



การพัฒนาการป้องกันการชนกันของข้อมูล สำหรับระบบที่เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ Development of Anti-Collision for Radio Frequency Identification (RFID)

ศรัทธญา บุญเฉลียว (Sataya Boonchaleaw)* และ ชัยพร ใจแก้ว (Chaiporn Jaikaeo)*

บทคัดย่อ

ระบบที่เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ (Radio Frequency Identification, RFID) เป็นการระบุตัวตนหรือสิ่งของใดๆ ด้วยคลื่นวิทยุอย่างอัตโนมัติ เมื่อต้องการอ่านป้าย RFID จำนวนมาก จะทำให้เกิดเหตุการณ์การชนกันของข้อมูลขึ้น ส่งผลให้ระยะเวลาในการอ่านป้าย RFID สูงขึ้น บทความนี้ได้นำเสนอแนวคิดการจัดการการชนกันของข้อมูลในระบบ RFID ให้ใช้ระยะเวลาในการอ่านน้อยลงเมื่อเทียบกับมาตรฐาน EPC Global Class 1 Generation 2 (EPC C1G2) ด้วยการประมาณจำนวนป้ายที่มีอยู่ในระบบจากการประยุกต์ใช้สมการการแจกแจงแบบทวินาม จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่ได้นำเสนอใช้เวลารวมในการอ่านป้ายน้อยกว่ามาตรฐาน EPC C1G2 โดยเฉลี่ย 18.83%

คำสำคัญ: ระบบที่เฉพาะด้วยคลื่นวิทยุ การชนกันของข้อมูล

Abstract

RFID system is an identification system that uses radio frequency to automatically identify objects. When two or more RFID tags transmit data at the same time, a collision can occur, which results in more time spent to read all tags in the system. This paper proposes two anti-collision algorithms, called Collision Multiplier and Adaptive Binomial, which are compatible with the EPC C1G2 standard using frame slot estimation with Binomial distribution. Numerical results show that, on average, the proposed methods use 18.83% less identification time than EPC C1G2 does.

Keyword: RFID, Collision.

*ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

1. บทนำ

ระบบที่เฉพาะด้วยคลื่นวิทยุ หรือ RFID system ประกอบด้วยเครื่องอ่าน (Reader) และป้าย (Tag) คล้ายการอ่านป้ายสองมิติทั่วไปเช่นระบบบาร์โค้ดแต่ RFID ทำงานโดยใช้คลื่นความถี่วิทยุในการระบุตัวตนของสิ่งของใดๆ อย่างอัตโนมัติ โดยที่เครื่องอ่านไม่จำเป็นต้องมองเห็นตัวป้าย (Non Line of Sight) [1]

ป้าย RFID แบ่งออกเป็นสองประเภทคือ Passive Tag ไม่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่แต่ใช้พลังงานที่ได้รับจากเครื่องอ่าน และ Active Tag ที่จำเป็นต้องใช้แบตเตอรี่เป็นแหล่งจ่ายให้ป้าย[1] ด้วยเหตุนี้เอง Passive Tag จึงถูกนำมาใช้งานอย่างแพร่หลายเนื่องจากมีราคาถูก มีขนาดเล็ก ไม่จำเป็นต้องดูแลรักษามากนักย่านความถี่ที่ใช้ในระบบ RFID มี 4 กลุ่ม [2] คือย่านความถี่ต่ำ (Low Frequency, LF) ใช้ความถี่ 125 KHz ย่านความถี่สูง (High Frequency, HF) ใช้ความถี่ 13.56 MHz ทั้งสองย่านความถี่นี้ถูกนำมาใช้ในการอ่านป้ายเพียงป้ายเดียวต่อการอ่าน 1 ครั้ง เช่นบัตรเข้าออกประตู ย่านความถี่สูงยิ่ง (Ultra-High Frequency, UHF) ใช้ความถี่ 868 MHz หรือ 915 MHz และย่านความถี่ไมโครเวฟ ใช้ความถี่ 2.4 GHz ย่านความถี่ UHF มีความสามารถในการส่งคลื่นไปในระยะไกลได้ เช่นเครื่องอ่านของบริษัท Motorola [3] ที่มีระยะการอ่านสูงสามารถอ่านป้ายในสถานการณ์ที่มีความหนาแน่นของป้ายมากๆ ได้ ทำให้ป้าย RFID แบบ UHF ถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางในอุตสาหกรรมที่ต้องการระบุตัวตนของสินค้าจำนวนมากๆ เช่น ท่าเรือ คลังเก็บสินค้า ระบบขนส่งขนาดใหญ่

เมื่อมีป้าย RFID ที่ต้องการอ่านมากขึ้นทำให้เกิดโอกาสที่ป้ายจะส่งข้อมูลพร้อมกันได้ จึงมีการกำหนดมาตรฐานในการอ่านป้ายจัดทำโดยกลุ่ม Hardware Action Group (HAG)



ภายใต้องค์กร EPCglobal Network มีชื่อเรียกโพรโตคอลนี้ว่า EPC Global Class 1 Generation 2 [4] มาตรฐานนี้ออกแบบมาให้ใช้กับ RFID ย่านความถี่สูงยิ่งและถูกนำมาใช้อย่างกว้างขวางสำหรับงานที่ต้องการอ่านป้าย RFID จำนวนมาก ๆ ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำเสนอวิธีการประมาณจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสม ที่ทำให้การอ่านป้าย RFID มีความเร็วสูงขึ้นโดยที่ผู้ที่นำวิธีดังกล่าวไปใช้ ไม่มีความจำเป็นต้องปรับแก้ป้าย RFID แต่อย่างใด เพียงแต่ปรับแก้การทำงานของเครื่องอ่านเท่านั้น

2. วรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

2.1 Dynamic Frame Slotted ALOHA (DFSA)

การป้องกันการชนกันของข้อมูลแบบ ALOHA [5] มีการพัฒนาต่อเนื่องหลากหลายรูปแบบ รูปแบบแรกคือ ALOHA เมื่อป้ายได้รับคำสั่งอ่าน ป้ายจะทำการสุ่มระยะเวลาที่จะเริ่มทำการส่ง หากเครื่องอ่านพบว่าการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น เครื่องอ่านจะส่งคำสั่งให้ป้ายทำการหน่วงเวลาเพื่อส่งใหม่อีกครั้ง รูปแบบนี้มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดการชนกันของข้อมูลสูงมาก Slotted ALOHA ได้ปรับปรุงให้ป้ายทำการส่งข้อมูลเป็นช่องสัญญาณทางเวลาอย่างไรก็ตาม ALOHA ทั้งสองรูปแบบนี้ไม่มีขอบเขตระยะเวลาในการอ่านชัดเจน ทำให้ไม่สามารถทราบได้แน่ชัดว่าระบบจะทำการอ่านเสร็จสิ้นเมื่อใด เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าวจึงมีการปรับปรุงเพิ่มเติมให้ป้ายทำการส่งข้อมูลเพียง 1 ครั้งต่อการอ่าน 1 คาบ แต่ละคาบจะมีจำนวนช่องสัญญาณเท่ากันทุกคาบ หากเครื่องอ่านทำการอ่านป้ายสำเร็จ ป้ายนั้นๆ จะไม่ทำการส่งอีกจนกว่าจะเริ่มทำการอ่านใหม่ หากเกิดการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น ป้ายเหล่านั้นจะต้องทำการส่งใหม่ในคาบถัดไป เครื่องอ่านจะทำการอ่านไปเรื่อยๆ จนกว่าจะถึงคาบที่ไม่มีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้นจึงจะหยุดทำการอ่าน รูปแบบนี้เรียกว่า Frame Slotted ALOHA (FSA) ความน่าจะเป็นที่ป้ายจะสามารถส่งข้อมูลได้สำเร็จหรือไม่สำเร็จ $B(r)$ สามารถอธิบายได้ด้วยสมการการแจกแจงแบบทวินาม [6], [7], [8] ดังสมการที่ (1) เมื่อ n คือจำนวนป้ายในระบบ L คือจำนวนช่องต่อ 1 คาบ r คือจำนวนป้ายที่ระบบสามารถอ่านได้ต่อ 1 ช่องสัญญาณ หากนำจำนวนช่องสัญญาณใน 1 คาบ ไปคูณกับสมการที่ (1) จะทำให้ทราบจำนวนช่องที่จะเกิดเหตุการณ์นั้นๆ กำหนดให้จำนวนช่อง

ของเหตุการณ์ r ที่น่าจะเกิดขึ้นใน 1 คาบการอ่านแทนด้วย a_r เราสามารถคำนวณค่า a_r ได้จากสมการที่ (2) เมื่อแทนค่า r ด้วย 1 จะทำให้ทราบความน่าจะเป็นของจำนวนช่องสัญญาณที่ส่งข้อมูลสำเร็จใน 1 คาบ (Success Slot) ดังสมการที่ (3) เมื่อแทนค่า r ด้วย 0 จะทำให้ทราบความน่าจะเป็นของจำนวนช่องสัญญาณใน 1 คาบ (Idle Slot) ดังสมการที่ (4) และ เมื่อนำจำนวนช่องสัญญาณต่อ 1 คาบ มาลบกับผลจากสมการที่ (3) และ (4) จะทำให้ทราบความน่าจะเป็นของจำนวนช่องสัญญาณที่เกิดการชนกันของข้อมูล (Collision Slot) แทนด้วย a_k จากสมการที่ (5)

$$B(r) = \binom{n}{r} \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r} \quad (1)$$

$$a_r = L \times B(r) = L \binom{n}{r} \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-r} \quad (2)$$

$$a_1 = n \left(1 - \frac{1}{L}\right)^{n-1} \quad (3)$$

$$a_0 = L \left(1 - \frac{1}{L}\right)^n \quad (4)$$

$$a_k = L - a_1 - a_0 \quad (5)$$

ข้อเสียของระบบ FSA คือจำนวนช่องสัญญาณในหนึ่งคาบจะมีจำนวนที่เท่าเดิมเสมอ เมื่อมีป้ายอยู่ในระบบเป็นจำนวนมาก อาจส่งผลให้ระบบไม่สามารถอ่านป้ายใดๆ ได้ จึงมีรูปแบบการอ่านที่เรียกว่า Dynamic Frame Slotted ALOHA (DFSA) รูปแบบนี้ใช้หลักการคล้ายกับ FSA แต่มีความแตกต่างตรงที่จำนวนช่องในแต่ละคาบสามารถปรับเปลี่ยนได้ตามแต่ผู้ใช้จะกำหนด เนื่องจาก DFSA ไม่มีรูปแบบการจัดการช่องสัญญาณชัดเจน และเพื่อให้เกิดความเข้ากันได้กับ RFID ที่จะนำมาใช้งาน จึงมีการสร้างมาตรฐานสำหรับ RFID ขึ้น เรียกว่า EPC Global Class 1 Generation 2

2.2 EPC Global Class 1 Generation 2 (EPC C1G2)

หลักการการทำงานของโพรโตคอล EPC C1G2 [4] อ้างอิงจากโพรโตคอล DFSA โดยเริ่มต้นจากเครื่องอ่านกำหนดค่า Q_{fp} และส่งคำสั่ง QUERY พร้อมค่า $Q = 4$ รวม 22 บิต เมื่อป้ายในระบบได้รับคำสั่ง จะทำการสุ่มเลขช่องสัญญาณมีค่าตั้งแต่ 0 จนถึง $2^Q - 1$ และทำการสุ่มเลขอีก 16 บิต เรียกว่า RN16 แล้วจึงส่งเลข RN16 ออกไปในช่องสัญญาณ

ที่สุ่มขึ้น หากสัญญาณที่ส่งไปมีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้น หรือไม่มีการส่งข้อมูลใดๆ ในช่วงสัญญาณนั้นๆ เครื่องอ่านจะส่งคำสั่ง QueryRep ขนาด 4 บิตออกไป เพื่อเรียกรับข้อมูลในช่วงสัญญาณถัดไป หากการส่งเลข RN16 ไปยังเครื่องอ่านสำเร็จ เครื่องอ่านจะทำการตอบกลับด้วยคำสั่ง ACK ขนาด 2 บิต พร้อมรหัส RN16 ที่อ่านได้ รวม 18 บิต เพื่อให้ป้ายที่ส่ง RN16 สำเร็จ ทำการส่งรหัสประจำตัวขนาด 96 บิต หรือ 256 บิต พร้อมกับรหัสตรวจสอบข้อผิดพลาดของข้อมูลขนาด 16 บิต (CRC Code) ไปยังเครื่องอ่านเพื่อทำการบันทึก หลังจากส่งเลขประจำตัวสำเร็จแล้วเครื่องอ่านจะส่งคำสั่ง QueryRep ขนาด 4 บิตออกไป เพื่อเรียกรับข้อมูลในช่วงสัญญาณถัดไปจนกระทั่งจบคาบการอ่าน และทุกๆ ครั้งที่จบการสื่อสาร 1 ช่วงสัญญาณจะมีการคำนวณค่า Q_{fp} ดังนี้

-หากมีการตอบกลับเพียงป้ายเดียว (Success) ให้ค่า Q_{fp} คงที่

-หากมีการตอบกลับมากกว่า 1 ป้าย (Collision) ให้คำนวณ

$$Q_{fp} = \min(Q_{fp} + c, 15)$$

-หากไม่มีป้ายใดๆ ตอบกลับ (Idle) ให้คำนวณ

$$Q_{fp} = \max(Q_{fp} - c, 0)$$

โพรโตคอล EPC C1G2 กำหนดให้ค่า Q_{fp} จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับ 0 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 15 และ ค่า c อยู่ระหว่าง 0.1 ถึง 0.5 โดยไม่มีข้อกำหนดคงที่ แต่มีคำแนะนำตามมาตรฐานว่า ให้กำหนดค่า c มีค่าน้อยๆ เมื่อค่า Q_{fp} มีค่าสูง และให้กำหนดค่า c มีค่ามากๆ เมื่อค่า Q_{fp} มีค่าต่ำ เมื่อเริ่มคาบการอ่านถัดไป เครื่องอ่านจะทำการคำนวณค่า Q_{fp} ใหม่ก่อนที่จะส่งออกไปพร้อมคำสั่ง QUERY และจะหยุดการทำงานเมื่อคาบการอ่านล่าสุดไม่มีการชนกันของข้อมูลเกิดขึ้นดังที่แสดงในภาพที่ 1

จากงานวิจัยของ Chen และคณะ [9] ได้นำเสนอวิธีการประมาณค่า c โดยมีเงื่อนไขคือ

-หากมีการตอบกลับเพียงป้ายเดียว (Success) ให้ค่า Q_{fp} คงที่

-หากมีการตอบกลับมากกว่า 1 ป้าย (Collision) ให้คำนวณ

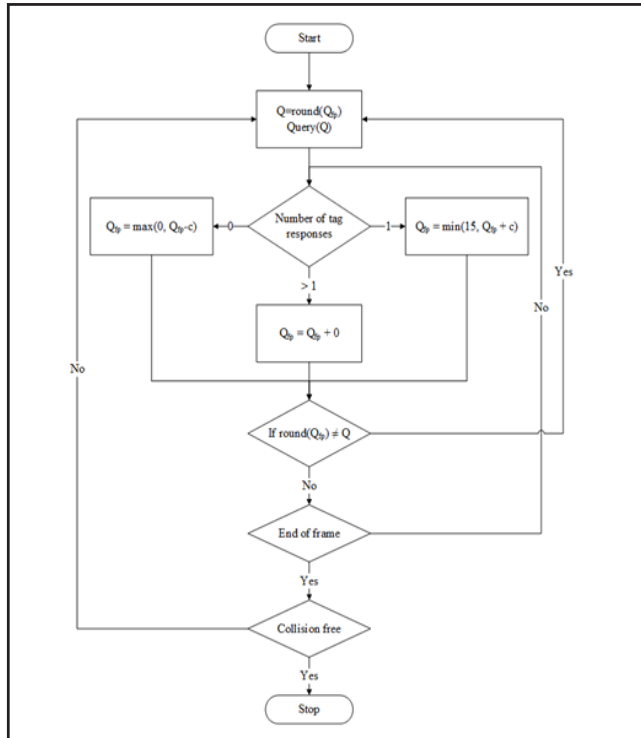
$$Q_{fp} = \text{floor}(Q_{fp} + 0.35)$$

-หากไม่มีป้ายใดๆ ตอบกลับ (Idle) ให้คำนวณ

$$Q_{fp} = \text{ceili}(Q_{fp} - 0.15)$$

-ค่า Q_{fp} จะต้องอยู่ระหว่าง 0 และ 15

ผู้วิจัยจึงเลือกใช้หลักการดังกล่าวมาใช้ในการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบกับโพรโตคอลอื่นๆ รวมถึงโพรโตคอลที่ผู้ใช้ได้นำเสนอด้วย



ภาพที่ 1 ผังลำดับการทำงานของโพรโตคอล EPC C1G2

2.3 ทฤษฎีขอบเขตต่ำ (Lower Bound)

ทุกๆ ครั้งที่มีการอ่านป้าย เครื่องอ่านสามารถจดจำได้ว่ามีจำนวนช่องที่เกิด Collision Idle และ Success เท่าใด งานวิจัย [7] ได้นำเสนอทฤษฎีที่ว่า การชนกันของข้อมูลจะต้องเกิดจากการที่ป้ายอย่างน้อยสองป้าย พยายามที่จะส่งข้อมูลพร้อมๆ กัน ดังนั้น จำนวนป้ายที่คงเหลือในระบบควรมีจำนวนเป็นสองเท่าของจำนวนช่องที่เกิดการชนกันของข้อมูล กำหนดให้ n_{est} แทนจำนวนป้ายที่คงเหลืออยู่ในระบบ และ c_k แทนจำนวนช่อง CollisionSlot ที่เกิดขึ้นจริงใน 1 คาบ จะได้ว่า

$$n_{est} = 2 \times c_k \quad (6)$$

2.4 ทฤษฎีอสมการของ Chebyshev โดย Vogt

งานวิจัยของ Vogt [8] ได้ประยุกต์ใช้ทฤษฎีอสมการของ Chebyshev ที่นิยามไว้ว่า เมื่อ X เป็นตัวแปรสุ่มใดๆ ผลลัพธ์ของการทดลองการสุ่มค่าจาก X จะมีค่าใกล้เคียงกับค่าคาดหวังของตัวแปรสุ่ม X จากนิยามดังกล่าว Vogt ได้กำหนดให้ c_0 คือจำนวน IdleSlot ใน 1 คาบ c_1 คือจำนวน Success Slot ใน 1 คาบ และ c_k คือจำนวน CollisionSlot ใน 1 คาบ นำมาประยุกต์เป็นฟังก์ชันการประมาณค่า $\mathcal{E}(L, n, c_0, c_1, c_k)$ โดยอาศัยระยะทางเชิงเวกเตอร์ระหว่างผลลัพธ์จากการอ่านป้ายจริง c_0, c_1, c_k กับค่าคาดหวัง (a_0, a_1, a_k) ตามสมการที่



(3) (4) และ (5) เพื่อหาค่า n ที่ทำให้ $\mathcal{E}(L, n, c_0, c_1, c_k)$ มีค่าน้อยที่สุดสามารถกำหนดเป็นสมการได้ดังนี้

$$\mathcal{E}(L, n, c_0, c_1, c_k) = \arg \min_n \left\| \begin{pmatrix} a_0 \\ a_1 \\ \vdots \\ a_k \end{pmatrix} - \begin{pmatrix} c_0 \\ c_1 \\ \vdots \\ c_k \end{pmatrix} \right\| \quad (7)$$

ผู้ใช้งานจำเป็นต้องแทนค่า n ลงไปใน c_0, c_1, c_k เรื่อยๆ จนกระทั่งผลลัพธ์ของฟังก์ชันมีค่าน้อยที่สุด ให้ถือว่า n เป็นจำนวนโดยประมาณของจำนวนป้ายที่คงเหลืออยู่ในระบบ เมื่อได้ค่า n ให้นำมาเลือกค่า Q ที่เหมาะสมในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การเลือกใช้ค่า Q สำหรับวิธี Chebyshev Estimation

Q	4	5	6	7	8
Lowest n	1	10	17	51	112
Highest n	9	27	56	129	∞

3. วิธีการที่นำเสนอ

วิธีการที่ได้นำเสนอนี้เป็นการแก้ไขโพรโตคอล EPC C1G2 โดยแก้ไขเพียงในส่วนของการประมาณจำนวนช่องสัญญาณที่จะถูกใช้ในคาบการอ่านถัดไปเท่านั้น คำสั่งในการอ่านทุกคำสั่งเช่น QueryAdjQueryRep รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละเหตุการณ์ ยังคงมีการทำงานตามโพรโตคอล EPC C1G2 เช่นเดิมผู้วิจัยได้นำเสนอการประมาณจำนวนช่องสัญญาณในหนึ่งคาบการอ่าน 2 วิธีดังนี้

3.1 การประมาณช่องสัญญาณในแต่ละคาบโดยการคูณจำนวนช่องสัญญาณที่เกิดการชนกันด้วยค่าคงที่ (Collision Multiplier)

ผู้วิจัยได้วิเคราะห์ผลการอ่านป้ายของโพรโตคอล DFSA และได้ตั้งสมมุติฐานว่า ค่าที่แสดงถึงจำนวนป้ายที่คงเหลืออยู่ในระบบคือจำนวนช่องสัญญาณที่เกิดการชนกันของข้อมูลในหนึ่งคาบดังเช่นทฤษฎีขอบเขตล่าง แต่อย่างไรก็ตาม การชนกันของข้อมูลสามารถเกิดจากการพยายามส่งข้อมูลในช่วงเวลาเดียวกันมากกว่าสองป้ายได้ ผู้วิจัยจึงได้นำเสนอการประมาณช่องสัญญาณที่เหมาะสมด้วยการนำค่าคงที่ค่าหนึ่งคูณกับจำนวนช่องสัญญาณที่เกิดการชนกันของข้อมูล เพื่อให้ได้ ค่าคงที่ที่เหมาะสม ผู้วิจัยได้ทำ

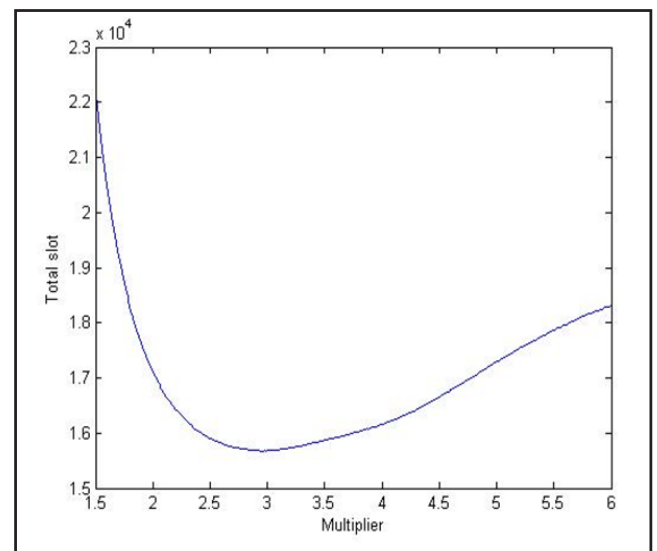
การจำลองการทำงานของระบบตามมาตรฐาน EPC C1G2 แต่เปลี่ยนวิธีการประมาณค่าช่องสัญญาณจากเดิมที่ขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงของค่า Q ให้คำนวณใหม่โดยใช้ค่าคงที่ที่กำหนดไว้คูณกับช่องสัญญาณที่เกิดการชนกันของข้อมูล ในคาบการอ่านล่าสุดแล้วนำผลลัพธ์ที่ได้มาแล้วทำการปัดเศษผลลัพธ์ดังกล่าวให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามหลักการปัดเศษเลขคณิตแบบสมมาตร (Symmetric Arithmetic Rounding) ผลจากการปัดเศษจะถูกนำมาคำนวณตามสมการที่ (8) เพื่อหาค่า Q ที่จะนำมาใช้ในคาบถัดไป

$$Q = \text{round} \left(\frac{\log(\text{round}(n_{est}))}{\log 2} \right) \quad (8)$$

ค่าคงที่ที่นำมาทำการทดลองมีตั้งแต่ 1.5 ถึง 6 และจำลองป้ายในระบบ 100 ป้าย และทำการทดลองซ้ำจำนวน 1,000 ครั้ง แล้วนำจำนวนช่องที่ถูกใช้งานทั้งหมดในการทดลองนั้นๆ มาทำการเฉลี่ย ค่าคงที่ที่ทำให้ช่องสัญญาณที่ใช้ในการอ่านป้ายทั้งหมดน้อยที่สุดถือว่าเป็นค่าคงที่ที่เหมาะสม

จากผลการทดลองซึ่งแสดงดังภาพที่ 2 พบว่าค่าคงที่ที่ทำให้ระยะเวลาในการอ่านป้ายทั้งหมดในระบบน้อยที่สุดคือ 2.95 ผู้วิจัยจึงเลือกใช้ค่านี้สำหรับวิธี Collision Multiplier สามารถอธิบายเป็นสมการได้ดังนี้

$$n_{est} = 2.95 \times c_k \quad (9)$$



ภาพที่ 2 จำนวนช่องทั้งหมดที่ถูกใช้งานโดยเฉลี่ยในการปรับค่าตัวคูณจาก 1.5 ถึง 6

3.2 วิธีประมาณจำนวนช่องสัญญาณในแต่ละคาบ โดยการประยุกต์ใช้สมการความน่าจะเป็นจากการแจกแจงแบบทวินาม (Adaptive Binomial)

จากสมการที่ (3), (4) และ (5) เป็นการประมาณจำนวนช่องที่จะเกิดเหตุการณ์ Success Idle และ Collision ใน 1 คาบ หากนำสมการดังกล่าวมาประยุกต์ใช้และกำหนดให้ c_0 คือจำนวน IdleSlot ใน 1 คาบ c_1 คือจำนวน Success Slot ใน 1 คาบ และ c_k คือจำนวน Collision Slot ใน 1 คาบจะสามารถแจกแจงวิธีการคำนวณป้ายที่คงเหลืออยู่ในระบบ (n_{est}) ได้ดังนี้

-เมื่อ c_0 มากกว่าหรือเท่ากับ $1c_1$ เป็น 0 และ c_k เป็นค่าใดๆ จะได้ว่า

$$n_{est} = \left(\log_{1-\frac{1}{L}} \frac{c_0}{L} \right) - C_1 \quad (10)$$

-เมื่อ c_0 เท่ากับ 0 และ c_1 มากกว่า 1 และ c_k เป็นค่าใดๆ และ $W(x)$ คือ Lambert W function จะได้ว่า

$$n_{est} = \left(\frac{w \left(\frac{c_1 \times (N-1) \times \log \frac{L-1}{L}}{L} \right)}{\log \frac{L-1}{L}} \right) - C_1 \quad (11)$$

-เมื่อ c_0 และ c_1 มากกว่า 1 และ c_k เป็นค่าใดๆ จะได้ว่า

$$n_{est} = \left(\left(\frac{L \times c_1}{c_0} \right) \times \left(1 - \frac{1}{L} \right) \right) - C_1 \quad (12)$$

-เมื่อ c_0 และ c_1 เป็น 0 และ c_k เป็นค่าใดๆ จะได้ว่า

$$n_{est} = 2 \times c_k \quad (13)$$

หลังจากคำนวณป้ายที่คงเหลือในระบบเรียบร้อยแล้วให้ทำการปิดเศษผลลัพธ์ดังกล่าวให้เป็นเลขจำนวนเต็มตามหลักการปิดเศษเลขคณิตแบบสมมาตร แล้วคำนวณหาค่า Q ตามสมการที่ (8) เช่นเดียวกันกับวิธี Collision Multiplier

4. ผลการจำลองการทำงาน

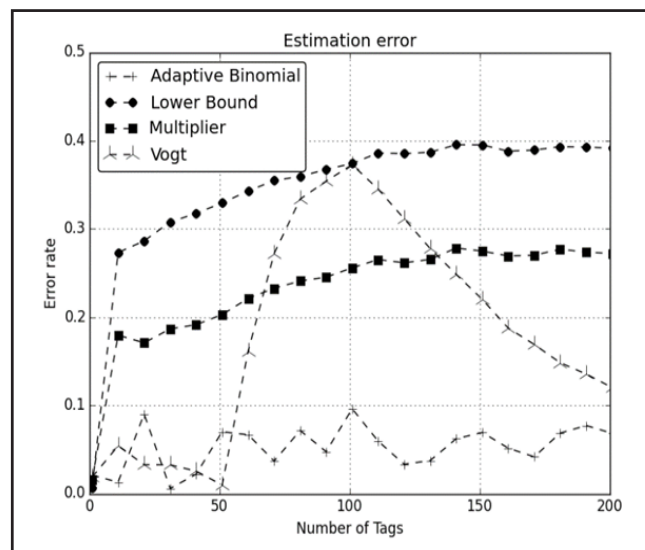
ผู้วิจัยทำการทดลองตามหลักการวิเคราะห์เชิงตัวเลขโดยใช้โปรแกรม Python 3 ร่วมกับไลบรารี SciPy และ NumPy ระยะเวลาที่ใช้ในแต่ละเหตุการณ์ได้อ้างอิงตามมาตรฐาน EPC C1G2 การทดลองแบ่งเป็นสองส่วนคือการทดลองเพื่อ

เปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณจำนวนป้ายที่คงเหลืออยู่ในระบบ ส่วนที่สองคือการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการอ่านป้าย

ผู้วิจัยได้ทำการเปรียบเทียบความแม่นยำในการประมาณจำนวนป้ายที่คงเหลืออยู่ในระบบโดยการจำลองการทำงานของโพรโตคอล EPC C1G2 แต่ในทุกๆ ครั้งที่จบคาบการอ่านหนึ่งคาบ ผู้วิจัยได้นำวิธีการประมาณค่าแบบ Lower Bound, Vogt, Collision Multiplier และ Adaptive Binomial มาทำการประมาณจำนวนช่องสัญญาณที่คงเหลืออยู่ในระบบแล้วเปรียบเทียบกับจำนวนป้ายที่คงเหลืออยู่จริง แล้วคิดค่าความผิดพลาดจากสมการที่ (14)

$$\text{estimation error rate} = \left| \frac{n - n_{est}}{n} \right| \quad (14)$$

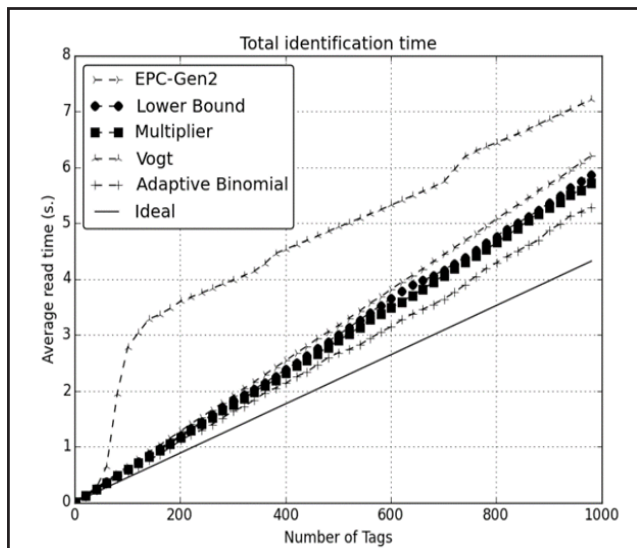
โดยจำลองการทำงานเมื่อมีป้ายอยู่ในระบบตั้งแต่ 1 ป้าย จนถึง 200 ป้าย เพิ่มขึ้นทีละ 1 ป้าย แต่ละจำนวนป้ายที่เพิ่มขึ้นได้จำลองการทำงานอย่างละ 1,000 ครั้ง แล้วทำการเฉลี่ยผลลัพธ์ที่ได้ ผลการจำลองการทำงานแสดงดังภาพที่ 3 สามารถวิเคราะห์ได้ว่า การประมาณค่าแบบ Lower Bound มีความแม่นยำต่ำที่สุดคือประมาณ 30-40% การประมาณค่าของ Vogt จะมีความแม่นยำสูงในช่วงไม่เกิน 50 ป้าย และประมาณค่าผิดพลาดสูงมากเมื่อมีป้ายอยู่ในระบบประมาณ 100 ป้าย การประมาณค่าแบบ Collision Multiplier ประมาณค่าผิดพลาดประมาณ 20-30% และวิธี Adaptive Binomial ประมาณค่าได้ใกล้เคียงที่สุดคือประมาณ $\pm 10\%$



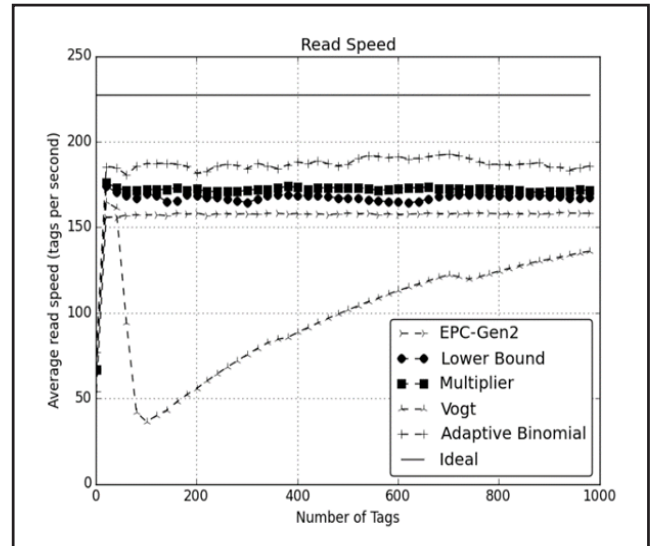
ภาพที่ 3 อัตราความผิดพลาดเฉลี่ยในการประมาณจำนวนป้ายที่คงเหลือในระบบ



ในลำดับถัดไป ผู้วิจัยได้จำลองการทำงานตามวิธีการทั้ง 6 แบบ ประกอบด้วยวิธี EPC C1G2, Lower Bound, Vogt, Collision Multiplier และ Adaptive Binomial รวมถึงระยะเวลาโดยรวมในอุดมคติ (Ideal) ซึ่งเป็นผลการอ่านในกรณีที่ไม่เกิด Collision หรือ Idle และสามารถอ่านได้สำเร็จภายใน 1 คาบสัญญาณเพื่อทำการเปรียบเทียบระยะเวลาที่ใช้ในการอ่านป้ายทั้งหมดโดยจำลองการทำงานเมื่อมีป้ายอยู่ในระบบตั้งแต่ 1 ป้าย จนถึง 1,000 ป้าย เพิ่มขึ้นทีละ 1 ป้าย แต่ละจำนวนป้ายที่เพิ่มขึ้นได้จำลองการทำงานอย่างละ 1,000 ครั้ง แล้วทำการเฉลี่ยผลลัพธ์ที่ได้ผลการจำลองการทำงานได้แสดงในภาพที่ 4 แสดงให้เห็นว่าวิธี Adaptive Binomial ใช้เวลาในการอ่านป้ายทั้งหมดในระบบดีที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบเป็นความเร็วในการอ่านป้ายซึ่งแสดงดังภาพที่ 5 แสดงให้เห็นว่าวิธี Collision Multiplier ใช้ระยะเวลาในการอ่านป้ายใกล้เคียงกันกับวิธี Lower Bound โดยใช้ระยะเวลาในการอ่านน้อยกว่าวิธี EPC C1G2 คิดเป็น 6.22% โดยเฉลี่ยและวิธี Adaptive Binomial สามารถอ่านป้ายในระบบได้มากที่สุดถึง 180 ป้ายต่อวินาทีโดยใช้ระยะเวลาในการอ่านน้อยกว่าวิธี EPC C1G2 คิดเป็น 18.83% โดยเฉลี่ย



ภาพที่ 4 ระยะเวลาในการอ่านป้ายทั้งหมดในระบบโดยเฉลี่ย



ภาพที่ 5 ความเร็วในการอ่านป้ายทั้งหมดในระบบโดยเฉลี่ย

5. บทสรุป

งานวิจัยชิ้นนี้ได้ทำการศึกษางานของระบบ RFID ตามมาตรฐาน EPC C1G2 โดยสร้างโปรแกรมจำลองการทำงานของโปรโตคอล EPC C1G2 และนำเสนอวิธีการประมาณจำนวนช่องสัญญาณที่เหมาะสมที่ทำให้ระยะเวลาในการอ่านป้ายรวมน้อยที่สุดด้วยวิธี Adaptive Binomial จากการจำลองการทำงานแสดงให้เห็นว่า วิธี Adaptive Binomial สามารถอ่านป้ายได้เร็วกว่าวิธี EPC C1G2 และสามารถนำวิธี Adaptive Binomial ปรับใช้ในเครื่องอ่านตามมาตรฐาน EPC C1G2 ได้โดยไม่ต้องแก้ไขตัวป้ายแต่อย่างใด

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] ปิยะ โควินท์ทวิวัฒน์ และคณะ. ระบบบ่งชี้เฉพาะด้วยคลื่นความถี่วิทยุ Radio Frequency Identification (RFID) System, สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ, ปทุมธานี, 2552
- [2] L. Bolotnyy and G. Robins. "The Case for Multi-Tag RFID Systems." In *Proceedings of the International Conference on Wireless Algorithms, Systems and Applications*, 2007.
- [3] www.zebra.com, "FX9500 Fixed RFID Reader." Available Online at <https://www.zebra.com/us/en/products/rfid/rfid-readers/fx9500.html>, April 3, 2015, Zebra Technologies Corporation.



- [4] EPCglobal. EPC radio-frequency identity protocols class1 generation 2 at 860 MHz-960 MHz, version 1.2.0, Oct. 2008.
- [5] T. Chang and L. Jia. "Analysis and Simulation of RFID Anti-collision Algorithms." *In Proceedings of the 4th IEEE International Conference on Autonomic Computing*, 2007.
- [6] D. J. Deng and H. W. Tsao. "Optimal Dynamic Framed Slotted ALOHA Based Anti-Collision Algorithm for RFID Systems." *Wireless Personal Communications*, Vol.59, pp. 109-122, 2011.
- [7] H. Vogt. "Multiple Object Identification with Passive RFID Tags." *In Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, 2002.
- [8] H. Vogt. "Efficient Object Identification with Passive RFID Tags." *In Proceedings of the International Conference on Pervasive Computing 2002*. pp. 98-113, 2002.
- [9] W.-T Chen and W.-B. Kao. "A novel Q-algorithm for EPCglobal Class-1 Generation-2 Anti-collision Protocol." *International Scholarly and Scientific Research and Innovation 2011*, Vol.5, No. 6, pp. 667-670, 2011.
- [10] L. Jia and Z. Youguang. "The analysis of anti-collision algorithm based on timeslot in RFID system." *In Proceedings of the Communication and Network Conference*, 2006.
- [11] K. T. Dheeraj et al. "On the Accuracy of RFID Tag Estimation Functions." *In Proceedings of the International Symposium on Communications and Information Technologies (ISCIT 2007)*, pp. 1401-1406, 17-19 Oct. 2007.