

โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี

A NEW ANTI COLLISION PROTOCOL FOR ACTIVE RFID SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2558

KMITL-2015-EN-M-010-031

# โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี

## A NEW ANTI COLLISION PROTOCOL FOR ACTIVE RFID SYSTEM



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2558

KMITL-2015-EN-M-010-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A NEW ANTI COLLISION PROTOCOL FOR ACTIVE RFID SYSTEM



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  
2015  
KMITL-2015-EN-M-010-031

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



COPYRIGHT 2015

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ โพรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี  
Thesis Title A New Anti Collision Protocol for Active RFID System  
นักศึกษา นายอัศวิน ก๊กก้อง  
รหัสประจำตัว 54611809  
ปริญญา วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชา วิศวกรรมโทรคมนาคม  
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รศ.ดร.สุวิพล ลิทธิชีวภาค  
หมายเลขวิทยานิพนธ์ KMITL-2015-EN-M-010-031

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์		ลายมือชื่อ
ดร.สถาพร พรหมวงศ์		
ผศ.ดร.พิชญ์ สุพรรณกุล		
ศ.ดร.ประยุทธ์ อัครเอกมาลิน		
ผศ.ดร.สุทธิชัย นพนาศิพงษ์		
รศ.ดร.สุวิพล ลิทธิชีวภาค		

วัน / เดือน / ปี ที่สอบ วันจันทร์ที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2558 เวลา 12.00-14.00 น.  
สถานที่สอบ ณ อาคาร A ชั้น 5 ห้องประชุม 3

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

คณะวิศวกรรมศาสตร์ รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร. คมสัน มาลีสี)

คณบดี คณะวิศวกรรมศาสตร์

วันที่ 11 พฤษภาคม พ.ศ. 2558

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อนุญแต่เห็นาเบเซบระโฮชนด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบแอสซิงโครนัส
นักศึกษา	นายอัศวิน กีก้อง
รหัสประจำตัว	54611809
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโทรคมนาคม
พ.ศ.	2558
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.สุวิมล สิริชูวิภาค

### บทคัดย่อ

ปัญหาที่สำคัญในระบบบ่งชี้เอกลักษณ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุแบบแอสซิงโครนัส คือ การชนกันของข้อมูล เมื่อแท็กหลายตัวส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้ คือ โปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) จะให้ผลดีเมื่อแท็กมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุด แต่เมื่อแท็กมีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จึงได้นำเสนอโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) โดยนำหลักการของ P-persistent มาใช้ในการจำกัดจำนวนแท็กที่ส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน คือ เครื่องอ่านจะสร้างค่า P-persistent ให้กับแท็กเพื่อใช้ในการตัดสินใจส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน จากผลการจำลองพบว่า โปรโตคอลที่นำเสนอช่วยลดการชนกันของข้อมูล และเพิ่มประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบให้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอล DFSA นอกจากนี้ยังลดจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลให้น้อยลงอีกด้วย

Thesis	A New Anti Collision Protocol for Active RFID System
Student	Mr.Aussawin Kukkong
Student ID.	54611809
Degree	Master of Engineering
Program	Telecommunications Engineering
Year	2015
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Suvepon Sitthichivapak

## ABSTRACT

The most important problem in active Radio Frequency Identification (active RFID) systems is data collision when multiple tags respond to a reader at the same time. The popular anti-data collision protocols used to prevent this problem is Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) protocol. It works effectively when the number of tags is less than or equal to the maximum number of slots. On the other hand, if the number is larger, it will cause more collision. This thesis proposes a new anti-data collision protocol called Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) protocol which used the principle of P-persistent to limit the number of tags responding to reader to the number of slots in each reading cycle. The reader creates P-persistent value for tags. Tags use this value to decide to respond to the reader. The result shows that the proposed protocol can reduce tag collision and enable better tags collection efficiency compared with the DFSA protocol. Moreover, the number of slots and reading cycle for tag collection is reduced.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต่ออ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยการให้คำแนะนำและคำปรึกษาจากอาจารย์ผู้ควบคุมงานวิจัย รศ.ดร.สุวิพล สิริธัชวิภาค ท่านกรุณาให้แนวทาง ความคิด และคำปรึกษา ตลอดจนวิธีการแก้ไขปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยได้เป็นอย่างดี ซึ่งเป็นประโยชน์อย่างมากต่อการทำวิทยานิพนธ์เล่มนี้ และขอขอบคุณครูอาจารย์ที่เคารพทุกท่านที่ได้ให้วิชาความรู้ และถ่ายทอดประสบการณ์ที่ดีให้แก่ข้าพเจ้า

ขอกราบขอบคุณบิดา มารดาที่ให้กำเนิด อบรมสั่งสอน ให้ความรู้ และโอกาสในด้านการศึกษา และขอขอบคุณภรรยา รวมทั้งบุคคลในครอบครัวทุกท่านที่คอยเป็นกำลังใจให้กับข้าพเจ้าเสมอมา

ประโยชน์และคุณค่าที่ได้รับจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ข้าพเจ้าขอมอบให้แก่ผู้มีพระคุณทุกท่านที่กล่าวมาข้างต้น และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์เล่มนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้วิจัยในด้านนี้ต่อไป

อัศวิน กีก้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID).....	4
2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID.....	5
2.3.1 เครื่องอ่านข้อมูล.....	5
2.3.2 แท็กส์.....	7
2.4 การจำแนกประเภทของระบบ RFID ตามชนิดของแท็กส์.....	9
2.4.1 ระบบ passive RFID.....	10
2.4.2 ระบบ active RFID.....	10
2.5 คุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID.....	11
2.5.1 ลักษณะการติดต่อสื่อสาร.....	11
2.5.2 ความจุข้อมูล.....	12
2.5.3 ความสามารถในการโปรแกรม.....	12
2.5.4 การจัดการลำดับคำสั่ง.....	13
2.5.5 ความถี่ใช้งาน.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.6 ประเภทของแท็ก RFID.....	14
2.5.7 ตัวอย่างรูปแบบของแท็ก RFID.....	16
2.5.8 ระยะเวลาการทำงานและการเหนี่ยวนำ.....	19
2.6 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID.....	21
2.6.1 ความถี่ที่ใช้งาน.....	21
2.6.2 ระยะเวลาอ่าน.....	22
2.6.3 ชนิดของวัสดุที่นำแท็ก RFID ไปติดตั้ง.....	23
2.6.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย.....	23
2.6.5 ขนาดของหน่วยความจำ.....	23
2.7 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID.....	23
2.7.1 มาตรฐาน ISO/IEC.....	24
2.7.2 มาตรฐาน EPC global.....	26
2.8 การประยุกต์ใช้งานระบบ RFID.....	30
2.8.1 ด้านการค้าปลีก การผลิต การกระจายสินค้าและลอจิสติกส์.....	30
2.8.2 ด้านการแพทย์และช่วยเหลือคนพิการ.....	31
2.8.3 ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์.....	31
2.8.4 การเข้า-ออกอาคาร.....	31
2.8.5 ระบบการเดินทางขนส่ง.....	32
2.8.6 ระบบการบริการ.....	32
2.8.7 ระบบรักษาความปลอดภัย.....	32
2.9 กระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูล.....	33
2.9.1 กระบวนการอะโลฮา.....	34
2.9.2 กระบวนการสล็อตอะโลฮา.....	36
2.9.3 กระบวนการไดนามิกสล็อตอะโลฮา.....	38
2.9.4 กระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	38
2.10 การเข้าถึงหลายทางแบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นพาห์.....	40
2.10.1 แบบยืนกรานเท่ากับ 1.....	40
2.10.2 แบบไม่ยืนกราน.....	40
2.10.3 แบบยืนกรานด้วยขนาด P.....	40

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 ตัวแปรสุ่ม (Random Variables).....	41
2.11.1 ความน่าจะเป็นเชิงการจัด.....	41
2.11.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม.....	44
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
2.12.1 โพรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	46
2.12.2 โพรโตคอลไดนามิกเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	48
บทที่ 3 โพรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่และการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์.....	51
3.1 กล่าวนำ.....	51
3.2 การทำงานของระบบ active RFID.....	53
3.3 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	54
3.4 โพรโตคอล Dynamic P-persistent FSA (DP-FSA) ที่ได้พัฒนาขึ้นมา.....	57
3.4.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID.....	57
3.4.2 แนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล.....	62
3.4.3 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	63
3.5 การออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบการทำงาน.....	65
3.5.1 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	69
3.5.2 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	71
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล.....	74
4.1 กล่าวนำ.....	74
4.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลและวิเคราะห์ผล.....	75
4.3 การทดลองเปรียบเทียบอัตราการชนกันของข้อมูลและวิเคราะห์ผล.....	77
4.4 การทดลองเปรียบเทียบจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล และวิเคราะห์ผล.....	79
4.5 การทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA.....	82
4.5.1 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล.....	83
4.5.2 อัตราการชนกันของข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล.....	85

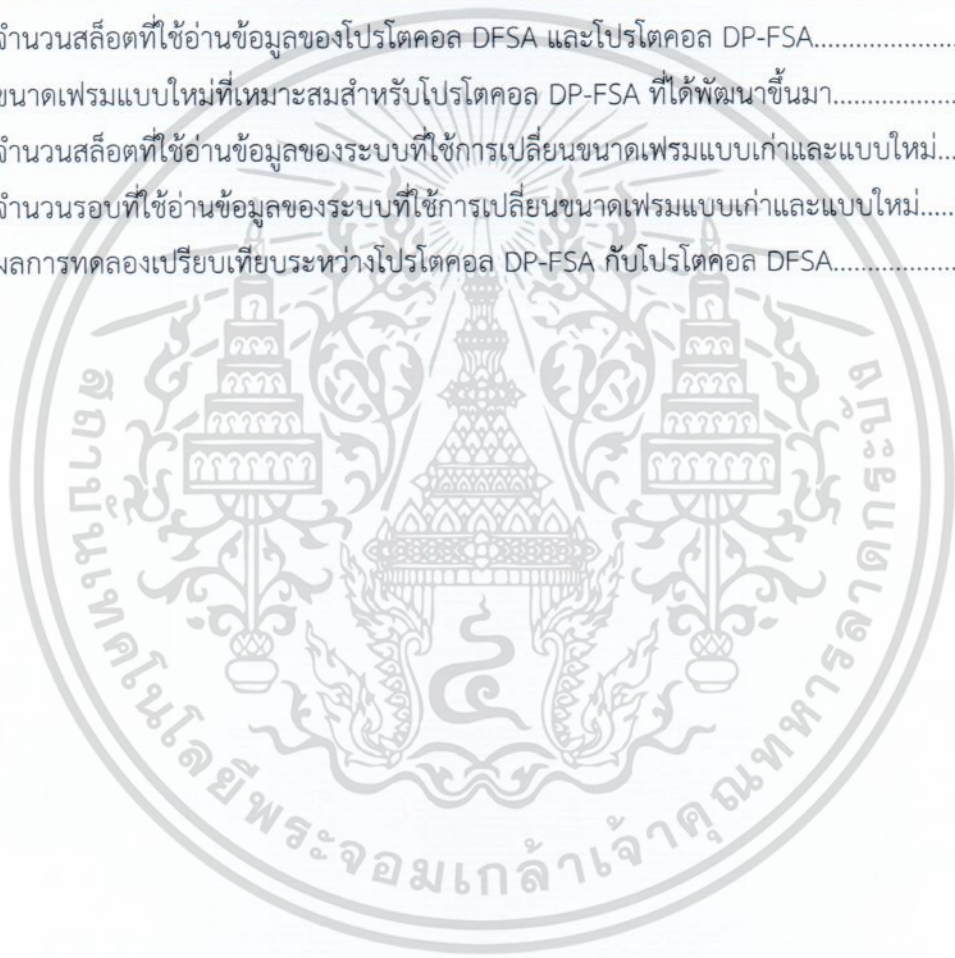
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.5.3 จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล.....	87
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	97
ภาคผนวก ข. โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบ.....	105
ประวัติผู้เขียน.....	115

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กส์ RFID แบบต่างๆ.....	9
2.2 ย่านความถี่ที่ใช้งานในระบบ RFID.....	14
2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กส์ระดับต่างๆ.....	15
2.4 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็กส์ RFID ทุกแท็กส์ภายในพื้นที่การอ่าน.....	36
3.1 ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์.....	65
4.1 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA.....	80
4.2 ขนาดเฟรมแบบใหม่ที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา.....	82
4.3 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	88
4.4 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	89
5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างโปรโตคอล DP-FSA กับโปรโตคอล DFSA.....	91



## สารบัญญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบ RFID.....	5
2.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านข้อมูล.....	6
2.3 ตัวอย่างเครื่องอ่าน RFID แบบต่างๆ.....	6
2.4 ตัวอย่างแท็ก RFID ที่แบ่งตามชนิดของแหล่งจ่ายพลังงาน.....	7
2.5 ตัวอย่างแท็ก RFID รูปแบบต่างๆ 1.....	17
2.6 ตัวอย่างแท็ก RFID รูปแบบต่างๆ 2.....	19
2.7 การควบคุมแบบเหนี่ยวนำและการกระจายย้อนกลับ.....	21
2.8 พื้นที่การอ่านของเครื่องอ่านในระบบ RFID แบบต่างๆ.....	22
2.9 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID.....	26
2.10 แสดงรูปแบบของรหัสในเทคโนโลยี EPC.....	27
2.11 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID แบบกระจายและแบบการเข้าถึงหลายทาง.....	34
2.12 นิยามของโหลดที่ถูกเสนอ (offered load) และ Throughput ของระบบ ALOHA.....	35
2.13 เปรียบเทียบปริมาณงาน (throughput) ของกระบวนการ ALOHA และ Slotted ALOHA.....	37
2.14 การทำงานของโปรโตคอล Frame Slotted Aloha สำหรับระบบ active RFID.....	39
2.15 การอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอกทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	46
2.16 เปรียบเทียบการอ่านข้อมูลของแท็กชนิดแอกทีฟและพาสซีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	47
2.17 การทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	48
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	52
3.2 การอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอกทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	53
3.3 เปรียบเทียบการอ่านข้อมูลของระบบ active RFID และระบบ passive RFID โดยใช้เฟรม สล็อตอะโลฮา.....	54
3.4 การทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	55
3.5 โพล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	56
3.6 การเข้าถึงแบบหลายทาง (multiple access).....	57
3.7 รูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่ม.....	58
3.8 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ เมื่อขนาดเฟรมแตกต่างกัน (N=32, 64, 128, 256 และ 512).....	61
3.9 โพล์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	64

## ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายอัศวิน กีก้อง
วัน เดือน ปีเกิด	31 สิงหาคม 2528
สถานที่เกิด	จังหวัดหนองบัวลำภู ประเทศไทย
ประวัติการศึกษา	สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2551 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับ 2) สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, 2557 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม
ผลงานทางวิชาการ	โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบแอคทีฟอาร์เอฟไอดี
ทุนการศึกษา	ได้รับทุนการศึกษาระดับปริญญาโท บมจ. กสท โทรคมนาคม
ประสบการณ์การทำงาน	
พ.ศ.2552-2554	ตำแหน่งวิศวกรระบบโทรคมนาคม บริษัท รถไฟฟ้า ร.ฟ.ท. จำกัด
พ.ศ.2554-ปัจจุบัน	ตำแหน่งวิศวกร ฝ่ายโครงข่ายภายในประเทศ บมจ. กสท โทรคมนาคม
ที่อยู่	94/1 ม.9 ต.กุดดินจี่ อ.นากลาง จ.หนองบัวลำภู 39350
อีเมลล์	aussawin.k@hotmail.com

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VIII
สารบัญรูป.....	IX
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา.....	2
1.3 สมมุติฐานของการศึกษา.....	2
1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย.....	2
1.5 ขอบเขตงานวิจัย.....	3
1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์.....	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 กล่าวนำ.....	4
2.2 ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID).....	4
2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID.....	5
2.3.1 เครื่องอ่านข้อมูล.....	5
2.3.2 แท็กส์.....	7
2.4 การจำแนกประเภทของระบบ RFID ตามชนิดของแท็กส์.....	9
2.4.1 ระบบ passive RFID.....	10
2.4.2 ระบบ active RFID.....	10
2.5 คุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID.....	11
2.5.1 ลักษณะการติดต่อสื่อสาร.....	11
2.5.2 ความจุข้อมูล.....	12
2.5.3 ความสามารถในการโปรแกรม.....	12
2.5.4 การจัดการลำดับคำสั่ง.....	13
2.5.5 ความถี่ใช้งาน.....	13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.5.6 ประเภทของแท็กส์ RFID.....	14
2.5.7 ตัวอย่างรูปแบบของแท็กส์ RFID.....	16
2.5.8 ระยะเวลาการทำงานและการเหนี่ยวนำ.....	19
2.6 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID.....	21
2.6.1 ความถี่ที่ใช้งาน.....	21
2.6.2 ระยะเวลาอ่าน.....	22
2.6.3 ชนิดของวัสดุที่นำแท็กส์ RFID ไปติดตั้ง.....	23
2.6.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย.....	23
2.6.5 ขนาดของหน่วยความจำ.....	23
2.7 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID.....	23
2.7.1 มาตรฐาน ISO/IEC.....	24
2.7.2 มาตรฐาน EPC global.....	26
2.8 การประยุกต์ใช้งานระบบ RFID.....	30
2.8.1 ด้านการค้าปลีก การผลิต การกระจายสินค้าและลอจิสติกส์.....	30
2.8.2 ด้านการแพทย์และช่วยเหลือคนพิการ.....	31
2.8.3 ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์.....	31
2.8.4 การเข้า-ออกอาคาร.....	31
2.8.5 ระบบการเดินทางขนส่ง.....	32
2.8.6 ระบบการบริการ.....	32
2.8.7 ระบบรักษาความปลอดภัย.....	32
2.9 กระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูล.....	33
2.9.1 กระบวนการอะโลฮา.....	34
2.9.2 กระบวนการสล็อตอะโลฮา.....	36
2.9.3 กระบวนการไดนามิกสล็อตอะโลฮา.....	38
2.9.4 กระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	38
2.10 การเข้าถึงหลายทางแบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นพาห์.....	40
2.10.1 แบบยืนกรานเท่ากับ 1.....	40
2.10.2 แบบไม่ยืนกราน.....	40
2.10.3 แบบยืนกรานด้วยขนาด P.....	40

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.11 ตัวแปรสุ่ม (Random Variables).....	41
2.11.1 ความน่าจะเป็นเชิงการจัด.....	41
2.11.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม.....	44
2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	46
2.12.1 โพรโทคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	46
2.12.2 โพรโทคอลไดนามิกเฟรมสล็อตอะโลฮา.....	48
บทที่ 3 โพรโทคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่และการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์.....	51
3.1 กล่าวนำ.....	51
3.2 การทำงานของระบบ active RFID.....	53
3.3 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	54
3.4 โพรโทคอล Dynamic P-persistent FSA (DP-FSA) ที่ได้พัฒนาขึ้นมา.....	57
3.4.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID.....	57
3.4.2 แนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล.....	62
3.4.3 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	63
3.5 การออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบการทำงาน.....	65
3.5.1 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	69
3.5.2 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	71
บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล.....	74
4.1 กล่าวนำ.....	74
4.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลและวิเคราะห์ผล.....	75
4.3 การทดลองเปรียบเทียบอัตราการชนกันของข้อมูลและวิเคราะห์ผล.....	77
4.4 การทดลองเปรียบเทียบจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล และวิเคราะห์ผล.....	79
4.5 การทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA.....	82
4.5.1 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล.....	83
4.5.2 อัตราการชนกันของข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล.....	85

## สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.5.3 จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของขนาดเฟรมแบบ ใหม่และวิเคราะห์ผล.....	87
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	90
5.1 สรุปผลการวิจัย.....	90
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	93
เอกสารอ้างอิง.....	94
ภาคผนวก.....	96
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่.....	97
ภาคผนวก ข. โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบ.....	105
ประวัติผู้เขียน.....	115

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กส์ RFID แบบต่างๆ.....	9
2.2 ย่านความถี่ที่ใช้งานในระบบ RFID.....	14
2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กส์ระดับต่างๆ.....	15
2.4 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็กส์ RFID ทุกแท็กส์ภายในพื้นที่การอ่าน.....	36
3.1 ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์.....	65
4.1 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA.....	80
4.2 ขนาดเฟรมแบบใหม่ที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา.....	82
4.3 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	88
4.4 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	89
5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างโปรโตคอล DP-FSA กับโปรโตคอล DFSA.....	91

# สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบ RFID.....	5
2.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านข้อมูล.....	6
2.3 ตัวอย่างเครื่องอ่าน RFID แบบต่างๆ.....	6
2.4 ตัวอย่างแท็ก RFID ที่แบ่งตามชนิดของแหล่งจ่ายพลังงาน.....	7
2.5 ตัวอย่างแท็ก RFID รูปแบบต่างๆ 1.....	17
2.6 ตัวอย่างแท็ก RFID รูปแบบต่างๆ 2.....	19
2.7 การควบคุมแบบเหนี่ยวนำและการกระจายย้อนกลับ.....	21
2.8 พื้นที่การอ่านของเครื่องอ่านในระบบ RFID แบบต่างๆ.....	22
2.9 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID.....	26
2.10 แสดงรูปแบบของรหัสในเทคโนโลยี EPC.....	27
2.11 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID แบบกระจายและแบบการเข้าถึงหลายทาง.....	34
2.12 นิยามของโหลดที่ถูกเสนอ (offered load) และ Throughput ของระบบ ALOHA.....	35
2.13 เปรียบเทียบปริมาณงาน (throughput) ของกระบวนการ ALOHA และ Slotted ALOHA.....	37
2.14 การทำงานของโปรโตคอล Frame Slotted Aloha สำหรับระบบ active RFID.....	39
2.15 การอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอกทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	46
2.16 เปรียบเทียบการอ่านข้อมูลของแท็กชนิดแอกทีฟและพาสซีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	47
2.17 การทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	48
3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย.....	52
3.2 การอ่านข้อมูลจากแท็กชนิดแอกทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา.....	53
3.3 เปรียบเทียบการอ่านข้อมูลของระบบ active RFID และระบบ passive RFID โดยใช้เฟรม สล็อตอะโลฮา.....	54
3.4 การทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	55
3.5 โพล์วชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	56
3.6 การเข้าถึงแบบหลายทาง (multiple access).....	57
3.7 รูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่ม.....	58
3.8 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ เมื่อขนาดเฟรมแตกต่างกัน (N=32, 64, 128, 256 และ 512).....	61
3.9 โพล์วชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	64

## สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.10 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับไบโนเมียลฟังก์ชันเมื่อจำนวน สล็อตคงที่ $N = 64, 128, 256$ และ $512$ ตามลำดับ.....	68
3.11 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA.....	70
3.12 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA.....	73
4.1 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA.....	76
4.2 อัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA.....	78
4.3 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA.....	80
4.4 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA.....	81
4.5 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	84
4.6 อัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	86
4.7 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	88
4.8 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่.....	89

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีการสื่อสารแบบไร้สายเข้ามามีบทบาทต่อชีวิตประจำวันของเรามากขึ้น หนึ่งในนั้นคือ ระบบบ่งชี้เอกลักษณ์ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID: radio frequency identification) พัฒนามาจากระบบรหัสแท่งหรือบาร์โค้ด (barcode) มีข้อดีคือ สามารถบรรจุข้อมูลได้มาก ส่งข้อมูลได้ในระยะไกล และอ่านข้อมูลได้อย่างรวดเร็วแม่นยำ โดยไม่จำเป็นต้องอาศัยการสัมผัสหรือต้องมองเห็นวัตถุนั้นๆ ก่อน จากข้อดีดังกล่าวทำให้เทคโนโลยี RFID ถูกนำมาประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การผลิตในอุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้กับห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ การควบคุมการเข้า-ออก และการปศุสัตว์ เป็นต้น โดยทั่วไประบบ RFID จะแบ่งตามแหล่งจ่ายพลังงานของแท็กส์ออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบ passive RFID และระบบ active RFID ในระบบ passive RFID แท็กส์จะไม่มีแบตเตอรี่ในตัวเอง ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน ในขณะที่ระบบ active RFID แท็กส์จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแท็กส์ ทำให้ระบบ active RFID สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกลกว่า และยังสามารถทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีอีกด้วย

ปัญหาสำคัญที่ทำให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID ลดลง คือ การชนกันของข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กส์ เมื่อมีแท็กส์จำนวนมากในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่านส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน จึงมีโอกาสที่แท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวจะส่งข้อมูลไปในช่องสัญญาณเดียวกันมากขึ้น ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ถูส่งมาได้ ดังนั้นจึงได้มีการใช้โปรโตคอลที่ใช้สำหรับการป้องกันการชนกันของข้อมูล [1]-[4] จากการศึกษาของงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โปรโตคอลที่นิยมใช้สำหรับการป้องกันการชนกันของข้อมูล คือ โปรโตคอลแบบอะโลฮา ซึ่งปัจจุบันได้มีการพัฒนาเป็นโปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) ที่มีการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่านให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ ซึ่งจะให้ผลดีเมื่อแท็กส์มีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุด แต่ถ้าแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดก็จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้มีการศึกษาและพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบ active RFID เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) โดยการนำหลักการของ P-persistent มาใช้ในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน ในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อต เพื่อลดการแย่งชิงสล็อตในการส่งข้อมูลของแท็กส์ ซึ่งจะทำให้ระบบมีการชนกันของข้อมูลลดลง และเพิ่มประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบให้มากขึ้น

นอกจากนี้ยังช่วยลดจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของระบบให้น้อยลงอีกด้วย เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

- 1) เพื่อศึกษารูปแบบการทำงานพื้นฐานของระบบ active RFID
- 2) เพื่อศึกษาปัญหาการชนกันของข้อมูลในระบบ active RFID
- 3) เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลสำหรับระบบ active RFID
- 4) เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID

## 1.3 สมมติฐานของการศึกษา

ในการสื่อสารระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กในระบบ active RFID กรณีที่มีแท็กจำนวนมากอยู่ภายในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน เมื่อแท็กได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน แท็กทุกตัวจะทำการส่งข้อมูลตอบสนองกลับไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ซึ่งจะเกิดการแย่งชิงสล็อตเพื่อใช้ในการส่งข้อมูล เมื่อแท็กหลายตัวส่งข้อมูลไปในสล็อตเดียวกันจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กได้ เนื่องจากในหนึ่งสล็อตจะสามารถรองรับข้อมูลจากแท็กได้เพียงตัวเดียวเท่านั้น ส่งผลให้ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการศึกษาปัญหาการชนกันของข้อมูล ศึกษาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลในระบบ active RFID และศึกษาการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายทาง (multiple access) แล้วนำมาพัฒนาเป็นโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ เพื่อลดการชนกันของข้อมูลและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID ให้ดีขึ้น

## 1.4 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้สำหรับระบบ active RFID คือ โปรโตคอล DFSA ที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่านให้เหมาะสมกับจำนวนแท็ก ซึ่งในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลเราสามารถคำนวณหาโอกาสที่ในแต่ละสล็อตของเครื่องอ่านจะมีข้อมูลที่ถูกส่งมาจากแท็กเพียงตัวเดียว (เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลได้สำเร็จ) จากทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบนอมิเยล โดยแต่ละสล็อตจะมีโอกาสที่แท็กจะเลือกส่งข้อมูลเข้ามาเท่าๆ กัน จากการคำนวณค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบพบว่า ในแต่ละรอบการอ่านเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กมากที่สุดเมื่อจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลเท่ากับจำนวนแท็กที่ทำการส่งข้อมูล ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำแนวคิดนี้มาใช้ในการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ เรียกว่า โปรโตคอล DP-FSA โดยนำหลักการของ P-persistent มาช่วยในการจำกัดจำนวนแท็กที่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน คือ ในแต่ละรอบการอ่านเครื่องอ่านจะกำหนดค่า P-persistent เพื่อให้แท็กทุกตัวใช้ในการตัดสินใจว่าจะส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านในรอบการอ่านนี้หรือไม่ โดยที่ค่า P-persistent จะแปรผันตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กในแต่ละรอบการอ่าน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## 1.5 ขอบเขตงานวิจัย

การทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบ active RFID ที่มีการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์หลายตัวกับเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียว โดยทำการศึกษาและวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของโปรโตคอล DFSA ที่มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบแยกความต่างทางเวลาเพื่อหาข้อจำกัดในการทำงาน แล้วนำหลักการของ P-persistent มาช่วยในการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนข้อมูลใหม่ เรียกว่า โปรโตคอล DP-FSA เพื่อลดการชนกันของข้อมูลและปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้น และทำการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านข้อมูล อัตราการชนกันของข้อมูล จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของระบบระหว่างโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา กับโปรโตคอล DFSA และทำการปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA

## 1.6 รายละเอียดในวิทยานิพนธ์

ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 5 บท คือ

บทที่ 1 บทนำ ในบทนี้จะกล่าวถึงความจำเป็นและความสำคัญของปัญหา ความมุ่งหมาย และวัตถุประสงค์ของการศึกษา สมมติฐานของการศึกษา ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการวิจัย และขอบเขตของงานวิจัย

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ในบทนี้จะกล่าวถึงการทำงานพื้นฐานของเทคโนโลยี RFID โปรโตคอลป้องกันการชนกันสำหรับระบบ active RFID การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายทาง ทฤษฎีความน่าจะเป็นที่ใช้ในการคำนวณผลตอบสนองของระบบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอลป้องกันการชนข้อมูล

บทที่ 3 โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่และการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ ในบทนี้จะกล่าวถึงโปรโตคอล DFSA โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาใหม่ และการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองการทำงานของระบบ

บทที่ 4 การทดลองและวิเคราะห์ผล ในบทนี้จะกล่าวถึงการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา กับโปรโตคอล DFSA การทดลองขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

## บทที่ 2

# ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.1 กล่าวนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับระบบ RFID โดยจะอธิบายถึงส่วนประกอบของระบบ RFID รูปแบบของแท็กหรือป้าย RFID และเครื่องอ่าน ย่านความถี่ ระยะทางการใช้งาน กระบวนการรับส่ง-ข้อมูลภายในระบบ RFID ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID มาตรฐานในการใช้งานเทคโนโลยี RFID และตัวอย่างการนำไปประยุกต์ใช้งาน เพื่อให้เห็นภาพรวมในการทำงานและการประยุกต์ใช้งานของระบบ RFID จากนั้นจะกล่าวถึงโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล สำหรับการส่งข้อมูลของแท็กที่มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายทาง การเข้าถึงหลายทางแบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นพาห์ ทฤษฎีความน่าจะเป็นพื้นฐานที่นำไปใช้ในการคำนวณเพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล เพื่อเป็นการศึกษาถึงข้อมูลพื้นฐาน และเป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล ซึ่งได้นำเสนอโดยแบ่งเป็นหัวข้อดังต่อไปนี้

### 2.2 ระบบบ่งชี้ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (RFID)

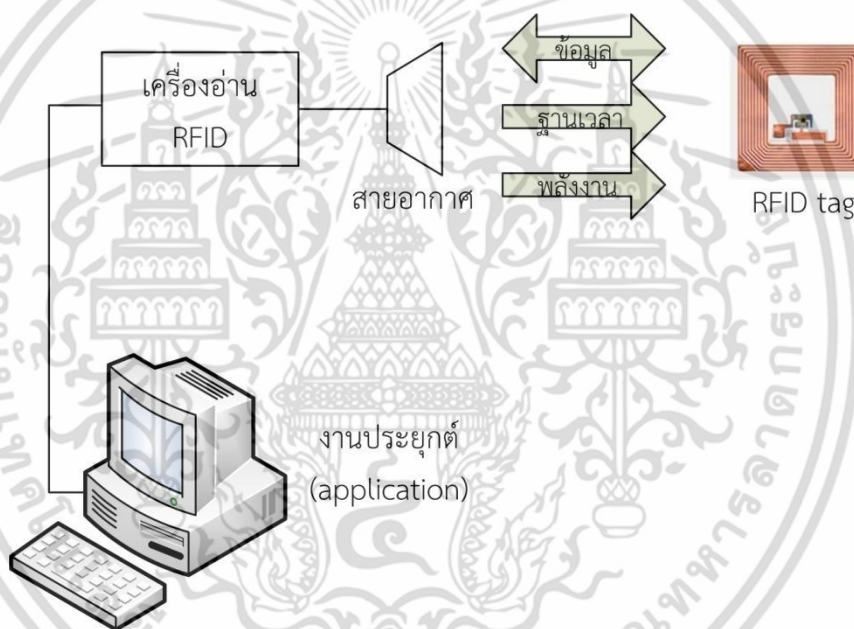
RFID ย่อมาจาก Radio Frequency Identification [1]-[4] เป็นเทคโนโลยีการระบุข้อมูลที่ใช้สำหรับแสดงเอกลักษณ์ของวัตถุหรือบุคคลด้วยคลื่นความถี่วิทยุที่ได้ถูกพัฒนามาในยุค ค.ศ. 1970s ซึ่งอุปกรณ์ที่สร้างขึ้นมาในเวลานั้นทำหน้าที่เป็นเครื่องมือดักจับสัญญาณ ไม่ได้ทำหน้าที่เป็นตัวระบุเอกลักษณ์อย่างในปัจจุบัน วัตถุประสงค์ของเทคโนโลยี RFID คือ นำไปใช้ในการบ่งชี้ข้อมูลของวัตถุในระยะไกล เพื่อตรวจ ติดตาม และบันทึกข้อมูลของวัตถุ พัฒนามาจากระบบบาร์โค้ดซึ่งมีข้อจำกัดเรื่องระยะทางในการอ่านข้อมูล ซึ่งในระบบบาร์โค้ดนั้นการอ่านข้อมูลเครื่องอ่านจะต้องมองเห็นแถบบาร์โค้ดอย่างชัดเจนจึงจะสามารถอ่านข้อมูลได้ และในการอ่านข้อมูลเครื่องอ่านจะอ่านได้เพียงครั้งละแถบเท่านั้นทำให้ต้องใช้เวลาในการทำงานนาน จึงได้พัฒนามาเป็นเทคโนโลยี RFID ซึ่งมีจุดเด่น คือ สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กได้พร้อมกันที่ละหลายๆ แท็กแบบไร้สัมผัส และสามารถอ่านค่าได้แม้ในสภาพที่ทัศนวิสัยไม่ดีหรือไม่จำเป็นต้องมองเห็นแท็กก่อน ทนต่อความเปียกชื้น แร้งสั่นสะเทือน การกระทบกระแทก สามารถจะอ่านเขียนข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูง และข้อมูลที่ได้มีความถูกต้องแม่นยำสูง โดยข้อมูลจะถูกเก็บไว้ในไมโครชิปที่อยู่ในแท็ก ซึ่งจะถูกนำไปฝังไว้หรือติดอยู่กับวัตถุต่างๆ ที่ต้องการระบุข้อมูล

ในปัจจุบันเทคโนโลยี RFID ได้เข้ามามีบทบาทสำคัญต่อการทำธุรกิจ และการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ค่อนข้างมาก เนื่องจากระบบ RFID เป็นระบบที่มีการเก็บข้อมูลในรูปแบบของอิเล็กทรอนิกส์ จึงมีความสามารถในการคำนวณสูง มีการรักษาความปลอดภัยของข้อมูลที่ดี และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาค้นคว้าเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถรับ-ส่งข้อมูลโดยผ่านคลื่นแม่เหล็กหรือคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าแทนการสัมผัสทางกายภาพ ส่งผลให้เกิดความสะดวกสบายต่อผู้ใช้งาน ช่วยลดขั้นตอนในการจัดเก็บ และตรวจสอบข้อมูลย้อนหลังจากเอกสารในรูปแบบเดิมได้ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้หลายรูปแบบ สำหรับประเทศไทยพบว่ามี การนำ RFID ไปประยุกต์ใช้งานในหลายๆ ด้าน ได้แก่ การผลิตในอุตสาหกรรม การประยุกต์ใช้กับ ห่วงโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ การควบคุมการเข้า-ออก การปศุสัตว์ และการเงิน เป็นต้น

## 2.3 ส่วนประกอบของระบบ RFID

โครงสร้างทั่วไปของระบบ RFID ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วน คือ เครื่องอ่าน และแท็กส์ โดยที่เครื่องอ่านจะเชื่อมต่อกับอยู่กับคอมพิวเตอร์เพื่อทำหน้าที่ติดต่อกับฐานข้อมูลสำหรับการใช้งานในแต่ละงานประยุกต์ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 โครงสร้างทั่วไปของระบบ RFID

### 2.3.1 เครื่องอ่านข้อมูล (Reader)

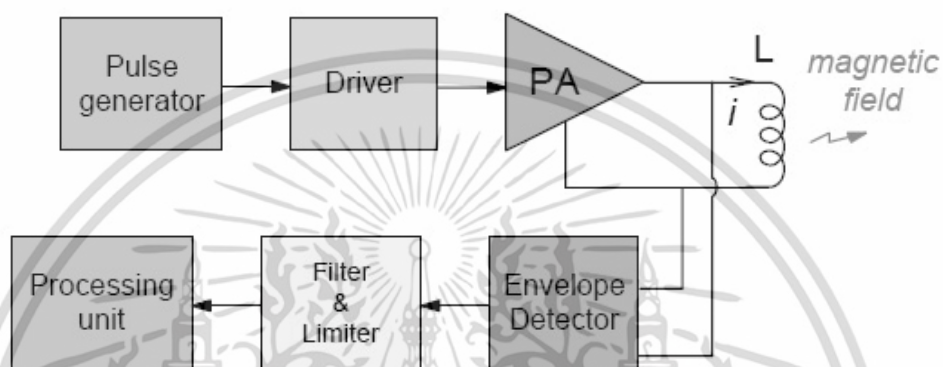
หน้าที่สำคัญของเครื่องอ่านข้อมูล (Reader หรือ Interrogator) คือ การรับข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กส์ แล้วทำการตรวจสอบความผิดพลาดของข้อมูล ถอดรหัสสัญญาณข้อมูลที่ได้รับซึ่งกระทำโดย ไมโครคอนโทรลเลอร์ อัลกอริทึมที่อยู่ในเฟิร์มแวร์ (Firmware) ของตัวไมโครคอนโทรลเลอร์จะทำหน้าที่ในการส่งสัญญาณ ถอดรหัสสัญญาณที่ได้ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์เพื่อนำข้อมูลผ่านเข้าสู่กระบวนการต่อไป โครงสร้างภายในเครื่องอ่านข้อมูลจะประกอบด้วย

- 1) ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)
- 2) ภาคสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- 3) ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
- 4) วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
- 5) หน่วยประมวลผลข้อมูล (Processing Unit)

เครื่องอ่านข้อมูลโดยส่วนมากจะมีขนาด ลักษณะ และรูปร่างแตกต่างกันไปตามแต่ละการประยุกต์ใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก (Hand help) หรือแบบติดตั้ง ไปจนถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น ดังแสดงในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.2 โครงสร้างภายในของเครื่องอ่านข้อมูล



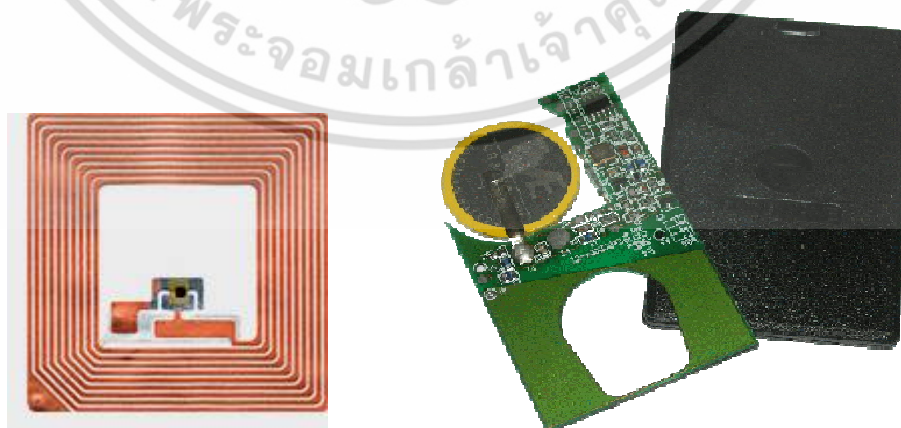
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างเครื่องอ่าน RFID แบบต่างๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นอกจากนี้เครื่องอ่านข้อมูลที่ดีต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำด้วย เช่น กรณีที่แท็กสัญญาณตั้งอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า (Interrogation Zone) ที่ตัวอ่านข้อมูลสร้างขึ้น หรืออยู่ในระยะการรับส่งข้อมูล (สำหรับระบบ RFID ที่ใช้แท็กแบบพาสซีฟ) ก็อาจทำให้ตัวอ่านข้อมูลทำการอ่านข้อมูลซ้ำอยู่อย่างนั้นเรื่อยๆ ไม่มีที่สิ้นสุด

### 2.3.2 แท็กส์ (Tag หรือ Transponder)

แท็กส์หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า ทรานสปอนเดอร์ (Transponder) จะมีหน้าที่ในการส่งสัญญาณ หรือข้อมูลที่บันทึกอยู่ในแท็กส์ตอบสนองไปที่เครื่องอ่านข้อมูล การสื่อสารระหว่างแท็กส์กับเครื่องอ่านข้อมูลจะเป็นการสื่อสารกันโดยอาศัยช่องความถี่วิทยุผ่านอากาศ โครงสร้างภายในแท็กส์ประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ไมโครชิป (Microchip) และสายอากาศ (Antenna) โดยไมโครชิปจะเป็นสารกึ่งตัวนำ ทำหน้าที่ในการเก็บข้อมูลของวัตถุในหน่วยความจำ ซึ่งในหน่วยความจำนี้อาจเป็นแบบอ่านได้อย่างเดียว (ROM) หรือทั้งอ่านและเขียน (RAM) ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความต้องการนำไปใช้งาน โดยปกติหน่วยความจำแบบอ่านได้อย่างเดียวจะเก็บข้อมูลด้านความปลอดภัย เช่น สิทธิในการเข้าออกประตู ส่วนหน่วยความจำแบบทั้งอ่านและเขียนใช้เก็บข้อมูลชั่วคราวระหว่างที่แท็กและเครื่องอ่านทำการติดต่อสื่อสารกัน นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำแบบอีอีพรอม (EEPROM) เพื่อใช้ในการเก็บข้อมูลการสื่อสารระหว่างแท็กส์และเครื่องอ่านทำให้ข้อมูลยังคงอยู่ถึงแม้จะไม่มีพลังงานไฟฟ้าป้อนให้แก่แท็กส์ ส่วนสายอากาศจะเป็นขดลวดขนาดเล็กที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศสำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุ และสร้างพลังงานป้อนให้กับไมโครชิป สายอากาศจะแผ่สัญญาณวิทยุจำนวนหนึ่งออกมาเพื่อกระตุ้นให้แท็กส์อ่านหรือเขียนข้อมูลลงไป สายอากาศสามารถมีได้หลากหลายขนาดและรูปร่างเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุที่จะนำแท็กส์ไปติดตั้ง และเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการรับส่งสัญญาณความถี่วิทยุ ทั้งสองส่วนนี้จะเชื่อมต่ออยู่ด้วยกัน ซึ่งเราสามารถแบ่งชนิดของแท็กส์ตามแหล่งจ่ายพลังงานของแท็กส์ออกเป็น 3 ชนิด คือ



(ก) HF passive tag

(ข) UHF active tag

### รูปที่ 2.4 ตัวอย่างแท็กส์ RFID ที่แบ่งตามชนิดของแหล่งจ่ายพลังงาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.3.2.1 แท็กชนิดพาสซีฟ (passive tag)

แท็กชนิดนี้จะไม่มีการกำเนิดพลังงานบรรจุไว้ภายในแท็ก จะอาศัยการแปลงสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งออกมาจากเครื่องอ่านให้เป็นพลังงานไฟฟ้าหล่อเลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในแท็ก RFID เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน ดังรูปที่ 2.4 (ก) ซึ่งแท็กชนิดพาสซีฟนี้จะทำงานก็ต่อเมื่ออยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่านเท่านั้น เนื่องจากไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานภายในตัวเอง ซึ่งทำให้แท็กชนิดพาสซีฟมีน้ำหนักเบา ขนาดเล็ก ราคาถูก และมีอายุการใช้งานไม่จำกัด แต่มีข้อเสีย คือ ระยะการรับส่งข้อมูลใกล้ มีหน่วยความจำขนาดเล็ก เครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวและกำลังที่สูง นอกจากนี้แท็กชนิดพาสซีฟมักจะมีปัญหาเมื่อนำไปใช้งานในสิ่งแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงอีกด้วย เนื่องจากแท็กมีกำลังในการส่งสัญญาณต่ำทำให้เกิดการรบกวนจากคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้ง่าย แต่ข้อได้เปรียบในเรื่องราคาต่อหน่วย และอายุการใช้งานที่ยาวนานกว่าทำให้แท็กชนิดนี้เป็นที่นิยม ไอซีของแท็กชนิดพาสซีฟที่มีการผลิตออกมาจะมีทั้งขนาดและรูปร่างที่หลากหลายแตกต่างกันออกไปตามความเหมาะสมในการประยุกต์ใช้งาน แท็กแบบพาสซีฟสามารถนำมาใช้ในย่านความถี่ LF, HF และ UHF ได้ โดยมีระยะการทำงานตั้งแต่ 2 มิลลิเมตร จนถึง 5 เมตร

### 2.3.2.2 แท็กชนิดกึ่งพาสซีฟ (semi-passive tag)

แท็กชนิดนี้ออกแบบมาให้มีลักษณะร่วมกันทั้งสองแบบ คือ แท็กชนิดพาสซีฟและแท็กชนิดแอคทีฟ โดยมีแหล่งกำเนิดพลังงานภายในแท็ก (เช่น แบตเตอรี่) และมีหน่วยความจำขนาดใหญ่เหมือนกับแท็กชนิดแอคทีฟ แต่จะอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในการส่งข้อมูลกลับไปหาเครื่องอ่านเหมือนกับแท็กชนิดพาสซีฟ ใช้กำลังไฟฟ้าจากแบตเตอรี่ในการหล่อเลี้ยงวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในแท็กเท่านั้น และไม่ทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน จะเริ่มต้นการทำงานเมื่อได้รับสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเท่านั้น การที่แท็กชนิดกึ่งพาสซีฟมีแบตเตอรี่อยู่ภายในจึงทำให้แท็กมีขนาดใหญ่และมีลักษณะเหมือนกับแท็กชนิดแอคทีฟ คือ มีระยะการทำงานที่ไกล มีหน่วยความจำที่มาก และจะมีอายุการใช้งานจำกัดขึ้นอยู่กับชนิดของแบตเตอรี่

### 2.3.2.3 แท็กชนิดแอคทีฟ (active tag)

แท็กชนิดนี้มีแหล่งกำเนิดพลังงานหรือแบตเตอรี่ภายในแท็ก ดังรูปที่ 2.4 (ข) แท็กชนิดแอคทีฟมีอายุการใช้งานจำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ เมื่อแบตเตอรี่หมดก็ต้องนำแท็กไปทิ้ง ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ เนื่องจากจะมีการซีล (seal) ที่ตัวแท็กจึงไม่สามารถเปลี่ยนแบตเตอรี่ได้ อย่างไรก็ตามถ้าสามารถออกแบบวงจรของแท็กให้กินกระแสไฟน้อยๆ ก็อาจจะมีอายุการใช้งานนานนับสิบปี แท็กชนิดแอคทีฟจะมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 8 เมกะไบต์ มีกำลังส่งสูงและระยะการรับส่งข้อมูลไกล เนื่องจากใช้พลังงานไฟฟ้าที่อยู่ภายในแท็กเองในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน นอกจากนี้ยังทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดี ในทางปฏิบัติแท็กแบบเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แอดทีฟนิยมนำมาใช้งานในย่านความถี่ UHF และไมโครเวฟ เช่น 455 MHz, 2.45 GHz และ 5.8 GHz ซึ่งมีระยะการทำงานตั้งแต่ 20 เมตรจนถึง 100 เมตร แท็กส์ชนิดแอดทีฟจะเริ่มต้นทำงานเมื่อได้รับสัญญาณรบกวนจากเครื่องอ่านเท่านั้น ในช่วงที่ไม่มีการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านแท็กส์จะอยู่ในสภาวะหลับ (sleep) ดังนั้นวิธีนี้จึงช่วยยืดอายุการใช้งานของแท็กส์ให้ยาวนานขึ้น โดยแท็กส์ชนิดแอดทีฟจะนิยมใช้งานในระบบเก็บเงินทางด่วน (toll collection system) และระบบควบคุมจุดตรวจ (checkpoint control system) มีแท็กส์ชนิดแอดทีฟอีกแบบหนึ่งเรียกว่า “Beacon” แท็กส์แบบนี้จะสามารถทำหน้าที่เป็นตัวเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านได้ โดยจะส่งสัญญาณไปยังเครื่องอ่านเฉพาะในช่วงเวลาที่กำหนด มักนิยมใช้งานในระบบหาตำแหน่งแบบเวลาจริง (RTLS: real-time locating system)

ตารางที่ 2.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กส์ RFID แบบต่างๆ

คุณสมบัติของแท็กส์	ประเภทของแท็กส์		
	แบบพาสซีฟ	แบบกึ่งพาสซีฟ	แบบแอดทีฟ
แหล่งพลังงาน	ไม่มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง แต่จะอาศัยพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่าน	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)	มีแหล่งกำเนิดพลังงานในตัวเอง (แบตเตอรี่)
การติดต่อสื่อสาร	เครื่องอ่านจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร	เครื่องอ่านจะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร	เครื่องอ่านหรือแท็กส์จะกำหนดการเริ่มต้นการสื่อสาร
ขนาด	เล็ก	กลาง	ใหญ่
ระยะการอ่าน	สั้น (2 mm ถึงหลายเมตร)	ปานกลาง (ไกลถึง 100 เมตร)	ไกล (ไกลถึง 1 กิโลเมตร)
การออกแบบหน่วยความจำ	แบบอ่านอย่างเดียว (RO: read only), แบบเขียนหนึ่งครั้งและอ่านได้หลายครั้ง (WORM: write once/read many) หรือแบบอ่านและเขียน (RW: read/write)		
ขนาดหน่วยความจำ	1 – 128 บิต (บางแท็กส์อาจสูงถึง 64 KB)	--	สูงถึง 8 เมกะไบต์ (MB)
ราคา	ไม่แพง	ปานกลาง	แพง

## 2.4 การจำแนกประเภทของระบบ RFID ตามชนิดของแท็กส์

โดยทั่วไประบบ RFID สามารถจำแนกตามชนิดของแท็กส์ได้ 2 ประเภท คือ ระบบ active RFID และระบบ passive RFID ซึ่งมีความแตกต่างกันทางด้านเทคนิคและรูปแบบการทำงาน ผู้ใช้งานจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจเพื่อให้สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม เอกสารนี้เป็นเอกสารทรัพย์สินทางปัญญาของบริษัทฯ ซึ่งจัดทำขึ้นเพื่อการศึกษาเท่านั้น ขอสงวนสิทธิ์ในข้อมูลและข้อมูลอื่นที่เกี่ยวข้องกับการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 2.4.1 ระบบ passive RFID

ในระบบ passive RFID จะใช้แท็กชนิดพาสซีฟ แท็กชนิดนี้จะไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานภายในตัวเอง จะอาศัยพลังงานไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านในการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน และจ่ายไฟฟ้าให้กับวงจรภายในแท็ก จึงทำให้แท็กส่งข้อมูลได้ในระยะใกล้และมีกำลังส่งต่ำ ทำให้เกิดการรบกวนจากสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้าอื่นๆ ที่อยู่ใต้อุปกรณ์ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นเครื่องอ่านข้อมูลจะต้องมีความไวในการรับสัญญาณสูง และมีกำลังในการส่งสัญญาณสูงเช่นกัน เพื่อให้สามารถครอบคลุมพื้นที่การอ่านได้กว้างและสัญญาณมีความแรงพอให้วงจรภายในแท็กทำงาน ในระบบ passive RFID แท็กจะเริ่มทำงานทันทีเมื่อแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน แท็กชนิดพาสซีฟนั้นจะไม่สามารถจัดจำสถานะใดๆ ได้ ทำได้เพียงตอบสนองต่อเครื่องอ่านเท่านั้น ในกรณีที่แท็กจำนวนมากอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน และทำการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกันจะเกิดการแย่งชิงช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล เมื่อแท็กส่งข้อมูลไปในช่องสัญญาณเดียวกันจะเกิดการชนกันของข้อมูล ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถอ่านข้อมูลที่ถูส่งมาจากแท็กได้ ซึ่งแท็กชนิดพาสซีฟจะทำการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านตลอดเวลาที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน ทำให้ระบบ passive RFID มีการชนกันของข้อมูลมากกว่าระบบ active RFID และในกรณีที่แท็กชนิดนี้ไว้ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน จะทำให้แท็กมีการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านอยู่ตลอดเวลา ซึ่งเครื่องอ่านจะต้องมีความสามารถในการป้องกันการอ่านข้อมูลซ้ำด้วย

การทำงานของระบบ passive RFID โดยเบื้องต้นแล้ว เครื่องอ่านข้อมูลจะปล่อยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าออกมาตลอดเวลาและคอยตรวจจับว่ามีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าหรือไม่ เมื่อมีแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กจะได้รับพลังงานไฟฟ้าที่เกิดจากการเหนี่ยวนำของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าเพื่อให้แท็กเริ่มทำงาน และแท็กแต่ละตัวจะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็ก คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็ก เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต จากนั้นเครื่องอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูล แล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป

### 2.4.2 ระบบ active RFID

ในระบบ active RFID จะใช้แท็กชนิดแอคทีฟที่มีแหล่งจ่ายพลังงานอยู่ภายในแท็ก ซึ่งแท็กชนิดนี้จะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่อยู่ภายในแท็กในการหล่อเลี้ยงวงจรภายในและใช้ในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน จึงทำให้ส่งข้อมูลได้ในระยะไกลและสัญญาณมีความแรง ทำให้ระบบ active RFID สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนสูงได้ดี และเครื่องอ่านข้อมูลเพียงเครื่องเดียวก็สามารถครอบคลุมพื้นที่การอ่านได้ทั้งหมด ทำให้ระบบ active RFID มีความสามารถเหนือกว่าระบบ passive RFID คือ มีระยะการทำงานที่ไกลกว่า เครื่อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

อ่านสามารถครอบคลุมพื้นที่ได้กว้างกว่า มีหน่วยความจำที่มากกว่า และสามารถทำงานในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีกว่า นอกจากนี้ยังสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กส์จำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีความถูกต้องแม่นยำอีกด้วย เนื่องจากแท็กส์ชนิดแอคทีฟจะสามารถจดจำสถานะการส่งข้อมูลได้ คือ ถ้าแท็กส์ตัวใดที่ส่งข้อมูลสำเร็จแล้วจะหยุดส่งข้อมูล เพื่อเป็นป้องกันการส่งข้อมูลซ้ำและเป็นการลดการแย่งชิงช่องสัญญาณในการส่งข้อมูล ซึ่งเป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ในระบบ active RFID ในช่วงที่แท็กส์ไม่มีการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่านแท็กส์จะอยู่ในสภาวะหลับ (เป็นวิธีการช่วยยืดอายุการใช้งานของแท็กส์) โดยแท็กส์จะเริ่มต้นทำงานเมื่อได้รับสัญญาณกระตุ้นจากเครื่องอ่านเท่านั้น

การทำงานของระบบ active RFID โดยเบื้องต้นแล้ว เมื่อแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน เครื่องอ่านจะส่งสัญญาณไปปลุก (wake up) เพื่อให้แท็กส์อยู่ในสภาวะที่พร้อมจะทำงาน เนื่องจากแท็กส์ชนิดแอคทีฟจะอยู่ในสภาวะหลับ (sleep mode) เมื่อไม่มีการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน เมื่อแท็กส์ได้รับสัญญาณการร้องขอให้ส่งข้อมูลจากเครื่องอ่าน แท็กส์ก็จะส่งข้อมูลในหน่วยความจำที่ผ่านการมอดูเลตกับคลื่นพาหะออกมาทางสายอากาศที่อยู่ภายในแท็กส์ คลื่นพาหะที่ถูกส่งออกมาจากแท็กส์ เกิดการเปลี่ยนแปลงแอมพลิจูดความถี่ หรือเฟส ขึ้นอยู่กับวิธีการมอดูเลต จากนั้นเครื่องอ่านข้อมูลจะตรวจจับความเปลี่ยนแปลงของคลื่นพาหะแปลงออกมาเป็นข้อมูล แล้วทำการถอดรหัสเพื่อนำข้อมูลไปใช้งานต่อไป และเครื่องอ่านจะส่งสัญญาณคำสั่งให้แท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จแล้วอยู่ในสภาวะหลับ คือ หยุดส่งข้อมูลตอบสนองจนกว่าจะได้รับการปลุกจากเครื่องอ่านอีกครั้ง ซึ่งจะช่วยลดการแย่งชิงช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลในกรณีที่มีแท็กส์จำนวนมากอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน

## 2.5 คุณสมบัติของอุปกรณ์ RFID

เนื่องจากเทคโนโลยี RFID สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับการระบุเอกลักษณ์ได้หลายรูปแบบมาก ซึ่งความหลากหลายในการประยุกต์ใช้งานนี้เองจึงทำให้อุปกรณ์ RFID ที่มีการผลิตออกจำหน่ายในท้องตลาดมีความแตกต่างกันตามลักษณะในการใช้งาน ดังนั้นในการตัดสินใจเลือกใช้ อุปกรณ์ RFID ให้เหมาะสมกับความต้องการใช้งาน ผู้ใช้งานจำเป็นต้องศึกษาความแตกต่างทั้งทางด้านเทคนิคและคุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID เพื่อให้สามารถตัดสินใจนำอุปกรณ์มาใช้งานได้ตรงตามวัตถุประสงค์และทำให้ระบบมีประสิทธิภาพมากที่สุด ในส่วนนี้จึงกล่าวถึงคุณลักษณะของอุปกรณ์ RFID ที่สำคัญดังต่อไปนี้

### 2.5.1 ลักษณะการติดต่อสื่อสาร

อุปกรณ์ RFID ทั้งหมดที่มีจำหน่ายในท้องตลาดจะมีลักษณะการติดต่อสื่อสารอยู่ 2 แบบ คือ แบบการสื่อสารสองทางเต็มอัตรา (FDX: full duplex) หรือแบบการสื่อสารสองทางครึ่งอัตรา

(HDX: half duplex) และแบบการสื่อสารเป็นลำดับ (SEQ: sequential) ซึ่งทั้งสองแบบมีหลักการ ทำงานแตกต่างกันดังต่อไปนี้

1) การรับส่งข้อมูลแบบ FDX/HDX เครื่องอ่านจะส่งพลังงานไฟฟ้าผ่านทาง คลื่นความถี่วิทยุไปจ่ายให้กับแท็กส์ต่างๆ ที่อยู่บริเวณการใช้งาน จากนั้นแท็กส์ก็จะทำการ ตอบสนองโดยการส่งสัญญาณกลับไปให้เครื่องอ่าน โดยทั่วไปกำลังส่งสัญญาณของแท็กส์มีค่าต่ำ (เมื่อ เทียบกับกำลังของสัญญาณที่ส่งมาจากเครื่องอ่าน) จึงอาจทำให้สัญญาณส่งไปไม่ถึงเครื่องอ่าน หรือ ส่งไปถึงแต่ก็จะมีสัญญาณรบกวนอยู่มาก ดังนั้นจึงต้องมีกระบวนการส่งสัญญาณที่ทำให้เกิดความ แตกต่างระหว่างสัญญาณของแท็กส์กับสัญญาณของเครื่องอ่าน ในทางปฏิบัติการมอดูเลชันแบบโหลด (load modulation) จะถูกนำไปใช้ในการส่งข้อมูลจากแท็กส์ไปยังเครื่องอ่าน

2) การรับส่งข้อมูลแบบ SEQ เครื่องอ่านจะทำการหยุดส่งสัญญาณคลื่น ความถี่วิทยุไปยังแท็กส์เป็นระยะๆ อย่างสม่ำเสมอโดยในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านไม่ได้ส่งสัญญาณออกไป แท็กส์ก็จะทำการส่งสัญญาณกลับมายังเครื่องอ่านซึ่งถือว่าเป็นการสร้างฐานเวลา (timing) สำหรับใช้อ้างอิงภายในระบบสื่อสาร อย่างไรก็ตามการรับส่งข้อมูลแบบนี้มีข้อจำกัดอยู่ที่การจ่ายพลังงานให้กับ แท็กส์ เนื่องจากในช่วงเวลาที่เครื่องอ่านหยุดส่งสัญญาณนั้น แท็กส์ทั้งหมดจะไม่ได้รับพลังงานไฟฟ้าที่ ส่งมาจากเครื่องอ่าน ดังนั้นโดยทั่วไปแท็กส์ที่ใช้ในการรับส่งข้อมูลแบบ SEQ จะมีการติดตั้งอุปกรณ์ เก็บประจุหรือแบตเตอรี่ขนาดเล็กไว้ภายในแท็กส์เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน

### 2.5.2 ความจุข้อมูล

โดยทั่วไปแท็กส์จะมีขนาดของหน่วยความจำ หรือที่เรียกกันว่า “ความจุข้อมูล (data capacity)” ตั้งแต่ไม่กี่ไบต์ (byte) จนถึงหลายกิโลไบต์ (KB) นอกจากนี้ยังมีแท็กส์อีกแบบหนึ่งที่ถูก ออกแบบให้มีความจุข้อมูลเพียง 1 บิต (1-bit transponder) ซึ่งมีราคาถูกและสามารถเก็บข้อมูลได้ เพียงสองสถานะเท่านั้น (เช่น มีหรือไม่มี) ดังนั้นแท็กส์แบบหนึ่งบิตจึงนิยมใช้ในระบบ EAS (electronic article surveillance) เพื่อป้องกันสินค้าภายในร้าน ตัวอย่างเช่น แท็กส์แบบหนึ่งบิตจะ ติดอยู่กับสินค้าในร้านค้า โดยสถานะของข้อมูลในแท็กส์แต่ละชิ้นที่ยังไม่ได้มีการขายอาจจะถูก กำหนดให้เป็นค่า “1” และจะถูกเปลี่ยนให้เป็นค่า “0” เมื่อสินค้าชิ้นนั้นได้มีการชำระเงินแล้ว ดังนั้น ในกรณีที่มีผู้หยิบสินค้าที่ติดแท็กส์นี้ออกจากร้านโดยไม่ได้มีการจ่ายเงิน เครื่องอ่านที่ได้รับการติดตั้ง ณ ทางเข้าออกของร้านค้าก็จะตรวจพบว่ามีแท็กส์อยู่ในรัศมีทำการและจะส่งสัญญาณไปยังระบบ เตือนภัยทันที

### 2.5.3 ความสามารถในการโปรแกรม

สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 แบบ คือ แท็กส์ที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ โดยข้อมูลต่างๆ ที่อยู่ ภายในแท็กส์นี้ (เช่น หมายเลขรหัส) จะถูกบันทึกมาตั้งแต่การผลิต ซึ่งไม่สามารถเปลี่ยนแปลงแก้ไข ข้อมูลเหล่านี้ได้ระหว่างการใช้งาน และแท็กส์ที่สามารถทำการโปรแกรมข้อมูลผ่านทางเครื่องอ่านได้

ซึ่งสามารถแบ่งออกได้เป็น 3 แบบ ตามเทคโนโลยีหน่วยความจำดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) **หน่วยความจำแบบ EEPROM** (electrically erasable programmable read-only memory) เป็นชนิดที่นิยมใช้มากที่สุด แต่มีข้อเสีย คือ ใช้พลังงานไฟฟ้าสูงในการบันทึกข้อมูลและสามารถบันทึกข้อมูลได้เพียง 100,000 – 1,000,000 ครั้งเท่านั้น

2) **หน่วยความจำแบบ FRAM** (ferromagnetic random access memory) ใช้พลังงานไฟฟ้าในการบันทึกข้อมูลต่ำกว่าแบบ EEPROM ประมาณ 100 เท่า แต่มีอายุการใช้งานในการบันทึกข้อมูลใหม่ต่ำกว่า 1,000 เท่า นอกจากนี้การผลิตแท็กส์แบบนี้มีความยุ่งยาก จึงมีผลให้แท็กส์นี้ไม่ได้รับความนิยมในการใช้งานเหมือนแบบอื่นๆ

3) **หน่วยความจำแบบ SRAM** (static random access memory) นิยมใช้ในการเก็บข้อมูล เนื่องจากมีความรวดเร็วในการบันทึกข้อมูล อย่างไรก็ตามหน่วยความจำแบบนี้ต้องการกระแสไฟฟ้าเลี้ยงอยู่ตลอดเวลาเพื่อรักษาข้อมูลให้คงอยู่ในหน่วยความจำ ดังนั้นแท็กส์ที่ใช้หน่วยความจำแบบนี้จะต้องมีแบตเตอรี่สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับหน่วยความจำ จึงมีผลทำให้แท็กส์นี้มีขนาดค่อนข้างใหญ่ เพราะฉะนั้นแท็กส์แบบนี้มันจะนำไปใช้ในงานเฉพาะด้านเท่านั้น

#### 2.5.4 การจัดการลำดับคำสั่ง

ในกรณีของแท็กส์ที่สามารถโปรแกรมได้นั้นยังสามารถจำแนกออกได้เป็น 2 แบบตามเทคนิคที่ใช้ในการจัดการลำดับคำสั่งสำหรับการประมวลผลข้อมูลดังนี้

1) **การประมวลผลแบบกำหนดเงื่อนไขตายตัว** (state machine) เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปที่ถูกบันทึกลงในชิปประมวลผลของแท็กส์ ตั้งแต่อยู่ในโรงงานผลิตจึงทำให้ใช้งานได้เฉพาะด้านเท่านั้นเนื่องจากไม่สามารถทำการแก้ไขโปรแกรมภายในชิปของแท็กส์ได้

2) **การประมวลผลแบบไมโครโพรเซสเซอร์** (microprocessor) ผู้ใช้งานสามารถเขียนและแก้ไขโปรแกรมให้ทำงานตามที่ต้องการได้ โดยภายในชิปไมโครโพรเซสเซอร์จะมีการติดตั้งระบบปฏิบัติการและโปรแกรมพื้นฐานสำหรับใช้ในงานประยุกต์ต่างๆ ตั้งแต่อยู่ในโรงงานผลิต

#### 2.5.5 ความถี่ใช้งาน

ความถี่ใช้งาน (operating frequency) ถือเป็นคุณสมบัติสำคัญอีกประการหนึ่งในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ทั้งระบบ ซึ่งหมายถึงคลื่นความถี่วิทยุที่เครื่องอ่านทำการส่งออกไปเท่านั้น โดยไม่สนใจว่าแท็กส์จะส่งคลื่นความถี่ในย่านใดตอบกลับมา ในบางกรณีแท็กส์อาจส่งคลื่นความถี่เดิมกลับไปหาเครื่องอ่านก็ได้โดยอาศัยเทคนิคการมอดูเลชันแบบโพลดในการแยกแยะความแตกต่างระหว่างสัญญาณที่รับและสัญญาณที่ส่ง โดยทั่วไปความถี่ใช้งานของอุปกรณ์ RFID สามารถแบ่งออกเป็น 4 ย่านความถี่ตามตารางที่ 2.2 สำหรับแท็กส์แบบแอคทีฟสามารถทำงานได้ระยะไกลถึง 100 เมตร ซึ่งโดยทั่วไปนิยมใช้งานในขนาดใหญ่ เช่น ตู้บรรจุสินค้า และรถยนต์ โดยใช้ความถี่ 455 MHz, 2.45 GHz หรือ 5.8 GHz และมีระยะการทำงานตั้งแต่ 20 เมตรถึง 100 เมตร เป็นต้น จากตารางที่ 2.2 แสดงให้เห็นว่าระยะการทำงานของแท็กส์จะเพิ่มขึ้นเมื่อความถี่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามใน

การใช้งานจริงระยะการทำงานของแท็กส์ยังขึ้นอยู่กับปัจจัยอื่นๆ อีก ได้แก่ พลังงานที่ส่งออกมาจากเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องอ่าน ขนาดของสายอากาศ ตำแหน่งของเครื่องอ่านและแท็กส์ เทคนิคในการรับส่งข้อมูล และ ประเภทของแท็กส์ เป็นต้น

ตารางที่ 2.2 ย่านความถี่ที่ใช้งานในระบบ RFID

ย่านความถี่	ช่วงความถี่	ระยะการทำงานของแท็กส์
ความถี่ต่ำ (LF: low frequency)	125-134 KHz	น้อยกว่า 1 เมตร (10 เซนติเมตร)
ความถี่สูง (HF: high frequency)	12.553-13.567 MHz	น้อยกว่า 1.5 เมตร (~1 เมตร)
ความถี่สูงยิ่ง (UHF: ultra high frequency)	400-1000 MHz	1-5 เมตร (Passive) 20-100 เมตร (Active)
ความถี่ไมโครเวฟ (microwave)	2.45 GHz, 5.8 GHz	น้อยกว่า 1 เมตร (Passive) 20-100 เมตร (Active)

### 2.5.6 ประเภทของแท็กส์ RFID

แท็กส์จะติดอยู่กับสินค้าที่ต้องการระบุตัวตน โดยภายในแท็กส์จะเก็บข้อมูลเกี่ยวกับสินค้านั้น เช่น ชื่อของสินค้า และหมายเลขรหัสของสินค้า (ID number) เป็นต้น ในทางปฏิบัติหมายเลขรหัสของสินค้าเรียกว่า รหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ (EPC: electronic product code) ซึ่งแท็กส์ที่เก็บข้อมูล EPC นี้เรียกว่าแท็กส์ EPC (EPC tag) โดยทั่วไปความซับซ้อนของแท็กส์จะขึ้นอยู่กับฟังก์ชันการทำงานที่มีอยู่ในแท็กส์ ซึ่งถ้าแท็กส์มีฟังก์ชันการทำงานมากเท่าใด ก็จะมีราคาแพงมากขึ้นเท่านั้น เพราะต้องใช้ตัวประมวลผลที่ซับซ้อน ดังนั้นทางศูนย์ Auto-ID ของสถาบันเทคโนโลยีแมสซาชูเซตส์จึงได้เสนอจัดระดับความซับซ้อนของแท็กส์ EPC ออกเป็น 6 ระดับชั้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

1) **แท็กส์ระดับชั้น 0 (class 0 tag)** คือ แท็กส์แบบพาสซีฟที่ไม่มีความซับซ้อนและสามารถอ่านข้อมูลได้เพียงอย่างเดียว โดยที่หมายเลขรหัส EPC จะถูกบันทึกเข้าไปในแท็กส์ในระหว่างขั้นตอนการผลิต ดังนั้นผู้ใช้งานไม่สามารถเปลี่ยนแปลงหมายเลขรหัส EPC นี้ได้ แท็กส์ระดับชั้น 0 มีราคาถูกและการใช้งานก็จะจำกัดเพียงแค่การระบุตัวตนของสิ่งของเท่านั้น

2) **แท็กส์ระดับชั้น 1 (class 1 tag)** คือ แท็กส์แบบพาสซีฟที่ไม่มีความซับซ้อน สามารถอ่านข้อมูลได้หลายครั้งแต่เขียนข้อมูลได้เพียงหนึ่งครั้ง และมีลักษณะการทำงานแบบการกระจายย้อนกลับ (backscattering) โดยหลังจากขั้นตอนการผลิตแท็กส์นี้จะไม่มีข้อมูลใดๆ บรรจุในหน่วย ความจำ อย่างไรก็ตามผู้ผลิตสามารถเขียนข้อมูลเข้าไปในแท็กส์นี้ได้ก่อนการขนส่ง หรือจะให้ผู้ใช้งานเขียนข้อมูลเข้าไปในแท็กส์ด้วยตัวเองก็ได้

3) **แท็กส์ระดับชั้น 2 (class 2 tag)** เป็นแท็กส์แบบพาสซีฟที่ทำงานแบบการกระจายย้อนกลับเช่นเดียวกับแท็กส์ระดับชั้น 1 เพียงแต่มีหน่วยความจำมากกว่า และมากพอที่จะนำมาบันทึกข้อมูล (log data) นอกเหนือไปจากการเก็บหมายเลขรหัส ID ในทางปฏิบัติแท็กส์ระดับชั้น 1 และ 2 เป็นที่นิยมใช้งานในหลายๆ งานประยุกต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.3 เปรียบเทียบคุณสมบัติของแท็กส์ระดับต่างๆ

คุณสมบัติของแท็กส์				
ระดับชั้น	ประเภท	หน่วยความจำ	การติดต่อสื่อสาร	หมายเหตุ
ระดับ 0	พาสซีฟ	อ่านได้อย่างเดียว	ไม่สามารถเริ่มต้นการสื่อสาร	หมายเลขรหัส EPC ถูกกำหนดตั้งแต่การผลิต
ระดับ 0+	พาสซีฟ	อ่านได้อย่างเดียว (เขียนได้ 1 ครั้ง)	ไม่สามารถเริ่มต้นการสื่อสาร	-
ระดับ 1	พาสซีฟ	อ่านได้หลายครั้ง และเขียนได้ 1 ครั้ง	ไม่สามารถเริ่มต้นการสื่อสาร	หมายเลขรหัส EPC สามารถกำหนดหลังการผลิตได้
ระดับ 2	พาสซีฟ	อ่านได้หลายครั้ง และเขียนได้ 1 ครั้ง	ไม่สามารถเริ่มต้นการสื่อสาร	มีการเข้ารหัสลับ (encryption)
ระดับ 3	กึ่งพาสซีฟ	อ่านและเขียน (ได้หลายครั้ง)	ไม่สามารถเริ่มต้นการสื่อสาร	ความสามารถเหมือนชั้น 2 มีวงจรเซ็นเซอร์ภายใน
ระดับ 4	แอคทีฟ	อ่านและเขียน (ได้หลายครั้ง)	สามารถเริ่มต้นการสื่อสารและติดต่อสื่อสารกับแท็กส์อื่นได้	ความสามารถเหมือนชั้น 3 เพิ่มความสามารถอื่นได้
ระดับ 5	แอคทีฟ	อ่านและเขียน (ได้หลายครั้ง)	สามารถเริ่มต้นการสื่อสารและติดต่อสื่อสารกับแท็กส์อื่นได้	ความสามารถเหมือนชั้น 4 เพิ่มความสามารถอื่นได้

4) แท็กส์ระดับชั้น 3 (class 3 tag) เป็นแท็กส์แบบกึ่งพาสซีฟ (semi-passive) ที่ทำงานแบบการกระจายย้อนกลับ โดยจะมีวงจรเซ็นเซอร์บรรจุอยู่ภายในแท็กส์ด้วย มีแหล่งกำเนิดพลังงานภายในแท็กส์แต่ไม่สามารถเริ่มต้นติดต่อสื่อสารได้ มีหน่วยความจำแบบที่สามารถอ่านและเขียนได้ โดยมีขนาดหน่วยความจำสูงถึง 65 กิโลไบต์ นอกจากนี้ยังมีวงจรเซ็นเซอร์บรรจุอยู่ภายในแท็กส์เพื่อทำหน้าที่เก็บข้อมูลต่างๆ เช่น อุณหภูมิ ความดัน การเคลื่อนที่ เป็นต้น โดยอาศัยแหล่งกำเนิดพลังงานของตนเอง ดังนั้นแท็กส์ระดับชั้น 3 จึงนิยมนำมาใช้งานประยุกต์ห่วงโซ่อุปทาน (supply chain) เช่น นำแท็กส์ไปติดกับตู้สินค้า (container) หรือพาเลต (pallet) เพื่อเก็บข้อมูลประวัติการใช้งาน เป็นต้น

5) แท็กส์ระดับชั้น 4 (class 4 tag) เป็นแท็กส์แบบแอคทีฟและมีวงจรภาคส่งอยู่ภายในแท็กส์เพื่อทำหน้าที่ส่งสัญญาณไปให้เครื่องอ่าน มีแหล่งกำเนิดพลังงานภายในแท็กส์ และเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ประโยชน์เท่านั้น เมื่อผู้ดูแลเห็นไปใช้ประโยชน์โดยไม่ได้รับอนุญาต ไม่สามารถแก้ไข หรือเปลี่ยนแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สามารถเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารได้ มีหน่วยความจำแบบที่สามารถอ่านและเขียนซ้ำได้ สามารถติดต่อสื่อสารกับแท็กส์อื่นๆ ได้ จึงมีความสามารถในการทำเครือข่ายแบบ Ad hoc ได้

6) **แท็กส์ระดับชั้น 5 (class 5 tag)** เป็นแท็กส์แบบแอคทีฟที่มีความสามารถในการติดต่อสื่อสารกับแท็กส์อื่นๆ หรืออุปกรณ์ต่างๆ โดยทั่วไปแท็กส์ระดับชั้น 5 มีความสามารถเหมือนกับแท็กส์ระดับชั้น 4 ยกเว้นแท็กส์ระดับชั้น 5 มีความสามารถในการเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารกับแท็กส์ทุกระดับชั้น ดังนั้นในบางครั้งจึงเรียกแท็กส์ระดับชั้น 5 นี้ว่าแท็กส์เครื่องอ่าน (reader tag) เนื่องจากสามารถทำหน้าที่ของเครื่องอ่านได้

### 2.5.7 ตัวอย่างรูปแบบของแท็กส์ RFID

แท็กส์ที่ใช้งานในปัจจุบันมีหลายรูปแบบตามภาพที่ 2.5 และ 2.6 ซึ่งสามารถจำแนกได้ตามความแตกต่างของโครงสร้าง การออกแบบ และลักษณะการประยุกต์ใช้งาน ดังต่อไปนี้

1) **แบบจานและเหรียญ** แท็กส์จะถูกบรรจุอยู่ในวัสดุกลมคล้ายจานหรือเหรียญและเคลือบสารป้องกันไว้เป็นอย่างดี โดยทั่วไปแท็กส์แบบนี้จะพบเห็นกันมากที่สุดโดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ไม่กี่มิลลิเมตร ไปจนถึง 10 เซนติเมตร และมีการเจาะรูตรงกึ่งกลางของจานเพื่อใช้สำหรับการขันน็อตหรือสกรูในกรณีที่ต้องการยึดติดกับอุปกรณ์อื่นๆ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ก) สำหรับวัสดุที่ใช้ในการเคลือบผิวนั้นจะใช้สารจำพวก Polystyrol หรือ Epoxy resin เพื่อให้แท็กส์สามารถทำงานได้ในย่านอุณหภูมิที่กว้าง

2) **แบบพลาสติก** ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้งานทางด้านอุตสาหกรรม เพราะว่าแท็กส์แบบนี้มีขนาดบางและสามารถนำไปติดตั้งกับผลิตภัณฑ์ต่างๆ ได้ง่าย ตัวอย่างเช่น การนำแท็กส์แบบนี้ไปฝังอยู่กับวงกุกุญแจรถยนต์ในรูปของกุญแจอัจฉริยะสำหรับระบบ electronic immobilization ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (ข) นอกจากนี้แท็กส์แบบพลาสติกยังสามารถรองรับไมโครชิปขนาดใหญ่ได้ (ซึ่งหมายถึงความสามารถในการประมวลผลที่สูงกว่า) มีความทนทานต่อการสั่นสะเทือนและการกระแทก และทนต่อการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิในระดับสูง ดังนั้นจึงทำให้แท็กส์แบบพลาสติกมีความเหมาะสมกับการใช้งานในอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมรถยนต์ เป็นต้น

3) **แบบที่ใช้ติดกับแผ่นโลหะ** แท็กส์นี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อใช้ติดกับโลหะ โดยจะมีขดลวดพันกับแกนเฟอร์ไรต์และไมโครชิปที่ทำหน้าที่รับส่งสัญญาณจะถูกติดตั้งอยู่บนแกนด้านนอกของแกนเฟอร์ไรต์และเชื่อมต่อกับขดลวด เพื่อให้แท็กส์มีเสถียรภาพในการใช้งานในสภาพการทำงานต่างๆ เช่น ทนต่อแรงสั่นสะเทือน และความร้อน เป็นต้น จึงได้บรรจุไมโครชิปและแกนเฟอร์ไรต์ลงในโครงสร้างโลหะ แล้วเคลือบด้วย epoxy resin ทั้งนี้ขนาดของแท็กส์แบบนี้จะเป็นไปตามข้อกำหนดมาตรฐาน ISO 69873 เพื่อให้สามารถใช้กับอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ เครื่องจักรกล เครื่องมือ และขวดแก้ว เป็นต้น ดังภาพที่ 2.5 (ค)



(ก)



(ข)



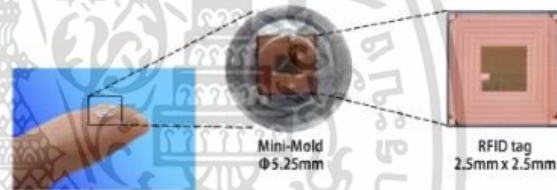
(ค)



(ง)



(จ)



(ฉ)

### รูปที่ 2.5 ตัวอย่างแท็ก RFID รูปแบบต่างๆ 1

4) **แบบลูกกุญแจ** แท็กจะถูกระงับอยู่ในลูกกุญแจหรือเรียกว่า “กุญแจอัจฉริยะ (smart key)” เพื่อใช้สำหรับการเปิดปิดประตูและระบบรักษาความปลอดภัยต่างๆ โดยทั่วไปแท็กแบบนี้ถือเป็นแท็กแบบพลาสติกที่ถูกออกแบบให้มีลักษณะและรูปร่างเป็นแบบลูกกุญแจ แท็กแบบนี้เป็นที่นิยมใช้งานสำหรับผ่านเข้าออกอาคาร สำนักงาน และสถานที่ต่างๆ โดยมีรูปแบบตามภาพที่ 2.5 (ง)

5) **แบบกระเปาะแก้ว** แท็กแบบนี้ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาสำหรับใช้ฝังไว้ใต้ผิวด้านของสัตว์เพื่อใช้ในการติดตามตัวสัตว์ ดังแสดงในภาพที่ 2.5 (จ) ตัวกระเปาะแก้วจะมีขนาดความยาวในช่วง 12–32 มิลลิเมตร ภายในจะบรรจุไมโครชิปที่ติดตั้งอยู่บนแผงวงจร (PCB: printed circuit board) และตัวเก็บประจุไฟฟ้าสำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับไมโครชิปในขณะที่ไม่มีสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุส่งมาจากเครื่องอ่าน นอกจากนี้บนแผงวงจรยังมีขดลวดที่มีความหนาเพียง 0.03 มิลลิเมตรพันอยู่บนแท่งเฟอร์ไรท์ (ferrite core) โครงสร้างเหล่านี้ได้รับการห่อหุ้มด้วยของเหลวรักษาสภาพ (soft เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

adhesive) เพื่อป้องกันการขยับเขยื้อนของชิ้นส่วนต่างๆ ในกระเปาะแก้ว อันเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของสัตว์ที่ติดตั้งแท็กส์

6) **แบบขดลวดบนชิป** แท็กส์แบบขดลวดบนชิป (coil-on-chip) จะแตกต่างจากแท็กส์แบบอื่นๆ ที่กล่าวมาข้างต้นซึ่งมีการแยกส่วนระหว่างขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศและชิปประมวลผลอย่างชัดเจน แต่สำหรับแท็กส์แบบขดลวดบนชิปนั้นจะรวมส่วนที่เป็นขดลวดและวงจรมประมวลผลเข้าด้วยกันตามภาพที่ 2.5 (ฉ) โดยใช้กระบวนการผลิตแบบไมโครกัลวานิก (micro galvanic process) ในระหว่างขั้นตอนการผลิตเวเฟอร์ CMOS โดยจะมีการติดตั้งขดลวดลงบนฉนวนที่คั่นระหว่างชั้นของสารซิลิกอนที่เป็นวงจรรายในของไมโครชิปสำหรับใช้ในแท็กส์จากนั้นจึงนำมาผ่านกระบวนการเคลือบด้วยสารโพลีไมด์ (polyamide) เพื่อผนึกส่วนประกอบต่างๆ ให้ติดกัน โดยทั่วไปขนาดของแท็กส์แบบนี้จะมีขนาดเล็กมาก (เพียง 3 มิลลิเมตร x 3 มิลลิเมตร) และมักจะนำมาใช้บรรจุลงในอุปกรณ์หรือเครื่องมือที่มีพื้นที่ติดตั้งแท็กส์ขนาดเล็กได้อย่างสะดวก

7) **แบบนาฬิกา** แท็กส์แบบนาฬิกาได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเป็นครั้งแรกในปี ค.ศ. 1990 โดยบริษัท Ski-Data ประเทศออสเตรีย ซึ่งมีลักษณะเป็นนาฬิกาใช้สวมใส่ข้อมือเพื่อใช้แสดงตัวตนแบบไร้สัมผัส (contactless) เพื่อผ่านประตูสำหรับเล่นสกี จากนั้นได้มีการนำมาใช้ในงานทางการแพทย์รักษาความปลอดภัยมากขึ้น โดยเฉพาะการแสดงตัวตนเพื่อผ่านเข้าออกประตู โครงสร้างภายในของแท็กส์แบบนี้จะประกอบไปด้วยเฟรมสายอากาศเชื่อมต่ออยู่กับแผ่นวงจรมิพขนาดเล็ที่จัดรูปทรงให้สามารถบรรจุลงในนาฬิกาข้อมือได้ ดังแสดงในภาพที่ 2.6 (ก)

8) **แบบมาตรฐาน ID-1** แท็กส์แบบ ID-1 มีใช้งานทั่วไปในรูปของบัตรเครดิตและบัตรโทรศัพท์ (ขนาดประมาณ 85.72 มิลลิเมตร x 54.03 มิลลิเมตร x 0.76 มิลลิเมตร) ซึ่งสร้างจากการนำแท็กส์มาวางซ้อนอยู่ระหว่างแผ่นพอยล์ PVC จำนวน 4 ชั้น โดยแผ่นพอยล์แต่ละชั้นจะถูกอบที่ความดันสูง ภายใต้อุณหภูมิที่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส เพื่อให้มีการยึดตัวและป้องกันวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในแท็กส์ได้อย่างคงทนถาวร ในทางปฏิบัติแท็กส์ ID-1 นิยมนำมาใช้งานในรูปของบัตรสมาร์ทการ์ดแบบไร้สัมผัส (contactless smart card) เนื่องจากแท็กส์แบบนี้มีพื้นที่หน้าตัดที่กว้างจึงทำให้สามารถจัดวางระบบสายอากาศที่มีแกนขนาดใหญ่ได้ ซึ่งช่วยทำให้สามารถส่งสัญญาณได้ไกลกว่าแท็กส์แบบอื่นๆ

9) **แบบเลเบลอัจฉริยะ** แท็กส์แบบนี้ได้ถูกออกแบบมาให้มีขนาดบางเท่ากับแผ่นกระดาษซึ่งสามารถงอหรือหุบได้โดยขดลวดที่ใช้สำหรับรับส่งสัญญาณจะถูกออกแบบเป็นแผ่นพอยล์พลาสติกที่มีความหนาเพียง 0.1 มิลลิเมตร โดยใช้กระบวนการผลิตแบบพิมพ์สกรีน (screen printing หรือ etching) โดยทั่วไปแถบพอยล์เหล่านี้จะถูกเคลือบชั้นหนึ่งด้วยเยื่อกระดาษและเคลือบทับอีกชั้นหนึ่งด้วยสารยึดเกาะ เพื่อป้องกันการฉีกขาดหรือล่อนระหว่างการใช้งาน ตัวอย่างเช่นแท็กส์แบบเลเบลที่พันที่หูหิ้วของกระเป๋าเดินทางหรือสัมภาระต่างๆ ตามภาพที่ 2.6 (ข)



(ก)

(ข)

รูปที่ 2.6 ตัวอย่างแท็ก RFID รูปแบบต่างๆ 2

### 2.5.8 ระยะเวลาการทำงานและการเหนี่ยวนำ

ระยะเวลาการทำงานของแท็กหรือระยะการอ่าน (read range) เป็นส่วนที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการพิจารณาว่างานประยุกต์นี้จะใช้แท็กแบบใด ตัวอย่างเช่น โรงเก็บสินค้าต้องการระยะการอ่านไม่กี่เมตร (ประมาณ 3 เมตร) ในขณะที่การใช้แท็กเพื่อผ่านประตูเข้าออกสำหรับรถไฟฟ้า อาจจะต้องการระยะการอ่านที่สั้นมาก (เพียง 1-2 เซนติเมตร) โดยทั่วไประยะการอ่านจะใกล้หรือไกลขึ้นอยู่กับปัจจัยดังนี้

- 1) ความถี่ที่ใช้งาน
- 2) พลังงานสูงสุดที่สายอากาศสามารถส่งสัญญาณได้
- 3) ชนิดของแท็ก (แบบพาสซีฟหรือแบบแอคทีฟ)
- 4) เทคนิคในการสื่อสาร (การคู่ควบแบบเหนี่ยวนำหรือการกระจายย้อนกลับ)

ในทางปฏิบัติพลังงานสูงสุดที่สายอากาศสามารถส่งสัญญาณได้จะถูกจำกัดโดยมาตรฐานการใช้งานคลื่นความถี่วิทยุ นอกจากนี้ถึงแม้ว่าพลังงานที่ใช้ในการส่งจะมีค่าสูง แต่ถ้าวิธีการใช้การส่งพลังงานไม่เหมาะสม ก็ไม่ได้ทำให้ระยะการอ่านไกลขึ้น โดยทั่วไปการส่งผ่านพลังงานที่ใช้ในระบบ RFID มีอยู่ 2 แบบ คือ การคู่ควบแบบเหนี่ยวนำและการกระจายย้อนกลับ ดังรายละเอียดต่อไปนี้

#### 2.5.8.1 การคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ

การสื่อสารแบบการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ (inductive coupling) เป็นกระบวนการในการถ่ายโอนพลังงานจากวงจรไฟฟ้าหนึ่งไปยังวงจรไฟฟ้าอีกอันหนึ่งที่มีสนามแม่เหล็กร่วมกัน (มีความเหนี่ยวนำร่วมระหว่างวงจรไฟฟ้าทั้งสองวงจร) การสื่อสารแบบการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำมีข้อควรคำนึงดังนี้ คือ การคู่ควบแบบเหนี่ยวนำนิยมใช้ในระบบ RFID ที่ทำงานในย่านเอกซเรย์เป็นเอกซเรย์ที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความถี่ต่ำ (LF) และย่านความถี่สูง (HF) และการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำจะต้องทำงานอยู่ในสนามระยะใกล้ (near field) ของสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ขดลวดสร้างขึ้นเท่านั้น ดังนั้นโดยทั่วไประยะการอ่านสำหรับความถี่ต่ำ LF จะไม่เกิน 30 เซนติเมตร และสำหรับความถี่สูง HF จะไม่เกิน 1 เมตร ซึ่งการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำสามารถแบ่งย่อยได้อีก 2 แบบ คือ

1) การคู่ควบแบบใกล้ (close coupling) มีระยะทำงานประมาณ 1 เซนติเมตร โดยในการใช้งานจะต้องนำแท็กส์มาสัมผัสหรือวางไว้ในบริเวณที่กำหนดเพื่อให้เครื่องอ่านสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กส์ได้ โดยวิธีการเหนี่ยวนำจะใช้สนามแม่เหล็กหรือสนามไฟฟ้า และทำงานที่ความถี่ 0 – 30 MHz ระบบ RFID ที่ใช้การคู่ควบแบบใกล้นิยมนำมาใช้ในงานประยุกต์ที่ต้องการความปลอดภัยสูงและมีระยะการอ่านที่ใกล้ เช่น ใช้ปิด-เปิดประตู หรือใช้ชำระเงิน เป็นต้น

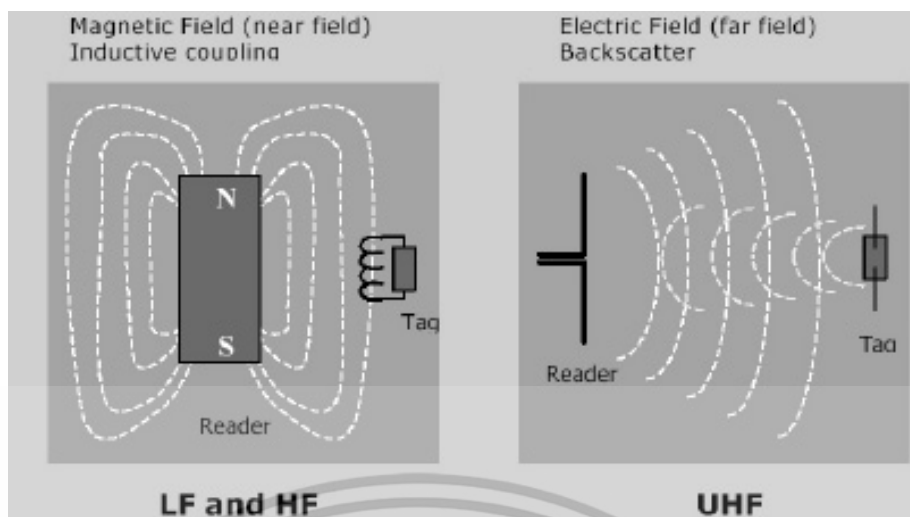
2) การคู่ควบแบบไกล (remote coupling) มีระยะทำงานประมาณ 1 – 100 เซนติเมตร โดยอาศัยวิธีการเหนี่ยวนำเชิงแม่เหล็กระหว่างเครื่องอ่านและแท็กส์ และทำงานที่ความถี่ 135 kHz – 13.56 MHz ระบบ RFID ที่ใช้การคู่ควบแบบไกลนิยมนำมาใช้งานทางด้านการบ่งชี้สัตว์ (animal identification) หรือระบบอัตโนมัติในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น

### 2.5.8.2 การกระจายย้อนกลับ

โดยทั่วไปสนามแม่เหล็กจะใช้ในการถ่ายโอนพลังงานได้ในระยะใกล้เท่านั้น สำหรับการถ่ายโอนพลังงานในระยะไกลจะต้องใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (EM: electromagnetic wave) ซึ่งในระบบ RFID จะเรียกเทคนิคนี้ว่าการกระจายย้อนกลับ (backscattering)

การกระจายย้อนกลับเป็นกระบวนการในการสะสมพลังงานจากสัญญาณที่ได้รับ แล้วเปลี่ยนลักษณะของสัญญาณ (เปลี่ยนแปลงข้อมูล) ก่อนที่จะทำการสะท้อนสัญญาณกลับไปยังต้นทาง ในทางปฏิบัติ เทคนิคการกระจายย้อนกลับจะใช้ในระบบ RFID แบบการสื่อสารระยะไกลที่มีระยะการอ่านมากกว่า 1 เมตร สำหรับแท็กส์ชนิดแอกทีฟ (แท็กส์ชนิดแอกทีฟจะมีแบตเตอรี่ภายในตัวเองเพื่อหล่อเลี้ยงวงจรภายในแท็กส์และใช้ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน) และทำงานในย่านความถี่ UHF (868 MHz สำหรับยุโรป และ 915 MHz สำหรับสหรัฐอเมริกา) หรือความถี่ไมโครเวฟ (2.5 GHz และ 5.8 GHz) โดยเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลในรูปของสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าไปยังแท็กส์ เมื่อแท็กส์ได้รับสัญญาณคลื่นนี้ก็จะทำการเข้ารหัส (เปลี่ยนแปลง) ข้อมูลในคลื่น แล้วจึงสะท้อนสัญญาณคลื่นกับไปยังเครื่องอ่าน

ในทางปฏิบัติระบบ RFID แบบการกระจายย้อนกลับสามารถใช้งานได้ในระยะ 3 เมตรสำหรับแท็กส์แบบพาสซีฟ และสามารถใช้งานได้ในระยะ 15 เมตรสำหรับแท็กส์แบบกึ่งพาสซีฟ (แบตเตอรี่ในแท็กส์ใช้สำหรับจ่ายไฟเลี้ยงให้กับวงจรอิเล็กทรอนิกส์ภายในแท็กส์เท่านั้น จะไม่นำมาใช้ในการส่งข้อมูลจากแท็กส์ไปยังเครื่องอ่าน กล่าวคือ พลังงานที่ใช้ในการส่งข้อมูลจากแท็กส์ไปยังเครื่องอ่าน จะมาจากสนามแม่เหล็กไฟฟ้าที่ส่งมาจากเครื่องอ่านเท่านั้น)



รูปที่ 2.7 การคู่ควบแบบเหนี่ยวนำและการกระจายย้อนกลับ

## 2.6 ข้อพิจารณาในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID

ในการนำระบบ RFID ไปใช้งาน ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกและปรับแต่งพารามิเตอร์ต่างๆ ในระบบให้เหมาะสมสำหรับแต่ละการประยุกต์ใช้งานเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงหลักการพื้นฐานโดยทั่วไปที่ผู้ใช้งานระบบ RFID ควรทราบเพื่อใช้เป็นแนวทางในการเลือกใช้อุปกรณ์ RFID ให้ตรงกับความต้องการใช้งานมากที่สุด โดยจะใช้หลักเกณฑ์ในการพิจารณาดังต่อไปนี้

### 2.6.1 ความถี่ที่ใช้งาน

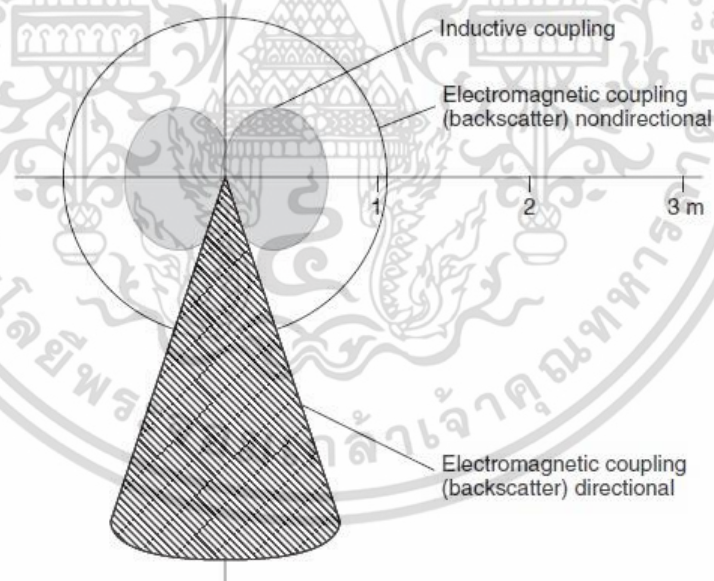
โดยทั่วไประบบ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่ในช่วง 100 kHz ถึง 30 MHz จะใช้รูปแบบการรับส่งข้อมูลระหว่างแท็กส์กับเครื่องอ่านเป็นแบบการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ ในขณะที่ระบบ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่ในช่วง 2.45 GHz ถึง 5.8 GHz จะรับส่งข้อมูลโดยใช้คลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ซึ่งผู้ใช้จะต้องทำความเข้าใจเกี่ยวกับพฤติกรรมและการแพร่กระจายของสัญญาณที่ใช้ในระบบ RFID ให้ดี เพื่อให้สามารถนำมาใช้งานให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ตัวอย่างเช่น การดูดซับคลื่นสัญญาณของตัวนำที่เป็นน้ำหรือวัสดุที่ไม่เป็นตัวนำ (non-conductive substance) ที่ความถี่ใช้งาน 100 kHz จะมีอัตราดูดซับที่ต่ำกว่า 100,000 เท่า ของการใช้งานที่ความถี่ 1 GHz เช่น การใช้งานระบบ RFID ที่ย่านความถี่ 100 kHz เป็นต้น นอกจากนี้ระบบ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่ต่ำจะมีความสามารถในการทะลุทะลวงได้สูงกว่า (แต่ส่งไปได้ไกลน้อยกว่า) ระบบ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่สูง

ระบบ RFID ที่ทำงานโดยอาศัยคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะสามารถครอบคลุมพื้นที่ใช้งานได้มากกว่า (2 – 15 เมตร) ระบบ RFID ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ อย่างไรก็ตามแท็กส์ RFID ที่ทำงานในย่านไมโครเวฟต้องการแบตเตอรี่เป็นของตัวเอง เนื่องจากพลังงานที่ส่งมาจากเครื่องอ่านผ่านทางคลื่นความถี่วิทยุไม่เพียงพอต่อการใช้งาน จึงทำให้แท็กส์มีขนาดใหญ่ นอกจากนี้สัญญาณรบกวนคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (ที่เกิดจากการทำงานของมอเตอร์ไฟฟ้าหรือเครื่องจักรกลต่างๆ) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะมีผลกระทบต่อระบบ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่ไมโครเวฟน้อยกว่าระบบ RFID ที่ทำงานโดยอาศัยหลักการเหนี่ยวนำคู่ควบ ดังนั้นโดยทั่วไประบบ RFID ที่ใช้งานย่านความถี่ไมโครเวฟจะถูกนำมาใช้งานในสายการผลิตในโรงงานอุตสาหกรรม เช่น โรงงานประกอบรถยนต์ เป็นต้น

### 2.6.2 ระยะการอ่าน

ระยะการอ่านระหว่างแท็กส์และเครื่องอ่านจะขึ้นอยู่กับปัจจัยที่สำคัญ 3 อย่าง ได้แก่ ความเที่ยงตรงของตำแหน่งการใช้งานของแท็กส์ ระยะห่างระหว่างแท็กส์กับเครื่องอ่าน และความเร็วในการเคลื่อนที่ของแท็กส์ ซึ่งอาจมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นอยู่กับแต่ละการประยุกต์ใช้งาน เช่น ในกรณีการใช้งานแท็กส์แบบไร้สัมผัสเพื่อผ่านการเข้าออกช่องทางเข้าสู่รถไฟใต้ดิน ระบบนี้ไม่ต้องการความเที่ยงตรงของตำแหน่งแท็กส์มากนัก เนื่องจากในทางปฏิบัติผู้โดยสารทุกคนจะต้องนำบัตรมาวางในระยะที่เกือบจะสัมผัสกับเครื่องอ่านอยู่แล้ว ดังนั้นสิ่งที่ควรให้ความสำคัญ คือ ระยะห่างขั้นต่ำที่ยอมให้แท็กส์อยู่ใกล้กัน ซึ่งในที่นี้ก็คือระยะห่างระหว่างผู้โดยสารปัจจุบันกับผู้โดยสารคนถัดไปที่กำลังเดินตามมา (โดยทั่วไปไม่เกิน 5 – 10 เซนติเมตร) เพื่อให้มั่นใจว่าสัญญาณที่ส่งออกจากเครื่องอ่านจะไปถึงแท็กส์ที่อยู่ใกล้เครื่องอ่านมากที่สุดเพียงแท็กส์เดียว มิฉะนั้นจะทำให้แท็กส์ทั้งสองแท็กส์ส่งสัญญาณออกมาพร้อมกันอันเป็นผลทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลได้



รูปที่ 2.8 พื้นที่การอ่านของเครื่องอ่านในระบบ RFID แบบต่างๆ

ในทางปฏิบัติระบบ RFID แบบการกระจายย้อนกลับที่ใช้คลื่นไมโครเวฟที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบมีทิศทาง (directional beam) จะมีข้อดีมากกว่าระบบ RFID แบบคู่ควบแบบเหนี่ยวนำที่มีสนามแม่เหล็กไฟฟ้าแบบกว้างและไม่มีทิศทาง (non directional) ดังแสดงในภาพที่ 2.8 ดังนั้นผู้ใช้

ควรศึกษาพฤติกรรมการแพร่กระจายของอุปกรณ์ RFID ที่ใช้ให้ชัดเจน เพื่อกำหนดระยะห่างระหว่างแท็กส์ ทิศทาง และตำแหน่งการยิงสัญญาณของเครื่องอ่านให้เหมาะสม

### 2.6.3 ชนิดของวัสดุที่นำแท็กส์ RFID ไปติดตั้ง

คลื่นความถี่วิทยุมีคุณสมบัติต่างๆ ที่สำคัญที่ควรคำนึง ได้แก่ การสะท้อนกลับ (reflection) การหักเห (refraction) การเลี้ยวเบน (diffraction) และการแทรกสอด (interference) โดยที่วัสดุแต่ละชนิดจะมีผลต่อคุณสมบัติเหล่านี้ไม่เท่ากัน ตัวอย่างเช่น การหักเหของการเดินทางของคลื่นวิทยุเกิดจากความเร็วของคลื่นในตัวกลางที่มีคุณสมบัติทางไฟฟ้าต่างกันจะมีความเร็วไม่เท่ากัน (คลื่นความถี่วิทยุจะเดินทางในน้ำได้ช้ากว่าเดินทางในอากาศถึง 9 เท่า) ดังนั้นชนิดของวัสดุที่นำแท็กส์ไปติดตั้งจึงมีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ เพราะฉะนั้นในการใช้งานจะต้องคำนึงถึงข้อจำกัดเหล่านี้ด้วย เพราะว่ามีสินค้าหลายแบบที่มีน้ำบรรจุอยู่ในปริมาณที่สูงหรือทำมาจากโลหะ

### 2.6.4 ข้อกำหนดด้านการรักษาความปลอดภัย

การรักษาความปลอดภัยของข้อมูล ประกอบไปด้วยการตรวจยืนยันจากแท็กส์ และการเข้ารหัสข้อมูลที่จะถูกส่งผ่านทางคลื่นวิทยุ เป็นสิ่งที่ต้องพิจารณาและผู้ออกแบบต้องตัดสินใจว่าข้อกำหนดให้ชัดเจนก่อนเลือกใช้อุปกรณ์ RFID อย่างไรก็ตามผู้ออกแบบควรศึกษาขอบเขตของการประยุกต์ใช้งานเทคโนโลยี RFID นั้นๆ โดยเปรียบเทียบกับความต้องการใช้งานด้วยว่า กระบวนการหรือความต้องการใช้งานในกรณีนั้นจำเป็นต้องใช้มาตรการรักษาความปลอดภัยหรือไม่ หรือหากใช้จะเป็นเพียงระดับใด เพื่อให้การลงทุนเป็นไปอย่างเหมาะสม

### 2.6.5 ขนาดของหน่วยความจำ

โดยทั่วไปราคาของแท็กส์จะสัมพันธ์กับลักษณะและขนาดหน่วยความจำที่บรรจุอยู่ในแท็กส์ การใช้งานระดับสาธารณะ เช่น ระบบขนส่ง จะนิยมใช้แท็กส์ที่มีหน่วยความจำน้อยหรือแท็กส์แบบที่ไม่สามารถโปรแกรมได้ เพื่อควบคุมต้นทุนของบัตร อย่างไรก็ตามในกรณีที่มีความจำเป็นจะต้องมีการบันทึกข้อมูลจำนวนมากหรือเขียนทับข้อมูลลงในหน่วยความจำบ่อยๆ ผู้ออกแบบควรพิจารณาเลือกใช้หน่วยความจำแบบ EEPROM หรือ SRAM

หน่วยความจำแบบ EEPROM นิยมใช้ในระบบ RFID ที่มีการรับส่งข้อมูลแบบคู่ควบแบบเหนี่ยวนำ โดยมีขนาดของหน่วยความจำตั้งแต่ 16 ไบต์ จนถึง 8 กิโลไบต์ ในขณะที่หน่วยความจำแบบ SRAM ที่มักจะมาพร้อมกับแบตเตอรี่สำรอง จะนิยมใช้ในการรับส่งข้อมูลในย่านความถี่ไมโครเวฟ โดยมีขนาดหน่วยความจำตั้งแต่ 256 ไบต์ จนถึง 64 กิโลไบต์

## 2.7 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID

จากการที่เทคโนโลยี RFID มีการขยายตัวอย่างรวดเร็ว จึงมีความจำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดมาตรฐานโลกในการใช้งาน เพื่อให้ผู้ผลิตหรือผู้ใช้งานสามารถจัดการและบริหารการใช้งานเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เทคโนโลยีได้อย่างมีประสิทธิภาพ และในกระบวนการพัฒนามาตรฐานจำเป็นจะต้องเป็นที่ยอมรับ และสามารถใช้งานได้ในทุกประเทศทั่วโลก และเครื่องอ่านทุกยี่ห้อสามารถทำงานได้ที่ความถี่ที่เข้ากันได้ และรหัสข้อมูลต่างๆ มีความเข้าใจตรงกัน มาตรฐานของเทคโนโลยี RFID จึงเป็นข้อกำหนดที่ควรปฏิบัติเพื่อให้อุปกรณ์ที่ผลิตจากโรงงานต่างๆ สามารถใช้งานร่วมกันได้ ซึ่งเป็นมาตรฐานในระดับนานาชาติ เป็นความร่วมมือจากหลายองค์กร โดยมาตรฐานที่นิยมนำมาใช้งานเบื้องต้นสำหรับเทคโนโลยี RFID คือ มาตรฐาน ISO (International Organization for Standardization) และมาตรฐาน EPC (Electronics Product Code)

### 2.7.1 มาตรฐาน ISO/IEC

ISO (International Organization for Standardization) เป็นองค์การระหว่างประเทศที่ว่าด้วยการมาตรฐาน เกิดจากการรวมตัวระหว่างองค์กรอุตสาหกรรมนานาชาติ มีพันธสัญญาที่จะพัฒนามาตรฐานอุตสาหกรรม จะทำหน้าที่ในการแนะนำ ภาวะเทียบข้อบังคับ และกำหนดนโยบายของการทำงานและประยุกต์ใช้งานอย่างกว้างๆ ซึ่งมาตรฐาน ISO จะมีการกำหนดไว้เป็นรูปแบบให้แต่ละประเทศสมาชิกนำไปใช้เป็นมาตรฐานของตนเอง และมาตรฐาน ISO ที่เกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี RFID มีดังต่อไปนี้

#### 2.7.1.1 มาตรฐาน ISO สำหรับบัตรระยะใกล้ ( Proximity Cards)

1) ISO 14443 สำหรับบัตรระยะใกล้ และ ISO 15639 สำหรับบัตรระยะใกล้อีกชนิดหนึ่ง (vicinity cards) ซึ่งทั้งสองชนิดนี้ได้มีการใช้งานในย่านความถี่ 13.56 MHz สำหรับบัตรในมาตรฐานนี้บัตรจะมีรูปร่างบาง มีหน่วยความจำสูง และสามารถที่จะทำการอ่านบัตรหลายใบที่อยู่ในบริเวณนั้นได้ในเวลาเกือบจะพร้อมกัน โดยใช้หลักการการป้องกันการชนกัน

2) ISO 14443 มีระยะเวลาการใช้งานประมาณ 1 ปี ส่วนใหญ่จะเป็นบัตรเกี่ยวกับด้านการเงินที่มีระบบป้องกันความปลอดภัยสูง

3) ISO 15693 สมาร์ทการ์ด มีระยะเวลาการใช้งานไกลถึง 28 ปี จากสายอากาศ 1 ตัวหรือได้ไกลถึง 4 ฟุตหากมีสายอากาศเพิ่มขึ้น และเครื่องอ่านข้อมูลมีประสิทธิภาพสูง

#### 2.7.1.2 มาตรฐาน ISO สำหรับการติดต่อสื่อสารผ่านอากาศในระบบ RFID

กลุ่มมาตรฐาน ISO 1800 ได้มีการกำหนดคุณสมบัติพิเศษของ RFID สำหรับการจับวัตถุ ที่มีการอนุมัติมาตรฐานขึ้นมาในช่วงปี 2004 ซึ่งมาตรฐานในกลุ่มนี้จะประกอบไปด้วยคุณสมบัติพิเศษที่แตกต่างกันของแต่ละย่านความถี่การใช้งาน ซึ่งประกอบไปด้วย ย่านความถี่ 13.56 MHz ย่านความถี่ 860-930 MHz และย่านความถี่ 2.45 GHz

1) 18000-1 ส่วนที่ 1: พารามิเตอร์พื้นฐานที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศที่เป็นที่ยอมรับในย่านความถี่สากล

2) 18000-2 ส่วนที่ 2: พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศที่มีความถี่ต่ำกว่า 135kHz มาตรฐาน ISO ย่านความถี่ต่ำ

3) 18000-3 ส่วนที่ 3: พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศ ที่มีความถี่ 13.56 MHz มาตรฐาน ISO สำหรับย่านความถี่สูง เครื่องอ่านมีความสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลได้

4) 18000-4 ส่วนที่ 4: พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศ ที่ความถี่ 2.45 GHz มาตรฐาน ISO สำหรับย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave Frequency) มีความสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลได้

5) 18000-5 ส่วนที่ 5: พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศ ที่ความถี่ 5.8 GHz

6) 18000-6 ส่วนที่ 6: พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศ ที่ความถี่ 860-930 MHz มาตรฐาน ISO สำหรับย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF Frequency) มีความสามารถทั้งอ่านและเขียนข้อมูลได้ เป้าหมายสำหรับตลาดเหมือนกับมาตรฐาน EPC

7) 18000-7 ส่วนที่ 7: พารามิเตอร์ที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารในชั้นบรรยากาศ ที่ความถี่ 433.92 Mhz ระบุเอกลักษณ์สำหรับ Department of Defense (DoD)

### 2.7.1.3 มาตรฐาน ISO สำหรับการระบุเอกลักษณ์ของสัตว์

ISO 11748/11785 มาตรฐานสำหรับการระบุเอกลักษณ์ของสัตว์

### 2.7.1.4 มาตรฐาน ISO ในห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain)

มาตรฐานนี้จะใช้ในการระบุเอกลักษณ์ของสัตว์ที่มีความแตกต่างกันในประเภทต่างๆ เช่น การขนส่ง และการบรรจุ ให้มีลักษณะเฉพาะของตัวเอง

1) ISO 17358 เป็นการประยุกต์ใช้งานการร้องขอ ประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลแบบลำดับขั้น

2) ISO 17363 การบรรจุทุกสินค้า

3) ISO 17364 วัตถุที่มีการส่งกลับ

4) ISO 17365 หน่วยในการขนส่ง

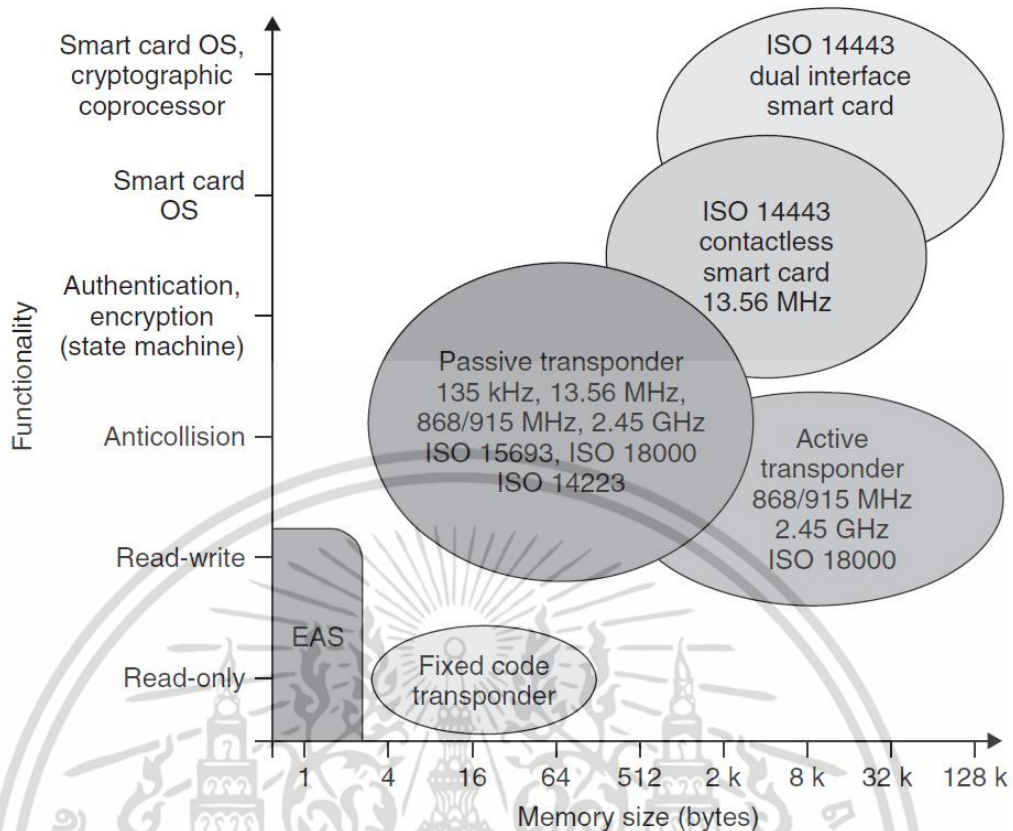
5) ISO 17366 การหีบห่อผลิตภัณฑ์

6) ISO 17367 การติดแท็กส์สำหรับการผลิตภัณฑ์ (DoD)

7) ISO 10374 – Freight containers เป็นมาตรฐานที่กำหนดถึงการใช้ระบบ RFID ในย่านความถี่ 860-930 เมกกะเฮิรตซ์ (MHz) และ 2.45 GHz เพื่อระบุข้อมูลของตู้สินค้า

8) ISO/IEC 18185 เป็นมาตรฐานกำหนดการใช้งาน RFID และ

โปรโตคอล สำหรับระบบอิเล็กทรอนิกส์ซีลหรือฉลากอิเล็กทรอนิกส์ (Electronics Seals) เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

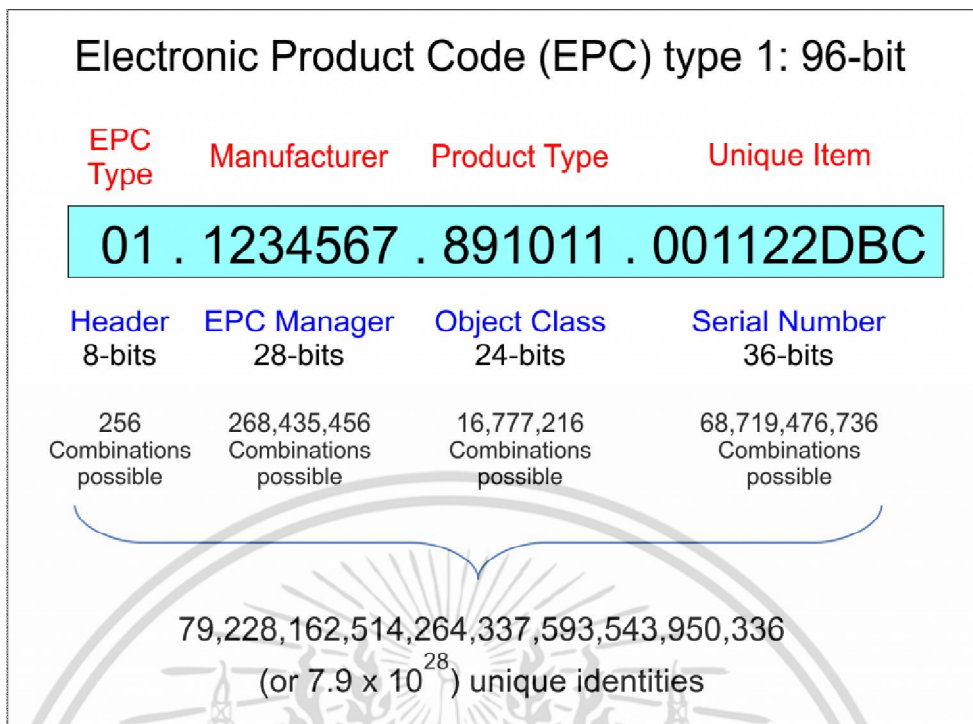


รูปที่ 2.9 มาตรฐานการใช้งานเทคโนโลยี RFID

### 2.7.2 มาตรฐาน EPC global

EPC คือ การใช้งานเลขรหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ร่วมกับเทคโนโลยี RFID ซึ่งปัจจุบันถือว่าเป็นเทคโนโลยีที่ทันสมัย มีประสิทธิภาพสูง และสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างกว้างขวาง ทั้งในเชิงพาณิชย์ การบริการ และในอุตสาหกรรม อันเป็นเทคโนโลยีที่เหมาะสมกับการมาแทนระบบบาร์โค้ดในปัจจุบัน EPC global เป็นองค์กรหลักในการส่งเสริมและผลักดันมาตรฐานสำหรับเลขรหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Product Code: EPC) เพื่อใช้ในทางการค้าทั่วโลก ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับเทคโนโลยี RFID ในเรื่องของการบ่งชี้สินค้าต่างๆ โดยเลขรหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์หรือ EPC นี้เป็นโครงสร้างเลขรหัสที่อยู่ในไมโครชิป (microchip) หรือป้ายระบุอิเล็กทรอนิกส์ที่ใช้กับระบบ RFID ซึ่งทำหน้าที่แทนสติ๊กเกอร์ (Sticker) หรือแถบบาร์โค้ด (barcode) บนตัวสินค้า โดยเครื่องอ่านข้อมูลจะสามารถอ่านเลขรหัส EPC ซึ่งช่วยให้สามารถตรวจสอบการเคลื่อนที่และกำหนดตำแหน่งของสินค้านั้นได้อย่างถูกต้อง รวมถึงการบ่งชี้ข้อมูลของสินค้าในระบบ เพื่อนำมาบันทึกข้อมูล ประมวลผลในด้านต่างๆ ได้อย่างถูกต้องและรวดเร็ว โดยใช้ประโยชน์จากการอ่านข้อมูลครั้งละหลายๆ ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ ประโยชน์ที่สำคัญคือ ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการระบบลอจิสติกส์ (Logistic) และระบบห่วงโซ่อุปทาน (Supply Chain)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.10 แสดงรูปแบบของรหัสในเทคโนโลยี EPC

EPC เป็นโครงสร้างใหม่ในการกำหนดเลขรหัสให้กับสินค้าที่ถูกพัฒนาขึ้นโดย Auto-ID Center เป็นเทคโนโลยีที่ทำให้การกำหนดเลขรหัสเพื่อทำการบ่งชี้สินค้าแต่ละหน่วย แต่ละชั้นมีความแตกต่างกัน ซึ่งมีประสิทธิภาพดีกว่าการใช้บาร์โค้ด อีกทั้ง EPC ยังจะเป็นข้อมูลที่มีความจำเป็น และบรรจุอยู่ในหน่วยความจำของแท็กส์ เพื่อประโยชน์ในการอ่านและบ่งชี้ข้อมูลต่างๆ เลขรหัสบาร์โค้ดเป็นเลขบ่งชี้เพื่อกำกับสินค้าชนิดนั้นๆ โดยสินค้าประเภทเดียวกันที่มีลักษณะเหมือนกันทุกประการก็จะมีเลขรหัสเหมือนกันทั้งหมด ถึงแม้จะเป็นสินค้าที่มีวันผลิตกับวันหมดอายุต่างกันก็ตาม

EPC จะมีลักษณะการนำไปใช้งานได้มากกว่าระบบบาร์โค้ด เพราะ EPC มีโครงสร้างเลขรหัสที่มีจำนวนตัวเลขมากกว่าจึงสามารถนำไปกำหนดให้กับสินค้าทุกชั้นมีเลขรหัสที่ต่างกันทั้งหมดได้ ถึงแม้จะเป็นสินค้าที่เหมือนกันแต่คนละชั้นก็จะเป็นรหัสที่แตกต่างกัน ทำให้สินค้าที่มีวันผลิต และวันหมดอายุต่างกันมีเลขรหัสต่างกันด้วย ซึ่งเป็นประโยชน์ในการบริการจัดการสินค้าให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น สิ่งที่เห็นได้ชัดเจน คือ ความสะดวก รวดเร็วในการบ่งชี้สินค้าความสามารถในการอ่านข้อมูลครั้งละมากๆ มีระยะทางและรัศมีการบ่งชี้สินค้าที่ไกลกว่าการสแกนบาร์โค้ดแบบเดิม และการบันทึกข้อมูลในแท็กส์ RFID ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการบ่งชี้ข้อมูลสินค้าและบริการ

### 2.7.2.1 EPC Global Generation 2

การเพิ่มฟังก์ชันระบบ RFID ที่สร้างขึ้นตามมาตรฐานใหม่ EPC รุ่นที่ 2 (EPC Global Generation 2 : Gen 2) ได้สร้างรากฐานให้แก่ยุคใหม่ของการใช้ RFID ในระบบ Supply Chain ซึ่ง Gen 2 สร้างแพลตฟอร์มเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์และระบบใน RFID ที่จะปรับปรุงการจัดการเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สแกนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอญูาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ด้านการจัดเก็บผลิตภัณฑ์ (Inventory) ระบบ Logistics รวมถึงการดำเนินงานด้านการค้าปลีกทั่วโลก สิ่งสำคัญที่จะต้องเข้าใจความแตกต่างระหว่างสิ่งที่ Gen 2 ระบุรายละเอียด และลำดับของประสิทธิภาพที่เข้ากับผลิตภัณฑ์ Gen 2 ที่สามารถใช้งานได้จริง โดยความเข้าใจในรายละเอียดเรื่องประสิทธิภาพของ Gen 2 และคุณสมบัติที่แตกต่างจะส่งผลต่อประสิทธิภาพแท้จริง ผู้ใช้สามารถระบุระบบ Gen 2 ที่ให้ฟังก์ชันและประโยชน์ตามที่ต้องการ ปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาในการนำเทคโนโลยี Gen 2 RFID มาใช้งานประกอบด้วย ความเร็ว ประสิทธิภาพ ความน่าเชื่อถือ ลำดับ ความปลอดภัย และราคา

1) **ความเร็ว** พื้นฐานของผู้ใช้งานด้านเทคโนโลยีจำนวนมาก คือความสามารถในการอ่านแถบป้าย RFID Tag อย่างรวดเร็วและทันทีทันใด ความต้องการในเรื่องความเร็วของ Gen 2 ถูกพัฒนาและแก้ไขให้ดีขึ้นพื้นฐานของความต้องการและประสบการณ์ของผู้ใช้เทคโนโลยีรุ่นที่ 1 หรือ Gen 1 ความสามารถในการระบุจำแนกสิ่งต่างๆ ด้วยความเร็วของระบบเป็นสิ่งจำเป็นเพื่อจัดลำดับข้อมูลอย่างมีประสิทธิภาพ การจัดจำหน่าย และการบริหารการจัดเก็บสินค้า คุณสมบัติเฉพาะของ Gen 2 สนับสนุน “การเลือกแบบกลุ่ม” ที่ถือเป็นคุณสมบัติสำคัญในการอ่านและจัดลำดับข้อมูลความเร็วสูง ช่วยให้ RFID Interrogators หรือเครื่องอ่าน RFID ค้นหาและอ่านกลุ่มแถบป้ายที่เลือก และไม่สนใจกับส่วนอื่น และยังช่วยลดจำนวนข้อมูลที่ระบบต้องประมวลผลเพื่อการอ่านเร็วขึ้น นอกจากนั้นเทคโนโลยีใหม่ของคุณสมบัติ Gen 2 ที่เรียกว่า “Persistence” ทำให้แถบป้ายมีความสามารถในการจำสถานะ หากเข้าถึงข้อมูลผิดพลาดจากเครื่องอ่าน และมีการปรับปรุงประสิทธิภาพการอ่านครั้งใหญ่ โดยเฉพาะแผ่นแถบป้ายจำนวนมาก

2) **ประสิทธิภาพช่วงความถี่ (Bandwidth)** ช่วงความถี่ของการสื่อสารไร้สายมีข้อจำกัด ผลิตภัณฑ์ Gen 2 สามารถใช้งานได้ทั่วโลก โดยไม่จำเป็นต้องมีใบอนุญาต และให้ลำดับความเร็ว และประสิทธิภาพอื่นๆ ที่จำเป็นสำหรับความต้องการของแอปพลิเคชันด้าน Supply Chain ที่กำหนดโดยผู้ใช้ ซึ่งทำให้ชนะอุปสรรคในเรื่องของการติดตั้งระบบ Gen 1 มาตรฐาน Gen 2 นี้ ช่วยให้ผู้ใช้ได้รับความยืดหยุ่นในเรื่องการใช้ประโยชน์ช่วงความถี่ ประสิทธิภาพของระบบสามารถใช้งานอยู่บนจำนวนของอุปกรณ์ RFID ที่ทำงานมาตรฐานนี้ได้แบ่งการทำงานของผลิตภัณฑ์ Gen 2 เป็นสามโหมด คือ เครื่องอ่านเดี่ยว (Single Reader) และเครื่องอ่านหลายระบบ (Multi Reader) และเครื่องอ่านแบบหนาแน่น (Dense Reader) คุณสมบัติในแต่ละโหมดช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้งานปกติ

3) **ความน่าเชื่อถือ** มาตรฐาน Gen 2 ยังรวมถึงข้อกำหนดที่มีการปรับปรุงจากยุคที่ 1 ทำให้การแสดงผลด้านการอ่านมีความน่าเชื่อถือมากขึ้น และยังมีทางในการติดตั้งมาตรฐานและอุปกรณ์สำหรับการปรับปรุงการเชื่อมโยงข้อมูลและความน่าเชื่อถือของเครือข่ายตัวเลข EPC รูปแบบข้อมูล ซึ่งทำให้เป็นไปได้ในการจำแนกการอ่านข้อมูลและการเขียนบนแถบป้าย มาตรฐานการอ่าน Gen 2 จะเปลี่ยนการอ่านข้อมูลจากผู้อ่านสู่การต่อเชื่อมที่จะทำให้ปฏิบัติการได้เร็วขึ้น และเพิ่มส่วนของการป้องกันการอ่านผิดพลาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4) **ระบบรักษาความปลอดภัย** แถบป้ายมาตรฐาน EPC ได้รับการป้องกันในเรื่องของการรบกวนโปรโตคอลมาตรฐาน รวมถึงการเข้ารหัสและการใช้งานแถบป้าย และผู้อ่านในการสร้างระบบความปลอดภัยก่อนที่ข้อมูลจะถูกส่ง ซึ่งทำให้ยากในการปรับเปลี่ยนเลขหมาย EPC ซึ่ง Gen 2 ยังสนับสนุน “Cloaking” ช่วยให้แถบป้ายที่ตั้งให้สามารถสื่อสารกับผู้อ่านที่ได้รับอนุญาต โดยผู้อ่านจะต้องกรอกรหัสผ่านก่อนที่แถบป้ายจะมีการสื่อสารต่างๆ และรหัสผ่านยังเป็นที่ต้องการสำหรับการเขียนแถบป้ายหรือทำให้ชำรุดเพื่อเพิ่มระบบความปลอดภัยมากขึ้น

5) **ต้นทุน** หนึ่งในแรงบันดาลใจในการพัฒนาระบบ EPC คือ การสร้างเทคโนโลยี RFID ที่มีประสิทธิภาพในเรื่องต้นทุนสำหรับการดำเนินงานในเรื่อง Supply Chain การออกแบบต้นทุนต่ำนั้นมีข้อจำกัดในการใช้งานจริง มาตรฐาน EPC Gen2 ทำให้เกิดความสมดุลระหว่างเรื่องต้นทุนและฟังก์ชันที่จะนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีความคุ้มค่าในเรื่องต้นทุน ซึ่งเป็นสิ่งที่ต้องการสำหรับการใช้งานจริง

### 2.7.2.2 EPC global Network

เป็นระบบที่มีประสิทธิภาพมาก คือ สามารถสร้างเลขหมายเฉพาะตัวให้กับทุกๆ สินค้าทุกๆ ชิ้นไม่ว่าจะอยู่ที่ใดในโลก สามารถรับข้อมูลได้อย่างอัตโนมัติโดยไม่ต้องอยู่ในระยะที่มองเห็นหรือต้องอยู่ระยะใกล้เหมือนกับการยิงบาร์โค้ด ช่วยให้สามารถติดตามการเคลื่อนไหวของสินค้า ลดความผิดพลาดในการปฏิบัติงานเพิ่มความรวดเร็วและลดค่าใช้จ่ายของสินค้าคงคลังและบุคคลากร นอกจากนี้ยังเป็นเครือข่ายที่เชื่อมโยงข้อมูลการเคลื่อนไหวของสินค้า ที่สามารถรับรู้และมองเห็นได้ อันเป็นมาตรฐานเดียวกันเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพในการติดตาม และลดปริมาณการขาดสินค้า

ในกระบวนการห่วงโซ่อุปทานและลอจิสติกส์ เทคโนโลยี EPC global Network มีประโยชน์ คือ เพิ่มความถูกต้องและประสิทธิภาพของข้อมูลในกระบวนการผลิตและจัดการจำหน่ายและยังช่วยติดตามสินค้าได้อย่างรวดเร็วไม่ว่าจะอยู่ในกระบวนการใดของลอจิสติกส์ เช่น ในส่วนคลังสินค้า ส่วนศูนย์กระจายสินค้า หรือส่วนจัดการสินค้าก่อนที่สินค้าเข้าสู่คลังต่อไป อีกทั้งยังช่วยให้สามารถรับข้อมูลในกระบวนการห่วงโซ่อุปทานได้ถูกต้องแม่นยำมากขึ้นกว่าเดิม พร้อมทั้งให้รายละเอียดได้มากขึ้นและรวดเร็วยิ่งขึ้น ทำให้สามารถมองเห็นได้ทั้งกระบวนการตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปลายน้ำ อันจะช่วยให้การบริหารจัดการสามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้อง และการปรับปรุงเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธุรกิจโดยรวม

สิ่งหนึ่งที่สำคัญเป็นมาตรฐานสากล (Global Standard) ช่วยลดความยุ่งยากซับซ้อนทั้งในองค์กรและระหว่างองค์กรอันเป็นการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างกัน ช่วยทำให้เกิดประสิทธิภาพในการทำงานร่วมกัน ให้ง่ายขึ้นสะดวกขึ้น และทำให้องค์กรทำงานโดยเน้นที่จะใช้ข้อมูลต่างๆ ให้เกิดประโยชน์มากกว่าจะเน้นถึงการได้มาของข้อมูล

## 2.8 การประยุกต์ใช้งานระบบ RFID

ด้วยข้อดีของเทคโนโลยี RFID ที่ได้กล่าวมาข้างต้น และคุณลักษณะที่หลากหลายของอุปกรณ์ RFID ทำให้ปัจจุบันได้มีการนำระบบ RFID ไปประยุกต์ใช้งานหลากหลายด้านดังนี้

### 2.8.1 ด้านการค้าปลีก การผลิต การกระจายสินค้าและลอจิสติกส์

- 1) บริษัทวอลต์มาร์ท และบริษัทจำหน่ายสินค้าปลีกชื่อดังได้นำชิพอัจฉริยะมาช่วยในการตรวจนับสต็อกสินค้า ป้องกันการโจรกรรม และป้องกันการปลอมแปลงสินค้าของตนด้วย
- 2) การซื้อสินค้าในซูเปอร์มาร์เก็ต เมื่อมีการคิดคำนวณราคารวม เครื่องอ่าน RFID สามารถคำนวณราคารวมภายในครั้งเดียวได้ทันที
- 3) ในโรงงานโดยการติดแท็กส์ไว้กับชิ้นงาน เมื่อชิ้นงานผ่านสายพานการผลิตในโรงงาน เครื่องอ่านจะส่งชิ้นงานเดินตามสายพานไปแต่ละแผนกเป็นขั้นตอนและต้องส่งงานไปยังสถานีถัดไป เดินสายลำเลียงสินค้าจัดวางตามชั้นต่างๆ ที่กำหนดไว้โดยอัตโนมัติ หรือใช้อ่านสินค้าในตู้คอนเทนเนอร์ที่ท่าเรือ เมื่อเทียบท่าสามารถส่งคลื่นวิทยุเข้าไปอ่านข้อมูลสินค้าได้ทั้งหมดโดยไม่ต้องเสียเวลาเปิดตู้เรียกว่า secure trade หรือ operation safe commerce เพิ่มความปลอดภัยในการส่งสินค้าด้วย โดยแท็กส์สามารถระบุและไม่สามารถแก้ไขข้อมูลได้ว่าสินค้าเคยถูกเปิดเมื่อใด เป็นต้น
- 4) เทคโนโลยีที่ใช้ในระบบ e-Seal สำหรับตู้สินค้า โดยการใช้ระบบปิดตู้สินค้าแบบอิเล็กทรอนิกส์ (electronic seal) ปกป้องการขนถ่ายตู้สินค้า เพื่อไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสิ่งของที่บรรจุภายใน ตั้งแต่จุดเริ่มต้นจนถึงปลายทาง โดยการใช้ “e-seal” ซึ่งเมื่อนำไปล็อคไว้ที่ประตูตู้สินค้าแล้ว สามารถเช็คสถานะของการขนส่งตู้สินค้าได้ว่าอยู่ที่ใด และหากมีการเปิดตู้ก่อนถึงจุดหมายปลายทาง “e-seal” ก็จะส่งสัญญาณวิทยุแจ้งเตือนไปยังระบบติดตามตู้สินค้าได้ทันทีอย่างรวดเร็ว ลดค่าใช้จ่ายทางด้านระบบศุลกากร (การตรวจสอบ) เพิ่มประสิทธิภาพในการจัดส่ง ซึ่งรวมถึงการลดระยะเวลาที่ใช้ และการลดการสูญหายหรือสับเปลี่ยน ลดค่าใช้จ่ายด้าน Overhead ต่างๆ เช่น ค่าล่วงเวลาพนักงาน เป็นต้น
- 5) บริษัท Ford Motor ใช้ RFID ในโรงงาน Essex ที่ Windsor Ontario เพื่อควบคุมและตรวจสอบข้อมูลในระหว่างการผลิตในการทำงานของเครื่องจักร
- 6) ติด RFID เข้ากับสินค้าที่จัดส่ง โดยลูกค้าสามารถเข้าไป Update ใน Website ได้ว่าสินค้าที่ตนส่งนั้นปัจจุบันอยู่ที่ใดของโลก
- 7) การขนส่งสินค้าเข้าโรงงาน ทันทีที่รถบรรทุกขับผ่านจุดอ่านข้อมูลสต็อกทั้งหมดก็จะถูกบันทึกทันทีรวดเร็วและไม่ยุ่งยากกว่าในรถยนต์หรือเครื่องบิน
- 8) RFID ถูกนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมอันตรายซึ่งไม่เหมาะกับการปฏิบัติงานของมนุษย์ เช่น ในสถานที่สกปรก หรือมีสารพิษสารเคมีในระดับอันตราย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9) โรงกลั่นน้ำมันและแก๊สของ U.K. ใช้ระบบ Asset Management System โดยใช้ RFID เพื่อดูข้อมูลของระดับ Pressure Safety ในท่อส่งและอุปกรณ์ต่างๆ ซึ่งระบบนี้ถูกพัฒนาโดย Oasis (Inverurie, U.K.) เพื่อใช้ในสภาพแวดล้อมที่อันตราย

### 2.8.2 ด้านการแพทย์และช่วยเหลือคนพิการ

1) มีการติดตั้งระบบ RFID ใช้กับเครื่องมือแพทย์ที่มีราคาแพง ในโรงพยาบาล เนื่องจากโรงพยาบาลมีเครื่องมือและอุปกรณ์ต่างๆ เป็นจำนวนมาก ทำให้สามารถจะรู้ว่าเครื่องมือแพทย์ชนิดต่างๆ อยู่ในตำแหน่งไหน มีสภาพการใช้งานอย่างไร เพื่อจะได้หยิบใช้ได้ทันเวลาที่

2) ติด RFID ให้กับผู้ป่วยที่เข้ามารักษาตัวที่โรงพยาบาลทุกคน เก็บข้อมูล ชื่ออายุ โรค การรักษา ห้อง เบอร์โทรที่ติดต่อได้ และอื่นๆ ใช้เพื่อติดตามเด็กๆ ผู้ป่วยที่เป็นโรคความจำเสื่อม (Alzheimer) และบุคคลที่แพทย์ลงความเห็นว่าไม่สามารถช่วยเหลือตนเองได้เพื่อป้องกันการหายตัวกลับของผู้ป่วย รวมไปถึงหากผู้ป่วยไปล้มแล้วหมดสติที่ไหนก็จะสามารถช่วยได้ทัน

3) นำระบบ RFID มาใช้สำหรับการจัดการด้านยาและเวชภัณฑ์ การติดแท็กส์ที่ยาหรือเวชภัณฑ์ทำให้ทราบรายละเอียดต่าง ๆ เกี่ยวกับยาชนิดนั้น เช่น วันผลิต วันหมดอายุ หรือทราบจำนวนที่เหลือในคลัง เจ้าหน้าที่ไม่ต้องคอยจำหรือดูบันทึก ซึ่งบางครั้งก็เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ทำให้ระบบมีความถูกต้องแม่นยำ และบริหารระบบคลังได้ดีขึ้นจึงลดต้นทุนในส่วนนี้ลงได้

4) มีการใช้ RFID ในบรรจุกัญชยา โดยมีเครื่องอ่านขนาดพกพาเพื่อให้ผู้ป่วยที่ตาบอดสามารถถือเครื่องอ่านมือถืออ่านแท็กส์ที่ขวดยาและอ่านออกเสียงให้คนตาบอดทราบได้ว่าเป็นยาอะไร

### 2.8.3 ด้านการเกษตรกรรมและปศุสัตว์

1) ระบบ Animal Tracking มาใช้ในการพัฒนาด้านปศุสัตว์ให้เป็นระบบฟาร์มอัตโนมัติขึ้นด้วยชิป RFID ติดตัวสัตว์เลี้ยง ติดที่หู หรือให้กินเข้าไปฝังใน ซึ่งมีข้อมูลเฉพาะของสัตว์แต่ละตัว เช่น วันเกิด ประวัติทางการแพทย์พยาบาล การเคลื่อนย้ายมาจากปศุสัตว์อื่น และผลของการตรวจหาเชื้อโรคไว้ที่ตัวสัตว์ ทำให้สามารถตรวจสอบสายพันธุ์ การให้อาหาร วันที่ฉีดยา และการควบคุมโรคติดต่อในสัตว์ได้ รวมถึงการใช้งานสำหรับการตรวจย้อนกลับแหล่งที่มาของผลิตภัณฑ์อาหาร (Food Traceability)

2) ชิปประจำตัวในสัตว์เลี้ยง ใช้บอกตัวตนของสัตว์ เช่น สุนัขและแมว เพื่อใช้ยืนยัน ตามหาเจ้าของ หรือใช้ในการรับรองสายพันธุ์เพื่อใช้ในการซื้อขาย

### 2.8.4 การเข้า-ออกอาคาร (Access Control / Personal Identification)

1) บัตรแบบ RFID ไม่มีการสัมผัสเหมือนบัตรเสียบ Smart card เนื่องจากบัตรแถบแม่เหล็กเมื่อมีการใช้งานนานจะมีการชำรุดสูง และเครื่อง RFID สามารถอ่านข้อมูลระยะไกลเพียงแค่เดินผ่านก็สามารถเปิดปิดประตูอัตโนมัติได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) นำระบบ RFID มาใช้ในการแสดงตัวของบุคลากร เพื่อทำการบันทึกว่าวันนี้มาทำงานไหม มาทำงานเวลาไหน เลิกงานเวลาไหน เพื่อที่จะได้รู้ว่าใครใช้ห้องไหนในเวลาไหนบ้าง เพื่อที่จะเก็บสถิติ และหากมีสิ่งของเสียหายจะได้หาตัวผู้กระทำความผิดได้

### 2.8.5 ระบบการเดินทางขนส่ง

1) การนำไปใช้กับ Smart Card ซึ่งเป็นที่นิยมใน เกาหลี ญี่ปุ่น ฮองกง และ สิงคโปร์โดยเฉพาะการนำไปใช้กับรถไฟใต้ดิน รถเมล์ และขนส่งมวลชนประเภทต่างๆ ใช้กับ บัตรทางด่วน บัตรรถไฟฟ้าใต้ดิน ถ้าบัตรทางด่วนรายเดือนใช้ด้วยจะช่วยประหยัดเวลาในการต่อคิวชำระเงิน หรือประยุกต์ตัดบัตรเครดิต

2) ใช้ RFID กับหนังสือเดินทางอิเล็กทรอนิกส์ (e-passport) เพื่อป้องกันผู้ก่อการร้ายหรือใช้งานสำหรับด้าน E-citizen ด้วย ซึ่งทั่วโลกมีการนำมาใช้บ้างแล้ว

3) ระบบรักษาความปลอดภัยและใช้งานในการติดตามสัมภาระสำหรับการเดินทางโดยเครื่องบินโดยสารโดยฝังไปกับบัตรโดยสาร (Boarding Pass) ซึ่งจะทำให้ระบบการตรวจเอกสารสำหรับการเดินทางโดยเครื่องบินสามารถทำได้อย่างรวดเร็วและถูกต้อง ซึ่งจะลดขั้นตอนต่างๆ ลงได้อย่างมาก

4) การใช้งานทางการขนส่งและการรักษาระบบความปลอดภัย เช่น สายการบิน บินใช้ RFID ในการบิน โดยติดชิปบนกระเป๋าของผู้โดยสาร ทั้งนี้เพื่อลดปัญหากระเป๋าสูญหายและจะเพิ่มความสะดวกสบายเมื่อผู้โดยสารต้องการจะเปลี่ยนเที่ยวบิน

### 2.8.6 ระบบบริการ

1) ด้านการเงิน Visa บัตรอัจฉริยะที่รวมเอาชิป RFID เข้าไว้ในบัตร ทำให้ผู้ใช้บัตรสามารถใช้บัตร Visa จ่ายค่าจอดรถ ซื้อหนังสือพิมพ์ รับสินค้าจากเครื่องให้บริการอัตโนมัติได้ โดยไม่ต้องเปิดกระเป๋าเงิน

2) ธนาคารกลางยุโรปมีแผนจะฝังชิป RFID แบบสวมงอกลไว้ในธนบัตรยูโรอีกด้วย ในอุตสาหกรรมบริการ คือ บ่อนกาสิโน (CASINO) โดยนำแผ่น RFID ฝังลงในชิปส์ (CHIPS) แทนเงิน ซึ่งจะมีประโยชน์ดังนี้ คือ ป้องกันการนำแผ่นชิปส์ (แทนเงิน) ปลอมมาใช้ ซึ่งทำให้บ่อนเสียประโยชน์อย่างมากและเป็นปัญหาสำคัญของบ่อนกาสิโนทั่วโลก นอกจากนั้นแล้วยังมีประโยชน์ในการศึกษา พฤติกรรมของนักพนัน เพื่อจะนำไปวิเคราะห์ศึกษาเหมือนกับการศึกษาพฤติกรรมผู้บริโภคที่ทางบ่อนจะได้หาทางเพิ่มประสิทธิภาพในการให้บริการ

### 2.8.7 ระบบรักษาความปลอดภัย

1) สายการบิน Delta Airlines จะเป็นสายการบินแรกที่จะนำเทคโนโลยีนี้มาใช้กับสัมภาระของผู้โดยสาร ซึ่งทาง IATA ก็ได้ให้การสนับสนุนเต็มที่ หรือสายการบิน Northwest

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Airlines ใช้เป็นระบบรักษาความปลอดภัยในการตรวจสอบวัตถุระเบิดจากกระเป๋าสัมภาระ โดยใช้เครื่องสแกนระบบ RFID ที่ Seattle-Tacoma International Airport

2) กุญแจอิเล็กทรอนิกส์ (Immobilizer) ในรถยนต์ป้องกันการใช้กุญแจผิด และในการขโมยรถยนต์ (Smart Key entry) พวก Keyless ในรถยนต์ราคาแพงบางรุ่นก็เริ่มนำมาใช้งานแล้ว นอกจากนี้พินเฟืองกุญแจเข้ากันได้แล้วแท็กที่ฝังในตัวลูกกุญแจต้องเข้ากันได้ด้วย

3) ในวงการทหารกระทรวงกลาโหมอเมริกันใช้งบประมาณ 11,000 ล้านบาท พัฒนาการนำอุปกรณ์ RFID มาใช้ติดตามการขนส่งอาวุธ เพื่อป้องกันการโจรกรรมและการนำไปใช้ในสถานที่อื่นไม่สมควร

## 2.9 กระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูล

โดยทั่วไปการทำงานของระบบ RFID [1]-[5] มักจะอยู่บนสถานะที่แท็ก RFID หลายแท็กอยู่ในพื้นที่การอ่าน (reader's field) ของเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียว ซึ่งในกรณีนี้สามารถจัดลักษณะการทำงานของระบบ RFID ออกได้เป็น 2 แบบ คือ

1) การกระจาย (broadcasting) หมายถึง การส่งข้อมูลจากเครื่องอ่านเพียงหนึ่งเครื่องไปยังแท็ก RFID หลายๆ แท็กในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในภาพ 2.11 (ก)

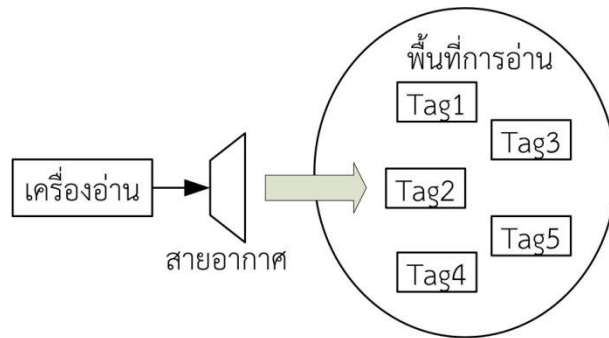
2) การเข้าถึงหลากหลาย (multi-access) หมายถึง การส่งข้อมูลจากแท็ก RFID หลายๆ แท็กไปยังเครื่องอ่านหนึ่งเครื่องในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในภาพ 2.11 (ข)

ในทางปฏิบัติประสิทธิภาพของการส่งข้อมูลในระบบการสื่อสารจะถูกกำหนดด้วย “ความจุของช่องสัญญาณ (channel capacity)” ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่บ่งบอกถึงอัตราการส่งข้อมูลสูงสุดของช่องสัญญาณที่ยอมรับได้ ดังนั้นช่องสัญญาณควรจะต้องถูกจัดสรรให้กับแท็กแต่ละแท็กเพื่อให้สามารถส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่านได้โดยไม่เกิดปัญหาเรื่องการแทรกสอดหรือการชนกัน (collision) ของข้อมูล โดยทั่วไปแท็กไม่สามารถถอดรหัสหรืออ่านกลุ่มข้อมูล (data packet) ที่ส่งโดยแท็กอื่นไปยังเครื่องอ่านได้ จึงทำให้แท็กไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีแท็กอื่นอยู่ในพื้นที่การอ่านหรือไม่ และเมื่อแท็กมากกว่าหนึ่งแท็กส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ก็จะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล (ทำให้ต้องเริ่มส่งข้อมูลใหม่อีกครั้งซึ่งจะเสียเวลามาก) ฉะนั้นจึงเป็นหน้าที่ของเครื่องอ่านที่จะต้องมีการป้องกันการชนกันของข้อมูล (anti-collision) เพื่อใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแท็กที่ต้องการส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่าน

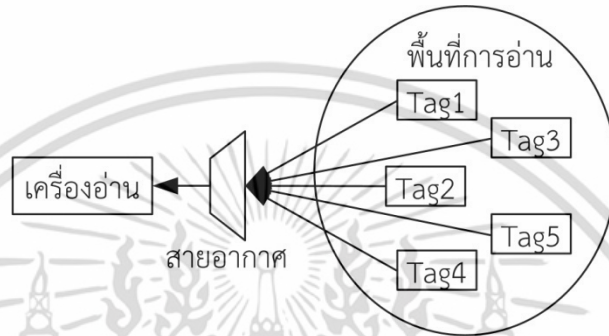
ในกรณีที่มีแท็กหลายแท็กอยู่ในพื้นที่การอ่านเดียวกัน เมื่อเครื่องอ่านส่งสัญญาณออกมาแท็กทั้งหมดนั้นจะได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน พร้อมทั้งส่งสัญญาณตอบสนองกลับไปยังเครื่องอ่าน และเมื่อเครื่องอ่านได้รับสัญญาณจากแท็กหลายๆ แท็กในเวลาเดียวกันก็ทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล ดังนั้นกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างยิ่งสำหรับงานประยุกต์ที่ต้องเผชิญกับการปรากฏตัวของแท็กหลายๆ แท็กพร้อมกันในพื้นที่การอ่านของเครื่องอ่าน ซึ่ง

กระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้ในระบบ RFID ดังต่อไปนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารทูลงวนเวสสำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก)



(ข)

รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของระบบ RFID แบบกระจายและแบบการเข้าถึงหลายทาง

### 2.9.1 กระบวนการอะโลฮา (ALOHA)

กระบวนการอะโลฮาจัดเป็นกระบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่มีความซับซ้อนน้อยที่สุดโดยได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้งานในโครงข่ายวิทยุที่เรียกว่า ALOHANET ในปี ค.ศ. 1970 กระบวนการ ALOHA ถือว่าเป็นกระบวนการ TDMA แบบที่ขับเคลื่อนโดยแท็กส์ RFID ซึ่งโดยทั่วไปแท็กส์ RFID ที่ใช้ในกระบวนการ ALOHA เป็นแท็กส์ RFID แบบที่อ่านข้อมูลได้อย่างเดียวและนิยมใช้ในการส่งข้อมูลขนาดเล็ก โดยจะส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในลักษณะเป็นลำดับวนรอบซึ่งเวลาที่ใช้ในการส่งข้อมูลของแต่ละแท็กส์ RFID จะมีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับเวลาของการวนซ้ำ ดังนั้นจึงทำให้สามารถคำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่แท็กส์ RFID สองแท็กส์ส่งข้อมูลในเวลาที่แตกต่างกัน และกลุ่มข้อมูลจะไม่เกิดการชนกันได้

ลำดับของเวลาในการส่งข้อมูลในระบบ ALOHA ได้แสดงในรูปที่ 2.12 ถ้ากำหนดให้โหลดที่ถูกเสนอ (offered load)  $G$  สอดคล้องกับจำนวนแท็กส์ RFID ที่ส่งข้อมูลพร้อมกันในเวลาเดียวกัน ดังนั้นค่าเฉลี่ยของโหลดที่ถูกเสนอสามารถคำนวณได้จาก

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

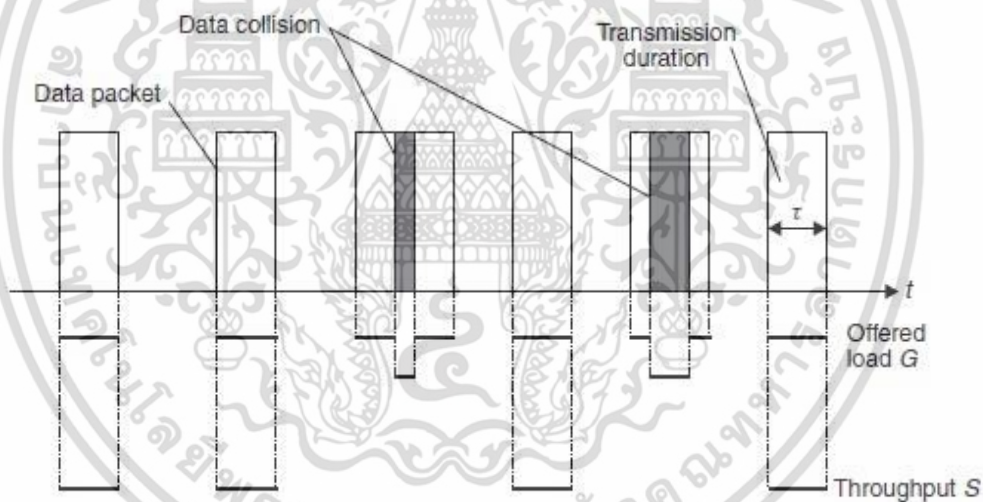
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ  $n$  คือ จำนวนแท็กส์ RFID ในระบบ,  $\tau_n$  คือ ช่วงเวลาในการส่งข้อมูลหนึ่งกลุ่ม (one data packet),  $T$  คือ คาบเวลาที่ทำการเก็บข้อมูล (observation period) และ  $r_n$  คือ จำนวนกลุ่มข้อมูลที่ถูกส่งโดยแท็กส์ RFID ตัวที่  $n$  ภายในคาบเวลา  $T$

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  $G = 0.5$  (ดูรูปที่ 2.13) ดังนั้นเมื่อ  $G$  มีค่าน้อยจะหมายถึงช่องสัญญาณในการส่งข้อมูลไม่ได้ถูกใช้ตลอดเวลา และเมื่อ  $G$  มีค่าเพิ่มขึ้น ก็จะส่งผลทำให้โอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว



รูปที่ 2.12 นิยามของโหลดที่ถูกเสนอ (offered load) และ Throughput ของระบบ ALOHA

นอกจากนี้เรายังสามารถคำนวณหาความน่าจะเป็นที่แท็กส์ RFID แต่ละแท็กส์ส่งข้อมูลโดยไม่เกิดการชนกันของข้อมูล  $q$  ได้จาก  $S$  และ  $G$  ดังนี้

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

และความน่าจะเป็น  $p(k)$  ของการส่งข้อมูลจำนวน  $k$  แพ็คเก็ตที่ไม่มีข้อผิดพลาดเกิดขึ้นภายในคาบเวลา  $T$  สามารถคำนวณได้จาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการเรียนเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

จะเห็นได้ว่า  $p(k)$  มีการแจกแจงแบบปัวซองของ (Poisson distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ  $G/\tau$  ตารางที่ 2.4 แสดงเวลาเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็กส์ทุกแท็กส์ภายในพื้นที่การอ่าน

ตารางที่ 2.4 เวลาเฉลี่ยที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านแท็กส์ RFID ทุกแท็กส์ภายในพื้นที่การอ่าน

จำนวนแท็กส์ RFID ในพื้นที่การอ่าน	ค่าเฉลี่ย (ms)	90% ความน่าเชื่อถือ (ms)	99.9% ความ น่าเชื่อถือ (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

### 2.9.2 กระบวนการสล็อตอะโลฮา (Slotted ALOHA)

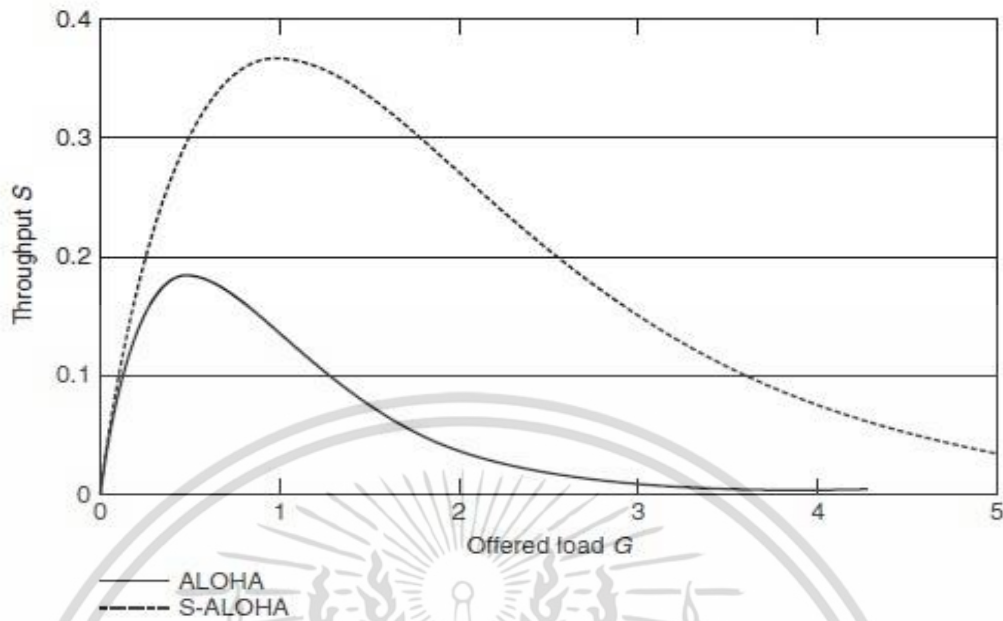
กระบวนการสล็อตอะโลฮาได้ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของกระบวนการ ALOHA ซึ่งมีค่าปริมาณงานต่ำ (low throughput) โดยกระบวนการ Slotted ALOHA แท็กส์จะเริ่มทำการส่งข้อมูลเมื่อถึงเวลาที่เข้าจังหวะตามที่กำหนดไว้หรือเรียกว่า “ช่องการสื่อสาร (slot)” เท่านั้น ซึ่งการเข้าจังหวะของแท็กส์ทั้งหมดจะถูกควบคุมด้วยเครื่องอ่าน

โดยทั่วไปคาบเวลาที่ก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูลสำหรับกระบวนการ Slotted ALOHA จะมีค่าเพียงครึ่งหนึ่งของกระบวนการ ALOHA กล่าวคือ ถ้ากำหนดให้กลุ่มข้อมูลมีขนาดเท่ากัน (นั่นคือมีช่วงเวลาในการส่งข้อมูลเท่ากับ  $\tau$ ) กระบวนการ ALOHA จะเกิดการชนกันของข้อมูลก็ต่อเมื่อแท็กส์สองแท็กส์ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านภายในคาบเวลา  $T < 2\tau$  แต่สำหรับกระบวนการ Slotted ALOHA แท็กส์จะส่งข้อมูลภายในช่วงเวลาที่กำหนด (หรือ slot) ซึ่งแต่ละ slot มีช่วงเวลาเท่ากับ  $\tau$  ฉะนั้นการชนกันของข้อมูลจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อแท็กส์มากกว่าหนึ่งแท็กส์ต้องการส่งข้อมูล ณ ช่วงเวลาที่เข้าจังหวะเดียวกัน ซึ่งก็คือ  $T = \tau$  จึงทำให้ได้ความสัมพันธ์ระหว่าง  $S$  และ  $G$  คือ

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

สมการ (2.5) ทำให้ทราบว่าค่าสูงสุดของ  $S$  คือ 36.8% เมื่อ  $G = 0.9$  ดังแสดงในภาพที่ 2.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.13 เปรียบเทียบปริมาณงาน (throughput) ของกระบวนการ ALOHA และ Slotted ALOHA

อย่างไรก็ตามไม่เป็นจริงเสมอไปที่ว่าแท็กส์หลายแท็กส์ที่ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกันจะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล กล่าวคือ ในกรณีที่แท็กส์ A อยู่ใกล้เครื่องอ่านมากกว่าแท็กส์ B แล้วแท็กส์ A จะได้รับสัญญาณที่แรงกว่า (ได้รับพลังงานมากกว่า) จึงส่งผลทำให้สัญญาณที่ใช้ส่งข้อมูลของแท็กส์ A มีความแรงของสัญญาณมากกว่าของแท็กส์ B ซึ่งอาจทำให้ข้อมูลของแท็กส์ A ถูกเขียนทับลงไปบนข้อมูลของแท็กส์ B ทำให้เครื่องอ่านอ่านข้อมูลของแท็กส์ A ได้เพียงอย่างเดียว ปรากฏการณ์นี้เรียกว่า “capture effect” ซึ่งเป็นผลดีกับพฤติกรรมของ Throughput ถ้ากำหนดให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold)  $b$  คือ ปริมาณที่กลุ่มข้อมูลหนึ่งจะต้องมีความแรงมากกว่ากลุ่มข้อมูลอื่นๆ เพื่อให้เครื่องอ่านสามารถตรวจหาได้โดยปราศจากข้อผิดพลาด ดังนั้นจะได้ความสัมพันธ์ว่า

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

สมมติว่าในระบบมีแท็กส์อยู่ 5 แท็กส์ โดยที่แต่ละแท็กส์จะมีหมายเลขประจำที่เป็นหนึ่งเดียว (หรือหมายเลข ID) ซึ่งมีทั้งหมด 8 บิต (นั่นแสดงว่ามีแท็กส์ได้สูงสุด  $2^8 = 256$  แท็กส์) การทำงานของกระบวนการ Slotted ALOHA สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในตอนเริ่มต้นเครื่องอ่านจะอยู่ในโหมดรอ (wait mode) จากนั้นจึงทำการส่งคำสั่ง REQUEST ไปยังเพื่อทำการเข้าจังหวะกับแท็กส์ทุกแท็กส์ในพื้นที่การอ่าน และเตรียมพร้อมรับข้อมูลหมายเลข ID (หรือ serial number) ที่แท็กส์จะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งกลับมาให้เครื่องอ่านในหนึ่งช่องสื่อสารที่ตามมา เมื่อแท็กแต่ละตัวได้รับคำสั่ง REQUEST ก็จะทำให้การสุ่มเลือกช่องสื่อสาร (slot) เพียงช่องเดียวสำหรับส่งหมายเลข ID ไปยังเครื่องอ่าน เมื่อเครื่องอ่านได้รับหมายเลข ID ของแท็กที่ไม่มีข้อผิดพลาด (ในสล็อตมีแท็กที่ตอบสนองเพียงตัวเดียว) เครื่องอ่านก็จะเลือกแท็กนั้นเพื่อทำการติดต่อสื่อสารโดยการส่งคำสั่ง SELECT ไปยังแท็กนั้น จากนั้นจึงเริ่มทำการอ่านหรือเขียนข้อมูลได้โดยไม่มีแท็กอื่นมารบกวน แต่ถ้าเครื่องอ่านไม่สามารถตรวจสอบหมายเลข ID ของแท็ก RFID ใดๆ ได้ เครื่องอ่านก็จะทำการส่งคำสั่ง REQUEST ออกไปใหม่อีกครั้งหนึ่ง โดยจะทำการขึ้นตอนแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งเครื่องอ่านสามารถตรวจสอบแท็ก RFID ได้ครบทั้งหมดตามที่ต้องการ

### 2.9.3 กระบวนการไดนามิกสล็อตอะโลฮา (Dynamic Slotted ALOHA)

ในกรณีที่มีแท็กจำนวนมากเข้ามาอยู่ในพื้นที่การอ่านของเครื่องอ่าน ก็จะส่งผลทำให้ค่าปริมาณงานลดลงสู่ค่าศูนย์อย่างรวดเร็ว นั่นคือโอกาสที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลจะสูงมาก เพราะว่าจำนวนช่องสื่อสาร (slot) มีน้อยกว่าจำนวนแท็กมาก ฉะนั้นถ้าต้องการให้เครื่องอ่านสามารถตรวจสอบหมายเลข ID ของแท็กได้ ก็จำเป็นจะต้องเพิ่มจำนวนช่องสื่อสารให้มากขึ้น เนื่องจากแท็กหนึ่งแท็กสามารถส่งข้อมูลได้ภายในหนึ่งช่องสัญญาณเท่านั้น

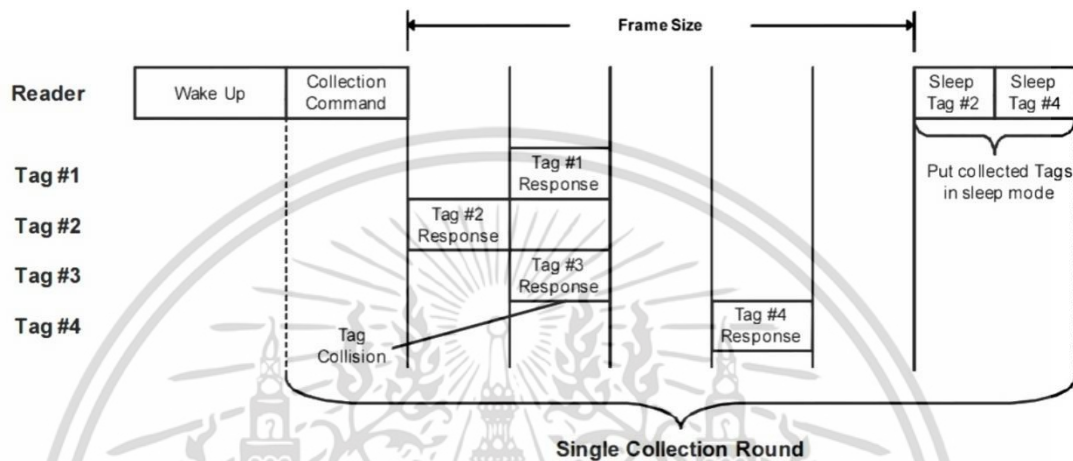
ดังนั้นกระบวนการ Dynamic Slotted ALOHA (DSA) จึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมาจากกระบวนการ Slotted ALOHA เพื่อแก้ไขปัญหา โดยที่จำนวนช่องสื่อสารที่ใช้ในกระบวนการ DSA สามารถปรับเปลี่ยนได้ระหว่างการส่งคำสั่ง REQUEST แต่ละครั้ง (ถ้าเกิดการชนกันของข้อมูลจำนวนมาก ก็จะมีการเพิ่มจำนวนช่องสื่อสารขึ้นไปเรื่อยๆ เช่น 1, 2, 4, 8, 16 หรือ 32 เป็นต้น) จนกระทั่งแท็ก RFID จะถูกค้นพบทั้งหมด และเมื่อเครื่องอ่านสามารถระบุตัวตนของแท็ก RFID ที่ต้องการได้แล้ว ก็ส่งคำสั่ง BREAK ไปยังแท็กนั้น เพื่อให้หยุดการติดต่อสื่อสารกับเครื่องอ่าน จนกว่าเครื่องอ่านจะใช้คำสั่งที่มีการระบุหมายเลข ID ของแท็กนั้นใหม่อีกครั้งหนึ่ง

### 2.9.4 กระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮา (Frame Slotted ALOHA)

กระบวนการเฟรมสล็อตอะโลฮาเป็นโปรโตคอลที่ได้รับการพัฒนาหรือแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นกับระบบเพียวอะโลฮาและสล็อตอะโลฮา โดยมีหลักการคือ จะแบ่งช่วงเวลาสำหรับการส่งข้อมูลออกเป็นช่วงเวลาเล็กๆ (time slot) การส่งข้อมูลจะทำการส่งเมื่อมีการเริ่มต้นของสล็อตและต้องเสร็จสิ้นเมื่อสิ้นสุดในสล็อตนั้นๆ สำหรับโปรโตคอล FSA จะมีการรวมสล็อตเข้าด้วยกันเป็นกลุ่มเรียกว่า 1 เฟรม ซึ่งแท็กแต่ละตัวจะทำการส่งข้อมูลได้ 1 ครั้ง ต่อ 1 เฟรม เมื่อเกิดการชนกัน แท็กจะทำการหน่วงเวลาแบบสุ่มรอเพื่อส่งข้อมูลอีกครั้งในเฟรมถัดไป

หลักการของ FSA เป็นการติดต่อสื่อสารที่เครื่องอ่านจะมีการกำหนดความยาวของเฟรม (จำนวนสล็อต) และแท็กจะทำการเลือกสล็อตในเฟรมดังกล่าวเพื่อทำการส่งข้อมูล เครื่องอ่านจะมีกระบวนการทำงานซ้ำๆ จนกระทั่งแท็กทุกตัวที่ได้มีการส่งข้อมูล ซึ่งในระบบแท็กที่เป็นชนิดกึ่งพาสซีฟและแอ็คทีฟนั้น ตัวเครื่องอ่านจะรับทราบได้ว่ามีแท็กใดที่ประสบความสำเร็จบ้างในแต่ละครั้งที่มีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานจบหนึ่งเฟรม เนื่องจากสาเหตุนี้แท็กดังกล่าวจะไปอยู่ที่โหมดเงียบของเฟรมตามลำดับ ดังนั้นจึงเป็นการลดค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการชนกัน ดังนั้นระยะเวลาที่ระบุเอกลักษณ์ทั้งหมดจึงลดลง แต่สำหรับแท็กชนิดพาสซีฟ แท็กทั้งหมดจะทำการส่งต่อไปเรื่อยๆ ในทุกๆ เฟรม ซึ่งความยาวของระยะเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจำเป็นต้องเพียงพอต่อการระบุเอกลักษณ์ของแท็กส์ทุกตัว



รูปที่ 2.14 การทำงานของโปรโตคอล Frame Slotted Aloha สำหรับระบบ active RFID

จากรูปที่ 2.14 แสดงตัวอย่างการทำงานของโปรโตคอล Frame Slotted Aloha สำหรับระบบ active RFID ก่อนที่เครื่องอ่านข้อมูลจะทำการอ่านข้อมูลนั้น เครื่องอ่านจะต้องทำการกระตุ้นแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้ตื่นจากสภาวะสงบนิ่ง (sleep mode) เพื่อให้อยู่ในสภาวะที่พร้อมทำการส่งข้อมูล ในการเริ่มต้นรอบการอ่านเครื่องอ่านข้อมูลจะส่งสัญญาณคำสั่ง Collection Command ไปยังแท็กส์ทุกตัว ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลขนาดของเฟรมหรือจำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งดังกล่าว จะทำการสุ่มเลือกลำดับของสล็อตที่จะใช้ในการส่งข้อมูล และส่งข้อมูลไปในสล็อตที่ได้ทำการเลือกเอาไว้ สล็อตที่อยู่ในเฟรมจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มคือ สล็อตที่ส่งสำเร็จ คือ สล็อตที่มีแท็กส์ตอบสนองเพียงตัวเดียว (สล็อตที่ 1 และ 4) สล็อตที่ชนกันคือ สล็อตที่มีแท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวตอบสนองพร้อมกัน (สล็อตที่ 2) และสล็อตที่ว่าง คือ สล็อตที่ไม่มีแท็กส์ตอบสนองเลย (สล็อตที่ 3) จากตัวอย่างในรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าในรอบแรกของการอ่านข้อมูลมีแท็กส์เพียง 2 ตัว คือ แท็กส์ตัวที่ 2 และตัวที่ 4 เท่านั้นที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จ เมื่อเครื่องอ่านข้อมูลได้รับข้อมูลจากแท็กส์เรียบร้อยแล้ว ก็จะส่งสัญญาณคำสั่ง sleep command ไปยังแท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อให้แท็กส์ดังกล่าวอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง คือ หยุดการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน ส่วนแท็กส์ที่เหลือก็จะส่งข้อมูลอีกครั้งในรอบการอ่านถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านข้อมูลจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์หมดทุกตัว

## 2.10 การเข้าถึงหลายทางแบบตรวจสอบสัญญาณคลื่นพาห์

จากวิธีการเข้าถึงแบบ ALOHA เมื่อสถานีใดต้องการส่งข้อมูล สถานีจะทำการส่งข้อมูลหรือเข้าใช้ช่องสัญญาณทันที ดังนั้นโอกาสชนกันของข้อมูลจึงมีอยู่สูง ดังนั้นเพื่อลดการชนกันของข้อมูล เราสามารถเพิ่มขึ้นขั้นตอนการตรวจสอบ (sensing) ช่องสัญญาณก่อนส่งข้อมูลว่าช่องสัญญาณว่าง (idle) หรือถูกใช้งานอยู่ (busy) หรือไม่ โดยถ้าหากช่องสัญญาณว่างสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลจึงใช้ช่องสัญญาณ แต่หากไม่ว่างสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลจะทำการเลื่อน (defer) หรือรอคอยตรวจสอบช่องสัญญาณก่อน โดยวิธีการตรวจสอบและการเลื่อนมีอยู่ 3 รูปแบบ คือ

### 2.10.1 แบบยืนกรานเท่ากับ 1 (1 persistent)

วิธีนี้เมื่อสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลทำการตรวจสอบช่องสัญญาณแล้วพบว่า ช่องสัญญาณว่างสถานีจะทำการส่งข้อมูลทันที และถ้าสถานีได้รับการตอบกลับแสดงว่าส่งข้อมูลได้สำเร็จ แต่ถ้าหากไม่ได้รับการตอบกลับสถานีต้องหยุดรอ (back off) เพื่อส่งซ้ำเช่นเดียวกับวิธีการของ ALOHA และในกรณีสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลทำการตรวจสอบช่องสัญญาณแล้วพบว่าไม่ว่าง สถานีจะทำการตรวจสอบไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบว่าช่องสัญญาณว่างและทำการส่งข้อมูลทันที ดังนั้นในกรณีที่มีสถานีรอส่งข้อมูลมากกว่า 1 สถานี เมื่อช่องสัญญาณว่างทุกสถานีที่รอก็จะส่งข้อมูลพร้อมกันทำให้เกิดการชนกันของข้อมูล

### 2.10.2 แบบไม่ยืนกราน (non persistent)

วิธีนี้เมื่อสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลทำการตรวจสอบช่องสัญญาณแล้วพบว่า ช่องสัญญาณไม่ว่าง สถานีที่ต้องการส่งจะทำการสุ่มค่าจำนวนเต็มเพื่อหยุดรอ (ในการสุ่มค่าจำนวนเต็มแต่ละครั้งจะได้ค่าไม่เท่ากัน) แล้วจึงวนกลับมาตรวจสอบช่องสัญญาณอีกครั้ง ซึ่งวิธีการแบบนี้เป็นการหลีกเลี่ยงการชนกันของสถานีที่เฝ้ารอใช้ช่องสัญญาณมากกว่า 1 สถานี ในขณะที่ช่องสัญญาณไม่ว่าง

### 2.10.3 แบบยืนกรานด้วยขนาด P (P persistent)

วิธีนี้เป็นวิธีการที่ช่วยลดข้อเสียของวิธีแบบยืนกรานเท่ากับ 1 และแบบไม่ยืนกราน เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลจากการรอส่งข้อมูลมากกว่า 1 สถานี โดยเมื่อสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลจะทำการตรวจสอบช่องสัญญาณว่าช่องสัญญาณว่างหรือไม่ ถ้าสถานีที่ต้องการส่งข้อมูลทำการตรวจสอบช่องสัญญาณแล้วพบว่า ช่องสัญญาณว่าง สถานีจะไม่ทำการส่งทันทีแต่จะทำการสุ่มเลือกค่าตัวเลข ( $p$ ) ระหว่าง 0-1 ขึ้นมา โดยถ้าหากค่าที่สุ่มขึ้นมามีค่าน้อยกว่าที่กำหนดไว้ คือ  $P$  (โดย  $P$  อาจตั้งไว้มีขนาด 0.01, 0.1 หรือ 0.2) สถานีจะส่งข้อมูล แต่ถ้าหากสถานีสุ่มค่าได้มากกว่า  $P$  แล้วสถานีจะรอไปเท่ากับเวลาขนาดที่ใช้ส่งข้อมูล 1 บิต ( $t$ ) แล้วจึงวนกลับไปตรวจสอบช่องสัญญาณอีกครั้ง ซึ่งในกรณีมีการรอใช้ช่องสัญญาณมากกว่า 1 สถานี โอกาสที่สถานีใดสถานีหนึ่งเฝ้ารอใช้ช่องสัญญาณสุ่มค่าได้  $p < P$  แล้วได้ส่งข้อมูลอาจจะมีหรือไม่มีก็ได้ แต่โอกาสที่สถานีที่รอมากกว่า 1 สถานีจะสุ่มค่าได้  $p < P$  แล้วส่งข้อมูลลงในช่องสัญญาณพร้อมกันมีโอกาสน้อยมาก ซึ่งถ้าสถานีที่รอสุ่ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้ค่า  $p > P$  ก็จะทำให้การรอไปด้วยขนาดเวลา  $t$  ซึ่งถือว่าเป็นเวลาที่น้อยมากๆ การวนไปตรวจสอบเมื่อพบว่าช่องสัญญาณว่างก็จะทำซ้ำอีกตามขั้นตอนเดิม ทำให้โอกาสที่สถานีส่งข้อมูลแล้วเกิดชนกันลดลง (ในกรณีที่มีสถานีรอส่งข้อมูลจำนวนมาก)

## 2.11 ตัวแปรสุ่ม (Random Variables)

เราได้นำเอาการแจกแจงของตัวแปรสุ่มมาประยุกต์ใช้กับการแก้ปัญหาในการวิเคราะห์โปรโตคอลการป้องกันการชนกันของระบบ RFID ดังนั้นเพื่อความเข้าใจในรูปแบบการวิเคราะห์จึงต้องทราบถึงทฤษฎีความน่าจะเป็นพื้นฐานและการแจกแจงของฟังก์ชันของตัวแปรสุ่มบางรูปแบบที่จะทำการกล่าวถึงในหัวข้อนี้

### 2.11.1 ความน่าจะเป็นเชิงการจัด (Combinatorial Probability)

ปัญหามากมายที่เกี่ยวกับความน่าจะเป็นสามารถแก้ได้โดยอาศัยการนับจำนวน (Item Counting) ที่เรียกว่า เชิงการจัด (Combinatorics) ซึ่งปัญหาเกี่ยวกับความน่าจะเป็นเชิงการจัดมีลักษณะดังนี้

- 1) ปริภูมิตัวอย่าง  $S$  ประกอบด้วยผลของการทดลองที่มีจำนวนจำกัด  $n$
- 2) เหตุการณ์ที่ประกอบด้วยผลของการทดลองหนึ่งชนิดหรือหนึ่งจุด (A Single Outcome) มีความน่าจะเป็นเท่ากันหมดและเท่ากับ  $\frac{1}{n}$

โดยทั่วไปเรานิยมกล่าวว่า การทดลองชนิดนี้มีผลที่อาจเกิดขึ้นได้ทั้งหมด  $n$  ชนิด และแต่ละชนิดมีโอกาสที่จะเกิดขึ้นเท่าๆ กัน (Equally Likely Outcome) หรือการทดลองให้ผลของการทดลองแบบสุ่ม (At Random) ระหว่างผลการทดลองที่เป็นไปได้  $n$  ชนิด

ในกรณีที่ไม่มีความซับซ้อนเช่นนี้ เราเลือกซิกมาฟิลด์ที่โตที่สุดคือ เซตที่บรรจุเซ็ทย่อยทั้งหมดของปริภูมิตัวอย่าง  $S$  และสำหรับเซต  $A$  ใดๆ ที่อยู่ในซิกมาฟิลด์แล้วเราจะได้  $P(A) = \frac{k}{n}$  เมื่อ  $k$  คือสมาชิกที่อยู่ใน  $A$

การคำนวณค่าของ  $n$  สำหรับแต่ละการทดลองและ  $k$  สำหรับแต่ละเหตุการณ์นั้นโดยทั่วไปยังเป็นปัญหาที่ยุ่งยาก โดยเฉพาะถ้าการทดลองซับซ้อน การจะเขียนสมาชิกทุกตัวในปริภูมิตัวอย่างย่อมเป็นไปได้ แต่กระนั้นก็ตามมีสูตรการนับบางสูตรที่จะศึกษาในที่นี้ช่วยให้แก้ปัญหาต่างๆ ได้มากมาย

#### 2.11.1.1 หลักเบื้องต้นของการนับ

ถ้าการทดลองหนึ่งประกอบด้วย การทดลอง 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนแรกมีทางที่จะทำได้  $r$  ขั้นตอน และขั้นตอนที่ 2 มีทางที่จะทำได้  $k$  ขั้นตอน ผลของการทดลองทั้งหมดจะเกิดขึ้นได้  $r * k$  วิธี

เพื่อที่จะเข้าใจหลักการเบื้องต้นนี้ พิจารณาผลของการทดลองหนึ่งซึ่งประกอบด้วย 2 ขั้นตอน ขั้นตอนแรก คือ  $A$  อาจจะได้ผลของการทดลองเป็น  $a_1, a_2, a_3, \dots, a_r$  วิธีเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปเผยแพร่ในเชิงพาณิชย์ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และขั้นตอนที่ 2 คือ B อาจจะได้ผลของการทดลองเป็น  $b_1, \dots, b_k$  วิธี ดังนั้นผลของการทดลองจะออกมาในรูปของคู่ลำดับ  $(a_i, b_j)$  ดังนี้

	$b_1$	$b_2$	...	$b_j$	...	$b_k$
$a_1$	$(a_1, b_1)$	$(a_1, b_2)$	...	$(a_1, b_j)$	...	$(a_1, b_k)$
$a_2$	$(a_2, b_1)$	$(a_2, b_2)$	...	$(a_2, b_j)$	...	$(a_2, b_k)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
$a_j$	$(a_j, b_1)$	$(a_j, b_2)$	...	$(a_j, b_j)$	...	$(a_j, b_k)$
$\vdots$	$\vdots$	$\vdots$	...	$\vdots$	...	$\vdots$
$a_r$	$(a_r, b_1)$	$(a_r, b_2)$	...	$(a_r, b_j)$	...	$(a_r, b_k)$

นั่นคือ ผลของการทดลองจะออกมาในรูปของผลคูณคาร์ทีเซียนของ  $A \times B$  โดยที่  $A = \{a_1, a_2, \dots, a_r\}$ ,  $B = \{b_1, b_2, \dots, b_k\}$  จะได้คู่ลำดับทั้งหมด  $r \times k$  คู่ลำดับด้วยกัน ดังนั้นจำนวนวิธีทั้งหมดของผลของการทดลอง =  $n(A \times B) = n(A) \times n(B)$

โดยการขยายหลักเกณฑ์นี้ออกไปให้ใช้ได้กับการทดลองที่ประกอบด้วยขั้นตอนมากกว่า 2 ขั้นตอน ก็จะได้หลักเกณฑ์ทั่วไป ที่ใช้หาจำนวนวิธีทั้งหมดสำหรับการทดลองหนึ่งทีประกอบด้วยขั้นตอน  $n$  ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ( $A_1$ ) อาจจะสามารถทำได้  $a_1$  วิธี

ขั้นตอนที่ 2 ( $A_2$ ) อาจจะสามารถทำได้  $a_2$  วิธี

$\vdots$

ขั้นตอนที่  $n$  ( $A_n$ ) อาจจะสามารถทำได้  $a_n$  วิธี

ดังนั้นผลของการทดลองทั้งหมดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ จะออกมาในรูปของผลคูณคาร์ทีเซียนของ  $A_1 \times A_2 \times \dots \times A_n$  นั่นคือ

$$S = \{(x_1, x_2, \dots, x_n) | x_i \in A_i\}$$

จำนวนสมาชิกในแซมเปิลสเปซ

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

ตัวอย่าง ทอดลูกเต๋า 1 ลูก 3 ครั้ง จำนวนวิธีทั้งหมดที่อาจจะเกิดขึ้นได้ =  $6 \times 6 \times 6 = 216$  วิธี

### 2.11.1.2 การสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่และแบบไม่คืนที่

ปัญหาต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ของทฤษฎีความน่าจะเป็นอีกอันหนึ่งก็คือการสุ่มสิ่งของออกมาจำนวนหนึ่ง  $r$  สิ่ง จากสิ่งของต่างกัน  $n$  สิ่ง วิธีการสุ่มสิ่งของนี้เรียกว่าการสุ่มเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตัวอย่างเรียกสั้นๆ ว่า การสุ่มตัวอย่างขนาด  $r$  ซึ่งอาจจะสุ่มได้มาโดยวิธีหยิบทีละสิ่งแล้วใส่กลับคืนที่เดิม (With Replacement) ก่อนหยิบครั้งต่อไป หรืออาจจะสุ่มหยิบทีละสิ่งแล้วไม่ใส่กลับคืนที่เดิม (Without Replacement) ก่อนหยิบครั้งต่อไป

ในแต่ละวิธี บางครั้งลำดับของการสุ่มที่ได้มาอาจจะมีความสำคัญ หรือไม่มี ความสำคัญก็ได้ ถ้าตัวอย่างขนาด  $r$  ถูกสุ่มมาจากสิ่งของทั้งหมด  $n$  สิ่งโดยคำนึงถึงลำดับในการสุ่มแล้ว เรียกตัวอย่างขนาด  $r$  ที่สุ่มมาได้ว่าเป็นลำดับของตัวอย่างขนาด  $r$  (Ordered Sample of Size  $r$ ) เรา เรียกวิธีนี้ว่า เป็นการเรียงสับเปลี่ยน (Permutation) ถ้าไม่คำนึงถึงลำดับของตัวอย่างขนาด  $r$  แล้ว เราเรียกว่า เป็นการเลือก หรือ การจัดหมู่ (Combination)

ลำดับของตัวอย่างขนาด  $r$  นิยมเขียนในรูปแบบของ  $r$  ลำดับ คือ  $(x_1, x_2, \dots, x_r)$  เมื่อ  $x_i$  แทนผลที่สุ่มได้ในครั้งที่  $i$

**นิยาม** การสุ่มตัวอย่างแบบคืนที่เกิดขึ้นได้เมื่อสุ่มตัวอย่างทีละสิ่ง แล้วใส่กลับคืนที่เดิมก่อนหยิบครั้งต่อไป ดังนั้น จำนวนวิธีทั้งหมดที่อาจจะสุ่มตัวอย่างอย่างมีลำดับขนาด  $r$  จากสิ่งของที่ต่างกัน  $n$  สิ่ง จะเท่ากับ  $r$  สิ่ง

**นิยาม** การสุ่มตัวอย่างแบบไม่คืนที่เกิดขึ้นได้ เมื่อสุ่มตัวอย่างทีละสิ่งแล้วไม่ใส่กลับคืนที่เดิมก่อนหยิบครั้งต่อไป ดังนั้น จำนวนวิธีทั้งหมดที่อาจจะสุ่มตัวอย่างอย่างมีลำดับขนาด  $r$  จากสิ่งของที่ต่างกัน  $n$  สิ่ง จะเท่ากับ

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

ซึ่งจะใช้สัญลักษณ์  ${}^n P_r$  หรือ  $(n)_r$  แทน

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

บางครั้งลำดับของการเลือกไม่มีความสำคัญ และเราไม่สนใจว่าจะได้สิ่งใดก่อนหรือหลัง เพียงแต่ ต้องการให้ได้ของตัวอย่างขนาด  $r$  เท่านั้น เพื่อที่จะหาวิธีของการสุ่มตัวอย่างขนาด  $r$  โดยไม่คำนึงถึงลำดับ สมมติให้  $c$  แทนจำนวนวิธีของการสุ่มตัวอย่างขนาด  $r$  (ไม่คำนึงถึงลำดับ) จากสิ่งของที่ต่างกัน  $n$  สิ่ง จะเห็นได้ว่าในแต่ละวิธีที่สุ่มมาได้นี้ ถ้าจะนำมาจัดเรียงสับเปลี่ยน จะทำได้  $r!$  วิธี ดังนั้น จำนวนวิธีของการจัดเรียงสับเปลี่ยนของตัวอย่างขนาด  $r$  จะเท่ากับจำนวนวิธีของการสุ่มตัวอย่างขนาด  $r$  คูณด้วยจำนวนวิธีของการจัดเรียงสับเปลี่ยนในแต่ละวิธี ซึ่งจะได้

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

ดังนั้น

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

หมายเหตุ: จะเห็นได้ว่า จำนวนวิธีที่ได้นี้จะเหมือนกับการจัดเรียงสับเปลี่ยนสิ่งของที่มีลักษณะเหมือนกัน ชนิดแรกเหมือนกัน มี  $r$  สิ่ง อีกชนิดหนึ่งเหมือนกันมี  $(n - r)$  สิ่ง ซึ่งจะจัดเรียงสับเปลี่ยนได้  $= \frac{n!}{r!(n-r)!}$  (เลือกตำแหน่งให้ของชนิดแรกอยู่ เลือกได้  $\binom{n}{r}$  วิธี ตำแหน่งที่เหลือวางของชนิดที่สอง)

**นิยาม** จำนวนวิธีของการเลือกสิ่งของ  $r$  สิ่งจากสิ่งของที่แตกต่างกัน  $n$  สิ่ง (ตัวอย่างขนาด  $r$  ไม่คำนึงถึงลำดับ) คือ

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

จำนวน  $\binom{n}{r}$  มีชื่อเรียกว่า **สัมประสิทธิ์ทวินาม** เพราะว่าเป็นสัมประสิทธิ์ของ  $a^r b^{n-r}$  ได้มาจากการกระจาย  $(a + b)^n$  ก็คือ  $\binom{n}{r}$  นั่นเอง นั่นคือ

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

### 2.11.2 การแจกแจงความน่าจะเป็นแบบทวินาม (Binomial Distribution)

ในลำดับของการทดลองแบบเบอูลลี เราสนใจแต่จำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จในการทดลองทั้งหมด  $n$  ครั้ง โดยไม่สนใจลำดับของการเกิดแต่ละครั้ง ถ้ากำหนดให้ตัวแปรสุ่ม  $X$  เป็นจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จในการทดลองแบบเบอูลลี  $n$  ครั้ง  $x$  อาจจะมีค่าเป็น  $0, 1, 2, 3, \dots, n$  นั่นคือเราจะได้นิยามของการทดลองแบบทวินามดังนี้

**นิยาม** การทดลองแบบทวินาม (Binomial Experiment) จะต้องมีคุณสมบัติดังนี้

- 1) เป็นการทดลองที่กระทำซ้ำๆ กัน  $n$  ครั้ง ( $n > 1$ )
- 2) การทดลองทั้ง  $n$  ครั้ง เป็นอิสระซึ่งกันและกัน
- 3) ผลของการทดลองแต่ละครั้งจะเกิดได้เพียง 2 ชนิดเท่านั้นคือ **ความสำเร็จ** (Success) กับ **ความไม่สำเร็จ** (Failure)
- 4) ความน่าจะเป็นของการเกิดความสำเร็จในการทดลองแต่ละครั้งมีค่าคงที่ นั่นคือ  $P(\text{เกิดความสำเร็จในแต่ละครั้ง}) = p$  และ  $P(\text{ไม่เกิดความสำเร็จในแต่ละครั้ง}) = 1 - p = q$
- 5) ตัวแปรสุ่ม  $X$  คือ จำนวนครั้งของความสำเร็จจากการทดลองทั้ง  $n$  ครั้ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้า  $X$  เป็นจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จ  $x$  อาจจะมีค่าเป็น  $0, 1, 2, \dots, n$  แล้ว  $n-x$  จะเป็นจำนวนครั้งของการเกิดความสำเร็จไม่สำเร็จ ความน่าจะเป็นของการเกิดความสำเร็จ  $x$  ครั้ง ในการทดลอง  $n$  ครั้งจะเท่ากับ  $\binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}$  นั่นคือ ฟังก์ชันความน่าจะเป็นของ  $X$  คือ

$$P(X = x) = \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, \quad x = 0, 1, \dots, n \quad (2.10)$$

เราเรียกความน่าจะเป็นนี้ว่า ความน่าจะเป็นทวินาม (Binomial Probability) และเรียกการแจกแจงของตัวแปรสุ่ม  $X$  ว่าเป็น การแจกแจงทวินาม (Binomial Distribution)

**นิยาม** ตัวแปรสุ่ม  $X$  มีการแจกแจงทวินาม ถ้า (สำหรับจำนวนเต็มบวก  $n$  ใดๆ และ  $0 \leq p \leq 1$ )

$$P(X = x) = p_x(x) = \begin{cases} \binom{n}{x} p^x (1-p)^{n-x}, & x = 0, 1, \dots, n \\ 0, & \text{ถ้าเป็นอย่างอื่น} \end{cases} \quad (2.11)$$

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

พิจารณา

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

ดังนั้นสมการดังกล่าวมีคุณสมบัติเป็นฟังก์ชันความน่าจะเป็น

**ตัวอย่าง** ทอดลูกเต๋า 1 ลูก 5 ครั้ง ความน่าจะเป็นที่ลูกเต๋าคือจะขึ้นแต้มหก 2 ครั้งจะเท่ากับ

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

$$\left(p = \frac{1}{6}, 1-p = \frac{5}{6}\right)$$

หรือ ถ้ากำหนดให้ตัวแปรสุ่ม  $X$  เป็นจำนวนครั้งที่ลูกเต๋าคือจะขึ้นแต้มหก

ดังนั้น  $X$  จะมีค่าเป็น  $0, 1, 2, 3, 4, 5$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

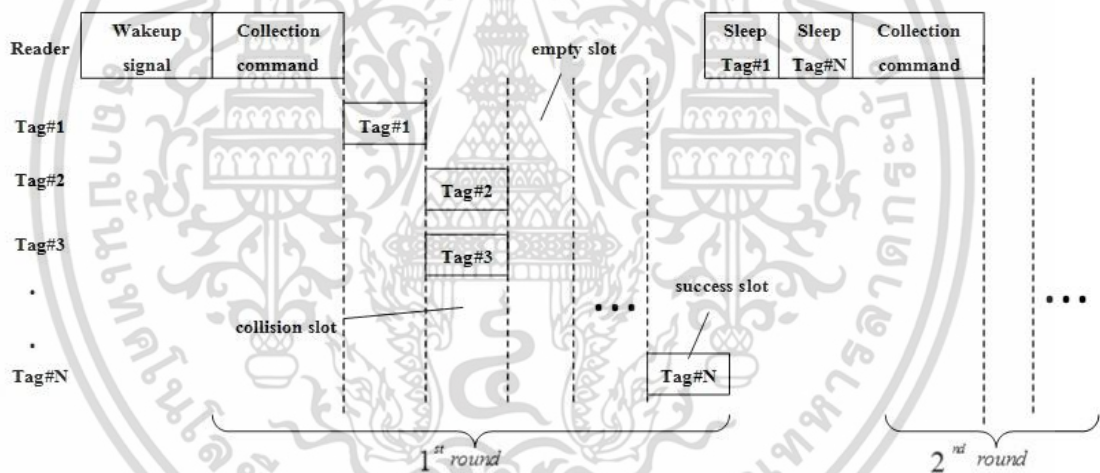
$$P(X = 2) = \binom{5}{2} \left(\frac{1}{6}\right)^2 \left(\frac{5}{6}\right)^3$$

$$= \left(\frac{5!}{2!3!}\right) \left(\frac{1}{6}\right)^2 \left(\frac{5}{6}\right)^3 = \frac{1250}{7776}$$

## 2.12 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

### 2.12.1 โพรโทคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา (Frame Slotted Aloha)

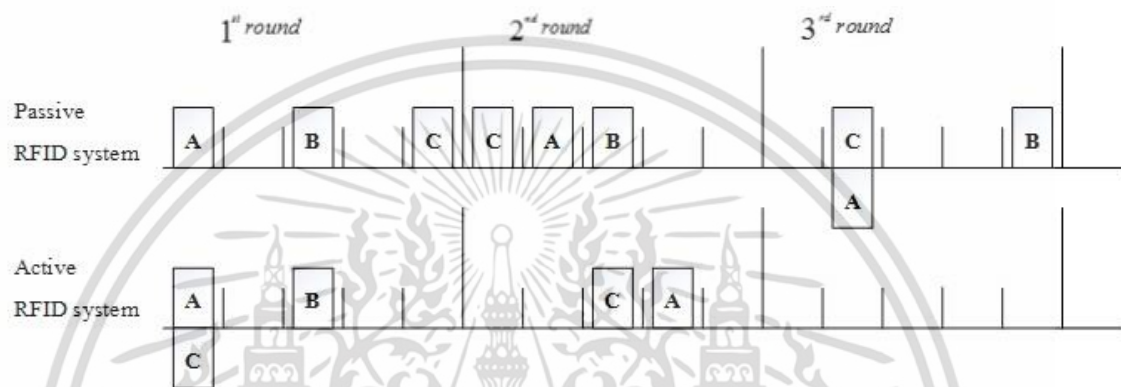
Bin, Mamoru และ Masashi (2005) ได้ศึกษาเรื่อง Framed ALOHA for Multiple RFID Objects Identification [15] ได้กล่าวถึงรูปแบบการทำงานของระบบ RFID ที่มีการส่งแบบหลายทางโดยใช้รูปแบบการส่งแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา (FSA: Framed Slotted ALOHA) โดยจะมีรูปแบบการส่งข้อมูลแท็กส์ 2 ประเภท คือ แท็กส์ชนิดพาสซีฟ (passive tag) และแท็กส์ชนิดแอคทีฟ (active tag) โดยทั้ง 2 จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 2.15 การอ่านข้อมูลจากแท็กส์ชนิดแอคทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา

แท็กส์ชนิดแอคทีฟจะมีแบตเตอรี่ภายในแท็กส์ทำให้ระยะเวลาการส่งได้ไกลกว่าแท็กส์ชนิดพาสซีฟ นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำและฟังก์ชันที่มากกว่าอีกด้วย ในการเริ่มการสื่อสารเครื่องอ่านจะเป็นคนเริ่มทำการติดต่อกับแท็กส์ ในขณะที่แท็กส์ไม่ได้ทำงานหรือไม่ต้องตอบสนองคำสั่งใดๆ แท็กส์จะอยู่ในสถานะหลับ (Sleep state) จากรูปที่ 2.15 แสดงการอ่านข้อมูลจากแท็กส์ชนิดแอคทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา เครื่องอ่านจะเริ่มต้นด้วยการส่งสัญญาณปลุก (Wakeup signal) ไปยังแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณการอ่านของเครื่องอ่าน เมื่อทุกแท็กส์ได้รับสัญญาณปลุกแล้วจะเข้าสู่สถานะพร้อม (Ready state) ที่จะรับคำสั่งจากเครื่องอ่าน หลังจากนั้นเครื่องอ่านจะส่ง Collection command ที่ระบุขนาดเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูล เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งแล้ว แท็กส์ก็จะทำการส่งเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เข้าสล็อตต่างๆ โดยในแต่ละรอบการอ่าน แท็กแต่ละตัวจะสามารถส่งข้อมูลเข้าสล็อตได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นต่อหนึ่งรอบการอ่าน ดังนั้นในเฟรมดังกล่าวจะมีทั้งสล็อตที่ว่างเปล่า สล็อตที่มีแท็กมากกว่า 1 ตัว (สล็อตที่ชนกัน) และสล็อตที่มีแท็ก 1 ตัว (สล็อตที่ส่งสำเร็จ) เมื่อจบรอบของการอ่าน ข้อมูลเครื่องอ่านจะส่งคำสั่งหลับ (sleep) ให้กับแท็กที่ส่งข้อมูลสำเร็จ นั่นคือแท็กที่ส่งข้อมูลไปในสล็อตเพียงตัวเดียว แท็กดังกล่าวก็จะเข้าสู่สถานะหลับและจะไม่ทำการส่งข้อมูลในเฟรมต่อไปอีกแล้วเครื่องอ่านก็ทำการส่ง Collection command ให้กับแท็กที่เหลืออยู่ โดยจะทำได้เรื่อยๆ เหมือนกันทุกรอบจนหยุดกระบวนการส่งเมื่อไม่มีแท็กตอบสนองแล้ว



รูปที่ 2.16 เปรียบเทียบการอ่านข้อมูลของแท็กชนิดแอกทีฟและพาสซีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา

แท็กชนิดพาสซีฟจะไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานภายในตัวเอง จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่านในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน ในการทำงานเครื่องอ่านจะกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกมาตลอดเวลา เมื่อแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่านและได้รับพลังงานจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กก็จะเริ่มทำงานทันที พาสซีฟแท็กนั้นไม่สามารถจดจำสถานะใดๆ ได้ ทำได้เพียงตอบสนองต่อเครื่องอ่าน จึงทำให้แท็กมีการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในทุกรอบซึ่งทำให้เกิดการชนกันของแท็กได้ ซึ่งแตกต่างกับแท็กชนิดแอกทีฟที่แท็กที่ส่งข้อมูลสำเร็จแล้วจะอยู่ในสถานะหลับ ทำให้ในรอบการอ่านข้อมูลต่อไปมีจำนวนแท็กแย่งชิงในการส่งข้อมูลเข้าสล็อตน้อยลง จากรูปที่ 2.16 เปรียบเทียบการตอบสนองของแท็กทั้งสองชนิดใน 3 รอบการอ่านข้อมูล ให้เฟรมมีค่า 5 สล็อต และมีแท็ก 3 ตัว คือ A, B และ C แท็กชนิดพาสซีฟทั้ง 3 จะทำการส่งในรอบที่ 1 แต่แท็กชนิดแอกทีฟในรอบที่ 2 จะให้แท็ก B อยู่ในสถานะหลับ และทำการส่งแท็ก A และ C เนื่องจากชนกันในรอบที่ 1 และในรอบที่ 3 จะไม่มีการตอบสนองใดๆ ของแท็กเนื่องจากทุกแท็กทำการส่งสำเร็จแล้วนั่นเอง

Vogt (2002) ได้ศึกษาเรื่อง Efficient Object Identification with Passive RFID Tags [16] เป็นการศึกษาโดยอยู่บนสมมติฐานที่ไม่ทราบจำนวนของแท็กที่แน่นอน และจะทำการกำหนดจำนวนรอบของการอ่านค่าที่เหมาะสมที่สุด (optimal number of read cycles) วิธีการ คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นำเสนออัลกอริทึมที่ใช้ในการประมาณค่าอย่างง่ายสำหรับการประมาณจำนวนแท็กที่อยู่บนพื้นฐานของ Frame Slotted ALOHA based Protocol โดยใช้จำนวนของสล็อตที่แท็กตอบกลับมาเพียงหนึ่งแท็ก และจำนวนสล็อตที่เกิดการชนกันในเฟรมที่ได้รับโดยมีค่าเท่ากับ

$$N_{est} = C_1 + 2C_k$$

เมื่อ  $N_{est}$  คือ จำนวนแท็กที่จะประมาณ

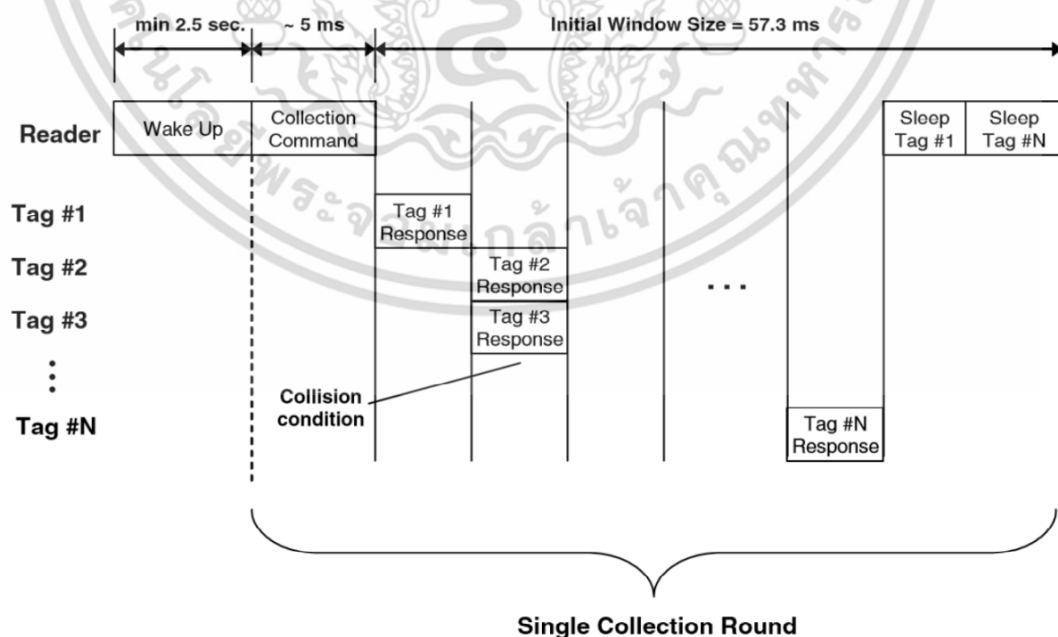
$C_1$  คือ จำนวนสล็อตที่แท็กตอบกลับมาเพียง 1 แท็ก

$C_k$  คือ จำนวนสล็อตที่เกิดการชนกัน

ผลที่ได้จากการทดสอบ คือ สามารถคำนวณขนาดของเฟรมที่เหมาะสมที่สุดเพื่อให้แท็กส่งข้อมูลไปโดยใช้เวลาไม่นาน ดังนั้นหากเครื่องอ่านสามารถกำหนดขนาดของเฟรมที่เหมาะสมที่สุด ก็จะสามารถประมาณค่าจำนวนแท็กที่ไม่ทราบจำนวนได้อย่างถูกต้องมากที่สุด

### 2.12.2 โพรโตคอลไดนามิกเฟรมสล็อตอะโลฮา (Dynamic Frame Slotted Aloha)

Yoon W. J., Chung S. H., Lee S. J. และ Moon Y. S. (2007) ได้ศึกษาเรื่อง Design and Implementation of an Active RFID System for Fast Tag Collection [17] ได้กล่าวถึงรูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DFSA ตามมาตรฐานสำหรับระบบ active RFID ที่มีการทำงานในช่วงความถี่ 433 Mhz ในโปรโตคอล DFSA จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมในแต่ละรอบการอ่านข้อมูลให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กที่ทำการส่งข้อมูลในรอบรอบการอ่านนั้นๆ



รูปที่ 2.17 การทำงานของโปรโตคอล DFSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรโตคอล DFSA เครื่องอ่านจะทำการกระตุ้นแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้ตื่นจากสภาวะสงบนิ่งก่อน จากนั้นเครื่องอ่านจะเริ่มต้นรอบการอ่านด้วยการส่งสัญญาณคำสั่ง Collection Command ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลขนาดของเฟรม ไปยังแท็กส์ทุกตัว เมื่อแท็กส์แต่ละตัวได้รับคำสั่งดังกล่าว จะทำการสุ่มเลือกลำดับของสล็อตที่จะใช้ในการส่งข้อมูลแล้วส่งข้อมูลไปในสล็อตที่ได้ทำการเลือกเอาไว้ สล็อตที่อยู่ในเฟรมจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สล็อตที่ส่งสำเร็จ คือ สล็อตที่มีแท็กส์ตอบสนองเพียงตัวเดียว สล็อตที่ชนกัน คือ สล็อตที่มีแท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวตอบสนองพร้อมกัน และสล็อตที่ว่าง คือ สล็อตที่ไม่มีแท็กส์ตอบสนองเลย ในรอบแรกของการอ่านข้อมูลมีแท็กส์เพียง 2 ตัวเท่านั้น (ตัวที่ 2 และตัวที่ 4) ที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จ ดังแสดงในรูปที่ 2.17 เมื่อเครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์เรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณคำสั่ง Sleep Command ไปยังแท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จ เพื่อให้แท็กส์ดังกล่าวอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง คือ หยุดการตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน เมื่อสิ้นสุดรอบการอ่าน เครื่องอ่านจะทำการประมาณค่าจำนวนแท็กส์ที่เหลือ โดยใช้ข้อมูลจากการอ่านรอบที่ผ่านมา เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดของเฟรมให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ในรอบการอ่านถัดไป จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด

Lee S., Joo S. และ Lee C. (2005) ได้ศึกษาเรื่อง An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification [18] โดยศึกษาค้นคว้าในส่วนของการเพิ่มประสิทธิภาพของโปรโตคอลที่ใช้ในการป้องกันการชนกันของแท็กส์ในส่วนของโปรโตคอล ALOHA based โดยศึกษาการทำงานและวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอล DFSA (Dynamic Framed Slotted Aloha) ซึ่งพัฒนามาจากโปรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮาที่ใช้ขนาดของเฟรมคงที่ตลอดทั้งกระบวนการอ่านข้อมูล โดยเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงขนาดของเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูลให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล ซึ่งพบว่าระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองเท่ากับขนาดของเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูล ในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าขนาดของเฟรมมากๆ จะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากตามไปด้วย ดังนั้นในงานวิจัยจึงได้ทำการสร้างอัลกอริทึมใหม่ที่ใช้ในการแก้ปัญหา คือ Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOH หรือ EDFSA ซึ่งวิธีนี้จะใช้การประมาณค่าจำนวนของแท็กส์ที่ยังไม่ถูกอ่านและจำกัดจำนวนที่จะตอบกลับ โดยมีเงื่อนไขว่า ถ้าจำนวนแท็กส์ที่ยังไม่ถูกอ่านมีค่ามากกว่าขนาดของเฟรมสูงสุด จะจำกัดจำนวนแท็กส์ที่จะตอบกลับโดยวิธีการใช้ Modulo คือ การจัดกลุ่มของแท็กส์ให้เท่ากับขนาดเฟรมสูงสุด โดยคิดจากอัตราส่วนระหว่างจำนวนแท็กส์ที่ยังไม่ถูกอ่านกับขนาดของเฟรมสูงสุดจะได้เท่ากับจำนวนกลุ่มที่แบ่ง และจะอนุญาตให้มีการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านข้อมูลได้เพียงทีละกลุ่มเท่านั้น ผลจากงานวิจัยในครั้งนี้พบว่า จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากแท็กส์จะมีค่าน้อยลง เมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอลอื่นๆ โดยมีค่าของประสิทธิภาพของระบบอยู่ที่ประมาณร้อยละ 85-100 เมื่อจำนวนแท็กส์มีจำนวน 1,000 ตัว

Chen และ Lin (2006) ได้ศึกษาเรื่อง An Efficient Anti-Collision Method for Tag Identification in an RFID System [19] โดยได้ศึกษาค้นคว้าในส่วนของโปรโตคอลที่ใช้ป้องกันการชนกันของข้อมูลโดยเป็นการพัฒนาปรับปรุงโปรโตคอลที่ชื่อว่า Dynamic frame ALOHA ซึ่งได้มีการนำเสนอแนวคิดในการประมาณค่าจำนวนแท็กส์ไว้สองวิธี ได้แก่ วิธีแรกเป็นการหาค่าความน่าจะเป็นของการเกิดสล็อตสามแบบ คือ สล็อตที่มีแท็กส์เพียง 1 แท็กส์ สล็อตที่ว่าง และสล็อตที่เกิดการชนกัน โดยค่าจำนวนแท็กส์ที่เลือกจะเลือกค่า  $n$  ที่มีค่ามากที่สุด มาใช้ในการประมาณจำนวนแท็กส์ที่เกิดขึ้น และวิธีที่สองเป็นการประมาณค่าจำนวนแท็กส์โดยอยู่บนพื้นฐานของค่ากลางของสล็อตที่มีค่าว่างและสล็อตที่มีแท็กส์เพียงหนึ่งแท็กส์ โดยคำนวณความน่าจะเป็นโดยการแจกแจงของเบอูลูลี่ ผลการวิจัยพบว่า วิธีการในการประเมินค่าแท็กส์วิธีการแรกจะมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าร้อยละ 1 ในขณะที่วิธีการที่สองจะมีค่าความผิดพลาดสูงกว่า แต่ก็ไม่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการระบุแท็กส์ทั้งหมด ซึ่งวิธีการนี้จะมีประสิทธิภาพในส่วนของการนำไปพัฒนาในการติดต่อสื่อสารจากเครื่องอ่านไปยังแท็กส์และง่ายต่อการนำไปพัฒนาทั้งในส่วนของเครื่องอ่านและแท็กส์อีกด้วย

Cha และ Kim (2005) ได้ศึกษาเรื่อง Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system [20] โดยเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของโปรโตคอลแบบ ALOHA based และได้นำเสนอโปรโตคอลที่มีชื่อว่า Dynamic Frame Slotted ALOHA หรือ DFSA ซึ่งใช้วิธีการประมาณค่าจำนวนแท็กส์สองวิธี คือ วิธีแรก Tag Estimation Method หรือ TEM เป็นการประมาณค่าจำนวนแท็กส์โดยสัมพันธ์กับการเกิดการชนกันในสล็อต และวิธีที่สอง Dynamic Slot Allocation หรือ DSA ใช้วิธีการกำหนดค่าของเฟรมที่ดีที่สุด โดยใช้ค่า Delay หรือเวลาที่แท็กส์ใช้ในการส่งข้อมูลอย่างประสบความสำเร็จและค่า Throughput การทดสอบจะเป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของ DFSA กับ Frame Slotted ALOHA หรือ FSA ซึ่งผลการทดสอบโดยใช้โปรแกรม OPNET Simulation พบว่า DFSA มีประสิทธิภาพดีกว่า FSA โดยมีความสามารถในการอ่านแท็กส์หลายแท็กส์ได้ปริมาณมากๆ ในระยะเวลาอันสั้น และในด้านจำนวนแท็กส์ที่เพิ่มมากขึ้นโดย FSA จะไม่เหมาะสมกับสถานการณ์ที่มีแท็กส์จำนวนมาก

## บทที่ 3

# โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ และการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์

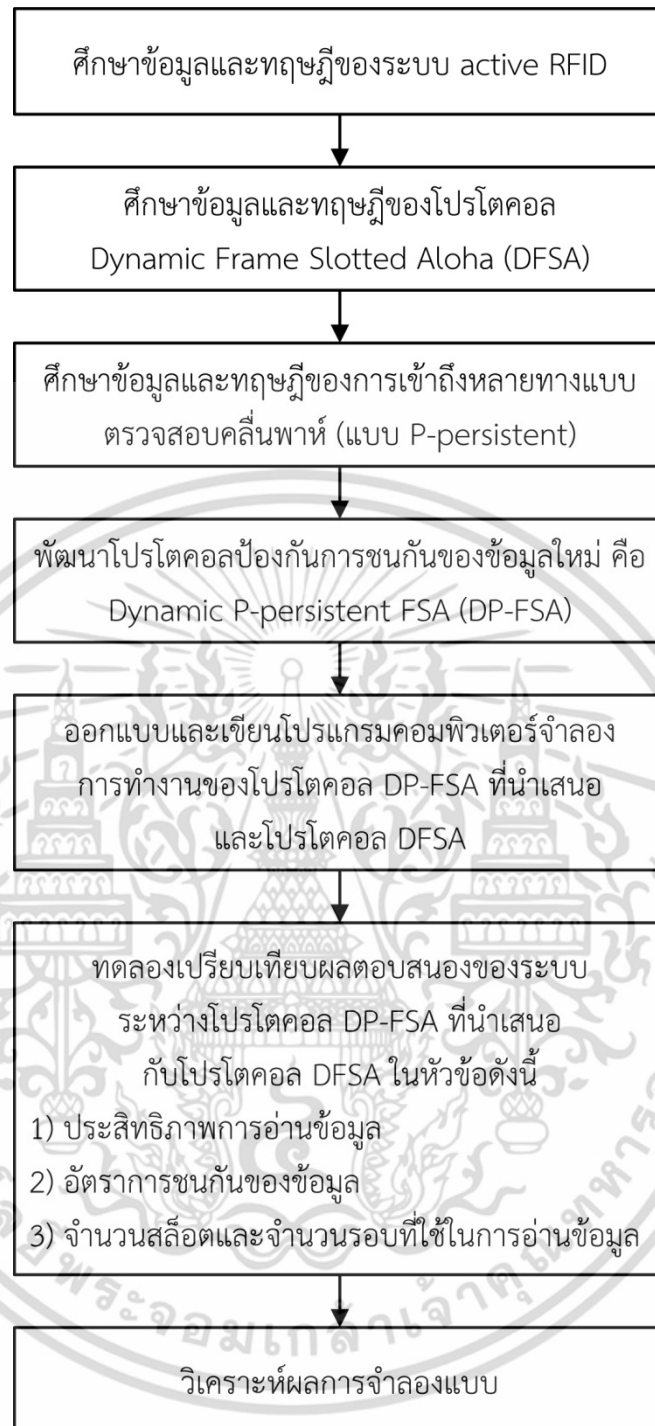
### 3.1 กล่าวนำ

ในปัจจุบันที่มีการทำงานกันอย่างเร่งด่วน ทำให้ระบบ RFID ถูกนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย เนื่องจากมีความสะดวกและรวดเร็วในการทำงาน ช่วยลดขั้นตอนในการทำงาน และยังช่วยลดต้นทุนในการทำงานอีกด้วย ในระบบ RFID ที่ใช้แท็กสวิตช์ชนิดแอคทีฟที่เราจะเรียกว่า ระบบ active RFID แท็กสวิตช์ชนิดนี้จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในตัวเอง ทำให้แท็กสามารถส่งข้อมูลได้ในระยะไกล และยังสามารถทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีอีกด้วย จากคุณสมบัติดังกล่าวทำให้มีการนำระบบ active RFID ไปประยุกต์ใช้กับงานได้อย่างหลากหลาย เช่น การขนส่งทางเรือ ระบบติดตามทรัพย์สินและยานพาหนะ เป็นต้น การนำไปประยุกต์ใช้งานในรูปแบบที่มีเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียว และมีแท็กจำนวนมากอยู่ในพื้นที่การอ่านทำการส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ทำให้เกิดปัญหาการชนกันของข้อมูลขึ้น จึงเป็นหน้าที่ของเครื่องอ่านที่จะต้องมีการป้องกันการชนกันของข้อมูลเพื่อจัดสรรช่องสัญญาณให้แท็กส่งข้อมูลได้อย่างมีประสิทธิภาพ และเกิดการชนกันของข้อมูลน้อยที่สุด ซึ่งโปรโตคอลที่นิยมใช้ คือ โปรโตคอล Dynamic Framed Slotted ALOHA (DFSA) [21] ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับระบบ active RFID (ISO/IEC 18000-7) สำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เราจะศึกษาปัญหาการชนกันของข้อมูล ศึกษาการทำงานของโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลในระบบ active RFID และทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลรวมถึงข้อจำกัดในการทำงาน แล้วนำมาพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ เพื่อลดอัตราการชนกันของข้อมูล และปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้ดีขึ้น

ในบทนี้จะเป็นการอธิบายขั้นตอนการดำเนินการวิจัย โดยเริ่มจากการศึกษาการทำงานของระบบ active RFID ศึกษาการทำงานของโปรโตคอล DFSA ศึกษาหลักการของ P-persistent (การเข้าถึงช่องสัญญาณแบบตรวจสอบคลื่นพาห์) เพื่อนำมาพัฒนาเป็นโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) จากนั้นทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อจำลองการทำงานของระบบ และทำการทดลองเปรียบเทียบผลตอบสนองของระบบระหว่างโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมากับโปรโตคอล DFSA ในหัวข้อดังต่อไปนี้

- 1) ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูล
- 2) อัตราการชนกันของข้อมูล
- 3) จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

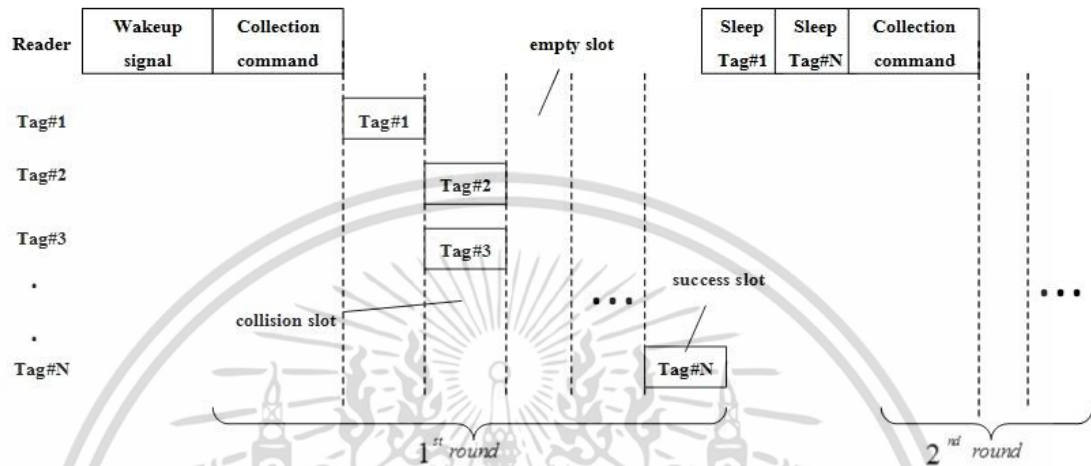


รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3.2 การทำงานของระบบ active RFID

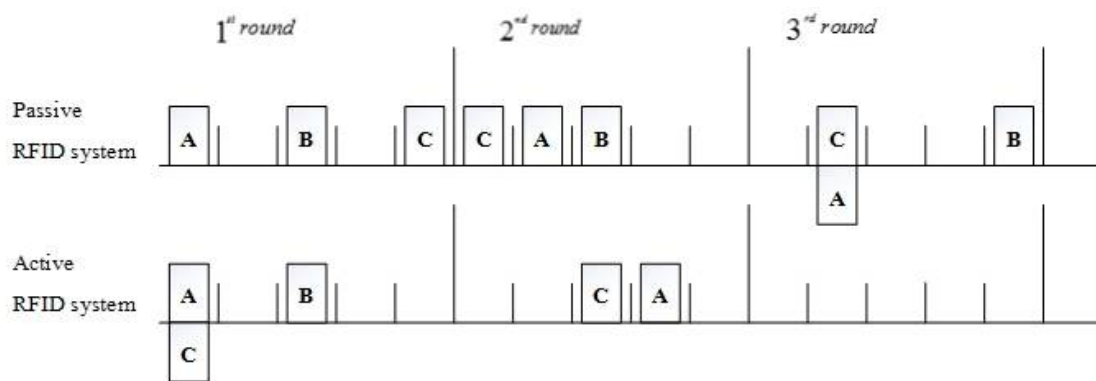
ในหัวข้อนี้จะอธิบายรูปแบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านเครื่องเดียวกับแท็กส์หลายตัวของระบบ active RFID กับระบบ passive RFID ที่มีการส่งแบบหลายทางโดยใช้รูปแบบการส่งแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา (FSA: Frame Slotted ALOHA) [15] จะมีรูปแบบที่แตกต่างกันดังนี้



รูปที่ 3.2 การอ่านข้อมูลจากแท็กส์ชนิดแอกทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา

ในระบบ active RFID จะใช้แท็กส์ชนิดแอกทีฟ ซึ่งมีแบตเตอรี่ภายในแท็กส์ทำให้ส่งข้อมูลได้ระยะไกล และทนต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ทำให้สามารถนำไปใช้ในสภาพแวดล้อมที่มีสัญญาณคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้ารบกวนได้ดี นอกจากนี้ยังมีหน่วยความจำและฟังก์ชันมากด้วย ในการเริ่มการสื่อสารเครื่องอ่านจะเป็นคนเริ่มทำการติดต่อกับแท็กส์ ในขณะที่แท็กส์ไม่ได้ทำงาน หรือไม่ต้องตอบสนองคำสั่งใดๆ แท็กส์จะอยู่ในสถานะหลับ (Sleep state) จากรูปที่ 3.2 แสดงการอ่านข้อมูลจากแท็กส์ชนิดแอกทีฟโดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา เครื่องอ่านจะเริ่มต้นด้วยการส่งสัญญาณปลุก (Wakeup signal) ไปยังแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณการอ่านของเครื่องอ่าน เมื่อทุกแท็กส์ได้รับสัญญาณปลุกแล้วจะเข้าสู่สถานะพร้อม (Ready state) ที่จะรับคำสั่งจากเครื่องอ่าน หลังจากนั้นเครื่องอ่านจะส่ง Collection command ที่ระบุขนาดเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูล เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งแล้ว แท็กส์ก็จะทำการสุ่มเข้าสู่สล็อตต่างๆ ของเฟรม โดยในแต่ละรอบการอ่านแท็กส์แต่ละตัวจะสามารถสุ่มเลือกเข้าสู่สล็อตได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นต่อหนึ่งรอบการอ่าน ดังนั้นในเฟรมดังกล่าวจะมีทั้งสล็อตที่ว่างเปล่า, สล็อตที่มีแท็กส์มากกว่า 1 ตัว (สล็อตที่ชนกัน) และสล็อตที่มีแท็กส์ 1 ตัว (สล็อตที่ส่งสำเร็จ) เมื่อจบรอบของการอ่านข้อมูลเครื่องอ่านจะส่งคำสั่งหลับ (sleep) ให้กับแท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จ (แท็กส์ที่ส่งข้อมูลไปในสล็อตเพียงตัวเดียว) แท็กส์ดังกล่าวก็จะเข้าสู่สถานะหลับ และจะไม่ทำการส่งข้อมูลในเฟรมต่อไปอีก แล้วเครื่องอ่านก็ทำการส่ง Collection command ให้กับแท็กส์ที่เหลืออยู่ โดยจะทำได้เรื่อยๆ เหมือนกันทุกรอบจนหยุดกระบวนการส่งเมื่อไม่มีแท็กส์ตอบสนองแล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.3 เปรียบเทียบการอ่านข้อมูลของระบบ active RFID และระบบ passive RFID โดยใช้เฟรมสล็อตอะโลฮา

ในระบบ passive RFID จะใช้แท็กชนิดพาสซีฟ ซึ่งไม่มีแหล่งจ่ายพลังงานภายในตัวเอง จะอาศัยพลังงานจากเครื่องอ่านในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน ในการทำงานเครื่องอ่านจะกระจายคลื่นความถี่วิทยุออกมาตลอดเวลา เมื่อแท็กเข้ามาอยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าของเครื่องอ่าน และได้รับพลังงานจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า แท็กก็จะเริ่มทำงานทันที พาสซีฟแท็กนั้นไม่สามารถจดจำสถานะใดๆ ได้ ทำได้เพียงตอบสนองต่อเครื่องอ่าน จึงทำให้แท็กมีการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในทุกกรอบการอ่านทำให้เกิดการชนกันของแท็กได้ ซึ่งแตกต่างกับระบบ active RFID ที่ใช้แท็กชนิดแอคทีฟที่เมื่อแท็กส่งข้อมูลสำเร็จแล้วจะอยู่ในสถานะหลับ ทำให้ในรอบการอ่านข้อมูลต่อไปมีจำนวนแท็กแย่งชิงในการส่งข้อมูลเข้าสู่สล็อตน้อยลง จากรูปที่ 3.3 เปรียบเทียบการตอบสนองของแท็กในระบบ active RFID และระบบ passive RFID ใน 3 รอบการอ่านข้อมูล ให้เฟรมมีค่าเท่ากับ 5 สล็อต และมีแท็ก 3 ตัว คือ A, B และ C แท็กในระบบ passive RFID ทั้ง 3 ตัวจะทำการส่งข้อมูลในรอบ แต่แท็กในระบบ active RFID ในรอบที่ 2 จะให้แท็ก B อยู่ในสถานะหลับ และทำการส่งแท็ก A และ C เนื่องจากการชนกันในรอบที่ 1 และในรอบที่ 3 จะไม่มีการตอบสนองใดๆ ของแท็กเนื่องจากทุกแท็กทำการส่งสำเร็จแล้วนั่นเอง

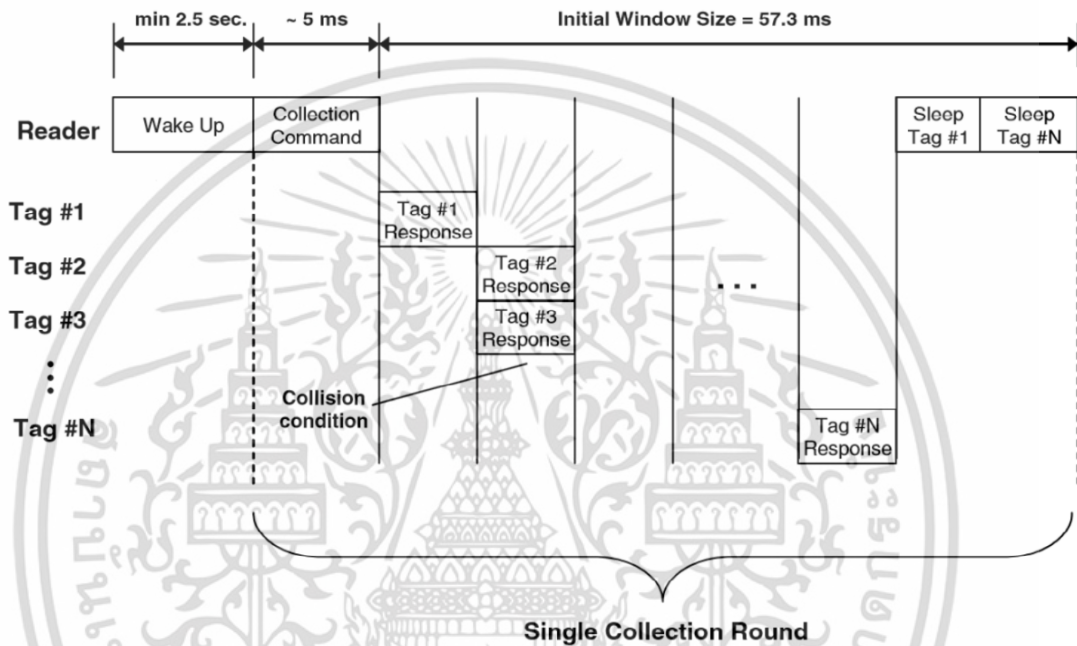
### 3.3 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DFSA

โปรโตคอล DFSA เป็นโปรโตคอลสำหรับป้องกันการชนกันของข้อมูล [17] สำหรับระบบ active RFID ตามมาตรฐาน ISO/IEC 18000-7 ที่มีการทำงานในช่วงความถี่ 433 MHz พัฒนามาจากโปรโตคอล Frame Slotted Aloha (FSA) ที่ใช้ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตคงที่ในทุกกรอบการอ่านข้อมูล โดยในโปรโตคอล DFSA จะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กที่ทำการส่งข้อมูลในแต่ละรอบการอ่าน

รูปแบบในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กจะเป็นแบบ Master-Slave นั้น

คือ เครื่องอ่านจะเป็นฝ่ายเริ่มทำการติดต่อสื่อสารก่อน และคอยรับฟังการตอบสนองจากแท็ก ซึ่งในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยามให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตอบสนองจากแท็กที่มีอยู่จำนวนมาก จะถูกควบคุมโดยโปรโตคอลป้องกันการชนกัน โดยเครื่องอ่านข้อมูลจะทำหน้าที่เป็นตัวหลักในการติดต่อสื่อสารกับกับแท็กหนึ่งตัวหรือมากกว่านั้น ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล เครื่องอ่านจะกำหนดขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อต (เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า window size) เพื่อใช้ในการอ่านข้อมูล แต่ละเฟรมจะแบ่งเป็นหลายๆ สล็อตที่มีขนาดเท่าๆ กัน ซึ่งจะมีการกำหนดให้ขนาดเฟรมต้องไม่น้อยกว่า 57.3 ms และแต่ละสล็อตจะมีความยาวเพียงพอสำหรับให้เครื่องอ่านข้อมูลรับข้อมูลตอบสนองจากแท็กได้



รูปที่ 3.4 การทำงานของโปรโตคอล DFSA

โดยเริ่มแรกเครื่องอ่านข้อมูลจะทำการส่งสัญญาณกระตุ้น (wake up) แบบกระจาย (broadcast) ไปยังแท็กทุกตัวที่อยู่ในบริเวณการติดต่อสื่อสาร ซึ่งการส่งสัญญาณนี้จะใช้เวลาอย่างน้อย 2.5 วินาที เมื่อแท็กทุกตัวได้รับสัญญาณนี้แล้วจะเข้าสู่ตำแหน่งเตรียมพร้อม (ready state) เพื่อรอคำสั่งต่อไปจากเครื่องอ่านข้อมูล

กระบวนการที่เครื่องอ่านเริ่มต้นการทำงานกับแท็ก คือ จะส่ง Collection command ซึ่งประกอบด้วยขนาดเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูลไปยังแท็กทุกตัว เมื่อแท็กได้รับคำสั่งดังกล่าวจะทำการสุ่มเลือกลำดับสล็อตในเฟรมแบบแรนดอม เพื่อใช้ในการส่งข้อมูลที่อยู่ภายในแท็กกลับไปยังเครื่องอ่าน โดยในแต่ละรอบการอ่านแท็กแต่ละตัวจะสามารถส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น นั่นก็หมายความว่าใน 1 เฟรม แท็กแต่ละตัวจะส่งข้อมูลได้เพียงสล็อตเดียวเท่านั้น เมื่อแท็กส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน จะสามารถเกิดเหตุการณ์ได้ 3 กรณีดังนี้

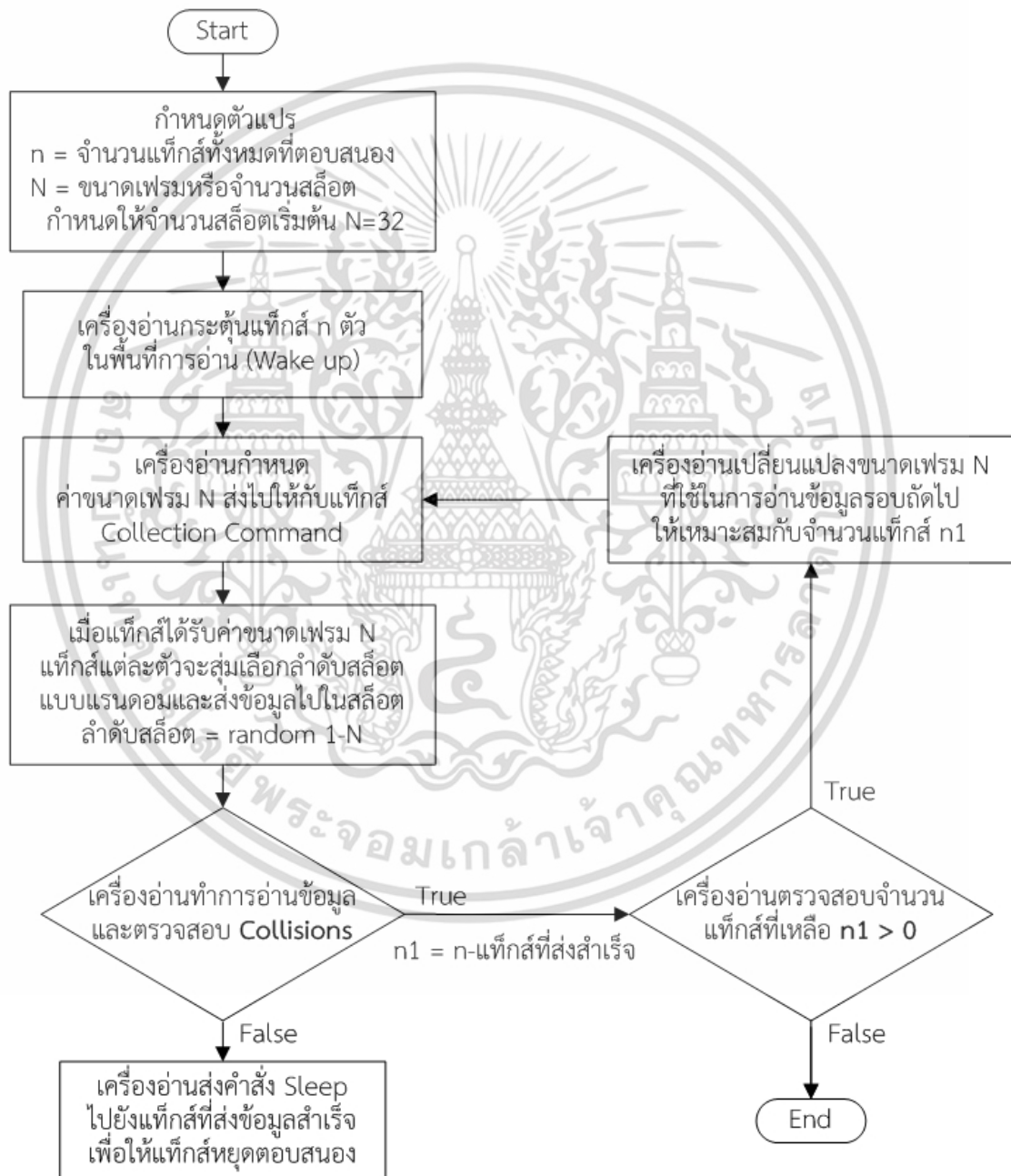
- 1) สล็อตว่าง คือ สล็อตที่ไม่มีแท็กตัวใดเลยเลือกใช้ในการส่งข้อมูลกลับไปยัง

เครื่องอ่าน ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถตรวจจับการตอบสนองของแท็กได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อใช้ในการศึกษาเท่านั้น เมื่อคุณผู้ใดเห็นนำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2) สล็อตเกิดการชนกัน คือ สล็อตที่มีแท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวเลือกใช้ในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน และเครื่องอ่านทำการตรวจจับพบการชนกันของแท็กส์ ดูได้จากรหัส CRC เป็นโมฆะ

3) สล็อตที่ส่งสำเร็จ คือ สล็อตที่มีแท็กส์เพียงตัวเดียวเลือกใช้ในการส่งข้อมูลกลับไปยังเครื่องอ่าน ทำให้เครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์โดยปราศจากการผิดพลาด คือ มีการได้รับรหัส CRC ที่ใช้ได้



รูปที่ 3.5 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DFSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการสำรวจสล็อตเพื่ออ่านข้อมูลจากแท็กที่ส่งมา เมื่อได้รับข้อมูลจากแท็กเรียบร้อยแล้ว เครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่ง Sleep ไปยังแท็กที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จเพื่อให้แท็กดังกล่าวอยู่ในสภาวะหลับ (sleep mode) คือ หยุดการทำงานไม่ส่งข้อมูลตอบสนองอีกจนกว่าจะถูกกระตุ้นจากเครื่องอ่านอีกครั้ง ส่วนแท็กที่ส่งข้อมูลไม่สำเร็จก็จะรอส่งข้อมูลอีกครั้งในรอบการอ่านถัดไป เมื่อสิ้นสุดในแต่ละรอบการอ่านเครื่องอ่านจะทำการประมาณค่าจำนวนแท็กที่เหลือโดยใช้ข้อมูลจากการอ่านรอบที่ผ่านมา เพื่อเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่จะใช้ในในรอบการอ่านถัดไปให้ใกล้เคียงกับจำนวนแท็ก จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กทั้งหมด ดังรูปที่ 3.5

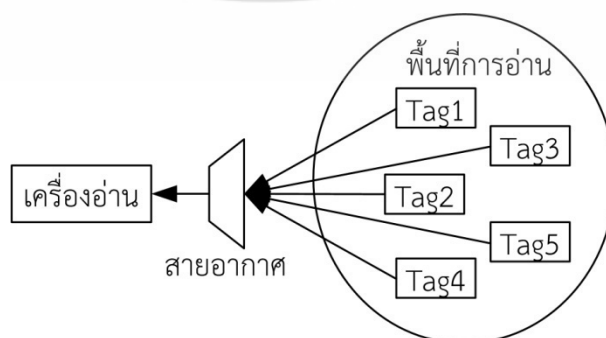
### 3.4 โปรโตคอล Dynamic P-persistent FSA (DP-FSA) ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

โดยทั่วไปแท็กไม่สามารถถอดรหัส หรืออ่านกลุ่มข้อมูล (data packet) ที่ส่งโดยแท็กอื่นไปยังเครื่องอ่านได้ จึงทำให้แท็กไม่สามารถตรวจสอบได้ว่ามีแท็กอื่นอยู่ในพื้นที่การอ่านหรือไม่ และเมื่อแท็กมากกว่าหนึ่งแท็กส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ก็จะก่อให้เกิดการชนกันของข้อมูล ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของเครื่องอ่านที่จะต้องมีการป้องกันการชนกันของข้อมูล (anti-collision) ที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับแท็กที่ต้องการส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่านได้ใช้งานกันอย่างทั่วถึงและเท่าเทียมกัน

ในหัวข้อนี้เราจะมาทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID โดยการคำนวณด้วยทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียล เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ แล้วนำมาพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล

#### 3.4.1 วิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID

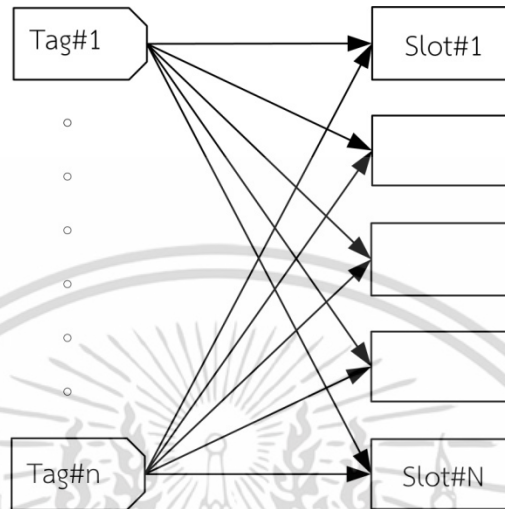
ในระบบ active RFID สำหรับรูปแบบการใช้งานที่มีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านตัวเดียวกับแท็กหลายตัว รูปแบบการอ่านข้อมูลจากแท็กจะเป็นแบบการเข้าถึงแบบหลายทาง (multiple access) คือ มีการการส่งข้อมูลจากแท็กหลายตัวไปยังเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียวในเวลาเดียวกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.6



รูปที่ 3.6 การเข้าถึงแบบหลายทาง (multiple access)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการส่งข้อมูลจากแท็กไปยังเครื่องอ่าน กำหนดให้แท็กแต่ละตัวมีการเข้าถึงสล็อตแบบสุ่ม ซึ่งทำให้แท็กทุกตัวมีโอกาสในการสุ่มเข้าสล็อตเท่าๆ กัน และในแต่ละสล็อตก็จะมีโอกาสที่จะถูกแท็กเลือกเท่าๆ กันด้วย ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.7 รูปแบบการเข้าถึงสล็อตของแท็กแบบสุ่ม

ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลเราจะใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียล [6]-[8] ในการคำนวณผลการตอบสนองของระบบ ซึ่งเราสามารถคำนวณหาโอกาสที่สล็อตของเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลที่แท็กส่งเข้ามาได้สำเร็จจากสมการความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียลเมื่อกำหนดให้

$N$  คือ ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล

$k$  คือ จำนวนแท็กที่ทำกรส่งข้อมูลตอบสนอง

และ  $p=1/N$  คือ ความน่าจะเป็นที่สล็อตจะได้รับการส่งข้อมูลตอบสนองจากแท็กซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกสล็อต

ดังนั้น ความน่าจะเป็นของ  $k$  แท็กที่ส่งข้อมูลไปในสล็อตได้สำเร็จหาได้จากสมการ

$$P(k) = \binom{n}{k} \left(\frac{1}{N}\right)^k \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-k} \quad (3.1)$$

จากสมการที่ 3.1 เราสามารถหาความน่าจะเป็นที่สล็อตมีการส่งสำเร็จ ( $P_{\text{Success}}$ ) โดยการแทนค่า  $k = 1$  คือ การที่สล็อตมีแท็กส่งข้อมูลตอบสนองเพียงตัวเดียว, ความน่าจะเป็นที่สล็อตว่าง ( $P_{\text{Idle}}$ ) โดยการแทนค่า  $k = 0$  คือ ไม่มีแท็กส่งข้อมูลตอบสนองไปในสล็อตนั้นเลย และความน่าจะเป็นของที่สล็อตมีการชนกัน ( $P_{\text{Collision}}$ ) คือ สล็อตที่มีแท็กตั้งแต่สองตัวขึ้นไปส่งข้อมูลตอบสนองพร้อมกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สวอนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_{\text{Idle}} = P(0) = \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (3.2)$$

$$P_{\text{Success}} = P(1) = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3.3)$$

$$P_{\text{Collision}} = 1 - P_{\text{Idle}} - P_{\text{Success}} \quad (3.4)$$

เมื่อจำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรมเท่ากับ  $N$  ดังนั้น เราสามารถหาจำนวนสล็อตที่ว่าง  $E(I)$ , จำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ  $E(S)$  และจำนวนสล็อตที่เกิดการชนกัน  $E(C)$  หาได้จาก

$$E(I) = N \times P_{\text{Idle}} = N \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n \quad (3.5)$$

$$E(S) = N \times P_{\text{Success}} = n \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3.6)$$

$$E(C) = N \times P_{\text{Collision}} = N - E(S) - E(I) \quad (3.7)$$

ให้  $S$  คือ ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบหาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อจำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม

$$S = \frac{\text{จำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ}}{\text{จำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม}} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (3.8)$$

ให้  $C_{\text{ratio}}$  คือ อัตราการชนกันของข้อมูล หาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่เกิดการชนกันต่อจำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม

$$C_{\text{ratio}} = \frac{\text{จำนวนสล็อตที่เกิดการชนกัน}}{\text{จำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม}} \quad (3.9)$$

เราสามารถหาจำนวนสล็อตและจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่านที่ทำให้ระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดได้ด้วยการหาอนุพันธ์สมการที่ 3.8 แล้วให้เท่ากับศูนย์ ซึ่งเป็นการหาความชันของกราฟ (ที่จุดสูงสุดของกราฟความชันจะเท่ากับศูนย์)

$$\frac{dS}{dN} = \frac{d}{dN} \left[ \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \right] = 0$$

$$\frac{dS}{dN} = \frac{d}{dN} \left[ \frac{n(N-1)^{n-1}}{N^n} \right] = 0$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\begin{aligned}
&= \frac{N^n [n(n-1)(N-1)^{n-2}] - [n(N-1)^{n-1}(nN^{n-1})]}{N^{2n}} = 0 \\
&= \frac{nN^{n-1}(N-1)^{n-2} [N(n-1) - n(N-1)]}{N^{2n}} = 0 \\
&= \frac{n(N-1)^{n-2} [nN - N - nN + n]}{N^{(2n-n+1)}} = 0 \\
&= \frac{n(N-1)^{n-2} [n-N]}{N^{(n+1)}} = 0 \\
&= \frac{n^2(N-1)^{n-2} - nN(N-1)^{n-2}}{N^{(n+1)}} = 0 \\
&= n \left[ \frac{n(N-1)^{n-2}}{N^{(n+1)}} \right] = N \left[ \frac{n(N-1)^{n-2}}{N^{(n+1)}} \right] \\
&\text{Optimal Frame Size, } N = n \tag{3.10}
\end{aligned}$$

จากสมการที่ 3.10 แสดงให้เห็นว่าระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเมื่อขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนแท่งที่ส่งข้อมูลตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล ซึ่งเราสามารถหาค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดได้จากการทดลองแทนค่า  $N=n$  ในสมการที่ 3.8 โดยสมมติให้ค่า  $N=n=1000$  จะได้

$$\begin{aligned}
S &= \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} = \frac{1000}{1000} \left(1 - \frac{1}{1000}\right)^{1000-1} \\
&= 0.999^{999} = 0.368 = 36.8\%
\end{aligned}$$

และเราสามารถหาค่าอัตราการชนกันของข้อมูลได้จากการทดลองแทนค่า  $N=n$  ในสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.4 โดยสมมติให้ค่า  $N=n=1000$  จะได้

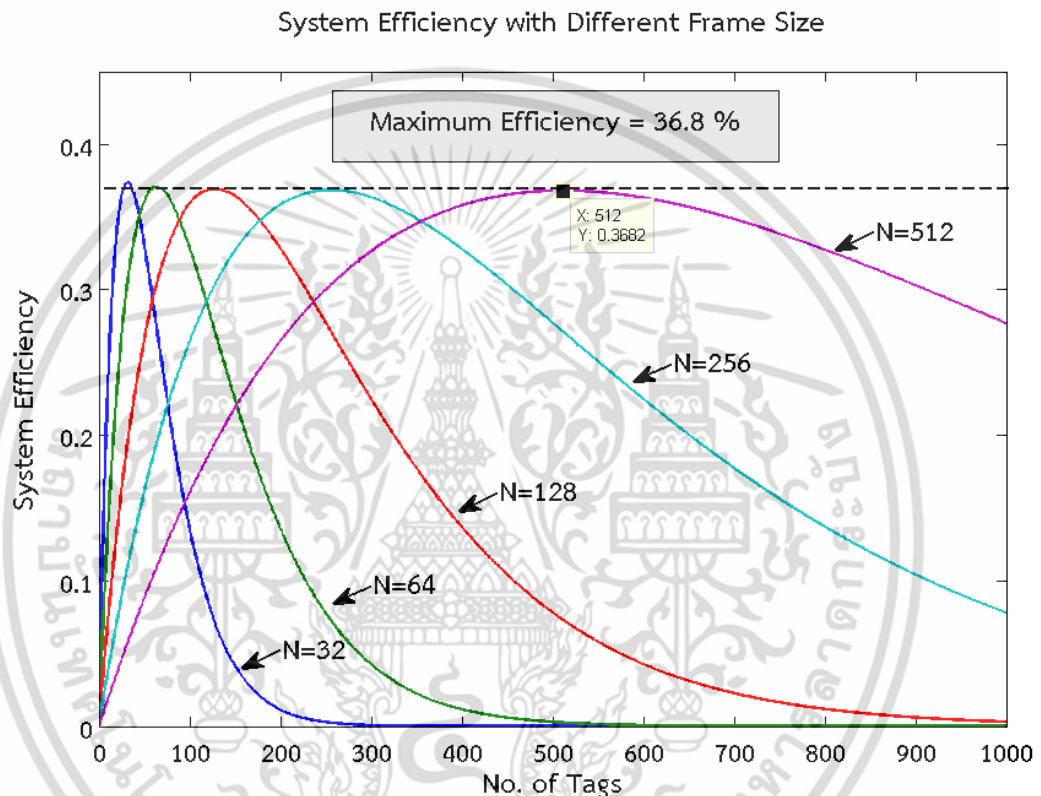
$$\begin{aligned}
P_{\text{Idle}} &= \left(1 - \frac{1}{N}\right)^n = \left(1 - \frac{1}{1000}\right)^{1000} \\
&= 0.999^{1000} = 0.368 = 36.8\%
\end{aligned}$$

$$P_{\text{Collision}} = 1 - P_{\text{Idle}} - P_{\text{Success}} = 1 - 0.368 - 0.368$$

$$= 0.264 = 26.4\%$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น จากผลการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของระบบด้วยทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียล แสดงให้เห็นว่าระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเมื่อขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนแท็กที่ตอบสนอง ( $N=n$ ) ในแต่ละรอบการอ่าน และจากการทดลองแทนค่า  $N=n=1000$  พบว่าระบบมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเท่ากับ 36.8% และมีอัตราการชนกันของข้อมูล (เมื่อจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนแท็ก  $N=n$ ) เท่ากับ 26.4% นอกจากนี้เรายังพิสูจน์ได้จากการนำเสนอสมการที่ 3.8 ไปพล็อตกราฟ



รูปที่ 3.8 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ เมื่อขนาดเฟรมแตกต่างกัน ( $N=32, 64, 128, 256$  และ 512)

จากกราฟรูปที่ 3.8 แสดงประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบเมื่อขนาดเฟรมแตกต่างกัน โดยจะสังเกตเห็นว่าจุดสูงสุดของกราฟแต่ละเส้นจะอยู่ที่จุดที่ขนาดเฟรมเท่ากับจำนวนแท็กที่ตอบสนอง ( $N=n$ ) ซึ่งตรงกับสมการที่ 3.10 ที่เราได้ทำการวิเคราะห์

โปรโตคอล DFSA ที่ใช้ในระบบ active RFID ที่ได้กล่าวถึงในข้างต้น ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลจะมีผลการตอบสนองเหมือนกับโปรโตคอลแบบเฟรมสล็อตอะโลฮา เนื่องจากโปรโตคอล DFSA พัฒนามาจากโปรโตคอลแบบอะโลฮานั้นเอง โดยเพิ่มการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล ซึ่งจากผลการวิเคราะห์พบว่าในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเมื่อจำนวนสล็อตเท่ากับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง ดังนั้นในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด (จำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$ ) ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลของระบบลดลง เนื่องจากแท็กส์มีการแย่งชิงสล็อตกันมากขึ้น จึงทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้นด้วย ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรโตคอล DFSA จะให้ผลดี เมื่อจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุดในแต่ละรอบการอ่านข้อมูล ซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานในระบบที่มีจำนวนแท็กส์ไม่มาก

### 3.4.2 แนวคิดที่ใช้ในการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูล

จากผลการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลแบบเฟรมสล็อตโพลีฮาพว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเมื่อจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจึงได้นำแนวคิดนี้มาใช้ โดยนำเอาหลักการของ P-persistent มาช่วยในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุด

หลักการของ P-persistent คือ การส่งข้อมูลด้วยความน่าจะเป็น P และไม่ส่งข้อมูลด้วยความน่าจะเป็น  $Q=1-P$  ดังนั้น เราจึงนำหลักการนี้มาใช้ในส่งข้อมูลของแท็กส์ โดยจะให้เครื่องอ่านทำการสร้างค่า P-persistent ที่แปรผันตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่าน คือ  $P=N/n$  แล้วส่งค่าดังกล่าวไปให้กับแท็กส์ เมื่อแท็กส์แต่ละตัวได้รับค่า P-persistent แล้วจะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็น p ในช่วง 0-1

- ถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p \leq P$  แท็กส์จะทำการส่งข้อมูลตอบสนองทันทีเมื่อได้รับคำสั่งจากเครื่องอ่าน หากเกิดการชนกันของข้อมูลแท็กส์จะหยุดการทำงานทันที และจะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป

- แต่หากสุ่มได้  $p > P$  นั้นหมายความว่า เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งจากเครื่องอ่านแล้วจะยังไม่ทำการตอบสนองในทันที แต่จะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป

ตัวอย่าง กำหนดให้ จำนวนแท็กส์  $n=512$  ตัว, ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อต  $N=256$

$$\text{ดังนั้น ค่า P-persistent เท่ากับ } P = \frac{256}{512} = 0.5$$

แท็กส์แต่ละตัวทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็น p ในช่วง 0-1

ถ้าแท็กส์สุ่มค่าได้  $p \leq 0.5$  แท็กส์จะทำการส่งข้อมูลตอบสนองทันที

ถ้าแท็กส์สุ่มค่าได้  $p > 0.5$  แท็กส์จะไม่ทำการส่งข้อมูลตอบสนอง แต่จะรอเพื่อสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านต่อไป

จากตัวอย่างจะเห็นว่าจำนวนแท็กส์ที่จะตอบสนองไปยังเครื่องอ่านจะส่งข้อมูลด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.5 ซึ่งจะเป็นครึ่งหนึ่งของจำนวนแท็กส์ทั้งหมด คือ  $512 \times 0.5 = 256$  ตัว ซึ่งแสดงให้เห็นว่าจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองได้ถูกจำกัดให้เท่ากับขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตแล้ว

### 3.4.3 รูปแบบการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA

ในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบ active RFID คือ โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) ที่มีการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านตัวเดียวกับแท็กส์หลายตัว โดยรูปแบบการอ่านข้อมูลจากแท็กส์จะเป็นแบบการเข้าถึงแบบหลายทาง (multiple access) คือ มีการการส่งข้อมูลจากแท็กส์หลายตัวไปยังเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียวในเวลาเดียวกัน การทำงานของโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะมีการทำงานที่คล้ายกับการทำงานของโปรโตคอล DFSA โดยจะเพิ่มกระบวนการตัดสินใจของแท็กส์ว่าจะส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านในรอบการอ่านนี้หรือไม่ รูปแบบในการติดต่อสื่อสารกันระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กส์จะเป็นแบบ Master-Slave นั่นคือ เครื่องอ่านจะเป็นฝ่ายเริ่มทำการติดต่อสื่อสารก่อน และคอยรับฟังการตอบสนองจากแท็กส์

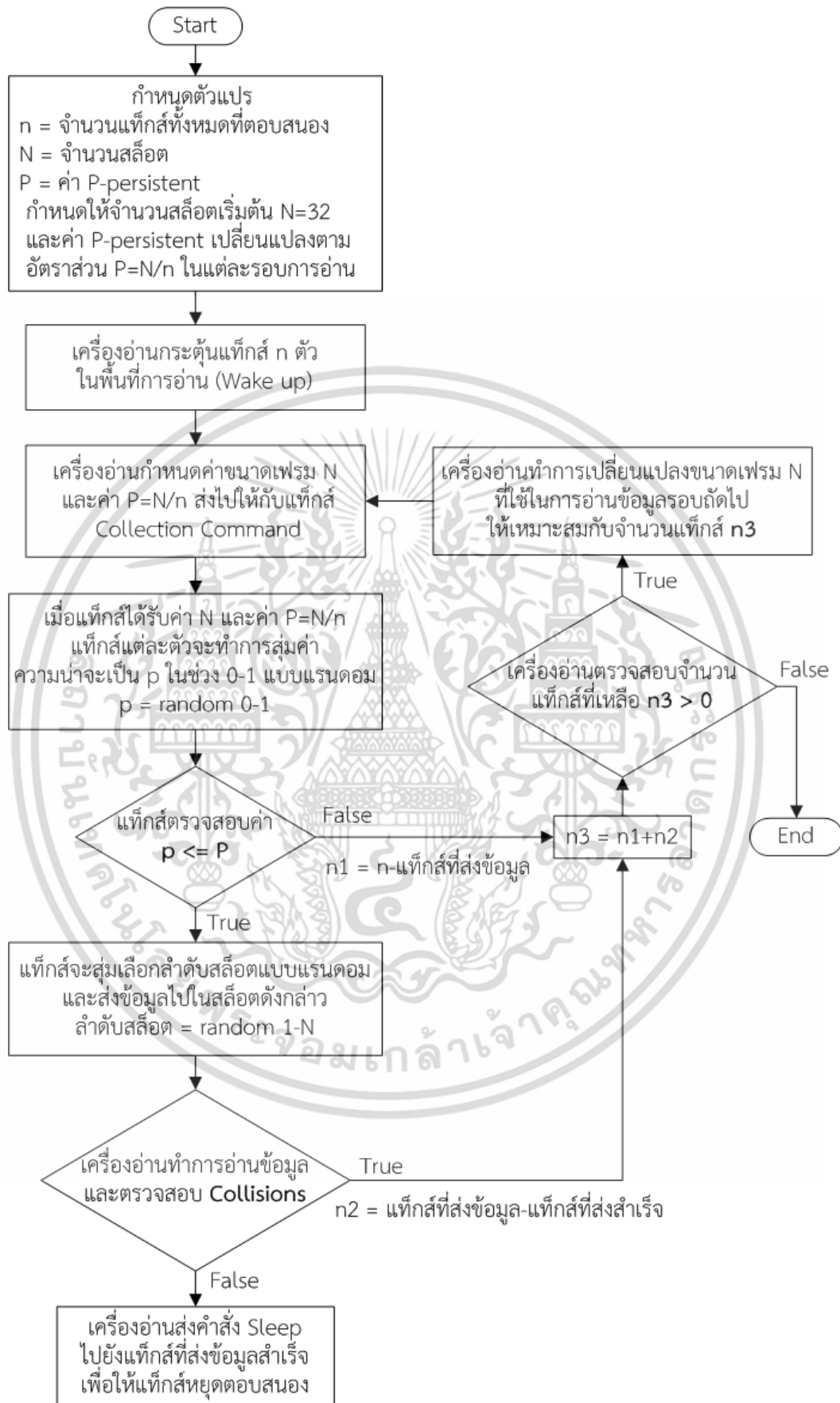
ในการเริ่มต้นการทำงาน เมื่อแท็กส์เข้ามาอยู่ในบริเวณพื้นที่การอ่าน เครื่องอ่านจะเป็นฝ่ายเริ่มต้นการติดต่อสื่อสารก่อน โดยส่งสัญญาณคำสั่ง wake up ไปยังแท็กส์ทุกตัวแบบ broadcast เพื่อกระตุ้นแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในพื้นที่การอ่าน เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งดังกล่าวแล้วก็จะเข้าสู่สถานะที่พร้อมสำหรับการตอบสนอง (ready state) และรอฟังคำสั่งจากเครื่องอ่าน จากนั้นเครื่องอ่านจะกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการอ่านข้อมูลในแต่ละรอบ คือ ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล และค่า P-persistent โดยในรอบแรกของการอ่านจะกำหนดให้จำนวนสล็อตเริ่มต้น  $N=32$  และค่า P-persistent ในแต่ละรอบการอ่านจะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง โดยจะส่งคำสั่งดังกล่าวไปยังแท็กส์ทุกตัวพร้อมกับคำสั่ง collection command เพื่อเป็นการเริ่มต้นการอ่านข้อมูล เมื่อแท็กส์ทุกตัวได้รับคำสั่งแล้วจะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็น  $p$  แบบเรณดอมในช่วง 0-1 เพื่อใช้ในการตัดสินใจว่าจะส่งข้อมูลตอบสนองในรอบการอ่านนี้หรือไม่ โดยนำค่า  $p$  มาตรวจสอบกับค่า P-persistent ดังนี้

- ถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p > P$  แท็กส์จะยังไม่ทำการส่งข้อมูลตอบสนองในทันที แต่จะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป

- แต่หากถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p \leq P$  แท็กส์จะมีการส่งข้อมูลตอบสนองทันที โดยทำการสุ่มเลือกลำดับสล็อตแบบเรณดอมในช่วง 1-N แล้วส่งข้อมูลไปในสล็อตดังกล่าว

โดยในแต่ละรอบการอ่านข้อมูล แท็กส์แต่ละตัวจะสามารถส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้น นั่นก็หมายความว่าใน 1 เฟรม แท็กส์แต่ละตัวจะเลือกส่งข้อมูลได้เพียงสล็อตเดียวเท่านั้น เมื่อแท็กส์ส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านจะสามารถเกิดเหตุการณ์ได้ 3 กรณี ดังนี้

- 1) สล็อตว่าง คือ สล็อตที่ไม่มีข้อมูลของแท็กส์ตัวใดเลย
- 2) สล็อตเกิดการชนกัน คือ สล็อตที่มีข้อมูลจากแท็กส์มากกว่าหนึ่งตัว
- 3) สล็อตที่ส่งสำเร็จ คือ สล็อตที่มีข้อมูลของแท็กส์เพียงตัวเดียว



รูปที่ 3.9 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลที่ส่งมาจากแท็กส์ในแต่ละสล็อต เมื่อเครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์เรียบร้อยแล้วจะส่งคำสั่ง sleep ไปยังแท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จเพื่อให้อยู่ในสถานะหลับ (sleep mode) คือ หยุดส่งข้อมูลตอบสนองในรอบการอ่านต่อไปจนกว่าจะได้รับการกระตุ้นจากเครื่องอ่านอีกครั้ง จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการประมาณค่าจำนวนแท็กส์ที่เหลือจากรอบการอ่านที่ผ่านมา ซึ่งจะประกอบด้วย แท็กส์ที่สุ่มค่าได้  $p > P$  และแท็กส์ที่ส่งข้อมูลแล้วเกิดการชนกันเพื่อนำมาตรวจสอบหาขนาดเฟรมที่เหมาะสมตามตารางที่ 3.1 และทำการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมที่จะใช้ในการอ่านรอบถัดไป จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด หรือจนกว่าไม่พบการตอบสนองจากแท็กส์ ดังแสดงในรูปที่ 3.9

ในการเปลี่ยนขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล ในงานวิจัยนี้เราจะเลือกจุดเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมตามจุดตัดระหว่างกราฟเส้นที่อยู่ข้างเคียงตามรูปที่ 3.8 เนื่องจากเป็นช่วงที่แต่ละขนาดเฟรมมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบสูงจากตารางที่ 3.1 ขอบเขตต่ำสุด Low (N) และขอบเขตสูงสุด High (N) จะเป็นตัวกำหนดขอบเขตระหว่างช่วงของจำนวนแท็กส์ที่เหมาะสมในแต่ละขนาดเฟรม สมมติให้ในรอบแรกของการอ่านข้อมูลขนาดเฟรมเท่ากับ N ถ้าจำนวนของแท็กส์ที่ประมาณค่าได้จากการอ่านรอบที่ผ่านมา มีค่าน้อยกว่าค่าขอบเขตต่ำสุดขนาดเฟรมในรอบการอ่านถัดไปจะถูกลดขนาดลงเท่ากับ  $N/2$  และในทางตรงกันข้ามถ้าจำนวนของแท็กส์ที่ประมาณค่าได้จากการอ่านรอบที่ผ่านมา มีค่ามากกว่าค่าขอบเขตสูงสุดขนาดเฟรมในรอบการอ่านถัดไปจะถูกเพิ่มขนาดขึ้นเท่ากับ  $N \times 2$

ตารางที่ 3.1 ขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์

Slot Size (N)	16	32	64	128	256
Low (N)	1	23	45	90	178
High (N)	22	44	89	177	$\infty$

### 3.5 การออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์จำลองแบบการทำงาน

ในการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการทำงานของระบบ active RFID ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลแบบ DFSA และ DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลระบบจะมีผลการตอบสนองเหมือนกับโปรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา ซึ่งเราสามารถวิเคราะห์ที่ได้ด้วยการคำนวณด้วยสมการความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียล แต่เนื่องจากโปรโตคอลแบบ DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ในแต่ละรอบการอ่านข้อมูลระบบจะมีการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมที่ใช้ในการอ่านข้อมูลและจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในรอบการอ่านต่อไปเรื่อยๆ จะมีจำนวนลดลง ดังนั้นในการคำนวณผลการตอบสนองของระบบเราจึงต้องทำการคำนวณที่ละรอบการอ่าน เพื่อนำผลลัพธ์จากรอบการอ่านที่ผ่านมาไปคำนวณหาผลลัพธ์ในรอบการอ่านต่อไปเรื่อยๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จนกว่าระบบจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด ซึ่งมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน ดังนั้นในการวิเคราะห์ผลตอบสนองของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา เราจะใช้การจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์ โดยทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา และในการจำลองแบบการทำงานด้วยคอมพิวเตอร์นั้นจะมีข้อดี คือ ผลตอบสนองของระบบจะมีความใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง ซึ่งทำให้เราสามารถวิเคราะห์ผลการตอบสนองของระบบได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ในงานวิจัยนี้เราจะจำลองแบบการทำงานของระบบในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กส์ในรูปแบบที่มีการส่งข้อมูลจากแท็กส์หลายตัวไปยังเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียวในเวลาเดียวกัน (multiple access) โดยทำการจำลองการสุ่มเข้าใช้งานสล็อตของแท็กส์เพื่อส่งข้อมูล ที่มีการสุ่มแบบแรนดอมโดยใช้คำสั่ง

$M = \text{randi}(N,T,1)$  คือ สุ่มค่า 1 - N, จำนวน T ครั้ง, เก็บไว้ในเมทริกซ์ 1 คอลัมน์

เป็นการสุ่มค่าที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม ซึ่งจะทำให้แท็กส์แต่ละตัวมีโอกาสที่จะเลือกใช้งานสล็อตด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน แล้วทำการตรวจสอบว่าในแต่ละสล็อตมีแท็กส์เลือกใช้งานหรือไม่ หรือมีการเลือกใช้งานชนกันไหม (มีแท็กส์เลือกใช้มากกว่าหนึ่งตัว) เพื่อหาจำนวนสล็อตที่มีแท็กส์เลือกใช้งานเพียงตัวเดียว นั่นก็คือ สล็อตที่มีการรับส่งข้อมูลสำเร็จนั่นเอง โดยใช้คำสั่ง

$R = \text{accumarray}(M,1)$  คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่สุ่มได้, เก็บไว้ในเมทริกซ์ 1 คอลัมน์

$S = \text{sum}(R == 1)$  คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่สุ่มได้เพียงครั้งเดียว

ในการออกแบบเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบ ในแต่ละรอบการอ่านจะมีผลการตอบสนองเหมือนกับโปรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา ซึ่งใช้ทฤษฎีความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบโนเมียลในการคำนวณผลการตอบสนองของระบบ ดังนั้นเราจึงทำการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้เขียนขึ้นมาเปรียบเทียบกับไบโนเมียลฟังก์ชัน คือ

$\text{binopdf}(k,n,p)$

โดยที่ k คือ จำนวนแท็กส์ในสล็อต (ที่สนใจ  $k=1$ )

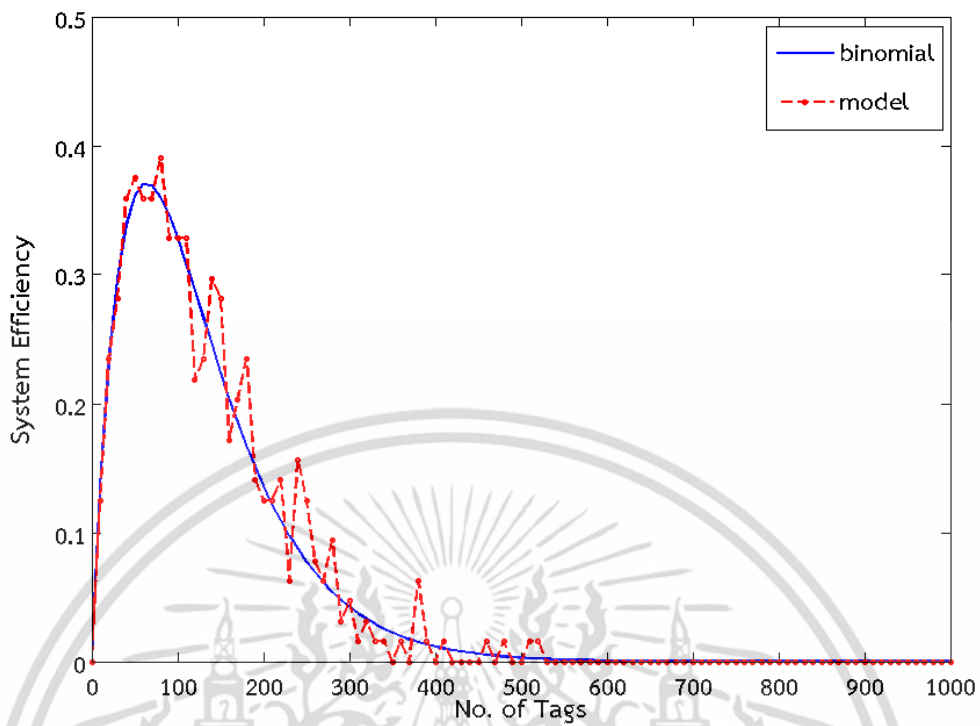
n คือ จำนวนแท็กส์ทั้งหมดหรือจำนวนครั้งในการสุ่ม

p คือ ความน่าจะเป็นที่แต่ละสล็อตจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกสล็อต

ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้เขียนขึ้นมา เราจะกำหนดให้จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการทดสอบเริ่มจาก 0-1,000 ตัว โดยมีจำนวนเพิ่มขึ้นครั้งละ 10 ตัว และจำนวนสล็อตคงที่  $N = 64, 128, 256$  และ 512 ตามลำดับ แล้วนำผลที่ได้มาพล็อตกราฟ

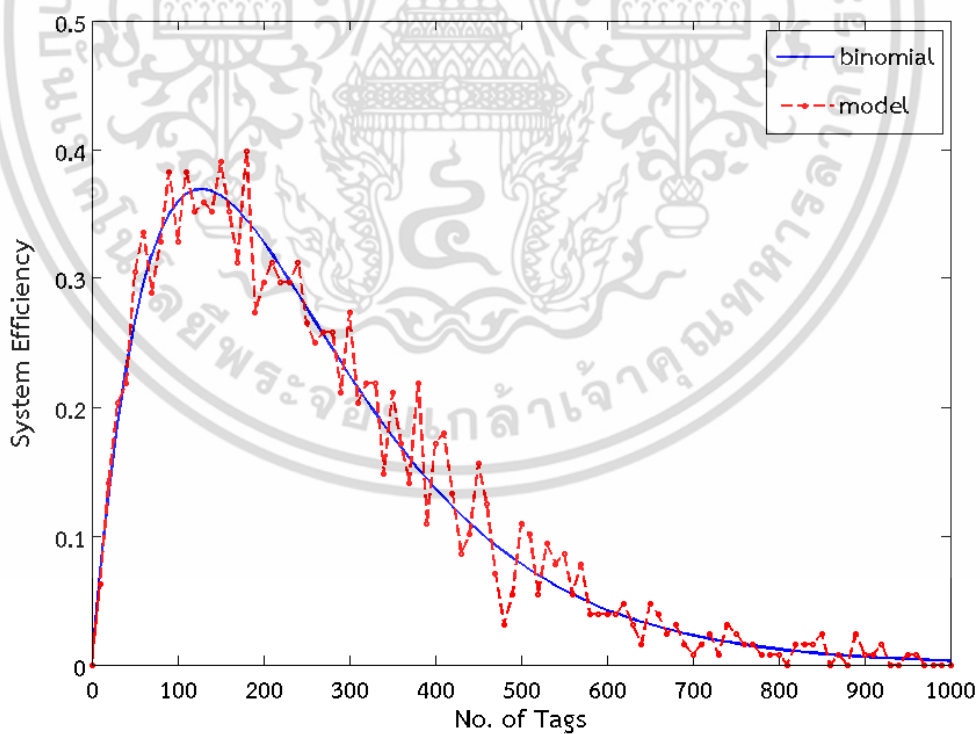
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Verify Model vs Binomial function (N=64)



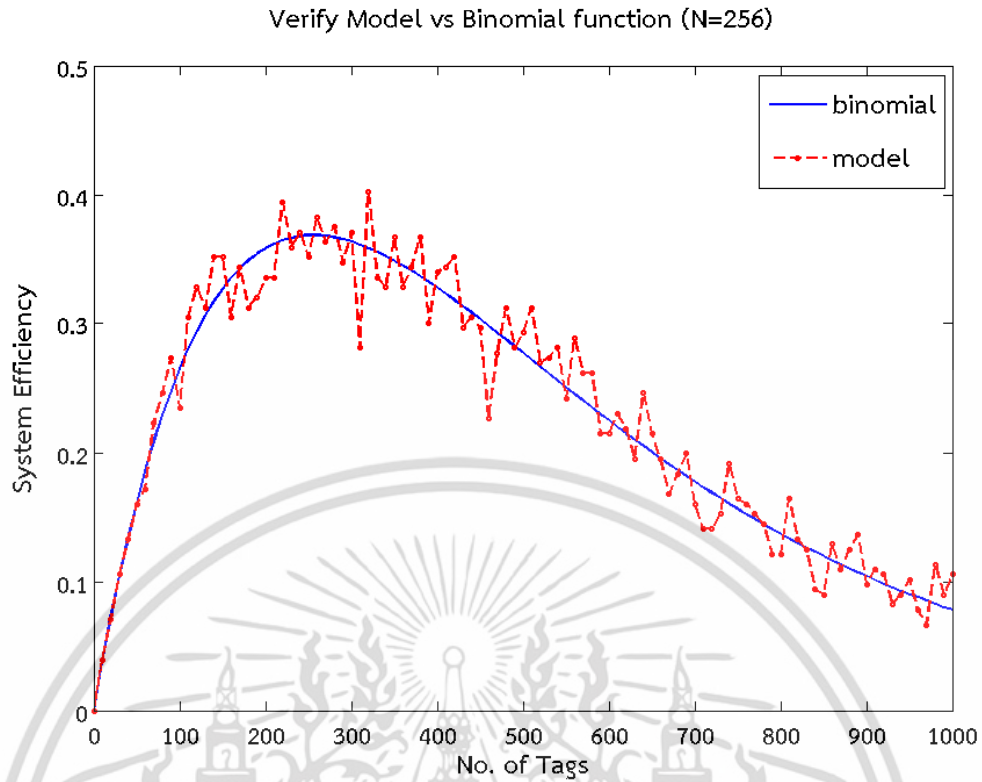
(ก)

Verify Model vs Binomial function (N=128)

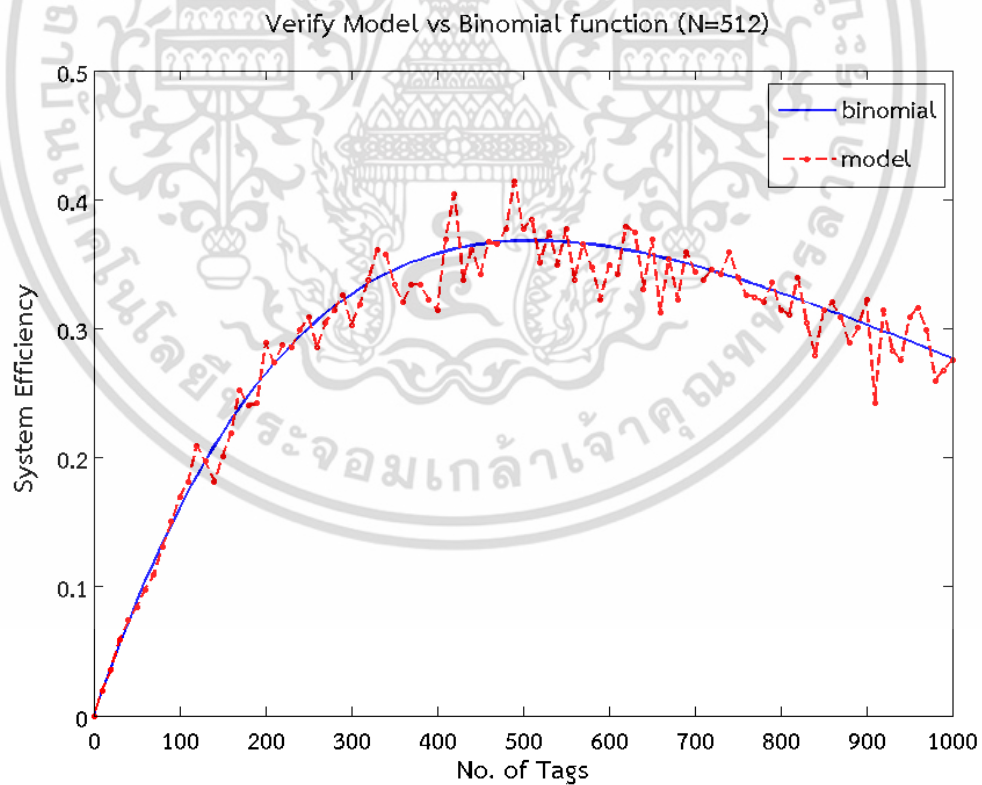


(ข)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ค)



(ง)

รูปที่ 3.10 การทดสอบความถูกต้องของแบบจำลองเปรียบเทียบกับไบโนเมียลฟังก์ชัน เมื่อจำนวน  
สล็อตคงที่  $N = 64, 128, 256$  และ  $512$  ตามลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ได้เขียนขึ้นมา จะเห็นว่าค่าที่ได้จากการจำลองแบบและค่าจากฟังก์ชันไปโนเมียลจะมีค่าใกล้เคียงกันในทุกขนาดเฟรม นั่นก็หมายความว่าโปรแกรมจำลองแบบการทำงานที่ได้เขียนขึ้นมามีความถูกต้อง และสามารถนำไปใช้หาผลการตอบสนองของระบบได้ แต่ค่าที่จากการจำลองแบบจะมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่อง เพราะการจำลองแบบจะใช้การสุ่มค่าแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม ดังแสดงในรูปที่ 3.10 (ก) - (ง)

### 3.5.1 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA

การเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA เราจะจำลองการเข้าใช้งานสล็อตของแท็กส์เพื่อส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีลำดับการทำงานของโปรแกรมดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นในโปรแกรม และสร้างตัวแปรเก็บค่าต่างๆที่เกิดขึ้น  
 จำนวนสล็อตเริ่มต้น  $N = 32$   
 จำนวนสล็อตสูงสุด  $N = 256$   
 จำนวนแท็กส์  $X = 0 - 1,000$  ตัว
2. เงื่อนไขแรก จะทำการตรวจสอบจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบ เมื่อจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบมีค่าน้อยกว่า 1,000 ตัว โปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆ (จำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ตัว) แล้ววนกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขอีกครั้งจนกว่าจำนวนแท็กส์จะเท่ากับ 1,000 ตัวโปรแกรมจึงจะจบการทำงาน
3. เงื่อนไขที่สอง จะทำการตรวจสอบจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบ เมื่อจำนวนแท็กส์มากกว่าศูนย์ โปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆ แล้ววนกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขอีกครั้งจนกว่าจำนวนแท็กส์จะเท่ากับศูนย์โปรแกรมจึงจะจบการทำงาน ซึ่งหมายถึง เครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมดแล้ว
4. กระบวนการในการอ่านข้อมูล จะจำลองการเข้าใช้งานสล็อตของแท็กส์เพื่อส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน โดยกำหนดให้ในแต่ละรอบการอ่านแท็กส์แต่ละตัวสามารถการสุ่มเลือกลำดับสล็อตได้เพียงครั้งเดียว โดยทำการสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม ซึ่งจะทำให้ในแต่ละสล็อตมีโอกาสที่จะถูกแท็กส์เลือกด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน โดยใช้คำสั่งดังนี้

$M = \text{randi}(N,T,1);$                     คือ สุ่มค่า 1-N, จำนวน T ครั้ง, เก็บไว้ในเมทริกซ์ 1 คอลัมน์

$R = \text{accumarray}(M,1);$                     คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่สุ่มได้, เก็บไว้ในเมทริกซ์ 1 คอลัมน์

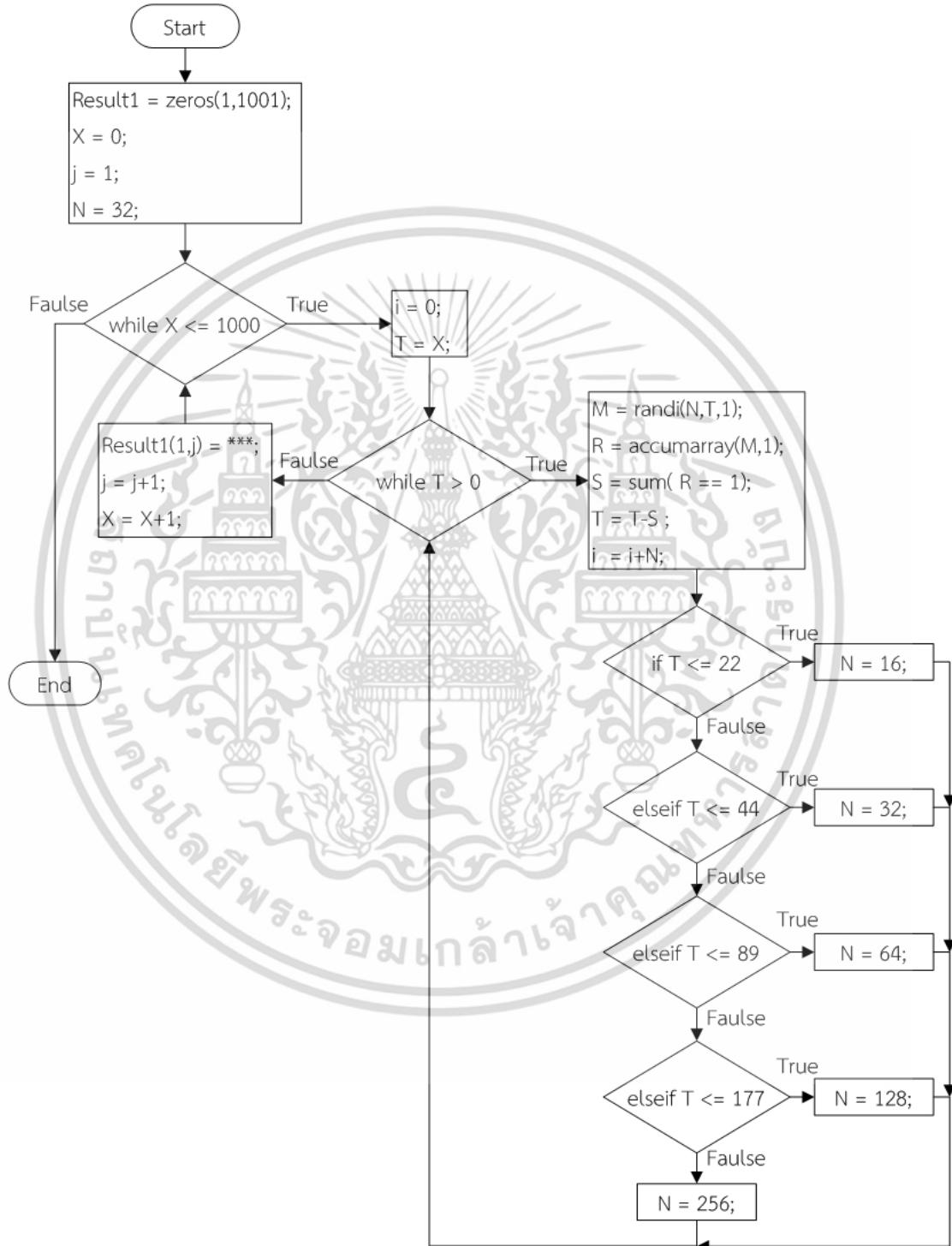
$S = \text{sum}(R == 1);$                     คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่สุ่มได้เพียงครั้งเดียว

$T = T - S;$                                     คือ จำนวนแท็กส์ที่เหลือในแต่ละรอบการอ่าน

$i = i + N;$                                     คือ นับจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสิ้นสุดในแต่ละรอบการอ่าน โปรแกรมจะนำค่าจำนวนสล็อตที่มีแท็กส์เลือกส่งข้อมูลเพียงตัวเดียว (สล็อตที่มีการส่งข้อมูลสำเร็จ) ไปหักออกจากจำนวนแท็กส์ทั้งหมด จะได้เป็นจำนวนแท็กส์ที่เหลือในรอบการอ่านต่อไป



รูปที่ 3.11 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เงื่อนไขที่ 3 - 6 จะทำการตรวจสอบจำนวนแท็กส์ที่เหลือในแต่ละรอบการอ่าน เพื่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่จะใช้อ่านข้อมูลในรอบการอ่านถัดไปให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ที่เหลือ โดยใช้ค่าจากตารางที่ 3.1

จากนั้นโปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆ จนกว่าเงื่อนไขทั้งหมดจะเป็นจริง คือ ทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กส์ได้ทั้งหมด และเพิ่มจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบเรื่อยๆ จนถึง 1,000 ตัวจึงจะจบการทำงานทั้งหมด ดังรูปที่ 3.11

### 3.5.2 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA

การเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา เราจะจำลองกระบวนการตัดสินใจของแท็กส์ในการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน ด้วยค่า P-persistent และจำลองการเข้าใช้งานสล็อตของแท็กส์เพื่อส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้โปรแกรม MATLAB ซึ่งมีลำดับการทำงานของโปรแกรมดังนี้

1. กำหนดค่าเริ่มต้นในโปรแกรม และสร้างตัวแปรเก็บค่าต่างๆที่เกิดขึ้น  
 จำนวนสล็อตเริ่มต้น  $N = 32$   
 จำนวนสล็อตสูงสุด  $N = 256$   
 จำนวนแท็กส์  $X = 0 - 1,000$  ตัว
2. เงื่อนไขแรก จะทำการตรวจสอบจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบ เมื่อจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบมีค่าน้อยกว่า 1,000 ตัว โปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆ (จำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นครั้งละ 1 ตัว) แล้ววนกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขอีกครั้งจนกว่าจำนวนแท็กส์จะเท่ากับ 1,000 ตัวโปรแกรมจึงจะจบการทำงาน
3. เงื่อนไขที่สอง จะทำการตรวจสอบจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบ เมื่อจำนวนแท็กส์มากกว่าศูนย์ โปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆ แล้ววนกลับมาตรวจสอบเงื่อนไขอีกครั้งจนกว่าจำนวนแท็กส์จะเท่ากับศูนย์โปรแกรมจึงจะจบการทำงาน ซึ่งหมายถึง เครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมดแล้ว
4. กระบวนการในการอ่านข้อมูล จะจำลองกระบวนการตัดสินใจของแท็กส์ในการส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน โดยเครื่องอ่านจะสร้างค่า P-persistent (ค่า  $P = N/n$  แปรผันตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ในแต่ละรอบการอ่าน) และกำหนดขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล ส่งไปให้แท็กส์ทุกตัว เมื่อแท็กส์ได้รับค่า P-persistent แล้วแท็กส์แต่ละตัวจะทำการสุ่มค่า  $p$  แบบแรนดอมในช่วง 0-1 ถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p > P$  แท็กส์จะไม่ทำการส่งข้อมูลตอบสนองในรอบการอ่านนี้ แต่จะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป แต่หากถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p \leq P$  แท็กส์จะทำการส่งข้อมูลตอบสนองในรอบการอ่านนี้ โดยทำการสุ่มเลือกลำดับสล็อตแบบแรนดอมในช่วง 1-N เพื่อส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน โดยใช้คำสั่งดังนี้

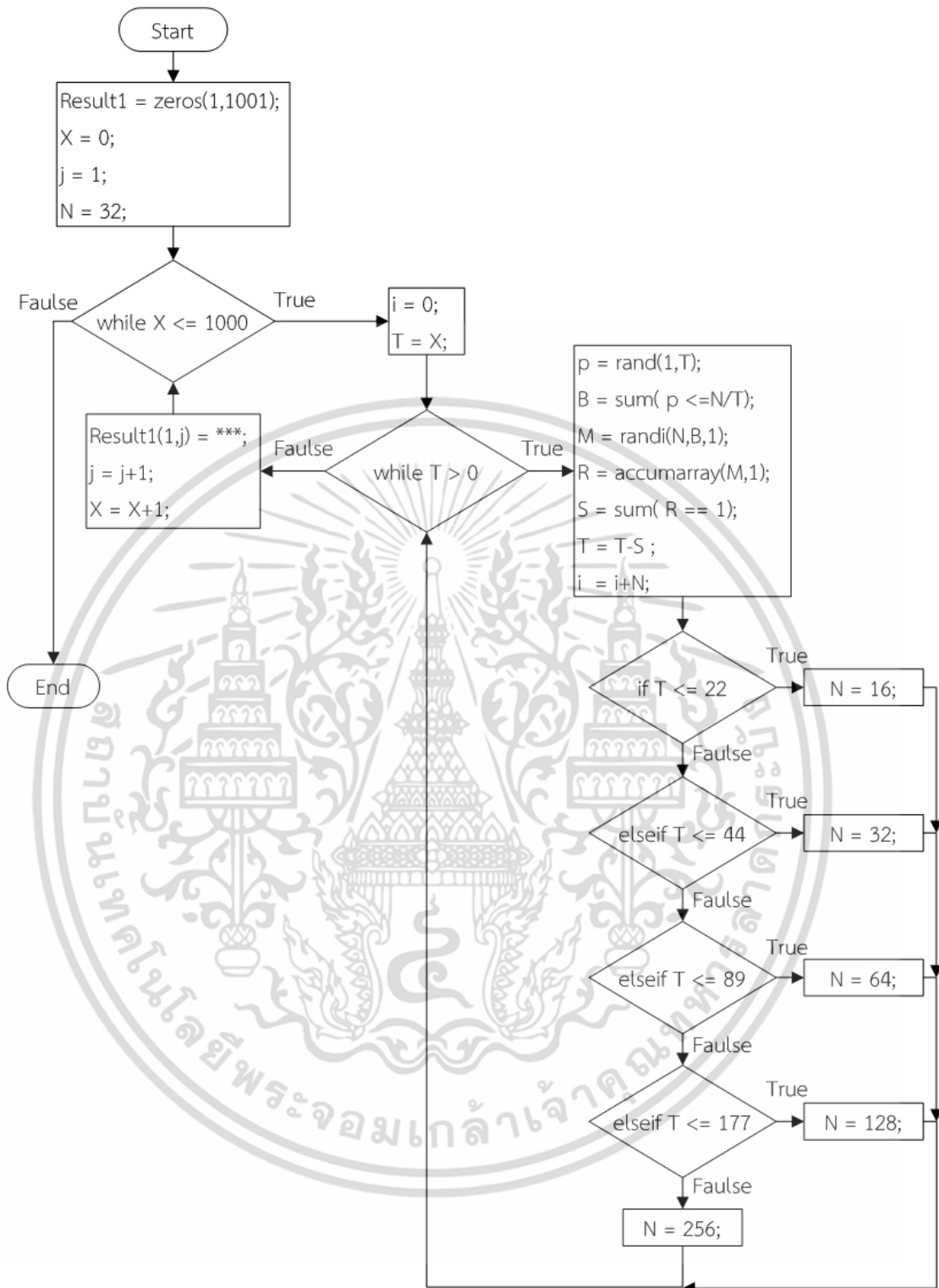
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$p = \text{rand}(1,T);$	คือ สุ่มค่า 0-1, จำนวน T ครั้ง
$B = \text{sum}( p \leq N/T);$	คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่น้อยกว่าหรือเท่ากับค่า P-persistent
$M = \text{randi}(N,B,1);$	คือ สุ่มค่า 1-N, จำนวน B ครั้ง, เก็บไว้ในเมทริกซ์ 1 คอลัมน์
$R = \text{accumarray}(M,1);$	คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่สุ่มได้, เก็บไว้ในเมทริกซ์ 1 คอลัมน์
$S = \text{sum}( R == 1);$	คือ นับจำนวนผลลัพธ์ที่สุ่มได้เพียงครั้งเดียว
$T = T-S ;$	คือ จำนวนแท็กส์ที่เหลือในแต่ละรอบการอ่าน
$i = i+N;$	คือ นับจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล

เมื่อสิ้นสุดในแต่ละรอบการอ่าน โปรแกรมจะนำค่าจำนวนสล็อตที่มีแท็กส์เลือกส่งข้อมูลเพียงตัวเดียว (สล็อตที่มีการส่งข้อมูลสำเร็จ) ไปหักออกจากจำนวนแท็กส์ทั้งหมด จะได้เป็นจำนวนแท็กส์ที่เหลือในรอบการอ่านต่อไป

5. เงื่อนไขที่ 3 - 6 จะทำการตรวจสอบจำนวนแท็กส์ที่เหลือในแต่ละรอบการอ่าน เพื่อการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมจำนวนสล็อตที่จะใช้อ่านข้อมูลในรอบการอ่านถัดไปให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ที่เหลือ โดยใช้ค่าจากตารางที่ 3.1

จากนั้นโปรแกรมจะทำงานไปเรื่อยๆ จนกว่าเงื่อนไขทั้งหมดจะเป็นจริง คือ ทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าจะสามารถอ่านข้อมูลจากแท็กส์ได้ทั้งหมด และเพิ่มจำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองแบบเรื่อยๆ จนถึง 1,000 ตัวจึงจะจบการทำงานทั้งหมด ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 โปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## บทที่ 4

### การทดลองและวิเคราะห์ผล

#### 4.1 กล่าวนำ

ปัญหาการชนกันของข้อมูลในระบบ active RFID ที่มีการประยุกต์ใช้งานในระบบที่มีเครื่องอ่านเพียงเครื่องเดียวกับแท็กส์หลายตัว และแท็กส์มีการเข้าถึงช่องสัญญาณแบบหลายทาง (multiple access) คือ แท็กส์หลายตัวส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ดังนั้นเครื่องอ่านจึงจำเป็นต้องมีโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลเพื่อจัดสรรช่องสัญญาณให้แท็กส์สามารถเข้าถึงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งโปรโตคอลที่นิยมใช้สำหรับป้องกันการชนกัน คือ โปรโตคอล DFSA ที่พัฒนามาจากโปรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา (FSA) โดยเพิ่มกระบวนการเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่าน ดังนั้นผลตอบสนองของระบบที่ใช้โปรโตคอลแบบ DFSA ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลก็จะมีผลตอบสนองเหมือนกับโปรโตคอลเฟรมสล็อตอะโลฮา ซึ่งสามารถคำนวณได้ด้วยสมการความน่าจะเป็นแบบทวินามหรือไบนอเมียล จากผลการคำนวณพบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเมื่อขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่าน ซึ่งแสดงให้เห็นว่าระบบ RFID ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลแบบ DFSA จะให้ผลดีเมื่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน แต่เมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตก็จะเกิดการชนกันของแท็กส์มากขึ้นทำให้ประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูลลดลง ดังนั้นในงานวิจัยนี้เราจึงได้ทำการพัฒนาโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) โดยนำเอาหลักการของ P-persistent มาช่วยในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน เพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุด โดยเฉพาะในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด จากนั้นเราได้ทำการออกแบบและเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานของระบบด้วยโปรแกรม MATLAB เพื่อทำการทดสอบประสิทธิภาพของโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา (ที่นำเสนอไปในบทที่ 3) เนื่องจากการทดสอบด้วยการคำนวณมีความยุ่งยากและใช้เวลานาน เพราะต้องทำการคำนวณทีละรอบการอ่านแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้ไปคำนวณในรอบการอ่านต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าจะจบกระบวนการอ่านข้อมูลหรือได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด และการทดสอบด้วยการจำลองแบบด้วยคอมพิวเตอร์จะให้ผลตอบสนองของระบบที่มีความใกล้เคียงกับสภาพการใช้งานจริง ซึ่งทำให้เราสามารถวิเคราะห์ผลการตอบสนองของระบบได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

ในบทนี้เราจะอธิบายวิธีการทดลองเพื่อทดสอบผลการตอบสนองของระบบ active RFID ที่ใช้โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลแบบ DP-FSA ที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมา ซึ่งเราจะ

ทดสอบโดยใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DFSA และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ
2. อัตราการชนกันของข้อมูล
3. จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล

จากนั้นเราจะอธิบายการทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลให้เหมาะสมกับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา และวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลอง

#### 4.2 การทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลและวิเคราะห์ผล

ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบหาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่ส่งข้อมูลสำเร็จต่อจำนวนสล็อตทั้งหมดที่ใช้ในการอ่านข้อมูล ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณพบว่า ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 36.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง

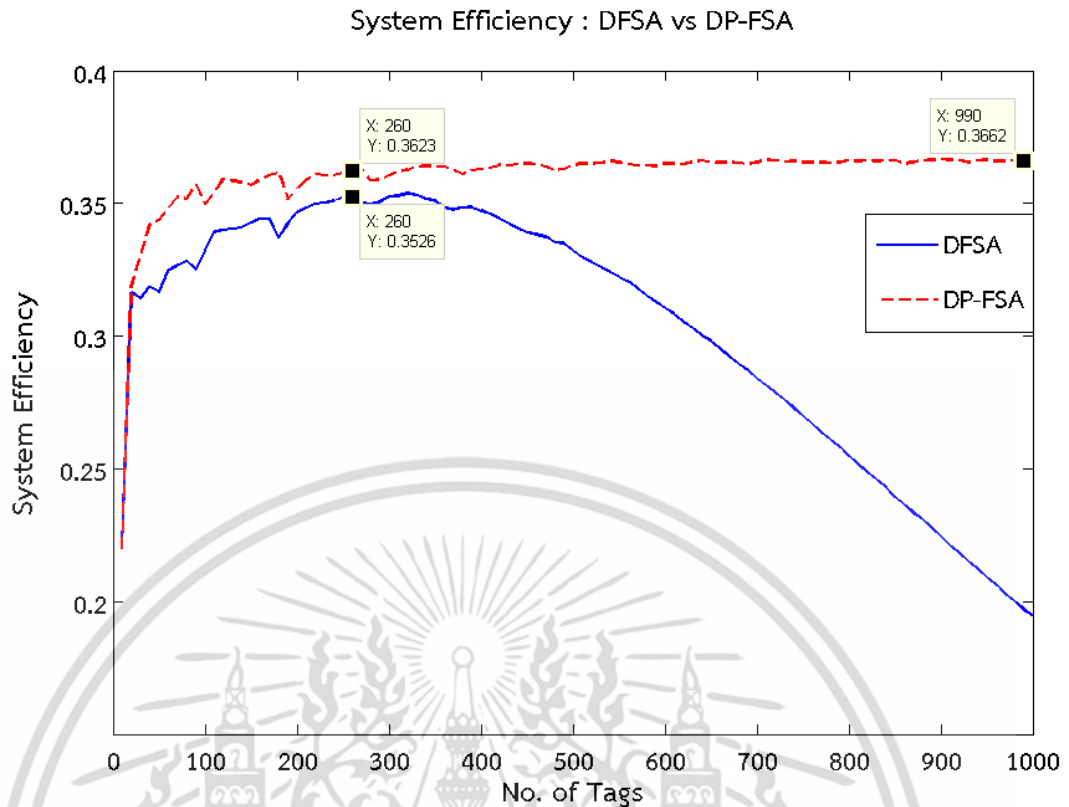
$$\text{ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูล} = \frac{\text{จำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ}}{\text{จำนวนสล็อตทั้งหมด}}$$

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมากับระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA เราจะใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB ตามที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 เพื่อหาผลลัพธ์ดังกล่าว โดยในการทดลองเราจะกำหนดให้

- จำนวนสล็อตเริ่มต้นเท่ากับ  $N=32$
- จำนวนสล็อตสูงสุดเท่ากับ  $N=256$
- จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองเริ่มตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ตัว
- ในการเข้าถึงสล็อตของแท็กส์แต่ละตัวจะทำการสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม
  - ในแต่ละรอบการอ่าน แท็กส์แต่ละตัวสามารถสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียว
  - ค่า P-persistent จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่าน
  - การเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลในแต่ละรอบการอ่านจะใช้ค่าจากตารางที่ 3.1
  - ในการทดลองเราจะทำการทดลองซ้ำๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รอบ เพื่อหา

ค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาพล็อตกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.1 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA

ในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA กับระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.1 เราจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง คือ

- **ช่วงแรก** คือ ช่วงที่แท็กส์มีจำนวนตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 260 ตัว จะเห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลที่สูงกว่าโปรโตคอล DFSA เมื่อจำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลก็จะเพิ่มขึ้น และมีการเปลี่ยนแปลงค่าแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน และในจุดที่จำนวนแท็กส์เท่ากับ 260 ตัว ค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DP-FSA จะอยู่ที่ 36.23% ส่วนโปรโตคอล DFSA จะอยู่ที่ 35.26%

- **ช่วงที่สอง** คือ ช่วงที่แท็กส์มีจำนวนตั้งแต่ 261 ตัวขึ้นไป จะเห็นว่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะมีค่าเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนถึง 36.62% เข้าใกล้ค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎี คือ 36.8 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่านจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อตด้วยค่าของ P-persistent ในขณะที่โปรโตคอล DFSA จะมีค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลงอย่างรวดเร็วเข้าใกล้

ศูนย์ เนื่องจากแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  ทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ส่งผลให้ระบบมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลง

### 4.3 การทดลองเปรียบเทียบอัตราการชนกันของข้อมูลและวิเคราะห์ผล

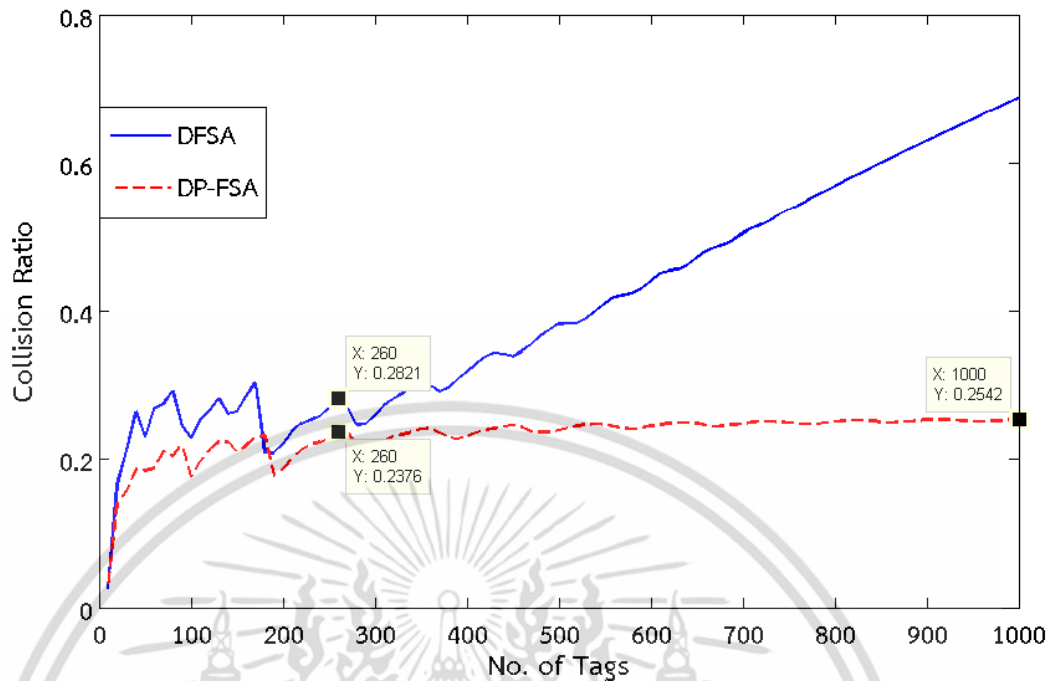
อัตราการชนกันของข้อมูลหาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่เกิดการชนกันต่อจำนวนสล็อตทั้งหมดที่ใช้ในการอ่าน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณพบว่าอัตราการชนกันของข้อมูลจะมีค่าเท่ากับ 26.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง

$$\text{อัตราการชนกันของข้อมูล} = \frac{\text{จำนวนสล็อตที่เกิดการชนกัน}}{\text{จำนวนสล็อตทั้งหมด}}$$

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบอัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมากับระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA เราจะทำการจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB ตามที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 เพื่อหาผลลัพธ์ดังกล่าว โดยในการทดลองเราจะกำหนดให้

- จำนวนสล็อตเริ่มต้นเท่ากับ  $N=32$
- จำนวนสล็อตสูงสุดเท่ากับ  $N=256$
- จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองเริ่มตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ตัว
- ในการเข้าถึงสล็อตของแท็กส์แต่ละตัวจะทำการสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม
- ในแต่ละรอบการอ่าน แท็กส์แต่ละตัวสามารถสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียว
- ค่า P-persistent จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่าน
  - การเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลในแต่ละรอบการอ่านจะใช้ค่าจากตารางที่ 3.1
  - ในการทดลองเราจะทำการทดลองซ้ำๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาพล็อตกราฟ

Collision Ratio : DFSA vs DP-FSA



รูปที่ 4.2 อัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA

ในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองเปรียบเทียบอัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA กับระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.2 เราจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง คือ

- **ช่วงแรก** คือ ช่วงที่แท็กส์มีจำนวนตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 260 ตัว จะเห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะมีอัตราการชนกันของข้อมูลต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เมื่อจำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นค่าอัตราการชนกันของข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลก็จะเพิ่มขึ้น และมีค่าสวิงขึ้นลงเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน และในจุดที่แท็กส์มีจำนวนเท่ากับ 260 ตัว อัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DP-FSA จะอยู่ที่ 23.76% ส่วนโปรโตคอล DFSA จะอยู่ที่ 28.21%

- **ช่วงที่สอง** คือ ช่วงที่แท็กส์มีจำนวนตั้งแต่ 261 ตัวขึ้นไป จะเห็นว่าอัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจนถึง 25.42% ซึ่งมีค่าไม่เกินค่าอัตราการชนกันของข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎี คือ 26.4 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่านจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อตด้วยค่าของ P-persistent ในขณะที่โปรโตคอล DFSA จะมีค่าอัตราการชนกันของข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าใกล้ 100 เปอร์เซ็นต์ เนื่องจากแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  จึงทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้น

#### 4.4 การทดลองเปรียบเทียบจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลและวิเคราะห์ผล

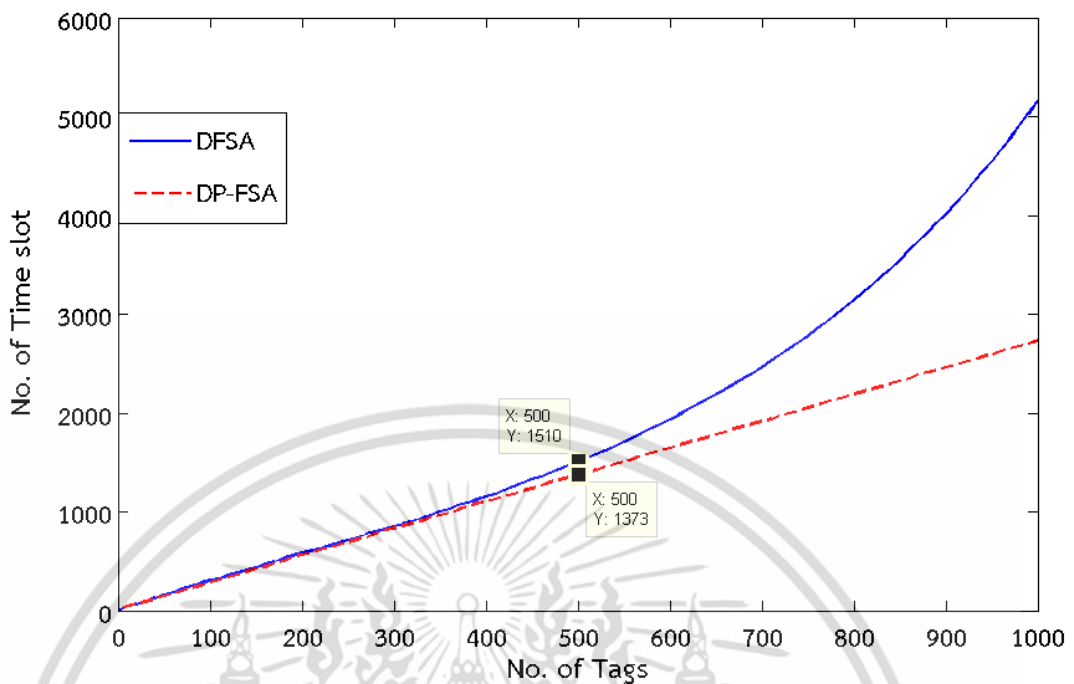
จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล คือ ผลรวมของสล็อตในทุกรอบการอ่านที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากแท็กส์จนครบทุกตัว หรือผลรวมของสล็อตทั้งหมดที่ใช้ในการอ่านข้อมูลตั้งแต่การอ่านรอบแรกจนถึงการอ่านรอบสุดท้าย

จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล คือ จำนวนรอบการทำงานที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านข้อมูลจากแท็กส์จนครบทุกตัว หรือจำนวนครั้งที่เครื่องอ่านส่ง Collection Command ไปยังแท็กส์

ในการทดลองเพื่อเปรียบเทียบจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาที่ระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA เราจะใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB ตามที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 เพื่อหาผลลัพธ์ดังกล่าว โดยในการทดลองเราจะกำหนดให้

- จำนวนสล็อตเริ่มต้นเท่ากับ  $N=32$
- จำนวนสล็อตสูงสุดเท่ากับ  $N=256$
- จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองเริ่มตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ตัว
- ในการเข้าถึงสล็อตของแท็กส์แต่ละตัวจะใช้การสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม
- ในแต่ละรอบการอ่าน แท็กส์แต่ละตัวสามารถสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียว
- ค่า P-persistent จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่าน
- การเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลในแต่ละรอบการอ่านจะใช้ค่าจากตารางที่ 3.1
- ในการทดลองเราจะทำการทดลองซ้ำๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาพล็อตกราฟ

Number of Time slot : DFSA vs DP-FSA



รูปที่ 4.3 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA

ตารางที่ 4.1 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA

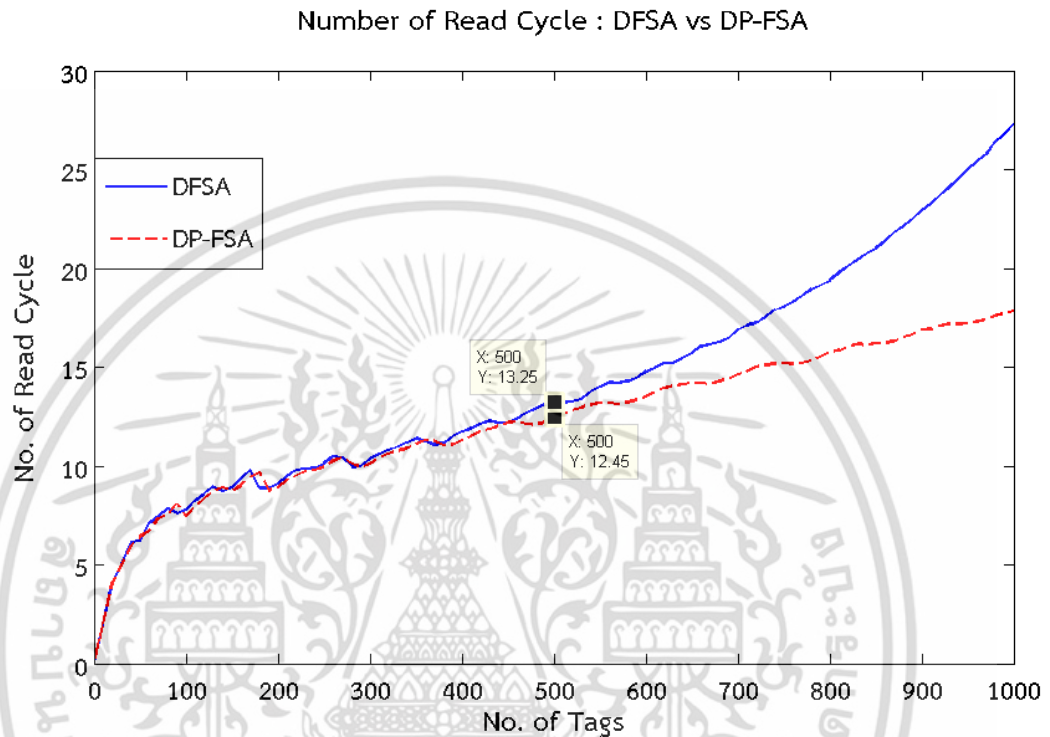
No. of Tag	100	200	300	400	500
DFSA	304.3	580.9	852	1153	1510
DP-FSA	288.8	564.4	836.1	1105	1373

ในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองเปรียบเทียบจำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA กับระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.3 เราจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง คือ

- **ช่วงแรก** คือ ช่วงที่แท็กมีจำนวนตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 500 ตัว จะเห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะใช้จำนวนสล็อตในการอ่านข้อมูลต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เพียงเล็กน้อย ซึ่งจากกราฟรูปที่ 4.3 จะสังเกตเห็นว่ากราฟทั้งสองเส้นจะใกล้กันมากเราจึงทำการดึงข้อมูลออกมาแสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อจำนวนแท็กเพิ่มขึ้นจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีการเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น

- **ช่วงที่สอง** คือ ช่วงที่แท็กมีจำนวนตั้งแต่ 501 ไปจนถึง 1,000 ตัว จะเห็นว่าจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนแท็กที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น เนื่องจากจำนวนแท็กที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่านจะเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อตด้วยค่าของ P-persistent ในขณะที่โปรโตคอล DFSA จะมีการใช้จำนวนสล็อตในการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแท็กมีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  ทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้น (อ่านข้อมูลได้น้อยลง) จึงมีความต้องการใช้งานจำนวนสล็อตเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.4 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA

ในการวิเคราะห์ผลจากการทดลองเปรียบเทียบจำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้โปรโตคอล DFSA กับระบบที่ใช้โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา ดังแสดงในรูปที่ 4.4 เราจะแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 2 ช่วง คือ

- **ช่วงแรก** คือ ช่วงที่แท็กมีจำนวนตั้งแต่ 1 ไปจนถึง 500 ตัว จะเห็นว่าจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกันมาก ซึ่งโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าโปรโตคอล DFSA เพียงเล็กน้อย โดยในจุดที่จำนวนแท็กเท่ากับ 500 ตัว จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลโดยเฉลี่ยของโปรโตคอล DP-FSA จะเท่ากับ 12.45 รอบ และโปรโตคอล DFSA จะเท่ากับ 13.25 รอบ เมื่อจำนวนแท็กเพิ่มขึ้นจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และมีการเปลี่ยนแปลงแบบไม่ต่อเนื่อง เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน

- **ช่วงที่สอง** คือ ช่วงที่แท็กมีจำนวนตั้งแต่ 501 ไปจนถึง 1,000 ตัว จะเห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA ที่พัฒนาขึ้นมาจะใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าโปรโตคอล DFSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษเท่านั้น ไม่อนุญาตให้เผยแพร่ไปใช้ประโยชน์ทางการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DP-FSA จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนแท็กส์ที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น เนื่องจากจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบการอ่านจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อตด้วยค่าของ P-persistent ในขณะโปรโตคอล DFSA จะใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เนื่องจากแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  ทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้น (อ่านข้อมูลได้น้อยลง) จึงต้องใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลเพิ่มมากขึ้นด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4.4

#### 4.5 การทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA

จากการวิเคราะห์ผลการตอบสนองของระบบด้วยสมการความน่าจะเป็นแบบทวินาม หรือไบนอมิเยลพบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง ซึ่งเราได้นำแนวคิดนี้มาพัฒนาเป็นโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ คือ โปรโตคอล DP-FSA โดยอาศัยค่า P-persistent มาช่วยในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่านในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อต แต่ในช่วงที่แท็กส์มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนสล็อตระบบจะมีค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลง เนื่องจากช่วงนี้จะมีใช้งานสล็อตได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ซึ่งในการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่านตามตารางที่ 3.1 จะมีช่วงที่แท็กส์มีจำนวนน้อยกว่าจำนวนสล็อตอยู่ ดังนั้นเราจึงทำการทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมหรือจำนวนสล็อตให้เหมาะสมกับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา โดยกำหนดจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมใหม่ไม่ให้มีช่วงที่จำนวนแท็กส์น้อยกว่าจำนวนสล็อต เรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบใหม่" เพื่อให้ระบบมีการใช้งานสล็อตได้เต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ขนาดเฟรมแบบใหม่ที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

Slot Size (N)	16	32	64	128	256
Low (N)	1	32	64	128	256
High (N)	31	63	127	255	$\infty$

ในการทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาตามตารางที่ 4.2 เราจะทำการทดลองเปรียบเทียบกับขนาดเฟรมตามตารางที่ 3.1 โดยใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB ตามที่ได้นำเสนอในบทที่ 3 และทำการวิเคราะห์ผลที่ได้จากการทดลองในหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ
2. อัตราการชนกันของข้อมูล
3. จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล

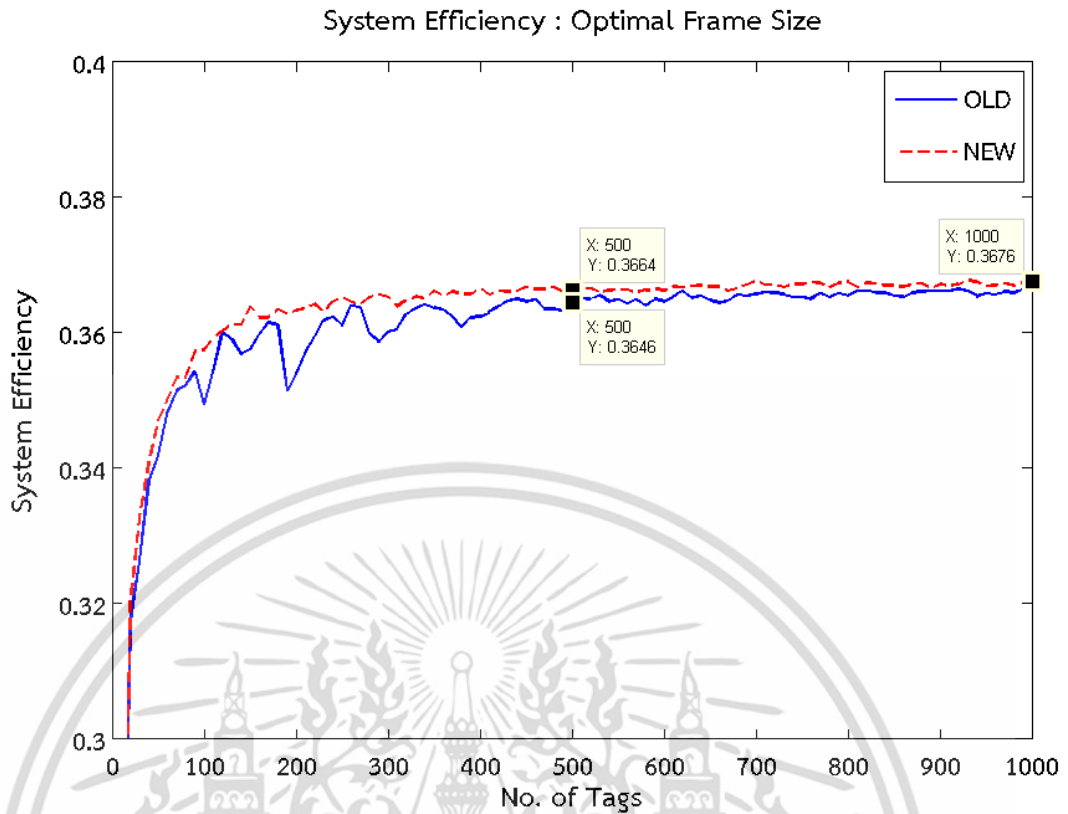
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

#### 4.5.1 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล

ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบทำได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่ส่งข้อมูลสำเร็จต่อจำนวนสล็อตทั้งหมดที่ใช้ในการอ่าน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณพบว่า ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลจะมีค่าสูงสุดเท่ากับ 36.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง

ในการทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมให้เหมาะสมกับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา เราจะใช้ค่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 ทำการทดลองเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าตามตารางที่ 3.1 เพื่อดูค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ โดยใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB โดยในการทดลองเราจะกำหนดให้

- ค่าขนาดเฟรมตามตารางที่ 3.1 เราจะเรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบเก่า"
- ค่าขนาดเฟรมตามตารางที่ 4.2 เราจะเรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบใหม่"
- จำนวนสล็อตเริ่มต้นเท่ากับ  $N=32$
- จำนวนสล็อตสูงสุดเท่ากับ  $N=256$
- จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองเริ่มตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ตัว
- ในการเข้าถึงสล็อตของแท็กส์แต่ละตัวจะใช้การสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม
- ในแต่ละรอบการอ่าน แท็กส์แต่ละตัวสามารถสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียว
- ค่า P-persistent จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่าน
- ในการทดลองเราจะทำการทดลองซ้ำๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาพล็อตกราฟ



รูปที่ 4.5 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่

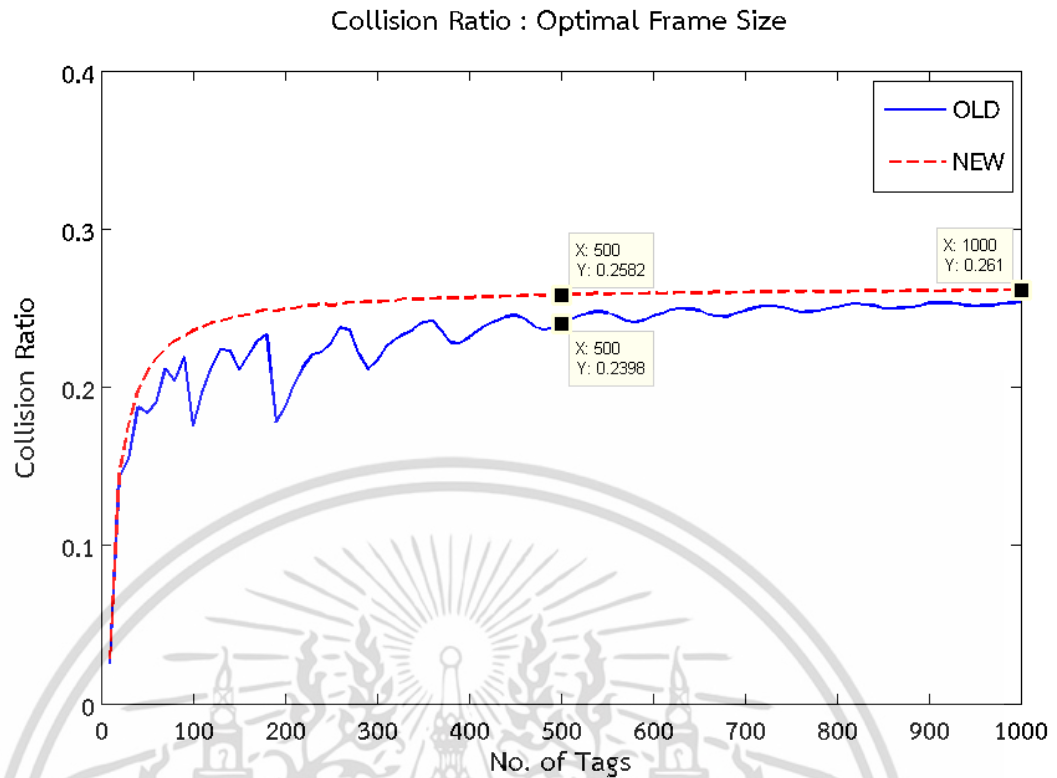
จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่พบว่า ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลดีกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเพียงเล็กน้อยเท่ากับ 0.65% ในช่วงที่แท็กมีจำนวน 0-1,000 ตัว และมีค่าใกล้เคียงกับค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎี คือ 36.8 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของกราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องกว่ากราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่า ดังแสดงในรูปที่ 4.5 เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 จะไม่มีช่วงที่จำนวนแท็กน้อยกว่าจำนวนสล็อตเลย ทำให้มีการใช้งานสล็อตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

#### 4.5.2 อัตราการชนกันของข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล

อัตราการชนกันของข้อมูลหาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่เกิดการชนกันต่อจำนวนสล็อตทั้งหมดที่ใช้ในการอ่าน ซึ่งจากการวิเคราะห์ด้วยการคำนวณพบว่าอัตราการชนกันของข้อมูลสูงสุดจะมีค่าเท่ากับ 26.4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนอง

ในการทดลองปรับขนาดเฟรมให้เหมาะสมกับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา เราจะใช้ค่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 ทำการทดลองเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าตามตารางที่ 3.1 เพื่อดูค่าอัตราการชนกันของข้อมูลของระบบ โดยใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB โดยในการทดลองเราจะกำหนดให้

- ค่าขนาดเฟรมตามตารางที่ 3.1 เราจะเรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบเก่า"
- ค่าขนาดเฟรมตามตารางที่ 4.2 เราจะเรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบใหม่"
- จำนวนสล็อตเริ่มต้นเท่ากับ  $N=32$
- จำนวนสล็อตสูงสุดเท่ากับ  $N=256$
- จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองเริ่มตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ตัว
- ในการเข้าถึงสล็อตของแท็กส์แต่ละตัวจะใช้การสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม
- ในแต่ละรอบการอ่าน แท็กส์แต่ละตัวสามารถสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียว
- ค่า P-persistent จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่าน
- ในการทดลองเราจะทำการทดลองซ้ำๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาพล็อตกราฟ



รูปที่ 4.6 อัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าอัตราการชนกันของข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่พบว่า ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีค่าอัตราการชนกันของข้อมูลสูงกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเท่ากับ 8.11% ในช่วงที่แท็กมีจำนวน 0-1,000 ตัว เนื่องจากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าจะมีช่วงที่จำนวนแท็กน้อยกว่าจำนวนสล็อต (ช่วงที่แท็กน้อยกว่าจำนวนสล็อตจะมีอัตราการชนกันของข้อมูลต่ำ) แต่ก็ไม่เกินค่าอัตราการชนกันของข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎี คือ 26.4 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของกราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องกว่ากราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่า ดังแสดงในรูปที่ 4.6 เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 จะไม่มีช่วงที่จำนวนแท็กน้อยกว่าจำนวนสล็อตเลย ทำให้มีการใช้งานสล็อตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

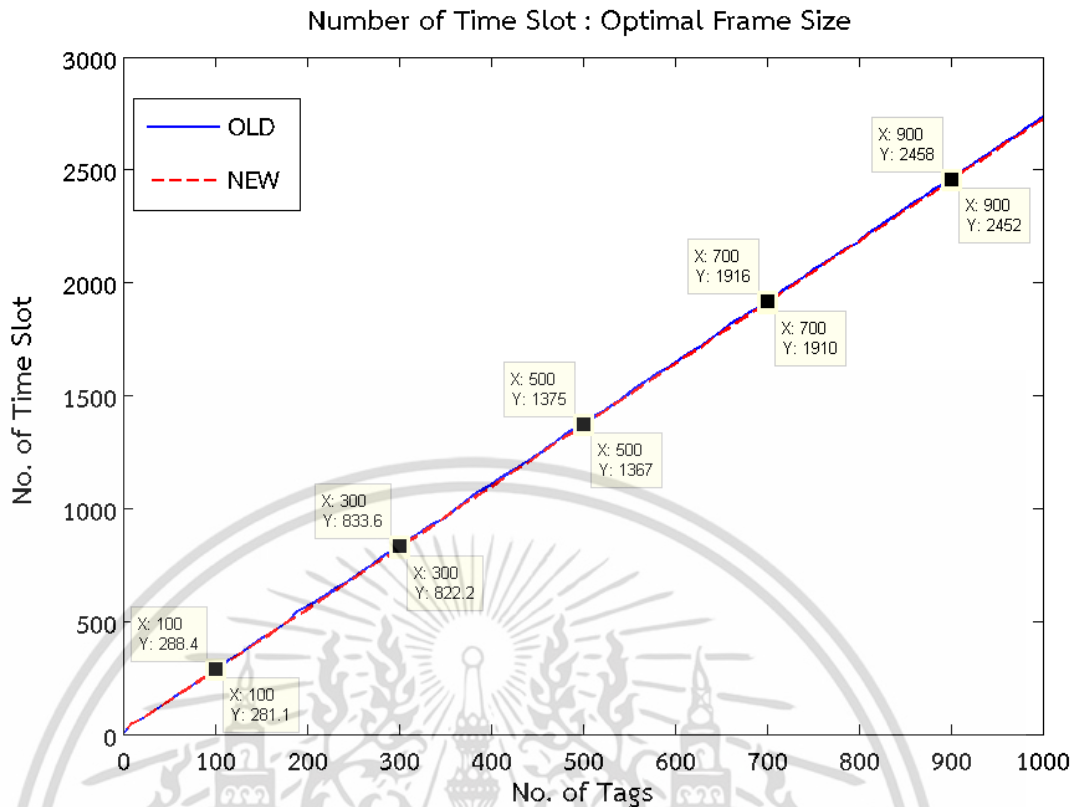
#### 4.5.3 จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของขนาดเฟรมแบบใหม่และวิเคราะห์ผล

จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล คือ ผลรวมของสล็อตในทุกกรอบการอ่านที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจากแท็กส์จนครบทุกตัว หรือผลรวมของสล็อตทั้งหมดที่ใช้ในการอ่านข้อมูลตั้งแต่การอ่านรอบแรกจนถึงการอ่านรอบสุดท้าย

จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล คือ จำนวนรอบการทำงานที่เครื่องอ่านใช้ในการอ่านข้อมูลจากแท็กส์จนครบทุกตัว หรือจำนวนครั้งที่เครื่องอ่านส่ง Collection Command ไปยังแท็กส์

ในการทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมให้เหมาะสมกับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา เราจะใช้ค่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 ทำการทดลองเปรียบเทียบกับค่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าตามตารางที่ 3.1 เพื่อดูค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของระบบ โดยใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB โดยในการทดลองเราจะกำหนดให้

- ค่าขนาดเฟรมตามตารางที่ 3.1 เราจะเรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบเก่า"
- ค่าขนาดเฟรมตามตารางที่ 4.2 เราจะเรียกว่า "ขนาดเฟรมแบบใหม่"
- จำนวนสล็อตเริ่มต้นเท่ากับ  $N=32$
- จำนวนสล็อตสูงสุดเท่ากับ  $N=256$
- จำนวนแท็กส์ที่ใช้ในการจำลองเริ่มตั้งแต่ 1 จนถึง 1,000 ตัว
- ในการเข้าถึงสล็อตของแท็กส์แต่ละตัวจะใช้การสุ่มแบบแรนดอมที่มีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม
- ในแต่ละรอบการอ่าน แท็กส์แต่ละตัวสามารถสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลได้เพียงครั้งเดียว
- ค่า P-persistent จะเปลี่ยนแปลงตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่าน
- ในการทดลองเราจะทำการทดลองซ้ำๆ กันเป็นจำนวน 1,000 รอบ เพื่อหาค่าเฉลี่ยแล้วจึงนำผลลัพธ์ที่ได้มาพล็อตกราฟ

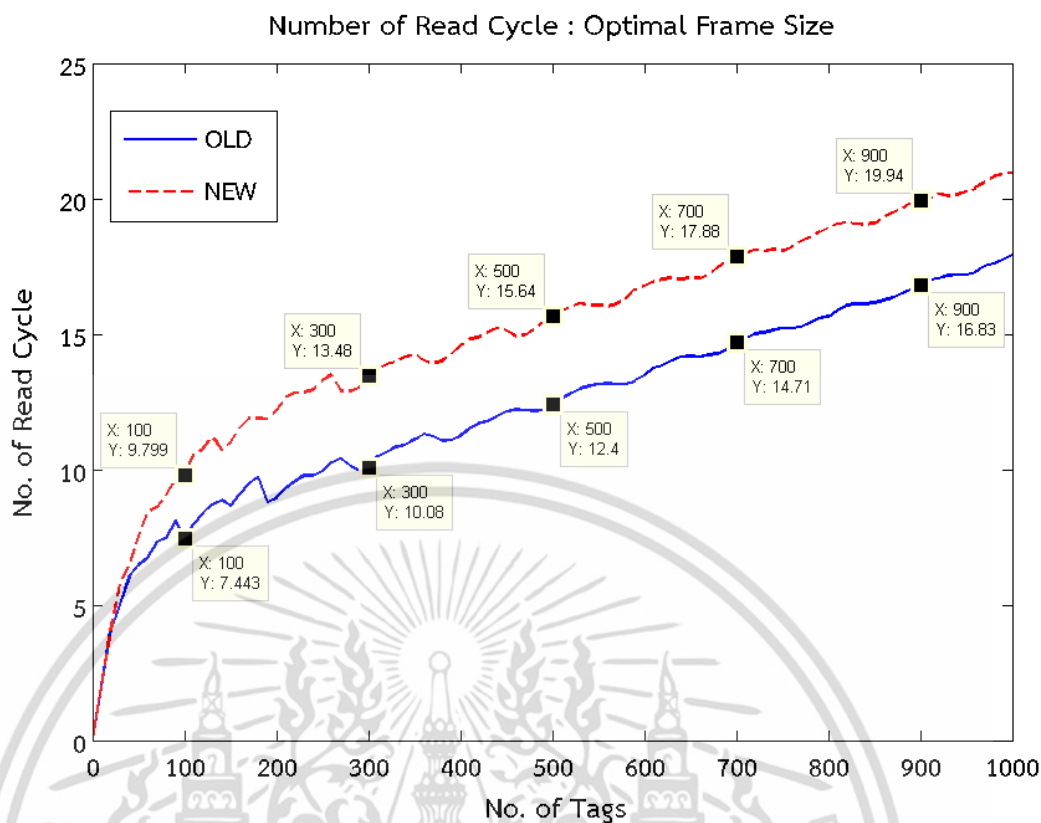


รูปที่ 4.7 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่

ตารางที่ 4.3 จำนวนสล็อตที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่

No. of Tags	100	300	500	700	900
OLD	288.4	833.6	1375	1916	2458
NEW	281.1	822.2	1367	1910	2452

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าจำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่พบว่า ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะใช้จำนวนสล็อตในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเพียงเล็กน้อยเท่ากับ 0.63% ในช่วงที่แท็กมีจำนวน 0-1,000 ตัว ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 จะไม่มีช่วงที่จำนวนแท็กน้อยกว่าจำนวนสล็อตเลย ทำให้มีการใช้งานสล็อตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และลักษณะของกราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่และระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าจะมีการเปลี่ยนแปลงอย่างเป็นเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.8 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่

ตารางที่ 4.4 จำนวนรอบที่ใช้อ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและแบบใหม่

No. of Tags	100	300	500	700	900
OLD	7.443	10.08	12.4	14.71	16.83
NEW	9.799	13.48	15.64	17.88	19.94

จากผลการทดลองเปรียบเทียบค่าจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าและระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่พบว่า ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลมากกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเท่ากับ 23.14% ในช่วงที่แท็กมีจำนวน 0-1,000 ตัว ดังตารางที่ 4.3 เนื่องจากการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 จะมีจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมที่สูงกว่าจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าตามตารางที่ 3.1 ดังนั้นการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะเพิ่มขนาดเฟรมได้ช้ากว่าทำให้ใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลมากกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่า ดังแสดงในรูปที่ 4.8

## บทที่ 5

# สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

### 5.1 สรุปผลการวิจัย

วิทยานิพนธ์นี้ได้ทำการศึกษาปัญหาการชนกันของข้อมูลในระบบ active RFID ที่มี การรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านเครื่องเดียวกับแท็กส์หลายตัว จากการศึกษาการทำงานและการวิเคราะห์ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA พบว่า ระบบจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงสุดเท่ากับ 36.8 เปอร์เซ็นต์ เมื่อจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองมายังเครื่องอ่านมีจำนวนเท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน ดังนั้นเราจึงได้นำแนวคิดนี้มาใช้ในการพัฒนาโปรโตคอล ป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) โดยนำหลักการของ P-persistent มาช่วยในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่าน และได้นำโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาไปทำการทดสอบโดยการเขียนโปรแกรมจำลองการทำงานด้วยโปรแกรม MATLAB โดยทดลองเปรียบเทียบกับโปรโตคอล DFSA ซึ่งสามารถสรุปผลได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงกว่าโปรโตคอล DFSA ดังตารางที่ 5.1 โดยเฉพาะในช่วงที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด โปรโตคอล DP-FSA จะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าสูงสุดตามทฤษฎีคือ 36.8 เปอร์เซ็นต์ แต่โปรโตคอล DFSA จะมีค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลงอย่างรวดเร็วเข้าใกล้ศูนย์

2. โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะทำให้ระบบมีอัตราการชนกันของข้อมูลต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA ดังตารางที่ 5.1 โดยเฉพาะในช่วงที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด โปรโตคอล DP-FSA จะมีอัตราการชนกันข้อมูลคงที่ไม่เกินอัตราการชนกันของข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎีคือ 26.4 เปอร์เซ็นต์ แต่โปรโตคอล DFSA จะมีอัตราการชนกันของข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วเข้าใกล้ร้อยเปอร์เซ็นต์

3. โปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าโปรโตคอล DFSA ดังตารางที่ 5.1 และในช่วงที่แท็กส์มีจำนวนตั้งแต่ 500 ตัวขึ้นไป โปรโตคอล DP-FSA จะใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ตามจำนวนแท็กส์ที่เพิ่มขึ้นอย่างเป็นเชิงเส้น แต่โปรโตคอล DFSA จะใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 5.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างโปรโตคอล DP-FSA กับโปรโตคอล DFSA

ประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูล	
จำนวนแท็กส์ 1-260 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA สูงกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 5%
จำนวนแท็กส์ 261-1,000 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA สูงกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 29%
อัตราการชนกันของข้อมูล	
จำนวนแท็กส์ 1-260 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA ต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 18%
จำนวนแท็กส์ 261-1,000 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA ต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 43%
จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูล	
จำนวนแท็กส์ 1-500 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA ต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 4%
จำนวนแท็กส์ 501-1,000 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA ต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 27%
จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูล	
จำนวนแท็กส์ 1-500 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA ต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 3%
จำนวนแท็กส์ 501-1,000 ตัว	โปรโตคอล DP-FSA ต่ำกว่าโปรโตคอล DFSA เท่ากับ 17%

จากผลการทดลองเพื่อทดสอบประสิทธิภาพการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA ที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมา สามารถสรุปได้ว่าโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมามีประสิทธิภาพการทำงานที่ดีกว่าโปรโตคอล DFSA ในทุกๆ ด้าน คือ โปรโตคอลที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลที่สูงกว่า มีอัตราการชนกันของข้อมูลที่ต่ำกว่า ใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่า โดยเฉพาะในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด (N=256) ดังตารางที่ 5.1 ซึ่งแสดงให้เห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาจะให้ผลดีในทุกจำนวนของแท็กส์ เนื่องจากมีการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบการอ่านในกรณีที่แท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อต เพื่อลดการแย่งชิงสล็อตในการส่งข้อมูลทำให้ระบบเกิดการชนของข้อมูลลดลง ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบดีขึ้น ในขณะที่โปรโตคอล DFSA จะให้ผลดีเมื่อแท็กส์มีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุดเท่านั้น แต่เมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดจะทำให้เกิดการแย่งชิงสล็อตในการส่งข้อมูลมากขึ้น จึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้นด้วย ส่งผลให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบลดลง

ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล การเปลี่ยนแปลงขนาดเฟรมแบบเก่าตามตารางที่ 3.1 จะมีช่วงที่จำนวนแท็กส์น้อยกว่าจำนวนสล็อต ในช่วงนี้เองจะมีการใช้งานสล็อตได้ไม่เต็มประสิทธิภาพ ดังนั้นเราจึงได้ทำการปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมให้เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมาตามตารางที่ 4.2 เรียกว่า ขนาดเฟรมแบบใหม่ โดยกำหนดจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมใหม่ไม่ให้มีช่วงที่จำนวนแท็กส์น้อยกว่าจำนวนสล็อต เพื่อให้ระบบมีการใช้งานสล็อตได้อย่างเต็มประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น แล้วทำการทดลองการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ตามตารางที่ 4.2 เปรียบเทียบกับการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าตามตารางที่ 3.1 โดยใช้การจำลองแบบการทำงานด้วยการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในโปรแกรม MATLAB ซึ่งสามารถสรุปผลได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

1. ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเพียงเล็กน้อยเท่ากับ 0.65% ลักษณะของกราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องมากกว่ากราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่า

2. ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีค่าอัตราการชนกันของข้อมูลสูงกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเท่ากับ 8.11% แต่ก็ไม่เกินค่าอัตราการชนกันของข้อมูลสูงสุดตามทฤษฎีคือ 26.4 เปอร์เซ็นต์ ลักษณะของกราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะมีการเปลี่ยนแปลงที่ต่อเนื่องมากกว่ากราฟที่ได้จากระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่า

3. ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะใช้จำนวนสล็อตในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเพียงเล็กน้อยเท่ากับ 0.63%

4. ระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลมากกว่าระบบที่ใช้การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่าเท่ากับ 23.14%

จากผลการทดลองปรับจุดเปลี่ยนขนาดเฟรมที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA สามารถสรุปได้ว่า การเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่จะทำให้ระบบมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลสูงกว่าและใช้จำนวนสล็อตในการอ่านข้อมูลน้อยกว่า แต่จะมีอัตราการชนกันของข้อมูลที่สูงกว่าและใช้จำนวนรอบในการอ่านข้อมูลมากกว่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบเก่า ซึ่งในการพิจารณาประสิทธิภาพการทำงานของระบบ ส่วนมากแล้วจะพิจารณาที่ค่าประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบเป็นหลัก ดังนั้นจึงถือว่าการเปลี่ยนขนาดเฟรมแบบใหม่ที่เหมาะสมสำหรับโปรโตคอล DP-FSA สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบได้

## 5.2 ข้อเสนอแนะ

โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่ที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมา คือ โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) เป็นโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลสำหรับระบบ active RFID ที่มีรูปแบบการประยุกต์ใช้งานสำหรับระบบที่ใช้เครื่องอ่านข้อมูลเพียงเครื่องเดียวเท่านั้น ซึ่งเหมาะสำหรับระบบขนาดเล็กที่มีแท็กส์จำนวนไม่มาก เนื่องจากประยุกต์ใช้งานได้ง่ายและไม่ซับซ้อน แต่ในระบบ RFID นั้นยังมีการประยุกต์ใช้งานอีกหลายรูปแบบ เช่น รูปแบบที่มีเครื่องอ่านหลายตัว (multi reader) เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการอ่านข้อมูล ซึ่งเหมาะสำหรับระบบขนาดใหญ่ที่มีแท็กส์จำนวนมาก และด้วยเทคโนโลยีของแท็กส์ EPC GEN 2 ที่สนับสนุนการเลือกแบบกลุ่ม คือ เครื่องอ่านจะค้นหาและอ่านข้อมูลเฉพาะกลุ่มแท็กส์ที่เลือก ซึ่งช่วยลดจำนวนแท็กส์ที่เครื่องอ่านต้องประมวลผลทำให้มีการอ่านข้อมูลที่เร็วขึ้น ซึ่งเราสามารถนำโปรโตคอล DP-FSA ที่งานวิจัยนี้ได้พัฒนาขึ้นมาไปพัฒนาต่อยอดสำหรับระบบ RFID ที่ใช้เครื่องอ่านข้อมูลหลายตัว ในกรณีที่มีแท็กส์จำนวนมากๆ กระจายกันอยู่ในบริเวณพื้นที่ขนาดใหญ่ โดยอาจจะแบ่งกลุ่มของแท็กส์ออกเป็นหลายๆ กลุ่ม แล้วให้เครื่องอ่านหลายตัวแบ่งหน้าที่กันทำงาน คือ เครื่องอ่านแต่ละตัวจะอ่านข้อมูลจากแท็กส์ในแต่ละกลุ่ม เพื่อให้สามารถอ่านข้อมูลจากแท็กส์จำนวนมากๆ ได้เร็วขึ้น

## เอกสารอ้างอิง

- [1] Finkenzeller K. **RFID handbook: fundamentals and applications in contactless smart cards. radio frequency identification and near-field communication.** Third edition. West Sussex : John Wiley & Sons. 2010.
- [2] ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์, วีระศักดิ์ ชื่นตาม, สัญญา ควรคิด, วิโรจน์ บัวงาม และหฤทัย ดิ้นสกุล. **ระบบบ่งชี้ด้วยความถี่วิทยุ.** ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2552.
- [3] ประสิทธิ์ ทีฆพุมิ และไพโรจน์ ไหววานิชกิจ. **เทคโนโลยี RFID.** กรุงเทพฯ : ดอกหญ้า. 2549.
- [4] ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ. **รู้จักกับเทคโนโลยีอาร์เอฟไอดี.** ปทุมธานี : สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ. 2548.
- [5] Rom, R., and M. Sidi. **Multiple Access Protocols Performance and Analysis.** New York : Springer-Verlag. 1998.
- [6] William Feller. **An Introduction to probability Theory and its Applications.** Vol.1. Third Edition. New York : John Wiley & Sons. 1968.
- [7] วินัส พิชญนิษฐ์ และชินนะพงษ์ บำรุงทรัพย์. **ทฤษฎีความน่าจะเป็นพื้นฐานและการประยุกต์.** กรุงเทพฯ : ปรกาศพริก. 2547.
- [8] สุวิมล สิริชีวะภาค. **ความน่าจะเป็นตัวแปรสุ่มและกระบวนการพินสุ่ม.** พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพฯ : วิ.เจ.พรินต์ติ้ง. 2551.
- [9] วีระศักดิ์ ชื่นตาม, สัญญา ควรคิด และปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์. **“เทคโนโลยีอาร์เอฟไอดีและการประยุกต์ใช้งาน.”** [Online]. Available : <http://www.ecti-thailand.org/emagazine/views/60>. 2557.
- [10] กนกพร อินทร์ทอง. **“รู้จักกับ RFID.”** [Online]. Available : <http://share.psu.ac.th/blog/recreation/22790>. 2555.
- [11] ศิริภาวรรณ บรรยง และเสนา ญ ออยุธยา. **“RFID และการประยุกต์ใช้งาน.”** [Online]. Available : <http://bosstwowun.exteen.com/20090207/rfdi>. 2552.
- [12] ธวัชชัย บุญช่วยชีพ. **“ส่วนประกอบของ RFID.”** [Online]. Available : <http://www.xsense.co.th/th/node/207>. 2557.
- [13] ธวัชชัยชนะ มิตรพันธ์. **“ระบบการระบุด้วยคลื่นวิทยุหรืออาร์เอฟไอดี.”** [Online]. Available : [http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/RadioFrequency\\_Identification\\_RFID](http://thaitelecomkm.org/TTE/topic/attach/RadioFrequency_Identification_RFID). 2557.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- [14] เศรษฐพงษ์ มะลิสวรรณ. “RFID เทคโนโลยีมีอนาคต.” [Online]. Available : <https://spiritm.wordpress.com/2008/10/06/rfid>. 2008.
- [15] Zhen B., Kobayashi M. and Shimizu M. “Frame ALOHA for Multiple RFID Objects Identification” **Proceeding of IEICE Trans Communications**, Vol. E88-B, No. 3, March, 2005. pp. 991-999.
- [16] Vogt H. “Efficient Object Identification with Passive RFID tags” **Proceeding of International Conference on Pervasive Computing**, vol. 2414, 01 Jan, 2002. pp. 98-113.
- [17] Yoon W. J., Chung S. H., Lee S. J. and Moon Y. S. “Design and Implementation of an Active RFID System for Fast Tag Collection” **Proceeding of the 7th International Conference on Computer and Information Technology**, IEEE, 2007. pp. 961-966.
- [18] Lee S. R., Joo S. D. and Lee C. W. “An Enhanced Dynamic Framed Slotted ALOHA Algorithm for RFID Tag Identification” **Proceeding of the 2nd Annual International Conference on Mobile and Ubiquitous Systems**, IEEE, 2005. pp. 166-172.
- [19] CHEN W. T. and LIN G. H. “An Efficient Anti-Collision Method for Tag Identification in a RFID System” **Proceeding of IEICE Trans Communications**, Vol. E89-B, No. 12, December 2006.
- [20] Cha J. R. and Kim J. H. “Novel anti-collision algorithms for fast object identification in RFID system” **Proceedings of 11th International Conference**, IEEE, Vol. 2, 2005.
- [21] **ISO/IEC 18000-7**, Information technology - Radio frequency identification (RFID) for item management - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433 MHz, Aug 2004.



## ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.  
ผลงานวิจัยที่ได้ตีพิมพ์เผยแพร่

1. อัศวิน กีก້อง, สุวิพล สิทธิชีวะภาค “โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบ Active RFID” วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 31, ฉบับที่ 4, เดือนธันวาคม 2557, หน้า 19-24.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# วิศวกรรมลาดกระบัง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

ปีที่ 31 ฉบับที่ 4

ธันวาคม 2557

## บทความวิชาการ

1. การคำนวณผลทางพลศาสตร์ของไหล  
วีระยุทธ หล้าอมรชัยกุล 1
2. การเติมทรายชายหาดเพื่อป้องกันชายฝั่งทะเล  
สมปรารถนา ฤทธิพิริ้ง 7

## บทความวิจัย

3. วงจรสายพานกระแสสลับที่สามารถปรับค่าอัตราขยายกระแสได้แบบใหม่โดยใช้เทคโนโลยีซีมอส  
อภิชัย ชนະสุข มนตรี คำเงิน กอบชัย เดชหาญ 13
4. โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่สำหรับระบบ Active RFID  
อัศวิน ก๊กก้อง สุวิพล สิริชีวิภาค 19
5. การหล่อลื่นแบบอิลาสโตไฮโดรไดนามิกของวัสดุอ่อนที่สัมผัสแบบวงกลมด้วยสารหล่อลื่น  
นอนินาโตเนี่ยน  
เจษฎา พวนิชกรณ์ ชนิษฐา วงษ์สีดาแก้ว 25
6. อุณหภูมิของหลังคาเมทัลชีทที่เคลือบด้วยสีสะท้อนรังสีแสงอาทิตย์เซรามิกโค้ทติ้ง  
พุทธดี อุบลสุข ลมูล แซ่เฮง พิสิทธิ์สังขการ 31
7. การกำจัดไฮโดรเจนซัลไฟด์จากภาพแก๊สชีวภาพเพื่อใช้งานในครัวเรือนโดยการดูดซึมทางเคมีด้วย  
สารละลายคีเลทไอออน  
จรัญ บุญกาญจน์ รัตนา จริยาบูรณ์ สดาร์ตน์ ถิ่นจนะนะ พรพิมล แสนสุข 37
8. การศึกษาฟิล์มเอ็นเอมอร์ฟัสซิลิคอน และการประยุกต์ใช้เป็นชั้นด้านหลังของเซลล์แสงอาทิตย์  
ชนิดรอยต่อเฮเทอโร  
อภิชาญ มูลละคร ทวีวัฒน์ กระจ่างสังข์ สรพงศ์ อินธิแสง อัศวิน หงษ์สิงห์ทอง  
กอบศักดิ์ ศรีประภา ณัฐพงษ์ บริรักษ์สันติกุล จรัญ ศรีธรราริคุณ 43
9. Mechanical Properties of Concrete Mixed with Cotton Dust Ash  
Borvom Israngkura Na Ayudhya 49
10. Evaluation of The Causes of Abandoned Construction Projects in Thailand  
Borvom Israngkura Na Ayudhya 55

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

# โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่

## สำหรับระบบ Active RFID

### A New Anti-Data Collision Protocol for Active RFID Systems

อัศวิน กีก้อง สุวิพล สิริวิชฌาภาค

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

#### บทคัดย่อ

ปัญหาที่สำคัญในระบบ active Radio Frequency Identification (active RFID) คือ การชนกันของข้อมูล เมื่อแท็กส์หลายตัวส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้คือ โปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) จะให้ผลดีเมื่อแท็กส์มีจำนวนน้อยกว่า หรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุด แต่เมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นบทความนี้นำเสนอโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) โดยนำหลักการของ P-persistent มาใช้ในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน คือ เครื่องอ่านจะสร้างค่า P-persistent ให้กับแท็กส์เพื่อใช้ในการตัดสินใจส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน จากผลการจำลองพบว่า โปรโตคอลที่นำเสนอช่วยลดการชนกันของข้อมูลและเพิ่มประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบให้ดีขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับโปรโตคอล DFSA นอกจากนี้ยังลดจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลให้น้อยลงอีกด้วย

**คำสำคัญ:** ระบบ Active RFID, โปรโตคอล DFSA, ค่า P-persistent

#### Abstract

The most important problem in active Radio Frequency Identification (active RFID) systems is data collision when multiple tags respond to reader at the same time. The popular anti-data collision protocols used to prevent this problem is Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) protocol. It works effectively when the number of tags is less than or equal to the maximum number of slots. On the other hand, if the number is larger, it will cause more collision. This paper propose a new anti- data collision protocol called Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) protocol which used the principle of P-persistent to limit the number of tags responding to reader to the number of slots in each reading cycle. The reader creates P-persistent value for tags. Tags use this value to decide to respond to the reader. The result shows that proposed protocol can reduce tag collision and enable better tags collection efficiency compared with the DFSA protocol. Moreover, the number of slot and reading cycle for tag collection is reduced.

**Keywords:** Active RFID system, Protocol FSA, P-persistent value

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

Radio Frequency Identification (RFID) คือ ระบบบ่งชี้ข้อมูลของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ เครื่องอ่านและแท็กส์ โดยแท็กส์จะเป็นตัวเก็บข้อมูลของวัตถุซึ่งจะถูกนำไปคิดไว้กับวัตถุต่างๆ เมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน แท็กส์จะส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่านโดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุ โดยทั่วไประบบ RFID จะแบ่งตามแหล่งจ่ายพลังงานของแท็กส์ออกเป็น 2 ชนิด คือ ระบบ passive RFID และระบบ active RFID ในระบบ passive RFID แท็กส์จะไม่มีแบตเตอรี่ในตัวเอง ทำงานโดยอาศัยพลังงานไฟฟ้าจากการเหนี่ยวนำคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจากเครื่องอ่าน ในขณะที่ระบบ active RFID แท็กส์จะมีแบตเตอรี่อยู่ภายในเพื่อจ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับแท็กส์ ทำให้แท็กส์สามารถส่งข้อมูลได้ในระยะที่ไกลและยังสามารถทำงานในบริเวณที่มีสัญญาณรบกวนได้ดีอีกด้วย จากคุณสมบัติดังกล่าวของแท็กส์ในระบบ active RFID สามารถนำไปประยุกต์ใช้กับงานได้หลายอย่าง เช่น การขนส่งทางเรือ ระบบติดตามทรัพย์สิน ยานพาหนะ เป็นต้น

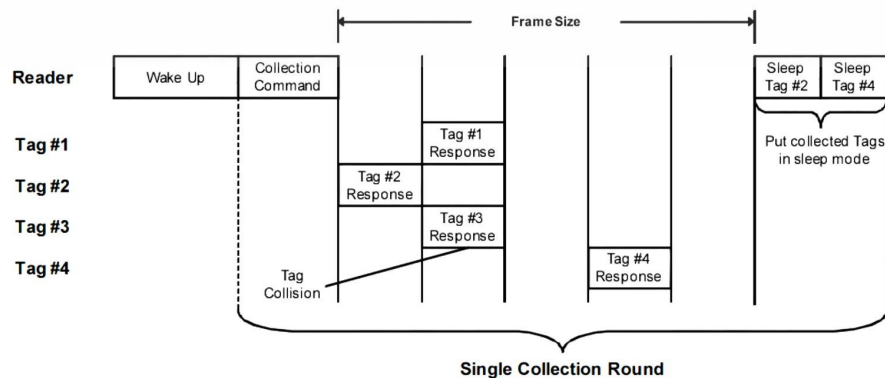
ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กส์จะมีปัญหาที่สำคัญ คือ การชนกันของข้อมูล เมื่อแท็กส์จำนวนมากส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านพร้อมกัน ทำให้มีโอกาสที่แท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวจะส่งข้อมูลในสล็อตเดียวกันมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโปรโตคอลที่ใช้สำหรับป้องกันการชนกันของข้อมูล จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โปรโตคอลที่ใช้นิยมใช้สำหรับการป้องกันการชนกันของข้อมูล คือ โปรโตคอลอะโลฮา (Aloha protocol) นำเสนอไว้ใน [1] และในมาตรฐาน ISO/IEC

18000-7 นำเสนอไว้ใน [2] ซึ่งเป็นมาตรฐานสำหรับระบบ active RFID ที่มีการทำงานในช่วงความถี่ 433 Mhz ได้ นำเสนอโปรโตคอลในการป้องกันการชนกันของข้อมูลคือ โปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) ในโปรโตคอล DFSA นำเสนอไว้ใน [3]-[4] จะมีการการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ จะให้ผลดีเมื่อแท็กส์มีจำนวนน้อยกว่า หรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุด ดังนั้นเมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดจึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น

บทความนี้ได้นำเสนอโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent FSA (DP-FSA) สำหรับระบบ active RFID เพื่อลดการชนกันของข้อมูลและปรับปรุงประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบให้ดีขึ้น โดยการนำหลักการของ P-persistent นำเสนอไว้ใน [5] มาใช้ในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน เพื่อลดการแย่งชิงในการส่งข้อมูลของแท็กส์ โดยทำการจำลองโปรโตคอลที่ได้ นำเสนอเปรียบเทียบกับโปรโตคอล DFSA

2. โปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA)

โปรโตคอล DFSA เป็นโปรโตคอลสำหรับป้องกันการชนกันของข้อมูล นำเสนอไว้ใน [3] ที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตให้เหมาะสมกับจำนวนของแท็กส์ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล



รูปที่ 1 การทำงานของโปรโตคอล DFSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่อผู้ดูแลให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรโตคอล DFSA เครื่องอ่านจะทำการกระตุ้นแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้ตื่นจากสภาวะสงบนิ่งก่อน จากนั้นเครื่องอ่านจะเริ่มค้นรอบการอ่านด้วยการส่งสัญญาณคำสั่ง Collection Command ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลจำนวนสล็อต ไปยังแท็กส์ทุกตัว เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งดังกล่าว จะทำการสุ่มเลือกลำดับของสล็อตที่จะใช้ในการส่งข้อมูลแล้วส่งข้อมูลไปในสล็อตที่ได้ทำการเลือกเอาไว้ สล็อตที่อยู่ในเฟรมจะสามารถแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม คือ สล็อตที่ส่งสำเร็จ คือ สล็อตที่มีแท็กส์ตอบสนองเพียงตัวเดียว, สล็อตที่ชนกัน คือ สล็อตที่มีแท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวตอบสนองพร้อมกัน และสล็อตที่ว่าง คือ สล็อตที่ไม่มีแท็กส์ตอบสนองเลย ในรอบแรกของการอ่านข้อมูลมีแท็กส์เพียง 2 ตัวเท่านั้น (ตัวที่ 2 และตัวที่ 4) ที่ส่งข้อมูลได้สำเร็จ เมื่อเครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์เรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณคำสั่ง Sleep Command ไปยังแท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จ เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งแล้วก็จะอยู่ในสภาวะสงบนิ่ง คือ หยุดการตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน เมื่อสิ้นสุดรอบการอ่านเครื่องอ่านจะทำการประมาณค่าจำนวนแท็กส์ที่เหลือ โดยใช้ข้อมูลจากการอ่านรอบที่ผ่านมาเพื่อเลือกจำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ในรอบการอ่านถัดไป จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 1

ในการเลือกขนาดของเฟรม หรือจำนวนสล็อตที่เหมาะสมในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล สามารถเลือกได้จากตารางที่ 1 การประมาณค่าขนาดของเฟรมที่เหมาะสมของ Vogt นำเสนอไว้ใน [4]

ตารางที่ 1 การประมาณค่าขนาดของเฟรมที่เหมาะสมของ Vogt

Slot	16	32	64	128	256
Low(N)	1	10	17	51	112
High(N)	9	27	56	129	∞

### 3. โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่ควรเผยแพร่ไปอย่างอื่นโดยไม่ได้รับอนุญาตจากเจ้าของลิขสิทธิ์ หากมีข้อผิดพลาดประการใด ขออภัยไว้ล่วงหน้า และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในระบบ active RFID ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลสามารถคำนวณการตอบสนองของระบบได้ดังนี้ เมื่อกำหนดให้  $N$  คือ จำนวนสล็อต,  $n$  คือ จำนวนแท็กส์ที่ทำการตอบสนอง และ  $p = 1/N$  คือ ความน่าจะเป็นการตอบสนองของแท็กส์ในแต่ละสล็อตซึ่งจะมีค่าเท่ากันทุกสล็อต ดังนั้นความน่าจะเป็นที่  $k$  แท็กส์จะส่งข้อมูลสำเร็จในแต่ละสล็อต เป็นกระจายแบบไบนอมิยัลนำเสนอไว้ใน [6]

$$P(k) = \binom{n}{k} \left(\frac{1}{N}\right)^k \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-k} \quad (1)$$

ให้  $S$  คือ ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของระบบ หาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จต่อจำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม

$$S = \frac{\text{จำนวนสล็อตที่ส่งสำเร็จ}}{\text{จำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม}} = \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \quad (2)$$

ให้  $C_{ratio}$  คือ อัตราการชนกันของข้อมูล หาได้จากอัตราส่วนของจำนวนสล็อตที่เกิดการชนกันต่อจำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม

$$C_{ratio} = \frac{\text{จำนวนสล็อตที่เกิดการชนกัน}}{\text{จำนวนสล็อตในหนึ่งเฟรม}} \quad (3)$$

เราสามารถหาจำนวนสล็อตและจำนวนแท็กส์ที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุดได้ด้วยการหาอนุพันธ์สมการที่ (2)

$$\frac{dS}{dN} = \frac{d}{dN} \left[ \frac{n}{N} \left(1 - \frac{1}{N}\right)^{n-1} \right] = 0 \quad (4)$$

$$\text{Optimal Frame Size, } N = n \quad (5)$$

ระบบจะมีประสิทธิภาพสูงสุดเมื่อจำนวนสล็อตเท่ากับจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล ดังสมการที่ (5)

ดังนั้นในบทความนี้เราจึงนำหลักการของ P-persistent มาใช้ในการจำกัดจำนวนแท็กส์ที่ส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน คือ เครื่องอ่านจะสร้างค่า P-persistent ให้กับแท็กส์เพื่อใช้ในการตัดสินใจส่งข้อมูลตอบสนอง โดยที่ค่า P-persistent ในแต่ละรอบของการอ่านจะแปรผันตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อ

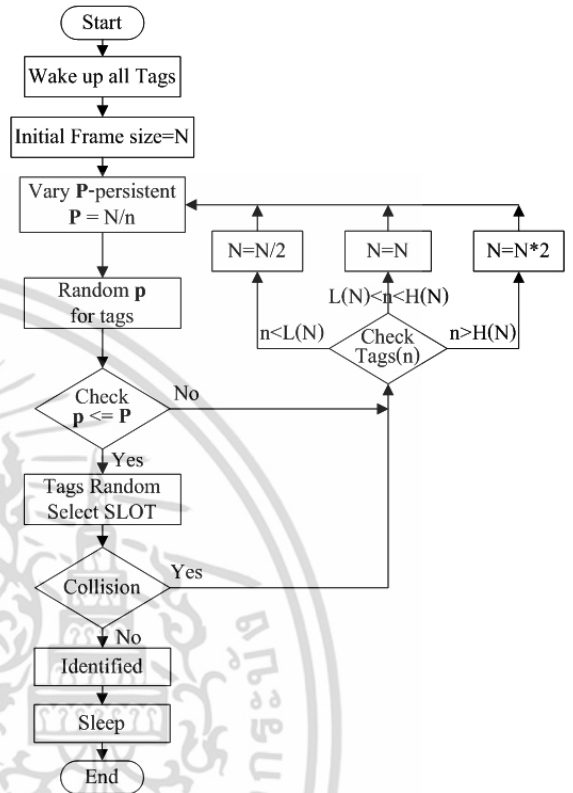
จำนวนแท็กส์ในรอบการอ่านนั้นๆ คือ  $P = N/n$  เมื่อแท็กส์แต่ละตัวได้รับค่า P-persistent แล้วจะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็น  $p$  ในช่วง 0-1 ถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p \leq P$  แท็กส์จะทำการตอบสนองทันทีเมื่อได้รับคำสั่งจากเครื่องอ่าน หากเกิดการชนกันของข้อมูล แท็กส์จะหยุดการทำงานทันทีและจะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป แต่หากสุ่มได้  $p > P$  นั้นหมายความว่า เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งจากเครื่องอ่านแล้วจะยังไม่ทำการตอบสนองในทันที แต่จะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป

**4. การจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA**

ในส่วนนี้เราจะกล่าวถึงการจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA ที่นำเสนอ ด้วยโปรแกรม MATLAB โดยกำหนดให้ จำนวนสล็อตเริ่มต้น  $N=64$ , จำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$ , แท็กส์แต่ละตัวมีการสุ่มเลือกสล็อตเป็นแบบ uniform และจำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นเรื่อยๆ

ก่อนที่เครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลจากแท็กส์ เครื่องอ่านจะต้องทำการกระตุ้นแท็กส์ทุกตัวให้อยู่ในสถานะที่พร้อมส่งข้อมูลก่อน จากนั้นเครื่องอ่านจะกำหนดจำนวนสล็อตเริ่มต้นและสร้างค่า P-persistent แล้วจึงส่งสัญญาณคำสั่ง Collection Command ที่ประกอบด้วย ข้อมูลจำนวนสล็อตและค่า P-persistent ไปยังแท็กส์ทุกตัว เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งแล้ว แท็กส์แต่ละตัวจะทำการสุ่มค่าความน่าจะเป็น  $p$  ในช่วง 0-1 ถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า  $p \leq P$  แท็กส์จะมีการส่งข้อมูลตอบสนองทันที โดยทำการสุ่มเลือกลำดับสล็อตที่ใช้ในการส่งข้อมูลแล้วส่งข้อมูลไปในสล็อตดังกล่าว ถ้าเกิดการชนกันแท็กส์จะหยุดทำงานทันทีและจะรอสุ่มค่าใหม่ในการอ่านรอบถัดไป แต่หากสุ่มได้ค่า  $p > P$  แท็กส์จะยังไม่ทำการส่งข้อมูลตอบสนองในทันที แต่จะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป เมื่อเครื่องอ่านได้รับข้อมูลจากแท็กส์เรียบร้อยแล้วจะส่งสัญญาณคำสั่ง Sleep Command ไปยังแท็กส์ที่ส่งข้อมูลสำเร็จเพื่อให้หยุดตอบสนองในรอบการอ่านถัดไป เมื่อสิ้นสุดการอ่านในแต่ละรอบ เครื่องอ่านจะทำการประมาณค่าจำนวนแท็กส์ที่เหลือ โดยใช้ข้อมูลจากการอ่านรอบที่ผ่านมาเพื่อเลือก

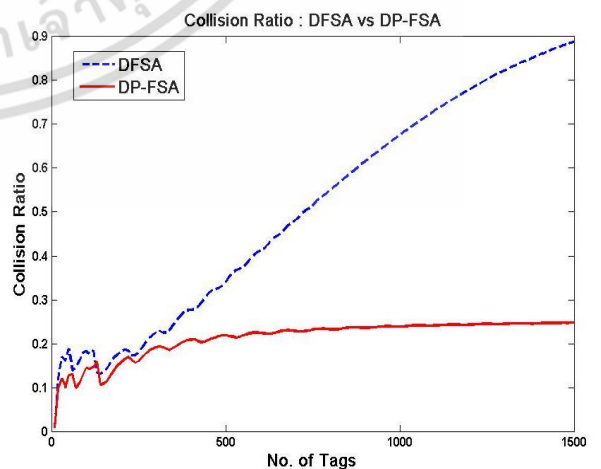
จำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ในรอบการอ่านถัดไป จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลในรอบถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โฟลว์ชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA

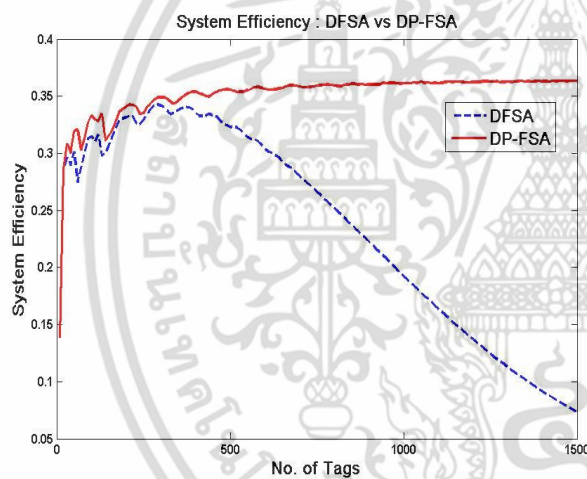
**5. ผลการจำลองและวิเคราะห์ผล**

ในส่วนนี้เราจะวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA



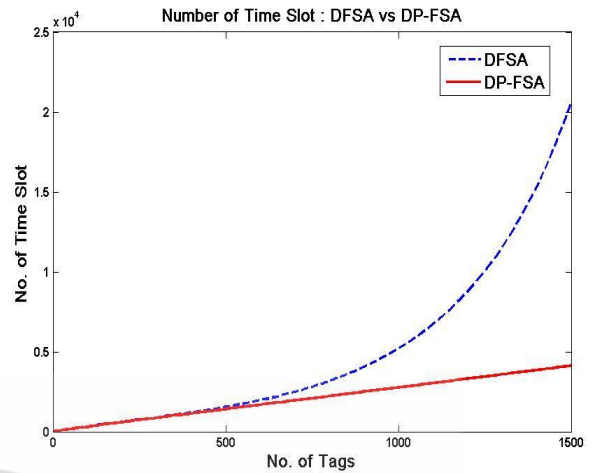
รูปที่ 3 อัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA

เมื่อจำนวนแท็กที่อยู่ในช่วง 0-256 อัตราการชนกันของข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสวิงขึ้นลงเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน แต่เมื่อแท็กส์เพิ่มจำนวนมากกว่า 250 ขึ้นไป จะเห็นว่าอัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DFSA จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  จึงทำให้มีการชนกันของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่โปรโตคอล DP-FSA จะมีอัตราการชนกันของข้อมูลคงที่ประมาณ 24% เนื่องจากในทุกรอบของการอ่านข้อมูล จำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อต ด้วยค่าของ P-persistent ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3

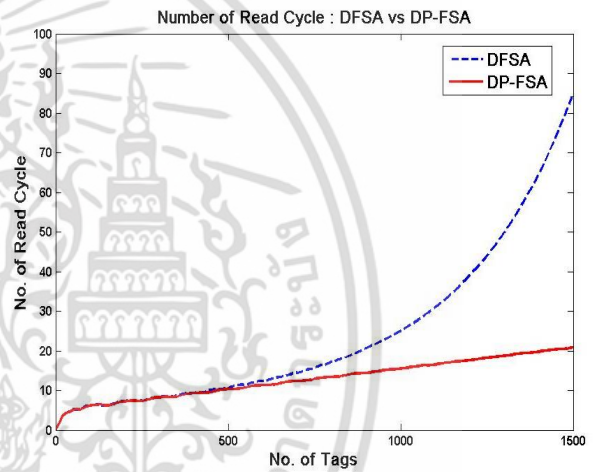


รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA

เมื่อจำนวนแท็กอยู่ในช่วง 0-256 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสวิงขึ้นลงเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน แต่เมื่อแท็กส์เพิ่มจำนวนมากกว่า 256 ขึ้นไป จะเห็นว่าโปรโตคอล DFSA จะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลง เนื่องจากจำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  ทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ในขณะที่โปรโตคอล DP-FSA จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎี คือ 36% ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 5 จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA



รูปที่ 6 จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA

เมื่อจำนวนแท็กอยู่ในช่วง 0-500 จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โปรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อแท็กส์เพิ่มจำนวนมากกว่า 500 ขึ้นไป จะเห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA จะใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดและค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแบบเชิงเส้น เนื่องจากในทุกรอบของการอ่านข้อมูล จำนวนแท็กส์ที่ตอบสนองจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อต ด้วยค่าของ P-persistent ในขณะที่โปรโตคอล DFSA ค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอกซ์โพเนนเชียล เนื่องจากจำนวนแท็กส์เพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจำนวนสล็อตสูงสุด  $N=256$  จึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

## 6. สรุปผล

จากผลการจำลองการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA ที่นำเสนอ เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DFSA สามารถสรุปผลได้ดังนี้

1. โปรโตคอล DP-FSA มีอัตราการชนกันของข้อมูลต่ำกว่า โดยเฉพาะเมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด อัตราการชนกันของข้อมูลจะคงที่ประมาณ 24% ในขณะที่โปรโตคอล DFSA จะมีอัตราการชนกันของข้อมูลเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จนเข้าใกล้ 100%

2. โปรโตคอล DP-FSA มีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลที่สูงกว่า โดยเฉพาะเมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุด ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดตามทฤษฎี คือ 36% ในขณะที่โปรโตคอล DFSA จะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลงเรื่อยๆ จนเข้าใกล้ 0%

3. โปรโตคอล DP-FSA ใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่า โดยเฉพาะเมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่า 500 ขึ้นไป ค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ แบบเชิงเส้น ในขณะที่โปรโตคอล DFSA ค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอกซ์โพเนนเชียล

## 7. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Finkenzellere, "RFID Handbook Fundamentals and Application in Contactless Smart Cards and Identification", C2003.
- [2] ISO/IEC 18000-7, Information technology - Radio frequency identification (RFID) for item management - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433MHz, Aug, 2004.
- [3] Yoon, W. J., Chung, S. H., Lee, S. J., and Moon, Y. S., "Design and Implementation of an Active RFID System for Fast Tag Collection", Proceeding of the 7th International Conference on Computer and Information Technology IEEE, 2007, pp. 961-966.

- [4] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID tags," In International Conference on Pervasive Computing, Zurich, 2002, pp. 98-113.
- [5] Pawasopon, T., and Sittichivapak, S., "Analysis of random slot multiple access algorithms for DOCSIS network", Proceeding of the 6th International Conference on Electrical Engineer/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology ECTI-CON 2009, pp. 896-899.
- [6] William Feller, "An Introduction to probability Theory and its Applications Vol.1 Third Edition" John Wiley & Sons, Inc., 1968.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

## ภาคผนวก ข.

## โปรแกรมจำลองการทำงานของระบบ

1. ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

```
%DFSA
```

```
Result1 = zeros(1000,101);
```

```
for a = 1:1:1000
```

```
    X = 0;
```

```
    j = 1;
```

```
    A = 32;
```

```
    while X <= 1000
```

```
        i = 0;
```

```
        T = X;
```

```
        while T > 0
```

```
            M = randi(A,T,1);
```

```
            R = accumarray(M,1);
```

```
            S = sum( R == 1);
```

```
            T = T-S ;
```

```
            i = i+A;
```

```
            if T <= 22
```

```
                A = 16;
```

```
            elseif T <= 44
```

```
                A = 32;
```

```
            elseif T <= 89
```

```
                A = 64;
```

```
            elseif T <= 177
```

```
                A = 128;
```

```
            else
```

```
                A = 256;
```

```
            end
```

```
        end
```

```
        Result1(a,j) = X/i;
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

    j = j+1;
    X = X+10;
end
end
%DP-FSA
Result2 = zeros(1000,101);
for a = 1:1:1000
    X = 0;
    j = 1;
    A = 32;
    while X <= 1000
        i = 0;
        T = X;
        while T > 0
            p = rand(1,T);
            B = sum( p <= A/T);
            M = randi(A,B,1);
            R = accumarray(M,1);
            S = sum( R == 1);
            T = T-S ;
            i = i+A;
            if T <= 22
                A = 16;
            elseif T <= 44
                A = 32;
            elseif T <= 89
                A = 64;
            elseif T <= 177
                A = 128;
            else
                A = 256;
            end
        end
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        Result2(a,j) = X/i;
    j = j+1;
    X = X+10;
end
end
F = mean(Result1);
G = mean(Result2);
x = [0:10:1000];
plot(x,F,'b:',x,G,'r:');
legend('DFSA','DP-FSA');
xlabel('No. of Tags');
ylabel('System Efficiency');
title('System Efficiency : DFSA vs DP-FSA');

```

## 2. อัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

```

%DFSA
Result1 = zeros(1000,101);
for a = 1:1:1000
    X = 0;
    j = 1;
    A = 32;
    while X <= 1000
        i = 0;
        T = X;
        C = 0;
        while T > 0
            M = randi(A,T,1);
            R = accumarray(M,1);
            S = sum( R == 1);
            I = sum( R == 0);
            I1 = A-size(R);
            C1 = A-S-I1(1,1);
            C = C+C1;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

T = T-S ;
i = i+A;
if T <= 22
    A = 16;
elseif T <= 44
    A = 32;
elseif T <= 89
    A = 64;
elseif T <= 177
    A = 128;
else
    A = 256;
end
end
Result1(a,j) = C/i;
j = j+1;
X = X+10;
end
end
%DP-FSA
Result2 = zeros(1000,101);
for a = 1:1:1000
    X = 0;
    j = 1;
    A = 32;
    while X <= 1000
        i = 0;
        T = X;
        C = 0;
        while T > 0
            p = rand(1,T);
            B = sum( p <= A/T);
            M = randi(A,B,1);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

R = accumarray(M,1);
S = sum( R == 1);
I = sum( R == 0);
I1 = A-size(R);
C1 = A-S-I1(1,1);
C = C+C1;
T = T-S ;
i = i+A;
if T <= 22
    A = 16;
elseif T <= 44
    A = 32;
elseif T <= 89
    A = 64;
elseif T <= 177
    A = 128;
else
    A = 256;
end
end
Result2(a,j) = C/i;
j = j+1;
X = X+10;
end

end
F = mean(Result1);
G = mean(Result2);
x = [0:10:1000];
plot(x,F,'b:',x,G,'r:');
legend('DFSA','DP-FSA');
xlabel('No. of Tags');
ylabel('Collision Ratio');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์ไว้เพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

### 3. จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

%DFSA

```
Result1 = zeros(1000,101);
```

```
for a = 1:1:1000
```

```
    X = 0;
```

```
    j = 1;
```

```
    A = 32;
```

```
    while X <= 1000
```

```
        i = 0;
```

```
        T = X;
```

```
        while T > 0
```

```
            M = randi(A,T,1);
```

```
            R = accumarray(M,1);
```

```
            S = sum( R == 1);
```

```
            T = T-S;
```

```
            i = i+A;
```

```
            if T <= 22
```

```
                A = 16;
```

```
            elseif T <= 44
```

```
                A = 32;
```

```
            elseif T <= 89
```

```
                A = 64;
```

```
            elseif T <= 177
```

```
                A = 128;
```

```
            else
```

```
                A = 256;
```

```
            end
```

```
        end
```

```
        Result1(a,j) = i;
```

```
    j = j+1;
```

```
    X = X+10;
```

```
end
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end
%DP-FSA
Result2 = zeros(1000,101);
for a = 1:1:1000
    X = 0;
    j = 1;
    A = 32;
    while X <= 1000
        i = 0;
        T = X;
        while T > 0
            p = rand(1,T);
            B = sum( p <= A/T);
            M = randi(A,B,1);
            R = accumarray(M,1);
            S = sum( R == 1);
            T = T-S ;
            i = i+A ;
            if T <= 22
                A = 16;
            elseif T <= 44
                A = 32;
            elseif T <= 89
                A = 64;
            elseif T <= 177
                A = 128;
            else
                A = 256;
            end
        end
        end
        Result2(a,j) = i;
        j = j+1;
        X = X+10;

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

end
end
F = mean(Result1);
G = mean(Result2);
x = [0:10:1000];
plot(x,F,'b:',x,G,'r:');
legend('DFSA','DP-FSA');
xlabel('No. of Tags');
ylabel('No. of Time slot');
title('Number of Time slot : DFSA vs DP-FSA');

```

#### 4. จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA และโปรโตคอล DP-FSA ที่ได้พัฒนาขึ้นมา

```

%DFSA
Result1 = zeros(1000,101);
for a = 1:1:1000
    X = 0;
    j = 1;
    A = 32;
    while X <= 1000
        i = 0;
        T = X;
        while T > 0
            M = randi(A,T,1);
            R = accumarray(M,1);
            S = sum( R == 1);
            T = T-S ;
            i = i+1;
            if T <= 22
                A = 16;
            elseif T <= 44
                A = 32;
            elseif T <= 89

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ทำงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

        A = 64;
elseif T <= 177
        A = 128;
else
        A = 256;
end
end
end
Result1(a,j) = i;
j = j+1;
X = X+10;
end
end
%DP-FSA
Result2 = zeros(1000,101);
for a = 1:1:1000
    X = 0;
    j = 1;
    A = 32;
    while X <= 1000
        i = 0;
        T = X;
        while T > 0
            p = rand(1,T);
            B = sum( p <= A/T);
            M = randi(A,B,1);
            R = accumarray(M,1);
            S = sum( R == 1);
            T = T-S ;
            i = i+1 ;
            if T <= 22
                A = 16;
            elseif T <= 44
                A = 32;
            end
        end
    end
end

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับบริการเชิงงานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

elseif T <= 89
    A = 64;
elseif T <= 177
    A = 128;
else
    A = 256;
end
end
Result2(a,j) = i;
j = j+1;
X = X+10;
end
end
F = mean(Result1);
G = mean(Result2);
x = [0:10:1000];
plot(x,F,'b',x,G,'r');
legend('DFSA','DP-FSA');
xlabel('No. of Tags');
ylabel('No. of Read Cycle');
title('Number of Read Cycle : DFSA vs DP-FSA');

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า  
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้