บทที่ 1

บทนำ

ความนำ

การกำหนดเส้นทางในระบบสื่อสารโทรคมนาคมนับได้ว่ามีความสำคัญมาก สาเหตุเพราะในการสื่อสารระหว่างคู่โหนดใดๆในโครงข่ายสื่อสารจะมีการใช้ช่องสัญญาณสื่อสารในโครงข่ายตามสภาวะของปริมาณการสื่อสารที่เป็นอยู่ ณ ขณะเวลานั้น เพื่อให้ แพคเกจ ที่เป็นข่าวสารมีความล่าช้าอันเกิดจากความคับคั่งของปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายน้อยที่สุด

การเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายสื่อสารจะเกิดขึ้นอย่างต่อเนื่องตลอดเวลาที่มีการติดต่อสื่อสารเกิดขึ้นภายในโครงข่าย ดังนั้นการกำหนดเส้นทางในการสื่อสารจะต้องมีการคำนวณหาเส้นทางที่ดีที่สุดตลอดเวลาที่ปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายเปลี่ยนแปลงไปเพื่อให้ได้เส้นทางที่สอดคล้องตามสภาวะปริมาณการสื่อสาร ณ ขณะเวลานั้น และการคำนวณเส้นทางนี้จะต้องให้ผลลัพธ์ที่รวดเร็วและถูกต้องทันต่อการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารในโครงข่าย

การกำหนดเส้นทางในระบบสื่อสารโทรคมนาคมมีอยู่ 2 ลักษณะกล่าวคือ

1. การกำหนดเส้นทางแบบ STATIC การกำหนดเส้นทางแบบนี้จะมีการคำนวณหาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่เป็นปัจจัยที่คำนึงถึงน้อยที่สุดระหว่างคู่โหนดใดๆ ในโครงข่ายในขั้นตอนแรกของการเริ่มติดตั้งโครงข่ายสื่อสาร เส้นทางที่ดีที่สุดนี้จะถูกเก็บไว้ในรูปแบบของตารางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารของแต่ละโหนด ตารางเหล่านี้จะไม่มีการเปลี่ยนแปลงจนกว่า จะมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่ายใหม่ หรือมีการเปลี่ยนแปลงขีดความสามารถของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงในโครงข่ายสื่อสารใหม่ ในการกำหนดเส้นทางแบบ static นี้ยังมีอีกวิธีหนึ่งคือ การใช้การกระจายแพคเกจเข้าไปในโครงข่ายสื่อสาร(flooding method)โดยแต่ละแพคเกจจะถูกกำหนดให้แพร่กระจายไปยังโหนดข้างเคียงเสมอ ดังนั้นจึงมีแพคเกจจำนวนมากมายที่อยู่ในโครงข่ายสื่อสารอันเป็นสาเหตุในการเกิดปัญหาในเรื่องความคับคั่งของปริมาณการสื่อสาร(over flow)ภายในโครงข่ายสื่อสาร

2. การกำหนดเส้นทางแบบ DYNAMIC การกำหนดเส้นทางแบบนี้จะมีการคำนวณหาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายที่เป็นปัจจัยที่คำนึงถึงน้อยที่สุดตลอดเวลาและมีการกำหนดค่าในตารางที่ใช้กำหนดเส้นทางระหว่างคู่โหนดใดๆตลอดเวลา การกำหนดเส้นทางแบบนี้จึงให้เส้นทางที่ถูกต้องสอดคล้องตามสภาวะปัจจัยที่คำนึงถึงมากกว่าการกำหนดเส้นทางแบบ STATIC

การกำหนดเส้นทางแบบ DYNAMIC ตามที่กล่าวมามีความต้องการการตอบสนองทางเวลาที่ใช้ในการคำนวณหาเส้นทางที่รวดเร็วทันต่อการเปลี่ยนแปลงของสภาวะปัจจัยที่คำนึงถึงภายในโครงข่ายสื่อสาร

การใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กในการกำหนดเส้นทางในระบบสื่อสารโทรคมนาคมได้ถูกวิจัยและพัฒนาขึ้นด้วยความสามารถของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่มีการคำนวณแบบขนานทำให้มีผลการตอบสนองทางเวลาที่รวดเร็วโดยนิวรอลเน็ตเวอร์กที่นำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในระบบสื่อสารโทรคมนาคมนั้นได้นำเอาแนว

ความคิดของ Hopfield และ Tank (1985) ที่ได้เสนอนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิดใหม่ขึ้นมาและได้กำหนดชื่อให้ว่า Hopfield net มาเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร

Hopfield netเป็นนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิดหนึ่งซึ่งนอกจากสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับสัญญาณแล้ว ยังสามารถนำมาประยุกต์ใช้กับการหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimization) ได้อีกด้วย Hopfield และ Tank (1985,1986) ได้เสนอการประยุกต์ใช้ Hopfield net ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด Hopfield และ Tank (1985) กล่าวถึงลักษณะโครงสร้างโดยทั่วไปของวงจรการคำนวณของ Hopfield net ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบทีดีที่สุด และได้แสดงการกำหนดสมการเงื่อนไข และการหาคำตอบของตัวอย่างปัญหา Travelling Saleman Problem(TSP) Hopfield และ Tank (1986) กล่าวถึงตัวอย่างของการนำเอา Hopfield net มาประยุกต์ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยได้แสดงตัวอย่างการประยุกต์กับปัญหาต่างๆเช่น ตัวแปลงสัญญาณดิจิตอลกับสัญญาณอนาล็อก ,วงจรตัดสินลักษณะสัญญาณ และวงจรโปรแกรมเชิงเส้น เป็นต้น ในการนำมาประยุกต์ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นต้องสร้างสมการพลังงานของ Hopfield net ที่สอดคล้องตามสมการเงื่อนไขสำหรับปัญหาที่กำลังพิจารณาถึง

การกำหนดเส้นทางในระบบสื่อสารโทรคมนาคมโดยใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กนั้น ได้ถูกนำเสนอขึ้นเป็นครั้งแรกโดย Rauch และ Winnarske(1988) โดยได้เสนอการสร้างสมการเงื่อนไขของการกำหนดเส้นทางในโครงข่าย คำตอบที่ได้รับจากอัลกอริธึมนี้จะแสดงถึงเส้นทางที่ดีที่สุดในการสื่อสารระหว่าง คู่โหนดใดๆในโครงข่าย ซึ่งจะมีผลทำให้ค่าพลังงานของ Hopfield net ที่สร้างขึ้นมาจากสมการเงื่อนไขการกำหนดเส้นทาง มีค่าน้อยที่สุดด้วย อัลกอริธึมที่ได้นำเสนอนี้ ได้พิจารณาหาเส้นทางที่ดีที่สุดโดยนำเอาค่าเฉลี่ยของความล่าช้าทางเวลาที่เกิดขึ้นในโครงข่ายสื่อสารมาเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดเส้นทาง ค่าเฉลี่ยของความล่าช้าทางเวลานี้ใช้การจำลองปัญหาตามทฤษฎี คิวอิง ระบบ M/M/1 โดยสมมุติให้แต่ละข่ายสื่อสารเชื่อมโยงในโครงข่ายที่กำหนดขึ้นมีสภาวะปริมาณการสื่อสารที่แตกต่างกันไป การหาเส้นทางระหว่างคู่โหนดใดๆ ที่ต้องการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันจะถูกกำหนดด้วยเงื่อนไขที่ต้องใช้จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่างคู่โหนดใดๆที่ต้องการติดต่อสื่อสารน้อยที่สุด คำตอบที่ได้จะมีค่าเฉลี่ยของความล่าช้าทางเวลารวมสำหรับทุกๆข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่ถูกเลือกใช้น้อยที่สุด โดยในอัลกอริธึมนี้ได้กำหนดให้แต่ละนิวรอลเป็นอาร์เรย์แบบ 2 มิติ

Lee และ Chang(1993) ได้นำเอาอัลกอริธึมที่ได้เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) มาพัฒนาเพิ่มเติม โดยนำเอาองค์ประกอบที่แสดงถึงความล้มเหลวของแต่ละโหนดในโครงข่าย มาเป็นสมการเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางด้วย องค์ประกอบที่แสดงถึงความล้มเหลวของแต่ละโหนดนี้ประกอบขึ้นจากความน่าจะเป็นที่แต่ละโหนดจะตกอยู่ในสภาวะล้มเหลวไม่สามารถให้บริการได้ และความสัมพันธ์ของแต่ละโหนดในโครงข่ายย่อยๆของโครงข่ายสื่อสาร ความน่าจะเป็นที่แต่ละโหนดจะตกอยู่ในสภาวะล้มเหลวไม่สามารถให้บริการได้ ถูกแทนด้วยเมตริกซ์ขนาด 1xN เมื่อ N คือจำนวนโหนดทั้งหมดในโครงข่ายสื่อสาร ความสัมพันธ์ของแต่ละโหนดในโครงข่ายย่อยๆของโครงข่ายสื่อสารถูกแทนด้วยเมตริกซ์จัตุรัสที่ค่าในแต่ละเทอมของเมตริกซ์แสดงถึงความสัมพันธ์ซึ่งกันและกันของโหนดในโครงข่ายย่อยๆ ผลคูณของเมตริกซ์ที่แทนความสัมพันธ์ของแต่ละโหนดในโครงข่ายย่อยๆ กับ ทรานสโพสของเมตริกซ์ที่แทนความน่าจะเป็นที่แต่ละโหนดจะตกอยู่ในสภาวะล้มเหลวไม่สามารถให้บริการได้ คือ องค์ประกอบที่แสดงถึงความล้มเหลวของแต่ละโหนดในโครงข่าย

นอกจากนี้ Lee และ Chang (1993) ได้เสนอขอบเขตการกำหนดค่าของค่าคงที่ต่างๆในสมการเงื่อนไขและขอบเขตการเลือกค่าคงที่ในการคำนวณซ้ำรอบในการกำหนดเส้นทางตามสมการเงื่อนไขที่สร้างขึ้น นอกจากนี้แล้วยังได้แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ได้เสนอนี้ทำให้ค่าพลังงานของ Hopfield net ลู่เข้าสู่ค่าน้อยที่สุด Lee และ Changได้กำหนดชื่อของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่ใช้กำหนดเส้นทางตามอัลกอริธึมนี้ว่า Routron

Collectt และ Pedrycz (1993) เสนอการนำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Back propagation มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางของโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมในแบบ static โดยทำการวิเคราะห์ถึงความถูกต้องแม่นยำในการกำหนดเส้นทางที่จำนวน Hidden Layer และจำนวนโหนดใน Hidden Layer มีจำนวนที่แตกต่างกัน และจากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างการกำหนดเส้นทางที่ถูกต้องกับจำนวน Hidden Layer และจำนวนโหนดใน Hidden Layer ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างของโครงข่ายสื่อสารที่กำหนดขึ้นมาเพื่อทดสอบ อย่างไรก็ตามในอัลกอริธึมที่ได้เสนอนี้ไม่ได้คำนึงถึงสภาวะปริมาณการสื่อสารที่เป็นอยู่ ณ.ขณะเวลานั้น ดังนั้นเส้นทางที่ได้จะไม่ใช่เส้นทางที่มีค่าปริมาณการสื่อสารที่น้อยที่สุด

Jensen และ Eshara (1990) ได้นำนิวรอลเน็ตเวอร์กแบบ ป้อนด้านหน้า (Feed Forward) มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในสภาวะที่มีการเกิดความผิดปกติในโครงข่ายสื่อสารเกิดขึ้น โดยได้มีการใช้วิธีการคำนวณการกำหนดเส้นทางแบบอิสระ(Isolate) สำหรับแต่ละโหนด นิวรอลเน็ตเวอร์กที่ใช้นี้จะมีประจำอยู่ในทุกๆโหนดในโครงข่ายสื่อสาร โดยทำหน้าที่ในการหาเส้นทางที่ดีที่สุดที่เชื่อมต่อมายังโหนดนั้นๆ วิธีการของ Jensen และ Eshara นั้นใช้วิธีการสอนจำ(training) แบบ Hebbien ซึ่งสามารถให้ผลการคำนวณที่รวดเร็ว และได้เส้นทางที่สอดคล้องตามสภาวะปริมาณการสื่อสารในโครงข่าย ณ ขณะเวลานั้น

Wieselthier และ Ephremindes(1994) ได้นำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กชนิดHopfield net มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในระบบ CDMA โดยได้กำหนดเงื่อนไขไว้ว่าสมมุติให้ไม่เกิดการรบกวนกันระหว่างสัญญาณแต่ละตัวที่อยู่ในระบบสื่อสาร

Fritsch และ Mandel (1991) ได้เสนอการใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กแบบ Self organize feature map ชนิด Kohonen มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในระบบสื่อสาร โดยการพยายามกำจัดข้อจำกัดของการใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กแบบ Hopfield net ในเรื่อง suboptimum

Zhang และ Thomolous (1989) ได้นำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net มาประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร แต่ได้กำจัดข้อจำกัดของอัลกอริธึมที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) ที่ต้องหาจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดระหว่างคู่โหนดใดๆ ที่ต้องการติดต่อสื่อสารก่อน Zhang และ Thomolous(1989) ได้แก้ไขข้อจำกัดในส่วนนี้โดยการกำหนดค่าในเทอมทะแยงมุมหลักของเมตริกซ์ที่แทนค่าเฉลี่ยของความล่าช้าทางเวลาด้วยค่าที่เป็น 0 แทนที่ค่าที่มากตามอัลกอริธึมที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) และได้มีการสร้างสมการเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางขึ้นใหม่ แต่ในอัลกอริธึมนี้ได้ทดลองกับตัวอย่างโครงข่ายสื่อสารที่มีขนาดเล็ก ดังนั้นจึงใช้การคำนวณซ้ำรอบที่ไม่มาก แต่หากขยายจำนวนโหนดในโครงข่ายมากขึ้นเป็นโครงข่ายสื่อสารขนาดใหญ่ จะต้องใช้การคำนวณซ้ำรอบที่มากใช้เวลานานกว่าที่จะได้รับคำตอบที่ถูกต้อง

Kamoun และ Ali (1991,1993) นำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายของแพคเกจ สวิตช์ โดยนำเอาแนวความคิดทางด้านการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารภายในโครงข่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลามาใช้ในการสร้างสมการเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางที่

แตกต่างไป โดย Kamoun และ Ali(1991,1993) ได้แสดงให้เห็นว่าการแทนสภาวะของปริมาณการสื่อสารด้วยการเชื่อมต่อกันระหว่างแต่ละ นิวรอล นั้นจะไม่เหมาะสมกับการกำหนดเส้นทางที่ปริมาณการสื่อสารมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาเพราะหากนำมาประดิษฐ์ขึ้นเป็นฮาร์ดแวร์แล้วจะต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานของการเชื่อมต่อกันระหว่างแต่ละนิวรอลอยู่ตลอดเวลาตามการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารในโครงข่าย โดยในอัลกอริธึมนี้ได้แทนปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายด้วยเมตริกซ์จัตุรัสที่มีขนาด NxN เมื่อ N คือจำนวนโหนดในโครงข่ายสื่อสารที่ยกมาเป็นตัวอย่าง เมตริกซ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของกระแสกระตุ้นจากภายนอกสำหรับแต่ละ นิวรอล ซึ่งทำให้การกำหนดเส้นทางที่สอดคล้องกับสภาวะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารไม่ต้องเปลี่ยนแปลงค่าความต้านทานที่เชื่อมต่อกันระหว่างแต่ละนิวรอล

จากงานวิจัยที่ได้กล่าวมานี้สามารถสรุปถึงข้อดีของการนำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารได้ดังนี้

1 การตอบสนองทางเวลาที่รวดเร็ว ซึ่งมีความสำคัญมากในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมเพราะการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารภายในโครงข่ายที่มีอยู่ตลอดเวลา

2. สามารถกำหนดปัจจัยเงื่อนไขในโครงข่ายสื่อสารอื่นๆ ที่สนใจลงไปได้ ดังเช่น การนำเอาองค์ประกอบที่แสดงถึงความล้มเหลวของแต่ละโหนดในโครงข่ายมาเป็นอีกปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเส้นทางตามอัลกอริธึมที่เสนอโดย Lee และ Chang (1993)

3. นอกจากเส้นทางที่ดีที่สุดที่ได้รับแล้ว เส้นทางที่ดีรองลงไปก็จะได้รับด้วย เมื่อเส้นทางที่ดีที่สุดไม่สามารถให้บริการได้ เส้นทางที่ดีรองลงไปจะถูกเลือกมาใช้ได้เลยโดยไม่ต้องมีการคำนวณเส้นทางใหม่เช่น อัลกอริธึมที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) และ Lee และ Chang(1993)

การนำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กมาประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารตามบทความข้างต้นยังคงมีข้อจำกัดที่พบคือ การไม่ได้รับคำตอบที่ดีที่สุด และไม่ได้เสนอการพัฒนาไปสู่การกำหนดเส้นทางในแบบพลวัตร (Dynamic routing)

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้กล่าวถึงการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่นำเอา อัลกอริธึม ที่ได้ถูกเสนอมาดังที่ได้กล่าวมาข้างต้นมาทำการปรับปรุงโดยเพิ่มปัจจัยในเรื่องสภาวะความคับคั่งของแต่ละโหนดภายในโครงข่ายมาเป็นสมการเงื่อนไขที่ใช้กำหนดเส้นทาง การกำหนดค่าเริ่มต้นของแต่ละนิวรอลในวิธีการใหม่ที่แตกต่างไปจากอัลกอริธึมเดิมที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) นอกจากนี้ยังได้พัฒนาไปสู่การกำหนดเส้นทางในแบบพลวัตร(Dynamic routing) ด้วย โดยมีวัตถุประสงค์ ขอบเขตของวิทยานิพนธ์และประโยชน์ที่ได้รับจากการทำวิทยานิพนธ์ดังนี้คือ

<u>วัตถุประสงค์</u>

เพื่อศึกษา ค้นคว้า ออกแบบ และเขียนโปรแกรม การคำนวณในการกำหนดเส้นทางที่ใช้จำนวนช่ายสื่อสารเชื่อมโยง(Link)น้อยที่สุดและมีสภาวะความคับคั่งของปริมาณการสื่อสารที่น้อยที่สุดโดยการใช้อัลกอริธึมของนิวรอลเน็ตเวอร์กในการคำนวณ โดยคาดหวังไว้ว่าจะได้เส้นทางที่ดีที่สุดตามสมการเงื่อนไขของการคำนวณ

ขอบเขตวิทยานิพนธ์

1. หาข้อจำกัดในการใช้งานโปรแกรมที่ได้เขียนขึ้น พร้อมเสนอแนวทาง และสาเหตุในการแก้ไขข้อจำกัดของ อัลกอริธึมที่เขียนขึ้น

2. ทดลองเขียนโปรแกรมเพื่อเพิ่มสมการเงื่อนไข อื่นๆ ลงไป เพื่อทดสอบ อัลกอริธึม ว่าสามารถให้คำตอบที่ถูกต้องได้หรือไม่ พร้อมเสนอแนวทางเพื่อปรับปรุง อัลกอริธึม ต่อไป

ประโยชน์ที่ได้รับ

1. เรียนรู้ถึงลักษณะ และผลลัพธ์ของ การคำนวณแบบ Hopfield net
2. สามารถขยายผลที่ได้รับไปยังงานทางด้าน วิศวกรรมระบบโทรคมนาคมได้
3. เป็นแนวทางในการวิจัย และพัฒนาทางด้านฮาร์ดแวร์ของ Hopfield netต่อไป

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ แบ่งเป็น 5 บทกล่าวคือ

บทที่ 1 บทนำ กล่าวถึงความเป็นมาของการประยุกต์ใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร พัฒนาการของอัลกอริธึมที่ใช้ และมูลเหตุจูงใจในการทำวิทยานิพนธ์เรื่องนี้

บทที่ 2 ทฤษฎี กล่าวถึงทฤษฎีต่างๆทั้งหมด ที่ใช้โดยเริ่มจากทฤษฎี คิวอิง ระบบ M/M/1 จากนั้นกล่าวถึงทฤษฎีนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net ที่ใช้ในงานทางด้าน optimization โดยได้แสดงแบบจำลองของนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net พร้อมนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้ Hopfield net ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่ผ่านมาในอดีต ซึ่งได้ถูกนำมาเป็นแบบอย่างในการพัฒนาปรับปรุงในวิทยานิพนธ์นี้

บทที่ 3 การจำลองปัญหา กล่าวถึงการจำลองปัญหาในโครงข่ายสื่อสารที่นำมาเป็นปัจจัยในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร การสร้างสมการพลังงาน การกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอลตามวิธีการใหม่ที่ได้คิดขึ้น การหาขอบเขตของค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กและการพิสูจน์ถึงการลู่เข้าสู่ค่าต่ำสุดของสมการพลังงาน

บทที่ 4 ผลการทดสอบที่ได้จากการคำนวณ กล่าวถึงผลการทดสอบการกำหนดเส้นทางโดยใช้สมการเงื่อนไขที่ได้สร้างขึ้น และการวิเคราะห์ผลการทดสอบที่ได้รับโดยได้แบ่งกล่าวออกเป็นส่วนย่อยๆ ดังนี้คือ ผลการทดสอบการกำหนดเส้นทางโดยใช้การกำหนดค่าเริ่มต้นในวิธีใหม่เปรียบเทียบกับวิธีที่ได้ถูกเสนอขึ้นโดย Rauch และ Winnarske (1988) ผลการทดสอบผลกระทบของปัจจัยในเรื่องสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสารที่มีผลต่อการคำนวณ ผลการทดสอบผลของค่าคงที่ sigmoid ที่มีผลต่อการคำนวณ ผลกระทบของค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลในการคำนวณ และ ผลกระทบของโมเมนตัมต่อการคำนวณ

บทที่ 5 สรุปและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงข้อสรุปของการใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net มาประยุกต์กับการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารตามสมการเงื่อนไขที่ได้สร้างขึ้น นอกจากนี้ได้กล่าวถึงข้อเสนอแนะในการพัฒนาเพื่อปรับปรุงข้อจำกัดในวิธีการที่ได้เสนอขึ้น

ภาคผนวก ได้เสนอการคำนวณโดยกำจัดข้อจำกัดในเรื่องจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดระหว่างคู่โหนดที่ต้องการติดต่อสื่อสารออกไป พร้อมผลการทดสอบการคำนวณ