ระบบทดสอบโครงข่ายแอดฮอกไร้สายสำหรับประเมินการควบคุมจิตเตอร์ในการส่งทราฟฟิกแบบอัตราบิตคงที่

Wireless Ad-hoc Network Testbed for Jitter Control Evaluation in CBR Traffic Transmission

พนิดา วีระวุฒิพล, Sigit Basuki Wibowo และ เชาวน์ดิศ อัศวกุล

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพ 10330

E-mail:panida.ve@student.chula.ac.th, sigit.b@student.chula.ac.th, chaodit.a@chula.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการสร้างระบบทดสอบ (testbed) เพื่อประเมินผลจากการควบคุมจิตเตอร์ในโครงข่ายแอดฮอกไร้สาย ซึ่งใช้หลักการประวิงเวลาก่อนที่โหนดระหว่างทางจะส่งกลุ่มข้อมูล (packet) ที่รับมาต่อออกไป เพื่อให้ค่าจิตเตอร์ที่โหนดปลายทางมีค่าน้อยที่สุด โดยโครงข่ายที่พิจารณาประกอบด้วย 4 โหนด และเชื่อมต่อกันตามมาตรฐาน 802.11b ผ่านทางซ็อกเก็ต (socket) UDP ซึ่งในบทความนี้ได้แสดงผลจากการทดลองในระบบทดสอบ พร้อมทั้งผลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ OMNET++ เพื่อเปรียบเทียบกันด้วย โดยผลที่ได้จากทั้ง 2 การทดลองสามารถยืนยันได้ว่า วิธีการควบคุมจิตเตอร์ที่นำเสนอถึงแม้ว่าจะทำให้ค่าประวิงเวลามีค่าเพิ่มขึ้น แต่ก็ทำให้ค่าจิตเตอร์ลดลงไปมากด้วยเช่นกัน

คำสำคัญ: โครงข่ายแอดฮอกไร้สาย, ระบบทดสอบ, การควบคุมจิตเตอร์

Abstract

This paper proposes testbed implementation for evaluation of distributed jitter control in wireless ad-hoc network. The jitter control algorithm works by adding some delays of packets at intermediate node before being forwarded to the next node. It is intended to minimize end-to-end jitter. This testbed consists of four nodes connected by 802.11b standard and uses UDP socket to send packets. The testbed result is also compared to that of OMNET++ simulation. Both test platforms confirm that the distributed jitter control algorithm, while increasing the average delay, can decrease end-to-end jitter significantly.

Keywords: wireless ad-hoc network, testbed, jitter control

1 บทนำ

ทุกวันนี้เทคโนโลยีไร้สายได้มีการพัฒนาและเข้ามีบทบาทกับมนุษย์มากขึ้น ไม่ว่าจะเป็นโครงข่ายเซลลูล่าร์ โครงข่ายแลนไร้สายที่ใช้งานกันอยู่อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน รวมถึงโครงข่ายแอดฮอกที่นักวิจัยจำนวนมากกำลังให้ความสนใจ [1, 2] ที่ผ่านมามีงานเกี่ยวกับโครงข่ายแอดฮอกที่อยู่ระหว่างการกำหนดมาตรฐานและงานวิจัยที่สำคัญ เช่น โพรโทคอลจัดเส้นทาง [3, 4] การเข้าถึงช่องสัญญาณ การควบคุมคุณภาพการให้บริการ [5] ซึ่งมีวิธีการต่าง ๆ ที่นักวิจัยทำการนำเสนอ แต่ปัญหาที่สำคัญคือ จะสามารถทดสอบวิธีการนั้น ๆ ว่ามีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับการใช้งานในระบบจริงได้อย่างไร

การทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการต่าง ๆ ที่นักวิจัยนำเสนอนั้น สามารถแบ่งได้เป็น 3 วิธีหลัก ๆ คือ การจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ [6, 7, 8], การวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์ และการสร้างระบบทดสอบ [9, 10, 11] ซึ่งสองวิธีแรกเป็นวิธีที่งานวิจัยส่วนใหญ่นิยมใช้กัน เนื่องจากวิธีแรกเป็นวิธีที่ทำได้ง่ายและสามารถทำการจัดการระบบให้เป็นอย่างที่ต้องการได้ ซึ่งรวมถึงการกำหนดหรือตัดบางพารามิเตอร์ออกเพื่อทำให้ระบบจัดการได้ง่ายขึ้น เช่นเดียวกับในวิธีที่สองที่ต้องใช้การตั้งสมมติฐานเหมือนกัน ด้วยเหตุนี้จึงทำให้สองวิธีนี้อาจจะให้ผลที่คลาดเคลื่อนจากระบบจริงได้ ดังนั้นในบทความนี้จึงได้เลือกใช้การสร้างระบบทดสอบ เพราะถึงแม้ว่าจะมีความซับซ้อนมากกว่าและต้องใช้ต้นทุนสูงกว่า แต่ก็สามารถจำลองสภาพแวดล้อมต่าง ๆ ได้ใกล้เคียงกับระบบจริงมากกว่าเช่นกัน

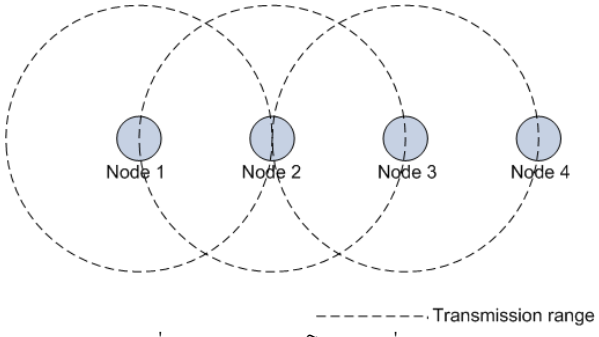
ในการให้บริการสื่อผสม (multimedia) ในปัจจุบันถือว่าเป็นที่นิยมอย่างมาก ไม่ว่าจะเป็นการเรียกดูข้อมูลภาพเคลื่อนไหว หรือการประชุมผ่านทางเครือข่าย โดยคุณภาพของการให้บริการก็ขึ้นอยู่กับหลาย ๆ ปัจจัย ทั้งการสูญหายของกลุ่มข้อมูล ค่าประวิงเวลา และจิตเตอร์ ซึ่งถือว่ามีความสำคัญมาก เนื่องจากหากจิตเตอร์มีค่ามาก จะทำให้ข้อมูลภาพหรือเสียงนั้น ๆ ไม่ต่อเนื่อง ส่งผลให้ผู้ใช้บริการเกิดความไม่พอใจได้ และที่ผ่านมางานวิจัยส่วนใหญ่ได้มุ่งเน้นไปที่การแก้ปัญหาของจิตเตอร์ในโครงข่ายอินเตอร์เน็ตแบบมีสายเท่านั้น [12, 13] ยังไม่มีงานวิจัยใดที่พิจารณาปัญหาของจิตเตอร์โดยตรงในโครงข่ายแอดฮอก

บริการสื่อผสมที่ใช้กันอยู่ทุกวันนี้ในโครงข่ายอินเตอร์เน็ต

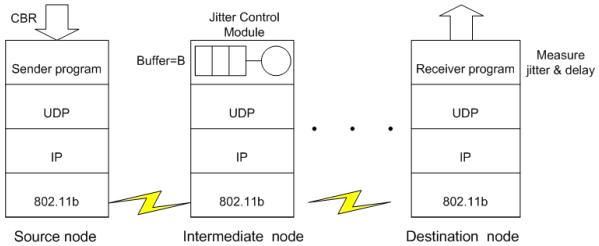
นั้น ใช้วิธีควบคุมจิตเตอร์ที่โหนดปลายทาง โดยการเก็บกลุ่มข้อมูลจำนวนหนึ่งไว้ในบัฟเฟอร์ก่อนแล้วค่อยนำออกแสดงผล ซึ่งทำได้ง่าย เนื่องจากต้องมีการจัดการที่โหนดปลายทางเท่านั้น แต่การจัดการบัฟเฟอร์ในลักษณะนี้อาจไม่เหมาะกับโครงข่ายแอดฮอกเนื่องจากเป็นโครงข่ายไร้สาย ค่าประวิงเวลามีความไม่แน่นอนสูง ประกอบกับอุปกรณ์ที่ใช้ไม่ได้มีเพียงเครื่องคอมพิวเตอร์เท่านั้น อาจจะมีอุปกรณ์ขนาดเล็กอื่น ๆ ที่มีขนาดบัฟเฟอร์ที่จำกัด ดังนั้นงานวิจัยในบทความนี้จึงได้สร้างระบบทดสอบเพื่อประเมินผลจากการใช้หลักการควบคุมจิตเตอร์แบบกระจาย (distributed jitter control) โดยให้โหนดระหว่างทางสามารถช่วยจัดการควบคุมจิตเตอร์ได้ ซึ่งทำให้โหนดปลายทางไม่จำเป็นต้องรับภาระหนักจนเกินไป และเพื่อให้ระบบจัดการได้ง่ายขึ้น ระบบทดสอบนี้จึงทำการพิจารณารูปแบบของทราฟฟิกที่ส่งเป็นแบบการส่งด้วยอัตราคงที่ (Constanst bit rate:CBR)

2 โครงสร้างของระบบทดสอบ

ระบบทดสอบที่พิจารณาประกอบไปด้วย 5 โหนด เป็นโหนดในโครงข่าย 4 โหนด และอีก 1 โหนดใช้สำหรับสร้างสัญญาณรบกวนโหนดอื่น ๆ โดยที่โหนดทั้งหมดเชื่อมต่อกันผ่านทางโครงข่ายแอดฮอกไร้สาย และกำหนดให้ว่าแต่ละโหนดจะมีโหนดข้างเคียงคือโหนดที่อยู่ติดกันเท่านั้น ดังแสดงในรูปที่ 1 ส่วนแล็ปท็อปคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในระบบทดสอบนี้ประกอบด้วย IBM 4 เครื่อง และ Compaq 1 เครื่อง ที่มีการติดตั้งระบบปฏิบัติการลีนุกซ์ Fedora core3 และ Mandrake 10.1 ส่วนการ์ดแลนไร้สายที่ใช้เป็น Intelpro 2100 และ Intelpro 2200 ซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยมาตรฐาน 802.11b โดยที่การรับส่งข้อมูลในการทดลองทั้งหมดจะกระทำผ่านทางซ็อกเก็ต และโพรโทคอลที่ใช้คือ UDP ดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1: รูปแบบของโครงข่ายที่พิจารณา



รูปที่ 2: โครงสร้างของระบบทดสอบ

3 การคำนวณจิตเตอร์ (Jitter Calculation)

จิตเตอร์ของแต่ละกลุ่มข้อมูล สามารถคำนวณได้จากสมการด้านล่างนี้ โดยที่ S_i คือ เวลาที่โหนดต้นทางส่งกลุ่มข้อมูลที่ i ออกไป และ R_i คือ เวลาที่โหนดปลายทางได้รับกลุ่มข้อมูลที่ i

$$Jitter = |(R_j - S_j) - (R_i - S_i)| = |(R_j - R_i) - (S_j - S_i)|$$

4 หลักการควบคุมจิตเตอร์

ในระบบทดสอบนี้ อาศัยหลักการควบคุมจิตเตอร์ที่โหนดระหว่างทางโดยการเก็บกลุ่มข้อมูลเข้าบัฟเฟอร์ซึ่งมีค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (threshold) เท่ากับ B โดยในระบบทดสอบนี้กำหนดให้ B = 10 กลุ่มข้อมูล มอดูลควบคุมจิตเตอร์จะทำหน้าที่เก็บกลุ่มข้อมูลที่เข้ามาจนกระทั่งจำนวนกลุ่มข้อมูลสะสม k มีค่าเกินจากขีดเริ่มเปลี่ยน B หลังจากนั้นจึงเริ่มทยอยส่งต่อกลุ่มข้อมูลออกไปด้วยอัตราคงที่ = $1/\tau$ กลุ่มข้อมูล/มิลลิวินาที เพื่อทำให้ค่าจิตเตอร์มีค่าน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ แต่ในขณะเดียวกันค่าประวิงเวลาก็จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แต่ยังอยู่ในระดับที่ยอมรับได้ เช่น ในการเรียกดูภาพเคลื่อนไหว ถึงแม้ว่าจะรอนานกว่าเดิมเล็กน้อยในช่วงต้น แต่จังหวะการเล่นต่อเนื่อง ก็สามารถทำให้ผู้ใช้บริการพอใจได้มากกว่า หลักการควบคุมจิตเตอร์ดังที่กล่าวมาสามารถแสดงการทำงานได้ดังนี้

```
initialization: i = 0, j = 0, k = 0
if (receive packet = yes)
   buffer[j] = packet
   j = j+1; k = k+1;
skip the lower loop until k = B for the first time
If ( k != 0 )
   send packet in buffer[i]
   wait for τ ms.
   i = i+1; k = k-1;
/* recur the whole process */
```

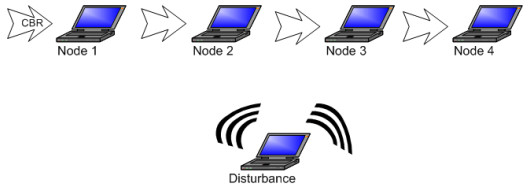
โดย k เป็นจำนวนกลุ่มข้อมูลที่เก็บอยู่ในบัฟเฟอร์ ในขณะที่ i และ j เป็นลำดับของกลุ่มข้อมูลที่โนดส่งต่อและได้รับมา ตามลำดับ ส่วน N เป็นจำนวนกลุ่มข้อมูลทั้งหมดที่โนดต้นทางต้องการส่ง

5 ผลการทดลอง

การทดลองในระบบทดสอบนี้ทำขึ้นเพื่อประเมินผลว่าวิธีการควบคุมจิตเตอร์ที่กล่าวมาข้างต้น สามารถลดค่าจิตเตอร์และค่าประวิงเวลาได้มากน้อยเพียงใด โดยจะแสดงผลเปรียบเทียบกันระหว่างการทดลองที่โหนดระหว่างทางมีการควบคุมจิตเตอร์และการทดลองที่ส่งต่อกลุ่มข้อมูลไปเลยทันที รวมทั้งการวิเคราะห์ถึงปัจจัยที่อาจส่งผลกระทบต่อค่าจิตเตอร์ที่ปลายทางได้ ดังนั้นในบทความนี้จึงได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 การทดลองหลัก ๆ ดังนี้

5.1 ผลกระทบจากสัญญาณรบกวน

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ว่าเมื่อมีการรบกวนเกิดขึ้นที่แต่ละโหนด จะมีผลกระทบต่อค่าจิตเตอร์หรือไม่ ซึ่งทำได้โดยการส่งกลุ่มข้อมูลขนาด 1024 ไบต์ ไปด้วยอัตรา 200 มิลลิวินาทีต่อหนึ่งกลุ่มข้อมูล จากโหนด 1 ไปที่โหนด 4 และใช้คอมพิวเตอร์อีกเครื่องหนึ่งทำการถ่ายโอนข้อมูลผ่าน FTP ไปที่แต่ละโหนดในขณะที่กำลังส่งกลุ่มข้อมูลกันอยู่ ดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งจะทำให้มีการแย่งใช้ช่องสัญญาณกันมากขึ้น ส่งผลให้ค่าประวิงเวลาของแต่ละกลุ่มข้อมูลมีความไม่แน่นอนสูงขึ้น และจิตเตอร์มีค่ามากขึ้นด้วย โดยผลการทดลองเปรียบเทียบแสดงในตารางที่ 1 โดยผลการทดลองทั้งหมดที่แสดงในบทความนี้เป็นค่าเฉลี่ยที่เกิดจากการทดลองจำนวนหลายครั้งเพื่อให้ได้ค่าที่เชื่อถือได้ ซึ่งจะเห็นว่าในกรณีที่มีการถ่ายโอนข้อมูลอยู่



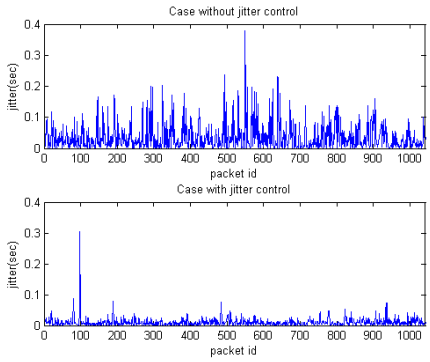
รูปที่ 3: โครงสร้างทางกายภาพของระบบทดสอบที่ใช้ทดลอง

ตารางที่ 1: ผลเปรียบเทียบในกรณีที่มีและไม่มีการรบกวนด้วย FTP

รูปแบบการทดลอง	จิตเตอร์(ms)		ค่าประวิงเวลา (sec)	
	FTP	no FTP	FTP	no FTP
ไม่ควบคุมจิตเตอร์	33.34	2.77	0.043	0.002
ควบคุมจิตเตอร์	10.04	4.08	4.14	3.81

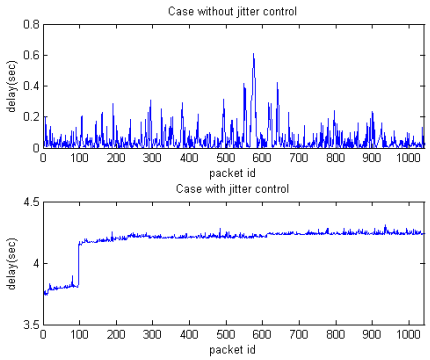
ด้วย จะทำให้ค่าจิตเตอร์และค่าประวิงเวลามีค่ามากขึ้น ส่วนในรูปที่ 4 และ 5 จะแสดงค่าจิตเตอร์และค่าประวิงเวลาที่วัดได้จากการทดลองหนึ่งที่มีการรบกวน เปรียบเทียบในแต่ละกลุ่มข้อมูล ตามลำดับ

เพื่อให้เห็นความแตกต่างได้ชัดเจนยิ่งขึ้น ในการทดลองนี้



รูปที่ 4: จิตเตอร์ที่วัดได้ในแต่ละกลุ่มข้อมูล

ยังได้มีการนำผลจากการจำลองโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ OMNET++ [8] ซึ่งเป็นโปรแกรมจำลองชนิดเหตุการณ์เต็มหน่วย (discrete event simulator) มาเปรียบเทียบด้วย โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน B และอัตราการส่งข้อมูลเหมือนกับที่ใช้ในระบบทดสอบ และได้ผลดังแสดงในตารางที่ 2 จะเห็นว่าผลที่ได้จากทั้งระบบทดสอบและการ



รูปที่ 5: ค่าประวิงเวลาที่วัดได้ในแต่ละกลุ่มข้อมูล

ตารางที่ 2: ผลที่ได้จากจำลองโดยใช้ omnet++

รูปแบบการทดลอง	จิตเตอร์(ms)	ค่าประวิงเวลา (sec)
ไม่ควบคุมจิตเตอร์	36.85	0.123
ควบคุมจิตเตอร์	20.9	4.57

จำลองโดยใช้ OMNET++ ต่างก็ให้แนวโน้มไปในทิศทางเดียวกัน คือ กรณีที่มีการควบคุมจิตเตอร์สามารถลดค่าจิตเตอร์ลงได้จริง แต่ส่วนของค่าที่ได้อาจจะไม่ใกล้เคียงกันมากนัก เนื่องจากใน OMNET++ มีการก่อกำเนิดค่าประวิงเวลาโดยใช้การสุ่มแบบแจกแจงเอกรูป (uniform distribution) ภายในช่วง ๆ หนึ่ง ซึ่งอาจจะมากกว่าช่วงที่ปรับเปลี่ยนในระบบทดสอบได้ เพราะในขณะที่ทดลองสภาพแวดล้อมไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก

5.2 ผลกระทบจากขนาดของกลุ่มข้อมูล

การทดลองนี้ทำขึ้นเพื่อวิเคราะห์ว่าขนาดของแต่ละกลุ่มข้อมูลที่ใช้ส่งมีผลต่อจิตเตอร์หรือไม่ โดยในการทดลองได้ทำการแบ่งกลุ่มข้อมูลออกเป็น 3 ขนาด คือ 512, 1024, 2048 ไบต์ ส่งจากโหนด 1 ไปโหนด 4 ด้วยอัตรา 200 มิลลิวินาทีต่อหนึ่งกลุ่มข้อมูลเช่นเดียวกับในการทดลองที่ 1 ซึ่งได้ผลดังแสดงในตารางที่ 3

โดยผลที่ได้จากทั้ง 2 การทดลอง แสดงให้เห็นว่าเมื่อขนาด

ตารางที่ 3: ผลที่วัดได้เมื่อส่งด้วยกลุ่มข้อมูลขนาดต่าง ๆ

ขนาดกลุ่มข้อมูล (ไบต์)	ไม่ควบคุมจิตเตอร์		ควบคุมจิตเตอร์	
	จิตเตอร์ (ms)	ค่าประวิงเวลา (ms)	จิตเตอร์ (ms)	ค่าประวิงเวลา (sec)
512	12.94	36.72	7.1	3.82
1024	29.44	45.16	6.99	3.93
2048	33.88	50.36	10.4	3.98

ของกลุ่มข้อมูลมีค่ามากขึ้น และมีการรบกวนเกิดขึ้น จิตเตอร์จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ซึ่งหากใช้วิธีการควบคุมจิตเตอร์จะสามารถลดค่าจิตเตอร์ที่โหนดปลายทางลงได้มาก ถึงแม้ว่าในวิธีที่ไม่มีการควบคุมจิตเตอร์จะมีจิตเตอร์ไม่มากอยู่แล้ว แต่ในโครงข่ายที่พิจารณานี้ มีการส่งผ่านกลุ่มข้อมูลไปเพียงแค่ 3 ช่วงเชื่อมต่อเท่านั้น จิตเตอร์จึงยังมีค่าน้อยอยู่ แต่ในโครงข่ายที่ใช้งานกันจริง ๆ นั้น กลุ่มข้อมูลอาจต้องส่งผ่านช่วงเชื่อมต่อที่มากกว่านี้หลายเท่า รวมถึงขนาดของกลุ่มข้อมูลและ

สัญญาณรบกวนที่มีมากกว่าในระบบทดสอบนี้มาก ดังนั้นการควบคุมจิตเตอร์จึงมีความสำคัญและจำเป็นมาก ส่วนค่าประวิงเวลาที่เห็นว่ามีค่าเพิ่มขึ้นจากเดิมมากนั้น เกิดจากการกำหนดค่าที่ใช้ในการทดลอง โดยหากกำหนดให้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยน B มีค่าน้อยกว่านี้ และเพิ่มอัตราการส่งกลุ่มข้อมูลให้เร็วกว่านี้ ค่าประวิงเวลาจะมีค่าต่ำลงได้ โดยตารางที่ 4 แสดงผลที่ได้เมื่อกำหนดให้ค่า B เท่ากับ 2 และ 6 ซึ่งจะเห็นว่าค่าประวิงเวลามีค่าลดลงไปมาก แต่หากกำหนดให้ค่า B น้อยเกินไป ก็จะทำให้ประสิทธิภาพในการช่วยลดจิตเตอร์ลดลงไปด้วย

ตารางที่ 4: ผลที่ได้เมื่อปรับเปลี่ยนค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

รูปแบบการทดลอง	จิตเตอร์(ms)	ค่าประวิงเวลา (sec)
ไม่ควบคุมจิตเตอร์	15.7	0.018
ขีดเริ่มเปลี่ยน B=2	7.4	0.412
ขีดเริ่มเปลี่ยน B=6	3.5	2.03

6 สรุป

ในบทความนี้ นำเสนอการสร้างระบบทดสอบเพื่อประเมินผลจากการใช้หลักการควบคุมจิตเตอร์แบบกระจายในโครงข่ายแอดฮอก พร้อมทั้งเปรียบเทียบผลที่ได้จากการจำลองโดยใช้โปรแกรม OMNET++ โดยผลจากทั้ง 2 วิธีทดสอบสอดคล้องกันว่าถึงแม้วิธีควบคุมจิตเตอร์ที่นำเสนอนี้จะทำให้ค่าประวิงเวลาเพิ่มขึ้น แต่ก็สามารถลดจิตเตอร์ลงได้มาก ซึ่งส่งผลให้บริการข้อมูลภาพหรือเสียงมีความต่อเนื่องในการเล่น ทำให้ผู้ใช้บริการได้รับความพอใจมากกว่า

ระบบทดสอบที่ได้นำเสนอในบทความนี้มีการจำลองสภาพแวดล้อมทุกอย่างใกล้เคียงกับโครงข่ายจริงมาก โดยเหมาะสมสำหรับการประเมินผลในโครงข่ายที่มีขนาดเล็กถึงขนาดกลาง แต่อาจจะยากต่อการทดลองในกรณีที่โหนดมีการเคลื่อนที่ เนื่องจากข้อจำกัดหลาย ๆ อย่างทั้งทางด้านงบประมาณ และความยากต่อการจัดการควบคุมระบบ ดังนั้นเพื่อให้รองรับความสามารถในส่วนนี้ แผนงานในปัจจุบันที่กำลังดำเนินการพัฒนาต่อคือ การสร้างระบบทดสอบสำหรับโครงข่ายแอดฮอกที่เชื่อมต่อกันโดยใช้โครงข่ายแบบมีสาย ซึ่งเป็นระบบที่เราสามารถควบคุมได้ และสามารถขยายขนาดของโครงข่ายตลอดจนกำหนดการเคลื่อนที่ของแต่ละโหนดได้ตามต้องการ รวมทั้งชนิดของทราฟฟิกที่พิจารณาจะเป็นแบบการส่งด้วยอัตราไม่คงที่เพื่อให้มีสถานการณ์ใกล้เคียงกับระบบจริงมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

[1] M. Krunz, A. Muqattash, S. Lee, "Transmission power control in wireless ad hoc networks: challenges, solutions and open issues,"*IEEE Network*, Volume 18, Issue 5, pp.8 - 14, Sept.-Oct. 2004.

[2] N. Milanovic, M. Malek, A. Davidson, and V. Milutinovic, “Routing and Security in Mobile Ad Hoc Networks,”*IEEE Computer*, Volume 37, Issue 2, p-p.61 - 65, Feb 2004.

[3] C. Perkins and E. Royer, "Ad hoc On-Demand Distance Vector (AODV) Routing,"in *RFC 3561*, July 2003.

[4] D. B. Johnson, D. A. Maltz and Y. C. Hu, "The Dynamic Source Routing Protocol for Mobile Ad Hoc Networks (DSR),"*Internet Draft, IETF Mobile Ad hoc networks*, draft-ietf-manet-dsr-10.txt, July 2004.

[5] H. Sun and H.D. Hughes, “Adaptive QoS Routing Based on Prediction of Local Performance in Ad Hoc Networks,”*Wireless Communications and Networking*. IEEE, Volume 2, March 2003.

[6] CMU Monarch Group, The Network Simulator: ns-2, http://www.isi.edu/nsnam/ns/

[7] GloMoSim, http://pcl.cs.ucla.edu/projects/glomosim/

[8] A. Varga, “Object Modular Network Testbed in C++,” www.omnetpp.org

[9] D. A. Maltz and J. Broch, "Lessons from a Full-Scale Multihop Wireless Ad Hoc Network Testbed,"*IEEE Personal Communications*, pp.8-15, February 2001.

[10] S. Sanghani, T. X Brown, S. Bhandare and S. Doshi, "EWANT:The Emulated Wireless Ad Hoc Network Testbed,"*IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 16-20 March 2003.

[11] H. Lundgren, D. Lundberg, J. Nielsen, E. Nordstrom and C. Tschudin, "A Large-scale Testbed for Reproducible Ad hoc Protocol Evaluations,"*IEEE Wireless Communications and Networking Conference (WCNC)*, 2002

[12] D. Verma, H. Zhang, and D. Ferrari, "Delay Jitter Control for Real-Time Communication in a Packet Switching Network,"*IEEE TRICOMM’91*, pp. 35-43, April 1991.

[13] S. F. Bush, A. Kulkarni, S. Evans and L. Galup, "Active Jitter Control,"*7th International IS&N Conference, Intelligence in Services and Networks (ISN) ’00*, February 23-25, 2000.