การวิเคราะห์กระบวนการการเข้าถึงหลายสล็อตแบบแรมดอมค่า p-persistent สำหรับโครงข่าย DOCSIS

Analysis of p-persistent random slot multiple accesses algorithm for DOCSIS Network

ธัญวรัตน์ ภาวะโสภณ สุวิพล สิทธิชีวภาค

ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

บทคัดย่อ

โครงข่ายใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (Hybrid Fiber Coax : HFC) เป็นเทคโนโลยีโครงข่ายที่มีการเข้าถึงแบบแถบกว้างซึ่งมีใช้กันอย่างแพร่หลาย โปรโตคอล Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) เป็นมาตรฐานที่ไม่มีการกำหนดอย่างเป็นทางการแต่มีการใช้กันอย่างแพร่หลายจนกลายเป็นที่ยอมรับกันทั่วไปในอุตสาหกรรมสายเคเบิ้ลสำหรับโครงข่ายใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC) ในบทความนี้ได้เสนอ กระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงการร้องขอและกระบวนการแก้ไขการชนกันเมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นที่ง่าย ซึ่งเรียกว่า กระบวนการเข้าถึงหลายสล็อตแบบแรนดอมค่า p-persistent เมื่อ p คือค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้แต่ละรายต้องการส่งการร้องขอ โดยกระบวนการนี้เป็นกระบวนการเลือกสล็อตย่อย (mini-slot) อย่างแรนดอม นอกจากนี้ เรายังได้แสดงผลการจำลองค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเฉลี่ยเวลาหน่วง (Average Time Delay) ที่หาได้ไว้อีกด้วย

คำสำคัญ: p-persistent Algorithm, slot multiple accesses, DOCSIS, Cable Modem, HFC Network

Abstract

Hybrid Fiber Coax (HFC) Network is a widely-used technology of broadband access network. The Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) protocol is the *de facto* standard in the cable industry for HFC network. In this paper, we proposed simple contention resolution algorithm and collisions resolution process when collisions occur, called p-persistent random slot multiple accesses algorithm, where p is the probability of transmission required for each user. This algorithm is randomly selected for a mini-slot process. In addition, we also show the simulation results of the throughput and theaverage time delay.

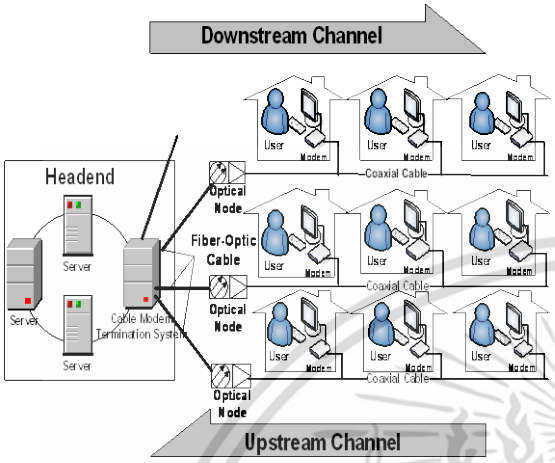
Key Words: p-persistent Algorithm, slot multiple accesses, DOCSIS, Cable Modem, HFC Network

1. บทนำ

Data-Over-Cable Service Interface Specifications (DOCSIS) [1] เป็นมาตรฐานที่นิยมใช้กันโดยทั่วในในอุตสหกรรมสายเคเบิลสำหรับโครงข่ายใยแก้วผสมแกนร่วม (Hybrid Fiber Coax: HFC) ซึ่งโครงข่ายใยแก้วผสมแกนร่วมนี้มีโครงสร้างเป็นรูปแบบเฉพาะคือเป็นแบบต้นไม้และกิ่ง (Tree and Branch) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยมี Head end เป็นศูนย์กลางเครือข่ายและแต่ละกิ่งจะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประกอบไปด้วยเคเบิลโมเด็มแต่ละตัวที่อยู่ที่บ้านแต่ละหลัง โครงข่ายใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วมนี้จะประกอบไปด้วย ช่องสัญญาณขาขึ้น (upstream) และช่องสัญญาณขาลง (downstream)



รูปที่ 1 โครงข่ายใยแก้วผสมแกนร่วม(HFC)

ช่องสัญญาณ downstream เป็นช่องแพร่สัญญาณที่ถูกใช้โดยระบบสถานีปลายทางเคเบิลโมเด็ม (Cable Modem Terminal System: CMTS) ซึ่งเป็นตัวเชื่อมต่อ (Interface) ระหว่าง Head end กับ เคเบิลโมเด็ม (CMs) แต่ละตัว ซึ่งจะอยู่ที่ Head end เท่านั้น ในขณะที่ช่องสัญญาณ upstream จะถูกใช้โดย CMs ทุกตัว เพื่อส่งการร้องขอไปยัง CMTS เท่านั้น

ช่องสัญญาณ upstream นั้นได้ถูกแบ่งเป็นสล็อตของเวลาไม่ต่อเนื่อง (Discrete time slot) เรียกว่า mini-slot [2] โดย Head end ได้กำหนดให้ mini-slot บางสล็อตเป็นสล็อตที่มีการช่วงชิง (contention slot) ซึ่งเป็น mini-slot ที่มีความยาว 1 สล็อตนั้นจะถูกใช้ในการส่งการร้องขอแบนด์วิดธ์ และบางสล็อตเป็นสล็อตของข้อมูล (Data slot) ซึ่งเป็น mini-slot ที่มีความยาวหลายสล็อตถูกใช้สำหรับการส่งข้อมูล ดังนั้นจึงมีเพียง contention slot เท่านั้นที่มีแนวโน้มที่จะเกิดการชนกันขึ้น ซึ่งการชนกันจะเกิดขึ้นก็ต่อเมื่อมีสถานีมากกว่า 1 สถานีพยายามที่จะส่งการร้องขอไปใน contention slot เดียวกัน Head end จะควบคุมการเข้าใช้ contention slot โดยการกำหนดค่าคิวในการร้องขอ (Request Queue Values) ไปที่แต่ละ contention slot หลังจากที่ Head end ได้รับ contention slot อย่างสมบูรณ์แล้ว มันจะใช้ช่องสัญญาณ downstream ส่งการตอบกลับว่าได้รับแพ็กเกจข้อมูลแล้วไปบน contention slot ที่ไปยังแต่ละสถานีปลายทาง การตอบกลับทำให้ทราบว่ามี contention slot ใดบ้างที่ว่าง ส่งได้สำเร็จหรือเกิดการชนกันขึ้น

การไหลของช่องสัญญาณ upstream ต้องการกลไก MAC (Medium Access Control) [3] ในการส่งข้อมูลระดับเดียวกัน MAC เป็นสิ่งที่ใช้ควบคุมการจัดสรรแบนด์วิธของตัวกลางของ upstream โดยเฉพาะ และการจัดการของโปรโตคอล MAC ได้แบ่งแยกระหว่างเคเบิลโมเด็มแต่ละตัว และตัวควบคุม Head end เพราะส่วนมากการจัดสรรแบนด์วิธและกระบวนการจัดการกำหนดลำดับการจราจรถูกควบคุมโดย Head end ในระหว่างกระบวนการจัดการปกติ CMTS จะส่งข่าวสารควบคุม (control message) ซึ่งเรียกว่า MAP [4] นี้ไปในช่องสัญญาณ downstream อย่างสม่ำเสมอ ทุก ๆ CMs จะได้รับข้อความ MAP เป็นช่วง ๆ โดยข่าวสารนี้จะเป็นตัวกำหนดรายละเอียดของการจัดสรรแบนด์วิธของ upstream ที่ใช้ร่วมกัน ถ้ามี CM บางตัวต้องการร้องขอการจัดสรรจะต้องมีการช่วงชิงเพื่อที่จะมีสิทธิในการเข้าถึง ซึ่งจะระบุลงไปใน MAP ด้วยเช่นกัน ถ้าผลการร้องขอเกิดการชนกัน MAC จะเริ่มนำเอากระบวนการแก้ไขปัญหาการชนกันมาใช้

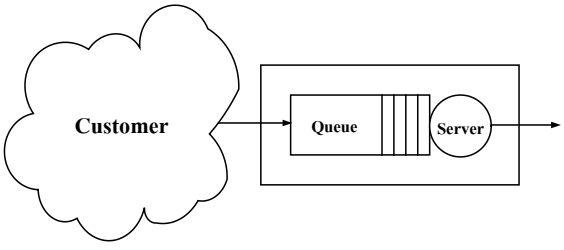
ในการแก้ไขปัญหาการชนกันในโปรโตคอล DOCSIS นั้นนิยมใช้กระบวนการแก้ไขปัญหาที่เรียกกันว่ากระบวนการไบนารีเอ็กโพเนนเชียลแบ็กออฟ (BEB) [5] มาใช้แก้ไขปัญหาซึ่งกระบวนการ BEB นี้เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นมันจะทำการเพิ่มขนาดช่อง back-off ขึ้นเป็น 2 เท่า ทำให้สิ้นเปลืองแบนด์วิดธ์มากขึ้นโดยไม่จำเป็น ดังนั้นในบทความนี้เราจึงได้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหา ที่เรียกว่า กระบวนการการเข้าถึงหลายสล็อตแบบแรนดอมค่า p-persistent [6] โดยกระบวนการนี้จะเป็นการสุ่มค่า $p\,(0 < p \le 1)$ ของแต่ละสถานีปลายทางที่มีการร้องขอเพื่อที่จะส่งข้อมูล และแต่ละสถานีปลายทางจะต้องทำการส่งค่า p ไปยังผู้ให้บริการก่อนที่สถานีนั้น ๆ จะทำการทดลองส่ง จำนวนที่ถูกสร้างขึ้นอย่างแรนดอมนี้ระหว่าง 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถึง 1 นี้ ถ้าสถานีใดที่มีค่า p มากกว่า 0.5 สถานีนั้นจะได้สิทธิในการส่ง ถ้าไม่เช่นนั้นสถานีนั้นจะต้องรอ ซึ่งจะอธิบายกระบวนการของอัลกอริทึมนี้อย่างละเอียดและแสดงการวิเคราะห์ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) และค่าเวลาหน่วง (Delay) ของกระบวนการนี้ในหัวข้อต่อไป

2. การวิเคราะห์กระบวนการการเข้าถึงหลายสล็อตแบบแรนดอมค่า p-persistent

ใน DOCSIS นั้นเราถือได้ว่า CMTS เป็นผู้ให้บริการ (Server) เพียงจุดเดียว และ CM ก็คือลูกค้า (Customers) จำนวน n คนที่เข้ามาใช้บริการ ซึ่งหมายถึงมีขนาดลูกค้าเป็นแบบไม่จำกัด ในทำนองเดียวกันระบบของ DOCSIS ก็มีความจุของระบบที่ไม่จำกัดด้วย และเมื่อกำหนดให้กฎในการควบคุมคิวเป็นแบบมาก่อนออกก่อน (First-in first-out) คือ CM ตำแหน่งใดส่งการร้องขอไปยัง CMTS ก่อนก็จะมีสิทธิในการส่งข้อมูลก่อนนั่นเอง เมื่อทำการพิจารณาคุณสมบัติข้างต้นแล้วจะได้ว่า DOCSIS มีระบบคิวที่มีกระบวนการเข้าถึงเป็นกระบวนการปัวส์ซอง (Poisson process) [7] ดังนั้นจะได้รูปแบบของระบบคิวดังแสดงในรูปที่ 2 ความต้องการใช้บริการของระบบจะมาจากลูกค้าที่ไม่จำกัด การเข้ามาถึงของลูกค้าเป็นการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม [8] ด้วยค่าเฉลี่ยขาเข้า (Ta) เมื่อลูกค้าเข้ามาถึง ถ้าผู้ให้บริการว่างก็สามารถเข้ารับบริการได้ แต่ถ้าผู้ให้บริการไม่ว่างก็ต้องรอเข้าคิวนั้น ซึ่งระบบคิวที่ได้ถูกนำเสนอในบทความอื่น ๆ [4,7,8] นั้น จะมีระบบคิวหลายรูปแบบ ไม่ว่าจะเป็นแบบ M\M\1\B [4], Geom/G/1 [7] และ MMAP[C]/M[C]/1 [8] แต่โดยรวมแล้วระบบคิวทุกรูปแบบจะเป็นระบบคิวที่มีผู้ให้บริการเพียง 1 ผู้ให้บริการเท่านั้น ดังนั้น จึงสามารถเขียนสัญลักษณ์แทนโมเดลของผู้ให้บริการเดียวได้อย่างง่าย ๆ ดังนี้



รูปที่ 2 รูปแบบของระบบคิว

ในระบบจะมีเหตุการณ์ 2 อยู่เหตุการณ์ คือ เหตุการณ์ที่ 1 แทนสถานะการเข้ามาถึง และเหตุการณ์ที่ 2 แทนสถานะการรับบริการ เริ่มแรกระบบจะมีการสร้างความต้องการใช้บริการเข้ามาในระบบเพื่อกระตุ้นให้เกิดการให้บริการ จากนั้นจะเข้าสู่กระบวนการพิจารณาในเหตุการณ์ที่ 1 โดยกำหนดให้การเข้าถึงมีการแจกแจงแบบยูนิฟอร์ม เมื่อมีลูกค้าเข้ามา ระบบจะตรวจสอบว่าขณะนี้มีลูกค้ารายอื่นใช้บริการอยู่หรือไม่ ถ้าผู้ให้บริการว่างหรือไม่มีผู้ใช้บริการอยู่ ลูกค้าสามารถเข้าไปใช้บริการได้ทันที แต่ถ้าผู้ให้บริการไม่ว่างต้องให้ลูกค้าเข้าคิวเพื่อรอใช้บริการ เมื่อทำการตรวจสอบสถานะการเข้าถึงในเหตุการณ์ที่ 1 เสร็จแล้วก็จะเข้าสู่เหตุการณ์ที่ 2 ต่อไป

ในเหตุการณ์ที่ 2 ซึ่งเป็นสถานะการรับบริการนั้นระบบจะทำการตรวจสอบดูว่ามีจำนวนของลูกค้าเข้ามาในระบบทั้งหมดเท่าไร และมีลูกค้ากี่รายที่ต้องการจะใช้บริการ หรือก็คือมี CM กี่ตัวที่มีการช่วงชิงการร้องขอ mini-slot นั่นเอง โดยจะทำการสุ่ม (random) ค่าความน่าจะเป็นที่ลูกค้าแต่ละรายต้องการส่งการร้องขอ ถ้ามีลูกค้าเพียงรายเดียวที่ต้องการที่จะเข้าใช้บริการ ระบบจะให้ลูกค้ารายนั้นมีสิทธิในการเข้าใช้บริการได้ทันที แต่ถ้าในระบบมีลูกค้าหลายรายจะทำการพิจารณาจากค่า p-persistent ว่าลูกค้าแต่ละรายนั้นมีค่า p-persistent เท่าไรบ้าง แล้วจึงทำการจัดให้แพ็กเกจนั้นเข้าไปใช้บริการในสล็อตที่กำหนดไว้ คือ ถ้าความน่าจะเป็นที่สุ่มได้อยู่ในช่วง 0 – 0.1 ก็ให้เข้าใช้ในสล็อตที่ 1 อยู่ในช่วง 0.1 – 0.2 ให้ใช้สล็อตที่ 2 โดยจะทำการพิจารณาเช่นเดียวกันนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงความน่าจะเป็นในช่วง 0.9 – 1 ซึ่งก็จะให้เข้าใช้สล็อตที่ 10 นั่นเอง ถ้าเกิดมีจำนวนของลูกค้าที่จะเข้าใช้บริการมากกว่า 1 รายในสล็อตเดียวกันก็จะเกิดการชนกันขึ้น

เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้นผู้ใช้บริการเหล่านั้นจะหมดสิทธิในการเข้าใช้บริการในรอบนั้น และสล็อตที่มีการชนกันเกิดขึ้นจะถือว่าสล็อตนั้นมีความเสียหายไม่สามารถให้บริการกับผู้ใช้บริการรายอื่นได้ด้วย (ในรอบการส่งนั้น) ถ้าผู้ใช้บริการที่เกิดการชนกันเหล่านั้นต้องการที่จะเข้าใช้บริการอีกครั้ง จะต้องทำการ Back-off โดยการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สุ่มค่าเวลาที่จะเข้าใช้บริการขึ้นมาใหม่แบบเอ็กซ์โพเนนเชียลเพื่อจะได้มีสิทธิในการเข้าใช้บริการในรอบต่อไป

เราได้อาศัยสูตรต่อไปนี้ในการหาค่าวิสัยสามารถ (Throughput) T และค่าเวลาหน่วงเฉลี่ย (Average Delay) D ในการจำลองระบบปฏิบัติการ

ค่าวิสัยสามารถ (Throughput) T หาได้จาก

$$T = \frac{N_{out}}{N_{in}}$$

เมื่อ N_{out} = จำนวนของ mini-slot ที่มีผู้เข้าใช้บริการ 1 ราย

N_{in} = จำนวนของลูกค้าที่เข้าใช้บริการ

และค่าเวลาหน่วงเฉลี่ย (Average Delay) D หาได้จาก

$$D = \frac{Ts + W}{N_{out}}$$

เมื่อ Ts = เวลาในการให้บริการ (Service Time)

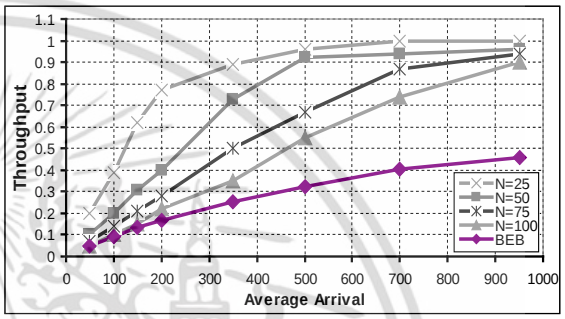
W = เวลารอคอยในระบบ (Waiting Time)

3. ผลการจำลองระบบ

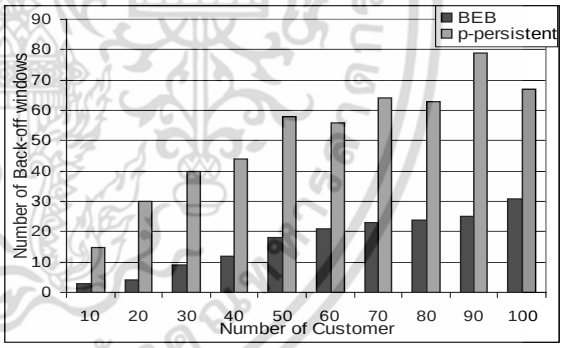
ในการจำลองระบบปฏิบัติการเป็นการพิจารณาค่าวิสัยสามารถ (throughput) และเวลาหน่วง (delay) ของระบบที่จำนวนลูกค้าในระบบ (N) แตกต่างกัน โดยกำหนดให้ จำนวนของ mini-slot = 10 slot เวลาในการจำลอง (Simulation time) = 1000 หน่วย และเวลาในการให้บริการ (Service Time) = 10 หน่วย

ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองกระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงการส่งการร้องขอด้วยกระบวนการเลือกค่าแบบแรนดอมค่า p-persistent ได้แสดงในรูปข้างล่างต่อไปนี้ ในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อระบบมีค่าเฉลี่ยขาเข้ามามากขึ้นงานที่ได้ของระบบหรือค่าวิสัยสามารถจะมีมากขึ้นด้วย ซึ่งถ้าระบบมีจำนวนของลูกค้าเพิ่มมากขึ้น จำนวนของการช่วงชิงก็จะมีมากขึ้น และเนื่องจากการช่วงชิงมีมากขึ้นจึงทำให้เกิดการชนกันมากขึ้นตามไปด้วยดังรูปที่ 4 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อจำนวนของลูกค้าในระบบมีมากขึ้นจำนวนของการ Back-off เมื่อการชนกันเกิดขึ้นจะมีจำนวนมากขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นจึงทำให้ผลลัพธ์ของงานที่ได้จากระบบจึงลดน้อยลง

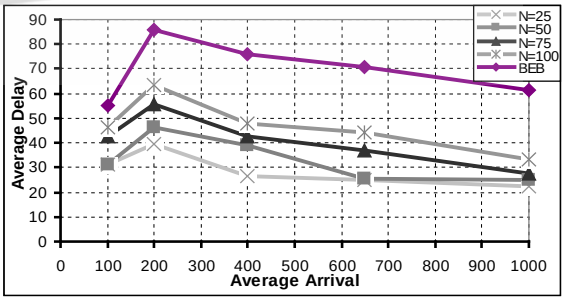
ในทางตรงกันข้าม ถ้าระบบมีค่าเฉลี่ยขาเข้ามากขึ้นเวลาในการรอคอยในระบบจะน้อยลง ยิ่งถ้ามีลูกค้าในระบบเป็นจำนวนมากเวลาในการรอคอยก็จะยิ่งน้อยลง ดังนั้นถ้าระบบมีค่าเฉลี่ยขาเข้าและจำนวนลูกค้าในระบบมาก เวลาหน่วงของระบบจะยิ่งมีค่าน้อยลง เนื่องจากค่าเวลาหน่วง (delay) คือเวลาในการให้บริการและเวลาในการรอคอย ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบค่าวิสัยสามารถ (Throughput) T และค่าเฉลี่ยขาเข้า



รูปที่ 4 จำนวนของการ Back-off เมื่อมีจำนวนลูกค้าในระบบเพิ่มมากขึ้น



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบค่าเวลาหน่วงเฉลี่ย (Average Delay) D และค่าเฉลี่ยขาเข้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สรุป

ในบทความนี้เราได้นำเสนอโครงสร้างและรูปแบบของโครงข่ายใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC) และได้นำเสนอกระบวนการแก้ไขปัญหาการช่วงชิงการส่งการร้องขอใน mini-slot สำหรับโครงข่ายใยแก้วนำแสงผสมแกนร่วม (HFC) โดยการพิจารณาค่า p-persistent ที่ได้จากการแรนดอมค่าความน่าจะเป็นที่ผู้ใช้บริการแต่รายต้องการจะส่งการร้องขอ ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ที่ง่ายไม่ซับซ้อน นอกจากนี้ยังช่วยในการลดแบนด์วิดธ์ที่สูญเสียไปกับการขยายช่องการแบ็กออฟ เมื่อมีการชนกันเกิดขึ้น และจากผลการจำลองระบบจะเห็นได้ว่ากระบวนการนี้สามารถใช้แก้ไขปัญหาการชนกันได้จริง

5. เอกสารอ้างอิง

[1] CableLabs. http://www.cablemodem.com/specificatios/specifications20.html.

[2] Mark D. Corner, Jörg Liebeherr, Nada Golmie, Chatschik Bisdikian and Davic H. Su, “A priority scheme for the IEEE 802.14 MAC protocol for hybrid fiber-coax networks,” IEEE/ACM Transactions on Networking (TON), Vol.8, No.2, pp. 200 – 211, April, 2000.

[3] C. Bisdikian, B. McNil, R. Zeisz and R. Norman, “MLAP:A MAC Lavel Access Protocol for the HFC 802.14 Network,” IEEE Communication Magazine, Vol.34, pp. 114 – 121, Mar., 1996.

[4] J. Lambert, B. Van Houdt and C. Blondia, “Dimensioning the Contention Channel of DOCSIS Cable Modem Networks,” Proceedings of Networking 2005, lecture notes in computer science, Vol.3462, pp. 342 – 357, 2005.

[5] Byung-Jae Kwak, Nah-Oak Song and Leonard E. Miller, “Performance Analysis of Exponentail Backoff ,” IEEE Transactions on Networking, Vol. 13, pp. 343 – 355, 2005.

[6] P. Mathys and P. Flajolet, “Q-ary Collision – Resolution Algorithm in Random – Access System with Free or Blocked Channel Access,” IEEE Transaction on Information Theory, Vol 31, pp. 217 – 243, Mar.,1985.

[7] N. Sai Shankar, “A new contention resolution procedure for HFC access networks and its performance evaluation,” Journal of scheduling: Kluwer Academic, Vol. 7, No.2, pp.149-167, Mar., 2004.

[8] J. Lambert, B. Van Houdt and C. Blondia, “Queues in DOCSIS cable modem networks,” Computer & Operations Research, Vol.35, pp. 2482-2496, Aug., 2007.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้