



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประเมินตำแหน่ง NFC แท็กบนเครื่องอ่าน RFID
NFC tag positioning on RFID reader

นายรัชชานนท์ ครามะคำ

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2559



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

การประเมินตำแหน่ง NFC แท็กบนเครื่องอ่าน RFID
NFC tag positioning on RFID reader

นายรัชชานนท์ ครามะคำ

รฟ.
ร323 ก
2569

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน.....**148516**
วันเดือนปี.....**30 ต.ค. 2560**

b. 12871151
i.

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปีการศึกษา 2559

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา การประเมินตำแหน่ง NFC แท็กบนเครื่องอ่าน RFID

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นาย รัชชานนท์ ครามะคำ

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

ภาควิชา วิศวกรรมคอมพิวเตอร์

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ 1. อาจารย์บัณฑิต พัสยา 2. อาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน คุณ ชยสร สวนสมจิตร

สถานประกอบการ บริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด

บทคัดย่อ

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อออกแบบเฟิร์มแวร์และชุดวงจรรีเลย์ทรอนิกส์เพื่อการสื่อสารด้วย Near Field Communication (NFC) ซึ่งเป็นเทคโนโลยี Radio Frequency Identification (RFID) ยืนยันความถี่สูงและประเมินตำแหน่งของชิป SIC4310 NFC tag ด้วยชิป SIC9410 HF RFID reader ซึ่งออกแบบโดยบริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด เพื่อต่อยอดเชิงพาณิชย์เป็นเกมกระดานอิเล็กทรอนิกส์

ผู้วิจัยเลือกใช้หลักการทํางาน PDCA เพื่อหาข้อสรุปของงานวิจัย โดยจะทํางานเป็นขั้นตอน ออกแบบ ทดลอง วิเคราะห์ และสรุปมาตรฐานงานวิจัย ทํางานซ้ำจนกว่าจะหาข้อสรุปของงานวิจัยได้ โดยในส่วนของเฟิร์มแวร์จะพัฒนาด้วยภาษา C บนโปรแกรม System workbench โดยมี source code บางส่วนของบริษัท

ผลการศึกษาทำให้ผู้วิจัยสามารถออกแบบเฟิร์มแวร์ ชุดวงจรรีเลย์ทรอนิกส์ และหน้ากราฟิก แสดงตำแหน่งของแท็กบนคอมพิวเตอร์ได้ ซึ่งผลการทดลองเป็นที่น่าพอใจ คือระบบสามารถ คำนวณหาตำแหน่งได้ด้วยกระบวนการทางคณิตศาสตร์ และแสดงผลภาพกราฟิกตำแหน่งของแท็กได้

อย่างไรก็ตามชุดฮาร์ดแวร์ยังมีปัญหาด้านการออกแบบ ซึ่งยังต้องการการพัฒนาและทดลอง เพื่อปรับปรุงในอนาคต และฐานข้อมูลยังต้องการการปรับปรุงให้เหมาะสมมากขึ้น เพื่อการคำนวณที่ แม่นยำ ซึ่งจะได้มาจากการปรับปรุงฮาร์ดแวร์ และมีแนวโน้มจะต่อยอดสู่การตลาดได้

Research Title: NFC tag positioning on RFID Reader

Student Intern Name: Mr. Rachanon Kramakum

Faculty: Engineering

Department: Computer Engineering

Advisor Name: 1. Mr. Bundit Pasaya

2. Mr. Sorayut Glomglome

Mentor Name: Mr. Chayasorn Suansomjit

Company: Silicon Craft Technology Co.,Ltd.

ABSTRACT

The objective of this research is designing firmware and electronics circuit for Near Field Communication (NFC) wish is high frequency RFID technology and calculate SIC4310 NFC tag IC position via SIC9410 RFID reader IC designed by Silicon Craft Technology co.,Ltd. to develop to commercial electronics board game in the future.

The researcher use PDCA method to solve the research with the working step plan and design, test and data analysis, and conclude to researching standard. Work as a loop to solve the research problem. Firmware was developed in C language on System workbench software with some source code from Silicon Craft Technology co.,Ltd.

The research result is that the researcher could design a firmware, Electronics circuit and graphic user interface for showing tag position on computer screen. The test result is satisfied, the positioning system could calculate tag position by using mathematical method and show out tag position on graphic.

However the hardware has some designing problem and need to be developed and more testing in the future. The database need to be more compatibly remodeled for more accuracy calculation. The data would after hardware remodeling and there is a trend to develop to commercial.

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้า และวิจัยฉบับนี้ สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์จากคุณมานพ ธรรมสิริ อนันต์ กรรมการผู้จัดการบริษัท พีวีศวรร คุณกานต์ โอภาสจำรัสกิจ, คุณชยสร สวนสมจิต รวมถึงพี่ทุกคน ในบริษัทซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด ผู้กรุณา ให้คำปรึกษา คำแนะนำ และความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาการทำงาน จนทำให้งานวิจัยชิ้นนี้เสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยจึงขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณอาจารย์บัณฑิต พัสยา อาจารย์นิเทศ และอาจารย์สรยุทธ กลมกล่อม ผู้กรุณา คอยแนะนำการเตรียมตัว ให้คำปรึกษา และ แนวทางการแก้ปัญหาในการทำงานวิจัยภายใต้โครงการสหกิจศึกษา ทำให้งานวิจัยนี้เป็นไปอย่างราบรื่น

ท้ายที่สุด ขอขอบพระคุณคณาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ทำให้ผู้วิจัยสามารถนำสิ่งที่ได้รับจากการศึกษานั้นมาใช้ในการศึกษา ค้นคว้า และวิจัยครั้งนี้

รัชชานนท์ ครามะคำ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ.....	I
ABSTRACT.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	2
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการวิจัย.....	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	15
บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย.....	17
3.1 ศึกษาแนวคิดและความสามารถของระบบ.....	17
3.2 ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ.....	17
3.3 ออกแบบแผนผังวงจรของเครื่องอ่าน RFID.....	19
3.4 ออกแบบวิธีการประเมินตำแหน่ง.....	20
3.5 ออกแบบการทำงานของเฟิร์มแวร์.....	22
3.6 การระบุมาตรฐานและการพัฒนางานวิจัย.....	25
บทที่ 4 ผลการวิจัย.....	26
4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างเสาสัญญาณกับแท็กที่มีผลต่อความเข้ม สัญญาณ.....	26
4.2 แผนผังวงจร.....	27
4.3 การทดสอบระบบประเมินตำแหน่ง.....	27

4.4	การพัฒนาเฟิร์มแวร์.....	34
4.5	หน้าต่างแสดงตำแหน่ง.....	36
4.6	ปัญหาที่พบในงานวิจัย และแนวทางแก้ไข.....	37
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ		42
5.1	สรุปการวิจัย.....	42
5.2	ข้อเสนอแนะ	42
บรรณานุกรมหรือเอกสารอ้างอิง.....		44



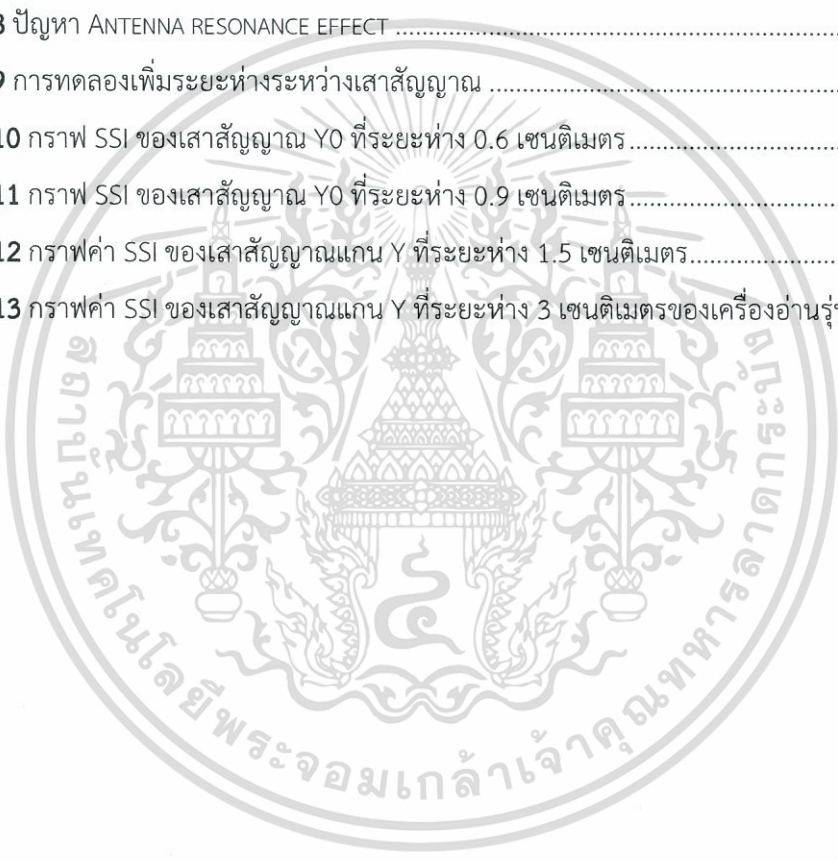
สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 4.1 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ V0 (10^{-1} SSI).....	28
ตารางที่ 4.2 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ V1(10^{-1} SSI).....	28
ตารางที่ 4.3 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ H0(10^{-1} SSI).....	29
ตารางที่ 4.4 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ H1(10^{-1} SSI).....	29
ตารางที่ 4.5 ตารางค่าสัดส่วนสัญญาณในแกน Y(10^{-3}) ในพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	30
ตารางที่ 4.6 ตารางค่าสัดส่วนสัญญาณในแกน X(10^{-3}) ในพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร.....	30
ตารางที่ 4.7 ตารางความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดในแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร).....	33
ตารางที่ 4.8 ตารางความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดในแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร).....	33
ตารางที่ 4.9 รายละเอียด MCU CONFIGURATION.....	34
ตารางที่ 4.10 ค่า COEFFICIENTS REGRESSION ของตำแหน่ง X.....	40
ตารางที่ 4.11 ค่า COEFFICIENTS REGRESSION ของตำแหน่ง Y.....	41

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 1.1 ตัวอย่างบอร์ดเกมดิจิทัลของ EPAWN.....	1
รูปที่ 2.1 วิธีการดำเนินงาน PDCA (แก้ไขจากต้นฉบับ)	5
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของ RFID.....	5
รูปที่ 2.3 การสั้นพ้องสัญญาณบนขดลวดเหนี่ยวนำ.....	6
รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมภายใน SIC9410	7
รูปที่ 2.5 วงจรปรับความถี่สัญญาณ.....	8
รูปที่ 2.6 สมการคำนวณค่าความจุในวงจรปรับสัญญาณ.....	8
รูปที่ 2.7 มุมกวาดสัญญาณบน SMITH CHART ในอุดมคติ	9
รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายใน SIC4310	10
รูปที่ 2.9 STATE DIAGRAM ของ SIC4310 ที่ PIN UMAS = 0	10
รูปที่ 2.10 บอร์ด NUCLEO-F411RE	12
รูปที่ 2.11 BLOCK DIAGRAM ภายในของชิป STM32F411	13
รูปที่ 2.12 สมการ LINEAR INTERPOLATION	14
รูปที่ 2.13 สมการ LINEAR INTERPOLATION คำนวณหา 2 จุดอ้างอิงกลาง	14
รูปที่ 2.14 สมการ BILINEAR INTERPOLATION.....	14
รูปที่ 2.15 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ EPAWN (แก้ไขจากต้นฉบับ).....	15
รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของระบบประเมินตำแหน่ง	17
รูปที่ 3.2 ตารางค่า SSI ของ SIC9410 (แก้ไขจากต้นฉบับ).....	18
รูปที่ 3.3 NFC TAG POSITIONING BLOCK DIAGRAM.....	19
รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมสวิตช์	20
รูปที่ 3.5 ตารางสัดส่วนเสาอากาศและตำแหน่ง X	21
รูปที่ 3.6 ตารางสัดส่วนเสาอากาศและตำแหน่ง Y.....	21
รูปที่ 3.7 FLOWCHART รวมของเฟิร์มแวร์ในระบบ.....	22
รูปที่ 3.8 การทำงานส่วนเริ่มต้นของเฟิร์มแวร์.....	23
รูปที่ 3.9 การทำงานค้นหาแท็กของเฟิร์มแวร์	23
รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการวัดและรวบรวมข้อมูล SSI.....	24
รูปที่ 3.11 การสื่อสารระหว่าง SIC4310 กับเรื่องอ่านด้วยคำสั่ง ANTI-COLLISION.....	24

รูปที่ 3.12	ขั้นตอนการสลับเสาสัญญาณและคำนวณตำแหน่ง.....	25
รูปที่ 4.1	กราฟความสัมพันธ์ของตำแหน่ง TAG ที่มีผลต่อความเข้มสัญญาณ	26
รูปที่ 4.2	BLOCK DIAGRAM สุดท้ายของงานวิจัย	27
รูปที่ 4.3	ตารางความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน SSI กับพิกัดตำแหน่ง X (10^{-4} เมตร) ของ SIC4310.....	31
รูปที่ 4.4	ตารางความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วน SSI กับพิกัดตำแหน่ง Y (10^{-4} เมตร) ของ SIC4310.....	32
รูปที่ 4.5	MCU CONFIGURATION DIAGRAM	34
รูปที่ 4.6	หน้าต่างแสดงตำแหน่ง.....	36
รูปที่ 4.7	กราฟแสดงค่า SSI ของเสาสัญญาณแกน Y ที่ตำแหน่ง X = 2.....	37
รูปที่ 4.8	ปัญหา ANTENNA RESONANCE EFFECT	37
รูปที่ 4.9	การทดลองเพิ่มระยะห่างระหว่างเสาสัญญาณ	38
รูปที่ 4.10	กราฟ SSI ของเสาสัญญาณ Y0 ที่ระยะห่าง 0.6 เซนติเมตร.....	38
รูปที่ 4.11	กราฟ SSI ของเสาสัญญาณ Y0 ที่ระยะห่าง 0.9 เซนติเมตร.....	39
รูปที่ 4.12	กราฟค่า SSI ของเสาสัญญาณแกน Y ที่ระยะห่าง 1.5 เซนติเมตร.....	39
รูปที่ 4.13	กราฟค่า SSI ของเสาสัญญาณแกน Y ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตรของเครื่องอ่านรุ่นที่ 2.....	40



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

จากเทคโนโลยี RFID ที่ HF RFID reader สามารถสื่อสารกับแท็ก NFC (Near Field Communication) ได้ ถูกนำมาพัฒนาเพื่อใช้กับเกมกระดาน เกิดเป็นเทคโนโลยี EPAWN และได้รับความนิยมในอุตสาหกรรมเกมกระดานอิเล็กทรอนิกส์ ทางบริษัทซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด จึงเล็งเห็นถึงประโยชน์ของเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับทรัพยากรไมโครชิปของทางบริษัท จึงเป็นโอกาสอันดีที่จะทำการทดลองเพื่อหาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีนี้

โดยเทคโนโลยี EPAWN ถูกคิดค้นและเปิดตัวครั้งแรกประมาณปี พ.ศ. 2555 โดยบริษัท startup ชื่อ ePawn ซึ่งมีแนวคิดจะนำเกมกระดานกลับมาในรูปแบบดิจิทัล และเสนอแนวคิดเพื่อหาเงินลงทุน จนเกิดเป็นสินค้าและเทคโนโลยีขึ้นมา โดยหลักการพื้นฐานคือมีเครื่องเล่นอิเล็กทรอนิกส์แบบเกมกระดาน และมีตัวหมากที่สัมผัสได้ ทำให้เกมกระดานมีมิติมากกว่าบนสมาร์ตโฟนหรือสมาร์ตแท็บเล็ต โดยตัวกระดานสามารถอ่านตำแหน่งตัวหมากได้พร้อมกันหลายๆตัวผ่าน NFC รวมถึงมีอุปกรณ์ควบคุมระยะไกลอย่างสมาร์ตโฟนได้อีกด้วย



รูปที่ 1.1 ตัวอย่างบอร์ดเกมดิจิทัลของ ePawn

ที่มา : Geekdad. (2011). ePawn Arena.

Retrieved December 2, 2016, from geekdad.com/2011/12/epawn-arena-2/

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 ศึกษาและทดสอบหาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีระบุตำแหน่งด้วย NFC
- 1.2.2 ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตอบสนองต่องานวิจัย
- 1.2.3 ออกแบบวิธีการประเมินตำแหน่งด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ความสามารถของแอปพลิเคชัน

- 1) เครื่องอ่าน RFID จะระบุตำแหน่งเฉพาะ NFC tag ตามมาตรฐาน ISO 14443-A
- 2) ประเมินตำแหน่ง ณ เวลาจริงด้วยวิธี Interpolation ในระดับมิลลิเมตร

1.3.2 อุปกรณ์

- 1) ใช้ IC SIC9410 และ SIC4310 หรือ RFID IC ของบริษัทซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด ในการวิจัย
- 2) ขนาดพื้นที่อ่านตำแหน่งของ Reader มีขนาดไม่เกิน 8 ตารางเซนติเมตร
- 3) พัฒนาคอนโทรลเลอร์ตระกูล STM32

1.3.3 ระยะเวลาวิจัย

ใช้เวลาทั้งหมด 24 สัปดาห์

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

1.4.1 ศึกษาทำความเข้าใจเทคโนโลยี

- 1) ศึกษาโครงสร้างและความสามารถของชิป SIC4310 และ SIC9410
- 2) ศึกษาไมโครคอนโทรลเลอร์ STM32F411RE
- 3) ศึกษาการสื่อสาร RFID ด้วย ISO 14443A
- 4) ศึกษาเอกสารเทคโนโลยี EPAWN
- 5) ศึกษาทฤษฎีประเมินตำแหน่ง

1.4.2 ออกแบบระบบประเมินตำแหน่ง

- 1) ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ
- 2) ออกแบบแผนผังวงจรของเครื่องอ่าน RFID
- 3) ออกแบบวิธีการประเมินตำแหน่ง
- 4) ออกแบบการทำงานของเฟิร์มแวร์
- 5) การระบุมาตรฐานและการพัฒนางานวิจัย

1.4.3 ทดลอง และบันทึกผล

- 1) บันทึกค่าความเข้มสัญญาณจากแต่ละเสารับสัญญาณ
- 2) คำนวณค่าความเข้มสัญญาณเป็นสัดส่วนความเข้มสัญญาณของเสารับในแกนพิกัดเดียวกัน

1.4.4 วิเคราะห์ผลการทดลอง

- 1) เปรียบเทียบผลการทดลองร่วมกับสมมติฐาน
- 2) วิเคราะห์หาปัญหาของผลการทดลอง

1.4.5 สรุปมาตรฐานงานวิจัย

- 1) แก้ปัญหาที่พบในงานวิจัย
- 2) ใช้ผลการทดลองเป็นมาตรฐานสำหรับออกแบบการทดลองครั้งต่อไป
- 3) ใช้ผลการทดลองเป็นมาตรฐานสำหรับเทียบผลในครั้งต่อไป

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ได้ทักษะการทำงานและแก้ปัญหาอย่างวิศวกร
- 2) ได้ศึกษาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยี EPAWN
- 3) ได้หลักการออกแบบอุปกรณ์ให้ตอบสนองต่องานวิจัย
- 4) ได้พัฒนาเฟิร์มแวร์ที่ใช้เทคโนโลยี RFID
- 5) ได้ศึกษาทฤษฎีการออกแบบไมโครชิปเบื้องต้น

บทที่ 2

แนวคิด ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

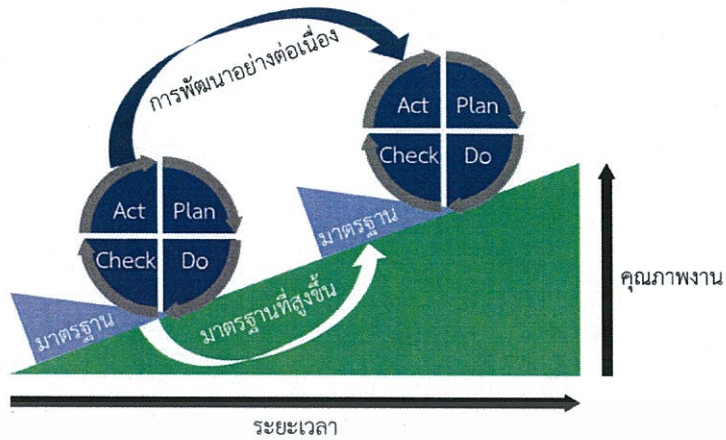
ผู้วิจัยได้ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 2.1.1 หลักการทำงาน PDCA
- 2.1.2 เทคโนโลยี RFID และ Near Field Communication (NFC)
- 2.1.3 ไมโครชิป SIC9410 HF RFID reader
- 2.1.4 ไมโครชิป SIC4310 NFC tag
- 2.1.5 ความสามารถของ MCU STM32F411
- 2.1.6 วิธีการคำนวณด้วย Linear Interpolation และ Bilinear

2.1.1 หลักการทำงาน PDCA

ในการดำเนินการวิจัยนั้น ผู้วิจัยเลือกวิธีดำเนินการด้วยหลัก Plan Do Check Act (PDCA) เพื่อวางแผนและลงมือทำ หากวิธีรับมือเมื่อเกิดปัญหา และวางแผนพัฒนาสู่ขั้นต่อไปเพื่อให้เกิดการเรียนรู้ โดยมีวงจรดำเนินการดังนี้

- 2.1.1.1 Plan การออกแบบหรือวางแผนถึงสิ่งที่จะทำเพื่อนำไปสู่วัตถุประสงค์ของการวิจัย
- 2.1.1.2 Do ทำตามแผนที่ได้วางไว้ และเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของข้อมูลที่ได้
- 2.1.1.3 Check นำข้อมูลที่ได้จากการเก็บข้อมูลจริง มาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่คาดหวังเอาไว้ การทำแผนภูมิจะทำให้เห็นแนวโน้มและเปรียบเทียบได้ดีขึ้น
- 2.1.1.4 Act นำผลวิเคราะห์ข้อมูลจากขั้นตอน Check มาปรับปรุงมาตรฐานของการวิจัย หา baseline เพื่อใช้เป็นมาตรฐานงานวิจัยในรอบต่อไป



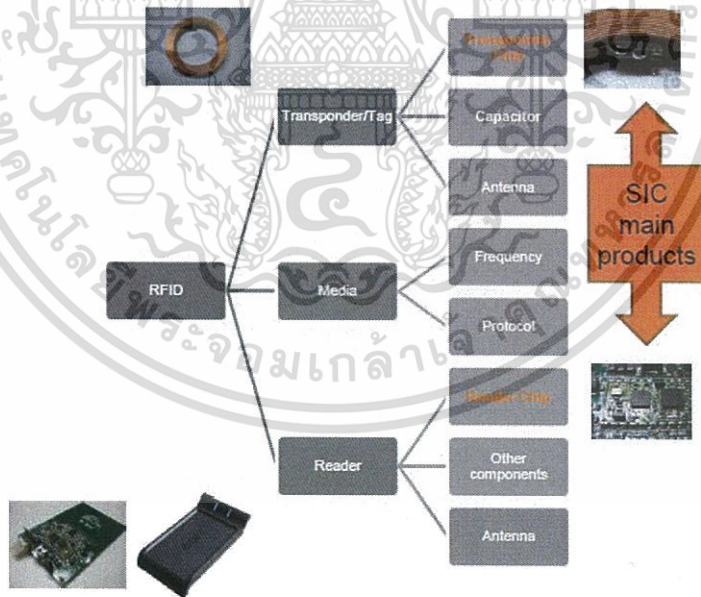
รูปที่ 2.1 วิธีการดำเนินงาน PDCA (แก้ไขจากต้นฉบับ)

ที่มา : Wikipedia. (2016). PDCA.

Retrieved November 17, 2016, from <https://en.wikipedia.org/wiki/PDCA>

2.1.2 เทคโนโลยี RFID และ Near Field Communication (NFC)

Radio Frequency Identification หรือ RFID คือเทคโนโลยีระบุตัวตนแบบไร้สายด้วยคลื่นวิทยุ ในย่านความถี่ต่างๆ โดยมีส่วนประกอบหลักได้แก่ เครื่องอ่าน RFID ตัวกลางการสื่อสาร และแท็กหรือตัวรับสัญญาณ



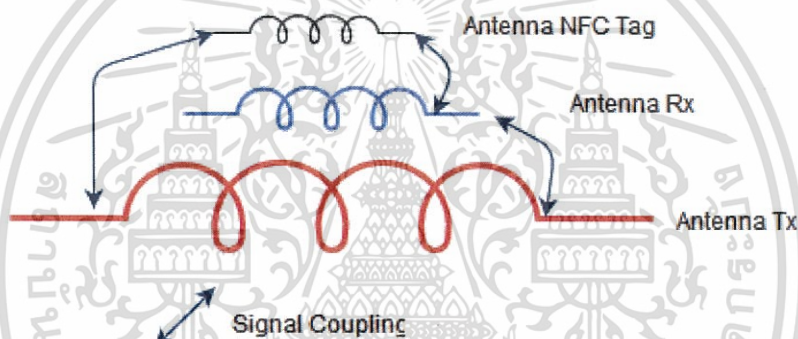
รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบพื้นฐานของ RFID

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2013). RFID and NFC Basics.

Near Field Communication หรือ NFC คือการสื่อสารระยะใกล้ด้วยคลื่นวิทยุความถี่สูงที่ ย่าน 13.56MHz โดยมีระยะการสื่อสารประมาณไม่เกิน 4 เซนติเมตร และมี protocol เฉพาะของ NFC และมีมาตรฐานการสื่อสารในขอบเขตงานวิจัยคือ ISO14443 ซึ่งเป็นมาตรฐานควบคุมหลักการ ออกแบบแท็ก NFC

ดังนั้นทั้ง RFID และ NFC มีฟิสิกส์ในเรื่องของสัญญาณอยู่เหมือนกัน นั่นคือการทำจุดวงจร Matching เพื่อปรับสัญญาณ และปรากฏการณ์สั่นพ้องในเสาสัญญาณ (antenna resonance effect) และช่วงไร้สัญญาณ(deadband) เช่นกัน

Antenna resonance effect คือการแผ่ของสนามแม่เหล็กในขดลวดตัวนำ (coil) ซึ่งจะทำให้สัญญาณแผ่ออกมารอบๆลวดด้วย ทำให้เสาสัญญาณสามารถกระจายของมูลแบบ broadcast จาก ตัวส่งสัญญาณถึงตัวรับสัญญาณใกล้เคียงได้ ซึ่งปรากฏการณ์นี้มีความซับซ้อนอย่างมาก เมื่อขดลวดตัวนำ มีจำนวนมากขึ้นในบริเวณใกล้เคียงกัน



รูปที่ 2.3 การสั่นพ้องสัญญาณบนขดลวดเหนี่ยวนำ

Deadband คือช่วงวิกฤตในสัญญาณ ทำให้บริเวณนั้นไม่สามารถสื่อสารได้ ทำให้เมื่อแท็กอยู่ใกล้เครื่องอ่านRFID เครื่องอ่านจะไม่สามารถสื่อสารกับแท็กได้ ซึ่งปัจจุบันยังไม่มีวิธีการแก้ไขที่แน่นอน แต่สามารถหลีกเลี่ยงด้วยการปรับค่าความถี่ในวงจร matching ด้วยการเปลี่ยนค่าความจุของ capacitor

2.1.3 ไมโครชิป SIC9410 HF RFID reader

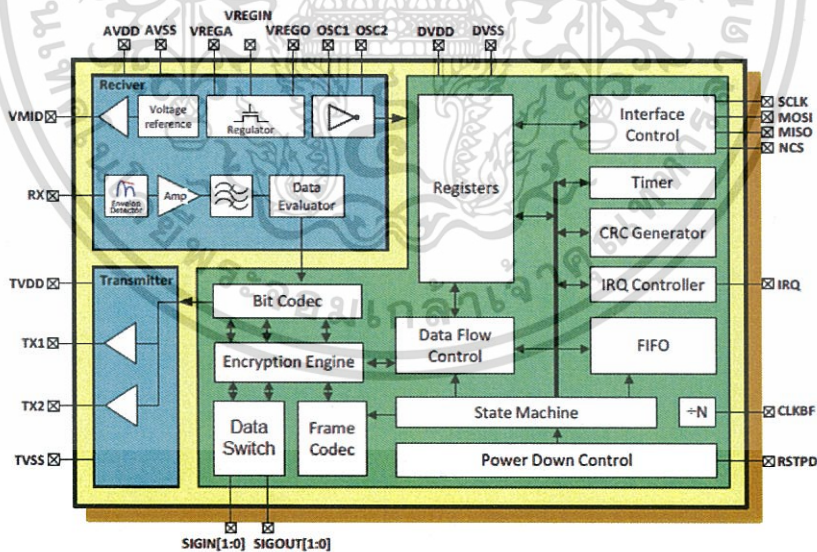
SIC9410 คือ HF RFID reader IC ที่อ่านสัญญาณ RF ที่ย่านความถี่สูง 13.56MHz ซึ่งถูกพัฒนาจากชิป SIC9310 ให้รองรับมาตรฐานการสื่อสารที่มากขึ้น สามารถรองรับ ISO14443A, ISO14443B, ISO15693, Felica, และ MIFARE Classic ได้ และมี codec เพื่อรองรับการ coding/encoding และ encrypting/decrypting

โดยตัวชิปประกอบด้วย ภาคส่งสัญญาณ, ภาครับสัญญาณ, baseband processor, และ voltage regulator

ภาคส่งสัญญาณประกอบด้วยขาขับสัญญาณคู่ รองรับการทํางานตั้งแต่ 2.7-7 Volt และสามารถต่อเข้ากับเสาสัญญาณได้หลายลักษณะและในชิปยังจ่ายสัญญาณ line-coding ได้หลากหลายเพื่อรองรับมาตรฐานแต่ละ Tag คือ Miller code สำหรับ ISO14443A, NRZ สำหรับ ISO14443B, BPSK สำหรับ Felica และ 1-of-4 กับ 1-of-256 สำหรับ ISO15693

ภาครับสัญญาณประกอบด้วย envelope detector, ตัวผลิตแหล่งจ่ายอ้างอิง, แหล่งจ่ายไฟฟ้ากระแสสลับ, amplifier-filter, ระบบ filter tuning, BPSK-bit decoder, Manchester-and-FSK decoder, frame decoder และ timing control generator โดยขาขับสัญญาณของชิปมีชื่อว่า Pin RX สามารถรับสัญญาณ carrier modulated ได้ สัญญาณที่ได้รับมาสามารถขยายด้วย on-chip automatic gain control (AGC) ได้ และ decode ออกมาเป็นสัญญาณ digital

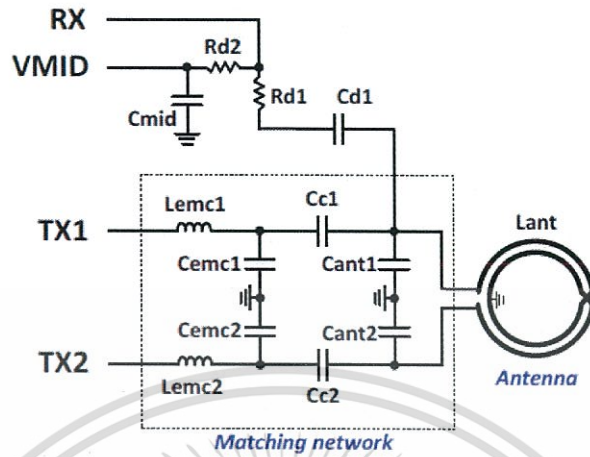
และส่วน Digital ประกอบด้วยส่วนควบคุม FIFO, ตัวผลิตความถี่ CRC, programmable timer, หน่วยความจำ EEPROM, state machine และ configurable registers และชิป SIC9410 สามารถควบคุมผ่าน SPI 4 สายได้ โดยสื่อสารด้วยความเร็วสูงสุด 10Mbps และมีระบบ interrupt ด้วยขา IRQ



รูปที่ 2.4 สถาปัตยกรรมภายใน SIC9410

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2013). Datasheet SIC9410.

ซึ่งการทำวงจรปรับสัญญาณจะต่ออุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เข้าไปเพื่อให้ควบคุมความถี่สัญญาณด้วยวงจร



รูปที่ 2.5 วงจรปรับความถี่สัญญาณ

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2013). SIC9410 antenna matching.

ซึ่งค่าต่างๆสามารถคำนวณได้ด้วยสมการ

$$C_{ant} \approx \frac{1}{L_{ant}(2\pi fr)^2} - C_c$$

$$C_{emc} \approx \frac{1}{L_{emc}(2\pi fr)^2} - C_c$$

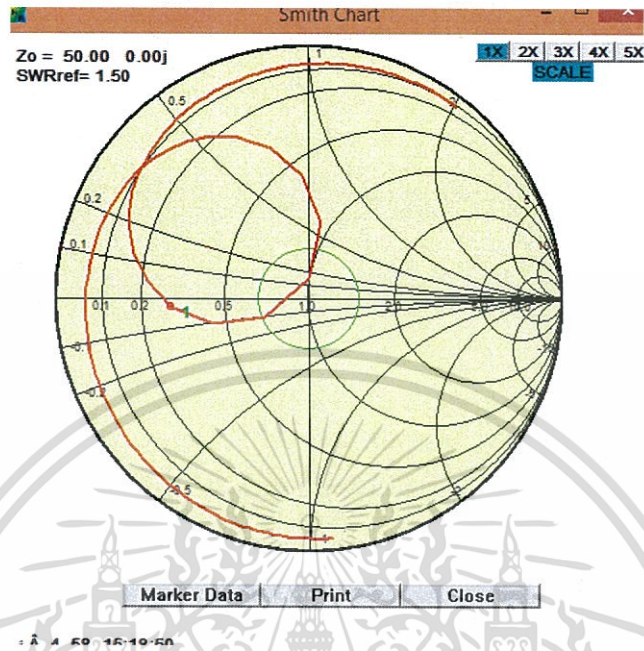
รูปที่ 2.6 สมการคำนวณค่าความจุในวงจรปรับสัญญาณ

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2013). SIC9410 antenna matching.

โดยมีตัวแปรที่เกี่ยวข้องดังนี้

- 1) C หมายถึงตัวเก็บประจุ (Capacitor) และ C_c หมายถึงค่าความจุคงที่
- 2) L หมายถึงตัวเหนี่ยวนำ (Inductor)
- 3) emc หมายถึงค่าที่เพิ่มในวงจรเพื่อให้เหมาะต่อการสร้างสนามแม่เหล็ก (Electromagnetic compatibility) C_{emc} คือค่าความจุที่เหมาะสมกับสนามแม่เหล็ก L_{emc} คือค่าความเหนี่ยวนำที่เหมาะสมกับสนามแม่เหล็ก
- 4) ant หมายถึงค่าทางฟิสิกส์ในลวดสัญญาณ (Antenna) C_{ant} คือค่าความจุที่ใส่ให้ลวดเหนี่ยวนำสัญญาณ L_{ant} คือค่าความเหนี่ยวนำบนลวดสัญญาณ ขึ้นอยู่กับความยาว รอบ ขด และขนาดของลวด
- 5) f คือค่าความถี่ควบคุมในสัญญาณ ซึ่งใน SIC9410 ต้องการให้ได้ 13.56 MHz

ในการปรับความถี่สัญญาณนั้น ในอุดมคติต้องการได้ค่าความต้านทาน (Impedance) มีค่าประมาณ 20 – 30 Ohm ซึ่งเมื่อพล็อตค่าตามความถี่ต่างๆ จะได้มุมกวาดบน smith chart

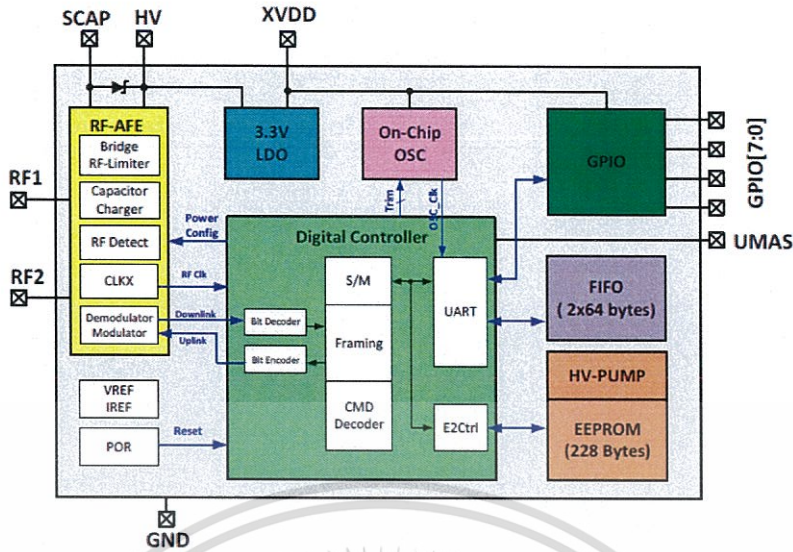


รูปที่ 2.7 มุมกวาดสัญญาณบน smith chart ในอุดมคติ

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2013). SIC9410 antenna matching.

2.1.4 ไมโครชิป SIC4310 NFC tag

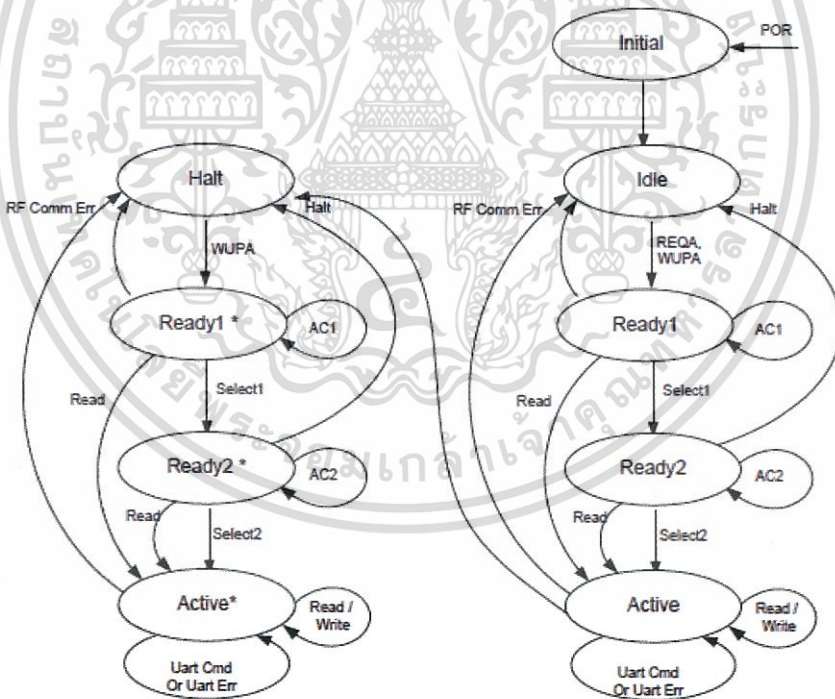
ไมโครชิป SIC4310 คือ NFC-tag type 2 IC ที่มี dual-port, 228-byte, และมี UART กับหน่วยความจำ EEPROM ซึ่งเข้าถึงได้โดย NFC/RFID reader หรือ UART และสามารถแปลง protocol ได้หลากหลาย เพื่อเปลี่ยนข้อมูลที่สำคัญกับอุปกรณ์อื่น โดย UART อำนวยความสะดวกให้สื่อสารได้หลายอุปกรณ์เพื่อนำไปใช้กับ application ได้หลากหลาย เช่น MCU หรือ sensor module ต่างๆ



รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายใน SIC4310

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2014). Datasheet SIC4310.

โดย SIC4310 มี state การทำงานตามมาตรฐาน ISO 14443-3 Type A ดังนี้



รูปที่ 2.9 state diagram ของ SIC4310 ที่ pin UMAS = 0

ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2014). Datasheet SIC4310.

1) Initial state

หลังจากได้รับพลังงาน Power on reset(POR) SIC4310 จะ reset ตัวเอง และตั้งค่าเริ่มต้นต่างๆภายในชิป โหลดค่าบน EEPROM และเข้าสู่สถานะ Idle

2) Halt & Idle state

หลังจาก Initial แล้วชิปจะเข้าสู่สถานะ Idle เพื่อรอคำสั่ง REQA หรือ WUPA เพื่อเข้าสู่สถานะ Ready1 เช่นเดียวกับสถานะ Halt ที่รอคำสั่ง WUPA เพื่อเข้าสู่สถานะ Ready1* ส่วนคำสั่งอื่นๆจะทำให้เกิด error และชิปจะอยู่ใน state เดิม

3) Ready1 & Ready1*

สำหรับสถานะ Ready1 จะมีการใช้ anti-collision level1 ซึ่งจะรอคำสั่ง ANTI-COLLISION1 หรือ Seletion1 สำหรับ ANTI-COLLISION1 จะตอบ UID (Unique Identifier) บางส่วนออกมา สำหรับ Selection1 ถ้าพบ cascaded level-1 บนชิปจะตอบ SAK และเข้าสู่ Ready2 และรอคำสั่ง ReadE2 ถ้าเจอคำสั่งอื่น จะกลับไปเป็นสถานะ Idle หรือ Halt

4) Ready2 & Ready2*

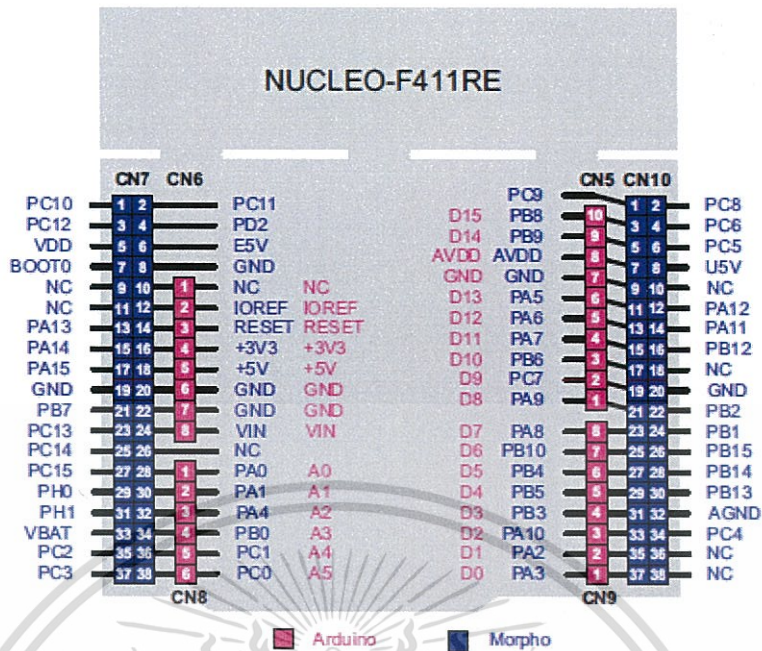
สำหรับสถานะ Ready2 จะมีการใช้ anti-collision level2 ซึ่งจะรอคำสั่ง ANTI-COLLISION2 หรือ Seletion2 สำหรับ ANTI-COLLISION2 จะได้ UID ทั้งหมดออกมา สำหรับ Selection2 ถ้าพบ cascaded level-2 บนชิปจะตอบ SAK และเข้าสู่ Active และรอคำสั่ง ReadE2 ถ้าเจอคำสั่งอื่น จะกลับไปเป็นสถานะ Idle หรือ Halt

5) Active & Active*

ในสถานะ Active SIC4310 สามารถทำ RFID-Memory access ทำคำสั่ง UART และ register access ได้ โดย RFID-Memory access ได้แก่ ReadE2, WriteE2, Compatible WriteE2, UART command ได้แก่ TxRU, RxUR, TRxRU and ClearFlag และ register access ได้แก่ ReadReg, WriteReg

2.1.5 ความสามารถของ MCU STM32F411

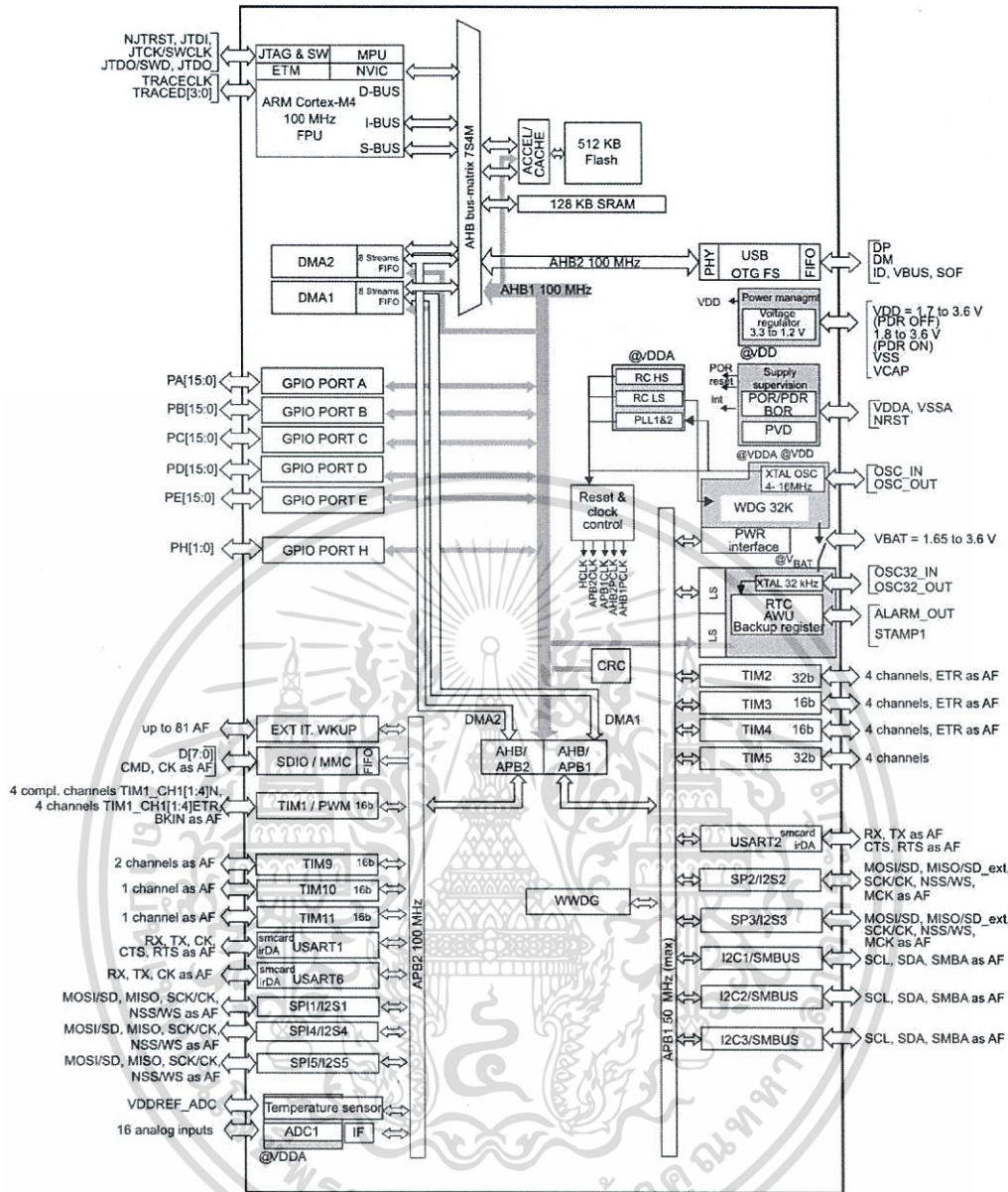
ไมโครคอนโทรลเลอร์ ยูนิต (Microcontroller Unit : MCU) มีลักษณะการทำงาน คล้ายกับคอมพิวเตอร์ขนาดเล็ก มีหน่วยประมวลผลกลาง ทำงานควบคุมอุปกรณ์ต่างๆ ภายในชิป (Modules) และบนบอร์ดควบคุมมีส่วนรับข้อมูล (Input) ส่วนส่งออกข้อมูล (Output) โดย MCU ของ STM32 มีสถาปัตยกรรมที่ยืดหยุ่นต่อการทำตัวต้นแบบในแนวคิดที่หลากหลาย



รูปที่ 2.10 บอร์ด Nucleo-F411RE

ที่มา : UM1724 User manual (2015). STM32 Nucleo-64 boards.

บนตัวบอร์ด MCU จะมีส่วนควบคุมต่างๆประกอบด้วยแหล่งจ่ายพลังงาน เช่น VDD, +5V, +3.3V และ GND มีขา (pin) ที่ทำงานเฉพาะเจาะจง และขารับส่งข้อมูลทั่วไป (General Purpose Inputs Outputs : GPIOs) ซึ่งจะแบ่งเป็นพอร์ตต่างๆ ทั้ง GPIOA, GPIOB, GPIOC, GPIOD, GPIOE และ GPIOH โดยบางขาสามารถตั้งค่าให้ทำงานพิเศษเฉพาะร่วมกับชิปได้



รูปที่ 2.11 Block diagram ภายในของชิป STM32F411

ที่มา : STM Documentation (2015). STM32F411xC STM32F411xE.

ตัวชิปเป็นสถาปัตยกรรม ARM-Cortex M4 มี module ต่างๆ อย่างอุปกรณ์ติดต่อกับส่วนรับส่งข้อมูล (Serial Peripheral Interface : SPI) แบบหลายตัวรับ ตัวส่งเดี่ยว (Multiple Input Single Output : MISO) และหลายตัวส่ง ตัวรับเดี่ยว (Multiple Out Single Input : MOSI), อุปกรณ์รับส่งข้อมูลแบบอะซิงโครนัส (Universal Asynchronous Receiver Transmitter : UART) และส่วนควบคุม GPIOs

2.1.6 วิธีการคำนวณด้วย Linear Interpolation และ Bilinear Interpolation

Linear Interpolation เป็นวิธีทำ curve fitting ด้วยสมการ linear เพื่อหาค่าจาก 2 discrete point ที่ทราบค่า โดยมีสมการเป็น

$$y = y_0 + (r - r_0) \times \frac{y_1 - y_0}{r_1 - r_0}$$

รูปที่ 2.12 สมการ linear interpolation

ที่มา : Wikipedia. (2016). Linear interpolation.

Retrieved November 21, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_interpolation

โดยจะหาค่า y ได้จากค่า x และนำค่า x_0, y_0 และ x_1, y_1 จาก 2 จุดที่ทราบค่า แทนลงในสมการ

Bilinear Interpolation คือการทำ Linear interpolation แบบ 2 แกน ซึ่งจะใช้คำนวณหาค่า z จากค่า x, y โดยทำ interpolation ทั้งหมด 3 ครั้ง จาก discrete point อ้างอิงทั้ง 4 จุด คือ $Q_{11}, Q_{12}, Q_{21}, Q_{22}$ ซึ่ง Q แทนคู่อันดับ (x, y) จะหาจุด R_1 และ R_2 ซึ่งอาจหมายถึง $f(x, y_1)$ กับ $f(x, y_2)$ หรือ $f(x_1, y)$ กับ $f(x_2, y)$ จากสมการ

$$f(x, y_1) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{11}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{21})$$
$$f(x, y_2) \approx \frac{x_2 - x}{x_2 - x_1} f(Q_{12}) + \frac{x - x_1}{x_2 - x_1} f(Q_{22})$$

รูปที่ 2.13 สมการ Linear interpolation คำนวณหา 2 จุดอ้างอิงกลาง

ที่มา : Wikipedia. (2016). Bilinear interpolation.

Retrieved November 21, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Bilinear_interpolation

และทำการหา interpolation จากจุด R_1 และ R_2 เพื่อให้ได้ค่าคำตอบ Bilinear interpolation ด้วยสมการ

$$f(x, y) \approx \frac{y_2 - y}{y_2 - y_1} f(x, y_1) + \frac{y - y_1}{y_2 - y_1} f(x, y_2)$$

รูปที่ 2.14 สมการ Bilinear interpolation

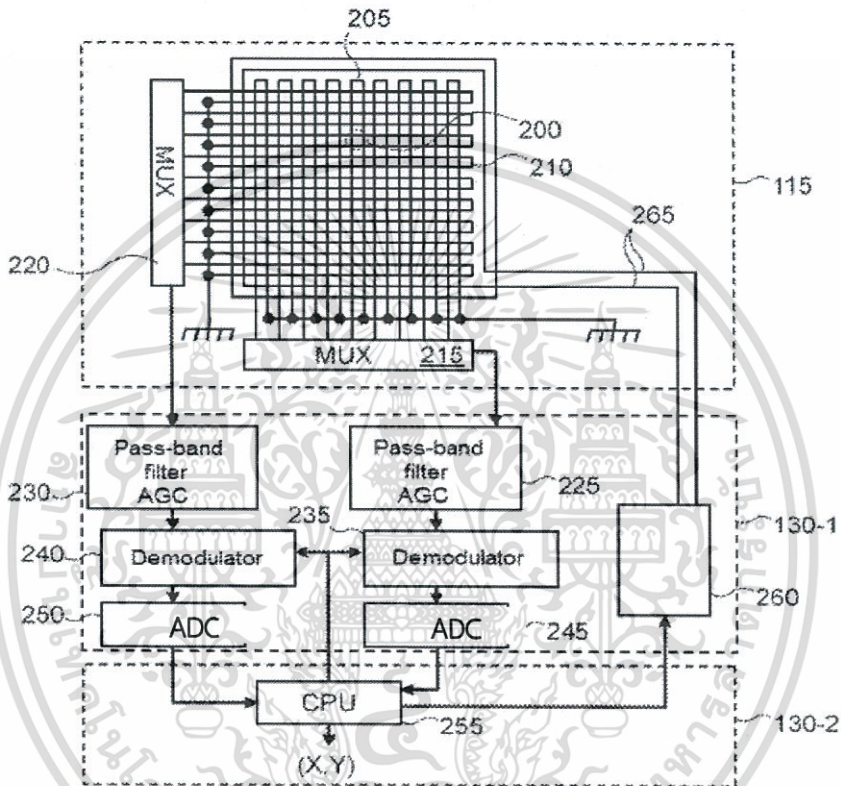
ที่มา : Wikipedia. (2016). Bilinear interpolation.

Retrieved November 21, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Bilinear_interpolation

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Device for aiding the location in real time of a self-powered mobile element

งานวิจัยฉบับนี้กล่าวถึงเทคโนโลยี EPAWN โดยหยิบยกทฤษฎีการคำนวณตำแหน่งด้วยความเข้มสัญญาณวิทยุ และมีงานวิจัยถึงวงจรการออกแบบเพื่อใช้ในแอปพลิเคชัน และอธิบายรายละเอียดการทำงานของแอปพลิเคชันไปในเชิงของเกมกระดานอิเล็กทรอนิกส์



รูปที่ 2.15 วงจรอิเล็กทรอนิกส์ของ EPAWN (แก้ไขจากต้นฉบับ)

ที่มา : US 20150116091 A1. (2015). Device for aiding the location in real time of a self-powered mobile element.

จากรูปที่ 2.9 มีส่วนประกอบหลัก 3 อย่าง ได้แก่

- 1). 115 : เสาสัญญาณ
- 2). 130-1 : RFID reader device
- 3). 130-2 : MCU

1). 115 : เสาสัญญาณ

เสาสัญญาณในระบบประกอบด้วยเสาส่งสัญญาณ(265) มีขนาด loop ครอบคลุมพื้นที่อ่าน RFID และเสารับสัญญาณรูปตาข่าย(205 และ 210) เลือกลงและควบคุมด้วย Multiplexer (215 และ 220) และระบุพื้นที่ตามจุดตัดแกนของเสารับสัญญาณ(200)

2). 130-1 : RFID reader device

ส่วน RFID reader device ประกอบด้วย RFID reader IC(260), ส่วนกรองสัญญาณ pass-band filter และ ส่วนขยายสัญญาณที่ถูกกรองแล้ว Auto-gain control(AGC), ส่วน Demodulator เพื่อถอดข้อมูล analog ออกจากคลื่นพา และ Analog to Digital Converter (ADC) เพื่อแปลงสัญญาณ Analog เป็นข้อมูล Digital

3). 130-2 : MCU

Microcontroller Unit คือหน่วยควบคุมและประมวลผล มีหน้าที่ควบคุมการสื่อสารของ RFID reader IC, ควบคุม Demodulator และรับข้อมูล digital จาก ADC เพื่อนำไปประเมินตำแหน่ง (X, Y)

โดยกระบวนการทำงานของอุปกรณ์ สามารถแบ่งได้เป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

- 1). Transmission ปลอยกระแส common activation เพื่อกระตุ้น NFC-tag
- 2). Sequential activation เลือก receive antenna แต่ละจุดเพื่อค้นหา NFC-tag แต่ละตัว
- 3). Tag anti-collision receive signal รับสัญญาณตอบกลับจาก tag ตัวใดตัวหนึ่ง
- 4). Tag position calculation คำนวณหาตำแหน่งของ tag

บทที่ 3

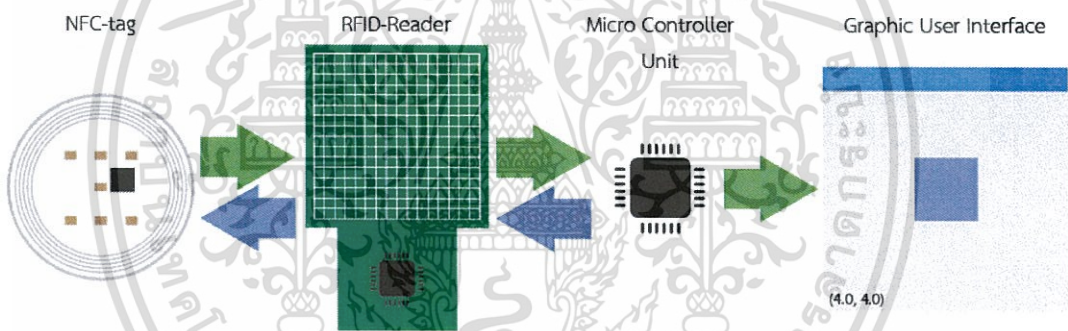
วิธีดำเนินการวิจัย

จากการดำเนินการด้วย PDCA ผู้วิจัยได้ศึกษาเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แล้วจึงได้ออกแบบระบบประเมินตำแหน่ง NFC-tag โดยมีหัวข้อดำเนินการวิจัยดังต่อไปนี้

3.1 ศึกษาแนวคิดและความสามารถของระบบ

ในการวิจัยครั้งนี้ผู้วิจัยได้ศึกษาวัตถุประสงค์ของแผนก Embedded System บริษัทซิติคอนคราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด และงานวิจัยปัจจุบันของแผนก เพื่อทำความเข้าใจ และปรับปรุงชิ้นงานโดยความต้องการของทางแผนก ต้องการนำงานวิจัยนี้ ต่อยอดสู่เกมกระดานอิเล็กทรอนิกส์ แต่ด้วยระยะเวลาวิจัยที่จำกัด ทางแผนกจึงอยากให้วิเคราะห์ความเป็นไปได้ก่อน โดยผู้วิจัยมีแนวคิดจะนำความเข้มข้นสัญญาณตอบกลับของแท็ก ที่อ่านด้วย SIC9410 มาประเมินตำแหน่งของแท็ก

3.2 ออกแบบสถาปัตยกรรมของระบบ



รูปที่ 3.1 สถาปัตยกรรมของระบบประเมินตำแหน่ง

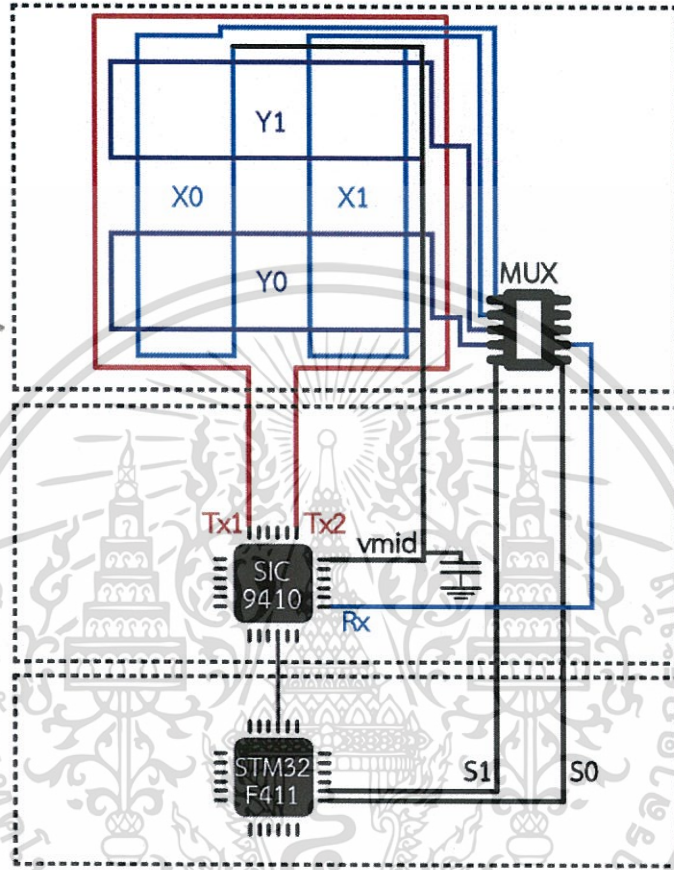
MCU และเครื่องอ่าน RFID จะทำงานร่วมกัน เพื่ออ่านดัชนีความเข้มข้นสัญญาณ (Signal Strength Indicator: SSI) ของ NFC-tag จากสัญญาณที่ NFC-tag ตอบมา ค่าของ SSI จะถูกเก็บไว้ใน Register0x37 ของ SIC9410 แล้ว MCU สามารถอ่านค่าออกมาได้ MCU จะนำค่าที่อ่านมา คำนวณหาตำแหน่งของ NFC-tag และส่งค่าให้กับหน้าแสดงผล หน้าแสดงผลจะบอกตำแหน่ง และแสดงผลตำแหน่งเป็นกราฟิกบนหน้าจอกอมพิวเตอร์ ซึ่งจะแบ่งส่วนต่างๆได้ดังนี้

3.2.1 NFC-tag และเครื่องอ่าน RFID

ผู้วิจัยเลือกวิจัยด้วย SIC4310 NFC-tag IC และ SIC9410 HF RFID reader IC ในการติดต่อสื่อสาร หาก protocol ของ SIC4310 ตอบค่ากลับมาหา SIC9410 เครื่องอ่านจะสามารถคำนวณ SSI ได้ โดยมีค่าทั้งหมด 4 บิต

3.3 ออกแบบแผนผังวงจรของเครื่องอ่าน RFID

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และความสามารถของ SIC9410 ผู้วิจัยได้ออกแบบ schematic ของงานวิจัย เพื่อใช้ทดสอบเทคโนโลยี โดยแสดงเป็น Block diagram ได้ดังนี้

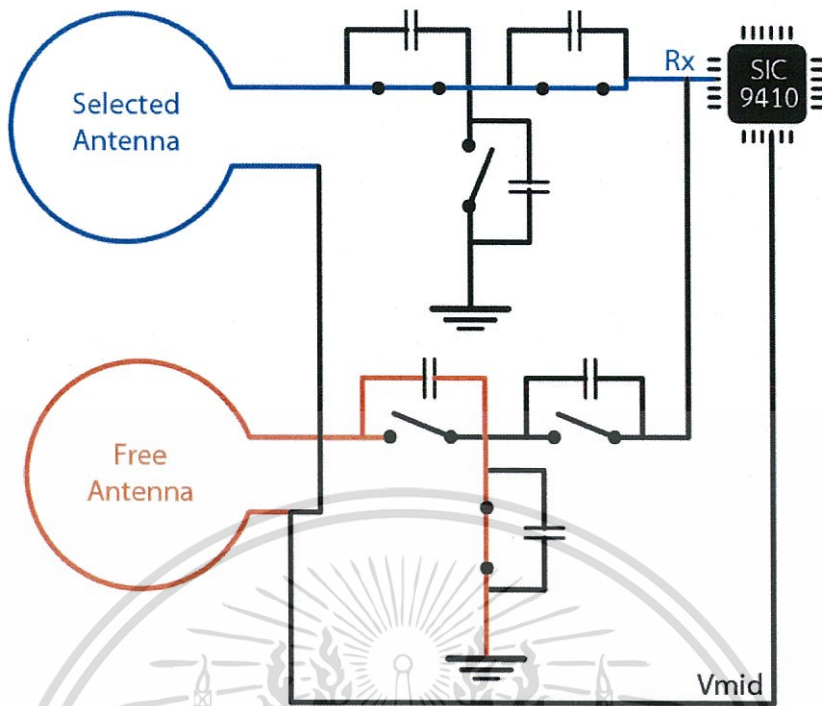


รูปที่ 3.3 NFC tag positioning Block diagram

ผู้วิจัยได้ออกแบบระบบประเมินผล แบ่งได้เป็น 3 ส่วน ได้แก่

1). เสารับ-ส่งสัญญาณ

RFID โดยทั่วไปสามารถรับส่งสัญญาณได้ด้วยเสาสัญญาณเดียวกัน และควบคุมการสื่อสารด้วย protocol ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ออกแบบเสาสัญญาณใหม่โดยแยกเสาส่ง และเสารับสัญญาณ และเลือกเสารับสัญญาณในแนวต่างๆด้วย Multiplexer (MUX) และเพื่อไม่ให้สัญญาณที่ไม่ต้องการเป็นสัญญาณลอยในช่องที่ไม่ได้เลือก ผู้วิจัยออกแบบให้ขาที่ลอยอยู่ไหลลง GND ด้วยวงจรสวิตซ์



รูปที่ 3.4 วงจรควบคุมสวิตช์

- 2). วงจรเครื่องอ่าน RFID ภายใน SIC9410 มีส่วนของ AGC และ demodulator สัญญาณ และในวงจรจะมีวงจรปรับสัญญาณเพื่อให้ bandwidth สัญญาณเหมาะสมกับความถี่มากที่สุด
- 3). MCU

3.4 ออกแบบวิธีการประเมินตำแหน่ง

เนื่องจากสถาปัตยกรรมของระบบ ตำแหน่งจะถูกคำนวณด้วย MCU เป็นหลัก ข้อมูลบางข้อมูลจึงจำเป็นต้องปรับเพื่อรองรับ MCU โดยผู้วิจัยออกแบบให้

3.4.1 ข้อมูล SSI แต่ละเสาสัญญาณ

เนื่องจากค่า SSI ที่อ่านได้มีค่าเป็นไปได้ 4 บิต ซึ่งถือว่าหายากหากตำแหน่งของแท็กอยู่ใกล้ๆจุดเดิม ผู้วิจัยจึงออกแบบให้เครื่องอ่าน RFID อ่านค่า SSI ทั้งหมด 10 ครั้งและนำมาหาค่าเฉลี่ย โดยค่าที่เฉลี่ยได้ จะทำให้เป็นจำนวนเต็มโดยคูณ 10

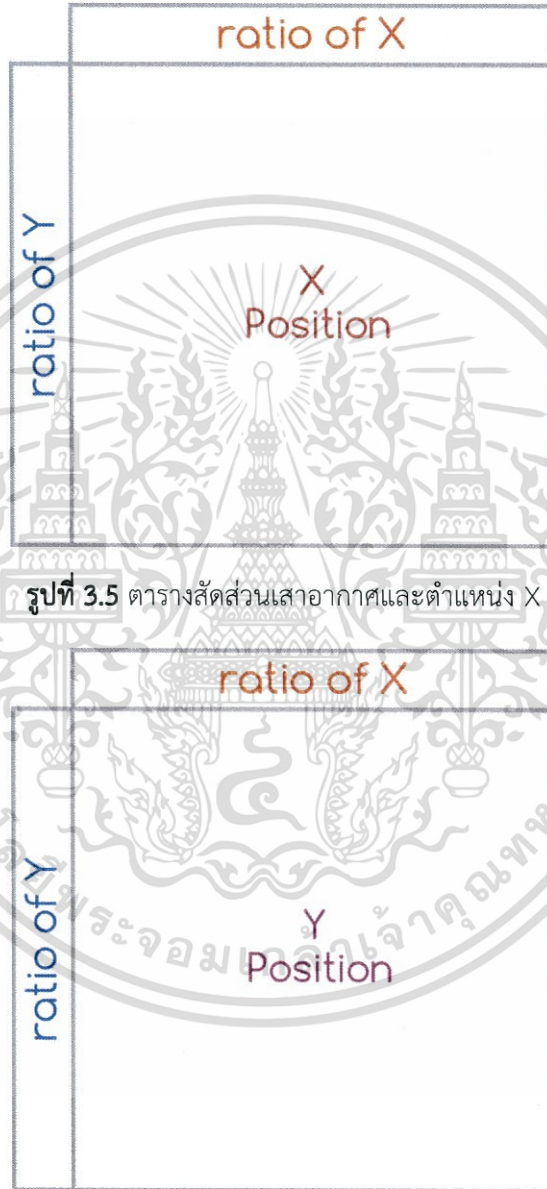
3.4.2 ข้อมูลสัดส่วนของ SSI ในเสาสัญญาณแนวเดียวกัน

ค่าสัดส่วน SSI จะนำค่าเฉลี่ยแบบจำนวนเต็ม 2 ค่าจากเสาแกนเดียวกัน มาหารกัน และคูณ 10^3 เพื่อทำให้เป็นจำนวนเต็ม

3.4.3 ข้อมูลตำแหน่งที่คำนวณได้

ตำแหน่งที่คำนวณได้จากสมการ Bilinear Interpolation MCU จะคูณ 10^2 เพื่อให้เป็นจำนวนเต็ม และส่งผ่าน UART เป็นเลขฐาน 16

โดยการวัดค่าจาก MCU จะได้ค่า SSI ในตำแหน่งต่างๆ และผู้วิจัยจะนำค่าที่ได้สร้างตารางใหม่ ให้ค่าสัดส่วน SSI สามารถหาค่าตอบของตำแหน่ง X และ Y บนระนาบอ่านระยะได้

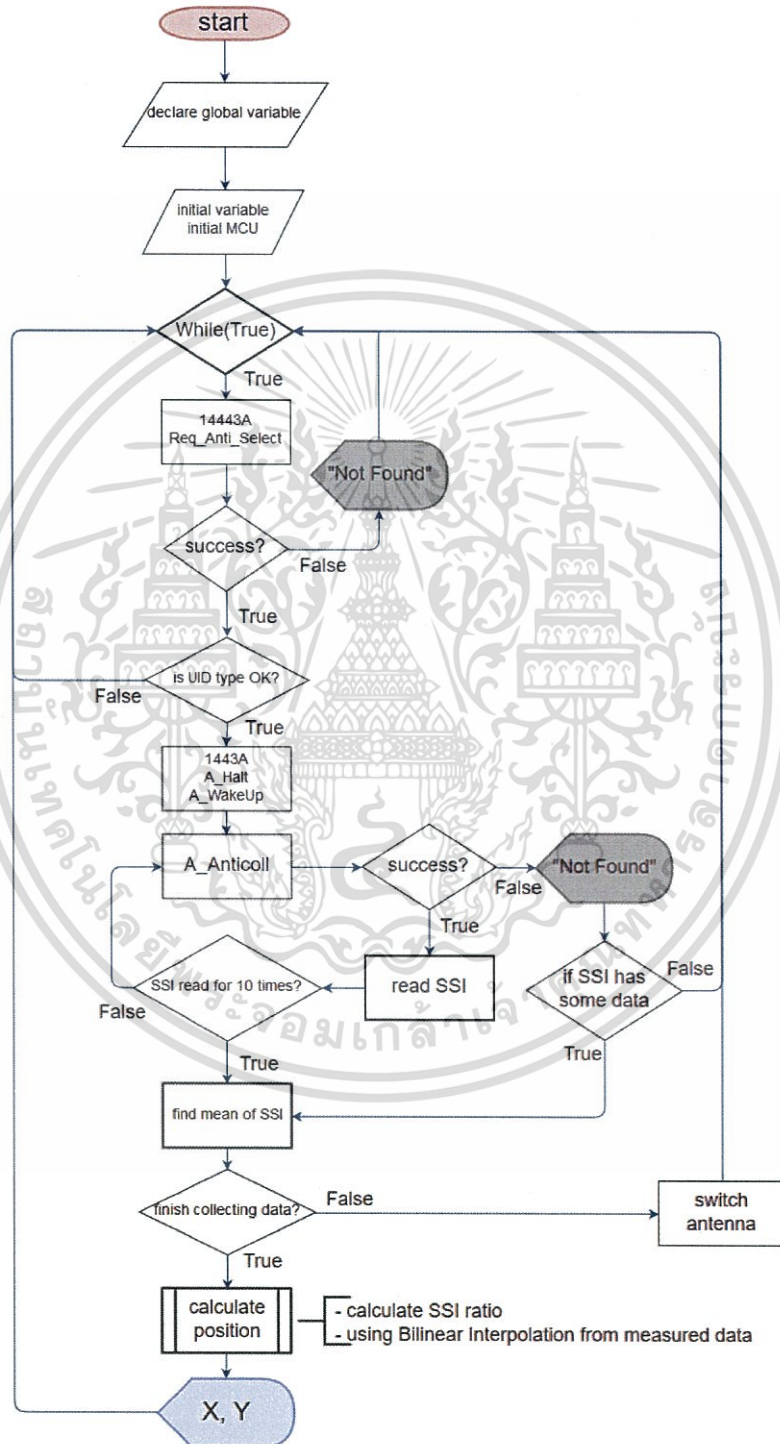


รูปที่ 3.5 ตารางสัดส่วนเสาอากาศและตำแหน่ง X

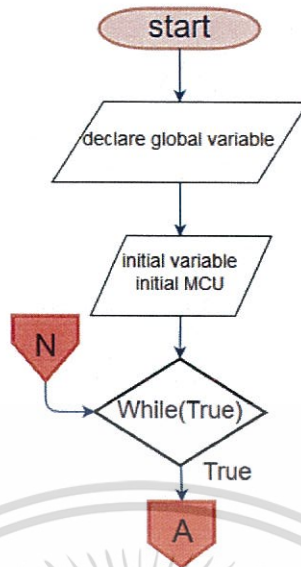
รูปที่ 3.6 ตารางสัดส่วนเสาอากาศและตำแหน่ง Y

3.5 ออกแบบการทำงานของเฟิร์มแวร์

การทำงานของ MCU จะขึ้นอยู่กับโค้ดเฟิร์มแวร์ที่ฝังลงไป โดยผู้วิจัยออกแบบขั้นตอนการทำงานของเฟิร์มแวร์ได้ flowchart ดังนี้

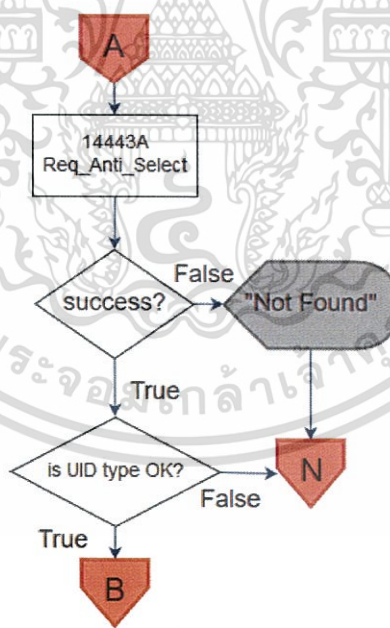


รูปที่ 3.7 flowchart รวมของเฟิร์มแวร์ในระบบ



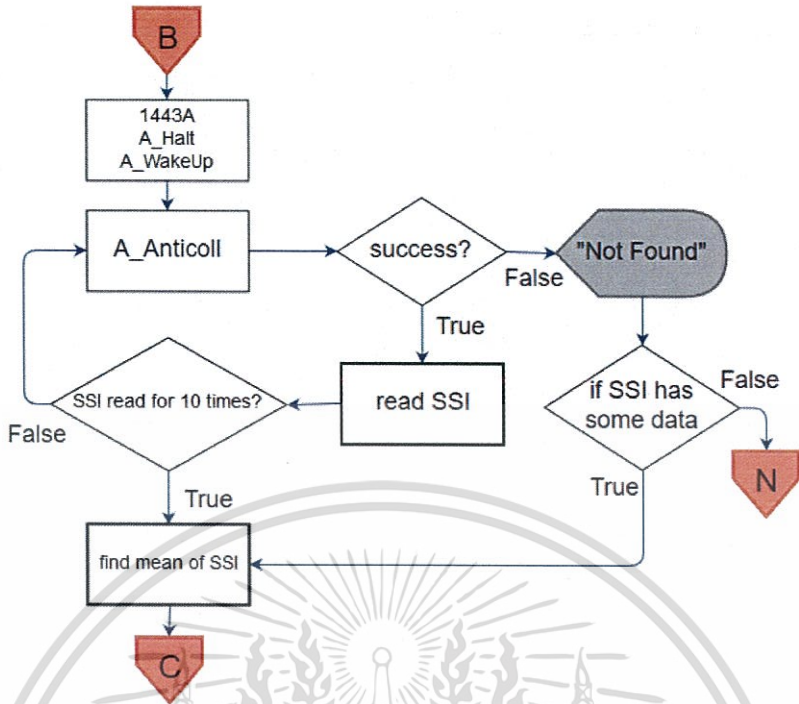
รูปที่ 3.8 การทำงานส่วนเริ่มต้นของเฟิร์มแวร์

ในการเริ่มการทำงานของ MCU จะสร้างตัวแปรและกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับตัวแปรต่างๆในระบบ และตั้งค่าเริ่มต้นให้กับ module ต่างๆของบอร์ดที่ต้องการใช้ และจะเริ่มเข้าสู่การทำงานหลัก โดยจะมีลูการทำงานเริ่มต้นที่ label A และครบรอบลูตาม label N



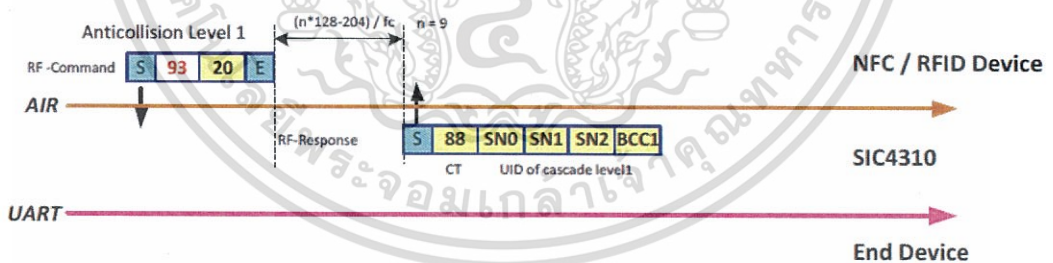
รูปที่ 3.9 การทำงานค้นหาแท็กของเฟิร์มแวร์

โดยเริ่มทำงานจากการค้นหาแท็กให้ได้ก่อน เมื่อเจอสัญญาณตอบกลับของแท็กจากคำสั่ง 14443A Req_Anti_Sel (Request, Anti-Collision, Select) แท็กจะอยู่ในสถานะ Active และได้ UID รหัสเฉพาะตัวของแท็กมา แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนวัดค่า SSI ของแท็ก แต่หากไม่เจอจะค้นหาใหม่

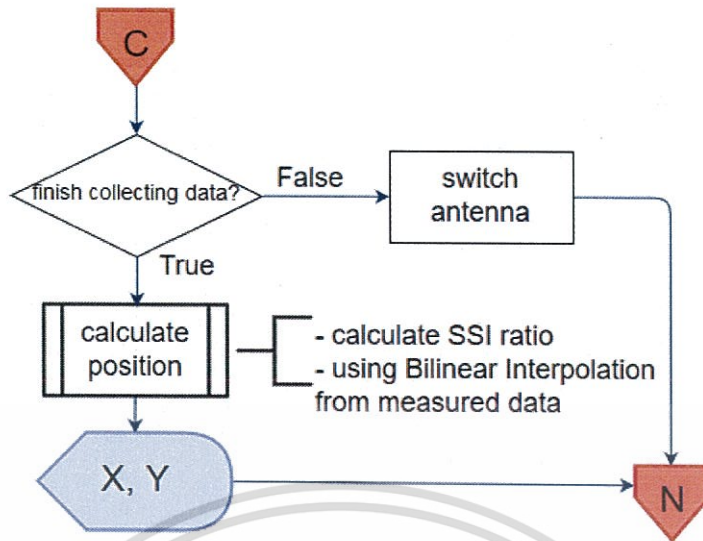


รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการวัดและรวบรวมข้อมูล SSI

เครื่องอ่านจะสั่ง Halt และ WakeUp ให้แท็กอยู่ในสถานะ Ready1* ในสถานะนี้จะสามารถสั่ง Anticoll อย่างต่อเนื่องได้ และการสั่งแต่ละครั้ง SIC4310 จะมีข้อมูลตอบกลับ ทำให้ได้ SSI ค่าใหม่ เมื่อครบ 10 ครั้งหรือขาดหายไปจะเริ่มเฉลี่ยค่า SSI แต่ถ้าไม่สามารถวัดค่ามาได้ จะเริ่มค้นหาแท็กใหม่



รูปที่ 3.11 การสื่อสารระหว่าง SIC4310 กับเครื่องอ่านด้วยคำสั่ง Anti-collision ที่มา : Silicon Craft Technology Documents. (2013). Datasheet SIC9410.



รูปที่ 3.12 ขั้นตอนการสลับเสาสัญญาณและคำนวณตำแหน่ง

เมื่อได้ค่าเฉลี่ยความเข้มสัญญาณของเสาสัญญาณใดๆแล้ว จะสลับเสารับสัญญาณและทำการวัดสัญญาณด้วยกระบวนการเดิม เมื่อครบทั้ง 4 เสาจะนำมาหาสัดส่วน SSI สัญญาณโดยทำให้ SSI ในเสาใดเป็นศูนย์ เมื่อได้สัดส่วน SSI สัญญาณ จะนำข้อมูลไปเข้าสมการ Bilinear Interpolation เพื่อหาตำแหน่ง

3.6 การระบุมาตรฐานและการพัฒนางานวิจัย

ในหลักการทำงานแบบ PDCA ทุกกระบวนการทำงานจะได้ข้อมูลและมาตรฐานของรอบนั้นๆ ซึ่งจะช่วยตัดสินใจทิศทางการทำงานในรอบต่อไป โดยผู้วิจัยออกแบบข้อมูลที่จะใช้พัฒนาในแต่ละรอบดังนี้

3.6.1 การออกแบบวงจร และฮาร์ดแวร์

วงจรที่ถูกออกแบบในแต่ละรอบจะนำมาใช้เป็นชุดทดสอบ บันทึกข้อผิดพลาดในการออกแบบ หรือจุดที่ทำแล้วทำให้ได้ผลการทดลองตามสมมติฐานไว้ และปรับปรุงในขั้นถัดไป

3.6.2 ข้อมูล SSI ของแต่ละเสาสัญญาณ

ข้อมูลเชิงสถิติความเข้มสัญญาณที่อ่านได้ในแต่ละรอบสามารถอ้างอิงเป็นมาตรฐานได้ และทำนายได้ว่า ค่าที่อ่านได้ในรอบต่อไปจะเป็นอย่างไร

3.6.3 โปรแกรมในเฟิร์มแวร์

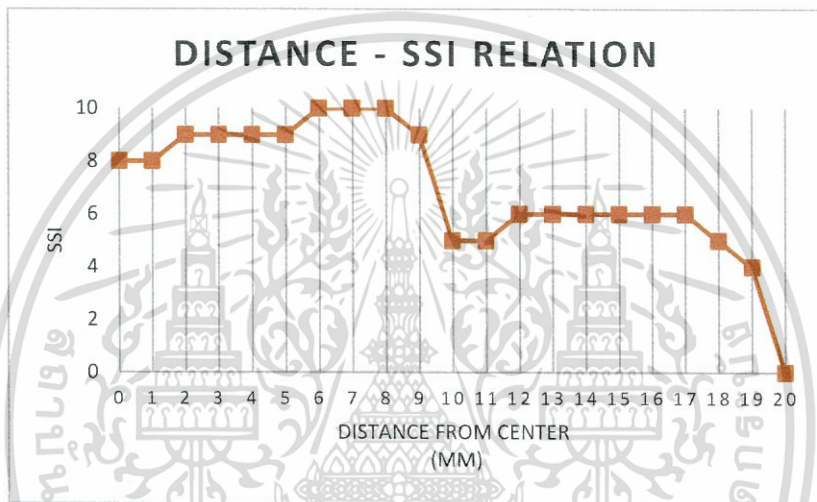
ผู้วิจัยบันทึกเฟิร์มแวร์และทำ version ของแต่ละรอบ ซึ่งสามารถเรียกคืนย้อนกลับการทำงานได้ รวมถึงการวัดผลในการทำงานเหมือนกันควรจะถูกวัดจากโค้ดเดียวกัน

บทที่ 4

ผลการวิจัย

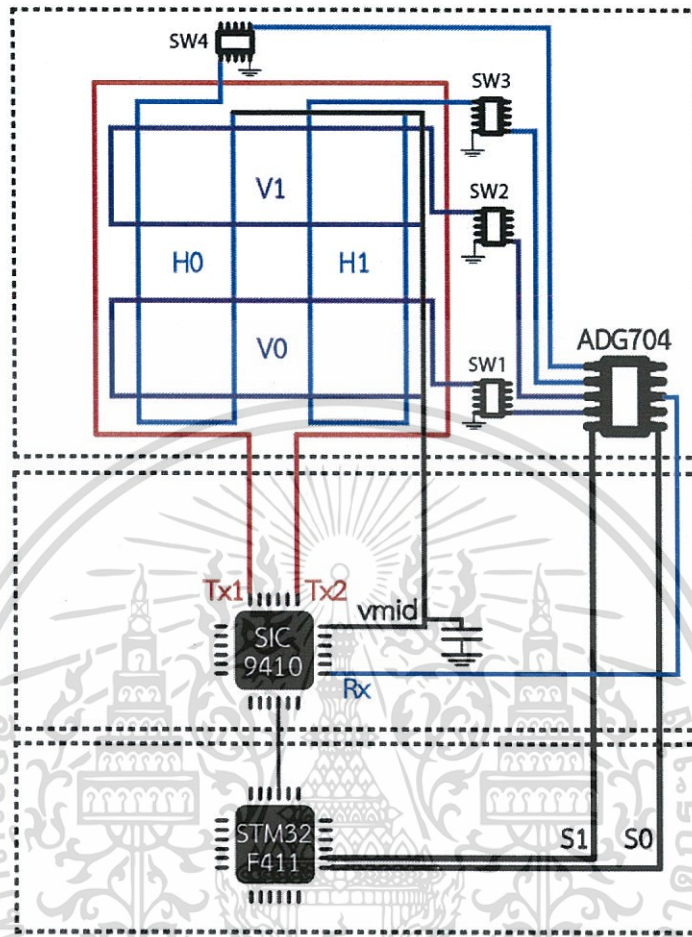
4.1 การศึกษาความสัมพันธ์ของระยะห่างระหว่างเสาสัญญาณกับแท็กที่มีผลต่อความเข้มสัญญาณ

จากทฤษฎี RFID เรื่อง resonance gain ตำแหน่งของ NFC-tag coil จะมีผลต่อค่า gain พลังงานที่ได้จากสัญญาณ RF ผู้วิจัยจึงได้ศึกษาและบันทึกผลเพื่อหาความสัมพันธ์ดังกล่าว โดยใช้เครื่องอ่าน RFID อื่นที่ประกอบจาก SIC9410 เช่นเดียวกัน มาทำการทดลองดังกล่าว และเป็นต้นแบบของงานวิจัยชิ้นนี้



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ของตำแหน่ง tag ที่มีผลต่อความเข้มสัญญาณ

4.2 แผนผังวงจร



รูปที่ 4.2 Block diagram สุดท้ายของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้ออกแบบและนำวงจรสวิตช์มาประยุกต์ใช้กับวงจร เพื่อเลือกรับสัญญาณเพียงช่องเดียว และเลือกให้ช่องที่ไม่ต้องการไม่ลอยและไหลลง GND โดยประยุกต์ใช้สวิตช์ 2x1 SN74LVC1G3157 แทนสวิตช์ส่วนที่เลือกต่อกับเสารับสัญญาณหรือต่อลง GND

4.3 การทดสอบระบบประเมินตำแหน่ง

4.3.1 ผลการวัดความเข้มสัญญาณ

ตารางแสดงขนาดของ 10^{-1} เท่าของความเข้มสัญญาณเฉลี่ย โดยให้แกนแนวนอนเป็นตำแหน่ง X และแกนแนวตั้งเป็นตำแหน่ง Y ได้ตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ V0 (10^{-1} SSI)

V0	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
0	50	50	10	10	10	10	10	20	16	10	10	10	18	10	10	50	55
0.5	50	10	40	60	70	70	70	61	60	60	70	70	70	60	38	10	50
1	40	30	60	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	60	50	30
1.5	70	50	80	90	90	96	84	80	80	80	80	100	90	90	80	60	10
2	10	60	80	90	92	90	80	90	80	81	80	90	100	100	80	70	10
2.5	10	60	80	80	80	80	90	76	74	78	90	90	80	80	70	60	10
3	10	50	70	70	71	70	70	70	70	70	70	70	70	70	70	51	11
3.5	10	40	60	70	70	70	60	60	60	60	60	60	70	60	51	30	23
4	12	30	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	58	40	22	30
4.5	21	20	30	42	50	50	50	50	50	50	51	50	49	41	39	37	30
5	10	20	30	40	38	47	48	48	49	49	50	48	38	35	31	37	21
5.5	10	20	30	40	40	41	46	49	48	44	42	41	40	40	32	22	20
6	10	20	30	30	40	40	40	44	41	44	41	40	40	37	30	10	10
6.5	10	20	30	30	30	40	40	40	40	40	40	40	30	30	10	10	10
7	10	20	30	20	30	30	30	31	31	30	30	30	30	20	10	10	10
7.5	10	10	10	10	10	11	23	22	30	30	30	20	20	12	10	10	10
8	39	30	10	10	10	10	17	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10

ตารางที่ 4.2 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ V1 (10^{-1} SSI)

V1	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
0	10	10	10	10	10	10	20	20	20	20	20	20	10	10	10	10	10
0.5	10	10	10	20	20	30	30	30	30	30	30	30	20	20	10	10	10
1	10	10	20	30	30	40	40	40	40	40	40	40	30	30	20	10	10
1.5	42	10	30	30	40	41	49	50	50	50	47	41	40	40	30	13	10
2	10	10	30	40	40	50	50	50	51	50	50	50	42	40	31	20	10
2.5	26	21	31	40	47	50	50	50	50	50	50	50	46	42	34	32	23
3	27	30	35	34	45	50	50	50	50	50	50	50	48	43	32	36	30
3.5	32	31	40	47	51	55	56	52	54	56	51	54	51	50	40	38	40
4	30	30	40	53	60	60	60	60	60	60	60	60	60	59	43	30	34
4.5	21	30	54	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	53	40	31
5	10	50	60	70	70	71	70	70	60	70	70	76	70	70	60	50	10
5.5	10	60	70	90	90	80	77	70	70	70	70	80	90	89	70	60	18
6	10	60	80	80	80	80	89	80	70	80	90	80	80	80	80	60	10
6.5	26	60	70	80	80	80	84	90	70	84	90	80	80	80	60	60	10
7	40	30	60	70	90	80	80	70	70	70	70	89	80	70	40	40	40
7.5	60	22	10	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	50	10	10	50
8	60	60	50	10	20	20	20	19	24	25	20	20	20	10	60	60	60

ตารางที่ 4.3 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ H0(10⁻¹SSI)

H0	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
0	70	70	50	46	40	31	40	40	50	50	40	33	28	23	10	10	10
0.5	70	38	49	60	70	60	50	41	42	40	40	38	34	21	10	10	10
1	50	50	70	80	80	70	60	55	50	49	42	43	41	40	30	26	10
1.5	55	60	80	80	80	90	70	60	59	53	50	50	52	44	40	30	10
2	20	70	80	80	100	82	70	60	60	60	50	52	50	50	40	40	16
2.5	10	70	80	80	83	88	70	60	60	60	52	60	54	52	50	40	30
3	40	68	80	80	88	80	70	60	60	60	56	60	60	52	50	40	30
3.5	20	60	70	89	81	70	60	60	60	60	60	60	60	51	50	40	30
4	21	60	70	87	90	70	60	60	60	60	60	60	60	54	51	40	30
4.5	33	60	70	88	81	70	61	60	60	60	60	60	60	51	50	40	30
5	30	70	83	80	86	80	70	60	60	60	58	60	56	51	50	40	30
5.5	40	70	80	80	83	80	72	60	60	60	51	60	54	54	50	40	30
6	20	70	80	80	100	90	70	60	60	59	50	50	52	51	40	30	13
6.5	10	70	80	80	80	88	70	60	60	51	51	50	50	43	30	30	10
7	21	50	70	80	80	90	60	58	50	50	42	46	40	40	11	11	10
7.5	60	10	50	70	70	70	50	42	42	41	40	34	33	22	10	10	10
8	70	60	24	10	24	21	40	40	45	50	40	35	20	10	10	10	10

ตารางที่ 4.4 ความเข้มสัญญาณในเสาสัญญาณ H1(10⁻¹SSI)

H1	0	0.5	1	1.5	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6	6.5	7	7.5	8
0	10	10	10	21	30	34	45	50	50	50	40	34	30	50	59	70	72
0.5	10	10	10	22	32	40	46	40	44	41	50	69	70	64	40	10	70
1	10	10	30	40	43	40	55	43	51	60	70	80	80	80	70	60	50
1.5	86	30	40	41	50	41	50	51	58	60	70	89	92	80	80	70	20
2	10	30	41	50	50	50	50	60	60	60	70	81	80	100	80	80	20
2.5	13	40	41	52	51	58	50	60	60	60	70	89	87	80	80	70	30
3	30	40	50	51	56	60	56	60	60	60	80	80	87	80	90	70	40
3.5	30	40	50	52	57	60	55	60	60	60	70	70	88	86	70	60	39
4	30	40	50	50	60	60	57	60	60	60	70	70	89	87	70	60	40
4.5	30	40	50	51	58	60	58	60	60	60	70	70	89	83	70	60	40
5	30	40	50	53	54	60	55	60	60	60	73	80	89	80	80	70	40
5.5	30	40	42	50	52	60	50	60	60	60	70	80	89	80	80	70	30
6	10	30	40	50	52	51	50	60	60	60	70	89	90	100	80	70	20
6.5	10	30	40	40	50	50	50	52	60	60	70	80	100	82	70	70	10
7	10	10	30	40	40	49	49	52	56	60	70	80	90	80	50	60	50
7.5	10	10	20	30	37	40	40	40	41	52	60	70	80	70	24	25	60
8	10	10	10	20	30	23	40	50	40	40	28	30	30	40	70	70	72

4.3.2 ผลการคำนวณสัดส่วนสัญญาณ

จากตารางในข้อ 4.3.1 จะสามารถคำนวณหาตารางสัดส่วนได้ 2 ตารางคือตารางสัดส่วนในแกน X และแกน Y เพื่อเป็นการพิสูจน์สมมติฐาน ผู้วิจัยเลือกเฉพาะช่วงพื้นที่ 2-6 เซนติเมตรมาเพื่อใช้คำนวณเท่านั้น ส่วนในพื้นที่อื่นๆข้อมูลบางส่วนยังไม่เป็นไปตามสมมติฐาน

ตารางที่ 4.5 ตารางค่าสัดส่วนสัญญาณในแกน Y(10^{-3}) ในพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร

V ratio	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
2	2300	1800	1600	1800	1568	1620	1600	1800	2380
2.5	1702	1600	1800	1520	1480	1560	1800	1800	1739
3	1577	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1400	1458
3.5	1372	1272	1071	1153	1111	1071	1176	1111	1372
4	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000	1000
4.5	833	833	833	833	833	833	850	833	816
5	542	661	685	685	816	700	714	631	542
5.5	444	512	597	700	685	628	600	512	444
6	500	500	449	550	585	550	455	500	500

ตารางที่ 4.6 ตารางค่าสัดส่วนสัญญาณในแกน X(10^{-3}) ในพื้นที่ 4 ตารางเซนติเมตร

H ratio	2	2.5	3	3.5	4	4.5	5	5.5	6
2	2000	1640	1400	1000	1000	1000	714	641	625
2.5	1627	1517	1400	1000	1000	1000	742	674	620
3	1571	1333	1250	1000	1000	1000	700	750	689
3.5	1421	1166	1090	1000	1000	1000	857	857	681
4	1500	1166	1052	1000	1000	1000	857	857	674
4.5	1396	1166	1051	1000	1000	1000	857	857	674
5	1592	1333	1272	1000	1000	1000	794	750	629
5.5	1596	1333	1440	1000	1000	1000	728	750	606
6	1923	1764	1400	1000	1000	983	714	561	577

ซึ่งเมื่อสร้างตารางใหม่โดยการกลับตัวแปรต้นและตัวแปรตามของตารางที่ 4.5 และ 4.6 จะได้ตารางที่มีขนาด 41x40 ข้อมูล ตามค่าที่เป็นไปได้ทั้งหมดของตัวแปรตามในตาราง 4.5 และ 4.6

รูปที่ 4.3 ตารางการประเมินผลสัมฤทธิ์ทางการเรียน SSI กับเทคนิคการแก้ปัญหา X (10⁴ เฉลี่ย) ของ SIC4310

X	561	577	606	620	625	629	641	674	681	689	700	714	728	742	750	794	859	983	1000	1051	1052	1090	1166	1250	1272	1333	1396	1400	1421	1440	1500	1517	1571	1592	1596	1627	1640	1764	1923	2000
444	568	562	600	547	545	544	539	527	525	522	518	513	508	503	500	484	461	416	410	392	391	377	350	320	312	290	267	266	258	251	230	223	204	196	200	184	179	134	77	49
449	568	563	552	547	545	544	539	528	525	522	518	513	508	503	500	484	462	416	410	392	391	378	350	320	312	290	267	266	258	251	230	224	204	196	195	184	179	134	77	49
455	568	563	552	547	545	544	540	528	525	522	518	500	508	503	500	484	462	416	410	392	391	378	350	320	312	290	267	266	258	251	230	224	204	197	195	184	179	135	77	49
500	550	600	553	548	546	544	540	528	526	523	519	514	509	504	501	485	462	417	411	392	392	378	351	320	312	290	268	266	259	252	230	224	205	197	196	184	180	250	200	50
512	569	563	553	548	546	544	540	528	526	523	519	514	509	504	501	485	462	417	411	392	392	378	351	320	313	250	268	266	259	252	230	224	205	197	196	185	180	135	78	50
542	569	563	553	548	546	600	540	529	526	523	519	514	509	504	501	485	463	417	411	393	392	378	351	321	313	291	268	267	259	252	231	224	205	200	196	185	180	135	78	50
550	569	564	553	548	546	545	540	529	526	523	519	514	509	504	501	485	463	450	350	393	392	379	351	321	313	291	268	267	259	252	231	225	205	398	196	185	180	135	78	50
585	570	564	553	548	547	545	541	529	526	524	520	515	509	504	502	486	463	418	400	393	393	379	352	321	313	291	269	267	260	253	231	225	205	198	196	185	181	136	79	51
597	570	564	554	549	547	545	541	529	527	524	520	515	510	505	502	486	463	418	412	393	393	379	352	321	313	291	269	267	260	253	231	225	206	198	197	185	181	136	79	51
600	570	564	554	549	547	545	541	529	527	524	520	515	510	505	502	486	463	418	412	393	393	379	352	321	313	291	269	267	260	253	231	225	206	198	197	185	181	136	79	51
628	570	564	554	549	547	546	541	529	527	524	520	515	510	505	502	486	463	418	412	393	393	379	352	322	314	292	269	268	260	253	232	225	206	198	197	186	181	136	79	51
631	570	564	554	549	547	546	541	529	527	524	520	515	510	505	502	486	463	418	412	393	393	379	352	322	314	292	269	268	260	253	232	225	206	198	197	186	181	136	79	51
661	570	564	554	549	547	546	542	530	527	524	520	515	510	505	502	486	464	419	400	394	393	380	352	322	314	292	269	268	260	253	232	226	206	199	197	186	181	137	79	52
685	571	565	555	549	548	546	542	530	527	525	521	516	511	505	503	487	464	419	375	394	394	380	353	322	300	292	270	268	261	254	232	226	207	199	197	186	182	137	80	52
700	571	565	555	550	548	546	542	530	528	525	521	516	511	506	503	487	464	419	400	394	394	380	353	322	314	292	270	268	261	254	232	226	207	199	198	186	182	137	80	52
714	571	565	555	550	548	547	542	530	528	525	521	516	511	506	503	500	464	419	413	394	394	380	353	323	315	293	270	268	261	254	232	226	207	199	198	187	182	137	80	52
816	572	566	556	551	549	548	543	532	529	526	522	517	512	507	504	488	465	420	400	395	395	381	354	324	316	294	271	270	262	255	233	227	208	200	199	188	183	138	81	53
833	572	567	556	551	549	548	543	532	529	526	522	517	512	507	504	488	500	420	400	395	395	382	354	324	316	294	271	270	262	255	234	228	208	200	199	188	183	138	81	53
850	572	567	556	551	549	548	544	532	529	526	522	517	512	507	504	488	500	420	414	396	395	382	354	324	316	294	271	270	262	255	234	228	208	201	199	188	183	139	81	54
1000	574	568	558	553	551	549	545	530	528	524	519	514	509	506	490	523	422	400	397	390	383	350	326	318	296	273	271	264	257	200	229	210	202	201	190	185	140	83	55	
1071	575	569	559	553	552	550	546	534	531	529	525	520	515	509	507	491	468	423	450	368	398	380	357	326	318	296	274	272	265	258	236	230	211	203	201	190	186	141	84	56
1111	575	569	559	554	552	551	546	534	532	529	525	520	515	510	507	491	550	423	400	398	396	384	357	327	319	297	274	273	265	258	237	230	211	203	202	191	186	141	84	56
1153	576	570	559	554	553	551	547	535	532	529	525	520	515	510	507	492	469	423	380	399	399	385	357	327	319	297	274	273	265	259	237	231	211	204	202	191	186	142	84	57
1176	576	570	560	555	553	551	547	535	533	530	526	521	516	511	508	492	500	424	418	399	399	385	358	327	319	297	275	273	266	259	237	231	212	204	203	191	187	142	85	57
1272	577	571	561	556	554	552	548	536	534	531	527	522	517	512	509	499	470	425	419	400	400	386	350	328	320	298	276	274	267	260	238	232	213	205	204	192	188	143	86	58
1372	578	572	562	557	555	553	549	537	535	532	528	523	518	513	510	494	471	426	420	401	401	387	360	329	321	299	277	275	200	261	239	233	214	206	205	193	189	144	87	59
1400	578	572	562	557	555	554	549	537	535	532	528	523	518	513	510	494	471	426	400	401	401	387	360	300	322	250	277	276	268	261	240	233	214	206	205	194	189	144	87	59
1458	579	573	563	558	556	554	550	538	536	533	529	524	519	514	511	495	472	427	420	402	402	388	361	330	322	300	278	276	269	262	240	234	215	207	206	194	190	145	88	60
1480	579	573	563	558	556	554	550	538	536	533	529	524	519	514	511	495	472	427	400	402	402	388	361	331	323	301	278	276	269	262	240	234	215	207	206	195	190	145	88	60
1520	579	574	563	558	556	555	551	539	536	533	529	524	519	514	511	495	473	427	350	403	402	389	361	331	323	301	278	277	269	262	241	235	215	208	206	195	190	146	88	60
1560	580	574	564	559	557	555	551	539	537	534	530	525	520	515	512	496	473	428	450	403	403	389	362	331	323	301	279	277	270	263	241	235	216	208	207	195	191	146	89	61
1568	580	574	564	559	557	555	551	539	537	534	530	525	520	515	512	496	473	428	400	403	403	389	362	331	323	302	279	277	270	263	241	235	216	208	207	195	191	146	89	61
1577	580	574	564	559	557	555	551	539	537	534	530	525	520	515	512	496	473	428	422	403	403	389	362	332	324	302	279	277	270	263	241	235	200	208	207	196	191	146	89	61
1600	580	574	564	559	557	555	551	540	537	534	530	525	520	515	512	496	474	428	422	404	403	389	362	332	324	302	279	277	270	263	242	250	216	208	207	196	191	146	89	61
1620	580	575	564	559	557	556	552	540	537	534	530	525	520	515	512	496	474	428	450	404	403	390	362	332	324	302	279	278	270	263	242	236	216	209	207	196	191	147	89	62
1700	581	576	565	560	558	557	552	550	538	535	531	526	521	516	513	497	475	429	423	405	404	391	363	333	325															

โดยตารางความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัดส่วน SSI กับพิกัด X และ Y จุดที่วัดได้จากการทดลองจะแสดงด้วยเซลล์สีเหลือง และเซลล์สีขาวคำนวณมาจากสมการ Regression และตารางทั้งหมดเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับระบบประเมินตำแหน่งด้วยสมการ Bilinear Interpolation

4.3.3 ผลการทดสอบระบบประเมินตำแหน่ง

ผู้วิจัยทดสอบระบบประเมินตำแหน่งโดยวัดความเข้มสัญญาณจาก 25 จุดบนพื้นที่ประเมินผล คือทุกๆ 1 เซนติเมตรตั้งแต่ตำแหน่ง (2,2) ถึง (6,6) และวัดผลจุดละ 10 ครั้ง เพื่อหาค่าตำแหน่งที่แม่นยำที่สุด และห่างที่สุด โดยตารางความคลาดเคลื่อนสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.7 ตารางความคลาดเคลื่อนที่น้อยที่สุดในแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร)

	2	3	4	5	6
2	0.07071	0.78549	0.43738	0.58	0.68096
3	0.402	0.36139	0	0.37363	0.57871
4	1.01	0.12042	0	0.16492	1.84621
5	2.11284	0.53852	0	0.08062	0.51971
6	0.43417	1.82222	0.13	0.32016	0.35

ตารางที่ 4.8 ตารางความคลาดเคลื่อนที่มากที่สุดในแต่ละตำแหน่ง (เซนติเมตร)

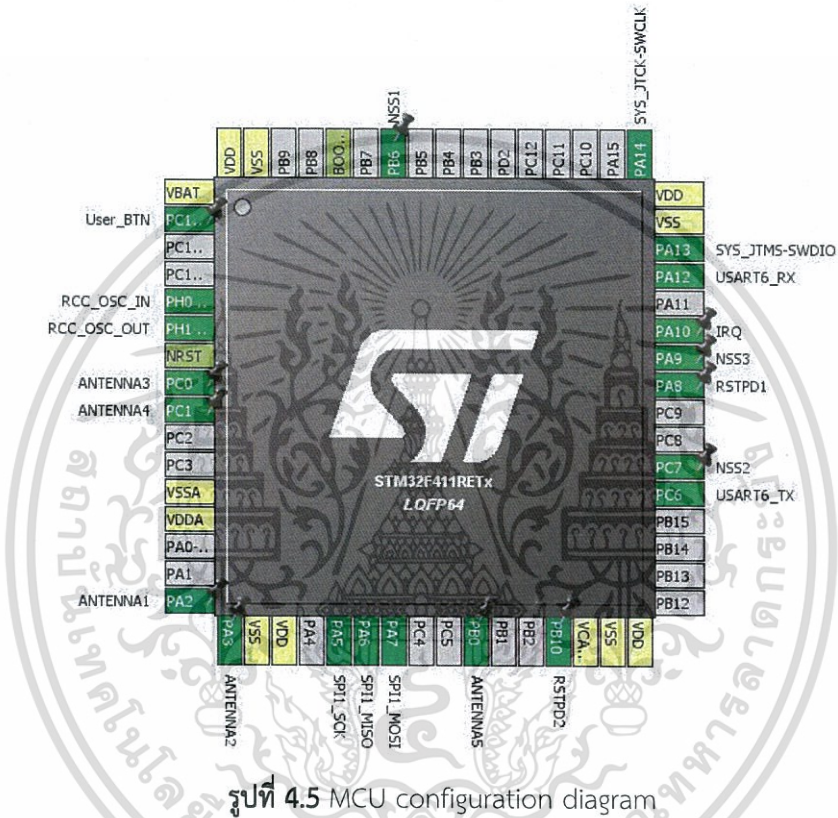
	2	3	4	5	6
2	0.56365	1.28222	0.68622	0.71512	1.06301
3	0.46065	0.80411	0.29	0.5001	0.97005
4	1.58146	0.41049	0	0.24839	3.04685
5	3.21907	0.8271	0.5	4.99325	0.66708
6	0.51108	2.18717	0.90796	0.57723	1.19407

โดยสรุปจากตารางความคลาดเคลื่อน ความคลาดเคลื่อนเมื่อเทียบจากความยาวเส้นทแยงมุมพื้นที่อ่านแท็ก คือ $4\sqrt{2}$ เซนติเมตร ร้อยละที่ดีที่สุดคือ $\pm 0\%$ หรือไม่คลาดเคลื่อนเลย

และช่วงที่คลาดเคลื่อนสูงสุด อยู่ที่ $\pm 88.27\%$ ณ ตำแหน่ง (5,5) แต่ระบบมีความคลาดเคลื่อนเฉลี่ยที่ $\pm 14.82\%$ ซึ่งถือว่าบริเวณส่วนใหญ่ยอมรับได้

4.4 การพัฒนาเฟิร์มแวร์

ผู้วิจัยได้พัฒนาเฟิร์มแวร์ตามที่ได้ออกแบบเอาไว้ และกำหนดการใช้งาน module ต่างๆ ให้กับ MCU ดังต่อไปนี้



รูปที่ 4.5 MCU configuration diagram

ตารางที่ 4.9 รายละเอียด MCU Configuration

Pin Nb	PINs	FUNCTIONS	LABELs
2	PC13-ANTI_TAMP	GPIO_EXTI13	User_BTN
5	PH0 - OSC_IN	RCC_OSC_IN	
6	PH1 - OSC_OUT	RCC_OSC_OUT	
8	PC0	GPIO_Output	ANTENNA_V0
9	PC1	GPIO_Output	ANTENNA_V1
10	PC2	GPIO_Output	ANTENNA_H0
11	PC3	GPIO_Output	ANTENNA_H1
14	PA0-WKUP	GPIO_Output	Master_MUX_0
15	PA1	GPIO_Output	Master_MUX_1
17	PA3	ADC1_IN3	
21	PA5	SPI1_SCK	

22	PA6	SPI1_MISO	
23	PA7	SPI1_MOSI	
26	PB0	GPIO_Output	Master_MUX_EN
29	PB10	GPIO_Output	RSTPD2
37	PC6	USART6_TX	
38	PC7	GPIO_Output	NSS2
41	PA8	GPIO_Output	RSTPD1
42	PA9	GPIO_Output	NSS3
43	PA10	GPIO_Input	IRQ
45	PA12	USART6_RX	
46	PA13	SYS_JTMS-SWDIO	
49	PA14	SYS_JTCK-SWCLK	
58	PB6	GPIO_Output	NSS1

โดยเฟิร์มแวร์จะเริ่มจากการประกาศตัวแปรและตั้งค่าเริ่มต้นให้กับเฟิร์มแวร์และโมดูลต่างๆ โดยตัวแปรส่วนสำคัญคือตารางสัดส่วน SSI และตำแหน่งที่คำนวณมาได้ขนาด 41x40 ค่า โดยผู้วิจัย แบ่งข้อมูลค่าสัดส่วนเป็น array 1 มิติ ของข้อมูลสัดส่วนในแกน X และแกน Y

```
uint16_t ratio_X[TABLE_COLUMN_SIZE] = { 561, 577, 606, 620, 625, 629, 641, 674, ...
```

```
uint16_t ratio_Y[TABLE_ROW_SIZE] = { 444, 449, 455, 500, 512, 542, 550, 585, ...
```

และตารางตำแหน่ง X และ Y เป็น array 2 มิติ ซึ่งได้มาโดยการกลับตารางที่ 4.5 และ 4.6 ที่วัดมาได้ และคำนวณข้อมูลส่วนที่ขาดไปด้วยวิธี Regression

```
uint16_t pos_X[TABLE_ROW_SIZE][TABLE_COLUMN_SIZE] =
{
    {568, 562, 600, 547, 545, 544, 539, 527, 525, 522, ...
    {568, 563, 552, 547, 545, 544, 539, 528, 525, 522, ...
    {568, 563, 552, 547, 545, 544, 540, 528, 525, 522, ...
    ...

```

```
uint16_t pos_Y[TABLE_ROW_SIZE][TABLE_COLUMN_SIZE] =
{
    {560, 560, 550, 560, 560, 560, 561, 561, 561, 561, ...
    {558, 559, 559, 559, 559, 559, 559, 560, 560, 560, ...
    {557, 557, 557, 557, 558, 558, 558, 558, 558, 558, ...
    ...

```

โดยฟังก์ชัน (function) ชื่อ interp ที่ใช้ในการคำนวณตำแหน่ง ต้องการข้อมูลสัดส่วนสัญญาณของทั้ง 2 แคน และตารางตำแหน่งที่ต้องการจะหา

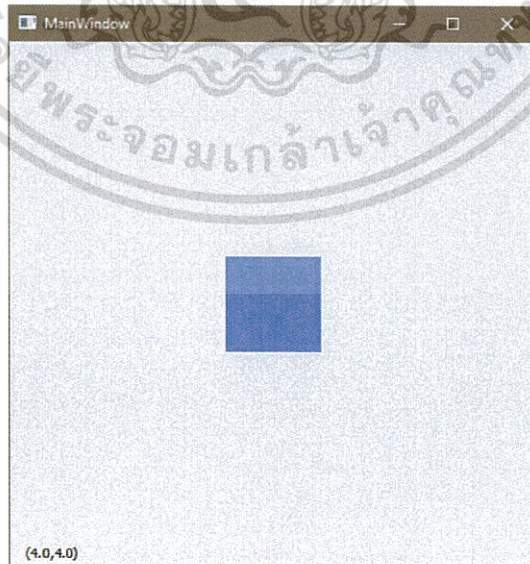
```
uint16_t interp(uint16_t rtx, uint16_t rty, uint16_t table[][TABLE_COLUMN_SIZE]);
```

ฟังก์ชันจะเริ่มนำค่าสัดส่วนสัญญาณในแกน X และ Y ไปหา index ที่ระบุช่วงข้อมูลของตาราง จาก array สัดส่วนที่วัดมาได้ ratio_X และ ratio_Y และนำ index ที่ได้ look up ในตารางตำแหน่ง เพื่อดึงข้อมูลมาคำนวณในสมการ Bilinear Interpolation

```
return (table[j - 1][i - 1] * (ratio_X[i] - rtx)*(ratio_Y[j] - rty)
+ table[j - 1][i] * (rtx - ratio_X[i - 1])*(ratio_Y[j] - rty)
+ table[j][i - 1] * (ratio_X[i] - rtx)*(rty - ratio_Y[j] - 1))
+ table[j][i] * (rtx - ratio_X[i - 1])*(rty - ratio_Y[j] - 1))
/ ((ratio_X[i] - ratio_X[i - 1])*(ratio_Y[j] - ratio_Y[j - 1]));
```

4.5 หน้าต่างแสดงตำแหน่ง

หน้าต่างแสดงตำแหน่งสามารถแสดงตำแหน่งได้ตั้งแต่ (2,2) ถึง (6,6) และจะคงแท็กจำลองไว้ในตำแหน่งสุดท้ายหากแท็กหายไปหรืออ่านไม่เจอ โดยจะมีข้อความบอกตำแหน่งที่รับมาได้ที่มุมซ้ายล่าง



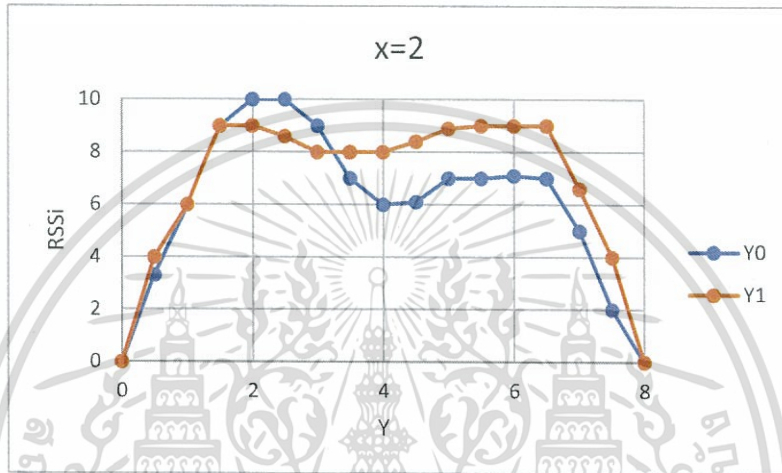
รูปที่ 4.6 หน้าต่างแสดงตำแหน่ง

4.6 ปัญหาที่พบในงานวิจัย และแนวทางแก้ไข

ปัญหาที่พบในงานวิจัยจะมีทั้งปัญหาที่ผู้วิจัยพบและแก้ไขแล้วเพื่อให้งานวิจัยเป็นไปอย่างราบรื่น และปัญหาที่พบ และมีแนวทางแก้ไข โดยปัญหาที่พบได้แก่

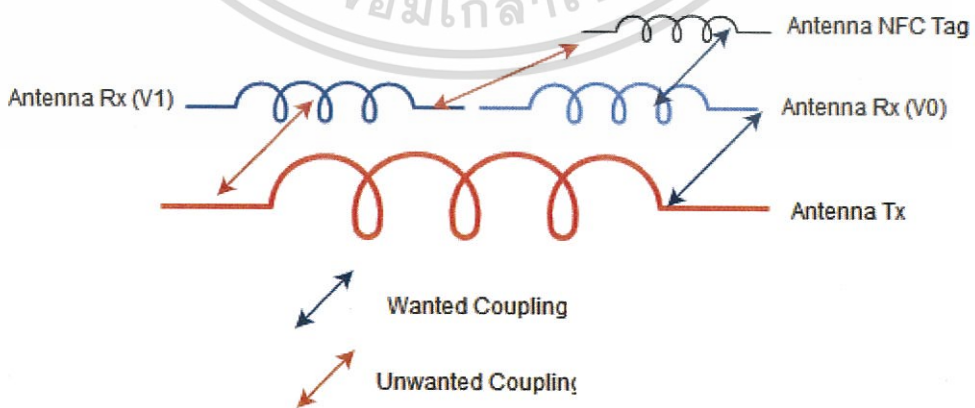
4.6.1 Signal resonance effect

จากการวัดผลในครั้งแรก พบว่า กราฟแต่ละตำแหน่ง มีแนวโน้มไปในทางเดียวกัน โดยได้กราฟมีลักษณะดังนี้



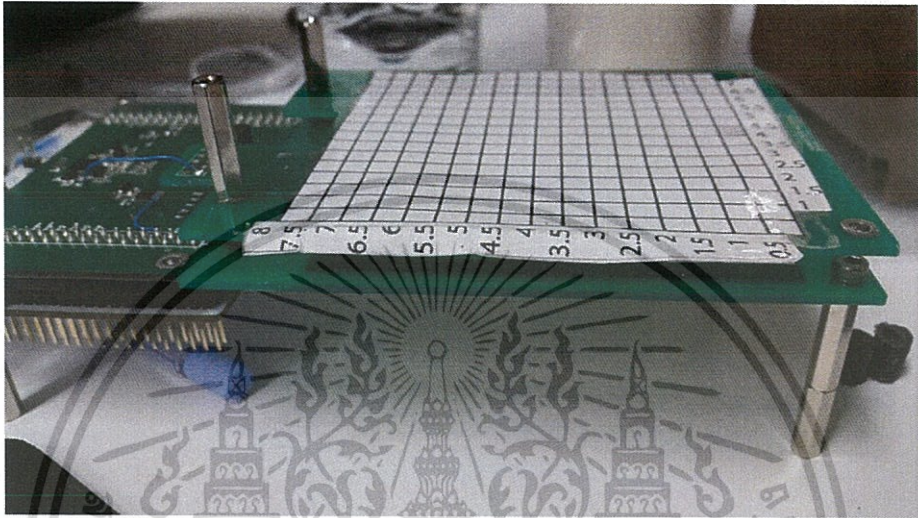
รูปที่ 4.7 กราฟแสดงค่า SSI ของเสาสัญญาณแกน Y ที่ตำแหน่ง X = 2

ผู้วิจัยสังเกตว่า เมื่อ Tag อยู่กลางเสาสัญญาณ Y0 ค่าความเข้มของสัญญาณจะสูงกว่าเสา Y1 และเมื่ออยู่กลางเสา Y1 ก็จะมีค่าความเข้มสัญญาณมากกว่าเสา Y0 เช่นกัน แต่ ณ ตำแหน่ง Y ในช่วง [0, 1.5] นั้น ผู้วิจัยสังเกตเห็นถึงค่า SSI ที่ใกล้เคียงกัน ในขณะที่ Tag อยู่ไกลจากเสา Y1 มาก และ ณ ตำแหน่ง Y = 6 ค่า SSI ของเสา Y0 มักมีค่าเพิ่มขึ้นในทุกค่า X ด้วย ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าเป็นเรื่องของ signal resonance บนขดลวดเหนี่ยวนำของเสาสัญญาณ



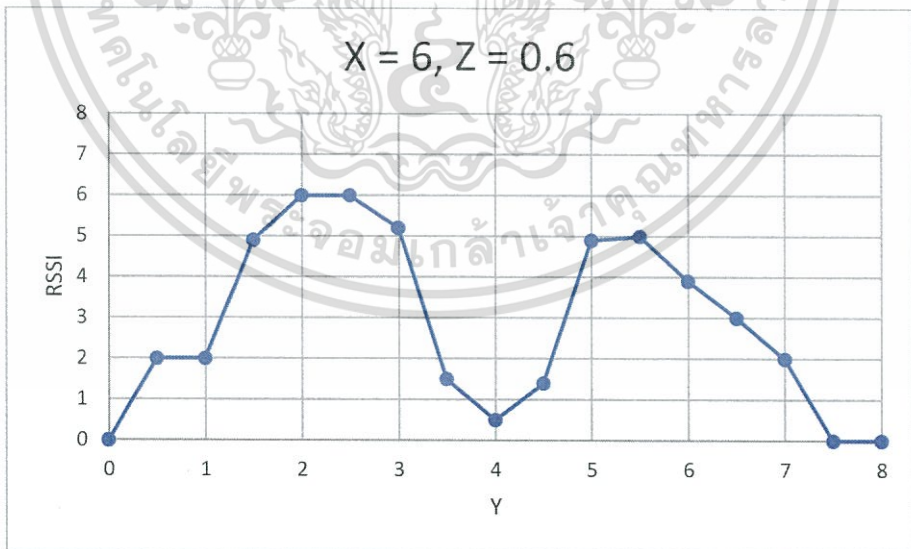
รูปที่ 4.8 ปัญหา Antenna resonance effect

เมื่อพื้นที่อ่าน RFID ถูกครอบคลุมด้วยเสาสัญญาณส่ง ขดลวดของเสาส่งสัญญาณสามารถเหนี่ยวนำสัญญาณตอบกลับของ Tag ไปทั่วๆพื้นที่ได้ เพราะเสาส่งสัญญาณอยู่ติดกับเสารับสัญญาณ และทำให้เสารับสัญญาณอื่น coupling สัญญาณที่เกินความต้องการได้ โดยสามารถแก้ไขได้โดยเพิ่มระยะห่างของเสาส่งและเสารับสัญญาณ ผู้วิจัยจึงออกแบบการทดลอง โดยเพิ่มระยะห่างขนาดต่างๆ ระหว่างเสารับและเสาส่งสัญญาณ

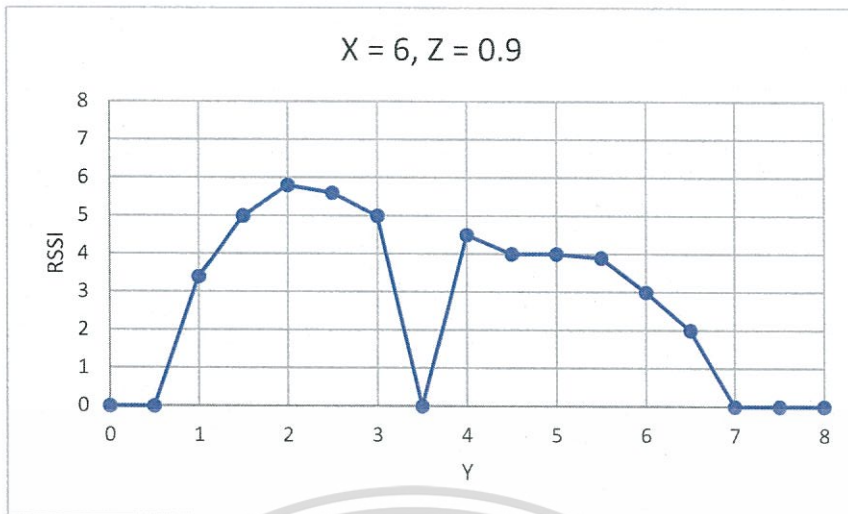


รูปที่ 4.9 การทดลองเพิ่มระยะห่างระหว่างเสาสัญญาณ

ผู้วิจัยได้ทดสอบระยะห่างต่างๆ ได้ผลการทดลองดังนี้

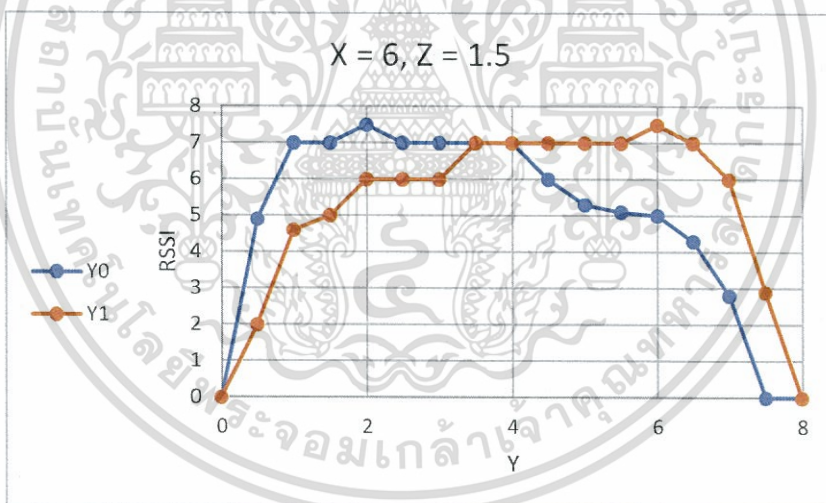


รูปที่ 4.10 กราฟ SSI ของเสาสัญญาณ YO ที่ระยะห่าง 0.6 เซนติเมตร



รูปที่ 4.11 กราฟ SSI ของเสาสัญญาณ Y0 ที่ระยะห่าง 0.9 เซนติเมตร

ที่ระยะห่าง 0.6 เซนติเมตร เสาสัญญาณ Y0 มีค่า SSI ที่ลดลงอย่างมากที่ Y = 4 ซึ่งเป็นช่วงที่ Tag อยู่ระหว่าง 2 เสา Y0 และ Y1 พอดี แต่กลับมีความชันที่เพิ่มขึ้นเมื่ออยู่บนเสา Y1 และเป็นเช่นนี้กับระยะห่าง 0.9 เซนติเมตร

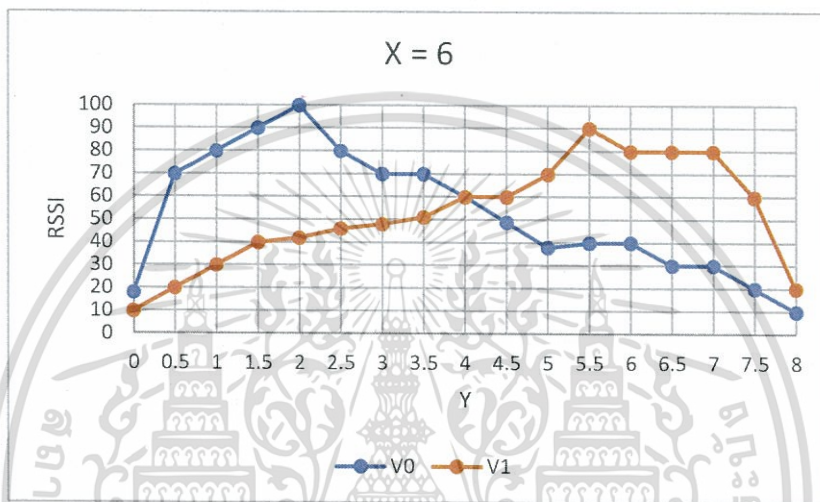


รูปที่ 4.12 กราฟค่า SSI ของเสาสัญญาณแกน Y ที่ระยะห่าง 1.5 เซนติเมตร

เมื่อผู้วิจัยเลือกใช้ระยะห่าง 1.5 เซนติเมตร ก็สังเกตได้ว่าเสา Y0 ไม่มีค่าที่เพิ่มขึ้นเมื่อ Tag เลยจุด Y=4 ไป SSI มีค่าที่ลดลงเรื่อยๆ เมื่อทดลองกับค่า SSI บนเสา Y1 ซึ่งได้ผลที่ผกผันกัน ตามสมมติฐานในการทดลอง อย่างไรก็ตามระบบประเมินตำแหน่งขั้นล่าสุดใช้ระยะห่างของเสา 3 เซนติเมตร

4.6.2 Signal deadband

จากผลการทดลองที่ให้ระยะห่างระหว่างเสาอากาศเป็น 1.5 เซนติเมตร ผู้วิจัยได้ทำการประกอบเครื่องอ่าน RFID ชุดใหม่ที่ถูกรับปรุงแล้ว ด้วยระยะห่างที่เท่ากัน ปรากฏว่าเครื่องอ่าน RFID ไม่สามารถอ่านแท็กได้ หรืออ่านแท็กได้ที่ความเข้มสัญญาณระดับต่ำสุด เป็นผลมาจากเกิดช่วงไร้สัญญาณขึ้นในระยะห่างที่เท่าเดิม ผู้วิจัยจึงทดลองหาระยะห่างใหม่ที่ทำให้สามารถทำการทดลองต่อได้ โดยในระยะ 3 เซนติเมตรพบว่าปัญหาที่เกิดขึ้นลดลง และได้กราฟจากการทดลองในลักษณะเดียวกับการทดลองอ้างอิง



รูปที่ 4.13 กราฟค่า SSI ของเสาสัญญาณแกน Y ที่ระยะห่าง 3 เซนติเมตรของเครื่องอ่านรุ่นที่ 2

4.6.3 ปัญหาการคำนวณตารางประเมินตำแหน่ง

การทำตารางประเมินตำแหน่งซึ่งพล็อตกลับจากตารางที่ 4.5 และ 4.6 เป็นการเปลี่ยนตัวแปรตามเป็นตัวแปรต้น ซึ่งตัวแปรต้นจะมีมากกว่าตัวแปรตาม และจำเป็นต้องหาค่าของตัวแปรตามเพิ่ม โดยผู้วิจัยใช้ค่าจากตารางที่วัดมาได้และใช้สมการ Regression โดยมีค่าเป็น $\text{Coefficients intercept} + (X_{\text{coeff}} * \text{ratio X}) + (Y_{\text{coeff}} * \text{ratio Y})$ โดยค่า coefficients ของตาราง X และตาราง Y มีค่าดังนี้

ตารางที่ 4.10 ค่า Coefficients regression ของตำแหน่ง X

X Regression	Coefficients
Intercept	7.664482857
X Variable	-0.003606384
Y Variable	0.000103898

ตารางที่ 4.11 ค่า Coefficients regression ของตำแหน่ง Y

Y Regression	Coefficients
Intercept	6.699906267
X Variable	0.000119078
Y Variable	-0.002623855

ซึ่งหากงานวิจัยมีตารางตำแหน่งและสัดส่วนสัญญาณที่ใกล้เคียง จะนำไปสู่การคำนวณที่แม่นยำมากขึ้น



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปการวิจัย

จากการวิจัยและพัฒนาระบบประเมินตำแหน่ง ซึ่งท้ายที่สุดแล้วสามารถพิสูจน์ความเป็นไปได้ของเทคโนโลยี และได้ชิ้นงานที่ประเมินตำแหน่งได้จริงตามจุดประสงค์งานวิจัยที่วางไว้

5.1.1 ศึกษาและทดสอบหาความเป็นไปได้ของเทคโนโลยีระบุตำแหน่งด้วย NFC

ด้วยการคำนวณทางคณิตศาสตร์ตามข้อมูลที่วัดมาได้ สามารถทำให้ระบบสามารถประเมินตำแหน่งได้ด้วยสัดส่วนความเข้มสัญญาณจากเสารับสัญญาณที่วางไว้ร่วมกันเป็นรูปตาข่ายได้ โดยมีตัวแปรควบคุมหลายๆข้อคือ วงจรเครื่องอ่าน reader ที่ปรับความถี่ในวงจร matching และตั้งระยะห่างของเสาส่งและเสารับที่เหมาะสมกับแท็ก SIC4310 ขนาดหนึ่ง

5.1.2 ออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์เพื่อตอบสนองต่องานวิจัย

วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ออกแบบมามีความสามารถในการสื่อสาร RFID ตามมาตรฐาน ISO14443 และแยกสัญญาณได้อย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองต่องานวิจัย

5.1.3 ออกแบบวิธีการประเมินตำแหน่งด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์

วิธีการประเมินตำแหน่ง ณ เวลาจริง สามารถทำได้ภายใน 2 milliseconds โดยวิธีการคำนวณทั้งหมด เป็นวิธีทางคณิตศาสตร์ที่ผู้วิจัยเลือกมาใช้

5.1.4 ศึกษาทฤษฎีการออกแบบไมโครชิปเบื้องต้น

ผู้วิจัยได้มีโอกาสเข้าฟังบรรยายเกี่ยวกับการออกแบบชิป SIC9410 โดยพี่วิศวกรของบริษัท ซิลิคอน คราฟท์ เทคโนโลยี จำกัด ทำให้เข้าใจถึงความสามารถ และโครงสร้างเบื้องต้นของชิป

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในตลอดระยะเวลาการวิจัย ผู้วิจัยทราบดีว่างานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่ตรงตามจุดประสงค์ของทางบริษัทที่ต้องการเกมกระดานอิเล็กทรอนิกส์ และยังใช้ในเชิงพาณิชย์ไม่ได้ จึงมีข้อเสนอแนะต่างๆดังนี้

5.2.1 งานวิจัยยังสามารถเพิ่มความแม่นยำของกระประเมินผลได้ โดยปรับข้อมูลตารางประเมินตำแหน่งใน MCU ให้มีค่าใกล้เคียงความเป็นจริงมากขึ้น

5.2.2 หากเครื่องอ่านมีขนาดใหญ่มากกว่านี้ เพื่อพัฒนาไปเป็นเกมกระดาน อาจต้องการเสารับสัญญาณที่มีมากกว่านี้ และวิธีการคำนวณจะเปลี่ยนแปลงตามไปด้วย

- 5.2.3 MCU ที่ผู้วิจัยเลือกใช้ค่อนข้างมีราคาแพง และมีค่าพัฒนาบนโปรแกรม Keil ซึ่งเป็นโปรแกรม workbench ที่ได้รับความนิยม ดังนั้นการเลือกพัฒนาบน STM32F0 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการพัฒนาถูกลง เป็นมิตรกับตลาดมากขึ้น
- 5.2.4 การวิจัยในอนาคตควรเลือกว่าจะพัฒนาเพื่อประเมินตำแหน่งของแท็กชนิดใด มีเสถียรภาพขนาดเท่าใด ด้วยวิธีการประเมินในงานวิจัยชิ้นนี้ยังไม่สามารถประเมินตำแหน่งจากแท็กหลายๆขนาดได้แม่นยำนัก เพราะค่า SSI จากแท็กที่อ่านได้จากแต่ละเสารับสัญญาณยังมีผลอยู่



บรรณานุกรมหรือเอกสารอ้างอิง

- Silicon Craft Technology Documents. (2013). **RFID and NFC Basics**.
- Silicon Craft Technology Documents. (2013). **Datasheet SIC9410**.
- Silicon Craft Technology Documents. (2013). **SIC9410 antenna matching**.
- Silicon Craft Technology Documents. (2014). **Datasheet SIC4310**.
- UM1724 User manual (2015). **STM32 Nucleo-64 boards**.
- STM Documentation (2015). **STM32F411xC STM32F411xE**.
- US 20150116091 A1. (2015). **Device for aiding the location in real time of a self-powered mobile element**.
- Geekdad. (2011). **ePawn Arena**. Retrieved December 2, 2016, from geekdad.com/2011/12/epawn-arena-2/
- Wikipedia. (2016). **PDCA**. Retrieved November 17, 2016, from <https://en.wikipedia.org/wiki/PDCA>
- Wikipedia. (2016). **Linear interpolation**. Retrieved November 21, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Linear_interpolation
- Wikipedia. (2016). **Bilinear interpolation**. Retrieved November 21, 2016, from https://en.wikipedia.org/wiki/Bilinear_interpolation