

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฟรมอะโลฮาในกรณีที่แท็กถูกจำกัดสิทธิ์การเลือกสล็อต
สำหรับการส่งข้อมูลในระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี

PERFORMANCE ANALYSIS OF ALOHA FRAMEWORK UNDER LIMITED
ACCESS OF DATA TRANSMISSION FOR ACTIVE RFID SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-EN-M-010-193

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฟรมอะโลฮาในกรณีที่แท็กถูกจำกัดสิทธิ์การเลือกสล็อต
สำหรับการส่งข้อมูลในระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี

Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited
Access of Data Transmission for Active RFID System



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M010-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฟรมอะโลฮาในกรณีที่แท้กถูกจำกัดสิทธิ์การเลือกสล็อต
สำหรับการส่งข้อมูลในระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี

Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited
Access of Data Transmission for Active RFID System



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2559

KMITL-2016-EN-M010-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited
Access of Data Transmission for Active RFID System

APISIT SRIWAN

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN TELECOMMUNICATIONS ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

2016

KMITL-2016-EN-M010-193

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2016

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฟรมอะโลฮาในกรณีที่แท็กถูกจำกัดสิทธิ์การเลือกสล็อต
สำหรับการส่งข้อมูลในระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี

Thesis Title Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited Access of Data
Transmission for Active RFID System

นักศึกษ นายอภิสิทธิ์ ศรีวรรณ

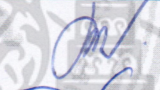
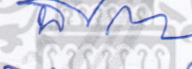
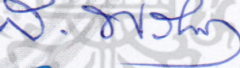


รหัสประจำตัว 56601423

ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวะภาค

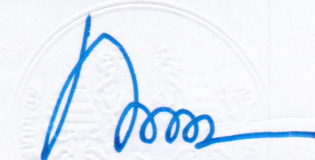
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2016-EN-M-010-193

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ศ.ดร.ประยูทธ	อัครเอกมาลิน	
ผศ.ดร.พิชญ	สุพรรณกุล	
ดร.สถาพร	พรหมวงศ์	
ผศ.ดร.สุทธิชัย	นพนาศิพงษ์	
รศ.ดร.สุวิพล	สิริชีวะภาค	

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2559 เวลา 13.00-15.00 น.
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 4

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว



(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
โดยไม่ได้รับอนุญาตจากคณะวิศวกรรมศาสตร์
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
วันที่ 6 ธันวาคม พ.ศ. 2559

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การวิเคราะห์ประสิทธิภาพเฟรมอะโลฮาในกรณีแท็กถูกจำกัดสิทธิ์ การเลือกสล็อตสำหรับการส่งข้อมูลในระบบแอกทีฟอาร์เอฟไอดี
นักศึกษา	นายอภิสิทธิ์ ศรีวรรณ
รหัสประจำตัว	56601423
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2559
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิพล สิริชีวกภาค

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเสนอวิธีการหาขนาดของเฟรมที่เหมาะสม สำหรับการส่งของมูลแบบแอกทีฟแท็ก RFID โดยใช้กับโปรโตคอลอะโลฮา ประสิทธิภาพของการส่งแท็กไปยังเฟรมสล็อต ขึ้นอยู่กับขนาดของเฟรมสล็อตและจำนวนการแท็กในการแย่งชิงเข้าสล็อต มีวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้คือ การสุ่มเลือกสล็อต แต่ปัญหาการชนกันของแท็กก็ไม่ได้ลดลง เราจึงนำเสนอวิธีการแบ่งการสุ่มออกเป็นกลุ่มที่มีสิทธิ์เข้าแท็กในแต่ละช่องสล็อต ในการแบ่งกลุ่มการเข้าแท็ก ก็เพื่อเพิ่มขนาดของเฟรมให้มากขึ้น การแท็กสล็อตจะได้มีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์มีสองส่วนคือ วิเคราะห์หาขนาดและเวลาที่เหมาะสมสำหรับส่งแอกทีฟแท็ก ผลที่ได้คือขนาดของเฟรมที่เหมาะสมมีค่าเฉลี่ยของจุดเปลี่ยนแปลงของแท็กหรือค่าเวลารวมในการอ่านแท็ก (Overall tag read time) เท่ากับ $0.58 \times N$ และมีช่วงเวลาที่เหมาะสมในการส่งแอกทีฟแท็กคือ 1.4 เท่าของการส่งแท็กทั้งหมด

Thesis	Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited Access of Data Transmission for Active RFID System.
Student	Mr.Apisit Sriwan
Student ID.	56601423
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Suvepon Sittichivapak

ABSTRACT

this these presents a method for finding the suitable size frame. for the transmission of information on a active tag RFID. By with RFID ALOHA protocols. we observe the size and number of slots of frame tags to fit into the frame. And the size and number of slots of the frame tags to fit into the frame. There are many mathematical algorithms the are used for slot random selection method. However the collision of the tag was not decrease, we therefore presented a method to divided a random group when has eligible tag in each slots. In the group stages of the tag, increase of the frame size make, it more efficiently the tag slot. The analysis increase two parts, Analysis of the size and right time for a active tag. The result of the frame size with an average of point changing of the tag Overall tag read time equal to $0.58 \times N$ and appropriate time for sending the active tag 1.4 as far as the transmission of all tags.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ จัดทำขึ้นสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี เพราะความเมตตา กรุณาให้คำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัย รศ.ดร.สุวิพล ลิทธิชีวะภาค ท่านกรุณาให้แนวทางความคิดข้อมูล รวมถึงให้คำปรึกษาตลอดจนถึงวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และขอขอบคุณครุอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ ประสบการณ์ที่ดีแก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบคุณบิดา มารดาผู้ให้กำเนิด ให้การอบรมสั่งสอน และโอกาสในทางการศึกษาและขอขอบคุณภรรยา รวมทั้งบุคคลในครอบครัวทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าเสมอมา ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ ในการให้คำปรึกษาและการเรียนรู้ใหม่ๆ

ประโยชน์และคุณค่าที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้นและหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยในด้านนี้ต่อไป

อภิสิทธิ์ ศรีวรรณ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	XI
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและหลักการ.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID).....	4
2.2.1 ประเภทของคลื่นวิทยุ.....	5
2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID.....	6
2.3.1 เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader).....	7
2.3.2 ประเภทของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี.....	8
2.3.3 อาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag).....	9
2.4 หลักการทำงานขอเทคโนโลยี RFID.....	14
2.5 การสื่อสารระหว่าง RFID Reader กับ RFID Tag.....	16
2.5.1 เสาอากาศของเครื่องอ่าน RFID Reade.....	17
2.5.2 ขอบข่ายของเสาอากาศเครื่องอ่าน (Antenna Footprint).....	18
2.5.3 การตั้งเสาอากาศให้มีแนวทางเดียวกัน (Antenna Polarization).....	19
2.5.4 คอนโทรลเลอร์ (Controller).....	19

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.5 ระบบเซ็นเซอร์ (Annunciation หรือ Actuator).....	19
2.5.6 ระบบ Host และระบบซอฟต์แวร์.....	20
2.5.7 ระบบโครงสร้างการติดต่อสื่อสาร.....	21
2.6 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID.....	21
2.7 จุดเด่นและข้อจำกัดของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี.....	23
2.8 ข้อจำกัดของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี.....	27
2.9 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและบาร์โค้ด.....	28
2.9.1 กระบวนการอ่านบาร์โค้ด.....	29
2.9.2 เครื่องอ่านบาร์โค้ด.....	29
2.9.3 ประโยชน์ของเทคโนโลยีบาร์โค้ด.....	30
2.9.4 ข้อจำกัดของเทคโนโลยีบาร์โค้ด.....	30
2.9.5 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีบาร์โค้ด.....	31
2.9.6 ความเป็นไปได้ที่อาร์เอฟไอดีจะทดแทนบาร์โค้ด.....	33
2.10 คุณลักษณะสำคัญของอาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) สำหรับงานอุตสาหกรรม.....	33
2.10.1 ATEX/IECEX certification.....	33
2.10.2 IP Certification.....	34
2.10.3 IK Certification.....	34
2.10.4 UL 94 Certification.....	34
2.11 กระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูล.....	35
2.11.1 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่าง SDMA.....	35
2.11.2 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่ FDMA.....	36
2.11.3 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งเวลา TDMA.....	37
2.12 กระบวนการอะโลฮา (ALOHA).....	39
2.12.1 อะโลฮา ALOHA.....	39
2.12.2 กระบวนการสล็อตอะโลฮา (Slotted ALOHA).....	41
2.12.3 กระบวนการไดนามิกสล็อตอะโลฮา (Dynamic Slotted ALOHA).....	43
2.12.4 กระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮา (Frame Slotted ALOHA).....	44
2.13 ตัวแปรสุ่ม (Random Variables).....	44
2.13.1 ความน่าจะเป็นเชิงการจัด (Combinatorial Probability).....	44

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.13.2 หลักการเบื้องต้นของการนับ.....	45
2.13.3 การสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่และแบบไม่คืนที่.....	46
2.13.4 สัมประสิทธิ์พหุนามและการแบ่งส่วน.....	47
2.13.5 การแบ่งส่วนอย่างไม่มีลำดับ.....	48
2.13.6 ตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาเชิงจัดการ.....	49
2.13.7 การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution).....	50
2.13.8 การแจกแจงมัลติโนเมียล (Multinomial Distribution).....	51
2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	52
2.14.1 ตัวอย่างกระบวนการป้องกันการชนกันที่นิยมใช้ในระบบ RFID.....	52
2.14.2 รูปแบบการจับเก็บแท็กแบบแพสซีฟและแบบแอ็กทีฟ.....	54
2.14.3 รูปแบบการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบทวินามสำหรับ RFID แบบ FSA.....	56
บทที่ 3 รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของประสิทธิภาพการส่งข้อมูลแบบ เฟรมอะโลฮา ในกรณีที่แท็กถูกจำกัดสิทธิการเลือกสล็อต.....	57
3.1 กล่าวนำ.....	57
3.2 การออกแบบการทดลองและกำหนดพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการทดลอง.....	58
3.3 ระบบ RFID ที่มีการเข้าถึงแบบหลากหลาย.....	59
3.4 แบบจำลองของกระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮาในระบบ RFID.....	60
3.5 การทำงานของระบบ Active RFID.....	62
3.6 ขั้นตอนวิธีการจับเก็บเหตุการณ์ที่นำมาใช้ในรูปแบบการวิเคราะห์.....	63
3.7 โมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์.....	68
3.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์.....	69
3.8.1 กรณีที่ 1 วิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของแต่ละจำนวนแท็กที่ ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูล (K).....	70
3.8.2 กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนแท็ก (N) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ.....	72
3.8.3 กรณีที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนสล็อต (M) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ.....	74
บทที่ 4 รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของการจำกัดสิทธิ์กลุ่มเฟรมสล็อตอะโล ฮา.....	76

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.1 กล่าวนำ.....	76
4.2 แบบจำลองของกระบวนการเฟรมสล็อตอะโหลฮาในระบบ RFID แบบจำกัดสิทธิ์.....	77
4.3 การจัดเก็บทุกเหตุการณ์แบบจำกัดสิทธิ์ที่นำมาใช้ในรูปแบบการวิเคราะห์.....	81
4.4 โมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์.....	82
4.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์.....	85
4.5.1 กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพ FSA แบบปกติและแบบจำกัดสิทธิ์แบบแบ่งกลุ่มใน ขนาดการแบ่งที่แตกต่างกัน.....	86
4.5.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดเฟรมน้อยกว่า จำนวนแท็ก.....	87
4.5.1.2 ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดเฟรมมากกว่าจำนวนแท็ก.....	89
4.5.2 กรณีที่ 2 วิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแอคทีฟแท็กแบบจำกัดสิทธิ์ แบบแบ่งกลุ่ม.....	93
4.5.2.1 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแอคทีฟแท็กในการส่งแบบจำกัด สิทธิ์การแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ.....	93
4.5.2.2 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้เวลาในการส่งแอคทีฟแท็กแบบจำกัดสิทธิ์ การแบ่งกลุ่มน้อยที่สุด.....	96
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	102
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	102
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	105
เอกสารอ้างอิง.....	106
ภาคผนวก.....	108
ประวัติผู้วิจัย.....	114

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ผลการศึกษาของ FKI Logistex.....	32
2.2 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็ก RFID ทุกแท็กภายในพื้นที่การอ่าน.....	41
2.3 แสดงการแจกแจงของจำนวนลูกบอล 7 ลูก ในกล่อง 7 ใบ.....	49
3.1 รูปแบบการวิเคราะห์การเข้าแท็กสล็อตในแต่ละเฟรม.....	63
3.2 ตัวอย่างการเลือกเก็บค่า Output และ Sup output เพื่อนำมาวิเคราะห์.....	66
3.3 ตัวอย่างการจัดเก็บค่าเฟรมที่สำเร็จ.....	67
4.1 จุดเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของการแบ่งกลุ่มจากรูปที่ 4.11 (a), (b), (c).....	94
4.2 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมในการส่งแอ็คทีฟแท็ก (M_{min_p}) จากรูปที่ 4.12.....	97
4.3 จุดต่ำสุดของ Overall tag read time จากรูปที่ 4.12.....	98
5.1 ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จสูงสุดต่อเฟรม จากบทที่ 3 กราฟที่ 3.7 และ 3.8.....	103
5.2 เฟรมที่เหมาะสมในการส่งแอ็คทีฟแท็ก (M_{min_p}) จากรูปที่ 4.12 ในบทที่ 4.....	103
5.3 จุดที่ต่ำที่สุดของ Overall tag read time จากรูปที่ 4.12 ในบทที่ 4.....	103

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 ลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติขอคลื่นความถี่วิทยุ.....	6
2.2 ไมโครชิปแท็ก.....	10
2.3 ตัวอย่าง RFID Tag แบบต่างๆ.....	13
2.4 ตัวอย่าง เครื่องอ่าน RFID แบบต่างๆ.....	13
2.5 แผนผังการทำงานของเทคโนโลยี RFID.....	14
2.6 การทำงานด้วยการคู่ควบบแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก.....	15
2.7 องค์ประกอบหลักการทำงานของ RFID.....	15
2.8 ลักษณะของบอลูน ที่พุ่งตรงออกจากเสาอากาศ.....	18
2.9 Dead Zone.....	18
2.10 Antenna Polarization.....	19
2.11 โครงสร้างมาตรฐาน RFID ระดับสากล.....	23
2.12 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้ระบบการ SDMA.....	36
2.13 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้ระบบการ FDMA.....	37
2.14 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้ระบบการ TDMA.....	38
2.15 15 การลำดับเวลาการส่งข้อมูลในระบบ ALOHA.....	39
2.16 Offered Load and Throughput ALOHA.....	40
2.17 เปรียบเทียบปริมาณงาน (throughput) ของระบบการ ALOHA และ Slotted ALOHA.....	42
2.18 ตัวอย่างการทำงานของระบบการ Slotted ALOHA.....	43
2.19 ระบบการ ALOHA สำหรับ RFID.....	53
2.20 ระบบการ Slotted ALOHA สำหรับ RFID.....	53
2.21 ระบบการ Framed Slotted ALOHA สำหรับ RFID.....	54
2.22 ลำดับการจัดเก็บแท็กของ RFID แบบแอ็กทีฟที่ใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	54
2.23 เปรียบเทียบการจัดเก็บแท็กระหว่าง RFID แบบแอ็กทีฟและพาสซีฟที่ใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	55
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	58
3.2 แบบจำลองการเข้าถึงหลากหลาย.....	60
3.3 แบบจำลองระบบการป้องกันการชนกันแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	61
3.4 การอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอคทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	62
3.5 การเข้าแท็กสล็อตการรวมเฟรมของ a และ b.....	64

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.6 แผนภูมิรูปภาพขั้นตอนการเลือกเก็บเฟรมทุกเหตุการณ์ไปใช้ในการวิเคราะห์.....	65
3.7 รูปแบบการเข้าสู่สล็อตของแท็กแบบสุ่ม.....	68
3.8 แสดงการคำนวณแบบมัลติโนเมียล โดยแสดง 3 เหตุการณ์ (K) การส่งสำเร็จสูงสุดอยู่ที่ K = 8 โดยมี ค่าผลลัพธ์เท่ากับ 0.19 (P _{suc}).....	71
3.9 แสดงการคำนวณแบบวิธีใหม่ โดยกำหนดเหตุการณ์เหมือนกันทุกอย่าง โดยได้ค่าผลลัพธ์ที่การส่ง สำเร็จสูงสุด เท่ากับ 0.95 (P _{suc}).....	71
3.10 แสดงการคำนวณแบบเดิมหรือแบบมัลติโนเมียลการส่งสำเร็จของทุกเหตุการณ์ ที่ขนาดเฟรม เป็น 20 สล็อต และมีแท็ก 4 ค่า.....	73
3.11 แสดงการคำนวณแบบวิธีใหม่ โดยกำหนดเหตุการณ์เหมือนกันทุกอย่าง ที่ขนาดเฟรม เป็น 20 สล็อต และมีแท็ก 4 ค่า.....	73
3.12 Success Probability ของทุกเหตุการณ์ที่มีจำนวนแท็กเป็น 50 และมีขนาดเฟรม 4 ค่าคือ 15, 20, 25 และ 30 สล็อต.....	75
3.13 Success Probability ของแบบวิธีการใหม่ จำนวนแท็กเป็น 50 และมีขนาดเฟรม 4 ค่าคือ 15, 20, 25 และ 30 สล็อต.....	75
4.1 ขั้นตอนการคำนวณในบทที่ 4.....	79
4.2 รูปแบบระบบ RFID แบบการจำกัดสิทธิ์ความสามารถในการเข้าสู่สล็อต.....	79
4.3 ตัวอย่างการเก็บแท็กของเฟรมสล็อตอะไหล่แบบแบ่ง 2 กลุ่ม.....	81
4.4 รูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบจำกัดสิทธิ์ความสามารถในการสุ่มเข้าสู่สล็อต.....	82
4.5 จำนวนของแท็กหรือสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อเฟรม M_f	84
4.6 ความน่าจะเป็นในการส่งประสบความสำเร็จ (P _{suc}) ที่จำนวนแท็กในระบบมีจำนวน 60 และมีขนาดเฟรม 20 สล็อต.....	88
4.7 ความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จ(P _{coll})ที่ขนาดเฟรมเป็น 20 และมีจำนวนแท็ก ตั้งแต่ 20 ถึง 60.....	89
4.8 ความน่าจะเป็นในการส่งประสบความสำเร็จ (P _{suc}) ที่จำนวนแท็กในระบบมีจำนวน 30 และขนาดเฟรม 60 สล็อต.....	91
4.9 ความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จเลย (P _{coll}) ที่มีจำนวนแท็กเป็น 30 และมี จำนวนขนาดเฟรมตั้งแต่ 20 จนถึง 60.....	92

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.10 ค่าประสิทธิภาพของระบบที่มีจำนวนแท็กเป็น 40 และมีขนาดเฟรมตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 120 สล็อต.....	92
4.11 การอ่านแท็กที่ฟแท็กที่ใช้กำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$) : (a) Overall tag read time จำนวนแท็ก 30, (b) Overall tag read time จำนวนแท็ก 40.....	95
4.12 การอ่านแท็กที่ฟแท็กที่ใช้กำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$) : (a) Overall tag read time ของการส่ง FSA ปกติ, (b) Overall tag read time ของการส่ง FSA แบ่งกลุ่ม 50 – 50.....	99
5.1 การเปรียบเทียบ Success Probability ระหว่างการไม่จำกัดสิทธิ์และการจำกัดสิทธิ์ (2 เท่า) ที่ขนาดเฟรมเป็น 20 สล็อต และมีการแท็กค่า 40,50 และ 60.....	104



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ปฏิเสธไม่ได้เลยว่าเทคโนโลยี RFID นั้นถือว่าเป็นเทคโนโลยีสำหรับระบบโลจิสติกส์ที่กำลังได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในประเทศไทยในขณะนี้เราจึงควรทราบถึงความเป็นมาของ RFID นั้นว่ามีที่มาเป็นอย่างไรและในอนาคตจะมีแนวโน้มไปในทิศทางใดซึ่งก่อนอื่นเราก็จะมาดูประวัติความเป็นมาของ RFID กันก่อน RFID หรือ Radio Frequency Identification พบว่าถูกนำมาประยุกต์ใช้งานตั้งแต่ช่วงท้ายๆ ของสงครามโลกครั้งที่สองแล้ว เมื่อสหราชอาณาจักรได้นำเครื่องมือที่ใช้เทคโนโลยี RFID มาใช้ในการแยกเครื่องบินของอังกฤษที่บินกลับออกจากสงครามกับเครื่องบินของศัตรู ซึ่งเป็นสถานการณ์ในการระบุว่าเป็นมิตรหรือศัตรูนั่นเอง RFID นั้นถือว่าเป็นเทคโนโลยีสมัยใหม่ที่เก่าที่สุดเลยก็ว่าได้มันต้องใช้เวลาเป็นอย่างมากกว่าที่เทคโนโลยี RFID จะจับต้องได้จริงๆ ซึ่งการใช้งานในช่วงแรกนั้นมีการนำไปประยุกต์ใช้กับการติดไว้กับปศุสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามตัว ติดตามรถที่วิ่งบนทางด่วน และการใช้ RFID ในบัตรผ่านของระบบรักษาความปลอดภัยตามอาคารต่างๆ ก่อนหน้าที่เทคโนโลยี RFID จะถูกนำมาใช้ในการติดตามสินค้าคงคลังต่าง ๆ นั้นการใช้บาร์โค้ดได้กลายเป็นมาตรฐานที่ได้รับการยอมรับโดยทั่วไปในการบอกสถานะต่างๆ ของสินค้าคงคลังเช่นเดียวกับการอ่านตัวอักษรด้วยแสง (Optical Character Reading : OCR) และการแสดงภาพแบบไบโอเมตริก (Biometric) จากนั้นอีกนานพอสมควรกว่าที่เทคโนโลยี RFID จะเริ่มเป็นที่สนใจแก่วงการธุรกิจต่างๆ โดยเฉพาะการใช้กับสมาร์ทการ์ดและสินค้าคงคลังต่างๆ [1]

การพัฒนาและการแก้ปัญหาของระบบ RFID ที่มีกบปในระบบ คือ การชนกันของข้อมูล [2] เกิดในกรณีที่แท็ก RFID มีมากกว่าหนึ่งแท็ก ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงที่มีแท็กจำนวนมากเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน ดังนั้นจึงได้มีการนำโปรโตคอลที่จะป้องกันการเกิดการชนกันขึ้น [3] จากการศึกษาพบว่าโปรโตคอลที่จะป้องกันการเกิดการชนกันของการปรากฏตัวของแท็กหลายๆ ตัวในพื้นที่การอ่านคือ โปรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา (ALOHA) [4] มาตรฐาน ISO/IEC 18000-7 [5] เป็นโปรโตคอลที่พัฒนามาจากโปรโตคอลอะโลฮา

ดังนั้นการวิเคราะห์โดยใช้สมการความน่าจะเป็น [6] หรือการใช้สูตรสำเร็จ (P-success) [7] มาวิเคราะห์หาความน่าจะเป็นในการส่งแท็กที่ประสบความสำเร็จ ด้วยวิธีการแบ่งเฟรมสล็อตออกเป็นหลายชุด โดยการจำกัดสิทธิเข้าแท็กในสล็อตเป็นสองแบบ คือ การเลือกสุ่มเข้าได้ทั้งสล็อต และการเลือกสุ่มเข้าได้แค่ครึ่งหลังของเฟรมทั้งหมด โดยให้แท็กแต่ละชุดมีความสามารถในการสุ่มเข้าแท็กในขนาดต่างๆ ซึ่งเป็นการแบ่งกลุ่มการส่งที่สมมุติให้ทั้งสองกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน โดยทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบในแต่ละขนาดเฟรมและหาขนาดเฟรมที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการส่งข้อมูลในระบบแอสซิงโครนัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) วิเคราะห์ความน่าจะเป็นในการส่งแท็กประสบความสำเร็จ ที่ได้จากรูปแบบการจำกัดสิทธิ์ที่ได้ทำการเสนอ โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณี เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดขึ้นจากตัวแปรต่างๆ
- 2) วิเคราะห์รูปแบบความน่าจะเป็นแบบจำกัดสิทธิ์ มาใช้ในการวิเคราะห์ในการส่งแบบ แอ็คทีฟอาร์เอฟไอดี แท็กแบบเฟรมสล็อตโพลีโทเปียที่แบ่งกลุ่มของแท็กให้ความสามารถในกลุ่มเข้าสล็อตต่างกัน
- 3) เพื่อศึกษาปัญหาการชนกันของข้อมูลในระบบ แบบแอ็คทีฟอาร์เอฟไอดี

1.3 สมมติฐานของการศึกษา

การวิเคราะห์การส่งแท็กแบบเฟรมสล็อตโพลีโทเปียโดยทั่วไปได้มาจากสมการความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียล ซึ่งเป็นการวิเคราะห์ที่ความสามารถหรือโอกาสในการสุ่มเข้าสล็อตของแท็กทุกตัวเท่าๆกัน โดยการแบ่งกลุ่มในขนาดต่างๆจะมีประสิทธิภาพที่ต่างกัน สถานการณ์แย่งชิงสล็อตที่สูงต่ำ แต่ยังมีการใช้สมการความน่าจะเป็นอีกรูปแบบหนึ่งคือการจำกัดสิทธิ์การแท็กของสล็อต ให้อยู่ในเงื่อนไขของการเข้าแท็กสล็อตในแต่ละเฟรมเพื่อเพิ่มโอกาสในการส่งข้อมูลที่สำเร็จมากกว่าวิธีของไบโนเมียล เพื่อนำมาพัฒนาเป็นโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ แบบแอ็คทีฟอาร์เอฟไอดี

1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้สำหรับระบบ active RFID คือ โปรโตคอล FSA ที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่านให้เหมาะสมกับจำนวนแท็ก ซึ่งในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลสามารถคำนวณหาโอกาสที่ในแต่ละสล็อตของเครื่องอ่านจะมีข้อมูลที่ถูกส่งมาจากแท็กเพียงตัวเดียว ซึ่งแต่ละเฟรมจะมีขนาดสล็อตแล้วแต่จะกำหนดโดยบทความที่ได้ทำการศึกษาจะทำการวิเคราะห์โดยใช้สมการความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียล มาทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นที่จะส่งแท็กสำเร็จ แต่วิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอรูปแบบการวิเคราะห์ใหม่ซึ่งจะทำการจัดเรียงเหตุการณ์ทุกความเป็นไปได้ที่แท็กจะสุ่มเข้าหาสล็อต แล้วทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นของแต่ละจำนวนสล็อตที่ทำการส่งสำเร็จโดยใช้สมการใหม่ คือสมการการจำกัดสิทธิ์การเลือกสล็อต ซึ่งรูปแบบการวิเคราะห์นี้สามารถนำไปใช้กับเหตุการณ์ที่การส่งแท็กในระบบทำการแบ่งแท็กออกเป็นกลุ่ม ให้ความสามารถในการสุ่มเข้าสล็อตของแท็กที่มีค่าแตกต่างกันได้ นอกจากนี้ยังทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ กับแบบปกติ และวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ ของการส่งแอ็คทีฟแท็กอีกด้วย

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการส่งข้อมูลแบบเฟรมอะโลฮา ในกรณีที่แท็ก ถูกจำกัดสิทธิการเลือกสล็อตเพื่อส่งข้อมูลสำหรับระบบแอกทีฟเอพไอที ที่มีการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็ก หลายตัวกับเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียว โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของ โปรโตคอล FSA ที่มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแยกความต่างเวลาเพื่อหาข้อจำกัดในการทำงาน แล้วนำ หลักการวิเคราะห์รูปแบบการจัดเรียงเหตุการณ์ทุกความเป็นไปได้ที่แท็กจะสุ่มเข้าหาสล็อตที่จะนำมาใช้ คำนวณความน่าจะเป็นแบบสมการจำกัดสิทธิการเลือกสล็อต ซึ่งจะใช้วิเคราะห์โดยนำเอารูปแบบการ วิเคราะห์ส่วนแรกมาใช้ในการคำนวณประสิทธิภาพของระบบการส่งแท็กแบบเฟรมสล็อตอะโลฮาแบบ แบ่งกลุ่มความสามารถในการสุ่มเข้าสล็อตของแท็ก และยังทำการวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการ ส่งแอกทีฟแท็กอีกด้วย

1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมายและ วัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมุติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย และขอบเขตของ งานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานพื้นฐานของเทคโนโลยี RFID โปรโตคอลป้องกันการชนกันของระบบ FAS ข้อมูลพื้นฐานและการส่งข้อมูล RFID เบื้องต้น โปรโตคอล ป้องกันการชนกันสำหรับการส่งแท็กแบบหลากหลายทาง ทฤษฎีความน่าจะเป็นที่ได้ใช้เป็นพื้นฐานสำหรับ งานวิจัยที่เกี่ยวกับการวิเคราะห์ระบบ RFID โดยใช้รูปแบบการส่งแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา (Framed Slotted ALOHA)

บทที่ 3 รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีทางคณิตศาสตร์ของเฟรมสล็อตอะโลฮาโดยใช้สมการ จำกัดสิทธิการเลือกสล็อตและเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับแบบสมการพหุนามหรือมัลติโนเมียล

บทที่ 4 รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ขอเฟรมสล็อตอะโลฮาโดยใช้ สมการจำกัดสิทธิการเลือกสล็อตและเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสมการพหุนามหรือมัลติโนเมียล

บทที่ 5 สรุป ในบทนี้ได้กล่าวถึงบทสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทที่ 2

ทฤษฎีและหลักการ

2.1 กล่าวนำ

ในบทความนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID โดยอธิบายถึงส่วนประกอบของระบบ รูปแบบการทำงาน ย่านความถี่ ระยะทางการใช้งาน กระบวนการรับส่งสัญญาณ การรับ – ส่งข้อมูลในระบบ การเลือกใช้อุปกรณ์ มาตรฐานการใช้งานและตัวอย่างการประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้เห็นภาพรวมในการทำงานและการประยุกต์ใช้งานในระบบ RFID จากนั้นจะกล่าวถึงโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล FSA สำหรับการส่งข้อมูลของแท็กที่มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายทาง อาทิเช่น การเข้าถึงหลายทาง แบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นพาห์ และการเข้าถึงแบบจัดลำดับช่องสัญญาณ และทฤษฎีความน่าจะเป็น พื้นฐานที่นำไปใช้ในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล FSA และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล FSA เพื่อเป็นการศึกษาข้อมูล พื้นฐานและแนวทางในการนำไปพัฒนา ระบบ RFID ที่มีการส่งแบบหลากหลายโดยใช้รูปแบบการส่งแบบ เฟรมสลอตอะโลฮา (Framed Slotted ALOHA) ซึ่งได้นำโดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

2.2 ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)

RFID ย่อมาจากคำว่า Radio Frequency Identification [8]-[12] คือการบ่งชี้วัตถุโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ ซึ่งเป็นระบบบ่งชี้อัตโนมัติ (AUTO-ID) [13] ชนิดหนึ่งที่มีหน้าที่บ่งบอกวัตถุ สิ่งของ หรือคนได้โดยอัตโนมัติ ซึ่งจะทำการประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์โดยไม่ต้องมีคนช่วย เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพ และประสิทธิผลของการทำงาน ลดความผิดพลาดที่เกิดจากมนุษย์ และลดเวลาของการจัดเก็บข้อมูล ตัวอย่างเช่น เทคโนโลยีระบบบ่งชี้อัตโนมัติ ได้แก่ รหัสแท่ง(barcode) บัตรเอนกประสงค์(smart card) ไบโอมेटริกซ์ อาทิ การจำเสียงพูด แสกนลายพิมพ์นิ้วมือ แสกนม่านตา และการบ่งชี้วัตถุโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ

ประวัติการเริ่มต้นของ RFID นั้น เริ่มต้นจากการใช้เรดาร์ตรวจจับเครื่องบินบนท้องฟ้า แต่ไม่สามารถแยกแยะได้ว่าเป็นของฝ่ายใด จึงได้คิดค้นให้เครื่องบินส่งข้อมูลเป็นสัญญาณวิทยุที่มีลักษณะเฉพาะตัวกลับไปสถานี เมื่อได้รับสัญญาณเรดาร์ ทำให้แยกแยะได้ว่าเป็นเครื่องบินของฝ่ายใด ระบบนี้เรียกว่า ระบบ IFF (Identification Friend or Foe) [14] ซึ่งต่อมาก็ได้พัฒนามาใช้ในการส่งข้อมูลในระบบอื่น ๆ ต่อไป

เทคโนโลยี RFID สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบทั้งในภาคอุตสาหกรรมและภาคบริการ จากการวิจัยพบว่า [15] มูลค่ารวมตลาดทั่วโลกของ RFID มีอัตราที่สูงและเติบโตอย่างต่อเนื่อง โดยในปี พ.ศ. 2550 ตลาดอุตสาหกรรม RFID ในโลกมีมูลค่าสูงถึง 3,800 ล้านดอลลาร์สหรัฐ และคาดว่าในปี พ.ศ. 2555 จะมีมูลค่าตลาดเพิ่มขึ้นเป็น 8,400 ล้านดอลลาร์สหรัฐ ดังนั้นตลาดอุตสาหกรรม RFID จึงถือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์เพื่อการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่าการณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ว่าเป็นตลาดเทคโนโลยีที่เติบโตสูงมากเช่นเดียวกับตลาดอุตสาหกรรมโทรศัพท์เคลื่อนที่และตลาดอุตสาหกรรมรถยนต์ สำหรับตลาด RFID ในประเทศไทยพบว่ามีผู้นำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การผลิตในอุตสาหกรรม, การประยุกต์ใช้กับห่วงโซ่อุปทาน และ โลจิสติกส์, การควบคุมการเข้า-ออก, การปศุสัตว์, และการเงิน เป็นต้น โดยจากสถิติในปี พ.ศ. 2548 มูลค่าตลาดของ RFID ในประเทศไทย (ทั้งส่วนที่ผลิตเองในประเทศและนำเข้า) มีมูลค่าประมาณ 856.2 ล้านบาท หรือคิดเป็นร้อยละ 1.07 ของตลาด RFID ทั่วโลก และมีมูลค่าเพิ่มเป็น 1,827.3 ล้านบาทในปี พ.ศ. 2550

2.2.1 ประเภทของคลื่นวิทยุ

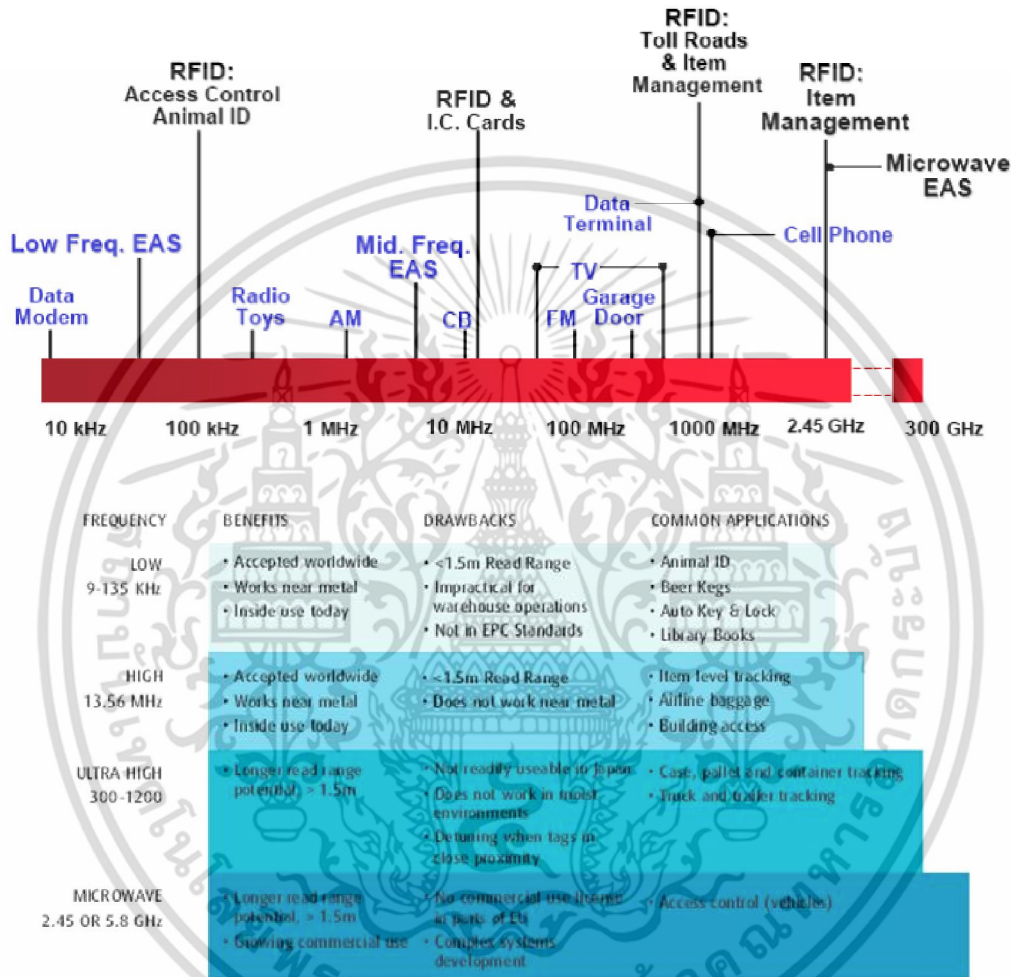
จากที่กล่าวในขั้นต้นว่าเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) อาศัยคลื่นวิทยุในการทำงาน ดังนั้นเมื่อพูดถึงเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี (RFID) สิ่งหนึ่งที่ขาดไม่ได้ที่จะต้องกล่าวถึง คือคลื่นวิทยุคลื่นวิทยุ (Radio frequency) เป็นคลื่น Electromagnetic ประเภทหนึ่ง ที่มีความยาวคลื่นระหว่าง 0.1 ซม.ถึง 1,000 กม. หรืออยู่ในช่วงความถี่ระหว่าง 30 Hz และ 300 GHz เมื่อเป็นคลื่นวิทยุจะเห็นได้ว่า วัสดุที่นำใช้กับคลื่นวิทยุย่อมมีผลต่อการใช้งานอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ คลื่นวิทยุแบ่งออกเป็น 4 ประเภท คือ

1. LOW FREQUENCY (LF) ความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 30 KHz ถึง 300 KHz. ในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะใช้คลื่น 125 KHz ถึง 134 KHz ความสามารถในการส่งข้อมูลในคลื่นนี้ค่อนข้างช้า แต่สามารถใช้งานได้ดีในวัสดุที่เป็นของเหลว หรือโลหะ จะเห็นได้จากตารางข้างต้น วัสดุที่เป็นโลหะ หรือน้ำจะมีลักษณะเป็น RF-friendly ต่อคลื่นความถี่นี้

2. HIGH FREQUENCY (HF) ความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 3 MHz ถึง 30 MHz ความถี่ 13.56 MHz จะเป็นความถี่ที่มีการใช้งานมากที่สุดในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี เหมือนเช่นกับความถี่ LF ความถี่นี้จะใช้กับ Passive tag เป็นส่วนมาก ความถี่นี้ใช้งานได้ปานกลางในวัสดุที่เป็นโลหะและของเหลว และมีการใช้งานอย่างแพร่หลายในโรงพยาบาล เพราะความถี่นี้ไม่รบกวนอุปกรณ์ที่โรงพยาบาลใช้งานอยู่ในปัจจุบัน

3. ULTRA HIGH FREQUENCY (UHF) ความถี่นี้จะอยู่ในช่วง 300 MHz ถึง 1 GHz. โดยปกตินี้ความถี่ที่นิยมจะใช้ในความถี่ช่วงนี้คือ 915 MHz ในอเมริกา และ 868 MHz ในยุโรป ส่วนประเทศไทยความถี่ที่อนุญาตให้ใช้คือ 920-925 MHz ความถี่ในช่วงนี้สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ค่อนข้างเร็ว แต่จะใช้งานไม่ดีในวัสดุที่เป็นโลหะ และของเหลว (ยกเว้น Active RFID) อย่างไรก็ตาม ความถี่นี้ได้มีการนำมาใช้อย่างแพร่หลาย เพราะว่ามีหลายหน่วยงานนำคลื่นความถี่มาใช้ หรือบังคับให้นำความถี่นี้มาใช้งาน เช่น กระทรวงกลาโหมของสหรัฐอเมริกา

4. MICROWAVE FREQUENCY ความถี่นี้คือความถี่ที่สูงกว่า 1 GHzขึ้นไป ช่วงความถี่ที่นิยมนำมาใช้ในเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีคือ 2.45 GHz และ 5.8 GHz แต่ความถี่ 2.45 GHz จะได้รับความนิยมมากกว่า ความถี่นี้สามารถนำมาใช้ทั้ง Passive tag และ Active tag ความถี่นี้สามารถส่งข้อมูลได้เร็ว แต่ทำงานได้แย่มากเมื่อไปใช้กับวัสดุที่เป็นโลหะและของเหลว โดยสรุป ลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติขอคลื่นความถี่วิทยุแต่ละประเภทสามารถที่จะสรุปได้ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ลักษณะการใช้งานและคุณสมบัติขอคลื่นความถี่วิทยุ

2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID

ในการออกแบบระบบ RFID ให้มีการใช้งานได้อย่างสมบูรณ์จะมีการนำส่วนประกอบต่างๆเข้ามาใช้ร่วมกัน สิ่งหนึ่งที่เป็นองค์ประกอบสำคัญที่สุดของการทำให้เกิดการตัดสินใจนั้นก็คือวิศวกรจะต้องทำการศึกษาถึงการเลือกส่วนประกอบของระบบที่มีความแตกต่างกัน ในการที่จะศึกษาเรื่องดังกล่าว ต้องมีความรู้ความเข้าใจอย่างดีในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการนั้นๆ เพื่อช่วยเพิ่มเติมการทำงานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งจะทำให้เกิดความน่าเชื่อถือของระบบ โดยหลักๆแล้วส่วนประกอบของระบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RFID จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ คือ เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) และ อาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag)

2.3.1 เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader)

เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านและเขียนข้อมูลลงใน RFID Tag ในการเขียนข้อมูลนั้นสามารถเรียกว่าเป็นกระบวนการเริ่มตั้งค่าใน RFID Tag เรียกว่า Commissioning Tag ซึ่งเป็นการเชื่อมโยง RFID Tag กับสิ่งใดสิ่งหนึ่ง ขณะเดียวกันการเขียนก็สามารถใช้เป็นการลบค่าได้เหมือนกัน หรือการบันทึกข้อมูลใหม่ลงใน RFID Tag ซึ่งเรียกว่า Decommissioning tag เครื่องอ่านเป็นหัวใจหลักของอุปกรณ์อาร์เอฟไอดี และในเครื่องอ่านประกอบด้วย

1. ส่วนการส่งข้อมูล ส่วนนี้จะรับผิดชอบในการส่งสัญญาณจากเครื่องอ่าน และรับสัญญาณจาก RFID Tag ที่ส่งกลับให้กับเสาอากาศของเครื่องอ่าน
2. ส่วนการรับข้อมูล ส่วนนี้จะรับข้อมูลจาก RFID Tag หลังจากได้รับข้อมูลจาก Tag นี้แล้ว ส่วนนี้จะส่งข้อมูลต่อไปให้แก่ส่วนไมโครโปรเซสเซอร์
3. ไมโครโปรเซสเซอร์ รับผิดชอบในการสื่อสารกันระหว่าง RFID Tag กับเครื่องอ่าน ส่วนนี้จะเป็นตัวแปลงโปรโตคอล แปลงข้อมูล และทำการตรวจสอบหลังจากได้รับข้อมูลจาก Tag ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่แปลงข้อมูลที่ได้รับเป็นข้อมูลดิจิทัลสัญญาณอนาล็อก (Analog) ยิ่งไปกว่านั้น ไมโครโปรเซสเซอร์นี้ยังประกอบด้วย Logic ต่าง ๆ ในการกรองข้อมูลและอ่านข้อมูลจาก Tag
4. ส่วนความจำ ส่วนนี้ใช้ในการเก็บข้อมูล เช่น ข้อมูลจาก Tag ในการทำงานบางครั้ง เมื่อส่วนที่ต่อเชื่อมระหว่างเครื่องอ่าน และคอนโทรลเลอร์ (Controller) หรือส่วนที่เป็นซอฟต์แวร์ มีปัญหาในการทำงาน ส่วนที่ทำหน้าที่ในการเก็บความจำนี้จะทำให้ข้อมูลที่อ่านจาก Tag ไม่สูญหาย การเก็บความจำนี้ขึ้นอยู่กับขนาดของหน่วยความจำ อย่างไรก็ตามหน่วยความจำในเครื่องอ่านก็มีขนาดจำกัด หากระบบในเครื่องอ่านหยุดการทำงานเป็นเวลานาน หน่วยความจำในเครื่องอ่านอาจจะไม่มากพอ ทำให้ข้อมูลบางส่วนหายไป
5. ส่วนการรับและส่งออกข้อมูลจากอุปกรณ์ภายนอก เช่น การรับข้อมูลจากเซนเซอร์ เป็นต้น ในความเป็นจริง เครื่องอ่านไม่จำเป็นต้องเปิดทำงานตลอดเวลา เนื่องจากว่า Tag อาจจะเข้ามาในบริเวณเครื่องอ่านไม่บ่อยเท่าที่ควร ซึ่งลักษณะนี้หากเปิดเครื่องอ่านไว้ตลอดเวลา อาจจะเป็นการสิ้นเปลืองโดยใช่เหตุ ดังนั้นการทำงานส่วนนี้ จะเป็นการเปิด/ปิดเครื่องอ่าน เมื่อมี Tag เข้ามาในเครื่องอ่าน ส่วนที่เป็นเซนเซอร์จะส่งข้อมูลไปกระตุ้นให้เครื่องอ่านทำงาน นอกจากนี้ ส่วนนี้ยังทำหน้าที่ในการส่งออกข้อมูลด้วย การส่งออกข้อมูลสามารถที่จะกำหนดได้ให้ส่งข้อมูลออกตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ เช่น การเปิดและปิดประตู เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6. อุปกรณ์คอนโทรลเลอร์ คอนโทรลเลอร์นี้เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสาร ระหว่างเครื่องอ่านกับคอมพิวเตอร์ หรืออุปกรณ์ต่อเชื่อมอื่น นอกจากนั้น ยังเป็นส่วนควบคุมการทำงานของเครื่องอ่าน

7. ส่วนการสื่อสาร ทำหน้าที่ควบคุมการติดต่อสื่อสารของเครื่องอ่าน ส่วนนี้จะต่อเชื่อมระหว่างคอนโทรลเลอร์กับอุปกรณ์ภายนอก อุปกรณ์ในการติดต่อสื่อสารนั้น อาจจะทำให้หลายรูปแบบเช่น การสื่อสารแบบ Serial หรือ แบบ Network เป็นต้น ในการติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอกได้ จะทำงานโดยผ่านการสั่งงานของคอนโทรลเลอร์ ซึ่งการติดต่อสื่อสารนั้น อาจจะเป็นการเก็บข้อมูล การรับคำสั่ง และส่งข้อมูลกลับ

8. ส่วนแหล่งพลังงาน ส่วนนี้ทำหน้าที่ในการเป็นแหล่งพลังงานให้กับเครื่องอ่าน โดยปกติส่วนนี้จะรับพลังงานจากภายนอก และส่งผ่านเข้ามาเครื่องอ่านโดยผ่านส่วนแหล่งพลังงานนี้

2.3.2 ประเภทของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี

ในการจำแนกประเภทของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี สามารถแยกได้ตามการต่อเชื่อม และการใช้งาน หากแยกประเภทเครื่องอ่านตามลักษณะการต่อเชื่อมสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ การต่อเชื่อมแบบ Serial และ Network หากแยกประเภทของเครื่องอ่านตามการใช้งาน สามารถแยกเป็นเครื่องอ่านแบบติดตั้งอยู่กับที่ และเครื่องอ่านแบบมือถือ

1. การแบ่งแยกตามลักษณะการต่อเชื่อม

1.1. เครื่องอ่านแบบ Serial เครื่องอ่านแบบ Serial นั้นติดต่อกับอุปกรณ์ภายนอก โดยผ่านทาง Serial :ซึ่งปกติแล้วจะต่อเชื่อมโดยผ่าน RS232 หรือ RS485 โดย RS485จะสื่อสารได้ในระยะที่ไกลกว่า จุดดีของเครื่องอ่านประเภทนี้คือ การสื่อสารสามารถเชื่อถือได้ไว้มากกว่าเครื่องอ่านแบบ Network ทำให้เครื่องอ่านประเภทนี้จะนำมาใช้งานเพื่อที่จะลดปัญหาในการสื่อสาร แต่เครื่องอ่านประเภทนี้ก็มีจุดเสีย คือ ความยาวของสายเคเบิล นอกเหนือจากนั้น Serial Portมีค่อนข้างจำกัด ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีอุปกรณ์ต่อเชื่อมมากตามไปด้วย ปัญหาต่อมาคือปัญหาการบำรุงรักษา การบำรุงรักษาเครื่องอ่านประเภทนี้จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้เจ้าหน้าที่เข้าไปดูแลเครื่องอ่านทีละเครื่อง นอกเหนือจากปัญหาเหล่านี้แล้ว ซึ่งปัจจัยเหล่านี้อาจมีผลทำให้ค่าใช้จ่ายในการดูแลรักษาสูงขึ้น

1.2. เครื่องอ่านแบบ Network นั้นติดต่อกับคอมพิวเตอร์ผ่านระบบสาย หรือไร้สาย จุดเด่นของเครื่องอ่านประเภทนี้ คือ ไม่จำเป็นต้องขึ้นอยู่กับความยาวของสายเคเบิล ที่ใช้ในการต่อเชื่อมกับคอมพิวเตอร์ ในการ Update firmware สามารถทำได้ง่าย ไม่จำเป็นต้องไปตรวจที่เครื่องอ่านเหมือนเครื่องอ่านแบบ Serial ประเด็นนี้ทำให้การบำรุงรักษาและค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ ข้อเสียของเครื่องอ่านประเภทนี้ คือ การต่อเชื่อมมีความน่าเชื่อถือที่ต่ำกว่าเครื่องอ่านแบบ Serial แต่อย่างไรก็ตามหากระบบโครงสร้างเครือข่ายมีปัญหา ซึ่งอาจมีผลให้เครื่องอ่านมีปัญหาไปด้วย อย่างไรก็ตาม เครื่องอ่านประเภทนี้จะมีหน่วยความจำในตัว ซึ่งสามารถแก้ปัญหาของเครือข่ายได้ในบางส่วน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การแบ่งแยกตามลักษณะการใช้งาน

2.1. เครื่องอ่านแบบติดตั้งอยู่กับที่ เครื่องอ่านประเภทนี้จะติดตั้งไว้ที่ใดที่หนึ่ง เช่น ติดไว้ที่กำแพง หรือติดอยู่บนรถ ในบริเวณที่กำหนดไว้ให้เป็นอาณาเขตของเครื่องอ่าน ราคาของเครื่องอ่านประเภทนี้จะถูกกว่าเครื่องอ่านแบบมือถือ ทำให้เครื่องอ่านแบบนี้มีการใช้งานที่แพร่หลายกว่า เครื่องอ่านประเภทนี้มีหลากหลายชนิด ตัวอย่างเช่น Agile Reader ซึ่งเป็นเครื่องอ่านที่สามารถใช้ได้หลายคลื่น และสามารถใช้ได้กับ Tag หลายประเภท นอกจากนี้ยังมีเครื่องอ่านที่สามารถพิมพ์บาร์โค้ด และบันทึกข้อมูลลงไปใน Tag ได้ในขณะเดียวกัน เครื่องอ่านประเภทนี้สามารถทำงานได้ในสองลักษณะ คือ Autonomous และ Interactive

ในการทำงานแบบ Autonomous เครื่องอ่านจะอ่าน Tag ตลอดเวลา ทุก ๆ ครั้ง ที่ Tag ถูกอ่านจะเก็บข้อมูลไว้ในรายการที่เรียกว่า Tag List รายการที่อยู่ใน Tag List จะสอดคล้องกับเวลาในการอ่าน หาก Tag ที่กำหนดไว้ไม่ถูกอ่านในเวลาที่กำหนด ก็จะถูกลบออกไปจากรายการ ในรายการ Tag list จะประกอบด้วย

- รหัสของ tag
- เวลาในการอ่าน
- Tag ถูกอ่านบ่อยแค่ไหน
- เสาอากาศที่ใช้ในการอ่าน Tag นั้น
- ชื่อของเครื่องอ่าน

สำหรับการทำงานแบบ Interactive เครื่องอ่านประเภทนี้จะทำงานตามคำสั่งที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์ ส่วนกลาง หรือจากผู้ใช้ หลังจากเครื่องอ่านทำงานตามคำสั่งเป็นที่เรียบร้อยแล้ว เครื่องอ่านจะหยุดรอคำสั่งต่อไป

2.2 เครื่องอ่านแบบมือถือ เครื่องอ่านประเภทนี้จะมีเสาอากาศฝังอยู่ในตัว ทำให้ระยะเวลาการอ่านค่อนข้างสั้นเมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องอ่านแบบแรกทีกล่าวมา เครื่องอ่านประเภทนี้มีราคาค่อนข้างสูง

2.3.3 อาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag)

ระบบอาร์เอฟไอดี (RFID) เป็นระบบที่ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ เข้าด้วยกัน ซึ่งสามารถที่จะสรุปได้ดังต่อไปนี้

- RFID tag เป็นส่วนประกอบหลักของระบบอาร์เอฟไอดี
- เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี (RFID Reader) เป็นส่วนประกอบหลักอีกส่วนหนึ่งของระบบอาร์เอฟไอดี
- เสาอากาศของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี ในปัจจุบันเครื่องอ่านบางรุ่นมีการสร้างเสาอากาศรวมในตัวเครื่องอ่าน

- กล้องควบคุม ส่วนประกอบหลักอีกส่วนหนึ่งในระบบอาร์เอฟไอดี ในปัจจุบันกล้องควบคุมนี้จะถูกสร้างรวมเข้าไปอยู่กับเครื่องอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารลิขสิทธิ์ของโรงเรียนเพื่อการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

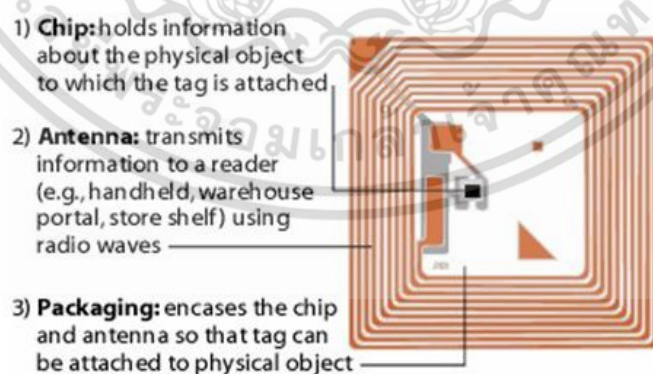
- เซ็นเซอร์ หรืออุปกรณ์แสดงผล อุปกรณ์นี้เป็นอุปกรณ์ส่วนเสริมของระบบ
- ระบบซอฟต์แวร์ ในทางทฤษฎีระบบอาร์เอฟไอดีสามารถทำงานได้โดยไม่ต้องมีระบบส่วนนี้ แต่ในทางปฏิบัติแล้ว ระบบอาร์เอฟไอดีแทบจะไร้ความหมาย ถ้าไม่มีระบบส่วนนี้
- โครงสร้างการติดต่อสื่อสาร ส่วนนี้เป็นองค์ประกอบหลักของระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งอาจจะเป็นโครงสร้างสื่อสารแบบสายหรือไร้สายก็ได้ โครงสร้างการสื่อสารนี้เป็นส่วนที่จะเชื่อมต่อส่วนประกอบต่าง ๆ ที่กล่าวมาข้างต้นเข้าด้วยกัน เพื่อให้ส่วนประกอบต่าง ๆ สามารถติดต่อสื่อสารกันได้

RFID Tag เป็นอุปกรณ์ที่ใช้เก็บข้อมูล และส่งข้อมูลไปให้เครื่องอ่านโดยผ่านคลื่นวิทยุ RFID Tag สามารถแบ่งเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

- RFID Tag แบบ Passive
- RFID Tag แบบ Active
- RFID Tag แบบ Semi-active/Semi-passive

1. RFID Tag แบบ Passive

RFID Tag ชนิด Passive ไม่มีแหล่งพลังงานในตัวเอง ในการส่งข้อมูลนั้น RFID Tag ประเภทนี้จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่าน เพื่อให้ตนเองมีพลังงานในการส่งข้อมูลกลับไปให้กับเครื่องอ่าน เนื่องจาก Tag ประเภทนี้ไม่มีแผงวงจรใดใด และพลังงานใด ดังนั้นจึงสามารถใช้งานได้เป็นระยะเวลานานไม่มีการหมดอายุ โดยทั่วไป Tag ลักษณะนี้เหมาะสมกับการใช้งานที่อยู่ในสภาพแวดล้อมที่ไม่เอื้ออำนวยสำหรับการอ่าน ข้อมูลด้วยระบบบาร์โค้ด เช่น ในอุณหภูมิสูง 204⁰C หรือสภาพน้ำกรด ในการส่งข้อมูลระหว่าง RFID Tag ชนิดนี้กับเครื่องอ่าน เครื่องอ่านจะเป็นส่วนที่เริ่มส่งข้อมูลก่อน เมื่อ Tag ได้รับข้อมูลจากเครื่องอ่าน ก็จะส่งข้อมูลกลับไป Passive tag จะมีขนาดเล็ก และราคาถูกกว่า Active Tag โดยหลัก Passive Tag จะประกอบด้วย ไมโครชิป และเสาอากาศ ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ไมโครชิปแท็ก

ไมโครชิป จะประกอบด้วย ส่วนสำคัญต่าง ๆ ดังต่อไปนี้ ส่วนแรกคือ ส่วนที่เป็นแหล่งพลังงาน ซึ่งมีหน้าที่ในการแปลงไฟแบบ AC จากเสาอากาศของเครื่องอ่าน มาเป็นไฟแบบ DC เพื่อใช้งานในส่วนต่าง ๆ ของ Tag ส่วนที่สองคือส่วนที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณ ที่เรียกว่า Modulator ทำหน้าที่แปลงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สัญญาณจากเครื่องอ่าน และส่งข้อมูลกลับให้เครื่องอ่าน อีกส่วนคือส่วนที่ทำหน้าที่ในการกำหนด Protocol ในการสื่อสารข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับ Tag เรียกว่า ส่วน Logic และท้ายที่สุดคือส่วนที่เป็นหน่วยความจำ เป็นส่วนที่ใช้สำหรับเก็บข้อมูล ซึ่งโดยปกติจะมีการเก็บข้อมูลเป็น Block เสาอากาศเป็นส่วนที่ใช้การนำพลังงาน (ไฟฟ้า) จากเครื่องอ่าน เพื่อให้ Tag มีพลังงานในการส่งและรับข้อมูลจากเครื่องอ่าน เสาอากาศของ RFID Tag มีขนาดใหญ่กว่าชิปอย่างมาก ดังนั้นจะเห็นได้ว่า การออกแบบเสาอากาศของ RFID Tag เป็นปัจจัยสำคัญมาก เนื่องจากมีผลต่อระยะการอ่าน และมุมในการอ่าน ปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเสาอากาศมีหลายปัจจัย ตัวอย่างเช่น

- ระยะการอ่านระหว่าง RFID Tag กับเครื่องอ่าน
- มุมในการอ่านระหว่าง RFID Tag กับเครื่องอ่าน
- วัสดุที่ใช้ในการทำ
- ความเร็วในการอ่าน
- สภาพแวดล้อมในการอ่าน
- ลักษณะเสาอากาศของเครื่องอ่าน

2. RFID Tag แบบ Active

RFID Tag ชนิด Active ประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

- ไมโครชิป
- เสาอากาศ
- แหล่งพลังงาน หน้าที่หลักของอุปกรณ์นี้คือ การจ่ายพลังงานให้แก่อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ และการส่งข้อมูล โดยส่วนใหญ่ Active tag จะมีอายุการทำงานประมาณ 2 ถึง 7ปี ขึ้นอยู่กับประเภทของแบตเตอรี่ ปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อการอายุการใช้งานของแบตเตอรี่คือ ช่วงเวลาในการชาร์จ หากช่วงเวลาในการส่งข้อมูลนาน Tag นั้นก็จะมีอายุในการใช้งานนาน
- อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ โดยส่วนใหญ่หน้าที่ของอุปกรณ์ส่วนนี้จะใช้งานเหมือน Transmitter หรือทำหน้าที่อื่น ๆ เพิ่มเติมเช่น การคำนวณ หรือ แสดงค่าต่าง ๆ เช่น เซนเซอร์ เป็นต้น ทำให้ขอบเขตการทำงานของ Tag หลากหลายมากขึ้น

ในการติดต่อกันระหว่าง Tag กับเครื่องอ่านสำหรับ RFID Tag ประเภทนี้ Tag จะเป็นส่วนที่เริ่มการติดต่อก่อน เนื่องจาก Tag ประเภทนี้มีแหล่งพลังงานของตนเอง ดังนั้น Tag ประเภทนี้จึงไม่ต้องอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่านในการส่งข้อมูล ยังมี Active Tag อีกประเภทที่สามารถส่งข้อมูลได้ โดยไม่จำเป็นต้องเข้าอยู่ในระยะของเครื่องอ่าน เรียกว่า Transmitter Tag ประเภทนี้สามารถส่งข้อมูลให้กับเครื่องอ่านได้ไกลถึง 30เมตร Active Tag อีกประเภทที่จะหยุดการทำงาน (sleep mode) หรือทำงานโดยใช้พลังงานน้อยมาก เมื่อไม่อยู่ในระยะของเครื่องอ่าน Tag ประเภทนี้ เครื่องอ่านจะทำ

หน้าที่ในการกระตุ้นให้ Tag ทำงานเมื่อเข้ามาอยู่ในระยะที่เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลได้ การทำงานในลักษณะนี้ทำให้ Tag ประเภทนี้มีอายุการใช้งานกว่า Tag ที่เป็นลักษณะ Transmitter

3. RFID Tag แบบ Semi Active

RFID Tag ชนิด Semi Active ในบางกรณี RFID Tag ลักษณะนี้จะเรียกว่า Battery-Assisted Tag เป็น RFID Tag ที่มีแหล่งพลังงานเป็นของตนเอง และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ในการทำงาน แหล่งพลังงานดังกล่าวจะทำหน้าที่ให้พลังงานแก่ RFID Tag ซึ่งมีลักษณะเหมือนกับ Active tag

ในการส่งข้อมูลนั้น RFID Tag ประเภทนี้จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่าน มีการนำ RFID tag ประเภทนี้แทน Passive Tag เนื่องจากว่า Tag ประเภทนี้สามารถส่งข้อมูลได้ไกลกว่า เพราะการส่งข้อมูลไม่ต้องรอให้เกิดการกระตุ้นการทำงานของขดลวดทองแดงเหมือน Passive Tag ถึงแม้ว่าวัสดุที่ติด Tag ประเภทนี้จะเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว วัสดุที่มีผลต่อคลื่นวิทยุ การส่งข้อมูลก็ยังสามารถทำงานได้ดี ในการแบ่งประเภทของ RFID Tag ยังสามารถที่จะแบ่งได้ตามความสามารถในการบันทึกข้อมูล ซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 3 ประเภท คือ

1. ประเภทที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียว (RO)
2. ประเภทที่บันทึกข้อมูลได้เพียงครั้ง และสามารถอ่านข้อมูลได้ตลอด (WORM)
3. ประเภทที่สามารถบันทึกและอ่านข้อมูลได้ตลอด (RW)

4. RFID Tag แบบ อ่านได้อย่างเดียว

RFID Tag ประเภทนี้จะถูกโปรแกรมเพียงครั้งเดียว ข้อมูลนั้นจะบันทึกลงไป ใน Tag ระหว่างการผลิต โดยการบันทึกข้อมูลนั้นจะบันทึกลงไปโดยไม่โครชิป เมื่อบันทึกข้อมูลนี้ลงไปแล้ว ข้อมูลไม่สามารถที่จะเขียนข้อมูลอื่น ๆ ลงไปได้ RFID Tag ประเภทนี้ ในบางครั้งก็จะเรียกว่า RFID Tag ที่โปรแกรมด้วยโรงงาน (Factory Programmer) RFID Tag ประเภทนี้ใช้ได้ดีสำหรับนำไปใช้งานที่มีขนาดเล็กไม่มีความซับซ้อน แต่ไม่เหมาะสำหรับการใช้งานที่มีความซับซ้อนมาก

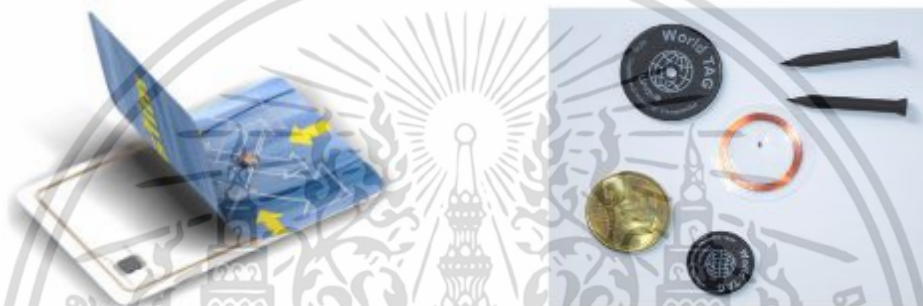
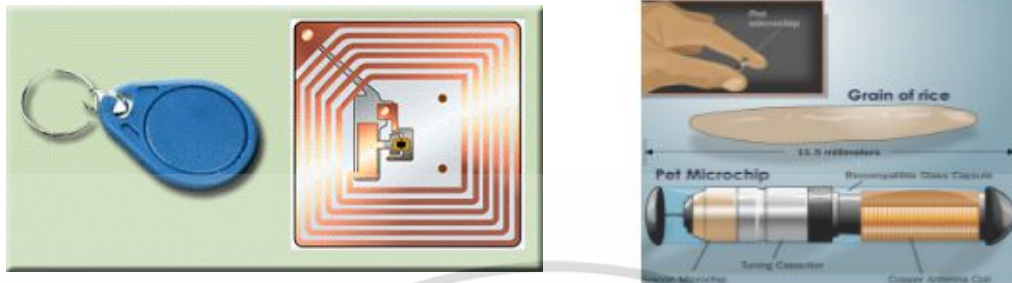
5. RFID Tag แบบ ที่บันทึกข้อมูลเพียงครั้งเดียวสามารถอ่านข้อมูลได้ตลอด

RFID Tag ประเภทนี้จะถูกโปรแกรมหรือเขียนบันทึกข้อมูลเพียงครั้งเดียว ซึ่งการบันทึกข้อมูลนี้จะบันทึกโดยผู้ใช้ เมื่อต้องการที่จะใช้ Tag นั้น ถ้า Tag ถูกเขียนโปรแกรมมากกว่าจำนวนที่กำหนดไว้ Tag ประเภทนี้อาจจะเสียหายได้ RFID Tag ประเภทนี้เรียกว่า Field Programmable

6. RFID Tag แบบ สามารถอ่านและเขียนได้ตลอด (RW)

RFID Tag ประเภทนี้จะถูกบันทึกซ้ำได้ตลอด โดยปกติแล้ว Tag นี้สามารถที่บันทึกซ้ำได้ประมาณ 10,000 ถึง 100,000 ครั้ง หรือมากกว่า ความสามารถในการบันทึกซ้ำได้ตลอดลักษณะนี้ ทำเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้ Tag ประเภทนี้มีประโยชน์อย่างมาก Tag ประเภทนี้มีหน่วยความจำที่เรียกว่า Flash / Frame ที่ใช้ในการบันทึกข้อมูล ดังนั้น Tag ประเภทนี้จะเรียกว่า Field programmable หรือ reprogrammable Tag ประเภทนี้



รูปที่ 2.3 ตัวอย่าง RFID Tag แบบต่างๆ

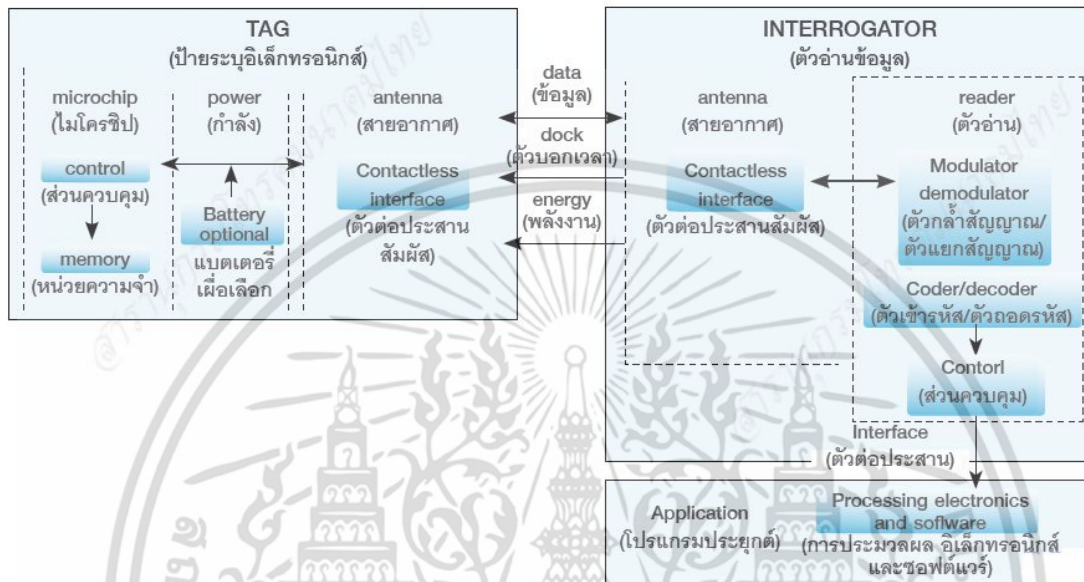


รูปที่ 2.4 ตัวอย่าง เครื่องอ่าน RFID แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 หลักการทำงานของเทคโนโลยี RFID

เทคโนโลยี RFID เป็นระบบที่นำคลื่นวิทยุมาเป็นคลื่นพาห้ในการสื่อสารสัญญาณข้อมูลแบบไร้สาย (Wireless) ระหว่างอุปกรณ์สองชนิด คือ ป้ายอิเล็กทรอนิกส์หรือป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ (Tags) และเครื่องอ่านข้อมูล (Interrogator) โดยการนำข้อมูลที่ต้องการส่งมาทำการผสมสัญญาณ (Modulation) กับคลื่นวิทยุแล้วส่งออกผ่านทางสายอากาศของเครื่องอ่านสัญญาณ ดังแสดงในรูปที่ 2.5

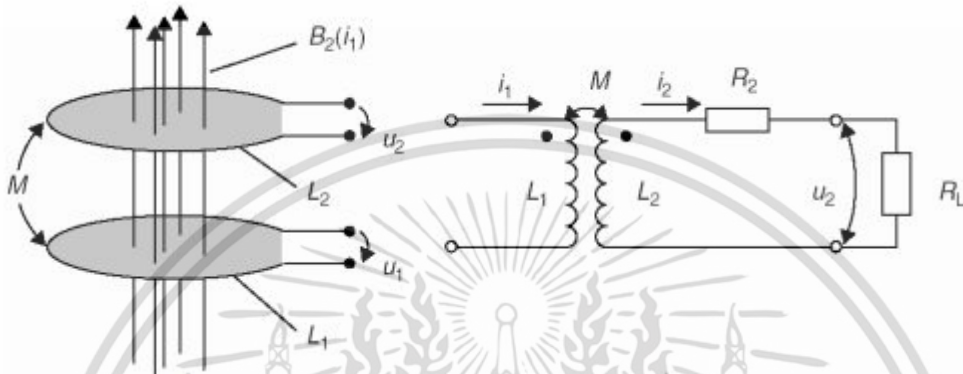


รูปที่ 2.5 แผนผังการทำงานของเทคโนโลยี RFID

ในระบบ RFID มีองค์ประกอบหลักสามส่วน ส่วนแรกคือ ป้ายหรือ ทรานสปอนเดอร์ (Tag หรือ Transponder) ใช้สำหรับติดกับวัตถุต่าง ๆ ที่ต้องการรับและส่งข้อมูล โดยภายในป้ายประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปที่มีการบันทึกหมายเลขหรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ ส่วนที่สองคือ เครื่องสำหรับอ่านป้าย (Interrogator หรือ Reader) ซึ่งสื่อสารกับป้ายด้วยคลื่นวิทยุ และส่วนที่สามคือระบบประยุกต์ใช้งาน รวมถึงระบบฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์เพื่อการประยุกต์ใช้งาน หรือระบบฐานข้อมูล ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับระบบการใช้งานที่เกี่ยวข้อง เช่น ระบบข้อมูลสินค้า ระบบบริหารงานบุคคล ฯลฯ ในการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับป้ายนั้น เครื่องอ่านจะส่งพลังงานออกมา เพื่อให้ป้ายที่อยู่ในระยะสื่อสารนำไปใช้ในการส่งข้อมูลกลับมาให้เครื่องอ่านการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับป้ายนั้นทำได้ในสองลักษณะคือแบบกึ่งสองทิศทาง (Half Duplex : HDX) และแบบสองทิศทาง (Full Duplex : FDX) ในการรับส่งข้อมูลแบบ HDX ณ เวลาใดเวลาหนึ่งป้ายจะรับหรือส่งข้อมูลกับเครื่องอ่านได้เพียงอย่างใดอย่างหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นป้ายจะรับและส่งข้อมูลกับเครื่องอ่านสลับกันไป แต่ในการรับส่งข้อมูลแบบ FDX ป้ายสามารถรับและส่งข้อมูลกับเครื่องอ่านได้พร้อมๆ กัน การส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังป้าย นิยมทำในสองลักษณะ คือ การคู่ควบแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive Coupling) และการคู่ควบแบบกระเจิงกลับ (Backscattering Coupling)

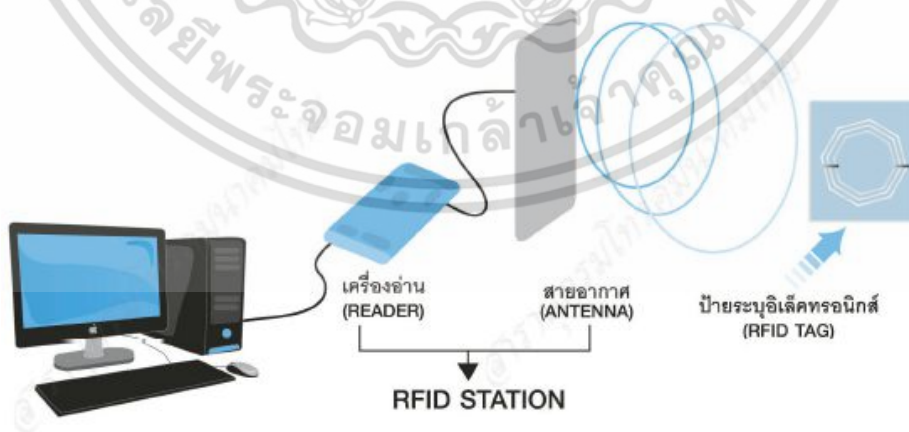
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. การทำงานด้วยการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก (Inductive Coupling) ในการส่งพลังงานจากเครื่องอ่านไปยังป้ายด้วยวิธีการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็กนั้นนิยมใช้กับย่านความถี่ต่ำ หรือความถี่สูง (ความถี่น้อยกว่า ๑๓๕ kHz หรือ ๑๓.๕๖ MHz) โดยเครื่องอ่านจะสร้างสนามแม่เหล็กแบบสลับ ซึ่งตัดผ่านสายอากาศแบบขดลวดของป้าย ทำให้เกิดกระแสไฟฟ้าไหลในขดลวดไปสะสมในตัวเก็บประจุจนถึงระดับที่เพียงพอ จึงกระตุ้นให้ไมโครชิปในป้ายทำงาน ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การทำงานด้วยการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำสนามแม่เหล็ก

2. การทำงานด้วยการคู่ควบแบบกระเจิงกลับ (Backscattering Coupling) การส่งพลังงานจากเครื่องอ่าน ไปยังป้ายด้วยวิธีการคู่ควบแบบกระเจิงกลับนั้น นิยมใช้กับย่านความถี่สูงยิ่ง และความถี่ย่านไมโครเวฟ โดยเครื่องอ่านจะส่งคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และส่งออกไปผ่านสายอากาศของเครื่องอ่าน สนามไฟฟ้าของคลื่นที่ส่งออกมาทำให้เกิดความต่างศักย์ที่สายอากาศของป้าย และมีกระแสไฟฟ้าไหลไปสะสมในตัวเก็บประจุ จนถึงระดับที่เพียงพอ จึงกระตุ้นให้ไมโครชิปในป้ายนั้นทำงาน



รูปที่ 2.7 องค์ประกอบหลักการทำงาน RFID

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5 การสื่อสารระหว่าง RFID Reader กับ RFID Tag

การสื่อสารกันระหว่างเครื่องอ่าน (RFID Reader) กับ RFID Tag นั้นขึ้นอยู่กับประเภทของ Tag ก่อนที่กล่าวถึงรายละเอียดของการสื่อสารในแต่ละแบบ อาณาเขตระหว่างเสาอากาศของเครื่องอ่านสามารถส่งสัญญาณคลื่นวิทยุได้ระยะสั้นเรียกว่า Near Field ส่วนบริเวณที่ไกลออกไปเรียกว่า Far Field โดยปกติ Passive RFID ที่ใช้คลื่นความถี่ LF และ HF จะติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านในบริเวณที่เรียกว่า Near Field ในขณะที่คลื่นความถี่ UHF หรือสูงกว่า จะติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านในบริเวณ Far Field ดังนั้นจะเห็นได้ว่า RFID Tag ที่สื่อสารในบริเวณ Far Field สามารถที่จะติดต่อสื่อสารได้ในระยะที่ไกลกว่า ลักษณะการสื่อสารข้อมูลระหว่าง Tag กับเครื่องอ่านมีสามลักษณะคือ Modulated backscatter, Transmitter type และ Transponder type

1. Modulated Backscatter การสื่อสารลักษณะนี้ เครื่องอ่าน (RFID Reader) จะส่งคลื่นวิทยุในลักษณะต่อเนื่อง (Continuous wave) ซึ่งจะส่งออกมาในลักษณะกระแส AC ผ่านเสาอากาศที่อยู่ใน RFID Tag เมื่อ RFID Tag ได้รับกระแสจากเครื่องอ่าน (RFID Reader) เสาอากาศก็จะส่งพลังงานให้กับไมโครชิปที่อยู่ใน Tag เพื่อให้ Tag มีกำลังไฟในการทำงาน ซึ่งใช้กำลังไฟประมาณ 1.2 โวลต์ แต่ในกรณีของการเขียนข้อมูลจำเป็นต้องใช้กำลังไฟมากถึง 2.2 โวลต์จากเครื่องอ่าน (RFID Reader) ไมโครชิปเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน (RFID Reader) ก็จะมีการส่งข้อมูลกลับไปให้แก่เครื่องอ่าน (RFID Reader) เมื่อเครื่องอ่าน (RFID Reader) ได้รับข้อมูลนี้ ก็จะมีการแปลค่าเหล่านั้น การสื่อสารแบบนี้จะใช้สำหรับ Passive และ Semi-active ในลักษณะการสื่อสารแบบนี้ เครื่องอ่าน (RFID Reader) จะเป็นอุปกรณ์ที่เริ่มต้นในการส่งข้อมูล แล้ว RFID Tag จะส่งข้อมูลกลับมา ในลักษณะนี้ Tag ไม่สามารถสื่อสารได้ หากไม่มีเครื่องอ่าน (RFID Reader) เพราะว่าการทำงานในลักษณะนี้จะขึ้นอยู่กับเครื่องอ่าน (RFID Reader) เป็นสำคัญ

2. Transmitter การสื่อสารลักษณะนี้จะใช้กับ Active Tag เท่านั้น การสื่อสารในลักษณะนี้ Tag จะส่งข้อมูลเป็นช่วงเวลาที่กำหนดไว้ โดยไม่สนใจว่ามีเครื่องอ่าน (RFID Reader) อยู่หรือไม่ ดังนั้นการสื่อสารแบบนี้ Tag จะเป็นอุปกรณ์ที่เริ่มการสื่อสารก่อนเสมอ

3. Transponder การสื่อสารแบบนี้เช่นกับ Active Tag บางประเภทเป็นพิเศษ การสื่อสารแบบนี้ Tag จะไม่ทำงาน หรืออยู่ใน Sleep เมื่อไม่มีการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน ในช่วงที่ Tag อยู่ใน Sleep Mode Tag อาจจะส่งข้อมูลออกมาเป็นระยะเพื่อตรวจดูว่ามีเครื่องอ่าน (RFID Reader) อยู่ในบริเวณดังกล่าวหรือไม่ เมื่อเครื่องอ่าน (RFID Reader) ได้รับสัญญาณดังกล่าว เครื่องอ่าน (RFID Reader) ก็ส่งคำสั่งไปปลุก (wake up) ให้ Tag ทำงาน เมื่อ Tag ได้รับสัญญาณนี้จากเครื่องอ่าน (RFID Reader) ก็จะเริ่มทำการส่งข้อมูล ในการสื่อสารแบบนี้ Tag ส่งข้อมูลเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน (RFID Reader) เท่านั้น

ในการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน (RFID Reader) กับ Tag นั้นจะมีอยู่สองลักษณะคือ การอ่าน และการบันทึกข้อมูล การอ่านสามารถที่จะอ่าน Tag พร้อมกันหลาย Tag ได้ในเวลาเดียวกัน หรือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ การขโมยหรือการเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตเป็นการผิดกฎหมาย การนำเอกสารนี้ไปใช้โดยไม่ได้รับอนุญาตถือว่าผิดกฎหมาย

ที่เรียกว่า Tag collision เมื่อมี Tag มากกว่าหนึ่ง Tag ส่งสัญญาณกลับมาพร้อมกันให้กับเครื่องอ่าน (RFID Reader) เครื่องอ่าน (RFID Reader) จำเป็นต้องมี Protocol เพื่อใช้ในการสื่อสารกับสัญญาณเหล่านั้น เพื่อมิให้เกิดความสับสนในการสื่อสาร Protocol ที่ใช้ในการสื่อสารเรียกว่า Anti-Collision ปัจจุบันมีอยู่สอง Protocol ที่มีการใช้การอย่างแพร่หลาย คือ

- ALOHA สำหรับคลื่นวิทยุ HF
- Tree Walking สำหรับคลื่นวิทยุ UHF

นอกเหนือจากประเด็นที่กล่าวมา การสื่อสารระหว่างเครื่องอ่าน (RFID Reader) กับ Tag ที่ดีควรจะทำให้เกิด ความแม่นยำในการอ่าน (Read Robustness) สูง ความแม่นยำในการอ่าน หมายถึง จำนวนครั้งที่สามารถอ่าน Tag ได้ เมื่อ Tag นั้นอยู่ในบริเวณการอ่าน (Read Zone) ระบบอาร์เอฟไอดีที่ดีจำเป็นต้องได้รับการออกแบบให้สามารถอ่าน Tag ได้ตลอดเวลา ปัจจัยที่มีผลอย่างยิ่งต่อการอ่าน คือ

- ระยะเวลาที่ Tag อยู่ในบริเวณการอ่าน (Read Zone) ยิ่ง Tag อยู่ในบริเวณการอ่านน้อยแค่ไหน ความสามารถในการอ่านก็สั้นลงตามไปด้วย
- จำนวน Tag ที่อยู่ในบริเวณการอ่านก็มีผลต่อ เนื่องจากว่า จำนวน Tag ที่มีมาก ก็มีผลให้สามารถให้ Tag ได้น้อยลง
- ในกรณีของการบันทึกข้อมูลลงใน Tag นั้น การบันทึกข้อมูลจะใช้เวลานานกว่าการอ่าน เพราะว่าการเขียนจะมีกระบวนการทำงานที่มากกว่า ได้แก่ การยืนยัน Tag การลบข้อมูลเดิม การบันทึกข้อมูลใหม่ และการยืนยันอีกครั้ง ยิ่งไปกว่านั้นข้อมูลที่บันทึกลงใน Tag จะมีลักษณะเป็นบล็อก ซึ่งมีผลทำให้การทำงานมีขั้นตอนเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นการบันทึกข้อมูลหนึ่งลงใน Tag จะใช้เวลามากกว่าการอ่านข้อมูล นอกจากนั้นการบันทึกข้อมูลยังต้องการระยะเวลาที่มากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับการอ่าน ระยะเวลาที่มากขึ้นมานั้นเป็นการยืนยันได้ว่า การบันทึกข้อมูลนั้นต้องมีพลังงานมากพอ และในท้ายที่สุด การบันทึกข้อมูลลงใน RFID Tag จำเป็นอย่างยิ่งต้องมี Tag เพียง Tag เดียวอยู่ในบริเวณที่บันทึกข้อมูล มิฉะนั้น การบันทึกข้อมูลอาจจะผิดพลาดได้ เพราะอาจจะบันทึกข้อมูลลงใน Tag ผิด Tag ได้

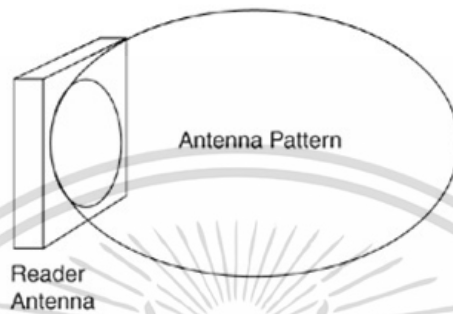
2.5.1 เสาอากาศของเครื่องอ่าน RFID Reader

เครื่องอ่าน (RFID Reader) ติดต่อสื่อสารกับ Tag โดยผ่านทางเสาอากาศของเครื่องอ่าน (RFID Reader) ซึ่งอาจจะเป็นอุปกรณ์ที่แยกออกจากเครื่องอ่าน (RFID Reader) และต่อเชื่อมกับเครื่องอ่าน (RFID Reader) โดยผ่านทางสายเคเบิล หรือเป็นลักษณะที่รวมเข้ากับเครื่องอ่าน เป็นอุปกรณ์เดียวกัน ในกรณีที่เสาอากาศเชื่อมต่อกับเครื่องอ่านโดยสายเคเบิล ระยะห่างจากเครื่องอ่านกับเสาอากาศจะมีจำกัด อยู่แค่ 6 ถึง 25 ฟุต เครื่องอ่านหนึ่งเครื่องอ่านสามารถที่จะต่อเชื่อมกับเสาอากาศได้ถึง 4 เสาอากาศ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

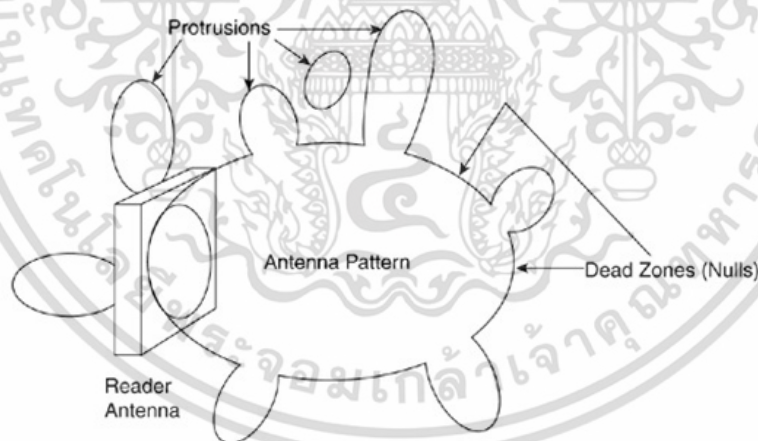
2.5.2 ขอบข่ายของเสาอากาศเครื่องอ่าน (Antenna Footprint)

ขอบข่ายของเสาอากาศจะเป็นตัวกำหนดอาณาเขตการอ่าน (Read Zone) โดยทั่วไป ขอบข่ายของเสาอากาศมีรูปทรงเป็นสามมิติ คล้ายกับลักษณะของบอลูน ที่พุ่งตรงออกจากเสาอากาศ ดังรูปที่ 2.8 บริเวณในส่วนที่พุ่งออกมานั้น จะเป็นบริเวณที่เครื่องอ่านสามารถอ่านได้ดีที่สุด



รูปที่ 2.8 ลักษณะของบอลูน ที่พุ่งตรงออกจากเสาอากาศ

แต่ในความเป็นจริง ขอบข่ายการอ่านนั้นมิได้เป็นรูปแบบที่กล่าวไว้ข้างต้น การอ่านของเครื่องอ่านบ่อยครั้งที่จะมีรูปแบบที่มีได้เป็นมาตรฐานเช่นนั้นทำให้เกิดบริเวณที่เครื่องอ่านไม่สามารถอ่านได้ เรียกว่า Dead Zone ดังเช่นตัวอย่างรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 Dead Zone

ดังนั้น เมื่อ Tag อยู่ในบริเวณที่คลื่นวิทยุของเครื่องอ่านครอบคลุมถึง แต่ Tag มีการเคลื่อนไปสู่บริเวณ Dead Zone Tag ดังกล่าวก็จะไม่สามารถที่จะอ่านได้ จะเห็นได้ว่า ความสามารถในการอ่านในลักษณะนี้จะมีค่าน้อยที่ต่ำ เพราะฉะนั้นในการติดตั้งเสาอากาศของเครื่องอ่าน จำเป็นอย่างยิ่งต้องให้บริเวณการอ่านอยู่ในบริเวณที่อ่านดีที่สุด ถึงแม้ว่าระยะทางระหว่างเครื่องอ่านจะสั้นบ้างเล็กน้อยก็ตาม จากลักษณะที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า จำเป็นอย่างยิ่งที่จะศึกษาถึงขอบเขตการอ่านของเสาอากาศ ก่อนที่จะมีติดตั้งเสาอากาศของเครื่องอ่าน

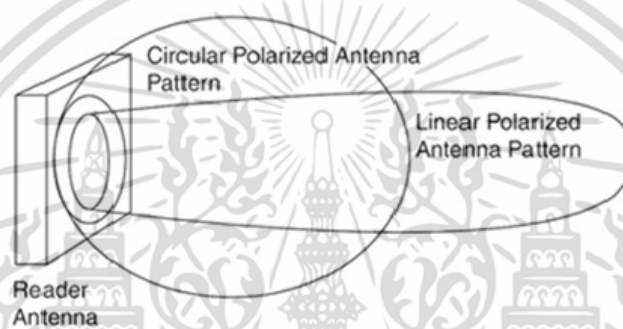
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.3 การตั้งเสาอากาศให้มีแนวทางเดียวกัน (ANTENNA POLARIZATION)

จากที่กล่าวมาข้างต้น เสาอากาศจะส่งคลื่นออกไปในบริเวณรอบ ๆ ทางที่คลื่นวิทยุนี้ส่งออกไปเรียกว่า Antenna Polarization ในการอ่าน Tag ระยะการอ่าน ความแม่นยำในการอ่าน จะขึ้นต่อ Antenna Polarization และมุมในการอ่านของ Tag เป็นอย่างมาก ลักษณะของเสาอากาศสำหรับคลื่น UHF จะมีสองลักษณะคือ

- Linear polarized
- Circular polarized

การอ่านสำหรับเสาอากาศทั้งสองประเภทจะมีลักษณะเหมือนดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 Antenna Polarization

2.5.4 คอนโทรลเลอร์ (Controller)

คอนโทรลเลอร์เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมการติดต่อสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ภายนอกกับเครื่องอ่าน ยกตัวอย่างเช่น การพิมพ์เอกสารผ่านเครื่องพิมพ์ คอมพิวเตอร์จำเป็นต้องมีระบบซอฟต์แวร์ที่ติดตั้งในเครื่องคอมพิวเตอร์ เพื่อการพิมพ์เอกสาร ลักษณะเดียวกัน หากต้องการนำข้อมูลออกจากเครื่องอ่าน คอมพิวเตอร์ก็จำเป็นต้องมีระบบ Controller

2.5.5 ระบบเซ็นเซอร์ (Annunciation หรือ Actuator)

จากที่กล่าวมาในข้างต้น เครื่องอ่านไม่จำเป็นต้องเปิดทำงานตลอดเวลา เครื่องอ่านสามารถที่จะถูกตั้งให้เปิดและปิดทำงานได้ตามที่ต้องการ การที่จะเปิดหรือปิดทำงานนั้น อุปกรณ์ที่เรียกว่า เซ็นเซอร์จะเข้ามามีบทบาทในส่วนนี้ เซ็นเซอร์จะทำหน้าที่เปิดและปิดเครื่องอ่านเมื่อได้รับสัญญาณจากภายนอกสัญญาณที่เข้ามานั้นมีสองลักษณะคือ Annunciation และ Actuator สัญญาณที่เป็น Annunciation จะเป็นสัญญาณที่เป็นระบบอิเล็กทรอนิกส์ เช่น เสียงเตือน สัญญาณไฟ เป็นต้น สำหรับสัญญาณที่เป็น Actuator นั้นเป็นสัญญาณที่เป็นสัญญาณด้านกลไกต่าง ๆ เช่น ประตูเปิดหรือปิด หรือสัญญาณจากระบบ PLC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.6 ระบบ Host และระบบซอฟต์แวร์

ระบบ Host และระบบซอฟต์แวร์จะรวมถึงระบบต่าง ๆ ทั้งฮาร์ดแวร์ และซอฟต์แวร์ ที่แยกออกจากอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ของอาร์เอฟไอดี (เครื่องอ่าน RFID Tag และเสาอากาศ) ระบบส่วนนี้จะประกอบด้วย

- ระบบ Edge interface ส่วนนี้จะเป็นส่วนที่ต่อเชื่อมระบบทั้งหมดเข้ากับฮาร์ดแวร์อาร์เอฟไอดี หน้าที่หลักของส่วนนี้คือ รับข้อมูลจากเครื่องอ่าน ควบคุมการทำงานของเครื่องอ่าน และเชื่อมโยงเครื่องอ่านกับอุปกรณ์ภายนอก หรือการต่อเชื่อมกับอุปกรณ์ภายนอกโดยตรงไม่ต้องผ่านเครื่องอ่าน เช่น เซนเซอร์ ต่าง ๆ ระบบนี้จะใกล้ชิดกับเครื่องอ่านเป็นอย่างมาก นอกเหนือจากหน้าที่ที่กล่าวมาข้างต้นแล้ว ระบบนี้อาจมีหน้าที่เพิ่มเติมอีกด้วย ได้แก่

- กรองข้อมูลสำหรับการอ่านซ้ำจากเครื่องอ่านหลายเครื่อง
- จัดให้มีการตั้งระบบอัตโนมัติเมื่อได้รับข้อมูลจากเซนเซอร์ภายนอก
- จัดระบบงานที่ซับซ้อนเช่น การรวบรวม หรือการเลือกส่งข้อมูลจาก tag ไปสู่ระบบ

ทั้งหลาย

- การบริหารจัดการเครื่องอ่าน

- ระบบ Middleware ระบบ Middleware เป็นระบบที่ต่อเชื่อมระหว่าง Edge interface และ ระบบซอฟต์แวร์ Back-end interface. หน้าที่ของระบบ Middleware จะประกอบด้วย

- การจัดแบ่งข้อมูลระหว่างภายในและภายนอกระบบ
- การบริหารข้อมูลของระบบอาร์เอฟไอดีอย่างมีประสิทธิภาพ
- ทำหน้าที่ในการกลั่นกรองข้อมูลเพื่อนำไปปฏิบัติการ
- จัดการระบบเพื่อให้สามารถใช้งานได้กับระบบซอฟต์แวร์ในการใช้งาน
- ระบบการต่อเชื่อมกับซอฟต์แวร์ Enterprise back-end เป็นส่วนที่ใช้สำหรับการ

เชื่อมต่อกับระบบ middleware กับซอฟต์แวร์ enterprise back-end. ส่วนนี้เป็นส่วนสำคัญในการปรับระบบเชื่อมกับกระบวนการจัดการ (Business process) สาเหตุที่ไม่สามารถเชื่อมต่อ Middle ware กับซอฟต์แวร์สำเร็จรูปได้ เนื่องจาก ระบบ middleware ส่วนใหญ่เป็นซอฟต์แวร์ที่สำเร็จรูป ดังนั้นการนำไปใช้งานจึงหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนแก้ไข เพื่อที่จะให้การเชื่อมต่อข้อมูลระหว่างระบบ Middleware กับซอฟต์แวร์ enterprise back end เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ในปัจจุบันมีระบบซอฟต์แวร์ในการปฏิบัติการจำนวนมากที่มีการพัฒนาระบบเชื่อมต่อนี้ไว้ในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น

- ระบบซอฟต์แวร์ Enterprise Back End ประกอบด้วยระบบซอฟต์แวร์ที่ใช้ในการปฏิบัติการทั้งหมด ซึ่งส่วนนี้จะเป็นส่วนที่เก็บข้อมูล และกระบวนการในการปฏิบัติงานทั้งหมด ในแง่ของระบบอาร์เอฟไอดี ระบบซอฟต์แวร์ส่วนนี้ จะเป็นส่วนที่ฐานข้อมูลสำหรับ Tag แต่ละ Tag ที่ระบบ Middleware ได้รับข้อมูล และเพื่อปฏิบัติการต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.5.7 ระบบโครงสร้างการติดต่อสื่อสาร

ระบบนี้จะเป็นส่วนที่ใช้ในการต่อเชื่อมองค์ประกอบต่าง ๆ ของระบบอาร์เอฟไอดีเข้าด้วยกัน ซึ่งการเชื่อมต่ออาจจะเป็นระบบสายหรือไร้สายก็ได้ ในแง่ของระบบสายอาจจะเป็นการเชื่อมต่อด้วย Serial ระหว่างเครื่องอ่าน และคอมพิวเตอร์ ในกรณีของการเชื่อมต่อด้วยระบบไร้สาย อาจจะเป็นระบบง่าย ๆ เช่นระบบ Bluetooth หรือ ระบบไร้สายอย่างกว้างขึ้นเช่น ระบบ WAN หรือระบบดาวเทียม เป็นต้น

ระบบอาร์เอฟไอดีประกอบด้วยส่วนต่าง ๆ หลายส่วน โดยเริ่มตั้งแต่อุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีโดยเฉพาะ ได้แก่ อาร์เอฟไอดี Tag และเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี แต่องค์ประกอบสองส่วนนี้มิได้ทำให้ระบบอาร์เอฟไอดีสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการนำไปใช้จำเป็นต้องมีอุปกรณ์ ได้แก่ อุปกรณ์ด้าน Network ต่าง ๆ รวมถึงระบบซอฟต์แวร์ต่าง ๆ เช่น Middle ware ERP software เป็นต้น ในการนำระบบทั้งหมดสามารถใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำให้อุปกรณ์ต่าง ๆ สอดคล้องกันอย่างดี

2.6 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID

ในการประยุกต์ใช้เทคโนโลยี RFID สำหรับห้องสมุดมีมาตรฐานที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. มาตรฐาน ISO/IEC

ISO หรือ International Organization for Standardization เป็นองค์กรระหว่างประเทศที่ว่าด้วยการ มาตรฐานก่อตั้งเมื่อปี 1946 ตั้งอยู่ ณ กรุงเจนีวา ประเทศสวิสเซอร์แลนด์ เกิดจากการรวมตัวระหว่างองค์กร อุตสาหกรรมนานาชาติเพื่อพัฒนามาตรฐานอุตสาหกรรมให้เป็นระบบ มาตรฐานสากล (วัชรกร หนูทอง และ อนุกุล น้อยไม้, 2556) สำหรับมาตรฐาน ISO/IEC ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี RFID มีดังนี้ 1.1 มาตรฐาน ISO 15693 – Vicinity Card ประกาศใช้ครั้งแรกเมื่อปี 2000 (Butters, 2008a) เป็น มาตรฐานในการใช้งานบัตรสมาร์ทการ์ดในระยะไกลประมาณ 1 เมตร ในคลื่นวิทยุย่านความถี่ 13.56 MHz ลักษณะการส่งข้อมูลของบัตร กำลังของเครื่องอ่าน รวมถึงการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-Collision) มี รูปแบบเป็น Memory Card เพียงอย่างเดียว และใช้ติดในหนังสือต่างๆในห้องสมุดซึ่ง Butters (2008a) ได้กล่าวว่า ห้องสมุดนำมาตรฐานนี้มาปรับใช้ในเรื่อง ระยะห่างของการอ่าน สัญญาณระหว่างแท็ก RFID ใน Smart card และอุปกรณ์อ่านสัญญาณ ซึ่งกำหนด ระยะ ไว้ที่ 70 ซม. ซึ่งเป็นระยะการรับข้อมูลของคลื่นวิทยุแบบ HF 1.2 มาตรฐาน ISO 18000 เริ่มมีการ ประกาศใช้ในปี 2004 (Butters, 2008a) เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับ การกำหนดใช้เทคโนโลยี RFID ในการ จัดการสิ่งของต่างๆและการเชื่อมต่อผ่านทางคลื่นวิทยุ แบ่งออกเป็นสามย่อยดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. มาตรฐาน EPCglobal EPCglobal

เป็นการดำเนินงานร่วมกันของ EAN International ในทวีปยุโรป Uniform Code Council (UCC) และ Auto ID Center ในสหรัฐอเมริกา เป็นมาตรฐานที่ถูกกำหนดมาเพื่อใช้ในการกำหนดรหัสสินค้าต่างๆ โดยใช้ระบบอิเล็กทรอนิกส์ (วีซรากร หนูทอง และ อนุกุล น้อยไม้, 2556) สำหรับมาตรฐาน EPC global Class1 Generation2 เป็นมาตรฐานเกี่ยวกับข้อกำหนดเชิงกายภาพ และเชิงระบบสำหรับการใช้งานแท็ก และอุปกรณ์อ่าน สัญญาณ (RFID Gen 2 Reader) ในระบบ RFID ที่อยู่ในช่วงความถี่ 860 MHz-960 MHz โดยมีเนื้อหาครอบคลุม ถึงการปฏิสัมพันธ์ระหว่างอุปกรณ์อ่าน สัญญาณ และแท็ก มาตรฐานทางด้านรูปแบบและการควบคุมการทำงานของ อุปกรณ์ในระบบ RFID รวมถึงข้อกำหนดที่เกี่ยวกับคลื่นวิทยุในการระบุข้อมูลของแท็ก เมื่ออยู่ในสภาพแวดล้อมที่มี แท็กจำนวนมาก (EPC global Inc., 2008)

3. มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องโทรคมนาคมและอุปกรณ์ เรื่องเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท Radio Frequency Identification : RFID

เป็นมาตรฐานที่ระบุลักษณะขั้นต่ำทางเทคนิคของคลื่นวิทยุย่านความถี่ 13.533-13.567 MHz 433.05- 434.79 MHz และ 920-925 MHz หรือย่านความถี่วิทยุอื่นในประเทศไทย ตามที่คณะกรรมการกิจการ โทรคมนาคมแห่งชาติประกาศกำหนดไว้เมื่อวันที่ 28 ธันวาคม 2549 (ราชกิจจานุเบกษา, 2550) ดังนี้

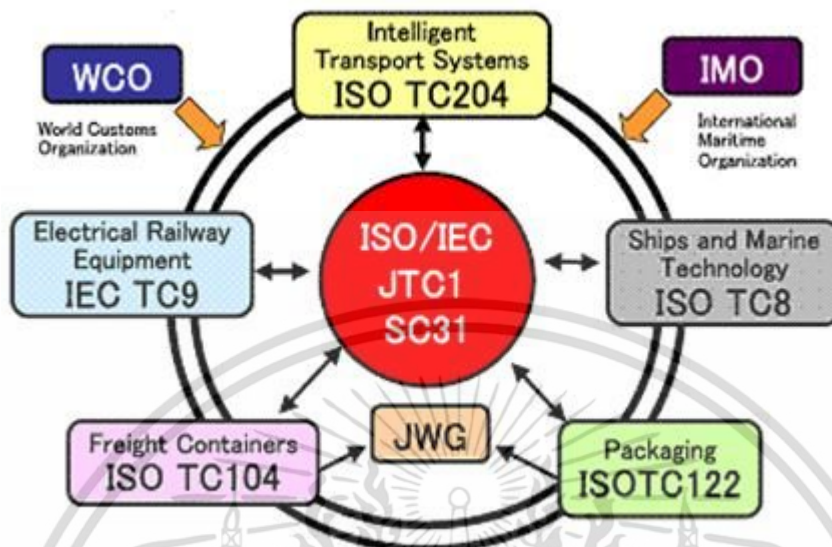
3.1 มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 13.553- 13.567 MHz มีการกำหนดกำลังส่งสูงสุดไว้ 2 ค่าคือ กำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 10 mW (e.i.r.p) ได้รับยกเว้นใบอนุญาต วิทยุคมนาคม และกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 1W (e.i.r.p.) ต้องได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง ในส่วนลักษณะ ทางเทคนิคภาคส่ง และภาครับ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ETSI EN 300 330-1 หรือ ETSI EN 302 291-1 หรือ FCC Part 15.225 อย่างใดอย่างหนึ่ง

3.2 มาตรฐานทางเทคนิคของเครื่องวิทยุคมนาคมประเภท RFID ชนิดอ่าน/เขียน (Interrogator/Reader) ที่ใช้งานในย่านความถี่วิทยุ 920-925 MHz มีการกำหนดกำลังส่งสูงสุดไว้ 2 ค่าคือ กำลัง ส่งสูงสุดไม่เกิน 0.5 W (e.i.r.p) ได้รับยกเว้นใบอนุญาตวิทยุคมนาคม และกำลังส่งสูงสุดไม่เกิน 4 W (e.i.r.p) ต้อง ได้รับใบอนุญาตวิทยุคมนาคมที่เกี่ยวข้อง ในส่วนลักษณะทางเทคนิคภาคส่ง และภาครับ ให้เป็นไปตามมาตรฐาน FCC Part 15.247 หรือ ETSI EN 302 208-1 (บังคับใช้โดยอนุโลม) อย่างใดอย่างหนึ่ง

4. Standard Interchange Protocol (SIP) เป็นมาตรฐานทางการติดต่อสื่อสารข้อมูลระหว่างระบบ พัฒนาและกำหนดเป็นมาตรฐานขึ้นโดย 3M (Implement The Standard Interchange Protocol 2.0 As An Authentication Schema, 2013) ในช่วงแรกจัดทำขึ้นเพื่อใช้สนับสนุนการสื่อสารระหว่างระบบอัตโนมัติ (Automated Circulation System: ACS) ของห้องสมุดและระบบการยืมอัตโนมัติของ 3M ต่อมาจึงมีการปรับใช้ กับอุปกรณ์และบริการอัตโนมัติอื่นๆของห้องสมุด ปัจจุบัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มาตรฐานนี้ได้มีการปรับปรุงและเรียกว่า Standard Interchange Protocol version 2.00 หรือ SIP2 (3M, 2006)



รูปที่ 2.11 โครงสร้างมาตรฐาน RFID ระดับสากล

2.7 จุดเด่นและข้อจำกัดของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

เมื่อมีการกล่าวถึงเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี ย่อมหลีกเลี่ยงไม่ได้ที่จะกล่าวถึงเทคโนโลยีบาร์โค้ด ซึ่งเป็นหนึ่งในเทคโนโลยีที่ใช้ในการระบุสิ่งต่าง ๆ อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีทั้งสองต่างก็มีจุดเด่นของตนเอง ในกรณีของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีนั้น จุดเด่นของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี สามารถที่จะแบ่งได้เป็นประเด็นต่าง ๆ ต่อไปนี้

1. การไม่ต้องสัมผัส (CONTACTLESS)

ลักษณะพื้นฐานอันหนึ่งของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี คือการ ที่ Tag ไม่จำเป็นต้องสัมผัสกับเครื่องอ่าน ก็สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ ด้วยจุดเด่นนี้ ทำให้เทคโนโลยีนี้มีข้อได้เปรียบหลายประการ ได้แก่

- เครื่องอ่านไม่มีการสึกหรอ เนื่องจากไม่มีการสัมผัสระหว่างระหว่าง Tag กับเครื่องอ่าน ดังนั้นการสึกหรอของอุปกรณ์ซึ่งโดยปกติจะเกิดขึ้นจากการสัมผัสจะไม่เกิดขึ้น

- ความเร็วในการทำงานไม่ลดลง ในการทำงานปัจจุบันจะเห็นได้ว่า หากใช้เทคโนโลยีที่ต้องมีการสัมผัส บ่อยครั้งที่ทำให้กระบวนการทำงานช้าลง ตัวอย่างเช่น การทำงานบนสายพาน ซึ่งอุปกรณ์ หรือสินค้ามีการเคลื่อนไหวอยู่ตลอดเวลา การอ่านหรือบันทึกข้อมูลโดยการสัมผัสไม่สามารถที่จะเป็นไปได้

- ความสามารถในการอ่าน Tag พร้อมกันหลาย Tag ในเวลาเดียวกัน ทำให้การทำงานในลักษณะที่เป็นอัตโนมัติสามารถที่จะปฏิบัติได้ง่าย ในทางตรงกันข้ามหากใช้เทคโนโลยีแบบสัมผัส

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการอ่านและบันทึกข้อมูล การที่จะต้องอ่านข้อมูลจาก Tag หลาย Tag พร้อมกันไม่สามารถที่จะเป็นไปได้

2. ความสามารถในการบันทึกข้อมูล (WRITABLE)

ในปัจจุบัน RFID Tag ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้มากถึง 100,000 ครั้งหรือมากกว่า Tag ประเภทนี้มีการใช้งานที่เฉพาะเจาะจงของตัวเอง เช่น การใช้งานในสภาพแวดล้อมที่ไม่สามารถเรียกข้อมูลจากฐานข้อมูลได้ ได้แก่ ระบบบัตรอาหาร ในบางกรณีจะเลือกใช้การบันทึกข้อมูลแทนที่จะใช้ระบบเดินสาย ทุกครั้งที่น่าบัตรอาร์เอฟไอดี ไปซื้ออาหาร มูลค่าล่าสุดที่เหลืออยู่ก็จะถูกบันทึกลงไป ในบัตร อย่างไรก็ตาม ในการใช้งานที่ใช้วิธีการบันทึกข้อมูลลงไป ในบัตรก็มีข้อจำกัดอยู่ในหลายประเด็น ได้แก่

- ความคุ้มทุนในการนำ Tag กลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากการนำกลับมาใช้ใหม่ จำเป็นต้องเกี่ยวข้องกับกระบวนการเพิ่มเติมขึ้นมา นั่นคือ การนำ Tag กลับมาใช้ใหม่ ในการจัดเก็บ Tag เหล่านี้เพื่อนำกลับมาใช้ใหม่ อาจจะต้องใช้กำลังคนมาก ซึ่งอาจจะทำให้ไม่คุ้มทุน
- ความปลอดภัย จำเป็นอย่างยิ่งที่ต้องมีระบบมาควบคุมการบันทึกข้อมูลลงไป ใน Tag เพื่อที่จะเป็นการป้องกันว่า ไม่ได้มีการลักลอบการเขียนข้อมูลใหม่ทับลงไป โดยเฉพาะการนำมาใช้ในลักษณะ E Payment นอกเหนือจากนั้นทางบริษัทยังจำเป็นต้องมีระบบการควบคุมเพื่อป้องกันไม่ให้ Tag ที่มีข้อมูลสำคัญ ถูกส่งออกไปนอกหน่วยงานของตน
- การทำงานที่ใช้เวลามากขึ้น การบันทึกข้อมูลลงใน Tag จะใช้เวลามากกว่าการอ่านข้อมูล ดังนั้นเมื่อการทำงานจำเป็นต้องบันทึกข้อมูลลงไป ใน Tag การทำงานต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้นกว่าการทำงานที่อาศัยการอ่านเพียงอย่างเดียว

แต่อย่างไรก็ตาม ในการทำงานบางครั้งก็จำเป็นต้องใช้ความสามารถในการบันทึกข้อมูล ตัวอย่างเช่น การตรวจสอบคุณภาพในกระบวนการบรรจุลงไปในขวด ในขั้นแรกขวดเหล่านั้นจะติด RFID Tag ที่สามารถบันทึกข้อมูลได้ ก่อนที่จะนำขวดเหล่านี้มาใช้งาน ขวดเหล่านี้ ก็จะต้องทำการทำความสะอาดก่อน ในการทำความสะอาด ขวดดังกล่าวก็จะทำการล้างด้วยน้ำร้อน ต่อจากนั้นผ่านกระบวนการฆ่าเชื้อ และทำให้แห้ง นอกจากนั้นยังจะต้องผ่านกระบวนการต่าง ๆ ก่อนที่จะนำขวดดังกล่าวไปบรรจุยา จากกระบวนการข้างต้นที่ระบุมา ดังนั้นทุกขั้นตอนที่ขวดเหล่านี้มาใช้บรรจุยา จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องทำการบันทึกข้อมูลลงไป ใน RFID Tag เพื่อเป็นการควบคุมกระบวนการทำงานว่า ขวดหรือบรรจุภัณฑ์ดังกล่าวได้ผ่านกระบวนการทำความสะอาดครบทุกขั้นตอน

3. ความสามารถในการอ่านโดยไม่ต้องเห็น TAG

ความสามารถนี้เป็นจุดเด่นที่สำคัญของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถที่จะอ่าน RFID Tag ได้ถึงแม้ว่า Tag จะติดอยู่ภายในตัวสินค้า (หากสินค้าไม่ประกอบด้วยวัสดุที่ดูดซับคลื่นวิทยุ) ตัวอย่างเช่น หาก RFID Tag อยู่ในกล่องกระดาษ เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถที่จะอ่านทะลุกล่องเข้าไปได้ ด้วยความสามารถนี้ ทำให้ การตรวจสอบสินค้าทำได้ง่ายและรวดเร็วมากขึ้น เนื่องจากไม่จำเป็นต้องเปิดกล่องสินค้า จากความสามารถประการนี้ ทำให้มีการกังวลว่า ความลับเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนบุคคล ในกรณีที่บุคคลนั้น มี RFID Tag อยู่ในตัว และถูกอ่านโดยเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีแบบไม่รู้ตัว อย่างไรก็ตามจากการที่กล่าวในขั้นต้น การที่จะอ่าน RFID Tag มีข้อจำกัดมีทางด้านเทคโนโลยีอยู่หลายประการ ตัวอย่างเช่น การอ่านบางครั้งเครื่องอ่านจำเป็นต้องเห็น RFID Tag หรือ RFID Tag ต้องอยู่ในมุมที่เครื่องอ่านสามารถอ่านได้ สภาพแวดล้อมที่นำ RFID Tag เหมาะสมต่อการใช้งาน ไม่อยู่บนพื้นผิวที่ดูดซับคลื่นวิทยุ เช่น โลหะ จากข้อจำกัดที่กล่าวมาข้างต้น ดังนั้น ข้อกังวลที่ว่า จะถูกอ่านโดยไม่รู้ตัวนั้น จึงเป็นไปได้ยาก นอกจากนี้ ในปัจจุบัน มีการพัฒนาเครื่องอ่านที่จะส่งคำสั่งลง ไปเพื่อให้ RFID Tag นั้นไม่สามารถที่จะใช้งานได้อีก เรียกว่า Kill Command เมื่อ RFID Tag ถูกอ่านโดยเครื่องอ่านประเภทนี้ RFID Tag เหล่านั้นจะไม่สามารถนำกลับมาใช้ได้อีก วิธีการนี้เป็นอีกหนึ่งวิธีที่จะแก้ปัญหาเรื่องความลับส่วนบุคคล

4. ความหลากหลายในระยการอ่าน

จากที่กล่าวมาข้างต้น เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีความถี่อยู่หลายช่วง และแต่ละช่วงความถี่ก็มีระยการอ่านที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น คลื่นความถี่ต่ำ (LF) สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ในระยไม่กี่เซนติเมตร ในขณะที่คลื่นความถี่สูง (HF) สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ในระย 3 ฟุต หากกล่าวถึงคลื่น UHF ระยการอ่านก็ยิ่งไกลมากขึ้น คือ สามารถที่จะส่งข้อมูลได้ไกลถึง 300 ฟุต ยิ่งไปกว่านั้นหากกล่าวถึง Active Tag ระยการอ่านยิ่งไกลไปกว่านั้น จากการที่เทคโนโลยีนี้มีระยการอ่านที่หลากหลาย ทำให้สามารถนำไปใช้ได้หลากหลาย ตัวอย่างเช่น คลื่นความถี่ LF เหมาะสำหรับการใช้งานในลักษณะการระบุบุคคล (Personnel identification) หรือในกิจกรรมปศุสัตว์ หากเป็นคลื่นความถี่ HF ก็จะมีการนำมาใช้ในด้านชำระเงินอัตโนมัติ (Electronic payment) หรือลักษณะ Smart Shelf ถ้าเป็นคลื่นความถี่ UHF ก็นำมาใช้งานในลักษณะการบริหารคลังสินค้า เป็นต้น

5. ความสามารถในการบรรจุข้อมูลที่หลากหลาย

โดยปกติ Passive Tag สามารถที่จะบันทึกข้อมูลได้จำนวนหนึ่ง ซึ่งเริ่มจากไม่กี่ตัวอักษรจนถึงจำนวนหลายพันตัวอักษร อย่างไรก็ตามในปัจจุบัน มี Passive Tag บางประเภทสามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่านั้น เช่น Passive Tag ของ Maxell สามารถที่จะบันทึกข้อมูลได้มากถึง 4K bytes เมื่อกล่าวถึงระบบการจัดการบรรจุข้อมูล ในทางปฏิบัตินี้มีสองลักษณะคือ

1. ลักษณะแรกคือการบันทึกข้อมูลเฉพาะรหัสไว้ใน RFID Tag ซึ่งรหัสนี้จะมีหน้าที่เฉพาะการชี้เฉพาะสำหรับวัสดุที่ติด Tag นั้นติดอยู่
2. ลักษณะที่สองคือการบันทึกทั้งรหัส และข้อมูลอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องของวัสดุนั้น ๆ ลงไปใน RFID Tag

วิธีการจัดสรรระบบความจำของ RFID Tag แต่ละประเภทจะเหมาะสมกับการทำงานที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การจัดการแบบสองที่เลือกบันทึกข้อมูลบางส่วนไว้ใน Tag จะเป็นประโยชน์เมื่อโครงสร้างการทำงานทั้งระบบนั้นมิได้เป็นระบบ On line ทั้งหมด ทำให้การใช้งานในบางส่วนนั้น ไม่สามารถที่จะเข้าถึงฐานข้อมูลได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องบันทึกข้อมูลบางส่วนไว้ใน RFID Tag ในทางตรงกันข้าม เช่น การใช้งานในระบบ E-payment ในบางกรณี หากโครงสร้างของระบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครือข่าย สามารถที่จะเข้าถึงกันได้อย่างทั่วถึง การเชื่อมโยงข้อมูลโดยการอาศัยรหัสของ Tag ก็มีความเหมาะสมมากกว่า นอกเหนือความแตกต่างกันในแง่ของการใช้งานแล้ว ข้อดีและข้อด้อยของระบบการจัดการหน่วยความจำในแต่ละประเภทก็แตกต่างกัน ในกรณีที่จะบันทึกข้อมูลลงใน RFID Tag นั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการป้องกันมิให้มีการบันทึกอื่น ๆ ทับลงไปบนข้อมูลเดิมที่บันทึกไว้ก่อนหน้านี้ ซึ่งอาจจะเป็นการบันทึกซ้ำโดยมิได้ตั้งใจก็ได้

6. ความสามารถในการอ่าน RFID Tag ได้พร้อมกัน

จุดเด่นประการหนึ่งของอาร์เอฟไอดี คือ ความสามารถที่จะอ่าน Tag ได้มากกว่าหนึ่ง Tag ในเวลาเดียวกัน เมื่อมี RFID Tag มากกว่าหนึ่ง Tag เข้ามาอยู่ในบริเวณที่เครื่องอ่านอ่านข้อมูลได้ ตัวอย่างเช่น ในการชำระเงินค่าซื้อสินค้าต่าง ๆ ในซูเปอร์มาร์เก็ตยังจำเป็นต้องอ่านบาร์โค้ดที่ละรายการ หากมีการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมาใช้ การชำระเงินในลักษณะในการซื้อในลักษณะนี้จะหายไป เพียงแค่นำสินค้าที่มี RFID Tag เข้ามาอยู่ในบริเวณที่เครื่องอ่านอ่านข้อมูลได้ รายการสินค้าทั้งหมดก็จะปรากฏขึ้นมาทันที นอกเหนือจากการนำมาใช้ในการชำระเงิน หากนำความสามารถนี้มาใช้ในการนำสินค้าเข้าหรือออกโกดัง จะทำให้การตรวจรับสินค้าเข้าและออกโกดังได้รวดเร็วมากขึ้น ไม่จำเป็นต้องนำเครื่องอ่านบาร์โค้ดมาอ่านสินค้าทีละกล่อง

7. ความทนทาน

โดยปกติแล้ว RFID Tag จะมีความทนทานต่อความชื้น และความร้อนมากกว่าบาร์โค้ด จึงมีการนำ RFID Tag มาใช้งานแทนบาร์โค้ดในงานบางส่วน ตัวอย่างเช่น การใช้ในห้องเย็น เป็นต้น นอกจากนั้น Passive tag บางประเภทยังสามารถที่จะทนต่อสารเคมี และอุณหภูมิสูงได้อีกด้วย จากจุดเด่นที่กล่าวมาข้างต้น ทำให้ Passive tag สามารถทำงานได้หลากหลายมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีที่บาร์โค้ดไม่สามารถทำงานได้ เช่น การนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ในห้องอบสัรยยนต์ เป็นต้น

8. ความสามารถในการทำงานที่ซับซ้อนมากขึ้น

คุณสมบัตินี้จะเป็นจุดเด่นที่สำคัญของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Active Tag เนื่องจากว่า Tag ประเภทนี้มีระบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ และแบตเตอรี่ในตัว ทำให้ Tag ประเภทนี้สามารถที่จะทำงานที่ซับซ้อนได้มากขึ้น ตัวอย่างเช่น การบันทึกความเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิได้ จึงมีการนำ Tag ประเภทนี้มาใช้ในการขนส่งอาหาร เพื่อดูว่า อุณหภูมิระหว่างการขนส่งมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่ หากมีการเปลี่ยนแปลงย่อมมีผลต่อคุณภาพของอาหารระหว่างการขนส่ง หรือการนำ Tag ประเภทนี้ไปติดกับสินค้าราคาแพง หากมีใครต้องการขโมย และทำการถอด Tag นั้นออก Tag ดังกล่าวสามารถที่จะส่งข้อมูลไปเตือนที่ระบบส่วนกลางได้ อีกตัวอย่างที่มีการใช้งานกันอยู่ คือการนำ Active Tag มาพัฒนาเป็น Electronic Seal เพื่อใช้ในการขนส่ง เพื่อป้องกันการโจรกรรมตู้คอนเทนเนอร์ระหว่างการขนส่ง หากมีการแอบเปิดตู้คอนเทนเนอร์ระหว่างการขนส่ง ก็จะมีการบันทึกเวลาที่มีการแอบเปิดไว้ในระบบ ทำให้ทราบว่า ระหว่างขนส่งนั้นมีการแอบเปิดตู้คอนเทนเนอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เวลาใด จากคุณสมบัติเหล่านี้จะเห็นได้ว่า บาร์โค้ดไม่สามารถที่จะทำงานได้ เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจึงเข้ามาแก้ปัญหาเป็นอย่างมาก ในการทำงานที่ซับซ้อนเหล่านี้ ที่เทคโนโลยีบาร์โค้ดไม่สามารถที่จะทำได้

9. ความแม่นยำในการอ่าน

เมื่อเทียบกับเทคโนโลยีอื่น เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจัดได้ว่า เป็นเทคโนโลยีที่สามารถอ่านข้อมูลได้แม่นยำที่สุด ซึ่งอาจจะไม่สามารถอ่านได้ถึง 100% เหมือนเช่น ที่มีการคาดการณ์ไว้อย่างแพร่หลาย ปัจจัยที่มีผลต่อการอ่านได้แก่

- ประเภทของ Tag ลักษณะของคลื่นวิทยุที่ใช้ และขนาดของเสาอากาศมีผลต่อการอ่านทั้งสิ้น
- การติด Tag ตำแหน่งที่ติด Tag และวัสดุที่นำ Tag ไปติดนั้น มีผลต่อความแม่นยำในการอ่านทั้งสิ้น
- สภาพแวดล้อมในการทำงาน ในการทำงานสภาพแวดล้อมที่มีอุปกรณ์ที่มีผลต่อคลื่นวิทยุ ย่อมมีผลในการอ่านทั้งสิ้น เช่นหากนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีความชื้นสูง ย่อมมีผลการอ่าน ซึ่งจะมีผลมากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม หากใช้คลื่นความถี่สูง เช่น UHF ย่อมมีผลมาก

2.8 ข้อจำกัดของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี

ถึงแม้ว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะมีจุดเด่นหลายประการตามที่กล่าวข้างต้น อย่างไรก็ตาม การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ก็มีข้อจำกัดอยู่หลายประการ เนื่องจากว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีใช้คลื่นวิทยุในการสื่อสาร ดังนั้นในการนำมาใช้งานย่อมมีข้อจำกัดต่าง ๆ ตามลักษณะเฉพาะของคลื่นวิทยุ ซึ่งสามารถแยกพิจารณาเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ด้าน Tag

- วัสดุที่นำอาร์เอฟไอดี Tag ไปใช้งาน วัสดุต่างชนิดกันย่อมมีผลต่อการนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ต่างกัน หากระบบอาร์เอฟไอดีนั้นใช้คลื่น UHF หรือ Microwave และนำไปใช้กับวัสดุที่มีลักษณะดูดซับ หรือสะท้อนคลื่นวิทยุ เช่น น้ำ หรือวัสดุที่เป็นโลหะ จะมีผลให้ความสามารถในการอ่านย้อมลดลงอย่างแน่นอน

- จำนวนของ Tag ในการอ่านแต่ละครั้ง ถึงแม้ว่า เทคโนโลยีนี้สามารถที่จะอ่าน Tag มากกว่าหนึ่ง Tag ในขณะเดียวกัน แต่ถึงอย่างไรก็ตาม การอ่าน Tag ในลักษณะนี้ก็มีข้อจำกัดในแง่ของจำนวน โดยเฉลี่ยแล้วเครื่องอ่านสามารถอ่าน Tag ได้พร้อมกัน 50 Tags ในเวลาเดียวกัน

2. ด้านเครื่องอ่าน

- ระบบอาร์เอฟไอดีที่ออกแบบขึ้นมา นั้น ในหลายกรณีที่ต้องใช้เครื่องอ่านมากกว่าหนึ่งตัว ในการติดตั้งเครื่องอ่านมากกว่าหนึ่งเครื่องนั้น ประเด็นที่จำเป็นต้องคำนึงถึงมาก เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่สุด การรบกวนกันของเครื่องอ่านทั้งหลายหากออกแบบไม่ถูกต้องมีความเป็นไปได้อย่างมากที่เครื่องอ่านทั้งสองตัวอาจจะรบกวนกันเอง หรืออาจเกิดสถานการณ์ที่ Tag ถูกอ่านมากกว่าหนึ่งเครื่องทำให้ข้อมูลส่งเข้าสู่ระบบไม่ถูกต้อง

- ข้อจำกัดด้านกำลังส่ง เป็นที่ทราบกันว่า ความสามารถในการอ่านของเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีมีความสัมพันธ์กับกำลังส่งอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อย่างไรก็ตามแต่ละประเทศมีการกำหนดกำลังส่งของเครื่องอ่านที่แตกต่างกัน ดังนั้นเมื่อนำเครื่องอ่านไปใช้ในประเทศอื่นย่อมให้ผลการอ่านที่แตกต่างกัน

3. ด้านสภาพแวดล้อม

เป็นที่ทราบกันดีว่าเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีอ่อนไหวต่อโลหะ และของเหลว หากนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้งานในสภาพแวดล้อมเหล่านี้ ย่อมมีผลกระทบต่อความสามารถในการอ่านอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ อาจมีผลทำให้ความสามารถในการอ่านลดต่ำลง หากจำเป็นต้องนำเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีไปใช้ในสภาพเช่นนี้ ระยะห่างระหว่างเครื่องอ่านและอาร์เอฟไอดี Tag อาจจะต้องสั้นกว่าที่ควรจะเป็น นอกเหนือจากสภาพแวดล้อมในการใช้งานแล้ว การนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีคนอยู่มาก ก็มีผลต่อการอ่านเช่นกัน เนื่องจากว่าร่างกายของคนประกอบด้วยของเหลว ซึ่งมีผลต่อการอ่านอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้

จากที่กล่าวมาข้างต้นจะเห็นได้ว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีประโยชน์อย่างมากมาย ขณะเดียวกันก็มีข้อจำกัดในหลายประเด็นด้วยเช่นกัน ดังนั้นการนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้จำเป็นต้องอย่างยิ่งที่จะมีการออกแบบอย่างถูกต้อง เพื่อให้สามารถนำเทคโนโลยีนี้มาใช้ได้อย่างเต็มที่

2.9 เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและบาร์โค้ด

ในปัจจุบันมีการกล่าวกันอย่างแพร่หลายว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะมาแทนที่บาร์โค้ดในอนาคตอันใกล้ เนื่องจากว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีจุดดีกว่าบาร์โค้ดอยู่หลายประการ แต่อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีบาร์โค้ดก็มีจุดดีอยู่มากมายที่อาร์เอฟไอดีไม่สามารถที่จะทำได้ ดังนั้นความคิดว่าอาร์เอฟไอดีจะมาแทนที่บาร์โค้ด จึงเป็นไปได้ยาก บทนี้จะอธิบายให้เห็นถึงจุดดีและจุดเสียของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี และบาร์โค้ด เพื่อชี้ให้เห็นว่า เทคโนโลยีทั้งสองต่างมีจุดดีของตนเอง และความเหมาะสมในการใช้งานแต่ละประเภท แตกต่างกัน บาร์โค้ดคือ การพิมพ์สัญลักษณ์เพื่อแสดงถึงข้อความต่าง ๆ โดยปกติการพิมพ์จะพิมพ์สัญลักษณ์เป็นเส้นตรง สีเหลี่ยมจัตุรัส หรือจุด โดยระยะห่างของแต่ละจุดจะมีความหมายอย่างใดอย่างหนึ่ง เทคนิคในการแปลสัญลักษณ์เหล่านี้เป็นข้อความต่าง ๆ เรียกว่า Symbology ซึ่งจะมีลักษณะหลัก ๆ ดังต่อไปนี้

- การถอดรหัส เทคนิคที่ดีจำเป็นต้องสามารถถอดรหัสได้อย่างมีประสิทธิภาพ และไม่มีข้อผิดพลาดในการถอดรหัส

- ความเข้มของตัวอักษร ถ้าตัวอักษรแต่ละตัวมีความเข้มมาก ก็สามารถที่จะแสดงถึงข้อมูลต่าง ๆ ได้มากขึ้นตามไปด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ความสามารถในการตรวจสอบข้อผิดพลาด ระบบ Symbology ที่ดีจะต้องสามารถที่จะตรวจสอบความถูกต้อง เพื่อเป็นการยืนยันว่า ข้อมูลที่อ่านขึ้นมาั้นมีความถูกต้องแม่นยำ

2.9.1 กระบวนการอ่านบาร์โค้ด

อุปกรณ์ที่ใช้ในการอ่านบาร์โค้ดเรียกว่า เครื่องอ่านบาร์โค้ด (Bar Code Scanner) เครื่องอ่านบาร์โค้ดอาศัยคลื่นแสงโดยการส่งคลื่นแสงไปยังแถบบาร์โค้ด ในระหว่างการอ่านแถบบาร์โค้ด คลื่นแสงไม่สามารถที่จะเคลื่อนย้ายออกจากแถบบาร์โค้ดได้ ดังนั้นเมื่อมีการเพิ่มความยาวของบาร์โค้ด ขนาดความสูงของเครื่องอ่านบาร์โค้ดก็จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นตามไปด้วย เพื่อที่จะให้คลื่นแสงสามารถที่จะครอบคลุมแถบบาร์โค้ดทั้งหมดได้

ระหว่างการอ่าน เครื่องอ่านจะทำการวัดลำแสงที่สะท้อนกลับมาจากแถบสีดำ และบริเวณสีขาวของแถบบาร์โค้ด โดยที่แถบสีดำจะดูดซับคลื่นแสง ในขณะที่บริเวณสีขาวจะทำการสะท้อนคลื่นแสง อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ที่เรียกว่า Photodiode หรือ Photocell จะทำการแปลงคลื่นแสงที่ได้รับเป็นคลื่นไฟฟ้า หลังจากนั้นก็จะทำการแปลงคลื่นไฟฟ้าเป็นข้อมูล Digital ข้อมูลที่ได้รับจะเป็นรูปรหัส ASCII

2.9.2 เครื่องอ่านบาร์โค้ด

ในปัจจุบันนี้ เครื่องอ่านบาร์โค้ดสามารถแบ่งได้เป็นสี่ประเภท

- เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบปากกา เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบนี้จะมีลักษณะคล้ายปากกามีแสงอยู่ที่ปลาย ในช่วงการอ่านแถบบาร์โค้ดต้องถูกคลื่นแสงส่องตลอดเวลา จุดดีของเครื่องอ่านแบบนี้คือราคาไม่แพงและมีน้ำหนักเบา แต่จุดเสียของเครื่องอ่านแบบนี้คือ หากแถบบาร์โค้ดติดอยู่บนพื้นผิวที่ไม่เรียบ ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถอ่านได้อย่างถูกต้อง

- เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบเลเซอร์ เครื่องอ่านแบบนี้เป็นเครื่องอ่านที่มีการใช้แพร่หลายมากที่สุด จุดดีของเครื่องอ่านแบบนี้ คือสามารถที่จะอ่านแถบบาร์โค้ดได้ ถึงแม้ว่าจะติดอยู่บนพื้นผิวที่ไม่เรียบ เนื่องจากว่า เครื่องอ่านแบบนี้จะประกอบด้วยลำแสงเลเซอร์จำนวนมาก เลเซอร์แต่ละลำแสงสามารถที่จะอ่านแถบบาร์โค้ดได้ด้วยความเร็ว 40 – 800 ครั้งต่อวินาที ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว ลำแสงบาร์โค้ดเพียงลำแสงเดียวเท่านั้น ก็สามารถที่จะอ่านแถบบาร์โค้ดได้ จากการที่เครื่องอ่านแบบนี้สามารถที่จะอ่านแถบบาร์โค้ดได้รวดเร็ว เครื่องอ่านแบบนี้จะนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลายในภาคอุตสาหกรรม เครื่องอ่านแบบนี้สามารถที่จะทำเป็นเครื่องอ่านแบบติดตั้งอยู่กับที่ สำหรับการอ่านวัตถุที่มีการเคลื่อนที่ เช่น บนสายพานลำเลียงสินค้า เป็นต้น ด้วยเครื่องอ่านแบบนี้ ผู้ใช้งานไม่จำเป็นต้องเคลื่อนย้ายวัตถุ ในบางกรณีเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบนี้สามารถอ่านแถบบาร์โค้ดที่อยู่ในระยะไกลถึง 9 เมตรได้

- เครื่องอ่านแบบ CCD เครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบนี้ใช้วิธีการจับภาพแถบบาร์โค้ด หลังจากการจับภาพของแถบบาร์โค้ด เครื่องอ่านก็จะทำการปรับภาพดังกล่าว เป็นข้อมูลที่เป็นเอกสารนี้เป็นเอกสารที่ส่งวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบดิจิทัลเหมือนเช่นบาร์โค้ดแบบเลเซอร์ จุดเสียของเครื่องอ่านบาร์โค้ดแบบนี้ คือ เครื่องอ่านแบบนี้ไม่สามารถอ่านแถบบาร์โค้ดที่มีความยาวมากได้ เนื่องจากข้อจำกัดในการจับภาพ

- เครื่องอ่านแบบกล้อง กล้องขนาดเล็กที่ซ่อนอยู่ในเครื่องอ่าน กล้องขนาดเล็กนี้จะทำการจับภาพบาร์โค้ด และทำการประมวลผล แต่เครื่องอ่านแบบนี้จะอ่อนไหวต่อคุณภาพของแถบบาร์โค้ดอย่างมาก เช่น แถบบาร์โค้ดควรจะมีสีที่แตกต่างสีขาวและดำอย่างชัดเจน ห้ามมีจุดดำอื่นใดบนแถบบาร์โค้ด

2.9.3 ประโยชน์ของเทคโนโลยีบาร์โค้ด

รวดเร็วและแม่นยำในการเก็บข้อมูล เทคโนโลยีบาร์โค้ดทำให้การเก็บข้อมูลเป็นไปอย่างอัตโนมัติ การอ่านข้อมูลโดยเครื่องอ่านบาร์โค้ดทำให้มีความแม่นยำ จากการศึกษาพบว่า ข้อผิดพลาดมีเพียงหนึ่งในสามล้านครั้ง

- การเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงาน ข้อมูลที่ได้รับจากเครื่องอ่านบาร์โค้ดสามารถส่งต่อไปให้ระบบการทำงาน เพื่อให้กระบวนการทำงานสามารถดำเนินการได้อย่างอัตโนมัติ เช่นระบบเข้า-ออกสำนักงานของพนักงาน

- ลดค่าใช้จ่ายในการทำงาน การเก็บข้อมูลด้วยเทคโนโลยีบาร์โค้ดทำให้ลดค่าใช้จ่ายในการเก็บข้อมูล เนื่องจากการเก็บข้อมูลที่ผิดพลาด เป็นต้น

2.9.4 ข้อจำกัดของเทคโนโลยีบาร์โค้ด

อย่างไรก็ตามเทคโนโลยีบาร์โค้ดก็มีข้อจำกัดของตนเองอยู่ ข้อจำกัดหลัก ๆ ได้แก่

- เสียหายง่าย แถบบาร์โค้ดเสียหายได้ง่าย เพียงแค่มีรอยเปื้อนสกปรก แถบสี หรือสีจางไปเมื่อถูกแสงแดด หรือความชื้น

- เครื่องอ่านบาร์โค้ดมีข้อจำกัดในการทำงาน เมื่อนำเครื่องอ่านบาร์โค้ดไปใช้งานในสภาพแวดล้อมที่เปียกชื้น คลื่นแสงที่ใช้ในการอ่านจะถูกหักเหง่าย เมื่อแถบบาร์โค้ดมีการเปียกชื้น ด้วยสาเหตุดังกล่าวทำให้การอ่านข้อมูลในแถบบาร์โค้ดผิดพลาดได้

- ขณะการอ่านแถบบาร์โค้ด จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องเห็นแถบบาร์โค้ด หากแถบบาร์โค้ดถูกปิดบัง ทำให้ไม่สามารถที่จะอ่านข้อมูลได้

- ความเร็ว เครื่องอ่านบาร์โค้ดไม่สามารถที่จะอ่านแถบบาร์โค้ดที่เคลื่อนที่ด้วยความรวดเร็ว ดังนั้นหากแถบบาร์โค้ดติดอยู่บนวัตถุที่เคลื่อนไหวด้วยความรวดเร็ว จะมีผลทำให้ความแม่นยำในการอ่านต่ำลง

2.9.5 ข้อได้เปรียบของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีเมื่อเทียบกับเทคโนโลยีบาร์โค้ด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากที่มีการกล่าวกันอย่างแพร่หลาย เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีมีความเป็นไปได้ที่จะนำมาใช้แทน บาร์โค้ด จุดเด่นหลัก ๆ ที่ทำให้มีการคาดการณ์ว่า เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะมาทดแทนบาร์โค้ด สามารถสรุปเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

- สามารถอ่านข้อมูลที่เปลี่ยนแปลงอยู่เสมอ ข้อมูลที่บันทึกในอาร์เอฟไอดี Tag สามารถที่จะบันทึกข้อมูลใหม่ลงไปได้ ในขณะที่แถบบาร์โค้ดไม่สามารถที่จะทำการปรับเปลี่ยนข้อมูลได้ โดยปกติแล้วอาร์เอฟไอดี Tag สามารถที่จะบันทึกข้อมูลได้มากถึง 100,000 ครั้ง ซึ่งความสามารถนี้มีความจำเป็นอย่างยิ่ง เมื่อมีการใช้ Tag นั้น เพื่อบันทึกข้อมูลบางอย่างที่มีได้บันทึกไว้ในครั้งแรก ตัวอย่างเช่น การนำอาร์เอฟไอดี Tag มาใช้ในส่วนของสายงานผลิต เมื่อสินค้าเคลื่อนย้ายไปที่ละขั้นตอนการผลิต ก็ จะทำการบันทึกข้อมูลลงในอาร์เอฟไอดี Tag เพื่อที่จะทราบว่า วัตถุหรือสินค้านั้นเคลื่อนผ่านกระบวนการผลิตขั้นใดมาบ้าง เมื่อสิ้นสุดกระบวนการผลิตสามารถที่จะนำ Tag ดังกล่าวมาวิเคราะห์ต่อไปได้ว่า แต่ละขั้นตอนการผลิตใช้เวลาไม่น้อยเพียงใด และขั้นตอนใดที่ใช้เวลามากเกินไป หรือเป็นการยืนยันว่า วัตถุดังกล่าวผ่านมาทุกกระบวนการผลิตหรือไม่

- การอ่านโดยไม่จำเป็นต้องมองเห็น โดยทั่วไปแล้วอาร์เอฟไอดี Tag ไม่จำเป็นต้องมองเห็นก็สามารถที่จะส่งข้อมูล ซึ่งแตกต่างจากบาร์โค้ดอย่างชัดเจน ที่จำเป็นต้องมองเห็นเท่านั้นเพื่อทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ ตัวอย่างเช่น หากอาร์เอฟไอดี Tag ติดอยู่กับสินค้าที่บรรจุอยู่ในบรรจุภัณฑ์ที่มีได้ดูดซับ หรือสะท้อนคลื่นวิทยุ เครื่องอ่านก็สามารถที่จะอ่านข้อมูลจาก Tag นั้นได้ โดยมีจำเป็นต้องมองเห็น Tag แต่อย่างไรก็ตาม ในบางสถานการณ์คุณลักษณะนี้ก็ไม่สามารถใช้งานได้เต็มที่ หากมีการนำอาร์เอฟไอดี Tag ไปติดอยู่บนวัสดุที่ดูดซับ หรือสะท้อนคลื่นวิทยุ เช่น โลหะ เป็นต้น

- ระยะการอ่านที่ไกล โดยปกติแล้วเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถที่จะอ่านข้อมูลจากอาร์เอฟไอดี tag ได้ในระยะที่ไกลกว่า เครื่องอ่านบาร์โค้ด ตัวอย่างเช่น เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีคลื่นความถี่ UHF จะสามารถอ่านอาร์เอฟไอดี Tag ได้ไกลถึง 4-5 เมตรในสภาพแวดล้อมปกติ หากพูดถึงอาร์เอฟไอดีแบบ Active ระยะการอ่านก็จะไกลยิ่งขึ้นไปอีก ซึ่งในบางกรณีสามารถอ่านได้ไกลถึง 30 เมตร แต่เทคโนโลยีบาร์โค้ดนั้น จะอ่านข้อมูลโดยคลื่นแสง ดังนั้นระยะการอ่านจึงจำกัดอยู่ในระยะที่คลื่นแสงไปถึง ซึ่งโดยส่วนมากจะไม่เกิน 9 เมตร

- ความสามารถในการบันทึกมีมากกว่าบาร์โค้ด อาร์เอฟไอดี Tag สามารถบันทึกข้อมูลได้มากกว่าบาร์โค้ด โดยเฉพาะอย่างยิ่ง Active Tag สามารถที่จะบรรจุข้อมูลได้มากกว่าบาร์โค้ดหลายเท่าตัว

- ความสามารถในการอ่านข้อมูลจากอาร์เอฟไอดี Tag หลาย Tag พร้อมกัน เครื่องอ่านอาร์เอฟไอดีสามารถอ่านข้อมูลจาก Tag มากกว่าหนึ่ง Tag ในขณะเดียวกัน ซึ่งความสามารถนี้เรียกว่า Anti-Collision ซึ่งความสามารถนี้บาร์โค้ดไม่สามารถที่จะทำได้

- ความคงทนมากกว่า โดยปกติแล้ว อาร์เอฟไอดี Tag จะทนทานมากกว่า บาร์โค้ด อาร์เอฟไอดี Tag สามารถทำงานได้ในสภาพที่เปียกชื้น หรือการทำงานที่มีการเคลื่อนไหวอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เสมอ ในสภาพการทำงานลักษณะนี้ บาร์โค้ดไม่สามารถที่จะทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และบาร์โค้ดก็มีโอกาสที่จะเสียหายง่าย เช่นการนำไปใช้งานในสภาพเปียกชื้น เป็นต้น

- อาร์เอฟไอดี Tag สามารถนำมาใช้งานในลักษณะที่ซับซ้อนมากขึ้น ซึ่งการใช้งานลักษณะนี้มีใช้เพียงแค่การเก็บข้อมูล แต่อาร์เอฟไอดี Tag ยังสามารถบันทึกข้อมูลลงไปได้อีกด้วย ซึ่งการทำงานในลักษณะนี้บาร์โค้ดไม่สามารถที่จะทำได้ ตัวอย่างเช่นการใช้งานของ Active Tag ที่ต้องมีการบันทึกหมายเลขเอกสารในขนส่ง เพื่อให้ระบบการทำงานเป็นไร้เอกสาร ในส่วนนี้บาร์โค้ดจะทำได้ไม่ได้อย่างแน่นอน เพราะบาร์โค้ดทำหน้าที่ในการบันทึกข้อมูลที่ไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้

จากข้อดีที่กล่าวมาข้างต้น มีการนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีในกิจกรรมหลายส่วน เมื่อมีการเปรียบเทียบการทำงานของเทคโนโลยีบาร์โค้ด จะเห็นว่า การนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีสะท้อนให้เห็นถึงประโยชน์หลายประการ ดังเช่นตารางที่ 2.1 จากผลการศึกษาของ FKI Logistex

ตารางที่ 2.1 ผลการศึกษาของ FKI Logistex

Area	Activity	Benefits of RFID over Barcode	Cost Reduction %
Warehouse	Storage	Automated, accurate inventory management	28%
Warehouse	Dispatch	Automated checking process	26%
Supplier	Claims Management	Automated, accurate data records decrease claims generated	18.5%
Hub	Cross-Docking	Automated checking, reduced paperwork decrease admin	18%
RDC	Receipt	Automated checking process	9.4%
RDC	Claims Management	Automated, accurate data records decrease claims generated	20.8
RDC	Dispatch	Automated checking process	5%
RDC	Storage	Automated accurate inventory	21.7%
All	Inventory Cost	Reduced inventory due to visibility through supply chain	55%
All	Asset Utilization	Improvement in asset utilization	30%
Retail	Receipt	Reduced paperwork	2.8%
Retail	Storage	Automated inventory management	16.3%
Retail	Replenishment	Improved efficiency	4.5%
Retail	Losses	Reduced loss (out of code, overstocking) from inventory visibility	11%

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.9.6 ความเป็นไปได้ที่อาร์เอฟไอดีจะทดแทนบาร์โค้ด

จากที่มีการกล่าวจุดดี และข้อจำกัดของเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี และบาร์โค้ด ทำให้โอกาสที่จะนำเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีจะมาทดแทนบาร์โค้ดนั้นเป็นไปได้ยากมาก สาเหตุหลักที่ทำให้การทดแทนนี้ไม่สามารถที่จะเป็นไปได้ ได้แก่

- หากจะมีการนำอาร์เอฟไอดีมาแทนบาร์โค้ดได้ จำเป็นอย่างยิ่งที่อาร์เอฟไอดีต้องสามารถใช้งานได้ด้วยวัสดุทุกประเภทเหมือนกับที่บาร์โค้ดทำได้ การที่จะทำให้อาร์เอฟไอดีใช้งานได้ด้วยวัสดุทุกประเภทนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีต้องมีความเป็นไปได้ในแง่เศรษฐกิจ และในแง่สังคม

- มีการคาดการณ์ว่า หากจะทำให้อาร์เอฟไอดีสามารถทดแทนบาร์โค้ดได้จำเป็นอย่างยิ่งที่ราคาของ Tag ต้องต่ำกว่า 2บาท หรือต่ำกว่านั้น นอกเหนือจากราคา Tag แล้วราคาของเครื่องอ่านก็ต้องถูกลงด้วย แต่อย่างไรก็ตามการที่จะทำให้ราคา tag ถูกลง ด้วยกระบวนการผลิตในปัจจุบันคงเป็นไปได้ยาก กระบวนการผลิตต้องมีการเปลี่ยนแปลงใหม่ หรือจำเป็นต้องตัดกระบวนการผลิตออกบางขั้นตอน มีการคาดการณ์ว่า การที่จะทำให้ Tag ราคาถูกได้ในระดับที่ต้องการ อาจจะต้องใช้เวลาประมาณ 5 ถึง 10 ปีข้างหน้า

- การกำหนดมาตรฐานการใช้คลื่นวิทยุเพื่อเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี จากที่ทราบกันว่า อาร์เอฟไอดีใช้คลื่นวิทยุในการทำงาน ดังนั้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องให้ทุกประเทศมีมาตรฐานการใช้คลื่นวิทยุเพื่อเทคโนโลยีเหมือนกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งคลื่นความถี่ในช่วง UHF ซึ่งแต่ละประเทศมีการใช้งานที่ในช่วงคลื่นที่แตกต่างกัน

2.10 คุณลักษณะสำคัญของอาร์เอฟไอดีแท็ก (RFID Tag) สำหรับงานอุตสาหกรรม

ปัจจุบันมีการนำ RFID Tag มาใช้งานในภาคอุตสาหกรรมมากขึ้น RFID Tag ที่จะนำมาใช้งานในด้านนี้ นอกเหนือจากปัจจัยพื้นฐาน ได้แก่ คลื่นความถี่ มาตรฐานคลื่นวิทยุ หน่วยความจำ รูปแบบของ RFID Tag และวิธีการติด RFID Tag เป็นต้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงความคงทนของ RFID Tag เช่น RFID Tag ที่ทนต่อสารเคมี ความร้อนสูง หรือ ป้องกันการติดไฟ เป็นต้น การนำ RFID Tag มาใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่ต้องการความทนทานสูงนั้น เช่นอุตสาหกรรมก่อสร้าง พลังงาน หรือการขนส่ง เป็นต้น จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงมาตรฐานความคงทนในด้านต่าง ๆ เพิ่มเติม โดยมาตรฐานหลัก ๆ ที่จำเป็นต้องคำนึงถึง ประกอบด้วย

2.10.1 ATEX/IECEx certification

มาตรฐานดังกล่าว เป็นมาตรฐานสำหรับอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในบริเวณที่มีความเสี่ยงอันตรายจากการระเบิด ตามมาตรฐาน ATEX จะแบ่งพื้นที่เป็น 3 โซน ได้แก่ Zone 0, Zone 1 และ Zone 2 โดย Zone 0 หมายถึงพื้นที่ที่มีความเสี่ยงของการระเบิดจากไอระเหยตลอดเวลา ส่วน Zone 1 คือ พื้นที่ที่โดยส่วนมากมีความเสี่ยงจากการระเบิดจากการทำงานปกติ แต่ไม่ได้มีความเสี่ยงเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังกล่าวตลอดเวลา Zone 2 เป็นพื้นที่ที่มีความเสี่ยงจากการระเบิดในบางโอกาส แต่พื้นที่ดังกล่าวจะเป็นพื้นที่ปลอดภัย ภายใต้การทำงานตามกฎระเบียบที่แน่ชัด มาตรฐานดังกล่าว จะใช้กับอุปกรณ์ไฟฟ้าหรืออิเล็กทรอนิกส์ ที่จะนำไปติดตั้งหรือใช้งานในบริเวณโซนต่าง ๆ ที่ระบุไว้ข้างต้น สำหรับ RFID tag ที่ได้รับมาตรฐาน ATEX แสดงว่า RFID Tag ดังกล่าวได้รับการยืนยันว่า สามารถนำไปใช้ในบริเวณที่มีความเสี่ยงต่อการจุดระเบิดได้

2.10.2 IP Certification

มาตรฐาน IP ย่อมาจากคำว่า Ingress Protection เป็นมาตรฐานการป้องกันจากของแข็ง (ฝุ่น) และของเหลว โดยปกติแล้วหมายเลขที่แสดงระดับ IP จะมีสองหลัก โดยหมายเลขหลักแรกหมายถึงความสามารถการป้องกันจากของแข็ง โดยค่าต่ำสุดคือ 1 หมายความว่า สามารถป้องกันของแข็งที่มีขนาดใหญ่ 50 มม. เช่น มือ ไม่สามารถผ่านเข้าไปได้ ค่าสูงสุดคือ 6 หมายความว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถป้องกันฝุ่นละอองได้ 2-6 ชั่วโมง ส่วนหมายเลขหลักที่สอง หมายถึง ความสามารถในการป้องกันของเหลว ค่าต่ำสุดคือ 1 หมายความว่า สามารถป้องกันหยดน้ำที่หยดใส่ในแนวตั้ง ส่วนค่าสูงสุด คือ 8 สามารถอยู่ในน้ำลึกที่มีแรงดันได้เป็นเวลานาน ในขณะที่ค่าหมายเลข 7 หมายความว่า อยู่ในน้ำลึกประมาณ 1 เมตรได้เป็นเวลา 30 นาที ตัวอย่างเช่น หาก RFID Tag ได้รับมาตรฐาน IP68 หมายความว่า RFID Tag สามารถป้องกันฝุ่น และของเหลวได้สูงสุด ในการใช้งาน RFID Tag ดังกล่าว สามารถจมอยู่ในน้ำในระดับ 1-2 เมตรได้เป็นเวลานาน โดยที่น้ำไม่เข้าไปใน RFID Tag ดังกล่าวได้ สำหรับ RFID Tag ที่ได้รับ IP69K หมายถึง RFID Tag ได้รับอันดับ IP สูงสุด สามารถทนน้ำที่มีแรงดันสูงได้ สำหรับ K หมายถึงมาตรฐานการรับรองกระแทก

2.10.3 IK Certification

มาตรฐาน IK หมายถึง ความสามารถของอุปกรณ์ที่จะรองรับแรงกระแทก โดยค่าต่ำสุด คือ IK00 (ไม่มีการจัดอันดับ) ถึง IK10 ค่า IK01 แสดงว่า อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทนต่อแรงกระแทก 0.15 จูล (Joules) หรือทนต่อแรงกระแทกของลูกตุ้มที่มีน้ำหนัก 200 กรัม กระแทกจากระยะ 7.5 ซม. ในขณะที่ค่า IK10 อุปกรณ์ดังกล่าวสามารถทนต่อแรงกระแทก 20 จูล (Joules) หรือทนต่อแรงกระแทกของลูกตุ้มน้ำหนัก 5 กก. กระแทกจากระยะ 40 ซม.

2.10.4 UL 94 Certification

ในการใช้งานบางกรณี RFID Tag อาจจะใช้กับเปลวไฟ ดังนั้น RFID Tag สำหรับงานประเภทนี้จำเป็นต้องได้รับมาตรฐาน UL94 มาตรฐานดังกล่าวเป็นการกำหนดว่า วัสดุหรืออุปกรณ์ที่ได้รับมาตรฐาน UL นั้นลามไฟได้ง่ายเพียงใด โดยมีการแบ่งเป็นลำดับดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- HB ติดไฟได้ช้า ในแนวตรง อัตราการติดไฟ น้อยกว่า 76 มม./นาที่ สำหรับวัสดุที่มีความหนาแน่นน้อยกว่า 3 mm
- V2 สามารถดับเปลวไฟด้วยตนเอง ภายใน 30 วินาที แต่อาจมีหยดไฟได้
- V1 สามารถดับเปลวไฟด้วยตนเอง ภายใน 30 วินาที ไม่เป็นหยดไฟ
- V0 สามารถดับเปลวไฟด้วยตนเอง ภายใน 10 วินาที ไม่เป็นหยดไฟ
- 5VB สามารถดับเปลวไฟด้วยตนเองภายใน 60 วินาที ไม่เป็นหยดไฟ แต่อาจจะมีรูไหม้ (Burn through) บนวัสดุ
- 5VA สามารถดับเปลวไฟด้วยตนเองภายใน 60 วินาที ไม่เป็นหยดไฟ แต่อาจจะไม่แสดงรูไหม้ (Burn through) บนวัสดุ

ดังนั้นการเลือกซื้อ RFID Tag เพื่อมาใช้งานในสภาพที่ใกล้กับเปลวไฟ จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงว่า RFID Tag ดังกล่าวติดไฟได้ง่ายเพียงใด และทนต่อความร้อนได้สูงขนาดไหน

2.11 กระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูล

ในทางปฏิบัติประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารจะถูกกำหนดด้วย “ความจุของช่องสัญญาณ”(Channel capacity) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของช่องสัญญาณที่ยอมรับได้ ดังนั้นช่องสัญญาณควรจะต้องถูกจัดสรรให้กับแท็กแต่ละแท็กเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่านได้โดยไม่เกิดปัญหาเรื่องการแทรกสอดหรือการชนกัน (Collision) ของข้อมูล โดยทั่วไปแท็กไม่สามารถถอดรหัสหรืออ่านกลุ่มข้อมูล (Data packet) ที่ส่งโดยแท็กอื่นไปยังเครื่องอ่านได้ จึงทำให้แท็กไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีแท็กอื่นอยู่ในพื้นที่การอ่านหรือไม่ และเมื่อแท็กมากกว่าหนึ่งแท็กส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ก็จะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล (ทำให้ต้องเริ่มส่งข้อมูลใหม่อีกครั้งซึ่งจะทำให้เสียเวลามาก) ฉะนั้นจึงเป็นหน้าที่ของเครื่องอ่านที่จะต้องมีการป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-collision) เพื่อใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแท็กที่ต้องการส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่าน

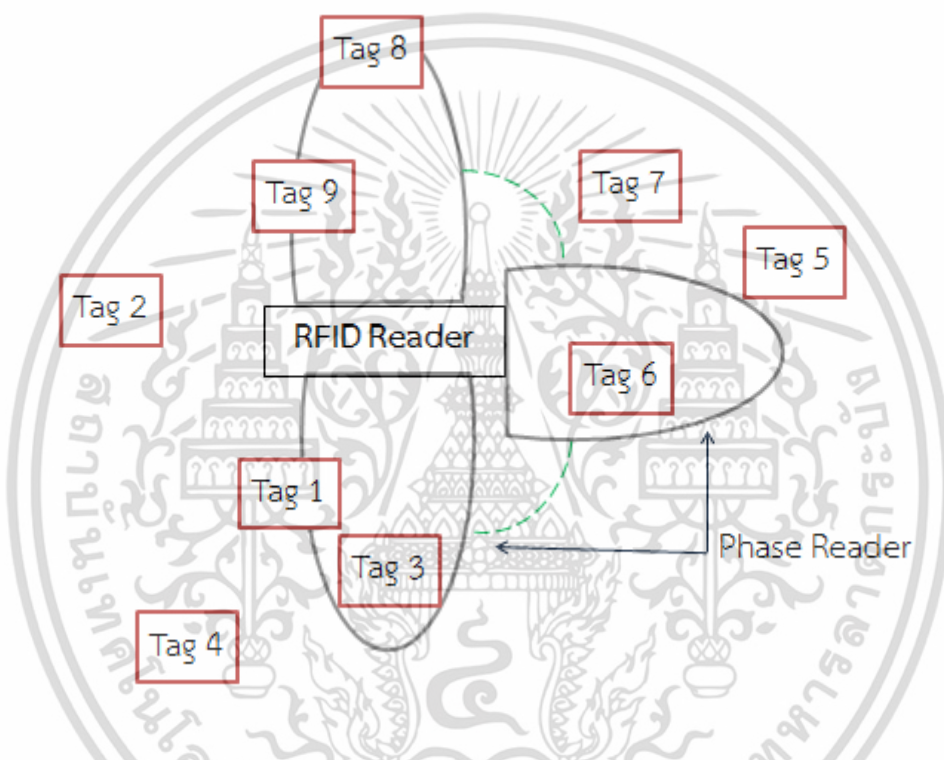
ระบบสื่อสารดิจิทัลได้แบ่งเทคนิคการเข้าถึงหลากหลายเพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลออกเป็น 4 แบบ คือ การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่าง (SDMA : Space Division Multiple Access), การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่ (FDMA : Frequency Division Multiple Access), การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งเวลา (TDMA : Time Division Multiple Access) และการเข้าถึงแบบหลากหลายแบบแบ่งรหัส (CDMA : Code Division Multiple Access) ซึ่งกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้ในระบบ RFID ได้แก่ SDMA, FDMA, และ TDMA ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.11.1 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่าง SDMA

การเข้าถึงสัญญาณแบบช่องว่าง SDMA เป็นการแบ่งพื้นที่การให้บริการซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้เครื่องอ่านและสายอากาศหลายๆชุดจัดเรียงกันในลักษณะของอะเรย์ (array) ซึ่งเหมาะสำหรับงานที่ต้องประยุกต์ที่ต้องการพื้นที่การให้บริการที่กว้าง หรืออีกแบบหนึ่งคือการใช้เครื่องอ่านเอกสารเป็นเอกสารที่ส่งวนเวียนสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่มีสายอากาศแบบปรับทิศทางได้ ซึ่งจะทำให้พื้นที่การอ่านเปลี่ยนแปลงไปในตำแหน่งต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยทั่วไประบบ RFID ที่ใช้วิธีการนี้จะใช้สายอากาศแบบเฟสอะเรย์ (phased array antenna) ที่ใช้งานที่ความถี่มากกว่า 850 MHz (2.45 GHz) เพื่อจะได้ใช้สายอากาศขนาดเล็กได้ โดยเครื่องอ่านจะทำการควบคุมพื้นที่การอ่านให้หมุนไปรอบตัวมันเองครั้งละ 90 องศา ตามรูปที่ 2.12

ข้อเสียของวิธีการนี้คือค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบนี้จะสูง เพราะว่าสายอากาศที่ใช้มีความซับซ้อนค่อนข้างมาก ดังนั้นระบบ RFID ที่ใช้ในกระบวนการ SDMA เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลจะมีใช้งานที่สามารถประยุกต์ใช้ได้เท่านั้น



รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้กระบวนการ SDMA

2.11.2 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่ FDMA

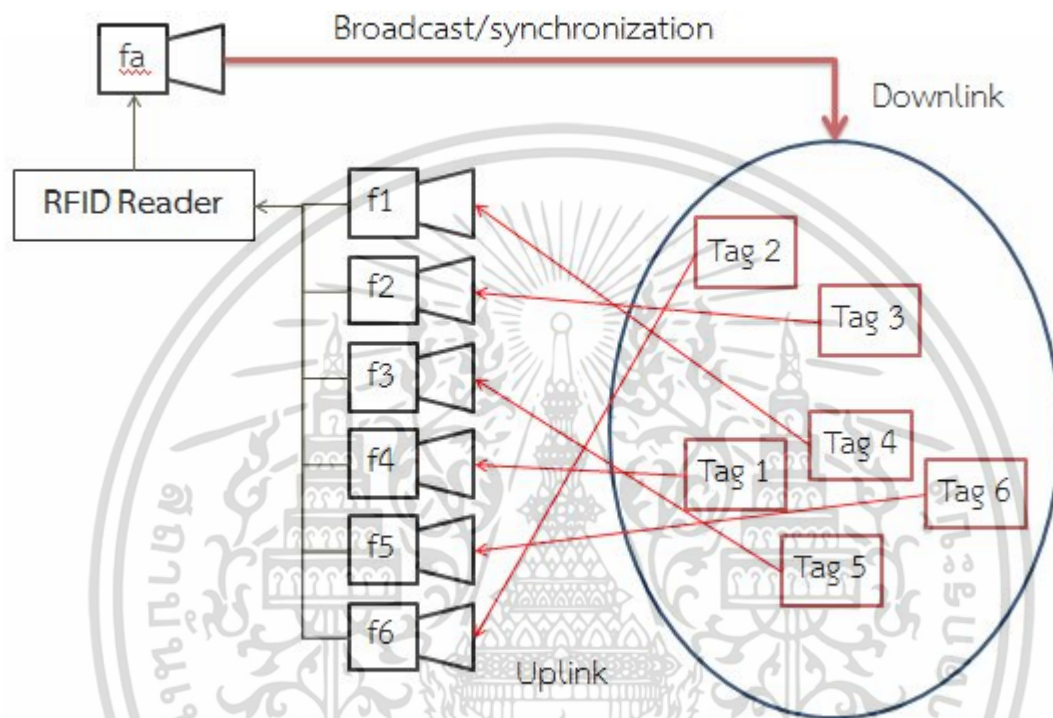
เทคนิค FDMA เป็นการแบ่งความถี่ในการใช้งาน กล่าวคือช่องสัญญาณแต่ละช่องสัญญาณซึ่งทำหน้าที่ในการติดต่อสื่อสารจะใช้คลื่นพาหะที่มีความถี่แตกต่างกันออกไป

ในระบบ RFID ที่ใช้เทคนิค FDMA แท้ก็แต่ละตัวจะมีความสามารถในการปรับแต่งความถี่ได้อย่างอิสระ โดยที่การทำงานของระบบจะเริ่มจากเครื่องอ่านส่งสัญญาณความถี่ f_a ไปยังแท็กทั้งหมด จากนั้นแท็กแต่ละอันก็จะใช้ความถี่อื่นที่แตกต่างกันในช่วงความถี่ f_a ถึง f_N ในการส่งสัญญาณข้อมูล กลับมายังเครื่องอ่านดังแสดงในรูปที่ 2.13 ตัวอย่างเช่น เครื่องอ่านส่งสัญญาณให้กับแท็ก (Downlink) โดยใช้ความถี่ที่ 135KHz และเมื่อแท็กต้องการส่งข้อมูลให้กับเครื่องอ่าน (Uplink) แท็กสามารถส่งข้อมูลได้หลายช่องสัญญาณภายในช่วงความถี่ 433-434 MHz ซึ่งสำหรับระบบ RFID แบบที่ใช้การโมดูเลชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบบโพลทหรือการกระจายแบบย้อนกลับ แท็ก RFID จะใช้คลื่นพาห์แบบรอง (Subcarrier) ที่ความถี่ต่างๆ ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน

ข้อเสียของเทคนิค FDMA คือการสูญเสียค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอ่านให้สามารถรองรับการทำงานได้หลายความถี่จะมีราคาสูง ดังนั้นระบบ RFID ที่ใช้กระบวนการ FDMA เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลจะมีใช้เฉพาะในบางงานที่ต้องการใช้งานเพื่อประยุกต์ใช้เท่านั้น



รูปที่ 2.13 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้กระบวนการ FDMA

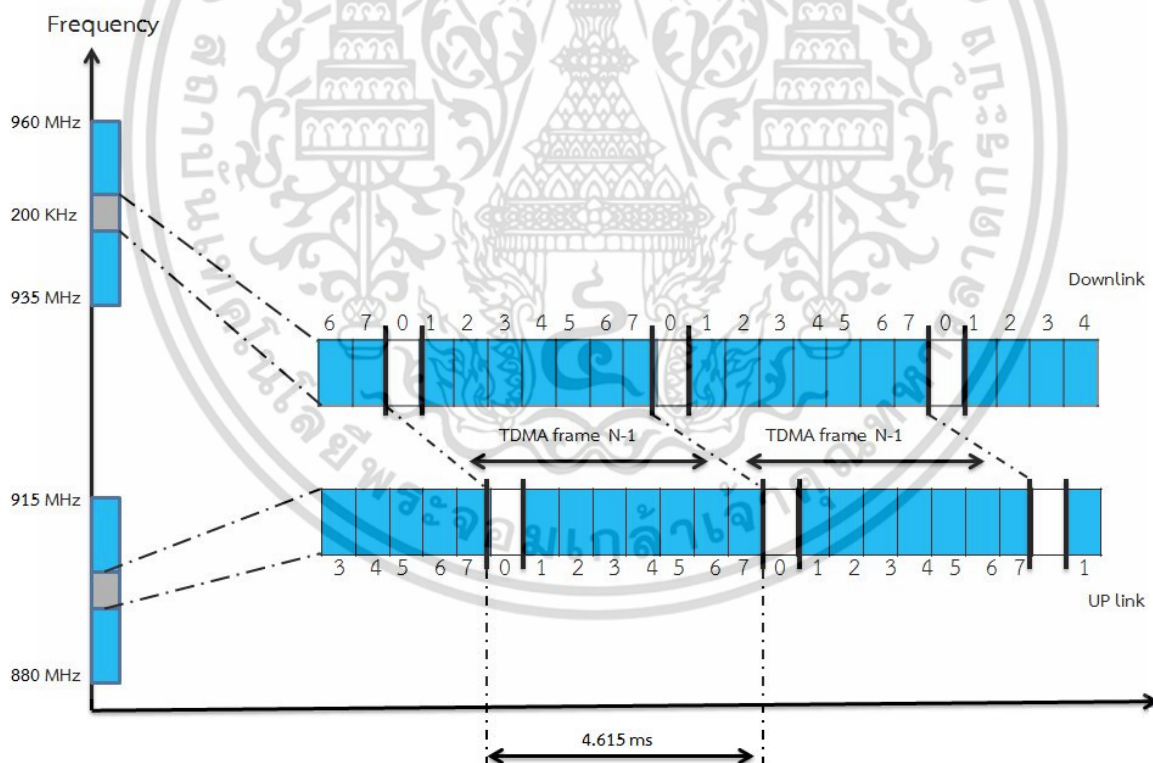
2.11.3 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งเวลา TDMA

เทคนิค TDMA เป็นการแบ่งเวลาในการใช้งานของช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานในระบบวิทยุคลื่นที่แบบดิจิทัล สำหรับระบบ RFID การใช้เทคนิค TDMA นั้นจะแบ่งเป็นลักษณะการทำงานออกเป็น 2 แบบ คือ แบบที่ขับเคลื่อนโดยแท็ก (Transponder - driven) และแบบที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องอ่าน (Reader- driven)

กระบวนการขับเคลื่อนโดยแท็กจะทำงานแบบไม่เข้าจังหวะ (Asynchronous) เนื่องจากเครื่องอ่านไม่สามารถควบคุมการถ่ายโอนข้อมูลได้ โดยต้องอาศัยการใช้อัลกอริทึมที่เรียกว่ากระบวนการ ALOHA ซึ่งสามารถแบ่งแยกการทำงานย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบปิดสวิตช์ (Switched - Off) และแบบไม่มีสวิตช์ (Non - Switched) โดยจะขึ้นอยู่กับว่าแท็กหยุดทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่านหลังจากถ่ายโอนข้อมูลเสร็จแล้วหรือไม่ โดยทั่วไปกระบวนการแบบนี้ขับเคลื่อนโดยแท็กจะทำงานซ้ำและไม่ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้กระบวนการแบบที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องอ่านซึ่งมีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะการทำงานแบบซิงโครนัส (Synchronous) เพราะว่าแท็กทั้งหมดจะถูกควบคุมและตรวจสอบโดยตรงกับเครื่องอ่านและจะทำการเลือกแท็กที่ต้องการติดต่อสื่อสาร จากนั้นจึงทำการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและแท็กนั้น และเมื่อถ่ายโอนข้อมูลเสร็จก็จะทำการเลือกแท็กตัวใหม่เพื่อทำการติดต่อสื่อสาร กระบวนการแบบที่ซับซ้อนโดยเครื่องอ่านจะทำงานได้อย่างรวดเร็ว เพราะว่าการสื่อสารสามารถเกิดขึ้นเมื่อใดก็ได้ตามที่เครื่องอ่านต้องการ

กระบวนการแบบที่ซับซ้อนโดยเครื่องอ่านยังสามารถแบ่งแยกการทำงานเป็น 2 แบบ คือ Polling และ Binary search โดยแท็กที่ใช้กับการทำงานแบบนี้จะต้องมีหมายเลขประจำที่เป็นหนึ่งเดียว กระบวนการแบบ Polling จะทำการจัดเรียงหมายเลขประจำของแท็กทั้งหมดที่มีใช้ในระบงงานประยุกต์นั้น จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการตรวจสอบหมายเลขประจำของแท็กแต่ละแท็กตามลำดับแท็กที่หมายเลขประจำแท็กว่าตรงกับเครื่องอ่านต้องการจะส่งสัญญาณตอบรับกลับมาแล้วจึงจะเริ่มการถ่ายโอนข้อมูลได้ กระบวนการแบบ Polling นี้จะทำงานช้า (จำนวนของแท็กมากก็ยิ่งใช้เวลาในการตรวจสอบมาก) ฉะนั้นจึงเหมาะแก่การใช้งานประยุกต์ที่มีจำนวนการแท็กน้อย ในขณะที่กระบวนการแบบ Binary search เป็นที่นิยมใช้งานมากกว่าเนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการใช้งานสูง



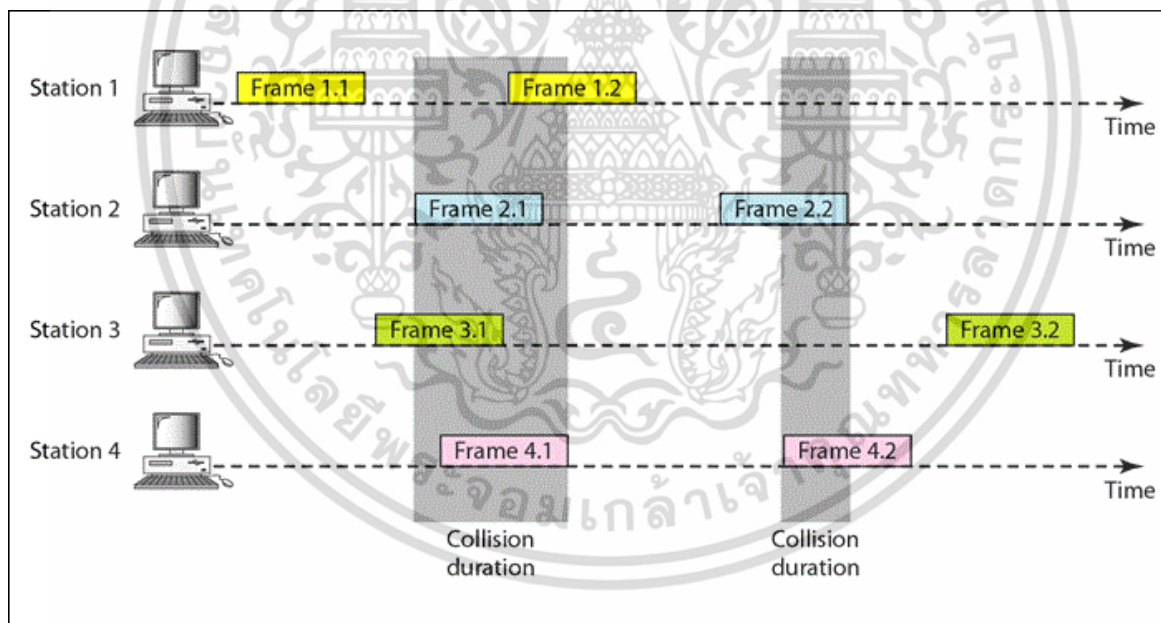
รูปที่ 2.14 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID ที่ใช้กระบวนการ TDMA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.12 กระบวนการอะโลฮา (ALOHA)

ในกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในพื้นที่การอ่านเดียวกัน เมื่อเครื่องอ่านส่งสัญญาณออกมาแท็กทั้งหมดจะได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน พร้อมทั้งส่งสัญญาณตอบสนองกลับไปยังเครื่องอ่านและเมื่อเครื่องอ่านได้รับสัญญาณจากแท็กหลายๆแท็กในเวลาเดียวกัน ก็จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลที่ส่งไป ดังนั้นกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลจึงเป็นที่จำเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานประยุกต์ใช้งานที่ต้องเผชิญกับการปรากฏตัวของแท็กหลายๆแท็กพร้อมกันในพื้นที่การอ่านของเครื่องอ่าน ดังมีการยกตัวอย่างกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้ในระบบ RFID ดังต่อไปนี้

2.12.1 อะโลฮา ALOHA จัดเป็นกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดโดยได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานในโครงข่ายวิทยุที่เรียกว่า ALOHANET ในปี ค.ศ. 1970 กระบวนการ ALOHA ถือเป็นกระบวนการ TDMA แบบที่ซับซ้อนโดยแท็ก RFID แบบที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียวและนิยมใช้ในการส่งข้อมูลขนาดเล็ก โดยจะส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในลักษณะวนรอบซึ่งเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลของแต่ละแท็ก RFID จะมีค่าน้อยมากเมื่อเปรียบเทียบกับเวลาของการวนซ้ำ ดังนั้นจึงทำให้สามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่แท็ก RFID สองแท็กส่งข้อมูลในเวลาที่แตกต่างกันและกลุ่มข้อมูลจะไม่เกิดการชนกัน



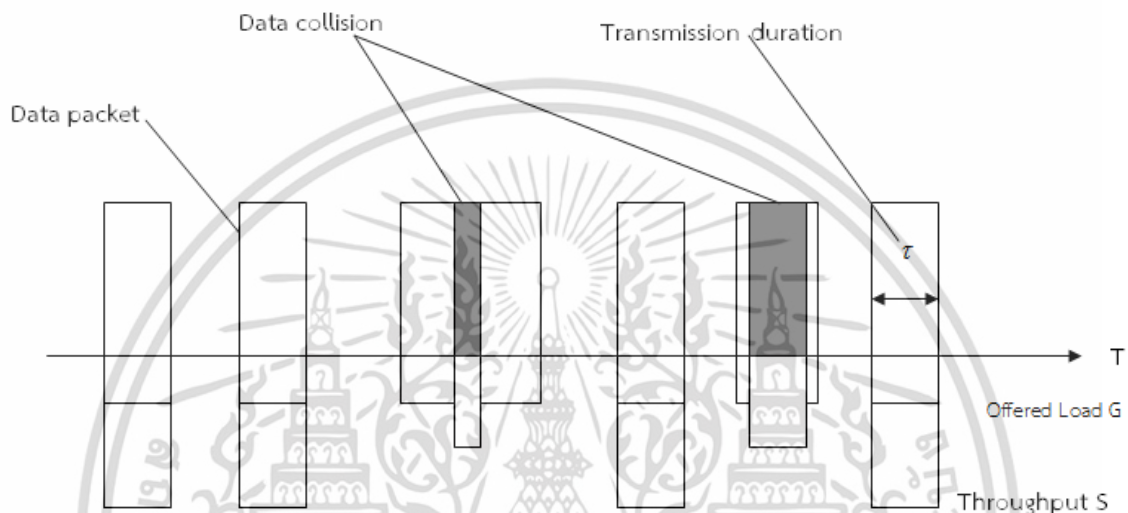
รูปที่ 2.15 การลำดับเวลาการส่งข้อมูลในระบบ ALOHA

รูปที่ 2.15 ถ้ากำหนดให้โหลดที่ถูกเสนอแบบ (offered Load) ดังรูปที่ 2.16 ค่า G สอดคล้องกับจำนวนแท็ก RFID ที่ส่งข้อมูลพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยของโหลดที่ถูกเสนอสามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G = \sum_{n=1}^n \frac{\tau_n}{T} \cdot r_n \quad (2.1)$$

เมื่อ n คือจำนวนแท็ก RFID ในระบบ τ_n คือช่วงเวลาในการส่งข้อมูลหนึ่งกลุ่ม (one data packet) T คือคาบเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล (observation period) และ r_n คือจำนวนกลุ่มของข้อมูลที่ถูกส่งโดยแท็ก RFID ตัวที่ n ภายในคาบเวลา T



รูปที่ 2.16 Offered Load and Throughput ALOHA [16]

ปริมาณงานต่อหน่วยเวลาหรือที่เรียกว่า Throughput ($S = 1$) หมายถึงช่วงเวลาในการส่งข้อมูลไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นหรือไม่มีการชนกันของข้อมูลที่ส่งไป และ ($S = 0$) หมายถึงไม่มีการส่งข้อมูลหรือข้อมูลที่ส่งไปเกิดการชนกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยปริมาณงาน S คำนวณหาได้จาก

$$S = G \cdot e^{(-2G)} \quad (2.2)$$

จากการหาความสัมพันธ์ของ S และ G ทำให้สามารถหาค่าสูงสุดของ S ได้เท่ากับ 18.4 % เมื่อ $G = 0.5$ ดังตารางที่ 2.2 ดังนั้นเมื่อ G มีค่าน้อยจะหมายถึงช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลไม่ได้ถูกใช้ตลอดเวลาและเมื่อ G มีค่าเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว นอกจากนี้เรายังสามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่แท็ก RFID แต่ละแท็กส่งข้อมูลโดยไม่เกิดการชนกันของข้อมูล q ได้จาก S และ G ดังนี้

$$q = \frac{S}{G} = e^{(-2G)} \quad (2.3)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ซึ่งความน่าจะเป็น $P(k)$ ของการส่งข้อมูลจำนวน k แพ็คเก็ตที่ไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นภายในคาบเวลา T สามารถคำนวณได้จาก

$$p(k) = \frac{(GT/\tau)^k}{k!} e^{-(GT/\tau)} \quad (2.4)$$

จะเห็นได้ว่า $p(k)$ มีการแจกแจงแบบปัวส์ซอง (Poisson distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ GT/τ ดังตารางที่ 2.3 แสดงเวลาโดยเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็กทุกแท็กภายในพื้นที่การอ่าน

ตารางที่ 2.2 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็ก RFID ทุกแท็กภายในพื้นที่การอ่าน [17]

จำนวนแท็ก RFID ในพื้นที่การอ่าน	ค่าเฉลี่ย (ms)	90% ความน่าเชื่อถือ (ms)	99.9% ความน่าเชื่อถือ (ms)
2	150	350	500
3	250	550	800
4	300	750	1000
5	400	900	1250
6	500	1200	1600
7	650	1500	2000
8	800	1800	2700

2.12.2 กระบวนการสล็อตอะโลฮา (Slotted ALOHA) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการ ALOHA ซึ่งมีค่าปริมาณงานต่ำ (Low throughput) โดยกระบวนการ Slotted ALOHA แท็กจะเริ่มทำการส่งข้อมูลเมื่อถึงเวลาที่เข้าจะหวนตามที่กำหนดไว้หรือเรียกว่า “ช่องการสื่อสาร (Slot)” เท่านั้น ซึ่งการเข้าจังหวะของแท็กทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยเครื่องอ่าน

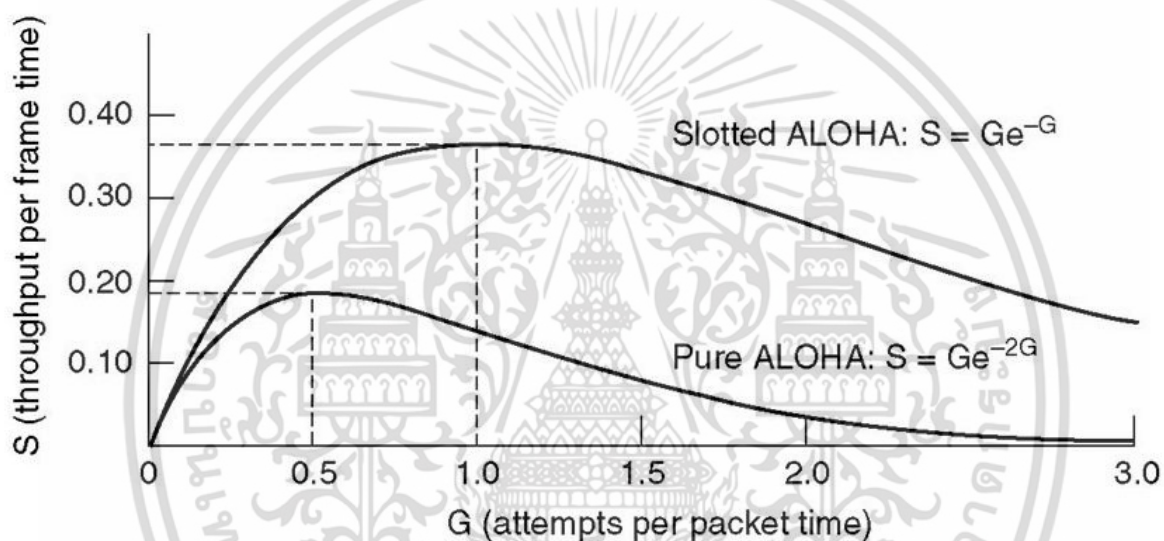
โดยทั่วไปคาบเวลาที่ก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูลสำหรับกระบวนการ Slotted ALOHA จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของกระบวนการ ALOHA กล่าวคือถ้ากำหนดให้กลุ่มข้อมูลมีขนาดเท่านั้น (นั่นคือมีช่วงเวลาในการส่งข้อมูลเท่ากับ τ) กระบวนการ ALOHA จะเกิดการชนกันของข้อมูลก็ต่อเมื่อแท็กสองแท็กส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านภายในคาบเวลา $T < 2\tau$ แต่สำหรับกระบวนการ Slot มีช่วงเวลาเท่ากับ τ ฉะนั้นการชนกันของข้อมูลจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแท็กมากกว่าหนึ่งแท็กต้องการส่งข้อมูล ณ ช่วงเวลาที่เข้าจังหวะเดียวกัน ซึ่งก็คือ $T = \tau$ จึงทำให้เกิดความสัมพันธ์ระหว่าง S และ G คือ

$$S = G \cdot e^{(-G)} \quad (2.5)$$

สมการ (2.5) ทำให้ทราบถึงค่าสูงสุดของ S คือ 36.8% เมื่อ $G = 0.9$ ดังแสดงในรูปที่ 2.18 อย่างไรก็ตามไม่เป็นจริงเสมอไปที่ว่าแท็กที่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกันจะก่อให้เกิดการชนกัน เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ของข้อมูล กล่าวคือในกรณีที่แท็ก A อยู่ใกล้เครื่องอ่านมากกว่าแท็ก B แล้วแท็ก A จะได้รับสัญญาณที่แรงกว่า (ได้รับพลังงานมากกว่า) จึงส่งผลให้สัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูลของแท็ก A มีความแรงของสัญญาณมากกว่าของแท็ก B ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลของแท็ก A ถูกเขียนทับลงไปบนข้อมูลของแท็ก B ทำให้เครื่องอ่านอ่านข้อมูลของแท็ก A ได้เพียงอย่างเดียว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “capture effect” ซึ่งเป็นผลดีกับพฤติกรรมของ Throughput ถ้ากำหนดให้ค่าขีดเริ่มต้น เปลี่ยน (Threshold) b คือปริมาณที่กลุ่มข้อมูลหนึ่งจะต้องมีความแรงมากกว่ากลุ่มข้อมูลอื่นๆ เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถหาได้โดยปราศจากข้อผิดพลาด ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า

$$S = Ge^{\frac{bG}{1+b}} \quad (2.6)$$

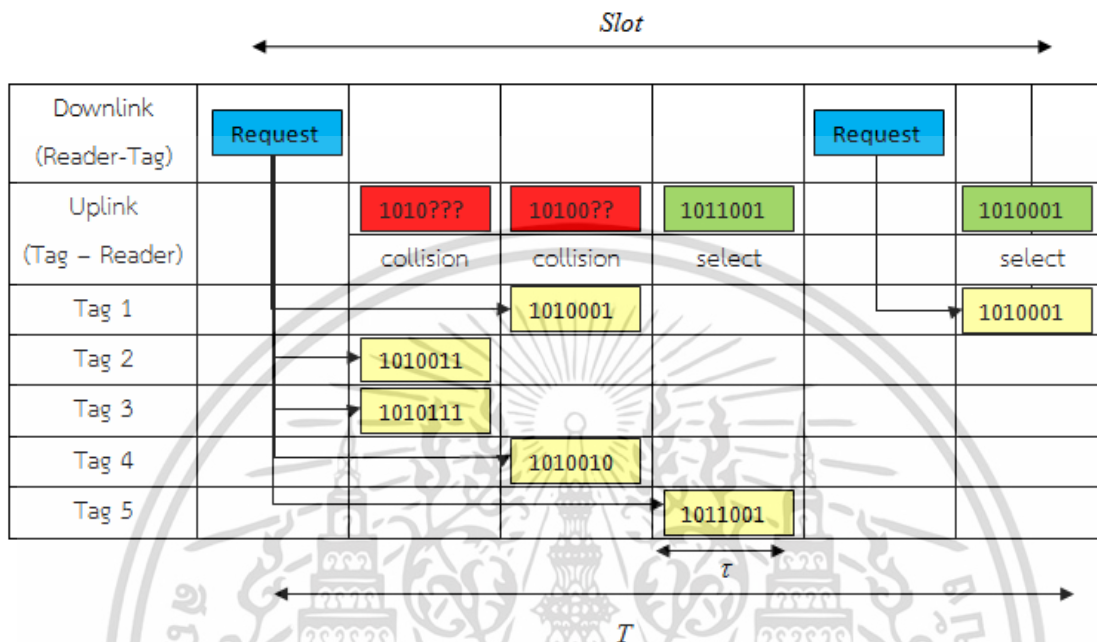


รูปที่ 2.17 เปรียบเทียบปริมาณงาน (throughput) ของกระบวนการ ALOHA และ Slotted ALOHA

สมมุติว่าในระบบมีแท็กอยู่ 5 แท็ก โดยแต่ละแท็กจะมีหมายเลขประจำที่เป็นหนึ่งเดียวหรือหมายเลข ID ซึ่งมีทั้งหมด 8 บิต นั้นแสดงได้ว่ามีแท็กได้สูงสุดคือ $2^8 = 256$ แท็ก จากรูปที่ 2.18 การทำงานของกระบวนการ Slotted ALOHA สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในตอนเริ่มต้นเครื่องอ่านจะอยู่ในโหมดรอ (wait mode) ตากนั้นจึงทำการส่งคำสั่ง REQUEST ไปยังทั้ง 5 แท็กเพื่อทำการเข้าจังหวะกับแท็กทุกแท็กในพื้นที่การอ่านและเตรียมพร้อมรับข้อมูลหมายเลข ID ที่แท็กจะส่งกลับมาให้เครื่องอ่านในหนึ่งช่องทางการสื่อสารที่ตามมา เมื่อแท็กแต่ละตัวได้รับคำสั่ง REQUEST ก็ทำการสุ่มเลือกช่องสื่อสาร (Slot) เพียงช่องเดียวสำหรับส่งหมายเลข ID ไปยังเครื่องอ่าน จากภาพที่ 2.18 พบว่าเกิดการชนกันของข้อมูลเพราะว่ามีแท็กหมายเลข 5 (Tag 5) เพียงแท็กเดียวที่ส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่านได้โดยเมื่อเครื่องอ่านได้รับ ID ของแท็กที่ไม่มีข้อผิดพลาด เครื่องอ่านจะเลือกแท็กนั้นเพื่อทำการติดต่อสื่อสารโดยการส่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่ง SELECT ไปยังแท็กนั้นๆ จากนั้น จึงเริ่มทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้โดยไม่มีแท็กอื่นมารบกวน แต่ ถ้าเครื่องอ่านไม่สามารถตรวจสอบหมายเลข ID ของแท็ก RFID ใดๆได้ เครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่ง REQUEST ออกไปใหม่อีกครั้งหนึ่ง โดยจะทำขั้นตอนแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านสามารถตรวจสอบแท็ก RFID ได้ครบทั้งหมดตามที่ต้องการ



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการทำงานของกระบวนการ Slotted ALOHA

2.12.3 กระบวนการไดนามิกสล็อตอะโลฮา (Dynamic Slotted ALOHA) ในกรณีที่มีแท็กจำนวนมากเข้ามาอยู่ในพื้นที่การอ่านของเครื่องอ่าน ก็จะส่งผลทำให้ค่าปริมาณงานลดลงสู่ค่าศูนย์อย่างรวดเร็ว นั่นคือโอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลจะสูงขึ้น เพราะว่าจำนวนของช่องสื่อสาร (slot) มีน้อยกว่าจำนวนแท็ก ฉะนั้นถ้าต้องการให้เครื่องอ่านสามารถตรวจสอบหมายเลข ID ของแท็กได้ ก็จำเป็นต้องเพิ่มจำนวนช่องสื่อสารให้มากขึ้น เนื่องจากแท็กหนึ่งแท็กสามารถส่งข้อมูลได้ภายในหนึ่งช่องสัญญาณเท่านั้น

ดังนั้นกระบวนการ Dynamic Slotted ALOHA (DSA) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากกระบวนการ Slotted ALOHA เพื่อแก้ไขปัญหาที่ โดยที่จำนวนของช่องสื่อสารที่ใช้ในกระบวนการ DSA สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างการส่งคำสั่ง REQUEST แต่ละครั้ง (ถ้าเกิดการชนกันของข้อมูลจำนวนมากจะทำการเพิ่มช่องสื่อสารขึ้นไปเรื่อยๆ เช่น 1,2,4,8,16 หรือ 32 เป็นต้น) จนกระทั่งแท็ก RFID จะถูกค้นพบทั้งหมด และเมื่อเครื่องอ่านสามารถระบุตัวตนของแท็ก RFID ที่ต้องการได้แล้ว ก็จะส่งคำสั่ง BREAK ไปยังแท็กนั้น เพื่อให้หยุดการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน จนกว่าเครื่องอ่านจะใช้คำสั่งระบุหมายเลข ID ของแท็กนั้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง

2.12.4 กระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮา (Frame Slotted ALOHA) เป็นโปรโตคอลที่ได้รับการพัฒนาหรือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบเพียวอะโลฮา สล็อตอะโลฮา โดยมีหลักการคือ จะแบ่งช่วงเวลาเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับการส่งข้อมูลออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆ (Time Slot) การส่งข้อมูลจะทำการเริ่มต้นของสล็อตและต้องเสร็จสิ้นในสล็อตนั้นๆ สำหรับโปรโตคอล FSA จะมีการรวมสล็อตเข้าเป็นกลุ่มเข้าไปเป็น 1 เฟรม ซึ่งแท็กแต่ละตัวจะทำการส่งข้อมูลได้ 1 ครั้ง ต่อ 1 เฟรม เมื่อเกิดการชนกันของข้อมูลแท็กจะทำการหน่วงเวลาแบบสุ่มรอในเฟรมถัดไป โดยที่ขนาดของเฟรมจะเป็นแบบตายตัวหรือเปลี่ยนแปลงได้ขึ้นอยู่กับรูปแบบการใช้งาน

หลักการ FSA จะใช้เป็นการติดต่อสื่อสารที่ตัวเครื่องอ่านจะมีการกำหนดความยาวของเฟรม และแท็กจะทำการเลือกสล็อตในเฟรมดังกล่าว เพื่อทำการส่งข้อมูล ตัวเครื่องอ่านจะมีกระบวนการทำงานซ้ำๆ จนกระทั่งแท็กทุกตัวที่ได้มีการส่งข้อมูล มีอย่างน้อยหนึ่งตัวที่ประสบความสำเร็จในสล็อตปราศจากการชนกัน ซึ่งในระบบแท็กที่เป็นชนิดเคมี-แอ็กทีฟและแอ็กทีฟนั้น ตัวเครื่องอ่านจะรับทราบได้ว่ามีแท็กใดที่ประสบความสำเร็จบ้างในแต่ละครั้งที่มีการทำงานจบหนึ่งเฟรม เนื่องจากสาเหตุนี้แท็กดังกล่าวจะไปอยู่ที่โหมดเงียบของเฟรมตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการลดค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการชนกัน ระยะเวลาที่ระบุเอกลักษณ์ทั้งหมดจึงลดลง แต่สำหรับแท็กชนิดพาสซีฟ แท็กทั้งหมดจะทำการส่งต่อไปเรื่อยๆ ในทุกๆ เฟรม ซึ่งความยาวของระยะเวลาทั้งหมดจำเป็นต้องเพียงพอต่อการระบุเอกลักษณ์ของแท็กทุกตัว

2.13 ตัวแปรสุ่ม (Random Variables)

เราได้นำเสนอการแจกแจงของตัวแปรสุ่มมาประยุกต์ใช้กับการแก้ไขปัญหาในการวิเคราะห์โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลระบบ RFID ดังนั้น เพื่อเข้าใจในรูปแบบการวิเคราะห์จึงต้องทราบถึงทฤษฎีความน่าจะเป็นพื้นฐานและการแจกแจงของตัวแปรฟังก์ชันบางรูปแบบที่จะกล่าวถึงในหัวข้อนี้

2.13.1 ความน่าจะเป็นเชิงการจัด (Combinatorial Probability) ปัญหามากมายที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นสามารถแก้ไขได้โดยอาศัยการนับจำนวน (Item Counting) ที่เรียกกันว่าเชิงการจัด ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับความน่าจะเป็นเชิงการจัดมีลักษณะดังนี้

1. ปริภูมิตัวอย่าง S ประกอบด้วยผลของการทดลองที่มีจำนวนจำกัด n
2. เหตุการณ์ที่ประกอบด้วยผลของการทดลองหนึ่งชนิดหรือหนึ่งจุด (A Single Outcome) มีความน่าจะเป็นเท่ากันหมดละมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{n}$ โดยทั่วไปเรานิยมกล่าวว่า การทดลองชนิดนี้มีผลที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งหมด n ชนิด และแต่ละชนิดมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่าๆกัน (Equally Likely Outcome) หรือการทดลองให้ผลของการทดลองแบบสุ่ม (At Random) ระหว่างผลการทดลองที่เป็นไปได้ n ชนิด

ในกรณีที่ไม่มีความซับซ้อนเช่นนี้ เราเลือกซิมาฟิลด์ที่โตที่สุดคือ เซตที่บรรจุเซ็ทย่อยทั้งหมดของปริภูมิตัวอย่าง S และสำหรับเซต A ใดๆ ที่อยู่ในซิมาฟิลด์แล้วเราจะได้ $P(A) = \frac{k}{n}$ เมื่อ k คือสมาชิกที่อยู่ใน A การคำนวณค่าของ n สำหรับแต่ละการทดลองและ k สำหรับแต่ละเหตุการณ์นั้นโดยทั่วไปยังเป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปัญหาที่ยุ่งยาก โดยเฉพาะถ้าการทดลองซับซ้อน การเขียนสมาชิกทุกตัวในปริภูมิตัวอย่างย่อมเป็นไปได้ แต่กระนั้นก็มีสูตรการนับบางสูตรที่จะศึกษาในที่นี้ ช่วยให้แก้ปัญหาดังกล่าวได้มากมาย

2.13.2 หลักการเบื้องต้นของการนับ

ถ้าการทดลองหนึ่งประกอบด้วย การทดลอง 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกมีทางที่จะทำได้ r ขั้นตอน และขั้นตอนที่ 2 มีทางทำได้ k ขั้นตอน ผลของการทดลองทั้งหมดจะเกิดขึ้นได้ rk วิธี เพื่อที่จะเข้าใจหลักการเบื้องต้นนี้พิจารณาผลของการทดลองหนึ่งซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรกคือ A อาจจะได้ผลการทดลองเป็น $a_1, a_2, a_3, \dots, a_r$ วิธี ส่วนวิธีที่ 2 คือ B อาจจะได้ผลการทดลองเป็น $b_1, b_2, b_3, \dots, b_k$ วิธี ดังนั้นผลของการทดลองจะออกมาในรูปแบบ คู่ลำดับ (a, b) ดังนี้

	b_1	b_2	...	b_j	...	b_k
a_1	(a_1, b_1)	(a_1, b_2)	...	(a_1, b_j)	...	(a_1, b_k)
a_2	(a_2, b_1)	(a_2, b_2)	...	(a_2, b_j)	...	(a_2, b_k)
:	:	:	...	:	...	:
a_j	(a_j, b_1)	(a_j, b_2)	...	(a_j, b_j)	...	(a_j, b_k)
:	:	:	...	:	...	:
a_r	(a_r, b_1)	(a_r, b_2)	...	(a_r, b_j)	...	(a_r, b_k)

นั่นคือผลของการทดลองจะออกมาในรูปแบบของผลคูณคาร์ทีเซียนของ $A \times B$ โดยที่ $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}, B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$ จะได้คู่ลำดับทั้งหมด rk คู่ลำดับด้วยกัน ดังนั้นจำนวนวิธีทั้งหมดของการทดลอง $= n(A \times B) = n(A) \times n(B)$ โดยการขยายหลักเกณฑ์นี้ออกไปให้ใช้ได้กับการทดลองที่ประกอบด้วยขั้นตอนมากกว่า 2 ขั้นตอน ก็จะได้หลักเกณฑ์ทั่วไป ที่ใช้หาจำนวนวิธีทั้งหมดสำหรับการทดลองหนึ่งซึ่งประกอบด้วยขั้นตอน n ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 (A_1) อาจจะมีเลือกทำได้ a_1 วิธี

ขั้นตอนที่ 2 (A_2) อาจจะมีเลือกทำได้ a_2 วิธี

:

ขั้นตอนที่ n (A_n) อาจจะมีเลือกทำได้ a_n วิธี

ดังนั้นผลของการทดลองทั้งหมดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จะออกมาในรูปแบบของผลคูณคาร์ทีเซียนของ $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$ นั่นคือ $S = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) | x_i \in A_i\}$

จำนวนสมาชิกในแซมเปิลสเปซ

$$\begin{aligned} S &= n(A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n) \\ &= n(A_1) \times n(A_2) \times \dots \times n(A_n) \\ &= a_1 \times a_2 \times \dots \times a_n \end{aligned}$$

ตัวอย่างเช่น ทอดลูกเต๋า 1 ลูก 3 ครั้ง จำนวนวิธีที่อาจจะเกิดขึ้นได้ $= 6 \times 6 \times 6 = 216$ วิธี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.13.3 การสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่และแบบไม่คืนที่

ปัญหาต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ของทฤษฎีความน่าจะเป็นอีกอันหนึ่งก็คือการสุ่มสิ่งของออกมาจำนวนหนึ่ง r สิ่ง จากสิ่งของต่างกัน n สิ่ง วิธีการสุ่มสิ่งของนี้เรียกว่าการสุ่มตัวอย่างหรือเรียกสั้นๆว่า การสุ่มตัวอย่างขนาด r ซึ่งอาจจะสุ่มได้มาโดยวิธีหยิบทีละสิ่งแล้วใส่กลับคืนที่เดิม (With Replacement) ก่อนหยิบครั้งต่อไป หรืออาจจะสุ่มหยิบทีละสิ่งแล้วไม่ใส่กลับคืนที่เดิม (Without Replacement) ก่อนหยิบครั้งต่อไป

ในแต่ละวิธีบางครั้งลำดับของการสุ่มที่ได้มาอาจจะมีความสำคัญ หรือไม่มีความสำคัญก็ได้ ถ้าตัวอย่างขนาด r ถูกสุ่มมาจากสิ่งของทั้งหมด n สิ่งโดยคำนึงถึงลำดับในการสุ่มแล้วเรียกตัวอย่างขนาด r ที่สุ่มมาได้ว่าลำดับตัวอย่างขนาด r (Ordered Sample of Size r) เราเรียกวิธีนี้ว่า เป็นการเรียงสับเปลี่ยน (Permutation) ถ้าไม่คำนึงถึงลำดับตัวอย่างขนาด r แล้วเราเรียกว่าเป็นการเลือก หรือการจัดหมู่ (Combination)

ลำดับตัวอย่างขนาด r นิยมเขียนในรูปแบบของ r ลำดับคือ (x_1, x_2, \dots, x_r) เมื่อ x_i แทนผลสุ่มได้ครั้งที่ i **นิยาม** การสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่ที่เกิดขึ้นได้ เมื่อสุ่มตัวอย่างทีละสิ่ง แล้วใส่กลับคืนที่เดิมก่อนหยิบครั้งต่อไป ดังนั้น จำนวนวิธีทั้งหมดที่อาจจะสุ่มตัวอย่างมีลำดับขนาด r จากสิ่งของที่ต่างกัน n สิ่ง จะเท่ากับ r สิ่ง **นิยาม** การสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่ที่เกิดขึ้นได้ เมื่อสุ่มตัวอย่างทีละสิ่งแล้วไม่ใส่กลับคืนที่เดิมก่อนหยิบครั้งต่อไป ดังนั้น จำนวนวิธีทั้งหมดที่อาจจะสุ่มตัวอย่างมีลำดับขนาด r จากสิ่งของที่ต่างกัน n สิ่งจะเท่ากับ

$$n(n-1)\dots(n-r+1) = \frac{n!}{(n-r)!} \text{ วิธี}$$

ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ " P_r " หรือ $(n)_r$ แทน

$$\text{นั่นคือ} \quad (n)_r = \frac{n!}{(n-r)!} \text{ วิธี}$$

บางครั้งลำดับของการเลือกไม่มีความสำคัญ และเราไม่สนใจว่าจะได้สิ่งใดก่อนหรือหลังเพียงแต่ต้องการให้ได้ของขนาดตัวอย่างขนาด r เท่านั้น เพื่อที่จะหาวิธีของการสุ่มตัวอย่างขนาด r โดยไม่คำนึงถึงลำดับ สมมติให้ C แทนจำนวนวิธีของการสุ่มตัวอย่างขนาด r (ไม่คำนึงถึงลำดับ) จากสิ่งของที่ต่างกัน n สิ่ง จะเห็นได้ว่าในแต่ละวิธีที่สุ่มมาได้นี้ ถ้าจะนำมาเรียงสับเปลี่ยนจะทำได้ $r!$ วิธี ดังนั้น จำนวนวิธีการจัดเรียงลำดับสับเปลี่ยนของตัวอย่างขนาด r จะเท่ากับจำนวนวิธีของการสุ่มตัวอย่างขนาด r คูณด้วยจำนวนวิธีของการจัดเรียงสับเปลี่ยนในแต่ละวิธี ซึ่งจะได้

$$(n)_r = \frac{n!}{(n-r)!} = c \cdot r! \quad (2.7)$$

ดังนั้น

$$c = \frac{n!}{r!(n-r)!}, (r \leq n)$$

จะใช้สัญลักษณ์ " c_r " หรือ $c_{(n,r)}$ หรือ $\binom{n}{r}$ แทน c นั่นคือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \tag{2.8}$$

หมายเหตุ : จะเห็นได้ว่า จำนวนวิธีที่ได้นี้ จะเหมือนกับการจัดเรียงสับเปลี่ยนสิ่งของที่ลักษณะเหมือนกัน ชนิดแรกเหมือนกัน มี r สิ่ง อีกชนิดเหมือนกันมี $(n-r)$ สิ่ง ซึ่งจะเรียงสับเปลี่ยนได้ $= \frac{n!}{r!(n-r)!}$ (เลือก

ตำแหน่งให้ของชนิดแรกอยู่ เลือกได้ $\binom{n}{r}$ วิธีตำแหน่งที่เหลือวางของชนิดที่สอง) นิยาม จำนวนวิธีการเลือกสิ่งของ r สิ่ง จากสิ่งของที่แตกต่างกัน n สิ่ง (ตัวอย่างขนาด r ไม่ค่านึงถึงลำดับ) คือ

$$\binom{n}{r} = \frac{n!}{r!(n-r)!} \text{ วิธี}$$

จำนวน $\binom{n}{r}$ มีชื่อเรียกว่า สัมประสิทธิ์ทวินาม เพราะว่าสัมประสิทธิ์ของ $a^r b^{n-r}$ ได้มาจากสมการกระจาย $(a+b)^n$ ก็คือ $\binom{n}{r}$ นั่นคือ

$$(a+b)^n = \sum_{r=0}^n \binom{n}{r} a^r b^{n-r} \tag{2.9}$$

2.13.4 สัมประสิทธิ์พหุนามและการแบ่งส่วน

ปัญหาเกี่ยวกับการจัดเรียงสับเปลี่ยนและการเลือก เป็นส่วนหนึ่งของปัญหาเกี่ยวกับการนับสัมประสิทธิ์ทวินามเป็นเพียงกรณีหนึ่งของสัมประสิทธิ์พหุนาม เราจะพิจารณาถึงการเลือกหรือการแบ่งกลุ่มสิ่งของออกเป็นหลายๆกลุ่ม ซึ่งเป็นการขยายโอกาสกฎของการเลือกของ หรือการแบ่งกลุ่มออกเป็น 2 ตามลำดับ กฎเกณฑ์นี้มีชื่อเรียกว่า การแบ่งส่วน (Partitions) ก่อนจะพูดถึงกฎเกณฑ์การแบ่งส่วน ขอทบทวนความหมายของการเลือก " C_r " หรือ $\binom{n}{r}$ ที่กล่าวมาแล้ว สมมติว่าเราพิจารณาการเลือกของ r สิ่ง จากจากของที่แตกต่างกัน n สิ่ง จะเห็นได้ว่าสิ่งของทั้งหมด n สิ่ง เป็นสมาชิกในปริภูมิตัวอย่าง S ออกเป็น 2 ส่วน คือ S_1 และ S_2 จะประกอบด้วยสมาชิก r สิ่ง ที่ถูกเลือกมา และ S_2 จะประกอบด้วยสมาชิก $(n-r)$ สิ่ง ที่เหลือจะได้ $S = S_1 \cup S_2$ และ $n(S_1) + n(S_2) = n(S) = n$ ซึ่งก็คือการแบ่งส่วนอย่างมีลำดับที่เรียกว่า Ordered Partitio of Type $r, (n-r)$

ดังนั้นจำนวนของวิธีการเลือกสิ่งของ r สิ่ง จากสิ่งของที่แตกต่างกัน n สิ่ง ก็คือจำนวนวิธีการแบ่งส่วนอย่างมีลำดับ โดยส่วนแรกมีของ r สิ่ง ส่วนที่สองมีของ $n-r$ สิ่ง ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์ $r, (n-r)$ จะเท่ากับ $\binom{n}{r}$ วิธี $= \frac{n!}{r!(n-r)!}$ วิธี เราอาจจะขยายความคิดนี้ออกไปได้ดังนี้

ให้ S เป็นเซตที่ประกอบด้วยสมาชิก n จำนวน การแบ่งส่วนอย่างมีลำดับของ S ในรูปแบบ (n_1, n_2, \dots, n_m) ก็คือการแบ่งเซต S ออกเป็นเซตย่อย (S_1, S_2, \dots, S_m) โดยที่ $S_i \cap S_j = \emptyset, i \neq j$ และ $n(S_1) = n_1, n(S_2) = n_2, \dots, n(S_m) = n_m$ โดยที่ $n_1 + n_2 + \dots + n_m = n$ จะได้จำนวนวิธีการแบ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$\frac{n!}{n_1!n_2!\dots n_m!}$ วิธี นิยาม ถ้า S เป็นเซตที่มีจำนวนสมาชิก n จำนวนแล้ว จำนวนวิธีของการแบ่งส่วนอย่าง

มีลำดับในรูปแบบของ (n_1, n_2, \dots, n_m) จะเท่ากับ $\frac{n!}{n_1!n_2!\dots n_m!}$ วิธี วิธีคิด ประการแรกเลือกของที่จะถูก

แบ่งออกเป็นส่วนแรกก่อนจะเลือกได้ $\binom{n}{n_1}$ วิธี ขั้นต่อไปเลือกของที่เหลือออกเป็นส่วนที่สองจะเลือกได้

$\binom{n-n_1}{n_2}$ วิธี ดังนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงส่วนสุดท้ายจะเหลือของอยู่ n_m สิ่งพอดีจะได้จำนวนวิธีการแบ่ง

$= \binom{n}{n_1} \binom{n-n_1}{n_2} \dots \binom{n-n_1-\dots-n_{m-1}}{n_m} \binom{n_m}{n_m} = \frac{n!}{n_1!n_2!\dots n_m!}$ วิธี จำนวนวิธีที่ได้เรียกว่า สัมประสิทธิ์พหุนาม

(Multinomial Coefficient) ทั้งนี้เพราะว่าสัมประสิทธิ์ของ $a_1^{n_1} a_2^{n_2} \dots a_m^{n_m}$ ได้มาจากการกระจาย

$(a_1 + a_2 + \dots + a_m)^n$ ก็คือ $\frac{n!}{n_1!n_2!\dots n_m!}$ นั่นเอง

ถ้า $S = \{a, b, c, d\}$ จำนวนวิธีทั้งหมดของการแบ่งสมาชิกใน S ออกเป็น 3 ส่วน โดยให้แต่ละส่วนมีสมาชิก $(1, 1, 2)$ ตามลำดับจะแบ่งได้เท่ากับ $\binom{4}{1, 1, 2} = \frac{4!}{1!1!2!} = 12$ วิธี

2.13.5 การแบ่งส่วนอย่างไม่มีลำดับ ในกรณีการแบ่งสิ่งของออกเป็นส่วนๆ ส่วนละเท่าๆกัน ดังตัวอย่างให้ $S = \{a, b, c, d\}$ แบ่งจำนวนสมาชิก S ออกเป็น 2 ส่วนๆ ละ 2 สิ่ง จะแบ่งได้ดังนี้

$$S_1 = \{\{a, b\}, \{c, d\}\}, S_2 = \{\{c, d\}, \{a, b\}\}$$

$$S_3 = \{\{a, c\}, \{b, d\}\}, S_4 = \{\{b, d\}, \{a, c\}\}$$

$$S_5 = \{\{a, b\}, \{b, c\}\}, S_6 = \{\{b, c\}, \{a, d\}\}$$

จะเห็นได้ว่า ส่วนที่ 1 และส่วนที่ 2 ถ้าคิดลำดับของการแบ่งแล้วจะถือว่าแตกต่างกัน คือ S_1 ครั้งแรกแบ่งได้ $\{a, b\}$ ก่อน สำหรับ S_2 ครั้งแรกแบ่งได้ $\{c, d\}$ ก่อน แต่ถ้าไม่คำนึงถึงลำดับในการแบ่งแล้วจะเห็นได้ว่า S_1 และ S_2 เป็นวิธีเดียวกัน S_3 และ S_4 เป็นวิธีเดียวกัน S_5, S_6 ก็เช่นเดียวกัน

ฉะนั้นจึงมีวิธีต่างกันเพียง 3 วิธีเท่านั้นคือเอา 2 ไปหารจำนวนวิธีเดิมที่จะแบ่งสิ่งของออกเป็น 2 ส่วน โดยแต่ละส่วนมีจำนวนเท่ากับ 2 สิ่ง ซึ่งจะได้จำนวนวิธีทั้งหมดเท่ากับ $\binom{4}{2} = \frac{4!}{2!2!}$ แต่มีสอง

จำนวนที่มีจำนวนสิ่งของเท่ากัน การสลับที่ของ 2 ส่วนนี้ไม่ทำให้เกิดเป็นวิธีใหม่ขึ้นมาเพราะไม่คิดลำดับเป็นสิ่งสำคัญ ดังนั้น จะมีวิธีซ้ำกันอยู่ $2!$ วิธี จำนวนวิธีการแบ่งส่วนอย่างไม่มีลำดับในรูปแบบ $\underbrace{(r, r, \dots, r)}_m$

สรุปได้ดังนี้คือ จำนวนวิธีการแบ่งส่วนอย่างไม่มีลำดับ โดยที่แต่ละส่วนมีจำนวนสิ่งของเท่าๆกัน r สิ่งให้ S เป็นเซตที่มีจำนวนสมาชิก n จำนวน โดยที่ $n = m \times r$ ดังนั้นจำนวนวิธีการแบ่งส่วนอย่างไม่มีลำดับของ S ในรูปแบบ $\underbrace{(r, r, \dots, r)}_m$ จะเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\binom{n}{r, r, \dots, r} / m! = \frac{1}{m!} \frac{n!}{(r!)^m} \quad (2.10)$$

2.13.6 ตัวอย่างเกี่ยวกับปัญหาเชิงจัดการ ปัญหาส่วนมากที่เกิดในชีวิตประจำวัน เช่น ปัญหาทางธุรกิจ ทางจิตวิทยา ทางสังคมวิทยา ทางสัตวศาสตร์และทางการแพทย์ มักจะอยู่ในรูปแบบลูกบอลและกล่อง ปัญหาเกี่ยวกับการจับคู่ต่อไปนี้จะยกตัวอย่างให้เห็นถึงความสัมพันธ์ระหว่างโมเดลนี้กับปัญหาต่างๆในชีวิตประจำวัน

ตัวอย่าง สุ่มใส่ลูกบอล 7 ลูก ลงในกล่อง 7 ใบ ตารางต่อไปนี้จะแสดงการแจกแจงความน่าจะเป็นของจำนวนลูกบอลที่จะบรรจุอยู่ในกล่องทั้ง 7 ใบ (แสดงให้เห็นเพียงส่วนหนึ่งเท่านั้น)

ตารางที่ 2.3 แสดงการแจกแจงของจำนวนลูกบอล 7 ลูก ในกล่อง 7 ใบ [18]

จำนวนลูกบอลในแต่ละกล่อง (1)	จำนวนวิธีการจัดเรียงลำดับไม่คิดลำดับเท่ากับ $7! \times 7!$ ทารตัวเลขต่อไปนี้ (2)	ความน่าจะเป็น $(2)/7^7$
1,1,1,1,1,1,1	$7! \times 1!$	0.006120
2,1,1,1,1,1,0	$5! \times 2!$	0.128518
2,2,1,1,1,0,0	$2!3!2! \times 2!2!$	0.321295
2,2,2,1,0,0,0	$3!3! \times 2!2!2!$	0.107098
3,1,1,1,1,0,0	$4!2! \times 3!$	0.107098
3,2,1,1,0,0,0	$2!3! \times 3!2!$	0.214197
4,1,1,1,0,0,0,0	$3!3! \times 4!$	0.035699
5,1,1,0,0,0,0,0	$2!4! \times 5!$	0.005355
7,0,0,0,0,0,0,0	$6! \times 7!$	0.000008

จำนวนลูกบอล (r) เท่ากับ 7 จำนวนกล่อง (n) เท่ากับ 7 (กล่องอาจแทนจำนวนวันในรอบหนึ่งสัปดาห์ จำนวนลูกบอลอาจแทนครั้งการโทรเข้าของโทรศัพท์หรือแทนจำนวนจดหมายเข้าหรือการเกิดอุบัติเหตุ ฯลฯ) พิจารณาหนึ่งคือเหตุการณ์ 2,2,1,1,1,0,0 ในแถว (1) เหตุการณ์ที่ 3 ซึ่งมีลูกบอลอยู่ในกล่อง (2,2,1,1,1,0,0) วิธี ก็คือ แบ่งลูกบอล 7 ลูกออกเป็นหมู่ๆละ 2,2,1,1,1 ได้เท่ากับ ${}^7C_2 \times {}^5C_2 \times {}^3C_1 \times {}^2C_1 \times {}^1C_1 = \frac{7!}{2!2!1!1!1!}$ วิธี การแบ่งนี้มีลำดับในตัวเองอยู่แล้วคือจำนวนลูกบอล 2,2,1,1,1 ลูกเหล่านี้ บรรจุอยู่ในกล่องใบที่ 1-5 ตามลำดับส่วนใบที่ 6-7 เป็นกล่องว่างแต่เมื่อไม่สนใจจำนวนลูกบอลที่ถูกแบ่งนี้อาจจะอยู่ในกล่องใบไหนก็ได้ ดังนั้นจะเกิดการสลับที่การใส่ลูกบอลจำนวนต่างๆในกล่องทั้ง 7 ใบได้อีก 7! วิธี แต่จะมีจำนวนลูกบอลเท่ากัน 2 ลูกอยู่ 2 กล่อง 1 ลูก อยู่ 3 กล่องและมีกล่องว่าง 2 กล่องจะต้องหารออกด้วย 2!3!2! ดังนั้นจำนวนวิธีการสลับที่จำนวนลูกบอลในกล่องที่ 7 ใบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เท่ากับ $\frac{7!}{2!3!2!}$ จำนวนวิธีของการสุ่มลูกบอล 7 ลูกในกล่อง 7 ใบ โดยมีจำนวนลูกบอลอยู่ (2,2,1,1,1,0,0) จะเท่ากับ $\frac{7!}{2!2!} \times \frac{7!}{2!3!2!}$ ดังตัวเลขในตารางข้างบน ส่วนเหตุการณ์อื่นๆก็คิดในทำนองเดียวกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

2.13.7 การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution) ในการลำดับของการทดลองแบบเบอโนลลี เราสนใจแต่จำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จในการทดลองทั้งหมด n ครั้ง โดยไม่สนใจลำดับการเกิดในแต่ละครั้ง ถ้ากำหนดให้ตัวแปรสุ่ม x เป็นจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จในการทดลองแบบเบอโนลลี n ครั้ง x อาจจะมีค่าเป็น $0,1,2,3,\dots,n$ นั่นคือเราจะได้นิยามของการทดลองแบบทวินามดังนี้

- 1) เป็นการทดลองที่ทำซ้ำกัน n ครั้ง ($n > 1$)
- 2) การทดลองทั้ง n ครั้งเป็นอิสระซึ่งกันและกัน
- 3) ผลของการทดลองแต่ละครั้งจะเกิดได้เพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ ความสำเร็จ (Success) กับความไม่สำเร็จ (Failure)

4) ความน่าจะเป็นของการเกิดความสำเร็จในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าคงที่ นั่นคือ P (เกิดความสำเร็จในแต่ละครั้ง) = P และ P (ไม่เกิดความสำเร็จในแต่ละครั้ง) = $1 - p = q$

5) ตัวแปรสุ่ม x คือจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จจากการทดลอง n ครั้ง ถ้า x เป็นจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จ x อาจจะมีค่าเป็น $0,1,2,\dots,n$ แล้ว $n-x$ จะเป็นจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จ ความน่าจะเป็นของความไม่สำเร็จ x ครั้งในการทดลอง n ครั้งเท่ากับ $\binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$ นั่นคือฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ x คือ

$$P = (X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \quad x = 0, 1, \dots, n \quad (2.11)$$

เราเรียกความน่าจะเป็นนี้ว่า ความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Probability) และเรียกการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม x ว่าเป็น การแจกแจงทวินาม นิยาม ตัวแปรสุ่ม x มีการแจกแจงทวินาม ถ้าสำหรับจำนวนเต็มบวก n ใดๆ และ $0 \leq p \leq 1$

$$P(X = x) = p_x(x) = \begin{cases} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ 0 \end{cases}, x = 0, 1, \dots, n \quad (2.12)$$

จะตรวจสอบว่าสมการดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็นหรือไม่ พิจารณา

$P = (X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, x > 0$ ทุกค่าของ x เพราะว่า $\binom{n}{x}$ มีค่าเป็นบวก p และ $1-p$ มีค่าเป็นบวกเสมอ

$$\begin{aligned}\sum_{x=0}^n P(X=x) &= \sum_{x=0}^n \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x} \\ &= (p + (1-p))^n \quad \text{โดยทฤษฎีทวินาม} \\ &= 1\end{aligned}$$

ดังนั้นสมการดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็น

ตัวอย่าง ทอดลูกเต๋า 1 ลูก 5 ครั้ง ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือจะขึ้นแต้ม หก 2 ครั้งจะเท่ากับ

$$\begin{aligned}\left(\frac{5}{2}\right)\left(\frac{1}{6}\right)^2\left(\frac{5}{6}\right)^3 \\ (p = \frac{1}{6}, 1-p = \frac{5}{6})\end{aligned}$$

หรือถ้ากำหนดให้ตัวแปรสุ่ม x เป็นจำนวนครั้งที่ลูกเต๋าคือขึ้นแต้มหก ดังนั้น x จะมีค่าเป็น 0,1,2,3,4,5

$$P(X=2) = \binom{5}{2} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \left(\frac{5}{6}\right)^3$$

2.13.8 การแจกแจงมัลติโนเมียล (Multinomial Distribution) การทดลองซ้ำกัน n ครั้ง โดยการทดลองในแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อกันผลของการทดลองในแต่ละครั้งอาจเกิดผลลัพธ์ได้หลายชนิด เช่น การสอบถามถึงความคิดเห็นแต่ละบุคคล สมมติว่าผลของการทดลองในแต่ละครั้งในลักษณะที่กล่าวมานี้ อาจเกิดผลลัพธ์ได้ถึง k อย่าง ด้วยความน่าจะเป็น

$$p_1, p_2, \dots, p_k \quad \left(\sum_{i=1}^k p_i = 1 \right) \quad (2.13)$$

โดยที่ p_1, p_2, \dots, p_k แทนความน่าจะเป็นที่จะเกิดผลลัพธ์ชนิดที่ 1, 2, ... และ k ตามลำดับ ถ้ากำหนดให้ X_i แทนความสำเร็จที่เกิดขึ้นจากผลลัพธ์ชนิดที่ $i, i=1, 2, \dots, k$ นั่นคือ

$$P(X_i = x_i) = p_i, i=1, 2, \dots, k$$

ถ้าสนใจความน่าจะเป็นที่ X_1 จะเกิดผลลัพธ์ชนิดที่ 1

X_2 จะเกิดผลลัพธ์ชนิดที่ 2

⋮

X_k จะเกิดผลลัพธ์ชนิด k

จะได้

$$P(X_1 = x_1, X_2 = x_2, \dots, X_k = x_k) = \binom{n}{x_1, x_2, \dots, x_k} p^{x_1} p^{x_2} \dots p^{x_k}$$

หรือ

$$P(x_1, x_2, \dots, x_k) = \left(\frac{n}{x_1! x_2! \dots x_k!} \right) p^{x_1} p^{x_2} \dots p^{x_k}$$

โดยที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\sum_{i=1}^k x_i = n$$

และ

$$\begin{aligned} \binom{n}{x_1, x_2, \dots, x_k} &= \text{จำนวนวิธีของการเลือกให้เกิด } x_1 \text{ จากผลลัพธ์ที่ } 1 \\ &\quad x_2 \text{ จากผลลัพธ์ที่ } 2, \dots, x_k \text{ จากผลลัพธ์ที่ } k \\ &= \frac{n!}{x_1! x_2! \dots x_k!} \end{aligned}$$

ทฤษฎี ถ้าตัวแปรสุ่ม x_1, x_2, \dots, x_k มีการแจกแจงมัลติโนเมียลแล้ว ฟังก์ชันความน่าจะเป็นร่วมของตัวแปรสุ่มกำหนดโดย

$$P(x_1, x_2, \dots, x_k) = \frac{n!}{x_1! x_2! \dots x_k!} p_1^{x_1} p_2^{x_2} \dots p_k^{x_k} \quad (2.14)$$

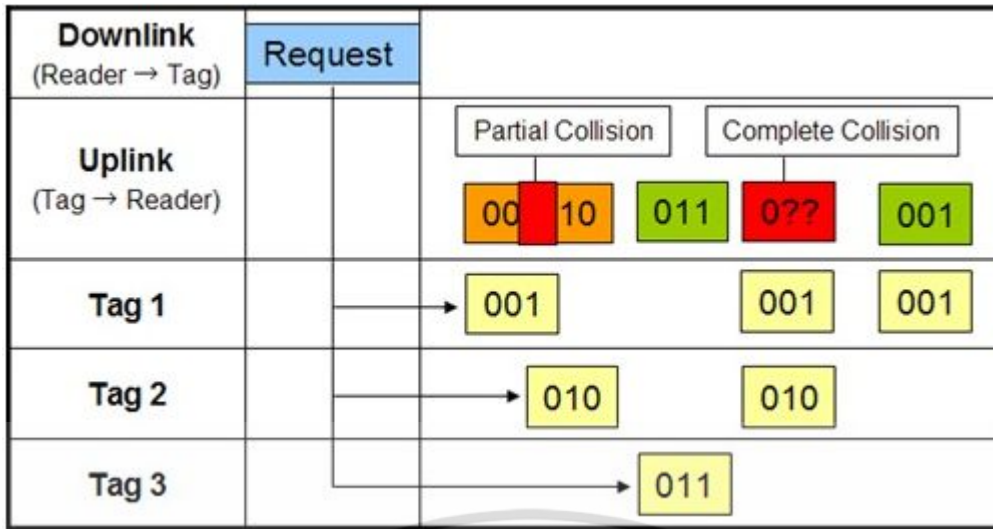
เมื่อ $x_i = 0, 1, \dots, n$ ทุกค่าของ i , $\sum x_i = n$ $\sum p_i = 1$

โดยที่ $\binom{n}{x_1, x_2, \dots, x_k}$ คือสัมประสิทธิ์ของ $a_1^{x_1} a_2^{x_2}, \dots, a_k^{x_k}$ ซึ่งได้จากการกระจาย $(a_1 + a_2 + \dots + a_n)^n$

2.14 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

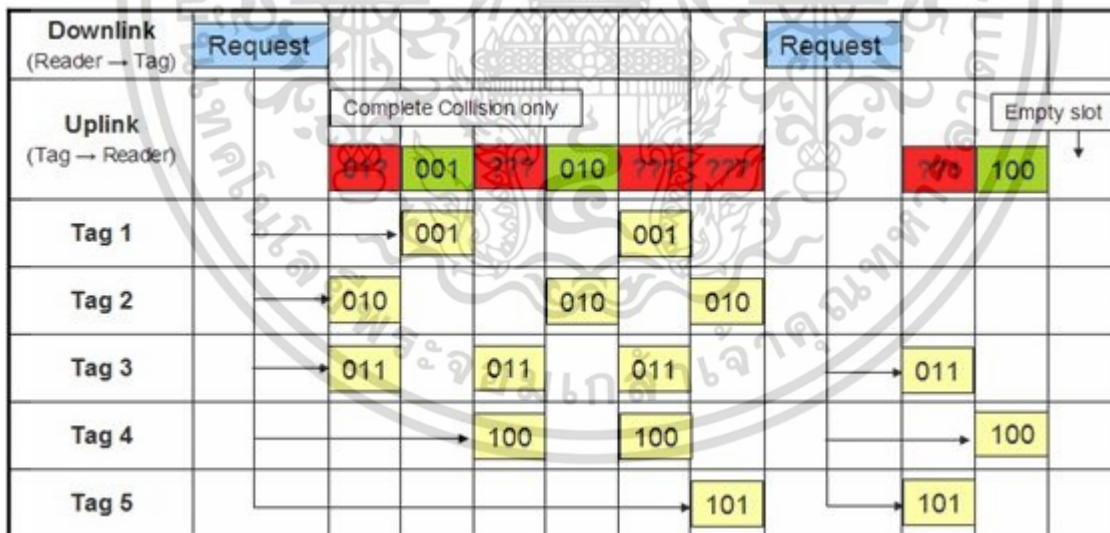
2.14.1 ตัวอย่างกระบวนการป้องกันการชนกันที่นิยมใช้ในระบบ RFID

1. กระบวนการ ALOHA เป็นกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุด แท็กจะทำการส่งเวลาที่ส่งข้อมูลเอง โดยเวลาที่ส่งจะไม่มีการเข้าจะหะวะกับเครื่องอ่านและแท็กอื่นๆเมื่อได้รับพลังงานคลื่นจากเครื่องอ่านในพื้นที่การอ่าน แท็กจะส่งเวลาและส่งข้อมูลหลังจากได้รับคำสั่ง REQUEST จากเครื่องอ่าน แท็กสามารถเกิดการชนกันได้แบบสมบูรณ์หรืออาจจะชนกันบางส่วน ซึ่งเมื่อแท็กชนกันก็จะทำการส่งเวลาหน่วงในการส่งใหม่อีกรอบ ดังรูป 2.19



รูปที่ 2.19 กระบวนการ ALOHA สำหรับ RFID

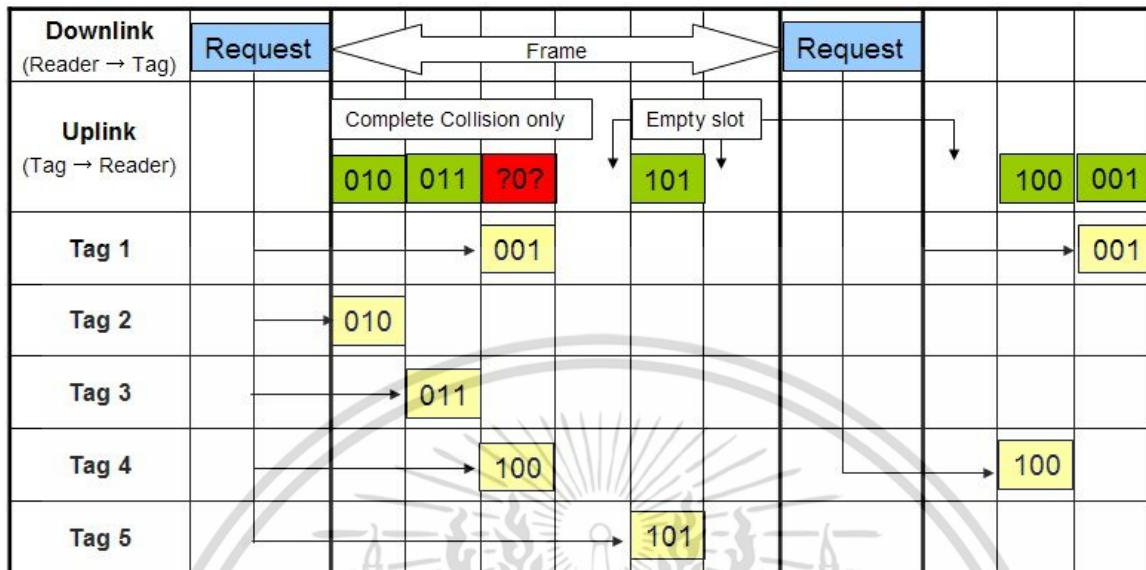
2. Slotted ALOHA ได้ถูกพัฒนาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการ ALOHA ที่มีปริมาณงานต่ำ โดยกระบวนการ Slotted ALOHA แท้ก็จะเริ่มทำการส่งข้อมูลเมื่อเวลาที่เข้าจังหวะตามที่กำหนดไว้หรือเรียกว่าสล็อตเท่านั้น ซึ่งการเข้าจังหวะจะถูกควบคุมด้วยเครื่องอ่านแท็กจะเลือกสล็อตเข้าสล็อตเดียว และจะเริ่มการส่งแบบสล็อตถัดไปอีกครั้งด้วย 1 สล็อต ดังรูป ที่ 2.20 เมื่อการชนกันเกิดขึ้น จะเป็นการชนกันแบบสมบูรณ์หรือไม่มีการชนกันแค่บางส่วนแบบกระบวนการ ALOHA ดังนั้น Slotted ALOHA จะมีปริมาณงานสูงกว่า ALOHA



รูปที่ 2.20 กระบวนการ Slotted ALOHA สำหรับ RFID

3. Framed Slotted ALOHA (FSA) เป็นโพรโตคอลที่ได้รับการพัฒนาจากสล็อตอะโลฮา โดยมีหลักการคือ จะแบ่งช่วงเวลาสำหรับการส่งข้อมูลออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆ หรือสล็อต ซึ่งจะถูกนำมารวมกันเรียกว่าเฟรม ซึ่งแท็กแต่ละตัวจะทำการส่งข้อมูลได้ 1 สล็อตต่อ 1 เฟรม จะเกิดการชนกันของข้อมูลเมื่อมีแท็กมากกว่า 1 ตัวในสล็อตเดียวกันและสล็อตว่าง คือสล็อตที่ไม่มีแท็กส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

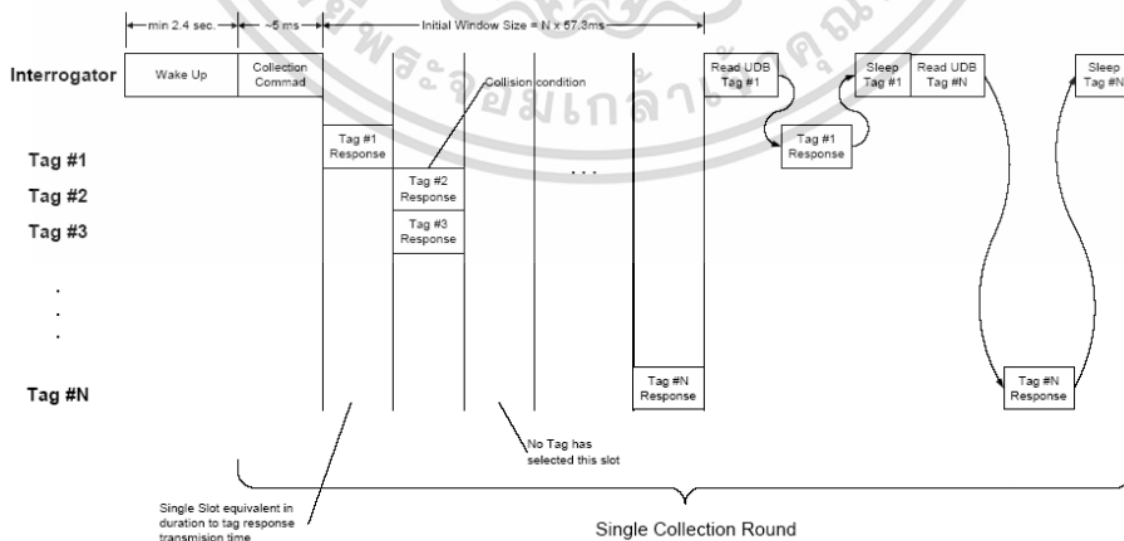
เข้าไปเลย และจำนวนเฟรมจะเท่าเดิมจนกว่าจะจบการติดต่อสื่อสารระหว่างแท็กและเครื่องอ่าน ดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 กระบวนการ Framed Slotted ALOHA สำหรับ RFID

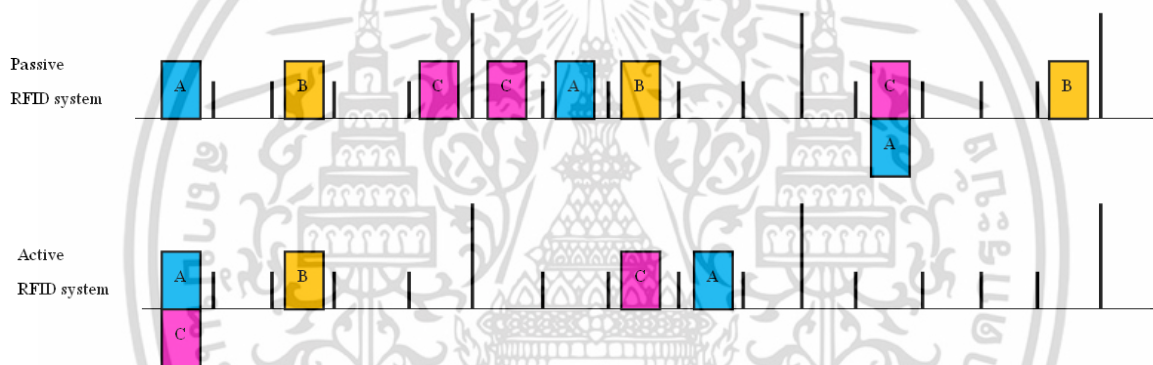
2.14.2 รูปแบบการจัดเก็บแท็กแบบพาสซีฟและแบบแอ็กทีฟ

ได้มีบทความวิจัยนำเสนอถึงรูปแบบการวิเคราะห์ของระบบ RFID ที่มีการส่งหลากหลายมาหลายโปรโตคอล ในหัวข้อนี้จะนำเสนอการวิเคราะห์ระบบ RFID ที่มีการส่งแบบหลากหลายโดยใช้รูปแบบการส่งแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา (FSA:Framed Slotted ALOHA) [19]-[22] โดยจะมีรูปแบบการส่งข้อมูลแท็ก 2 ประเภทคือ แท็กแบบพาสซีฟ (Passive tag) และแบบแอ็กทีฟแท็ก (Active tag) โดยทั้ง 2 แบบจะมีรูปแบบที่แตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 2.22 ลำดับการจัดเก็บแท็กของ RFID แบบแอ็กทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กทีฟแท็กจะมีแบตเตอรี่ภายในแท็ก ทำให้ระยะการส่ง ส่งได้ไกลขึ้นมากกว่าแบบพาสซีฟ นอกจากนั้นยังมีหน่วยความจำและฟังก์ชันที่มากกว่าอีกด้วย โดยส่วนมากแล้วการเริ่มการสื่อสารระหว่างแท็กและตัวอ่าน ตัวอ่านจะเป็นตัวเริ่มทำการติดต่อกับแท็ก ในขณะที่แท็กทีฟแท็กไม่ได้ทำงานหรือไม่ต้องตอบสนองคำสั่งใดๆ แท็กจะอยู่ในสถานะหลับ (Sleep state) จากรูปที่ 2.22 แสดงตัวอย่างลำดับการจับเก็บ ID แท็ก [23] โดยเริ่มต้นจากสัญญาณปลุก (Wakeup signal) เมื่อทุกแท็กได้รับสัญญาณปลุกจะเข้าสู่สถานะพร้อม (Ready state) ที่จะรับคำสั่งจากเครื่องอ่าน โดยเครื่องอ่านจะส่ง Collection command ที่ระบุขนาดเฟรมต่อรอบและระยะของสล็อตมา แท็กทีฟแท็กก็จะทำการสุ่มเข้าสู่สล็อตต่างๆ โดยจะทำการสุ่มแท็กได้ 1 สล็อตใน 1 รอบเท่านั้น ดังนั้นในเฟรมดังกล่าวจะมีทั้งสล็อตที่ว่างเปล่า, สล็อตที่มีแท็กมากกว่า 1 ตัว และสล็อตที่มีแท็ก 1 ตัว เมื่อจบรอบของการจับเก็บเครื่องอ่านจะส่งคำสั่งกลับไปให้แท็กที่ถูกจับเก็บนั้นคือแท็กที่มีจำนวน 1 ตัว ต่อ 1 สล็อต แท็กดังกล่าวก็จะเข้าสู่สถานะหลับและไม่ทำการส่งในเฟรมต่อไปอีก แล้วเครื่องอ่านก็จะทำการส่ง Collection command ให้กับแท็กที่เหลืออยู่ โดยจะทำได้เรื่อยๆ เหมือนกันทุกรอบจนหยุดกระบวนการส่งเมื่อไม่มีแท็กตอบสนองแล้ว



รูปที่ 2.23 เปรียบเทียบการจัดเก็บแท็กระหว่าง RFID แบบแอ็กทีฟและพาสซีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา

ในการเริ่มส่งข้อมูลแบบพาสซีฟแท็ก ตัวอ่านจะกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกมาและเริ่มทำการติดต่อเมื่อพบแท็กในระยะการส่ง แต่พาสซีฟแท็กนั้นไม่สามารถจดจำสถานะใดๆ ได้ทำได้เพียงตอบสนองต่อเครื่องอ่าน อาจพบการชนกันของข้อมูลได้ทุกรอบการส่งซึ่งต่างจากการจัดเก็บแท็กแบบแอ็กทีฟจะให้แท็กที่ส่งสำเร็จอยู่ในสถานะหลับ ทำให้รอบการแท็กในรอบต่อไปมีการแย่งชิงการเข้าสู่สล็อตน้อยลงหรือเท่าเดิม ดังนั้นเราไม่สามารถมั่นใจได้ว่าการจัดเก็บแท็กแบบพาสซีฟได้ครบทุกตัวหรือยังกระบวนการจัดเก็บแท็กแบบนี้จะสิ้นสุดลงเมื่อมาถึงรอบระดับการจัดเก็บที่เรามั่นใจ ซึ่งระดับนั้นเราแทนความน่าจะเป็น α ซึ่งในที่นี้เราให้ $\alpha = 0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่แท็กหายไปไม่เกิน 1% จากรูปที่ 2.23 เป็นการเปรียบเทียบการตอบสนองทั้งสองแท็กใน 3 รอบการจัดเก็บ ให้เฟรมมีค่า 5 สล็อต และมีแท็ก 3 ตัว คือ A, B และ C แท็กแบบพาสซีฟ ทั้ง 3 จะทำการส่งทุกรอบแต่แบบ แอ็กทีฟในรอบที่ 2 จะให้แท็ก B อยู่ในสถานะหลับ และทำการส่งแท็ก A และ C เนื่องจากการชนกันในรอบที่ 1 และในรอบที่ 3 จะไม่มีการตอบสนองใดๆ ของแท็กเนื่องจากทุกแท็กทำการส่งได้สำเร็จแล้วนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.14.3 รูปแบบการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบทวินามสำหรับ RFID แบบ FSA

ในการทำการวิเคราะห์การจัดเก็บ ID แท็กเราสนใจเพียงขั้นตอนที่แท็กจะสุ่มเข้าสู่สล็อต และไม่พิจารณาสัญญาณรบกวนต่างๆ โดยให้ขนาดเฟรมเท่ากับจำนวน $N(i)$ สล็อตและมีแท็กจำนวน $n(i)$ สื่อสารในรอบการสื่อสาร i รอบ ความน่าจะเป็นที่จะมี q แท็กในสล็อตในสมการทวินามหรือไบโนเมียลคือ

$$p_q(i) = \binom{n(i)}{q} \left(\frac{1}{N(i)} \right)^q \left(\frac{N(i)-1}{N(i)} \right)^{n(i)-q} \quad (2.15)$$

ให้ $q=1$ แล้วจะได้ $p_1(i)$ คือความน่าจะเป็นของการประสบความสำเร็จของการส่ง จะได้จำนวนของแท็กที่ประสบความสำเร็จในการส่งแต่ละเฟรมเป็น $N(i)p_1(i)$ ถ้ากำหนดแท็กสูญหายเองในการส่งแท็กในระบบแอสซิงโครนัสจะได้ความน่าจะเป็นของแท็กที่สูญหายหลังการกำหนดให้เฟรมเท่ากับ R_{p-f}

$$\prod_{i=1}^{R_f} \left(1 - \frac{N(i)p_1(i)}{n(i)} \right) = 1 - \alpha \quad (2.16)$$

และจำนวนเฟรมในการส่งแท็กแบบแอสซิงโครนัสควรมีค่าน้อยที่สุดคือ

$$R_{p-f} \geq \log(1 - \alpha) / \log\left(1 - \frac{Np_1}{n}\right) \quad (2.17)$$

เพื่อให้ได้จำนวนเฟรมตามระดับความมั่นใจ α เห็นได้ว่าจะสามารถลดจำนวนเฟรมได้โดยการเพิ่มขนาดของเฟรม N หมายความว่า การเพิ่มขนาดเฟรมจะลดจำนวนการตอบสนองของแท็ก ซึ่งจำนวนครั้งการอ่านต่ำสุดของแอสซิงโครนัสแท็กทั้งหมดคือ

$$R_{p-t-\min} = \min(N \times R_{p-f}) \quad (2.18)$$

บทที่ 3

รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของประสิทธิภาพการส่งข้อมูลแบบเฟรมอะโลฮา ในกรณีที่แท็กถูกจำกัดสิทธิการเลือกสล็อต

3.1 กล่าวนำ

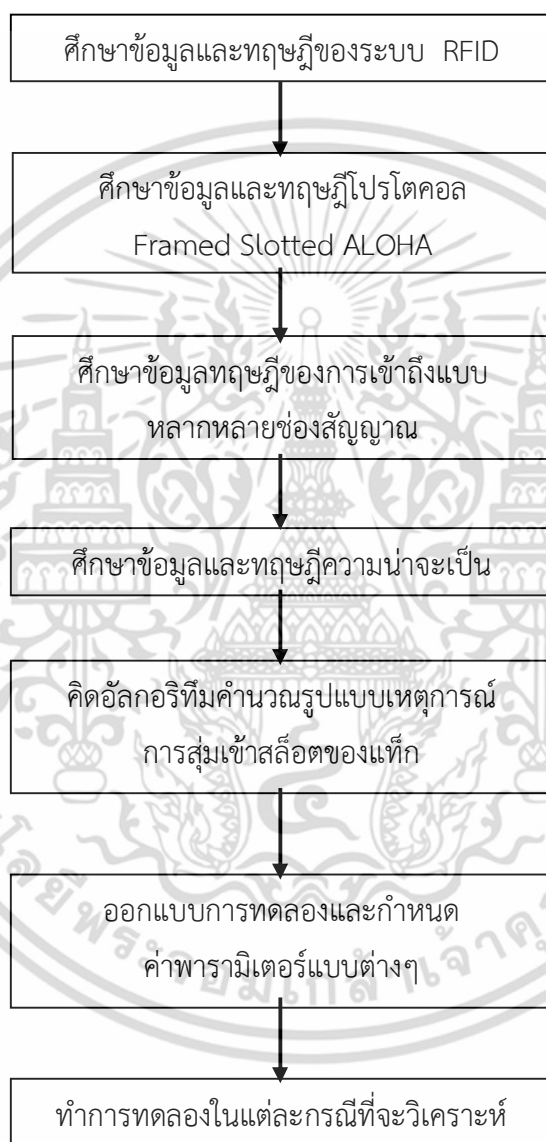
ในปัจจุบันลักษณะงานประยุกต์ระบบ RFID ได้มีการพัฒนารูปแบบการใช้งานที่หลากหลายตามเทคโนโลยีและความต้องการของตลาดที่สูงขึ้น ในส่วนของลักษณะงานระบบ RFID ที่มีการเข้าถึงแบบหลายช่องสัญญาณ โดยที่มีการเข้าช่องสัญญาณพร้อมๆกัน จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ซึ่งส่งผลให้การทำงานในระบบเกิดความล่าช้าและอาจเกิดความเสียหายได้ ดังนั้นระบบมีการแก้ปัญหาโดยใช้การจัดสรรช่องสัญญาณให้แท็กเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพและเกิดการชนกันของข้อมูลได้น้อยที่สุด โดยโปรโตคอลที่นิยมใช้ก็คือ ALOHA, Slotted ALOHA และ Framed Slotted ALOHA โดยบทความนี้จะนำเอารูปแบบของโปรโตคอล Framed Slotted ALOHA ซึ่งเป็นโปรโตคอลที่ถูกพัฒนาขึ้นให้มีประสิทธิภาพสูงที่สุดมาใช้หาประสิทธิภาพของการส่งข้อมูล ในกรณีที่แท็กถูกจำกัดสิทธิในการส่งข้อมูล เพื่อวิเคราะห์และอธิบายรูปแบบโปรโตคอลในลักษณะการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

ในบทความนี้จะนำเสนอวิธีการหาขนาดของเฟรมที่เหมาะสม สำหรับการส่งของมูลแบบ แอ็คทีฟแท็ก RFID โดยใช้กับโปรโตคอล Framed Slotted ALOHA ประสิทธิภาพของการส่งแท็กไปยังเฟรมสล็อต ขึ้นอยู่กับขนาดของเฟรมสล็อตและจำนวนการแท็กในการแย่งชิงเข้าสล็อต มีวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่นิยมนำมาใช้คือการสุ่มเลือกสล็อต แต่ปัญหาการชนกันของแท็กก็ไม่ได้ลดลง เราจึงนำเสนอวิธีการแบ่งการสุ่มออกเป็นกลุ่มที่มีสิทธิเข้าแท็กในแต่ละช่องสล็อต ในการแบ่งกลุ่มการเข้าแท็ก ก็เพื่อเพิ่มขนาดของเฟรมให้มากขึ้นการแท็กสล็อตจะได้มีประสิทธิภาพ การวิเคราะห์มีสองส่วนคือ วิเคราะห์หาขนาดและเวลาที่เหมาะสมสำหรับส่งแอ็คทีฟแท็ก ผลที่ได้คือขนาดของเฟรมที่เหมาะสมมีค่าเฉลี่ยของจุดเปลี่ยนแปลงของแท็กหรือค่าเวลารวมในการอ่านแท็ก (Overall tag read time) เท่ากับ $0.56 \times N$ และมีช่วงเวลาที่เหมาะสมในการส่งแอ็คทีฟแท็กคือ 1.4 เท่าของการส่งแท็กทั้งหมด

อัลกอริทึมการคำนวณค่าทุกเหตุการณ์การเข้าถึงสล็อตหรือการสุ่มเข้าสล็อตของแท็ก เนื่องจาก การวิเคราะห์ด้วยการจำกัดสิทธิการเลือกสล็อต ที่จะนำเสนอ นั้น ต้องทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นทุกเหตุการณ์ที่จะเป็นไปได้ที่แท็กจะสุ่มเข้าสล็อต ดังนั้นต้องมีอัลกอริทึมมาคำนวณให้ได้ทุกเหตุการณ์เพื่อไม่ให้มีเหตุการณ์ซ้ำกัน หรือตกหล่นและนำค่าทุกเหตุการณ์นั้นมาทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นต่อไป

3.2 การออกแบบการทดลองและกำหนดพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการทดลอง

ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กรณี เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรต่างๆในระบบ คือ
 กรณีที่ 1 วิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของแต่ละจำนวนที่ประสบความสำเร็จในการส่ง
 กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนแท็ก (N) ว่าเกิดจากอะไรและมีผลกระทบในระบบอย่างไร
 กรณีที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนสล็อต (M) ว่าเกิดจากอะไรและมีผลกระทบในระบบอย่างไร



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ระบบ RFID ที่มีการเข้าถึงแบบหลากหลาย

งานประยุกต์ของระบบ RFID สามารถทำได้หลากหลายรูปแบบ ซึ่งก็ขึ้นอยู่กับการออกแบบระบบ โดยผู้ใช้โดยการออกแบบการอ่านข้อมูลโดยเครื่องอ่าน ไม่ว่าจะเป็นการติดตั้งเครื่องอ่านแบบติดกับทางเข้า-ออก (Gate Reader) หรือจะเป็นเครื่องอ่านแบบตั้งโต๊ะ (Station Reader) ซึ่งแบบตั้งโต๊ะนั้นสามารถประยุกต์ได้ตามลักษณะงาน ตัวอย่างเช่น ด้านการจัดการสินค้า ติดตั้งเครื่องอ่านกับชั้นวางสินค้า เมื่อใดที่สินค้าถูกหยิบออกจากชั้นวางของ RFID ก็จะส่งสัญญาณเตือนไปยังพนักงานให้นำสินค้ามาเพิ่มเติม ทำให้ไม่จำเป็นต้องเก็บสต็อกสินค้า แต่สามารถสั่งให้ Suppliers มาส่งของได้ทันทีรวมทั้งจะช่วยการรันตริว่าสินค้าที่วางจำหน่ายอยู่ตลอดเวลา การนำเอา RFID มาช่วยทำให้เพิ่มขีดความสามารถในการแข่งขันได้และมีประโยชน์สำคัญดังนี้

1. สามารถปรับปรุงให้สินค้าคงคลังมีความแม่นยำ
2. ลดระยะเวลาในกระบวนการสั่งซื้อ
3. ลดความบกพร่องในกระบวนการจัดการภายในคลังสินค้า
4. ลดต้นทุนในการจัดเก็บสินค้าคงคลัง
5. ปรับปรุงประสิทธิภาพการให้บริการลูกค้าได้รวดเร็วยิ่งขึ้น

ในด้านโลจิสติกส์ การตรวจสอบสินค้าในระหว่างการขนส่ง เช่นการติดตั้งเครื่องอ่านไว้ในตู้ขนส่งสินค้าและติดตั้งแท็กไว้กับสินค้าทุกตัว ในระหว่างการขนส่งสินค้า เจ้าของกิจการสามารถตรวจสอบว่ามีสินค้าอยู่ในระหว่างการขนส่งครบถ้วนหรือไม่ ทำให้ไม่ต้องใช้แรงงานคนเข้าไปนับ ข้อดีของการนำระบบ RFID มาใช้งานในด้านโลจิสติกส์

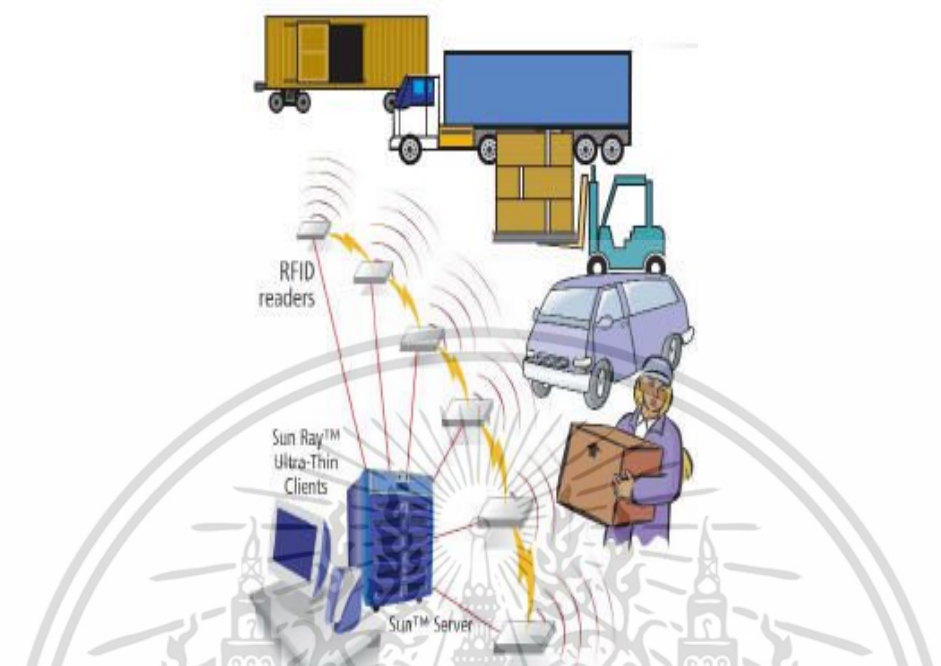
1. ลดต้นทุนการจ้างบุคลากรในการดำเนินงาน
2. เพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่งสินค้า
3. ลดการสูญหายหรือการสับเปลี่ยนสินค้าที่อยู่ในขั้นตอนขนส่ง
4. ลดค่าใช้จ่ายในส่วนของการประกันสินค้า

การใช้งานระบบ RFID รูปแบบดังกล่าวคือแท็กที่สินค้านำระดับพาเลตที่ใช้จัดเก็บในคลังสินค้าระบบตรวจสอบคลังสินค้า นิยมใช้ระบบ RFID มาตรฐาน ISO/IEC 1800-6 ที่มีการทำงานที่ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ความถี่ในช่วง 860 – 960 MHz โดยที่มีจุดเด่นในเรื่องของแท็ก ซึ่งจะแบ่งเป็นชนิดชนิดแพสซีฟที่อ่านข้อมูลได้ไกล ประมาณ 3 – 7 เมตร และแบบแอ็คทีฟที่อ่านข้อมูลได้ไกลประมาณ 30 – 50 เมตร และมีกระบวนการป้องกันการชนกันของแท็กที่เครื่องอ่าน

จากตัวอย่างการติดตั้งเครื่องอ่านแบบตั้งโต๊ะนั้น การอ่านแท็กจะเป็นแบบหลากหลาย คือการส่งข้อมูลแบบหลายตัว ไปยังเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียวในเวลาเดียวกัน ดังรูปที่ 3.2 ปัญหาที่พบบ่อยที่สุดของระบบ RFID คือ มีแท็กจำนวนมากในพื้นที่การอ่าน โดยที่แท็กไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีแท็กอื่นอยู่ในบริเวณเดียวกันหรือไม่ และเมื่อจำนวนแท็กมากกว่าหนึ่งแท็กที่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านเครื่องเดียวกันก็จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ฉะนั้นจึงเป็นหน้าที่ของเครื่องอ่านที่จะต้องทำการป้องกันการชนกันของข้อมูล (anti-collision) เพื่อใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแท็กที่ต้องการส่งข้อมูลไปยังเครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่าน โดยกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้กัน คือ ALOHA , Slotted ALOHA, และ Framed Slotted ALOHA มาใช้แก้ปัญหาในระบบ ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.2 แบบจำลองการเข้าถึงหลากหลาย

3.4 แบบจำลองของกระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮาในระบบ RFID

รูปแบบการติดต่อสื่อสารกันระหว่างตัวอ่านและแท็กจะเป็นแบบ Master – Slave นั่นคือตัวเครื่องอ่านจะเป็นตัวที่ทำการติดต่อสื่อสารก่อนคอยฟังการตอบสนองจากตัวแท็ก ซึ่งในการตอบสนองจากตัวแท็กที่มีอยู่เป็นจำนวนมาก จะถูกควบคุมโดยโปรโตคอลป้องกันการชนกัน

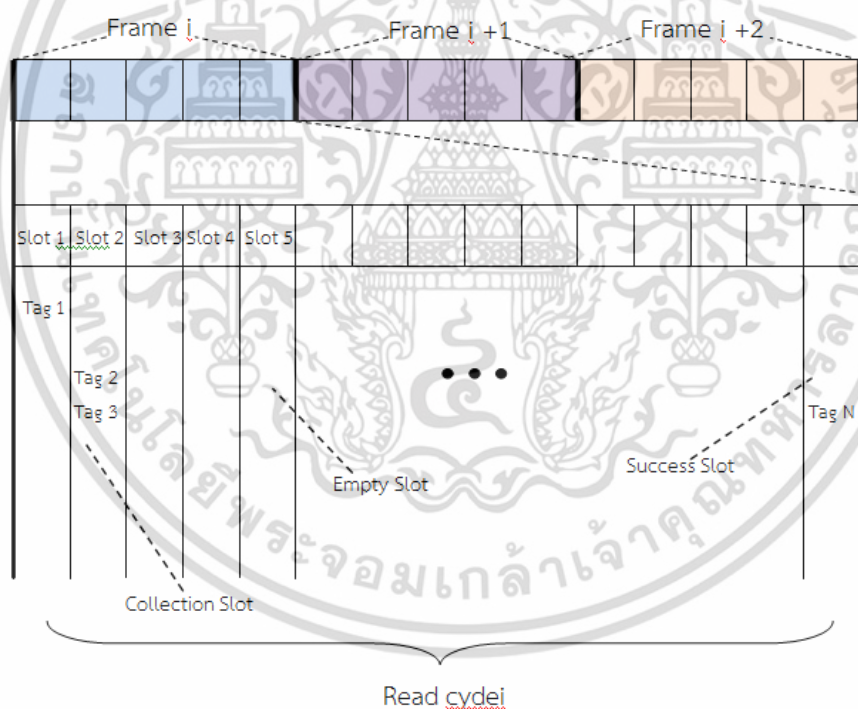
จุดประสงค์ที่เราให้ความสนใจในเรื่องการป้องกันการชนกันของข้อมูล เพราะว่าจะเป็นตัวบ่งชี้ถึงประสิทธิภาพและกลุ่มคำสั่งของแท็กที่อยู่ภายในขอบเขตการติดต่อสื่อสารกับตัวเครื่องอ่านข้อมูล ไปถึงความสามารถในการรับและการบรรจุข้อมูล ตามลำดับ ขณะที่มีการย้อนกลับของข้อมูลจะเป็นการทำงานโดยกำหนดของตัวอ่านข้อมูล ในการทำงานของเครื่องอ่านจะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการติดต่อสื่อสารกับแท็กหนึ่งตัว หรือมากกว่านั้น

แท็กจะทำการส่งเข้าไปในสล็อตภายในแต่ละรอบ (Collection round หรือ Frame size) ภายในเฟรมจะประกอบไปด้วยจำนวนสล็อต แต่ละสล็อตจะต้องมีความยาวเพียงพอสำหรับให้ตัวเครื่องอ่านข้อมูลรับการตอบสนองจากแท็กได้ ซึ่งช่วงเวลาทำงานที่แท้จริงของสล็อตจะได้จากประเภท Collection command และระยะเวลาในการส่งของตัวแท็กจากตัวเครื่องอ่าน

เมื่อแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณการติดต่อสื่อสารด้วยคลื่นความถี่วิทยุของเครื่องอ่านแล้ว จะได้รับสัญญาณ wake up จากเครื่องอ่านที่ทำการส่งมาแบบกระจาย (broadcast) จากนั้นแท็กจะเคลื่อนที่เข้าสู่ขั้นตอนเตรียมพร้อม ready state กระบวนการเครื่องอ่านเริ่มทำงานกับแท็กคือจะมีการส่ง Collection command เมื่อแท็กได้รับคำสั่งดังกล่าวจะทำการสุมเพื่อทำการตอบสนอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กระบวนการเฟรมสล็อตอะโหลฮาเป็นกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่มีการเข้าถึงแบบหลากหลาย ซึ่งได้มีการนำมาใช้วิเคราะห์การอ่านและส่งข้อมูลแท็กกับเครื่องอ่านที่มีจำนวนแท็กหลายจำนวนในการส่งในเวลาเดียวกัน โดย FSA แต่ละเฟรมจะแบ่งเป็นหลายๆสล็อตที่มีขนาดเท่าๆกันแต่ละแท็กจะทำการเข้าถึงสล็อตโดยการเลือกสุ่ม 1 สล็อตในเฟรม และเครื่องอ่านจะจัดเก็บหรือระบุตัวตนของแท็กที่ทำการส่งสำเร็จเมื่อได้รับข้อมูลจากแท็กที่มีการส่งเพียงแท็กเดียวใน 1 สล็อตเท่านั้น หากในสล็อตมีแท็กมากกว่า 1 จะถือว่าเป็นเกิดการชนกันของข้อมูลและสล็อตที่ไม่มีแท็กจะถือว่าเป็นสล็อตว่างซึ่งก็คือไม่ประสบความสำเร็จในการส่ง โดย FSA กำหนดขนาดเฟรมเท่าๆกันทุกเฟรม จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมในขณะกระบวนการส่งยังไม่สำเร็จ ซึ่งจะทำการส่งแบบนี้ทุกๆรอบไปจนกว่าเครื่องอ่านสามารถจัดเก็บหรือระบุตัวตนของแท็กได้ครบทุกตัวในระบบ โดยในบัพนี้จะเป็นการวิเคราะห์การส่งแท็กระบบ FSA โดยการจำกัดสิทธิการเลือกสล็อต ซึ่งจะนำค่าทุกค่าทุกรูปแบบที่แท็กสุ่มเข้าสล็อตมาทำการคำนวณหาค่าความน่าจะเป็น ซึ่งมีขั้นตอนการคำนวณทุกรูปแบบที่จะนำมาใช้หาความน่าจะเป็นดังหัวข้อถัดไป

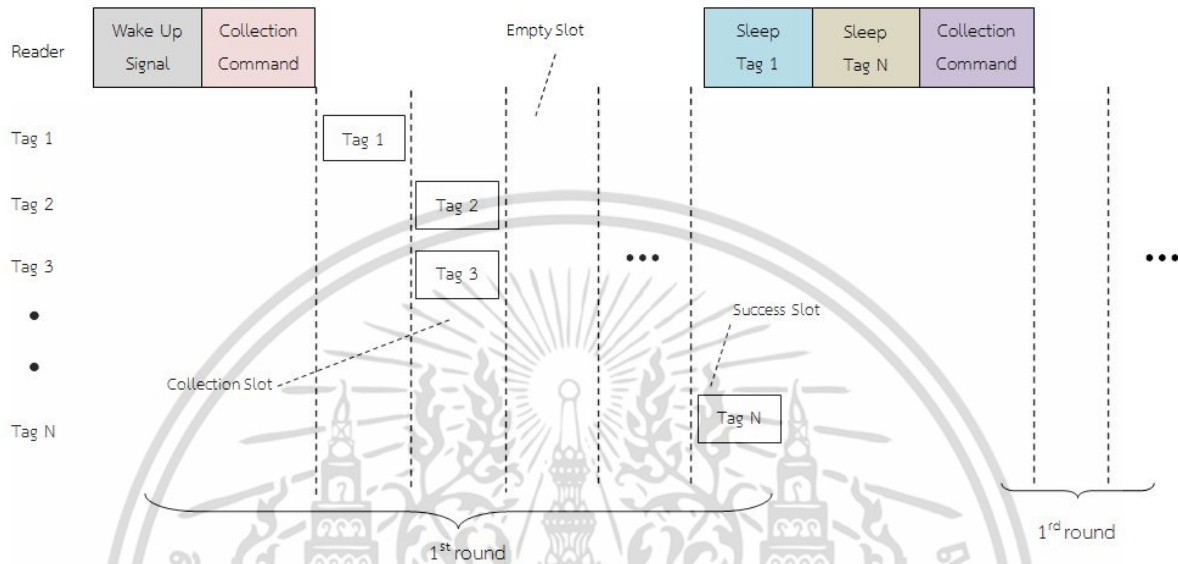


รูปที่ 3.3 แบบจำลองกระบวนการป้องกันการชนกันแบบเฟรมสล็อตอะโหลฮา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 การทำงานของระบบ Active RFID

ในหัวข้อนี้จะอธิบายรูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านเครื่องเดียวกันกับแท็กหลากหลายตัวของระบบ active RFID กับระบบ Passive RFID ที่มีการส่งแบบหลายทางโดยใช้รูปแบบการส่งแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 3.4 การอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอคทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา

ในระบบ active RFID จะใช้แท็กชนิดชนิดมีแบตเตอรี่ภายในแท็กทำให้ส่งข้อมูลได้ระยะไกล และทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ทำให้สามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนได้ดี นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำและฟังก์ชันมากด้วย ในการเริ่มการสื่อสารเครื่องอ่านจะเป็นคนเริ่มทำการติดต่อแท็ก ในขณะที่แท็กไม่ได้ทำงาน หรือไม่ต้องตอบสนองคำสั่งใดๆ แท็กจะอยู่ในสถานะหลับ (Sleep state) จากรูปที่ 3.4 แสดงการอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอคทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา เครื่องอ่านจะเริ่มต้นด้วยการส่งคำสั่งปลุก (Wake Up signal) ไปยังแท็กทุกตัวที่อยู่บริเวณเครื่องอ่าน เมื่อทุกแท็กได้รับสัญญาณปลุกแล้วจะเข้าสู่สถานะพร้อมที่จะรับคำสั่งจากเครื่องอ่าน หลังจากนั้นเครื่องอ่านจะส่ง Collection command ที่ระบุขนาดเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูล เมื่อแท็กได้รับคำสั่งแล้ว แท็กก็จะทำการสุ่มเข้าสู่สล็อตต่างๆของเฟรม โดยในแต่ละรอบการอ่านแท็กแต่ละตัวจะสามารถสุ่มเลือกเข้าสู่สล็อตได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นต่อหนึ่งรอบการอ่าน ดังนั้นในเฟรมดังกล่าวจะมีทั้งสล็อตที่ว่างเปล่า, สล็อตที่มีแท็กมากกว่าหนึ่งตัว และสล็อตที่มีแท็กหนึ่งตัว เมื่อจบรอบของการอ่านข้อมูลเครื่องอ่านจะส่งคำสั่งกลับไปกับแท็กที่ทำการส่งข้อมูลสำเร็จแล้วเพื่อลดโอกาสของการส่งข้อมูลเข้าแท็กอีก

3.6 ขั้นตอนวิธีการจัดเก็บเหตุการณ์ที่นำมาใช้ในรูปแบบการวิเคราะห์

เนื่องจากแบบการวิเคราะห์ที่ใหม่ที่เราแนะนำ ได้นำสมการทางคณิตศาสตร์และสมการความน่าจะเป็นมาใช้ในการวิเคราะห์ จึงต้องนำค่าทุกค่าทุกเหตุการณ์การเข้าถึงสล็อตหรือการสุ่มเข้าสู่สล็อตของแท็กมาใช้ในการคำนวณ และได้มีขั้นตอนการเลือกเก็บแต่ละเหตุการณ์เพื่อไม่ให้มีเหตุการณ์ที่ซ้ำกันมาทำการคำนวณดังนี้

กำหนดให้จำนวนการแท็กในระบบทั้งหมดเท่ากับ N , ขนาดของเฟรมมีจำนวนสล็อตเท่ากับ M , และให้ K คือจำนวนแท็กที่ทำการส่งสำเร็จในสล็อตที่มีการชวงชิงกันหรือจำนวนของสล็อตที่มีแท็กในสล็อตเท่ากับ 1 นั้นเอง โดยมีข้อจำกัดว่าจำนวนในสล็อต 1 ถึงสล็อตที่ K จะมีแท็กเท่ากับ 1 ทุกสล็อต จำนวนของแท็กในสล็อตหลังจาก K หรือ $K+1$ เป็นต้นไปจนถึงสล็อตที่ M จะต้องไม่ค่าไม่เท่ากับ 1 และจำนวนแท็กในสล็อตที่ $K+1$ จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสล็อตที่ $K+1+1$ ไปเรื่อยๆ จนถึงสล็อตที่ M หรือหมดจำนวนในการเข้าแท็กสล็อต

ตารางที่ 3.1 รูปแบบการวิเคราะห์การเข้าแท็กสล็อตในแต่ละเฟรม

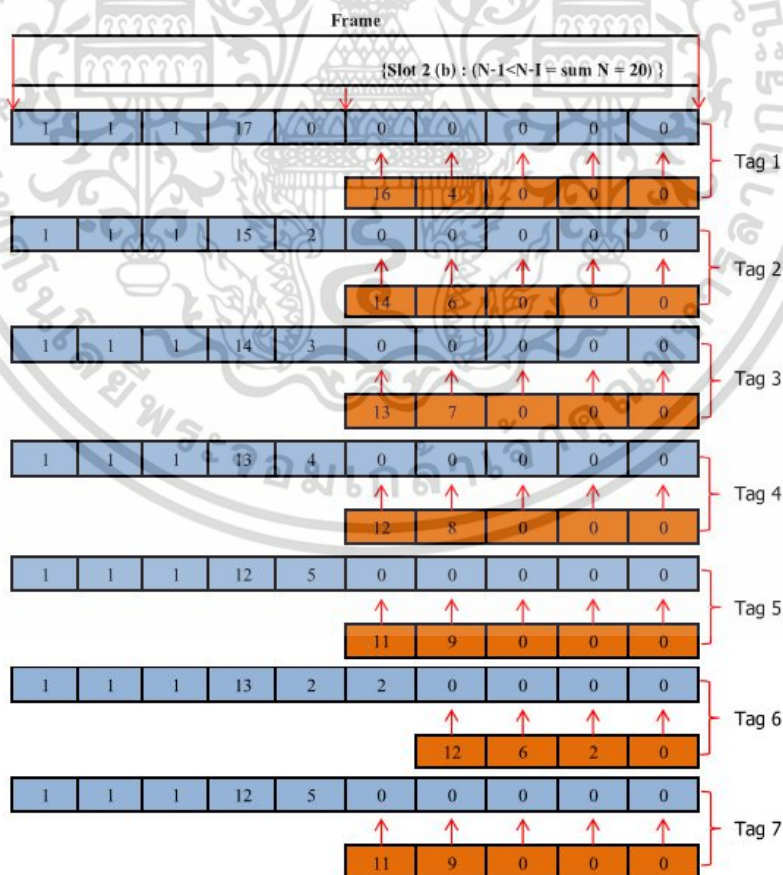
Tag \ Slot	1	2	K	$K+1$	$K+2$	$\frac{N-K}{\frac{M}{2}}$	...	M
1	1	1	1	$a_{1,K+1}$	$a_{1,K+2}$	$a_{1,K+3}$	...	$a_{1,M}$
						$b_{1,N-1-K}$	...	$b_{1,M}$
2	1	1	1	$a_{2,K+1}$	$a_{2,K+2}$	$a_{2,K+3}$	...	$a_{2,M}$
						$b_{2,N-2-K}$	...	$b_{2,M}$
3	1	1	1	$a_{3,K+1}$	$a_{3,K+2}$	$a_{3,K+3}$	...	$a_{3,M}$
						$b_{3,N-3-K}$	...	$b_{3,M}$
...
					
i	1	1	1	$a_{i,K+1}$	$a_{i,K+2}$	$a_{i,K+3}$	...	$a_{i,M}$
						$b_{i,N-...-K}$	...	$b_{i,M}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวิเคราะห์โดยใช้สมการความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ มาใช้วิเคราะห์จึงต้องนำค่าทุกเหตุการณ์ การเข้าถึงสล็อตหรือการสุ่มเข้าสล็อตของแท็กมาใช้ในการคำนวณและได้มีขั้นตอนการเลือกเก็บแต่ละเหตุการณ์เพื่อไม่ให้มีเหตุการณ์ที่ซ้ำกัน การคำนวณ ดังตารางที่ 3.1

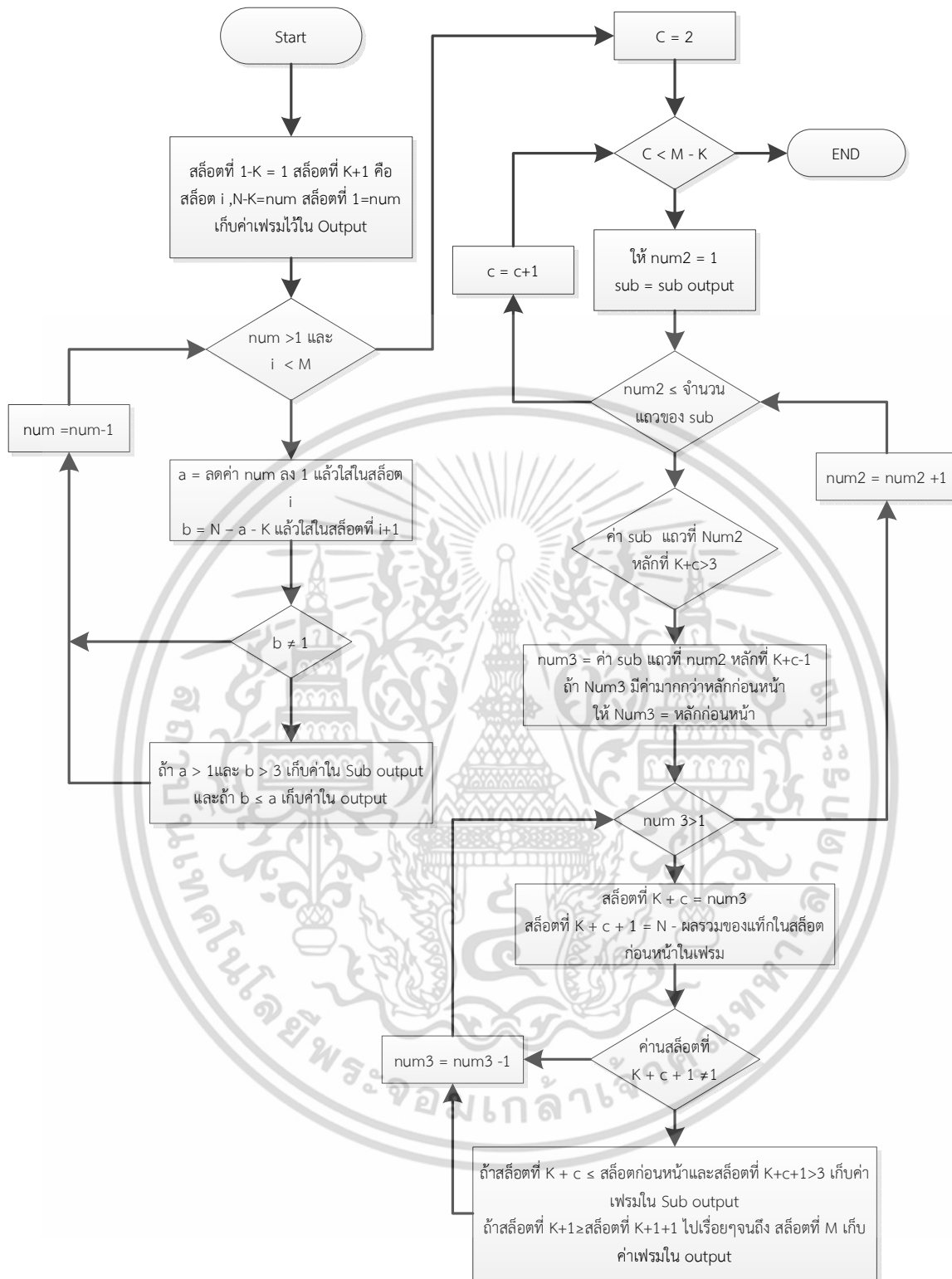
เฟรมที่ 1 กำหนดให้ N คือจำนวนแท็กในระบบทั้งหมดมีค่าเท่ากันทุกตัว, M คือ ขนาดของเฟรมมีจำนวนสล็อตเท่ากัน, K คือจำนวนแท็กที่ทำการส่งสำเร็จในสล็อตที่มีการสุ่มโดยที่สล็อตเท่ากับ 1, i คือจำนวนของเฟรมที่เข้าแท็ก และให้ a เป็นการกำหนดสล็อตในเฟรมเดียวกัน มีข้อจำกัดคือจำนวนแท็กในสล็อตที่ 1 ถึงสล็อตที่ K จะมีแท็กเท่ากับ 1 ทุกสล็อต จำนวนของแท็กในสล็อตหลังจาก K หรือ $K+1$ เป็นต้นไปจนถึงสล็อตที่ M จะต้องมีค่าไม่เท่ากับ 1 และจำนวนแท็กใน สล็อตที่ $K+1$ จะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสล็อตที่ $K+1+1$ จนถึงสล็อตที่ M

เฟรมที่ 2 จะจำกัดสิทธิในการเข้าสล็อต คือ $\frac{M}{2}$ โดยให้ $N-1-K$ จะได้ค่าการเข้าสล็อตของ b มีข้อจำกัดเหมือนกับการเข้าในเฟรม a คือ ค่าที่ได้ต้องไม่ซ้ำกันทั้งเฟรมและค่าที่ได้ต้องไม่ซ้ำเฟรม a เมื่อได้ค่าการเข้าสล็อตของเฟรม a และ b ให้นำ ค่าที่ได้ทั้งสองเฟรม ผสมกันหรือใช้ร่วมกันในเฟรมเดียว โดยการแทนค่าจะแทนได้ก็ต่อเมื่อสล็อตนั้นมีค่าเป็น 0 เพื่อจะทำการคำนวณโดยสมการความน่าจะเป็นเพื่อให้ได้ค่าการส่งสำเร็จใน 1 เฟรม โดยค่าความน่าจะเป็นจะมีค่าไม่เกิน 1 และทำแบบนี้ทุกเฟรมเพื่อทำการเปรียบเทียบ ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 การเข้าแท็กสล็อตการรวมเฟรมของ a และ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แผนภูมิรูปภาพขั้นตอนการเลือกเก็บเฟรมทุกเหตุการณ์ไปใช้ในกราฟวิเคราะห์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากแผนภูมิรูปภาพที่ 3.6 มีขั้นตอนการเลือกจัดเก็บเฟรมทุกเหตุการณ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ดังนี้

1. ให้สล็อตที่ $1 - K$ เป็นจำนวนแท็กเท่ากับ 1, จำนวนแท็กในสล็อตที่ $K + 1$ ในแถวแรก หรือเฟรมแรกเท่ากับ $N - K$ และสล็อตถัดไปเรื่อยๆ จนถึงสล็อตที่ $M = 0$

2. ลดค่าแท็กในสล็อต $K + 1$ ที่ละ 1 และใส่ค่าที่เหลือไว้ในสล็อตลำดับถัดไป วนลูปไปจนกว่าไม่สามารถลดค่าในสล็อตที่ $K + 1$ ได้อีก ทำการเลือกเก็บค่าของเฟรมที่สล็อตลำดับที่ $K + 1$ เป็นต้นไปไม่มีค่าเป็น 1 โดยที่เก็บค่าที่สล็อตลำดับที่ $K + 1$ มากกว่าหรือเท่ากับสล็อตถัดไปเรื่อยๆ ลงใน Output ซึ่งเป็นค่าที่พร้อมสำหรับนำมาใช้วิเคราะห์และเลือกเก็บเฟรมที่มีค่าในสล็อตลำดับที่ $K + 2$ มากกว่า 3 ลงใน Sub output

3. นำค่าใน Sub output มาลดค่าที่ละ 1 ในหลักที่ $K + 2$ แล้วใส่ค่าที่เหลือในสล็อตลำดับถัดไปเรื่อยๆ โดยมีขั้นตอนการคำนวณและเลือกเก็บเหมือนข้อ 2

ตารางที่ 3.2 ตัวอย่างการเลือกเก็บค่า Output และ Sup output เพื่อนำมาวิเคราะห์

Slot	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	SAVE
Frame	1	1	1	1	1	10	9	1	0	0	NO SAVE
2	1	1	1	1	1	10	8	2	0	0	OUTPUT
3	1	1	1	1	1	9	7	3	0	0	OUTPUT
4	1	1	1	1	1	8	6	5	4	0	OUTPUT & Sub Output
5	1	1	1	1	1	7	5	5	0	0	OUTPUT & Sub Output
6	1	1	1	1	1	6	4	4	4	3	Sub Output
7	1	1	1	1	1	5	0	0	0	0	OUTPUT
8	1	1	1	1	1	4	0	0	0	0	OUTPUT
9	1	1	1	1	1	3	0	0	0	0	OUTPUT
10	1	1	1	1	1	2	0	0	0	0	OUTPUT

จากตัวอย่างการเลือกเก็บค่าเพื่อมาวิเคราะห์ ในตารางที่ 3.2 กำหนดให้ $N = 15$, $M = 10$ และ $K = 5$ จะพิจารณาตามตารางได้ดังนี้

- ค่าในสล็อตที่ $1 - K$ คือสล็อตที่ 5 จะมีค่าเป็น 1 ทุกแถว
- ในเฟรมแรกสล็อตที่ $K + 1$ หรือสล็อตที่ 6 จะมีค่าเท่ากับ $N - K$ หรือ $15 - 5 = 10$ ในสล็อตถัดไปจะทำการแทรก ชุด b โดย $N - 1 - K$ เพราะผลรวมแล้วได้เท่ากับ N แล้ว แต่ในเฟรมที่ 1 ผลรวมของ b นั้น ที่เท่ากับ N ก็มีผลเป็น 1 ซึ่งซ้ำกับ $1 - K$ จึงไม่นำมาบันทึก (NO SAVE)
- เฟรมลำดับถัดไปจะเป็นการลดค่าในสล็อตลำดับที่ 6 ลงทีละ 1 และใส่ค่าที่เหลือลงในสล็อตที่ 7 และไม่เก็บค่าสล็อตหลังจากที่ K ที่มีค่า 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- เลือกเก็บค่าเฟรมที่สล็อตที่ 6 มากกว่าหรือเท่ากับสล็อตที่ 7 ใน Output แต่ถ้าเฟรมไหนสล็อตที่ 7 มีค่ามากกว่า 3 ให้เก็บใน Sub Output เพื่อจะได้นำค่าไปลดค่าใส่ในสล็อตในหลักถัดไปด้วยวิธีการเดียวกัน

- จากเฟรมที่ 6 จะเห็นได้ว่าการแทรกของ b นั้นจะสิ้นสุดลงเพราะการแทรกในแถวสองจะทำได้ด้วยวิธีการถูกจำกัดในการเข้าสล็อตแต่จะเพิ่มโอกาสให้กับการเข้าสล็อตในเฟรมเดียวกัน จากนั้นก็ได้ค่าแต่ละเฟรมที่เสร็จสมบูรณ์ สำหรับทุกเหตุการณ์ที่ทำการส่งสำเร็จ ดังตารางที่ 3.3. ในการนำค่ามาวิเคราะห์ต้องได้ค่าการส่งที่สำเร็จทุกเฟรมการเข้าสล็อตทุกเหตุการณ์มาใช้ในการคำนวณค่าแท็กที่ส่งสำเร็จตั้งแต่ ค่า $K = 1$ ไปจนถึง $K = M - 1$ เพื่อนำค่าทุกเหตุการณ์ที่ได้ไปคำนวณค่าความน่าจะเป็นตามโมเดลสมการทางคณิตศาสตร์ซึ่งจะอธิบายในหัวข้อถัดไป

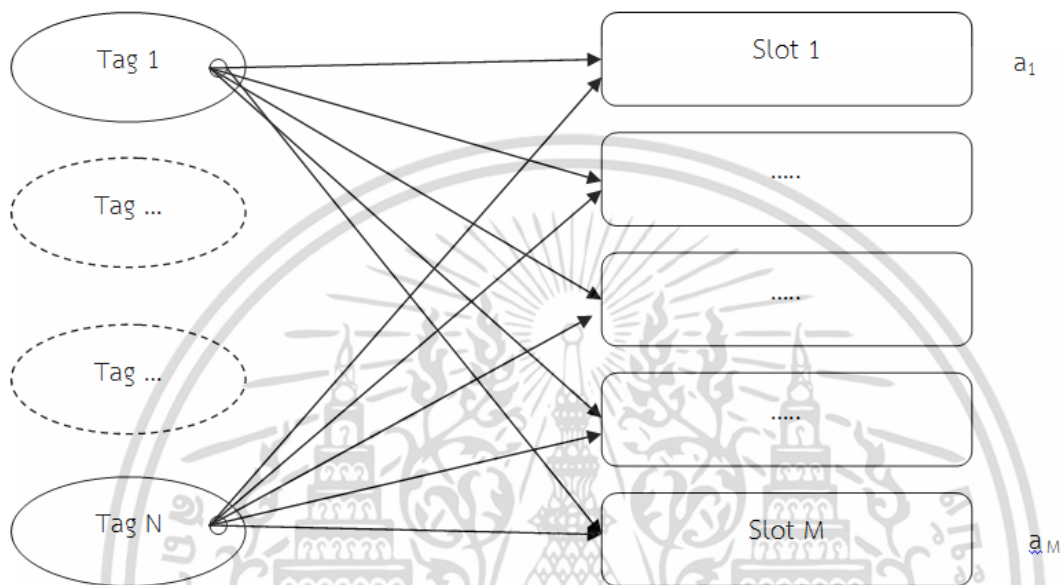
ตารางที่ 3.3 ตัวอย่างการจัดเก็บค่าเฟรมที่สำเร็จ

Slot \ Frame	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1	1	1	1	1	10	8	2	0	0
2	1	1	1	1	1	8	2	7	3	0
3	1	1	1	1	1	7	3	6	4	0
4	1	1	1	1	1	6	4	6	2	2
5	1	1	1	1	1	6	2	2	5	5
6	1	1	1	1	1	5	5	5	3	2
7	1	1	1	1	1	5	3	2	0	0
8	1	1	1	1	1	4	4	2	0	0
9	1	1	1	1	1	4	3	3	0	0
10	1	1	1	1	1	4	2	2	2	0
11	1	1	1	1	1	3	3	2	2	0
12	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.7 โมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์

ในการพิจารณาโดยการนำฟังก์ชันการคำนวณหาความน่าจะเป็นตามสมการที่ 2.14 มาใช้ในการหาค่าการส่งสำเร็จ ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของแท็กแบบ FSA ตามหัวข้อที่ 3.4 ซึ่งจะพิจารณาความน่าจะเป็นที่แท็กแต่ละตัวมีโอกาสเข้าถึงสล็อตแบบสุ่ม โดยวิธีการคำนวณหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ดังนี้



รูปที่ 3.7 รูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่ม

จากรูปที่ 3.7 กำหนดให้มีแท็กในระบบ N แท็กเข้าถึงยังสล็อตช่วงชิง M สล็อตในแต่ละเฟรม ในการทดลองสุ่มแท็ก N จำนวนใน 1 เฟรมต่อ M สล็อต จะเกิดผลลัพธ์ได้ถึง M อย่างด้วยความน่าจะเป็น

$$p_1 p_2 \dots p_M \left(\sum_{i=1}^M p_i = 1 \right) \quad (3.1)$$

โดยที่ $p_1 p_2 \dots p_M$ แทนความน่าจะเป็นที่เกิดผลลัพธ์ชนิดที่ 1, 2, ..., และ M ตามลำดับ ถ้าเราสนใจความน่าจะเป็นที่ $a_1 a_2 \dots a_M$ จะเกิดผลลัพธ์เป็นจำนวนแท็กในสล็อตแต่ละสล็อตที่ 1 ถึง M จะได้ว่าวิธีจำนวนที่ N แท็ก สุ่มเลือกแต่ละสล็อตคือ

$$\binom{N}{a_1, a_2, \dots, a_M} = \frac{N!}{a_1! a_2! \dots a_M!} \quad (3.2)$$

เมื่อ a_1, a_2, \dots, a_M คือจำนวนของแท็กในแต่ละสล็อตตั้งแต่สล็อตที่ 1 ถึง M จำนวนวิธีการสลับที่จำนวนแท็กที่มีค่าเท่ากันในสล็อตของเฟรมนั้นๆคือ

$$\binom{M}{b_1, b_2, \dots, b_M} = \frac{M!}{b_1! b_2! \dots b_M!} \quad (3.3)$$

เมื่อ b_1, b_2, \dots, b_M คือจำนวนสล็อตที่มีแท็กเท่ากับ เช่น a_1, a_2, \dots, a_M มีจำนวนแท็กเท่ากับ 1 ดังนั้น b_1 เท่ากับ 3

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการที่ (3.1) – (3.3) เมื่อ N คือจำนวนแท็กในระบบและ M คือจำนวนสล็อตใน 1 เฟรม จะหาความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ของแต่ละเฟรมตามรูปแบบฟังก์ชันสมการความน่าจะเป็น (2.14) ดังนี้

$$P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} = \frac{N!}{a_1! a_2! \dots a_M!} \frac{M!}{b_1! b_2! \dots b_M!} P^{a_1} P^{a_2} \dots P^{a_M} \quad (3.4)$$

โดยที่ $\sum_{i=1}^M a_i = N$ และค่า $p(a_i)$ แต่ละตัวคือ $\frac{1}{M}$ ดังนั้นจะได้ $P^{a_1} P^{a_2} \dots P^{a_M} = \left(\frac{1}{M}\right)^N$

ถ้าเราพิจารณาเฉพาะรูปแบบที่ประสบความสำเร็จนั้นคือถ้า K คือจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จกรณีที่จำนวนแท็กเข้าสล็อตที่ 1 ถึง K เท่ากับ 1 นั่นคือ $a_1 = a_2 = \dots = a_K = 1$ และในสล็อตที่ไม่เท่ากับ 1 นั่นคือ $a_{K+1} \neq a_{K+2} \neq \dots \neq a_M \neq 1$ จะได้ความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จคือ (Success Probability P_{SUC}) คือผลรวมของความน่าจะเป็นแต่ละรูปแบบที่เป็นไปได้ที่จะประสบความสำเร็จทั้งหมด $P\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$

$$P_{SUC} = \sum_{(a_1=a_2=\dots=a_K=1), (a_{K+1}, \dots, a_M \neq 1)} P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} \quad (3.5)$$

3.8 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

จากรูปแบบการส่งในระบบ RFID ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันแบบ FSA นิยมใช้ RFID มาตรฐาน ISO/IEC18000 ที่มีการทำงานที่ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) ในความถี่ช่วง 860 – 960 MHz ตามหัวข้อที่ 3.5 โดยใช้โปรแกรม matlab ในการจัดเก็บข้อมูลทุกรูปแบบ เหตุการณ์ตามขั้นตอนการส่งตามหัวข้อที่ 3.6 แล้วนำมาหาค่าความน่าจะเป็นของการประสบความสำเร็จในการส่งตามโมเดลทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 3.7 ซึ่งในหัวข้อนี้จะพิจารณาผลของการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 3 กรณีและเปรียบเทียบกับการใช้การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์แบบ มัลติโนเมียล เพื่อเปรียบเทียบผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรต่างๆ ในระบบคือ

- กรณีที่ 1 วิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของแต่ละจำนวนแท็กที่ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูล (K)
- กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนแท็ก (N) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ
- กรณีที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนสล็อต (M) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ

โดยสามารถพิจารณาได้ตามหัวข้อ ที่ 3.8.1 – 3.8.3 ต่อไป ซึ่งในแต่ละกรณีได้แบ่งทำการวิเคราะห์เพื่อให้เห็นความแตกต่างอย่างชัดเจนและสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการใช้วิธีการทางคณิตศาสตร์ โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดพารามิเตอร์ซึ่งแต่ละกรณีก็จะกำหนดค่า N และ M แตกต่างกันไปตามลักษณะที่จะทำการวิเคราะห์
2. ทำการคำนวณการจัดเก็บทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่แท็กจะเข้าสู่สล็อตตามหัวข้อที่ 3.6
3. นำค่าทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่ได้จัดเก็บค่ามาคำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์และนำมาหาค่าความน่าจะเป็นที่สำเร็จ (P_{SUC}) ตามหัวข้อที่ 3.7
4. พล็อตกราฟและทำการวิเคราะห์ผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.1 กรณีที่ 1 วิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของแต่ละจำนวนแท็กที่ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูล (K)

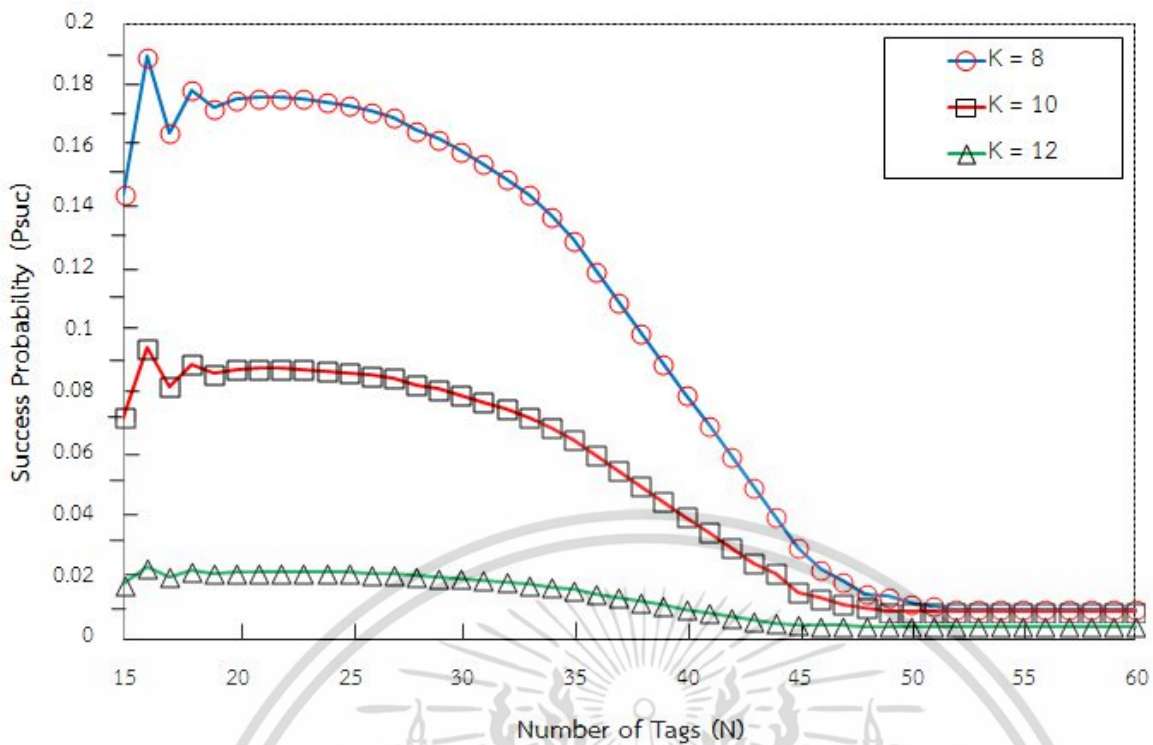
กรณีที่ 1 วิเคราะห์โดยเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นของแต่ละจำนวนแท็กที่ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูล (K) ที่มีขนาดเฟรมและจำนวนแท็กในระบบเท่ากันเพื่อดูแนวโน้มความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่งที่มีการเพิ่มขึ้นของค่า K และจำนวนการแท็ก โดยมีการเลือกกำหนดพารามิเตอร์ดังนี้

- ขนาดเฟรม (M) มีจำนวน 20 สล็อต เท่ากันทุกเหตุการณ์
- จำนวนแท็กในระบบ (N) มีตั้งแต่ 15 – 60 ตัวเพิ่มขึ้นทีละ 1 ตัว
- เหตุการณ์แต่ละจำนวนแท็กที่ประสบความสำเร็จในการส่ง (K) ที่ได้เลือกมาทำการ

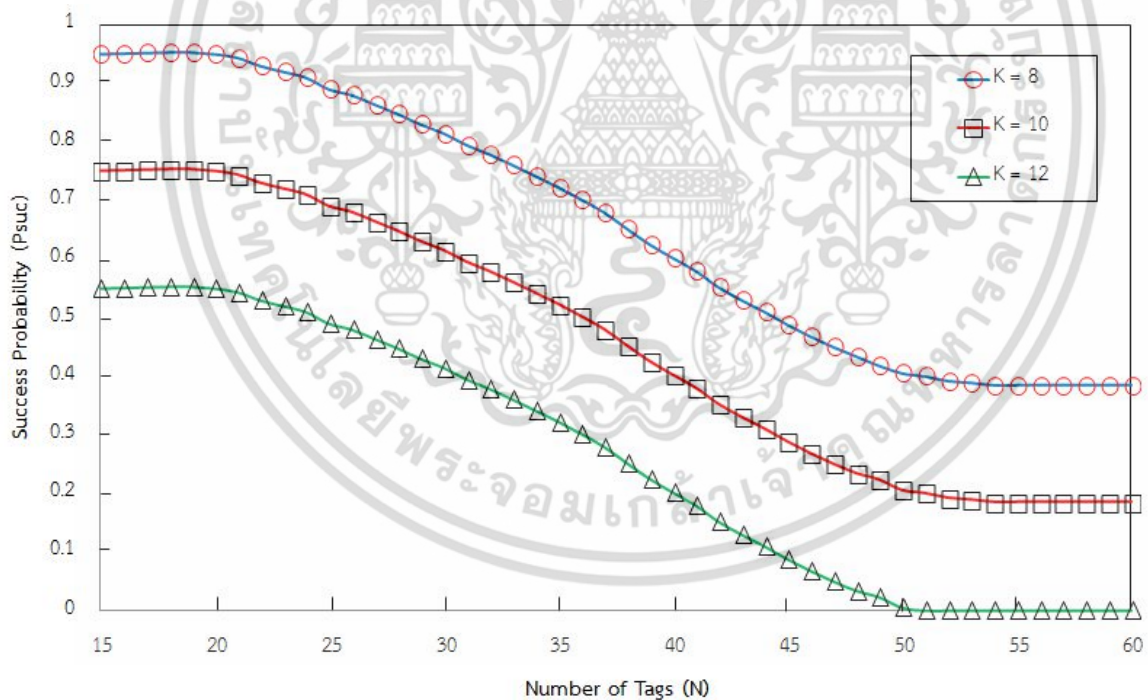
วิเคราะห์คือค่า $K = 8, 10, \text{ และ } 12$

จากรูปที่ 3.8 จะพบว่าเมื่อจำนวนแท็กมีค่ามากขึ้น ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่งจะค่อยๆลดลง เมื่อมีแท็กในระบบมากขึ้น เนื่องจากมีการแย่งกันเข้าสล็อตที่มากขึ้นจากการเพิ่มขึ้นของแท็กในระบบที่มากขึ้น นอกจากนี้ยังจะพบว่าในแต่ละจำนวนแท็กที่เท่ากันกราฟเส้นที่ K เท่ากับ 8 มีความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่งสำเร็จที่สุด ตามมาด้วย ค่า $K = 10$ และ $K = 12$ ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าเมื่อจำนวนแท็กที่ประสบความสำเร็จในการส่งมีจำนวนมากขึ้น ค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จก็จะมีค่าน้อยลง

เมื่อนำการคำนวณแบบวิธีใหม่มาใช้ในการวิเคราะห์ โดยกำหนดให้เหตุการณ์เหมือนกันทุกเหตุการณ์ จะได้ผลความประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูลที่สูงกว่าแบบเดิมหรือแบบมัลติโคโนเมียล ดังรูปที่ 3.9 ซึ่งจะเห็นได้ว่าการเพิ่มขึ้นของแท็กการประสบความสำเร็จในการส่งแท็ก จะค่อยๆลดลงเช่นกัน แต่จะลดลงในจำนวนที่ช้ากว่า หรือเรียกได้ว่าเพิ่มโอกาสในการเข้าสล็อตที่เปิดกว้างขึ้นทำให้การชนกันของข้อมูลลดต่ำลง แต่เมื่อมีจำนวนของแท็กที่เพิ่มขึ้นก็จะทำให้การประสบความสำเร็จในการส่งลดน้อยลง เนื่องจากเกิดการแย่งกันเข้าสล็อต นอกจากนี้การ กำหนดเหตุการณ์ ในแต่ละกรณีจะแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างของจำนวนความสำเร็จที่เกิดขึ้นกับการเข้าแท็กของสล็อต โดยจะสามารถเปรียบเทียบผลลัพธ์ได้ในแต่ละกรณี



รูปที่ 3.8 แสดงการคำนวณแบบมัลติโนเมียล โดยแสดง 3 เหตุการณ์ (K) การส่งสำเร็จสูงสุดอยู่ที่ K = 8 โดยมีค่าผลลัพธ์เท่ากับ 0.19 (Psuc)



รูปที่ 3.9 แสดงการคำนวณแบบวิธีใหม่ โดยกำหนดเหตุการณ์เหมือนกันทุกอย่าง โดยได้ค่าผลลัพธ์ที่การส่งสำเร็จสูงสุด เท่ากับ 0.95 (Psuc)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.2 กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนแท็ก (N) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนแท็ก (N) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ ในระบบที่มีขนาดเฟรม (M) เท่ากัน เพื่อดูแนวโน้มความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่ง (Psuc) ของแต่ละจำนวนการเข้าแท็กที่ส่งสำเร็จ (K) ที่ทำการเปลี่ยนจำนวนแท็ก (N) ในระบบโดยมีการเลือกกำหนดพารามิเตอร์เพื่อเปรียบเทียบระบบที่มีขนาดเฟรมเท่ากันแต่จำนวนการแท็กต่างกันจากจำนวนน้อยไปหาจำนวนมาก ดังนี้

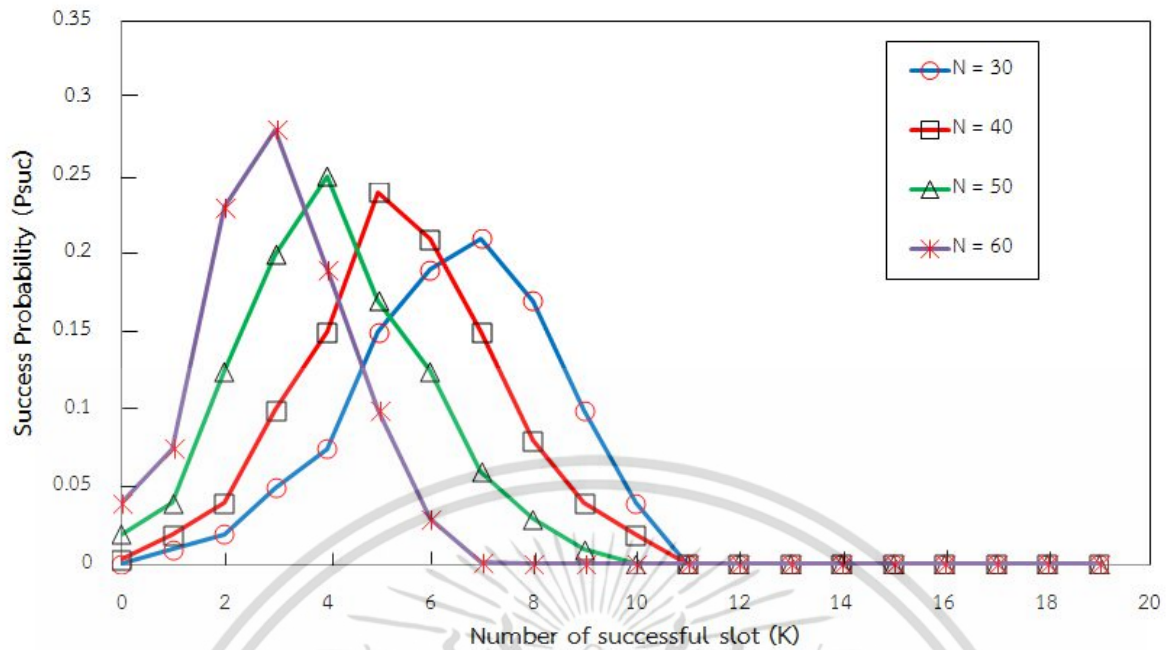
- ขนาดเฟรม $M = 20$ สล็อต ทุกเหตุการณ์
- จำนวนแท็กในระบบ N มี 4 เหตุการณ์ คือ 30, 40, 50 และ 60 ตัว
- แสดงค่าความน่าจะเป็นทุก K ของการส่งแท็กในระบบที่มีขนาดเฟรมเป็น 20 สล็อตและมีแท็ก 4 ค่า คือ 30, 40, 50 และ 60

มีแท็ก 4 ค่า คือ 30, 40, 50 และ 60

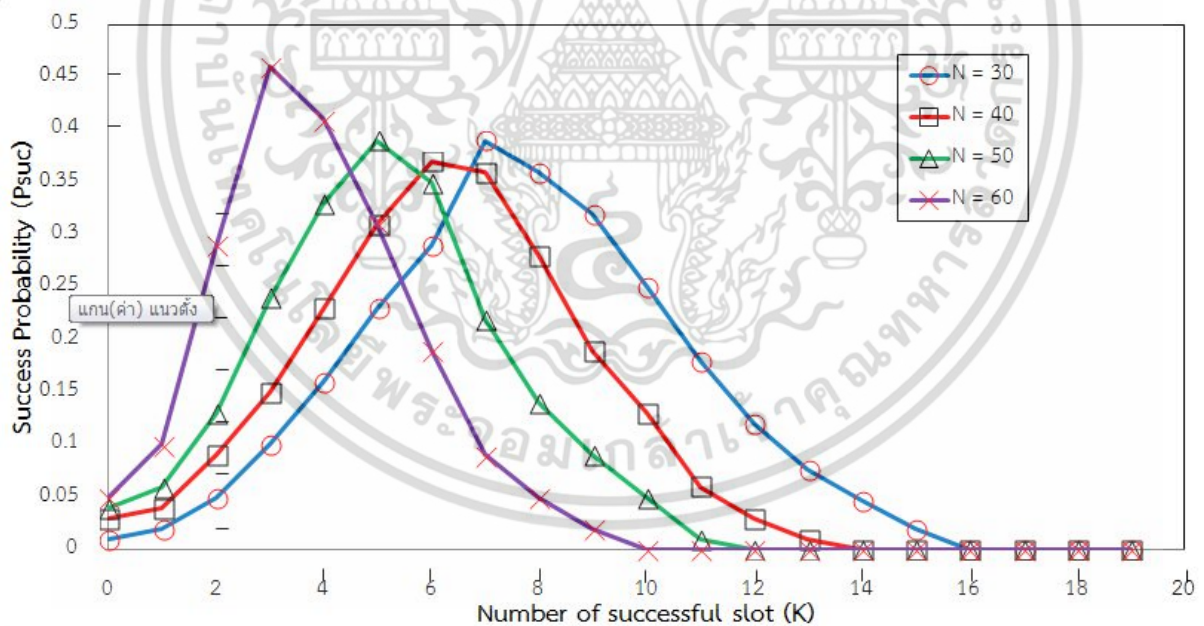
จากรูปที่ 3.10 จะพบว่าค่าที่มีความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ (Psuc) ของจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) สูงที่สุดในแต่ละจำนวนแท็กที่มีค่าแตกต่างกันโดยที่ แท็กที่มีความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จมากที่สุดที่จำนวน K เยอะที่สุดคือ การส่งที่แท็กเท่ากับ 30 ตามมาด้วยแท็กจำนวน 40, 50, และ 60 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่ความสำเร็จต่อเฟรมยังมีค่าน้อยลง เป็นผลมาจากการแย่งชิงสล็อตที่จำนวนแท็กมากขึ้นทำให้เกิดการชนกันของแท็กสูงขึ้นนั่นเอง

โดยจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีแท็กเป็น 30 เท่า กับ 7 สล็อต จำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีแท็กเป็น 40 เท่ากับ 5 สล็อต จำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ ที่ส่งสูงสุดที่แท็กเป็น 50 เท่ากับ 4 สล็อต และ การส่งสูงสุดที่แท็กเท่ากับ 60 เท่ากับ 3 สล็อต

จากรูปที่ 3.11 แสดงการคำนวณแบบวิธีใหม่ โดยกำหนดเหตุการณ์เหมือนกันทุกอย่าง ที่ขนาดเฟรม เป็น 20 สล็อต และมีแท็ก 4 ค่า เป็นการเปรียบเทียบ ค่าการส่งสำเร็จ จากเหตุการณ์เดียวกัน โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์แบบใหม่จะส่งผลให้ค่าการส่งสำเร็จมีค่าสูงจาก เป็น $30 = 7$ สล็อต ที่ 0.21 Psuc = 11 ครั้ง, $40 = 5$ สล็อต ที่ 0.24 Psuc = 10 ครั้ง, $50 = 4$ สล็อต ที่ 0.25 Psuc = 9 ครั้ง, $60 = 3$ สล็อต ที่ 0.28 Psuc = 8 ครั้ง โดยการใช้วิธีการใหม่มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้นตามลำดับเหมือนกับของการคำนวณแบบเดิมแต่จะได้ผลสำเร็จที่สูงกว่า คือ $30 = 7$ สล็อต ที่ 0.39 Psuc = 16 ครั้ง, $40 = 6$ สล็อต ที่ 0.37 Psuc = 14 ครั้ง, $50 = 5$ สล็อต ที่ 0.39 Psuc = 12 ครั้ง, $60 = 3$ สล็อต ที่ 0.46 Psuc = 10 ครั้ง ซึ่งการวิเคราะห์ในรูปแบบการคำนวณแบบใหม่จะช่วยเพิ่มปริมาณการส่งที่สำเร็จให้สูงขึ้น การเพิ่มจำนวนการส่งสำเร็จจะช่วยการทำงานในระบบที่รวดเร็วและลดขั้นตอนการเกิดการชนกันของข้อมูลให้ลดน้อยลง



รูปที่ 3.10 แสดงการคำนวณแบบเดิมหรือแบบมัลติโนเมียลการส่งสำเร็จของทุกเหตุการณ์ ที่ขนาดเฟรม เป็น 20 สล็อต และมีแท็ก 4 ค่า



รูปที่ 3.11 แสดงการคำนวณแบบวิธีใหม่ โดยกำหนดเหตุการณ์เหมือนกันทุกอย่าง ที่ขนาดเฟรม เป็น 20 สล็อต และมีแท็ก 4 ค่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.8.3 กรณีที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนสล็อต (M) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ

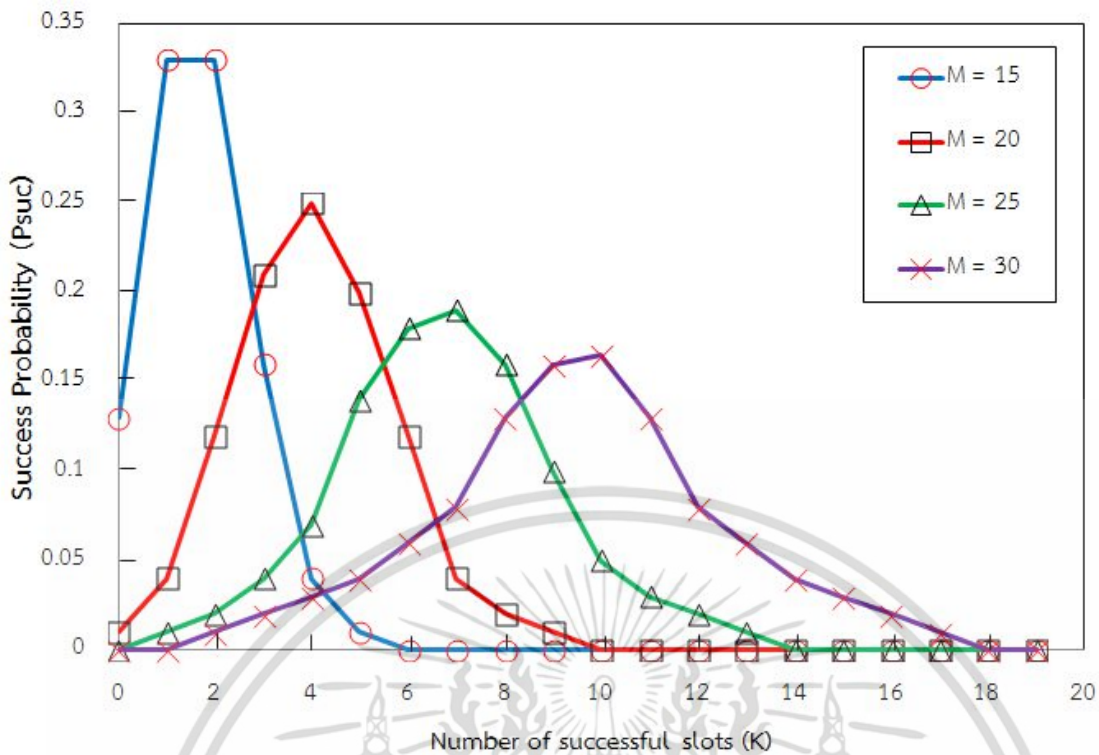
กรณีที่ 3 วิเคราะห์ผลกระทบต่อจำนวนสล็อต (M) ว่ามีผลอย่างไรในระบบ ในแต่ละการส่งที่มีจำนวนแท็กเท่าๆกัน เพื่อดูแนวโน้มของแต่ละความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่ง Psuc ของแต่ละจำนวนของแท็กที่ส่งสำเร็จ (K) ที่ทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อต (M) ในแต่ละการส่ง โดยมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อเปรียบระบบที่มีจำนวนแท็กเท่าๆกันแต่ขนาดเฟรมต่างกันจากจำนวนที่น้อยไปหามากดังนี้

- จำนวนแท็กในระบบ (N) มี 50 แท็กของทุกเหตุการณ์
- ขนาดเฟรม (M) มี 4 เหตุการณ์ คือ 15, 20, 25 และ 30 สล็อต
- แสดงค่าความน่าจะเป็นทุก K ของการส่งแท็กในระบบที่มีจำนวนแท็กเท่าๆกันคือ 50
- และมีจำนวนสล็อตต่อเฟรม 4 ค่า คือ 15, 20, 25 และ 30 สล็อต

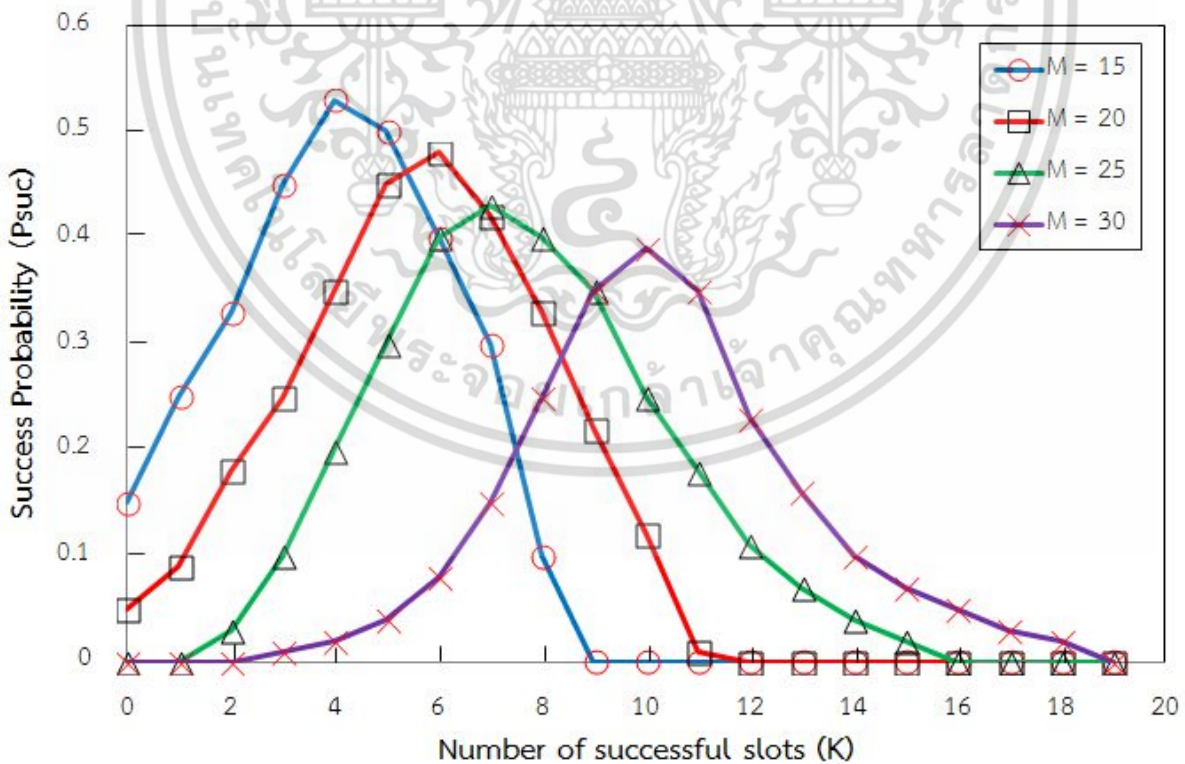
จากรูปที่ 3.12 จะพบว่าค่าที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ Psuc ของจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) สูงที่สุดในแต่ละจำนวนสล็อตมีค่าแตกต่างกันโดย จำนวนสล็อตที่มี Psuc สูงสุดที่จำนวน K เยอะที่สุดคือ M เท่ากับ 30 ตามมาด้วย M เท่ากับ 25, 20 และ 15 สล็อต ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าที่จำนวนแท็กเท่าๆกัน ยิ่งขนาดเฟรมในระบบมีค่ามาก โอกาสในการส่งแท็กให้ประสบความสำเร็จต่อเฟรมยิ่งมากตามไปด้วย แต่ถ้าขนาดของเฟรมในระบบมีค่าน้อย โอกาสในการส่งแท็กให้ประสบความสำเร็จต่อเฟรมก็จะยิ่งน้อยลง เป็นผลมาจากการแย่งชิงสล็อตที่มีจำนวนสล็อตน้อยลงก็จะทำให้เกิดการชนกันของแท็กสูงขึ้น

โดยจำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 15 สล็อตอยู่ที่ ประมาณ 1 และ 2 สล็อต, จำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 20 สล็อตอยู่ที่ 4 สล็อต, จำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 25 สล็อตอยู่ที่ 7 สล็อต, จำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 30 สล็อตอยู่ที่ 10 สล็อต

จากรูปที่ 3.13 เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช่วิธีวิเคราะห์แบบเดิมกับการวิเคราะห์โดยใช่วิธีใหม่ จะเห็นได้ว่าค่าที่ได้จะสูงกว่า ดังนี้ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 15 สล็อตอยู่ที่ 4 สล็อต, จำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 20 สล็อตอยู่ที่ 6 สล็อต, จำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 25 สล็อตอยู่ที่ 8 สล็อต, จำนวนที่ส่งสำเร็จที่ Psuc สูงสุดของการส่งที่มีขนาดเฟรมที่ 30 สล็อตอยู่ที่ 10 สล็อต การที่ค่าการส่งสำเร็จมีปริมาณที่มากขึ้นก็แสดงได้ว่าผลลัพธ์ในการใช้วิธีการแบบใหม่ในการวิเคราะห์สามารถใช้ในการลดการเกิดการชนกันของข้อมูลได้ โดยจะแสดงวิธีการและผลการวิเคราะห์ที่ละเอียดลงไปในหัวข้อถัดไป



รูปที่ 3.12 Success Probability ของทุกเหตุการณ์ที่มีจำนวนแท็กเป็น 50 และมีขนาดเฟรม 4 คำคือ 15, 20, 25 และ 30 สล็อต



รูปที่ 3.13 Success Probability ของแบบวิธีการใหม่ จำนวนแท็กเป็น 50 และมีขนาดเฟรม 4 คำคือ 15, 20, 25 และ 30 สล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของการ จำกัดสิทธิ์กลุ่มเฟรมสล็อตอะโลฮา

4.1 กล่าวนำ

รูปแบบการประยุกต์แบบต่างๆ ที่แท็กมีการเข้าถึงสล็อตแบบหลากหลายทางที่ได้นำเสนอมานี้แล้ว ในบทที่ 3 เป็นการจัดสรรช่องทางการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่มของเฟรมสล็อตอะโลฮาโดยที่แท็กทุกตัวมีโอกาสที่จะสุ่มเข้าถึงสล็อตเท่าๆกัน จึงเกิดแนวคิดต่อว่าถ้าหากในแต่ละการส่งในแต่ละเฟรมนั้นแบ่งให้แท็กมีโอกาสที่จะสุ่มเข้าถึงสล็อตต่างกันหรือให้ความสามารถในการเข้าถึงสล็อตของแท็กแตกต่างกันโดยแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม จะทำให้เกิดการส่งแท็กแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา จะทำให้โอกาสในการชนกันของข้อมูลลดลงและยังมีประสิทธิภาพสูงขึ้นหรือไม่

โดยการวิเคราะห์แนวคิดนี้ได้จากการต่อยอดมาจากบทที่ 3 ที่ได้เสนอบทวิเคราะห์แบบใหม่ที่ทำการศึกษาทุกเหตุการณ์ในการส่งแท็กแบบ FSA (Framed Slotted ALOHA) และได้นำมาใช้วิเคราะห์โดยใช้สมการความน่าจะเป็นมาคำนวณ ซึ่งจากโมเดลทางคณิตศาสตร์ดังกล่าวเป็นการแจกแจงโดยคำนวณทุกเหตุการณ์ ทำให้เราสามารถคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จโดยการกำหนดความสามารถในการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่มไม่เท่ากันได้

ในบทนี้นอกจากจะแสดงรูปแบบและวิเคราะห์ผลการแบ่งกลุ่ม FSA ที่มีความสามารถในการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่มที่ไม่เท่ากันได้แล้ว ยังทำการวิเคราะห์โดยการคำนวณขนาดเฟรมที่ต้องส่งในระบบในรูปแบบการส่งแท็กแบบแอดทีฟ อีกด้วย โดยจะมีรายละเอียดขั้นตอนการวิเคราะห์ ดังนี้

- อัลกอริทึมการคำนวณค่าทุกเหตุการณ์การเข้าถึงสล็อตของแท็กมีขึ้นเช่นเดียวกับหัวข้อที่ 3.6 แต่จะแตกต่างกันที่บทนี้จะแบ่งการจำกัดสิทธิ์เป็น 2 กลุ่ม โดยการคำนวณค่าความน่าจะเป็นทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้ที่แท็กจะสุ่มเข้าถึงสล็อตทั้ง 2 กลุ่มที่คิดค่า K รวมกัน คำนวณให้ได้ทุกเหตุการณ์เพื่อให้แต่ละเหตุการณ์ไม่ซ้ำกัน หรือตกหล่นและนำค่าทุกเหตุการณ์นั้นมาทำการคำนวณหาความน่าจะเป็นต่อไป

- ออกแบบการทดลองและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการทดลองซึ่งแบ่งออกเป็น 2 กรณี เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรต่างๆ ในระบบคือ

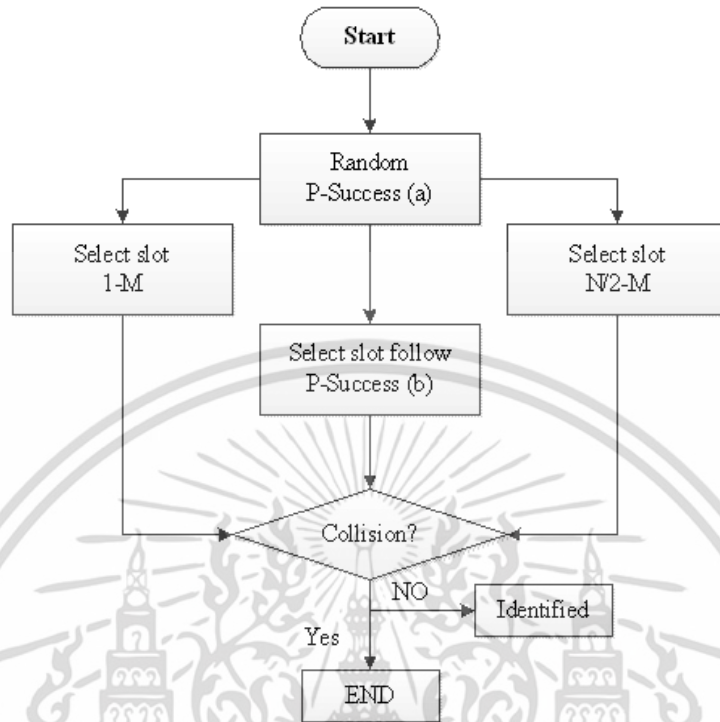
กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของ FSA แบบปกติและแบบจำกัดสิทธิ์ในแต่ละขนาดของเฟรมสล็อตที่แตกต่างกัน โดยการแบ่งการวิเคราะห์ออกดังนี้

- วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดของเฟรมน้อยกว่าจำนวนแท็ก
- ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดเฟรมมากกว่าจำนวนแท็ก

กรณีที่ 2 วิเคราะห์การส่งแท็กแบบแอดทีฟแท็กจากจำนวนเฟรมและจำนวนการตอบสนองแท็กของ FSA แบบปกติและแบบจำกัดสิทธิ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

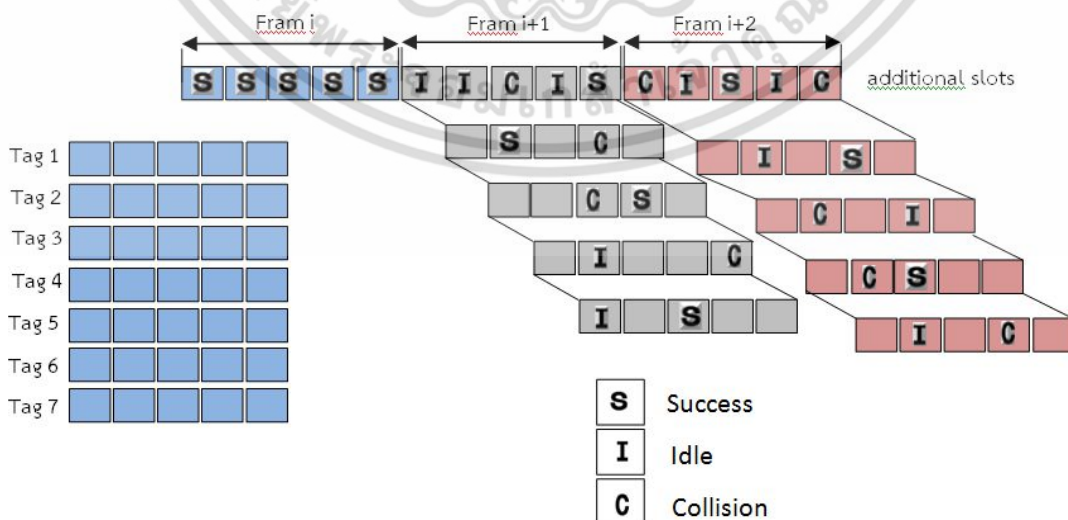
- ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแอ็คทีฟแท็กในการส่งแบบจำกัดสิทธิ์ขนาดต่างๆ
- ขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้เวลาในการส่งแอ็คทีฟแท็กแบบจำกัดสิทธิ์น้อยที่สุด



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการคำนวณในบทที่ 4

4.2 แบบจำลองของกระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮาในระบบ RFID แบบจำกัดสิทธิ์

ในบทนี้เป็นการนำเสนอแนวคิดกระบวนการจำกัดสิทธิ์การสุ่มเข้าแท็กเพื่อกำหนดความสามารถและประสิทธิภาพในการจำกัดสิทธิ์ในการเข้าแท็กสล็อต แต่ละกรณีที่แตกต่างกัน โดยทำการวิเคราะห์ค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จมีรูปแบบการจำกัดสิทธิ์ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 รูปแบบระบบ RFID แบบการจำกัดสิทธิ์ความสามารถในการเข้าสล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปที่ 4.2 เป็นโมเดลการส่งแท็กที่มีการเข้าถึงแบบหลากหลายช่องทาง โดยแท็กจะมี 2 สิทธิ์ โดยที่แท็กหนึ่งก็ได้หรือไม่ได้แท็กหนึ่งก็ได้แต่จะ ให้สิทธิ์การเข้าถึงที่แตกต่างกัน ความสามารถที่แท็กจะเข้าถึงสล็อตของตัวอ่าน ซึ่งการจัดสรรช่องสัญญาณหรือการสร้างโปรโตคอลนั้น สามารถทำได้โดยกำหนดจากตัวอ่าน ซึ่งที่ตัวอ่าน RFID แต่ละมาตรฐานจะมีคำสั่งในการทำงานไม่เหมือนกันโดยจะขึ้นอยู่กับการใช้งานในแต่ละระบบ โดยโปรโตคอลป้องกันการชนกันนั้นจะอยู่ใน ISO/IEC 18000-6 ที่มีการทำงานที่ย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) ความถี่ในช่วง 860 – 960 MHz โดยจุดเด่นในเรื่องนี้คือแท็ก ในบทนี้จะทำการวิเคราะห์รูปแบบการส่งแบบแอ็คทีฟ ตามมาตรฐานที่จะอ่านข้อมูลได้ไกล ประมาณ ไม่เกิน 10 เมตร ในส่วนของการจำกัดสิทธิ์ที่ได้เสนอไปนั้น อาจจะสามารถทำได้โดยใช้ตัวเลขสุ่มอาศัยบิตที่มีความสำคัญสูงสุด (MSB) ของรหัสประจำตัว ซึ่งเป็นบิต 0 หรือบิต 1 เท่านั้น ก็จะสามารถแบ่งการจำกัดสิทธิ์ได้ โดยให้บิต 0 สุ่มเข้าสล็อตกลุ่มแรกและบิต 1 สุ่มเข้าสล็อตกลุ่มที่ 2 เป็นต้น

จากการจำกัดสิทธิ์ของแท็กกำหนดให้ความสามารถเข้าถึงสล็อตที่แตกต่างกัน โดยการส่งแบบหลากหลายทาง ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของแท็กแบบ FSA จะทำให้ลักษณะการส่งแท็ก FSA แบบจำกัดสิทธิ์ เป็นไปตามตัวอย่างรูปที่ 4.3 เป็นการส่งข้อมูลในระบบแท็ก (N) จำนวน 20 ตัว และขนาดเฟรม (M) เฟรมละ 10 สล็อต โดยสมมติให้แท็กทั้งสองกลุ่มมีความสามารถในการเข้าถึงสล็อตแบบสุ่มมากกว่ากัน 2 เท่า ทำให้เฟรมแท็กกลุ่มแรกคือแท็กที่ 1 – 3 สุ่มเข้าได้ในสล็อตที่ 1 – 3 แต่ในกลุ่มที่สองคือแท็กที่ 5 – 8 จะสามารถเข้าถึงสล็อตได้เพียงช่วงท้ายของสล็อตคือสล็อตที่ 5 เป็นต้นไป จากนั้นเฟรมถัดไปจะทำการสลับให้แท็กที่มีค่าน้อยกว่าใส่ในสล็อตถัดไปโดยไม่ซ้ำกัน โดยทำแบบนี้ไปจนไม่สามารถใส่แท็กลงสล็อตได้ในเฟรมนั้น โดยการส่งแบบแอ็คทีฟแท็กจะทำการส่งซ้ำๆทุกเฟรม โดยระบบ RFID แบบแอ็คทีฟ จะให้แท็กที่ส่งสำเร็จแล้วอยู่สถานะหลับ จะทำให้รอบการส่งต่อไปมีจำนวนแท็กที่ลดลง กระบวนการจذبแบบนี้จะลดการชนกันของข้อมูลได้

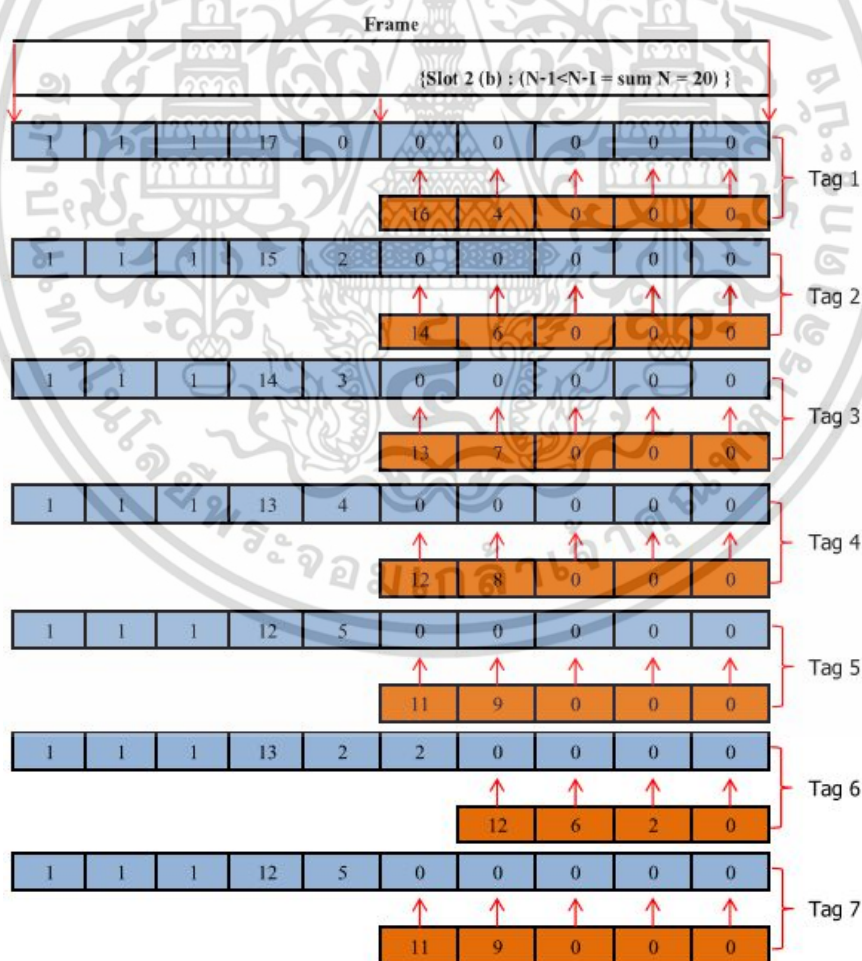
การวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ และวิเคราะห์หาขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้จำนวนครั้งในการส่งน้อยที่สุด (ใช้เวลาในการส่งน้อยที่สุด) ที่ใช้ในการส่งแบบแอ็คทีฟแท็กในระดับความพึงพอใจที่กำหนดเองตามสมการที่ (2.16) – (2.18) ให้ $\alpha=0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่มีแท็กหายไปไม่เกิน 1% โดยทำการแบ่งหัวข้อการวิเคราะห์เป็น 2 หัวข้อ คือ หัวข้อแรกทำการวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแพสซีฟแท็กในการส่งแบบแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ และหัวข้อที่สองเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแพสซีฟแท็กเพื่อให้ใช้เวลาในการส่งน้อยที่สุด เพราะว่าหากเพิ่มขนาดเฟรมให้ยิ่งมากเท่าไรก็จะทำให้โอกาสการชนกันน้อยลงก็จริง แต่จะทำให้จำนวนครั้งของการอ่านแท็กมากขึ้นและสิ้นเปลืองเกินไป นำค่าทุกเหตุการณ์ การเข้าถึงสล็อตหรือการสุ่มเข้าสล็อตของแท็กมาใช้ในการคำนวณและได้มีขั้นตอนการเลือกเก็บแต่ละเหตุการณ์เพื่อไม่ให้มีเหตุการณ์ที่ซ้ำกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 การจัดเก็บทุกเหตุการณ์แบบจำกัดสิทธิ์ที่นำมาใช้ในรูปแบบการวิเคราะห์

เนื่องจากความน่าจะเป็นในการสุ่มเข้าสล็อตของแท็กแต่ละกลุ่มมีค่าไม่เท่ากัน เราจึงใช้สมการทางคณิตศาสตร์มาคำนวณหาความน่าจะเป็นของการประสบความสำเร็จในการส่งแท็กแต่ละจำนวนสล็อต โดยใช้วิธีการตามหัวข้อที่ 3.7 ทำการเลือกเก็บสล็อตของจำนวนที่ประสบความสำเร็จในการส่งมาทำการคำนวณทุกเหตุการณ์ที่เป็นไปได้โดยไม่ซ้ำกันมาคำนวณหาความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์เลือกเก็บค่าเฟรมทุกเหตุการณ์แบบจำกัดสิทธิ์ไปใช้ในการวิเคราะห์ก็จะมีลักษณะเช่นเดียวกับการจัดเก็บค่าเหตุการณ์ที่ได้กล่าวไปแล้ว แต่จะแบ่งออกเป็นส่วนๆ โดยนับค่า K รวมกัน

จากรูปที่ 4.3 ตัวอย่างการจัดเก็บแท็กของเฟรมสล็อตอะโหลฮาแบบจำกัดสิทธิ์ เป็น 2 กลุ่ม โดยที่แท็กอีกกลุ่มมีความสามารถในการสุ่มเข้าสล็อตแตกต่างกัน 2 เท่า ที่ขนาดเฟรม (M) มี 10 สล็อต, จำนวนแท็กในระบบ (N), มี 20 ตัว, และจำนวนแท็กที่ส่งสำเร็จ (K) เท่ากับ 3 จะเห็นได้ว่าการเข้าแท็กทั้งสองกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะแบ่งเข้าอย่างละครึ่งของเฟรม แต่ละการเข้าแท็กครั้งแรกและครึ่งหลังจะถูกจำกัดสิทธิ์โดยการให้สิทธิ์ของครึ่งแรกก่อนและอยู่บนเงื่อนไขของการไม่ซ้ำค่า ของเฟรมสล็อตเดียวกัน แล้วเก็บค่าทั้งการเก็บค่าทั้งการเข้าแท็กทั้งสองกลุ่ม มาคำนวณหาค่าแต่ละเหตุการณ์ต่อไป

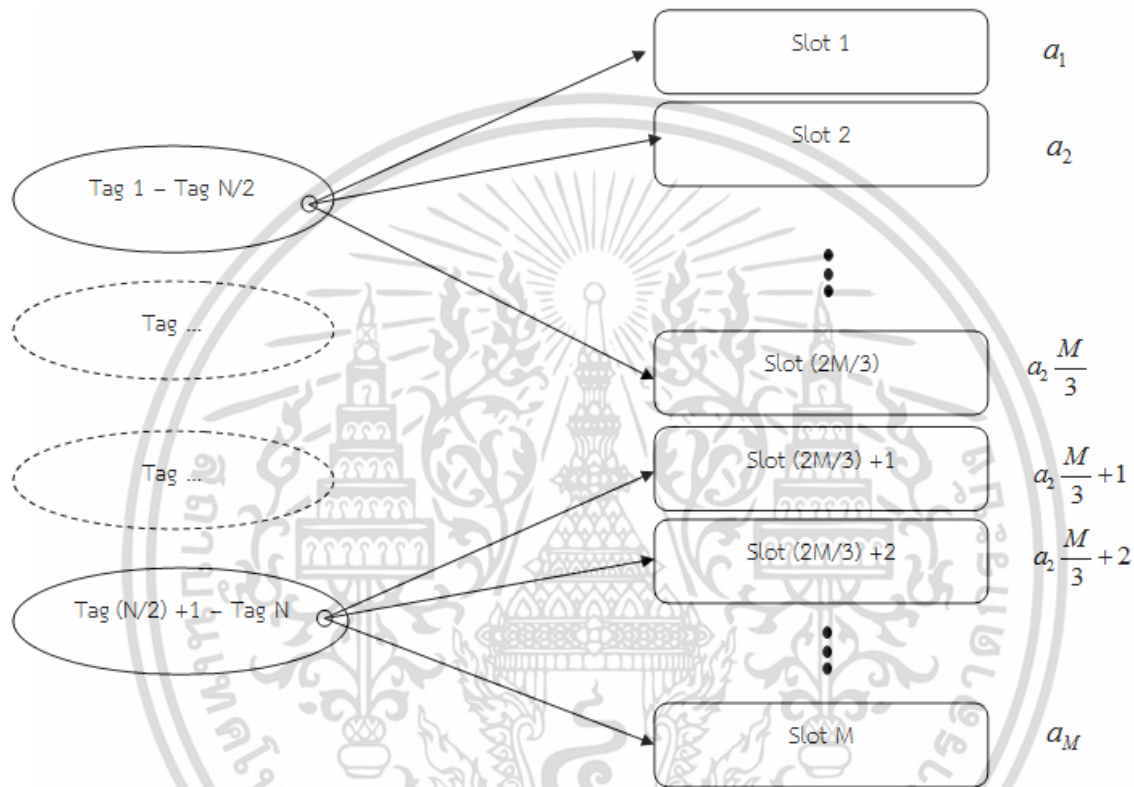


รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการเก็บแท็กของเฟรมสล็อตอะโหลฮาแบบแบ่ง 2 กลุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 โมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์

จากการแบ่งกลุ่มการจำกัดสิทธิ์การส่งแท็กให้สองกลุ่มมีจำนวนแท็กเท่าๆกัน และให้อีกกลุ่มมีความสามารถในการสุมเข้าแท็กได้แตกต่างกัน ซึ่งก็คือความน่าจะเป็นในการเข้าถึงสล็อตที่ใช้ในการคำนวณความแตกต่าง ทำให้ไม่สามารถใช้การคำนวณค่าประสิทธิภาพด้วยสมการแบบเดิมๆได้ ดังนั้นจึงเป็นประโยชน์ของรูปแบบการวิเคราะห์แบบใหม่ที่เราได้นำเสนอไปในบทที่ 3 ซึ่งจะมีวิธีการคำนวณแตกต่างกันเล็กน้อยเนื่องจากความแตกต่างของความน่าจะเป็นของแต่ละสล็อตที่ได้กล่าวไป



รูปที่ 4.4 รูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบจำกัดสิทธิ์ความสามารถในการสุมเข้าสล็อต

จากรูปที่ 4.4 เป็นการจำลองแท็กสุมเข้าสล็อตโดยให้แท็กทั้งสองกลุ่มการจำกัดสิทธิ์มีโอกาสสุมเข้าสล็อตมากกว่าอีกกลุ่ม 2 เท่า $p_1 p_2 \dots p_M$ แทนความน่าจะเป็นที่เกิดผลลัพธ์ของสล็อตที่มีจำนวนแท็กชนิดที่ 1, 2, ... และ M ตามลำดับ และจากหัวข้อที่ 3.7 เป็นการแสดงความน่าจะเป็นแบบเดิมโดยมีค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์แต่ละสล็อตคือ $p_1 p_2 \dots p_M$ เท่ากันทุกตัว คือ $\frac{1}{M}$ แต่ในหัวข้อนี้ค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดเหตุการณ์แต่ละสล็อตจะไม่เท่ากัน

ดังตัวอย่างตามรูปที่ 4.4 การคิดค่าความน่าจะเป็นแบบจำกัดสิทธิ์การแบ่งกลุ่มที่ 2 ส่วนเท่าๆกัน โดยทั้งสองกลุ่มเป็นอิสระต่อกัน จากตามหัวข้อ 3.6 ที่แท็ก N สุมเข้าสล็อต M ก็จะถูกกลายเป็นแท็กจำนวน $\frac{2}{N}$ และ $\frac{N}{2}$ สุมเข้าสล็อตจำนวน $\frac{2M}{3}$ และ $\frac{M}{3}$ ทำให้ค่า $p(a_i)$ จากการส่งปกติตัวเลข $\frac{1}{M}$ ความน่าจะเป็นกลุ่มแรกจะกลายเป็น $\frac{3}{2M}$ และกลุ่มที่สองเป็น $\frac{3}{M}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยกลุ่มแรกเข้าถึงสล็อตได้มากกว่า 2 เท่า หรือสามารถสุ่มเข้าถึงสล็อตได้ตั้งแต่สล็อตที่ 1 ถึง สล็อตที่ $\frac{2M}{3}$ จะได้ความน่าจะเป็นคือ

$$P\left\{a_1, a_2, \dots, \frac{a_{2M}}{3}\right\} = \frac{(N/2)!}{a_1! a_2! \dots a_{\frac{2M}{3}}!} \cdot \frac{(2M/3)!}{b_1! b_2! \dots b_{\frac{2M}{3}}!} p^{a_1} p^{a_2} \dots p^{\frac{a_{2M}}{3}} \quad (4.1)$$

ซึ่ง $p(a_i)$ ของกลุ่มนี้จะมีค่า $\frac{3}{2M}$ ดังนั้น $p^{a_1} p^{a_2} \dots p^{\frac{a_{2M}}{3}}$ จะมีค่าเป็น $(\frac{3}{2M})^{N/2}$ และกลุ่มที่สองสามารถสุ่มเข้าถึงสล็อตได้ตั้งแต่สล็อตที่ $\frac{2M}{3}+1$ ถึงสล็อตที่ M จะได้ความน่าจะเป็นคือ

$$P\left\{a_{\frac{2M}{3}+1}, a_{\frac{2M}{3}+2}, \dots, a_M\right\} = \frac{(N/2)!}{a_{\frac{2M}{3}+1}! a_{\frac{2M}{3}+2}! \dots a_M!} \cdot \frac{(M - \frac{2M}{3})!}{b_{\frac{2M}{3}+1}! b_{\frac{2M}{3}+2}! \dots b_M!} p^{a_{\frac{2M}{3}+1}} p^{a_{\frac{2M}{3}+2}} \dots p^{a_M} \quad (4.2)$$

ซึ่ง $p(a_i)$ ของกลุ่มนี้จะมีค่า $\frac{3}{M}$ ดังนั้น $p^{\frac{a_{2M+1}}{3}} p^{\frac{a_{2M+2}}{3}} \dots p^{a_M}$ จะมีค่าเป็น $(\frac{3}{M})^{N/2}$

จากสมการที่ (6) และ (7) ความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่จะสุ่มได้จำนวนแท็กในแต่ละสล็อตตั้งแต่สล็อตที่ 1 ถึง M ใน 1 เฟรม ส่งโดยแบ่งแท็กเป็นสองกลุ่มที่ความสามารถในการเข้าถึงสล็อตต่างกัน 2 เท่า เป็นความน่าจะเป็นของเหตุการณ์ที่ a_1, a_2, \dots, a_M คือ

$$P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} = P\left\{a_1, a_2, \dots, \frac{a_{2M}}{3}\right\} P\left\{\frac{a_{2M}}{3}+1, \frac{a_{2M}}{3}+2, \dots, a_M\right\} \quad (4.3)$$

โดยเราพิจารณาเฉพาะรูปแบบที่ประสบความสำเร็จนั้นคือถ้า K คือจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ กรณีที่จำนวนแท็กเข้าถึงสล็อตที่ 1 ถึง K เท่ากับ 1 นั่นคือ $a_1 = a_2 = \dots = a_K = 1$ และในสล็อตอื่นๆ ไม่เท่ากับ 1 คือ

$$P_{suc} = \frac{\sum_{a_1 = a_2 = \dots = a_i = 1, a_{i+1} a_{i+2} \dots a_M \neq 1}}{P\{a_1, a_2, \dots, a_M\}} \quad (4.4)$$

$a_{K+1} \neq a_{K+2} \neq \dots \neq a_M \neq 1$ จะได้ความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จคือ (Success probability P_{suc}) คือผลรวมของความน่าจะเป็นแต่ละรูปแบบที่เป็นไปได้ที่จะประสบความสำเร็จทั้งหมด $P\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$ และความน่าจะเป็นในการส่งที่ไม่มีสล็อตใดเลยสำเร็จ หมายถึงทุกเหตุการณ์ที่อาจเป็นการชนกันเองของแท็กหรืออาจเป็นสล็อตว่าง (Collision Probability)

$$P_{coll} = \sum_{k=0} P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} \quad (4.5)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

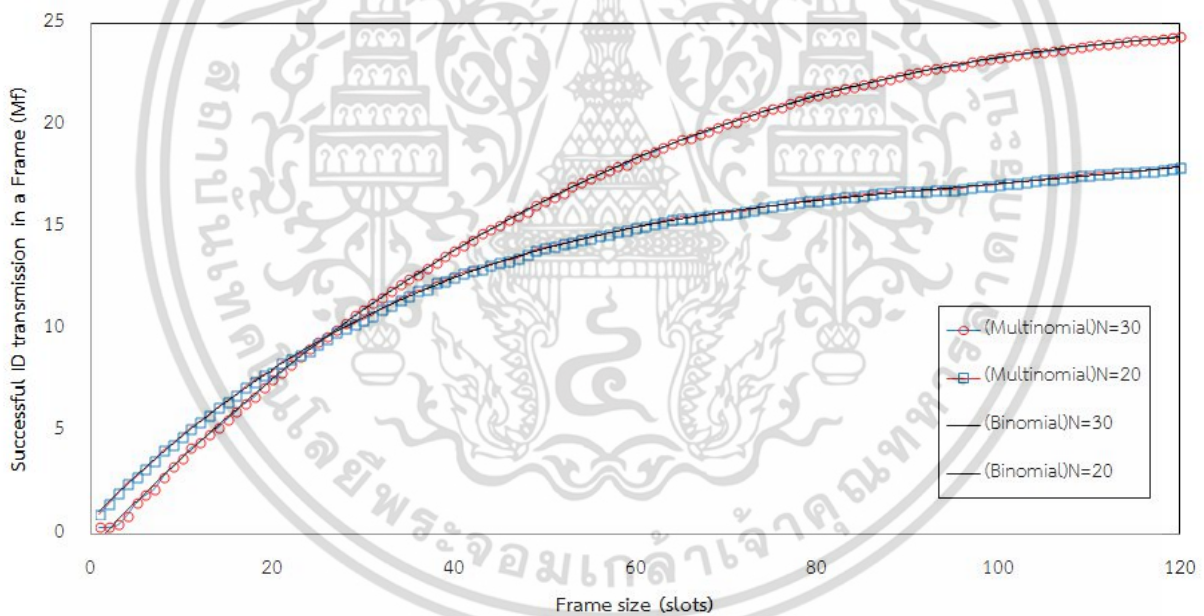
เมื่อหาค่าความน่าจะเป็นในการส่งประสบความสำเร็จ (P_{SUC}) ครบทุกเหตุการณ์ของแต่ละจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) หรือหาค่า P_{SUC} ของแต่ละทุกเหตุการณ์ K แล้วทำการหาค่าเฉลี่ย $Mean_p$

$$Mean_p = \sum_{K=0}^{K_{max}} (P_{SUC} \times K + 1) \tag{4.6}$$

เนื่องจากจำนวนที่นำมาหาค่าเฉลี่ยเริ่มที่ $K=0$ เมื่อได้ $Mean_p - 1$ จะได้จำนวนของแท็กหรือสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อเฟรม

$$M_f = Mean_p - 1 \tag{4.7}$$

จากรูปที่ 4.5 เมื่อทำการพล็อตกราฟจำนวนของแท็กหรือสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อเฟรม M_f ของโมเดลคณิตศาสตร์แบบใหม่ที่เรานำเสนอ กับแบบเดิมที่ใช้หาค่าความน่าจะเป็นทั่วไปที่ได้ศึกษาก็พบว่ามีค่าเท่ากันพอดี ซึ่งจะแสดงให้เห็นว่าโมเดลทางคณิตศาสตร์ของเราสามารถใช้คำนวณได้ (ในตัวอย่างเป็นการจำลองที่ขนาดแท็กมีขนาด 20 และ 30 และมีขนาดเฟรมตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 120)



รูปที่ 4.5 จำนวนของแท็กหรือสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อเฟรม M_f

จะหาค่าประสิทธิภาพของระบบได้ดังนี้

$$System\ efficiency = \frac{\text{Successful ID transmission in a Frame}}{\text{Frame size}} = \frac{M_f}{M} \tag{4.8}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เนื่องจากการส่งแท็กแบบแอ็คทีฟแท็กนั้นสามารถจดจำสถานะของแท็กได้ จึงหมดปัญหาที่จะเกิดการตอบสนองของเครื่องอ่านที่เจอแท็กที่ทำการส่งสำเร็จแล้วและกระบวนการจัดเก็บแท็กจะสิ้นสุดลงเมื่อจบรอบการเข้าแท็กสล็อตแต่ละเฟรม ซึ่งเราจะแทนค่าให้เป็นความน่าจะเป็น α โดยกำหนดค่าเป็น $\alpha = 0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่มีแท็กหายไปไม่เกิน 1%

เมื่อ i คือจำนวนรอบในการส่งเฟรม เราสามารถกำหนดจำนวนแท็กที่สูญหายในการส่งแท็กในระบบแอ็คทีฟได้เอง โดยการคำนวณจากความน่าจะเป็นที่กำหนดจำนวนแท็กที่สูญหายให้ส่งเฟรมจำนวน R_{p-f} เฟรมคือ

$$\prod_{i=1}^{R_{p-f}} \left(1 - \frac{M_f(i)}{N(i)}\right) = 1 - \alpha \quad (4.9)$$

ดังนั้น จากการส่งแท็กแบบแอ็คทีฟที่ได้กล่าวไป ทำให้ทุกรอบการส่งเฟรม i ใดๆ นั้น จะมีจำนวนแท็กเท่ากับ N และจำนวนของแท็กหรือสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อเฟรมเท่ากับ M_f เท่าๆกันทุกรอบการส่ง จึงทำให้ได้จำนวนเฟรมที่ควรส่งต่ำสุดคือ

$$R_{p-f} \geq \log(1 - \alpha) / \left(1 - \frac{M_f}{N}\right) \quad (4.10)$$

เพื่อให้ได้จำนวนเฟรมตามระดับความมั่นใจ α จะพบว่าขนาดเฟรม (M) มีผลกับจำนวนเฟรมที่ต้องส่ง R_{p-f} โดยจำนวนการตอบสนองของแท็ก หรือจำนวนครั้งการอ่านของแท็กทั้งหมดทุกสล็อตที่ทำการส่งแบบแพชซีฟแท็ก (Overall tag read time) คือ

$$R_{p-f} = M \times R_{p-f} \quad (4.11)$$

4.5 ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์

จากรูปแบบการส่งในระบบ RFID ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกัน FSA แบบจำกัดสิทธิ์ตามหัวข้อที่ 4.2 เราได้ใช้โปรแกรม mat lab ทำการจัดเก็บข้อมูลทุกรอบแบบเหตุการณ์การส่งแบบแบ่งกลุ่มแล้วนำมาหาค่าความน่าจะเป็นของการประสบความสำเร็จในการส่งในวิธีทางคณิตศาสตร์ในหัวข้อที่ 4.4 ในหัวข้อนี้จะพิจารณาผลของการวิเคราะห์ โดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบที่เกิดจากตัวแปรต่างๆ ในระบบ สำหรับการวิเคราะห์ที่กำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้วิเคราะห์เป็น FSA แบบปกติและแบบแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ ดังนี้

แบ่งกลุ่มแบบ 2 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ $\frac{2M}{3}$ และ $\frac{M}{3}$ สล็อต

แบ่งกลุ่มแบบ 3 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ $\frac{3M}{4}$ และ $\frac{M}{4}$ สล็อต

แบ่งกลุ่มแบบ 4 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ $\frac{4M}{5}$ และ $\frac{M}{5}$ สล็อต

แบ่งกลุ่มแบบ 50 - 50 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ $\frac{M}{2}$ และ $\frac{M}{2}$ สล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในหัวข้อนี้จะพิจารณาผลการวิเคราะห์เป็น 2 กรณี ดังนี้

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของ FSA แบบปกติและแบบแบ่งกลุ่มในแต่ละขนาดที่แตกต่างกัน ในส่วนของกรณีที่ 1 ได้ทำการวิเคราะห์เพื่อดูประสิทธิภาพ FSA แบบปกติและแบบแบ่งกลุ่มโดยจำกัดสิทธิ์ในขนาดต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้ว เพื่อผลต่อสภาพการแย่งชิงสล็อตของแท็กในลักษณะต่างๆ จึงนำมาทำการวิเคราะห์โดยแบ่งออกเป็น 2 หัวข้อย่อยคือ

1. วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดเฟรมน้อยกว่าจำนวนแท็ก เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบในรูปแบบการส่งต่างๆ ว่ามีผลเป็นอย่างไรต่อสภาพการแย่งชิงสล็อตในเฟรมนั้นๆ

2. ประสิทธิภาพของการส่งแท็กในกรณีที่ขนาดเฟรมมากน้อยกว่าจำนวนแท็ก เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูแนวโน้มประสิทธิภาพของระบบในรูปแบบการส่งต่างๆ ว่ามีผลเป็นอย่างไรต่อสภาพการแย่งชิงสล็อตที่ต่ำ

กรณีที่ 2 วิเคราะห์การส่งแท็กแบบแอ็คทีฟจากจำนวนเฟรมและจำนวนการตอบสนองแท็กของ FSA แบบปกติและแบบแบ่งกลุ่มการจำกัดสิทธิ์ ในส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์จากรูปแบบการส่งแท็กในรูปแบบ FSA ในระบบโปรโตคอลขนาดต่างๆ โดยจะแบ่งเป็น 2 หัวข้อย่อยดังนี้

1. ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแอ็คทีฟแท็กในการส่งแบบแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ เป็นการหาจุดเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ หรือหาช่วงขนาดเฟรมเท่าใดที่เหมาะสมสำหรับการใช้โปรโตคอล FSA โปรโตคอลแบบแบ่งกลุ่ม

2. ขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้เวลาในการแอ็คทีฟแท็กแบบแบ่งกลุ่มน้อยที่สุด เป็นการหาจำนวนการตอบสนองของแท็ก หรือจำนวนครั้งการอ่านของแท็กทั้งหมดทุกสล็อตที่ทำการส่งแอ็คทีฟแท็ก (overall tag read time) ว่าที่มีจุดต่ำสุดของการตอบสนอง (ใช้เวลาในการส่งข้อมูลน้อยที่สุด) นั้นเป็นจุดที่มีขนาดเฟรมเป็นเท่าใด ซึ่งขนาดเฟรมนั้นคือขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งข้อมูลเพื่อให้ใช้เวลาในการส่งน้อยที่สุด

4.5.1 กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพ FSA แบบปกติและแบบจำกัดสิทธิ์แบบแบ่งกลุ่มในขนาดการแบ่งที่แตกต่างกัน

กรณีที่ 1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพ FSA แบบปกติและแบบจำกัดสิทธิ์แบบแบ่งกลุ่มในขนาดการแบ่งที่แตกต่างกัน โดยจะแบ่งการทดลองออกเป็น 2 หัวข้อย่อยคือ วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งแท็กในกรณีที่ระบบมีขนาดเฟรม (M) น้อยกว่าจำนวนแท็ก (N) และวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งแท็กในกรณีที่ระบบมีขนาดเฟรม (M) มากกว่าจำนวนแท็ก (N) เพื่อดูแนวโน้มว่าลักษณะการแบ่งกลุ่มที่ขนาดเฟรมต่างๆ ระบบจะมีประสิทธิภาพเป็นอย่างไร ดดยจะมีระบบที่ส่งโดย FSA ปกติ และแบบจำกัดสิทธิ์แบบแบ่งกลุ่มในขนาดต่างๆ คือแบ่งให้ขนาดแท็กเป้ 2กลุ่มเท่าๆกัน และแบ่งให้อีกกลุ่มส่งได้ในขนาดเฟรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่าอีกกลุ่มเป็น 2 เท่า, 3 เท่า, 4 เท่า, และแบ่งกลุ่มให้ 2 กลุ่ม ส่งได้ในขนาดเฟรมเท่ากันหรือแบ่งแบบ 50 – 50 นั้นเอง

4.5.1.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดเฟรมน้อยกว่าจำนวนแท็ก

จะทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งแท็กในกรณีที่ขนาดเฟรมน้อยกว่าจำนวนแท็ก ว่าระบบการส่งแท็กแบบใดจะมีประสิทธิภาพดีในสภาพที่ยังมีการแย่งชิงสล็อตของแท็กสูง โดยจะมีรูปแบบการส่งแท็กแบบ FSA แบบธรรมดาและแบบจำกัดสิทธิ์แบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ ตามที่ได้กล่าวมาแล้วเบื้องต้น โดยจะทำการวิเคราะห์การทำงานดังนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับกรณีที่ขนาดของเฟรมน้อยกว่าจำนวนแท็ก

กราฟรูปที่ 4.6 ต้องการดูแนวโน้มของค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่ง (P_{suc}) ของแต่ละจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) ที่มีจำนวนแท็กและขนาดของเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากัน โดยกำหนดให้จำนวนแท็กในระบบ (N) มีจำนวน 60 ตัว และมีขนาดเฟรม (M) 20 สล็อต

กราฟรูปที่ 4.7 ต้องการดูค่าความน่าจะเป็นในการส่งที่ไม่สล็อตใดทำการส่งสำเร็จเลย (P_{coll}) หรือการหาค่าความน่าจะเป็นที่ K = 0 โดยกำหนดให้มีขนาดของเฟรม (M) เป็น 20 สล็อต และมีจำนวนแท็ก (N) ตั้งแต่ 20 จนถึง 60 ตัว

ขนาดเฟรม (M) เป็น 20 จึงทำให้

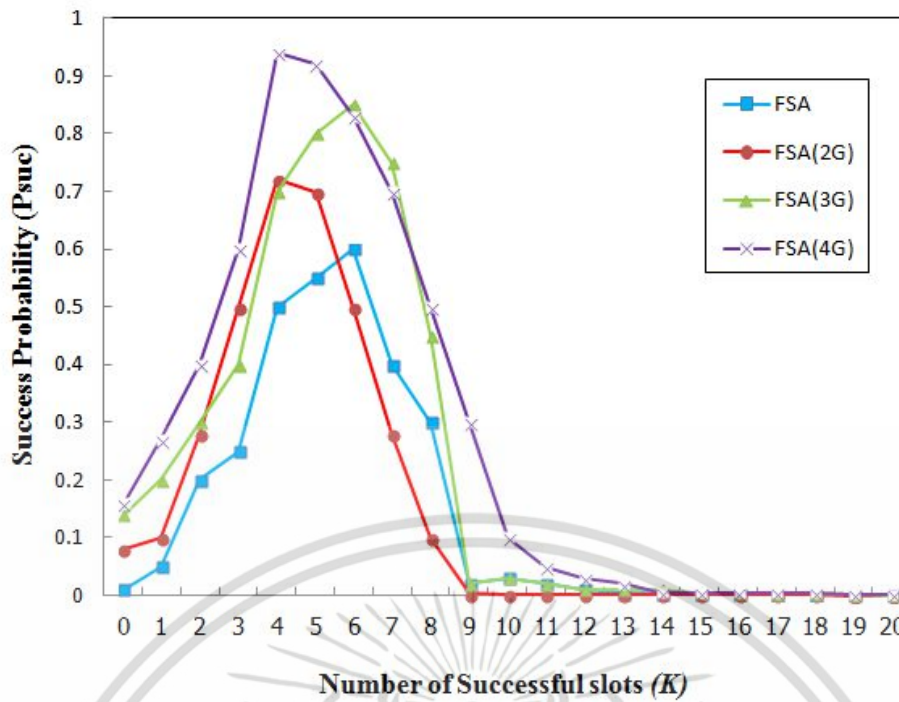
แบ่งกลุ่มแบบ 2 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 13 และ 7 สล็อต

แบ่งกลุ่มแบบ 3 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 15 และ 5 สล็อต

แบ่งกลุ่มแบบ 4 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 16 และ 4 สล็อต

แบ่งกลุ่มแบบ 50 - 50 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 10 และ 10 สล็อต

2. ทำการคำนวณการจัดเก็บทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่แท็กจะสุมเข้าสล็อต
3. นำค่าทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่ได้จัดเก็บมาทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ และนำมาหาค่าความน่าจะเป็นที่ส่งสำเร็จหรือ P_{suc} สมการที่ 4.4 ในกราฟรูปที่ 4.7
4. พล็อตกราฟและทำการวิเคราะห์ผล



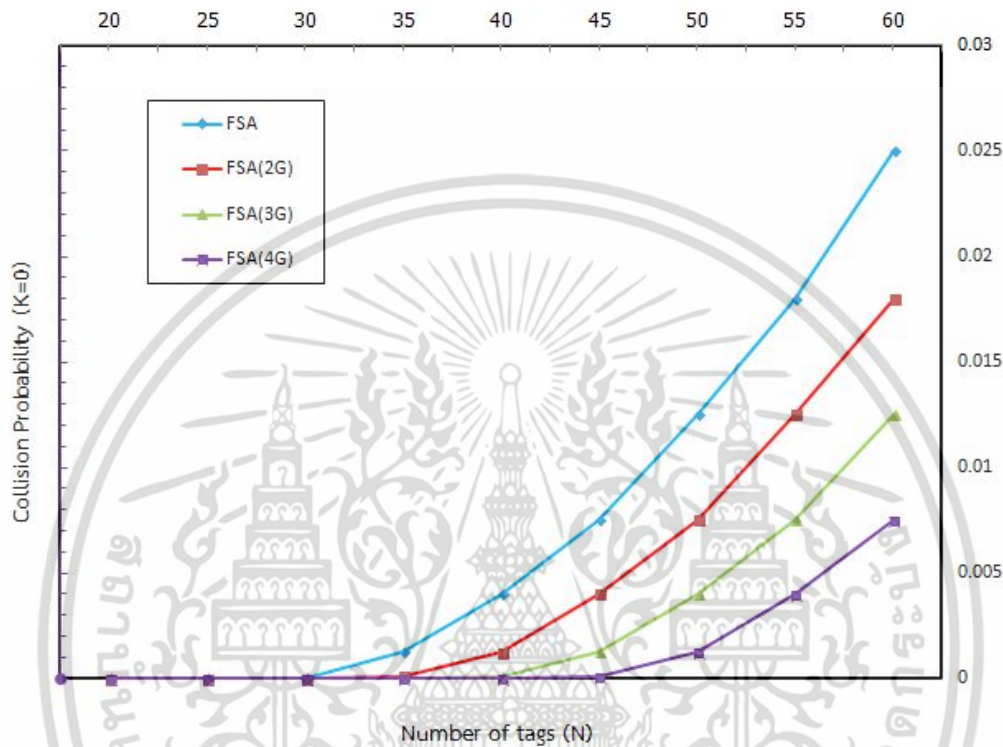
รูปที่ 4.6 ความน่าจะเป็นในการส่งประสบความสำเร็จ (P_{suc}) ที่จำนวนแท็กในระบบมีจำนวน 60 และมีขนาดเฟรม 20 สล็อต

จากรูปที่ 4.6 วิเคราะห์โดยดูแนวโน้มขอค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่ง (P_{suc}) ของแต่ละสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) ทำการส่งแท็กที่มีจำนวนแท็กและขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากัน โดยที่จำนวนแท็กในระบบมีจำนวน 60 และมีขนาดเฟรม 20 สล็อตจะพบว่าค่าที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จของจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) สูงที่สุดในแต่ละจำนวนสล็อตมีค่าแตกต่างกันโดยจำนวนสล็อตที่มี P_{suc} สูงที่สุดที่จำนวน K เยอะที่สุดคือ การแบ่งกลุ่มแบบ 4 เท่า ตามมาด้วย 3 เท่า, 2 เท่า และการส่งแบบ FSA ปกติกับการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 50 – 50 โดยค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จเฉลี่ยอยู่ที่ 0.97

จากรูปที่ 4.7 วิเคราะห์โดยค่าแนวโน้มความน่าจะเป็นในการส่งที่ไม่มีสล็อตใดเลยสำเร็จ (P_{coll}) หรือค่าความน่าจะเป็นที่ $K = 0$ โดยการส่งแท็กที่มีขนาดเฟรมเป็น 20 และมีจำนวนสล็อตตั้งแต่ 20 จนถึง 60 จะพบว่าค่าความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จเลย จะมีค่าสูงขึ้นตามจำนวนแท็กที่เพิ่มขึ้นทำให้เกิดการแย่งชิงและชนกันของแท็ก ซึ่งค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าน้อยที่สุดในแต่ละจำนวนแท็กได้แก่ การแบ่งกลุ่ม 4 เท่า ตามมาด้วย 3 เท่า, 2 เท่า, และการส่งแบบ FSA ปกติและการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 50 – 50 ตามลำดับ

ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าในสภาวะการส่งแท็กในระบบที่ขนาดเฟรมน้อยกว่าจำนวนแท็ก ซึ่งเป็นเหตุการณ์ที่มีการแย่งชิงสล็อตที่สูง ระบบที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดคือระบบที่ส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่มให้อีกกลุ่มมีค่ามากกว่าอีกกลุ่ม ดังเช่นการแบ่งกลุ่มแบบให้อีกกลุ่มมากกว่าอีกกลุ่มเป็น 4 เท่า ก็จะสามารถทำให้เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แท็กกลุ่มแรกส่งเข้าสล็อตได้ 16 สล็อต และอีกกลุ่มสามารถเข้าสล็อตได้ 4 สล็อต ซึ่งจะเป็นการเพิ่มโอกาสในการส่งแท็กสำเร็จในกลุ่มใหญ่สูงขึ้น และปล่อยให้กลุ่มเล็กชนกันไปเลย ส่วนการส่งแบบแบ่งกลุ่มโดยที่ขนาดพอๆกัน ทำให้โอกาสการชนกันทั้งสองกลุ่ม ใกล้เคียงกัน เนื่องจากขนาดเฟรมที่ยังคงมีค่าน้อยอยู่



รูปที่ 4.7 ความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จ (P_{coll}) ที่ขนาดเฟรมเป็น 20 และมีจำนวนแท็กตั้งแต่ 20 ถึง 60

4.4.1.2 ประสิทธิภาพของการส่งในกรณีที่ขนาดเฟรมมากกว่าจำนวนแท็ก

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของการส่งแท็กในกรณีที่ขนาดเฟรมมากกว่าจำนวนแท็ก ว่าระบบการส่งแท็กแบบใดจะมีประสิทธิภาพดีในสภาวะที่ยังมีการแย่งชิงสล็อตของแท็กทำโดยจะมีรูปแบบการส่งแท็กแบบ FSA ธรรมดาและแบบจำกัดสิทธิ์การแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ก่อนหน้านี้ โดยการวิเคราะห์จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับกรณีที่ขนาดเฟรมมากกว่าจำนวนแท็ก

- กราฟรูปที่ 4.8 ต้องการดูแนวโน้มของค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จในการส่ง P_{suc} ของแต่ละจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) ที่มีจำนวนแท็กและขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากันโดยกำหนดให้จำนวนการแท็กในระบบ (N) มีจำนวน 30 ตัว และมีขนาดเฟรม (M) 60 สล็อต

- ขนาดเฟรม (M) เป็น 60 สล็อต จึงทำให้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แบ่งกลุ่มเป็น 2 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 40 และ 20 สล็อต

แบ่งกลุ่มเป็น 3 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 45 และ 15 สล็อต

แบ่งกลุ่มเป็น 4 เท่า จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 48 และ 12 สล็อต

แบ่งกลุ่มเป็น 50 – 50 จะได้ขนาดสล็อตเป็น 2 กลุ่มคือ 30 และ 30 สล็อต

- กราฟที่ 4.9 ต้องการดูค่าความน่าจะเป็นในการส่งที่ไม่มีสล็อตใดเลยส่งสำเร็จ (Pcol) หรือค่าความน่าจะเป็นที่ $K = 0$ โดยกำหนดให้มีขนาดเฟรม (M) เริ่มตั้งแต่ 60 จนถึง 120 สล็อตและมีจำนวนแท็ก (N) เป็น 30 ตัว

- กราฟรูปที่ 4.10 ต้องการดูแนวโน้มของค่าประสิทธิภาพของระบบตั้งแต่การแย่งชิงสล็อตของแท็กสูงไปแท็กต่ำ จึงกำหนดให้ระบบมีจำนวนการแท็ก (N) เป็น 40 และมีขนาดเฟรม (M) ตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 120 สล็อต

2. ทำการคำนวณการจัดเก็บทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่แท็กจะสุมเข้าสล็อต

3. นำค่าทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่ได้จัดเก็บมาคำนวณค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์และนำมาหาค่าความน่าจะเป็นที่ส่งสำเร็จ จากสมการที่ (4.4) ในกราฟรูปที่ 4.8 หรือการหาค่าความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จ ตามสมการที่ (4.5) ในกราฟรูปที่ 4.9 และค่าประสิทธิภาพของระบบ สมการที่ (4.8) ในกราฟรูปที่ 4.10

4. พล็อตกราฟและทำการวิเคราะห์ผล

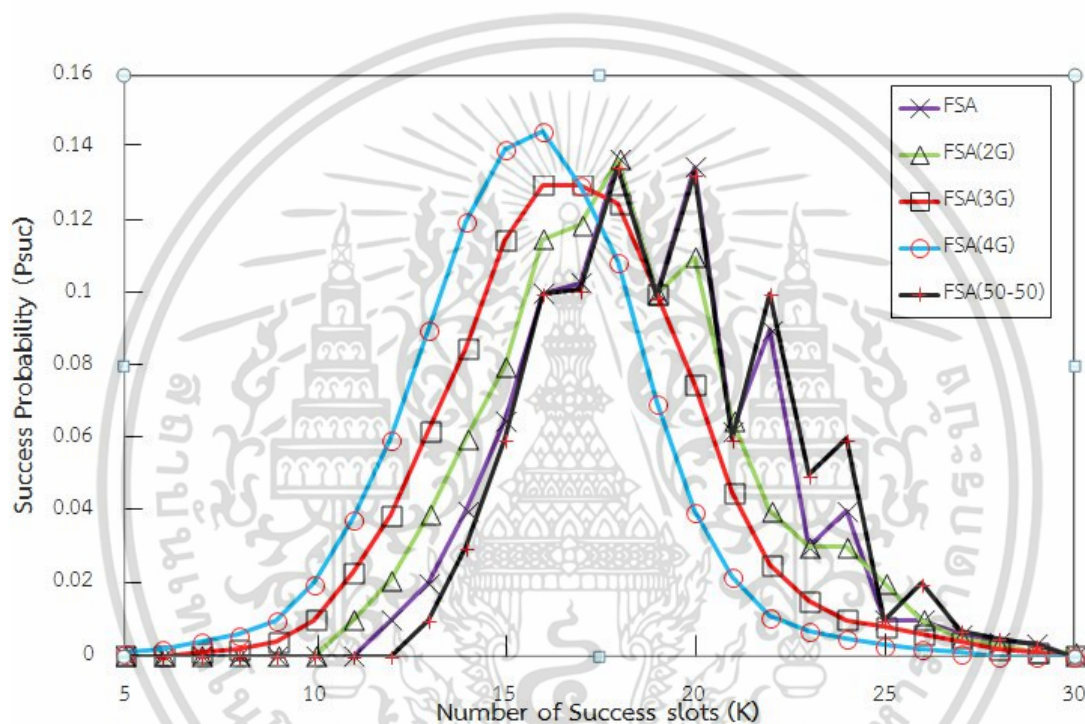
จากรูปที่ 4.8 วิเคราะห์โดยพิจารณาแนวโน้มของค่าความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จในการส่ง ของแต่ละจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ ทำการส่งแท็กที่มีจำนวนแท็กและขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากัน โดยที่จำนวนแท็กในระบบมีจำนวน 30 และขนาดเฟรม 60 สล็อต จะพบว่าค่าที่มีค่าความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ ของจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จสูงสุดในแต่ละจำนวนสล็อตมีค่าแตกต่างกันโดย จำนวนสล็อตที่มีการส่งสำเร็จสูงสุดที่จำนวน K เยอะที่สุดคือ ระบบที่ส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 50 – 50 และการส่ง FSA แบบปกติโดยมีค่าใกล้เคียงกัน ตามมาด้วยคือการแบ่งให้อีกกลุ่มมากกว่าอีกกลุ่มเป็น 2 เท่า และตามด้วย 3 เท่า ส่วนการแบ่งเป็น 4 เท่ามีค่าน้อยที่สุดซึ่งกลับกับกราฟรูปที่ 4.6

จากรูปที่ 4.9 วิเคราะห์โดยดูค่าความน่าจะเป็นในการส่งที่ไม่มีสล็อตใดเลยสำเร็จ หรือค่า $K = 0$ ในระบบการส่งแท็กที่มีการแย่งชิงสล็อตต่ำทำการส่งแท็กให้มีจำนวนน้อยกว่าขนาดเฟรม โดยมีจำนวนแท็กเป็น 30 แท็ก และมีขนาดเฟรมตั้งแต่ 60 จนถึง 120 จะพบค่าความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จ ลดลงตามขนาดเฟรมที่มากและในเหตุการณ์ที่มีขนาดเฟรมเท่ากัน ค่าความน่าจะเป็นที่น้อยที่สุดคือระบบการส่ง FSA แบบแบ่ง 50 – 50 และตามมาด้วยแบบ FSA แบบปกติ ตามด้วย 2 เท่า, 3 เท่า, 4 เท่า ตามลำดับ

จากรูปที่ 4.8 และ 4.9 จะสรุปได้ว่าในสภาวะการส่งแท็กที่ระบบมีขนาดเฟรมมากกว่าจำนวนแท็กที่มีจำนวนมากๆ ซึ่งมีเหตุการณ์ที่มีการแย่งชิงสล็อตที่ต่ำ โดยประสิทธิภาพของระบบการส่งแต่ละรูปแบบจะกลับกันกับการวิเคราะห์หัวข้อที่ 1 เพราะเมื่อทำการแบ่งกลุ่มโดยให้อีกกลุ่มมีค่ามากกว่า ดังเช่นรูปที่ 4.8 ที่ระบบมีจำนวนแท็กเป็น 30 และมีขนาดเฟรมเป็น 60 ทำให้การแบ่งแบบ 4 เท่าได้สล็อตกลุ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

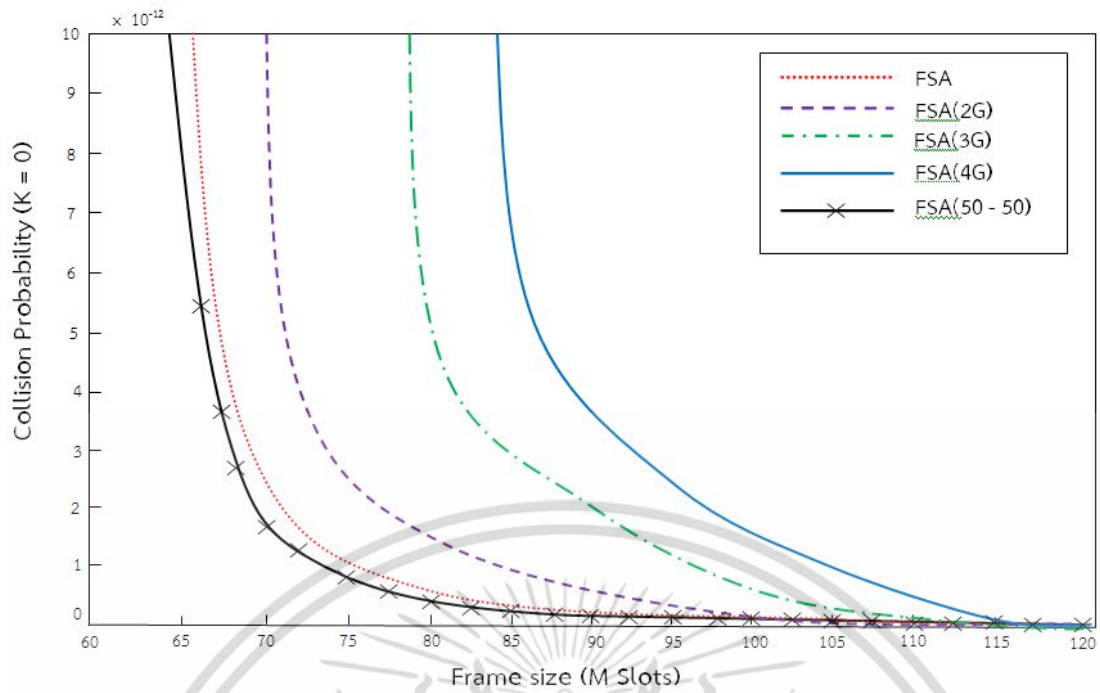
แรกเป็น 12 และอีกกลุ่มเป็น 48 ซึ่งการชนกันที่เกิดขึ้นจากการแย่งชิงสล็อตที่มีค่าสล็อตที่ต่ำในกลุ่มแรก ยังมีสูงอยู่ กลับกันหากแบ่งสล็อตเท่าๆกันหรือแบบ 50 – 50 จะได้สล็อตทั้งสองกลุ่มมีขนาด 30 สล็อต ซึ่งมีโอกาสส่งแท็กได้สำเร็จสูงทั้ง 2 กลุ่ม

จะเห็นได้ชัดจากรูปที่ 4.10 เป็นการเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพ จากสมการที่ (4.8) ในระบบจะมีจำนวนแท็กเป็น 40 และมีขนาดเฟรมตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 120 สล็อต จะเห็นได้ว่าประสิทธิภาพของการแบ่งกลุ่มจำกัดสิทธิ์ต่างกันมากเท่าไรก็จะมีค่ามากในขนาดเฟรมที่มีค่าต่ำในช่วงประมาณไม่เกิน 24 สล็อตแต่หลังจากนั้นประสิทธิภาพของระบบก็จะกลับกัน เป็นไปตามที่ได้วิเคราะห์ไปดังกล่าวซึ่งในหัวข้อการวิเคราะห์ถัดไป จะเป็นการวิเคราะห์เพื่อหาขนาดเฟรมที่เหมาะสมต่อระบบ

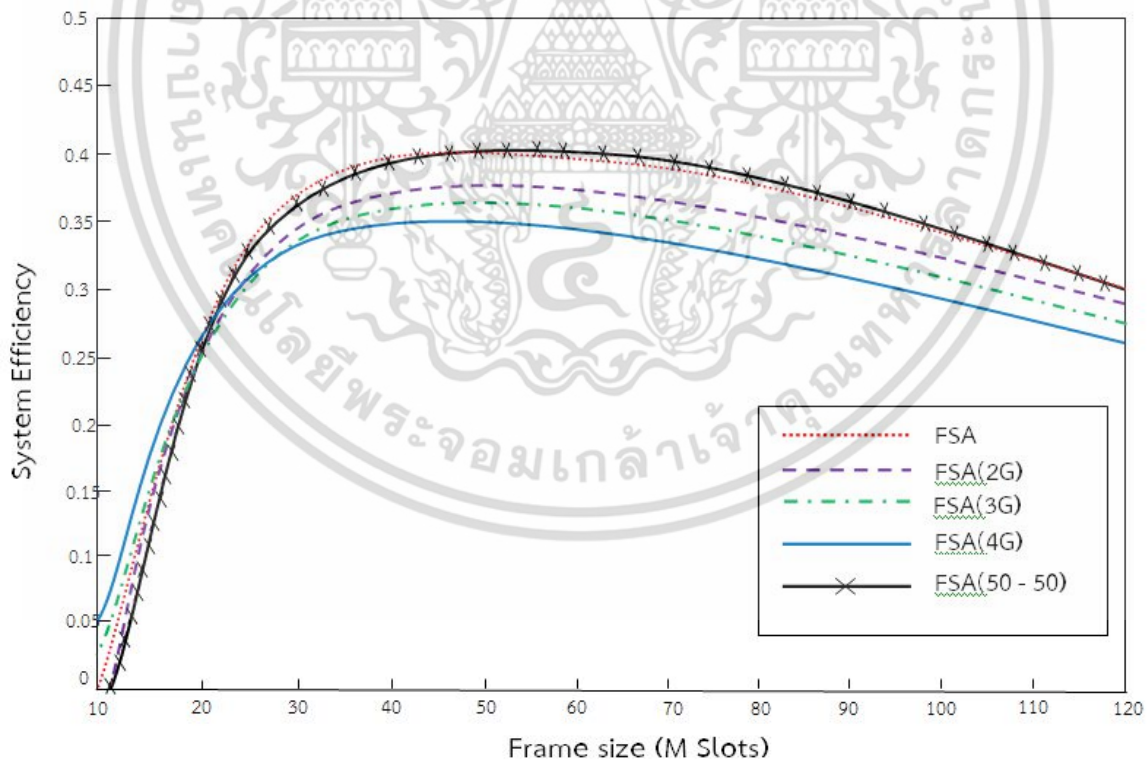


รูปที่ 4.8 ความน่าจะเป็นในการส่งประสบความสำเร็จ (P_{suc}) ที่จำนวนแท็กในระบบมีจำนวน 30 และขนาดเฟรม 60 สล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.9 ความน่าจะเป็นที่ไม่มีสล็อตใดส่งสำเร็จเลย (P_{coll}) ที่มีจำนวนแท็กเป็น 30 และมีจำนวนขนาดเฟรมตั้งแต่ 20 จนถึง 60



รูปที่ 4.10 ค่าประสิทธิภาพของระบบที่มีจำนวนแท็กเป็น 40 และมีขนาดเฟรมตั้งแต่ 2 ไปจนถึง 120 สล็อต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5.2 กรณีที่ 2 วิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแอ็คทีฟแท็กแบบจำกัดสิทธิแบบแบ่งกลุ่ม

จากการวิเคราะห์ในกรณีที่ 1 แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของระบบการส่งแท็กแบบแบ่งกลุ่มในขนาดต่างๆ จะเห็นได้ว่าในสภาวะการแย่งชิงสล็อตที่มากและน้อยในการแบ่งกลุ่มจำกัดสิทธิขนาดต่างๆ จะมีการเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ ดังนั้นในกรณีที่ 2 จะทำการวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ และวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้จำนวนครั้งการส่งน้อยที่สุดและใช้เวลาในการส่งน้อยที่สุด ใช้งานแบบการส่งแบบแอ็คทีฟแท็กในระดับความพึงพอใจที่กำหนดเองตามสมการที่ (4.9) ถึง (4.11) โดยให้ $\alpha = 0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่แท็กหายไปไม่เกิน 1% โดยจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็นสองหัวข้อคือ การวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่ง และการวิเคราะห์เพื่อหาเวลาในการส่งแท็กน้อยที่สุด เพราะหากเพิ่มขนาดเฟรมให้ยิ่งมากเท่าไรก็จะทำให้โอกาสในการชนกันน้อยลงก็จริง แต่จะทำให้จำนวนครั้งของการอ่านแท็กมากขึ้นและสิ้นเปลืองเกินไป

4.5.2.1 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแอ็คทีฟแท็กในการส่งแบบจำกัดสิทธิการแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ

จากการทดลองในกรณีที่ 1 พบว่าเมื่อขนาดเฟรมมีน้อยกว่าขนาดแท็ก (การแย่งชิงสล็อตจะสูงขึ้น) การแบ่งกลุ่มที่มีขนาดแตกต่างกันมากก็จะมีประสิทธิภาพมาก แต่เมื่อขนาดเฟรมมีมากกว่าขนาดแท็กจะทำให้การแย่งชิงสล็อตต่ำ การแบ่งกลุ่มที่ขนาดแตกต่างกันมากก็จะมีประสิทธิภาพต่ำ ทำให้ต้องมีการวิเคราะห์หาขนาดเฟรมที่เหมาะสมต่อลักษณะการแบ่งกลุ่มในขนาดต่างๆ โดยพิจารณาจำนวนครั้งการอ่านของสล็อตทั้งหมดแบบแอ็คทีฟแท็ก (overall tag read time) ตามสมการที่ (4.11) โดยการวิเคราะห์จะมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับหาจุดเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพ ของกราฟรูปที่ 4.11(a), (b), และ (c)

- ขนาดเฟรม (M) ตั้งแต่ 10 ไปจนถึง 120 สล็อต
- ให้ $\alpha = 0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่มีแท็กหายไปไม่เกิน 1% ของการส่ง
- กราฟ (a), (b), และ (c) เป็นการแสดงค่าจำนวนครั้งการอ่านสล็อตทั้งหมดแบบแอ็คทีฟ ตาม

สมการที่ (4.11) ของการส่งแบบ FSA รูปแบบต่างๆ คือ

1. การส่งแบบ FSA แบบปกติ
2. กาส่งแบบ FSA แบบแบ่งกลุ่ม 2 เท่า
3. กาส่งแบบ FSA แบบแบ่งกลุ่ม 3 เท่า
4. กาส่งแบบ FSA แบบแบ่งกลุ่ม 4 เท่า
5. กาส่งแบบ FSA แบบแบ่งกลุ่ม 50 - 50

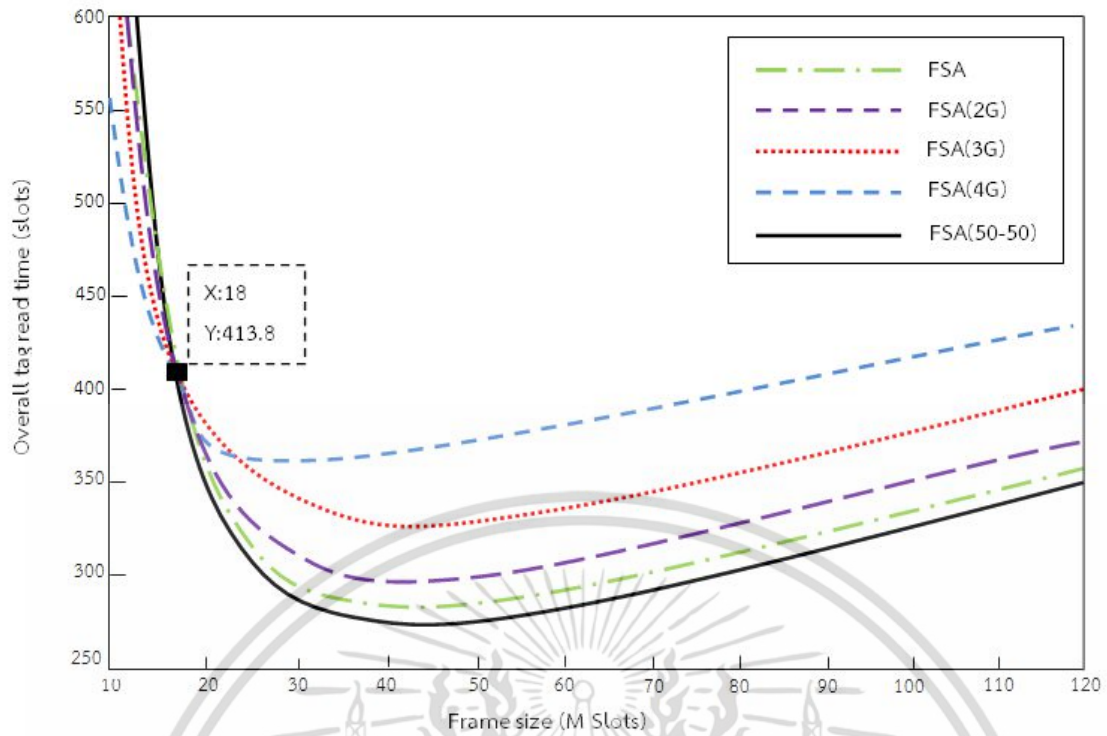
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- จำนวนแท็กในระบบ (N) แบ่งออกเป็น 3 กราฟ
 1. กราฟ (a) มีจำนวนแท็ก 30 ตัว
 2. กราฟ (b) มีจำนวนแท็ก 40 ตัว
 3. กราฟ (b) มีจำนวนแท็ก 50 ตัว
 - 2. ทำการคำนวณการจัดเก็บทุกรูปแบบเหตุการณ์แท็กส่มเข้าสล็อต
 - 3. นำค่าทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่ได้จัดเก็บมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์โดยหาตามรูปแบบดังนี้
 - นำมาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่สำเร็จ ตามสมการที่ (4.4)
 - นำค่า P_{suc} มาหาจำนวนของแท็กหรือสล็อตที่สำเร็จต่อเฟรม ตามสมการที่ (4.7)
 - จากนั้นกำหนดให้ $\alpha = 0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่แท็กหายไปไม่เกิน 1% ของการส่ง จะหาค่าการจำนวนเฟรมที่ควรส่งต่ำสุดได้จากสมการที่ (4.10)
 - 4. พล็อตกราฟและทำการวิเคราะห์ผล
- จากรูปที่ 4.11 ทั้ง (a), (b), และ (c) เป็นการอ่านค่าแอ็คทีฟแท็กที่ใช้ในการกำหนดขนาดเฟรมที่มีตั้งแต่ 10 สล็อต ไปจนถึง 120 สล็อต โดย (a) มีจำนวนแท็กเป็น 30, (b) มีจำนวนแท็กเป็น 40, (c) มีจำนวนแท็กเป็น 50 เมื่อพิจารณาจำนวนครั้งการอ่านของสล็อตทั้งหมดแบบแอ็คทีฟแท็ก จะพบว่าในตอนแรกขณะที่ขนาดของเฟรมมีค่าน้อยที่สุด Overall tag read time ระบบที่ทำการแบ่งกลุ่มแบบ 4 เท่า ตามมาด้วย 3 เท่า, 2 เท่า และ FSA แบบปกติกับแบ่งแบบ 50 -50 และเมื่อขนาดเฟรมมีค่ามากขึ้นเรื่อยๆ Overall tag read time ที่น้อยที่สุดก็จะกลับกันซึ่งจุดที่เริ่มเปลี่ยนค่า Overall tag read time ของรูป (a) คือ 18 สล็อต, รูป (b) คือ 24 สล็อต, รูป (c) คือ 28 สล็อตแสดงในตารางที่ 4.2 ซึ่งพิจารณาจำนวนแท็กของแต่ละการทดลองก็จะได้จุดเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของการแบ่งกลุ่มคือ $0.56*N$ โดยการแบ่งกลุ่มยิ่งต่างกันมากเหมาะสำหรับขนาดเฟรมที่ต่ำกว่า $0.56*N$ และในทางกลับกันการแบ่งกลุ่มยิ่งต่างก็น้อยเหมาะสำหรับขนาดเฟรมที่มากกว่า $0.56*N$

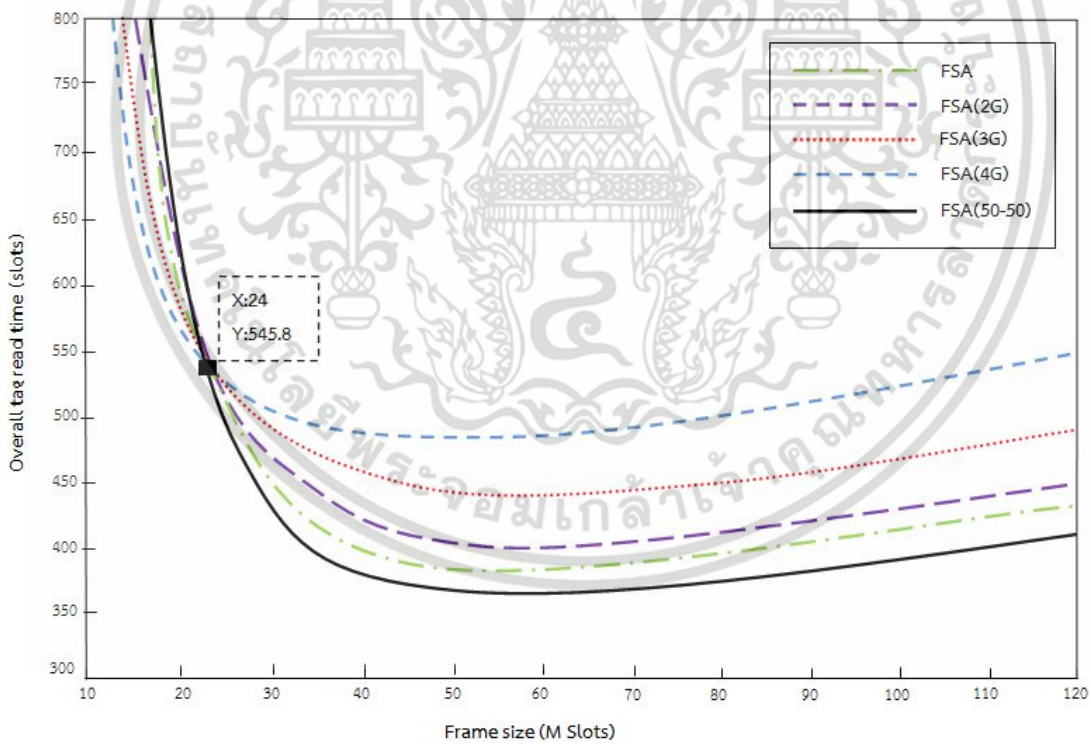
ตารางที่ 4.1 จุดเปลี่ยนแปลงประสิทธิภาพของการแบ่งกลุ่มจากกราฟรูปที่ 4.11 (a), (b), (c)

จำนวนแท็ก (N)	จุดเปลี่ยนแปลง (Frame size) Overall tag read time	M/N
N = 30	18	0.6
N = 40	24	0.6
N = 50	28	0.6
ขนาดเฟรมที่เริ่มเปลี่ยนโดยเฉลี่ย		$0.58*N$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



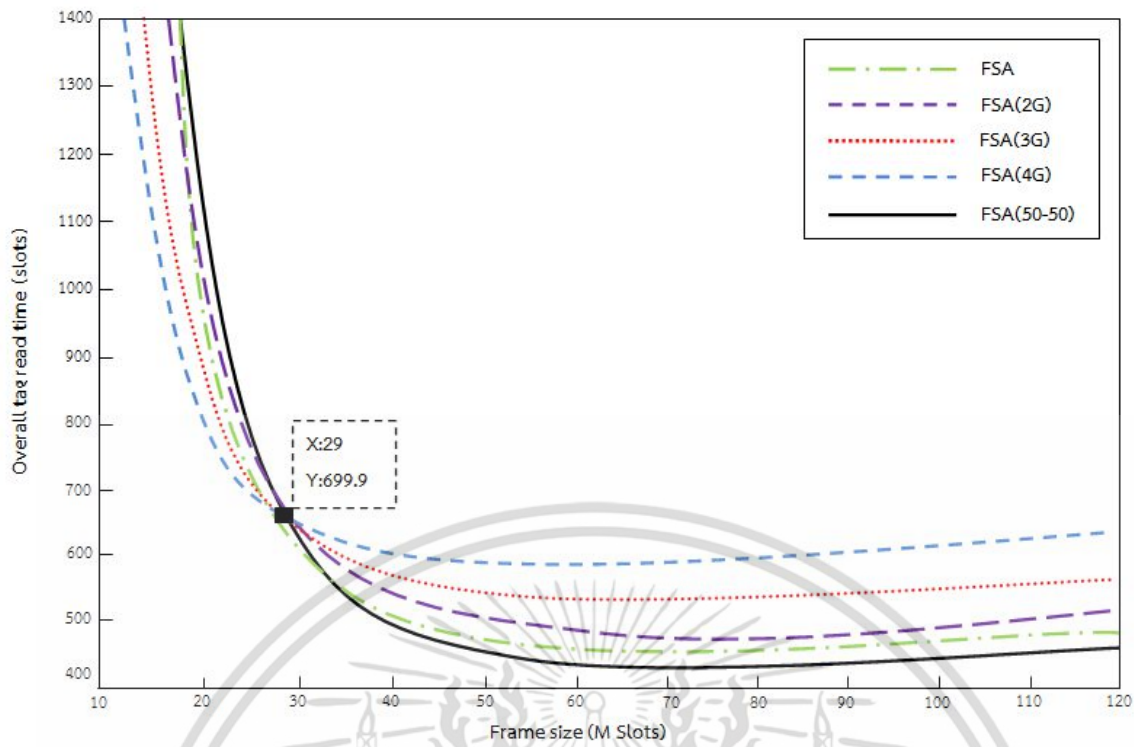
(a)



(b)

รูปที่ 4.11 การอ่านแอ็คทีฟแท็กที่ใช้กำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$) : (a) Overall tag read time จำนวนแท็ก 30, (b) Overall tag read time จำนวนแท็ก 40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(c)

รูปที่ 4.11 การอ่านแอ็คทีฟแท็กที่ใช้การกำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$) : (c) Overall tag read time จำนวนแท็ก 50

4.5.2.2 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้ใช้เวลาในการส่งแอ็คทีฟแท็กแบบจำกัดสถิติการแบ่งกลุ่มน้อยที่สุด

เนื่องจากการเพิ่มขนาดเฟรมให้มีจำนวนมากขึ้นเรื่อยๆ จะมีผลต่อความน่าจะเป็นในการส่งแท็กได้สำเร็จสูงขึ้น แต่ก็ทำให้ใช้เวลาในการอ่านแท็กมากยิ่งขึ้น การทดลองนี้เป็นการวิเคราะห์หาขนาดเฟรมที่เหมาะสมเพื่อให้การส่งแอ็คทีฟแท็กใช้เวลาในการส่งแท็กหรือจำนวนครั้งในการอ่านของแท็กทั้งหมดแบบแอ็คทีฟแท็กให้น้อยที่สุดโดยการวิเคราะห์จะมีขั้นตอนดังนี้

1. กำหนดค่าพารามิเตอร์สำหรับหาขนาดเฟรมที่เหมาะสมกับการส่งแบบแอ็คทีฟแท็กของกราฟ

รูปที่ 4.12 (a), (b), (c) และ (d)

- ขนาด (M) ตั้งแต่ 10 ไปจนถึง 120 สล็อต
- ให้ $\alpha = 0.99$ แทนความน่าจะเป็นที่มีแท็กหายไปไม่เกิน 1% ของการส่งแบบแอ็คทีฟแท็ก
- จำนวนแท็กในระบบ (N) แต่ละกราฟมีจำนวนแท็ก 4 ค่าคือ 20,30,40 และ 50
- กราฟ (a),(b),(c),(d)และ(e) เป็นการแสดงค่าจำนวนครั้งการอ่านของสล็อตทั้งหมดแบบแอ็คทีฟ Overall tag read time ตามสมการที่ (4.11) ของการส่ง FSA รูปแบบต่างๆ คือ

1. กราฟ (a) เป็นการส่ง FSA แบบปกติ
2. การส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 50-50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. การส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 2 เท่า
 4. การส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 3 เท่า
 5. การส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 4 เท่า
2. ทำการคำนวณการจัดเก็บทุกรูปแบบเหตุการณ์การที่แท็กจะสุ่มเข้าสู่สล็อต
 3. นำค่าทุกรูปแบบเหตุการณ์ที่ได้จัดเก็บมาคำนวณความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์และ
 - ทำการคำนวณ Psuc สมการที่ (4.4) และนำค่า Psuc
 - มาคำนวณหาค่า M_r จากสมการที่ (4.7)
 - จากนั้นกำหนดให้ $\alpha = 0.99$ จะหาจำนวนเฟรมที่ควรส่งต่ำสุดได้ตามสมการที่ (2) และนำมาคูณกับขนาดเฟรมที่กำหนดจะได้จำนวนครั้งการอ่านของแท็กทั้งหมดทุกสล็อตที่ทำการส่งแบบแพชชีฟแท็ก Overall tag read time จากสมการที่ (4.10)

- และนำมาคูณกับขนาดเฟรมที่กำหนดจะได้จำนวนครั้งการอ่านของแท็กทั้งหมดทุกสล็อตที่ทำ การส่งแบบแอ็คทีฟแท็ก Overall tag read time ตามสมการที่ (4.11)

4. พล็อตกราฟและทำการวิเคราะห์ผล

จากรูปที่ 4.12 ทั้ง (a), (b), (c), (d) และ (e) เป็นกราฟแสดงจำนวนครั้งการอ่านของแท็กทั้งหมด แบบแอ็คทีฟแท็ก โดยมีขนาดของเฟรมที่มีตั้งแต่ 10 จนถึง 120 สล็อต โดย (a) จะเป็นการส่ง FSA แบบปกติ (b) เป็นการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 50 – 50, (c) เป็นการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 2 เท่า, (d) เป็นการส่งแบบ แบ่งกลุ่ม 3 เท่า, (e) เป็นการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 4 เท่า

จากกราฟจะพิจารณาได้ว่าเมื่อเพิ่มขนาดของเฟรมให้สูงขึ้น Overall tag read time ก็จะมีค่า ค่อยๆเพิ่มขึ้น เราได้ทำการแสดงค่า Overall tag read time ที่จุดต่ำสุดของแต่ละจำนวนการส่งแท็กใน ทุกๆกราฟ โดยมี $N = 20, 30, 40$ และ 50

เมื่อพิจารณาจุดต่ำสุดของ Overall tag read time ของกราฟในแต่ละจำนวนแท็กในทุกๆกราฟ แล้วพบว่าแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนแท็กอย่างมีนัยสำคัญ โดยเมื่อนำเอาขนาดเฟรมจุดต่ำสุดของ Overall tag read time แต่ละจุดมาทำการหารด้วยจำนวนแท็กที่ส่ง ก็จะได้ขนาดเฟรมที่เหมาะสมใน การส่งแอ็คทีฟแท็ก (M_{min_p}) พบว่าในแต่ละการส่งจำนวนแท็กต่างๆมีค่าใกล้เคียงกันดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.2 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมในการส่งแอ็คทีฟแท็ก (M_{min_p}) จากรูปที่ 4.12

Tag	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
N=20	1.40	1.40	1.5	1.4	1.25
N=30	1.43	1.46	1.5	1.43	1.33
N=40	1.45	1.45	1.42	1.45	1.25
N=50	1.44	1.44	1.44	1.44	1.20
เฉลี่ย	1.43	1.43	1.46	1.43	1.25

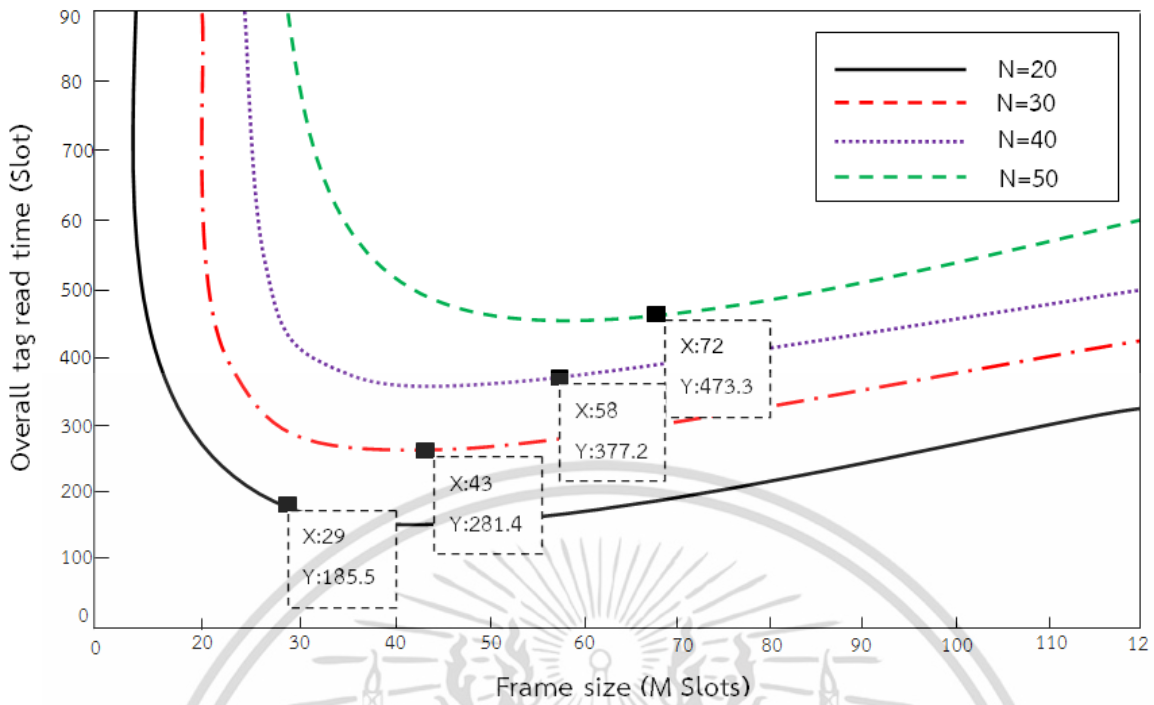
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.3 พบว่าค่าเฉลี่ยของ M_{min_p} ในแต่ละกราฟหรือแต่ละรูปแบบการส่งมีค่าใกล้เคียงกัน ซึ่งกราฟ (e) หรือการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 4 เท่า มีค่าต่ำสุดเนื่องจากเราทำการพล็อตกราฟให้ขนาดเฟรมอีกกลุ่มมากกว่าอีกกลุ่มถึง 4 เท่า จึงทำให้ขาดความละเอียดในจุดต่ำสุดของ Overall tag read time ก็มีค่าใกล้เคียงกันมาก ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าขนาดเฟรมที่เหมาะสมในการส่งแอ็คทีฟแท็ก M_{min_p} ของแต่ละรูปแบบการส่งค่าประมาณ $1.4*N$ หรือค่ามากกว่าจำนวนแท็ก 1.4 เท่านั้นเอง

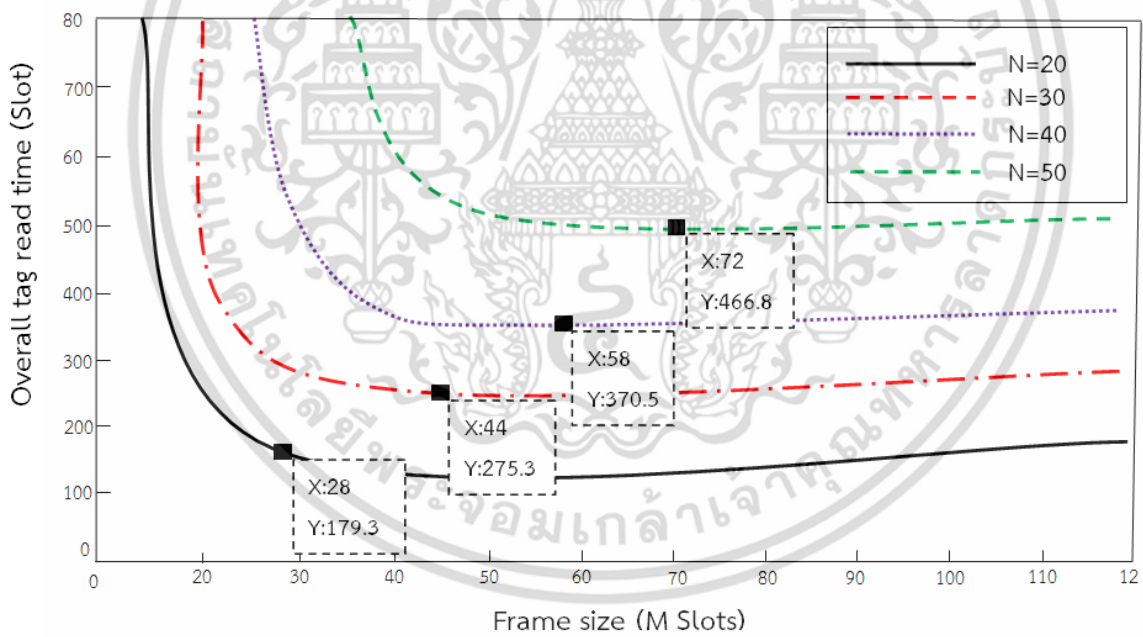
และการหาค่าโดยพิจารณาว่าในการส่งแอ็คทีฟแท็กให้ได้ Overall tag read time ที่มีค่าต่ำสุด รูปแบบการส่งแบบใดสามารถส่งได้โดยใช้ Overall tag read time ต่ำที่สุด หรือใช้เวลาในการส่งที่เร็วที่สุดนั่นเองจากตารางที่ 4.4 พบว่าจุดต่ำสุดของ Overall tag read time ที่ได้จากกราฟทั้ง 5 รูปแบบการส่ง กราฟที่มีจุดต่ำสุดของ Overall tag read time น้อยที่สุดในทุกๆ จำนวนแท็กต่างๆ คือกราฟ (b) หรือการส่งแบบแบ่งกลุ่ม 50 – 50 ตามมาด้วย กราฟ (a) หรือการส่งแบบ FSA ปกติ ตามมาด้วยกราฟ (c), (d) และ (e) ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 จุดต่ำสุดของ Overall tag read time จากรูปที่ 4.12

Tag	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
N = 20	185.5	179.3	194.7	217.5	239.9
N = 30	281.4	275.3	297.9	332.1	363.5
N = 40	377.2	370.5	401.3	446.8	487.2
N = 50	473.3	466.8	504.1	561.5	611.8



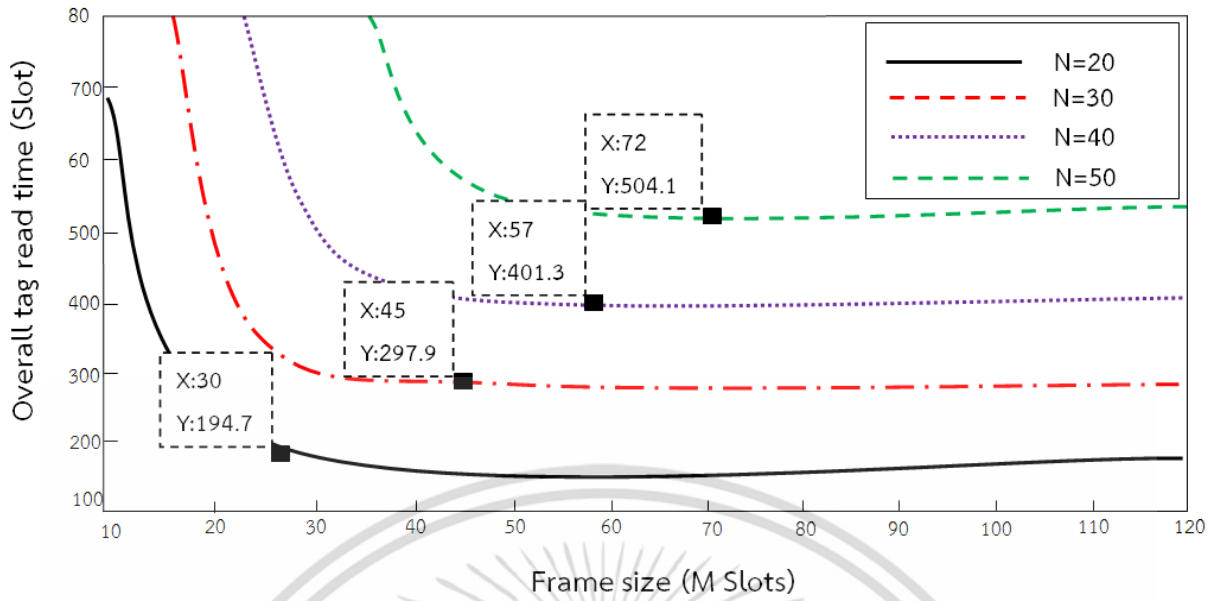
(a)



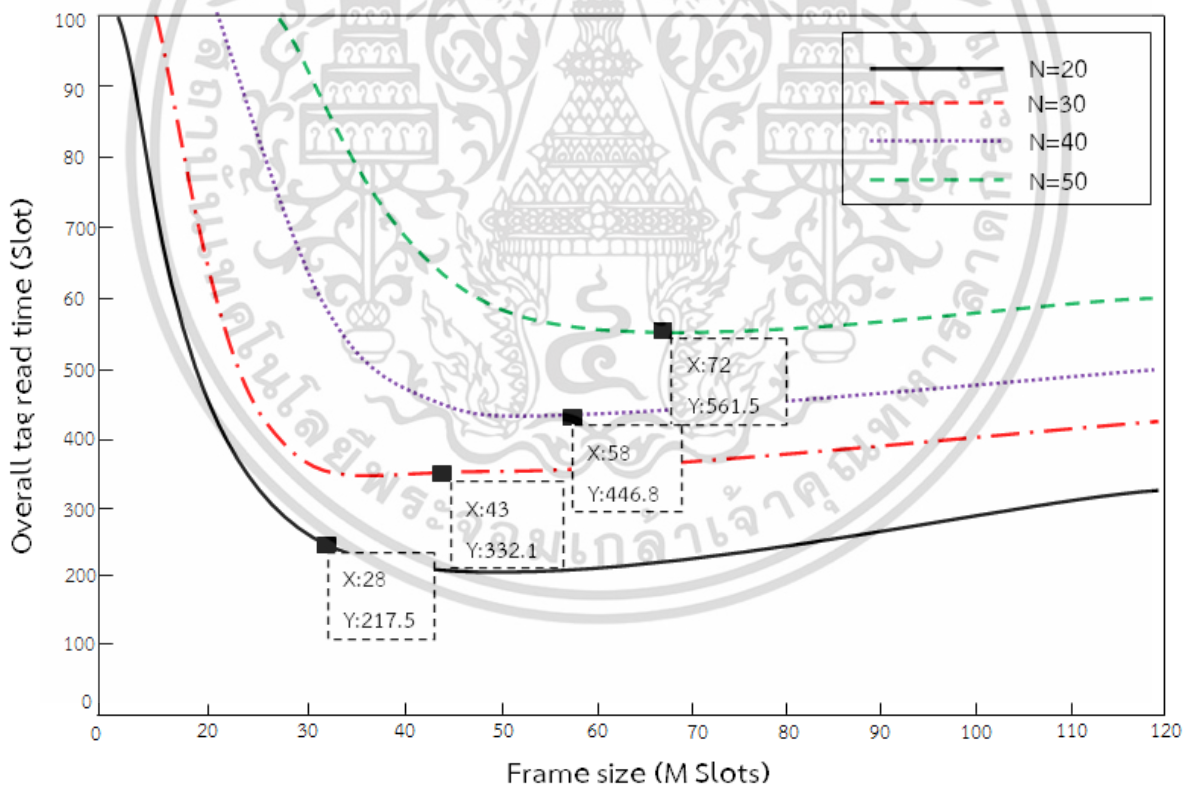
(b)

รูปที่ 4.12 การอ่านแอ็คทีฟแท็กที่ใช้กำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$) : (a) Overall tag read time ของการส่ง FSA ปกติ, (b) Overall tag read time ของการส่ง FSA แบ่งกลุ่ม 50 - 50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



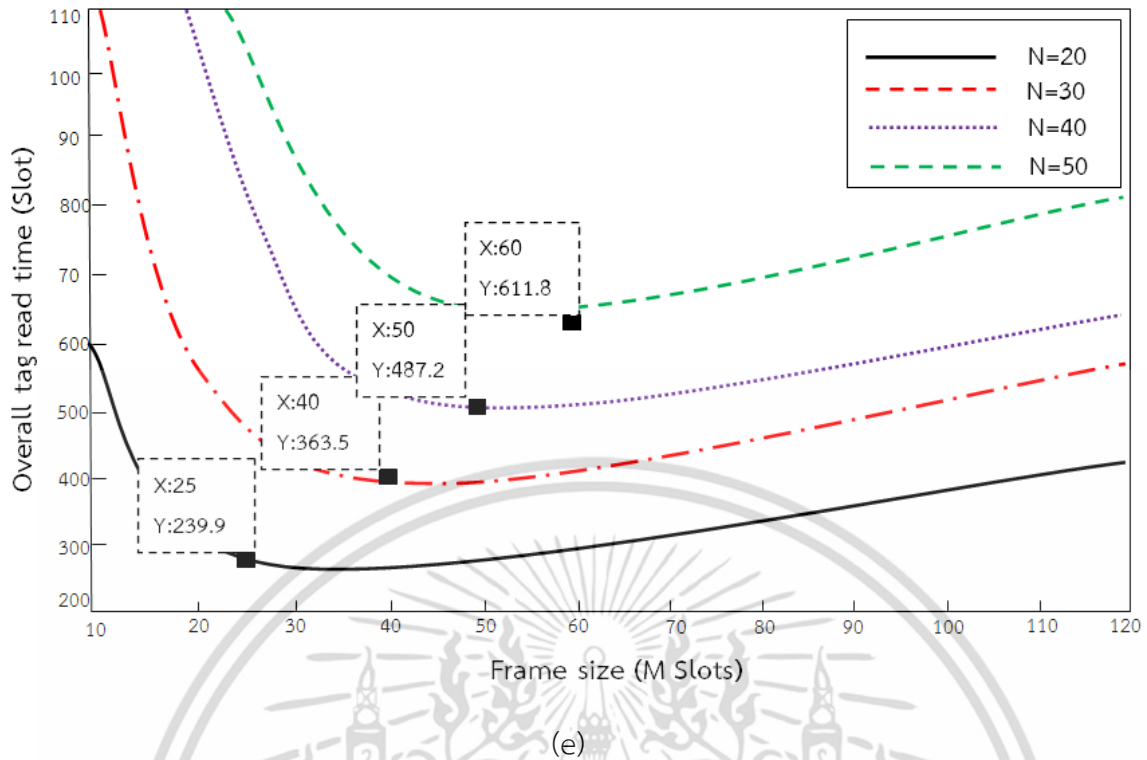
(c)



(d)

รูปที่ 4.12 การอ่านแอ็คทีฟแท็กที่ใช้กำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$) : (c) Overall tag read time ของการส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 2 เท่า, (d) Overall tag read time ของการส่ง FSA แบ่งกลุ่ม 3 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 การอ่านแอ็คทีฟแท็กที่ใช้กำหนดขนาดเฟรม ($\alpha = 0.99$): (e) Overall tag read time ของการส่ง FSA แบบแบ่งกลุ่ม 4 เท่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาและวิเคราะห์ระบบ RFID ประเภทแอ็คทีฟแท็ก เป็นการส่งข้อมูลแบบหลากหลายทางโดยเลือกใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา มาเป็นต้นแบบในการทำการวิเคราะห์เพื่อลดการชนกันของข้อมูล รวมถึงการนำเสนอวิธีการใหม่ในการใช้การคำนวณทางคณิตศาสตร์หาค่าความน่าจะเป็นของทุกเหตุการณ์ที่จะสามารถส่งแท็กในแต่ละสล็อตสำเร็จ การนำวิธีการมาทำการประยุกต์เพื่อวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่เกิดขึ้นในแต่ละเหตุการณ์นั้นถูกแบ่งการวิเคราะห์เป็น 2 ส่วนคือ รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของเฟรมสล็อตอะโลฮา โดยใช้สมการความน่าจะเป็น โดยจะใช้รูปแบบการเลือกและจัดเรียงค่าของทุกเหตุการณ์ที่แท็กสุมเข้าสล็อต โดยจะใช้ค่าที่ได้ของทุกเหตุการณ์นี้มาคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นโดยใช้สมการแบบใหม่และวิเคราะห์ผลที่แสดงความน่าจะเป็นของแต่ละเหตุการณ์ที่ส่งแท็กได้แต่ละจำนวน โดยจะพิจารณาค่าพารามิเตอร์สำคัญที่มีผลต่อระบบคือจำนวนแท็กและขนาดเฟรม ส่วนที่สอง คือ การวิเคราะห์รูปแบบและผลการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของการแบ่งกลุ่มเฟรมสล็อตอะโลฮา การนำรูปแบบการวิเคราะห์ที่ได้นำเสนอในส่วนแรก มาใช้ทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของระบบที่แท็กในระบบมีความสามารถในการสุมเข้าสล็อตที่ต่างกันหรือแยกจากกัน โดยพิจารณาประสิทธิภาพของรูปแบบการแบ่งจำกัดสิทธิ์การแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ กับการส่งแบบ FSA แบบปกติ ในสภาพขนาดเฟรมที่ต่างกัน และทำการวิเคราะห์ขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับการส่งแบบแอ็คทีฟแท็ก ที่ใช้ในการแบ่งกลุ่มขนาดต่างๆ รวมถึงขนาดของเฟรมที่จะทำให้การส่งได้รวดเร็วที่สุดที่วัดจากจำนวนการตอบสนองของแท็ก หรือ จำนวนครั้งการอ่านของแท็กทั้งหมดทุกสล็อตที่ทำการส่งแบบแอ็คทีฟแท็ก (Overall tag read time)

รูปแบบการวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ของเฟรมสล็อตอะโลฮา เมื่อค่าทุกเหตุการณ์เป็นไปได้ที่แท็กจะสุมเข้าสล็อตสำเร็จมาทำการคำนวณค่าความน่าจะเป็น ก็จะสามารถแสดงค่าของทุกเหตุการณ์ที่จะเป็นไปได้ที่จะส่งแต่ละจำนวนแท็กที่ส่งสำเร็จ โดยค่าความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จก็จะแสดงให้เห็นว่าที่ขนาดเฟรมเท่าๆกันยิ่งจำนวนแท็กในระบบมีค่ามากเท่าไร โอกาสในการส่งแท็กให้ประสบความสำเร็จต่อเฟรมยังมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากการแย่งชิงสล็อตที่มีจำนวนแท็กมากขึ้น ทำให้เกิดการชนกันของแท็กสูงขึ้น และที่จำนวนแท็กเท่าๆกัน ถ้าขนาดเฟรมมีค่าน้อยเท่าไร โอกาสในการส่งแท็กให้ประสบความสำเร็จต่อเฟรมก็จะยิ่งน้อยตามไปด้วย ซึ่งเป็นผลมาจากการแย่งชิงสล็อตที่มีจำนวนสล็อตน้อยลงหรือที่เราเรียกกันว่าการชนกันของข้อมูล โดยดูได้จากตารางที่ 5.1 ที่มาวิเคราะห์ผลมาจากกราฟที่ 3.7 และ 3.8 ในบทที่ 3

ตารางที่ 5.1 ความน่าจะเป็นที่จะประสบความสำเร็จสูงสุดต่อเฟรม จากบทที่ 3 กราฟที่ 3.7 และ 3.8

Frame size = 20	Psuc ที่ส่งสำเร็จมากที่สุด	Tag = 50	Psuc ที่ส่งสำเร็จมากที่สุด
Tag	K (Slot)	Frame size	K (Slot)
N = 30	7	N = 15	1-2
N = 40	5	N = 20	4
N = 50	4	N = 25	7
N = 60	3	N = 30	9

อีกส่วนคือการวิเคราะห์รูปแบบวิธีการทางคณิตศาสตร์ของการแบ่งกลุ่มเฟรมสล็อตอะโลฮา จะพบว่าประสิทธิภาพของระบบที่มีการจำกัดสิทธิ์การแบ่งกลุ่มให้อีกกลุ่มมีขนาดต่างจากอีกกลุ่มมากๆ จะมีประสิทธิภาพดีกว่าแบบแบ่งกลุ่มให้ขนาดต่างกันน้อยมาก หรือแบบ FSA แบบปกติในช่วงที่ขนาดสล็อตมีค่า 0.56 เท่ากับจำนวนแท็ก และสภาพที่ยังมีการแย่งชิงสล็อตที่สูง แต่ในการแย่งชิงสล็อตที่ต่ำหรือขนาดเฟรมสูงๆ การแบ่งกลุ่มแบบจำกัดสิทธิ์แบบแบ่งครึ่ง 50 – 50 หรือการส่ง FSA ปกติจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า และขนาดเฟรมที่เหมาะสมต่อการส่งแอ็คทีฟแท็กเพื่อให้ระบบทำการส่งได้รวดเร็วที่สุดคือ 1.4 เท่าของจำนวนแท็ก สำหรับการใช้นัดเฟรมที่ 1.4 เท่าของแท็ก การส่งแบบแอ็คทีฟ ที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดคือการส่งแบบแบ่งกลุ่มจำกัดสิทธิ์แบบแบ่งครึ่ง 50 – 50 ดังตารางที่ 5.2 และ 5.3

ตารางที่ 5.2 ขนาดเฟรมที่เหมาะสมในการส่งแอ็คทีฟแท็ก (M_{min_p}) จากรูปที่ 4.12 ในบทที่ 4

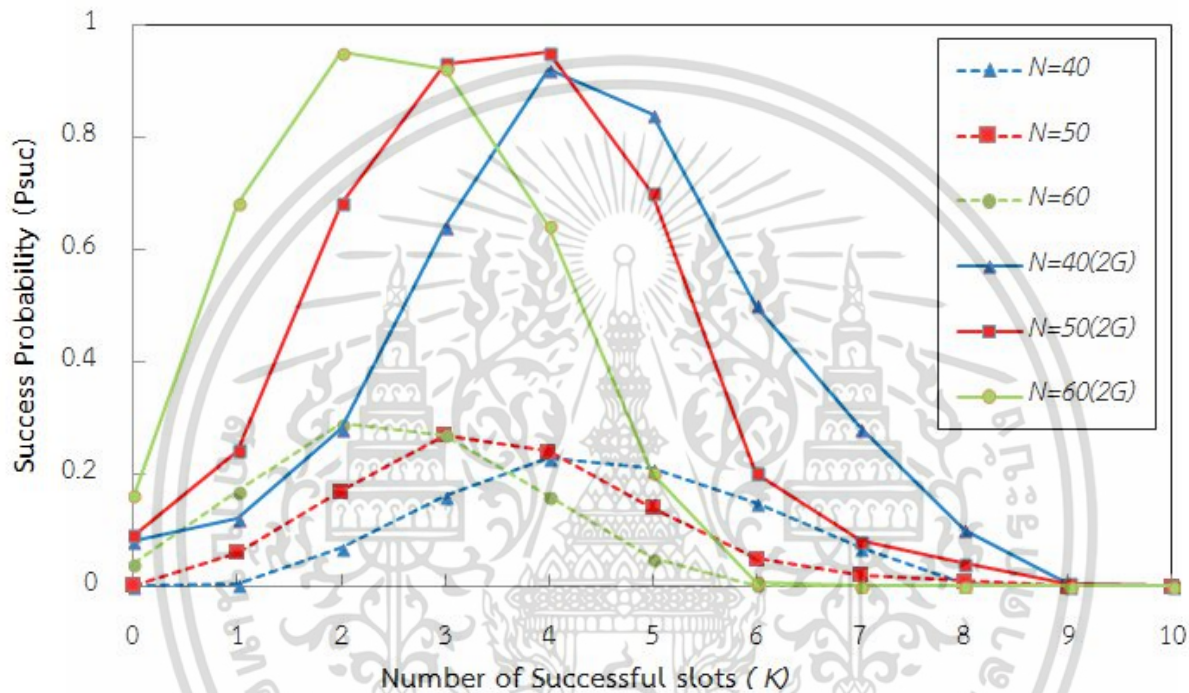
Tag	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
N = 20	1.45	1.4	1.5	1.4	1.25
N = 30	1.43	1.46	1.5	1.46	1.33
N = 40	1.45	1.45	1.42	1.4	1.25
N = 50	1.44	1.44	1.44	1.44	1.2
ค่าเฉลี่ย	1.44	1.43	1.46	1.42	1.25

ตารางที่ 5.3 จุดที่ต่ำที่สุดของ Overall tag read time จากรูปที่ 4.12 ในบทที่ 4

Tag	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)
N = 20	185.5	179.1	194	217.6	239
N = 30	281.4	275	297.8	332.2	363.3
N = 40	377.1	370.8	401.1	446.7	487.2
N = 50	473	466.7	504.5	561.3	611.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการวิเคราะห์ทั้งสองแบบนี้จะพบว่าสามารถใช้ประโยชน์เพื่อประยุกต์ใช้งานจากรูปแบบการวิเคราะห์ความน่าจะเป็น มาใช้ในการคำนวณหาค่าในการส่งแท็กแบบแอ็คทีฟแท็กแบบเฟรมสล็อตอะโลฮาในการส่งรูปแบบต่างๆ ที่แท็กมีความสามารถในการส่งแท็กที่แตกต่างกัน ซึ่งการใช้สมการทางคณิตศาสตร์ในรูปแบบใหม่นี้ยังได้ประยุกต์และเปรียบเทียบการใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในระบบ RFID รวมถึงการปรับเปลี่ยนการวิเคราะห์ความน่าจะเป็นแบบเดิมๆ ที่มีการนำเสนอมาในบทความวิจัยต่างๆ โดยได้การวิเคราะห์และสมการทางคณิตศาสตร์แบบใหม่ ที่ยังไม่มีการนำเสนอมาก่อน



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบ Success Probability ระหว่างการไม่จำกัดสิทธิ์และการจำกัดสิทธิ์ (2 เท่า) ที่มีขนาดเฟรมเป็น 20 สล็อต และมีการแท็กค่า 40,50 และ 60

จากรูปที่ 5.1 จะพบว่าค่าที่มีความน่าจะเป็นในการส่งสำเร็จ (Psuc) ของจำนวนที่ส่งสล็อตสูงสุดในแต่ละจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ (K) สูงสุดในแต่ละจำนวนแท็กมีค่าแตกต่างกันโดย แท็กที่มี Psuc สูงสุดที่จำนวน K เยอะที่สุดคือ การส่งที่มีแท็กเป็น 40 ตามด้วย 50 และ 60 ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่าขนาดเฟรมเท่าๆกัน ยิ่งจำนวนแท็กในระบบมีค่ามากเท่าไร โอกาสในการส่งแท็กประสบความสำเร็จต่อเฟรมยิ่งมีค่าน้อยลง ซึ่งเป็นผลมาจากการแย่งชิงสล็อตที่มีจำนวนแท็กมากขึ้นทำให้เกิดการชนกันของแท็กสูงขึ้นโดยการเปรียบเทียบทั้งสองกรณี คือแบบไม่จำกัดสิทธิ์และการจำกัดสิทธิ์ การเข้าแท็กสล็อตจะเห็นได้ว่า แท็กในระบบจะมี 3 ค่า คือ 40, 50 และ 60 แบ่งออกเป็น ไม่จำกัดสิทธิ์ และ จำกัดสิทธิ์ N (2G) จากกราฟจะเห็นว่า ช่วง K ตั้งแต่ 1-10 แท็กที่มีค่า 40 ทั้งสองกรณี จะมีความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จมากที่สุด

ตามด้วย จำนวนแท็ก 50 และ 60 ตามลำดับ แต่ที่แตกต่างกันคือ การจำกัดสิทธิ์ มีความน่าจะเป็นที่ประสบความสำเร็จมากกว่า การไม่จำกัดสิทธิ์ โดยค่าสูงสุดที่จะประสบผลสำเร็จเฉลี่ยอยู่ที่ 0.98

5.2 ข้อเสนอแนะ

การวิเคราะห์ที่ได้ทำการนำเสนอไปนั้น ได้มีการนำรูปแบบการวิเคราะห์แบบพหุนามและแบบทวินาม เข้ามาเป็นจุดเริ่มต้นในการวิเคราะห์ โดยการใช้เงื่อนไขเชิงคณิตศาสตร์จำเป็นอย่างยิ่งต้องคำนึงถึงการจัดเก็บค่าที่สอดคล้องกับการทำงานจริง การวิเคราะห์ดังกล่าวจึงเป็นบางส่วนที่ประสบความสำเร็จในการส่งข้อมูลและมีผลลัพธ์ที่บ่งบอกถึง ค่าที่เกิดขึ้นแต่ละเหตุการณ์ การวิเคราะห์แบบเฟรมสล็อตต่อะโลฮ่านั้นเป็นการแบ่งกลุ่มพิจารณา เป็น 2 กลุ่ม ให้แท็กทั้งสองกลุ่มมีค่าเท่ากัน และมีการวิเคราะห์ขนาดเฟรมของแอ็คทีฟแท็ก ซึ่งผู้วิจัยมีความคิดเห็นว่าการเลือกจำกัดสิทธิ์หรือกำหนดสิทธิ์ของการแท็กในแต่ละเหตุการณ์ในแต่ละเฟรมสล็อต ให้มากกว่า 2 กลุ่มหรืออาจจะแบ่งกลุ่มที่ไม่เท่ากันได้อีก และยังมีการนำสภาพแวดล้อมอื่นมาคำนวณประสิทธิภาพได้อีก เช่น Capture effect ซึ่งเป็นการส่งข้อมูลทับกันของแท็ก แต่ไม่เกิดการสูญเสีย เนื่องจากกำลังการส่งที่สูงกว่าของแท็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เอกสารอ้างอิง

- [1] เศรษฐพงษ์ มะลิสุวรรณ. “RFID กับระบบโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทาน” [Online] January 19, 2011. <http://www.vcharkarn.com/varticle/42181>
- [2] N.Abramson,“The ALOHA system-another alternative for computer communications,” Proc. Fall Joint Cotpiit. Conf.: AFIPS Conf., pp, 37.
- [3] X. Cao and D. Tao, "Modeling and Ameliorating of Frame Slotted Aloha Anti-collision Algorithm," Wireless Communications, Networking and Mobile Computing, International Conference, pp. 2124-2127, September 2007.
- [4] M. S. Alam, A. E. Hossain, “Throughput analysis of a multichannel slotted-ALOHA protocol in short-haul communication environment for an exponential backoff retransmission scheme,” Proc. Internnationol Cant on Information. Commun. and Signal Processing (ICICS) ‘97. Singapore. 1997, pp. 1034-1038
- [5] ISO/IEC 18000-7, Information technology – Radio frequency identification (RFID) for item management – Part 7 : Prameters for active air interface communicationa at 433MHz,August,2004
- [6] William Feller, “An introduction to probability theory and its applications Vol.1 Third Edition” John Wiley & Sons, inc.,1968
- [7] jain- Shing Liu Liu,C-H.R Performance Improvements with a P-Persistent Enhanced DEF for WLANs.Proceeding of IEEE 63rd Vehicular Technology Conference,2006.VTC 2006-Spring Vol.3.page 1151-1155,7-10 May 2006
- [8] ปิยะ โควินท์ทวีวัฒน์ และคณะ, ระบบบ่งชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ : Radio Frequency Identification (RFID) System, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, ปทุมธานี , 2552
- [9] L. Bolotnyy and G. Robins, “The Case for Multi-Tag RFID Systems,” International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications, 2007.
- [10] EPCglobal, EPC radio-frequency identity protocols class 1 generation 2 at 860 MHz-960 MHz, version 1.2.0, Oct. 2008.
- [11] Chang T. and Jia L., “Analysis and Simulation of RFID Anti-collision Algorithms,” The 4th IEEE International Conference on Autonomic Computing 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [12] D. J. Deng and H. W. Tsao, "Optimal Dynamic Framed Slotted ALOHA Based Anti-Collision Algorithm for RFID Systems," *Wireless Pers Commun*, vol.59, pp. 109-122, 2011.
- [13] H. Vogt, "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags," *IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2002.
- [14] วิทวัส เมธาภควัตพันธุ์ "Identification Friend or Foe" [Online] www.ee.eng.cmu.ac.th/~tharadol/teach/ee442/442_50/442_50rp/4706322.doc
- [15] Editorial Staff, ABI Research reports, Retrieved from: [http://www.sdexec.com/web/online/FulfillmentLogistics-Trends/RFID-Markets-Staying-Strong--21-percent-Annual-Growth-Predicted-through-2012/15\\$10045](http://www.sdexec.com/web/online/FulfillmentLogistics-Trends/RFID-Markets-Staying-Strong--21-percent-Annual-Growth-Predicted-through-2012/15$10045)
- [16] H. Beyranvand and J. A. Salehi, "Multirate and multi-quality-of-service passive optical network based on hybrid WDM/OCDM system," *IEEE Commun. Mag.*, vol. 49, no. 2, pp. 39-44, Feb. 2011.
- [17] A. B. Carleial and M. E. Hellman, "Bistable behavior of ALOHA-type systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-23, no. 4, pp. 401-410, Apr. 1975.
- [18] G.-C. Yang, "Variable-weight optical orthogonal codes for CDMA networks with multiple performance requirements," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 44, no. 1, pp. 47-55, Jan. 1996.
- [19] V. Baby, W.-C. Kwong, C.-Y. Chang, G.-C. Yang, and P. R. Prucnal, "Performance analysis of variable-weight multilength optical codes for wavelength-time OCDMA multimedia systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. 55, no. 7, pp. 1325-1333, Jul. 2007.
- [20] J. Y. Lin, J. S. Jhou, and J. H. Wen, "Variable-length code construction for incoherent optical CDMA systems," *Opt. Fiber Technol.*, vol. 13, no. 2, pp. 180-190, Apr. 2007.
- [21] X. Wang and K. Kitayama, "Analysis of beat noise in coherent and incoherent time-spreading OCDMA network," *J. Lightw. Technol.*, vol. 22, no. 10, pp. 2226-2235, Oct. 2004.
- [22] A. L. Sanches, J. V. dos Reis, Jr., and B.-H. V. Borges, "Analysis of high-speed optical wavelength/time CDMA networks using pulse-position modulation and forward error correction techniques," *J. Lightw. Technol.*, vol. 27, no. 22, pp. 5134-5144, Nov. 2009.

- [23] D. Raychaudhuri, "Performance analysis of random access packet switched code division multiple access systems," *IEEE Trans. Commun.*, vol. COM-29, no. 6, pp. 895–901, Jun. 1981



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

EECON 2016

2016 INTERNATIONAL ELECTRICAL ENGINEERING CONGRESS



Chiang Mai, Thailand

March 2 - 4, 2016

International conference on communications
International conference on electronics & control
International conference on digital signal processing
International conference on power & energy
International conference on computer & IT



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



2016 International Electrical Engineering Congress, iEECON2016, 2-4 March 2016, Chiang Mai, Thailand

Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited Access of Data Transmission for Active RFID System

Apisit Sriwan^{*}, Suvepon Sittichivapak
Department of Telecommunications Engineering, Faculty of Engineering
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, Thailand

Abstract

The data collision of multiple tags to access the channel is one of the most problems in active Radio Frequency Identification (RFID). The technique of random tag is based on William Feller equation by considering the successful probability (Psuc) may affect to increase the data collision if the tag is not limited the privilege. This paper proposes the modification of William Feller equation by dividing the privilege of tags into several groups. The results show that our scheme can provide the better performances as comparing with William Feller equation in term of successful probability. The maximum average of successful probability is more than 0.97.

© 2016 The Authors. Published by Elsevier B.V. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).
Peer-review under responsibility of the Organizing Committee of iEECON2016

Keywords: active RFID, Slot, William Feller

1. Introduction

Radio Frequency Identification (RFID) [1] is the object identification system by using the radio frequency for the communication between the transmitter and receiver. In this system, the object surface is holded on the tag to communicate with the reader of RFID if the tag is in the radius of the radio frequency. Then, the data of tag will be record. Generally, There is one of the most problems of RFID if we have multiple tags access to a reader as the same time. The data collision can be occurred. Therefore, several researchers have been proposed the protocol in order to avoid the data collisions. The ALOHA algorithm [2] is a basically method that prevents the collision of data based on Time Division Multiple Access (TDMA). There are three flavors of original ALOHA algorithm such as ALOHA, Slotted ALOHA [3] and Frame Slotted ALOHA [4]. Frame Slotted ALOHA (ISO/IEC1800-7)[5] is one protocol that developed from ALOHA. This method considers the concept of time division of sending tag for each frame called time slot and uses the random technique for accessing the slot of each frame. Usually, the random

technique by the probability equation analysis of William Feller (Psuc) is a well-know technique which uses the tag to access the time slot of one frame only. In this concept, the collision of data may be increased due to the serveral tags may access the time slot as the same time, there are the chance of the collision.

In this paper, we present the concept of considering the frame slot into 2 sets and limiting the privilege to access the tag in the slot into 2sets. The first set is the random for accessing overall slots and the second set is the random access for only half slot of frame. Both sets will consider the probability of sending success data based on William Feller and the both sets can random the tag with the different size freely by considering the performance analysis of each size of each frame and to find the appropriate of frame for transmitting the data of active RFID. This technique may improve the better performance of accessing the time slot of active RFID.

2. William Feller Equation Analysis

In order to analyze the probability of William Feller equation, we consider the successful probability. We suppose that P means the probability of sending data successfully in case of solving the collision in system and C that means the probability of event. M is the slot while sending the data successfully and V that means the slot of sending the request. The probability of transmitting success data can be expressed as

$$P_s(c|m, V) = \frac{(-1)^c V! m!}{V^m c!} \sum_{j=c}^{\min(m, V)} \frac{(-1)^j (V-j)^{m-j}}{(j-c)!(m-j)!(V-j)!} \tag{1}$$

where $0 \leq c \leq \min(m, V)$

We consider the probability of $P_m(m)$ from the slot n to m as sending the request to continue

$$P_m(m) = \binom{n}{m} p^m (1-p)^{n-m} \tag{2}$$

Where $S(n, m)$ is the request for accessing the slot in case of transmitting data

$$S(m, V) = J \cdot \sum_{c=1}^{\min(m, V)} c \cdot P_s(c|m, V) \tag{3}$$

group will access the slot more than the second group approximately 2 or it can access random slot between 1 slot to slot of $\frac{3}{2M}$

We can compute the probability by given

$$P\left\{a_1, a_2, \dots, \frac{a_{2M}}{3}\right\} = \frac{(N/2)!}{a_1! a_2! \dots a_{2M}!} \cdot \frac{(2M/3)!}{b_1! b_2! \dots b_{2M}!} \cdot p^{a_1} p^{a_2} \dots p^{a_{2M}} \tag{4}$$

Where $p(a_i)$ of this group has the value equal $\frac{3}{2M}$. Thus, $p^{a_1} p^{a_2} \dots p^{a_{2M}}$ can be obtained the value of $(\frac{3}{2M})^{a_1+a_2+\dots+a_{2M}}$. The second group can random the slot of $\frac{2M}{3}+1$ until to M slot, the calculation of probability is given by

$$P\left\{a_{\frac{2M}{3}+1}, a_{\frac{2M}{3}+2}, \dots, a_M\right\} = \frac{(N/2)!}{a_{\frac{2M}{3}+1}! a_{\frac{2M}{3}+2}! \dots a_M!} \cdot \frac{(M-\frac{2M}{3})!}{b_{\frac{2M}{3}+1}! b_{\frac{2M}{3}+2}! \dots b_M!} \cdot p^{a_{\frac{2M}{3}+1}} p^{a_{\frac{2M}{3}+2}} \dots p^{a_M} \tag{5}$$

Where $p(a_i)$ of this group has the value of $\frac{3}{M}$. Therefore, $p^{a_{\frac{2M}{3}+1}} p^{a_{\frac{2M}{3}+2}} \dots p^{a_M}$ can be obtained by $(\frac{3}{M})^{a_{\frac{2M}{3}+1}+a_{\frac{2M}{3}+2}+\dots+a_M}$

3. Performance Analysis

The system analysis based on the equation of William Feller must use the overall events, the random slot of tag to calculate and it consists of the procedure of selecting the event in order to avoid the duplicate events as shown in Fig. 1. As we can get the value of accessing the slot of a and b, we should summarize all the values in one frame by defining the slot equal zero for calculation the probability of sending success data in one frame. The probability must not over one and it should repeat every frame for the comparison.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

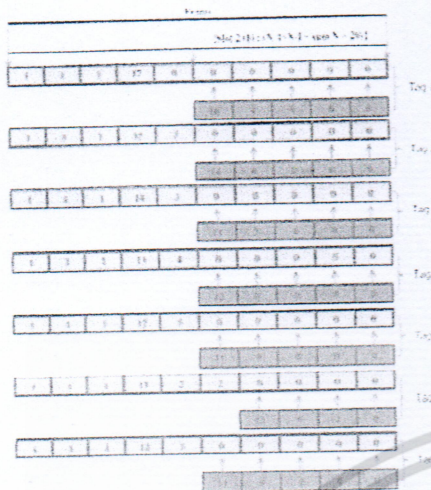


Fig. 1 The slot tag access for summation the a and b frames.

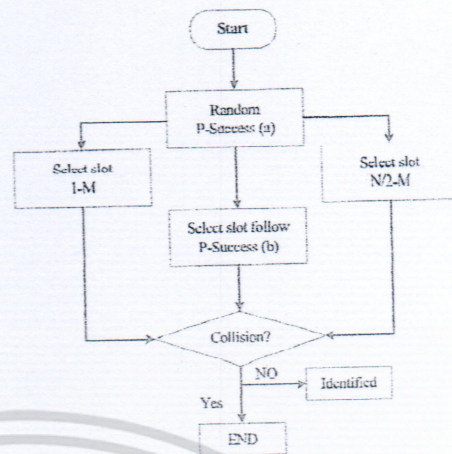


Fig. 2 The procedure of accessing the slot of two frames

4. The Format of Analysis the Numerical

The probability of each slot according to the condition is based on the mathematic for calculation the successful of accessing slot in RFID. For the analysis, we assign the N tag to access M slot and divide M into many parts by using the equation of selecting the slot. The probability of N tag that accesses the arbitrary slot can be obtained by

$$\frac{N!}{a_1! a_2! \dots a_M!} \tag{6}$$

Where $a_1!, a_2!, \dots, a_M!$ are the number of tags in each slot form 1 slot to M slots. The probability of M slots will hold by tags. This means that the probability of M slots have been occupied by the arbitrary tags as

$$\frac{M!}{b_1! b_2! \dots b_M!} \tag{7}$$

Where $b_1!, b_2!, \dots, b_M!$ are the numbers of slots which have the number of similarity tags in each slot such as the number of tag equal one, we can get the value from equation (1), (2) as N is the number of tags in the system and M is the number of slots in one frame. We can compute the probability of event in each frame as follows:

$$P\{a_1, a_2, \dots, a_M\} = \frac{N!}{a_1! a_2! \dots a_M!} \frac{M!}{b_1! b_2! \dots b_M!} P_1 P_2 \dots P_N \tag{8}$$

Where P_1, P_2, \dots, P_N are the probabilities of each slot which considers as sending data successfully. This means that the number of tags as accessing 1 slot to i slot equal one, i.e., $a_1 = a_2 = \dots = a_i = 1$ For the other slots, the values are not one such as $a_{i+1} = a_{i+2} = \dots = a_M \neq 1$ Thus, the success probability of P_{suc} is the summation of $P\{a_1, a_2, \dots, a_M\}$

Proposed Method

Our proposed method, we consider the probability of William Feller to analysis which uses every event of accessing slot or accessing the random of tag for calculation. The procedure of selecting the record of each event to protect the duplicate events, we divide the slot for accessing tag and divide the privilege to access according to the condition and assign the events as shown in Fig.2.

Experiment and Results

In the system analysis, we consider the probability analysis by using the formula of William Feller for random the tag for avoiding the collision. In this paper, we focus on the comparison of our method with William Feller formula (limit the privilege of tag and non-limit the privilege of tag) to access the slot of active RFID. The purpose of our experiment is to consider the success probability based on several conditions like the various tag and fixed the frame size and so on.

The first experiment result is shown in Fig. 3. We have fixed the frame size and various the number of tag (N) and the

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

number of slot (i) in the system by considering the success probability. The results show that our method (normal lines) has the results consequently with the method of William Feller (dash lines). We observe that the number of high tags ($N=60(2G)$, $N=50(2G)$, $N=40(2G)$) will be increased the success probability (Psuc) respectively as the number of slots are less. But the number of slots is increased, the total results will be opposite. The success probability will be achieved as $N=40(2G)$, $N=50(2G)$ and $N=60(2G)$ respectively. This means that the increasing of slot numbers may provide the increasing of the collisions in the system, the success probability will be decreased. However, our results can provide the maximum average of success probability approximately 0.98 that more than the method of William Feller.

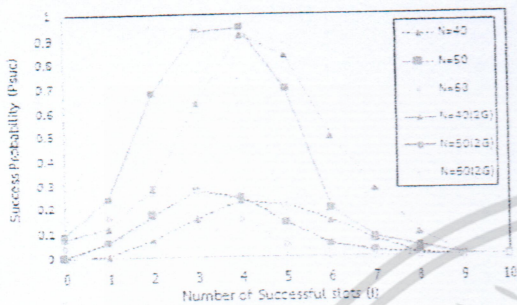


Fig. 3 The comparison of success probability between the accessing non-privilege tag and privilege tag

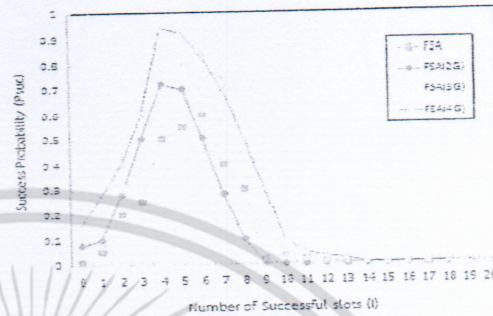


Fig. 4. The probability of sending success probability in system as fixed the tag of 60 tags and the frame slot equal 20 slots

In Fig. 4, we define the parameter of experiment by using the frame size is less than the number of tags (20 slots and 60 tags) and varying the group of accessing the privilege of tag into 2,3 and 4 groups respectively including various the number of slot (i) to analysis the success probability in the system. We compare our method with William Feller formula. The results show that our scheme (FSA(2G), FSA(3G) and FSA(4G) can provide the highest success probability as comparing with William Feller formula which is non-limited the privilege of tag (FSA). The maximum average of success probability is 0.97. We observe that the success probability will be highest achieved as limited the privilege of tag into FSA(4G), FSA(3G) and FSA(2G) respectively. However, if the number of slots is increased, the success probability will be decreased but our scheme can provide the better performance more than that of non-limited the privilege of tag.

5. Conclusion

This paper presents the performance analysis of accessing the tag of Frame Slotted ALOHA based on limited the privilege of tag in active RFID system by comparing with the method of William Feller. In this concept, we consider the probability of accessing successful tag based on the different of privilege tag. The results show that our scheme can provide the better performances in terms of the successful probability more than the method of William Feller which has not limited the privilege of tag.

REFERENCES

- [1] K. Finkenzellere, "RFID Handbook Fundamentals and Application in Contactless Smart Cards and Identification," 2003.
- [2] B. Lertmaneckarn, N. Moolsiri, T. Pawasopon, S. Sittichivapak, "Performance Analysis of Multinomial Distribution of Group Assignment Framed ALOHA for Multiple RFID (ECTI-CON) 2014," 11th International Conference on 2014, pp. 1-5.
- [3] M. S. Alam, A. E. Hossain, "Throughput Analysis of a Multichannel Slotted-ALOHA Protocol in Short-Haul Communication Environment for an Exponential Backoff Retransmission Scheme," Proc. International Conf. on Information. Commun. and Signal Processing (ICICS) '97, Singapore, 1997, pp. 1034-1038.
- [4] ISO/IEC 18000-7, "Information Technology – Radio Frequency Identification (RFID) for Item Management – Part 7," August, 2004.
- [5] William Feller, "An Introduction to Probability Theory and Its Applications," Vol.1, Third Edition, John Wiley & Sons, inc.,1968.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียนและผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์เผยแพร่

ชื่อ – สกุล	นายอภิสิทธิ์ ศรีวรรณ
วัน เดือน ปีเกิด	6 สิงหาคม 2530
ที่อยู่	366/1 หมู่ 15 ต.หนองกรด อ.เมือง จ.นครสวรรค์
อีเมลล์	apisit.rmutk@gmail.com
ประวัติการศึกษา	
ระดับปริญญาตรี	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และ โทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลกรุงเทพ พ.ศ. 2555
ระดับปริญญาโท	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง พ.ศ. 2559
ผลงานที่ได้รับการตีพิมพ์	<p>[1] Apisit Sriwan, watcharapong Janta, Wuttichai Vijitkunsawat, Pramote anunvrapong, Anant Tangjaipeam, Sakol Samanpiyapoj, Chavanut Punyot , Emergency Phone Line Bridge, Cretech2014, 20-22 August 2014, Rajamangala University of Technology Krungthep</p> <p>[2] Apisit Sriwan, Suvepon Sittichivapak, Performance Analysis of ALOHA Framework under Limited Access of Data Transmission for Active RFID System, 2016 International Electrical Engineering Congress, iEECON2016, 2-4 March 2016, Chiang Mai, Thailand</p> <p>[3] Apisit Sriwan, Suvepon Sittichivapak, Frame Size Analysis for Passive RFID Tag in Frame Slotted ALOHA, 2016 ECTI-CON 2016 : 13th International Conference June 28th - July 1st, 2016, Chiang Mai, Thailand</p>

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้