

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN
KHOA KỸ THUẬT MÁY TÍNH

LƯỚ KHẢI THÔNG
NGUYỄN TRẦN KHA

KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP
THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐỌC UHF RFID
CẦM TAY HỖ TRỢ THANH TOÁN NHANH TRONG
SIÊU THỊ

**DESIGN AND FABRICATION A HANDHELD UHF RFID
READER FOR FAST SUPER MARKET CHECKOUT**

KÝ SỰ NGÀNH KỸ THUẬT MÁY TÍNH

TP. HỒ CHÍ MINH, 2020

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ THÔNG TIN
KHOA KỸ THUẬT MÁY TÍNH

LŨ KHẢI THÔNG – 15520855

NGUYỄN TRẦN KHA - 15520329

KHÓA LUẬN TỐT NGHIỆP
THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ ĐỌC UHF RFID
CẦM TAY HỖ TRỢ THANH TOÁN NHANH TRONG
SIÊU THỊ

**DESIGN AND FABRICATION A HANDHELD UHF RFID
READER FOR FAST SUPER MARKET CHECKOUT**

KỸ SỰ NGÀNH KỸ THUẬT MÁY TÍNH
GIẢNG VIÊN HƯỚNG DẪN
TS. TRỊNH LÊ HUY

TP. HỒ CHÍ MINH, 2020

DANH SÁCH HỘI ĐỒNG BẢO VỆ KHÓA LUẬN

Hội đồng chấm khóa luận tốt nghiệp, thành lập theo Quyết định số ngày của Hiệu trưởng Trường Đại học Công nghệ Thông tin.

1. – Chủ tịch.
2. – Thư ký.
3. – Ủy viên.

(trang nhận xét của giáo viên)

LỜI CẢM ƠN

Với tình cảm chân thành, em xin bày tỏ lòng biết ơn tới các thầy giáo, cô giáo trường Đại học Công nghệ Thông tin trong suốt quãng đường 5 năm học này đã tận tình giảng dạy và chăm sóc chúng em, truyền đạt cho chúng em nhiều kiến thức bổ ích để thực hiện khóa luận và có hành trang vững chắc cho sự nghiệp tương lai.

Chúng em đặc biệt muôn bày tỏ lòng biết ơn sâu sắc đến Tiến sĩ Trịnh Lê Huy, người đã ngần ngại tận tình giúp đỡ và dẫn dắt chúng em hoàn thành khóa luận này.

Ngoài ra, trong quá trình học tập, nghiên cứu và thực hiện đề tài chúng em muôn gửi lời cảm ơn đến bạn bè và người thân, những người đã dành sự quan tâm, góp ý, hỗ trợ tinh thần trong suốt quá trình làm khóa luận

Một lần nữa xin chân thành cảm ơn đến tất cả những người đã giành thời gian, công sức giúp đỡ chúng em hoàn thành khóa luận. Do giới hạn kiến thức và khả năng lý luận của bản thân còn nhiều thiếu sót và hạn chế, kính mong sự chỉ dẫn và đóng góp của các thầy cô giáo để khóa luận của em được hoàn thiện hơn.

Lữ Khải Thông – Nguyễn Trần Kha

(đè cương chi tiết)

MỤC LỤC

LỜI CẢM ƠN	5
Chương 1. TỔNG QUAN ĐỀ TÀI	3
1.1. Tình hình hiện tại.....	3
1.1.1. Phân tích mô hình hiện tại.....	4
1.1.2. Các giải pháp trong nước	5
1.1.3. Các giải pháp nước ngoài	6
1.2. Phương pháp của đề tài.....	9
1.3. Mục tiêu và đối tượng.....	10
1.3.1. Mục tiêu.....	10
1.3.2. Đối tượng nghiên cứu.....	10
1.4. Thuận lợi và khó khăn	10
1.4.1. Thuận lợi	10
1.4.2. Khó khăn	11
Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT	12
2.1. Nguyên lý hoạt động của UHF RFID.....	12
2.1.1. Các loại RFID.....	12
2.1.1.1. Low frequency RFID	12
2.1.1.2. High frequency RFID	13
2.1.1.3. Ultra high frequency RFID.....	14
2.1.2. Nguyên lý hoạt động của RFID cơ bản.....	16
2.2. Chuẩn EPCGlobal	17
2.2.1. Tag Data Standard (TDS).....	18
2.2.1.1. Dữ liệu của Gen 2 RFID tag	19

2.2.1.2. Electronic product code	21
2.2.1.3. Chuyển đổi mã vạch GTIN sang SGTIN.....	25
2.2.1.4. Chuyển đổi Định danh thuần EPC sang mã hóa nhị phân.....	27
2.2.2. UHF Class 1 Gen2 air interface	29
2.2.2.1. Giao diện vật lý.....	29
2.2.2.2. Giao diện logic.....	33
2.2.2.3. Các tham số cần lưu ý.....	36
2.2.3. Low level reader protocol (LLRP)	37
2.3. RFID tag	38
2.3.1. Các khái niệm cơ bản	38
2.3.2. RFID tag antenna.....	40
2.3.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng hoạt động của tag	42
2.4. Antenna của đầu đọc.....	42
2.4.1. Các thông số của antenna	45
2.5. Tìm hiểu về phần cứng	46
2.5.1. ESP32-WROOM-32.....	46
2.5.2. Thingmagic M6E Nano	48
2.5.3. Loadcell	49
2.5.4. HX711	49
2.6. Cơ sở lý thuyết phần mềm.....	50
2.6.1. Free RTOS.....	50
2.6.2. Giao thức Bluetooth SPP.....	50
2.6.3. Mercury API.....	50
2.6.4. Phần mềm mô phỏng HFSS	51

2.6.5.	Phần mềm vẽ CAD Onshape.....	51
2.6.6.	Android Studio	52
2.6.7.	SQLite	52
Chương 3.	PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG.....	53
3.1.	Tổng quan hệ thống	53
3.1.1.	RTOS trong đầu đọc.....	53
3.1.2.	Giao tiếp với phần mềm Android.....	54
3.1.3.	Thiết kế phần mềm Android.....	55
3.1.3.1.	Thiết kế database	55
3.1.3.2.	Thiết kế chức năng thanh toán.....	55
3.1.3.3.	Thiết kế chức năng nhập kho.....	57
3.1.3.4.	Thiết kế chức năng kiểm kho.....	59
3.1.4.	Thiết kế cân	60
3.1.5.	Thiết kế antenna	61
3.1.6.	Thiết kế board mạch	63
3.2.	Phương pháp đóng gói sản phẩm	65
Chương 4.	KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ	67
4.1.	Kết quả đạt được	67
4.1.1.	Antenna	67
4.1.1.1.	Mô phỏng lớp delay	67
4.1.1.2.	Mô phỏng lớp trên antenna.....	71
4.1.1.3.	Mô phỏng các thông số còn lại	73
4.1.1.4.	Đo đặc antenna thực tế	75
4.1.2.	Thiết bị đầu đọc UHF RFID.....	78

4.1.3.	So sánh với antenna trên thị trường.....	79
4.1.4.	Phần mềm Android.....	90
4.2.	Đánh giá.....	90
Chương 5.	HƯỚNG PHÁT TRIỂN	91

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Siêu thị Coopmart Lý Thường kiệt vào lúc 7h tối	3
Hình 1.2: Cảnh tượng xếp hàng đông đúc chờ thanh toán tại 1/11	4
Hình 1.3: Các giai đoạn trong quá trình mua hàng	5
Hình 1.4: Hệ thống thanh toán tự động của Regi robo	7
Hình 1.5: Hệ thống mới của thanh toán mới của Panasonic	7
Hình 2.1: Dãy tần số hoạt động của RFID	13
Hình 2.2: Giải pháp toàn cầu RFID RAIN.....	14
Hình 2.3: Các thành phần trong hệ thống hệ thống RFID	16
Hình 2.4: Cấu trúc EPC dùng tại mỗi tầng của hệ thống EPCglobal.....	19
Hình 2.5: Cấu trúc tổng quan các bank dữ liệu của tag Gen 2.....	20
Hình 2.6: So sánh cấu trúc của mã UPC và EAN	26
Hình 2.7: Company prefix và item reference trong UPC và EAN	26
Hình 2.8: Cách điều chế sóng ASK và PR-ASK	30
Hình 2.9: Sơ đồ thời gian một symbol của PIE	31
Hình 2.10: Dữ liệu được nén dưới dạng FM0.....	31
Hình 2.11: Ký hiệu kết thúc dữ liệu FM0	31
Hình 2.12: Dữ liệu được nén dưới dạng Miller	32
Hình 2.13: Ký tự kết thúc dữ liệu Miller	32
Hình 2.14: Hoạt động của từng session khác nhau	34
Hình 2.15: Các bước cơ bản giao tiếp giữa đầu đọc và tag	36
Hình 2.16: Từ trường được tạo ra bởi dòng điện trong dây dẫn thẳng	38
Hình 2.17: Điện trường được tạo ra bởi điện tích riêng lẻ.....	38
Hình 2.18: Sóng điện trường lan truyền trong không gian	39
Hình 2.19: Khoảng cách của near field và far field	39
Hình 2.20: Tần số hoạt động của RFID tại các trường	40
Hình 2.21: Hình dạng của các tag Half–Dipole	41
Hình 2.22: Hình dạng của các tag Modified Half–Dipole	41
Hình 2.23: Mô hình bức xạ của antenna đanding hướng	43

Hình 2.24: Mô hình bức xạ của antenna định hướng.....	43
Hình 2.25: Sóng điện từ của phân cực tuyến tính (bên trái) và phân cực tròn (bên phải).....	44
Hình 2.26: Sơ đồ smith chart	46
Hình 2.27: Module ESP32-WROOM-32.....	47
Hình 2.28: Loadcell.....	49
Hình 2.29: Module chuyển đổi tín hiệu Loadcell HX711	49
Hình 2.30: Logo Onshape	51
Hình 3.1: Sơ đồ tổng quan của hệ thống	53
Hình 3.2: Sơ đồ tổng quan thiết kế các tiến trình trên đầu đọc UHF RFID	54
Hình 3.3: Sơ đồ giao tiếp thiết bị với hệ thống	54
Hình 3.4: Thiết kế bảng cơ sở dữ liệu sản phẩm.....	55
Hình 3.5: Giao diện chức năng thanh toán.....	55
Hình 3.6: Sơ đồ hoạt động chức năng thanh toán	56
Hình 3.7: Giao diện chức năng nhập sản phẩm	57
Hình 3.8: Sơ đồ hoạt động của chức năng nhập sản phẩm vào kho	58
Hình 3.9: Giao diện chức năng kiểm tra sản phẩm trong kho	59
Hình 3.10: Sơ đồ hoạt động chức năng kiểm tra sản phẩm	59
Hình 3.12: Sơ đồ hoạt động của cân	60
Hình 3.13: Lớp trên chứa ba antenna chữ F ngược.....	62
Hình 3.14: Delay network ở lớp dưới	62
Hình 3.15: Đế hỗ trợ hàn antenna	63
Hình 3.16: Khối M6E Nano trong board đầu đọc.....	64
Hình 3.17: Khối ESP32 trong board đầu đọc.....	64
Hình 3.18: Khối cấp nguồn trong board đầu đọc	65
Hình 3.19: Cán súng và đế đựng pin.....	65
Hình 3.20: Hộp đựng thiết bị đọc UHF RFID	66
Hình 3.21: Nắp hộp đựng thiết bị đọc UHF RFID.....	66
Hình 4.1: Các tham số cấu tạo của antenna	67

Hình 4.2: Độ chênh lệch pha giữa các cổng antenna và tín hiệu gốc với Rin=27mm	68
Hình 4.3: Độ chênh lệch pha giữa các cổng antenna và tín hiệu gốc với Rin=29mm	68
Hình 4.4: Năng lượng đi vào các cổng antenna w3=3mm, w4=1mm	69
Hình 4.5: Năng lượng đi vào các cổng antenna w3=4mm, w4=1mm	69
Hình 4.6: Năng lượng đi vào các cổng antenna w3=4mm, w4=2mm	70
Hình 4.7: Năng lượng đi vào các cổng antenna w3=4mm, w4=1.4mm	70
Hình 4.8: Hệ số S11 của lớp antenna với lớp delay network lý tưởng	71
Hình 4.9: Hệ số S11 của lớp antenna + lớp delay network với tham số gamma và ant2l	72
Hình 4.10: Sự thay đổi của hệ số phản xạ khi thay đổi biến w1 và w2	73
Hình 4.11: Mô phỏng độ lợi của antenna	73
Hình 4.12: Mô phỏng tính định hướng của antenna	74
Hình 4.13: Mô phỏng smith chart của antenna	74
Hình 4.14: Mô phỏng hệ số Axial ratio của antenna	75
Hình 4.15: Antenna của đầu đọc a) lớp trên và b) lớp dưới	75
Hình 4.16: Đo hệ số S11 của antenna bằng máy VNA antenna analyzer	76
Hình 4.17: Kết quả đo thực tế hiệu năng của antenna	76
Hình 4.18: Kết quả đo thực tế hệ số định hướng của antenna	77
Hình 4.19: Board mạch đầu đọc UHF RFID	78
Hình 4.20: Kết quả đo tín hiệu 0dB xuất ra từ board mạch ở cấu hình tần số EU ..	78
Hình 4.21: Vùng Fresnel trong giao tiếp giữa điểm A và B	81
Hình 4.22: Các loại antenna trong lần đo đạc này	81
Hình 4.23: Môi trường thực hiện đo đạc	83
Hình 4.24: Vị trí đặt tag khi đo đạc, a) ngang, b) dọc, c) vuông góc	84
Hình 4.25: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag H47 so với antenna tham chiếu	85

Hình 4.26: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag E52 so với antenna tham chiếu	86
Hình 4.27: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag E44 so với antenna tham chiếu	87
Hình 4.28: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag ER62 so với antenna tham chiếu	88
Hình 4.29: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag AZ-D so với antenna tham chiếu	89

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1.1 So sánh các ưu và nhược điểm của các phương pháp	8
Bảng 2.1: So sánh các RFID trên các băng tần khác nhau	15
Bảng 2.2: Cấu trúc của định danh thuần EPC	21
Bảng 2.3: Cấu trúc EPC tag URI	22
Bảng 2.4: Các EPC Scheme và khóa GS1 tương ứng.....	23
Bảng 2.5: Cấu trúc định danh thuần EPC với scheme sgtin	27
Bảng 2.6: Cấu trúc EPC khi được mã hóa nhị phân	27
Bảng 2.7: Bảng giá trị filter cho mã hóa SGTIN	28
Bảng 2.8: Bảng mã header của mã hóa SGTIN	28
Bảng 2.9: Các dạng antenna của tag RFID	40
Bảng 4.1: Bảng so sánh thông số mô phỏng và thực tế của antenna	77
Bảng 4.2: Thông số của các loại antenna trong lần đo đặc này	80
Bảng 4.3: Công thức tính toán bán kính vùng Fresnel.....	80
Bảng 4.4: Các tag sử dụng trong lần đo đặc	83
Bảng 4.5: Giá trị đọc số lượng tag trong 10s của antenna tham chiếu	84

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Antenna CP	Antenna circular polarization
RFID	Radio frequency identification
UHF RFID	Ultra high frequency RFID
NFC	Near field communication
EPC	Electronic Product Code
ISO	International Organization for Standardization
EPCIS	Electronic Product Code Information Services
ALE	Application Level Events
RN16	Random Number 16 bit
SMA	Sub Miniature version A
FR4	Code name for glass-reinforced epoxy laminated sheets
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter

TÓM TẮT KHÓA LUẬN

Nhằm giảm thời gian thanh toán của các quầy tính tiền ở các siêu thị, cửa hàng tiện lợi cũng như việc quản lý kho hàng, Ultra-high frequency radio frequency identification (viết tắt là UHF RFID) là một giải pháp hiệu quả trong vấn đề này. Tuy nhiên do giá thành các thiết bị còn quá đắt, nên công nghệ này vẫn chưa được phổ biến rộng rãi.

Với đề tài “thiết kế và ứng dụng thiết bị UHF RFID cầm tay trong logistic và siêu thị thông minh” nhằm tạo ra một sản phẩm cầm tay giá rẻ có thể dùng tốt trong các môi trường nhất định như quầy tính tiền của siêu thị. Để giảm giá thành, thiết bị đã lược bỏ đi màn hình, sử dụng pin ngoài và sử dụng module UHF RFID có công suất thấp nhưng vẫn đảm bảo thực hiện được yêu cầu của đồ án. Do bị lược bỏ màn hình, thiết bị sẽ được điều khiển và giao tiếp hoàn toàn thông qua bluetooth và app Android hoặc qua cổng USB. App Android sẽ gồm các chức năng cơ bản như đọc, ghi dữ liệu, tra cứu database để biết được tên sản phẩm.

MỞ ĐẦU

Vấn đề bùng nổ dân số ở Việt Nam vẫn cùng với sự di cư sang các thành phố lớn như: Thành phố Hồ Chí Minh, Hà Nội, Đà Nẵng,... đã đem đến sức nặng không nhỏ đến chất lượng cuộc sống của người dân. Các vấn đề nổi trội như là kẹt xe, nhà ở, ô nhiễm không khí,... vẫn chưa có được hướng giải quyết triệt để, gây khó khăn trong việc di chuyển cũng như gây mất thời gian không ít của đại đa phần người sống ở thành phố. Với số lượng dân đông như vậy, các siêu thị cũng thường xuyên bị quá tải vào các giờ cao điểm, khiến thời gian thanh toán trung bình lên từ 1-2 phút (tính cả thời gian để vào bao nilon và tính tiền) cho 1 khách hàng với khoảng 5-6 sản phẩm. Khi số lượng người mua tăng lên, thời gian chờ đợi của mỗi khách sẽ tăng lên đáng kể. Ví dụ nếu có 5 khách hàng đợi thanh toán thì khách hàng thứ 6 sẽ có tổng thời gian đợi lên tới 5-10 phút, một con số đáng quan tâm trong cuộc sống vội vã hiện nay.

Đề tài khóa luận “**THIẾT KẾ VÀ CHẾ TẠO THIẾT BỊ UHF RFID CẨM TAY HỖ TRỢ THANH TOÁN NHANH TRONG SIÊU THỊ**” mong muốn sẽ thiết kế ra thiết bị UHF RFID có giá thành rẻ nhưng vẫn đủ khả năng hoạt động tốt trong môi trường quét sản phẩm khi thanh toán trong siêu thị. Do ưu điểm của UHF RFID là tốc độ quét nhanh và có khả năng quét nhiều tag được một lúc, thiết bị sẽ giảm thời gian chờ thanh toán lên đáng kể. Các yếu tố giảm giá thành so với các thiết bị trên thị trường như là: lược bỏ màn hình, sử dụng IC có công suất thấp, thiết kế antenna định hướng và chế tạo theo phương pháp PCB thay vì sử dụng antenna gốm (ceramic antenna) với giá thành cao. Ngoài ra thiết bị còn hỗ trợ các chuẩn kết nối như Bluetooth và USB.

Bài báo cáo này được chia thành 5 chương với nội dung chính như sau:

Chương 1: Tổng quan đề tài

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

Chương 3: Phân tích và thiết kế

Chương 4: Kết quả và đánh giá

Chương 5: Hướng phát triển

Chương 1. TỔNG QUAN ĐỀ TÀI

1.1. Tình hình hiện tại

Hiện nay, sau khi triển khai đề án “Phát triển hệ thống phân phối bán buôn, bán lẻ trên địa bàn TPHCM đến năm 2015, tầm nhìn đến năm 2020” [1], ngành thương mại thành phố đã có những thay đổi đáng kể. Các mô hình kinh doanh văn minh, hiện đại, các chuỗi siêu thị không ngừng phát triển, thay thế dần các chợ tự phát, các điểm bán lán chiếm lòng lề đường làm ảnh hưởng đến mỹ quan chung của thành phố. Vì vậy thói quen mua sắm hằng ngày của người dân cũng thay đổi. Thay vì đi đến các chợ theo mô hình cũ, người dân đã chọn đi đến các siêu thị lớn để lựa chọn các mặt hàng nhu yếu phẩm hàng ngày cho bản thân, gây nên hiện tượng quá tải vào các giờ cao điểm trong ngày.



Hình 1.1: Siêu thị Coopmart Lý Thường kiệt vào lúc 7h tối

Tuy nhiên, hiện tượng quá tải này lại đặc biệt nghiêm trọng khi đến các mùa lễ lớn, số lượng khách hàng sẽ thường tăng từ 2 đến 3 lần so với ngày thường. Ngoài ra, khi đang chạy chương trình khuyến mãi lớn, siêu thị cũng chịu áp lực không kém gì các ngày lễ. Điển hình như ngày 1 tháng 11, khi dịch vụ thanh toán

online momo hoàn tiền lên đến 50%, khiến không những các siêu thị trở nên đông nghẹt, mà còn ảnh hưởng đến các cửa hàng tiện lợi, các cây xăng dầu nằm trong chương trình khuyến mãi. Để thanh toán được trong những ngày này, người dùng có thể phải đợi thanh toán lên đến 30 phút.



Hình 1.2: Cảnh tượng xếp hàng đông đúc chờ thanh toán tại 1/11¹

1.1.1. Phân tích mô hình hiện tại

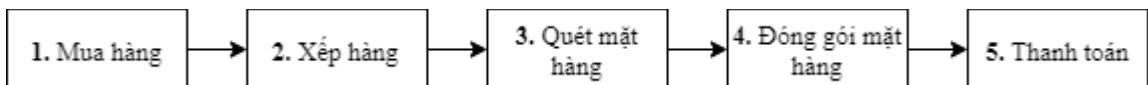
Quá trình mua hàng trong các siêu thị truyền thống được chia ra làm 5 giai đoạn như *Hình 1.3*:

- Mua hàng: Khách dùng xe đẩy hoặc giỏ xách được siêu thị cung cấp để lựa chọn các mặt hàng.
- Xếp hàng thanh toán: Thời gian chờ đợi sẽ tăng theo cấp số cộng với số lượng người chờ và mặt hàng cần thanh toán của những khách đi trước.

¹ Nguồn: MoMo

- Nhân viên quét mặt hàng: Nhân viên sẽ quét từng mặt hàng trong giỏ hàng của khách, số lượng hàng càng nhiều, thời gian đợi càng lâu.
- Đóng gói mặt hàng: Nhân viên xếp hàng đã được thanh toán vào bọc nilon hoặc túi xách của khách hàng.
- Thanh toán: sử dụng bằng tiền mặt hoặc thẻ nhưng vẫn có sự can thiệp của nhân viên.

Trong tất cả giai đoạn trên, giai đoạn thứ 2,3 và 4 ảnh hưởng nhiều nhất đến thời gian mua sắm của khách hàng trong siêu thị. Đặc biệt là giai đoạn 3 và 4, thời gian đợi trong giai đoạn đó sẽ được cộng dồn xuống cho khách hàng đang đợi trong giai đoạn 2. Tuy nhiên, đa số hệ thống hiện nay sử dụng đầu đọc barcode gây ra các hạn chế như là: chỉ quét được 1 vật phẩm 1 lần, một số barcode cong bẻ mặt sẽ phải quét lại nhiều lần, ...



Hình 1.3: Các giai đoạn trong quá trình mua hàng

1.1.2. Các giải pháp trong nước

Hiện nay các hệ thống siêu thị trên thế giới và trong nước đã và đang áp dụng các biện pháp khác nhau nhằm giúp khách hàng có thể thanh toán nhanh hơn và giảm thiểu tình trạng quá tải trong các siêu thị, cũng như việc giảm nhân lực và đưa siêu thị trở nên thông minh hơn.

Các hệ thống siêu thị lớn thường sẽ mở rộng thêm các quầy tính tiền mới, phân loại một số lượng quầy ưu tiên cho khách hàng VIP và khách hàng có số lượng hàng hóa ít hơn năm sản phẩm. Việc này giúp giảm thời gian chờ thanh toán đáng kể. Tuy nhiên số lượng quầy thanh toán có thể mở ra sẽ bị giới hạn bởi diện tích, chi phí mở thêm quầy sẽ khá cao và số lượng nhân viên sẽ tăng lên theo số lượng quầy mới được sinh ra.

Dịch vụ mua hàng online đang phát triển mạnh trong thời gian gần đây, các siêu thị cũng cung cấp các dịch vụ tương tự cho người tiêu dùng có thể mua sắm

hàng tiêu dùng ngay trên trang web hoặc app điện thoại mà không cần phải đến tận siêu thị. Tuy nhiên các hệ thống này còn chưa hoàn thiện và cần một số lượng nhân lực lớn để duy trì hoạt động. Một nhược điểm khác là việc mua online sẽ làm mất đi sự lựa chọn và cảm giác mua sắm như khi đi đến siêu thị.

Công ty Cổ phần VinID vào tháng 3 năm 2019 đã ra mắt tính năng VinMart Scan & Go cho hệ thống siêu thị VinMart và nhận được nhiều phản ứng tích cực từ người tiêu dùng. Với việc ứng dụng công nghệ thông tin vào mua sắm, khách hàng chỉ cần đem theo điện thoại đến siêu thị, scan mã QR của các mặt hàng cần mua, thanh toán qua online banking hoặc tại quầy ưu tiên, sau đó hàng sẽ được giao đến tận nhà hoặc nhận hàng tại quầy sau 2 tiếng. Hệ thống này giúp tiết kiệm được thời gian lên tới 90% vì đã lược bỏ đi các bước quét hàng, toàn bộ quá trình thanh toán có thể diễn ra chỉ trong 30 giây.

1.1.3. Các giải pháp nước ngoài

Vẫn đề phát triển hệ thống siêu thị thông minh cũng rất phát triển ở các nước phát triển trên thế giới. Dẫn đầu trong xu thế hiện tại đó chính là Amazon Go. Áp dụng các kỹ thuật xử lý hình ảnh và AI tiên tiến, Hệ thống của Amazon Go đã thành công trong việc loại bỏ hoàn toàn quầy thu ngân, giải quyết triệt để việc xếp hàng và quá tải trong các siêu thị hiện nay.

Để đối đầu với Amazon Go, nước Nhật Bản cũng phát triển mạnh trong lĩnh vực siêu thị thông minh. Giỏ hàng thông minh Regi robo của Panasonic [2] là giải pháp thanh toán tự động sử dụng công nghệ RFID, giúp hệ thống có thể xác định được số lượng sản phẩm trong giỏ chỉ qua 1 lần quét. Hệ thống kết hợp với các thành phần khác như hóa đơn điện tử, thiết bị đóng gói sản phẩm, Regi robo đã hoàn toàn loại bỏ sự can thiệp của nhân viên trong quá trình thanh toán.



Hình 1.4: Hệ thống thanh toán tự động của Regi robo¹

Phiên bản phát triển hơn của Regi robo cũng đã được phát triển và ra mắt vào đầu năm 2018. Hệ thống “RFID Based Walk-through Checkout Solution” [3] cho phép người dùng bước ra khỏi cửa hàng mà không cần phải đợi thanh toán hoặc đóng gói giò hàng như trước, mang lại những ưu thế tương đương như hệ thống của Amazon Go đem lại.



Hình 1.5: Hệ thống mới của thanh toán mới của Panasonic²

¹ Hình trong clip https://www.youtube.com/watch?v=Hpp-3Ver7ig&feature=emb_title

² Hình trong clip https://www.youtube.com/watch?v=TF8HAhUN_p4&feature=emb_title

Bảng 1.1 So sánh các ưu và nhược điểm của các phương pháp

Phương pháp	Ưu điểm	Nhược điểm
Tăng quầy thanh toán	<ul style="list-style-type: none"> Thời gian thanh toán giảm đáng kể Cải thiện giai đoạn 2,3 và 4 	<ul style="list-style-type: none"> Giới hạn bởi diện tích Tăng số lượng nhân viên
Mua sắm online	<ul style="list-style-type: none"> Khách hàng không cần đến cửa hàng để mua Lược bỏ giai đoạn 1 	<ul style="list-style-type: none"> Hệ thống chưa tốt Cần lượng lớn nhân viên để ship hàng Không thể kiểm tra chất lượng sản phẩm như khi mua tại cửa hàng
Scan and go	<ul style="list-style-type: none"> Giảm gần 90% thời gian chờ thanh toán Cải thiện lớn trong giai đoạn 1, 2 và 5 Lược bỏ giai đoạn 3, 4 	<ul style="list-style-type: none"> Cần lượng nhân viên lớn để duy trì hệ thống
Amazon Go	<ul style="list-style-type: none"> Không cần nhân viên đứng tại quầy Lược bỏ giai đoạn 2, 3 và 4 	<ul style="list-style-type: none"> Chỉ áp dụng được cho thanh toán thẻ Yêu cầu kỹ thuật cao để hoạt động chính xác. Khó triển khai vì phụ thuộc bố trí của từng cửa hàng
Regi robo	<ul style="list-style-type: none"> Không cần nhân viên đứng tại quầy Cải thiện giai đoạn 2,3 và 4 	<ul style="list-style-type: none"> Chỉ áp dụng được cho thanh toán thẻ Yêu cầu tất cả sản phẩm của cửa hàng phải quản lý theo các tag RFID

1.2. Phương pháp của đề tài

Các giải pháp nêu trên rất hiệu quả, tuy nhiên lại yêu cầu khoản đầu tư rất lớn để hiện thực các mô hình đó. Giá thành cao khiến cho việc các siêu thị khó có thể hiện thực các phương pháp trên vào thực tế.

Tham khảo từ các phương pháp trên, đề tài khóa luận này đề xuất phương pháp sử dụng UHF RFID thay thế mã vạch truyền thống trong các siêu thị hiện nay. Công nghệ UHF RFID có các ưu điểm nổi bật rất phù hợp với việc thanh toán trong siêu thị như là:

- Tốc độ đọc tag cao (100 -> 400 tag/s, tùy máy đọc).
- Đọc nhiều tag cùng lúc.
- Khoảng cách đọc xa lên đến 10m.

Từ các ưu điểm nêu trên, UHF RFID sẽ cải thiện đáng kể giai đoạn 3 (quét mặt hàng), giai đoạn gây mất thời gian nhất trong quá trình thanh toán. Thay vì thiết kế thiết bị “RFID Based Walk-through Checkout Solution” [3] hoặc Regi robo [2], gây chiếm diện tích và tăng giá thành, thay thế thiết bị đọc mã vạch sang thiết bị đọc tag UHF RFID sẽ giảm giá thành vì vẫn giữ được hệ thống thanh toán như cũ. Tuy nhiên các thiết bị đầu đọc UHF RFID hiện tại có giá thành rất mắc, giao động từ 500\$ đến 1500\$ nhưng lại có thông số hoạt động vượt quá nhu cầu scan sản phẩm trong siêu thị khi có khả năng đọc lên đến 10m. Trong khi đó giá thành của đầu đọc mã vạch chỉ giao động từ 500.000 đồng đến 5.000.00 đồng. Đề tài khóa luận này sẽ tập trung thiết kế đầu đọc UHF RFID giá rẻ cùng với phát triển phần mềm Android kèm theo. Các yếu tố giảm giá thành của thiết bị là:

- Lược bỏ màn hình: tất cả giá trị đọc được giao tiếp với điện thoại thông qua Bluetooth hoặc giao tiếp với máy tính qua RS232.
- Sử dụng IC có công suất thấp: giới hạn khả năng hoạt động của thiết bị trong tầm 1m không vật cản.
- Thiết kế antenna CP theo phương pháp PCB: Tăng hiệu năng thiết bị và giảm giá thành.

1.3. Mục tiêu và đối tượng

1.3.1. Mục tiêu

Đề tài này nghiên cứu và thiết kế thiết bị cầm tay UHF RFID có chức năng quét các sản phẩm trong siêu thị khi thanh toán. Thiết bị cần đạt các tiêu chí sau:

- Sử dụng protocol EPCGlobal Gen 2.
- Hoạt động tốt trong khoảng cách 1m không vật cản.
- Khả năng đọc lên đến 20 tags/s.
- Có khả năng ghi tag.
- Sử dụng antenna CP có tần số hoạt động từ 865MHz đến 868MHz giá rẻ (chế tạo bằng phương pháp làm mạch PCB).
- Hỗ trợ kết nối không dây Bluetooth.
- Điều khiển thông qua app Android.

1.3.2. Đối tượng nghiên cứu

- UHF RFID module ThingMagic M6E Nano.
- Bluetooth module ESP32.
- Protocol EPCGlobal Gen 2.
- Hệ điều hành thời gian thực Free RTOS.
- SQLite database.
- Ứng dụng Android và giao tiếp Bluetooth.

1.4. Thuận lợi và khó khăn

1.4.1. Thuận lợi

Trong quá trình thực hiện đề tài, nhận được nhiều sự giúp đỡ từ gia đình, bạn bè. Đặc biệt được sự giúp đỡ hết mình của giáo viên hướng dẫn. Ngoài ra, chúng em còn tiến sĩ Trịnh Lê Huy cung cấp các thiết bị chuyên dụng để phục vụ trong việc đo đạc và thiết kế antenna như spectrum analyzer, vector network analyzer, ... Các

kiến thức lập trình từ các môn học ở trường cũng giúp chúng em một phần lớn trong việc hoàn thiện đồ án này.

1.4.2. Khó khăn

Song song với các thuận lợi thì khi thực hiện đề tài cũng gặp những khó khăn nhất định. Mặc dù đã được cung cấp các thiết bị đo đặc chính xác, tuy nhiên việc sử dụng các thiết bị đo đắt tiền đây vẫn còn hạn chế về mặt kỹ thuật cũng như không thể dùng bất cứ lúc nào. Khi thử nghiệm thiết bị, cho tính chất của sóng điện từ, các thông số môi trường dường như không kiểm soát hoàn toàn, gây sai số nhất định trong kết quả thử nghiệm. Ngoài ra, không có thiết bị đo đặc beam sóng của antenna.

Thư viện Mecury dùng để điều khiển module UHF RFID M6E Nano và tất cả module khác của hãng ThingMagic được viết chủ yếu cho thư viện C# và java. Mặc dù có hỗ trợ cho thư viện C nhưng lại viết theo hướng đối tượng cùng với việc thư viện viết hỗ trợ nhiều board và chủ yếu dành cho các thiết bị máy tính có hệ điều hành nên việc tìm hiểu các điều khiển M6E cũng gặp nhiều khó khăn.

Chương 2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

2.1. Nguyên lý hoạt động của UHF RFID

RFID (Radio frequency identification) là thiết bị công nghệ sử dụng sóng radio để giao tiếp với nhau nhằm mục đích định danh hoặc định vị vật thể trong không gian. Công nghệ thường được sử dụng rộng rãi trong việc định danh các thành viên trong tổ chức như các loại thẻ nhân viên, thẻ học sinh, ... Ngoài ra, RFID cũng được sử dụng trong nhiều ứng dụng khác như chìa khóa xe, thanh toán thẻ, ...

2.1.1. Các loại RFID

RFID được phân ra làm 3 loại khác nhau dựa vào tần số nó sử dụng để giao tiếp:

- Low frequency (LF): sử dụng tần số 125 KHz.
- High frequency (HF): sử dụng tần số 13.56 MHz.
- Ultra high frequency (UHF): sử dụng tần số 856 MHz đến 960 MHz để giao tiếp.

Do tính chất sóng tại mỗi tần số khác nhau, mỗi loại RFID đều trên có những ưu điểm và nhược điểm riêng của nó. Tần số càng cao thì tốc độ truyền dữ liệu càng nhanh, tuy nhiên lại dễ bị ảnh hưởng bởi các tín hiệu nhiễu từ các nguồn khác. Tần số càng thấp mặc dù tốc độ truyền dữ liệu không cao, nhưng lại có khả năng đọc tốt ở cự ly gần, kể cả trên kim loại hoặc bề mặt chất lỏng, điều mà tần số cao phải sử dụng các tag chuyên dụng mới hoạt động được.

2.1.1.1. Low frequency RFID

Băng tần của LF trải dài từ 30 kHz đến 300 KHz. Hệ thống LF RFID thông thường hoạt động tại tần số 125 KHz, Tuy nhiên vẫn có một số hệ thống hoạt động tại 134 KHz. Băng tần LF này cung cấp khả năng đọc tầm gần với khoảng cách 10cm trở xuống và có tốc độ truyền dữ liệu thấp hơn các tần số cao hơn, nhưng bù

lại ít bị ảnh hưởng bởi các sóng radio khác. Ứng dụng của LF RFID bao gồm quản lý ra vào, định danh nhân sự và nhận diện động vật.

Tùy thuộc vào mỗi ứng dụng, LF RFID có các chuẩn riêng. Chuẩn ISO 14223 sử dụng trong các tag gắn vào trong động vật ở nhiều ví trí khác nhau. Chuẩn ISO/IEC 18000-2 thì lại sử dụng trong logistics. Băng tần LF thường không được xem là thiết bị sử dụng được trên toàn cầu vì có sự khác biệt nhất định về tần số và công suất phát tại mỗi nước.



* The orange text denotes that this frequency is authorized for use with RFID applications

Hình 2.1: Dãy tần số hoạt động của RFID¹

2.1.1.2. High frequency RFID

Băng tần HF trải dài từ 3 MHz đến 30 MHz. Đa số các hệ thống HF RFID hoạt động tại tần số 13.56 MHz với khả năng đọc trong khoảng cách từ 10cm đến 1m và dễ bị ảnh hưởng bởi nhiều hơn tần số LF. HF RFID thường được sử dụng trong thanh toán và các ứng dụng cần trao đổi dữ liệu với nhau.

Cũng như LF RFID, HF RFID cũng tồn tại nhiều chuẩn khác nhau như là chuẩn cho ứng dụng tracking hàng hóa ISO 15693, NFC sử dụng chuẩn ECMA-340 and ISO/IEC 18092. Ngoài ra còn các chuẩn ít thông dụng hơn như ISO/IEC 14443 A và ISO/IEC 14443 sử dụng trong công nghệ thanh toán không chạm MIFARE, V của NXP, và JIS X 6319-4 là chuẩn cho công nghệ FeliCa dùng trong thẻ thanh toán của Sony.

¹ Nguồn: <https://www.atlasrfidstore.com/rfid-beginners-guide/#introduction>

2.1.1.3. Ultra high frequency RFID

Băng tần UHF bắt đầu từ 300 MHz đến 3 GHz. Đứng đầu trong việc ứng dụng băng tần này là công nghệ RAIN RFID, sử dụng UHF RFID để giải quyết các bài toán định danh, xác định vị trí, xác thực cho các vật phẩm. RAIN RFID tuân thủ theo tiêu chuẩn UHF Gen2 và sử dụng trong khoảng tần số từ 860 MHz đến 960 MHz. Tùy theo từng vùng miền trên thế giới mà băng tần hoạt động của UHF RFID thay đổi như EU sử dụng 865MHz đến 867MHz, nhưng đa số các hệ thống RAIN RFID trên các nước hoạt động tần số từ 900 MHz và 915 MHz.



Hình 2.2: Giải pháp toàn cầu RFID RAIN¹

Khoảng cách đọc của hệ thống UHF bị động có thể lên đến 12m, và UHF RFID có tốc độ truyền data nhanh hơn so với LF và HF. Tuy nhiên hệ thống lại rất dễ bị nhiễu bởi các sóng radio khác, nhưng các sản phẩm UHF RFID hiện nay đã khắc phục được vấn đề này bằng cách thiết kế các tag, antenna và thiết bị đọc sao cho vẫn hoạt động tốt trong môi trường đặc biệt như tag nằm trên kim loại, bề mặt chất lỏng. Ngoài ra, passive UHF tag sản xuất đơn giản hơn và giá thành thấp hơn so với các LF và HF tag.

¹ Nguồn: <https://rainrfid.org/about-rain/what-is-rain/>

Một đặc điểm nổi bật của băng tần UHF so với các băng tần còn lại là chỉ được quy định bởi một chuẩn toàn cầu duy nhất: ECPglobal Gen2 (ISO 18000-63). Impinj, công ty hàng đầu về giải pháp RFID, là một trong các công ty tham gia việc phát triển tiêu chuẩn Gen2 này, vận động chính phủ quy định các dải tần số hoạt động và là công ty đồng sáng lập hiệp hội RAIN RFID cùng với các công ty lớn khác như Google, Intel và Smartrac. Nhờ vậy mà giải pháp RAID RFID được phổ biến trong nhiều lĩnh vực khác nhau.

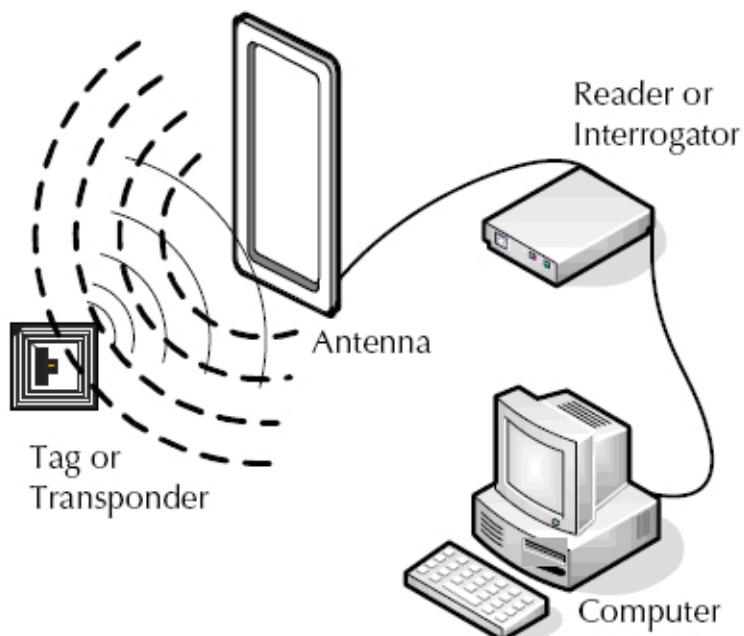
Bảng 2.1: So sánh các RFID trên các băng tần khác nhau

	UHF RFID	HF RFID	LF RFID
Khoảng cách	Lên đến 10m	10cm đến 1m	10 cm trở xuống
Tốc độ đọc	Cao	Trung bình	Thấp
Giá thành các tag	Từ 0.05 USD đến 0.15 USD	Từ 0.2 USD đến 0.3 USD	Từ 0.5 USD đến 2 USD
Hoạt động trên kim loại, bề mặt chất lỏng	Kém	Trung bình	Tốt
Chống nhiễu	Kém	Trung bình	Tốt
Khả năng đọc nhiều tag	Có	Có	Không
Chuẩn	Duy nhất 1 chuẩn: ECPglobal Gen2 (ISO 18000-63).	ISO 15693, ISO/IEC 18092, ISO/IEC 14443 A, ISO/IEC 14443, JIS X 6319-4, ...	ISO 14223, ISO/IEC 18000-2, ...

2.1.2. Nguyên lý hoạt động của RFID cơ bản

Một hệ thống RFID cơ bản (bất kể sử dụng tần số nào) thường có 4 thành phần:

- Host: Máy chủ điều khiển và xử lý tín hiệu đọc về từ reader.
- Reader hoặc Interrogator: Thiết bị đọc các tag UHF.
- Antenna: thành phần ánh hưởng lớn đến hiệu năng của hệ thống.
- Tag: Tùy theo môi trường xung quanh sẽ sử dụng các loại tag khác nhau.



Hình 2.3: Các thành phần trong hệ thống hệ thống RFID¹

Cách thức để một reader đọc các tag có thể chia làm 3 giai đoạn chính:

- Giai đoạn 1: Reader sẽ phát ra sóng điện từ ra không gian xung quanh với tần số nhất định nào đó.
- Giai đoạn 2: Các tag sẽ nhận năng lượng điện từ từ reader thông qua antenna của tag. Nếu nhận đủ năng lượng, IC trên tag sẽ được kích hoạt và phát ra sóng chứa data trả lại cho reader.
- Giai đoạn 3: Reader đọc giá trị nhận về từ tag gửi lại.

¹ Nguồn: https://www.researchgate.net/figure/RFID-system_fig1_44181814

Các giai đoạn trên có thể được thay đổi hoặc thêm tùy theo các chuẩn đang sử dụng như cách điều chế sóng từ reader về tag và sóng từ tag về reader, cách encoding data và quá trình trao đổi data.

2.2. Chuẩn EPCGlobal

EPCglobal là tổ chức dẫn đầu trong việc phát triển chuẩn công nghiệp dựa trên mã sản phẩm điện tử EPC (Electronic Product Code) với mong muốn thay thế mã vạch UPC truyền thống. EPCglobal được thành lập vào năm 2003 nhằm mục đích tạo ra framework tiêu chuẩn phi lợi nhuận hỗ trợ sử dụng RFID trong các ứng dụng chuỗi cung cấp hàng hóa và các ứng dụng khác, tạo ra duy nhất một chuẩn toàn cầu cho UHF RFID reader-tag air interface. Tiêu chuẩn này thế hệ 2 (Gen2) được phát triển vào năm 2004 tương thích hoàn toàn với phiên bản 1 với các và được đưa công khai sử dụng vào năm 2005, và được thêm vào các tiêu chuẩn về RFID của tổ chức tiêu chuẩn hóa quốc tế (International Standards Organization). Mặc dù các tiêu chuẩn trước là class 0 Gen 1 và class 1 Gen 2 được sử dụng rộng rãi trong thị trường lúc đó, nhưng Gen 2 nhanh chóng được áp dụng thay thế các chuẩn cũ. Ngay cuối năm 2015, đầu năm 2016 các nhà sản xuất đã có thể cung cấp thiết bị sử dụng Gen 2 với số lượng lớn. Phiên bản mới nhất Gen2 phiên bản 2 được phát triển và xuất bản vào năm 2013 nhằm đáp ứng các nhu cầu của người dùng trên thế giới bằng việc thêm các tính năng mới giải quyết vấn đề về độ phức tạp của các chuỗi cung ứng sản phẩm, nhiều khía cạnh an ninh khác cũng được cân nhắc trong phiên bản này.

EPCglobal tập hợp của những tiêu chuẩn tương quan cho phần cứng, phần mềm và giao diện dữ liệu, cùng với các dịch vụ cốt lõi được điều khiển bởi EPCglobal và những tổ chức được ủy quyền, tất cả dịch vụ của mục tiêu chung đối với việc nâng cấp chất lượng chuỗi cung ứng thông qua việc sử dụng các mã sản phẩm điện tử (EPCs). Trong đồ án này, sẽ tìm hiểu vào các tiêu chuẩn sau:

- Tag Data Standard (TDS): Quy định data trong tag.
- UHF Gen2 air interface: Quy định cách thức truyền nhận giữa tag và reader.

- Low level reader protocol (LLRP): Giao thức giữa phần mềm và reader.

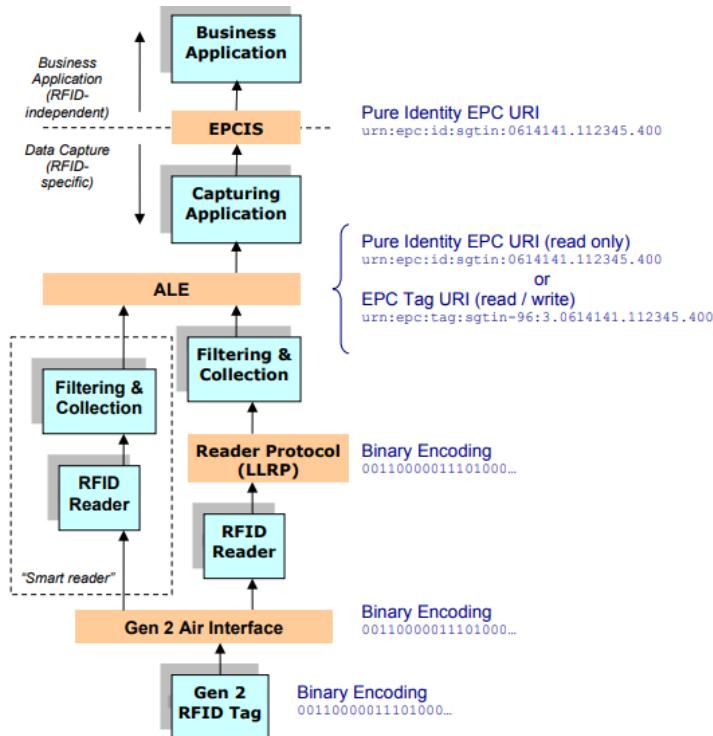
2.2.1. Tag Data Standard (TDS)

Tag Data Standard [4] là chuẩn được GS1 tạo ra để định nghĩa cách dữ liệu EPC được nén lại (encode) trong lớp dữ liệu hệ thống của EPCglobal architecture framework (mạng lưới hệ thống EPC toàn cầu). Mã EPC này có mối quan hệ mật thiết với khóa GS1 được sử dụng rộng rãi trong mã vạch để phân định nhóm sản phẩm khác nhau. Với mỗi khóa GS1 tượng trưng cho các vật thể riêng biệt sẽ tồn tại một mã EPC tương ứng dưới cả hai dạng EPC URI (Uniform Resource Identifier) và mã hóa nhị phân trong các tag. Tương tự như vậy, mỗi khóa GS1 tượng trưng cho một lớp hoặc nhóm vật thể cũng sẽ tồn tại một dạng URI tương ứng. Tuy nhiên sẽ tồn tại các mã EPC chỉ định các lớp hoặc nhóm vật thể mà mã GS1 không có.

Ngoài ra, TDS còn định nghĩa cấu trúc data có trong tag nằm trong Gen 2 RFID tag, bao gồm mã EPC, vùng nhớ dữ liệu cho người dùng, thông tin về nhà sản xuất và vùng nhớ thông tin đặc biệt dùng để điều khiển các tag. Nếu không tồn tại chuẩn quốc tế này, các công ty sẽ có thể tự do sử dụng bất kỳ các phương thức nén dữ liệu, phần mềm và phần cứng nào họ chọn, tuy nhiên những hệ thống đó chỉ có thể hoạt động tại chuỗi cung ứng đóng của công ty đó. TDS được thế giới chấp nhận và sử dụng đem lại hiệu năng, độ chính xác tốt hơn và giúp đồng nhất dữ liệu có trong các loại tag và có thể sử dụng được với tất cả đầu đọc UHF RFID đạt chuẩn. Với lợi thế này, các công ty có thể dễ dàng theo dõi sản phẩm trong tất cả quá trình của từ quá trình từ sản xuất, vận chuyển, phân phối và đến các cửa hàng bán lẻ. Mã EPC được dùng qua các tầng của hệ thống theo mô hình trong *Hình 2.4*.

TDS sẽ bao gồm hai phần chính:

- Electronic product code.
- Dữ liệu trong Gen 2 RFID tag.



Hình 2.4: Cấu trúc EPC dùng tại mỗi tầng của hệ thống EPCglobal¹

2.2.1.1. Dữ liệu của Gen 2 RFID tag

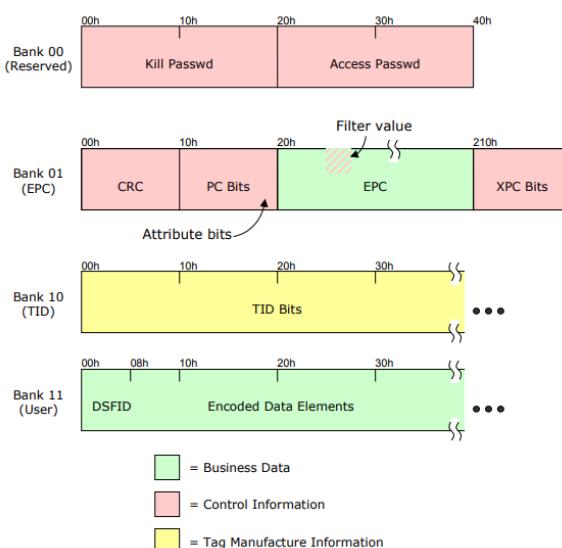
Các UHF RFID tag đạt chuẩn Gen2 chứa 3 loại dữ liệu:

- Business Data (Thông tin thương mại): Chứa các dữ liệu cần thiết cho các ứng dụng doanh nghiệp (ứng dụng tầng cao hơn) sử dụng. Bao gồm EPC và một số bit dữ liệu khác.
- Control information (dữ liệu điều khiển): Các dữ liệu cho các đầu đọc RFID sử dụng trong quá trình đọc ghi dữ liệu nhằm mục đích hỗ trợ tương tác với các tag như các thông tin về bảo mật (mật mã), bit CRC kiểm tra tính toàn vẹn của dữ liệu.
- Tag Manufacture Information (dữ liệu của nhà sản xuất tag): Dữ liệu bao gồm ID, mã model và mã seri duy nhất của tag.

¹ Nguồn: [4] hình 4-5 trang 24

Mỗi tag bao gồm bốn bank dữ liệu đánh số 00, 01, 10, 11 chứa các loại thông tin khác nhau. Cấu trúc tổng quan bank dữ liệu được miêu tả trong *Hình 2.5*. Các bank đó bao gồm:

- Reserve (bank 00): bank chứa thông tin về bảo mật (các mật mã để truy xuất và hủy tag).
- EPC (bank 01): Chứa dữ liệu EPC và các bit điều khiển khác như CRC giúp kiểm tra tính toàn vẹn của dữ liệu, PC (protocol control) bit giúp kiểm tra và đánh dấu thông tin EPC encoding phía sau sử dụng chuẩn ISO15961 hay chuẩn EPCglobal và các thông tin tùy chỉnh cho mỗi giao thức, XPC (external protocol control) bit chứa các “thông tin điều khiển” (control information) thêm cho dữ liệu..
- TID (bank 10): Chứa thông tin về bản thân tag đó, chuỗi seri duy nhất cho mỗi tag, được nhà sản xuất đưa vào và không thể ghi đè.
- User (bank 11): Chứa các dữ liệu về thông tin sản phẩm.



Hình 2.5: Cấu trúc tổng quan các bank dữ liệu của tag Gen 2¹

Tag UHF RFID được chia thành 5 class khác nhau:

- Class 0 (Read only): Tag bị động và bộ nhớ chỉ đọc.

¹ Nguồn: [4] Hình 9-1 trang 63

- Class 1 (Identity): Tag bị động và bộ nhớ chỉ đọc, Chỉ ghi được 1 lần.
- Class 2 (higher functionality): Tag bị động, có thể đọc ghi bất kỳ lúc nào trong chuỗi vận chuyển (lên đến 65KB).
- Class 3 (Semi-passive tags): Tag bán bị động, có thể đọc ghi bất kỳ lúc nào (lên đến 65KB).
- Class 4: (Active tags): Tag chủ động (tag có nguồn cung cấp riêng), có thể đọc và ghi, Tag có thể giao tiếp với các tag khác.
- Class 5: Giống class 4 nhưng thêm chức năng có thể truyền năng lượng cho các tag khác và giao tiếp với các thiết bị khác ngoài đầu đọc RFID.

2.2.1.2. **Electronic product code**

Cấu trúc của EPC được chia làm ba cách biểu diễn và được sử dụng ở mỗi lớp khác nhau trong EPCglobal architecture framework:

- **Định danh thuần EPC (Pure Identity EPC URI):** Là phương thức biểu diễn căn bản của EPC dưới dạng URI. Đây là cách biểu diễn thường được dùng trong các ứng dụng kinh doanh. **Định danh thuần EPC cũng được dùng trong tầng bắt dữ liệu (data capture layer) từ RFID hoặc các vật phẩm chứa EPC khác khi các “thông tin điều khiển” trên các tag RFID là không cần thiết.** Cấu trúc cơ bản của Định danh thuần EPC *Bảng 2.2*, với **componentX** sẽ thay đổi theo từng EPC scheme nhất định.

Bảng 2.2: Cấu trúc của định danh thuần EPC

urn:epc:id:scheme:component1.component2....
Scheme: các scheme liệt kê ở <i>Bảng 2.4</i>
ComponentX: thành phần của mã EPC tùy theo scheme sử dụng

- **EPC tag URI:** là EPC lưu trên băng dữ liệu EPC (EPC memory bank) nằm trong tag RFID Gen 2 bao gồm thông tin về mã EPC và các “thông tin điều khiển” dùng để hỗ trợ quá trình đọc dữ liệu từ RFID tag. EPC tag URI là một chuỗi URI tương trưng cho mã EPC mà nó chứa. EPC tag Uri chuyên dùng

trong tầng bắt dữ liệu RFID tag khi các “thông tin điều khiển” trên các tag RFID là cần thiết. Cách biểu diễn dữ liệu này cũng được dùng khi muốn ghi vào vùng dữ liệu EPC của tag RFID. Cấu trúc cơ bản của EPC URI *Bảng 2.3*.

Bảng 2.3: Cấu trúc EPC tag URI

urn:epc:id:[option control field]:encoding scheme:component1.component2....
Option control field: vùng chứa các bit điều khiển trên RFID tag
Encoding scheme: scheme dùng để mã hóa, liệt kê ở <i>Bảng 2.5</i>
ComponentX: thành phần của mã EPC tùy theo scheme sử dụng

- **Mã hóa nhị phân (binary encoding):** Bảng dữ liệu EPC trên các tag RFID Gen 2 thật ra chứa các thông tin của EPC tag URI được nén lại. Mã hóa nhị phân chỉ được biểu diễn ở các lớp thấp của phần mềm hoặc phần cứng và thường được chuyển đổi sang dạng EPC tag URI hoặc định danh thuần EPC để sử dụng ở các ứng dụng tầng cao hơn.

Định danh thuần EPC hoàn toàn tồn tại độc lập với RFID. Trong khi đó, hai dạng biểu diễn còn lại là mã hóa nhị phân và EPC tag URI là đặc trưng cho dữ liệu nằm trong các tag RFID theo chuẩn Gen 2. Bởi vì hai loại biểu diễn này có thêm dữ liệu về “thông tin điều khiển” vào trong mã EPC của nó.

EPC scheme là định dạng dữ liệu EPC giúp phân biệt mục đích của dữ liệu có trong EPC. Có thể coi EPC scheme có chức năng như khóa GS1, nhưng EPC scheme có đến 20 scheme trong khi đó chỉ có 14 khóa GS1. Mỗi mã EPC sẽ có định dạng khác nhau với tùy theo giá trị của EPC scheme mà nó sử dụng. Tất cả các EPC scheme hiện có sẽ được liệt kê trong *Bảng 2.5*, do tính chất đồ án chỉ hoạt động trong môi trường mua bán, nên chỉ tập trung phân tích EPC scheme sgtin và scheme gid.

Bảng 2.4: Các EPC Scheme và khóa GS1 tương ứng

EPC Scheme	Dạng mã hóa tag	Khóa GS1 tương đương	Vật phẩm định danh
Serialized Global Trade Item Number Sgtin	Sgitn-96 Sgtin-198	GTIN key (+ số serial number)	Các sản phẩm trao đổi (trade item)
Serial Shipping Container Code sscc	sscc-96	SSCC	Các đơn vị vận chuyển hoặc đóng gói hàng hóa trong logistic như xe tải, pallet,...
Serial Global Location Number sgln	sgln-96 sgln-195	GLN	Định danh vị trí như tòa nhà, một vùng trong khu vực
Global Returnable Asset Identifier grai	grai-96 grai-170	GRAI (serial number mandatory)	Các tài sản được trả lại và tái sử dụng như container, pallet,...
Global Individual Asset Identifier gai	gai-96 gai-202	GIAI	Các tài sản riêng biệt của công ty, tổ chức, ...
Global Service Relation Number – Recipient gsrn	gsrn-96	GSRN – Recipient	Các sản phẩm về dịch vụ mà khách hàng sở hữu như thẻ thành viên, ...
Global Service Relation Number – Provider	gsrn-p-96	GSRN for service provider	Các dịch vụ cung cấp như chăm sóc y tế, ...

gsrnp			
Global Document Type Identifier gdti	gdti-96 gdti-113 (DEPRECATED) gdti-174	GDTI (serial number mandatory)	Các văn bản, tài liệu
Component / Part Identifier cpi	cpi-96 cpi-var	N/A	Các thành phần, chi tiết trong nền công nghiệp kỹ thuật như các chi tiết trong xe máy
Serialised Global Coupon Number sgcn	sgcn-96	GCN (serial number mandatory)	Coupon
Global Identification Number for Consignment ginc	N/A	GINC	Các sản phẩm được đóng gói và vận chuyển qua các dịch vụ vận chuyển hàng hóa giữa các nước.
Global Shipment Identification Number Gsin	N/A	GSIN	Các sản phẩm được đóng gói và vận chuyển từ người bán đến người mua.
Individual Trade Item Piece itip	itip-110 itip-212	(8006) + (21)	Các mảnh ghép để tạo nên một sản phẩm SGTIN hoàn chỉnh.
Unit Pack Identifier upui	N/A	GTIN + TPX	Định danh các gói sản phẩm của SGTIN với mục đích chống hàng giả, hàng lậu

Global Location Number of Party pgln	N/A	Party GLN	Định danh các tổ chức, hoạt động, các mối quan hệ sở hữu công ty, Chain of Custody (CoC) / Chain of Ownership (CoO)
General Identifier gid	gid-96	N/A	Các sản phẩm ngoài chuẩn TDS
US Department of Defense Identifier usdod	usdod-96	N/A	Dây chuyền cung cấp sản phẩm nội bộ của bộ quốc phòng Hoa Kỳ.
Aerospace and Defense Identifier adi	adi-var	N/A	Sản phẩm liên quan tới hàng không vũ trụ và phòng vệ hàng không.
BIC Container Code bic	N/A	N/A	Định danh các container theo kiểu vận tải đa phương thức
IMO Vessel Number imovn	N/A	N/A	Định danh các thuyền

2.2.1.3. Chuyển đổi mã vạch GTIN sang SGTIN

Mã vạch hay còn gọi là mã UPC (Universal Product Code) chứa 12 số hoặc EAN (European Article Number) chứa 13 số dùng để định danh đa số các sản phẩm trên thị trường hiện nay. Mặc dù có hai tên gọi khác nhau, nhưng bản chất của UPC và EAN có cấu trúc rất giống nhau như *Hình 2.6*, điều khác biệt duy nhất là UPC sử dụng ở Canada và nước Mĩ, còn EAN sử dụng tại các nước còn lại. Để có thể thay thế UPC, mã này có thể chuyển sang dạng mã EPC tương đương.



Hình 2.6: So sánh cấu trúc của mã UPC và EAN¹

Để biến đổi mã vạch trên thành mã EPC tương ứng chỉ cần hai bước đơn giản:

- Tách số công ty (Company Prefix) và mã item (item reference) từ UPC hoặc EAN. Trong ví dụ *Hình 2.7*, các mã được tách sẽ là: Company prefix: 0012345 và item reference là 067890.



Hình 2.7: Company prefix và item reference trong UPC và EAN¹

- Thêm số ‘0’ vào đầu mỗi số công ty và mã item vừa tách.
- Thay các thành phần Company Prefix và mã item reference vào cấu trúc dữ liệu thuần EPC với scheme là SGTID được miêu tả trong *Bảng 2.5*. Đồng thời, cho thêm số serial độc nhất cho sản phẩm đó. Kết quả của mã barcode

¹ Nguồn: <https://www.barcodestalk.com/resource/what-difference-between-upc-and-ean>

trong Hình 2.7 sau khi được chuyển sang EPC theo cấu trúc *Bảng 2.5* là:
 $urn:epc:id:sgtin:0012345.067890.314159$.

Bảng 2.5: Cấu trúc định danh thuần EPC với scheme sgtin

urn:epc:id:sgtin:CompanyPrefix.ItemReference.SerialNumber
Tổng số ký tự của CompanyPrefix và ItemReference = 13 Serial Number có giá trị từ 0 đến 2^{38} đối với 96-bit RFID tag và từ 0 đến 2^{140} (không zero padding)

2.2.1.4. Chuyển đổi Định danh thuần EPC sang mã hóa nhị phân

Mục đích của việc mã hóa nhị phân là để có thể lưu trữ các mã EPC vào trong vùng nhớ chỉ định của EPC, biến đổi chuỗi ký tự EPC thành dạng mã nhị phân. Tùy vào loại EPC scheme đang dùng, sẽ tồn tại các phương pháp mã hóa khác nhau. Cấu trúc mã hóa sgtin sẽ được trình bày tại *Bảng 2.5*. Còn đối với các loại mã hóa khác sẽ được nêu ở mục 14.5 của [4].

Bảng 2.6: Cấu trúc EPC khi được mã hóa nhị phân

	EPC Header	Filter	Partition	GS1 company prefix	Item reference	Serial number
Số bit của SGTIN-96	8	3	3	40	24	38
Số bit của SGTIN-198	8	3	3	40	24	140

Ngoài hai phần Company prefix và item reference có trong mã EPC thuần, các phân vùng khác như header, filter và partition cũng sẽ được lấy trong các bảng tiêu chuẩn được lập ra do TDS cung cấp. Phân vùng header giúp xác định mã EPC này đang sử dụng EPC scheme nào. Phân vùng Filter giúp phân biệt các sản phẩm với nhau để dễ dàng lọc các nhóm sản phẩm mong muốn trong môi trường gồm

nhiều tag khác nhau. Phân vùng partition giúp phân loại số bit của company prefix và item reference.

Bảng 2.7: Bảng giá trị filter cho mã hóa SGTIN

Giá trị filter	Giá trị filter (nhị phân)	Loại
0	000	Các sản phẩm còn lại
1	001	Trade item
2	010	Các đơn vị đóng gói cho vận chuyển như thùng, hộp (bán sỉ)
3	011	Dữ trữ cho tương lai
4	100	Vật phẩm đóng gói bên trong gồm nhiều sản phẩm. (đóng gói nhỏ hơn bên trong thùng carton)
5	101	Dữ trữ cho tương lai
6	110	Các loại vật dụng nhiều sản phẩm như pallet, túi, giá treo quần áo
7	111	Các đơn vị bên trong trade item hoặc thành phần trong sản phẩm mà không có bán riêng lẻ

Bảng 2.8: Bảng mã header của mã hóa SGTIN

Dạng mã hóa tag	Header (nhị phân)	Header (thập lục phân)
SGTIN-96	0011 0000	30
SGTIN-198	0011 0110	36

Dựa vào *Bảng 2.6*, *Bảng 2.7* và *Bảng 2.8*, ta có thể biến đổi mã EPC *urn:epc:id:sgtin:0012345.067890.314159* từ phân trước sang mã hóa nhị phân stgin với kết quả như sau:

- EPC header (8bit): 00110000.
- Filter (3bit): 000.
- Partition (3 bit): 001.
- GS1 Company Prefix (24 bit): 000000000011000000111001.
- Item Reference (20 bit): 00010000100100110010.
- Serial (38 bits): 000000000000000000001001100101100101111.

Giá trị cuối cùng sau khi biến đổi là:

00110000 000 001 000000000011000000111001 00010000100100110010
000000000000000000001001100101100101111.

Giá trị hex: 300400C0E4424C800004CB2F.

2.2.2. UHF Class 1 Gen2 air interface

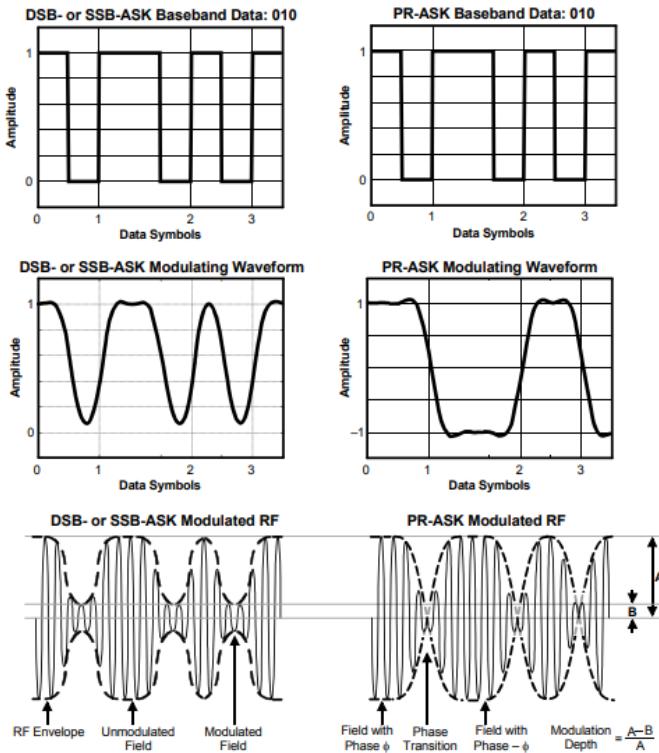
UHF class 1 Gen2 air interface [5] quy định cách giao tiếp giữa đầu đọc và tag bao gồm các điều chế sóng, cách nén dữ liệu, cách tập lệnh và giao thức giao tiếp, chống xung đột gói tin.

2.2.2.1. Giao diện vật lý

Giao diện vật lý (physical interface) [5] giữa đầu đọc (còn được gọi là thiết bị tra hỏi Interrogator) và các tag là những định nghĩa của lớp tín hiệu trong khi giao tiếp với nhau. Có đường giao tiếp uplink và reverse link được quy định như sau:

- Giao tiếp từ đầu đọc và tag (uplink)
 - Phương pháp điều chế sóng: Double side band-amplitude shift keying (DSB-ASK), Single side band-amplitude shift keying (SSB-ASK), phase reverse-amplitude shift keying (PR-ASK). Các tag phải có thẻ đọc được cả ba dạng sóng này.

- Phương pháp nén dữ liệu: Pulse interval encoding (PIE).

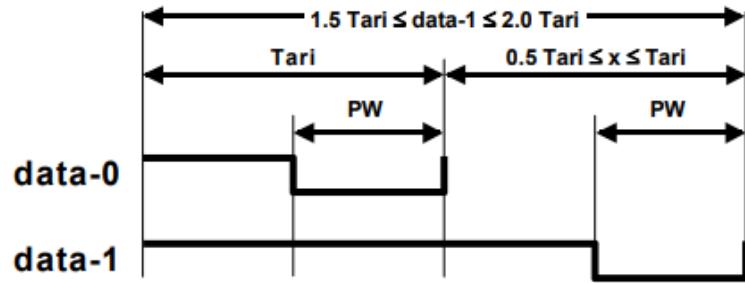


Hình 2.8: Cách điều chế sóng ASK và PR-ASK¹

- Giao tiếp từ tag đến đầu đọc (reverse link):
 - Phương pháp điều sóng: amplitude shift keying (ASK) và phase shift keying (PSK). Các đầu đọc phải có thể đọc được hai loại sóng này.
 - Phương pháp nén dữ liệu: FM0 baseband hoặc Miller.

PIE là phương pháp nén dữ liệu bằng cách thay đổi chiều dài của các tín hiệu sóng để tạo thành dữ liệu 1 hoặc 0 được biểu diễn như *Hình 2.9*. Đơn vị thời gian của PIE sẽ là 1 tari, giá trị này phải nằm trong khoảng 6.25us đến 25us tương đương với tốc độ truyền dữ liệu của đầu đọc.

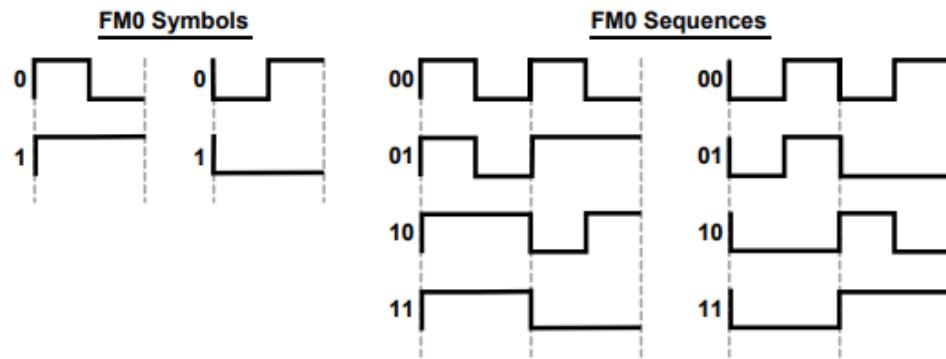
¹ Nguồn: [5] hình H.1 trang 102



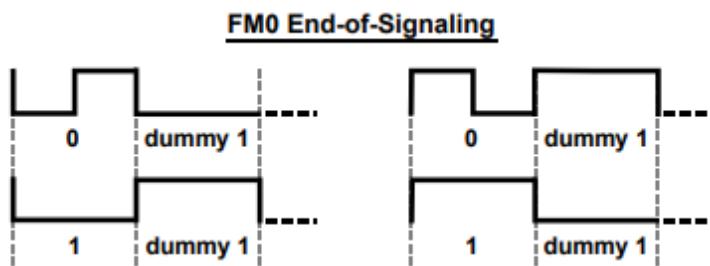
Hình 2.9: Sơ đồ thời gian một symbol của PIE¹

FM0 baseband và Miller-modulated subcarrier là phương pháp nén dữ liệu từ tag lên đầu đọc. Chi tiết được biêt diễn dưới *Hình 2.10* và *Hình 2.11*. FM0 có các luật nén như sau:

- Đảo pha sau mỗi symbol.
- Dữ liệu 0 sẽ có thêm một lần đảo chiều ở giữa symbol.



Hình 2.10: Dữ liệu được nén dưới dạng FM0²



Hình 2.11: Ký hiệu kết thúc dữ liệu FM0³

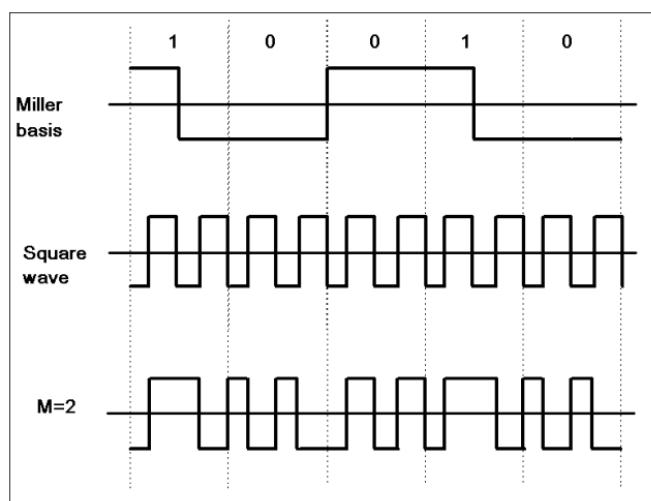
¹ Nguồn: [5] hình 6.1 trang 24

² Nguồn: [5] hình 6.9 trang 30

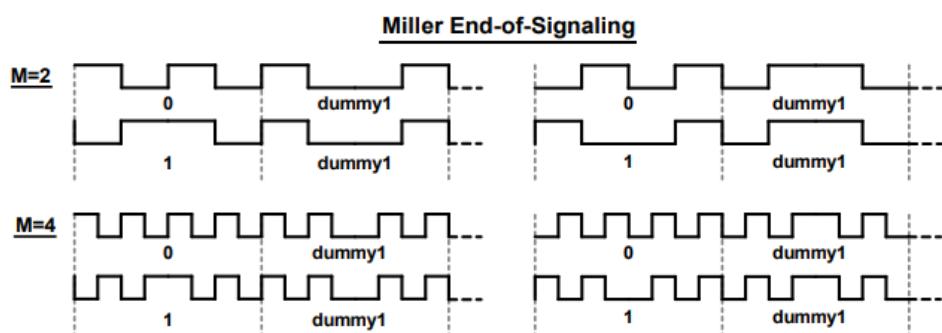
³ Nguồn: [5] hình 6.10 trang 31

Miller-modulated subcarrier nén dữ liệu cũng bằng cách thay đổi pha sau mỗi symbol, nhưng sau đó nhân với sóng hình vuông với M lần tại mỗi symbol, M có giá trị là 2, 4, 8. Chi tiết được biếu diễn dưới *Hình 2.12* và *Hình 2.13*. Miller-modulated subcarrier có các luật như sau:

- Đảo pha của baseband sau mỗi symbol.
- Dữ liệu 1 sẽ có thêm một lần đảo chiều ở giữa symbol.
- Nhân với sóng vuông với M lần một symbol.
- Giá trị M được chọn bởi đầu đọc, M = 0 chính là nén dữ liệu dạng FM0.



Hình 2.12: Dữ liệu được nén dưới dạng Miller¹



Hình 2.13: Ký tự kết thúc dữ liệu Miller²

¹ Nguồn: http://rfidsecurity.uark.edu/downloads/slides/mod04_lesson04_slides.pdf

² Nguồn: [5] hình 6.14 trang 33

2.2.2.2. Giao diện logic

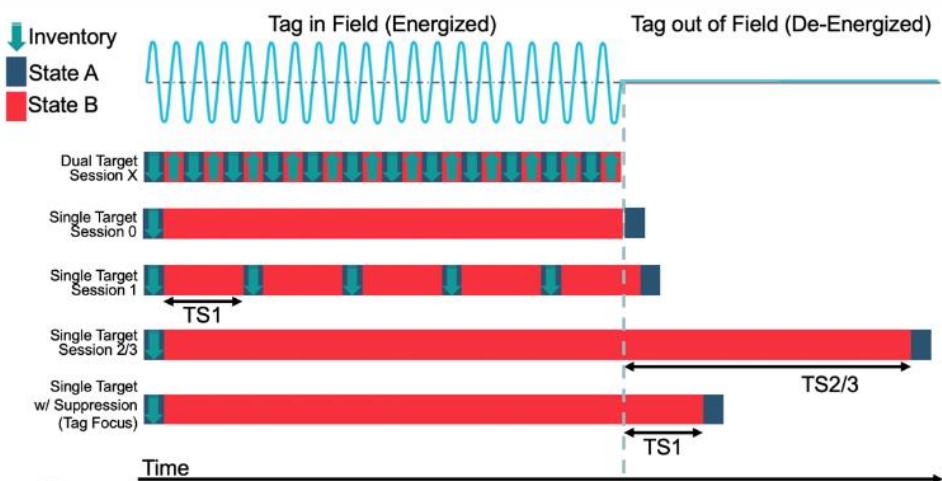
Giao diện logic (logic interface) quy định quy trình truy xuất dữ liệu của đầu đọc và các tag. Để có khả năng đọc được tag trong môi trường với số lượng tag lên đến 10000 tag, trên các tag sẽ có thêm một vài vùng nhớ nhằm hỗ trợ khả năng hoạt động như sau:

- **Phiên làm việc (Sesion):** gồm 4 phiên làm việc khác nhau, đánh số từ S0 đến S3. Mỗi phiên làm việc sẽ hoạt động độc lập với nhau và có thời gian giao tiếp khác nhau. Phiên làm việc sẽ quyết định tag sẽ trả lời với đầu đọc thường xuyên như thế nào và do hoạt động độc lập với nhau, giúp cho nhiều đầu đọc có thể đọc cùng lúc. Mỗi tag chỉ có thể tham gia vào một phiên làm việc nhất định trong cùng một thời điểm.
- Cờ kiểm kê (inventoried flags): Mỗi tag sẽ chứa biến cờ kiểm kê của bốn phiên làm việc độc lập nhau. Mỗi cờ sẽ có 2 giá trị là ‘A’ và ‘B’.
- Cờ chọn (Selected flag): Biến cờ này hỗ trợ trong lúc đầu đọc lựa chọn tập hợp các tag nhất định, đầu đọc có thể thay đổi giá trị này vào giai đoạn select. Đầu đọc có thể query các tag có cờ này đã tắt hoặc đã mở, hoặc đầu đọc sẽ không sử dụng. Cờ này dùng chung với tất cả các phiên làm việc nêu trên.
- Vùng nhớ đếm (count slot): chứa giá trị đếm xuống. Giá trị khởi tạo do tag chọn bất kỳ dựa vào biến Q mà đầu đọc cung cấp.

Một phiên đầu đọc bắt đầu đọc các tag gọi là vòng kiểm kê (inventory round). Mỗi vòng kiểm kê đầu đọc sẽ chọn các tag có cờ A hoặc cờ B để tiến hành quá trình đọc, hoặc sử dụng cờ chọn để tìm kiếm và lọc các tag cần đọc từ các bit dữ liệu lọc có trên tag. Với mỗi vòng kiểm kê, mỗi phiên làm việc từ S0 đến S3 sẽ hoạt động như *Hình 2.14*:

- Sesion 0: Tag sẽ chuyển cờ kiểm kê từ trạng thái ‘A’ sang ‘B’ sau khi hoàn tất đọc xong. Cờ kiểm kê tự chuyển sang trạng thái ‘A’ sau khi hết nhận được năng lượng từ đầu đọc. Tuy nhiên do có nhảy giữa các tần số trong quá trình đọc tag. Tag có thể bị mất năng lượng và trở về trạng thái ‘A’.

- Session 1: Tag sẽ chuyển cờ kiểm kê từ trạng thái ‘A’ sang ‘B’ sau khi hoàn tất đọc xong. Cờ kiểm kê tự chuyển sang trạng thái ‘A’ sau khoảng thời gian TS1 dao động từ 500ms đến 5s tùy từng loại tag khác nhau.
- Session 2, 3: Tag sẽ chuyển cờ kiểm kê từ trạng thái ‘A’ sang ‘B’ sau khi hoàn tất đọc xong. Cờ kiểm kê tự chuyển sang trạng thái ‘A’ sau khoảng thời gian TS2/3 với thời gian ít nhất là hai giây.



Hình 2.14: Hoạt động của từng session khác nhau¹

Để đọc được nhiều tag cùng lúc, UHF Class 1 Gen2 air interface sử dụng phương pháp đánh số các theo thứ tự từ 0 đến 2^Q với Q có giá trị từ 0 đến 8. Đầu đọc sẽ cung cấp giá trị Q trong một vòng kiểm kê, sau đó các tag sẽ chọn một số bất kỳ từ 0 đến 2^Q lưu trong vùng nhớ đếm, sau mỗi lần đầu đọc đọc ra hiệu, tất cả các tag có trong vòng kiểm kê này sẽ giảm giá trị này xuống. Nếu giá trị vùng nhớ đếm xuống bằng 0, tag sẽ trả lời câu lệnh truy vấn của đầu đọc. Trong trường hợp nhiều tag cùng trả lời cùng lúc:

- Nếu đầu đọc có thể xử lý độ đụng độ ở mức độ sóng điện từ thì các tag đụng độ khác sẽ trở về trạng thái đợi mà không thay đổi giá trị biến đếm. Tag được đầu đọc phản hồi sẽ hoạt động bình thường.

¹ Nguồn: <https://support.impinj.com/hc/en-us/articles/202756158-Understanding-EPC-Gen2-Search-Modes-and-Sessions>

- Nếu đầu đọc không thể lý được, thì tất cả các tag đó sẽ chuyển giá trị vùng nhớ đếm từ 0x0000 sang 0x7FFF, nên các tag này dường như chỉ được hoạt động tiếp theo trong vòng kiểm kê mới.

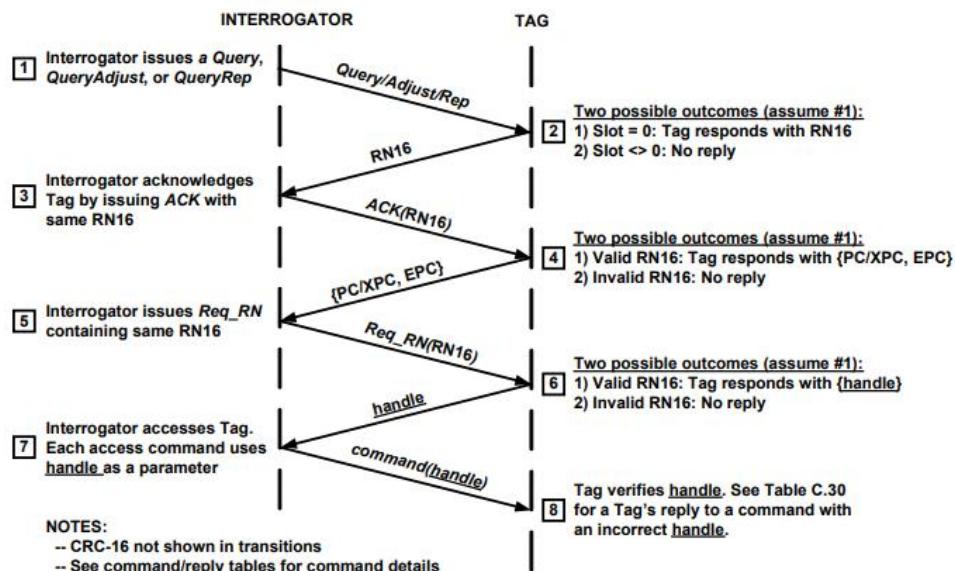
UHF Class 1 Gen 2 air interface cung cấp tập lệnh cho đầu đọc được chia thành ba loại khác nhau:

- Lệnh chọn (Select command): Gồm các lệnh thay đổi các giá trị cờ kiểm kê và cờ chọn. Ngoài ra còn lệnh thử thách (challenge) phục vụ chức năng bảo mật của từng tag. Bộ lệnh này gồm hai lệnh là: Select (bắt buộc), Challenge (tùy chọn).
- Lệnh kiểm kê (Inventory command): Gồm các lệnh bắt đầu một vòng kiểm kê, lựa chọn phiên làm việc, đổi tượng của cờ kiểm kê, cung cấp giá trị Q cho các tag và thay đổi giá trị của vùng nhớ đếm sau mỗi lần đọc tag thành công. Bộ lệnh này bao gồm: Query bắt đầu vòng kiểm kê, QueryAdjust thay đổi giá trị của vùng nhớ đếm, QueryRep giảm vùng nhớ đếm một đơn vị, ACK, NACK.
- Lệnh truy xuất (Access command): Gồm các lệnh đọc ghi xác thực và thao tác trên các vùng nhớ của tag.

Các bước giao tiếp cơ bản của đầu đọc và tag được hiện thị dưới *Hình 2.15*. Với số bất kỳ ngẫu nhiên 16 bit (RN16) là giá trị được tag đưa chọn sau mỗi lần được cấp năng lượng, dùng để định danh giữa các tag với nhau. Với tỷ lệ trong 10000 tag tồn tại các tag chọn giống số nhau bé hơn 0.1%. Dựa vào từng lệnh mà đầu đọc gửi lệnh, tag có các trạng thái cũng sẽ thay đổi theo. **Tag tông cộng có bảy trạng thái khác nhau:**

- **Ready state:** Trạng thái của tag khi vừa được cấp năng lượng, không tham gia vào vòng kiểm kê hoặc nhận lệnh kill nào.
- **Arbitrate state:** Trạng thái đợi khi tag trong vòng kiểm kê mà vùng nhớ đếm chưa đạt giá trị 0.
- **Reply state:** Trạng thái tag giao tiếp một số bất kỳ ngẫu nhiên 16-bit với đầu đọc (khi vùng nhớ đếm bằng 0) và đợi lệnh ACK từ đầu đọc.

- Acknowledged state: Trạng thái khi tag nhận được lệnh ACK với đúng số bất kỳ 16-bit của tag và đợi lệnh truy xuất tiếp theo.
- Open state: Trạng thái khi tag bắt đầu nhận được lệnh truy xuất, chỉ đối với tag ko có mật khẩu.
- Secured state: Trạng thái khi tag bắt đầu nhận được lệnh truy xuất, chỉ đối với tag có mật khẩu.
- Killed state: Trạng thái khi nhận lệnh kill từ đầu đọc, tag sẽ không thể giao tiếp với đầu đọc nữa.



Hình 2.15: Các bước cơ bản giao tiếp giữa đầu đọc và tag¹

2.2.2.3. Các tham số cần lưu ý

Tari: Tham số thay đổi đến độ dài một symbol của gói tin. Nên thay đổi giá trị này nhằm thay đổi tốc độ đọc tag.

BLF (Backscatter link frequency): Băng thông của tín hiệu mà tag truyền về với reader.

M: Tham số thay đổi cách nén dữ liệu của tag truyền cho đầu đọc. Với giá trị M càng cao, symbol của dữ liệu sẽ được nhân với số sóng vuông nhiều hơn. Điều

¹ Nguồn: [5] hình E.1 trang 97

này đồng nghĩa với việc một symbol sẽ được lập lại nhiều hơn, giúp tăng khả năng giải nén giữ liệu tốt hơn cho các tín hiệu yếu, với thời gian truyền gói tin lâu hơn.

Sesion: Tùy thuộc vào tính chất và số lượng của các tag trong môi trường hoạt động, lựa chọn phiên làm việc phù hợp sẽ tối ưu hóa hiệu năng của thiết bị.

Target: Ra hiệu cho đầu đọc đọc các thiết bị với cờ kiểm kê ‘A’, ‘B’ hoặc cả hai. Nếu cần theo dõi tag liên tục, tất cả các tag có cờ kiểm kê ‘A’ và ‘B’ cần chọn vì các tag sẽ đổi giá trị cờ sau khi giao tiếp xong.

Q: Số thứ tự chờ của các tag trong một vòng kiểm kê. Q sẽ được lựa chọn phụ thuộc vào số lượng tag cần đọc cùng một lúc. Nếu chọn giá trị Q quá cao, sẽ tồn tại nhiều số thứ tự mà không có tag nào trả lời, gây kéo dài thời gian của một vòng kiểm kê.

2.2.3. Low level reader protocol (LLRP)

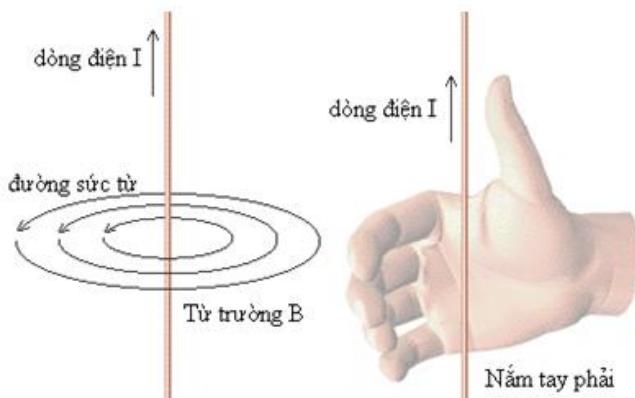
Low level reader protocol [6] là một giao thức cấp thấp để giao tiếp giữa phần mềm và đầu đọc UHF RFID. Giao thức này cung cấp hơn 100 bộ lệnh tiêu chuẩn đồng nhất cho nhiều đầu đọc khác nhau. Các nhà sản xuất đầu đọc RFID ngoài việc thích ứng với giao thức này, họ có thể đưa vào các bộ lệnh riêng biệt cho thiết bị họ song song với bộ lệnh cung cấp từ LLRP, đem lại sự linh động trong phần mềm điều khiển các đầu đọc RFID. LLRP còn cung cấp lớp điều khiển thiết bị qua mạng như TCP, IPv6, TLS, ... và các tính năng khác như truy xuất bất đồng bộ, pooling hoặc trả event về. Các chức năng LLRP cung cấp như sau:

- Lấy data về khả năng đọc ghi của thiết bị đầu đọc RFID.
- Điều khiển đầu đọc để bắt đầu inventory, đọc, ghi tag và thực hiện các câu lệnh khác.
- Điều khiển các tham số ảnh hưởng đến quá trình hoạt động của đầu đọc như output power, tần số hoạt động, ...
- Cung cấp phương thức báo cáo tình trạng và xử lý lỗi linh hoạt.
- Cho phép nhà sản xuất định nghĩa các câu lệnh riêng biệt cho thiết bị của họ.
- Cho phép dễ dàng thêm các tính năng mới của giao thức trong tương lai.

2.3. RFID tag

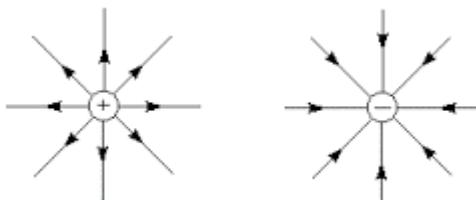
2.3.1. Các khái niệm cơ bản

Tù trường: Ngoài từ trường của các nam châm ra, dây dẫn có dòng điện đi qua cũng tạo từ trường tĩnh của riêng nó. Khi dây dẫn đó có dòng điện xoay chiều chạy qua sẽ tạo ra từ trường biến thiên. Từ trường thường được ký hiệu là B .



Hình 2.16: Từ trường được tạo ra bởi dòng điện trong dây dẫn thẳng¹

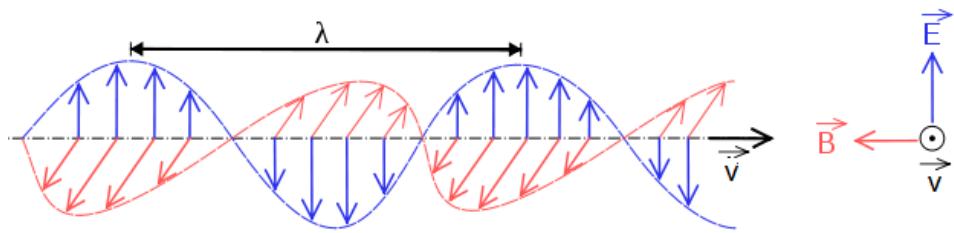
Điện trường: Là trường không gian được tạo bởi các điện tích với nhau. Khi điện tích di chuyển sẽ tạo thành điện trường biến thiên. Điện trường thường được ký hiệu là E .



Hình 2.17: Điện trường được tạo ra bởi điện tích riêng lẻ¹

Sóng điện từ: Là sóng lan truyền điện từ trường. Với điện tử từ trường là không gian mà trong đó điện trường biến thiên và từ trường biến thiên. Các sóng truyền thông tin thường sử dụng sóng điện từ để truyền dữ liệu đi xa. Các antenna là phần vật liệu dẫn điện giúp tạo ra các sóng điện từ đúng tần số và hoạt động với hiệu suất cao với các thành phần còn lại trong mạch điện.

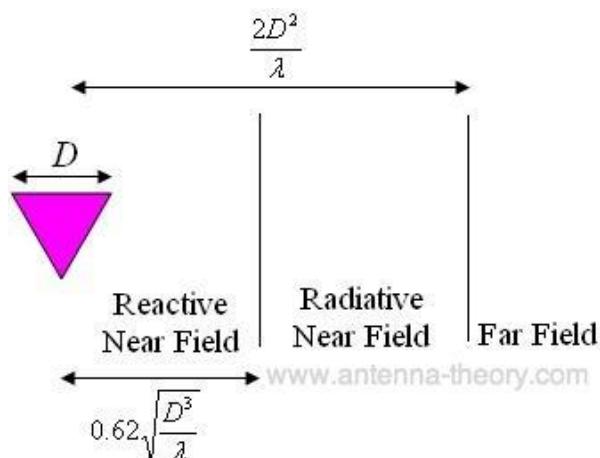
¹ Nguồn: <http://www.vatlyphothong.net/dien-tu-truong-va-song-dien-tu.html>



Hình 2.18: Sóng điện trường lan truyền trong không gian¹

Xung quanh antenna thường được chia ra làm hai vùng hoạt động, Near field và far field. Trong near field lại chia ra thành hai vùng nữa là Reactive Near Field và Radiating Near Field. Khoảng cách của mỗi vùng được hiện thị trong *Hình 2.19*, với D là chiều dài của antenna, λ là bước sóng .

- **Reactive Near Field:** Là trường xuất hiện xung quanh antenna với khoảng cách gần. Tại vùng này từ trường và điện trường lệch pha nhau 90° .
- **Radiating Near Field (Fresnel region):** Là vùng không gian chuyển tiếp giữa near field và far field. Mô hình bức xạ (radiation pattern) của vùng này sẽ biến đổi theo khoảng cách.
- **Far field:** Là vùng xa antenna nhất. Tại vùng này mô hình bức xạ không thay đổi hình dạng và có từ trường với điện trường trực giao với nhau (yêu cầu để sóng có thể lan truyền ra xa được).



Hình 2.19: Khoảng cách của near field và far field²

¹ Nguồn: <http://www.vatlyphothong.net/dien-tu-truong-va-song-dien-tu.html>

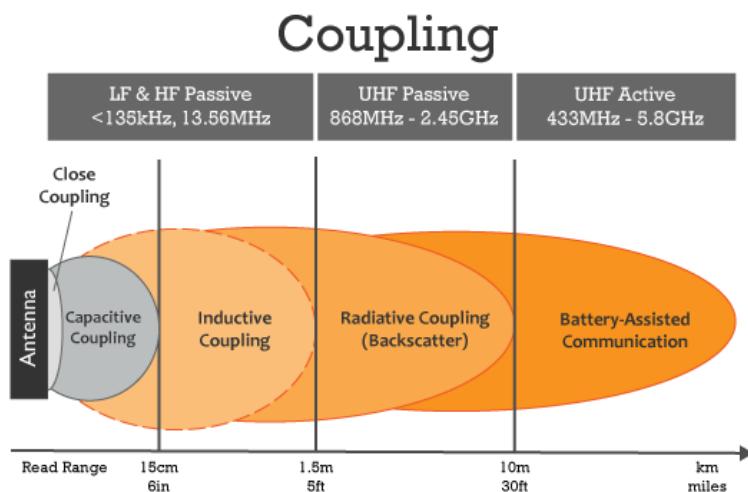
² Nguồn: <http://www.antenna-theory.com/basics/fieldRegions.php>

2.3.2. RFID tag antenna

Dựa vào cách thức hoạt động của antenna trên các tag RFID, có thể chia ra làm 3 loại chính, mỗi loại sẽ hoạt động tại một trường nhất định như *Bảng 2.9* và *Hình 2.20*:

Bảng 2.9: Các dạng antenna của tag RFID

	Capacitive coupling	Inductive Coupling	Radiative Coupling (backscatter)
Frequency	LH	LH, HF, UHF	UHF
Khoảng cách	1-2cm	1cm – 1m	1m đến 4m
Cách cấp nguồn	Điện trường	Từ trường	Điện từ trường
Hình dạng	Vòng tròn hoặc hình vuông	Vòng tròn hoặc hình vuông	Dạng Dipole



Hình 2.20: Tần số hoạt động của RFID tại các trường¹

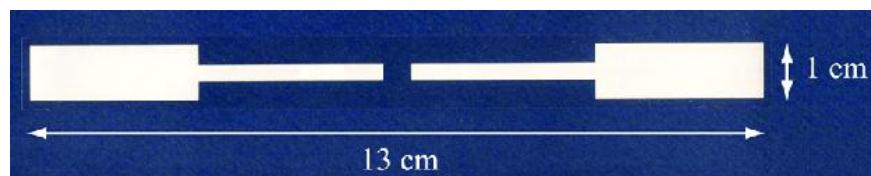
Đối với UHF RFID, do đa số đều sử dụng antenna dipole nên các tag này còn được phân loại theo chiều dài khác nhau:

- **Half-Dipole (Hình 2.21):** Tổng độ dài của antenna bằng một nửa bước sóng. Loại antenna ít được sử dụng trong các ứng dụng RFID do độ dài.
- **Modified Half-Dipole:** Antenna thuộc dạng này sẽ ngắn hơn một nửa bước sóng. Bởi vì ngắn hơn như vậy, tag loại này thường được sử dụng trên thị

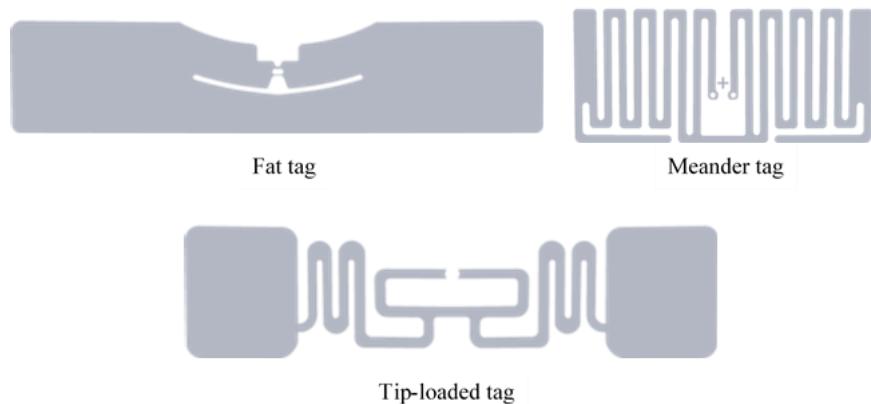
¹ Nguồn: <https://blog.atlasrfidstore.com/operating-principles-coupling>

trường. Tuy nhiên, trở kháng của tag sẽ bị âm, nên hình dạng của antenna cũng sẽ phải thay đổi để có thể hoạt động bình thường. Các loại tag này thường chia ra ba loại như trong *Hình 2.22*:

- **Fat:** Còn được gọi là “Broadband” dipoles. Các tag này sẽ tối đa hóa diện tích antenna trên mặt của tag. Bởi vì vậy, Fat tag sẽ dùng tốt nhất trên các vật có chỉ số điện môi cao như thủy tinh, gỗ và nhựa.
- **Meanders:** Antenna loại này sẽ xếp đường kim loại song song với nhau. Điều này giúp tổng độ dài của antenna vẫn bằng một nửa bước sóng nhưng chiều dài thật của cả tag thì lại ngắn hơn đáng kể.
- **Tip Loading:** Antenna này sử dụng cả hai phương pháp của fat và meanders trên để thay đổi trở kháng. Hình dạng của tag có các đường gấp antenna như meander nhưng ở cuối mỗi bên lại có phần kim loại lớn như Fat.



Hình 2.21: Hình dạng của các tag Half–Dipole¹



Hình 2.22: Hình dạng của các tag Modified Half–Dipole²

¹ Nguồn: https://www.researchgate.net/figure/Photograph-of-designed-UHF-RFID-antennas-Straight-dipole-top-and-miniaturized-dipole_fig1_51831079

² Nguồn: <https://blog.atlasrfidstore.com/rfid-tag-antennas>

- **Short Dipole:** Antenna này chỉ có chiều dài bằng $1/10$ bước sóng. Do có độ dài ngắn như vậy, các tag này cần phải thay đổi rất lớn về hình dạng để giúp tag có thể hoạt động bình thường.

2.3.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu năng hoạt động của tag

Kích thước: tag có kích thước càng to thì khoảng cách đọc càng xa so với các tag cùng loại (cùng tần số, cùng antenna).

Sự định hướng đọc ngang: Do các antenna UHF RFID sử dụng chủ yếu là antenna Dipole do sự đơn giản của nó, vị trí đặt tag đọc hay ngang so với đầu đọc ảnh hưởng rất lớn đối với hiệu năng của tag.

Góc: Góc đọc giữa đầu đọc và tag đặc biệt gây ảnh hưởng lớn đến khả năng đọc của hệ thống. Với góc trực diện song song giữa antenna của tag và antenna của đầu đọc đem lại hiệu năng tốt nhất.

Vị trí đặt tag: Vật thể mà tag dán lên cũng có sức ảnh hưởng lớn đến khoảng cách đọc của tag. Ví dụ như đặt các tag thông thường lên vật thể kim loại sẽ giảm khoảng cách đọc nhiều lần so với bình thường.

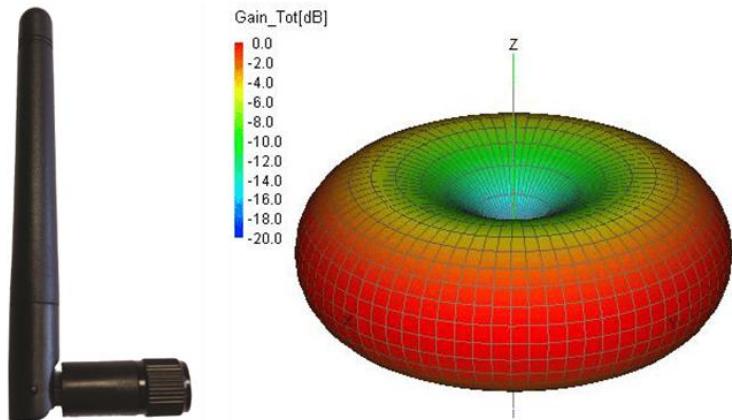
Khoảng cách đọc: Tùy vào tính chất của từng công nghệ, các hệ thống sẽ hoạt động trong near field hoặc far field.

2.4. Antenna của đầu đọc

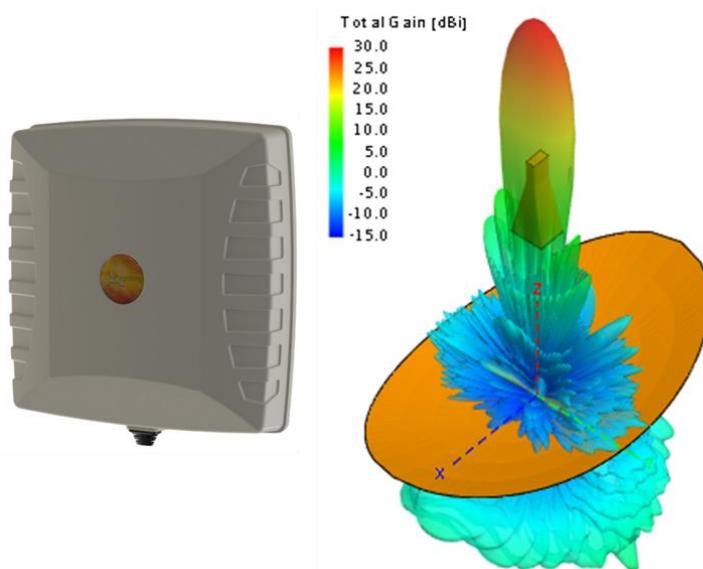
2.4.1. Phân loại antenna

Antenna là bộ phận cần thiết và đóng vai trò quan trọng đến hiệu năng của đầu đọc UHF RFID. Antenna là bộ phận chuyển đổi tín hiệu đầu ra từ đầu đọc sang sóng điện từ đến các tag xung quanh. Vì vậy, khoảng cách truyền xa hay ngắn nhờ hiệu suất hoạt động của antenna có tốt hay không. Dựa vào hình dạng thì sẽ có rất nhiều loại khác nhau do nguyên lý hoạt động khác nhau như dipole antenna, disk antenna, patch antenna, slot antenna, ... Tuy nhiên, nếu xét theo mô hình bức xạ thì sẽ được chia ra làm hai loại: *đảng hướng* (Omni-directional) và *định hướng* (directional):

- **Antenna đǎng hǔóng (Hình 2.23):** là antenna truyền tín hiệu RF theo tất cả các hướng theo mặt phǎng nhất định nào đó trong không gian. Với độ lợi thường thấy là 6dB cho antenna WiFi và có khả năng phủ sóng rộng nhất.
- **Antenna đǐnh hǔóng (Hình 2.24):** có hướng phát sóng rất hẹp, do vậy sóng chỉ phát về một hướng nhất định. Các antenna này thường có độ lợi lớn hơn các antenna đǎng hǔóng.



Hình 2.23: Mô hình bức xạ của antenna đǎng hǔóng¹



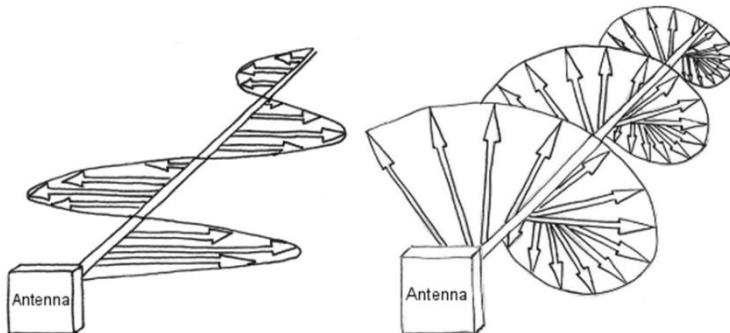
Hình 2.24: Mô hình bức xạ của antenna đǐnh hǔóng²

¹ Nguồn: https://www.globalspec.com/learnmore/semiconductors/communication_ic/chip_antenna

² Nguồn: <https://colourtvservicessr.blogspot.com/2019/04/tutorial-antenna-gain-and-directivity.html>

Do tính chất của ứng dụng RFID, các antenna sử dụng thường dùng là loại định hướng và thông dụng nhất là các loại antenna patch do có độ linh hoạt về kích thước và có hình dáng không quá cồng kềnh. Ngoài sự phân loại về mô hình bức xạ, antenna còn được phân loại về sự phân cực (Polarization) của sóng điện từ. *Hình 2.25* miêu tả hai loại sóng này truyền trong không gian.

- **Phân cực tuyến tính** (Linear Polarization): Sóng điện từ chỉ giao động trên một mặt phẳng duy nhất.
- **Phân cực tròn** (Circular Polarization): Sóng điện từ liên tục thay đổi các mặt phẳng trong khi truyền nhận. Phân cực tròn thường được tạo ra từ hai trường điện từ có độ lớn bằng nhau và lệch pha nhau 90 độ.



Hình 2.25: Sóng điện từ của phân cực tuyến tính (bên trái) và phân cực tròn (bên phải)¹

Một trong các yếu tố tốt gây ảnh hưởng đến hoạt động của hệ thống đó là vị trí của đầu đọc và hướng nằm của tag như đã nêu ở 2.3.3. Vì vậy để đạt kết quả tốt khi sử dụng antenna phân cực tuyến tính, chiều antenna của tag và phân cực antenna của đầu đọc phải nằm trên cùng một mặt phẳng. Còn với antenna phân cực tròn thì antenna của tag không cần phải nằm cùng mặt phẳng với antenna của đầu đọc. Tuy nhiên do phải phát năng lượng ra nhiều mặt phẳng khác nhau nên khoảng cách đọc sẽ bị ngắn đi so với antenna phân cực tuyến tính với cùng độ lợi. Dựa vào phân tích trên, antenna định hướng phân cực tròn sẽ phù hợp hơn với ứng dụng của đồ án này.

¹ Nguồn: <http://smartidcenter.blogspot.com/2016/01/tu-van-lua-chon-rfid-antenna-cho-cac.html>

2.4.2. Các thông số của antenna

Độ lợi của antenna (antenna gain): Thể hiện bao nhiêu năng lượng được truyền đi ở hướng mà có bức xạ cao nhất khi có nguồn sóng 0dB. Độ lợi của antenna thường được nhắc đến hơn là hệ số định hướng (directivity) trong antenna bởi vì nó có liên quan đến hiệu suất của antenna. Việc truyền tín hiệu bằng antenna có độ lợi là 3dB thì năng lượng sẽ nhận được ở xa antenna sẽ cao hơn 3dB (gấp đôi) so với antenna với độ lợi 0dB. Tương tự như vậy, antenna với độ lợi 3dB sẽ nhận được tín hiệu mạnh hơn 3dB so với antenna 0dB.

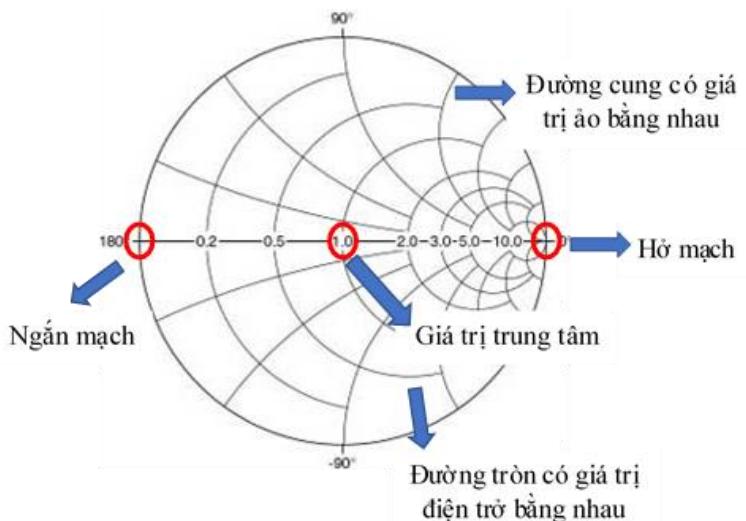
Hệ số định hướng (directivity): Thể hiện tính định hướng của antenna. Thông số này sẽ được tính bằng cách lấy giá trị bức xạ cao nhất của một bên của mặt phẳng, sau đó chia cho giá trị trung bình của tổng giá trị của tất cả bức xạ nằm một bên mặt phẳng đó. Cho nên nếu là antenna đẳng hướng lý tưởng (giá trị bức xạ tại nhiều điểm ở một bên mặt phẳng là như nhau) thì hệ số định hướng sẽ là 0dB.

Axial Ratio: Là tỷ lệ độ lớn lớn của các trường điện từ trong antenna có phân cực tròn. Một antenna phân cực lý tưởng sẽ có hệ số Axial Ratio bằng 1, tương đương với việc độ lớn của hai điện trường đó luôn luôn bằng nhau. Hệ số này thường có xu hướng giảm dần tại các vị trí xa dần khỏi beam sóng chính. Thông số ghi trên antenna thường dưới dạng: <3dB cho +30 độ từ beam sóng chính, có nghĩa là hệ số Axial ratio < 3dB trong khoảng +30 độ từ beam sóng chính.

S11: Thông số S11 thường được quan tâm nhất, nó thể hiện bao nhiêu năng lượng bị phản xạ ngược lại từ antenna trở về board mạch, nên S11 được biết đến là hệ số phản xạ (reflection coefficient) hoặc mất mát trả về (return loss). Nếu $S11 = 0\text{dB}$ có nghĩa là toàn bộ năng lượng bị phản xạ ngược lại vào board mạch, không có gì được bức xạ ra ngoài. Nếu $S11 = -10\text{dB}$ và đưa vào antenna 3dB thì -7dB bị phản xạ ngược lại, phản năng lượng còn lại sẽ được phát xạ ra ngoài và bị hấp thụ một phần vào antenna.

Băng thông (Bandwidth): khoảng tần số liên tục mà antenna có thể hoạt động tốt. Thường lấy giá trị tần số từ biểu đồ của S11.

Smith Chart: Biểu đồ thể hiện sự thích ứng của trở kháng (impedance matching) của antenna. Thông thường các module RF sẽ có trở kháng là 50 Ohm, nên các antenna sẽ phải thiết kế với trở kháng tương đương là 50 Ohm để có hiệu suất cao nhất. Smith Chart thể hiện trở kháng của antenna so với Z_0 (trở kháng của thiết bị RF) theo từng tần số khác nhau. Smith Chart tập hợp các đường tròn (có cùng trở kháng) và các đường cung (có cùng giá trị ảo trong trở kháng) như *Hình 2.26*. Mục tiêu của việc thiết kế antenna sao cho trở kháng thiết bị càng gần với giá trị 1 trên trục thực càng tốt.



Hình 2.26: Sơ đồ smith chart

2.5. Tìm hiểu về phần cứng

2.5.1. ESP32-WROOM-32

ESP32-WROOM-32 là phiên bản module sử dụng chip ESP32-D0WDQ6 được Espressif sản xuất và phát triển, với bộ vi xử lý hai lõi Xtensa 32-bit LX6, ngoài ra ESP32 còn kèm theo bộ vi xử lý năng lượng thấp dùng trong các ứng dụng dùng pin mà vẫn giữ được thời gian hoạt động lâu dài. Tuy nhiên điểm đặc trưng nổi bật của ESP32 này là được tích hợp hai chuẩn giao tiếp không dây phổ biến là WiFi và Bluetooth với giá thành rẻ. Ngoài ra, module còn hỗ trợ các chức năng tiêu chuẩn của một vi điều khiển như là I2C, SPI, UART, GPIO, ... Tuy nhiên ESP32 sẽ không có tích hợp bộ nhớ flash bên trong IC, nên các module thường sẽ có kèm

theo một IC flash, điều này khiến một số chân chức năng như SD card và SPI sẽ không được sử dụng do phải giao tiếp với bộ nhớ flash riêng. Các chức năng đáng chú ý của ESP bao gồm:

- Kết nối không dây: WiFi 802.11 b/g/n, Bluetooth 4.2 và BLE.
 - Các ngoại vi thông thường: 12-bit ADC, hai bộ 8-bit DAC, bốn bộ SPI (bao gồm bộ SPI đã kết nối với bộ nhớ flash), hai bộ I2C, ba bộ UART (UART 0 dùng để nạp code).
 - 4MB flash.
 - Antenna tích hợp MIFA (Meandered Inverted-F Antenna).
 - Kích thước: $18 \times 25.5 \times 3.1$ mm.

Để giao tiếp với thiết bị, có ba phương pháp khác nhau:

- ESP-IDF (Espressif): Chứa các toolchain và thư viện điều khiển thiết bị ESP32. Đa số trong ESP-IDF là mã nguồn mở, tuy nhiên vẫn sẽ có các đoạn mã binary của hãng sản xuất cung cấp để ESP32 có thể hoạt động.
 - AT (Espressif): Là firmware được nhà sản xuất cung cấp dưới dạng file binary, cung cấp giao diện UART điều khiển ESP32 thông qua các lệnh AT được định sẵn.
 - Arduino (cộng đồng): Là Framework được xây dựng trên ESP-IDF để có thể sử dụng trên thư viện Arduino.



Hình 2.27: Module ESP32-WROOM-32¹

¹ Nguồn: <https://vi.aliexpress.com/item/32793415575.html>

Trong đồ án này sẽ sử dụng ESP-IDF để điều khiển thiết bị nhằm có khả năng điều khiển thiết bị tốt hơn và tận dụng hiệu quả FreeRTOS có trong ESP-IDF.

2.5.2. Thingmagic M6E Nano

Thingmagic M6E là dòng module đọc ghi UHF RFID do JADAK sản xuất với mục đích cung cấp thiết bị cao cấp cho các nhà sản xuất phụ tùng gốc (original equipment manufacturers) sử dụng để tạo ra các thiết bị RAIN RFID trong nhiều lĩnh vực khác nhau như y tế, thiết bị POS (point of sale), an ninh, ... Module Thingmagic M6E Nano hỗ trợ băng tần của nhiều vùng khác nhau, trải dài từ 859MHz đến 930MHz. Thingmagic M6E có ba phiên bản biến thể khác nhau:

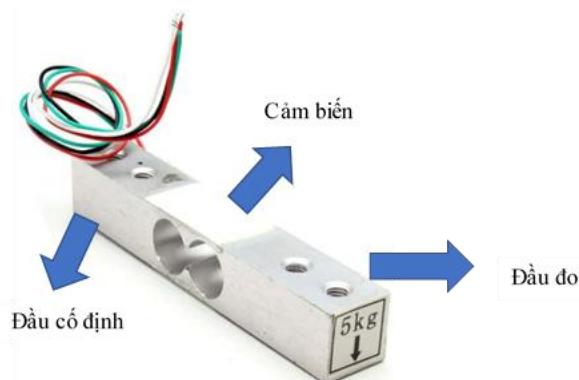
- **Thingmagic M6E:** Module công suất cao nhất của dòng M6E, hỗ trợ lên đến bốn cổng antenna, có công suất truyền nhận lên đến +31.5dBm.
- **Thingmagic M6E micro:** Là phiên bản công suất thấp hơn của M6E, chỉ hỗ trợ hai cổng antenna nhưng với kích thước nhỏ hơn. Module hỗ trợ các chân SMT (Surface-Mount Technology) để dễ dàng nhúng thiết bị vào mạch (thay vì kết nối thông qua dây nối như phiên bản M6E). Công suất phát cao nhất của module lên đến +30dBm.
- **Thingmagic M6E Nano:** Là phiên bản nhỏ gọn nhất của dòng M6E. Với kích thước nhỏ gọn, M6E Nano có các thông số thấp hơn các module khác, chỉ đạt tối đa +27dBm. Ngoài ra thiết bị chỉ hỗ trợ một cổng antenna duy nhất.

Dựa vào tính chất của đồ án này, M6E Nano được chọn sử dụng để làm thành phần đọc ghi UHF RFID do sự ổn định, nhỏ gọn và giá thành thấp của thiết bị. Tuy nhiên, M6E Nano có các tính năng không bằng các phiên bản khác nhưng vẫn đáp ứng tốt nhu cầu của đồ án:

- **Công suất phát đầu ra:** từ 0dBm đến +27dBm.
- **Tari:** Hỗ trợ duy nhất giá trị 25 micro giây.
- **BLF:** Hỗ trợ duy nhất giá trị 250KHz.

2.5.3. Loadcell

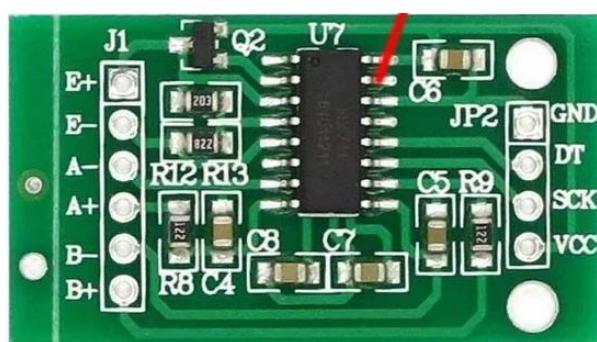
Loadcell là cảm biến cân nặng, chuyển đổi tín hiệu từ trọng lượng sang các tín hiệu analog để dễ xử lý. Loadcell thông thường được ứng dụng trong các cân tiêu ly vì mang lại độ chính xác cao. Loadcell có hai đầu riêng biệt, một đầu dành dùng để cố định, đầu còn lại sẽ chịu sức nặng của vật được cân. Phần cảm biến sẽ nằm giữa thiết bị nhằm đo độ giãn của cảm biến khi Loadcell có vật nặng đè lên.



Hình 2.28: Loadcell

2.5.4. HX711

Mạch đọc giá trị cảm biến Loadcell với độ phân giải 24bit và chuyển sang giao tiếp 2 dây. Giá trị xuất ra từ Loadcell bao gồm hai dây nguồn (đất và 3.3v) và hai dây tín hiệu. HX711 sẽ chuyển đổi các tín hiệu đó sang giá trị dưới thông qua giao tiếp 2 dây (clock và data).



Hình 2.29: Module chuyển đổi tín hiệu Loadcell HX711¹

¹ Nguồn: <https://hshop.vn/products/mach-chuyen-doi-tin-hieu-loadcell-hx711>

2.6. Cơ sở lý thuyết phần mềm

2.6.1. Free RTOS

FreeRTOS là một hệ điều hành nhúng thời gian thực (Real Time Operating System) mã nguồn mở được phát triển bởi Real Time Engineers Ltd, sáng lập và sở hữu bởi Richard Barry. FreeRTOS được thiết kế phù hợp cho nhiều hệ nhúng nhỏ gọn vì nó chỉ triển khai rất ít các chức năng như: cơ chế quản lý bộ nhớ và tác vụ cơ bản, các hàm API quan trọng cho cơ chế đồng bộ. Nó không cung cấp sẵn các giao tiếp mạng, drivers, hay hệ thống quản lý tệp (file system) như những hệ điều hành nhúng cao cấp khác. Tuy vậy, FreeRTOS có nhiều ưu điểm, hỗ trợ nhiều kiến trúc vi điều khiển khác nhau, kích thước nhỏ gọn (4.3 Kbytes sau khi biên dịch trên Arduino), được viết bằng ngôn ngữ C và có thể sử dụng, phát triển với nhiều trình biên dịch C khác nhau (GCC, OpenWatcom, Keil, IAR, Eclipse, ...), cho phép không giới hạn các tác vụ chạy đồng thời, không hạn chế quyền ưu tiên thực thi, khả năng khai thác phần cứng. Ngoài ra, nó cũng cho phép triển khai các cơ chế điều độ giữa các tiến trình như: queues, counting semaphore, mutexes.

2.6.2. Giao thức Bluetooth SPP

SPP là tên viết tắt của Serial Port Profile một chuẩn giao tiếp của Bluetooth dùng để kết nối hai thiết bị thay thế cho cáp RS-232 hoặc các giao tiếp kết nối có dây khác.

2.6.3. Mercury API

Mercury API là bộ thư viện code được cung cấp bởi ThingMagic nhằm giúp giao tiếp với các đầu đọc của hãng. Mercury API hỗ trợ ba ngôn ngữ chính đó là java, C#, C và có thể sử dụng trong các phần mềm ứng dụng của windows, linux, MacOS, Android, iOS và các vi điều khiển. Ngoài ra cộng đồng còn hỗ trợ thêm thư viện python cho API này. Mercury cung cấp một phương thức giao tiếp, được xây dựng trên giao thức LLRP và các tính năng đặc khi sử dụng code trên các hệ điều hành như hỗ trợ đa luồng, đọc dữ liệu bất đồng bộ. Do Mercury API hỗ trợ tất cả

thiết bị của hãng và đưa ra nhiều tùy chọn cho người dùng nhưng các tài liệu lại chưa được chi tiết cho code C, nên bộ thư viện này khá lớn và khó sử dụng.

2.6.4. Phần mềm mô phỏng HFSS

HFSS là viết tắt của Hight Frequency Structure Simulator. HFSS là phần mềm mô phỏng trường điện từ theo phương pháp toàn sóng (full wave) để mô hình hóa bất kỳ thiết bị thu động 3D nào. Ưu điểm nổi bật của nó là có giao diện người dùng đồ họa. Nó tích hợp mô phỏng, ảo hóa, mô hình hóa 3D và tự động hóa. phần mềm này sử dụng với licence được hỗ trợ bởi viện nghiên cứu LEAT, Nice Sophia Antipolis, Pháp.

2.6.5. Phần mềm vẽ CAD Onshape

Onshape là dịch vụ theo mô hình SaaS (Software as a service) đầu tiên trên thế giới kết hợp vẽ 3D CAD, các công cụ phân tích và quản lý phiên bản (version control) ngay trên web. Onshape được khởi tạo vào tháng ba năm 2015 bởi Jon Hirschtick, người đã sáng lập ra ứng dụng vẽ CAD chuyên nghiệp Solidword. Lúc vừa mới ra mắt, Onshape thiếu rất nhiều tính năng cơ bản của một ứng dụng CAD phổ thông. Tuy nhiên sau nhiều bản cập nhật liên tục, Onshape đã sở hữu một kho tính năng đồ sộ, có thể so sánh ngang với các ứng dụng khác. Ngoài ra Onshape tích hợp thêm khả năng xuất và nhập nhiều loại file khác nhau tạo nên sự linh hoạt cho hệ thống. Tính năng quản lý phiên bản cũng được chú trọng trong Onshape, giúp người dùng dễ dàng trong công việc. Onshape là ứng dụng miễn phí với đầy đủ các tính năng nhưng các file vẽ CAD sẽ được public cho tất cả người dùng khác.



Hình 2.30: Logo Onshape

2.6.6. Android Studio

Android Studio (IDE Android) là môi trường phát triển tích hợp chuyên nghiệp hỗ trợ việc thiết kế và xây dựng các ứng dụng di động trên nền tảng Android được Google và JetBrains hợp tác xây dựng nhằm thay thế các phiên bản plugin Android dành cho Eclipse ngày xưa. Các tính năng cơ bản của Android studio bao gồm:

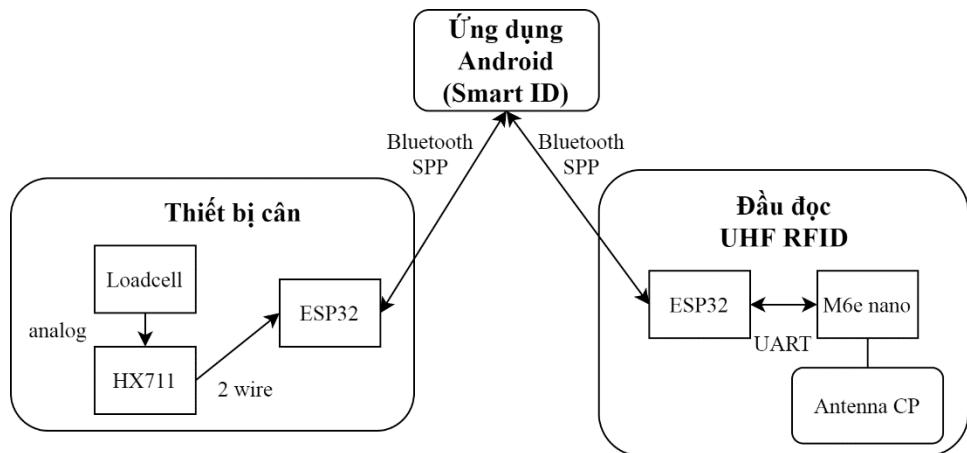
- Hệ thống Gradle linh hoạt.
- Trình mô phỏng nhanh và tính năng phong phú.
- Một môi trường hợp nhất nơi bạn có thể phát triển cho tất cả các thiết bị Android.
- Mẫu mã và tích hợp GitHub để giúp bạn xây dựng các tính năng ứng dụng phổ biến và nhập mã mẫu.
- Các công cụ và khuôn khổ thử nghiệm mở rộng.
- Xây dựng các biến thể và tạo nhiều tệp APK.
- Link công cụ để bắt hiệu suất, khả năng sử dụng, tương thích phiên bản, và các vấn đề khác.
- Hỗ trợ C ++ và NDK.
- Tích hợp hỗ trợ Google Cloud Platform, giúp dễ dàng tích hợp Google Cloud Messaging và App Engine.
- Hỗ trợ tích hợp sâu Firebase vào trong các ứng dụng chỉ sau một click chuột.
- Chỉnh sửa bố cục đa dạng với khả năng kéo và thả Theme.
- ProGuard và ứng dụng app-signing.

2.6.7. SQLite

SQLite là một thư viện phần mềm mà triển khai một SQL Database Engine, không cần máy chủ, không cần cấu hình, khép kín và nhỏ gọn. Nó là một cơ sở dữ liệu, không cần cấu hình, có nghĩa là giống như các cơ sở dữ liệu khác mà bạn không cần phải cấu hình nó trong hệ thống của mình.

Chương 3. PHÂN TÍCH VÀ THIẾT KẾ HỆ THỐNG

3.1. Tổng quan hệ thống



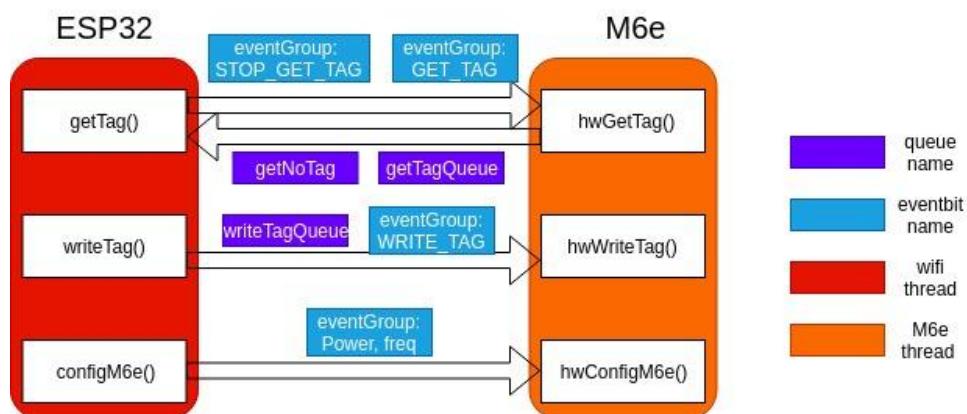
Hình 3.1: Sơ đồ tổng quan của hệ thống

Hệ thống sẽ bao gồm 2 thành phần chính và một thành phần phụ. Thành phần chính đầu tiên là đầu đọc UHF RFID bao gồm một board mạch chứa bộ xử lý trung tâm là ESP32-WROOM-32 điều khiển module UHF RFID Thingmagic M6E Nano thông qua giao thức UART và chuẩn giao tiếp LLRP. Đầu đọc sẽ được kết nối trực tiếp với board mạch đầu kết nối SMA bằng cổng kết nối để giảm thiểu thất thoát năng lượng trên dây dẫn. Thành phần chính thứ hai là ứng dụng Android dùng để giao tiếp với ESP32 thông qua Bluetooth nhằm điều khiển và nhận giá trị đọc về từ UART. Ngoài ra, để tăng độ chính xác cho hệ thống, trong đồ án này sẽ có thêm một thiết bị cân Bluetooth dùng để đo tổng số lượng sản phẩm tránh trường hợp đọc thiếu sản phẩm xảy ra. Thiết bị cân sẽ sử dụng Loadcell trọng lượng tối đa là 10kg, được kết nối và đọc dữ liệu bằng ESP32 nhằm có khả năng giao tiếp Bluetooth với ứng dụng Android.

3.1.1. RTOS trong đầu đọc

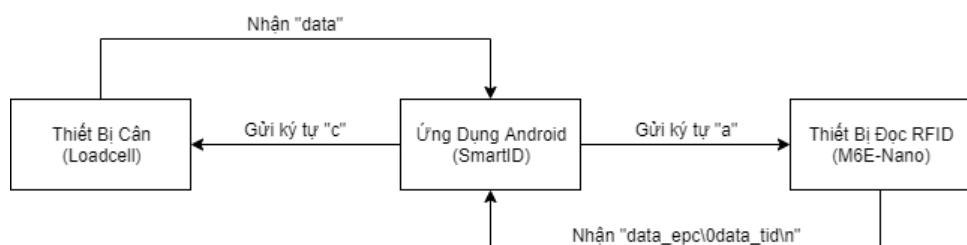
Vì ESP32-WROOM-32 có bộ xử lý hai nhân nên để tận dụng triệt để khả năng của thiết bị, phần mềm trên đầu đọc sẽ được thiết kế bằng hệ điều hành thời gian thực FreeRTOS đã được tích hợp sẵn trong ESP-IDF. Ngoài ra, việc sử dụng FreeRTOS còn giúp cho việc mở rộng chức năng của thiết bị dễ dàng hơn. ESP32

trên đầu đọc sẽ có các tiến trình dựa vào chức năng sẽ được phân chia ra làm hai loại nhất định. Loại tiến trình giao tiếp với Bluetooth để nhận câu lệnh và xử lý câu lệnh đó. Loại tiến trình thứ hai đảm nhiệm việc giao tiếp với module ThingMagic M6E Nano. Hai loại tiến trình này sẽ giao tiếp dữ liệu với nhau thông qua queue và eventGroup trong FreeRTOS. Sơ đồ tổng quan thiết kế các tiến trình sẽ được thể hiện ở *Hình 3.2*.



Hình 3.2: Sơ đồ tổng quan thiết kế các tiến trình trên đầu đọc UHF RFID

3.1.2. Giao tiếp với phần mềm Android



Hình 3.3: Sơ đồ giao tiếp thiết bị với hệ thống

Ứng dụng Android (SmartID) sẽ gửi ký tự “a” cho thiết bị đọc RFID, thiết bị đọc RFID (M6E Nano) sẽ đọc tag và gửi liên tục thông tin của tag về cho SmartID trong vòng 10 giây với nội dung là mã EPC và mã ID của tag, được định dạng là mã EPC trước sau là mã ID của tag được ngăn cách bởi ký tự ‘\0’ và kết thúc data sẽ là ký tự ‘\n’. Khi muốn kiểm tra cân SmartID sẽ gửi ký tự “c” cho thiết bị cân (Loadcell) và nhận về giá trị của cân hiện tại.

3.1.3. Thiết kế phần mềm Android

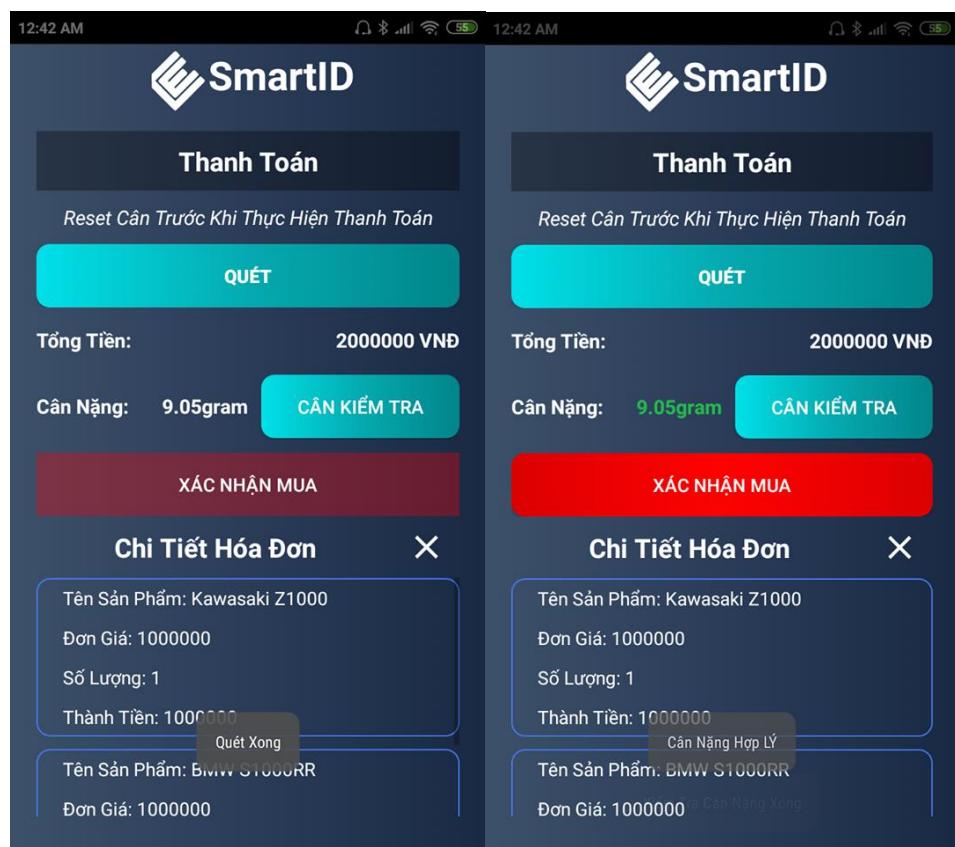
3.1.3.1. Thiết kế database

SANPHAM	
MA_SP:	string
TEN_SP:	string
GIA_SP:	string
CANNANG_SP:	string

Hình 3.4: Thiết kế bảng cơ sở dữ liệu sản phẩm

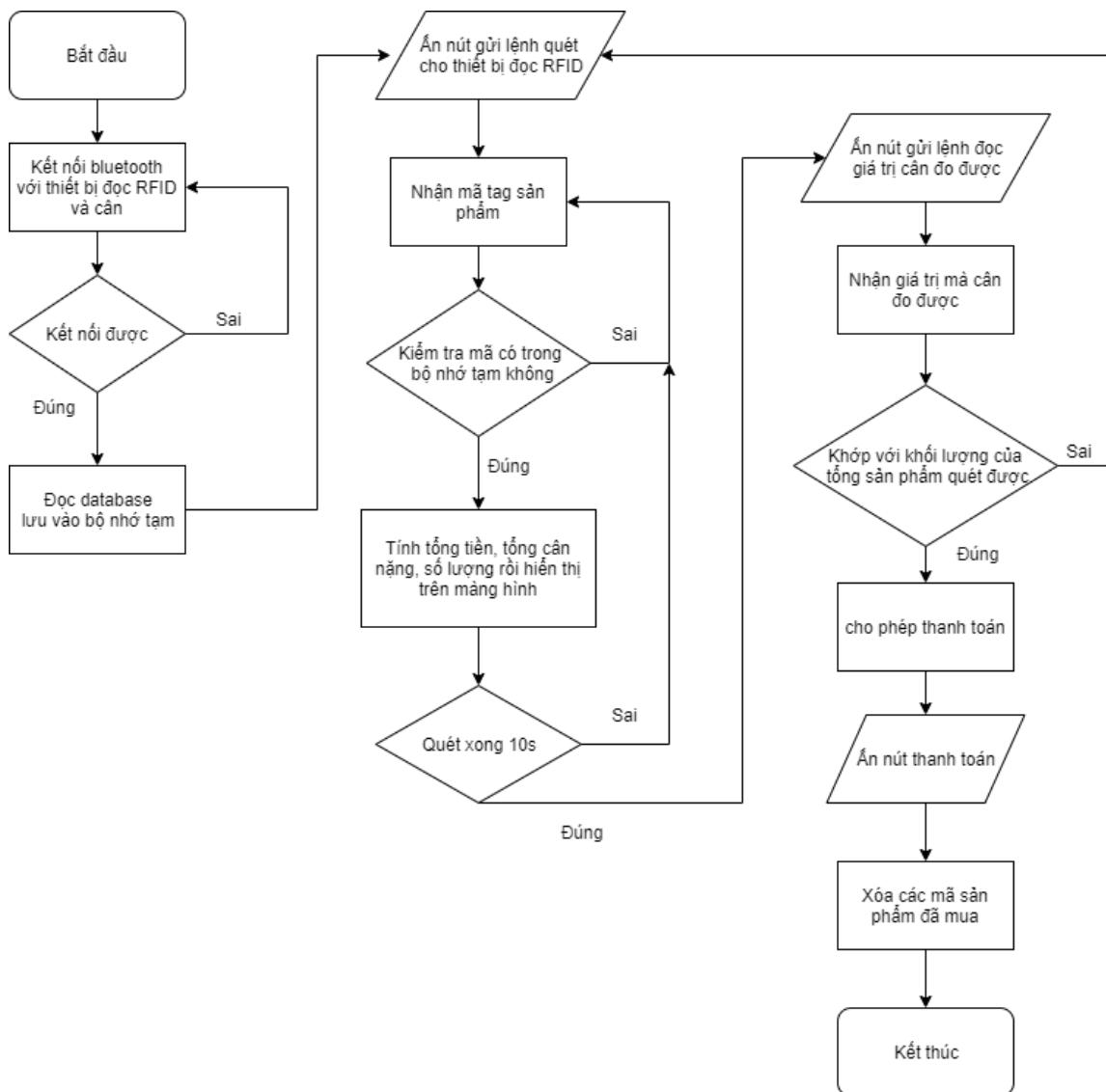
Database của hệ thống là một bảng dùng để lưu trữ các thông tin và truy xuất thông tin của từng thẻ theo mã thẻ nhận được từ thiết bị đọc RFID. Mã thẻ là sản phẩm. TEN_SP(tên sản phẩm), MA_SP(mã sản phẩm), GIA_SP(giá sản phẩm), CANNANG_SP(cân nặng sản phẩm).

3.1.3.2. Thiết kế chức năng thanh toán



Hình 3.5: Giao diện chức năng thanh toán

Giao diện chức năng thanh toán được thiết kế sao cho người dùng có thể dễ nhìn thấy tổng số tiền phải thanh toán và chi tiết giá cả, số lượng của từng món hàng. Để thực hiện các thao tác quét mã, kiểm tra cân nặng cân, xác nhận mua hàng như *Hình 3.5*. Bên trái là giao diện sau khi quét tất cả sản phẩm xong, bên phải là giao diện sau khi kiểm tra cân nặng đã phù hợp với tổng cân nặng của tất cả các sản phẩm đã quét được.

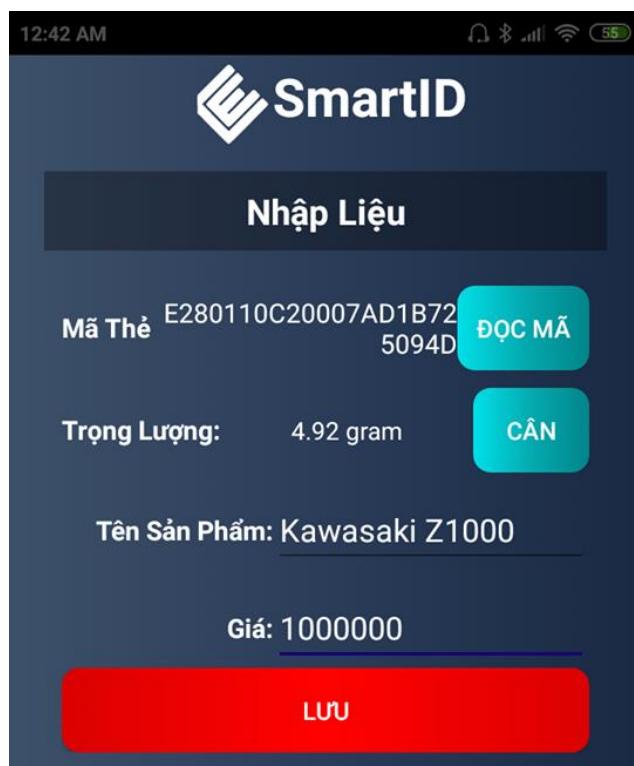


Hình 3.6: Sơ đồ hoạt động chức năng thanh toán

Hình 3.6 biểu diễn sơ đồ đường xử lý các thao tác trong chức năng thanh toán. Sau khi chọn các thiết bị Bluetooth cần kết nối như cân và RFID UHF, đầu tiên chức năng thanh toán sẽ kết nối với hai thiết bị đó trước sau khi kết nối thành

công, ứng dụng sẽ đọc các sản phẩm có trong database rồi ghi vào bộ nhớ tạm. Khi nhấn nút quét ứng dụng sẽ gửi một lệnh đến thiết bị RFID UHF thiết bị sẽ quét các mã sản phẩm trong khoảng thời gian 10 giây và gửi mã sản phẩm về ứng dụng. Sau khi nhận được mã sản phẩm, ứng dụng sẽ kiểm ra bộ nhớ tạm có tồn tại mã sản phẩm này hay không, nếu có sẽ thực hiện các thao tác tính tổng tiền chi tiết hóa đơn. Sau khi quét mã xong, ta cần kiểm tra cân nặng thực tế xem nó có khớp với tổng cân nặng của các sản phẩm đã được lưu trong database không, nếu khớp với tổng cân nặng của tất cả sản phẩm thì cho phép thanh toán, sẽ có sai số giữa cân nặng thu được từ load cell và cân nặng lưu trong database, sai số thông thường là từ 5 – 10%.

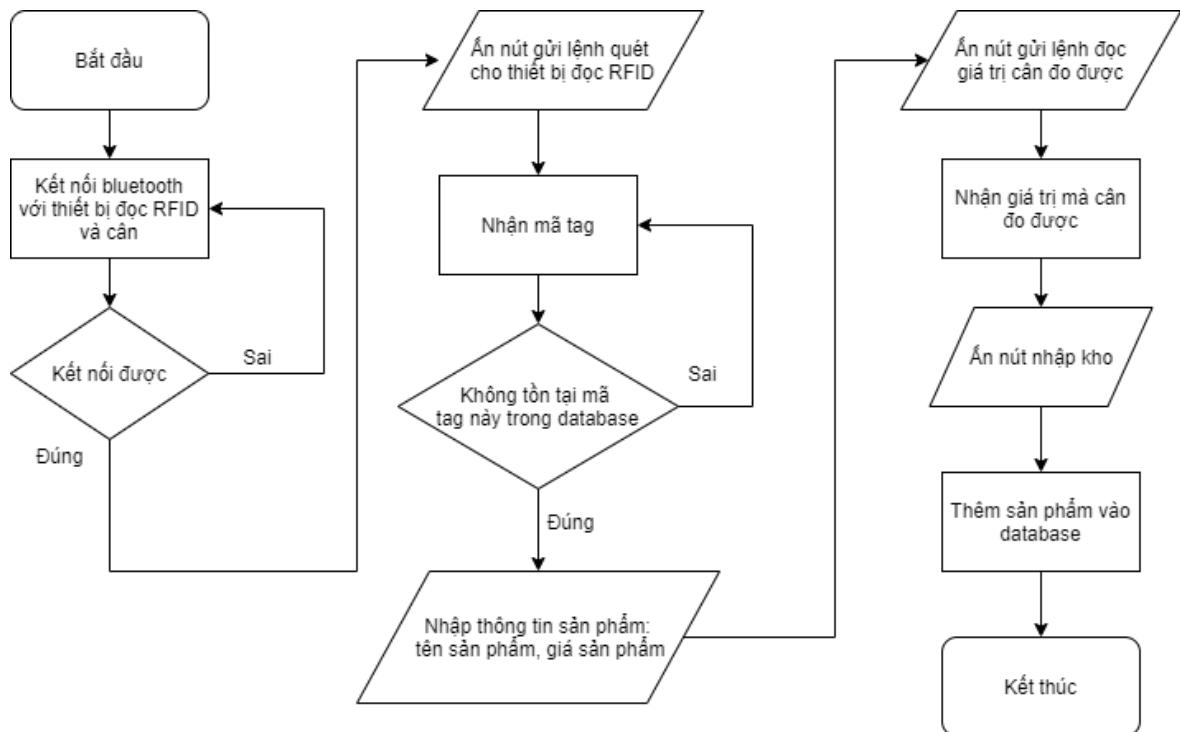
3.1.3.3. Thiết kế chức năng nhập kho



Hình 3.7: Giao diện chức năng nhập sản phẩm

Giao diện của chức năng nhập kho được thiết kế đơn giản dễ nhìn gồm các nút đọc mã tag, đọc cân nặng sản phẩm như *Hình 3.7*. Mã thẻ là sản phẩm quét được nhờ thiết bị RFID UHF sau khi gửi lệnh đọc từ nút đọc mã, trọng lượng là khối lượng của sản phẩm đó đo trên cân được tính bằng gram nhận được khi ta nhấn

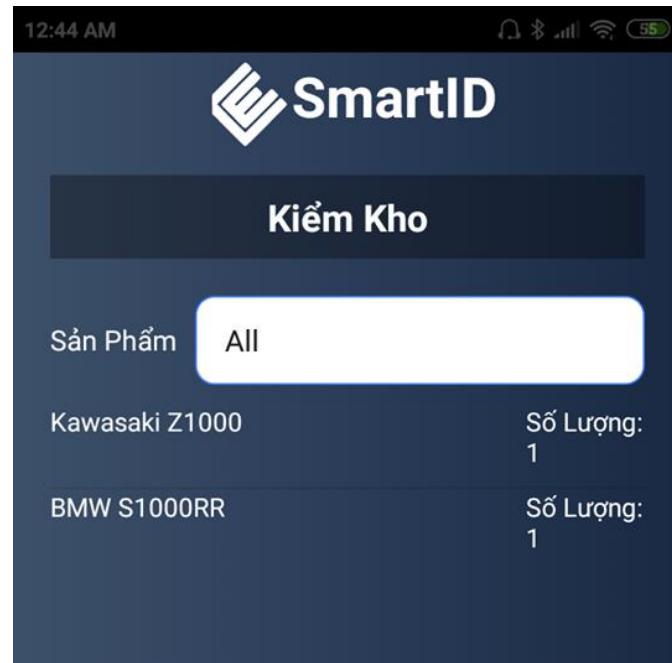
nút cân, giá là giá trị sản phẩm đơn vị tiền tệ là VND, nút lưu là để lưu tất cả các thông số sản phẩm vào database của điện thoại.



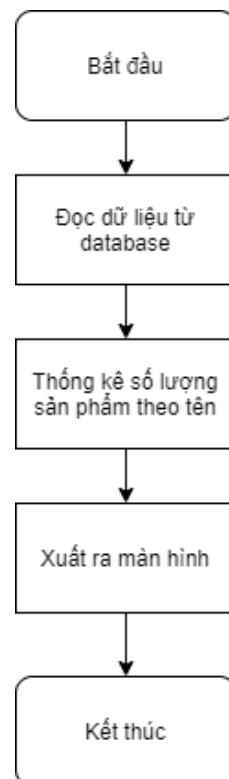
Hình 3.8: Sơ đồ hoạt động của chức năng nhập sản phẩm vào kho

Giống như ở chức năng thanh toán ứng dụng sẽ được chọn địa chỉ Bluetooth của các thiết bị RFID, thiết bị cân sau đó tạo kết nối giữa các thiết bị, sau đó thao tác nhấn nút đọc mã, ứng dụng sẽ gửi lệnh quét cho thiết bị RFID UHF, khi quét được mã tag thiết bị sẽ gửi địa chỉ về cho ứng dụng kiểm tra xem mã đó có tồn tại trong database hay không nếu mã tồn tại trong database ứng dụng sẽ nhận một mã khác từ thiết bị nếu không tồn tại trong database thì thực hiện thao tác nhập thông tin sản phẩm, giá sản phẩm,... rồi kiểm tra cân nặng của cân rồi nhấn nút nhập vào database.

3.1.3.4. Thiết kế chức năng kiểm kho



Hình 3.9: Giao diện chức năng kiểm tra sản phẩm trong kho
Hiển thị tên sản phẩm và số lượng còn lại trong kho như trong *Hình 3.9*



Hình 3.10: Sơ đồ hoạt động chức năng kiểm tra sản phẩm

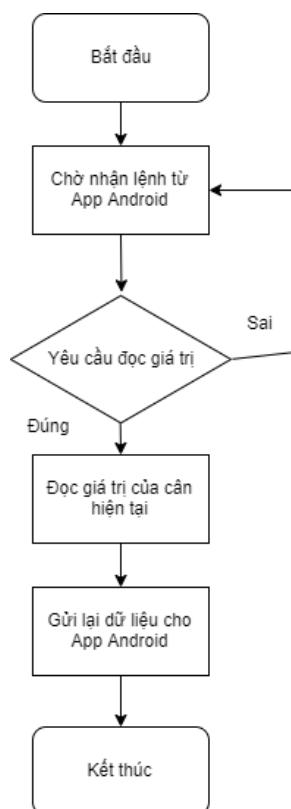
Ứng dụng sẽ đọc dữ liệu tất cả sản phẩm có trong database sau đó thống kê và hiển thị ra màn hình.

3.1.4. Thiết kế cân



Hình 3.11: Thiết kế của cân

Cân sử dụng cảm biến cân nặng Loadcell 10 Kg mạch đọc giá trị cảm biến Loadcell HX711 và sử dụng ESP32 để điều khiển đọc giá trị và gửi giá trị về cho ứng dụng Android như *Hình 3.12*.

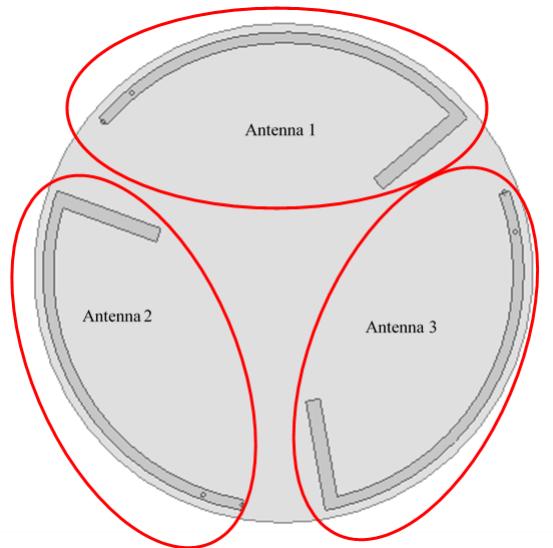


Hình 3.12: Sơ đồ hoạt động của cân

3.1.5. Thiết kế antenna

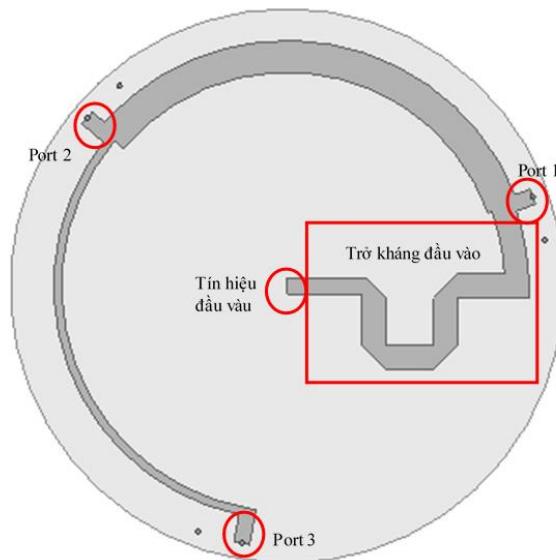
Dựa vào phân tích các loại antenna ở 2.4, Antenna phù hợp cho ứng dụng của đồ án này là antenna CP. Các Thiết kế antenna CP thường được làm bằng hai lớp mạch khác nhau như [7] và [8]. Một lớp mạch dùng để delay các pha và lớp mạch còn lại gồm nhiều antenna đẳng hướng khác nhau. Trong [8], Antenna được thiết kế bằng sáu antenna đẳng hướng theo dạng một cực (monopole) được bẻ gấp lại thành hình hộp chữ nhật và sử dụng vật liệu là FR4. Tuy nhiên do cách sắp xếp các antenna khiến cho việc sản xuất trở nên khó khăn và công vào tín hiệu phải qua con chip tách ra làm hai sóng lệch nhau 180 độ. Trong [7] thì cũng sử dụng kiến trúc delay network và bốn antenna một cực chữ F ngược (inverted-F monopoles) trên bề mặt. Nhưng chất liệu sử dụng để chống đỡ antenna lại là mực in 3d PLA (Poly-Lactic Acid), khiến giá thành tăng và thời gian tạo ra thành phẩm lâu. Trong bài báo [9], antenna được thiết kế dựa trên kiến trúc khác so với những bài báo ở trên. Chỉ sử dụng một lớp mạch FR4 và hai antenna ngẫu cực (dipole antenna). Mặc dù có các thông số Return loss và Axial ratio tốt nhưng lại không có độ lợi gain và độ định hướng tốt như các phương pháp trong bài báo [7] và [8].

Antenna trong đồ án này sẽ thiết kế theo cấu trúc của [7] và [8] (delay network và antenna) do có tính đẳng hướng và sóng điện trường là dạng CP, phù hợp với nhu cầu của đồ án. Nguyên lý hoạt động vẫn sẽ dựa vào phương pháp sequence rotate [10] để đạt được phân cực tròn và mạch phân chia năng lượng nối tiếp [11] để xây dựng lớp delay network. Hai lớp của antenna có hình tròn và được kết nối trực tiếp với board đầu đọc thông qua cổng SMA. Tuy nhiên không như phương pháp [7] và [8] sử dụng 4 antenna được xoay theo 4 hướng khác nhau, trong nhằm giảm kích cỡ, antenna sẽ chỉ gồm có ba antenna đẳng hướng xoay theo một góc 120 độ như *Hình 3.13*. với độ dài là $\lambda/4$ Tần số mong muốn của antenna này sẽ hoạt động trong khoảng 860MHz đến 870MHz.



Hình 3.13: Lớp trên chứa ba antenna chữ F ngược

Lớp delay network sẽ dựa vào thiết kế của [7] và [8]. Mục đích của lớp này là sử dụng các phần đồng để làm chậm pha của tín hiệu và phân đều năng lượng đến các antenna sao cho pha của các antenna đó có độ chênh lệch bằng nhau, trong trường hợp trong *Hình 3.14* có ba antenna như trong đồ án, mỗi antenna sẽ được cấp tín hiệu với độ lệch pha là 120° . Delay network bao gồm phần đồng dẫn tín hiệu từ board vào với độ dài là $\lambda/4$ và phần đồng đưa tín hiệu đến các cổng antenna có tác dụng làm trễ pha và phân bổ năng lượng. Các phần đồng này sẽ giúp thay đổi trở kháng của antenna để hoạt động tốt nhất có thể.



Hình 3.14: Delay network ở lớp dưới

Lớp network và lớp antenna sẽ được nối nhau thông qua sáu thanh rào, ba thanh dẫn tín hiệu sóng và ba thanh nối đất. Khoảng cách giữa hai lớp antenna sẽ là 7mm. Để đạt khoảng cách chính xác giữa hai lớp antenna, đế hỗ trợ (*Hình 3.15*) dựa trên thiết kế¹ sẽ được dùng trong lúc hàn antenna.



Hình 3.15: Đế hỗ trợ hàn antenna

3.1.6. Thiết kế board mạch

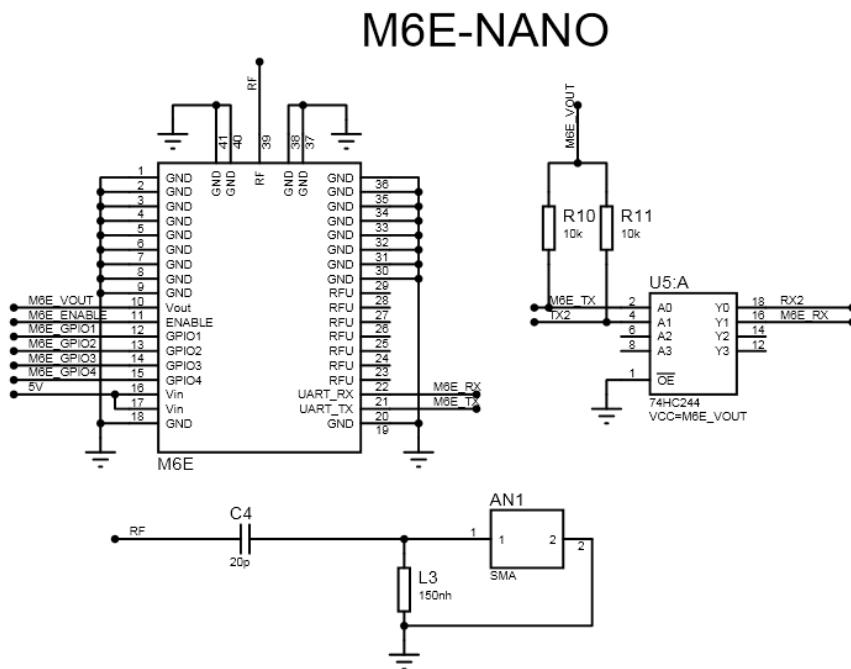
Board mạch của đầu đọc UHF RFID được thiết kế chia ra làm ba khối khác nhau:

- **Khối M6E Nano (*Hình 3.16*):** Phần mạch chứa module M6E Nano cùng với buffer 74HC244 ngay tại đầu vào UART để tránh làm hỏng module khi khởi động như trong [12]. Ngoài ra còn có các linh kiện bị động (passive) tham khảo từ [13] giúp matching với antenna được tốt hơn.
- **Khối ESP32 (*Hình 3.17*):** Phần mạch chứa ESP32-WROOM-32 và các linh kiện bị động khác giúp cho ESP32 hoạt động bình thường. Module CH340 (module chuyển RS232 sang UART) được nối vào UART0 của ESP nhằm đơn giản trong việc nạp code cũng như thêm một giao phương thức giao tiếp

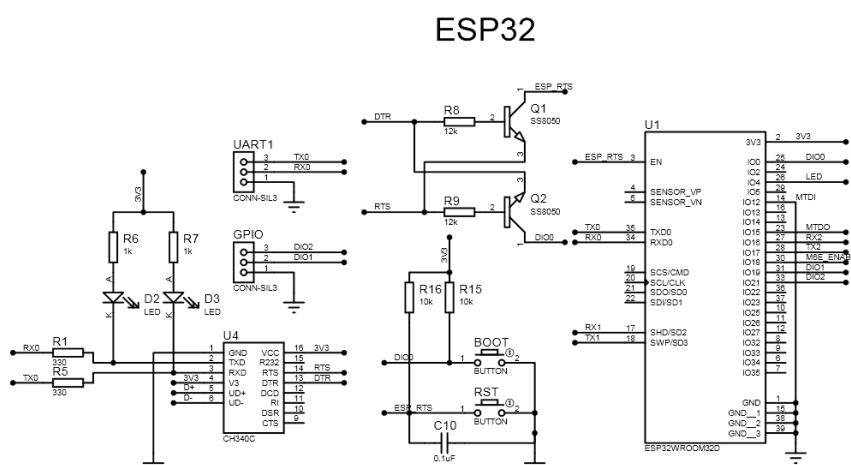
¹ <https://grabcad.com/library/jig-for-pagoda-antenna-1>

với board. Chung với CH340 là mạch gồm hai transistor giúp cho ESP32 tự động vào chế độ bootloader mà không cần phải nhấn nút bằng tay. Hai chân rào cũng được đưa ra tạo kết nối ngoài cho thiết bị.

- **Khôi nguồn** (*Hình 3.18*): Khôi mạch chứa các tụ và IC nguồn cung cấp điện thế 5V và 3V3 cho cả thiết bị. Có hai cách cấp nguồn cho board, cấp qua cổng micro USB hoặc cấp nguồn qua header.

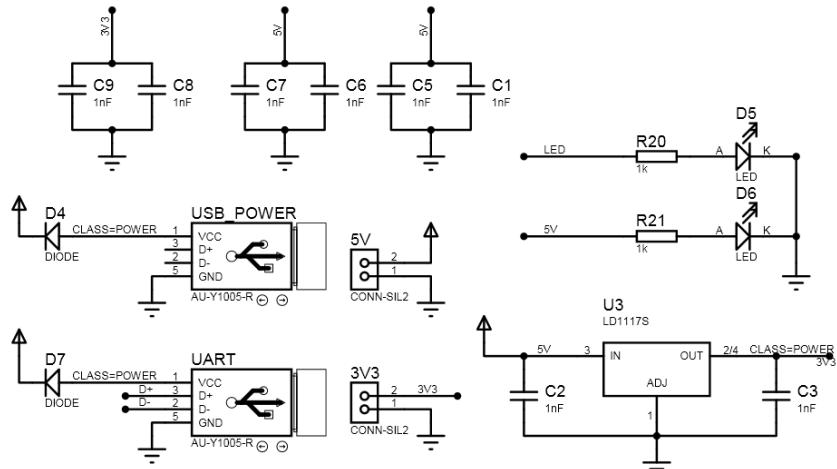


Hình 3.16: Khối M6E Nano trong board đầu đọc



Hình 3.17: Khối ESP32 trong board đầu đọc

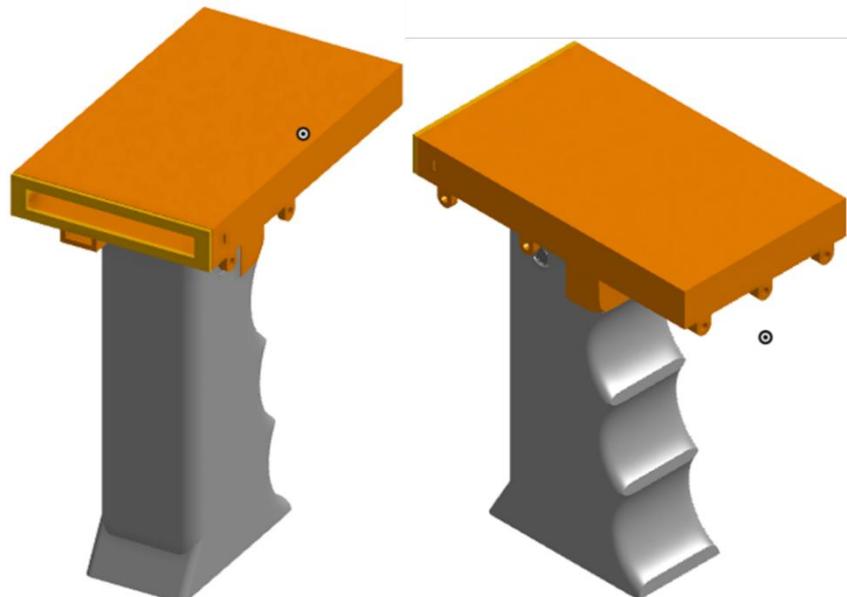
POWER



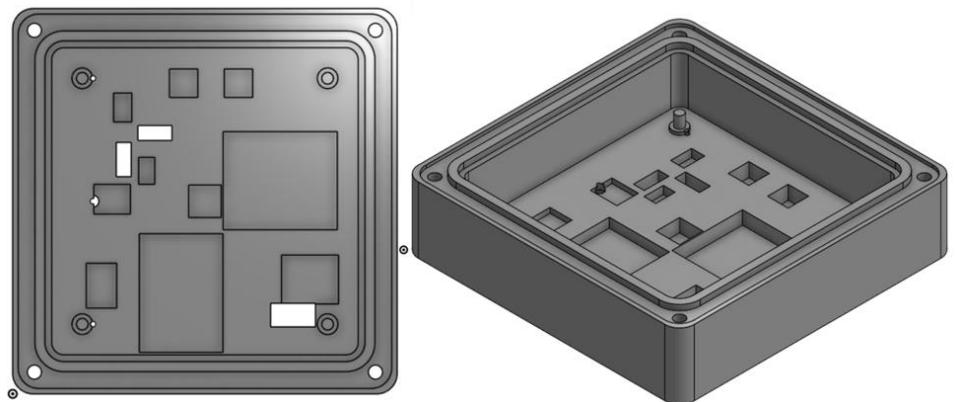
Hình 3.18: Khối cáp nguồn trong board đầu đọc

3.2. Phương pháp đóng gói sản phẩm

Sản phẩm demo sẽ được đóng gói bằng phương pháp in 3d. Model được thiết kế trên phần mềm Onshape. Nhằm tối ưu hóa cho việc in 3d, model sẽ được chia ra làm bốn phần khác nhau: cán súng và đế đựng pin (*Hình 3.19*), hộp (*Hình 3.20*) và nắp hộp đựng thiết bị đọc UHF RFID (*Hình 3.21*). Các phần đó được kết nối với nhau bằng ốc vít: cán súng, đế đựng pin và hộp đựng thiết bị đầu đọc.



Hình 3.19: Cán súng và đế đựng pin



Hình 3.20: Hộp đựng thiết bị đọc UHF RFID



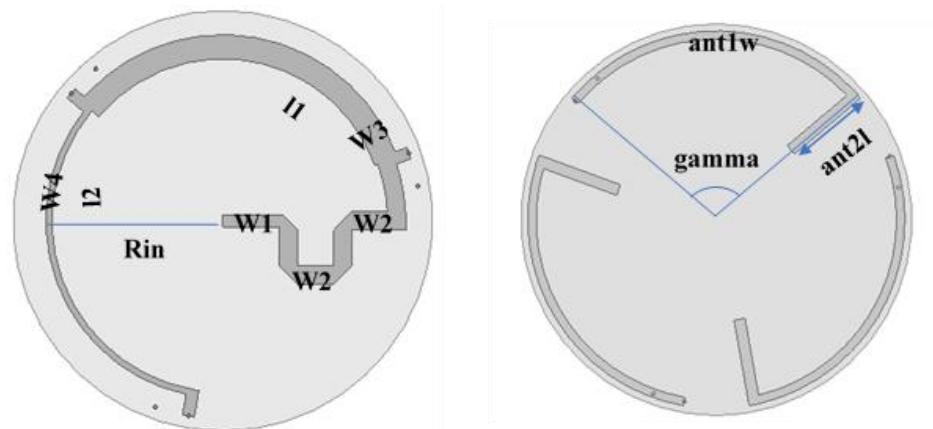
Hình 3.21: Nắp hộp đựng thiết bị đọc UHF RFID

Chương 4. KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ

4.1. Kết quả đạt được

4.1.1. Antenna

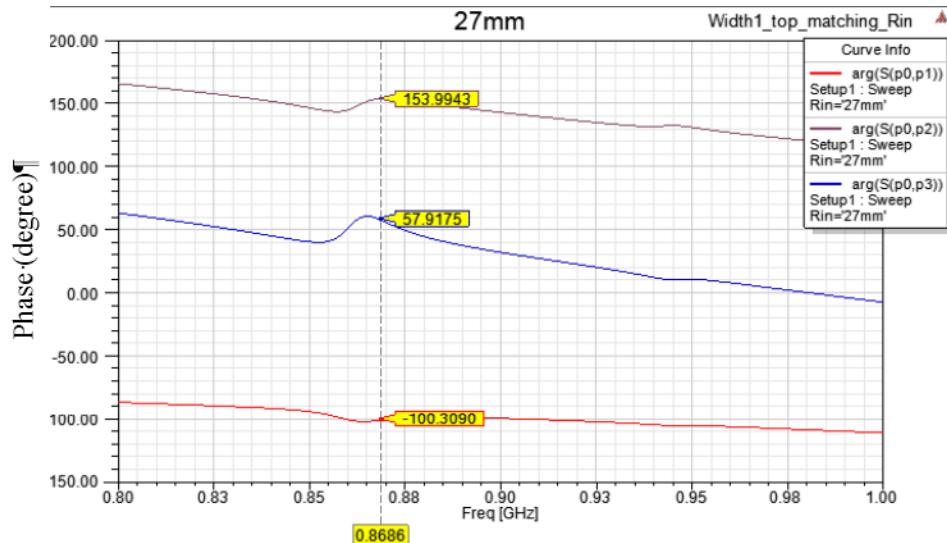
Nhằm giúp dễ dàng tinh chỉnh, antenna sẽ được thiết kế với các biến khác nhau. Trong đó, các tham số đáng chú ý (*Hình 4.1*) bao gồm $w1$ (mm), $w2$ (mm), $w3$ (mm), $w4$ (mm), Rin (mm), γ (độ), $ant1w$ (mm) và $ant2l$ (mm).



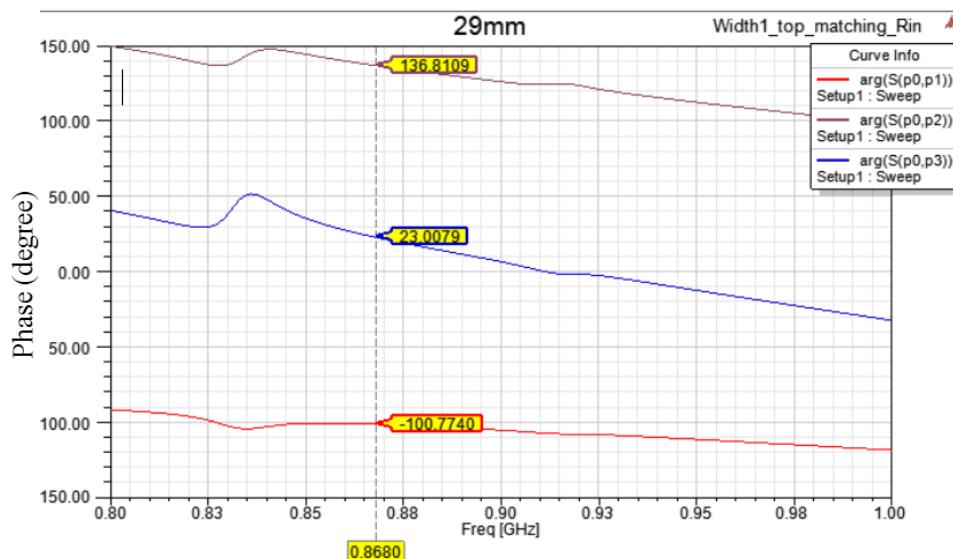
Hình 4.1: Các tham số cấu tạo của antenna

4.1.1.1. Mô phỏng lớp delay

Lớp dưới của antenna có hai vai trò chính, đó là lệnh pha 120 độ tại mỗi antenna và chia năng lượng đều đến antenna đó. Độ lệch pha sẽ ảnh hưởng bởi chiều dài của đường tín hiệu nối giữa các antenna. Năng lượng đi đến các antenna quyết định bởi kích thước (trở kháng) của các đường tín hiệu đó. Cụ thể hơn là chiều dài của đường cung $l1$ và $l2$ sẽ ảnh hưởng đến độ lệch pha, độ dày của các đường cung $w3$ và $w4$ sẽ ảnh hưởng đến mức độ phân chia năng lượng giữa các antenna.



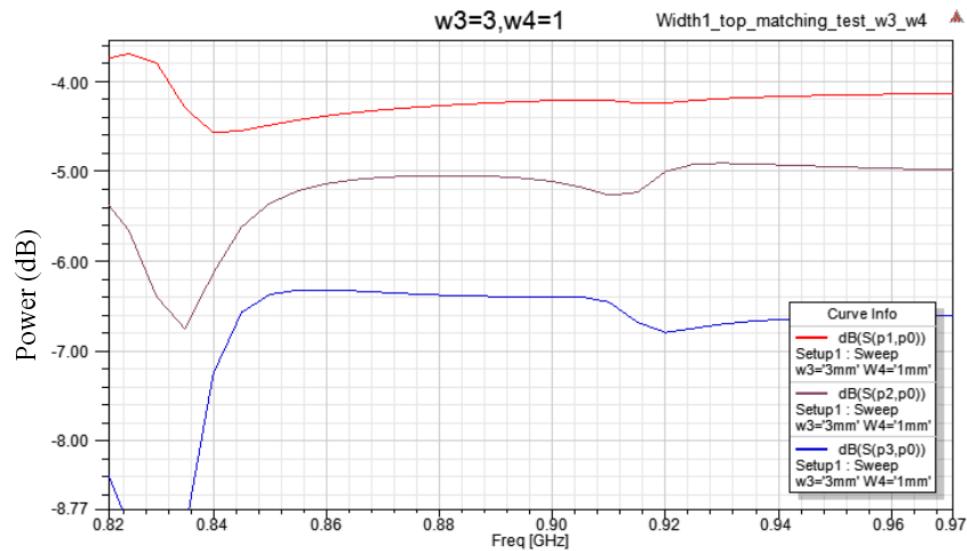
Hình 4.2: Độ chênh lệch pha giữa các cổng antenna và tín hiệu gốc với **Rin=27mm**



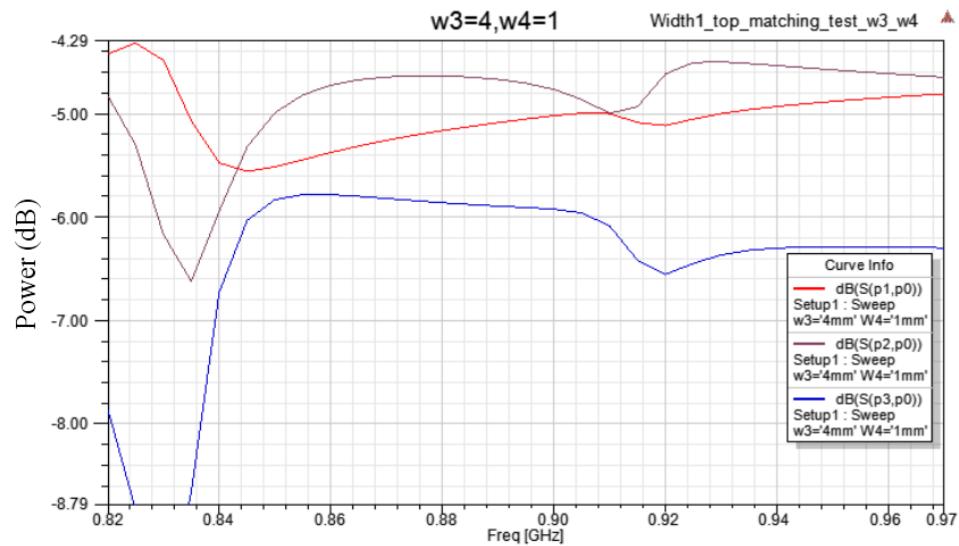
Hình 4.3: Độ chênh lệch pha giữa các cổng antenna và tín hiệu gốc với **Rin=29mm**

Độ dài đường cung **I1** và **I2** được quyết định bởi bán kính **Rin**. *Hình 4.2* và *Hình 4.3* biểu diễn độ lệch pha của từng cổng antenna so với tín hiệu đầu vào. Với đường màu tím, đỏ và xanh dương là độ lệch pha của cổng antenna 1, 2 và 3 so với tín hiệu đầu vào. Từ hai kết quả mô phỏng trên ta có thể thấy được khi **Rin** càng lớn độ lệch pha giữa các antenna lại càng gần với con số 120 độ. Ta có thể dễ thấy việc tăng **Rin** lên sẽ tăng hiệu năng antenna tuy nhiên cũng sẽ ảnh hưởng đến kích thước của tổng thể antenna. Nên để cân bằng giữa hiệu năng và kích thước, vị trí trung

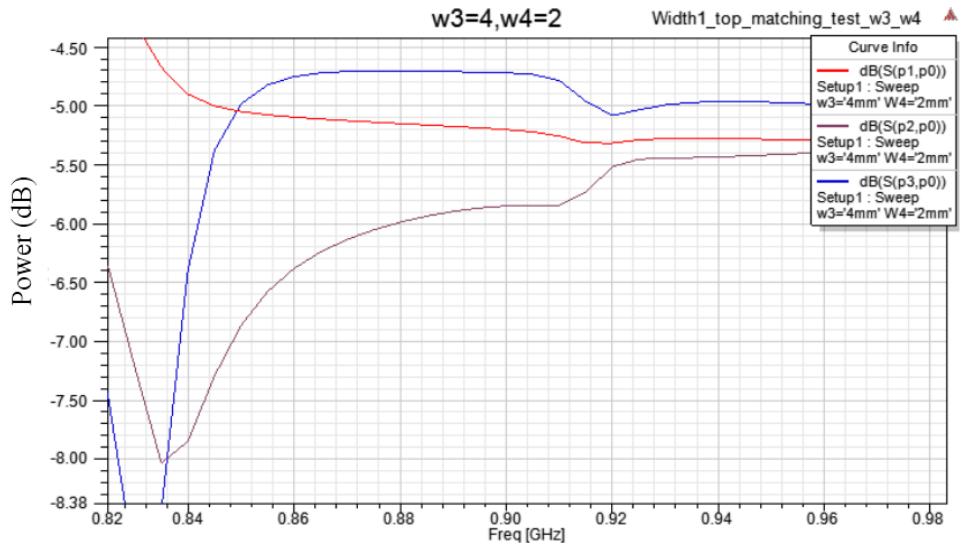
gian được chọn sẽ là **Rin** có giá trị là 29mm, khi đó kích thước của antenna sẽ là 35mm.



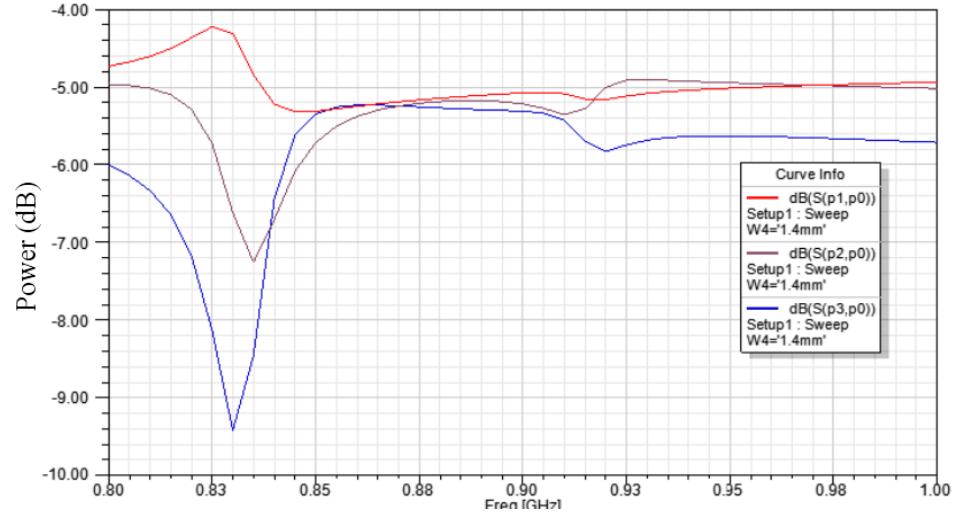
Hình 4.4: Năng lượng đi vào các cổng antenna $w3=3\text{mm}$, $w4=1\text{mm}$



Hình 4.5: Năng lượng đi vào các cổng antenna $w3=4\text{mm}$, $w4=1\text{mm}$



Hình 4.6: Năng lượng đi vào các cổng antenna $w3=4\text{mm}$, $w4=2\text{mm}$

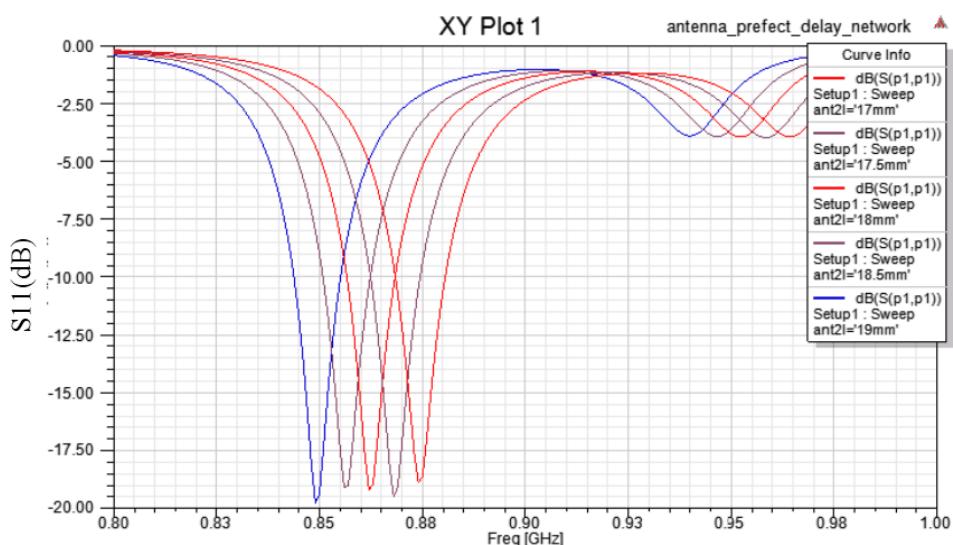


Hình 4.7: Năng lượng đi vào các cổng antenna $w3=4\text{mm}$, $w4=1.4\text{mm}$

Dựa theo công thức tính trở kháng của mạch phân chia năng lượng nối tiếp [11], độ dày $w3$ sẽ luôn lớn hơn độ dày của $w4$ do có trở kháng thấp hơn. Từ *Hình 4.4* đến *Hình 4.7* biểu diễn độ năng lượng đầu vào tại các port. Với cái đường màu đỏ, tím và xanh lần lượt là mức độ năng lượng của cổng antenna 1,2 và 3. Năng lượng nhận vào của ba cổng antenna càng bằng nhau, beam sóng sẽ có hệ số Axial ratio càng cao, beam sóng càng đều .Theo các lần mô phỏng như *Hình 4.4* và *Hình 4.5* khi tăng tham số $w3$ lên, hệ số S11 của cổng antenna một ($\text{dB}(p1,p0)$) có xu hướng giảm nhanh, ngoài ra cổng antenna hai ($\text{dB}(p2,p0)$) và cổng antenna ba ($\text{dB}(p3, p0)$) có xu hướng tăng lên. Theo mô phỏng *Hình 4.5* và *Hình 4.6* khi tăng

tham số **w4** thì công antenna ba có xu hướng tăng và công antenna một và hai có xu hướng giảm nhưng giảm nhanh ở công hai. Dựa vào các quan sát trên có thể thay đổi các tham số phù hợp sao cho độ chêch lệch năng lượng tại các công nhỏ hơn 1dB trong tần số từ 860MHz đến 870MHz như *Hình 4.7*. Có thể thấy trong *Hình 4.6*, độ chêch lệch đó sẽ ngày càng giảm khi tần số càng tăng, việc thay đổi tham số **Rin** sẽ làm dịch các đường đó về bên trái tuy nhiên vì giới hạn kích thước antenna nên vẫn sẽ giữ nguyên giá trị **Rin** như cũ là 29mm.

4.1.1.2. Mô phỏng lớp trên antenna

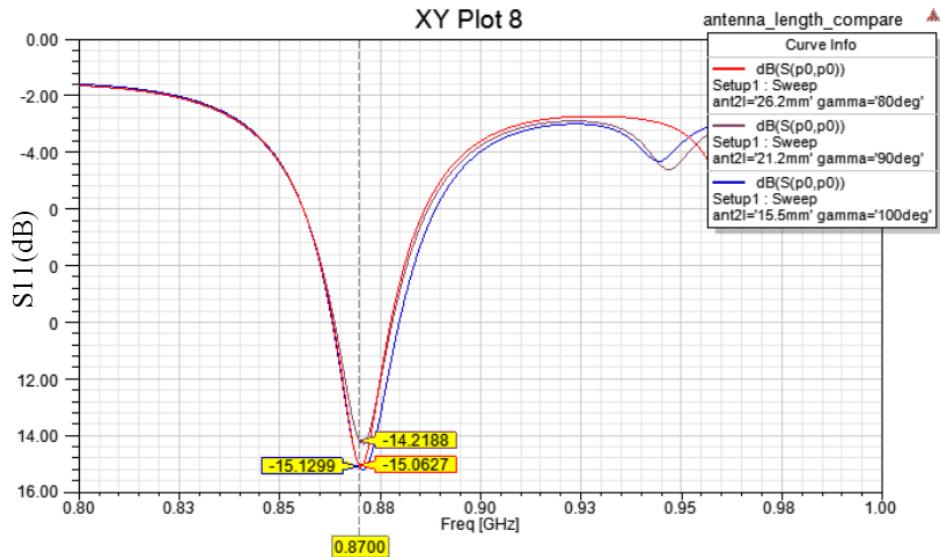


Hình 4.8: Hệ số S11 của lớp antenna với lớp delay network lý tưởng

Tần số của antenna sẽ phụ thuộc vào độ dài của antenna. Tham số **gamma** và **ant2l** sẽ quyết định tần số hoạt động của antenna. Tham số **ant1w** quyết định trở kháng của antenna, sẽ có giá trị là 14.5mm với trở kháng gần bằng 50 Ohm¹. Antenna sẽ có độ dài lý thuyết ban đầu là $\lambda/4$, sau đó sẽ được tinh chỉnh để rơi vào đúng tần số mong muốn. Kết quả mô phỏng trong *Hình 4.8* chỉ bao gồm lớp trên của antenna kết hợp lớp dưới lý tưởng (mỗi công antenna sẽ năng lượng cung cấp bằng nhau và độ lệch pha chính xác 120 độ) cho ra kết quả khả quan khi chỉ số S11 có giá trị thấp nhất là lên đến -19dB. Tuy nhiên sau khi mô phỏng cùng với lớp

¹ Dựa trên công cụ tính toán trở kháng của microstrip online: <https://www.everythingrf.com/rf-calculators/microstrip-impedance-calculator>

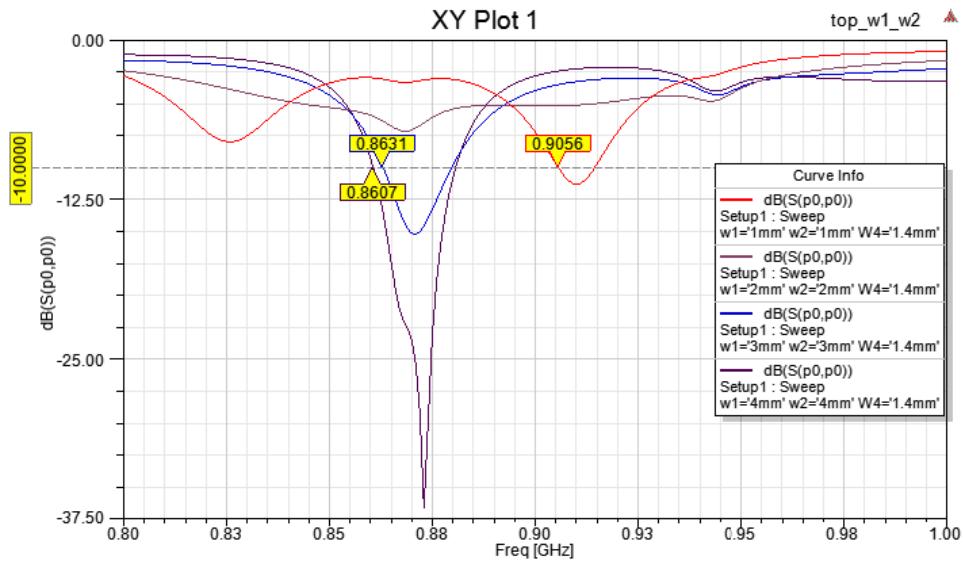
delay network, chỉ số S11 của antenna giảm còn gần -14dB nhưng đổi lại sẽ có băng thông rộng hơn.



Hình 4.9: Hệ số S11 của lớp antenna + lớp delay network với tham số **gamma** và **ant2l**

Nhằm tăng thêm hiệu suất của antenna, tham số **gamma** và **ant2l** với cùng được xem xét. Kết quả *Hình 4.9* cho thấy antenna sẽ có hệ số S11 thấp hơn nếu tham số **gamma** có giá trị là 80mm hoặc 100mm, trong trường hợp này sẽ giảm khoảng 0.8dB so với giá trị **gamma** 90mm. Trong antenna này sẽ chọn thiết kế **gamma** có giá trị 100mm.

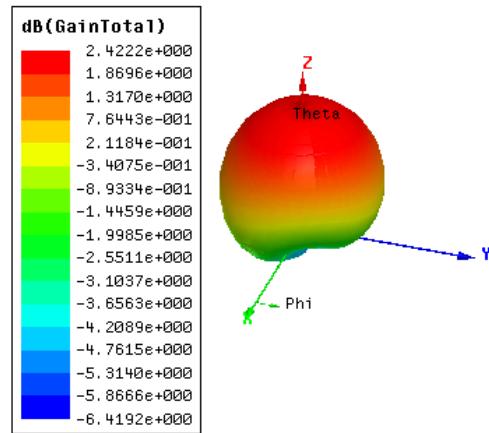
Ngoài ra để giảm hệ số S11 của antenna, phần trở kháng đầu vào phải phù hợp để có thể hoạt động tối đa công suất đầu vào. Hai tham số ảnh hưởng đến nó là **w1** và **w2**, độ dày phần đường dẫn trước khi vào antenna. Để hoạt động tốt nhất, hai tham số **w1** và **w2** phải bằng nhau để đồng nhất trở kháng của hai đường dẫn. cho thấy hệ số phản xạ sau khi thay đổi hai tham số trên có thể đạt dưới -37dB, tương đương việc antenna chỉ phản xạ lại 0.02% về lại đầu đọc UHF RFID. Băng thông mô phỏng của antenna là từ 860MHz cho đến 875MHz (tính theo hệ số S11 thấp hơn -10dB, phản xạ lại 10%).



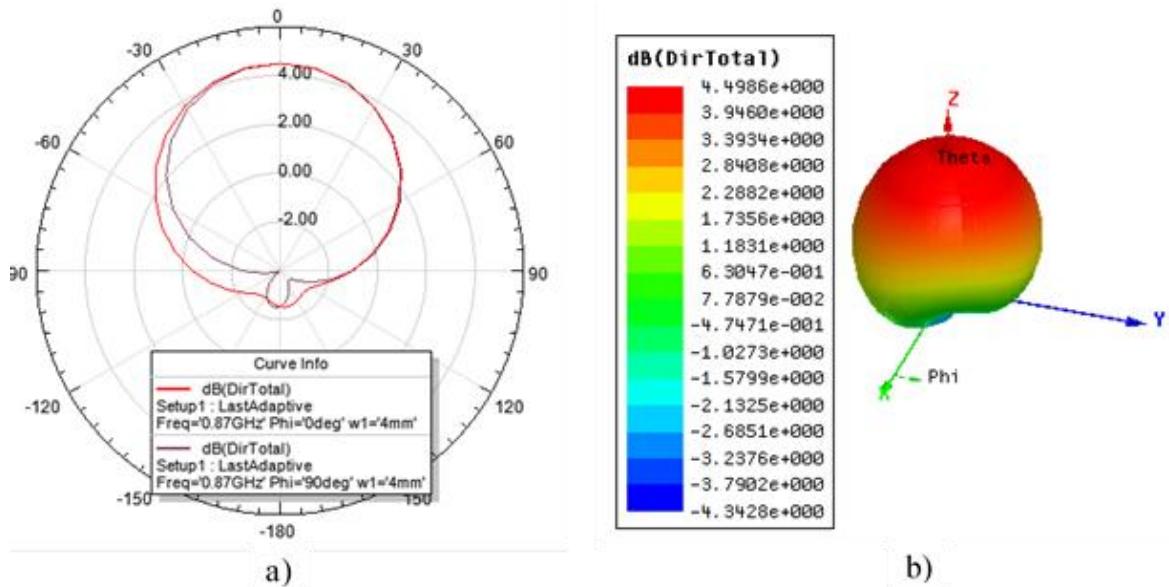
Hình 4.10: Sự thay đổi của hệ số phản xạ khi thay đổi biến $w1$ và $w2$

4.1.1.3. Mô phỏng các thông số còn lại

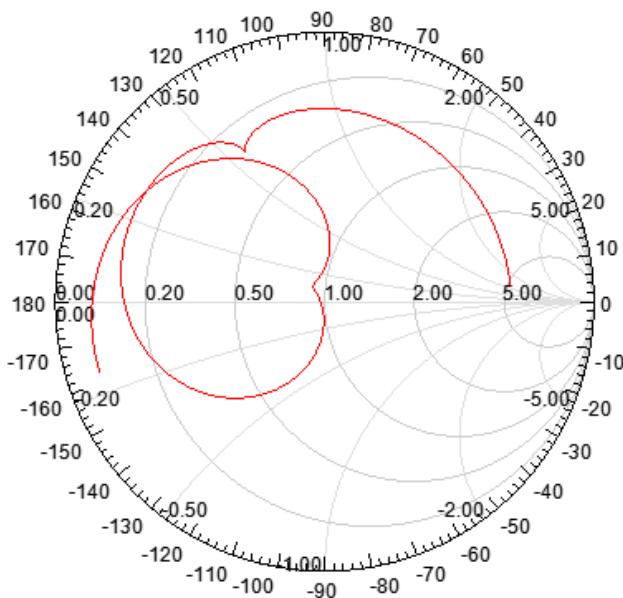
Sau khi thiết kế và điều chỉnh thông số antenna sao cho tốt nhất, mô phỏng cho ra kết quả khá tốt với hệ số độ lợi gain *Hình 4.11* đạt mức cao nhất là 2.4dBi, So với [7] và [8] thì cao hơn 0.4dBi. Ngoài ra, tính định hướng của antenna cũng đạt loại tốt khi lên đến gần 4.5dBi như hình *Hình 4.12*, tuy nhiên beam sóng chỉ đạt trung bình là 50 độ. Smith chart *Hình 4.13* thể hiện giá trị trở kháng của antenna gần so với giá trị tâm của biểu đồ thể hiện antenna có matching trở kháng tốt. Ngoài ra theo như mô phỏng *Hình 4.14*, hệ số Axial ratio đạt dưới 1.75 so với các beam sóng từ 0 độ đến 60 độ, cho ra tính phân cực tròn đều các hướng.



Hình 4.11: Mô phỏng độ lợi của antenna

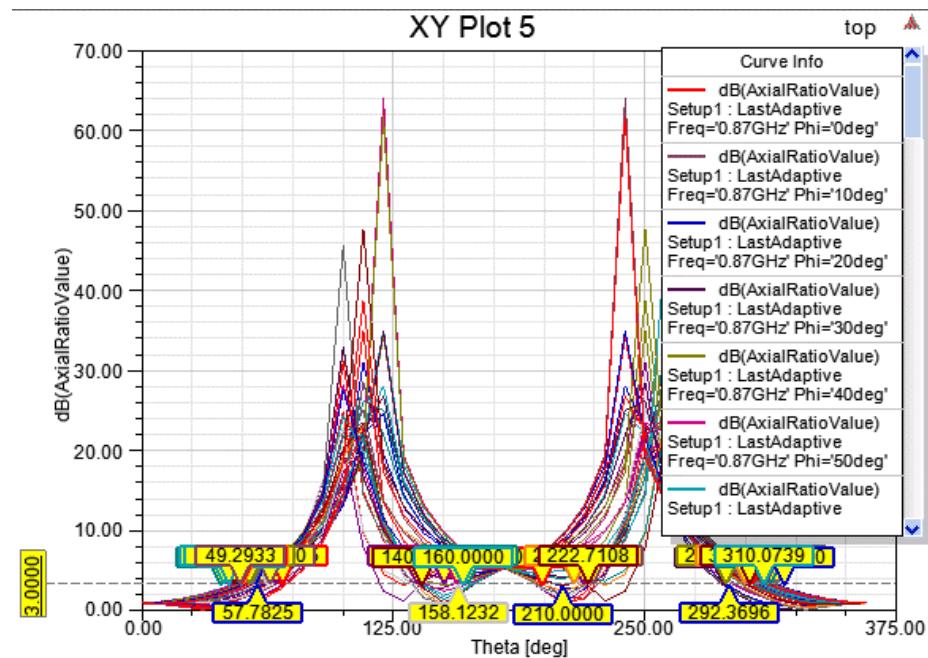


Hình 4.12: Mô phỏng tính định hướng của antenna



Hình 4.13: Mô phỏng smith chart của antenna

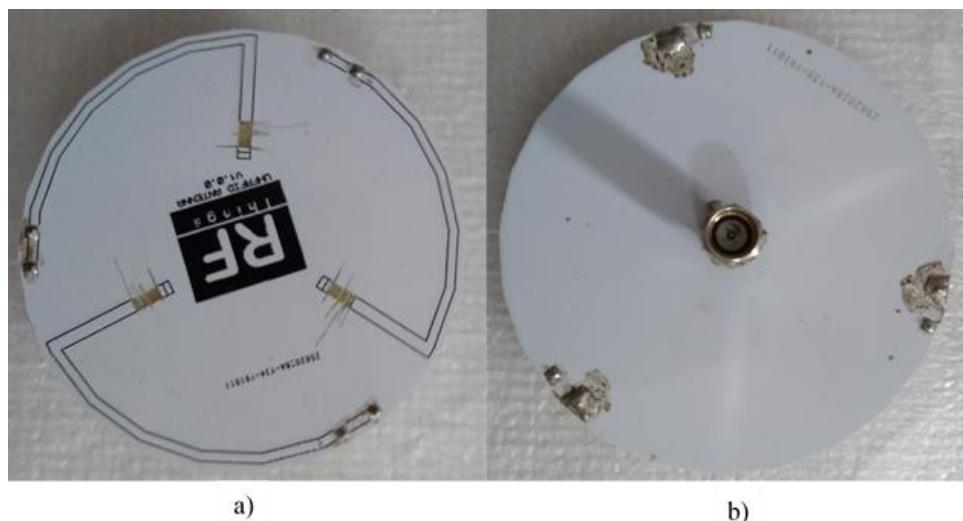
Hiệu suất của antenna sau khi đã được tinh chỉnh toàn bộ đạt được 61%. Ngoài ra, hệ số Axial ratio đạt <3dB trong khoảng 60 độ tính từ beam sóng chính ($\theta = 0$) như *Hình 4.14*.



Hình 4.14: Mô phỏng hệ số Axial ratio của antenna

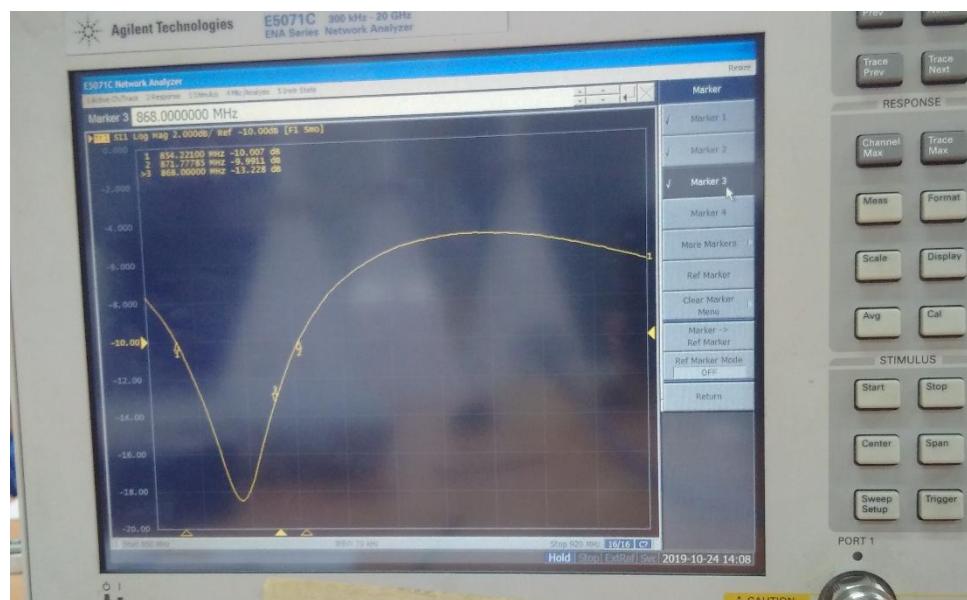
4.1.1.4. Đo đặc antenna thực tế

Antenna được tạo bởi hai lớp PCB với chất liệu FR4 có độ dày là 0.8mm. Lớp trên sẽ có phần đồng của antenna dài hơn so với mô phỏng và bao gồm các đường gạch song song trên antenna để có thể điều chỉnh tần số của antenna cho chính xác nhất. Lớp dưới antenna sẽ được hàn đầu kết nối SMA trực tiếp lên board. Hai lớp antenna được nối bởi phần ruột của chân rào đục.

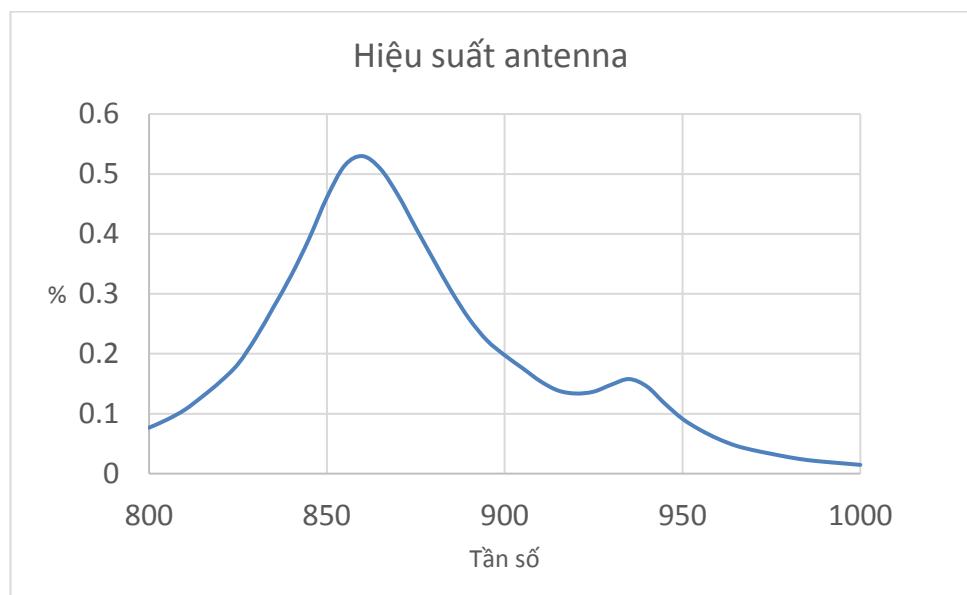


Hình 4.15: Antenna của đầu đọc a) lớp trên và b) lớp dưới

Do thiết bị đo đặc antenna rất đặc đỏ, nên việc đo đặc thực tế trở nên rất khó khăn. Sau khi được sự giúp đỡ từ thầy Huy, antenna chỉ đo được thực tế với ba thông số đó là hiệu năng, định hướng và S11. *Hình 4.16* cho thấy S11 cũng có giá trị cao hơn so với mô phỏng, với giá trị thấp nhất là -18dB. Tuy nhiên tần số hoạt động sẽ bị lệch sang 854MHz đến 871MHz nhưng vẫn nằm trong vùng hoạt động của UHF RFID.

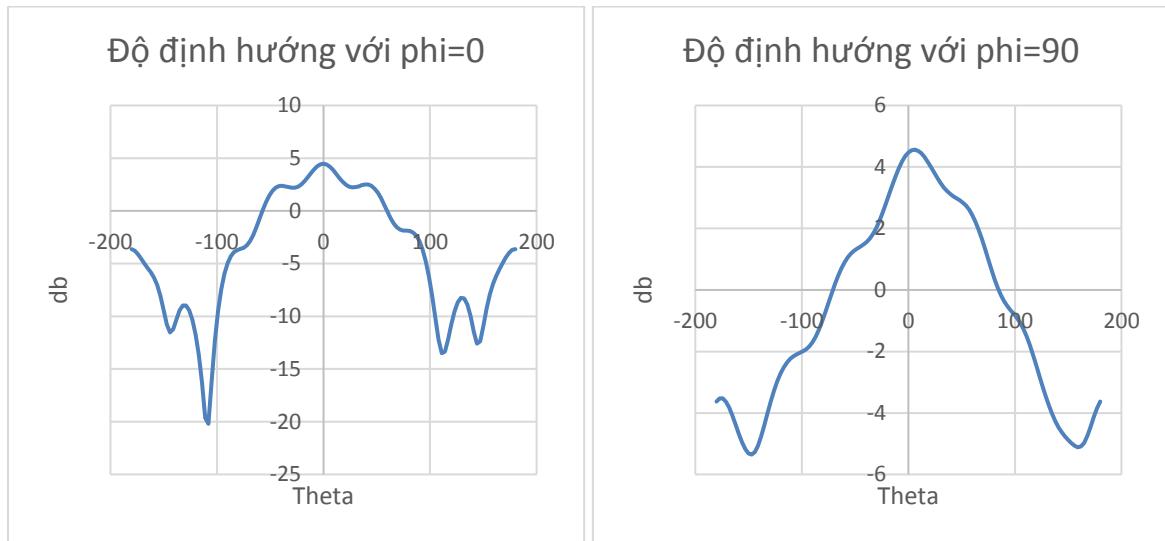


Hình 4.16: Đo hệ số S11 của antenna bằng máy VNA antenna analyzer



Hình 4.17: Kết quả đo thực tế hiệu năng của antenna

Theo kết quả đo đạc *Hình 4.17* hiệu suất tổng thể của antenna có phần thua kém hơn giá trị mô phỏng, chỉ đạt cao nhất là 53% so với giá trị 61% khi mô phỏng, nhưng vẫn hoạt động trong vùng băng thông mong muốn. Hệ số định hướng đạt được hệ số gần bằng với mô phỏng. Kết quả đo đạc trong *Hình 4.18* ta có giá trị cao nhất lên đến 4.4dB khi $\phi=0$ và đạt 4.3dB khi $\phi=90$ với độ rộng của beam (với giá trị trên 0dB) từ -60 độ đến 60 độ theo góc theta (góc hướng lên trên).



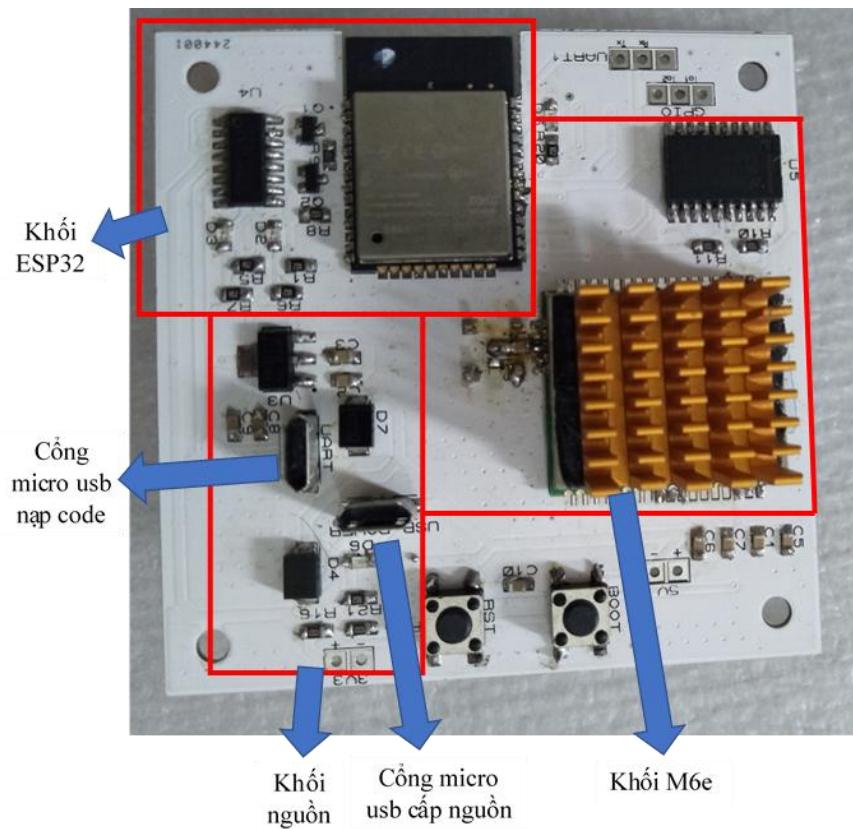
Hình 4.18: Kết quả đo thực tế hệ số định hướng của antenna

Bảng 4.1: Bảng so sánh thông số mô phỏng và thực tế của antenna

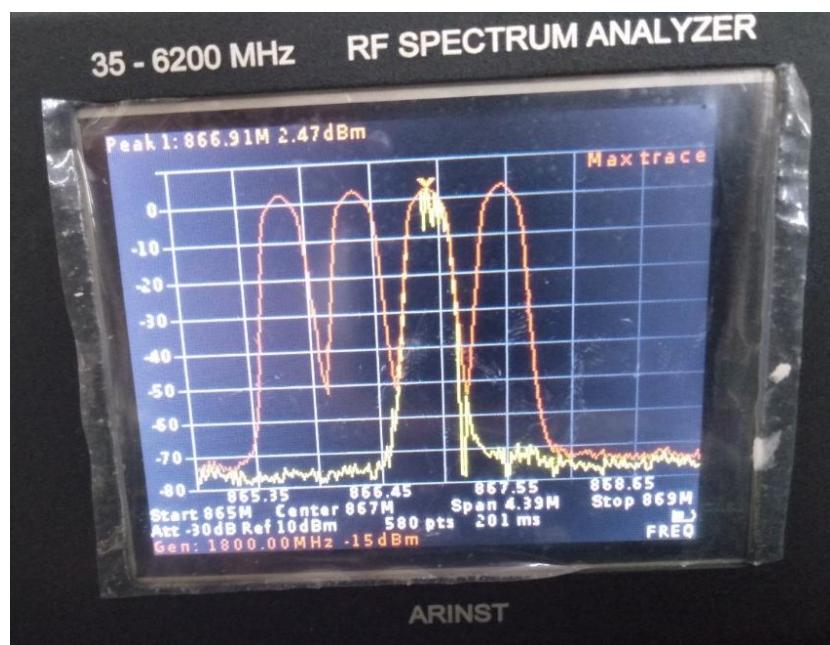
	Mô phỏng	Thực tế
S11	Thấp nhất -37dB	Thấp nhất -18dB
Độ lợi	2.4dB	1.7dB
Axial ratio	<3dB trong +-60 độ	<3dB trong +-60 độ
Hệ số định hướng	Cao nhất 4.4dB	Cao nhất 4.4dB
Băng thông¹	860Mhz đến 875Mhz	858Mhz đến 872Mhz
Hiệu suất	61%	53%

¹ Tính theo giá trị S11 dưới -10dB

4.1.2. Thiết bị đầu đọc UHF RFID



Hình 4.19: Board mạch đầu đọc UHF RFID



Hình 4.20: Kết quả đo tín hiệu 0dB xuất ra từ board mạch ở cấu hình tần số EU

Board mạch và module M6E Nano có các chức năng hoạt động đúng như được thiết kế ở 3.1.6. Các chức năng về phần cứng như UART0 thông qua cổng micro USB, cấp nguồn micro USB và tự đưa ESP32 vào chế độ bootloader đều hoạt động tốt. Kết nối giao tiếp giữa ESP32 và M6E Nano cũng được hoàn thiện. Cấu trúc thiết kế board mạch hoàn chỉnh như *Hình 4.19*. Tín hiệu xuất ra từ M6E Nano có công suất phát và nhảy tần số đúng như mong muốn. Khi xuất tín hiệu 0dB, tín hiệu đầu ra cũng đo đạc được là 0dB chứng tỏ không có mất mát xảy ra từ M6E Nano đến đầu kết nối SMA. Bốn tần số hiện thị trong *Hình 4.20* cũng chính xác với tần số được định nghĩa sẵn của cầu bảng tần số của EU.

4.1.3. So sánh với antenna trên thị trường

Để có thể so sánh hiệu năng của antenna trên môi trường thực tế với các loại antenna trên thị trường, một thử nghiệm đo đạc thực tế là điều cần thiết. Trong lần đo đạc thử nghiệm này, antenna trong đồ án sẽ so sánh với ba loại antenna patch nhỏ gọn và có khả năng sử dụng cho đầu đọc UHF RFID cầm tay. Các antenna patch đó lần lược có thông số được liệt kê trong bảng *Bảng 4.2*. Antenna patch sẽ được kết nối với thiết bị đầu đọc thông qua cổng ipex.

Môi trường thực hiện đo đạc cũng được chú trọng không kém vì nó sẽ gây ảnh hưởng rất nhiều đối với kết quả. Các yếu tố được cân nhắc bao gồm:

- **Tầm nhìn thẳng** (line of sight): Đường truyền thẳng giữa tín hiệu antenna và tag sẽ không có vật cản kể cả môi trường xung quanh. Nếu tồn tại vật cản sẽ làm công suất truyền nhận giảm đi đáng kể.
- **Miền Fresnel** là 1 miền được tạo bởi các elip đồng tâm xung quanh đường đi của tầm nhìn thẳng (*Hình 4.21*). Các vật thể trong miền Fresnel sẽ gây nhiễu và phản xạ đối với tín hiệu truyền sóng điện từ. Đất cũng sẽ tính là vật cản nếu nằm trong miền Fresnel. Vì vậy trong lúc đo đạc, tag và đầu đọc sẽ được để lên cao hơn so với mặt đất chiều cao nhất định tính theo công thức *Bảng 4.3*.

Bảng 4.2: Thông số của các loại antenna trong lần đo đặc này

	Antenna tham chiếu	Antenna 1	Antenna 2	Antenna 3	Antenna đồ án
Kích thước antenna	260*260mm	35*35mm	62*62mm	80*80mm	Hình tròn R=35mm
Kích thước GND	260*260mm	50*50*5mm	70*70*7mm	120*120*10mm	Hình tròn R=35mm
Hệ số định hướng	7dBi	2 dBi	3dBi	6dBi	4.4dBi
S11	<=-15dB	-14dB	-14dB	-14dB	-18dB
Giá thành	45-80 usd ¹	13 usd ²	20 usd ³	45usd ⁴	~2usd

Bảng 4.3: Công thức tính toán bán kính vùng Fresnel

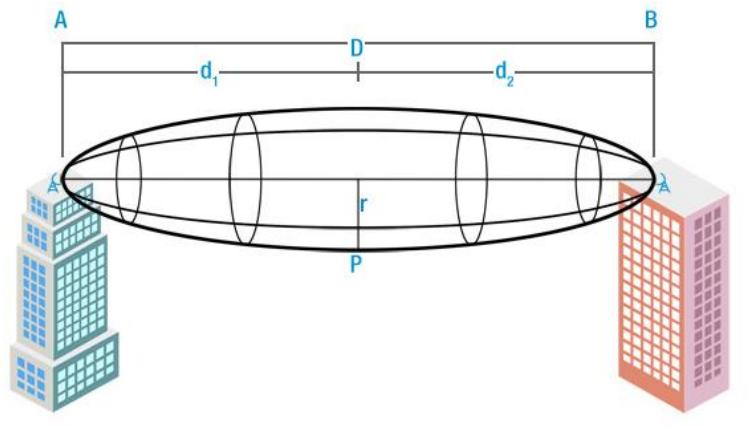
$r = 8.657 \sqrt{\frac{D}{f}}$
D: khoảng cách giữa điểm A và B (m) F: tần số giao tiếp giữa A và B (MHz)

¹ Giá tham khảo tại: <https://focusrfid.en.made-in-china.com/product/sSjEwkKVQYrd/China-High-Quality-UHF-RFID-Antenna-Circular-7dBi-for-Inventory-Access-Control-7001c.html>

² Giá tham khai tại:
<https://vi.aliexpress.com/item/32878596380.html?spm=2114.12010612.8148356.12.582e3152qD3pbp>

³ Giá tham khai tại:
<https://vi.aliexpress.com/item/32901964203.html?spm=2114.12010612.8148356.6.582e3152qD3pbp>

⁴ Giá tham khai tại:
<https://vi.aliexpress.com/item/32955555377.html?spm=2114.12010612.8148356.14.582e3152qD3pbp>



1

Hình 4.21: Vùng Fresnel trong giao tiếp giữa điểm A và B

- **Môi trường xung quanh:** Các vật thể trong miền Fresnel như cây, đỉnh đồi và các tòa nhà có thể gây ra nhiễu xạ hay phản xạ đối với tín hiệu sóng vô tuyến chính, làm cho nó không thể đến được trạm nhận, điều này cũng gây ra sự thay đổi đối với tầm nhìn vô tuyến.
- **Góc của tag và antenna:** Góc tạo bởi mặt phẳng chứa antenna của đầu đọc và mặt phẳng chứa antenna của tag phải càng nhỏ càng tốt (trường hợp lý tưởng là hai mặt phẳng đó sẽ song song với nhau). Ngoài ra, antenna của tag phải nằm trên cùng một mặt phẳng để đạt hiệu quả tốt nhất.



Hình 4.22: Các loại antenna trong lần đo đặc này

¹ Nguồn: <http://vientin.com/blog/detail/209>

Dựa vào các phân tích trên, môi trường đo đặc sẽ được bố trí như *Hình 4.23*. Antenna và đầu đọc sẽ được để trên ghế cao 45cm (cao hơn 32cm vùng fresnel nếu tính theo

Bảng 4.3). Không có vật cản tại tầm nhìn thẳng và vùng fresnel, kể cả mặt đất. Các antenna sẽ để sát rìa của mặt ghế. Tâm của antenna của tag sẽ thẳng hàng với tâm của antenna đầu đọc. Các vật chống đỡ antenna đầu đọc thẳng đứng sẽ là hộp danh thiếp nhựa hoặc dán vào đế để điện thoại nhựa bằng băng keo. Các tag cũng sẽ được dán vào các hộp đựng danh thiếp và được kê cao bằng các cuốn tập, sách hoặc hộp. Các tag được sử dụng trong lần đo đặc này là một số tag của Alien và Impijin được liệt kê trong *Bảng 4.4*. Cấu hình thiết bị đầu đọc được sử dụng trong phép đo lần này như sau:

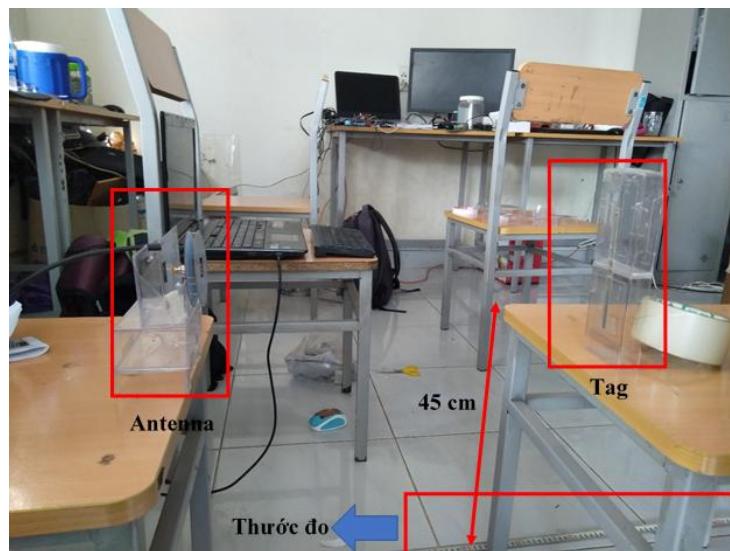
- Công suất phát +27dBm.
- Tari: 25 micro giây.
- BLF: 250KHz.
- M: M2
- Session: 0
- Target: A và B
- Q: 0

Kích bản đo đặc: Các phép đo đặc sẽ được thực hiện trên mỗi tag và mỗi antenna. Trong đó antenna tham chiếu sẽ là giá trị gốc để so sánh, các antenna còn lại sẽ có giá trị phần trăm dựa vào số tag mà antenna lớn đọc được. Khoảng cách đo đặc lần lượt là 40cm, 60cm, 80cm, 100cm và 120cm. Mỗi tag sẽ được đo đặc với ba tư thế khác nhau như *Hình 4.24*: nằm ngang, nằm dọc và nằm ngang vuông góc với antenna. Mỗi antenna sẽ được đọc liên tục các tag ở mỗi vị trí trong vòng 10 giây.

Bảng 4.5 chứa giá trị đọc của antenna tham chiếu đối với mỗi tag.

Bảng 4.4: Các tag sử dụng trong lần đo đạc

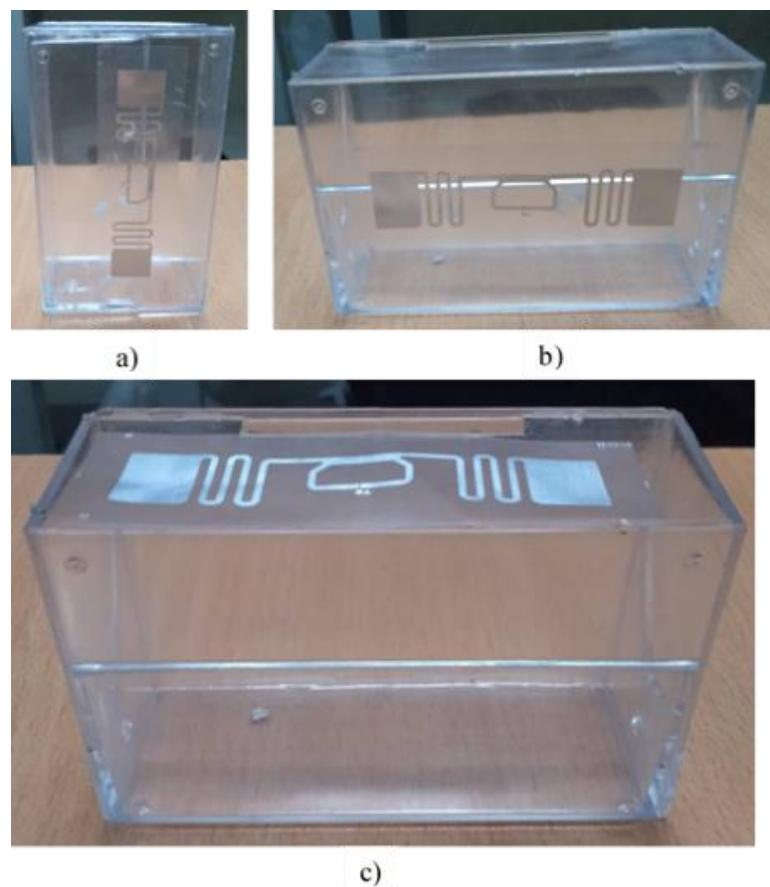
Model	Hình	Kích thước antenna	Kích thước tag	Chipset	Khoảng cách tối đa
H74		44*44mm	50*50mm	Monza 4D	6m
E52		68*14mm	73.5*21.2mm	Monza 5	6m
E44		105*6mm	109*10mm	Monza 4D	4.2m
ER62		70*14mm	74*18mm	Monza R6	6m
AZ-D		95*7mm	124*10mm	Higgs 3	3m



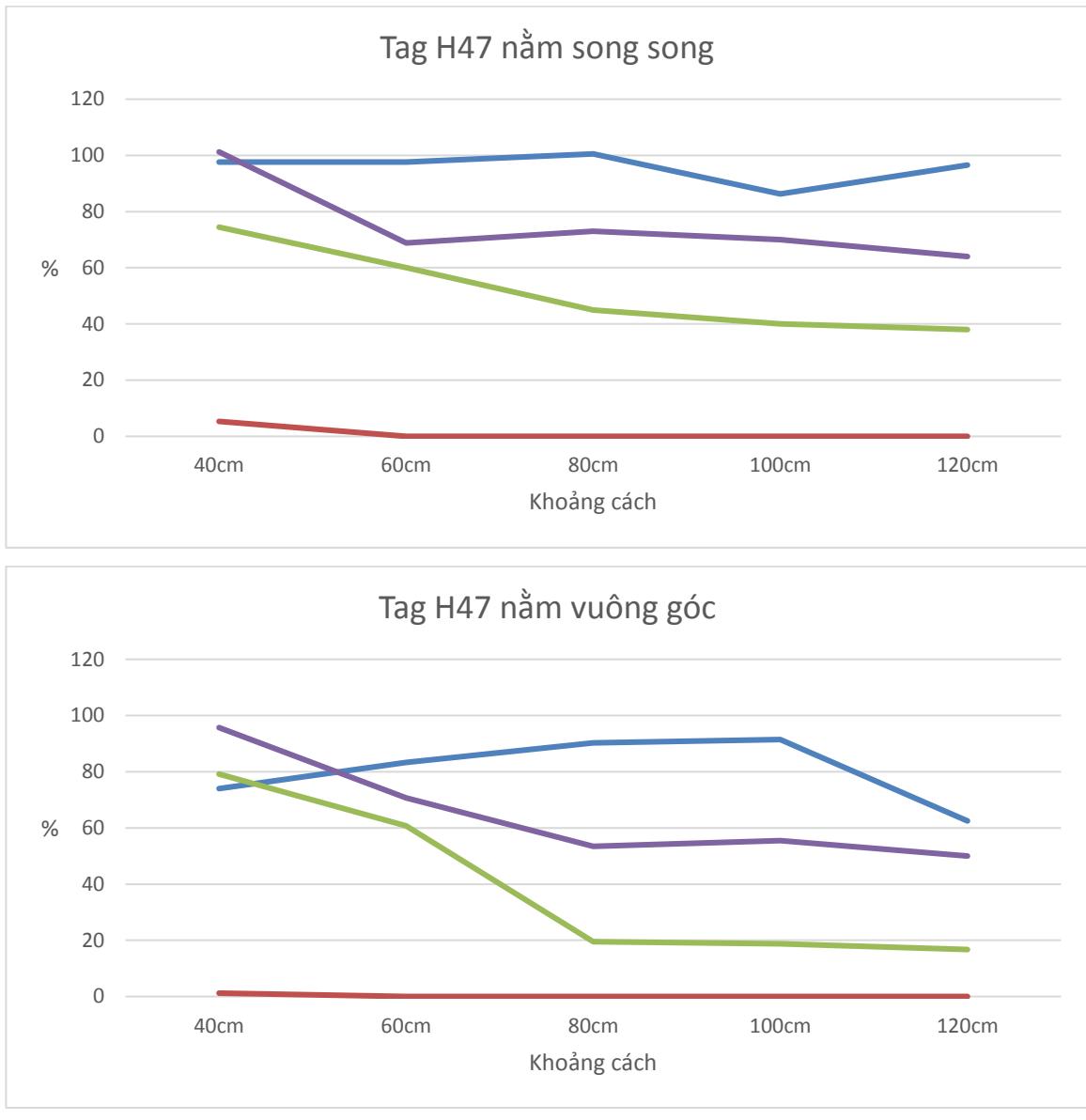
Hình 4.23: Môi trường thực hiện đo đạc

Bảng 4.5: Giá trị đọc số lượng tag trong 10s của antenna tham chiếu

Tag	Hướng	40cm	60cm	80cm	100cm	120cm
H74	song song	959	978	949	969	633
	vuông góc	1003	993	949	960	981
E52	ngang	947	990	928	865	821
	dọc	978	923	907	720	630
	vuông góc	992	974	887	826	916
E44	ngang	941	981	985	840	953
	dọc	976	989	938	706	672
	vuông góc	964	996	951	930	991
ER62	ngang	963	990	1000	855	967
	dọc	1008	992	942	921	991
	vuông góc	989	997	957	920	988
AZ-D	ngang	1019	953	1016	940	984
	dọc	985	1010	1019	866	969
	vuông góc	1014	1107	1024	1039	1025



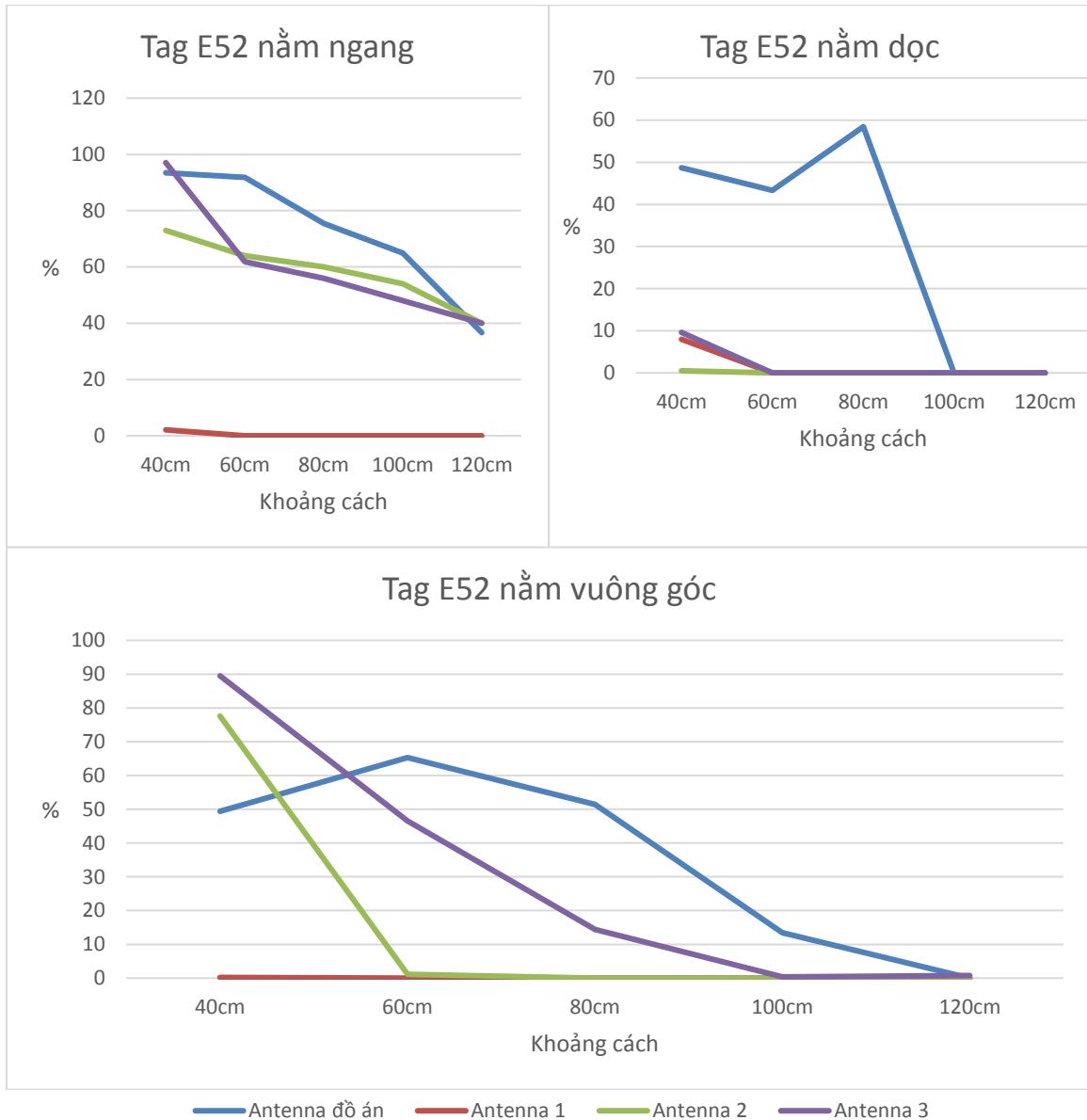
Hình 4.24: Vị trí đặt tag khi đo đặc, a) ngang, b) dọc, c) vuông góc



Hình 4.25: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag H47 so với antenna tham chiếu

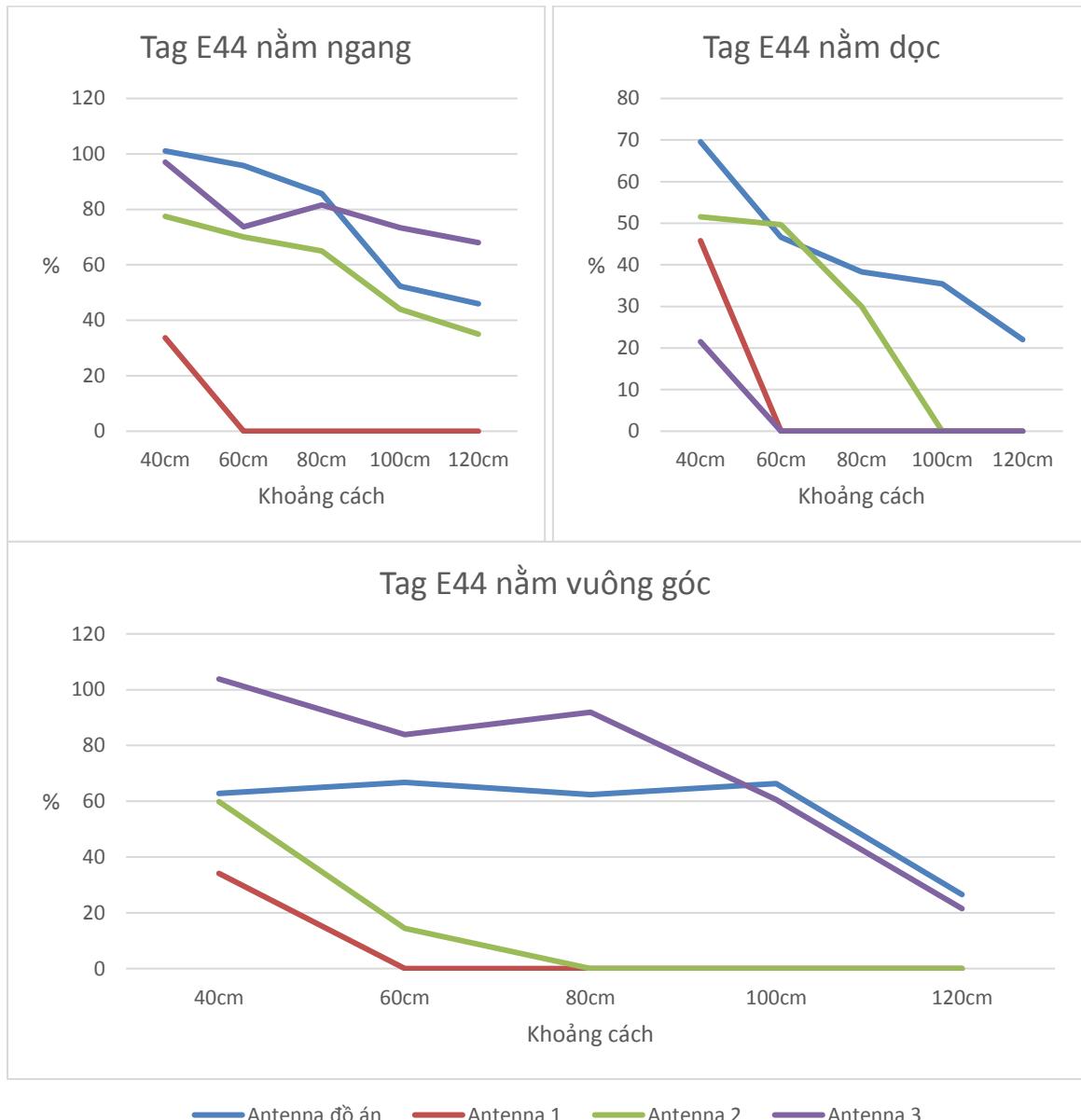
Đối với tag H47 thì do hình dáng của tag là hình vuông, nên trong kịch bản đo này chỉ có hai vị trí đó là song song (tương đương với vị trí ngang và dọc) và vuông góc. Dựa vào *Hình 4.25* thấy được antenna 1 (antenna yếu nhất) không có khả năng đọc vượt quá 40cm. Antenna đồ án có tỷ lệ đọc tag khá tốt đối với vị trí nằm song song so với hai antenna còn lại (2 và 3). Tuy nhiên khi để vị trí vuông góc

thì cả bốn antenna đều có tỷ lệ đọc giảm rõ rệt nhưng antenna đồ án có tỷ lệ đọc cao hơn, tuy nhiên đang có xu hướng giảm độ ổn định so với antenna 2 và 3.



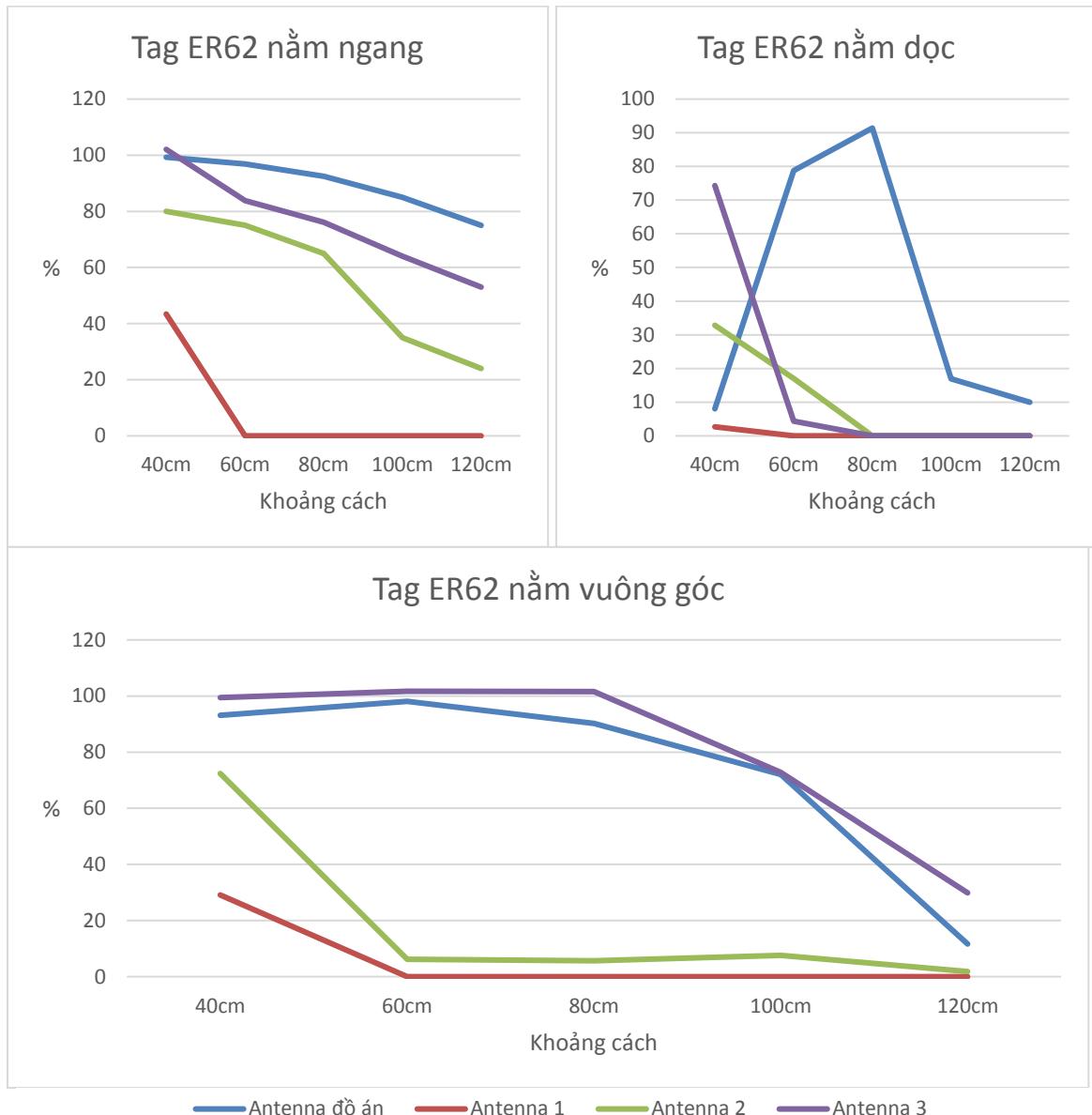
Hình 4.26: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag E52 so với antenna tham chiếu

Như đối với tag H47, *Hình 4.26* cho thấy antenna 1 dùng như không có khả năng đọc được các tag. Trong cả ba trường hợp thì antenna đồ án đều có số lượng tag đọc nhiều hơn hai antenna còn lại. Đặc biệt đối với trường hợp vị trí tag nằm dọc, antenna đồ án vẫn đọc được khoảng cách 80cm trong khi các antenna còn lại đều không đọc được ngay tại vị trí 60cm.



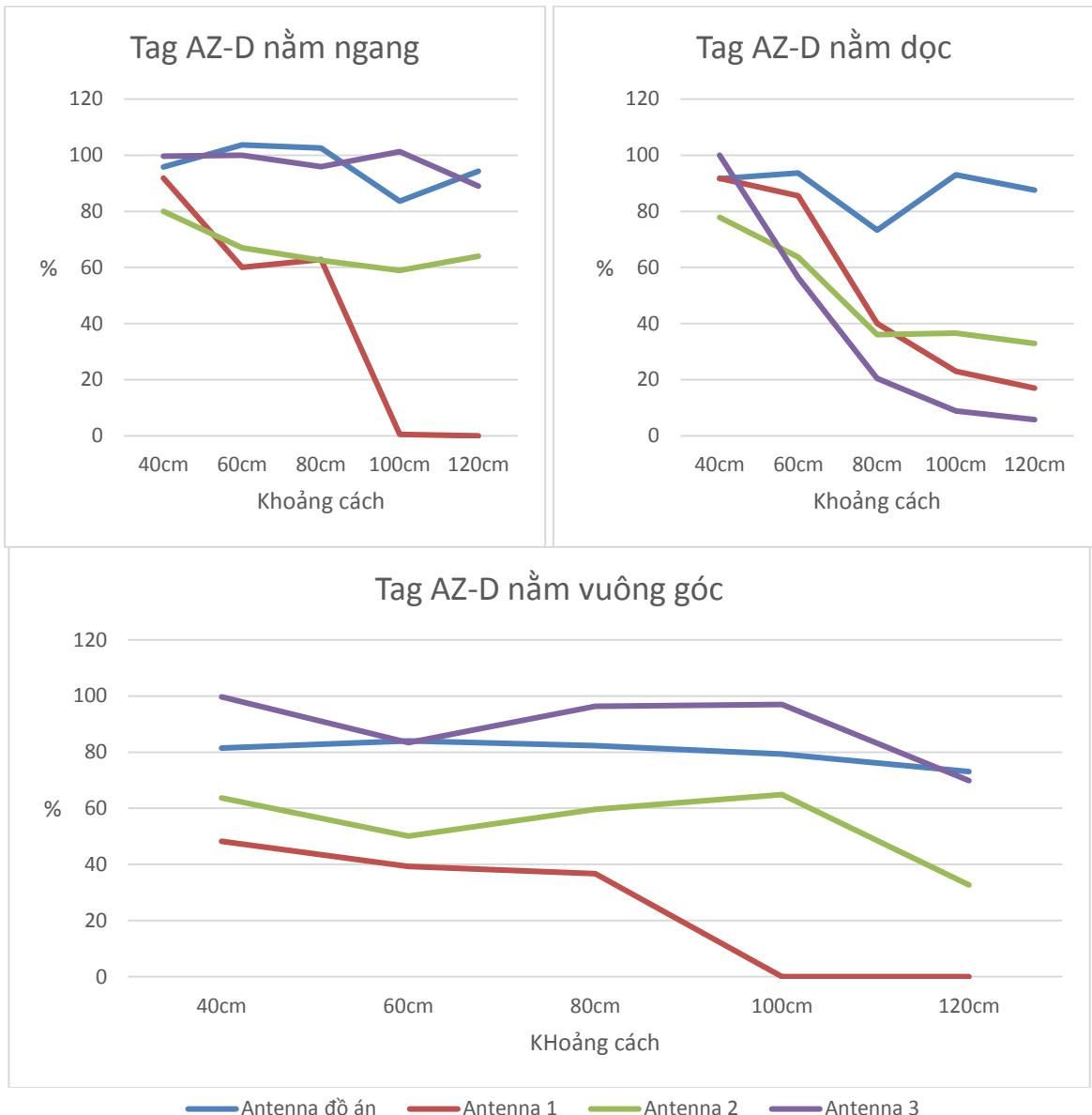
Hình 4.27: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag E44 so với antenna tham chiếu

Kết quả đối với tag E44 trong *Hình 4.27*, antenna đồ án nhìn chung vẫn có số lượng tag đọc được cao nhất trong tất cả ba vị trí. Tại vị trí nằm dọc, antenna đồ án vẫn đọc được với khoảng cách 120 cm. Tuy nhiên tại vị trí nằm nằm vuông góc có số lượng đọc tag giảm nhanh khi đến 120cm.



Hình 4.28: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag ER62 so với anten tham chiếu

Tag ER62 có số lượng tag đọc được của các antenna tương đối ổn định theo khoảng cách. Với biểu đồ *Hình 4.28* cho thấy cả ba antenna (trừ antenna 1) có số lượng tag giảm dần theo khoảng cách đều và antenna đồ án vẫn có số lượng tag đọc được cao nhất. Tại vị trí nằm vuông góc Antenna đồ án và antenna 3 có số lượng tag đọc khá giống nhau.



Hình 4.29: Số lượng tag đọc được của các antenna và tag AZ-D so với antenna tham chiếu

Là tag dài nhất trong năm tag thử nghiệm, tag AZ-D cho số lượng tag đọc được của tất cả antenna tốt nhất. *Hình 4.29* cho thấy số kết quả của antenna 2, 3 và đồ án không thay đổi nhiều khi thay đổi khoảng cách. Đây cũng là tag duy nhất mà antenna 1,2 và 3 có khả năng đọc được ở khoảng cách 120cm tại vị trí nằm dọc.

Dựa vào các sơ đồ từ *Hình 4.25* đến *Hình 4.29*, ta thấy antenna tròn có hiệu suất đọc có thể so sánh với antenna số 3, tổng quan có thể nói có phần vượt trội so

với antenna 2 mặc dù cùng kích thước nhưng có độ lợi lớn hơn. Antenna tròn bắt được tốt các trường hợp tag nằm dọc mà các antenna còn lại sẽ dễ rớt gói. Nguyên nhân có thể do sai số trong đo đặc hoặc tỷ lệ axial ratio của các dùng để antenna so sánh thấp. Đối với các tag nằm ngang, antenna có thể đọc được tốt tất cả các tag, lúc này antenna 3 có hiệu năng tốt hơn antenna của đồ án. Trong bốn antenna đo đặc, antenna 1 có hiệu suất kém nhất do kích thước cũng như hiệu năng. Tag có khả năng hoạt động tốt nhất với các loại antenna trong quá trình đo đặc là tag AZ-D, nhưng tag AZ-D lại có kích thước khá dài gây khó khăn trong việc ứng dụng thực tế. Tag ER62 có kết quả khá tốt nhưng lại ngắn hơn so với tag AZ-D.

4.1.4. Phần mềm Android

Đã hoàn thiện tất cả các chức năng thanh toán, nhập kho, kiểm kho nhưng vẫn còn chưa được tối ưu và đầy đủ tất cả các tính năng thanh toán online qua các ví điện tử và thẻ ngân hàng,... Chưa tối ưu hóa thời gian xử lý dữ liệu.

4.2. Đánh giá

Antenna được thiết kế trong đồ án hoạt động tốt và có thể so sánh được hiệu năng với các antenna khác nhưng giá thành lại rẻ hơn. Tổng thể thiết bị hoàn toàn có khả năng thực hiện các tính năng thanh toán sản phẩm của một đầu đọc UHF RFID trên thị trường. Tuy nhiên hiện tại đầu đọc chỉ bao gồm các tính năng cơ bản nhất. Độ ổn định của thiết bị phải được thử nghiệm trên môi trường thực tế.

Chương 5. HƯỚNG PHÁT TRIỂN

- Phát triển ứng dụng android hỗ trợ decode và encode các EPC từ các mã vạch của sản phẩm.
- Liên kết với server EPCIS để lấy data thay vì sử dụng database local.
- Hỗ trợ thêm các thao tác liên quan đến bảo mật cho đầu đọc như hủy tag và đặt mật mã cho tag.
- Hiện thực lại antenna để đạt được hiệu năng như mô phỏng.
- Nghiên cứu sâu hơn về các UHF RFID tag.
- Thêm các tính năng thanh toán bằng ví điện tử như quét mã vạch trên ví momo.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] "PHÁT TRIỂN HỆ THỐNG PHÂN PHỐI BÁN BUÔN, BÁN LẺ TRÊN ĐỊA BÀN THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH TỪ NAY ĐẾN NĂM 2015, TÀM NHÌN ĐẾN NĂM 2020," ỦY BAN NHÂN DÂN THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH, HỒ CHÍ MINH, 2009.
- [2] "The Industry-first Experimental Demonstration of "Regi-Robo(TM)", an Entirely Automated Robotic Checkout System and RFIDs (Electronic Tags) at Lawson Panasonic-Mae Store," panasonic, 7 3 2017. [Online]. Available: <https://news.panasonic.com/global/topics/2017/46190.html>.
- [3] "RFID Based Walk-through Checkout Solution for Future Retail," panasonic, 21 2 2018. [Online]. Available: <https://news.panasonic.com/global/topics/2018/55288.html>.
- [4] "EPC Tag Data Standard," GS1, 9 2017. [Online]. Available: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/GS1_EPC_TDS_i1_11.pdf.
- [5] "EPC™ Radio-Frequency Identity Protocols," GS1, 6 2018. [Online]. Available: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/gs1-epc-gen2v2-uhf-airinterface_i21_r_2018-09-04.pdf.
- [6] "Low Level Reader Protocol (LLRP)," EPC global, 13 11 2010. [Online]. Available: https://www.gs1.org/sites/default/files/docs/epc/llrp_1_1-standard-20101013.pdf.
- [7] Riccardo Colella, Luca Catarinucci, Andrea Michel and Paolo Nepa, "Design of a 3D-Printed Circularly Polarized Antenna for Portable UHF RFID Readers," *IEEE*, 2017.
- [8] An-Di Feng, Jing-Li Guo, Jun-Na Zhou and Bao-Hua Sun, "Low profile circularly polarized antenna based on printed monopole," *IEEE*, 2018.

- [9] Yi-Fang Lin, Yang-Kai Wang and Hua-Ming Chen, "Circularly Polarized Crossed Dipole Antenna With Phase Delay Lines for RFID Handheld Reader," *IEEE*, 2012.
- [10] P.S. Hall, J.S. Dahele and J.R. James, "Design principles of sequentially fed, wide bandwidth, circularly polarised microstrip antennas," *IEEE*, 1989.
- [11] Ping Xu, Z.-H. Yan, T.-L. Zhang and X.-Q. Yang, "Broadband circularly polarized slot antenna array using a compact sequential-phase feeding network," *ResreachGate*, 2014.
- [12] JADAK, "THINGMAGIC NANO USER GUIDE," 2018, p. 24.
- [13] JADAK, "Tuning Carrier Board RF Waveguide Lines for ThingMagic Modules," 2018.