

โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่

สำหรับระบบ Active RFID

A New Anti-Data Collision Protocol for Active RFID Systems

อศวิน ก๊กก้อง สุวิพล สิริชชีวะภาค

สาขาวิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

ปัญหาที่สำคัญในระบบ active Radio Frequency Identification (active RFID) คือ การชนกันของข้อมูล เมื่อแท็กหลายตัวส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านในเวลาเดียวกัน โปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลที่นิยมใช้คือ โปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA) จะให้ผลดีเมื่อแท็กมีจำนวนน้อยกว่า หรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุด แต่เมื่อแท็กมีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ดังนั้นบทความนี้นำเสนอโปรโตคอลป้องกันการชนกันของข้อมูลใหม่เรียกว่า โปรโตคอล Dynamic P-persistent Frame Slotted Aloha (DP-FSA) โดยนำหลักการของ P-persistent มาใช้ในการจำกัดจำนวนแท็กที่ส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านให้เท่ากับจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่านคือ เครื่องอ่านจะสร้างค่า P-persistent ให้กับแท็กเพื่อใช้ในการตัดสินใจส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่าน 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 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. บทนำ

Radio Frequency Identification (RFID) คือ ระบบบ่งชี้ข้อมูลของวัตถุด้วยคลื่นความถี่วิทยุ มีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ เครื่องอ่านและแท็กส์ โดยแท็กส์จะเป็นตัวเก็บข้อมูลของวัตถุซึ่งจะถูกนำไปติดไว้กับวัตถุต่างๆ เมื่อได้รับสัญญาณจากเครื่องอ่าน แท็กส์จะส่งข้อมูลไปยังเครื่องอ่าน โดยอาศัยคลื่นความถี่วิทยุ 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

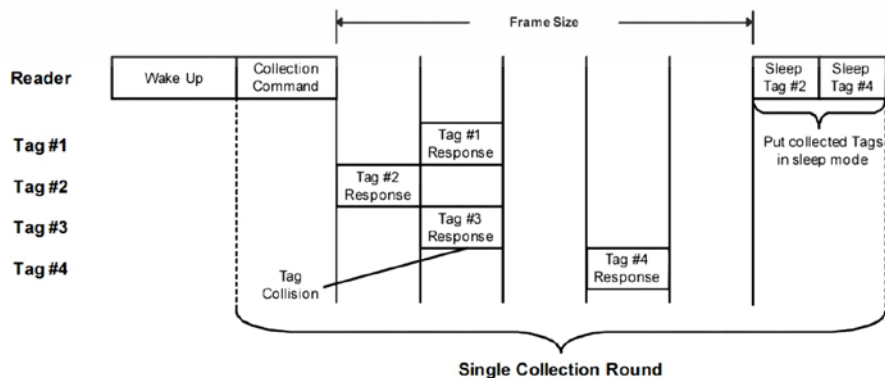
ในการรับส่งข้อมูลระหว่างเครื่องอ่านกับแท็กส์จะมีปัญหาที่สำคัญ คือ การชนกันของข้อมูล เมื่อแท็กส์จำนวนมากส่งข้อมูลตอบสนองไปยังเครื่องอ่านพร้อมกัน ทำให้มีโอกาสที่แท็กส์มากกว่าหนึ่งตัวจะส่งข้อมูลในสล็อตเดียวกันมากขึ้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีโปรโตคอลที่ใช้สำหรับป้องกันการชนกันของข้อมูล จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า โปรโตคอลที่ใช้นิยมใช้สำหรับการชนกันของข้อมูล 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] จะมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลให้เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ จะให้ผลดีเมื่อแท็กส์มีจำนวนน้อยกว่า หรือเท่ากับจำนวนสล็อตสูงสุด ดังนั้นเมื่อแท็กส์มีจำนวนมากกว่าจำนวนสล็อตสูงสุดจึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น

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

2. โปรโตคอล Dynamic Frame Slotted Aloha (DFSA)

โปรโตคอล DFSA เป็นโปรโตคอลสำหรับป้องกันการชนกันของข้อมูล นำเสนอไว้ใน [3] ที่มีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตให้เหมาะสมกับจำนวนของแท็กส์ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูล



รูปที่ 1 การทำงานของโปรโตคอล DFSA

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับใช้ภายในเพื่อการศึกษาเท่านั้น เมื่ออนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำงานของโปรโตคอล DFSA เครื่องอ่านจะทำการกระตุ้นแท็กส์ทุกตัวที่อยู่ในบริเวณสนามแม่เหล็กไฟฟ้าให้ตื่นจากสภาวะสงบนิ่งก่อน จากนั้นเครื่องอ่านจะเริ่มตื่นรอบการอ่านด้วยการส่งสัญญาณคำสั่ง 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 เมื่อสิ้นสุดรอบการอ่าน เครื่องอ่านจะทำการประมาณค่าจำนวนแท็กส์ที่เหลือ 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)

ในระบบ active RFID ในแต่ละรอบของการอ่านข้อมูลสามารถคำนวณการตอบสนองของระบบได้ดังนี้

ไม่ว่าการณ์ใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อกำหนดให้ N คือ จำนวนสล็อต, n คือ จำนวนแท็กส์ ที่ทำการตอบสนอง 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 ในแต่ละรอบของการอ่านจะแปรผันตามอัตราส่วนของจำนวนสล็อตต่อจำนวนแท็กส์ในรอบการอ่านนั้นๆ คือ $P = N/n$ เมื่อแท็กส์แต่ละตัวได้รับค่า P-persistent แล้วจะทำการสุ่มค่า

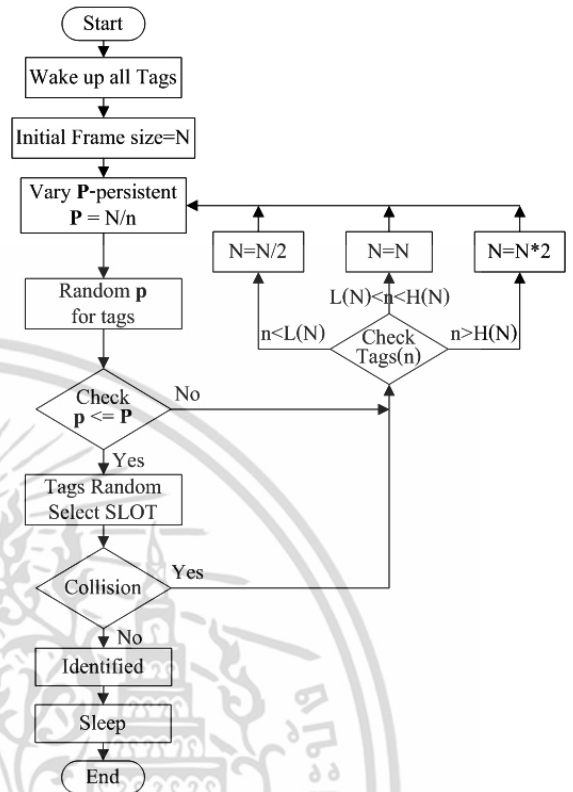
ความน่าจะเป็น p ในช่วง $0-1$ ถ้าแท็กส์มีการสุ่มได้ค่า $p \leq P$ แท็กส์จะทำการตอบสนองทันทีเมื่อได้รับคำสั่งจากเครื่องอ่าน หากเกิดการชนกันของข้อมูล แท็กส์จะหยุดการทำงานทันทีและจะรอสุ่มค่าใหม่ในรอบการอ่านถัดไป แต่หากสุ่มได้ $p > P$ นั้นหมายความว่า เมื่อแท็กส์ได้รับคำสั่งจากเครื่องอ่านแล้วจะยังไม่ทำการตอบสนองในทันที 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 โดยใช้ข้อมูลจากการอ่านรอบที่ผ่านมาเพื่อเลือกจำนวนสล็อตที่เหมาะสมกับจำนวนแท็กส์ในรอบการอ่านถัดไป จากนั้นเครื่องอ่านจะทำการอ่านข้อมูลในรอบ

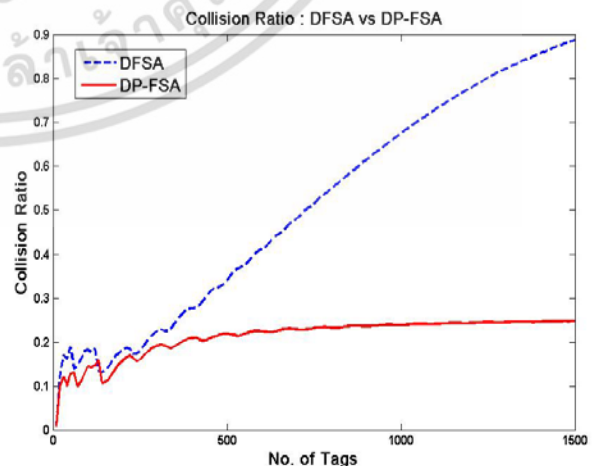
ถัดไปเรื่อยๆ จนกว่าเครื่องอ่านจะได้รับข้อมูลจากแท็กส์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 2 โพลีชาร์ตแสดงการทำงานของโปรโตคอล DP-FSA

5. ผลการจำลองและวิเคราะห์ผล

ในส่วนนี้เราจะวิเคราะห์ผลการจำลองการทำงานของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA

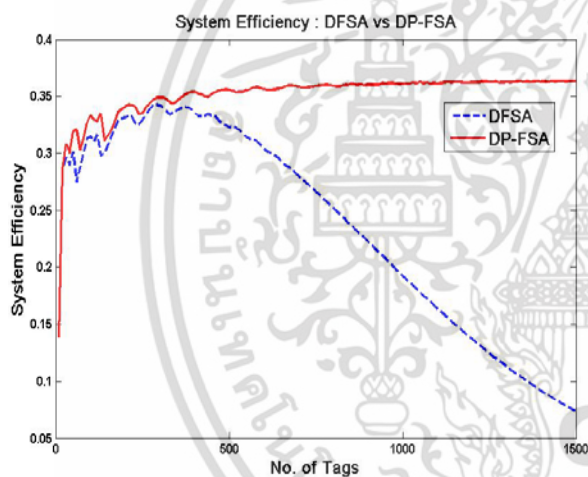


รูปที่ 3 อัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับโปรโตคอล DP-FSA

เรียนคุณป๋อ... การศึกษาเท่านั้น ไม่นอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

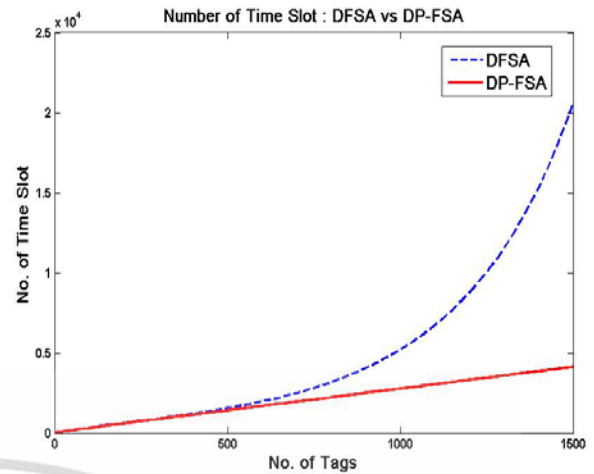
เมื่อจำนวนแท็กอยู่ในช่วง 0-256 อัตราการชนกันของข้อมูลของทั้ง 2 โพรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสวิงขึ้นลงเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน แต่เมื่อแท็กเพิ่มจำนวนมากกว่า 250 ขึ้นไป จะเห็นว่าอัตราการชนกันของข้อมูลของโปรโตคอล DFSA จะเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง เนื่องจากจำนวนแท็กเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจำนวนสล็อตสูงสุด $N=256$ จึงทำให้มีการชนกันของข้อมูลเพิ่มมากขึ้น ในขณะที่โปรโตคอล DP-FSA จะมีอัตราการชนกันของข้อมูลคงที่ประมาณ 24% เนื่องจากในทุกรอบของการอ่านข้อมูล จำนวนแท็กที่ตอบสนองจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อต ด้วยค่าของ P-persistent ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่ทำให้ระบบมีประสิทธิภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 3



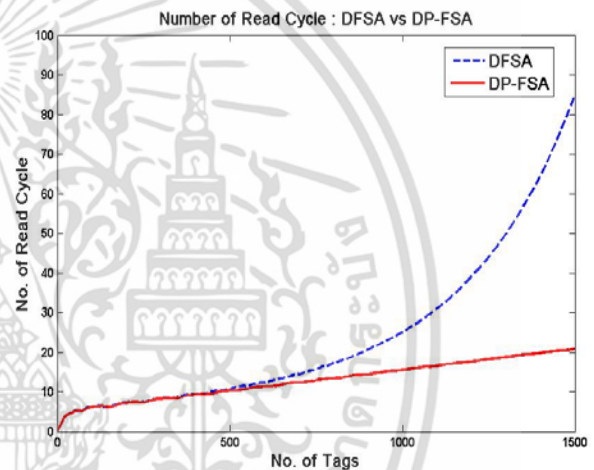
รูปที่ 4 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับ โปรโตคอล DP-FSA

เมื่อจำนวนแท็กอยู่ในช่วง 0-256 ประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โพรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกันและมีค่าสวิงขึ้นลงเปลี่ยนแปลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น เนื่องจากระบบมีการเปลี่ยนแปลงจำนวนสล็อตในแต่ละรอบของการอ่าน แต่เมื่อแท็กเพิ่มจำนวนมากกว่า 256 ขึ้นไป จะเห็นว่าโปรโตคอล DFSA จะมีประสิทธิภาพการอ่านข้อมูลลดลง เนื่องจากจำนวนแท็กเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจำนวนสล็อตสูงสุด $N=256$ ทำให้มีการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ในขณะที่โปรโตคอล DP-FSA จะมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นเข้าใกล้ค่าประสิทธิภาพสูงสุดตาม

ทฤษฎี คือ 36% ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 5 จำนวนสล็อตที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับ โปรโตคอล DP-FSA



รูปที่ 6 จำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของโปรโตคอล DFSA เปรียบเทียบกับ โปรโตคอล DP-FSA

เมื่อจำนวนแท็กอยู่ในช่วง 0-500 จำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลของทั้ง 2 โพรโตคอลจะมีค่าใกล้เคียงกัน แต่เมื่อแท็กเพิ่มจำนวนมากกว่า 500 ขึ้นไป จะเห็นว่าโปรโตคอล DP-FSA จะใช้จำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลน้อยกว่าอย่างเห็นได้ชัดและค่าดังกล่าวจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแบบเชิงเส้น เนื่องจากในทุกรอบของการอ่านข้อมูล จำนวนแท็กที่ตอบสนองจะถูกจำกัดให้เท่ากับจำนวนสล็อต ด้วยค่าของ P-persistent ในขณะที่โปรโตคอล DFSA ค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอกซ์โพเนนเชียล เนื่องจากจำนวนแท็กเพิ่มขึ้นมากกว่าค่าจำนวนสล็อตสูงสุด $N=256$ จึงทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลมากขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

ไม่ว่าการฉ้อโกง ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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 ค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบที่ใช้ในการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆแบบเชิงเส้น ในขณะที่โปรโตคอล DFSA ค่าจำนวนสล็อตและจำนวนรอบในการอ่านข้อมูลจะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วแบบเอกซ์โพเนนเชียล

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] K. Finkenzellere, "RFID Handbook Fundamentals and Application in Contactless Smart Cards and Identification," 2003.
- [2] ISO/IEC 18000-7, Information technology - Radio frequency identification (RFID) for item management - Part 7: Parameters for active air interface communications at 433MHz, August, 2004.
- [4] H. Vogt, "Efficient Object Identification with Passive RFID tags," In International Conference on Pervasive Computing, Zurich, pp.98-113, 2002.

[5] T. Pawasopon and S. Sittichivapak, "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, pp.896-899, May, 2009.

- [6] William Feller, "An Introduction to probability Theory and its Applications Vol.1 Third Edition," John Wiley & Sons, Inc., 1968.