802.11ah sử dụng 10 mode từ MCS0 đến MCS10 với các kiểu điều chế từ BPSK, QPSK đến 256 QAM như ở Bảng 1 [11]. Tốc độ truyền dữ liệu nằm trong khoảng từ 150Kbps đến 86,67 Mbps cho 1 luồng không gian, trong đó 802.11ah hỗ trợ tối đa 4 luồng không gian [11].

Bảng 1. Các kiểu điều chế và tốc độ hỗ trợ với các băng tần của chuẩn 802.11ah [11].

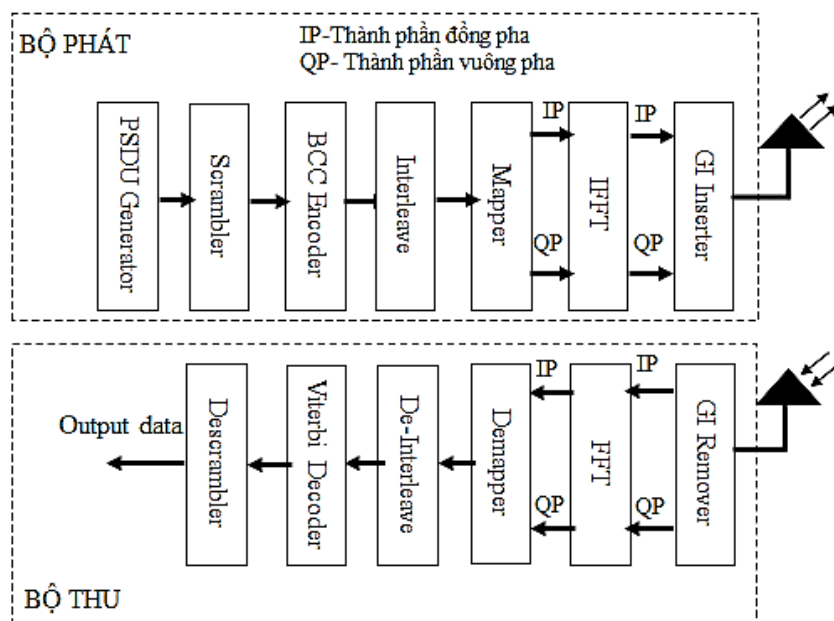
	Điều chế	Mã hóa	1 MHz (Mbps)	2 MHz (Mbps)	4 MHz (Mbps)	8 MHz (Mbps)	16 MHz (Mbps)
MCS0	BPSK	1/2	0.3	0.65	1.5	3.25	6.5
MCS1	QPSK	1/2	0.6	1.3	3.0	6.5	13.0
MCS2	QPSK	3/4	0.9	1.95	4.5	9.75	19.5
MCS3	16QAM	1/2	1.2	2.6	6.0	13.0	26.0
MCS4	16QAM	3/4	1.8	3.9	9.0	19.5	39.0
MCS5	64QAM	2/3	2.4	5.2	12.0	26.0	52.0
MCS6	64QAM	3/4	2.7	5.85	13.5	29.25	58.5
MCS7	64QAM	5/6	3.0	6.5	15.0	32.5	65.0
MCS8	256QAM	3/4	3.6	7.8	18.0	39.0	78.0
MCS9	256QAM	5/6	4.0	N/A	20.0	43.33	86.67
MCS10	BPSK	1/2	0.15				

2.3. Khối thu phát lớp vật lý của chuẩn 802.11ah

Sơ đồ thu phát của lớp vật lý chuẩn 802.11ah được trình bày ở Hình 2. Ở phía phát, nguồn dữ liệu bit ngẫu nhiên được tạo ra bởi “PSDU Generator”. Các dòng bit này được xáo trộn bởi khối “Scrambler” để tránh một chuỗi gồm các bit 0 hoặc bit 1 liên tiếp. Chúng được mã hóa bằng mã chập nhội phân - Binary Convolutional Code (BCC) tại “BCC Encoder”. Sau đó, khối “Interleave” thực hiện hoán vị các bit được mã hóa. Tiếp theo, chúng được ánh xạ thành chòm sao tại khối “Mapper”. Trong khối “Mapper” sử dụng các kiểu điều chế khác nhau bao gồm BPSK, QPSK, 16-256 QAM. Dữ liệu đầu ra của “Mapper” đi qua khối “IFFT” là tín hiệu trực giao do kết quả của phép biến đổi

Fourier nhanh đảo ngược. Khối này cũng thay đổi miền tần số của dữ liệu thành miền thời gian. Ký tự ghép kênh phân chia theo tần số trực giao - Orthogonal Frequency Division Multiplexing (OFDM) được đưa vào một khoảng bảo vệ tại khối “GI Inserter” để tránh nhiễu giữa của các ký tự liền kề. Cuối cùng, các dòng bit này được truyền đến máy phát để truyền đi qua kênh truyền vô tuyến.

Ở phía máy thu, các khối chức năng được xây dựng để thực hiện các hoạt động ngược lại. Lúc đầu, các khoảng bảo vệ bị loại bỏ khi nhận dòng bit tại khối “GI Remover”.



Hình 2. Sơ đồ thu phát lớp vật lý của 802.11ah.

Tiếp theo, dữ liệu được chuyển đổi từ miền thời gian sang miền tần số bằng cách thực hiện biến đổi Fourier nhanh tại khối “FFT”. Sau đó dữ liệu được giải điều chế tại khối “Demapper”. Khối “De-Interleave” chuyển đổi thứ tự bit về vị trí ban đầu. Khối “Interleave” và “De-Interleave” được sử dụng để giảm ảnh hưởng của lỗi cụm dữ liệu. Dữ liệu nhận được sẽ được giải mã tại khối “Viterbi Decoder”. Cuối cùng, dữ liệu được giải xáo trộn tại khối “Descrambler” để khôi phục thông tin ban đầu. Thông tin chi tiết về sơ đồ thu phát lớp vật lý của chuẩn 802.11ah có thể tham khảo thêm trong nghiên cứu [12], [13].

3. KHỐI ĐIỀU CHẾ SỐ MAPPER

Trong phần này chúng tôi trình bày nguyên tắc hoạt động của khối điều chế số Mapper. Khối điều chế số Mapper của bộ phát ở lớp vật lý của chuẩn 802.11ah sử dụng các kiểu điều chế số BPSK, QPSK, 16-256 QAM. Trong điều chế kỹ thuật số, băng tần gốc được tách thành các thành phần đồng pha – Inphase Part (IP) và thành phần vuông pha

Bảng 2. Thông tin chuyển đổi của bộ điều chế BPSK/QPSK

Thông tin đầu vào (IP hoặc QP)	Đầu ra
0	-1
1	1

Bảng 3. Thông tin chuyển đổi của bộ điều chế 16-QAM

Thông tin đầu vào (IP hoặc QP)	Đầu ra 16- QAM
00	-3
01	-1
11	1
10	3

Bảng 4. Thông tin chuyển đổi của bộ điều chế 64-QAM

Thông tin đầu vào (IP or QP)	Đầu ra 64- QAM
000	-7
001	-5
011	-3
010	-1
110	1
111	3
101	5
100	7

Bảng 5. Thông tin chuyển đổi của bộ điều chế 256-QAM

Thông tin đầu vào (IP hoặc QP)	Đầu ra 256- QAM
0000	-15
0001	-13
0011	-11
0010	-9
0110	-7
0111	-5
0101	-3
0100	-1
1100	1
1101	3
1111	5
1110	7
1010	9
1011	11
1001	13
1000	15

– Quadrature Part (QP). Sự kết hợp của IP và QP được gọi là tín hiệu điều chế băng tần cơ sở. Biểu đồ chòm sao đại diện cho tất cả các ký hiệu điều chế có thể có sẽ được sử dụng bằng kỹ thuật điều chế để ánh xạ các bit thông tin. Các ký hiệu khác nhau này được biểu diễn trong mặt phẳng phức với các thông tin về biên độ và pha của chúng. Các giá trị đầu ra d được hình thành bằng cách nhân giá trị $(I + jQ)$ thu được với hệ số chuẩn hóa KMOD:

$$d = (I + jQ) * KMOD \quad (1)$$

Một số thông tin kỹ thuật đầu vào/ra của các định dạng điều chế được thực hiện trong nghiên cứu được trình bày tóm lược ở các Bảng 2 – 5 (tương ứng từ đơn giản đến phức tạp).

Hệ số chuẩn hóa KMOD với các giá trị cụ thể cho từng kiểu điều chế được thể hiện ở Bảng 6 [14]. Hệ số KMOD nhằm đảm bảo công suất trung bình giữa các tín hiệu ở đầu ra. Thông số về số bit, số trạng thái của các kiểu điều chế được thể hiện ở Bảng 6 [14].

Quá trình chuyển đổi thông tin của các khối Mapper này được thể hiện ở các Bảng 2 - 5. Đối với BPSK và QPSK thì dữ liệu đầu vào là 1 bit nhị phân 0 hoặc 1, đầu ra tương ứng sẽ là -1 và 1. Với 16-QAM thì đầu vào là 2 bit nhị phân, đầu ra tương ứng sẽ là -3, -1, 1, 3. Với 64-QAM dữ liệu đầu vào là 3 bit nhị phân, đầu ra tương ứng là -7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7. Với 256-QAM dữ liệu đầu vào là 4 bit nhị phân, đầu ra tương ứng là -15, -13, -11, -9, -7, -5, -3, -1, 1, 3, 5, 7, 9, 11, 13, 15.

Bảng 6. Thông số của các kiểu điều chế

Loại điều chế	Số bit/I(Q)	Số Bit/Ký tự	Số trạng thái	Hệ số chuẩn hóa.
BPSK	1	1	2	1
QPSK	1	2	4	$1/\sqrt{2}$
16-QAM	2	4	16	$1/\sqrt{10}$
64-QAM	3	6	64	$1/\sqrt{42}$
256-QAM	4	8	256	$1/\sqrt{170}$

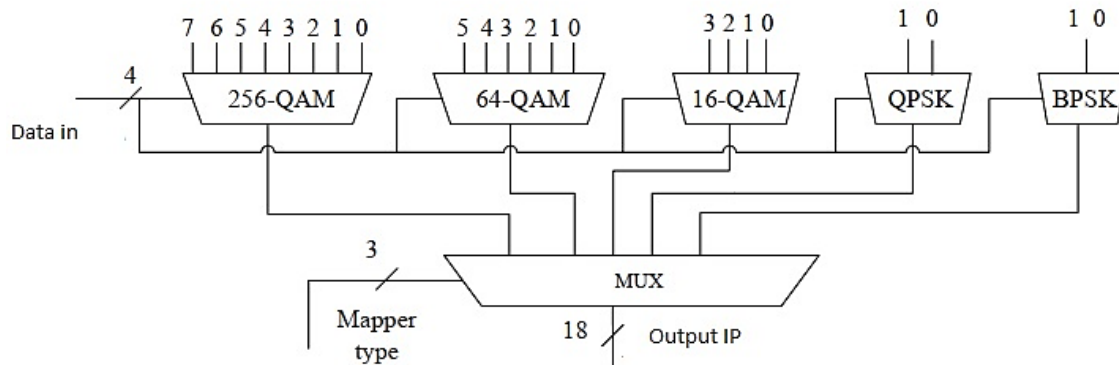
4. THIẾT KẾ PHẦN CỨNG VÀ KIỂM THỬ

Trong phần này, chúng tôi sẽ trình bày về quá trình thiết kế phần cứng bộ điều chế tích hợp bao gồm các kiểu điều chế số BPSK, QPSK, 16-256 QAM sử dụng ngôn ngữ mô tả phần cứng Verilog và được kiểm thử bằng mô phỏng sử dụng ModelSim.

4.1. Kiến trúc của khối phần cứng

Khối phần cứng của bộ điều chế số tích hợp bao gồm phần cứng của các khối đơn được tích hợp chung vào một khối phần cứng bằng cách sử dụng khối chọn kiểu điều chế. Dữ liệu đầu vào ở dạng nhị phân được chuyển đổi thành các tín hiệu IP và QP ở đầu ra ở dạng nhị phân cố định 18 bit với 1 bit dấu, 2 bit phần nguyên và 15 bit phần thập phân để biểu diễn đầu ra IP và QP.

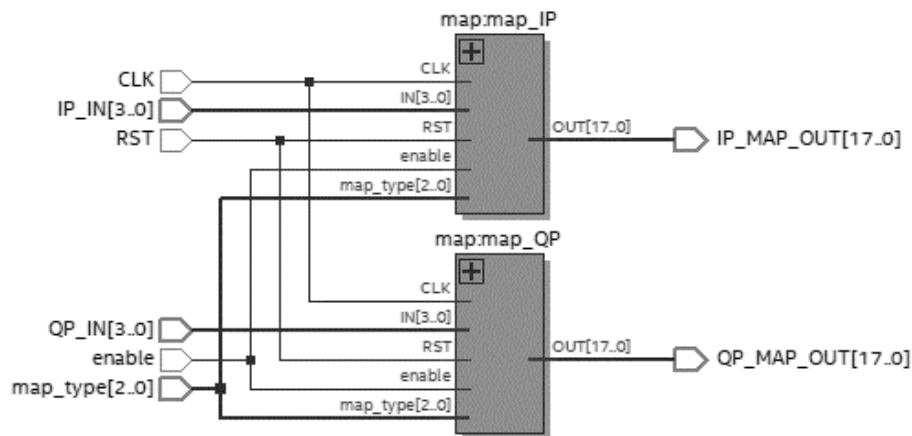
Về cấu trúc của các khối phần cứng BPSK, QPSK, 16-256 QAM, chúng tôi sử dụng cấu trúc Case của Verilog để thực hiện việc ánh xạ từ thông tin nhị phân đầu vào thành các giá trị thập phân IP và QP ở đầu ra dưới dạng nhị phân 18 bit. Cấu trúc của khối Mapper đảm bảo đơn giản về kiến trúc để tiết kiệm năng lượng cho các bộ thu phát sử dụng cho IoT như ở Hình 3.



Hình 3. Sơ đồ của bộ điều chế số tích hợp với thành phần IP.

Sau khi thiết kế khối điều chế số bằng ngôn ngữ Verilog, chúng tôi tổng hợp trên Intel Quartus Prime Version 16.0 được sơ đồ chân như Hình 4. Khối phần cứng bao gồm hai khối để xử lý tín hiệu IP và QP. Các tín hiệu điều khiển bao gồm: tín hiệu đồng hồ CLK, tín hiệu khởi động lại RST, tín hiệu cho phép ENABLE và tín hiệu chọn loại điều chế MAP_TYPE. Hai tín hiệu vào là tín hiệu vào IP (IP_IN) và QP (QP_IN). Sau khi điều chế, tín hiệu ra sẽ có hai thành phần là tín hiệu ra IP (IP_MAP_OUT) và tín hiệu ra QP (QP_MAP_OUT).

4.2. Kết quả kiểm thử phần cứng

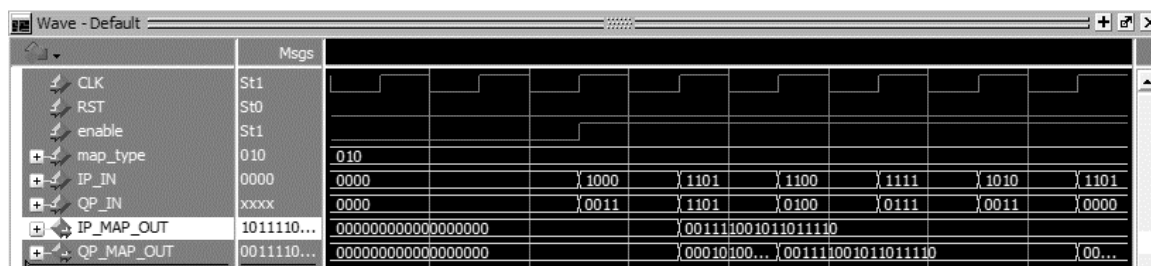


Hình 4. Sơ đồ chân của khối điều chế số tích hợp.

Để kiểm thử kết quả thiết kế phần cứng, chúng tôi viết testbench để kiểm tra khối thiết kế phần cứng và chạy mô phỏng trên ModelSim. Kết quả kiểm thử được thể hiện như ở Hình 5.

Qua kiểm tra biểu đồ dạng sóng trên ModelSim thể hiện được với một kiểu điều chế map_type thì tín hiệu đầu vào dạng nhị phân IP, QP sẽ được chuyển thành các tín hiệu đầu ra ở dạng nhị phân 18 bit tương ứng. Cụ thể, trong Hình 5 là kết quả kiểm thử

với kiểu điều chế $\text{map_type} = 3'b010$ tương ứng với kiểu điều chế 16-QAM. Khi có tín hiệu $\text{ENABLE}=1$ thì hai tín hiệu vào IP_IN và QP_IN được cho phép đưa vào. Ở đầu ra sẽ thu được tín hiệu IP_MAP_OUT và QP_MAP_OUT 18 bit nhị phân.



Hình 5. Kết quả chạy kiểm thử mô phỏng trên ModelSim.

Chúng tôi đã kiểm thử với tất cả các kiểu điều chế từ BPSK, QPSK, 16-256 QAM. Kết quả thu được qua phần mô phỏng phần cứng đúng với kết quả tính toán lý thuyết.

4. KẾT LUẬN

Tóm lại, qua nghiên cứu này chúng tôi đã tìm hiểu được chuẩn không dây 802.11ah có thể sử dụng cho IoT với nhiều ưu điểm về công suất thấp, vùng phủ rộng, số lượng thiết bị truy cập lớn. Chúng tôi đã nghiên cứu lớp vật lý, từ đó đã thiết kế phần cứng của bộ điều chế số tích hợp của chuẩn 802.11ah.

Kết quả thiết kế phần cứng được kiểm thử bằng mô phỏng trên ModelSim cho thấy kết quả chạy trên phần cứng đúng như lý thuyết. Đây là cơ sở để thiết kế phần cứng của toàn bộ các khối truyền nhận lớp vật lý của chuẩn không dây 802.11ah.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài cấp Đại học Huế mã số DHH2022-01-197.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] J. A. Stankovic, "Research directions for the internet of things. , 1(1):3-9,," *IEEE Internet of Things Journal*, pp. 3-9, 2014.
- [2] V. Banos-Gonzales, M.S. Afaqui, E. Lopez-Aguilera, E. Garcia-Villegas, "IEEE 802.11 ah: A technology to face the IoT challenge," *Sensors*, p. 1960, 2016.
- [3] S. Al-Sarawi, M. Anbar, K. Alieyan and M. Alzubaidi, "Internet of Things (IoT) communication protocols: Review," in *2017 8th International Conference on Information Technology (ICIT)*, Amman, Jordan, 2017.

- [4] Rashmi Sharan Sinha, Yiqiao Wei, Seung-Hoon Hwang, "A survey on LPWA technology: LoRa and NB-IoT," *ICT Express*, vol. 3, no. 1, pp. 14-21, 2017.
- [5] M. Park, "IEEE 802.11ah: sub-1-GHz license-exempt operation for the internet of things," *IEEE Communications Magazine*, vol. 53, pp. 145-151, 2015.
- [6] Phan Hải Phong, Hoàng Đại Long, "Nghiên cứu và triển khai một số mô hình mạng không dây Sub-1Ghz cho các ứng dụng IoT," *Tạp chí Khoa học và Công nghệ, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế*, 2021.
- [7] Trương Hùng Chen, Phạm Trung Đình, "Nghiên cứu IoT ứng dụng xây dựng mô hình nhà thông minh trong 10 năm trở lại đây," *Tạp chí Khoa học và Kinh tế phát triển số*, 2021.
- [8] V. V. Thanh, "Nghiên cứu ứng dụng IoT trong quan trắc và cảnh báo mức độ ô nhiễm nguồn nước," *Tạp chí khoa học và công nghệ Đại học Đà Nẵng*, vol. 17, 2019.
- [9] Weiping Sun, Munhwan Choi and Sunghyun Choi, "IEEE 802.11ah: A Long Range 802.11 WLAN at Sub 1 GHz," *Journal of ICT Standardization*, vol. 1, pp. 1-25, 2013.
- [10] S. Aust, R. V. Prasad and I. G. M. M. Niemegeers, "Outdoor Long-Range WLANs: A Lesson for IEEE 802.11ah," *IEEE Communications Surveys & Tutorials*, vol. 17, pp. 1761-1775, 2015.
- [11] E. Perahia, "Enabling Wi-Fi Internet of Things with 802.11ah Technology," 2015.
- [12] Dai Long Hoang, Thi Hong Tran, Yasuhiko Nakashima, "Performance Evaluation of 802.11ah Physical Layer Phase Encryption for IoT Applications," in *2018 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC)*, HCM, Vietnam, 2018.
- [13] Hoang DL, Tran TH, Nakashima Y. "A Low Complexity Joint Encryption-Modulation Method for IoT Sensor Transceivers," *Electronics*, 2020; 9(4):663.
- [14] Rajavelmurugan M1, Senthilganesh R, "Vector OFDM based power line communications for reducing SNR using non Gaussian function," *Journal of Applied Science and Computations*, vol. 4, no. 4, 2019.

HARDWARE DESIGN OF THE DIGITAL INTEGRATED MODULATION BLOCK OF 802.11AH FOR IoT

Hoang Dai Long*, Nguyen Duc Nhat Quang, Vuong Quang Phuoc

Faculty of Electronics, Electrical Engineering and Material Technology,
University of Sciences, Hue University

*Email: longhoang@husc.edu.vn

ABSTRACT

Internet of Things (IoT) technology that becomes popular nowadays allows many devices to connect together. In many IoT applications, the devices are connected via wireless communication. There are a number of wireless standards in the process of development for the connection purpose. Among them, 802.11ah that is a wide-area, low-power and low-cost technology is being developed for IoT applications. Therefore, in this article, we study about the 802.11ah standard and the detail of the physical layer. Then, we design the hardware of the digital integrated modulation with variety modes BPSK, QPSK, 16-256 QAM of the 802.11ah standard. The hardware is designed by using Verilog Hardware Description Language and tested by ModelSim.

Keywords: hardware implementation, digital modulation, IoT



Hoàng Đại Long sinh năm 1981 tại Thừa Thiên Huế. Ông tốt nghiệp cử nhân và thạc sĩ ngành thiết bị và hệ thống điện tử tại Đại học Bách Khoa Kiev, Ucraina vào năm 2005 và 2007. Ông nhận bằng tiến sĩ ngành Khoa học thông tin vào năm 2020 tại Viện Khoa học và công nghệ Nara, Nhật Bản. Hiện ông đang công tác tại Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ Vật liệu, Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Bảo mật cho IoT, hệ thống vô tuyến cho IoT, thiết kế tối ưu phần cứng



Nguyễn Đức Nhật Quang sinh ngày 08/10/1992 tại Thừa Thiên Huế. Năm 2015, ông tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành Điện tử viễn thông tại Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế. Năm 2020, ông nhận bằng thạc sĩ chuyên ngành Khoa học máy tính và Kỹ thuật thông tin (CSIE) tại Trường Đại học Quốc gia Thành Công (NCKU), Đài Loan. Hiện nay, ông đang công tác tại Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Thiết kế vi mạch số, Trí thông minh nhân tạo (AI), Internet vạn vật kết nối (IoT), Hệ thống nhúng.



Vương Quang Phước sinh ngày 14/08/1990 tại Thừa Thiên Huế. Năm 2013, ông tốt nghiệp kỹ sư chuyên ngành Điện tử viễn thông, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế. Năm 2018, ông nhận bằng thạc sĩ chuyên ngành Kỹ thuật Điện tử tại Trường Đại học Bách Khoa Đà Nẵng. Hiện nay, ông đang công tác tại Khoa Điện tử Viễn Thông, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế.

Lĩnh vực nghiên cứu: Hệ thống thông tin quang, mạng Neuron nhân tạo