บทที่ 3

การจำลองปัญหา

<u>ความนำ</u>

ในบทนี้กล่าวถึงการจำลองปัญหาในโครงข่ายสื่อสาร เพื่อนำไปสู่การกำหนดเส้นทางที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด การหาสภาวะความคับคั่งของแต่ละโหนดในโครงข่ายเพื่อนำมาใช้เป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการกำหนดเส้นทาง การสร้างสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามสมการเงื่อนไขที่กำหนดขึ้น

การจำลองปัญหาในบทนี้แบ่งกล่าวออกเป็น 7 ส่วนคือ ส่วนแรก กล่าวถึงการจำลองปัญหาในโครงข่ายสื่อสาร เพื่อนำไปหาสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสาร ส่วนที่ 2 กล่าวถึงการจำลองปัญหาในโครงข่ายสื่อสาร เพื่อหาค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในโครงข่ายสื่อสาร ตามทฤษฎี คิวอิง ส่วนที่ 3 กล่าวถึงการสร้างสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก ส่วนที่ 4 กล่าวถึงวิธีการกำหนค่าเริ่มต้นของ นิวรอล ตามวิธีการใหม่ที่ ได้เสนอขึ้นมาเพื่อแก้ไขข้อจำกัดของวิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นแบบเดิมที่ได้ถูกเสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) ส่วนที่ 5 กล่าวถึงการเลือกค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก ส่วนที่ 6 กล่าวถึง การพิสูจน์การลู่เข้าสู่ค่าต่ำสุดของสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก ที่ได้สร้างขึ้น และในส่วนสุดท้ายกล่าวถึงขั้นตอนในการคำนวณ

<u>สภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสาร</u>

การจำลองปัญหาในการหา สภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายโดยใช้แบบจำลองระบบ M/M/1 กำหนดให้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงแต่ละข่ายที่ทำหน้าที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดต่างๆในโครงข่ายสื่อสาร เสมือนเป็นระบบที่ทำหน้าที่ให้บริการกับแพคเกจที่เข้ามาสู่ข่ายสื่อสารในรูปแบบของแพคเกจข่าวสาร ตามทฤษฎี คิวอิง ระบบ M/M/1 ที่ได้กล่าวถึงไปแล้วในบทที่ 2 . การจำลองปัญหาได้สมมุติให้เมตริกซ์ C ที่มีขนาด NxN คือเมตริกซ์ที่แทนด้วยความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงโดยแต่ละเทอมของเมตริกซ์ C คือ $C_{i,j}$ แทนความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดที่ i กับโหนดที่ j เมื่อมีข่ายสื่อสารที่เชื่อมต่อตามสถาปัตยกรรมของโครงข่ายสื่อสารที่นำมาพิจารณา และกำหนดให้ $C_{i,j}$ มีค่าเป็น 0 หากระหว่างโหนดที่ i กับโหนดที่ j ไม่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อซึ่งกันและกัน โครงข่ายที่นำมาพิจารณานี้สมมุติให้เป็นโครงข่ายสื่อสารแบบ 2 ทาง (full duplex) ดังนั้นเมตริกซ์ C จึงเป็นเมตริกซ์สมมาตร ($C_{ij} = C_{ji}$) ในแนวทะแยงมุมหลักของเมตริกซ์ C กำหนดให้มีค่าเป็น 0 ($C_{ij} = 0$ เมื่อ i =j)

ความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนี้บอกถึงความสามารถในการให้บริการต่อแพคเกจ ที่เข้ามาสู่ข่ายสื่อสารเชื่อมโยง ความสามารถในการให้บริการแก่แพคเกจ ของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่แตกต่างกันจะมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับประเภทและชนิดของข่ายสื่อสาร สมมุติว่าแพคเกจที่เข้ามาในข่ายสื่อสารแต่ละข่ายสื่อสารมี

อัตราที่เข้ามาของแพคเกจ ที่แตกต่างกัน จากสมการที่ 2.6 ค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจ ที่อยู่ในข่ายสื่อสารเชื่อมโยง แต่ละข่ายสื่อสารจะมีค่าที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับค่าความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสาร (Traffic intensity) ρ ในข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนั้นๆ

กำหนดให้เมตริกซ์ P คือเมตริกซ์ที่แทนค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจที่อยู่ในข่ายสื่อสารที่กำลังพิจารณาถึงเมตริกซ์ P มีขนาด NxN โดยค่าในแต่ละเทอมของ P ได้จากการประยุกต์สมการที่ 2.6 โดยการแทนค่า μ_{ij} ด้วย C_{ij} โดยสมมุติให้ในแต่ละข่ายสื่อสารมีค่า λ_{ij} ที่แตกต่างกันไป ค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจ ที่อยู่ในข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดที่ i และ j หาได้จากสมการที่ 3.1 สำหรับในเทอมที่ $C_{i,j} = 0$ ($\mu_{ij} = 0$) นั้น กำหนดให้ค่า P ในเทอมนั้นมีค่าเป็น 0

$$P_{ij} = \begin{cases} \dfrac{(\lambda_{ij} / \mu_{ij})}{1 - (\lambda_{ij} / \mu_{ij})} & if \quad C_{ij} \neq 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{3.1}$$

จากเมตริกซ์ P ที่มีขนาด NxN สามารถหาสภาวะความคับคั่งของแต่ละโหนดในโครงข่ายสื่อสารที่นำมาพิจารณาได้โดยการหาผลบวกในแนวนอนของเมตริกซ์ P สมมุติให้แทนด้วยเมตริกซ์ s ดังสมการที่ 3.2

$$s_i = \sum_{J=1}^{N} P \tag{3.2}$$

เมื่อ ตัวห้อย(subscript) i แสดงถึงลำดับของโหนดในโครงข่ายสื่อสาร

เมตริกซ์ s เป็นเมตริกซ์ที่มีขนาดเป็น Nx1 แต่เนื่องจากค่าในแต่ละเทอมของ s มีค่าที่มากไม่สะดวกต่อการพิจารณาเปรียบเทียบ จึงทำการหารทุกๆ เทอมของเมตริกซ์ s ด้วยค่าสูงสุดของเมตริกซ์ s ดังสมการที่ 3.3

$$S = \frac{1}{\max(s)} s \tag{3.3}$$

เมตริกซ์ S ที่แทนสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสารนี้จะได้ถูกนำไปเป็นปัจจัยหนึ่งในการกำหนดเส้นทางต่อไป

<u>การหาค่าความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ย</u>

การจำลองปัญหาในส่วนนี้ใช้การกำหนดปัญหาเช่นเดียวกันกับการหาสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่าย โดยการนำสมการในทฤษฎีคิวอิงระบบ M/M/1 สมการที่ 2.8 มาใช้กำหนดความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยดังสมการที่ 3.4 คือ

$$T_{ij} = \begin{cases} \dfrac{1/\mu_{ij}}{1-\rho_{ij}} & if \quad C_{ij} \neq 0 \\ 10 \quad if \quad C_{ij} = 0 \quad or \quad \rho_{ij} = 1 \end{cases} \tag{3.4}$$

เมตริกซ์ T มีขนาด NxN ที่เป็นเมตริกซ์แบบสมมาตร กำหนดให้ค่าของ T_{ij} มีค่าที่สูงมากเมื่อความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสาร ซึ่งในการจำลองปัญหานี้คืออัตราส่วนระหว่างอัตราการเข้ามาสู่ข่ายสื่อสารของแพคเกจต่ออัตราความสามารถในการให้บริการของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่กำลังพิจารณาอยู่ (λ_{ij}/μ_{ij}) มีค่าเป็น 1 และเมื่อมี μ_{ij} เป็น 0 ซึ่งแสดงว่าไม่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดที่ i กับโหนดที่ j ($C_{i,j}$ = 0) สาเหตุเพราะเสมือนว่ามีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยที่สูงมาก และเมื่อ ρ มีค่าเข้าใกล้ 1 นั้นค่าของ T_{ij} จะมีค่าเข้าสู่อนันต์ ในระบบ M/M/1 นี้เป็นแบบจำลองที่กำหนดให้หน่วยความจำของระบบมีค่าไม่จำกัด จะมีแพคเกจที่รอรับบริการได้โดยไม่จำกัด แต่ในความเป็นจริงแล้วไม่สามารถออกแบบระบบที่มีหน่วยความจำไม่จำกัดได้ การกำหนดให้มีขนาดของหน่วยความจำที่จำกัดค่าหนึ่งหมายถึงระบบจะสามารถจัดเก็บแพคเกจ ที่รอรับบริการไว้ในหน่วยความจำที่จำกัดค่าหนึ่ง ส่วนแพคเกจ ที่ไม่สามารถจัดเก็บไว้ในหน่วยความจำได้ก็จะถูกทิ้งไป ซึ่งเป็นการสะดวกต่อการออกแบบตามสภาพความเป็นจริง และอีกเหตุผลหนึ่งที่นอกเหนือจากนั้นคือ ในการกำหนดให้ค่าของ T_{ij} ในเทอมที่ $C_{i,j}$ = 0 หรือ ρ มีค่าเข้าใกล้ 1 ให้มีค่าสูง Rauch และ Winnarske(1988) ได้เสนอไว้ว่าจะสามารถช่วยลดการได้เส้นทางที่ไม่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดได้หรือช่วยลดปัญหาการเกิด suboptimum จากวิธีที่จะเสนอต่อไปได้

<u>สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก</u>

สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก ชนิด Hopfield net สำหรับการประยุกต์กับปัญหาในเรื่องการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดนี้ ประกอบไปด้วยสมการเงื่อนไข 3 สมการดังนี้คือ

1. <u>สมการเงื่อนไขการกำหนดเส้นทางที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด</u>

สมการเงื่อนไขการกำหนดเส้นทางที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดนี้ ได้นำเอาสมการการกำหนดเส้นทางที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) มาประยุกต์ดัดแปลงเพื่อให้ได้เส้นทางที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดดังนี้คือ

ตามอัลกอริธึมของ Rauch และ Winnarske (1988) ได้จำลองปัญหาปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายสื่อสารโดยกำหนดให้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดเป็นเสมือนระบบที่ให้บริการแก่แพคเกจ ที่เข้ามาสู่ข่ายสื่อสารโดยใช้แบบจำลองระบบ M/M/1 ปริมาณการสื่อสารที่นำมาเป็นปัจจัยในการกำหนดเส้นทางคือค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจ ที่อยู่ในระบบอันเป็นผลเนื่องมาจากความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารเท่านั้นดัง

สมการที่ 2.6 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการนี้ไม่ได้บอกถึงความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นอันเนื่องมาจากความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารและอัตราในการให้บริการของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงต่อแพคเกจที่เข้ามาสู่ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนั้นๆ

การจำลองปัญหาเรื่องความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในวิทยานิพนธ์นี้จึงได้นำเอาความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในระบบ M/M/1 เมื่อระบบเข้าสู่สภาวะที่สมดุลย์ดังสมการที่ 2.8 มาใช้กำหนดค่าของความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในโครงข่ายสื่อสาร สาเหตุเพราะความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยที่เกิดขึ้นในข่ายสื่อสารจะเป็นฟังก์ชันของเวลาที่ให้บริการต่อ แพคเกจ 1 แพคเกจ ด้วย ซึ่งสามารถจะใช้บ่งชี้ถึงสภาวะปริมาณการสื่อสารที่แท้จริงในโครงข่ายสื่อสารได้ดีกว่าการใช้เพียงค่าเฉลี่ยของจำนวนแพคเกจ ที่อยู่ในข่ายเชื่อมโยงเป็นตัวบ่งชี้

สมการเงื่อนไขในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุดคือ

$$J_1 = 0.5\sum_{j=1}^{K} V_j^T T V_{j+1} \tag{3.5}$$

เมื่อเมตริกซ์ T คือเมตริกซ์ที่ได้จากสมการที่ 3.4 มีขนาดเป็น NxN โดยที่ N คือ จำนวนโหนดในโครงข่ายสื่อสารที่นำมาพิจารณา

V_j คือเอาท์พุทของนิวรอลเน็ตเวอร์ก โดยที่ตัวห้อย(subscript) j แสดงถึงคอลัมน์ของ นิวรอล

K คือจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดที่ต้องใช้ระหว่างคู่โหนดที่ต้องการติดต่อสื่อสารกัน

ตัวยก(superscript) T คือการทำทรานสโพสเมตริกซ์

2. <u>สมการเงื่อนไขสภาวะความคับคั่งของโหนด</u>

ปัจจัยเรื่องสภาวะความคับคั่งของโหนด ได้ถูกนำมาพิจารณาเป็นอีกหนึ่งปัจจัยในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด

สภาวะความคับคั่งของโหนดที่นำมาเป็นปัจจัยนี้ได้จากสมการที่ 3.2 และสมการที่ 3.3 โดยค่าของสภาวะความคับคั่งของโหนดแทนด้วยเมตริกซ์ S ที่มีขนาดเป็น Nx1 สมการเงื่อนไขสภาวะความคับคั่งของโหนดที่นำมาพิจารณาในการกำหนดเส้นทางดังกล่าวคือ

$$J_2 = \beta \sum_{j=1}^{K+1} V_j^T S \tag{3.6}$$

เมื่อ β คือค่าคงที่

3. <u>สมการเงื่อนไขกำหนดขอบเขตคำตอบของนิวรอลเน็ตเวอร์ก</u>

การกำหนดขอบเขตคำตอบของนิวรอลเน็ตเวอร์กนี้ต้องกำหนดให้สอดคล้องตามทรานสเฟอร์ฟังก์ชันที่บ่งบอกถึงความสัมพันธ์ระหว่างอินพุทกับเอาท์พุทของแต่ละ นิวรอล ซึ่งได้กำหนดให้มีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันเป็นแบบซิกมอยขั้วเดียว (uni_polar sigmoid) ดังรูปที่ 2.5 และสมการที่ 3.7 ซึ่งเอาท์พุทของนิวรอลจะมีค่าอยู่ในช่วง [0,1]

$$V_{ij} = \frac{1}{1+\exp(-\lambda u_{ij})} \tag{3.7}$$

สมการเงื่อนไขกำหนดขอบเขตคำตอบของนิวรอลเน็ตเวอร์ก สำหรับการประยุกต์กับปัญหาเรื่องการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารนี้ใช้วิธีที่ได้เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) กล่าวคือ พิจารณาให้นิวรอล เป็นอาร์เรย์แบบ 2 มิติ โดยเอาท์พุทของนิวรอลจะมีผลรวมในแต่ละคอลัมน์เป็น 1 ซึ่งหากมีผลรวมเป็น 1 แล้วจะมีผลทำให้สมการเงื่อนไขนี้มีค่าที่น้อยที่สุด โดยมีค่าที่เป็น 0 สมการเงื่อนไขกำหนดขอบเขตคำตอบของนิวรอลเน็ตเวอร์กคือ

$$J_3 = \frac{\gamma}{2}\sum_{j=2}^{K}[\sum_{i=1}^{N} V_j - 1]^2 \tag{3.8}$$

เมื่อ γ คือค่าคงที่

ผลรวมของสมการที่ 3.5 สมการที่ 3.6 และสมการที่ 3.8 เป็นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กกับการประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่มีความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยน้อยที่สุด โดยคำนึงถึงสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่าย ดังสมการที่ 3.9

$$E = 0.5\sum_{j=1}^{K} V_j^T T V_{j+1} + \beta \sum_{j=1}^{K+1} V_j^T S + \frac{\gamma}{2}\sum_{j=2}^{K}[\sum_{i=1}^{N} V_j - 1]^2 \tag{3.9}$$

เมื่อ E คือ สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก

สมการที่ 3.9 นี้เป็นสมการพลังงานที่จะมีค่าน้อยที่สุดเมื่อเอาท์พุท ของนิวรอล มีค่าทำให้สมการเงื่อนไขทั้ง 3 สมการมีค่าที่ต่ำที่สุด

จากที่ได้เสนอมานี้กำหนดให้นิวรอลแต่ละตัวเป็นอาร์เรย์แบบ 2 มิติ ดังนั้นน้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างแต่ละนิวรอลจึงมีลักษณะที่คล้ายคลึงกับปัญหา Travelling saleman problem ที่ได้ถูกนำเสนอวิธีการนำเอา Hopfield net มาประยุกต์ใช้โดย Hopfield และ Tank (1985) การเชื่อมต่อระหว่างนิวรอลสามารถหาได้ดังนี้

จากสมการพลังงานที่ได้เสนอในสมการที่ 3.9 ซึ่งเป็นการพิจารณานิวรอลในแบบคอลัมน์ ทำการจัดสมการพลังงานใหม่ให้อยู่ในลักษณะการบวกกันในแต่ละเทอมของนิวรอล ได้ดังสมการที่ 3.10

$$E = \frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{l=1}^{K} V_{il} T_{ij} V_{j,l+1} + \beta \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{K+1} S_i V_{ij} + \frac{\gamma}{2}[\sum_{j=2}^{K}\sum_{i=1}^{N} V_{ij} - (K-1)]^2 \tag{3.10}$$

และจากสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก ดังที่ได้เสนอในสมการที่ 2.14 เมื่อกำหนดให้แต่ละนิวรอลเป็นอาร์เรย์แบบ 2 มิติ สมการนี้สามารถเขียนได้ใหม่เป็นดังสมการที่ 3.11 คือ

$$E = -\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N}\sum_{m=1}^{N}\sum_{n=1}^{N} T_{ij,mn}V_{ij}V_{mn} - \sum_{i=1}^{N}\sum_{j=1}^{N} V_{ij}I_{ij} \quad (3.11)$$

และจากสมการที่ 3.10 ดังนั้นสามารถหาค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างนิวรอลและกระแสกระตุ้นจากภายนอก ของสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กได้ดังสมการที่ 3.12 และสมการที่ 3.13 ตามลำดับ

$$T_{ij,mn} = -T_{im}(\delta_{n,j+1} + \delta_{n,j-1}) - \gamma \quad (3.12)$$

$$I_{ij} = -\beta S_i \quad (3.13)$$

ดังนั้นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามที่ได้เสนอโดย Hopfield และ Tank (1985) สำหรับการประยุกต์กับปัญหาในการกำหนดเส้นทางจึงเป็นดังสมการที่ 3.14

$$E = -\frac{1}{2}\sum_{i}^{N}\sum_{j}^{K+1}\sum_{m}^{N}\sum_{n}^{K+1} T_{ij,mn}V_{ij}V_{mn} - \sum_{i}^{N}\sum_{j}^{K+1} V_{ij}I_{ij} \quad (3.14)$$

เมื่อ $T_{ij,mn}$ คือค่าน้ำหนักของการเชื่อมต่อระหว่างแต่ละนิวรอลมีค่าดังสมการที่ 3.12 และ I_{ij} คือกระแสกระตุ้นจากภายนอกของแต่ละนิวรอลมีค่าดังสมการที่ 3.13

สมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กสามารถหาได้ดังที่ Hopfield และTank (1985) ได้เสนอมาคือการทำดิฟเฟอร์เรนชิเอท พลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามการประยุกต์กับปัญหาที่สนใจ เทียบกับเอาท์พุทของนิวรอลซึ่งเป็นวิธีการแบบ steepest descent สำหรับการประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารนี้ สมการการเคลื่อนที่ของ นิวรอลเน็ตเวอร์กคือ

$$\frac{du_j}{dt} = -\alpha[0.5(TV_{j+1} + TV_{j-1}) + \beta S + \gamma e_n(\sum_{i=1}^{N} V_j - 1)] \quad (3.15)$$

α คือค่าคงที่

e_n คือ เมตริกซ์ขนาด Nx1 ที่มีค่าในทุกๆเทอมเป็น 1

ผลลัพธ์ของสมการที่ 3.15 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของอินพุทของนิวรอลแต่ละตัวเทียบกับเวลา สำหรับในการคำนวณสมการที่ 3.15 นี้อัตราการเปลี่ยนแปลงของ อินพุท นี้จะเป็นการเปลี่ยนแปลงต่อการคำนวณ 1 รอบ อินพุทรอบใหม่ของนิวรอลจะเป็น ผลบวกของ อินพุทในรอบนั้นกับผลลัพธ์ของสมการที่ 3.15 คือ

$$u_j(t+1) = u_j(t) + \frac{du_j(t)}{dt} \tag{3.16}$$

เอาท์พุท ของนิวรอลแต่ละตัวได้จากการป้อนค่าของ อินพุท ที่ได้จากการคำนวณในแต่ละรอบไปสู่ทรานสเฟอร์ฟังก์ชันของนิวรอลแต่ละตัวดังสมการที่ 3.7

<u>การกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอล</u>

การกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอล ในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่นำเสนอนี้ ได้นำเอาการกำหนดค่าเริ่มต้นที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske(1988) มาปรับปรุงใหม่ ด้วยสาเหตุดังต่อไปนี้

1. การกำหนดค่าเริ่มต้นตามวิธีการเดิมที่เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) นั้น พิจารณาโหนดทุกๆโหนดที่ต่อเชื่อมกัน โดยคำนึงถึงเฉพาะลักษณะทางสถาปัตยกรรม ของโครงข่ายสำหรับนิวรอลที่แทนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมต่อกับโหนดต้นทาง และนิวรอลที่แทนโหนดที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมต่อกับโหนดปลายทางเท่านั้น แต่สำหรับนิวรอลที่แทนโหนดระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางเมื่อต้องใช้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงมากกว่า 3 ข่ายสื่อสาร ถูกกำหนดค่าโดยไม่ได้คำนึงถึง ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่ายสื่อสาร นอกจากนี้วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นแบบเดิมไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยทางด้านปริมาณการสื่อสารที่ เป็นอยู่ ณ ขณะเวลานั้น

2. การกำหนดค่าเริ่มต้นตามวิธีการเดิมไม่สามารถช่วยลดการได้รับคำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด (suboptimum) ตามสมการพลังงานที่สร้างขึ้นมาได้

3. การกำหนดค่าเริ่มต้นตามวิธีการเดิม จะมีพลังงานเริ่มต้นของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่สูงกว่าวิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นตามวิธีที่จะนำเสนอเพราะมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับ นิวรอล ตัวที่ไม่มีผลต่อการคำนวณ

วิธีการกำหนดค่าเริ่มต้นตามแบบเดิมนั้นได้กล่าวถึงมาแล้วในบทที่ 2 จากการทดสอบผลการคำนวณพบว่าเมื่อการติดต่อสื่อสารระหว่างคู่โหนดที่ต้องใช้จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงมากๆ ดังเช่นต้องใช้ข่ายสื่อสารเชื่อมโยง 4 ข่ายเชื่อมโยงขึ้นไป และในกรณีที่ปริมาณการสื่อสารในโครงข่ายมีค่าที่ใกล้เคียงกันมาก จะมีโอกาสที่จะได้รับคำตอบที่ไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดมาก สาเหตุเพราะการกำหนดค่าเริ่มต้นนั้นกำหนดให้ทุกๆโหนดในโครงข่ายมีค่าความน่าจะเป็นที่จะถูกใช้เป็นเส้นทางผ่านเท่าๆกันหมด ดังนั้นวิธีการแก้ไขปัญหานี้คือการกำหนดค่าเริ่มต้นในวิธีการใหม่ ดังที่จะนำเสนอต่อไป

จากลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่ายสื่อสาร หากต้องการติดต่อสื่อสารระหว่างคู่โหนดใดๆ ที่ต้องใช้จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงน้อยที่สุด สามารถจัดทำโปรแกรมได้ว่า มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงใดบ้างที่อยู่ระหว่างคู่โหนดที่ต้องการติดต่อสื่อสารกันจะมีโอกาสที่จะถูกเลือกเป็นเส้นทางผ่าน โอกาสที่ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงแต่ละข่ายสื่อสารที่จะถูกเลือกนั้นได้ถูกกำหนดโดยใช้ค่าผลต่างของค่าอัตราในการให้บริการของข่ายสื่อสาร (μ) ซึ่งในการจำลองปัญหานี้คือค่าความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงแต่ละข่ายสื่อสารกับค่าอัตราการเข้าสู่ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงของแพคเกจ (λ_{ij}) ซึ่งมีค่าเท่ากับส่วนกลับของ T_{ij} สมมุติให้ F_{ij} แทนด้วยส่วนกลับของ T_{ij} ที่เชื่อมต่อระหว่างโหนดที่ i กับโหนดที่ j เมื่อ $C_{ij} \neq 0$ ดังสมการที่ 3.17 คือ

$$F_{ij} = \begin{cases} \dfrac{1}{T_{ij}} & if \quad C_{ij} \neq 0 \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{3.17}$$

ค่านี้แสดงถึงผลต่างของอัตราการให้บริการของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงกับอัตราการเข้ามาของแพคเกจ โดยที่หากผลต่างดังกล่าวมีค่ามากแสดงถึงระบบสามารถให้บริการแก่แพคเกจที่เข้ามาได้ดี ทำให้ความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนั้นมีค่าน้อย ในทางตรงกันข้ามหากผลต่างนี้มีค่าน้อยแสดงถึงข่ายสื่อสารเชื่อมโยงสามารถให้บริการแก่แพคเกจที่เข้ามาได้ไม่ดี ทำให้ความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยที่เกิดในระบบมีค่ามาก

จากการกำหนดค่าเริ่มต้นตามวิธีเดิมที่ได้กล่าวถึงมาแล้วในบทที่ 2 นั้น ได้ทำการคำนวณหาจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดที่จำเป็นต้องใช้เป็นเส้นทางผ่านระหว่างคู่โหนดที่ต้องการติดต่อสื่อสารกันก่อน และใช้นิวรอลที่เป็นอาร์เรย์ 2 มิติ ในการแทนโหนดที่มีโอกาสถูกเลือกเป็นโหนดทางผ่าน โดยนิวรอล 2 มิติดังกล่าวมีจำนวนคอลัมน์เป็น K+1 เมื่อ K คือจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดระหว่างคู่โหนดที่ต้องการติดต่อสื่อสารกัน และมีจำนวนแถวเป็น N เมื่อ N คือจำนวนโหนดที่มีทั้งหมดในโครงข่ายสื่อสาร

เช่นเดียวกันกับการกำหนดค่าเริ่มต้นวิธีเดิม นิวรอลในคอลัมน์แรก (1) และคอลัมน์สุดท้าย (K+1) คือนิวรอลที่แทนด้วยโหนดต้นทางและโหนดปลายทางตามลำดับ ในแต่ละคอลัมน์นิวรอลแถวที่แทนด้วยโหนดต้นทาง หรือ โหนดปลายทางเท่านั้นที่มีค่าเป็น 1 ส่วนค่าในแถวอื่นๆกำหนดให้เป็น 0 ทั้งหมด

การกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอลสามารถแบ่งเป็นขั้นตอนได้ดังต่อไปนี้คือ

1. การหาโหนดที่แท้จริงที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดใกล้เคียงที่เป็นเส้นทางที่เป็นไปได้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทางเมื่อใช้จำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงน้อยที่สุดคือ K ข่าย
2. การกำหนดค่าให้โหนดที่ได้จากข้อ 1 ตามวิธีการที่จะได้กล่าวถึงต่อไป

สำหรับการหาโหนดที่แท้จริงที่มีข่ายสื่อสารเชื่อมโยงไปยังโหนดในลำดับของข่ายสื่อสารถัดไปนั้น สามารถทำได้โดยการเขียนโปรแกรมการคำนวณตามเงื่อนไขในเมตริกซ์ C ที่แสดงการเชื่อมต่อของโหนดต่างๆในโครงข่ายสื่อสาร สำหรับทุกๆค่าของ K ซึ่งขึ้นอยู่กับจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่น้อยที่สุดระหว่างโหนดต้นทางไปยังโหนดปลายทาง

การกำหนดค่าให้กับโหนดที่แท้จริงนั้น กำหนดโดยนำค่าในเมตริกซ์ D มาเป็นตัวกำหนดดังวิธีการดังต่อไปนี้

$$D_i = \sum_{j}^{N} F_{ij} \tag{3.18}$$

$$Int_i = \frac{D_i}{Link_i} \tag{3.19}$$

จากเมตริกซ์ F ที่เป็นเมตริกซ์แบบจัตุรัส ทำการหาผลรวมในแต่ละแถวตามสมการที่ 3.18 ซึ่งค่าที่ได้จากสมการที่ 3.18 เป็นเมตริกซ์ขนาด Nx1 นำค่าที่ได้จากสมการที่ 3.18 ไปหารด้วยจำนวนข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อมายังโหนดนั้นๆ ดังสมการที่ 3.19 เมตริกซ์ Int ที่ได้มีขนาด Nx1 ซึ่งแสดงถึงผลต่างของความสามารถในการให้บริการของข่ายสื่อสารกับอัตราการเข้าสู่ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงของแพคเกจในโหนดนั้นเฉลี่ยต่อข่ายสื่อสารเชื่อมโยง 1 ข่ายสื่อสารเชื่อมโยงที่เชื่อมต่อมายังโหนดนั้นๆ

เพื่อให้ค่าของแต่ละนิวรอลสอดคล้องตามสมการเงื่อนไขที่ว่าผลรวมในแต่ละคอลัมน์ต้องมีค่าเป็น 1 ดังสมการที่ 3.8 ดังนั้นการกำหนดค่าเริ่มต้นของ นิวรอล เป็นดังสมการที่ 3.20

$$V_{ij} = \begin{cases} \dfrac{Int_i}{\sum_i Int_i} & if\ i = actual\ node\ ,\ for\ j = 2,\dots,K \\ 0 & otherwise \end{cases} \tag{3.20}$$

เมื่อเปรียบเทียบกับการกำหนดค่าเริ่มต้นตามแบบวิธีดั้งเดิมที่ได้เสนอโดย Rauch และ Winnarske (1988) แล้วจะพบได้ว่าการกำหนค่าเริ่มต้นตามแบบวิธีใหม่นี้จะมีจำนวน นิวรอลที่ต้องนำมาคำนวณน้อยกว่า และ ค่าเริ่มต้นของนิวรอลที่ถูกนำมาคำนวณนั้นจะแปรผันกับปัจจัยหลักที่นำมาเป็นข้อกำหนดในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นจึงนำการกำหนดค่าเริ่มต้นในวิธีใหม่นี้มาเป็นการกำหนดค่าเริ่มต้นของการกำหนดเส้นทางในการคำนวณหาเส้นทางได้ทั้งแบบ Static และแบบ Dynamic ต่อไป

<u>การเลือกค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก</u>

สมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กดังสมการที่ 3.15 มีค่าคงที่ ที่ต้องกำหนดให้อยู่ 3 ตัวคือ α,β และ γ โดยค่าคงที่แต่ละตัวมีความหมายดังต่อไปนี้

α หมายถึง ค่าน้ำหนักในการคำนวณแต่ละรอบของสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก

β หมายถึง ค่าน้ำหนักที่กำหนดให้แก่ปัจจัยเรื่องสภาวะความคับคั่งของโหนด ที่นำมาเป็นปัจจัยรองในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร

γ หมายถึง ค่าน้ำหนักที่กำหนดให้แก่สมการเงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตเอาท์พุทของนิวรอล

ค่าคงที่เหล่านี้จะเป็นตัวกำหนดการลู่เข้าของคำตอบของนิวรอลเน็ตเวอร์กโดยวิธีการในการเลือกค่าคงที่เหล่านี้ได้ถูกนำเสนอโดย Lee และ Chang (1993) โดยนำเสนอขอบเขตการเลือกค่าคงที่สำหรับนิวรอลเน็ตเวอร์ก ชื่อว่า Routron ซึ่งการเลือกค่าคงที่สำหรับสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก ในวิทยานิพนธ์ได้นำวิธีการเลือกค่าคงที่ดังกล่าวมาประยุกต์

จากสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก สมการที่ 3.15 ประกอบไปด้วยผลบวกของเทอมต่างๆ 4 เทอม โดยเทอมสุดท้ายเป็นเทอมที่กำหนดขอบเขตเอาพุทของนิวรอลในแต่ละคอลัมน์

กำหนดให้ $\theta = \theta_j$ คือค่าต่ำสุดของผลรวมในแต่ละแถวของแต่ละคอลัมน์ของเอาพุทของนิวรอล

$$\theta = \sum_{i=1}^{N} V_{ij} \quad for\ j = 2\ to\ K \tag{3.21}$$

พิจารณาในเทอมสุดท้ายของสมการการเคลื่อนที่ เมื่อกระจายค่าคงที่เข้ามา และพิจารณาค่านอร์ม (Norm) ของเทอมนี้ได้ดังสมการที่ 3.22

$$\left\| \alpha\gamma e_n (\sum_{i=1}^{N} V_j - 1) \right\| = \alpha\gamma N \left| \sum_{i=1}^{N} V_j - 1 \right| \tag{3.22}$$

ค่าของ θ ที่ได้จากสมการที่ 3.21 จะมีค่าอยู่ในช่วง [0,1] สมมุติให้คำตอบของสมการที่ 3.22 มีค่าสูงสุดแทนด้วย μ ดังนั้นสมการที่ 3.22 จึงสามารถเขียนใหม่ได้ดังอสมการที่ 3.23 คือ

$$\alpha\gamma N(1-\theta) \le \mu \tag{3.23}$$

จัดรูปอสมการที่ 3.23 โดยนำ $N(1-\theta)$ หารทั้ง 2 ข้าง จะได้ความสัมพันธ์ระหว่าง α และ γ ดังอสมการที่ 3.24 ดังนี้คือ

$$\alpha\gamma \le \frac{\mu}{N(1-\theta)} \tag{3.24}$$

μ จะเป็นตัวแปรที่กำหนดความเร็วในการลู่เข้าของคำตอบของนิวรอลซึ่งหากกำหนดให้ค่านี้มีค่ามากแล้วนิวรอล จะเข้าสู่คำตอบที่ทำให้สมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กมีค่าต่ำที่สุดอย่างรวดเร็ว ใช้จำนวนรอบในการคำนวณน้อย แต่หากกำหนดให้ μ มีค่าที่น้อยจะใช้เวลาในการคำนวณที่นานและใช้จำนวนรอบในการคำนวณมาก

ค่า μ นี้จะเลือกให้อยู่ในช่วง [0.2,1] สำหรับค่า θ จะกำหนดให้อยู่ในช่วง [0.8,1] ตามที่ Lee และ Chang (1993) ได้เสนอไว้ และหากเลือกค่า θ ให้เป็น 1 ค่าคงที่ γ ในสมการเงื่อนไขกำหนดขอบเขตผลรวมคำตอบของนิวรอลในแต่ละคอลัมน์ (สมการที่ 3.8) ก็จะไม่มีความหมาย

กำหนดให้ $T_{\min}$ และ $T_{\max}$ คือค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของเมตริกซ์ T ที่แทนความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยของข่ายสื่อสารเชื่อมโยง ดังสมการที่ 3.4 ตามลำดับ

ค่าในเทอมที่ 1 และ 2 ของสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก(สมการที่ 3.15) จะมีค่าอยู่ในช่วงระหว่างค่าน้อยที่สุดและค่ามากที่สุดดังนี้คือ

$$\frac{1}{2}\alpha\theta T_{\min} \le \frac{1}{2}\alpha T_i \le \frac{1}{2}\alpha\theta T_{\max} \tag{3.25}$$

เมื่อ T_i คือผลบวกของผลคูณระหว่าง $TV_{i,j-1}$ และ $TV_{i,j+1}$ ซึ่งค่านี้จะอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดของเมตริกซ์ T

$S_{\min}$ และ $S_{\max}$ คือค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของเมตริกซ์ S ที่แทนสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสารดังสมการที่ 3.3

เช่นเดียวกันจากสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก (สมการที่ 3.15)ในเทอมที่ 3 ค่า S_iจะมีค่าอยู่ระหว่างค่าสูงสุดและค่าต่ำสุดดังอสมการที่ 3.26 คือ

$$\alpha\beta S_{\min} \le \alpha\beta S_i \le \alpha\beta S_{\max} \tag{3.26}$$

ช่วงคำตอบของ นิวรอล จะอยู่ในช่วงระหว่างผลบวกของขอบเขตต่ำสุดและขอบเขตสูงสุดของอสมการที่ 3.25 และอสมการที่ 3.26 คือ

$$\alpha\theta T_{\min} + \alpha\beta S_{\min} \le \alpha\gamma(1-\theta) \le \alpha\theta T_{\max} + \alpha\beta S_{\max} \tag{3.27}$$

จัดรูปอสมการใหม่เพื่อหาขอบเขตสำหรับการกำหนดค่าของ γ ได้ดังอสมการที่ 3.28 คือ

$$\frac{\theta T_{\min} + \beta S_{\min}}{1-\theta} \le \gamma \le \frac{\theta T_{\max} + \beta S_{\max}}{1-\theta} \tag{3.28}$$

อสมการที่ 3.24 และอสมการที่ 3.28 ใช้ในการกำหนดค่าของค่าคงที่ α และ γ โดยต้องกำหนดค่าให้แก่ค่าคงที่ β ที่เป็นน้ำหนักของปัจจัยในเรื่องสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายก่อนเสมอ การแตกต่างกันของการเลือกค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ α β และ γ จะส่งผลในการคำนวณเส้นทางที่ถูกต้องและความเร็วในการคำนวณอย่างไรนั้น ได้แสดงไว้ในบทที่ 4 ผลการทดสอบการคำนวณ และการวิเคราะห์ผลการคำนวณ

ค่าคงที่ทั้ง 3 ตัวคือ α β และ γ ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลจะมีค่ามากกว่า 0 เสมอ ในหัวข้อต่อไปจะเป็นการพิสูจน์ว่าสมการพลังงานที่ได้เสนอมานี้จะมีคำตอบที่ลู่เข้าโดยคำตอบนี้จะทำให้สมการพลังงานมีค่าที่น้อยลงเสมอ

<u>พิสูจน์การลู่เข้าของสมการพลังงาน</u>

<u>1. ขอบเขตล่างของสมการพลังงาน</u>

จากสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กที่เสนอมาข้างต้นแล้วนี้ ประกอบไปด้วยสมการเงื่อนไข 3 สมการ ซึ่งแต่ละสมการจะประกอบไปด้วยเมตริกซ์ที่แทนปัจจัยที่คำนึงถึงในการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร และเอาท์พุทของแต่ละนิวรอลเมตริกซ์ที่แทนปัจจัยในการกำหนดเส้นทางทุกๆเมตริกซ์ คือ เมตริกซ์ T และ

เมตริกซ์ S จะมีทุกๆเทอมในเมตริกซ์ที่มากกว่า หรือเท่ากับ 0 เสมอ และได้กำหนดให้แต่ละนิวรอลมีทรานสเฟอร์ฟังก์ชันเป็น ซิกมอย แบบขั้วเดียว เอาท์พุทของแต่ละนิวรอลมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 เสมอ ดังนั้นสมการพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กตามการประยุกต์กับปัญหาที่เสนอมานี้จึงมีค่าที่มากกว่าหรือเท่ากับ 0 ไปด้วย หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือสมการพลังงานนี้มีขอบเขตล่าง (lower bound) ที่เท่ากับ 0

2. การเปลี่ยนแปลงของพลังงานเทียบกับเวลา

พิจารณาสมการพลังงาน ณ เวลาหนึ่งๆสมมุติว่าที่เวลา t และ t+1 ตามลำดับ

$$E(V_j(t)) = 0.5\sum_{j=1}^{K} V_j^T(t)TV_{j+1}(t) + \beta\sum_{j=1}^{K+1} V_j^T(t)S + \gamma\sum_{j=2}^{K}(\sum_{i=1}^{N} V_j(t)-1)^2 \tag{3.29}$$

$$E(V_j(t+1)) = 0.5\sum_{j=1}^{K} V_j^T(t+1)TV_{j+1}(t+1) + \beta\sum_{j=1}^{K+1} V_j^T(t+1)S + \gamma\sum_{j=2}^{K}(\sum_{i=1}^{N} V_j(t+1)-1)^2 \tag{3.30}$$

ผลต่างของสมการที่ 3.30 กับสมการที่ 3.29 แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์ก เมื่อเวลาที่พิจารณามีค่าที่เปลี่ยนแปลงไป การพิสูจน์สมมุติฐานการลู่เข้าของพลังงานมีดังต่อไปนี้

จากสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก (สมการที่ 3.15) จะได้ความสัมพันธ์ที่เป็นสมการดิฟเฟอร์เรลเชียลระหว่างการเปลี่ยนแปลงทางเวลาของ อินพุท ของนิวรอลกับ การเปลี่ยนแปลงพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กเทียบกับเอาท์พุท ของนิวรอลดังสมการที่ 3.31

$$\frac{du_j}{dt} = -\alpha\frac{dE}{dV_j} \tag{3.31}$$

และจากความสัมพันธ์ระหว่างอินพุท กับเอาท์พุทของนิวรอลเป็นแบบ ซิกมอยขั้วเดียว การเปลี่ยนแปลงพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กสามารถใช้ความสัมพันธ์กฎลูกโซ่ดังนี้คือ

$$\frac{dE}{dt} = -\alpha\sum_{J=1}^{K+1}\left(\frac{dE}{dV_j}\right)^T \frac{dE}{dV_j}\frac{dV_j}{du_j} \tag{3.32}$$

$$\frac{dV_j}{du_j} = \frac{\lambda\exp(-\lambda u_j)}{(1+\exp(-\lambda u_j))^2} \tag{3.33}$$

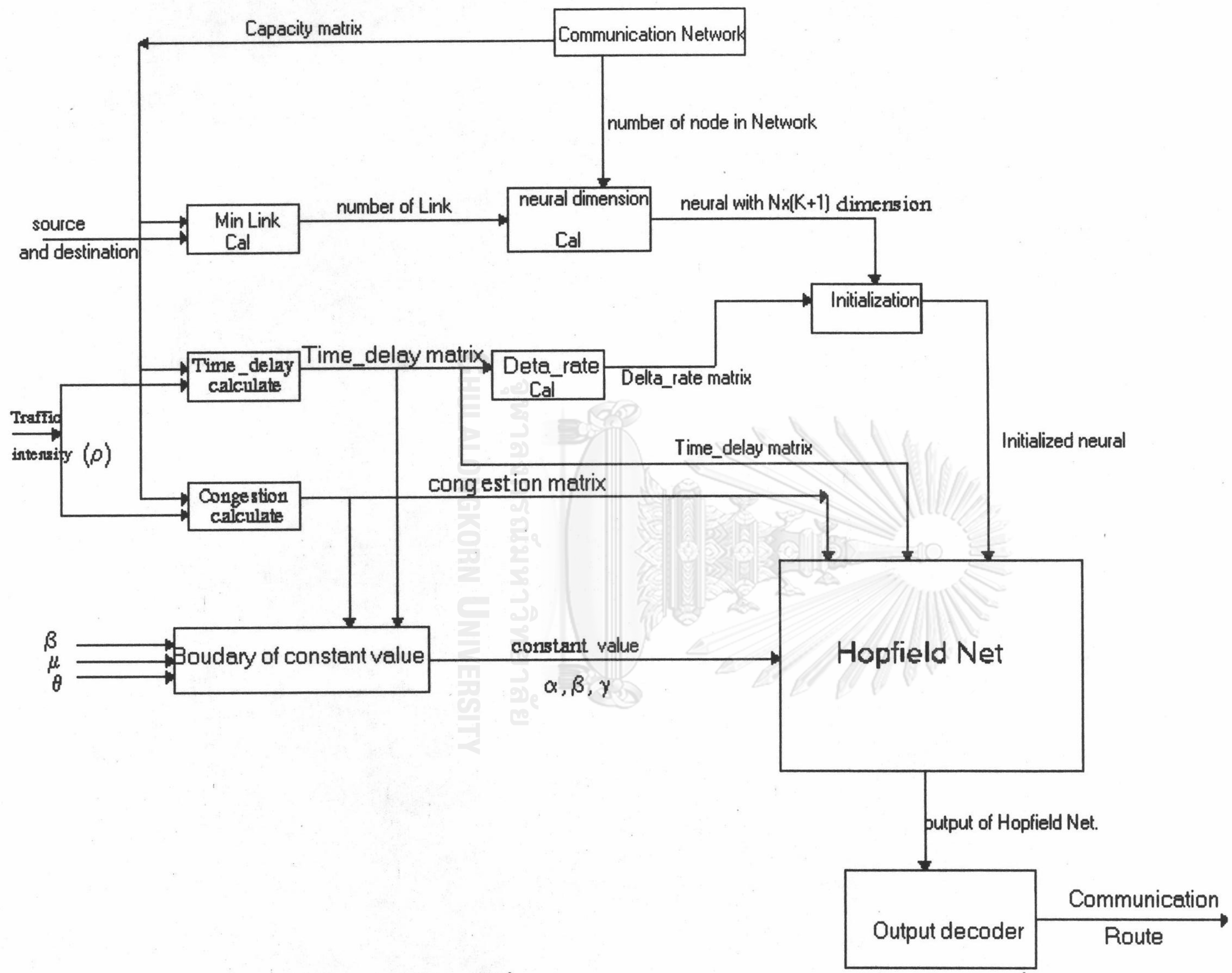
สมการที่ 3.33 เป็นค่าความชันของทรานสเฟอร์ฟังก์ชันซึ่งมีค่ามากกว่า 0 เสมอดังนั้นการเปลี่ยนแปลงพลังงานของนิวรอลเน็ตเวอร์กมีค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 0 เสมอ

จากคุณลักษณะของสมการพลังงาน (สมการที่ 3.9) ที่แสดงมาข้างต้นพบว่ามีขอบเขตล่างเป็น 0 และมีการเปลี่ยนแปลงที่ทำให้ค่าของพลังงานมีค่าที่ลดลงเสมอ ดังนั้นแล้วสามารถสรุปได้ว่า สมการพลังงาน (สมการที่ 3.9)ตามการประยุกต์กับการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสารที่ได้เสนอมานี้จะมีคำตอบที่ลู่เข้าเสมอ

<u>ขั้นตอนในการคำนวณ</u>

จากการจำลองปัญหาข้างต้นได้ทำการเขียนโปรแกรมคำนวณการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร โดยสมมุติโครงข่ายสื่อสารที่มีจำนวนโหนดในโครงข่ายและความจุของข่ายสื่อสารเชื่อมโยงในโครงข่ายที่แตกต่างกันไป เริ่มจากโครงข่ายที่มีขนาดเล็กมีจำนวนโหนดในโครงข่ายน้อย ไปจนถึงโครงข่ายที่มีจำนวนโหนดมากขึ้น และมีความซับซ้อนของปริมาณการสื่อสารมากขึ้น ไดอะแกรมของโปรแกรมการคำนวณดังกล่าวได้แสดงดังรูปที่ 3.1 และจากไดอะแกรมการคำนวณข้างต้นสามารถสรุปเป็นขั้นตอนในการคำนวณได้ดังนี้คือ

1. กำหนดโครงข่ายสื่อสารที่ต้องการนำมาทดสอบผลการคำนวณ
2. กำหนดความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสาร (ρ)
3. กำหนดโหนดต้นทางและโหนดปลายทางที่ต้องการติดต่อสื่อสารซึ่งกันและกัน
4. หากมีปริมาณการสื่อสารในข่ายสื่อสารเชื่อมโยงใดที่มีค่าที่เปลี่ยนแปลงไปจากสภาวะเริ่มต้น ให้ป้อนข้อมูลเกี่ยวกับความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสารที่เปลี่ยนไปในข่ายสื่อสารเชื่อมโยงนั้น
5. จากความหนาแน่นของปริมาณการสื่อสาร จะถูกนำไปคำนวณเมตริกซ์ความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ย และสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสาร
6. จำนวนโหนดในโครงข่ายสื่อสารและโหนดต้นทางและโหนดปลายทางที่ต้องการติดต่อสื่อสารกัน จะถูกนำไปกำหนดขนาดอาร์เรย์ของนิวรอล
7. เมตริกซ์ความล่าช้าทางเวลาและขนาดอาร์เรย์ของนิวรอล ลักษณะทางสถาปัตยกรรมของโครงข่ายสื่อสาร จะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการกำหนดค่าเริ่มต้นของนิวรอล ในวิธีการใหม่ที่ได้เสนอขึ้น
8. เมตริกซ์ความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในโครงข่ายสื่อสาร และสภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายจะถูกนำไปเป็นข้อมูลในการกำหนดขอบเขตของค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์ก
9. ค่าเริ่มต้นของนิวรอลเมตริกซ์ความล่าช้าทางเวลาโดยเฉลี่ยในโครงข่ายสื่อสาร เมตริกซ์สภาวะความคับคั่งของโหนดในโครงข่ายสื่อสาร และ ค่าคงที่ในสมการการเคลื่อนที่ของนิวรอลเน็ตเวอร์กจะถูกนำไปคำนวณโดยใช้การจำลองแบบ Hopfield net
10. เอาท์พุทของนิวรอลเน็ตเวอร์กจะถูกนำไปแปลความหมายเป็นเส้นทางที่ได้จากการคำนวณ
11. เส้นทางที่ได้นี้จะใช้เป็นเส้นทางที่ใช้ในการติดต่อสื่อสารระหว่างโหนดต้นทางและโหนดปลายทางตามต้องการ



รูปที่ 3.1 ไดอะแกรมการคำนวณการกำหนดเส้นทางในโครงข่ายสื่อสาร