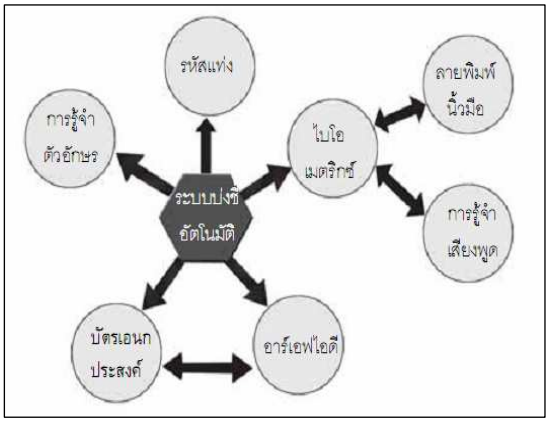
บทที่ 2

แนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เทคโนโลยีบ่งชี้ตัวตนอัตโนมัต เป็นเทคโนโลยีที่ใช้ในการบ่งชี้วัตถุ หรือสิ่งมีชีวิต ซึ่งได้นำไปใช้ในงานการขนส่งสินค้า การบ่งชี้สัตว์ เช่น ใช้กับแม่พันธุ์หมู ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงข้อมูลต่างๆของแม่พันธุ์หมูได้ โดยไม่จำเป็นต้องใช้มนุษย์เป็นผู้บ่งชี้ หรือใช้ในการขนส่งสินค้าเพื่อทราบข้อมูลของสินค้าชิ้นนั้นๆโดยไม่ต้องเปิดสินค้า ซึ่งเทคโนโลยีนี้ได้มีการแบ่งออกเป็นหลายประเภท ได้แก่ เทคโนโลยีรหัสแท่ง, เทคโนโลยีบัตรเอนกประสงค์, เทคโนโลยีด้านไบโอเมตริกซ์ เช่นระบบการรู้จำเสียงพูด, ระบบลายพิมพ์นิ้วมือ, ระบบสแกนม่านตา, เทคโนโลยีการรู้จำตัวอักษร และเทคโนโลยีการบ่งชี้วัตถุโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุ



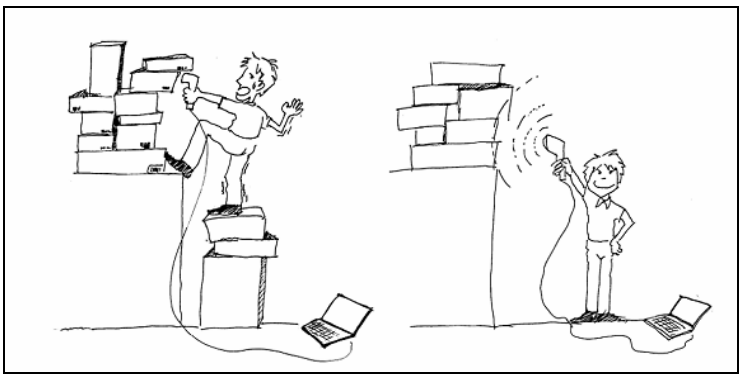
รูปที่ 2.1 ระบบ Auto-ID ที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบัน [1]

รูปที่ 2.2 ตัวอย่างอุปกรณ์และระบบ Auto-ID ในแต่ละประเภท [1]

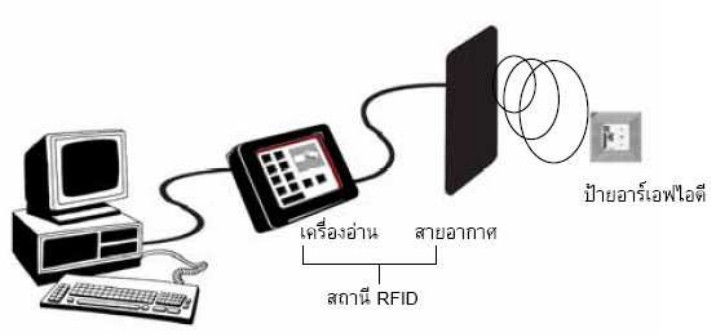
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างของเทคโนโลยีในแต่ละระบบ [1]

รายการ	รหัสแท่ง	การรู้จำอักษร	การรู้จำเสียงพูด	ไบโอเมตริกซ์	บัตรเอนกประสงค์	คลื่นวิทยุ(RFID)
ความจุข้อมูล (bytes)	1-100	1-100	-	-	-	-
การอ่านข้อมูลโดยคน	อ่านได้จำกัด	ได้ง่าย	ได้ง่าย	ยาก	ไม่สามารถอ่านได้	ไม่สามารถอ่านได้
ปัญหาของความชื้น	มีผลกระทบสูง	มีผลกระทบสูง	-	-	มีผลต่อจุดสัมผัส	ไม่มีผล
เมื่อโดนปิดบัง	ไม่สามารถอ่านได้	-	ยังคงทำงานได้	-	-	ไม่มีผล
ทิศทางการอ่านมีผลกระทบ	น้อย	น้อย	-	-	อ่านได้แนวเดียว	ไม่มีผล
การสึกหรอ/ชำรุด	ควบคุมได้	ควบคุมได้	-	-	ส่วนขั้วสัมผัส	ไม่มีผล
ราคาอุปกรณ์และระบบ	ต่ำมาก	ปานกลาง	-	แพงมาก	ต่ำ ถึง ปานกลาง	ปานกลาง
การแก้ไขหรือปลอมแปลง	ทำได้ง่าย	ทำได้ง่าย	อาจทำได้ (บันทึกเสียง)	ทำได้ยาก	ทำได้ยากมาก	ทำได้ยากมาก
อัตราเร็วในการอ่านข้อมูล	ต่ำประมาณ 4 วินาที	ต่ำประมาณ 3 วินาที	ต่ำมากประมาณ 5 วินาที	ต่ำมาก ประมาณ 5-10	ต่ำประมาณ 4 วินาที	เร็วมากประมาณ 0.5 วินาที
ระยะในการอ่านข้อมูล	0-50 ซม.	น้อยกว่า 1 ซม.	0-50 ซม.	สัมผัสโดยตรงหรือ ใกล้มาก	สัมผัสโดยตรง	0-5 ม. หรือมากกว่า

จากตารางที่ 2.1 ได้แสดงการเปรียบเทียบข้อแตกต่างๆของเทคโนโลยีบ่งชี้ตัวตนแบบอัตโนมัติ ซึ่งในแต่ละเทคโนโลยีก็จะมีข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป เช่น เทคโนโลยีรหัสแท่งมีราคาต่ำมาก แต่สามารถปลอมแปลงได้ง่าย แต่เทคโนโลยีบ่งชี้ตัวตนด้วยคลื่นวิทยุนั้น มีข้อดีและประสิทธิภาพมากกว่าเทคโนโลยีบ่งชี้ตัวตนแบบอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น จากรูปที่ 2.3 แสดงให้เห็นการใช้งานระบบบรหัสแท่ง กับ ระบบอาร์เอฟไอดี ซึ่งจะเห็นได้ว่าระบบอาร์เอฟไอดีนั้นมีประสิทธิภาพในการใช้งาน โดยไม่ต้องเคลื่อนย้ายสินค้าที่ทับกันอยู่ แต่การใช้ระบบบรหัสแท่งนั้นจะต้องเคลื่อนย้ายสินค้าเพื่อทำการบ่งชี้ตัวตน อีกทั้งระบบอาร์เอฟไอดียังมีราคาที่ไม่สูงจนเกินไป



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการใช้งานระบบอาร์เอฟไอดี [1]



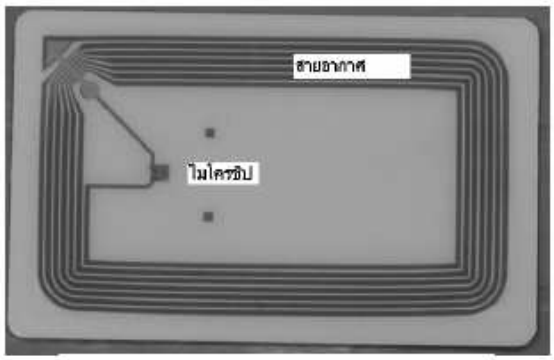
รูปที่ 2.4 ระบบ อาร์เอฟไอดี [1]

2.1 ส่วนประกอบของอาร์เอฟไอดี

ในระบบอาร์เอฟไอดี จะมีองค์ประกอบหลักๆ อยู่ 2 ส่วนด้วยกัน ส่วนแรก คือทรานสปอนเดอร์ หรือ ป้าย (Transponder/Tag) ที่ใช้ติดกับวัตถุต่างๆ ที่เราต้องการ โดยป้ายนั้นจะประกอบด้วยสายอากาศและไมโครชิปที่มีการบันทึกหมายเลข (ID) หรือข้อมูลเกี่ยวกับวัตถุชิ้นนั้นๆ ส่วนที่สองคือเครื่องสำหรับอ่าน/เขียน ข้อมูลภายในป้าย (Interrogator/Reader) ด้วยคลื่นความถี่วิทยุ

2.1.1 ป้าย

โครงสร้างภายในของป้ายจะประกอบด้วย 2 ส่วนใหญ่ๆ ได้แก่ ส่วนของไมโครชิป (Microchip) ที่ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของวัตถุเช่นรหัสสินค้า และขดลวดขนาดเล็กซึ่งทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna) สำหรับรับส่งสัญญาณคลื่นความถี่วิทยุและสร้างพลังงานป้อนให้ส่วนของ



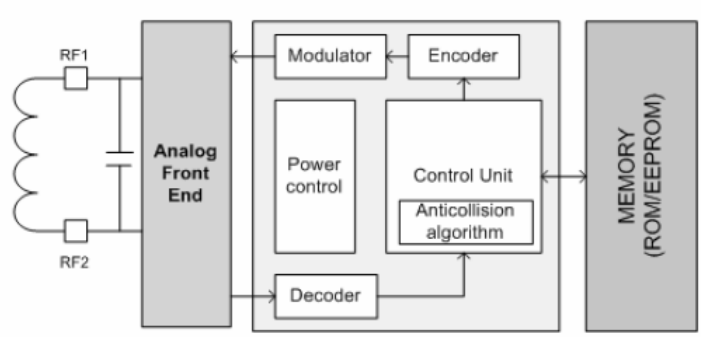
รูปที่ 2.5 องค์ประกอบทั่วไปของป้าย [1]

ไมโครชิป โดยทั่วไปตัวป้ายอาจอยู่ในรูปแบบที่เป็นกระดาษ แผ่นฟิล์ม พลาสติก มีขนาดและรูปร่างต่างๆ กันไป ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัสดุที่จะนำเอาไปติด และมีหลายรูปแบบ เช่น บัตรเครดิต เหรียญ กระดุม ฉลากสินค้า แคปซูล หรือป้าย เป็นต้น ทั้งนี้เราสามารถแบ่งป้ายที่มีใช้งานกันอยู่ได้เป็น 3 ชนิด ใหญ่ๆ ได้แก่ ป้ายแบบแพสทีฟ, ป้ายแบบกึ่งแพสทีฟและ ป้ายแบบแอ็กทีฟ โดยแต่ละชนิดก็จะมีความแตกต่างกันตามการใช้งาน ราคาโครงสร้างและหลักการทำงาน

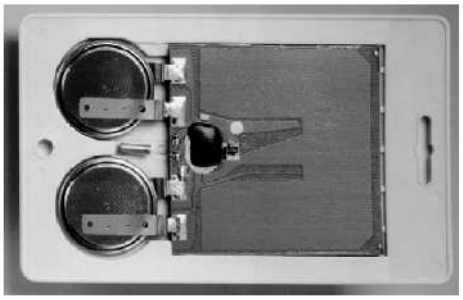
นอกจากการแบ่งจากชนิดที่ว่ามาแล้ว เราสามารถที่จะแบ่งประเภทของป้ายจากรูปแบบการอ่านและหรือบันทึกข้อมูลได้เป็น 3 แบบ คือ ป้ายชนิดที่สามารถถูกอ่านและเขียนข้อมูลได้หลายครั้ง (Read–Write) ป้ายชนิดที่เขียนได้เพียงครั้งเดียวเท่านั้นแต่อ่านได้อย่างหลายครั้ง (Write-Once Read-Many: WORM) และป้ายชนิดอ่านได้เพียงอย่างเดียว (Read-Only) หรือเรายังสามารถแบ่งชนิดของป้ายตามความถี่ของการใช้งาน เช่นป้ายย่านความถี่ต่ำ (LF) 125-134 กิโลเฮิรตซ์ ป้ายย่านความถี่สูง (HF) 13.56 เมกะเฮิรตซ์ ป้ายย่านความถี่สูงยิ่ง (UHF) 433 และ 900 เมกะเฮิรตซ์ และป้ายย่านไมโครเวฟ 2.4 กิกะเฮิรตซ์

2.1.1.1 ป้ายอาร์เอฟไอดีชนิดแพสซิฟ

ป้ายชนิดนี้ทำงานได้ไม่ต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟภายนอกใดๆเพราะภายในป้ายจะมีวงจรกำเนิดไฟฟ้าเหนี่ยวนำขนาดเล็กเป็นแหล่งจ่ายไฟในตัวอยู่ ทำให้การอ่านข้อมูลทำได้ไม่ไกลมากนัก ระยะอ่านสูงสุดประมาณ 1 เมตร ขึ้นอยู่กับกำลังงานของเครื่องส่งและคลื่นความถี่วิทยุที่ใช้ โดยปกติป้ายชนิดนี้มักมีหน่วยความจำขนาดเล็ก โดยทั่วไปประมาณ 16 - 1,024 ไบต์ มีขนาดเล็กและน้ำหนักเบา ราคาต่อหน่วยต่ำไมโครชิปหรือไอซีของป้ายชนิดแพสซิฟที่มีการผลิตออกมา



รูปที่ 2.6 สถาปัตยกรรมภายในไมโครชิปของป้ายแบบแพสซิฟ [1]



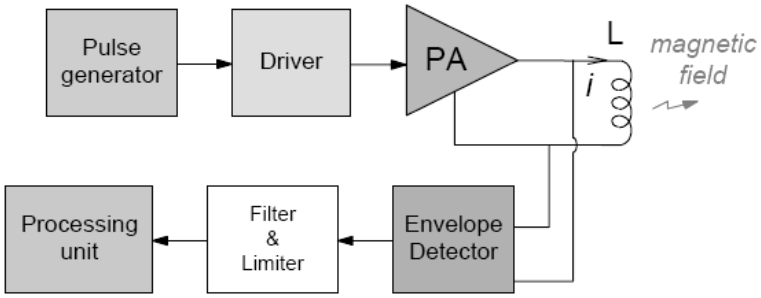
รูปที่ 2.7 ป้ายแบบแอกทีฟ [1]

จะมีทั้งขนาดและรูปร่างเป็นได้ตั้งแต่แบบแท่งหรือแผ่นขนาดเล็กจนแทบไม่สามารถมองเห็นได้ไปจนถึงขนาดใหญ่สะดุดตา ซึ่งต่างก็มีความเหมาะสมกับชนิดการใช้งานที่แตกต่างกัน

โดยทั่วไปโครงสร้างภายในส่วนที่เป็นไอซีของป้ายนั้นก็จะประกอบด้วย 3 ส่วนหลักๆ ได้แก่ ส่วนของควบคุมการทำงานของภาครับส่งสัญญาณวิทยุ (AnalogFront-End) ส่วนควบคุมภาคลอจิก (Digital Control Unit) ส่วนของหน่วยความจำ (Memory) ซึ่งอาจจะเป็นแบบ ROM หรือ EEPROM

2.1.1.2 ป้ายอาร์เอไอดีแบบกึ่งแพสซิฟ

ป้ายชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก ทำให้สามารถส่งข้อมูลได้ระยะไกลกว่าป้ายแบบแพสซิฟ ป้ายเองไม่สามารถเป็นผู้เริ่มต้นส่งสัญญาณการสื่อสารได้ ตัวป้ายเองจะรอรับสัญญาณกระตุ้นให้ทำงานจากเครื่องอ่านได้อย่างเดียว



รูปที่ 2.8 โครงสร้างภายในเครื่องอ่านอาร์เอฟไอดี [1]

2.1.1.3 ป้ายอาร์เอฟไอดีแบบแอ็กทิฟ

ป้ายชนิดนี้จะต้องอาศัยแหล่งจ่ายไฟจากแบตเตอรี่ภายนอก เพื่อจ่ายพลัง-งานให้กับวงจรภายในทำงาน โดยป้ายแบบนี้สามารถมีหน่วยความจำภายในขนาดใหญ่ได้ถึง 1 เมกะไบต์ และสามารถอ่านได้ในระยะไกลสูงสุดประมาณ 100 เมตรข้อเสียของป้ายแบบนี้คือ มีราคาต่อหน่วยสูง มีขนาดค่อนข้างใหญ่ และมีอายุการใช้งานที่จำกัดตามอายุของแบตเตอรี่ซึ่งจะมีอายุการใช้งานประมาณ 3 - 7 ปี

2.1.2 เครื่องอ่าน

หน้าที่ของเครื่องอ่านก็คือการเชื่อมต่อเพื่ออ่านหรือเขียนข้อมูลลงในป้ายด้วยสัญญาณความถี่วิทยุ ภายในเครื่องอ่านจะประกอบด้วย เสาอากาศที่ทำจากขดลวดทองแดง เพื่อใช้รับส่งสัญญาณ ภาครับและภาคส่งสัญญาณวิทยุ และวงจรควบคุมการอ่าน-เขียนข้อมูลซึ่งมักจะเป็นวงจรจำพวกไมโครคอนโทรลเลอร์ และส่วนของการติดต่อกับคอมพิวเตอร์

เครื่องอ่านจะประกอบด้วยส่วนประกอบหลักดังนี้

- ภาครับและส่งสัญญาณวิทยุ (Transceiver)
- ภาคสร้างสัญญาณพาหะ (Carrier)
- ขดลวดที่ทำหน้าที่เป็นสายอากาศ (Antenna)
- วงจรจูนสัญญาณ (Tuner)
- หน่วยประมวลผลข้อมูล และภาคติดต่อกับคอมพิวเตอร์ (Processing Unit)

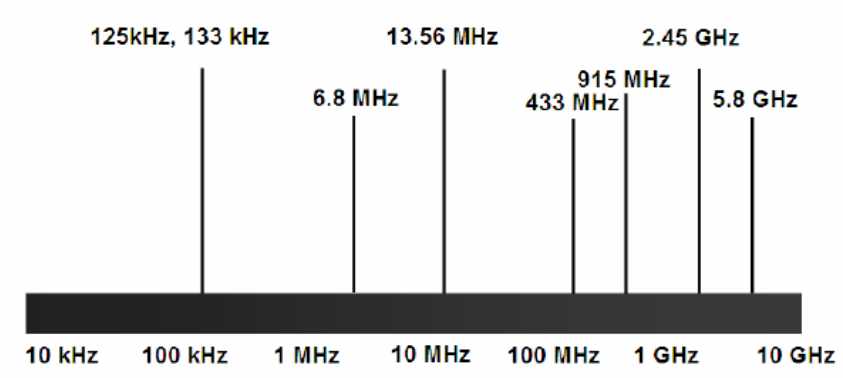
โดยทั่วไปหน่วยประมวลข้อมูลที่อยู่ภายในเครื่องอ่านมักใช้เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ ซึ่งอัลกอริทึมที่อยู่ภายในโปรแกรมจะทำหน้าที่ถอดรหัสข้อมูล (Decoding) ที่ได้รับ และทำหน้าที่ติดต่อกับคอมพิวเตอร์ โดยลักษณะ ขนาด และรูปร่างของเครื่องอ่านจะแตกต่างกันไปตามประเภทของการใช้งาน เช่น แบบมือถือขนาดเล็ก หรือ ติดผนัง จนไปถึงขนาดใหญ่เท่าประตู (Gate size) เป็นต้น [1]

2.2 ความถี่ที่ใช้งานของอาร์เอฟไอดี

ในปัจจุบันคลื่นพาหะที่ใช้งานกันในระบบอาร์เอฟไอดีจะอยู่ในย่านความถี่พลเรือน ISM (Industrial-Scientific-Medical) ซึ่งเป็นย่านความถี่ที่กำหนดในการใช้งานในเชิงการแพทย์ วิทยาศาสตร์และอุตสาหกรรม สามารถใช้งานได้โดยไม่ตรงกับย่านความถี่ที่ใช้งานในการสื่อสารโดยทั่วไป โดยมี 4 ย่ายความถี่ใช้งาน คือสำหรับคลื่นพาหะที่ใช้กันในระบบอาร์เอฟไอดี อาจแบ่งออกได้เป็น 4 ย่านใหญ่ ๆ ได้แก่

- ย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency : LF) ต่ำกว่า 150 กิโลเฮิรตซ์ (kHz)
- ย่านความถี่สูง (High Frequency : HF) 13.56/27.125 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)
- ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra High Frequency : UHF) 433/868/915 เมกะเฮิรตซ์ (MHz)
- ย่านความถี่ไมโครเวฟ (Microwave frequency) 2.45/5.8 กิกะเฮิรตซ์ (GHz)

ถ้าเปรียบเทียบคลื่นความถี่ที่ใช้งานแต่ละย่านความถี่ในด้านของระยะการอ่านสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 แสดงมาตรฐาน องค์การระหว่างประเทศว่าด้วยการมาตรฐาน (International Organization for Standardization: ISO), คณะกรรมาธิการระหว่างประเทศว่าด้วยมาตรฐานสาขาอิเล็กทรอเทคนิกส์ (International Electro technical Commission: IEC) และเลขรหัสสินค้าอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Product Code :EPC) ที่ใช้งานกันอยู่ในปัจจุบันซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มุ่งเน้นเกี่ยวกับมาตรฐาน ISO/IEC 18000 – 6 ประเภท A, B และ C โดยใช้ป้ายแบบแพสซิฟ สาเหตุที่มุ่งเน้นมาตรฐานนี้ เพราะว่ามาตรฐานนี้เป็นมาตรฐานที่ทำงานในย่านความถี่สูงยิ่ง ทำให้การรับส่งข้อมูลระหว่างป้ายได้ระยะไกล อีกทั้งยังใช้ป้ายแบบแพสซิฟ ซึ่งทำให้ป้ายไม่ต้องใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ทำให้ป้ายมีอายุการทำงานที่ยาวนานมากขึ้น



รูปที่ 2.9 ย่านความถี่ที่ใช้ใน อาร์เอฟไอดี [1]

ตารางที่ 2.2 ระยะการทำงานของระบบ อาร์เอฟไอดี ในย่านความถี่ต่าง ๆ [1]

ความถี่	ระยะที่อ่านได้
125 - 134 กิโลเฮิรตซ์	น้อยกว่า 1 เมตร (10 เซนติเมตร)
13.56 เมกะเฮิรตซ์	น้อยกว่า 1.5 เมตร (0.5 ~1 เมตร)
860 - 960 เมกะเฮิรตซ์	2-5 เมตร (ป้ายแบบแพสซิฟ) 1-100 เมตร (ป้ายแบบแอ็กทิฟ)
2.45 กิกะเฮิรตซ์	น้อยกว่า 1 เมตร (ป้ายแบบแพสซิฟ) 1-15 เมตร (ป้ายแบบแอ๊กทิฟ)

ตารางที่ 2.3 มาตราฐาน ISO/IEC ใช้งานในความถี่ต่างๆ [6]

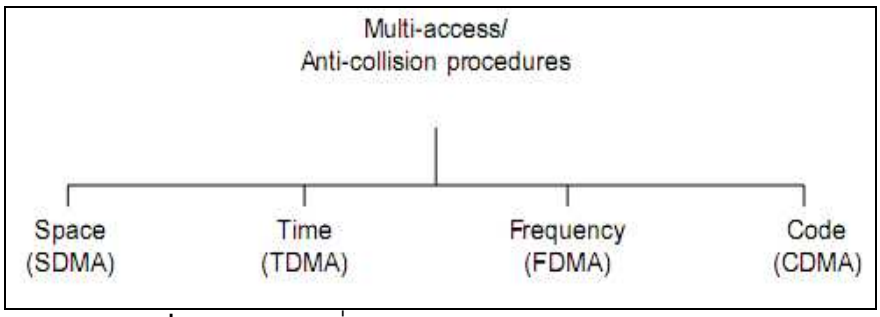
	LF	HF	UHF	Microwave
Frequency Range	< 135 kHz	13.56 MHz	433 MHz (active) 860-960 MHz	2.4 GHz
Air interface	ISO/IEC 18000-2	ISO/IEC 18000-3	ISO/IEC 18000-6 ISO/IEC 18000-7	ISO/IEC 18000-2
Standards for specific applications	ISO/IEC 11784 ISO/IEC 11785 ISO/IEC 14223 (animal identification)	ISO/IEC 14443 ISO/IEC 15693 (contactless smart card)	ISO/IEC 10374 ISO/IEC 18185 (freight container)	ISO/IEC 10374 ISO/IEC 18185 (freight container)

2.3 การป้องกันการชนกันของข้อมูล (Anti-collision)

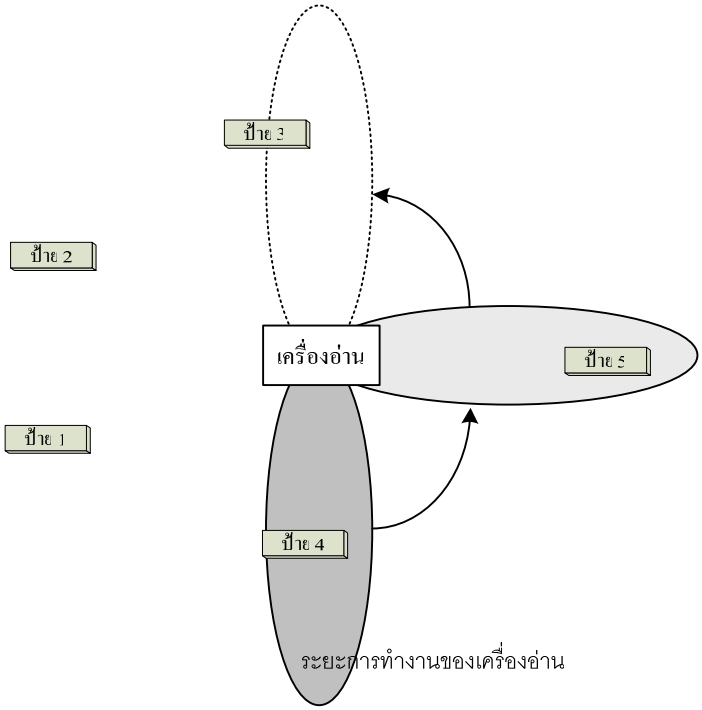
ในการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีนั้นเครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่งเพื่ออ่านข้อมูลจากป้าย เมื่อมีป้ายเข้ามาในระยะการทำงานของเครื่องอ่าน เมื่อป้ายได้รับคำสั่งก็จะทำการตอบสนองกับเครื่องอ่านโดยส่งข้อมูลรหัสประจำตัวป้ายให้กับเครื่องอ่าน แต่เมื่อมีป้ายมากกว่า 1 ป้ายเข้ามาอยู่ใกล้เครื่องอ่าน ป้ายจะทำการส่งข้อมูลรหัสประจำตัวป้ายให้กับเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน ทำให้เครื่องอ่านไม่สามารถแยกแยะข้อมูลที่ส่งมาได้ ซึ่งเราเรียกปรากฏการณ์นี้ว่า การชนกันของข้อมูล (Collision) วิธีแก้ไขโดยการทำการเพิ่มฟังก์ชั่นป้องกันการชนกันบนป้ายและเครื่องอ่าน (Anti-collision) ซึ่งจะมีหลายเทคนิค เช่น จัดคิวการอ่านป้ายโดยทำเป็นช่วงเวลาสั้นๆ เมื่อป้ายโดนอ่านแล้วจะไม่มีการอ่านซ้ำอีก เช่น เทคนิคการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่าง (Space Division Multiple Access: SDMA), เทคนิคการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่วงเวลา (Time Division Multiple Access: TDMA), เทคนิคการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่ (Frequency Division Multiple Access: FDMA), เทคนิคการเข้าถึงหลากหลายโดยแบ่งการเข้ารหัส(Code Division Multiple Access: CDMA), หรือ การกระโดดความถี่ (frequency hopping) มาช่วยในการป้องกันการชนกันของข้อมูล [1, 7].

2.3.1 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่าง

เทคนิค SDMA เป็นการแบ่งพื้นที่การให้บริการซึ่งสามารถทำได้หลายรูปแบบ เช่น การใช้เครื่องอ่านและสายอากาศหลายๆ ชุดจัดเรียงกันในลักษณะของอะเรย์ (array) ซึ่งจะเหมาะสำหรับงานประยุกต์ที่ต้องการพื้นที่การให้บริการที่กว้าง หรืออีกแบบหนึ่งคือการใช้เครื่องอ่านที่มีสายอากาศแบบปรับทิศทางได้ ซึ่งจะทำให้พื้นที่การอ่านเปลี่ยนแปลงไปในตำแหน่งต่างๆ ตามที่กำหนดไว้ โดยทั่วไประบบ อาร์เอฟไอดี ที่ใช้วิธีการนี้จะใช้สายอากาศแบบเฟสอะเรย์ (phased array antenna) ที่ใช้งานที่ความถี่มากกว่า 850 MHz (เช่น 2.45 GHz) เพื่อจะได้ใช้สายอากาศขนาดเล็กได้ โดยเครื่องอ่านจะทำการควบคุมพื้นที่การอ่านให้หมุนไปรอบตัวมันเองครั้งละ 90 องศา ตามที่แสดงในรูปที่ 2.11 ข้อเสียของวิธีการนี้คือค่าใช้จ่ายในการสร้างระบบนี้จะสูง เพราะว่าสายอากาศที่ใช้มีความซับซ้อนมาก ดังนั้นระบบ อาร์เอฟไอดี ที่ใช้กระบวนการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่างเพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลจะมีใช้ในบางงานประยุกต์เท่านั้น



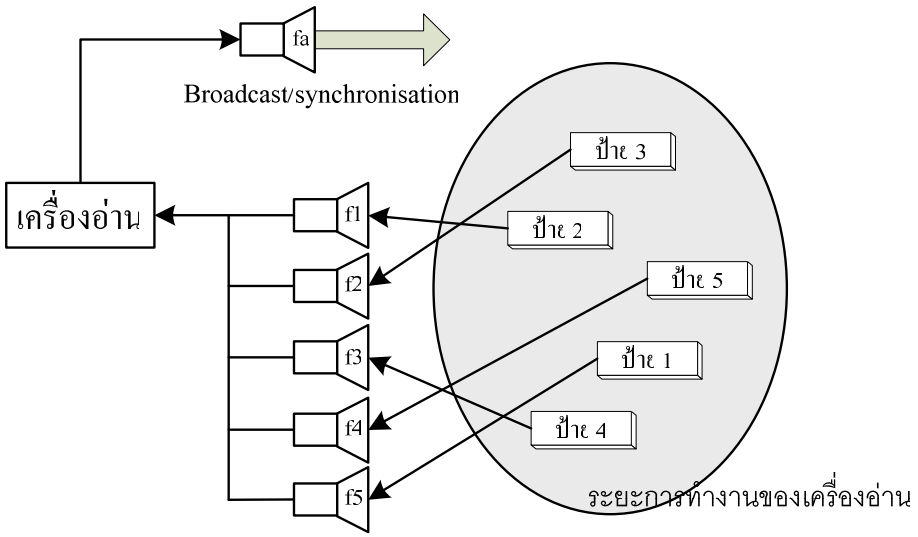
รูปที่ 2.10 เทคนิคที่ใช้ในการอ่านหลายป้ายพร้อมกัน [1]



รูปที่ 2.11 ลักษณะการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้กระบวนการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งช่องว่าง

2.3.2 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่

เทคนิคการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่เป็นการแบ่งความถี่ในการใช้งาน (นั่นคือความถี่ของคลื่นพาห์มีหลายความถี่) โดยป้าย อาร์เอฟไอดี แต่ละป้ายจะมีความสามารถในการปรับแต่งความถี่ได้อย่างอิสระ โดยระบบ อาร์เอฟไอดี แบบที่ใช้การมอดูเลชันแบบโหลดหรือแบบการกระจายแบบย้อนกลับ (backscattering) ป้าย อาร์เอฟไอดี จะใช้คลื่นพาห์แบบรอง (subcarrier) ที่ความถี่ต่างๆ ในการส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน ในการทำงานเครื่องอ่านจะส่ง



รูปที่ 2.12 ลักษณะการทำงานของระบบอาร์เอฟไอดีที่ใช้กระบวนการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่

สัญญาณความถี่ f_a ไปยังป้าย อาร์เอฟไอดี ทั้งหมด จากนั้นป้าย อาร์เอฟไอดี แต่ละป้ายก็จะใช้ความถี่อื่นๆ ที่แตกต่างกันในช่วงความถี่ f_1 ถึง f_N ในการส่งข้อมูลมายังเครื่องอ่าน ดังแสดงในรูปที่ 2.12 ตัวอย่างเช่นเครื่องอ่านจะส่งสัญญาณให้กับป้าย อาร์เอฟไอดี (downlink) โดยใช้ความถี่ที่ 135 กิโลเฮิรตซ์ และเมื่อป้าย อาร์เอฟไอดี ต้องการส่งข้อมูลให้กับเครื่องอ่าน (uplink) ป้าย อาร์เอฟไอดี สามารถเลือกส่งข้อมูลได้หลายช่องสัญญาณภายในช่วงความถี่ 433 – 435 เมกะเฮิรตซ์ ข้อเสียของวิธีการนี้คือค่าใช้จ่ายในการสร้างเครื่องอ่านให้สามารถรองรับการทำงานได้หลายความถี่จะมีราคาสูง ดังนั้นระบบ อาร์เอฟไอดี ที่ใช้กระบวนการเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งความถี่เพื่อป้องกันการชนกันของข้อมูลจะมีใช้ในบางงานประยุกต์เท่านั้น

2.3.3 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งเวลา

เทคนิค TDMA เป็นการแบ่งเวลาในการใช้งานช่องสัญญาณ ซึ่งเป็นที่นิยมใช้งานในระบบวิทยุเคลื่อนที่แบบดิจิทัล สำหรับในระบบ อาร์เอฟไอดี การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งเวลาแบ่งลักษณะการทำงานออกได้เป็น 2 แบบ คือแบบที่ขับเคลื่อนโดยป้าย อาร์เอฟไอดี (transponder-driven) และแบบที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องอ่าน (reader-driven)

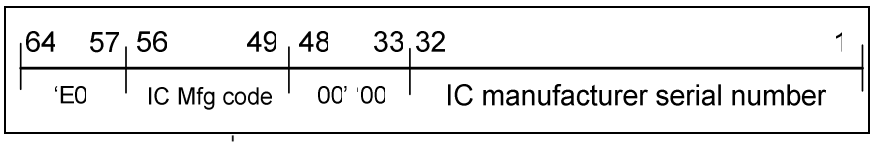
กระบวนการแบบที่ขับเคลื่อนโดยป้าย อาร์เอฟไอดี จะทำงานแบบไม่เข้าจังหวะ (asynchronous) เนื่องจากเครื่องอ่านไม่สามารถควบคุมการถ่ายโอนข้อมูลได้ โดยอาศัยใช้อัลกอริทึมที่เรียกว่ากระบวนการ ALOHA ซึ่งสามารถแบ่งแยกการทำงานย่อยออกได้เป็น 2 แบบ คือ แบบปิดสวิตช์ (switched-off) และ แบบไม่มีสวิตช์ (non-switched) โดยจะขึ้นอยู่กับว่าป้าย อาร์เอฟไอดี หยุดทำงานเมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่านหลังจากถ่ายโอนข้อมูลเสร็จแล้วหรือไม่ โดยทั่วไปกระบวนการแบบที่ขับเคลื่อนโดยป้าย อาร์เอฟไอดี จะทำงานช้าและไม่ยืดหยุ่นต่อการใช้งาน ในทางปฏิบัติจะนิยมใช้กระบวนการแบบที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องอ่านซึ่งมีลักษณะการทำงานแบบเข้าจังหวะ(synchronous) เพราะว่าป้าย อาร์เอฟไอดี ทั้งหมดจะถูกควบคุมและตรวจสอบโดยเครื่องอ่าน นั่นคือเครื่องอ่านจะทำการเลือกป้ายอาร์เอฟไอดี ที่ต้องการติดต่อสื่อสาร จากนั้นจึงทำการถ่ายโอนข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านและป้ายอาร์เอฟไอดี นั้น และเมื่อถ่ายโอนข้อมูลเสร็จก็จะทำการเลือกป้ายอาร์เอฟไอดี ตัวใหม่เพื่อทำการติดต่อสื่อสาร กระบวนการแบบที่ขับเคลื่อนโดยเครื่องอ่านจะทำงานได้อย่างรวดเร็ว เพราะว่าการสื่อสารสามารถเกิดขึ้นเมื่อใดก็ได้ตามที่เครื่องอ่านต้องการ

2.3.4 การเข้าถึงหลากหลายแบบแบ่งการเข้ารหัส

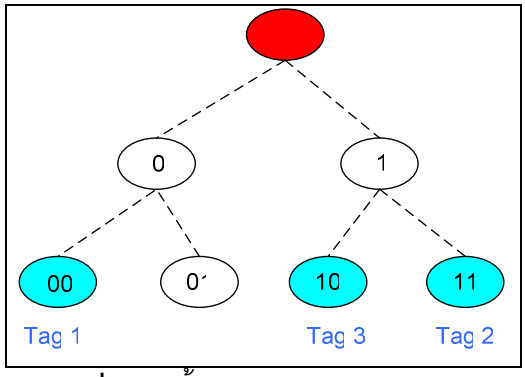
เทคโนโลยี CDMA เป็นเทคนิคการเข้าถึง แบบหลายทางซึ่งถูกกำหนดขึ้นโดย สถาบัน TIA (Telecommunications Industry Association) มีชื่อรหัสว่า IS-95 เทคนิคการเข้าถึงแบบหลายทางเป็นวิธีที่ระบบสื่อสารใช้ในการรองรับผู้ใช้ บริการจำนวนหลาย ๆ ราย พร้อมกันในเวลาเดียวกัน หรือกล่าวได้ว่าเป็นการอนุญาตให้ผู้ใช้บริการ จำนวนหนึ่ง ร่วมใช้กลุ่มช่องสื่อสาร วิทยุ โดยผู้ใช้แต่ละรายมีอิสระในการเลือกใช้ช่องสื่อสารแต่ละช่อง ซึ่งหมายความว่าผู้ใช้บริการไม่จำเป็นจะ ต้องใช้ช่องสื่อสารวิทยุช่องเดิมทุกครั้งที่มีการขอใช้งาน

2.4 วิธีป้องกันการชนกันของข้อมูลที่ใช้ในปัจจุบัน

วิธีป้องกันการชนกันของข้อมูลใน มาตรฐาน ISO และ EPC เพื่อช่วยในการป้องกันการชนกันของข้อมูลที่ใช้กันอยู่ทั่วไปในปัจจุบัน เช่น BT, FSA และ DFSA [2, 9 -13]



รูปที่ 2.13 การข้อมูลรหัสประจำตัวป้าย [12]



รูปที่ 2.14 ขั้นตอนการทำงานของ BT

2.4.1 อัลกอริทึมต้นไม้แบบทวิภาค (Binary Tree)

เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในมาตรฐาน EPC Class 1 [9] โดยหลักการพื้นฐานของ BT นั้นใช้คุณสมบัติเด่นพื้นฐานของป้ายคือ ป้ายแต่ละตัวจะมีรหัสประจำตัวไม่ซ้ำกันโดยในมาตรฐาน ISO 18000-6 ประเภท B จะใช้รหัสประจำตัวขนาด 64 บิต เราจึงนำจุดเด่นในข้อนี้มาทำการจัดลำดับการตอบสนองของป้ายแต่ละป้าย

วิธีการทำงาน จะเริ่มต้นโดย เครื่องอ่านจะส่งคำสั่งไปให้ป้าย เพื่อให้ป้ายตอบสนองกลับมาเมื่อป้ายตอบกลับมา เครื่องอ่านจะทำการตรวจสอบข้อมูลที่ได้รับมาว่าถูกต้องหรือไม่ จากนั้นจึงทำการระบุตัวตนป้าย แต่ถ้ามีป้ายมากกว่าหนึ่งตัวตอบกลับมา เครื่องอ่านจะสามารถรับรู้ถึงการชนกันของข้อมูลได้จากนั้นเครื่องอ่านจะเริ่มขบวนการป้องกันการชนกันของข้อมูลโดยนำข้อมูลรหัสประจำตัวบิตแรกจาก บิตที่มีความสำคัญสูงสุด (MSB) มาเป็นตัวระบุว่าจะให้ป้ายตัวใดตอบสนองกับเครื่องอ่าน

ตามรูปที่ 2.14 เมื่อเกิดการชนกันของข้อมูลครั้งแรกเครื่องอ่าน จะส่งค่าตำแหน่งแรกของรหัสประจำตัวไปซึ่งก็คือ “0” เมื่อป้ายได้รับคำสั่งนี้แล้ว ป้ายที่มีรหัสประจำตัวที่บิตที่มีความสำคัญสูงสุดตรงกับ “0” จะตอบสนองกับเครื่องอ่าน ในกรณีนี้มีป้ายเพียงตัวเดียวคือ ป้ายที่ 1 ที่มีรหัสประจำตัวตรงกับ “0” ดังนั้น ป้ายที่ 1 จึงตอบสนองกับเครื่องอ่าน เครื่องอ่านจะสามารถระบุตัวตนของป้ายที่ 1 ได้ จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการตัดรากที่บิตที่มีความสำคัญสูงสุดเท่ากับ

“0” ทิ้งไป แล้วทำการส่งค่าถัดไปคือ “1”ไปให้กับป้าย จากรูปที่ 2.14 จะเห็นว่าป้ายที่ 2 และป้ายที่ 3 มีรหัสประจำตัวที่บิตที่มีความสำคัญสูงสุดตรงกับ “1” ทำให้ป้ายทั้งสองตัว ตอบสนองกับเครื่องอ่านพร้อมกันจึงเกิดการชนกันของข้อมูลอีกครั้งหนึ่ง เครื่องอ่านสามารถรับรู้การชนกันของข้อมูล ดังนั้นข้อมูลที่ได้รับมาจะถูกตัดทิ้ง เครื่องอ่านจะส่งคำสั่งไปใหม่โดยเพิ่มบิตของรหัสประจำตัว ขึ้นไปอีก 1 บิตคือ “10” จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่าป้ายที่ 3 มีรหัสประจำตัวที่บิตที่มีความสำคัญสูงสุดตรงกันก็จะทำการตอบสนองกับเครื่องอ่าน เครื่องอ่านจะสามารถระบุตัวตนป้ายที่ 3 ได้แล้ว ทำการตัดรากนี้ทั้งไป แล้วทำการส่งคำสั่งถัดที่มีรหัสประจำตัวถัดไปคือ “11” ซึ่งมีป้ายที่ 2 เพียงตัวเดียวที่ตอบสนอง ดังนั้นเครื่องอ่านก็จะระบุตัวตนของป้ายได้ทั้งหมด

2.4.2 อัลกอริทึมต้นไม้แบบทวิภาคที่ใช้ในมาตรฐาน ISO 18000-6 ประเภท B

เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในมาตรฐาน ISO 18000-6 ประเภท B [12] จะไม่ใช้รหัสประจำตัวป้าย แต่จะใช้การสุ่มในการแบ่งกลุ่ม โดยป้าย จะต้องมีฟังก์ชันที่สำคัญคือ ตัวแปรนับ 8 บิต ใช้สำหรับเก็บลำดับการตอบสนองของป้าย โดยป้ายจะตอบสนองกับเครื่องอ่านเมื่อตัวแปรนับมีค่าเท่ากับ 0 และ เครื่องกำเนิดตัวเลขแบบสุ่มใช้สำหรับสุ่มตัวเลข 0 หรือ 1 โดยกระบวนการทำงานจะเริ่มจากป้ายจะทำการตั้งค่าตัวแปรนับ 8 บิตภายในตัวป้ายให้เท่ากับ 0 และ สร้างค่าตัวแปรนับในเครื่องอ่านให้เท่ากับ 0

1. ป้ายทุกเครื่องจะอยู่ในสถานะ ID และค่าตัวแปรนับในป้ายจะมีค่าเท่ากับ 0 จากนั้นจะทำการตอบสนองกับเครื่องอ่าน
2. ป้ายจะทำการตอบสนองต่อเครื่องอ่าน แต่ถ้าป้ายที่ตอบสนองมีมากกว่า 1 ตัว เครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลที่ผิดพลาด จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่ง FAIL ไปให้ป้ายและทำการเพิ่มตัวแปรนับในเครื่องอ่านอีก 1 ค่า
3. เมื่อป้ายทุกอันที่ได้รับคำสั่ง FAIL จะแบ่งได้เป็น 2 กรณีคือ

   3.1 ค่าตัวแปรนับ 8 บิตของป้ายไม่เท่ากับ 0

   ป้ายจะทำการเพิ่มค่าตัวแปรนับ 8 บิตของตัวป้ายขึ้นไปอีก 1 ค่า

   3.2 ค่าตัวแปรนับ 8 บิต ของป้ายเท่ากับ 0

   ป้ายจะทำการสุ่มตัวเลขโดยใช้เครื่องกำเนิดตัวเลขแบบสุ่ม

   - เมื่อสุ่มได้ค่าเท่ากับ 0

     จะไม่ทำการเปลี่ยนแปลงใดๆและทำการตอบกลับไปหาเครื่องอ่าน

- เมื่อสุ่มได้ค่าเท่ากับ 1
  ป้ายจะทำการเพิ่มค่าตัวแปรนับ 8 บิตขึ้นไปอีก 1

หลังจากทำตามขั้นตอน 1 - 3 แล้วจะมีเหตุการณ์ที่สามารถเกิดขึ้นได้ 4 กรณีคือ

4. ถ้ามีป้ายมากกว่า 1 อันตอบกลับมาจะย้อนกลับไปทำข้อ 2 และ 3
5. ถ้าไม่มีป้ายใดตอบกลับ เครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่ง SUCCESS พร้อมทั้งลดค่าตัวแปรนับในเครื่องอ่านลง 1 ค่า เมื่อป้ายได้รับคำสั่งนี้จะทำการลดค่าตัวแปรนับในป้ายลงไปอีก 1 ค่าและเมื่อป้ายได้ทำการลดค่าตัวแปรนับในป้ายแล้ว ถ้าค่าของตัวแปรนับในป้ายมีค่าเท่ากับ 0 ป้ายจะทำการตอบสนองกับเครื่องอ่าน
6. ถ้ามีป้าย 1 อันทำการตอบสนองกับเครื่องอ่านพร้อมกับรหัสป้าย เครื่องอ่านจะสามารถระบุตัวตนของป้ายนั้นได้ด้วยรหัสป้าย แต่ถ้ารหัสที่รับมานั้นเกิดความผิดพลาดเครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่ง RESEND เพื่อให้ป้ายตอบสนองมาอีกครั้ง จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการส่งคำสั่ง SUCCESS ให้กับป้ายพร้อมทั้งลดค่าตัวแปรนับในเครื่องอ่านลง 1 ค่า ส่วนป้ายจะทำการลดค่าตัวแปรนับในป้าย ลง 1 ค่าจากนั้นเครื่องอ่านจะรอการตอบรับจากป้ายแล้วตัดสินใจทำข้อ 4 ถึง 6

เครื่องอ่านและป้ายจะทำการติดต่อตามแบบอย่างนี้ไปจนกว่า เครื่องอ่านจะสามารถระบุตัวตนของป้ายได้หมดทุกเครื่องจึงจะสิ้นสุดการทำงานของอัลกอริทึม โดยตรวจสอบค่าตัวแปรนับในเครื่องอ่านถ้าตัวแปรนับในเครื่องอ่านเท่ากับ 0 จะเป็นการสิ้นสุดการทำงาน

2.4.3 อัลกอริทึม Framed Slotted Aloha

เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ในมาตรฐาน ISO 18000-6 ประเภท A [12] ซึ่งพัฒนามาจาก Slotted Aloha algorithm โดยมีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนช่องสื่อสารจะถูกนำมารวมกลุ่มกันเป็นเรียกว่า กรอบ เช่น 1 กรอบกำหนดให้มี 8 ช่องสื่อสาร
2. ป้ายสามารถส่งข้อมูลไปในช่องสื่อสารได้ 1 ช่องสื่อสารใน 1 กรอบ
3. จำนวนช่องสื่อสารใน 1 กรอบนั้นไม่สามารถเปลี่ยนแปลงได้จนกว่าจะจบการทำงาo

ขั้นตอนแรกเครื่องอ่านจะส่งคำสั่ง Init_round เพื่อทำการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับป้าย จากนั้นป้ายจะนำข้อมูลต่างๆที่เครื่องอ่านส่งมาให้ทำการสุ่ม จำนวนช่องสื่อสาร ที่อยู่ในช่วง 0 ถึง slot_number (กำหนดด้วยข้อมูลจากคำสั่ง Init_round) แล้วเก็บค่าลงใน slot_count ถ้าค่าของ

slot_count เท่ากับ slot_number ป้ายจะทำการตอบสนองกับเครื่องอ่าน หลังจากนั้นมีความเป็นไปได้ 3 กรณีคือ

1. ไม่มีป้ายใดตอบสนอง

   เครื่องอ่านจะส่งคำสั่ง Close_slot ไปให้กับป้ายเพื่อให้ป้ายเพิ่มค่าของ slot_count

2. มีป้ายเพียงหนึ่งเครื่องที่ตอบสนอง

   เครื่องอ่านจะส่งคำสั่ง Next_slot ที่ระบุข้อมูลยืนยันให้กับป้ายที่ตอบสนอง เพื่อป้ายที่ ตอบสนองจะไม่ต้องทำการตอบสนองใน Framed ถัดไป

3. มีป้ายมากกว่าหนึ่งเครื่องตอบสนอง

   เครื่องอ่านสามารถรับรู้ถึงการชนกันของข้อมูล จากนั้นก็จะส่งคำสั่ง Close_slot ไป ให้กับป้ายเพื่อให้ ป้ายเพิ่มค่าของ slot_count

เครื่องอ่านและป้ายจะทำการติดต่อตามแบบอย่างนี้ไปจนกว่า เครื่องอ่านจะสามารถระบุตัวตนของป้ายได้หมดทุกเครื่องจึงจะหยุดการทำงานของอัลกอริทึม

2.4.4 อัลกอริทึม Dynamic Framed Slotted Aloha

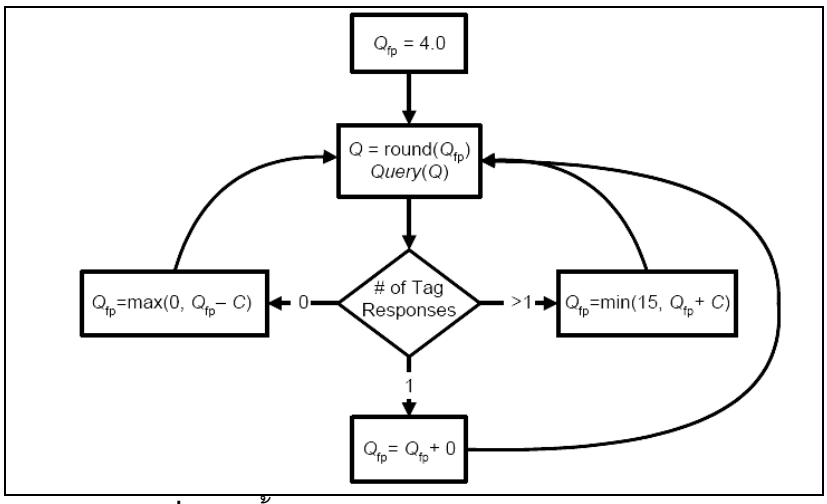
เป็นอัลกอริทึมที่ใช้ใน EPC Class 1 Generation 2 [10] และพัฒนามาจาก FSA โดยรายละเอียดต่างๆของอัลกอริทึม จะคล้ายคลึงกันกับ FSA แต่จะแตกต่างกันตรงที่จำนวนช่องสื่อสารในแต่ละกรอบ (Frame) จะสามารถปรับเปลี่ยนได้ในขณะที่ทำการระบุตัวตนป้าย โดยใช้พารามิเตอร์ Q เพื่อทำการปรับเปลี่ยนจำนวนช่องสื่อสารในป้ายแต่ละป้าย จะประกอบไปด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

1. เครื่องกำเนิดตัวเลขสุ่มแบบเทียม(Pseudo-random number generator)

   ป้ายจะใช้เครื่องกำเนิดตัวเลขสุ่มแบบเทียมสุ่มตัวเลขขนาด 16 บิต ขึ้นมาเพื่อใช้ในการระบุจำนวนช่องสื่อสารที่ป้ายจะใช้ทำการส่งข้อมูล

2. ตัวแปรนับช่องสื่อสาร

   เป็นตัวแปรที่ใช้สำหรับเก็บค่าที่สุ่มได้จากเครื่องกำเนิดตัวเลขสุ่มแบบเทียม โดยค่าที่จะนำไปเก็บนั้นจะอยู่ในช่วง 0 ถึง พารามิเตอร์ Q บิต ซึ่งค่า พารามิเตอร์ Q จะอยู่ในช่วง 0 ถึง 15 โดยตัวแปร ตัวแปรนับช่องสื่อสาร นี้สามารถลดค่าแบบต่อเนื่องได้คือเมื่อค่าอยู่ที่ตำแหน่ง 0000h เมื่อทำการลดค่าลงอีกจะได้ค่าเป็น 7FFFh



รูปที่ 2.15 ขั้นตอนการปรับค่า พารามิเตอร์ Q [10]

การทำงานของ DFSA จะเริ่มต้น โดยเครื่องอ่าน ทำการส่งคำสั่งเพื่อทำการระบุค่าพารามิเตอร์ Q ให้กับป้าย ที่อยู่ในย่านการทำงานของเครื่องอ่าน จากนั้นป้าย จะทำการสุ่มค่าแล้วเก็บค่าลงที่อยู่ในช่วง 0 ถึง พารามิเตอร์ Q บิต ลงไปใน ตัวแปรนับช่องสื่อสาร โดยถ้าค่าในตัวแปรนับช่องสื่อสาร เท่ากับ 0 จะทำการตอบสนองกับเครื่องอ่าน จากนั้นเครื่องอ่านจะส่งคำสั่ง Query เพื่อทำการลดค่า ตัวแปรนับช่องสื่อสารของป้ายและคำสั่ง QueryAjust เพื่อทำการปรับค่าพารามิเตอร์ Q เมื่อมี ช่องสื่อสาร ที่ไม่มีป้ายใดส่งข้อมูล หรือ เกิดการชนกันของข้อมูล มากจนเกินค่าที่กำหนด เครื่องอ่านและป้ายจะทำการติดต่อตามแบบอย่างนี้ไปจนกว่า เครื่องอ่านจะสามารถระบุตัวตนของป้ายได้หมดทุกเครื่องจึงจะหยุดการทำงาน

จากรูปที่ 2.15 แสดงขั้นตอนการทำงานการปรับค่าพารามิเตอร์ Q โดยวิเคราะห์จากจำนวนผลตอบสนองของป้ายทั้งหมด ถ้าจำนวนช่องสื่อสารที่ว่างเปล่าไม่มีการส่งข้อมูลก็จะทำการลดค่า พารามิเตอร์ Q แล้วส่งให้กับป้าย จากนั้นป้ายจะทำการสุ่มค่าขึ้นมาแล้วเก็บค่าลงใน ตัวแปรนับช่องสื่อสาร หรือถ้ามี ช่องสื่อสาร ที่มีการชนกันขอข้อมูลมากเกินไปก็จะทำการปรับค่าพารามิเตอร์ Q ให้เพิ่มขึ้น แต่ถ้าใน ช่องสื่อสาร มีป้ายเพียงตัวเดียวที่ทำการตอบสนองค่าของพารามิเตอร์ Q จะไม่เปลี่ยนแปลง โดยในการลดค่าหรือเพิ่มค่าพารามิเตอร์ Q นั้นจะใช้ค่าคงที่ C มาทำการบวกหรือลบพารามิเตอร์ Q โดยค่าคงที่ C นั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 ซึ่งในการกำหนดค่าคงที่ C นั้นจะขึ้นอยู่กับผู้ใช้งานสามารถกำหนดค่าได้ถ้าต้องการให้มีการปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ Q เมื่อมีการชนกันของข้อมูลในช่องสื่อสาร หรือ ช่องสื่อสารว่างเปล่ามีความรวดเร็วควรกำหนดค่าคงที่ C ให้มีค่ามาก แต่ถ้าต้องการให้การปรับเปลี่ยนพารามิเตอร์ Q มีความเร็วที่ต่ำควรกำหนดค่าคงที่ C ให้มีค่าน้อย