

การวิเคราะห์ประสิทธิภาพชุดโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อ คลื่นพาห้ในระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต

Analysis of Performance of Carrier Sense Multiple Access Protocol in Packet Communication Systems

อภิษฎา ทองรักษ์

สาขาวิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร
1381 ถนนพิบูลสงคราม แขวงบางซื่อ เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800
E-mail: aphichata.t@rmutp.ac.th

และ สุชาดา สิทธิจึงสถาพร

สถาบันวิศวกรรมมหานคร (MII) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร
140 ถนนเชื่อมสัมพันธ์ แขวงกระทุ่มราย หนองจอก กรุงเทพฯ 10530
E-mail: ssuchada@mut.ac.th

Manuscript received November 14, 2017

Revised December 2, 2017

บทคัดย่อ

โพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่มที่มีการใช้งานอย่างกว้างขวางในระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต ได้แก่ โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห้ และโพรโทคอลการเข้าถึงที่ไวต่อการยับยั้ง โดยเป็นโพรโทคอลที่พัฒนาเพื่อที่จะใช้ตรวจสอบช่องสื่อสารก่อนการส่งสัญญาณ ระบบของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห้นั้นออกแบบมาเพื่อลดการชนกันของข้อมูลในขณะที่ทำการรับส่งข้อมูลถ้าพบว่าตัวกลางว่าง ส่วนโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้ง โดยเป็นโพรโทคอลที่พัฒนาเพื่อที่จะใช้แสดงสถานะการมีอยู่หรือไม่มีอยู่ของผู้ใช้ช่องสัญญาณในขณะนั้น ๆ ระบบของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งนั้นออกแบบมาเพื่อลดการชนกันของข้อมูลในขณะที่ทำการรับส่งข้อมูลถ้าเทอร์มินอลทั้งสองออกจากกันแล้วบทความนี้จะกล่าวถึงการศึกษาเพื่อหาประสิทธิภาพทางคุณลักษณะของวิสัยสมารถของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห้นี้เทียบกับทราฟฟิกใช้งาน จากการจำลองการทำงาน พบว่าวิสัยสมารถที่ได้จากโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห้และโพรโทคอลที่ไวต่อการยับยั้ง สามารถปรับปรุงสมรรถนะการทำงานได้ดีมากขึ้น

คำสำคัญ: โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห้ โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้ง การเข้าถึงหลายทาง ระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต

ABSTRACT

Random access protocol as Carrier Sense Multiple Access (CSMA) and Inhibit Sense Multiple Access (ISMA) have been widely used in packet communication systems. The key feature of CSMA development is that each link with a pair of transmitter and receiver senses the medium and transmits a packet only if the medium is sensed idle. CSMA system has been designed as random access protocols in order to avoid the collision of packets by the absence of an acknowledgment packet for the receiving station. The key feature of ISMA development is that the access point sends a signal 'idle' when the access point is not receiving any packets. ISMA system has been designed as random access protocols in order to avoid the collision of packets if two terminals are out of range of each other. This paper presents the study about throughput of CSMA system for the offered traffic. Simulation results show that the throughput of CSMA system achieves well performance compared with the conventional multiple access protocol.

Keywords: *Carrier Sense Multiple Access (CSMA), Inhibit Sense Multiple Access (ISMA), Multiple Access Protocol, Packet communication systems*

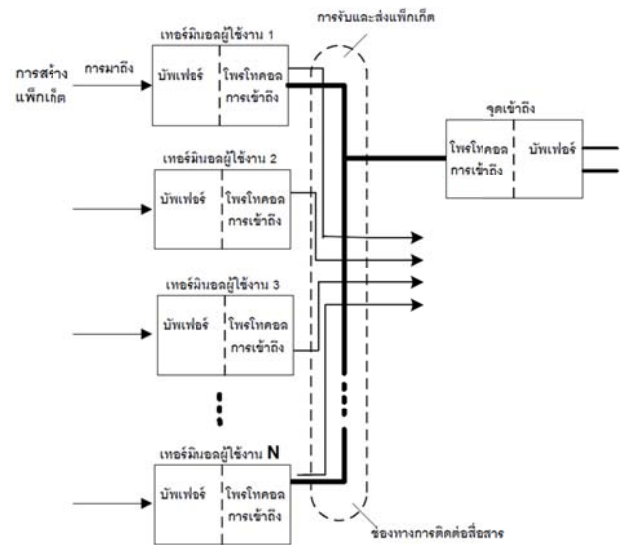
1. บทนำ

โพรโทคอลควบคุมการเข้าถึงตัวกลางในโครงข่ายแบบเข้าถึงหลายทาง (Multiple access network) ได้มีการออกแบบเพื่อใช้งานช่องสัญญาณร่วมกัน โดยโพรโทคอลที่นำมาใช้ในระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต (Packet communication systems) ได้แก่ โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางแบบช่วงชิงกัน (Contention multiple access protocol) [1] - [3] บทความนี้จะกล่าวถึงโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random access protocols) ได้แก่ โพรโทคอลโลฮา (ALOHA protocol) โพรโทคอลโลฮาแบบร่อง (slotted ALOHA protocol) และ โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์ (Carrier Sense Multiple Access protocol: CSMA protocol) [4], [5] โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้ง (Inhibit Sense Multiple Access protocol: ISMA protocol) โดยจะศึกษาเพื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิสัยสามารถของแต่ละชนิดโพรโทคอลเทียบกับทราฟฟิกใช้งาน โดยจะศึกษาเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิสัยสามารถของแต่ละชนิดโพรโทคอลเทียบกับทราฟฟิกใช้งาน โดยในหัวข้อที่ 2 จะอธิบายเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการจำลองการทำงานต่อมาหัวข้อที่ 3 จะกล่าวถึงรายละเอียดคร่าว ๆ ของโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่มแต่ละชนิด ในหัวข้อที่ 4 จะแสดงการวิเคราะห์เพื่อหาค่าวิสัยสามารถสูงสุด ในหัวข้อที่ 5 จะแสดงผลที่ได้จากการจำลองการทำงาน และสรุปผลในหัวข้อที่ 6

2. เงื่อนไขที่เกี่ยวข้องในการจำลองการทำงาน (Universal condition in the computer simulation)

2.1 การกำหนดค่าของระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต (Configuration of the packet communication systems)

สำหรับการกำหนดค่าสำหรับจำลองการทำงานของระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต [1] นั้น เทอร์มินอลแต่ละผู้ใช้งานเข้าถึงจุดเข้าถึง (access point) โดยใช้โพรโทคอลการเข้าถึง ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 การกำหนดค่าของระบบสื่อสารข้อมูลแบบแพ็กเก็ต

2.2 ทราฟฟิกใช้งาน (Offered traffic)

ทราฟฟิกใช้งานในหัวข้อนี้ จะกล่าวถึงจำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดรวมถึงแพ็กเก็ตที่มีการสร้างขึ้นใหม่เมื่อมีการส่งแพ็กเก็ตซ้ำ (retransmission packets) ที่จุดเข้าถึงในช่วงเวลานั้น ๆ โดย G เป็นทราฟฟิกใช้งานด้วยอัตราการส่งข้อมูลหนึ่ง ๆ (transmission data rate) คำนวณได้จาก

$$G = \frac{T_t}{R} \quad (1)$$

เมื่อ R เป็น อัตราการส่งข้อมูล หน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps) และ T_t เป็นบิตที่มีการร้องขอในการส่ง หน่วยเป็น บิต (bit)

2.3 วิสัยสามารถ (Throughput)

วิสัยสามารถ จะกล่าวถึง จำนวนแพ็กเก็ตทั้งหมดของแพ็กเก็ตที่ทำการส่งไปยังจุดเข้าถึงได้สำเร็จในช่วงเวลานั้น ๆ โดย S เป็นวิสัยสามารถด้วยอัตราการส่งข้อมูลหนึ่ง ๆ คำนวณได้จาก

$$S = \frac{T \times n}{R_t} \quad (2)$$

เมื่อ R_i เป็นจำนวนของข่าวสาร (information) ในแพ็กเก็ต หน่วยเป็น บิตต่อวินาที (bps) และ T เป็นจำนวนบิต และ n เป็นจำนวนแพ็กเก็ตที่ส่งได้สำเร็จ

สังเกตได้ว่า ถ้าแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดสามารถส่งไปได้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ ค่า S จะมีค่าเป็น 1 และถ้าแพ็กเก็ตข้อมูลทั้งหมดที่ส่งไปเกิดจากเสียหายจากการชนกันของข้อมูล (collision) ค่า S จะมีค่าต่ำสุดเป็น 0

3. โพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่ม (Random Access Protocol)

3.1 โพรโทคอลโลฮา (ALOHA protocol)

โพรโทคอลโลฮา [1] จะมีการทำงานแสดงในรูปที่ 2 ดังนี้ เมื่อเทอร์มินอลจะต้องทำการส่งแพ็กเก็ต เทอร์มินอลนั้นจะทำการซิงกับเทอร์มินอลอื่นๆเพื่อที่จะเข้าถึงยังช่องสัญญาณ ถ้าเทอร์มินอลได้รับการตอบรับภายในระยะเวลาที่รอ หมายความว่า ทำการส่งสำเร็จ ถ้าไม่ได้รับการตอบรับ เทอร์มินอลจะทำการส่งแพ็กเก็ตเดิมซ้ำอีกครั้ง หากส่งไม่สำเร็จหลายๆครั้ง เทอร์มินอลจะยกเลิกการส่งแพ็กเก็ต

วิสัยสามารถ (S) ของโพรโทคอลโลฮาสำหรับทราฟฟิกใช้งาน (G) สามารถคำนวณได้จาก

$$S = G e^{-2G} \quad (3)$$

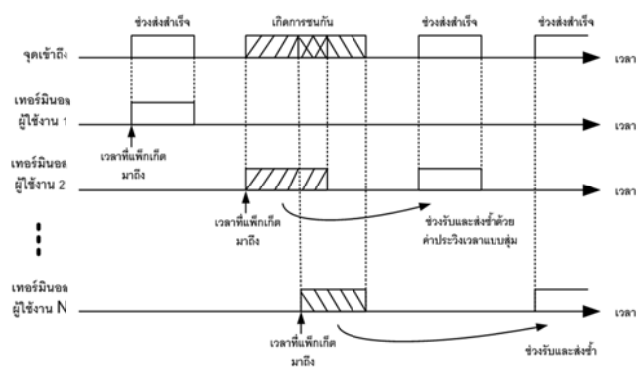
สังเกตว่า โพรโทคอลโลฮาจะมีค่าวิสัยสามารถสูงที่สุด เท่ากับ 0.18 [2] ดังนั้นจึงมีการพัฒนาเพื่อปรับปรุงขึ้นเป็นโพรโทคอลโลฮาแบบร่อง (slotted ALOHA)

3.2 โพรโทคอลโลฮาแบบร่อง (slotted ALOHA protocol)

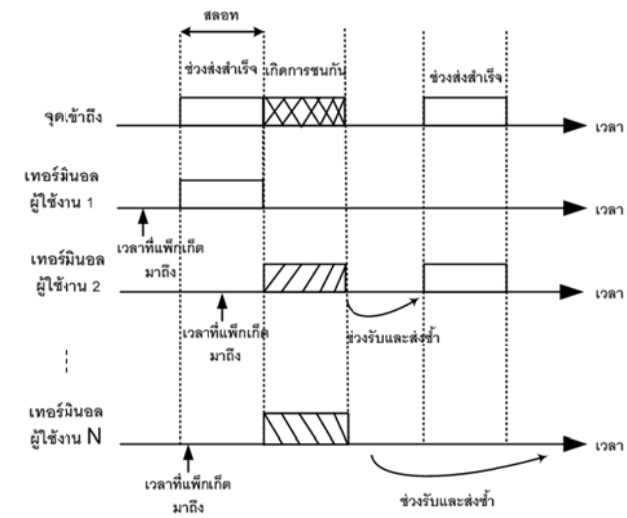
โพรโทคอลโลฮาแบบร่อง [1] จะมีการทำงานแสดงในรูปที่ 3 เป็นโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของโพรโทคอลโลฮาให้ดีขึ้น โดยมีการแบ่งเวลาในช่องสัญญาณให้เป็นร่องหรือช่องสม่ำเสมอ (uniform slots) ที่มีขนาดเท่ากับระยะเวลาในการส่งแพ็กเก็ต

วิสัยสามารถ (S) ของโพรโทคอลโลฮาแบบร่องสำหรับทราฟฟิกใช้งาน (G) สามารถคำนวณได้จาก

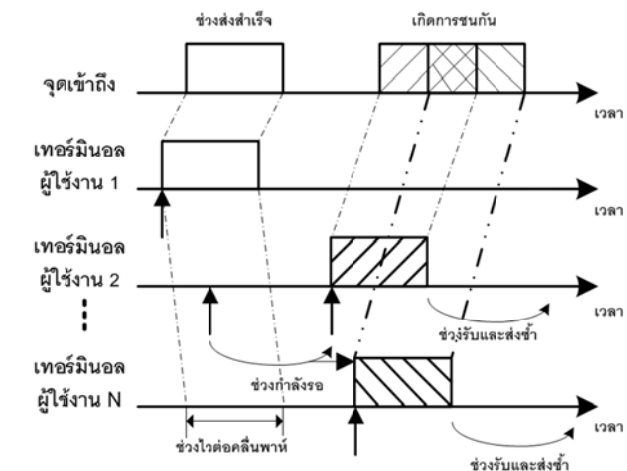
$$S = G e^{-G} \quad (4)$$



รูปที่ 2 โพรโทคอลโลฮา



รูปที่ 3 โพรโทคอลโลฮาแบบร่อง



รูปที่ 4 โพรโทคอลเอ็นพี-ซีเอสเอ็มเอ

3.3 โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์แบบไม่ยืนกราน หรือ โพรโทคอลเอ็นพี-ซีเอสเอ็มเอ (Non-persistent Carrier Sense Multiple Access protocol : np-CSMA protocol)

โพรโทคอลเอ็นพี-ซีเอสเอ็มเอ [1] จะมีการทำงานแสดง ในรูปที่ 4 ดังนี้ เทอร์มินอลต้องการส่งแพ็กเก็ตจะเริ่มตรวจสอบตัวกลาง ถ้าตัวกลางว่าง (idle) เทอร์มินอลจึงส่งแพ็กเก็ตไป ถ้าเกิดเหตุการณ์ที่เทอร์มินอลมากกว่า 2 เทอร์มินอลพยายามส่งแพ็กเก็ตในเวลาเดียวกัน จะเป็นผลให้เกิดการชนกันของข้อมูล (collision) ดังนั้นโพรโทคอลจะมีการตรวจสอบโดย ถ้าตัวกลางว่างอยู่ จึงทำการส่งแพ็กเก็ต แต่ถ้าตัวกลางไม่ว่าง จะรอเพื่อประวิงเวลาในการส่งแพ็กเก็ตใหม่ และเริ่มทำซ้ำอีกครั้ง

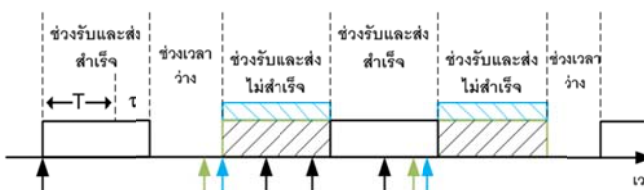
วิสัยสามารถ (S) ของโพรโทคอลเอ็นพี-ซีเอสเอ็มเอ สำหรับ ทราฟฟิกใช้งาน (G) สามารถคำนวณได้จาก

$$S = \frac{G e^{-aG}}{G(1+2a)+e^{-aG}} \quad (5)$$

เมื่อ a เป็นเวลาที่ใช้ในการประวิงเวลา (propagation delay)

3.4 โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์ชนิดไม่ยืนกรานแบบร็อง (Slotted non-persistent Carrier Sense Multiple Access protocol : Slotted np-CSMA protocol)

โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์ชนิดไม่ยืนกรานแบบร็อง [6] จะมีการทำงานแสดงในรูปที่ 5 เป็นโพรโทคอลที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานเดิมของโพรโทคอลไอเอสเอให้ดีขึ้น โดยมีการแบ่งเวลาในช่องสัญญาณให้เป็นร็องหรือช่องสม่ำเสมอ (uniform slots) ที่มีขนาดเท่ากับระยะเวลาในการส่งแพ็กเก็ต



รูปที่ 5 ช่วงเวลาในการทำงานของโพรโทคอล slotted np-CSMA

วิสัยสามารถ (S) ของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาห์ชนิดไม่ยืนกรานแบบร็อง สำหรับ ทราฟฟิกใช้งาน (G) สามารถคำนวณได้จาก

$$S = \frac{aG \cdot e^{-aG}}{1 + a - e^{-aG}} \quad (6)$$

เมื่อ a เป็นเวลาที่ใช้ในการประวิงเวลา (propagation delay)

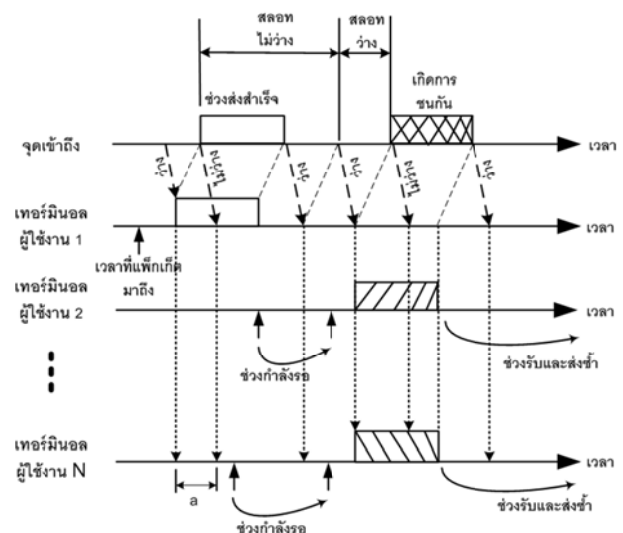
3.5 โพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งชนิดไม่ยืนกรานแบบร็อง (Slotted non-persistent Inhibit Sense Multiple Access protocol : Slotted np-ISMA protocol)

โพรโทคอลSlotted np-ISMA [1] จะมีการทำงานแสดงในรูปที่ 6 ในขณะที่แต่ละเทอร์มินอลมีการสร้างข้อมูลแพ็กเก็ตนั้น แต่ละเทอร์มินอลจะส่งสัญญาณยับยั้ง (inhibit) ถ้าเทอร์มินอลใด ๆ ได้รับสัญญาณว่าง (idle) เทอร์มินอลนั้นจะทำการส่งข้อมูลแพ็กเก็ตในช่องเวลา (slot) ถัดไปในกรณีเดียวกัน ถ้าเทอร์มินอลใด ๆ ได้รับสัญญาณไม่ว่าง (busy) เทอร์มินอลนั้น ๆ จะไม่ส่งข้อมูลแพ็กเก็ตออกไปและจะรอจนกระทั่งช่องเวลาถัดไป

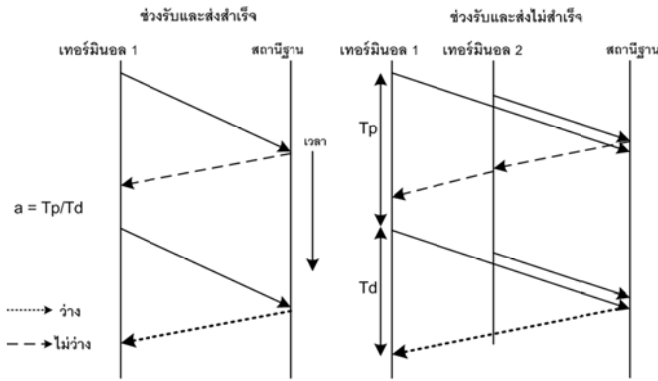
จากรูปที่ 7 ความยาวของช่วงเวลาว่าง (idle period) จะเกิดขึ้นอย่างน้อย 1 ช่องเวลา ถ้าช่วงเวลาว่างมี 1 ช่องเวลา หมายความว่า จะมีช่วงเวลาว่างที่มาถึงจะต้องมี 1 ช่องเวลา และถ้าช่วงเวลาว่างเป็น 2 ช่องเวลา หมายความว่า ช่วงเวลาว่างที่มาถึงจะอยู่ในช่วงเวลาที่ 2 จากเงื่อนไขดังกล่าว สามารถพิจารณาได้จาก ขบวนการจัดตารางแบบพิวซอง (Poisson scheduling process) ดังนี้

$$I = \frac{a}{1 - e^{-aG}} \quad (7)$$

โดยที่ a เป็น เวลาประวิงแบบนอร์มาไลซ์ (Normalised propagation delay)



รูปที่ 6 โพรโทคอล Slotted np-ISMA



รูปที่ 7 ช่วงเวลาในการทำงานของโปรโตคอล Slotted np-ISMA

การชนกันจะเกิดขึ้นเมื่อข้อมูลแพ็กเก็ตมากกว่า 2 ชุดมาถึงในช่องเวลาเดียวกันและจะมีการจัดส่งออกในช่องเวลาถัดไป ดังนั้นช่วงเวลาไม่ว่าง (B) และค่าคาดหวังของเวลาที่ใช้งานได้ (Expected useful time:U) คำนวณจาก

$$B = \frac{1+a}{e^{-aG}} \quad , \quad U = \frac{B}{1+a} P_{succ} \quad (8)$$

โดยที่ความน่าจะเป็นของเวลาที่ส่งได้สำเร็จ (P_{succ}) หาได้จาก

$$P_{succ} = \frac{aGe^{-aG}}{1-e^{-aG}} \quad (9)$$

ดังนั้น วิทยาลัยสามารถ (S) ของโปรโตคอล Slotted np-ISMA สำหรับกราฟฟิกใช้งาน (G) คำนวณได้จาก

$$S = \frac{U}{B+I} = \frac{aGe^{-aG}}{1+a-e^{-aG}} \quad (10)$$

4. การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างเข้าสู่อินฟินิตี้ (Asymptotic case)

จากสมการที่ (5) (6) และ (10) ที่ใช้ในการคำนวณหาวิทยาลัยสามารถของโปรโตคอล พบว่า เวลาที่ใช้ในการประวิงเวลา (a) มีผลต่อการคำนวณหาวิทยาลัยสามารถ (S) และจากบทความ [7] พบว่าค่า a น้อย จะให้ค่าวิทยาลัยสามารถสูง สมมติว่า ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างเข้าสู่อินฟินิตี้ แล้วจะคำนวณหาวิทยาลัยสามารถสูงสุด (S_{max}) เมื่อ ค่าประวิงเวลา (a) นั้นมีค่าเข้าใกล้ศูนย์

$$\text{Asymtotic case:} \quad \lim_{a \rightarrow 0} S_{max} \quad (11)$$

4.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาร์ซนิตไมยีนกราน (np-CSMA protocol)

วิทยาลัยสามารถสูงสุด ($S_{np-CSMA}^{max}$) เมื่อ a มีค่าเข้าใกล้ศูนย์

$$\lim_{a \rightarrow 0} S_{np-CSMA}^{max} = \lim_{a \rightarrow 0} \frac{Ge^{-aG}}{G(1+2a) + e^{-aG}}$$

$$\therefore S_{np-CSMA}^{max} = \frac{G}{G+1} \quad (12)$$

4.2 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาร์ซนิตไมยีนกรานแบบร่อง (slotted np-CSMA protocol)

วิทยาลัยสามารถสูงสุด ($S_{slotted np-CSMA}^{max}$) เมื่อ a มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะได้

$$\begin{aligned} \lim_{a \rightarrow 0} S_{slotted np-CSMA}^{max} &= \lim_{a \rightarrow 0} \frac{aG \cdot e^{-aG}}{1 + a - e^{-aG}} \\ &= \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\partial(aG \cdot e^{-aG})}{\partial a} / \frac{\partial(1 + a - e^{-aG})}{\partial a} \\ &= \lim_{a \rightarrow 0} \frac{Ge^{-aG}(1-aG)}{1 + Ge^{-aG}} \\ \therefore S_{slotted np-CSMA}^{max} &\approx \frac{G}{1+G} \quad (13) \end{aligned}$$

4.3 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งชนิตไมยีนกรานแบบร่อง (slotted np-ISMA protocol)

วิทยาลัยสามารถสูงสุด ($S_{slotted np-ISMA}^{max}$) เมื่อ a มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะได้

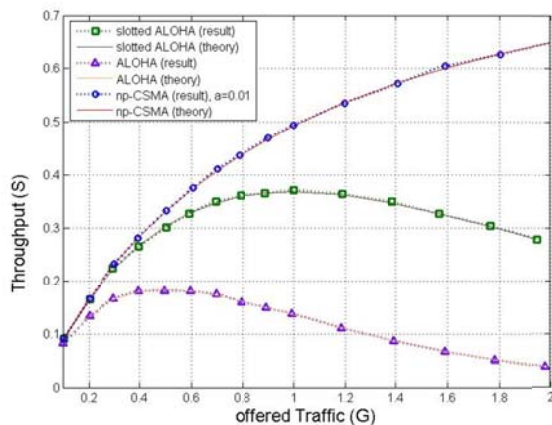
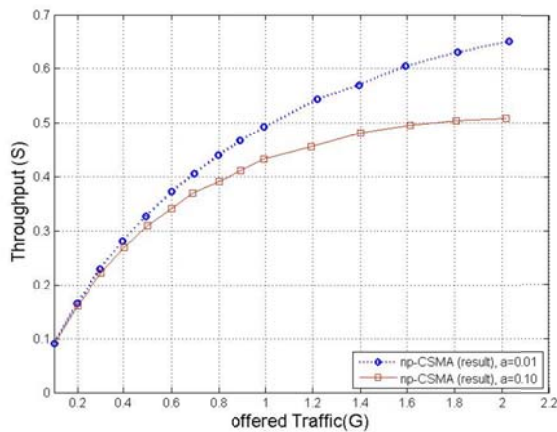
$$\begin{aligned} \lim_{a \rightarrow 0} S_{slotted np-ISMA}^{max} &= \lim_{a \rightarrow 0} \frac{aG \cdot e^{-aG}}{1 + a - e^{-aG}} \\ &= \lim_{a \rightarrow 0} \frac{\partial(aG \cdot e^{-aG})}{\partial a} / \frac{\partial(1 + a - e^{-aG})}{\partial a} \\ &= \lim_{a \rightarrow 0} \frac{Ge^{-aG}}{1 + Ge^{-aG}} \\ \therefore S_{slotted np-ISMA}^{max} &\approx \frac{Ge^{-aG}}{1+Ge^{-aG}} \quad (14) \end{aligned}$$

5. ผลการจำลองการทำงาน

เงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการจำลองการทำงาน ดังแสดงในตารางที่ 1 [1] เพื่อใช้ศึกษาประสิทธิภาพของโปรโตคอล np-CSMA เทียบกับโปรโตคอล ALOHA และโปรโตคอล slotted ALOHA โปรโตคอล np-CSMA เทียบกับโปรโตคอล slotted np-ISMA และ โปรโตคอล np-CSMA เทียบกับโปรโตคอล slotted np-CSMA

ตารางที่ 1 เงื่อนไขการจำลองการทำงาน [1]

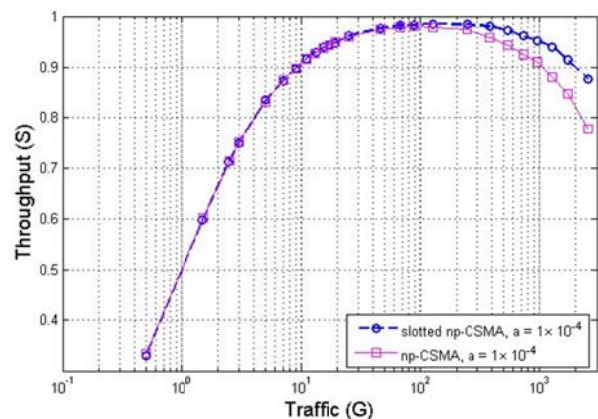
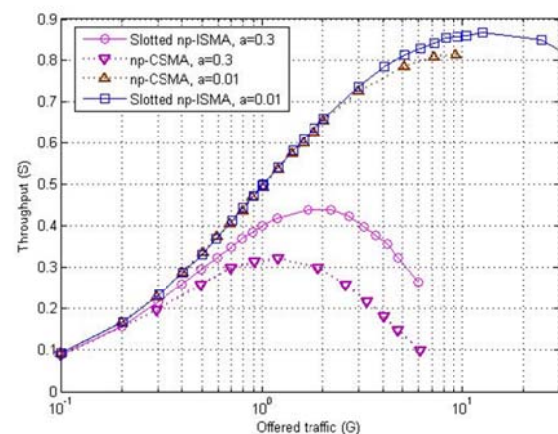
รัศมีการให้บริการ (Service area radius)	100m
ความสูงของจุดเข้าถึง	5m
จำนวนเทอร์มินอล	100
อัตราสัญลักษณ์ (Symbol rate)	256 k symbol/second
ความยาวของแพ็กเก็ต	128 symbol
อัตราบิต (Bit rate)	512kB/second

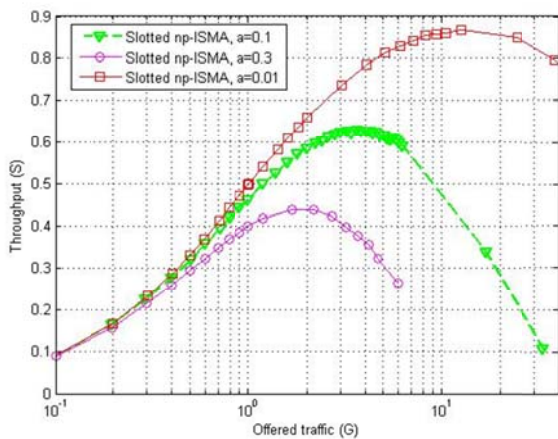
รูปที่ 8 วิสัยความสามารถของโพรโทคอลทั้ง 3 แบบโดยแสดงค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานและค่าที่ได้จากการคำนวณทางทฤษฎี เมื่อ $a = 0.01$ รูปที่ 9 วิสัยความสามารถของโพรโทคอล np-CSMA โดยแสดงค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อมีค่า a ต่างกัน

รูปที่ 8 เปรียบเทียบวิสัยความสามารถที่ได้จากโพรโทคอล np-CSMA เทียบกับโพรโทคอล ALOHA และ โพรโทคอล slotted-ALOHA เมื่อกำหนด a เป็นเวลาประวิงการแพร่กระจายนอร์มาไลซ์ (Normalized propagation delay) มีค่าเป็น 0.01 พบว่าโพรโท

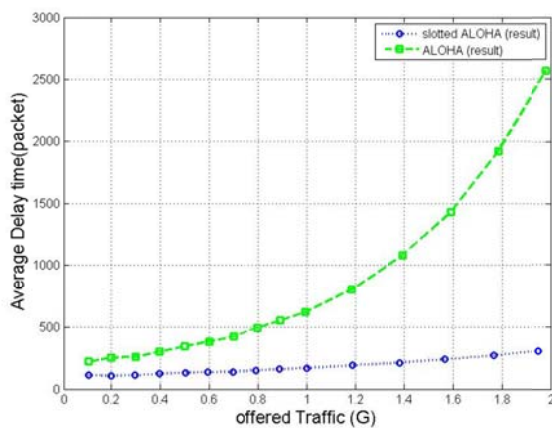
คอล np-CSMA แสดงให้เห็นชัดเจนว่าสามารถปรับปรุงสมรรถนะเป็นอย่างมาก และค่าวิสัยความสามารถที่มากที่สุด (Maximum throughput) ของโพรโทคอล np-CSMA จะขึ้นอยู่กับค่า a [4],[5] จากการจำลองการทำงานดังแสดงในรูปที่ 9 เปรียบเทียบวิสัยความสามารถที่ได้จากโพรโทคอล np-CSMA แสดงให้เห็นว่า ถ้า $a = 0.01$ จะได้ค่าวิสัยความสามารถสูงกว่า $a = 0.10$

รูปที่ 10 เปรียบเทียบวิสัยความสามารถที่ได้จากโพรโทคอล np-CSMA และ Slotted np-CSMA เมื่อกำหนด a มีค่าเป็น 1×10^{-4} พบว่าโดยค่าวิสัยความสามารถที่มากที่สุดของโพรโทคอลทั้งสองมีค่าใกล้เคียงกัน และโพรโทคอล Slotted np-CSMA แสดงให้เห็นชัดเจนว่าสามารถปรับปรุงสมรรถนะเป็นอย่างมากเมื่อทราบฟิกใช้งานมีค่ามากขึ้น และในรูปที่ 11 เปรียบเทียบวิสัยความสามารถที่ได้จากโพรโทคอล np-CSMA และ Slotted np-CSMA เมื่อ a มีค่าต่างกัน แสดงให้เห็นว่า ถ้าค่า a น้อย จะให้ค่าวิสัยความสามารถสูงกว่าค่า a มากอย่างมีนัยสำคัญ

รูปที่ 10 วิสัยความสามารถของโพรโทคอล np-CSMA และ Slotted np-CSMA เมื่อ $a = 1 \times 10^{-4}$ รูปที่ 11 วิสัยความสามารถของโพรโทคอล np-CSMA และ Slotted np-CSMA เมื่อ $a = 0.01$ และ 0.3



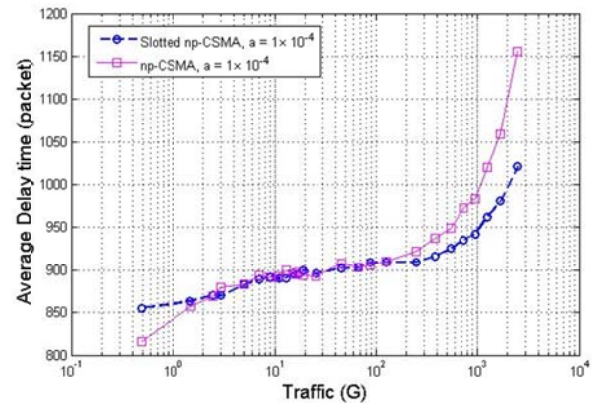
รูปที่ 12 วิสัยความสามารถของโปรโตคอล Slotted np-ISMA โดยแสดงค่าที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อมีค่า α ต่างกัน



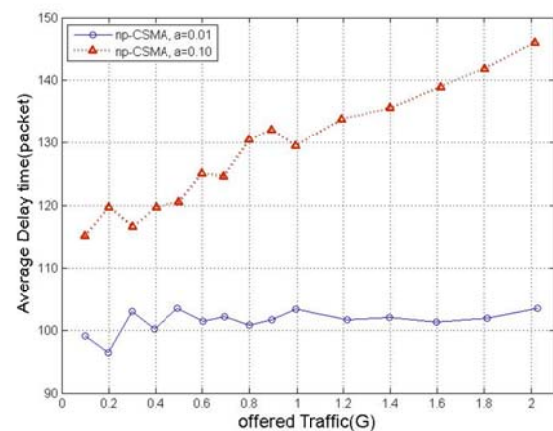
รูปที่ 13 ความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยของโปรโตคอล ALOHA และ โปรโตคอลslotted-ALOHA จากการจำลองการทำงาน

ในรูปที่ 12 เปรียบเทียบวิสัยความสามารถที่ได้จากโปรโตคอล slotted np-ISMA ที่มีค่า α ที่แตกต่างกัน พบว่า ถ้าค่า α น้อย จะให้ค่าวิสัยความสามารถสูงกว่าค่า α มากเช่นเดียวกัน ส่วนรูปที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยของโปรโตคอล ALOHA และ โปรโตคอล slotted-ALOHA พบว่า โปรโตคอล slotted-ALOHA มีการปรับปรุงการทำงานจากโปรโตคอล ALOHA ทำให้ความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยลดลงกว่าโปรโตคอล ALOHA จากรูปที่ 14 พบว่า โปรโตคอล np-CSMA ที่มีค่า α แตกต่างกัน โดยโปรโตคอล np-CSMA ที่มีค่า $\alpha = 0.01$ จะมีความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยน้อยกว่าโปรโตคอล np-CSMA ที่มีค่า $\alpha = 0.10$

ส่วนรูปที่ 15 เป็นการเปรียบเทียบความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยของโปรโตคอล np-CSMA และ slotted np-CSMA พบว่า กรณีที่ α มีค่าน้อยๆและทราฟฟิคมีค่าน้อยๆ โปรโตคอล np-CSMA จะใช้มีความล่าช้าเฉลี่ยในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตน้อยกว่าโปรโตคอล slotted np-CSMA แต่เมื่อทราฟฟิคมีค่ามากขึ้น พบว่า โปรโตคอล np-CSMA จะมีความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยมากกว่าโปรโตคอล slotted np-CSMA



รูปที่ 15 ความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยของโปรโตคอล np-CSMA และSlotted np-CSMA



รูปที่ 14 ความล่าช้าในการถ่ายโอนแพ็กเก็ตเฉลี่ยของโปรโตคอล np-CSMA ที่ได้จากการจำลองการทำงานเมื่อ $\alpha = 0.1$ และ 0.01

จากการวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโปรโตคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อคลื่นพาหะชนิดไม่ยืนกราน (np-ISMA) และชนิดไม่ยืนกรานแบบร่อง (slotted np-ISMA) พบว่า ในกรณีที่ขนาดของตัวอย่างเข้าสู่อินันต์และค่าประวิงเวลา (α) มีค่าเข้าใกล้ศูนย์แล้ว ค่าวิสัยความสามารถสูงสุดของโปรโตคอล np-ISMA และ slotted np-ISMA มีค่าใกล้เคียงกัน

6. สรุป

บทความนี้กล่าวถึงโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่ม โดยมีโพรโทคอล np-CSMA ซึ่งเป็นโพรโทคอลที่ปรับปรุงประสิทธิภาพจากโพรโทคอล ALOHA เพื่อให้ได้ค่าวิสัยสามารถสูงขึ้น และเมื่อมีการปรับปรุงโพรโทคอล np-CSMA เป็นโพรโทคอล slotted np-CSMA พบว่าที่ค่าประวิงเวลาที่มีค่าเท่ากัน ค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอล slotted np-CSMA จะสูงกว่าโพรโทคอล np-CSMA โดยสรุปได้ว่าค่าวิสัยสามารถของโพรโทคอลการเข้าถึงแบบสุ่ม ขึ้นอยู่กับค่าเวลาประวิงการแพร่กระจายนอร์มาไลซ์ (α) โดยถ้า α มีค่าน้อย จะให้ค่าวิสัยสามารถมีค่ามาก เมื่อ α มีค่ามาก ค่าวิสัยสามารถที่ได้จะมีค่าน้อยอย่างมีนัยสำคัญ

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร ที่ได้ให้การสนับสนุนการตีพิมพ์บทความทางวิชาการในครั้งนี้ด้วยดีมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- [1] H. Harada and R. Prasad, *Simulation and Software Radio for Mobile Communications*, Artech House universal personal communications series, 2002.
- [2] วาทีต เบญจพลกุล, *การสื่อสารข้อมูลและโครงข่าย (Data Communication and Network)*, สนพ.จุฬาลงกรณ์, 2555.
- [3] M. Hofmann, *Content Networking: Architecture, Protocols and practice*, AbeBooks, 2005.
- [4] H. Li and N. Vaidya, "Optimal CSMA-based wireless communications with worse case delay and non-uniform sizes", *IEEE INFOCOM*, 2014, pp. 2526-2534.
- [5] B. Nardelli, et al, "Experiment Evaluation of Optimal CSMA", *IEEE INFOCOM*, 2011, pp. 1188-1196.
- [6] J.Galtier, "Analysis of the slotted non-persistent CSMA protocol with Poissonian packet size using a semi-Markov graph representation", *IEEE ICTON*, 2006, pp. 258-262.
- [7] สุชาดา ลิทธิจงสถาพร และ อภิษฎา ทองรักษ์, "การวิเคราะห์ประสิทธิภาพของโพรโทคอลการเข้าถึงหลายทางที่ไวต่อการยับยั้งในระบบสื่อสารแบบแฟกเกต", *ECTI-CARD*, หัวหิน, 2559.



อภิษฎา ทองรักษ์ จบการศึกษาคณะวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้าสื่อสาร) จากสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ และ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์) จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์และโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร



สุชาดา ลิทธิจงสถาพร จบการศึกษาวิศวกรรมศาสตร-ดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า) จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร ปัจจุบันเป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานครและได้รับตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์