บทที่ 2

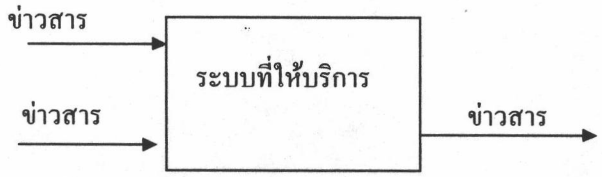
ทฤษฎีในการกำหนดเส้นทางโดยใช้นิวรอลเน็ตเวอร์ก

<u>ความนำ</u>

ในบทนี้ได้กล่าวถึง ทฤษฎีต่างๆที่นำมาใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคม โดยได้แบ่งกล่าวออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้ ส่วนแรกกล่าวถึงทฤษฎี คิวอิง ที่นำมาใช้ในการจำลองปัญหาในเรื่องความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของข้อมูลข่าวสารภายในโครงข่ายและปริมาณข้อมูลข่าวสารเฉลี่ยที่รอรับบริการจากระบบ โดยได้กล่าวถึงแบบจำลองระบบ M/M/1 ที่นำมาเป็นแบบในการจำลองปัญหา ส่วนที่ 2 กล่าวถึงทฤษฎีของนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield netที่ได้นำมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารและงานวิจัยในอดีตที่ผ่านมาซึ่งได้ถูกนำมาพัฒนาปรับปรุงเพิ่มเติมในวิทยานิพนธ์นี้

<u>ทฤษฎี คิวอิง</u>

การนำเอาทฤษฎี คิวอิง มาประยุกต์ใช้ในระบบสื่อสารโทรคมนาคม โดยจะมุ่งไปยังความสามารถในการให้บริการต่อการเข้ามาสู่ระบบที่กำลังพิจารณาอยู่ของข้อมูลข่าวสารซึ่งสามารถที่จะนำมาบ่งบอกถึงสภาวะของปริมาณการสื่อสารที่มีอยู่ในโครงข่าย ณ.ขณะเวลานั้นได้



<u>รูปที่ 2.1</u> แบบจำลองการให้บริการแก่ข่าวสารในระบบโทรคมนาคม

ในโครงข่ายสื่อสารโทรคมนาคมใดๆ ประกอบไปด้วยโหนดต่างๆ ที่ให้บริการในการจัดการส่งข่าวสารที่เข้ามายังโหนดนั้นๆไปยังจุดหมายปลายทางตามที่กำหนดไว้ในส่วนที่เป็นที่อยู่ของจุดหมายปลายทาง ซึ่งความสามารถในการจัดส่งข่าวสารได้ถูกต้องรวดเร็วนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะประเภทและชนิดของระบบสวิตซ์ที่อยู่ภายในโครงข่าย

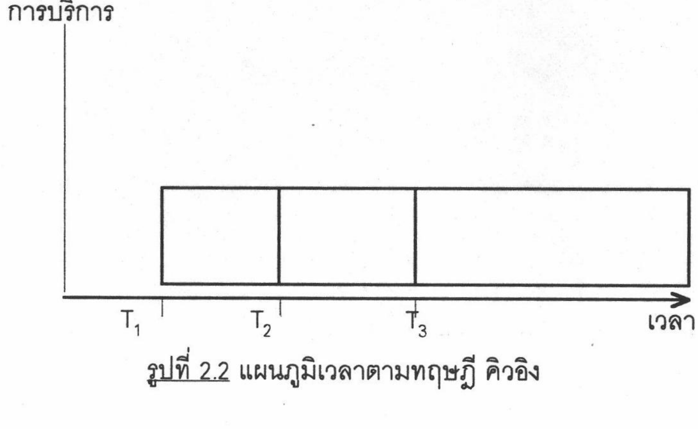
ความสามารถในการให้บริการแก่ข้อมูลข่าวสารโดยข้อมูลข่าวสารที่ถูกส่งผ่านมายังโหนดนั้นๆจะมีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยมากน้อยเพียงใดนั้นเป็นปัจจัยสำคัญในการออกแบบระบบสวิตซ์ที่ทำหน้าที่ให้

บริการแก่ข้อมูลข่าวสารภายในโหนดสาเหตุเพราะ แต่ละ แพคเกจ ที่แทนข้อมูลข่าวสารนั้นจะถูกกำหนดไว้ว่าจะทิ้ง แพคเกจ นั้นไปหากว่าในช่วงระยะเวลาที่กำหนดไว้ แพคเกจ นั้นยังไม่สามารถถูกส่งไปถึงจุดหมายปลายทางเพื่อประกอบขึ้นเป็นข่าวสารดังเดิมได้

ค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในระบบสื่อสารสามารถอธิบายได้ตามที่แสดงในรูปที่ 2.1 ดังนี้คือ หากพิจารณาว่าสวิตซ์ที่ทำหน้าที่ให้บริการแก่ข้อมูลข่าวสารที่เข้ามาเป็นระบบๆ หนึ่งที่มีอัตราความสามารถในการให้บริการด้วยความเร็วค่าหนึ่งสมมุติว่ากำหนดเป็น ξ และสมมุติให้มีข้อมูลข่าวสารหรือจำนวน แพคเกจ ที่เข้ามาสู่สวิตซ์นั้นด้วยอัตราความเร็วค่าหนึ่งสมมุติว่ากำหนดเป็น σ ซึ่งสามารถหาความสัมพันธ์ของเวลาที่แพคเกจ ตัวถัดมาจะต้องรอรับบริการได้ดังต่อไปนี้

$$\psi_{n+1} = \sigma_n - \xi \qquad (2.1)$$

โดยที่ ψ_{n+1} คืออัตราความล่าช้าทางเวลาที่ แพคเกจ ในลำดับที่ n+1 จะต้องรอคอยจนกว่า แพคเกจ ในลำดับที่ n จะได้รับบริการจนสิ้นสุด ซึ่งจากสมการที่ 2.1 นี้สามารถอธิบายลักษณะพฤติกรรมของอัตราความล่าช้าทางเวลาของ แพคเกจ ใดๆ ว่าจะขึ้นอยู่กับผลต่างของอัตราการเข้ามาสู่ระบบของ แพคเกจ กับ อัตราความสามารถในการให้บริการของระบบซึ่งหากอัตราการเข้ามาสู่ระบบของ แพคเกจ มีค่าสูงกว่าอัตราความสามารถในการให้บริการของระบบมาก อัตราความล่าช้าทางเวลาของ แพคเกจ ในลำดับถัดมาก็จะมีค่าที่สูงมาก ส่งผลทำให้หน่วยความจำที่มีอยู่ในระบบจะต้องทำหน้าที่จัดเก็บ แพคเกจ ที่ยังไม่ได้รับบริการนี้ไว้เป็นจำนวนมาก ทำให้ความล่าช้าทางเวลาของ แพคเกจ โดยรวมมีค่าเพิ่มมากขึ้น ในทางตรงกันข้ามหากอัตราการเข้ามาสู่ระบบของแพคเกจ มีค่าน้อยกว่าอัตราความสามารถในการให้บริการของระบบ แล้วจะไม่มี แพคเกจ ใดที่ตกค้างอยู่ในหน่วยความจำของระบบเลย ทำให้แพคเกจไม่มีความล่าช้าทางเวลาเกิดขึ้น จากที่กล่าวมานี้เป็นการยกตัวอย่างในกรณีเฉพาะที่สมมุติว่าให้แต่ละ แพคเกจ ใช้เวลาในการรับบริการจากระบบน้อยมาก แต่หากว่าแต่ละ แพคเกจจะต้องมีเวลาที่ใช้ในการรับบริการจากระบบแล้วสามารถอธิบายได้ด้วยแผนภูมิทางเวลาดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แผนภูมิเวลาตามทฤษฎี คิวอิง

สมมุติว่าในระบบเมื่อขณะเริ่มต้นพิจารณานั้นไม่มี แพคเกจ ใดๆ ตกค้างรอรับบริการอยู่ ที่ ณ เวลา T_1 แพคเกจ ตัวแรกเข้ามาสู่ระบบ และระบบต้องใช้เวลาทั้งสิ้น

$$T_s(1) = |T_3 - T_1| \tag{2.2}$$

โดยที่ $T_s(1)$ คือเวลาที่ระบบจะต้องใช้ในการบริการแก่ แพคเกจ ในตัวแรก เมื่อเวลา T_2 แพคเกจ ตัวที่ 2 ได้เข้ามาสู่ระบบแต่ในขณะนั้น แพคเกจ ตัวแรกยังคงรับบริการจากระบบอยู่ดังแสดงในรูปที่ 2.2 ทำให้ แพคเกจ ในตัวที่ 2 ต้องรอจนกว่า แพคเกจ ตัวแรกจะได้รับบริการจนสิ้นสุด ซึ่งใช้เวลาทั้งสิ้น W_2 โดยที่ W_2 คือเวลาที่ แพคเกจ ตัวที่ 2 จะต้องรอการได้รับบริการ มีค่าดังต่อไปนี้

$$W_2 = |T_3 - T_2| \tag{2.3}$$

จากแผนภูมิเวลาสามารถอธิบายลักษณะพฤติกรรมตามทฤษฎี คิวอิง ได้ดังนี้ กล่าวคือหากระบบสามารถให้บริการกับ แพคเกจ ใดๆ ได้สิ้นสุดก่อนเวลาที่ แพคเกจ ในลำดับถัดไปจะเข้ามาสู่ระบบแล้ว จะมีผลทำให้ไม่มี แพคเกจ ที่ตกค้างในหน่วยความจำของระบบเลย และหากระบบไม่สามารถให้บริการแก่ แพคเกจ ใดๆ ให้เสร็จสิ้นก่อนเวลาที่ แพคเกจ ในลำดับถัดมาจะมาสู่ระบบแล้ว จะมีผลทำให้มี แพคเกจ ที่ตกค้างในหน่วยความจำของระบบ ซึ่งจำนวน แพคเกจ ที่ตกค้างนี้ขึ้นอยู่กับความเร็วในการบริการของระบบกับผลต่างของเวลาที่เข้าสู่ระบบระหว่าง แพคเกจ ตัวที่อยู่ติดกัน สามารถนำมาเขียนได้ดังสมการที่ 2.4

$$W_{n+1} = T_s(n) - [T_{n+1} - T_n] \tag{2.4}$$

เมื่อ T_n คือเวลาที่เข้าสู่ระบบของ แพคเกจ ในลำดับที่ n และ $T_s(n)$ คือเวลาในการรับบริการของ แพคเกจ ในลำดับที่ n

ผลต่างของเวลาที่เข้าสู่ระบบระหว่าง แพคเกจ ตัวที่อยู่ติดกัน $[T_{n+1} - T_n]$ ถูกเรียกว่า Interarrival_Time และ $T_s(n)$ คือเวลาที่ใช้ในการรับบริการของ แพคเกจ ในลำดับที่ n หรือคือเวลาที่ระบบสามารถให้บริการต่อ แพคเกจ ที่เข้ามาสู่ระบบ $T_s(n)$ ถูกเรียกว่า Service_Time ทั้งเวลาที่ใช้ในการรับบริการของ แพคเกจ (Service_Time) และ ผลต่างของเวลาที่เข้าสู่ระบบระหว่าง แพคเกจ ตัวที่อยู่ติดกัน (Interarrival_Time) มีความสำคัญในการกำหนดลักษณะพฤติกรรมของปริมาณการสื่อสารภายในโครงข่ายสื่อสาร ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้นำเอาแบบจำลองระบบ M/M/1 มาใช้ในการกำหนดสภาวะปริมาณการสื่อสารของโครงข่าย จึงจะขอกล่าวถึงแบบจำลองระบบ M/M/1 ในส่วนถัดไป

<u>1. แบบจำลองระบบ M/M/1</u>

แบบจำลองระบบ M/M/1 นี้เป็นแบบจำลองที่ง่ายที่สุดในทฤษฎี คิวอิง แต่ก็มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้เป็นแบบจำลองในการกำหนดค่าของปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายสื่อสาร โดยในแบบจำลองระบบ M/M/1 ตามที่ Daigle (1992) และ Kleinrock (1976) ได้ให้ความหมายดังนี้กล่าวคือ มีฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็นของผลต่างของเวลาที่เข้าสู่ระบบระหว่างแพคเกจที่อยู่ติดกัน(Interarrival_Time Probability Density Function)เป็นการกระจายแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential distribution) และมีฟังก์ชันความหนาแน่นของความ

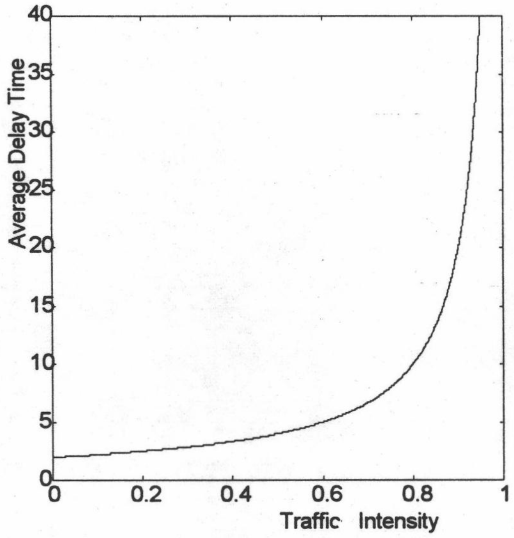
น่าจะเป็นของเวลาที่ให้บริการ (Service_Time Probability Density Function) มีการกระจายแบบเอ็กโปเนนเชียล (Exponential distribution) และมีระบบที่ทำหน้าที่ให้บริการเพียงระบบเดียว(single server)

สมมุติว่าระบบมีอัตราการให้บริการแก่ แพคเกจ เป็น μ และสมมุติว่ามีอัตราการเข้ามาสู่ระบบของ แพคเกจ เป็น λ โดยทั้ง μ และ λ มีหน่วยเป็น จำนวนข่าวสารในหนึ่งหน่วยเวลาเช่น บิตต่อวินาที เป็นต้น อัตราส่วนระหว่าง อัตราการเข้ามาสู่ระบบของ แพคเกจ (λ) ต่อ อัตราการให้บริการแก่ แพคเกจ แสดงถึงค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารในระบบที่กำลังพิจารณา (Traffic Intensity) ที่ได้เสนอโดย Daigle (1992) ดังสมการที่ 2.5

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} \tag{2.5}$$

ณ เวลาที่ระบบเข้าสู่สมดุลย์ (Equilibium state) ในแบบจำลอง M/M/1 ค่าเฉลี่ยของจำนวน แพคเกจที่อยู่ในระบบ ค่าเฉลี่ยทางเวลาที่แพคเกจต้องรอรับบริการ และ ความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของแพคเกจ ดังที่ได้เสนอโดย Kleinrock (1976) มีค่าดังสมการที่ 2.6 สมการที่ 2.7 และ สมการที่ 2.8 ตามลำดับคือ

$$N = \frac{\rho}{1-\rho} \tag{2.6}$$



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยกับค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสาร

$$W = \frac{\rho / \mu}{1-\rho} \tag{2.7}$$

$$T = \frac{1/\mu}{1-\rho} \tag{2.8}$$

โดยกำหนดให้ N แทนค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจที่อยู่ในระบบ W แทนค่าเฉลี่ยทางเวลาที่แพคเกจ จะต้องรอคอยเพื่อที่จะได้รับบริการจากระบบ และ T คือค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของแพคเกจแต่ละตัว

รูปที่ 2.3 แสดงถึงค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของ แพคเกจ แต่ละตัว เทียบกับค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสาร(ρ)จากรูปที่ 2.3 นี้สามารถอธิบายลักษณะพฤติกรรมของค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของแพคเกจได้ดังนี้กล่าวคือ แพคเกจ จะมีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยที่เพิ่มมากขึ้นเมื่อค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารเพิ่มมากขึ้น และจะมีค่าเป็นอนันต์เมื่อค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารมีค่าเข้าใกล้ 1 และเมื่อค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารมีค่าเป็น 0 ค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของแพคเกจ จะมีค่าเท่ากับเวลาที่ระบบใช้ในการให้บริการกับแพคเกจซึ่งจากรูปที่ 2.3 นี้ก็คือจุดตัดแกนตั้งของกราฟนั่นเอง

ทฤษฎีนิวรอลเน็ตเวอร์ก

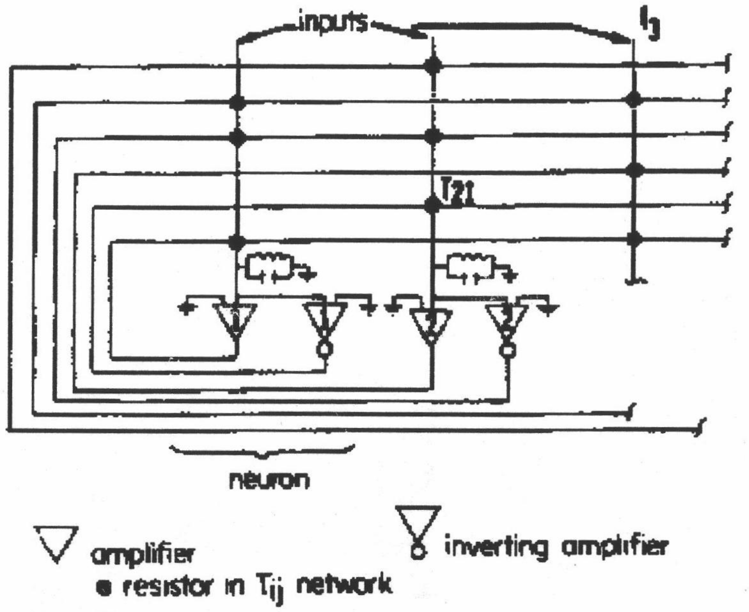
ในส่วนนี้กล่าวถึง ทฤษฎีของนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net ซึ่งใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization) และกล่าวถึงการนำเอา Hopfield net มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารตามอัลกอริธึมที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988)

1. นิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield Net

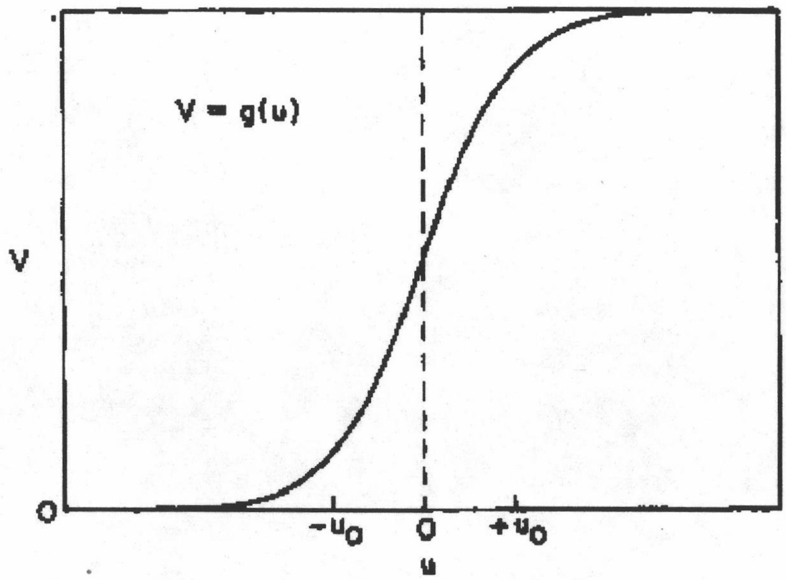
Hopfield และ Tank(1985,1986) ได้นำเสนอนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิดใหม่ขึ้นโดยกำหนดชื่อว่า Hopfield Net และได้นำเสนอการนำนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิดนี้มาใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด Abe(1989) ได้แสดงการวิเคราะห์ถึงเสถียรภาพของ Hopfields Net. โดยการใช้ การวิเคราะห์ในแบบ eigenvalue และกล่าวถึงเงื่อนไขในการเข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด พร้อมแสดงผลที่ได้จากการทดสอบการคำนวณในปัญหาเรื่อง Travelling saleman problem (TSP) โดยเปรียบเทียบถึงความถูกต้องของคำตอบที่ได้รับเมื่อใช้เงื่อนไขในการกำหนดค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ (Equation of motion) ของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่ได้เสนอขึ้น

ดังแสดงในรูปที่ 2.4 เป็นแบบจำลองของ Hopfield netที่ได้ถูกเสนอโดย Hopfield และ Tank(1985) โดยแสดงถึงลักษณะโดยทั่วๆไปของ Hopfield netโดยใช้วงจรแบบอนาล็อกที่สามารถใช้ในการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ ในวงจรนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์อิเลกทรอนิกพื้นฐาน เช่น ตัวต้านทาน ตัวเก็บประจุ เป็นต้นโครงสร้างหลักของวงจรประกอบไปด้วยส่วนต่างๆที่ทำงานในลักษณะขนานกันดังนี้คือ ช่องสัญญาณอินพุทที่เข้ามาแบบขนาน ช่องสัญญาณเอาท์พุทที่ออกแบบขนาน และน้ำหนักของการเชื่อมต่อ(connection weight) ระหว่างแต่ละหน่วยที่แทนด้วยนิวรอลโปรเซสซิง โดยแต่ละหน่วยของนิวรอลถูกจำลองด้วยแอมพลิฟายเออร์ ที่มีวงจรป้อนกลับต่ออยู่ซึ่งประกอบด้วย สายตัวนำ ตัวต้านทาน และตัวเก็บประจุ ซึ่งเปรียบเสมือนกับระบบประสาทในชีววิทยาคือ แอกซอน (Axons) เดนไดรต์ (Dendrite) และ ไซแนปส์ (Synapse)

โดยลักษณะการทำงานของแบบจำลองนี้เป็นดังต่อไปนี้



รูปที่ 2.4 แบบจำลอง Hopfield net ที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 2.5 ความสัมพันธ์ระหว่าง อินพุทกับเอาท์พุท ของแต่ละนิวรอล

แอมพลิฟายเออร์แต่ละตัวทำหน้าที่แทนนิวรอลแต่ละตัว โดยความสัมพันธ์ของอินพุทกับเอาท์พุท ของแอมพลิฟายเออร์เป็นแบบ ซิกมอยขั้วเดียว (Uni_polar sigmoid function) ดังแสดงในรูปที่ 2.5

$$V_i = g(u_i) \tag{2.9}$$

เมื่อ V_i กำหนดให้เป็นเอาท์พุทของแอมพลิฟายเออร์แต่ละตัว

u_i กำหนดให้เป็นอินพุทของแอมพลิฟายเออร์แต่ละตัว

g กำหนดให้เป็นทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของนิวรอลแต่ละตัว

สมมุติว่าไม่คำนึงถึงค่าคงที่เวลา (Time Constant) ของแอมพลิฟายเออร์แต่ละตัว แต่อย่างไรก็ตามในระบบประสาททางชีววิทยาจะมีค่าอินพุทอิมพิแดนซ์ที่เกิดขึ้นจากเซลเมมเบรน ดังนั้นแอมพลิฟายเออร์ j จะมีอินพุทอิมพิแดนซ์ ϑ_j ต่อลงดินโดยขนานกับตัวเก็บประจุด้านอินพุท C_j ซึ่งทั้ง 2 ส่วนนี้จะเป็นตัวกำหนดค่าคงที่เวลา (Time constant) ของนิวรอลและเป็นตัวรวมกระแสของนิวรอลแต่ละตัว เพื่อที่จะสามารถเป็นได้ทั้ง ระบบประสาทที่เป็นตัวกระตุ้นและเป็นตัวทำให้เกิดความเฉื่อย ไซเนปส์ที่เชื่อมต่อระหว่างคู่นิวรอลใดๆ ถูกกำหนดให้แทนด้วยค่าความนำไฟฟ้า T_{ij} ซึ่งจะต่อเชื่อมระหว่างเอาท์พุทของ แอมพลิฟายเออร์ j แบบใดแบบหนึ่งไปยังอินพุทของแอมพลิฟายเออร์ตัวที่ i ค่าการเชื่อมต่อนี้ทำมาจากค่าความต้านทานที่มีค่าเป็น $R_{ij} = 1/\left|T_{ij}\right|$ ซึ่งหากเป็นการกระตุ้น $T_{ij} \geq 0$ ตัวต้านทานนี้จะต่อมายังเอาท์พุทแบบปกติของแอมพลิฟายเออร์ j ในทางตรงกันข้ามหากเป็นสัญญานเฉื่อย $T_{ij} \leq 0$ ตัวต้านทานนี้จะต่อมายังเอาท์พุทแบบกลับขั้วของแอมพลิฟายเออร์ j แต่ในระบบประสาททางชีววิทยาไม่มีความต้องการเอาท์พุทที่มี 2 ขั้วตามที่กล่าวมา ตามรูปที่ 2.4 จะมีกระแสกระตุ้นจากภายนอก j ของแต่ละนิวรอลซึ่งกระแสในส่วนนี้จะทำหน้าที่ปรับระดับของการกระตุ้นโดยจะไปเลื่อนกราฟความสัมพันธ์ของ อินพุทและเอาท์พุท ของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันไปตามแนวนอนดังรูปที่ 2.5 หรือมีไว้สำหรับป้อนอินพุทแบบขนานให้แต่ละนิวรอลสำหรับกรณีพิเศษ

สมการการเคลื่อนที่อธิบายการเปลี่ยนแปลงทางเวลาของวงจรนี้คือ

$$C_i\left(\frac{du_i}{dt}\right) = \sum_{j=1}^{N} T_{ij}V_j - \frac{u_i}{R_i} + I_i \tag{2.10}$$

โดยกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทของนิวรอลแต่ละตัวดังสมการที่ 2.9 และค่า R_i คือผลรวมแบบขนานระหว่าง ϑ_i กับ R_{ij} ดังสมการที่ 2.11

$$\frac{1}{R_i} = \frac{1}{\vartheta_i} + \sum_{j=1}^{N} \frac{1}{R_{ij}} \tag{2.11}$$

ซึ่งโดยปกติจะเลือกให้ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของทุกๆนิวรอลมีลักษณะที่เหมือนกันสำหรับทุกๆนิวรอลและกำหนดให้ $R_i = R, C_i = C$ คือมีค่าที่เท่ากันสำหรับทุกๆนิวรอลนำค่า C ไปหารสมการที่ 2.10 จะได้สมการการเคลื่อนที่เป็นดังสมการที่ 2.12 คือ

$$\frac{du_i}{dt} = \sum_{j=1}^{N} T_{ij}V_j - \frac{u_i}{\tau} + I_i \tag{2.12}$$

$$\tau = RC \tag{2.13}$$

โดยสมการที่ 2.13 เป็นค่าคงที่เวลา(Time constant) ของนิวรอลจากสมการที่ 2.12 เป็นสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก โดยจะมีเทอมที่เป็นค่าอินพุทของนิวรอล ณ ที่เวลาเป็น 0 เทอมนี้เป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอลในลำดับต่างๆกัน

เมื่อทำการอินทิเกรตสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กเทียบกับเอาท์พุทในลำดับที่ i ของนิวรอลจะได้สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่ได้ถูกเสนอโดย Hopfield และ Tank (1985) ดังสมการที่ 2.14

$$E = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} T_{ij}V_iV_j - \sum_{i=1}^{N} V_iI_i \tag{2.14}$$

การนำนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net มาประยุกต์ใช้งานในการหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้น จำเป็นต้องสร้างสมการเงื่อนไขขึ้นซึ่งผลรวมของสมการเงื่อนไขจะประกอบกันขึ้นเป็นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กHopfieldและTank(1985)ได้เสนอแนวความคิดเกี่ยวกับการหาคำตอบที่ดีที่สุดไว้อีกว่าหากทรานสเฟอร์ฟังก์ชันมีความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทที่เข้าใกล้ความสัมพันธ์แบบขั้นบันไดและค่าการนำไฟฟ้าที่แทนด้วยการเชื่อมต่อระหว่างแต่ละนิวรอลเป็นแบบสมมาตร $T_{ij} = T_{ji}$ แล้วจะทำให้คำตอบที่ได้รับจากสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กมีค่าอยู่ในกลุ่มของคำตอบ 2^N เมื่อ N คือจำนวนนิวรอลทั้งหมด

Abe (1989) ได้แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยการใช้ Hopfield net นี้มีโอกาสที่จะได้รับคำตอบที่นอกเหนือจากกลุ่มคำตอบ 2^N ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะของ T_{ij} ว่ามีความซับซ้อนเพียงใดและไม่ได้ขึ้นอยู่กับประเภทของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันว่าเป็นแบบขั้วเดียวหรือแบบสองขั้ว

2. การกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารโดยใช้นิวรอลเน็ตเวอร์ก

Rauch และ Winnarske(1988) ได้เสนอการนำนิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield netมาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร โดยคำนึงถึงสภาวะของปริมาณการสื่อสารที่เป็นอยู่ ณ ขณะเวลานั้น วิธีการที่ได้ถูกเสนอขึ้นมานี้ได้ทำการคำนวณหาเส้นทางระหว่างคู่โหนดใดๆที่ต้องการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันโดยกำหนดว่าต้องมีการใช้จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่ให้บริการเชื่อมต่อระหว่างคู่โหนดนั้นๆน้อยที่สุด และเส้นทางนี้ต้องมีปริมาณการสื่อสารที่น้อยที่สุด ซึ่งวิธีการนี้สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้

จากลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่ายสื่อสารที่ประกอบไปด้วยโหนดต่างๆและข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างแต่ละโหนดภายในโครงข่ายได้กำหนดให้อัตราในการให้บริการต่อข้อมูลข่าวสารที่เข้ามาสู่ระบบ(service rate)แทนได้ด้วยค่าความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนด ดังนั้นในโครงข่ายสื่อสารที่มีประเภทข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารหลายๆชนิด เช่น สายคู่ตีเกลียว สายโคแอกเซียล สายไฟเบอร์ออฟติค เป็นต้น ที่มีความสามารถในการให้บริการต่อข่าวสารที่มีความเร็วที่แตกต่างกัน จึงมีอัตราในการให้บริการ(Service rate) ที่แตกต่างกันไปด้วย กำหนดให้เมตริกซ์ C แทนความจุของแต่ละข่ายสื่อสารเชื่อมโยงในโครงข่าย โดยในแต่ละเทอมของเมตริกซ์ คือ C_{ij} แสดงถึงความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่างคู่โหนด i กับโหนด j และในโครงข่ายสื่อสารนี้กำหนดให้เป็นการสื่อสารแบบ 2 ทางดังนั้น $C_{ij} = C_{ji}$ สำหรับคู่โหนด i,jใดๆที่ไม่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อกำหนดให้ C_{ij} มีค่าเป็น 0

ในอัลกอริธึมนี้ใช้การจำลองปริมาณการสื่อสารระบบ M/M/1 สมมุติให้ในแต่ละระบบสื่อสารที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดมีค่าอัตราการเข้าสู่ระบบของข้อมูลข่าวสาร ที่แตกต่างกัน จึงทำให้ค่าของความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารในระบบแตกต่างกันตามสมการที่ 2.5 และทำให้ค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจในระบบมีค่าแตกต่างกันไปด้วยตามสมการที่ 2.6 กำหนดให้ผลลัพธ์ของสมการที่ 2.6 สำหรับแต่ละระบบสื่อสารแทนด้วยเมตริกซ์ W สำหรับ C_{ij} ใดๆที่มีค่าเป็น 0 กำหนดให้ W_{ij} มีค่าเป็น10 ดังสมการที่ 2.15

$$W_{ij} = \begin{cases} \dfrac{\rho_{ij}}{1-\rho_{ij}} & if \quad C_{ij} \neq 0 \\ 10 & otherwise \end{cases} \tag{2.15}$$

การหาจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่ต้องใช้น้อยที่สุดระหว่างคู่โหนด i,jใดๆที่ต้องการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกันสามารถหาได้จากเมตริกซ์ C กล่าวคือ หาก $C_{ij} \neq 0$ แล้วจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่ต้องใช้น้อยที่สุดระหว่างคู่โหนด i,j จะเป็น 1 เพราะมีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างคู่โหนดนี้ หาก $C_{ij} = 0$ แล้วแสดงว่าไม่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อโดยตรงระหว่างคู่โหนด i,j จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงน้อยที่สุดที่ต้องใช้ในการติดต่อระหว่างคู่โหนด i,j นี้ได้จากการยกกำลังเมตริกซ์ C ไปจำนวน K ครั้ง ค่า K ที่น้อยที่สุดที่ทำให้ ค่าในเทอม C_{ij} ไม่เป็นศูนย์คือ จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ระหว่างคู่โหนด i,j ที่ต้องการติดต่อสื่อสารดังสมการที่ 2.16

$$[C]^K \rightarrow C_{ij} \neq 0 \tag{2.16}$$

วิธีการนี้ได้กำหนดให้นิวรอลแต่ละตัวเป็นอาร์เรย์ 2 มิติ โดยมีขนาดเป็น N x (K+1) เมื่อ N คือจำนวนโหนดทั้งหมดในโครงข่ายสื่อสาร ดังนั้นสมมุติว่าในการติดต่อสื่อสารระหว่างคู่โหนด i,j ต้องการใช้จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุด(K) มีค่าเป็น K ข่ายสื่อสาร ดังนั้น จะมีจำนวนนิวรอลทั้งสิ้น Nx(K+1) ตัวที่ต้องใช้ในการคำนวณ นิวรอลในตัวที่ source,1 แทนด้วยโหนดต้นทางนิวรอลตัวที่ destinaltion,K+1 แทนด้วยโหนดปลายทาง ส่วนนิวรอลตัวอื่นๆที่อยู่ในคอลัมน์ที่ 2 ไปจนถึง K แทนด้วยโหนดต่างๆที่เป็นโหนดระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง

สมการเงื่อนไขของวิธีการนี้ แบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ สมการเงื่อนไขในการหาเส้นทางระหว่างคู่โหนด i,j ที่มีปริมาณการสื่อสารน้อยที่สุด และสมการที่เป็นสมการเงื่อนไขกำหนดขอบเขตคำตอบของนิวรอล โดยที่ผลรวมของสมการทั้ง 2 นี้เป็นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก

$$J_1 = \frac{1}{2}\left(\sum_{j=1}^{K} V_j^T W V_{j+1}\right) \tag{2.17}$$

สมการที่ 2.17 เป็นสมการเงื่อนไขที่ใช้ในการคำนวณหาเส้นทางที่มีปริมาณการสื่อสารน้อยที่สุด โดย V_j คือ เอาท์พุทของนิวรอล ในคอลัมน์ลำดับที่ j

$$J_2 = \frac{\gamma}{2}\sum_{j=2}^{K}\left(\sum_{i=1}^{N}V_j - 1\right)^2 \tag{2.18}$$

สมการที่ 2.18 เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตของคำตอบของนิวรอลแต่ละตัวโดยผลรวมของเอาท์พุทของนิวรอลในแต่ละคอลัมน์มีค่าเป็น 1

ผลรวมของสมการเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้น (2.17) และ (2.18) เป็นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กกับการประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารดังสมการที่ 2.19

$$E = \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{K}(V_j^T W V_{j+1}) + \frac{\gamma}{2}\sum_{j=2}^{K}(\sum_{i=1}^{N}V_j - 1)^2 \tag{2.19}$$

สมการที่ 2.19 นี้เป็นสมการพลังงานที่ได้นำเอานิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield netมาประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารเป็นครั้งแรก

Zhang และ Thomopoulos(1989) ได้เสนอการใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กแบบ Hopfield net มาประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารเช่นกันแต่มีการสร้างสมการพลังงานที่แตกต่างกันและได้แก้ไขข้อจำกัดในวิธีการของ Rauch และ Winnarske (1988) ในการหาจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างคู่โหนดที่น้อยที่สุดก่อนเพื่อเป็นตัวกำหนดขนาดอาร์เรย์ของนิวรอลในวิธีการที่ได้เสนอขึ้นมาใหม่นี้ได้ขยายขนาดของอาร์เรย์เป็น NxN เมื่อ N คือจำนวนโหนดที่มีอยู่ทั้งหมดในโครงข่ายสื่อสาร สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามวิธีการของ Zhang และ Thomopoulos(1989) คือ

$$E = (A/2)\sum_{k=1}^{N-1}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}V_{ik}W_{ij}V_{j,k+1} + (B/2)\sum_{k=1}^{N}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}V_{ik}V_{jk} + (C/2)(\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}V_{ij} - N)^2 \tag{2.20}$$

สมการพลังงานที่ได้ถูกเสนอมานี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกคือส่วนที่กำหนดว่าระหว่างคู่โหนดที่ต้องการสื่อสารกันนั้นต้องมีปริมาณการสื่อสารน้อยที่สุด ส่วนที่ 2 เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดคำตอบของนิวรอลว่าในแต่ละคอลัมน์ต้องมีเพียงเทอมเดียวเท่านั้นที่มีค่าไม่เท่ากับ 0 และผลรวมของคำตอบทุกๆ นิวรอลต้องมีค่าเท่ากับจำนวนของโหนดในโครงข่าย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ จะต้องมีนิวรอลที่มีคำตอบเป็น 1 ในคอลัมน์แต่ละคอลัมน์ได้เพียง 1 ตัวและในแต่ละแถวได้เพียง 1 แถวเท่านั้น

สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอโดย Zhang และ Thomopoulos(1989) นี้มีสมการเงื่อนไขเช่นเดียวกับสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) เพียงแต่วิธีการสร้างสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอโดย Zhang และ Thomopoulos(1989) พิจารณานิวรอลครั้งละตัวในอาร์เรย์ แต่วิธีการสร้างสมการพลังงานของ Rauch และ Winnarske(1988) พิจารณานิวรอลครั้งละคอลัมน์

สำหรับเมตริกซ์ W ในสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอโดย Zhang และ Thomopoulos(1989) นี้ได้กำหนดให้ในเทอมทะแยงมุมหลักของเมตริกซ์ W มีค่าเป็น 0 แทนที่จะมีค่าที่สูงมากตามวิธีการของ Rauch และ Winnarske(1988) ทั้งนี้เพื่อให้เกิดการได้รับคำตอบซ้ำเดิมในคอลัมน์ที่อยู่ติดกัน

น้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอล (connection weight) ตามทฤษฎีของ Hopfield net สำหรับวิธีการของ Zhang และ Thomopoulos(1989) นี้คือ

$$T_{ij,mn} = -AW_{im}(\delta_{n,j+1} + \delta_{n,j-1}) - B\delta_{jn}(1-\delta_{im}) - C \tag{2.21}$$

โดยที่ δ_{xy} เป็น Kronecker's delta function จะมีค่าเป็น 1 เมื่อ x=y และเป็น 0 เมื่อ x≠y สมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กเป็นดังนี้

$$\frac{dy_{ij}}{dt} = -\frac{y_{ij}}{\tau} + \sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} T_{ij,mn}V_{mn} + I_{ij} \tag{2.22}$$

Kamoun และ Ali (1991,1993) ได้เสนอการใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กแบบ Hopfield net มาประยุกต์ใช้ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารแบบแพคเกจ สวิตซ์ โดยการสร้างสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กขึ้นมาใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับการเปลี่ยนแปลงของปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายสื่อสาร สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่สร้างขึ้นมาใหม่นี้กำหนดให้การเชื่อมต่อของนิวรอลไม่เปลี่ยนแปลงตามสภาวะของปริมาณการสื่อสาร แต่กำหนดให้มีค่าที่แน่นอน ปริมาณการสื่อสารที่เปลี่ยนแปลงไปนี้จะถูกป้อนเข้ามาทางกระแสกระตุ้นจากภายนอกแทนที่จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าการเชื่อมต่อของนิวรอล

สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามวิธีการของ Kamoun และ Ali (1991,1993) เป็นดังสมการที่ 2.23 ดังนี้คือ

$$E = \frac{\mu_1}{2}\sum_{x=1}^{N}\sum_{\substack{i=1\\ i\neq x\\ (x,i)\neq(d,s)}}^{N} C_{xi}V_{xi} + \frac{\mu_2}{2}\sum_{x=1}^{N}\sum_{\substack{i=1\\ i\neq x\\ (x,i)\neq(d,s)}}^{N} \rho_{xi}V_{xi} + \frac{\mu_3}{2}\sum_{x=1}^{N}\left[\sum_{\substack{i=1\\ i\neq x}}^{N} V_{xi} - \sum_{\substack{i=1\\ i\neq x}}^{N} V_{ix}\right]^2 + \frac{\mu_4}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{\substack{x=1\\ x\neq i}}^{N} V_{xi}(1-V_{xi})$$
$$+\frac{\mu_5}{2}(1-V_{ds}) \tag{2.23}$$

$$\rho_{xi} = \begin{cases} 1 & if \quad C_{xi} = 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{2.24}$$

เมื่อ $\mu_1 \ldots\ \mu_5$ เป็นค่าคงที่

โดยในสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่ได้เสนอขึ้นมานี้ยังคงใช้การจำลองให้แต่ละนิวรอลเป็นอาร์เรย์แบบ 2 มิติ โดยใช้ตัวห้อย(subscript) x,i แทนตำแหน่งของนิวรอล สมการเงื่อนไขที่ประกอบกันขึ้นมาเป็นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กมีความหมายดังต่อไปนี้

เทอมที่ 1 และ เทอมที่ 2 เป็นสมการเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางที่มีปริมาณการสื่อสารน้อยที่สุด ซึ่งปริมาณการสื่อสารได้ถูกแทนด้วยเมตริกซ์ C เทอมที่ 3 เป็นสมการเงื่อนไขที่กำหนดให้นิวรอลในแต่ละแถว และแต่ละคอลัมน์มีเพียงตัวเดียวเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1 เทอมที่ 4 เป็นเทอมที่กำหนดค่าเอาท์พุทของนิวรอลแต่ละตัวว่าต้องมีค่าเป็น 0 หรือ 1 เท่านั้นซึ่งเทอมนี้มีผลทำให้ค่าเอาท์พุทของนิวรอลอยู่ในกลุ่มของ 2^N ตามที่ได้เสนอไว้โดย Hopfield และ Tank (1985) ในเทอมสุดท้ายเป็นเทอมที่กำหนดให้นิวรอลที่แทนการเชื่อมต่อระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางต้องมีค่าเป็น 1 เสมอ

สมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามวิธีการ Kamoun และ Ali (1991,1993) เป็นดังสมการที่ 2.25 คือ

$$\frac{du_{xi}}{dt} = -\frac{u_{xi}}{\tau} - \frac{\mu_1}{2} C_{xi}(1-\delta_{xd}\delta_{is}) - \frac{\mu_2}{2}\rho_{xi}(1-\delta_{xd}\delta_{is}) - \mu_3 \sum_{\substack{y=1 \\ y\neq x}}^{N} (V_{xy} - V_{yx})$$
$$+ \mu_3 \sum_{\substack{y=1 \\ y\neq i}}^{N} (V_{iy} - V_{yi}) - \frac{\mu_4}{2}(1-2V_{xi}) + \frac{\mu_5}{2}\delta_{sd}\delta_{is} \qquad (2.25)$$

น้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอล เป็นดังสมการที่ 2.26 คือ

$$T_{xi,yj} = \mu_4\delta_{xy}\delta_{ij} - \mu_3\delta_{xy} - \mu_3\delta_{ij} + \mu_3\delta_{jx} + \mu_3\delta_{iy} \qquad (2.26)$$

กระแสกระตุ้นจากภายนอกสำหรับแต่ละนิวรอลมีค่าดังสมการที่ 2.27 คือ

$$I_{xi} = \begin{cases} \dfrac{\mu_5 - \mu_4}{2} & if\ (x,i) = (d,s) \\ -\dfrac{\mu_1}{2}C_{xi} - \dfrac{\mu_2}{2}\rho_{xi} - \dfrac{\mu_4}{2} & otherwise \end{cases} \qquad (2.27)$$

ซึ่งกระแสกระตุ้นจากภายนอกในสมการที่ 2.27 นี้เป็นฟังก์ชันของ ปริมาณการสื่อสารและลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่าย ซึ่งเหมาะสมกับการกำหนดเส้นทางเมื่อปริมาณการสื่อสารมีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปโดยในวิธีการนี้ไม่ต้องปรับเปลี่ยนค่าการเชื่อมต่อระหว่างแต่ละนิวรอล

อย่างไรก็ตามวิธีการของ Kamoun และ Ali (1991,1993) นี้มีข้อจำกัดในการกำหนดค่าให้กับค่าคงที่ ในสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กซึ่งไม่ได้เสนอวิธีการกำหนดค่าเอาไว้ ยังคงใช้วิธีการลองสุ่มเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้วิธีการนี้ไม่เหมาะกับการกำหนดเส้นทางที่มีจำนวนโหนดในโครงข่ายมากๆ เพราะสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กมีหลายเทอม และปัจจัยหลักคือค่าปริมาณการสื่อสารถูกป้อนเข้ามาทางด้านกระแสกระตุ้นจากภายนอกดังนั้นจึงมีโอกาสที่จะได้รับคำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดได้

Lee และ Chang (1993) ได้เสนอการเพิ่มปัจจัยในด้านองค์ประกอบของความน่าเชื่อถือในโครงข่ายสื่อสาร มาเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร โดยนำเอาวิธีการที่ได้ถูกเสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) และวิธีการที่ได้ถูกเสนอโดย Kamoun และ Ali (1991) มาปรับปรุง

Lee และ Chang (1993) ใช้สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กเช่นเดียวกับสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) และได้เพิ่มเติมสมการเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางเข้ามาตามวิธีการของ Kamoun และ Ali (1991) โดยนำปัจจัยในเรื่ององค์ประกอบของความน่าเชื่อถือในโครงข่ายสื่อสารมาประกอบ พร้อมกันนี้ Lee และ Chang (1993) ได้เสนอวิธีการกำหนดช่วงของค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลตามที่ได้ถูกเสนอโดย Abe (1989) มาประยุกต์

สมการเงื่อนไขที่ได้ถูกนำมาเพิ่มเติมในสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) คือ

$$J = \beta \sum_{j=1}^{K+1} V_j^T D Q^T \tag{2.28}$$

โดยได้กำหนดเมตริกซ์ D คือเมตริกซ์ขนาดจัตุรัส NxN ที่แทนการขึ้นต่อกันของโหนดในโครงข่ายสื่อสารเมื่อมีโหนดใดโหนดหนึ่งเกิดตกอยู่ในสภาวะล้มเหลวไม่สามารถให้บริการได้ และเมตริกซ์ Q คือเมตริกซ์ขนาด 1xN ที่แทนความน่าจะเป็นที่แต่ละโหนดจะอยู่ในสภาวะล้มเหลว ตัวยก(superscript) T คือการทำทรานสโพสเมตริกซ์ และ β คือค่าคงที่

สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่ได้เสนอโดย Lee และ Chang (1993) เป็นดังนี้คือ

$$E = \beta \sum_{j=1}^{K+1} V_j^T D Q^T + \frac{1}{2}\sum_{j=1}^{K} V_j^T W V_{j+1} + \frac{\gamma}{2}\sum_{j=2}^{K}\left(\sum_{i=1}^{N} V_j - 1\right)^2 \tag{2.29}$$

อย่างไรก็ตามวิธีการที่ได้เสนอโดย Lee และ Chang (1993) นี้ไม่เหมาะสมกับการกำหนดเส้นทางแบบ Dynamic ที่มีปริมาณการสื่อสารที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลา โดยคำตอบที่ได้รับจากการคำนวณนั้นจะไม่ได้รับเส้นทางที่มีปริมาณการสื่อสารที่น้อยที่สุด สาเหตุเพราะในวิธีการนี้ยังคงใช้วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอลตามวิธีที่ได้ถูกเสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) ซึ่งเป็นวิธีการที่ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่ายสื่อสาร และ ปริมาณการสื่อสารที่เป็นอยู่ ณ ขณะเวลานั้นของโครงข่ายสื่อสาร

การกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอลที่ได้ถูกเสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) ดังกล่าวคือ $V_{source,1}$ และ $V_{dest,K+1}$ = 1 คือนิวรอลที่แทนด้วยโหนดต้นทางในคอลัมน์ที่ 1 และนิวรอลที่แทนด้วยโหนดปลายทางในคอลัมน์ที่ K+1 ถูกกำหนดค่าให้มีค่าเป็น 1 เมื่อ K คือจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง ซึ่งจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดแบ่งกล่าวได้ดังนี้

กรณีที่ 1. K=2 คือต้องใช้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง 2 ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนิวรอลในคอลัมน์ที่ 2 คือนิวรอลที่แทนโหนดกึ่งกลางระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางถูกกำหนดให้มีค่าดังนี้

$$V_{ij} = \begin{cases} \dfrac{1}{num} & for \quad j = 2 \quad if\ C(i, source)\ and\ C(i, destination) \neq 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{2.30}$$

เมื่อ *num* คือจำนวนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดต้นทางและโหนดปลายทาง

กรณีที่ 2. K=3 คือต้องใช้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง 3 ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนิวรอลในคอลัมน์ที่ 2 และนิวรอลในคอลัมน์ที่ 3 คือนิวรอลที่แทนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดต้นทางและนิวรอลที่แทนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดปลายทางตามลำดับ ค่าของนิวรอลถูกกำหนดให้มีค่าดังนี้

$$V_{ij} = \begin{cases} \dfrac{1}{num} \quad for \quad j = 2 \quad if\ C(i, source) \qquad \neq 0 \\ \qquad\qquad for \quad j = 3 \quad if\ C(i, destination) \neq 0 \\ 0 \qquad otherwise \end{cases} \tag{2.31}$$

เมื่อ *num* คือจำนวนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดต้นทางและจำนวนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดปลายทางตามลำดับ

กรณีที่ 3. K=4 คือต้องใช้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง 4 ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนิวรอลในคอลัมน์ที่ 2 และนิวรอลในคอลัมน์ที่ 3 ใช้วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอลเช่นเดียวกับกรณีที่ 2 นิวรอลในคอลัมน์ที่ 3 กำหนดให้มีค่าดังนี้คือ

$$V_{ij} = \frac{1}{N} \quad for \quad j = 3 \quad and \quad i = 1 \ldots N \tag{2.32}$$

เมื่อ N คือจำนวนโหนดทั้งหมดในโครงข่ายสื่อสาร

กรณีที่ 4. K $\geq$ 5 คือต้องใช้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง 5 ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงขึ้นไป ค่าเริ่มต้นของนิวรอลในคอลัมน์ที่ 3 จนถึงคอลัมน์ที่ K-1 เช่นเดียวกับในกรณีที่ 3 ดังสมการที่ 2.32 สำหรับนิวรอลในคอลัมน์อื่นๆ ใช้วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นเช่นเดียวกับในกรณีที่ 2 ดังสมการที่ 2.31

ในวิทยานิพนธ์นี้ได้เสนอวิธีการในการกำหนดเส้นทาง.ในโครงข่ายสื่อสารโดยใช้นิวรอลเน็ตเวอร์กชนิด Hopfield net โดยได้นำเอาวิธีการที่ได้กล่าวถึงมาข้างต้นเป็นแนวทางในการสร้างสมการพลังงานของ

นิวรอลเน็ตเวอร์ก การกำหนดปริมาณการสื่อสารในวิธีการใหม่ที่แตกต่างไปจากเดิมซึ่งได้คำนึงถึงความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยตามทฤษฎี คิวอิง ระบบ M/M/1 ดังสมการที่ 2.8 ได้ถูกนำมาเป็นปัจจัยหลักในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร การนำเอาค่าเฉลี่ยของแพคเกจที่อยู่ในระบบดังสมการที่ 2.6 มาเป็นปัจจัยรองในการกำหนดเส้นทาง วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นในวิธีการใหม่ซึ่งนำเอาสภาวะของปริมาณการสื่อสารมาเป็นตัวกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอล ซึ่งให้ผลการคำนวณที่ถูกต้อง มากกว่าการใช้วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นวิธีการเดิม การนำวิธีการกำหนดขอบเขตของค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กมาประยุกต์ใช้กับสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่ได้สร้างขึ้น โดยขั้นตอนในการจำลองปัญหาและขั้นตอนในการคำนวณได้กล่าวถึงในบทถัดไป