

รายงานการวิจัยประจำปีงบประมาณ 2548

เรื่อง

การเพิ่มประสิทธิภาพของคุณภาพการให้บริการของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์

**Efficiency Enhancement on the Quality of Service (QoS) of
Computer Communication Networks**

หัวหน้าห้องปฏิบัติการวิจัย: รองศาสตราจารย์ ดร. รัตติกกร วรากุลศิริพันธุ์
ห้องปฏิบัติการวิจัย : เครือข่ายสื่อสาร (Communication Network Laboratory)
โครงการสำนักวิจัยการสื่อสารและเทคโนโลยีสารสนเทศ (ReCCIT)
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

สารบัญ

	หน้า
รายละเอียดของการวิจัย	1
ผลของการวิจัย	2
รายงานเรื่อง การพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการแบ่งช่องสัญญาณระหว่างเสียงและข้อมูลในเครือข่ายเซลลูล่า	3
รายงานเรื่อง การพัฒนาซอฟต์แวร์บีบอัดภาพวิดีโอสามมิติ	10
รายงานเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการเส้นทางส่งข้อมูลในเครือข่ายสื่อสารแบบแบ่งความยาวคลื่นแสง	18
รายงานเรื่องการพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบข้อกำหนดของระบบสื่อสารที่มีการทำงานร่วมกัน	29



RCH
TK
5405.5956
จ382จ

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน **67384**
วัน,เดือน,ปี **29 พ.ย. 2549**

b. 11664769
i.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. รายละเอียดของการวิจัย

1.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

ในปัจจุบัน เครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์มีบทบาทสำคัญในการสื่อสารข้อมูลข่าวสาร ทั้งในวงการธุรกิจ การค้า การศึกษาวิจัย หน่วยงานราชการต่างๆ ทำให้ความต้องการของผู้ใช้เพิ่มทวีมากขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยในการปรับปรุงแก้ไข เพื่อการพัฒนาให้ระบบการสื่อสารของเครือข่ายมีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้บริการได้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย

เป็นการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับการพัฒนาประสิทธิภาพการให้บริการของเครือข่ายสื่อสารคอมพิวเตอร์ในรูปแบบต่างๆ ที่สามารถตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ และเทคโนโลยีการสื่อสารที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา การศึกษาวิจัย จะเน้นทางด้านทฤษฎี และการจำลองรูปแบบ โดยทำการวิเคราะห์ในเชิงคณิตศาสตร์ และแสดงผลของประสิทธิภาพในรูปแบบของตัวเลข กราฟ และตารางเปรียบเทียบ ที่สามารถแสดงให้เห็นถึงผลลัพธ์ของวิธีการที่นำเสนอได้อย่างชัดเจน ตลอดจนการวิเคราะห์ถึงความเป็นไปได้ที่นำมาผลการศึกษาวิจัยไปประยุกต์ใช้กับระบบการสื่อสารที่มีอยู่ในปัจจุบัน และที่จะมีขึ้นในอนาคต

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การนำไปประยุกต์ใช้กับระบบสื่อสารที่ตอบสนองความต้องการของผู้ใช้

1.4 ทฤษฎีหรือกรอบแนวคิด

เป็นการศึกษาวิเคราะห์โดยใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ เช่น สถิติวิเคราะห์และความน่าจะเป็น ระบบการเข้าคิว การเข้ารหัสเลขฐานสอง เป็นต้น โดยจะทำการวิเคราะห์หาสูตรสมการที่สามารถพิสูจน์แนวความคิดและวิธีการ ในรูปแบบของการคำนวณในเชิงตัวเลข เปรียบเทียบการใช้แบบจำลอง และประมวลผลด้วยการทำซิมูเลชัน (Simulation)

1.5 ระเบียบวิธีวิจัย

- 12.1 ศึกษาถึงปัญหาของระบบสื่อสารที่ต้องมีการแก้ไขปรับปรุง
- 12.2 นำเสนอวิธีการ หรือขบวนการแก้ไขปรับปรุง เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการให้บริการที่ดีขึ้น
- 12.3 พิสูจน์แนวความคิดของข้อเสนอ โดยใช้ทฤษฎีทางคณิตศาสตร์ และแบบจำลอง
- 12.4 เผยแพร่ผลงานวิจัยให้กับสังคม เช่นเสนอในการประชุมวิชาการระดับชาติและระดับนานาชาติ

1.6 ขอบเขตของโครงการวิจัย

เป็นการวิจัยบนพื้นฐานทางทฤษฎีที่คำนึงถึงความเป็นไปได้ที่จะนำไปประยุกต์ใช้งานจริง

1.7 ระยะเวลาทำการวิจัยและสถานที่ทำการทดลอง และหรือเก็บข้อมูล

- ระยะเวลาในการทำวิจัย : 12 เดือน
- สถานที่ทำการทดลอง : สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.8 แผนการดำเนินงานวิจัย

ขั้นตอนการดำเนินงาน	เดือนที่											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1. การศึกษาวิเคราะห์ทางทฤษฎี	←	→										→
2. การคำนวณทางคณิตศาสตร์	←	→			←	→			←	→		
3. การทดสอบทางการจำลองรูปแบบ			←	→			←	→			←	→
4. การนำเสนอผลงานในการประชุมวิชาการ และวารสาร		←	→					←	→			→

1.9 อุปกรณ์ที่จำเป็นของโครงการวิจัย

เครื่องคอมพิวเตอร์ความเร็วสูง และอุปกรณ์ที่เกี่ยวข้อง

2. ผลของการวิจัย

ผลงานของการวิจัย ได้แสดงไว้ในรายงานฉบับนี้ ตั้งแต่หน้าที่ 3 เป็นต้นไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานผลงานการจ้างเหมาจัดทำโครงการ

เรื่อง “การพัฒนาซอฟต์แวร์จัดแบ่งช่องสัญญาณระหว่างเสียงและข้อมูลในเครือข่ายเซลลูลาร์”

ผู้วิจัย: นายวิชาญ ถิมศักดิ์ศรี

ผู้ควบคุมงาน : รศ. ดร. รัตติกร วราภุคศิริพันธ์

1. บทนำ

ในระบบการสื่อสารไร้สายโดยเฉพาะในระบบโทรศัพท์เคลื่อนที่ซึ่งการบริหารจัดการเพื่อใช้ทรัพยากรให้มีประสิทธิภาพเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างมาก เนื่องจากทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดแตกต่างจากระบบการสื่อสารแบบใช้สายทั่วไป กล่าวคือความถี่ที่ถูกอนุญาตให้ใช้งาน นั้นจะถูกจำกัดการใช้งานด้วยเหตุผลหลายประการ ดังนั้นการจัดสรรช่องสัญญาณให้กับผู้ใช้ ต้องถูกจัดการอย่างเหมาะสมและเพียงพอต่อผู้ใช้ โดยเฉพาะอย่างยิ่งผู้ใช้ที่มีพฤติกรรมการใช้ช่องสัญญาณที่แตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น การใช้งานของผู้ใช้ที่ส่งสัญญาณเสียง (Voice user) หรือ การใช้งานของผู้ที่ส่งข้อมูล (Data user) มีลักษณะการใช้ช่องสัญญาณที่ต่างกัน ทั้งทางด้าน การเข้ามาถึงเพื่อที่จะครอบครองช่องสัญญาณ และเวลาที่ครอบครองช่องสัญญาณ

ในปัจจุบันการส่งข้อมูล ผ่านระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่ที่แต่เดิมถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับการส่งสัญญาณเสียงที่มีความสำคัญมากกว่าการส่งข้อมูล นั้นมีความต้องการเพิ่มมากขึ้น ดังนั้นเพื่อที่จะรองรับการบริการของผู้ที่ส่งข้อมูลที่มากขึ้น โดยไม่มีผลกระทบต่ออย่างมากกับผู้ใช้ที่ส่งสัญญาณเสียง จึงเป็นเหตุผลที่หลายๆ หน่วยงานในสาขานี้ให้ความสำคัญ เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานให้สูงที่สุดกับทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

2. หลักการที่นำไปสู่การพัฒนาซอฟต์แวร์ของโครงการ

ในระบบเครือข่ายโทรศัพท์เคลื่อนที่นั้นวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณมีอยู่หลากหลายวิธีที่ใช้กันอยู่ และวิธีการตรวจจับสัญญาณเสียงก็เป็นวิธีการหนึ่งในระบบซึ่งมีหน้าที่คอยตรวจจับ Background noise และ noise แต่ไม่ใช่หนึ่งในวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณ ในโครงการนี้จึงใช้ประโยชน์จากการตรวจจับสัญญาณเสียง (Voice activity detection) เป็นการช่วยให้ผู้ใช้มีวิธีการเข้าถึงช่องสัญญาณที่มากขึ้น โดยใช้ข้อมูลของคิว (Information of queue) เป็นตัวตัดสินใจเลือกวิธีการจัดสรรช่องสัญญาณ

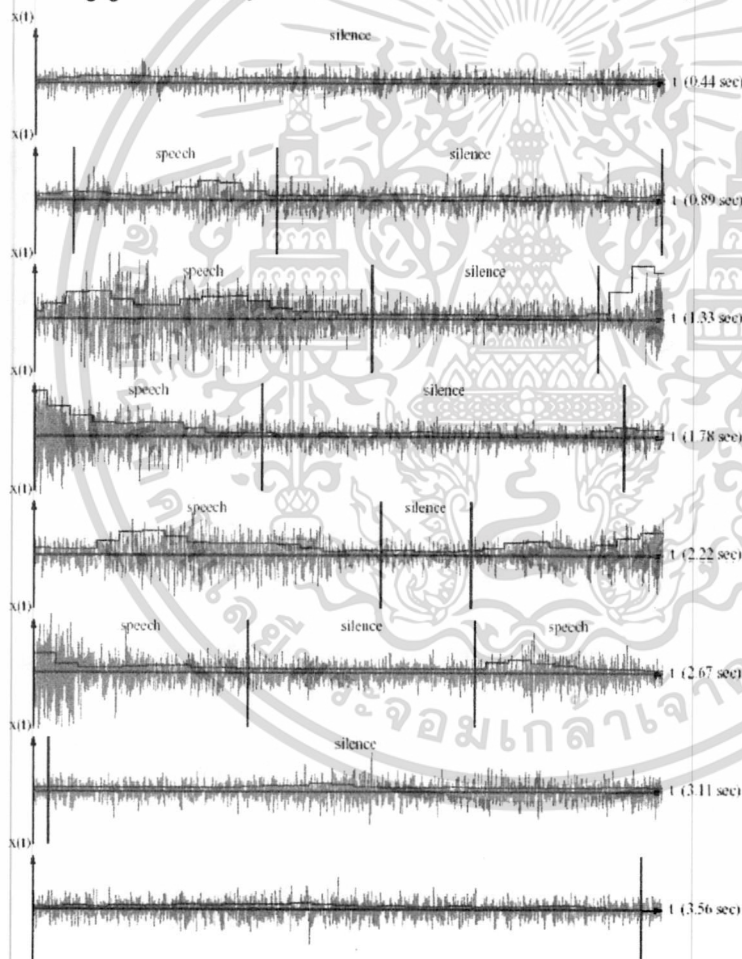
โดยปกติแล้วในช่วงของการสนทนาของมนุษย์จะมีทั้งช่วงที่พูดและช่วงที่เงียบ ในการสนทนาหนึ่งๆจะมีช่วงที่พูดอยู่ประมาณ 40-50% แต่ในระบบเครือข่ายเซลลูลาร์ถึงแม้ว่าจะใช้ช่วงเวลาที่พูดประมาณครึ่งหนึ่งก็ตามการจองช่องสัญญาณก็จะต้องทำงานจบการสนทนา ดังนั้นเพื่อที่จะทำการเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณที่เหลือนี้นี้จึงได้มีการนำกระบวนการที่เรียกว่าการตรวจจับสัญญาณเสียง เข้ามาใช้ระบบเครือข่ายเซลลูลาร์เช่นระบบ GSM มีการมอดดูเลชันด้วย Gaussian noise การตรวจจับสัญญาณเสียงเป็นกระบวนการที่สามารถจำแนกคาบของเวลาของเสียงพูดที่รวมอยู่กับ Background noise และ noise ซึ่งใน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่สามารถนำไปใช้ประโยชน์ด้านอื่นๆ
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมีเหตุดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่วนที่เป็น noise จะเป็นช่วงเงียบของการสนทนา เพื่อที่จะเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ช่องสัญญาณและเพิ่มอัตราการส่งข้อมูลผ่านระบบเครือข่ายในโครงการนี้ จึงได้ใช้ช่วงเงียบของการสนทนาส่งข้อมูลผ่านไปยังระบบเครือข่าย รูปที่ 1. แสดงถึงตัวอย่างผลของการสนทนาที่ตรวจจับด้วยระบบซอฟต์แวร์ของโครงการ

ดังนั้นเราจะใช้ประโยชน์จากการตรวจจับสัญญาณเสียงแบ่งแยกเวลาในช่วงที่เงียบของผู้ส่งสัญญาณเสียงมาใช้ในการส่งข้อมูลโดยเสนอไว้เป็นทางเลือกหนึ่งในการจัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่ในระบบได้แก่

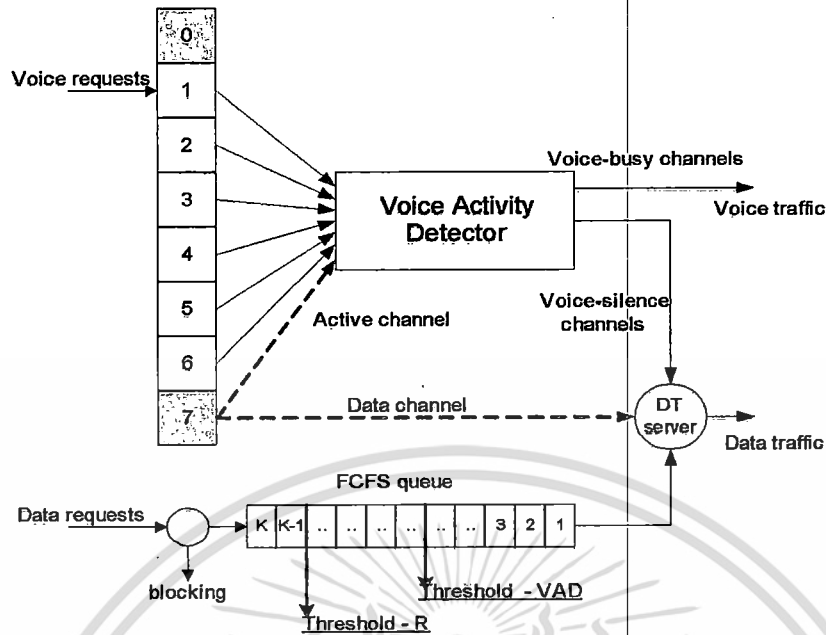
1. แบบดั้งเดิม (Voice priority)
2. การจองช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลแบบตายตัว (Fixed Channel Allocation หรือ R-reservation)
3. การจองช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลแบบพลวัต (Dynamic Channel Allocation)
4. วิธีการที่นำเสนอคือ การจองช่องสัญญาณสำหรับการส่งข้อมูลแบบพลวัตร่วมกับการตรวจจับสัญญาณเสียง (Dynamic Channel Allocation with VAD)



รูปที่ 1. ตัวอย่างการแสดงผลคาบหนึ่งของการสนทนา

รูปแบบในการจัดสรรช่องสัญญาณสำหรับการส่งสัญญาณเสียงและข้อมูลในวิธีการที่เสนอได้ถูกแสดงไว้ในเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

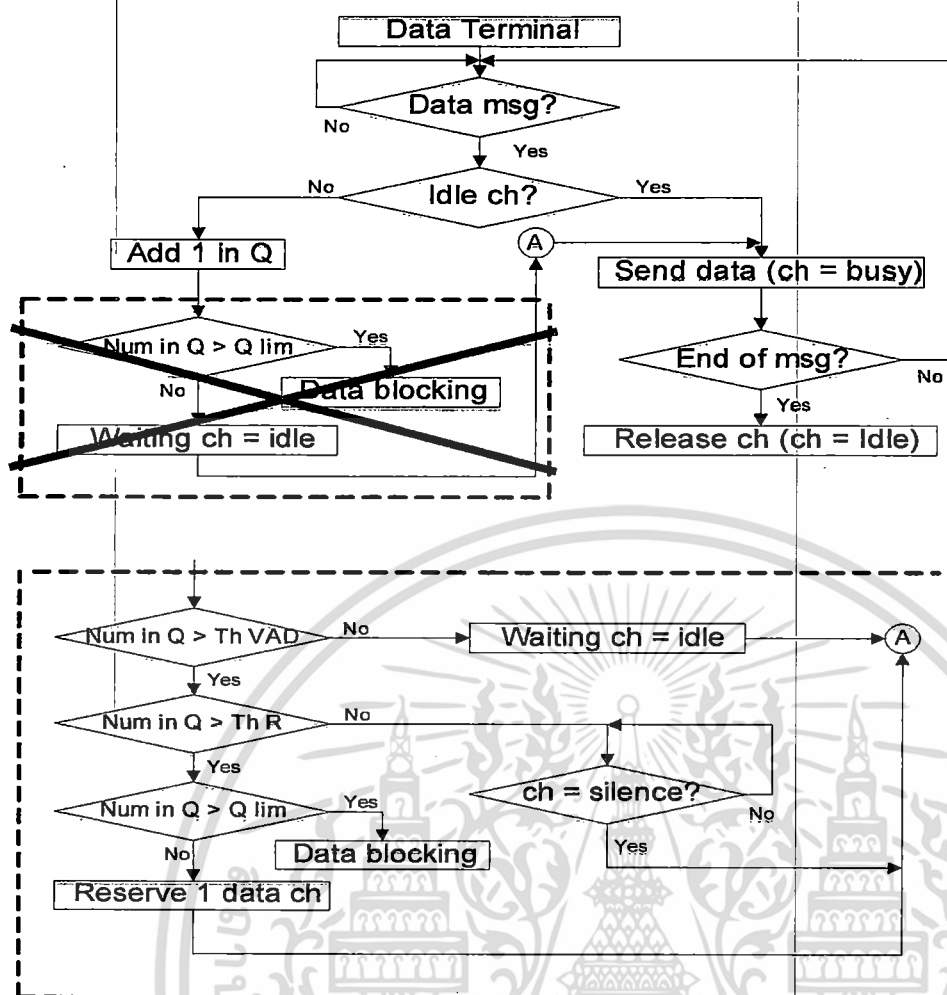
รูปที่ 2. เมื่वाกรณใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2. แบบจำลองของการจัดสรรช่องสัญญาณ

อย่างไรก็ตามวิธีนี้จะมีข้อเสียคือเมื่อเกิดความต้องการส่งข้อมูลทั้งสองพร้อมกัน ณ เวลาเดียวกันจะทำให้เกิดการชนกันของข้อมูลและได้รับความเสียหายทั้งสองฝ่าย ซึ่งเสียงของผู้ส่งสัญญาณเสียง ก็จะสูญหายไปเนื่องจากสถานีฐานไม่สามารถจำแนกได้ และในส่วนของข้อมูลของผู้ส่งข้อมูล ก็จะต้องทำการส่งซ้ำอีกครั้ง เหตุการณ์ดังกล่าวจะเกิดขึ้นถ้าใช้ระบบการตรวจจับสัญญาณเสียง ในส่วนของการส่งข้อมูลตามที่กล่าวข้างต้นนั้นผลก็คือข้อมูล ณ เวลานั้นจะเสียหายต้องส่งซ้ำ และในส่วนของ การส่งสัญญาณเสียงผลที่เกิดขึ้นคือ ณ เวลานั้นผู้ที่ฟังการสนทนาจะไม่ได้ยินหรือ ได้ยินไม่ชัดเจน ดังนั้นเพื่อที่จะใช้ข้อดีของการตรวจจับสัญญาณเสียงแต่พยายามลดผลกระทบของการชนกันของสัญญาณเสียงและข้อมูล เราจึงเสนอคำจำกัดเริ่ม โดยใช้ร่วมกับข้อมูลของคิวเพื่อที่จะกำหนดการใช้ช่วงเงียบของผู้ใช้ช่องสัญญาณเสียงตามที่เราร้องขอและยังส่งผลถึงการยอมรับระดับการชนกันของข้อมูล สำหรับกระบวนการการส่งข้อมูลนั้นแสดงตามรูปที่ 3.

เมื่อผู้ใช้งานต้องการส่งข้อมูลก็จะทำการตรวจสอบว่ามีช่องสัญญาณว่างหรือไม่ถ้าว่างก็ใช้ช่องสัญญาณนั้นในการส่งข้อมูลได้ทันที แต่ถ้าไม่ว่างแสดงว่ามีผู้ใช้ช่องสัญญาณอยู่จนเต็ม และจะถูกพักไว้ในคิว จากนั้นระบบจะเข้าสู่กระบวนการตรวจจำนวนการร้องขอของข้อมูล (Data request) ว่าตรงกับเงื่อนไขที่กำหนดค่าขีดเริ่มนั้น ในส่วนที่กากบาทในรูปที่ 3. จะเป็นกระบวนการจัดสรรช่องสัญญาณแบบดั้งเดิม



รูปที่ 3. กระบวนการการส่งข้อมูลที่นำเสนอ

3. แบบจำลองและอัลกอริทึมที่ใช้ในระบบซอฟต์แวร์ของโครงการ

ในส่วนของรูปจำลองที่ใช้ในระบบ (Simulation Model) เราสมมติว่าการเกิดเหตุการณ์หนึ่งๆ เช่น การเข้ามาใช้ช่องสัญญาณของผู้ใช้บริการ (New Calls) อยู่ในระบบของ Discrete-Event Simulation เป็นการเข้ามาแบบไม่ต่อเนื่อง ซึ่งอาจจะทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงสถานะแบบทันทีทันใดที่จุดหนึ่งของเวลานั้นๆ ที่จุดหนึ่ง ณ เวลานั้นจะเป็นจุดที่มีเหตุการณ์เกิดขึ้น

ในการจำลองระบบของ Discrete-Event Simulation จะต้องให้ระบบดำเนินการไปข้างหน้าซึ่งจะใช้กลไกของ Time-advance Mechanisms โดยจะสามารถแบ่งวิธีการของ Time-advance ได้ 2 แบบคือ

1. Fixed-increment time advance: ในวิธีการนี้เวลาของระบบจะดำเนินไปเรื่อยๆ เป็นจังหวะที่แน่นอน (Synchronize) ซึ่งเป็นวิธีการจำลองที่ใกล้เคียงกับเหตุการณ์จริง แต่มีข้อเสียที่สำคัญคือต้องใช้หน่วยประมวลผลอย่างมากอยู่ตลอดเวลาและใช้เวลาค่อนข้างนาน

2. Next-event time advance: วิธีการนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการแรก เป็นส่วนที่เฉพาะเจาะจงของ Fixed-increment ซึ่งก็คือหน่วยของเวลาจะดำเนินไปตามเหตุการณ์ที่เกิดขึ้น (Asynchronies) เวลาในการประมวลผลจะไม่มากเมื่อเทียบกับวิธีแรก ใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่นิยมนำไปใช้ประโยชน์ด้านการคำนวณว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. สมมติฐานของการจำลองในระบบซอฟต์แวร์

ในโครงการนี้เราจะกำหนดให้ผู้ใช้ในระบบมีอยู่ด้วยกันสองประเภทคือ ผู้ที่ส่งสัญญาณเสียงและผู้ที่ส่งข้อมูล โดยที่เราจะให้ความสำคัญของการส่งสัญญาณเสียงเป็นอันดับแรก ซึ่งการเข้ามาสู่ระบบหรือการเกิดขึ้นของเหตุการณ์นั้นสามารถจำแนกได้ดังนี้

1. สำหรับการส่งสัญญาณเสียง

- 1.1 การเข้ามาของสัญญาณเสียง จะมีอัตราการเข้ามาแบบปัวซอง (Poisson Distribution)
- 1.2 การใช้ช่องสัญญาณของสัญญาณเสียง จะมีเวลาในการใช้บริการเป็นการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution)
- 1.3 การเข้ามาของช่วงเงียบ จะมีอัตราการเข้ามาแบบปัวซอง (Poisson Distribution)
- 1.4 การคงอยู่ของช่วงเงียบ จะมีเวลาในการคงอยู่เป็นการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution)

2. สำหรับการส่งข้อมูล

- 2.1 การเข้ามาของข้อมูล จะมีอัตราการเข้ามาแบบปัวซอง (Poisson Distribution)
- 2.2 การใช้ช่องสัญญาณของข้อมูล จะมีเวลาในการใช้บริการเป็นการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution)

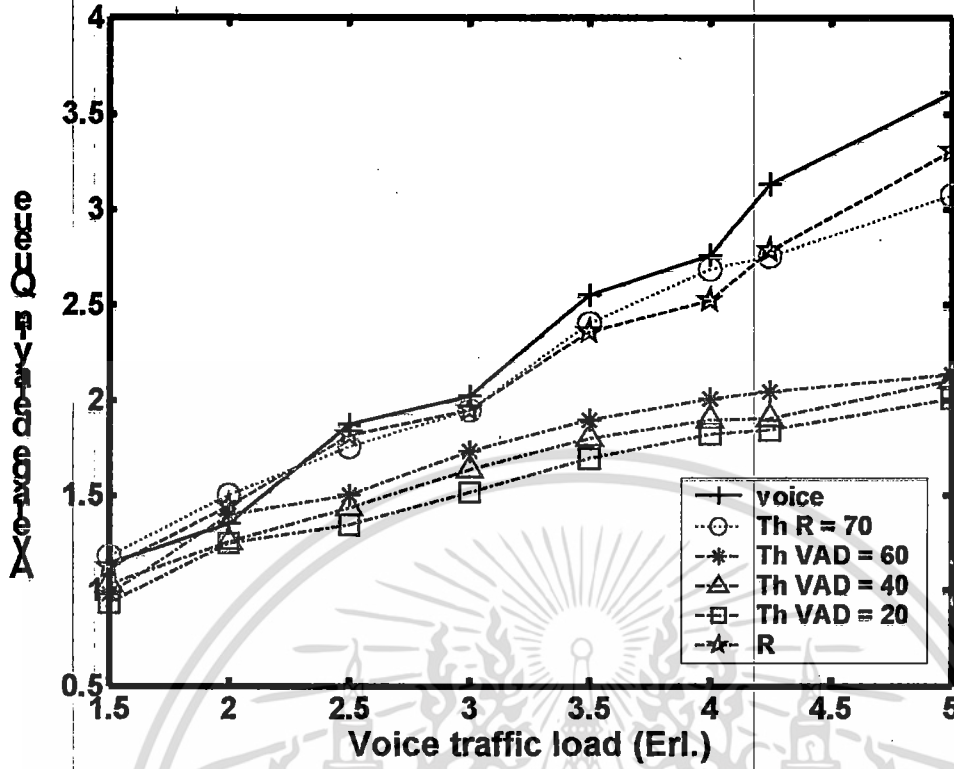
5. ผลการจำลองด้วยระบบซอฟต์แวร์ของโครงการ

ในการจำลองเราได้กำหนดตัวแปรที่สำคัญในระบบเครือข่ายเซตลูการ์ไว้ดังนี้

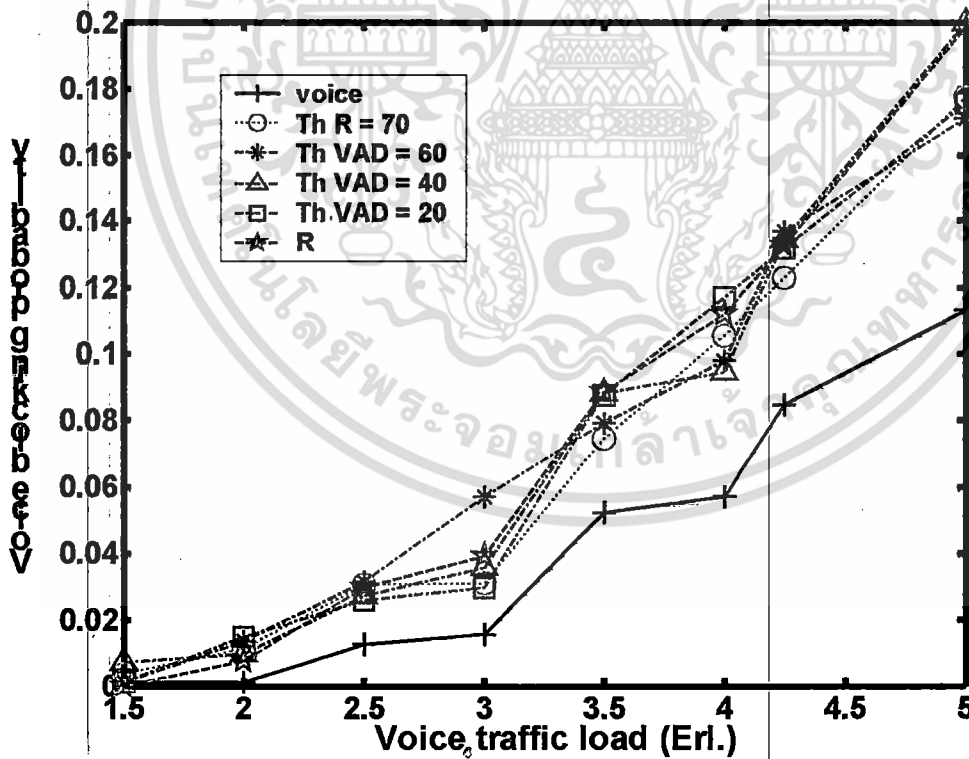
1. จำนวนช่องสัญญาณ 7 ช่องสัญญาณ
2. จำนวนช่องสัญญาณที่จองไว้สำหรับการส่งข้อมูล 1 ช่องสัญญาณ
3. ขนาดของคิว 100
4. เวลาเฉลี่ยในการใช้ช่องสัญญาณของผู้ส่งสัญญาณเสียง 180 วินาที
5. ค่าขีดเริ่มสามารถปรับเปลี่ยนได้
6. อัตราการเข้ามาของช่วงเงียบ
7. การคงอยู่ของช่วงเงียบ

ผลจากการจำลองได้แสดงไว้ตามรูปที่ 4 – 6. ผลของการประวิงเวลาในคิวของการจัดสรรช่องสัญญาณเสียงด้วยการตรวจจับสัญญาณเสียงลดลงอย่างมีนัยสำคัญเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดสรรแบบดั้งเดิม และลดลงมากขึ้นเมื่อเลือกค่าขีดเริ่มที่มีค่าน้อย และผลของความน่าจะเป็นในการบดล็อกของผู้ส่งข้อมูลก็เป็นไปในทิศทางเดียวกัน อย่างไรก็ตามเมื่อการตรวจจับสัญญาณเสียงถูกเสนอขึ้นมาในระบบจะไม่มีผลกระทบกับความน่าจะเป็นในการบดล็อกของผู้ส่งสัญญาณเสียง เนื่องจากวิธีการนี้ไม่ได้มีการแย่งใช้ช่องสัญญาณโดยตรงของผู้ส่งสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

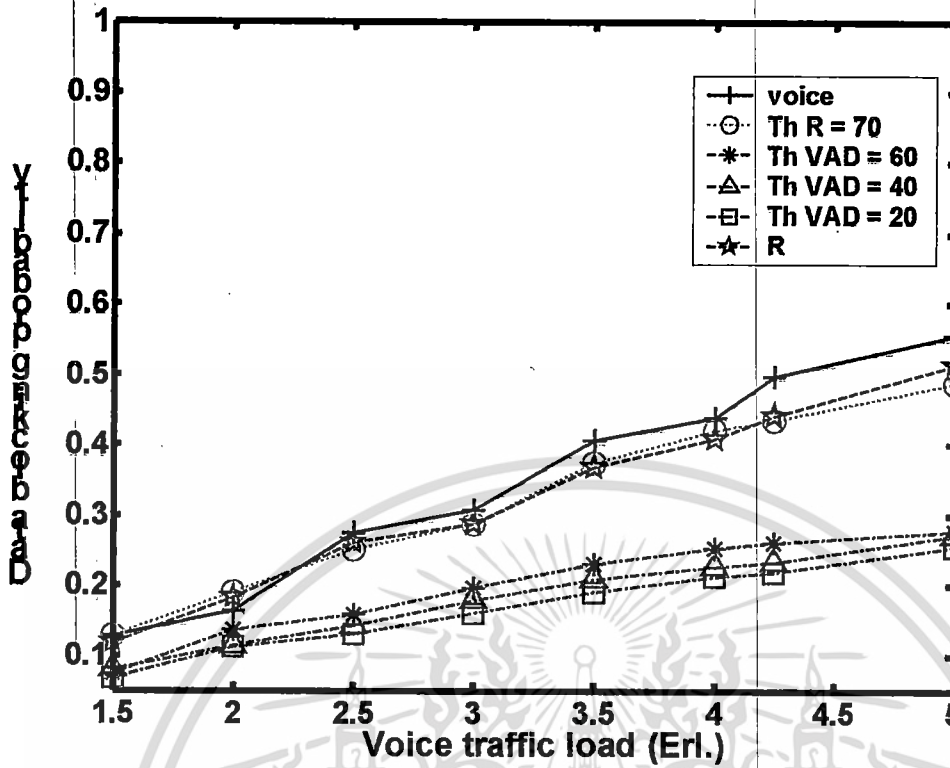


รูปที่ 4. เวลาเฉลี่ยของการประวิงเวลาในคิว



รูปที่ 5. ความน่าจะเป็นในการบล็อกของผู้ส่งสัญญาณเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6. ความน่าจะเป็นในการบล็อกของผู้ส่งข้อมูล

6. ประโยชน์ของโครงการ

ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาในโครงการนี้ สามารถใช้เป็นเครื่องมือ (Software Tool) ในการวิเคราะห์หาประสิทธิภาพของระบบการสื่อสารข้อมูลที่มีทั้งเสียง (Voice) และข้อความ (Text) เมื่อมีการตั้งข้อจำกัดต่างๆ เช่นการให้ความสำคัญของข้อมูลเสียงมากกว่าข้อความ เป็นต้น ประกอบกับสามารถใช้วิเคราะห์วิธีการจัดสรรช่องสัญญาณที่มีอยู่จำกัดให้มีประสิทธิภาพสูงสุดได้

รายงานการจ้างเหมาทำชิ้นงาน

ชื่อโครงการ : การพัฒนาซอฟต์แวร์บีบอัดภาพวิดีโอสามมิติ

(Software Development for 3 Dimension Video Image Compression Techniques)

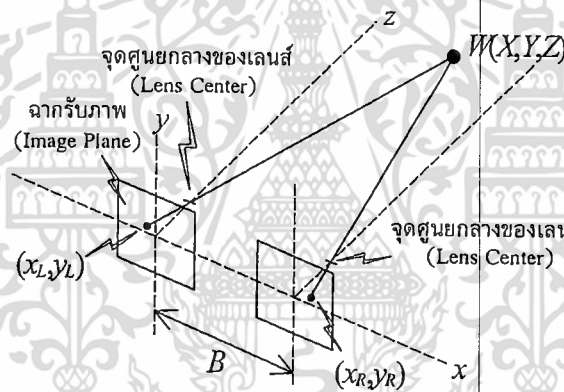
ผู้ทำโครงการ : นางสาวชมพูนุท เต็งเจริญ

ผู้ควบคุม : รศ.ดร.รัตติกร วราภูลศิริพันธ์ุ

ห้องปฏิบัติการวิจัย : Communication Network Laboratory

1. บทนำ

ข้อมูลภาพวิดีโอสามมิติโดยทั่วไปสามารถได้มาจากการใช้กล้อง 2 ตัวถ่ายภาพ 2 ภาพของเหตุการณ์เดียวกันในมุมมองที่ต่างกันเล็กน้อย เมื่อมองด้วยแว่นพิเศษสำหรับดูภาพสามมิติ ที่ช่วยให้ตาข้างขวาเห็นเฉพาะภาพมุมมองขวา และตาข้างซ้ายเห็นเฉพาะภาพมุมมองซ้าย สลับกันด้วยความเร็วที่เหมาะสม แล้วผ่านการประมวลผลด้วยสมอง จะทำให้เรารับรู้ได้ถึงความรู้สึกของภาพได้ อย่างไรก็ตาม เราจะได้ข้อมูลสำคัญจากขนาดของภาพที่สัมพันธ์กัน ส่วนสำคัญของภาพ และลำดับของวัตถุอื่นในภาพเช่นเดียวกับลักษณะการมองเห็นภาพทั่วไปของมนุษย์ การสร้างภาพ 3 มิติจึงถือการเทียบเคียงกันเป็นสำคัญ



รูปที่ 1 เรขาคณิตของการวางตำแหน่งกล้องแบบแนวแกนเลนส์ขนาน

รูปที่ 1 แสดงเรขาคณิตของการวางตำแหน่งกล้องแบบแนวแกนเลนส์ขนาน (Parallel Axes Geometry) โดยใช้กล้อง 2 ตัว พิกัด (x_L, y_L) และ (x_R, y_R) เป็นพิกัดที่ภาพของวัตถุ $W(X, Y, Z)$ มาตกบนโฟกัสของเลนส์กล้องซ้ายและกล้องขวาดตามลำดับ ซึ่งเป็นมาตรฐานที่ใช้กันโดยทั่วไปในการสร้างภาพ 3 มิติ มีเงื่อนไขในการติดตั้งระบบคือ ประการแรก แนวแกนของเลนส์กล้องซ้ายจะต้องขนานกับแนวแกนของเลนส์กล้องขวา ประการที่สอง ฉากรับภาพของกล้องซ้ายและกล้องขวาจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกัน ประการที่สาม แนวขอบล่างของฉากรับภาพของกล้องซ้ายและกล้องขวาจะต้องอยู่ในแนวเส้นตรงเดียวกัน และประการสุดท้าย คุณสมบัติของกล้องซ้ายและกล้องขวาจะต้องมีคุณลักษณะที่เหมือนกันทุกประการ

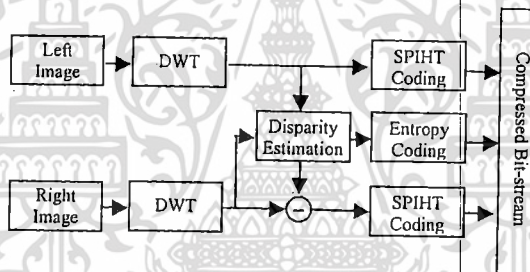
จากลักษณะข้อมูลภาพ 3 มิติที่ประกอบด้วยภาพ 2 มุมมองที่ต่างกันเล็กน้อยด้วยการใช้กล้องสองตัวในการบันทึกข้อมูลภาพวิดีโอ ทำให้มีขนาดข้อมูลเป็น 2 เท่าของภาพทั่วไป จึงจำเป็นต้องมีการบีบอัดเพื่อลดขนาดข้อมูล ดังนั้นการบีบอัดข้อมูลจึงเข้ามามีบทบาทในการจัดการรูปแบบข้อมูลให้กระชับขึ้น เพื่อลดเวลาในการส่งและลดขนาดของพื้นที่เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การบีบอัดภาพแบ่งเป็นแบบไม่สูญเสีย (lossless compression) จะใช้การเข้ารหัสที่เมื่อทำการสร้างข้อมูลกลับแล้วจะได้ข้อมูลครบถ้วน เช่น ใช้การเข้ารหัสแบบฮัฟฟ์แมน การเข้ารหัสเลขคณิต มักใช้ในงานที่ต้องการรายละเอียดของภาพสูง เช่น ภาพทางการแพทย์ ซึ่งใช้พื้นที่ในการเก็บข้อมูลมาก และการบีบอัดแบบสูญเสีย (lossy compression) จะให้อัตราการบีบอัดสูงกว่ามาก แต่จะเสียรายละเอียดของภาพไปบ้างในอัตราที่ยอมรับได้ โดยใช้ข้อเท็จจริงที่ตาของมนุษย์จะแยกความแตกต่างของรายละเอียดได้จำกัด ถ้าตัดรายละเอียดสูงออกไปบ้างก็ไม่สามารถบอกความแตกต่างได้ จึงใช้ประโยชน์ในข้อมูลมาลดจำนวนข้อมูลที่ไม่จำเป็นออกไป ทำให้มีอัตราการบีบอัดที่สูง นิยมใช้กับภาพหรือวิดีโอทั่วไปและในการพัฒนาซอฟต์แวร์การบีบอัดภาพวิดีโอสามมิตินี้ด้วย

2. วิธีการบีบอัดที่น่าสนใจ

เนื่องจากคุณลักษณะภาพสามมิติที่ภาพมุมมองซ้ายและภาพมุมมองขวา ได้มาจากการถ่ายภาพวัตถุเดียวกันที่มีมุมมองต่างกันเล็กน้อย การแยกบีบอัดภาพซ้ายและภาพขวาแยกจากกันจึงไม่สามารถลดขนาดข้อมูลได้มากที่สุด วิธีการบีบอัดที่น่าสนใจจึงใช้วิธีการประมาณค่าความต่าง โดยใช้ประโยชน์จากเวฟเล็ตที่สามารถแยกระดับการแปลงเป็นหลายความคมชัด (multiresolution wavelet transform) เพื่อแยกย่อยใช้บล็อควัดความต่างขนาดเล็กในส่วนรายละเอียดที่สำคัญ และใช้บล็อควัดความต่างขนาดใหญ่กว่าในส่วนที่สำคัญน้อยกว่าได้



รูปที่ 2 กระบวนการประมาณค่าความต่างบนเวฟเล็ต

ขั้นตอนการบีบอัดภาพสามมิติด้วยการประมาณค่าความต่างบนเวฟเล็ตหลายความคมชัดแสดงดังรูปที่ 2 ขั้นตอนแรก ภาพมุมมองซ้ายและภาพมุมมองขวาได้ทำการแปลงเวฟเล็ตแบบไม่ต่อเนื่อง 3 ระดับ สัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่ได้จะเข้าสู่วิธีการประมาณค่าความต่าง โดยกำหนดให้ภาพมุมมองซ้ายเป็นภาพอ้างอิง เราจะทำการเปลี่ยนสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตในบล็อควัดของภาพมุมมองขวา ให้อยู่ในรูปเวกเตอร์ที่สร้างมาจากบล็อกของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตภาพมุมมองซ้ายด้วยประมาณค่าความต่างที่น้อยที่สุดหรือคล้ายกันมากที่สุดนั่นเอง การประมาณค่าความต่าง MSD (mean square difference) แสดงดังสมการ (1) ในส่วนนี้เราจะทำการหาค่าความแตกต่างของสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตภาพมุมมองขวาและสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตภาพมุมมองขวาที่สร้างขึ้นมาจากสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตภาพมุมมองซ้าย หลังจากนั้นข้อมูลชุดความแตกต่างและสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตของภาพซ้ายจะเข้ารหัสด้วยวิธีการ SPIHT (Set Partitioning In Hierarchical Trees coding) และเวกเตอร์ความต่างจะเข้ารหัสด้วยวิธีเอ็นโทรปีต่อไป โดยการแสดงภาพอีกครั้งก็ใช้วิธีการทำย้อนกลับของวิธีการดังกล่าวข้างต้นนี้

$$MSD(dx, dy) = \frac{1}{mn} \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m [F(i, j) - G(i + dx, j + dy)]^2, \tag{1}$$

เมื่อ $F(i, j)$ เป็นมาโครบล็อกขนาด $m \times n$ ที่ทำการประมาณค่าความต่าง (ภาพมุมมองขวา)

$G(i, j)$ เป็นมาโครบล็อกอ้างอิงขนาด $m \times n$ (ภาพมุมมองซ้าย)

เอกสารนี้เป็นบริเวณขอบเขตที่จะเปรียบเทียบค่าความต่างนั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ผลที่ได้

ในการทดลองนี้ใช้ภาพ "Fruits" ขนาด 128x128 พิกเซลและภาพ "Room" ขนาด 128x128, 256x256 พิกเซลในการทดสอบประสิทธิภาพของซอฟต์แวร์ที่ได้ทำการพัฒนา โดยวัดค่า PSNR (Peak Signal-to-Noise Ratio) ของภาพสามมิติจากสมการ

$$PSNR_{avr} = 10 \log_{10} \left(\frac{255^2}{(MSE_L + MSE_R)/2} \right) \quad (2)$$

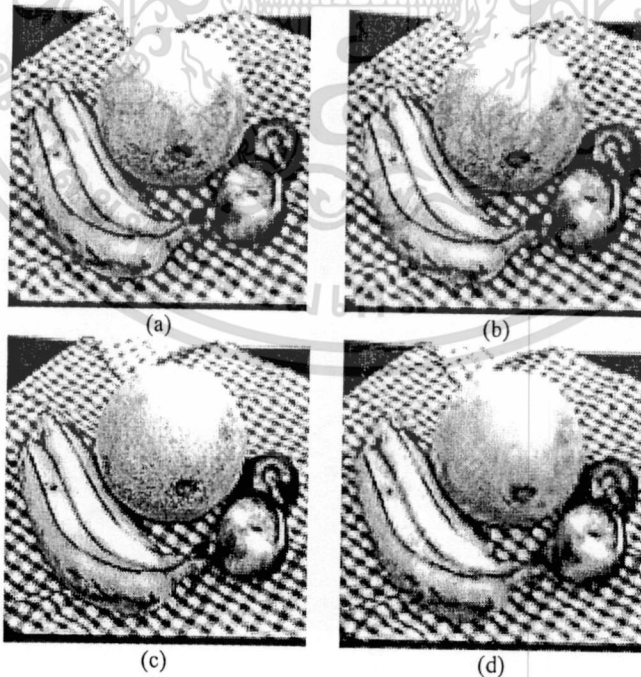
เมื่อ MSE_L และ MSE_R คือ mean square errors จากสมการ (3) ของภาพมุมมองซ้ายและภาพมุมมองขวาตามลำดับ

$$MSE = \frac{1}{NM} \sum_{x=1}^N \sum_{y=1}^M [f(x,y) - \hat{f}(x,y)]^2 \quad (3)$$

เมื่อ $f(x,y)$ และ $\hat{f}(x,y)$ อยู่ในช่วง $1 \leq x \leq N, 1 \leq y \leq M$ เป็นภาพต้นแบบและภาพที่สร้างกลับจากการบีบอัดตามลำดับ

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของการบีบอัดภาพสามมิติ "Fruits" และ "Room" ขนาด 128x128 พิกเซล

ภาพ; bpp	PSNR ของภาพ มุมมองซ้าย	PSNR ของภาพ มุมมองขวา	PSNR _{avr}
Room; 0.5	32.1588	31.9382	32.0457
Room; 0.7	33.7944	33.8091	33.8018
Room; 0.9	35.0845	34.9542	35.0184
Room; 1.1	35.5448	36.4754	36.5098
Fruits; 0.5	33.0674	32.8890	32.9363
Fruits; 0.7	34.3004	33.9336	34.1092
Fruits; 0.9	35.4360	35.0965	35.2596
Fruits; 1.1	36.3575	35.8799	36.1056

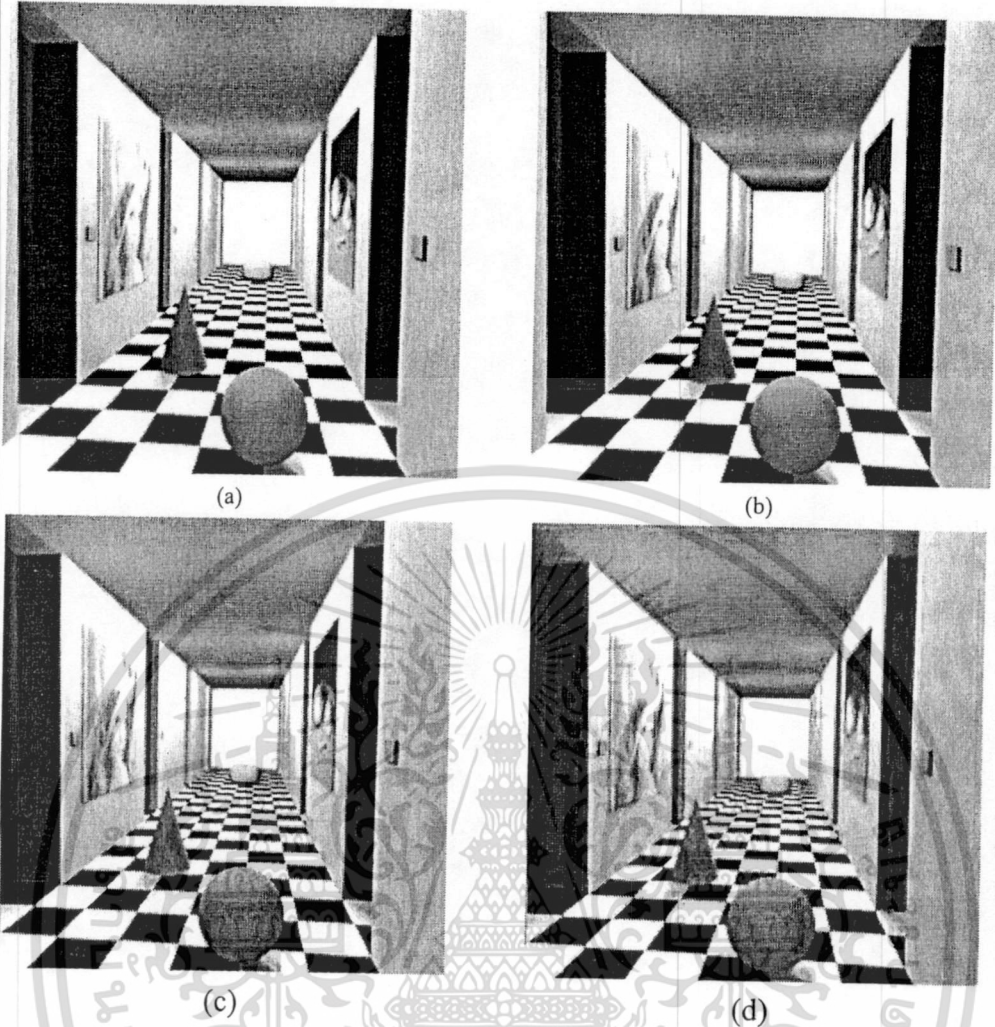


รูปที่ 3 ภาพ "Fruits" ขนาด 128x128 พิกเซล ที่สร้างกลับจากการบีบอัดที่อัตรา 0.9 บิตต่อพิกเซล

(a) ภาพมุมมองซ้ายต้นแบบ (b) ภาพมุมมองซ้ายสร้างกลับ

(c) ภาพมุมมองขวาดั้งเดิม (d) ภาพมุมมองขวาสร้างกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนลิขสิทธิ์และห้ามเผยแพร่โดยไม่ได้รับอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4 ภาพ “Room” ขนาด 256x256 พิกเซล ที่สร้างกลับจากการบีบอัดที่อัตรา 0.9 บิตต่อพิกเซล
 (a) ภาพมุมมองซ้ายต้นแบบ (b) ภาพมุมมองซ้ายสร้างกลับ
 (c) ภาพมุมมองขวาต้นแบบ (d) ภาพมุมมองขวาสร้างกลับ

4. ซอร์ฟแวร์ที่พัฒนา

```

%%
%% This program is for transform wavelet 3-level in
%% left and right image, find disparity estimation
%% and compensation in difference macroblock size
%%
clear all; clc;
disp('Program is running...')
original_left=imread('C:\MATLAB6p1\work\tae\room_l.bmp','bmp');
original_right=imread('C:\MATLAB6p1\work\tae\room_r.bmp','bmp');
figure(1);imshow(original_left); axis off;
title('Left Image');
  
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

figure(2);imshow(original_right); axis off;
title('Right Image');
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%           Image Normalize
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
left=Normalize(original_left);
right=Normalize(original_right);
%----- Pre-processing -----
rate = 0.2;           %rate : bits per pixel
sLeft=size(left,1);
max_bits = floor(rate * sLeft^2);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Wavelet Transform for left Image.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Perform decomposition at level 3
[CL,SL] = wavedec2(left,3,'db1');
% Extract approximation coefficients at level 3
cAL3 = appcoef2(CL,SL,'db1',3);
% Extract details coefficients at level 3
[cHL3,cVL3,cDL3] = detcoef2('all',CL,SL,3);
% Extract details coefficients at level 2
[cHL2,cVL2,cDL2] = detcoef2('all',CL,SL,2);
% Extract details coefficients at level 1
[cHL1,cVL1,cDL1] = detcoef2('all',CL,SL,1);

% Display wavelet coefficient.
cod_cHL1=wcodemat(cHL1,sLeft);
cod_cVL1=wcodemat(cVL1,sLeft);
cod_cDL1=wcodemat(cDL1,sLeft);

cod_cHL2=wcodemat(cHL2,sLeft);
cod_cVL2=wcodemat(cVL2,sLeft);
cod_cDL2=wcodemat(cDL2,sLeft);

cod_cAL3=wcodemat(cAL3,sLeft);
cod_cHL3=wcodemat(cHL3,sLeft);
cod_cVL3=wcodemat(cVL3,sLeft);

```

สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่าการณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

cod_cDL3=wcodemat(cDL3,sLeft);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Wavelet Transform for right Image.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Perform decomposition at level 3
[CR,SR] = wavedec2(right,3,'db1');
sRight=size(right,1);
% Extract approximation coefficients at level 3
cAR3 = appcoef2(CR,SR,'db1',3);
% Extract details coefficients at level 3
[cHR3,cVR3,cDR3] = detcoef2('all',CR,SR,3);
% Extract details coefficients at level 2
[cHR2,cVR2,cDR2] = detcoef2('all',CR,SR,2);
% Extract details coefficients at level 1
[cHR1,cVR1,cDR1] = detcoef2('all',CR,SR,1);

% Display wavelet coefficient.
cod_cHR1=wcodemat(cHR1,sRight);
cod_cVR1=wcodemat(cVR1,sRight);
cod_cDR1=wcodemat(cDR1,sRight);

cod_cHR2=wcodemat(cHR2,sRight);
cod_cVR2=wcodemat(cVR2,sRight);
cod_cDR2=wcodemat(cDR2,sRight);

cod_cAR3=wcodemat(cAR3,sRight);
cod_cHR3=wcodemat(cHR3,sRight);
cod_cVR3=wcodemat(cVR3,sRight);
cod_cDR3=wcodemat(cDR3,sRight);

%*****
% Disparity Estimation and Compensation in multiresolution.
%*****
NcAR3=DE(cAR3,cAL3,4,2); %----in wavelet level 3-----
NcHR3=DE(cHR3,cHL3,4,2);
NcVR3=DE(cVR3,cVL3,4,2);
NcDR3=DE(cDR3,cDL3,4,2);

```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

DcAR3=DC(cAR3,NcAR3);

DcHR3=DC(cHR3,NcHR3);

DcVR3=DC(cVR3,NcVR3);

DcDR3=DC(cDR3,NcDR3);

NcHR2=DE(cHR2,cHL2,8,4); %----in wavelet level 2-----

NcVR2=DE(cVR2,cVL2,8,4);

NcDR2=DE(cDR2,cDL2,8,4);

DcHR2=DC(cHR2,NcHR2);

DcVR2=DC(cVR2,NcVR2);

DcDR2=DC(cDR2,NcDR2);

NcHR1=DE(cHR1,cHL1,16,8); %----in wavelet level 1-----

NcVR1=DE(cVR1,cVL1,16,8);

NcDR1=DE(cDR1,cDL1,16,8);

DcHR1=DC(cHR1,NcHR1);

DcVR1=DC(cVR1,NcVR1);

DcDR1=DC(cDR1,NcDR1);

%*****

% Find threshold for each selection rule.

%*****

thDcHR3=threshold(DcHR3,98); %-----set threshold level 3 at 97%

thDcVR3=threshold(DcVR3,98);

thDcDR3=threshold(DcDR3,98);

thDcHR2=DesThr3to2(thDcHR3,DcHR2); %-----set threshold level 2 at 93%

thDcVR2=DesThr3to2(thDcVR3,DcVR2);

thDcDR2=DesThr3to2(thDcDR3,DcDR2);

thDcHR1=DesThr3to1(thDcHR3,DcHR1); %-----set threshold level 1 at 75%

thDcVR1=DesThr3to1(thDcVR3,DcVR1);

thDcDR1=DesThr3to1(thDcDR3,DcDR1);

%*****

% Inverse discrete wavelet transform.

%*****

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

```

% For adjust applied wavelet coefficients for left image.
ReL = [cAL3(:);cHL3(:);cVL3(:);cDL3(:);cHL2(:);cVL2(:);cDL2(:);cHL1(:);cVL1(:);cDL1(:)];
newL = ReL';
RRLeft = waverec2(newL,SL,'db1');
figure(8);imshow(RRLeft); axis off;
title('Inverse Left Image');

% For adjust applied wavelet coefficients for right image.
ReRsum = [NcAR3(:);NcHR3(:)+thDcHR3(:);NcVR3(:)+thDcVR3(:);NcDR3(:)+thDcDR3(:);
NcHR2(:)+thDcHR2(:);NcVR2(:)+thDcVR2(:);NcDR2(:)+thDcDR2(:);
NcHR1(:)+thDcHR1(:);NcVR1(:)+thDcVR1(:);NcDR1(:)+thDcDR1(:)];
newRsum = ReRsum';
Rsum = waverec2(newRsum,SR,'db1');
figure(10);imshow(Rsum); axis off;
title('Sum Right Image');
disp('Finish..')

```

5. สรุป

ในการบีบอัดภาพสามมิติที่ได้ศึกษานี้ได้ใช้ความสัมพันธ์พื้นฐานของภาพสามมิติที่ภาพมุมมองซ้ายและภาพมุมมองขวาเป็นภาพวัตถุเดียวกันที่มีมุมมองต่างกันเล็กน้อยมาบีบอัดรวมกัน โดยใช้การแปลงเวฟเล็ตหลายระดับ ทำให้สามารถเลือกแปรผันขนาดบล็อกสำหรับการประมาณค่าความต่างในสัมประสิทธิ์เวฟเล็ตที่มีความสำคัญต่างกันได้จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธีที่ได้นำเสนอมาให้คุณภาพของภาพที่สร้างกลับดี ทั้งจากการวัด PSNR และจากภาพสร้างกลับที่มองเห็นได้

6. ผลงานที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน

- 6.1 C.Tengcharoen, R. Varakulsiripunth, et.al., "Stereo Image Compression by Quadrant Vector Quantization", International Conference on Image and Vision Computing New Zealand 2003 (IVCNZ'03), 26-28 November, 2003, at Massey University, Palmerston North, New Zealand, pp.210-214.
- 6.2 C.Tengcharoen, R. Varakulsiripunth, "Multiresolution Wavelet-Based Disparity Estimation for Stereo Image Compression", International Conference on Control, Automation and Systems (ICCAS 2004), August 25-27, 2004, Bangkok Thailand, pp.1098-1101.

รายงานเรื่อง

“การพัฒนาซอฟต์แวร์จัดการเส้นทางส่งข้อมูลในเครือข่ายสื่อสารแบบแบ่งความยาวคลื่นแสง”

ผู้วิจัย นายประพันธ์ ปวรางกูร

ผู้ควบคุมงาน: รศ.ดร. รัตติกร วราภูทศิรินทร์

1. บทนำ

ในปัจจุบัน โครงข่ายทางแสงที่ขึ้นอยู่กับมัลติเพลกซ์เชิงความยาวคลื่น (Wavelength Division Multiplexing, WDM) ถูกพิจารณาให้เป็นแบ็กโบนที่น่าสนใจสำหรับโครงข่ายวงกว้าง (Wide Area Networks, WANs) ในอนาคต เทคโนโลยีการมัลติเพลกซ์เชิงความยาวคลื่นเสนอปริมาณความจุ (Capacity) สูงกับอัตราความผิดพลาด (Error rate) ต่ำอย่างน่าทึ่ง ในขณะที่ยังคงดำเนินการที่ความเร็วทางอิเล็กทรอนิกส์โดยแบ่งปริมาณความจุของเส้นใยแก้วนำแสงออกเป็นหลายๆ ช่องสัญญาณ ในโครงข่ายทางแสงส่วนใหญ่ ข้อมูลที่ส่งยังอยู่ในโดเมนทางแสงตลอดเส้นทางการรับส่ง ยกเว้นที่จุดปลายทาง การรับส่งเช่นนี้จะเรียกว่า เส้นทางแสง (Lightpath) [1] ดังที่แสดงในรูปที่ 1 เส้นทางแสงสามารถถูกสร้างและรื้อตามความต้องการในเทคโนโลยีเซอร์กิตสวิตช์โดยการจัดสรรความยาวคลื่น ความสำคัญของการสร้างเส้นทางแสง ก็คือ จะกระทำการจัดสรรเส้นทาง และความยาวคลื่นให้กับแต่ละการร้องขอที่เป็นไปตามข้อจำกัดที่ต้องการบางประการอย่างไร อันนี้เรียกว่า ปัญหาการจัดสรรเส้นทาง และความยาวคลื่น (Routing and Wavelength Assignment, RWA) [2] ดังนั้นความซับซ้อนในการแก้ปัญหาสองปัญหาพร้อมกันสำหรับประสิทธิภาพที่ดีที่สุดจะมีค่าสูงมาก ปัญหาเหล่านี้มักจะแก้ปัญหาเป็นปัญหาย่อยที่เป็นอิสระกันสองปัญหา ปัญหาย่อยอันแรกจะจัดการกับการจัดสรรเส้นทางการเชื่อมต่อ ในขณะที่อีกอันหนึ่งจะกล่าวถึงการจัดสรรความยาวคลื่น ซึ่งมีความผันแปรอยู่สองแบบของปัญหา คือ (ก) แบบคงที่ (Static) ซึ่งเซตของการเชื่อมต่อทั้งหมดจะรู้ก่อนล่วงหน้า และ (ข) แบบปรับตัว (Dynamic) ซึ่งการร้องขอเชื่อมต่อที่มาถึงขึ้นอยู่กับดำเนินการแบบสุ่ม

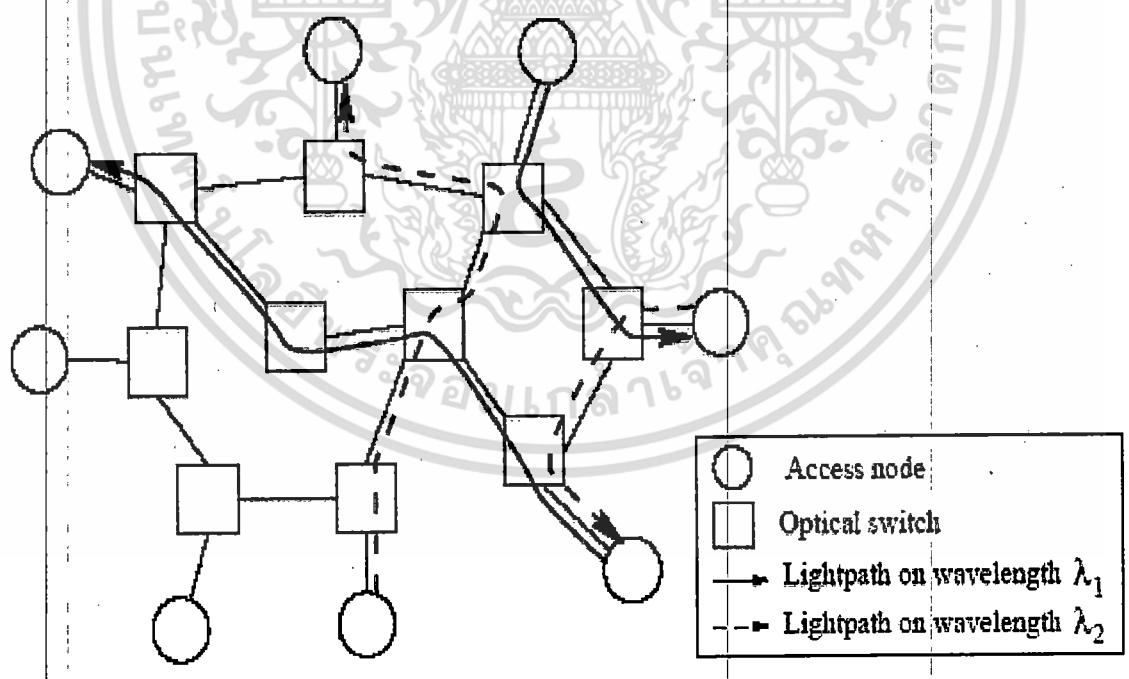
บทความนี้พิจารณาปัญหาการจัดสรรเส้นทาง และความยาวคลื่นแบบปรับตัว วัตถุประสงค์เบื้องต้นของวิธีการจัดสรรเส้นทาง และความยาวคลื่น ก็คือ เพื่อให้ความแออัดคับคั่ง หรือความ น่าจะเป็นในการบล็อกในโครงข่ายน้อยที่สุด ความแออัดคับคั่งในโครงข่ายจะถูกนิยามเป็นโหนดมากที่สุดในการเชื่อมต่อใดๆ ในโครงข่าย โหนด หรือเปอร์เซ็นต์การใช้งาน เป็นอัตราส่วนของปริมาณ ความจุที่ใช้ต่อปริมาณความจุทั้งหมด ระดับของความแออัดคับคั่งจะกำหนดปริมาณความจุของโครงข่าย ซึ่งแปลงไปเป็นค่าใช้จ่ายในการสร้างโครงข่าย ความน่าจะเป็นในการบล็อกจะถูกนิยามเป็นอัตราส่วนของการร้องขอที่ถูกปฏิเสธต่อจำนวนการร้องขอทั้งหมด และความน่าจะเป็นในการบล็อกต่ำจะแปลงไปเป็นผลกำไรสูง ความแออัดคับคั่งบนโครงข่ายจะกำหนดปริมาณทราฟฟิกที่เพิ่มขึ้นที่สามารถแทรกเข้าไปในโครงข่าย

โดยไม่มีความต้องการในการติดตั้งของปริมาณความจุที่เพิ่มขึ้น อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าการณ์ใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวกเรากำหนดเส้นทางที่สั้นที่สุดจากต้นทางถึงปลายทาง โดยใช้วิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของเดกส์ตรา (Dijkstra's shortest path algorithm) และจัดสรรความยาวคลื่นอีกด้วย ในวิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของเดกส์ตรา ทุกขั้วเชื่อมโยงในโครงข่ายจะมีความสัมพันธ์กับตัวให้นำหนัก ยกตัวอย่างเช่น เวลาประวิงที่ใช้ในการแผ่ของสัญญาณ (Propagation delay) ของขั้วเชื่อมโยง เหตุจูงใจของบทความนี้คือว่า ข้อมูลจำเพาะการมัลติเพลกซ์เชิงความยาวคลื่นอาจจะถูกรวมเข้าด้วยกันในฟังก์ชันให้นำหนักเพื่อที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพ ดังนั้นพวกเราเสนอฟังก์ชันให้นำหนักแบบใหม่ที่พิจารณาจำนวนฮอป และความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่คาดหวังไว้

การศึกษาประสิทธิภาพของฟังก์ชันให้นำหนักแบบความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่พอจะเป็นไปได้จะกระทำโดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ พวกเราใช้โครงข่ายอะบิลีน (Abilene network) เป็นรูปแบบในการจำลอง เมตริก (Metric) ที่ศึกษา คือ ความน่าจะเป็นในการบล็อก ซึ่งมีสาเหตุมาจากการที่ไม่มี ความยาวคลื่น และเปอร์เซ็นต์การใช้งานขั้วเชื่อมโยง

ส่วนที่เหลือของบทความจะถูกรวบรวมดังต่อไปนี้ ส่วนที่สองเสนอประเด็นสำคัญของวิธีการอื่นที่ใช้กับปัญหาการจัดสรรเส้นทาง และความยาวคลื่น ส่วนที่สามเสนอรายละเอียดของวิธีการแบบความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่พอจะเป็นไปได้ ส่วนที่สี่เสนอการประเมินประสิทธิภาพ ในส่วนสุดท้าย บทสรุปของบทความนี้จะแสดงในส่วนที่ห้า



รูปที่ 1. โครงข่ายการมัลติเพลกซ์เชิงความยาวคลื่นแบบจัดสรรความยาวคลื่น

2. ผลงานที่เกี่ยวข้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีการก่อนหน้านี้ส่วนใหญ่จะเลือกที่จะทำให้ความแออัดคับคั่งของโครงข่ายน้อยที่สุด โดยกระจายปริมาณทราฟฟิกโหนดให้กับข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดอย่างเท่าเทียมกัน อันนี้สามารถได้รับโดยเลือกเส้นทางหนึ่งเส้นทางบนข่ายเชื่อมโยงที่มีปริมาณทราฟฟิกโหนดน้อยที่สุด ดังนั้นจะเกิดความยาวคลื่นที่ยังไม่ถูกใช้จำนวนหนึ่งบนข่ายเชื่อมโยงทั้งหมด [2] วิธีการโดยทั่วไป คือ เพื่อกำหนดอัตราส่วนของความยาวคลื่นทั้งหมดต่อความยาวคลื่นที่ยังไม่ถูกใช้ [3] เป็นค่าใช้จ่าย หรือตัวให้นำหนักของข่ายเชื่อมโยงหนึ่งข่าย และจากนั้นก็จะค้นหาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยใช้โพรโทคอลการจัดสรรเส้นทางตามลักษณะของข่ายเชื่อมโยง เช่น เส้นทางที่สั้นที่สุดลำดับที่หนึ่งแบบเปิด (Open Shortest Path First, OSPF) [4] ดังนั้นข่ายเชื่อมโยงที่มีปริมาณทราฟฟิกโหนดอย่างเบาบางจะถูกชอบมากกว่าข่ายเชื่อมโยงที่มีปริมาณทราฟฟิกโหนดอย่างหนาแน่น ในขณะที่การเลือกเส้นทาง หรือซอฟต์แวร์ไปยังปลายทาง ความผันแปรหลายแบบสำหรับการกำหนดค่าใช้จ่าย หรือตัวให้นำหนักของข่ายเชื่อมโยงหนึ่งข่าย เช่น ฮอป (Hop-based, HW) ระยะทาง (Distance, DW) ความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ (Available wavelengths, AW) ฮอป และความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ (Hop count and Available wavelengths, HAW) ความยาวคลื่นทั้งหมด และความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ (Total wavelengths and Available wavelengths, TAW) และ ฮอป และความยาวคลื่นทั้งหมด และความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ (Hop count and Total wavelengths and Available wavelengths, HTAW) ได้ถูกเสนอโดยขึ้นอยู่กับเทคนิคนี้ การศึกษาเปรียบเทียบของวิธีการเหล่านี้ถูกกระทำ [3] และฮอป และความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ถูกสรุปว่าเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด

มีจุดบกพร่องบางประการ ในวิธีการเหล่านี้ที่ได้กล่าวถึงข้างบน จุดหนึ่ง ก็คือ สมมติฐานที่ว่าข่ายเชื่อมโยงทั้งหมดจะมีปริมาณความจุเท่ากัน ซึ่งไม่ถูกต้อง ยกตัวอย่างเช่น อาจจะมีความยาวคลื่นที่เหลืออยู่บนข่ายเชื่อมโยงที่มีปริมาณความจุสูงกว่า และโหนดอย่างหนาแน่น มากกว่าที่ข่ายเชื่อมโยงที่มีปริมาณความจุน้อยกว่า และโหนดอย่างเบาบาง วิธีการที่จะใช้โหนดบนแต่ละข่ายเชื่อมโยงเพื่อกำหนดตัวให้นำหนัก จะเป็นจุดบกพร่องนี้ ดังนั้นวิธีการคำนวณฟังก์ชันให้นำหนักแบบใหม่ ซึ่งมีชื่อว่า วิธีการแบบความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่คาดหวังไว้ (Expected Available Wavelength, EAW) ได้ถูกเสนอ วิธีการนี้จะคำนวณเส้นทางทั้งหมดซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ รวมทั้งในฟังก์ชันให้นำหนักแบบใหม่ จะเป็นส่วนประกอบที่ทำนายจำนวนความยาวคลื่นที่กำลังถูกใช้ในปัจจุบัน แต่คาดหวังว่าจะมีเหลืออยู่ภายหลังเวลาที่แน่นอน [5]

3. วิธีการแบบความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่พอจะเป็นไปได้

ในส่วนนี้ พวกเราจะสมมติสถาปัตยกรรมซึ่งมีโพรโทคอลการจัดสรรเส้นทางตามลักษณะของข่ายเชื่อมโยง เช่น เส้นทางที่สั้นที่สุดลำดับที่หนึ่งแบบเปิด โหนดจะกระจายข้อมูลเป็นระยะๆ บนข่ายเชื่อมโยงที่เกี่ยวข้องทั้งหมด แต่ละโหนดจะค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดไปยังแต่ละปลายทางอย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้วิธีการหาเส้นทางที่สั้นที่สุดของเดกส์ตรา [6]

เอกสารนี้เป็นลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พวกเราพิจารณาข้อดีของฟังก์ชันให้น้ำหนักแบบปรับตัวที่ขึ้นอยู่กับความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่คาดหวังไว้ แต่ละโหนดจะรักษาช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของเส้นทางแสงสำหรับแต่ละข่ายเชื่อมโยงโดยขึ้นอยู่กับเส้นทางแสงก่อนหน้านี้ ช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของเส้นทางแสงนี้จะถูกใช้เพื่อทำนายจำนวนเส้นทางแสงที่ใช้งานอยู่ในปัจจุบันที่จะถูกรื้อ ด้วยเหตุนี้จะทำให้ความยาวคลื่นว่าง อันนี้จะถูกรวมกันกับความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ในปัจจุบันเป็นปริมาณความจุที่เหลื่ออยู่โดยเฉลี่ยสำหรับช่วงเวลาระหว่างการอัปเดตสองครั้ง [5] ดังนั้นพวกเราเลือกที่จะปรับปรุงฟังก์ชันให้น้ำหนักแบบปรับตัวที่ขึ้นอยู่กับจำนวนฮอป และความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ ซึ่งฟังก์ชันให้น้ำหนักแบบนี้ให้ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดในรูปแบบของความน่าจะเป็นในการบล็อก โดยที่จะทำการแทนที่ความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ด้วยความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่คาดหวังไว้ หรืออีกนัยหนึ่ง ก็คือ พวกเราเสนอฟังก์ชันให้น้ำหนักแบบใหม่ที่จะคำนวณค่าใช้จ่ายของแต่ละข่ายเชื่อมโยง ซึ่งเป็นการรวมกันของฮอป และความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่คาดหวังไว้ โดยจะเรียกว่า ความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่พอจะเป็นไปได้ (Possible Available Wavelength, PAW)

สำหรับข่ายเชื่อมโยง $(i, j) \in E$ λ_{ij}^e เป็นจำนวนความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่บนข่ายเชื่อมโยง เมื่อข้อมูลลักษณะของข่ายเชื่อมโยงถูกเก็บ λ_{ij}^T เป็นจำนวนความยาวคลื่นทั้งหมดบนข่ายเชื่อมโยง และ λ_{ij}^a เป็นจำนวนความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่คาดหวังไว้บนข่ายเชื่อมโยง ดังนั้นตัวให้น้ำหนักของข่ายเชื่อมโยง (i, j) หรือ w_{ij} ในวิธีการแบบความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่พอจะเป็นไปได้สามารถถูกคำนวณเป็นฟังก์ชันในสมการที่ 1 ข้างล่าง [3]

$$w_{ij} = \begin{cases} \alpha - \beta \log\left(1 - \frac{1}{\lambda_{ij}^e}\right) & \lambda_{ij}^e > 1, \forall (i, j) \in E, \alpha, \beta > 0 \\ \alpha + \beta & \lambda_{ij}^e \leq 1, \forall (i, j) \in E, \alpha, \beta > 0 \end{cases} \quad (1)$$

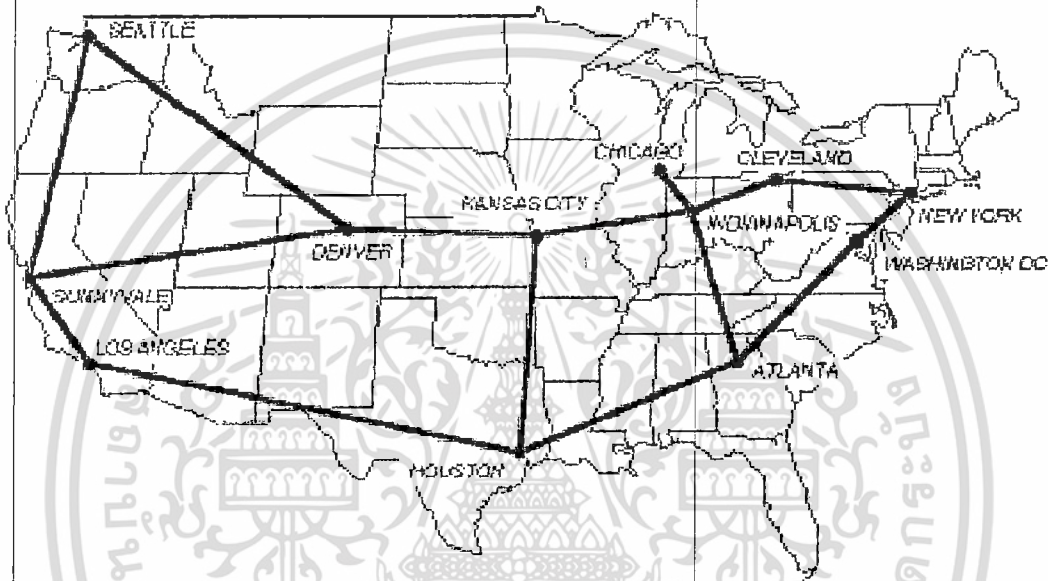
ที่ซึ่ง

$$\lambda_{ij}^e = \lambda_{ij}^a + \frac{U}{2L_{avg}} (\lambda_{ij}^T - \lambda_{ij}^a)$$

L_{avg} เป็นช่วงเวลาโดยเฉลี่ยของเส้นทางแสง และ U เป็นช่วงเวลาการอัปเดต α, β เป็นตัวให้น้ำหนักที่สัมพันธ์กับจำนวนฮอป และความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่คาดหวังไว้ ตามลำดับ w_{ij} ที่คำนวณจากสมการที่ 1 จะใช้ในวิธีการของเดกส์ตราเป็นปัจจัยในการตัดสินใจ ดังนั้น พวกเรานิยามว่า วิธีการของเดกส์ตราจะเลือกเส้นทางแสงที่มีจำนวนของฟังก์ชันให้น้ำหนัก หรือ w_{ij} มากที่สุดตามเส้นทาง เนื่องจากวิธีการของเดกส์ตราเป็นวิธีการจัดสรรเส้นทางที่สั้นที่สุด ดังนั้นเส้นทางแสงที่ถูกเลือกตามฟังก์ชันให้น้ำหนักที่เสนอจะเป็นเส้นทางที่มีจำนวนฮอปน้อยที่สุด และความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่คาดหวังไว้ มากที่สุด

4. การประเมินประสิทธิภาพ

พวกเราศึกษาประสิทธิภาพของวิธีการแบบความยาวคลื่นที่เหลื่ออยู่ที่พอจะเป็นไปได้โดยการจำลองทางคอมพิวเตอร์ รูปแบบโครงข่ายที่ใช้ในการจำลอง คือ โครงข่ายอะบิติน ดังที่แสดงในรูปที่ 2 โดยปกติ ระดับของโนดจะหมายความถึง จำนวนข่ายเชื่อมโยงที่สัมพันธ์กับโนดนี้ ดังนั้นในโครงข่ายอะบิติน ระดับของแต่ละโนดจะอยู่ระหว่าง 1 และ 4 เมื่อจำนวนโนดทั้งหมดเท่ากับ 12 แล้วระดับเฉลี่ยของโนดจะเท่ากับประมาณ 3



รูปที่ 2. โครงข่ายแน็กโบนอะบิติน - เดือนกุมภาพันธ์ พ.ศ. 2545

ปริมาณทราฟฟิกในโครงข่ายจะถูกสร้างในรูปของการร้องขอเชื่อมต่อจากโนดต้นทางถึงโนดปลายทาง การร้องขอเชื่อมต่อที่มาถึงที่ทุกๆ โนดจะถูกสมมติให้ตามการกระจายแบบปัวส์ซง (Poisson distribution) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของการร้องขอเท่ากับ λ ต่อหน่วยเวลา ระยะเวลาการเชื่อมต่อจะถูกสมมติให้ตามการกระจายแบบเอกซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution) ซึ่งมีค่าเฉลี่ยของหน่วยเวลาเท่ากับ 3 จำนวนความยาวคลื่นทั้งหมดบนข่ายเชื่อมโยงจะเปลี่ยนแปลงระหว่าง 8 และ 24 โดยการเพิ่มขึ้นทีละ 8 ในต่อไปนี้ การจำลองจะใช้วิธีการจัดสรรความยาวคลื่นแบบเหมาะสมก่อน (First-fit) สำหรับการจัดสรรความยาวคลื่น และช่วงเวลากการอัปเดตเส้นทางที่สั้นที่สุดลำดับที่หนึ่งแบบปิดของหน่วยเวลาเท่ากับ 1.0

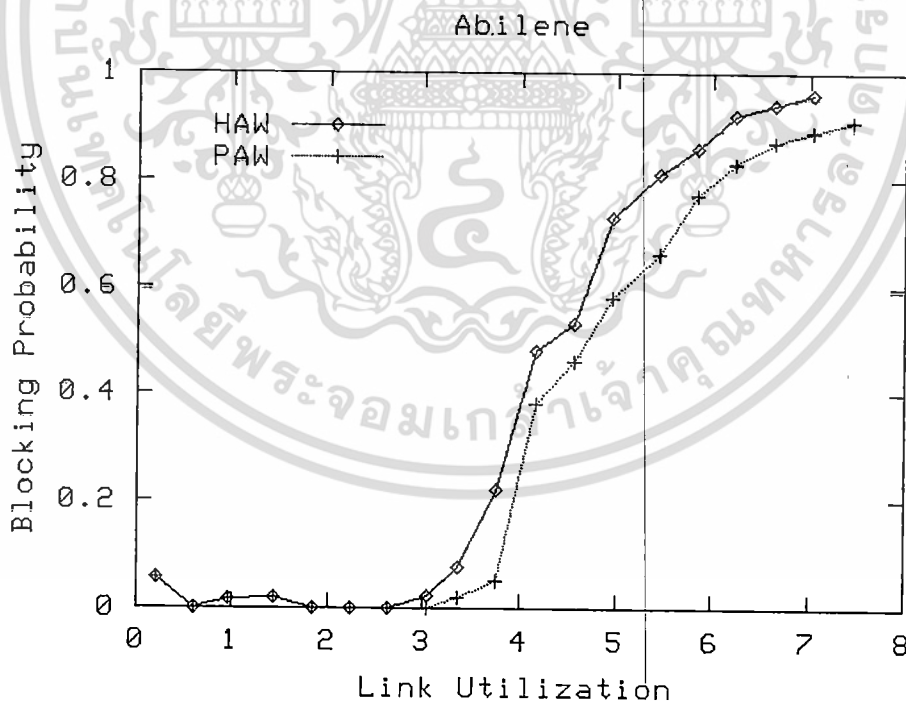
พารามิเตอร์ของประสิทธิภาพที่พิจารณา คือ

- (1) ความน่าจะเป็นในการบล็อก เป็นความน่าจะเป็นที่การร้องขอจะถูกบล็อกเนื่องจากการไม่มีเหลืออยู่ของเส้นทางแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

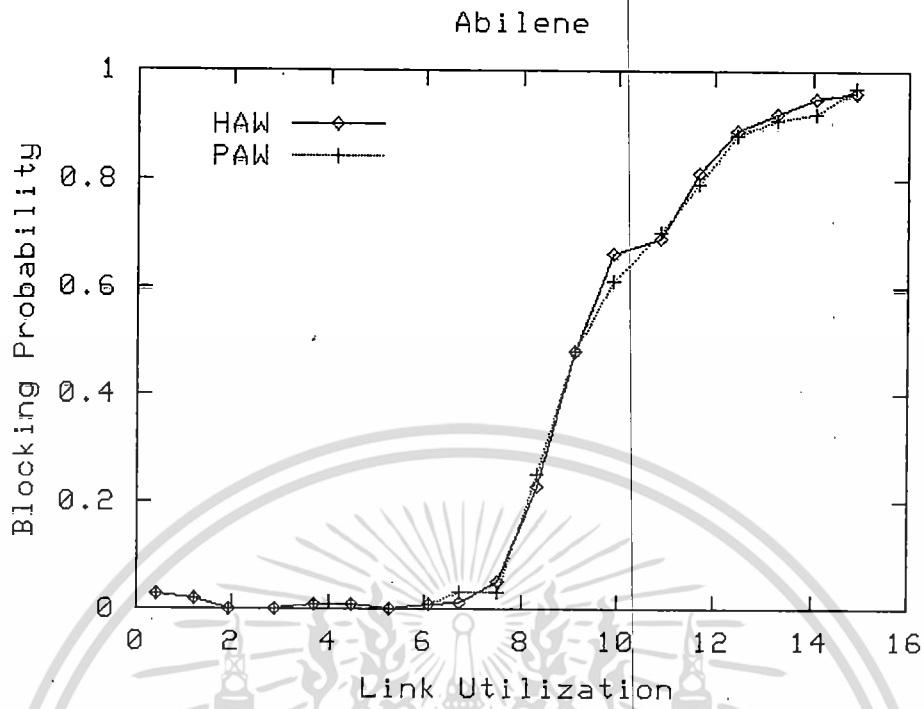
(2) เปรอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยง จะถูกให้โดยเปอร์เซ็นต์ของเวลาที่ความยาวคลื่นทั้งหมดของแต่ละ ข่ายเชื่อมโยงในโครงข่ายถูกใช้งานอย่างเต็มที่

รูปที่ 3 4 และ 5 เสนอความน่าจะเป็นในการบล็อกเทียบกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยง ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 8 16 และ 24 ตามลำดับ รูปเหล่านี้จะแสดงแนวโน้มของความน่าจะเป็นในการบล็อกที่ค่อนข้างจะคล้ายคลึงกัน ซึ่งจะสังเกตว่าเมื่อเปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยงน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ถูกใช้งาน ความน่าจะเป็นในการบล็อกจะมีค่าต่ำมาก หรือเกือบจะมีค่าเป็นศูนย์ อย่างไรก็ตาม ในกรณีของเปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยงมากกว่าครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นที่ถูกใช้งาน ความน่าจะเป็นในการบล็อกจะเพิ่มขึ้นอย่างทันที และมีแนวโน้มเปอร์เซ็นต์ของความน่าจะเป็นในการบล็อกเท่ากับ 100 อันนี้บอก เป็นนัยว่าความยาวคลื่นทั้งหมดจะถูกใช้งาน ผลเหล่านี้แสดงว่าวิธีการที่น่าเสนอให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าในการเปรียบเทียบกับวิธีการดั้งเดิม ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการสำหรับความยาวคลื่นเท่ากับ 8 16 และ 24 จะถูกให้ในตารางที่ 1 2 และ 3 ตามลำดับ ข้อมูลเหล่านี้แสดง ความน่าจะเป็นในการบล็อกที่เปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยงที่แน่นอน อันนี้ได้รับโดยทำค่าเฉลี่ยของความน่าจะเป็นในการบล็อกบนช่วงเวลาที่แน่นอน

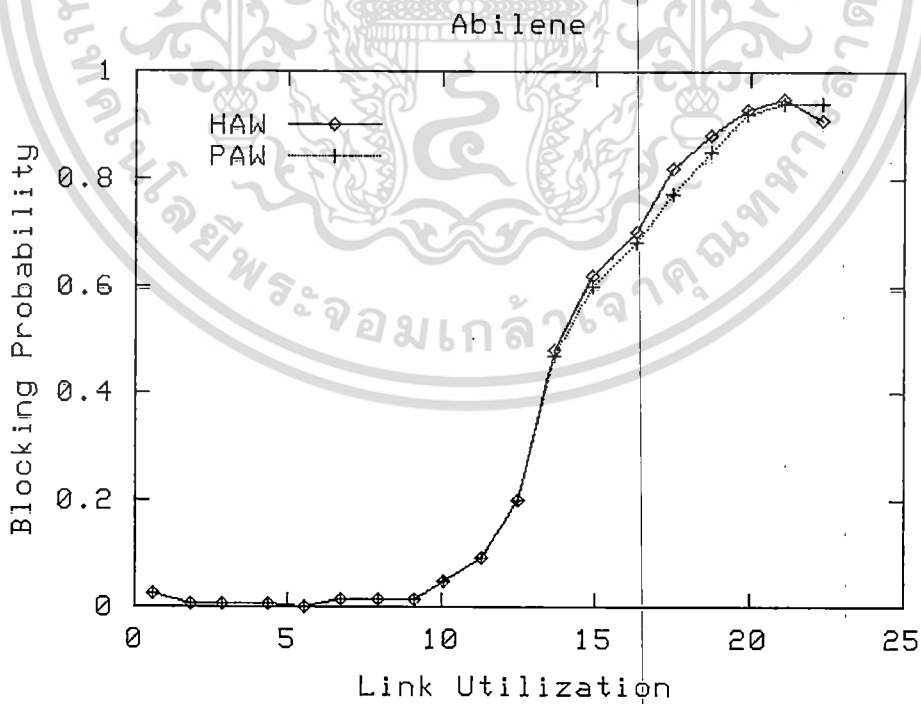


รูปที่ 3. ความน่าจะเป็นในการบล็อกเทียบกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยง ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4. ความน่าจะเป็นในการบล็อกเทียบกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยง
ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 16



รูปที่ 5. ความน่าจะเป็นในการบล็อกเทียบกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานข่ายเชื่อมโยง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้ซึ่งมีความยาวคลื่นเท่ากับ 24 ญาติให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 1

ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการสำหรับความยาวคลื่นเท่ากับ 8 ต่อเส้นใยแก้วนำแสง

HAW	PAW	Link Utilization	
Blocking	Blocking	%	Used wavelengths
0.06	0.06	3	0.24
0.00	0.00	8	0.64
0.02	0.02	12	0.96
0.00	0.00	18	1.44
0.00	0.00	23	1.84
0.00	0.00	33	2.64
0.02	0.00	38	3.04
0.08	0.02	42	3.36
0.22	0.05	47	3.76
0.48	0.38	52	4.16
0.53	0.46	57	4.56
0.73	0.58	62	4.96
0.81	0.66	68	5.44
0.86	0.77	73	5.84
0.92	0.83	78	6.24
0.94	0.87	83	6.64
0.96	0.91	88	7.04

ตารางที่ 2

ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการสำหรับความยาวคลื่นเท่ากับ 16 ต่อเส้นใยแก้วนำแสง

HAW	PAW	Link Utilization	
Blocking	Blocking	%	Used wavelengths
0.03	0.03	3	0.4
0.02	0.02	8	1.2
0.00	0.00	12	1.92
0.00	0.00	18	2.88
0.00	0.00	23	3.68
0.00	0.00	33	5.28
0.00	0.00	38	6.08
0.01	0.03	42	6.72
0.05	0.03	47	7.52
0.23	0.25	52	8.32
0.48	0.48	57	9.12
0.66	0.61	62	9.92
0.69	0.70	68	10.88
0.81	0.79	73	11.68
0.89	0.88	78	12.48
0.92	0.91	83	13.28
0.95	0.92	88	14.08
0.96	0.97	93	14.88

ตารางที่ 3

ข้อมูลที่ได้จากการดำเนินการสำหรับความยาวคลื่นเท่ากับ 16 ต่อเส้นใยแก้วนำแสง

HAW	PAW	Link Utilization	
		%	Used wavelengths
0.03	0.03	3	0.6
0.00	0.02	8	1.8
0.00	0.00	12	2.88
0.00	0.00	18	4.32
0.00	0.00	23	5.52
0.01	0.01	28	6.72
0.01	0.01	33	7.92
0.01	0.01	38	9.12
0.05	0.05	42	10.08
0.09	0.09	47	11.28
0.20	0.20	52	12.48
0.48	0.47	57	13.68
0.62	0.60	62	14.88
0.70	0.68	68	16.32
0.82	0.77	73	17.52
0.88	0.85	78	18.72
0.93	0.92	83	19.92
0.95	0.94	88	21.12
0.91	0.94	93	22.32

5. บทสรุป

บทความนี้ศึกษาปัญหาการจัดสรรเส้นทาง และความยาวคลื่นในโครงข่ายการมัลติเพล็กซ์เชิงความยาวคลื่น ที่สนับสนุนการมาถึงของปริมาณทราฟฟิกแบบปรับตัว พวกเราเสนอฟังก์ชันให้น้ำหนักแบบความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่พอจะเป็นไปได้ ซึ่งรวมจำนวนฮอป และความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่คาดหวังไว้ สำหรับการคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด พวกเราแสดงว่า วิธีการแบบความยาวคลื่นที่เหลืออยู่ที่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พอจะเป็นไปได้ให้ประสิทธิภาพในรูปของความน่าจะเป็นในการบล็อก และเปอร์เซ็นต์การ ใช้งานข่าย
เชื่อมโยงที่ดีกว่าวิธีการดั้งเดิม

เอกสารอ้างอิง

- [1] I. Chlamtac, A. Ganz, and G. Karmi, "Lightpath communications: An approach to high bandwidth optical WANs," IEEE Trans. on Communications, Vol. 40, pp. 1171–1182, July 1992.
- [2] H. Zang, J. P. Jue, and B. Mukherjee, "A review of routing and wavelength assignment approaches for wavelength-routed optical WDM networks," Optical Networks Magazine, Vol. 1, pp. 47–60, Jan. 2000.
- [3] N. M. Bhide, K. M. Sivalingam, and T. Fabry-Asztalos, "Routing Mechanisms Employing Adaptive Weight Functions for Shortest Path Routing in Multi-Wavelength Optical WDM Networks," Journal of Photonic Network Communications, Vol. 3, pp. 227–236, July 2001.
- [4] L. Peterson and B. Davie, Computer Networks: A Systems Approach, Morgan Kaufman, 1996.
- [5] S. Venugopal and S. Gowda, On Solutions to the Routing and Wavelength Assignment Problem in OWDM Networks, 2002.
- [6] J.T. Moy, OSPF: Anatomy of an Internet Routing Protocol, Addison-Wesley, 1998.

รายงาน

เรื่อง “การพัฒนาซอฟต์แวร์ออกแบบข้อกำหนดของระบบสื่อสารที่มีการทำงานร่วมกัน”

ดำเนินงานโดย นายประพันธ์ ปวรังกุล

ผู้ควบคุมงาน รศ. ดร. รัตติกกร วรากุลศิริพันธ์

1. บทนำ

ขบวนการสื่อสารส่วนใหญ่คือ ระบบการทำงานร่วมกันซึ่งมีการเชื่อมต่อถึงกัน ดังนั้นในการออกแบบระบบดังกล่าวจึงต้องคำนึงถึงการเชื่อมต่อหรือการสื่อสารร่วมกันเหล่านี้ด้วย

วิธีการระบุข้อกำหนดให้กับระบบนั้นสามารถใช้ขบวนการทางคณิตศาสตร์สร้างแบบจำลองการสื่อสารขึ้นมา เช่น CCS[1] และ CSP[2] ซึ่งนำเสนอการแสดงผลในรูปแบบพีชคณิต และสามารถชี้แจงเหตุการณ์ที่เกิดร่วมกันได้ แต่ก็มีวิธีการระบุข้อกำหนดแบบอื่นที่อาศัยสเตตแมชชีนเป็นแบบจำลองและได้ถูกนำเสนอไปแล้ว[3-5] ข้อดีของวิธีนี้คือไม่ได้ติดอยู่ในรูปแบบทางพีชคณิต จึงมีความเหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงมากกว่า

ผู้ดำเนินงานจึงได้นำเสนอวิธีการระบุข้อกำหนดของระบบแบบใหม่โดยใช้แบบจำลองสเตตแมชชีนเป็นพื้นฐาน ซึ่งเนื้อหาส่วนแรกจะกล่าวถึงแบบจำลองสเตตแมชชีน และวิธีการระบุข้อกำหนดของระบบที่ใช้ จากนั้นกล่าวถึงการเพิ่มข้อจำกัดให้แก่สเตตแมชชีนอันได้แก่ ข้อจำกัดทางเวลา และทางภูมิศาสตร์ ด้วยข้อจำกัดนี้ทำให้ข้อกำหนดมีความใกล้เคียงกับระบบจริง และสามารถนำไปใช้กับงานได้หลากหลายขึ้น ส่วนสุดท้ายได้นำเสนอเครื่องมือหรือ โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อตรวจสอบและวิเคราะห์ระบบซึ่งถูกออกแบบตามวิธีการระบุข้อกำหนดนี้ โดยโปรแกรมสามารถแสดงกราฟของแบบจำลอง สเตตแมชชีนในระบบ ทำการแสดงผลเพื่อวิเคราะห์ และจำลองการทำงานและพฤติกรรมต่างๆ ภายในระบบได้

2. สเตตแมชชีนพื้นฐาน

2.1 แบบจำลอง

สเตตแมชชีนสามารถติดต่อกับสื่อสารกับสิ่งแวดล้อมภายนอกหรือสเตตแมชชีนตัวอื่นๆ ได้ ซึ่งการติดต่อนี้เป็นการรับหรือส่งข้อมูลเข้าและออกผ่านช่องทางสื่อสาร กำหนดให้เซตของช่องสื่อสารที่รองรับเซตข้อมูลเข้า(I) และออก(O) เป็น C^in และ C^out ในนิยามต่อจากนี้การเข้าและออกของข้อมูลในสเตตแมชชีนผ่านช่องสื่อสารจะถูกกำหนดเป็น เหตุการณ์(event) ซึ่งเป็นสาเหตุให้เกิดการเปลี่ยนแปลงในสเตตแมชชีน

นิยามที่ 1 สเตตแมชชีน M ประกอบด้วย 5 เซตหลัก คือ

$$M = \langle Q, V, \Sigma, T, \theta \rangle$$

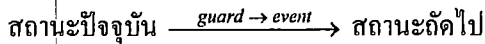
- Q เป็นเซตจำกัดของสถานะควบคุม
- V เป็นเซตจำกัดของตัวแปร
- Σ เป็นเซตของเหตุการณ์ ประกอบด้วย 3 เซต คือ เซตเหตุการณ์รับข้อมูลเข้าจากสิ่งแวดล้อม Σ^in ($\Sigma^in \subseteq C^in \times I$), เซตเหตุการณ์ส่งข้อมูลออกสู่สิ่งแวดล้อม Σ^out ($\Sigma^out \subseteq C^out \times O$) และเซตเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นภายใน สเตตแมชชีน M คือ $\{T\}$
- $T \subseteq (Q \times V) \times \Sigma \times (Q \times V)$ เป็นเซตของการเปลี่ยนสถานะ
- $\theta \subseteq Q \times V$ เป็นเซตของสถานะเริ่มต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดให้ $s \in Q \times V$ เป็นสถานะของสแตทแมชชีน M โดยที่ V เป็นเซตของตัวแปร และ V เป็นเซตค่าของเซตตัวแปร V แต่เนื่องจากบางกรณีโดเมนของตัวแปรอาจเป็นเซตไม่จำกัดดังนั้นจำนวนสถานะของ M อาจมีได้ไม่จำกัดด้วย

การเปลี่ยนสถานะสามารถแสดงด้วย $s \xrightarrow{\sigma} s'$ ซึ่งสามารถเข้าใจได้ง่ายกว่า $(s, \sigma, s') \in T$ ถ้ามีสถานะ s' ที่เกิดจากสถานะ s และเหตุการณ์ σ ให้เขียนแทนด้วย $s \xrightarrow{\sigma}$

ข้อกำหนดการแสดงที่ 1 แผนผังการเปลี่ยนสถานะของสแตทแมชชีนให้แสดงดังนี้



guard คือเงื่อนไขของการเกิดเหตุการณ์(event) ซึ่งอ้างอิงถึงตัวแปรที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนสถานะ ถ้าไม่มีความจำเป็นหรือเงื่อนไขเป็นจริงตลอดก็สามารถละไว้ได้

เหตุการณ์รับข้อมูลเข้าให้แสดงเป็น

ชื่อช่องสัญญาณ/ชื่อตัวแปร หรือ “ค่า”

ซึ่งแสดงว่าสแตทแมชชีนรับข้อมูลที่ระบุโดย ชื่อตัวแปร หรือ “ค่า” ผ่านช่องสื่อสารที่ระบุโดย ชื่อช่องสื่อสาร และสำหรับเหตุการณ์รับข้อมูลแบบโครงสร้าง ให้แสดงเป็น

ชื่อช่องสัญญาณ/ชื่อข้อความ(ตัวแปร, ... , ตัวแปร)

ในที่นี้ตัวแปรอาจเป็น “ค่า” ก็ได้

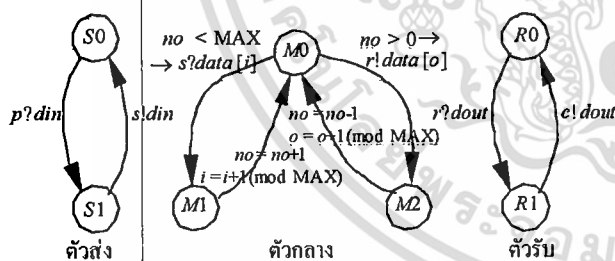
เหตุการณ์ส่งข้อมูลออกให้แสดงเป็น

ชื่อช่องสื่อสาร/ชื่อตัวแปร หรือ “ค่า”

ซึ่งแสดงว่าสแตทแมชชีนรับข้อมูลที่ระบุโดย ชื่อตัวแปร หรือ “ค่า” ผ่านช่องสื่อสารที่ระบุโดย ชื่อช่องสื่อสาร และสำหรับเหตุการณ์ส่งข้อมูลแบบโครงสร้าง ให้แสดงเป็น

ชื่อช่องสื่อสาร/ชนิดตัวแปร(ตัวแปร, ... , ตัวแปร)

สำหรับเหตุการณ์ภายในสแตทแมชชีน ถ้ามีกระบวนการเปลี่ยนค่าตัวแปร ควรแสดงกระบวนการนั้นกำกับไว้ด้วย



รูปที่ 1 ตัวอย่างระบบการรับ-ส่งข้อมูล

ตัวอย่างที่ 1 รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างขั้นตอนการทำงานของระบบการสื่อสารด้วยแบบจำลองสแตทแมชชีน ซึ่งประกอบด้วย ตัวส่ง ส่งข้อมูลให้ ตัวรับ ผ่าน ตัวกลาง ตัวส่งประกอบด้วยสถานะควบคุม S0 และ S1 ทำงานโดยรับข้อมูลจากสิ่งแวดล้อมเก็บลงตัวแปร din โดยผ่านช่องสื่อสาร p และส่งข้อมูลต่อให้กับตัวกลางผ่านช่องสื่อสาร s โดยเริ่มต้นที่สถานะควบคุม S0 ตัวกลางประกอบด้วยสถานะควบคุม M0, M1, และ M2 เริ่มต้นที่สถานะควบคุม M0 ประกอบด้วยตัวแปร no, i, o, และ data ซึ่ง data เป็นตัวแปรสำหรับเก็บข้อมูลหรือตัวเก็บข้อมูล, no แสดงจำนวนของข้อมูลในตัวเก็บข้อมูล, i แสดงตำแหน่งข้อมูลเข้าในตัวเก็บข้อมูล, และ o แสดงตำแหน่งข้อมูลออกในตัวเก็บข้อมูลโดยค่าเริ่มต้นของตัวแปรทั้ง 3 ถูกกำหนดให้เป็น 0, MAX เป็นค่าคงที่เพื่อระบุจำนวนข้อมูลที่มากที่สุดที่ตัวเก็บข้อมูลสามารถเก็บได้ ข้อมูลสามารถถูกเก็บลงตัวเก็บข้อมูลโดยผ่านช่องสื่อสาร s และถ้าในตัวเก็บข้อมูลมีข้อมูลอยู่ตัวกลางก็สามารถส่งข้อมูลไปให้ตัวรับได้โดยผ่านช่องสื่อสาร r ซึ่งในระหว่างที่การรับส่งข้อมูลกระทำอยู่นั้นค่าของตัวแปรใน

ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ระบบก็จะถูกเปลี่ยนแปลงโดยเหตุการณ์ภายในไปด้วย ส่วนตัวรับประกอบด้วยสถานะควบคุม RO และ RI เริ่มต้นที่สถานะควบคุม RO ทำงานโดยตัวรับรับข้อมูลผ่านช่องสื่อสาร r เก็บลงตัวแปร $dout$ และส่งข้อมูลนั้นออกจากระบบสู่สิ่งแวดล้อมภายนอกระบบ โดยผ่านช่องสื่อสาร c

นิยามที่ 2 กำหนดให้ลำดับการทำงานของสเตตแมชชีน M เป็นลำดับของสถานะ และเหตุการณ์

$$\alpha = S_0 \sigma_0 S_1 \sigma_1 S_2 \sigma_2 S_3 \dots$$

ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขต่อไปนี้

1. $S_0 \in \theta$
2. สำหรับทุก $i \geq 0, S_i \xrightarrow{\sigma_i} S_{i+1}$

เซตลำดับการทำงานทั้งหมดของ M เขียนแทนด้วย $Comp(M)$

จากตัวอย่างที่ 1 สามารถแสดง สถานะ เหตุการณ์รับข้อมูลเข้า และเหตุการณ์ส่งข้อมูลออกได้ดังนี้

(สถานะควบคุม, $\{no, i, o, data\}$)

ชื่อช่องสื่อสาร? ข้อมูล

ชื่อช่องสื่อสาร! ข้อมูล

ถ้า $MAX = 2$ แล้ว ลำดับการทำงานที่เป็นไปได้ของตัวกลางคือ

$\alpha = (M0, \{no = 0, i = 0, o = 0, data[] = null\}) s? "d1"$
 $(M1, \{no = 0, i = 0, o = 0, data[] = "d1"\}) \tau$
 $(M0, \{no = 1, i = 1, o = 0, data[] = "d1"\}) s? "d2"$
 $(M1, \{no = 1, i = 1, o = 0, data[] = "d1" "d2"\}) \tau$
 $(M0, \{no = 2, i = 0, o = 0, data[] = "d1" "d2"\}) r! "d1"$
 $(M2, \{no = 2, i = 0, o = 0, data[] = "d1" "d2"\}) \tau$
 $(M0, \{no = 1, i = 0, o = 1, data[] = "d1" "d2"\}) s? "d3"$
 $(M0, \{no = 1, i = 0, o = 1, data[] = "d3" "d2"\}) \dots$

โดยที่ "d1", "d2", ... คือ ค่าข้อมูล

นิยามที่ 3 กำหนดให้ $\alpha = S_0 \sigma_0 S_1 \sigma_1 S_2 \sigma_2 S_3 \dots$ เป็นลำดับการทำงานของสเตตแมชชีน M ลำดับนี้ถ้าตัดสถานะและเหตุการณ์ภายในออกทั้งหมดแล้วจะเรียกว่า เส้นทางเปลี่ยนแปลงของสเตตแมชชีน M

เส้นทางเปลี่ยนแปลงเป็นเหมือนการสังเกตการทำงานของสเตตแมชชีนจากภายนอกหรือสิ่งแวดล้อม เนื่องจากเส้นทางเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของสเตตแมชชีน M จะแสดงเฉพาะเหตุการณ์ที่กระทำกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น เซตเส้นทางเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของสเตตแมชชีน M เขียนแทนด้วย $Trace(M)$

จากตัวอย่างลำดับการทำงานข้างต้น เส้นทางเปลี่ยนแปลงของตัวกลางคือ

$$tr = s? "d1" s? "d2" r! "d1" s? "d3" \dots$$

2.2 ระบบการทำงานร่วมกัน

ระบบการทำงานร่วมกันประกอบด้วยกลุ่มของสเตตแมชชีนที่มีการสื่อสารกัน ในหัวข้อนี้จะนิยามพฤติกรรมของระบบการทำงานร่วมกัน โดยการสร้างลำดับสถานะการทำงานของระบบ ซึ่งสามารถบ่งบอกพฤติกรรมของแต่ละสเตตแมชชีนย่อย และพฤติกรรมที่ติดต่อกันได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามที่ 4 กำหนดให้ M_1, \dots, M_n เป็นสเตทแมชชีนย่อยของระบบการทำงานร่วมกัน ให้ $S = ((c_1, \dots, c_p, \dots, c_n), v_1 \cup \dots \cup v_i \cup \dots \cup v_n)$ ซึ่งประกอบด้วยกลุ่มสถานะควบคุม และเซตค่าตัวแปรในแต่ละสเตทแมชชีนย่อย $M_i (1 \leq i \leq n)$ โดยที่ $V_i \cap V_j = \emptyset$ สำหรับทุก i และ $j (1 \leq i \leq n, 1 \leq j \leq n, i \neq j)$ เป็น สถานะของระบบการทำงานร่วมกัน และการถ่ายทอดสถานะของระบบ S ไปยังสเตทแมชชีน M_i ให้เขียนแทนด้วย $S^{(i)}$ ส่วนลำดับสถานะและเหตุการณ์ของระบบ $\alpha = S_0 \sigma_0 S_1 \sigma_1 S_2 \sigma_2 S_3 \dots$ ให้เรียกว่า ลำดับการทำงานของระบบการทำงานร่วมกัน

ถ้ามีการใช้ช่องสื่อสาร c ร่วมกันอย่างน้อย 2 สเตทแมชชีน แล้ว c จะถูกเรียกเป็น ช่องสื่อสารร่วม

เมื่อแทน c_i ด้วย c_i' และแทน v_i ด้วย v_i' ลงในสถานะของระบบ $S = ((c_1, \dots, c_p, \dots, c_n), v_1 \cup \dots \cup v_i \cup \dots \cup v_n)$ แล้วให้แสดงด้วย $S[c_i'/c_p, v_i'/v_i]$ ถ้ามีการแทนที่ตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปให้แสดงต่อกันไปเรื่อยๆ ตัวอย่างเช่น ถ้าแทนที่ c_j ด้วย c_j' และแทน v_j ด้วย v_j' ($j \neq i$) ต่อจากการแทนที่ข้างต้นแล้วจะแสดงเป็น $S[c_i'/c_p, v_i'/v_i][c_j'/c_p, v_j'/v_j]$. ถ้ามีสถานะของระบบ S และเหตุการณ์ส่งข้อมูลออก $c!d$ และมี $S^{(i)}$ ที่ทำให้ $S^{(i)} \xrightarrow{c!d}$ แล้วกำหนดให้เซตของการเปลี่ยนสถานะของสเตทแมชชีนอื่นซึ่งทำให้ $S^{(i)} \xrightarrow{c?d} (c_j', v_j')$ สำหรับบางสถานะ (c_j', v_j') เป็น $Peer(S^{(i)} \xrightarrow{c!d} \dots)$

นิยามที่ 5 กำหนดให้ M_1, \dots, M_n เป็นสเตทแมชชีนย่อยของระบบการทำงานร่วมกัน ลำดับการทำงานของระบบ $\alpha = S_0 \sigma_0 S_1 \sigma_1 S_2 \sigma_2 S_3 \dots$ จะเกิดขึ้นได้ ถ้าเงื่อนไขดังต่อไปนี้เป็นจริง

1. $S_0 = ((c_1, \dots, c_p, \dots, c_n), v_1 \cup \dots \cup v_i \cup \dots \cup v_n)$ ซึ่ง $S_0^{(i)} \in \theta_i$ สำหรับทุก $i (1 \leq i \leq n)$
2. ให้ $S_j = ((c_1, \dots, c_p, \dots, c_n), v_1 \cup \dots \cup v_i \cup \dots \cup v_n)$ สำหรับแต่ละ $j \geq 0$ แล้ว σ_j และ S_{j+1} จะเป็นไปตามเงื่อนไข (a), (b), หรือ (c)

(a) $\sigma_j = \tau$

สำหรับบาง $i (1 \leq i \leq n)$, ช่องสื่อสารร่วม c , ข้อมูล d , และสถานะ (c_i', v_i') ของสเตทแมชชีน M_i ,

$$S_j^{(i)} \xrightarrow{c!d} (c_i', v_i'), Peer(S_j^{(i)} \xrightarrow{c!d} \dots) = \{S_j^{(i_1)} \xrightarrow{c?d} (c_{i_1}', v_{i_1}'), \dots, S_j^{(i_m)} \xrightarrow{c?d} (c_{i_m}', v_{i_m}'), \dots\} \neq \emptyset, \text{ และ } S_{j+1} = S_j[c_i'/c_p, v_i'/v_i][c_{i_1}'/c_p, v_{i_1}'/v_{i_1}] \dots [c_{i_m}'/c_p, v_{i_m}'/v_{i_m}]$$

(b) σ_j เป็นเหตุการณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกผ่านช่องสื่อสารที่ไม่ใช่ช่องสื่อสารร่วม สำหรับบาง $i (1 \leq i \leq n)$,

$$S_j^{(i)} \xrightarrow{\sigma_j} (c_i', v_i') \text{ และ } S_{j+1} = S_j[c_i'/c_p, v_i'/v_i]$$

(c) $\sigma_j = \tau$ (เหตุการณ์ภายในในสเตทแมชชีนตัวหนึ่ง)

สำหรับบาง $i (1 \leq i \leq n)$,

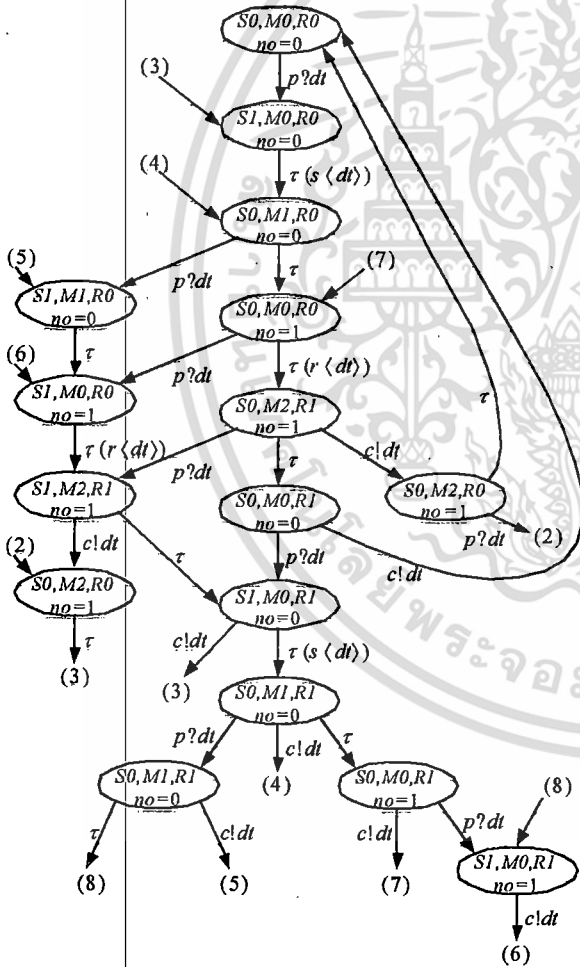
$$S_j^{(i)} \xrightarrow{\sigma_j} (c_i', v_i') \text{ และ } S_{j+1} = S_j[c_i'/c_p, v_i'/v_i]$$

ลำดับการทำงานของระบบแสดงถึงพฤติกรรมที่สามารถเกิดขึ้นภายในระบบการทำงานร่วมกันทั้งหมด

ในนิยามนี้สมมุติว่าการสื่อสารกันระหว่างสเตทแมชชีนใดๆ เกิดขึ้นพร้อมกัน สำหรับช่องสื่อสารที่ใช้ร่วมกันในสเตทแมชชีนตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป การส่งข้อมูลออกจากสเตทแมชชีนหนึ่งจะเป็นการรับข้อมูลเข้าสู่สเตทแมชชีนตัวอื่นที่สามารถรับได้ในขณะเวลานั้นเช่น การส่งข้อมูลแบบกระจาย การรับหรือส่งข้อมูลแบบนี้เมื่อมองจากสิ่งแวดล้อมจะเห็นเป็นเพียงเหตุการณ์ภายใน ส่วนข้อมูลที่ถูกลงส่งเข้าและออกโดยไม่ผ่านช่องสื่อสารร่วมจะไม่กระทบต่อสเตทแมชชีนอื่นและเป็นการติดต่อกับสิ่งแวดล้อมเท่านั้น

ตัวอย่างที่ 2 พฤติกรรมที่สามารถเกิดขึ้นได้ของระบบการทำงานร่วมกันประกอบด้วยสเตตแมชชีน ตัวส่ง, ตัวกลาง, และตัวรับ ในตัวอย่างที่ 1 ถูกแสดงในรูปที่ 2 โดยให้ MAX = 1, สถานะควบคุมของระบบสามารถเขียนแทนด้วย (สถานะควบคุมตัวส่ง, สถานะควบคุมตัวกลาง, สถานะควบคุมตัวรับ) และแสดงร่วมกับค่าของตัวแปร no หนึ่งเหตุการณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกระหว่างสเตตแมชชีนจะกลายเป็นเหตุการณ์ภายใน ลำดับการทำงานของระบบที่เกิดขึ้นบ่อยที่สุดคือ ลำดับที่เริ่มจากสถานะเริ่มต้นและสิ้นสุดที่สถานะเริ่มต้นอีกครั้ง เช่น

- $((S0, M0, R0), \{no = 0\}) \quad p?dt$
- $((S1, M0, R0), \{no = 0\}) \quad \tau(s \langle dt \rangle)$
- $((S0, M1, R0), \{no = 0\}) \quad \tau$
- $((S0, M0, R0), \{no = 1\}) \quad \tau(r \langle dt \rangle)$
- $((S0, M2, R1), \{no = 1\}) \quad c!dt$
- $((S0, M2, R0), \{no = 1\}) \quad \tau$
- $((S0, M0, R0), \{no = 0\})$



รูปที่ 2 พฤติกรรมที่เป็นไปได้ของระบบการรับ-ส่งข้อมูล

เมื่อสังเกตเหตุการณ์ในลำดับจะเห็นว่าในระบบการทำงานร่วมกันนั้นตัวส่งจะรับข้อมูลจากสิ่งแวดล้อม และทำการส่งข้อมูลภายในระบบไปสู่ตัวรับโดยผ่านตัวกลาง และสุดท้ายตัวรับจะส่งข้อมูลนั้นออกไปสู่สิ่งแวดล้อม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. สหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัด

ในหัวข้อนี้จะพัฒนาแบบจำลองสหเทศเมฆซึนและระบบการทำงานร่วมกันให้สามารถใช้งานได้กว้างขวางมากขึ้น โดยการเพิ่มข้อจำกัดทางเวลา, และทางภูมิศาสตร์เข้าไป

3.1 ข้อจำกัดทางเวลา

ในส่วนนี้จะกล่าวถึงการเพิ่มข้อจำกัดทางเวลาเข้าไปในการเปลี่ยนสถานะของสหเทศเมฆซึนเพื่อให้ใช้งานได้กับลำดับการทำงานและเส้นทางการเปลี่ยนแปลงที่ขึ้นกับเวลา ทำให้สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการประมวลผลตามเวลาจริง, โปรโตคอลที่ใช้สำหรับการสื่อสาร, หรือระบบอื่นๆ ได้

เงื่อนไขการเปลี่ยนสถานะในสหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัดทางเวลาจะถูกพิจารณาพร้อมกับเวลาด้วย โดยเงื่อนไขนั้นจะถูกพิจารณาที่ต่อเมื่อเวลายังอยู่ภายในช่วงเวลาหนึ่งต่ำสุด l และเวลาหนึ่งสูงสุด u ให้ φ เป็นฟังก์ชันซึ่งให้ทั้งค่าหนึ่งช่วงเวลาต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละการเปลี่ยนสถานะเป็นข้อจำกัดทางเวลา กำหนดให้ฟังก์ชันเวลาหนึ่งต่ำสุด และสูงสุดของการเปลี่ยนสถานะ μ เป็น $\varphi_l(\mu)$ และ $\varphi_u(\mu)$ โดย $\varphi_l(\mu) \leq \varphi_u(\mu)$ และสมมุติว่าการเปลี่ยนสถานะใดๆ เกิดขึ้นแบบทันที

นิยามที่ 6 กำหนดให้ $M = \langle Q, V, \Sigma, T, \theta \rangle$ เป็นสหเทศเมฆซึน และ $\varphi: T \rightarrow [V \times V^*]$ เป็นฟังก์ชันรวมซึ่งให้ $\varphi_l(\mu)$ และ $\varphi_u(\mu)$ ในแต่ละการเปลี่ยนสถานะ $\mu \in T$ โดยที่ $\varphi_l(\mu) \leq \varphi_u(\mu)$ แล้วดังนั้น $\langle M, \varphi \rangle$ จะถูกเรียกเป็นสหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัดทางเวลา φ

กำหนดให้สหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัดทางเวลามีความพิเศษคือ มีช่องสัญญาณ CLK ซึ่งสามารถให้ค่าเวลาปัจจุบันแก่สหเทศเมฆซึนได้ และช่องสัญญาณพิเศษนี้ไม่ส่งผลกระทบใดๆ ต่อข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ซึ่งจะอธิบายต่อไป

ข้อกำหนดการแสดงที่ 2 ถ้ากำหนดเวลาหนึ่งน้อยสุด l และเวลาหนึ่งมากที่สุด u ของการเปลี่ยนสถานะแล้ว แผนผังการเปลี่ยนสถานะสามารถแสดงในรูปแบบดังนี้:

$$\text{สถานะปัจจุบัน} \xrightarrow{\text{guard} \rightarrow \text{event}[l, u]} \text{สถานะถัดไป}$$

ในส่วนของ $[l, u]$ สามารถละได้ถ้า $l = 0$ และ $u = \infty$

สำหรับลำดับการทำงานของสหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัดทางเวลาจะใช้ เหตุการณ์ที่มีเวลากำกับ และลำดับเวลา เป็นส่วนประกอบ เหตุการณ์ที่มีเวลากำกับจะแสดงอยู่ในรูป $\langle \sigma, t \rangle$ ซึ่งหมายถึงเหตุการณ์ σ ได้เกิดขึ้นเมื่อเวลา t

นิยามที่ 7 กำหนดให้ $\langle M, \varphi \rangle$ เป็นสหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัดทางเวลา ลำดับการทำงานของ $\langle M, \varphi \rangle$ คือ

$$\alpha = s_0 \langle \sigma_0, t_0 \rangle s_1 \langle \sigma_1, t_1 \rangle s_2 \langle \sigma_2, t_2 \rangle \dots$$

ถ้าเงื่อนไขดังต่อไปนี้เป็นจริง

1. $s_0 \sigma_0 s_1 \sigma_1 s_2 \sigma_2 \dots$ เป็นลำดับการทำงานของ M
2. t_0, t_1, t_2, \dots เป็นลำดับเวลา
3. $s_0 \xrightarrow{\sigma_0} s_1$ สามารถดำเนินการได้ที่เวลา t_0 . และสำหรับทุก $i \geq 1, s_i \xrightarrow{\sigma_i} s_{i+1}$ สามารถดำเนินการได้ที่เวลา $t_i - t_{i-1}$

เซตของลำดับการทำงานทั้งหมดของ $\langle M, \varphi \rangle$ เขียนแทนด้วย $\text{Comp}(\langle M, \varphi \rangle)$

นิยามที่ 8 กำหนดให้ $\alpha = s_0 \langle \sigma_0, t_0 \rangle s_1 \langle \sigma_1, t_1 \rangle s_2 \langle \sigma_2, t_2 \rangle \dots$ เป็นลำดับการทำงานของสหเทศเมฆซึนแบบมีข้อจำกัดทางเวลา $\langle M, \varphi \rangle$ ลำดับที่ตัดสถานะและเหตุการณ์ที่มีเวลากำกับที่เป็นเหตุการณ์ภายใน (\mathcal{T}) ทั้งหมดออกจาก α จะถูกเรียกใหม่ว่า เส้นทางการเปลี่ยนแปลงของ $\langle M, \varphi \rangle$ เซตเส้นทางการเปลี่ยนแปลงทั้งหมดของ $\langle M, \varphi \rangle$ เขียนแทนด้วย $\text{Trace}(\langle M, \varphi \rangle)$

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ระบบการทำงานร่วมกัน

ระบบการทำงานร่วมกันสามารถจำลองการทำงานโดยอาศัยแบบจำลองสเตตแมชชีนพื้นฐานหลายตัวประกอบกันร่วมกับการระบุเงื่อนไขการสื่อสารระหว่างกัน แต่หากต้องการระบุให้มีเงื่อนไขการสื่อสารในแต่ละพื้นที่แล้ว ระบบจำเป็นต้องมีข้อกำหนดทางภูมิศาสตร์ด้วย

3.2.1 ข้อกำหนดทางภูมิศาสตร์

ในหัวข้อนี้จะนิยามความหมายของ ฟิลด์[4] เพื่อแสดงถึงการสื่อสารในแต่ละพื้นที่ของกลุ่มสเตตแมชชีน สมมุติว่าเซตจำกัด L เป็นเซตของพื้นที่ทั้งหมดซึ่งอาจมีสเตตแมชชีนอยู่ กำหนดให้แต่ละพื้นที่แทนด้วยตัวเลขจำนวนนับ(1, 2, ...) และเซตทั้งหมดของช่องสื่อสารเป็น C ซึ่งการสื่อสารระหว่างสเตตแมชชีนจะถูกจำกัดด้วยขอบเขตของช่องสื่อสาร

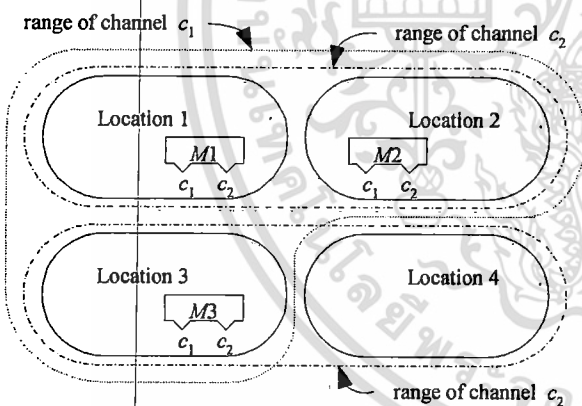
นิยามที่ 9 ถ้าฟิลด์ F มีสเตตแมชชีนอยู่แล้ว

$$F = \{(c, COM(c)) \mid c \in C, COM(c) \subseteq 2^L\}$$

สำหรับบาง c ซึ่ง $c \in C$, มี P ซึ่ง $P \subseteq L$ และ $P \in COM(c)$ หมายถึง สเตตแมชชีนทั้งหมดที่อยู่ในเซตพื้นที่ P สามารถติดต่อถึงกันได้โดยผ่านช่องสื่อสาร c หรืออีกนัยหนึ่งคือ สเตตแมชชีนบนพื้นที่อื่นซึ่งไม่ได้อยู่ในเซต P ไม่สามารถติดต่อกันได้โดยผ่านช่องสื่อสาร c และเรียก $COM(c)$ ว่าขอบเขตของ c

ตัวอย่างที่ 3 ให้ $L = \{1, 2, 3, 4\}$ และ $C = \{c_1, c_2\}$ ตัวอย่างหนึ่งของฟิลด์ F คือ

$$F = \{(c_1, \{\{1, 2, 3\}\}), (c_2, \{\{1, 2\}, \{3, 4\}\})\}$$



รูปที่ 3 ตัวอย่างของฟิลด์

รูปที่ 3 แสดงสเตตแมชชีน $M1$ อยู่บนพื้นที่ 1, $M2$ อยู่บนพื้นที่ 2, และ $M3$ อยู่บนพื้นที่ 3 ในกรณีนี้สเตตแมชชีนทั้งหมดสามารถติดต่อกันได้โดยผ่านช่องสื่อสาร c_1 , $M1$ และ $M2$ ติดต่อกันได้โดยผ่านช่องสื่อสาร c_2 แต่อย่างไรก็ตาม $M3$ ไม่สามารถติดต่อกับ $M1$ หรือ $M2$ โดยผ่านช่องสื่อสาร c_2 ได้ เนื่องจาก $M3$ ไม่ได้อยู่ในขอบเขตของช่องสื่อสาร c_2 เดียวกันกับ $M1$ และ $M2$ สมมุติให้ฟิลด์มีคุณสมบัติ 2 อย่างดังต่อไปนี้

1. ถ้าเซต P ไม่ได้อยู่ใน $COM(c)$ ซึ่ง $P \subseteq L$ และ $l \in P$ แล้วสเตตแมชชีนบนพื้นที่ l จะไม่สามารถติดต่อกับสเตตแมชชีนอื่นโดยผ่านช่องสื่อสาร c ได้
2. ถ้า P และ $P' \in COM(c)$ ($P \neq P'$) แล้วเซต P และ P' จะต้องไม่มีสมาชิกซ้ำกัน

คุณสมบัติข้อ 2 ทำให้ระบุได้ว่าขอบเขตของช่องสื่อสารไหนกำลังถูกเลือกอยู่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.2 พฤติกรรมของระบบการทำงานร่วมกัน

ในหัวข้อนี้จะนิยามพฤติกรรมของระบบการทำงานร่วมกันโดยสร้างลำดับการทำงานของระบบ ซึ่งสามารถบ่งบอกถึงพฤติกรรมของแต่ละสถานะแมชชีนย่อย และพฤติกรรมการติดต่อสื่อสารระหว่างกันได้ ในขั้นแรกต้องทำการกำหนดพฤติกรรมของระบบการทำงานร่วมกันโดยปราศจากข้อจำกัดทางเวลา (แต่ยังมีข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์อยู่) ต่อมาจึงเพิ่มข้อจำกัดทางเวลาเข้าไป ในระบบการทำงานร่วมกันบางระบบที่มีทั้งข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์และเวลา ถ้าขอบเขตของช่องสื่อสารครอบคลุมพื้นที่ทั้งหมดแล้ว พฤติกรรมของระบบการทำงานร่วมกันที่ได้จะมีเพียงข้อจำกัดทางเวลาเท่านั้น

นิยามที่ 10 กำหนดให้ M_1, \dots, M_n เป็นสถานะแมชชีนย่อยของระบบการทำงานร่วมกัน และ F เป็นฟิลด์แล้ว $\langle \{M_1, \dots, M_n\}, F \rangle$ ถูกเรียกว่า ระบบการทำงานร่วมกันของสถานะแมชชีน M_1, \dots, M_n แบบมีข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ F

นิยามที่ 11 กำหนดให้ $\langle \{M_1, \dots, M_n\}, F \rangle$ เป็นระบบการทำงานร่วมกันแบบมีข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ และ I_i เป็นพื้นที่ซึ่งมีสถานะแมชชีน M_i อยู่ ลำดับการทำงานของระบบ $\alpha = S_0 \sigma_0 S_1 \sigma_1 S_2 \dots$ เป็นลำดับการทำงานที่มีเป็นไปได้ของ $\langle \{M_1, \dots, M_n\}, F \rangle$ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขดังต่อไปนี้

1. $S_0 = ((c_1, \dots, c_p, \dots, c_n), v_1 \cup \dots \cup v_i \cup \dots \cup v_n)$ ซึ่ง $S_0^{(i)} \in \theta_i$ สำหรับทุก $i (1 \leq i \leq n)$
2. ให้ $S_j = ((c_1, \dots, c_n), v_1 \cup \dots \cup v_n)$ สำหรับ $j \geq 0$ แล้ว σ_j และ S_{j+1} จะเป็นไปตามเงื่อนไข (a), (b), หรือ (c)

(a) $\sigma_j = \tau$

สำหรับบาง $i (1 \leq i \leq n)$, ช่องสื่อสารร่วม c , ข้อมูล d , และสถานะ (c_i', v_i') ของสถานะแมชชีน M_i ,

$$S_j^{(i)} \xrightarrow{c|d} (c_i', v_i'), Z = \{ S_j^{(1)} \xrightarrow{c|d} (c_{j1}', v_{j1}'), \dots, S_j^{(m)} \xrightarrow{c|d} (c_{jm}', v_{jm}') \} \subseteq Peer(S_j^{(i)} \xrightarrow{c|d})$$

และ $S_{j+1} = S_j[c_i'/c_p, v_i'/v_p] [c_{j1}'/c_{j1}, v_{j1}'/v_{j1}] \dots [c_{jm}'/c_{jm}, v_{jm}'/v_{jm}]$ โดยที่ I_i อยู่ในขอบเขตหนึ่งของ c ใน F และ Z เป็นเซตย่อยที่ใหญ่ที่สุดของ $Peer(S_j^{(i)} \xrightarrow{c|d})$ ซึ่งมี I_{j1}, \dots, I_{jm} อยู่ในขอบเขตนี้

(b) σ_j เป็นเหตุการณ์รับข้อมูลเข้าหรือส่งข้อมูลออกผ่านช่องสื่อสารที่ไม่ใช่ช่องสื่อสารร่วม สำหรับบาง $i (1 \leq i \leq n)$,

$$S_j^{(i)} \xrightarrow{\sigma_j} (c_i', v_i') \text{ และ } S_{j+1} = S_j[c_i'/c_p, v_i'/v_p] \text{ โดยที่ } I_i \text{ อยู่ในขอบเขตหนึ่งของ } c \text{ ใน } F$$

(c) $\sigma_j = \tau$ (เหตุการณ์ภายในในสถานะแมชชีนตัวเดียว)

สำหรับบาง $i (1 \leq i \leq n)$,

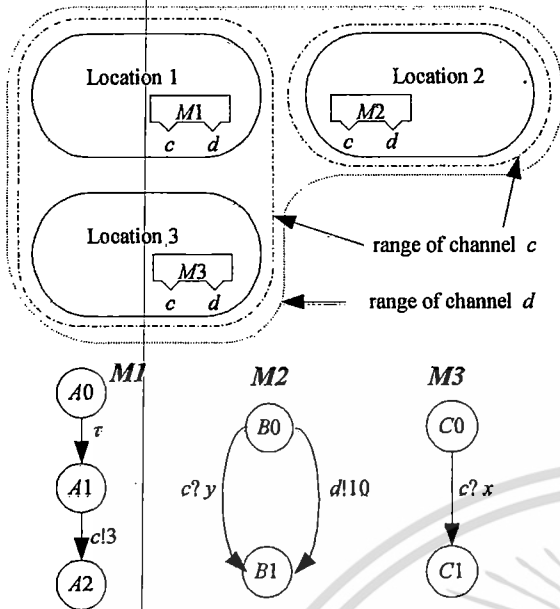
$$S_j^{(i)} \xrightarrow{\sigma_j} (c_i', v_i') \text{ และ } S_{j+1} = S_j[c_i'/c_p, v_i'/v_p]$$

ตัวอย่างที่ 4 สมมติให้ $L = \{1, 2, 3\}$, $C = \{c, d\}$, $F = \{(c, \{\{1, 3\}, \{2\}\}), (d, \{\{1, 2, 3\}\})\}$, ข้อกำหนดสถานะแมชชีนแสดงดังรูปที่ 4 และสถานะแมชชีน $M_i (1 \leq i \leq 3)$ อยู่บนพื้นที่ i แล้วลำดับการทำงานที่เป็นไปได้ของระบบการทำงานร่วมกันนี้คือ

$$\alpha_1 = ((A_0, B_0, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) \tau((A_1, B_0, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) \tau(c\langle 3 \rangle)((A_2, B_0, C_1), \{y = \dots, x = 3\}) d!10((A_2, B_1, C_1), \{y = \dots, x = 3\})$$

$$\alpha_2 = ((A_0, B_0, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) \tau((A_1, B_0, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) d!10((A_1, B_1, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) \tau(c\langle 3 \rangle)((A_2, B_1, C_1), \{y = \dots, x = 3\})$$

$$\alpha_3 = ((A_0, B_0, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) d!10((A_0, B_1, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) \tau((A_1, B_1, C_0), \{y = \dots, x = \dots\}) \tau(c\langle 3 \rangle)((A_2, B_1, C_1), \{y = \dots, x = 3\})$$



รูปที่ 4 ตัวอย่างของระบบการทำงานร่วมกันกับข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์

จากตัวอย่างให้สังเกตว่า สเตตแมชชีน $M1$ และ $M2$ ไม่สามารถติดต่อสื่อสารถึงกันได้ เนื่องจาก $M1$ ไม่ได้อยู่ในขอบเขตช่องสื่อสาร c เดียวกันกับ $M2$

4. เครื่องมือช่วยวิเคราะห์และจำลองการทำงาน

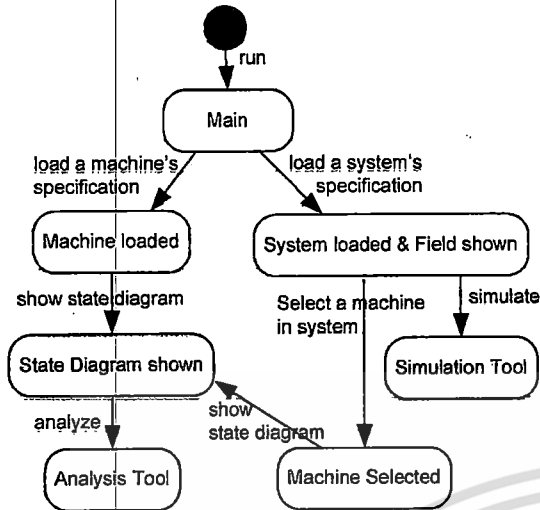
การตรวจสอบระบบให้ละเอียดได้นั้นจำเป็นต้องใช้แบบจำลองสเตตแมชชีนช่วยในการจำลองการทำงานของระบบตามข้อกำหนดที่นำเสนอมาก่อน จึงจะสามารถทำการวิเคราะห์ระบบต่อไปได้ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาเครื่องมือช่วยวิเคราะห์และจำลองระบบชื่อ MgraphGen ขึ้นมาโดยอาศัยข้อกำหนดดังกล่าว เพื่อให้นักพัฒนาระบบสามารถวิเคราะห์และตรวจสอบพฤติกรรมต่างๆ ของระบบให้ถูกต้องได้

4.1 ลักษณะของโปรแกรม MGraphGen

MGraphGen เป็นโปรแกรมซึ่งอาศัยรูปแบบวิธีการระบุข้อกำหนดที่ได้นำเสนอมาแล้ว โดยโปรแกรมจะเริ่มทำงานด้วยการรับเพิ่มข้อความ(Text File) ที่มีรูปแบบไวยากรณ์ตามข้อกำหนด(เพิ่มข้อกำหนด) เพื่อนำมาใช้แสดงผลและวิเคราะห์ระบบ ซึ่งลักษณะการทำงานของโปรแกรมแสดงไว้ดังรูปที่ 5

ข้อดีของโปรแกรม MgraphGen สำหรับผู้ใช้งานคือ

- สามารถเลือกวิเคราะห์ดูเส้นทางการเปลี่ยนแปลง และการทำงานของสเตตแมชชีน ตามลำดับเหตุการณ์ที่ถูกเลือก
- สามารถใช้ตรวจหาลำดับเหตุการณ์ที่ใช้เวลาหน่วงน้อยสุดจากการระบุสถานะต้นทางและปลายทางของผู้ใช้
- สามารถจำลองการทำงานของระบบเพื่อดูพฤติกรรมต่างๆ ของระบบ โดยใช้เครื่องมือช่วยจำลองระบบ
- เพิ่มข้อกำหนดสเตตแมชชีนคือ เพิ่มที่ใช้ระบุข้อกำหนดต่างๆ ของสเตตแมชชีนพื้นฐาน และข้อจำกัดทางเวลา
- เพิ่มข้อกำหนดระบบคือ เพิ่มที่ใช้ระบุข้อกำหนดการทำงานร่วมกันของสเตตแมชชีนซึ่งก็คือข้อกำหนดต่างๆ ที่เกี่ยวกับข้อจำกัดทางภูมิศาสตร์ และเนื่องจากข้อกำหนดดังกล่าวได้รวมเอาสเตตแมชชีนเข้าไว้แล้ว ดังนั้นการป้อนเพิ่มข้อกำหนดระบบจึงเป็นเสมือนการป้อนเพิ่มข้อกำหนดสเตตแมชชีนทั้งหมดที่อยู่ในระบบเข้าไปด้วย

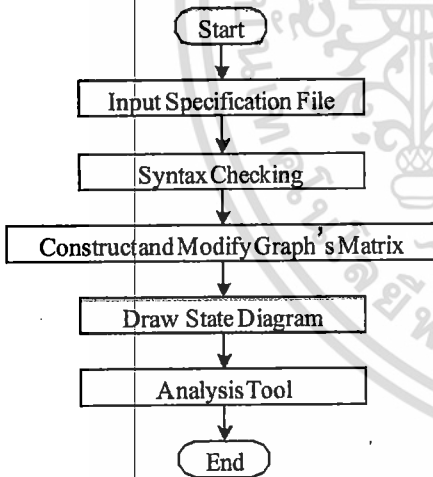


รูปที่ 5 ลักษณะการทำงานของ MgraphGen

จากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเพิ่มข้อกำหนดที่ถูกป้อนให้แก่โปรแกรมมีอยู่ 2 ประเภทคือ เพิ่มข้อกำหนดคสเททแมชชีน และเพิ่มข้อกำหนดระบบ โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.2 การวิเคราะห์ระบบโดยอาศัยแบบจำลองสเททแมชชีน

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ระบบ โดยอาศัยแบบจำลองสเททแมชชีน ซึ่งจะช่วยให้นักพัฒนาระบบสามารถตรวจสอบและวิเคราะห์ระบบได้ง่ายและถูกต้อง รูปที่ 6 แสดงผังลำดับงานเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ระบบ



รูปที่ 6 แพนผังลำดับงานเครื่องมือช่วยวิเคราะห์ระบบ

4.2.1 กระบวนการตรวจสอบไวยากรณ์

กระบวนการนี้มีหน้าที่ในการตรวจสอบความถูกต้องของเพิ่มข้อกำหนด หากการตรวจสอบพบข้อผิดพลาดใดๆ ข้อผิดพลาดเหล่านั้นจะถูกแจ้งและเก็บอยู่ในรูปของแฟ้มรายงานข้อผิดพลาด ซึ่งจะถูกใช้อย่างยิ่งสำหรับแก้ไขเพิ่มข้อกำหนดเดิมให้ถูกต้องก่อนนำกลับมาป้อนแก่โปรแกรมอีกครั้ง ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างเพิ่มข้อกำหนดคสเททแมชชีนที่ถูกต้อง โดยบรรทัดที่ 0 เป็นการประกาศตัวแปรที่จะถูกใช้งาน และบรรทัดอื่นๆ เป็นข้อกำหนดการเปลี่ยนสถานะของสเททแมชชีน

ตารางที่ 1 แสดงตัวอย่างของเพิ่มข้อกำหนดของสเตทแมชชีน

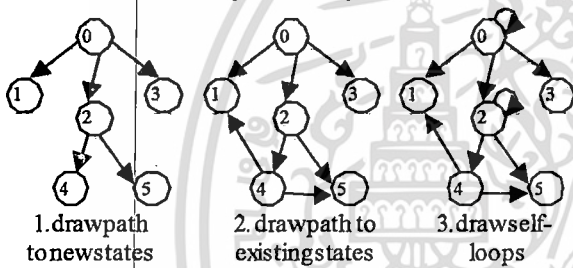
Lib		Lib	
	#a;ab12;		4{ch4lab12[12,24]}3
	5{Tau[2,5,5]}6		3{ch3l(2)[8,16]}2
	5{ch5?a[15,30]}4		3{Tau[10,20]}1
	6{ch6?a[10,20]}4		2{ch2!Acdf("23")[3,6]}1
	6{ch6?a[14,28]}8	1	7{ch7!Acdf((12),"23")}8
	6{Tau[9,18]}7	1	8{Tau[17,34]}1

4.2.2 กระบวนการสร้างและแก้ไขกราฟแมทริกซ์

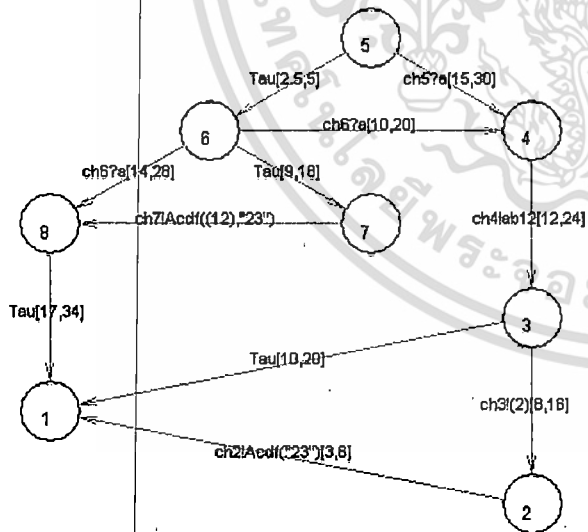
กระบวนการนี้ถูกทำหลังผ่านการตรวจสอบไวยากรณ์ข้อกำหนดแล้ว ทำหน้าที่สร้างแมทริกซ์เพื่อใช้ในการวาดกราฟ สเตทแมชชีน ซึ่งแมทริกซ์นี้สามารถบอกถึงการเชื่อมต่อทั้งหมดภายในกราฟสเตทแมชชีนจากสถานะหนึ่งไปสถานะหนึ่ง

4.2.3 กระบวนการแสดงกราฟสเตทแมชชีน

กระบวนการนี้เป็นกระบวนการวาดกราฟสเตทแมชชีนลงบนฟอร์มโดยอาศัยกราฟแมทริกซ์ที่ถูกสร้างขึ้น โดยการวาดกราฟเริ่มจากสถานะเริ่มต้นไล่ไปจนถึงสถานะสิ้นสุด จากนั้นก็หาและวาดเส้นทางระหว่างสถานะที่ยังไม่ได้วาด และสุดท้ายหาและวาดเส้นทางวกกลับดังแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงกราฟสเตทแมชชีนจากเพิ่มข้อกำหนดในตารางที่ 1



รูปที่ 7 หลักการวาดกราฟสเตทแมชชีน



รูปที่ 8 กราฟสเตทแมชชีนจากเพิ่มข้อกำหนด

4.2.4 เครื่องมือวิเคราะห์สเตทแมชชีน

เครื่องมือนี้ผู้ใช้งานสามารถเลือกวิเคราะห์ได้ 2 แบบคือ

1. การตรวจหาลำดับเหตุการณ์ที่ใช้เวลาน้อยที่สุด

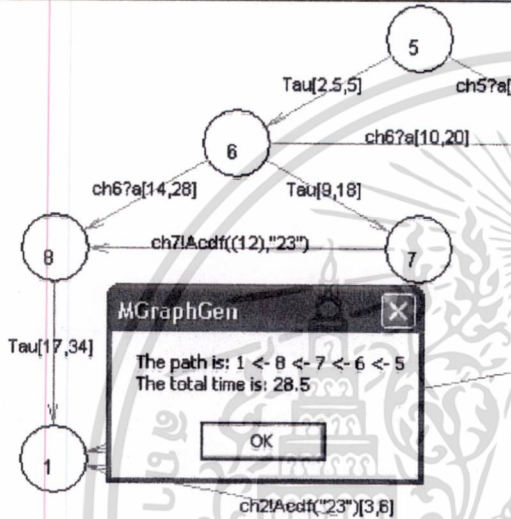
กระบวนการนี้ใช้หาระยะที่สั้นที่สุดจากสถานะเริ่มต้นไปยังสถานะปลายทางโดยอ้างอิงค่าระยะด้วยค่าหนึ่งเวลาน้อยสุด ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แสดงผลในรูปแบบของลำดับสถานะและเวลาการประมวลผลทั้งหมด รูปที่ 9 แสดงเส้นทางที่เกิดได้เร็วที่สุดจากสถานะ 5 ไปยังสถานะ 1 ของกราฟในรูปที่ 8

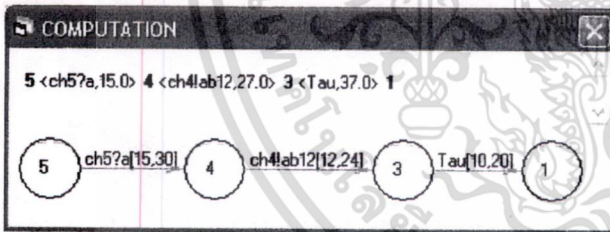
2. การวิเคราะห์ตามลำดับเหตุการณ์ที่ถูกเลือก

กระบวนการนี้ผู้ใช้งานต้องทำการเลือกเส้นที่จะวิเคราะห์ก่อน โดยการเลือกเหตุการณ์ซึ่งอยู่ในกราฟสเตตแมชชีนโปรแกรมจะแสดงกล่องให้กรอกค่าหน่วยเวลาสำหรับการเกิดเหตุการณ์นั้น หลังจากเลือกลำดับเหตุการณ์แล้วโปรแกรมสามารถแสดงลำดับการทำงานหรือเส้นทางการเปลี่ยนแปลงของสเตตแมชชีนให้วิเคราะห์ต่อไปได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 10 และ 11 ตามลำดับ

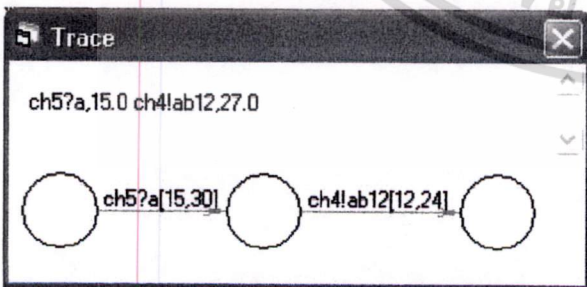
Shortest Path From: 5 To: 1 Search



รูปที่ 9 ผลจากการตรวจหาลำดับเหตุการณ์ที่ใช้เวลาน้อยที่สุด



รูปที่ 10 ลำดับการทำงานของลำดับเหตุการณ์ที่ถูกเลือก



รูปที่ 11 เส้นทางการเปลี่ยนแปลงของลำดับเหตุการณ์ที่ถูกเลือก

4.3 การจำลองการทำงานของระบบ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการวิเคราะห์การทำงานร่วมกันของสเตตแมชชีนย่อยตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไปจากผลการจำลองการทำงานของระบบ เพื่อสังเกตพฤติกรรมต่างๆ ของระบบ ได้อย่างใกล้ชิด

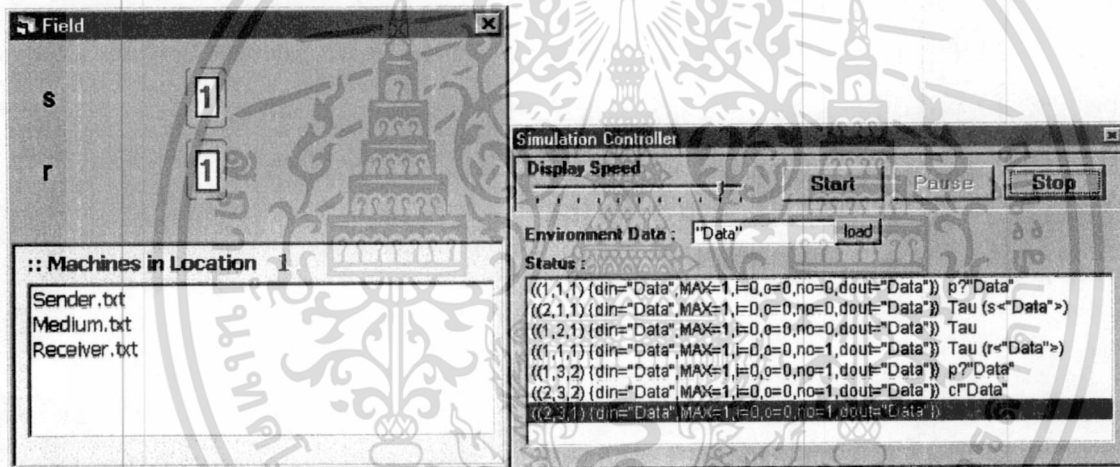
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลักษณะของตัวจำลองการทำงานของระบบ

- จำลองผลการทำงานโดยอัตโนมัติ ตามข้อกำหนด
- ควบคุมการจำลองการทำงานได้ด้วยคำสั่งควบคุมเช่น เริ่มการจำลอง หยุดการจำลองชั่วคราว และหยุดการจำลอง
- สามารถปรับเลือกความเร็วความเร็วในการจำลองการทำงานได้
- สามารถกำหนดข้อมูลที่ป้อนให้แก่ระบบ(ข้อมูลที่ส่งจากสิ่งแวดล้อม)ได้เอง
- แสดงผลในรูปแบบลำดับการทำงานของระบบ

ขั้นตอนการจำลองการทำงานเริ่มจากการป้อนเพิ่มข้อกำหนดระบบให้แก่โปรแกรม ถ้าเพิ่มดังกล่าวไม่มีข้อผิดพลาดโปรแกรมจะแสดงฟิลด์ของระบบดังรูปที่ 12 ซึ่งในหน้าต่างนี้ผู้ใช้สามารถเลือกโหนดดูกราฟและวิเคราะห์สแตทแมชชีนแต่ละตัวในระบบได้ จากนั้นให้เลือกเครื่องมือการจำลองการทำงานของระบบเพื่อจำลองการทำงาน ซึ่งผลที่ได้จะแสดงในรูปของลำดับการทำงานของระบบ

รูปที่ 13 แสดงการจำลองการทำงานของระบบการรับส่งข้อมูล(ตัวอย่างที่ 1) โดยให้ค่า MAX = 1 ซึ่งสามารถตรวจสอบพฤติกรรมที่เป็นไปได้ทั้งหมดตามรูปที่ 2 จากรูปในกล่อง "status" ด้านล่างเป็นลำดับการทำงานหนึ่งของระบบซึ่งเกิดจากการสุ่มเลือกการทำงานจากการทำงานที่เป็นไปได้ทั้งหมดโดยเริ่มจากสถานะเริ่มต้น ส่วนข้อความในแถบสีด้านล่างแสดงสถานะปัจจุบัน



รูปที่ 12 ตัวอย่างฟิลด์ของระบบการรับส่งข้อมูล

รูปที่ 13 ตัวอย่างการจำลองของระบบการรับส่งข้อมูล

เอกสารอ้างอิง

- [1] R. Milner, "Communication and Concurrency," Prentice-Hall, 1989.
- [2] C. A. R. Hoare, "Communication Sequential Process," Prentice-Hall, 1985.
- [3] D. Harel, H. Lachover, A. Naamad, A. Pnueli, M. Politi, R. Sherman, A. S. Trauring and M. Trakhtenbrot, "Statemate: a Working Environment for the Development of Complex Reactive System," IEEE Trans. Software Eng., Vol.16, No.4, pp.403-414, 1990.
- [4] G. Itabashi, K. Takahashi, Y. Kato, T. Kato and B. B. Bista, "A Specification Method for Mobile and Concurrent Systems based on the Concept of Field and Finite State Machine, and Its Application," (in Japanese) Trans. Information Processing Society of Japan, Vol.42, No.12, pp.3041-3053, Dec. 2001.
- [5] F. Jahanian and A. K. Mok, "Modechart: A Specification Language for Real-Time Systems," IEEE Trans. Software Eng., Vol.20, No.12, pp.933-947, Dec. 1994.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้