

โครงการวิจัยย่อยลำดับที่ 12

เรื่อง การประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ด้วยนิวรอลเน็ตเวิร์ก ปีที่ 4

1. ผู้รับผิดชอบโครงการ รศ. ดร. วาทีต เบนจพทกุล
2. วัตถุประสงค์ของโครงการ
 - 2.1 เพื่อสร้างองค์ความรู้ทางด้านการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่
 - 2.2 เพื่อพัฒนาระบบต้นแบบการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่
3. ขอบเขตหรือเป้าหมายของโครงการ

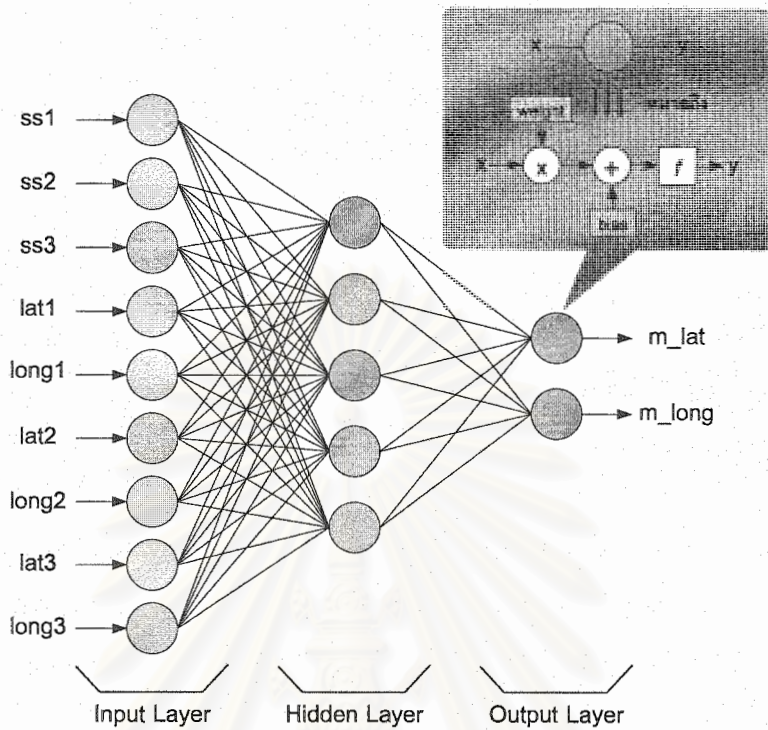
ออกแบบวิธีการประมาณค่าพิกัดตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่โดยนำนิวรอลเน็ตเวิร์กมาประยุกต์ใช้ โดยอาศัยข้อมูลค่าความแรงสัญญาณ ในการเดินทางของสัญญาณ และนำมาพัฒนาเป็นระบบต้นแบบการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่
4. ส่วนงานที่ได้ดำเนินการไปแล้ว
 - 4.1 ขอข้อมูลภาคสนามของระบบ GSM และ CDMA จากบริษัทต่าง ๆ เพื่อนำไปใช้ฝึกและทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์ก
 - 4.2 จัดรูปแบบข้อมูลภาคสนามของระบบ GSM และ CDMA ที่ได้จากข้อที่ 4.1 ให้ตรงกับข้อมูลเข้าที่จะนำไปในฝึกและทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์ก
 - 4.3 ทดสอบเพื่อหาจำนวนนิวรอนในชั้นซ่อนเร้น อัตราการเรียนรู้ และวิธีการฝึกนิวรอลเน็ตเวิร์กที่เหมาะสมสำหรับการนำนิวรอลเน็ตเวิร์กไปใช้กับข้อมูลภาคสนาม
 - 4.4 ออกแบบนิวรอลเน็ตเวิร์กเพื่อประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่โดยใช้ภาษา VHDL
 - 4.5 ฝึกและทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบโดยใช้ข้อมูลภาคสนาม
 - 4.6 วิเคราะห์ผลการทำงานของนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบ
 - 4.7 ดาวน์โหลดนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบโดยใช้ภาษา VHDL บางส่วนลงบนบอร์ด FPGA รุ่น Discovery XC3S200 ของบริษัท Apex Instrument จำกัด เพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่
 - 4.8 ทดสอบประสิทธิภาพในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ต้นแบบ
5. ส่วนงานที่จะดำเนินการต่อไป
 - 5.1 ปรับปรุงนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบโดยใช้ภาษา VHDL ให้วงจรมีขนาดเล็กกว่าเดิม

- 5.2 วิเคราะห์ผลการทำงานของนิเวรอลเน็ตเวิร์กที่ปรับปรุงแล้วว่าสามารถประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ถูกต้องหรือไม่ควาน์โพลคนิเวรอลเน็ตเวิร์กทั้งหมดลงบนชิพหรือบอร์ด FPGA ที่เหมาะสมเพื่อพัฒนาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่สมบูรณ์ต่อไป
- 5.3 ทดสอบประสิทธิภาพในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ของอุปกรณ์ต้นแบบ ว่ามีความผิดพลาดในการประมาณค่าอยู่ในเกณฑ์ที่ FCC กำหนดไว้หรือไม่

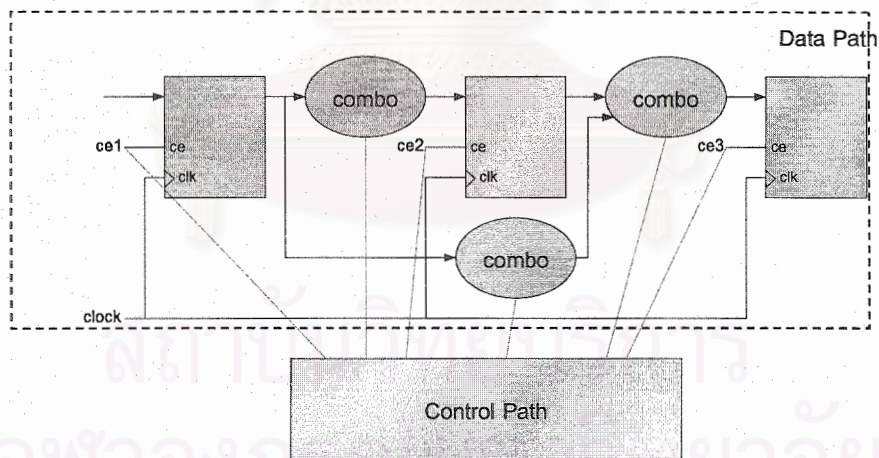
สรุปรายละเอียดการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทำงานของนิเวรอลเน็ตเวิร์กส่วนที่ได้ดำเนินการไปแล้ว

งานวิจัยนี้ได้ออกแบบนิเวรอลเน็ตเวิร์กเพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ โดยนิเวรอลเน็ตเวิร์กมีสถาปัตยกรรมเป็นแบบโครงข่ายป้อนไปข้างหน้าและมีการฝึกแบบแพร่กระจายย้อนกลับ (Feedforward Network - Backpropagation Training Architecture) ซึ่งมีชั้นข้อมูลเข้า (Input Layer) จำนวน 1 ชั้น จำนวนนิเวรอน (Neuron) ในชั้นนี้เท่ากับจำนวนข้อมูลเข้า (Input) ได้แก่ ค่าข้อมูลความแรงของสัญญาณที่สถานีฐาน 3 สถานีรับได้จากสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา (ss1, ss2, ss3) และค่าแห่งละติจูด-ลองจิจูดของสถานีฐานทั้ง 3 สถานี (lat1, long1, lat2, long2, lat3, long3) ฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นนี้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น (Linear Transfer Function) มีชั้นซ่อนเร้น (Hidden Layer) จำนวน 1 ชั้น โดยมีการทดสอบหาจำนวนนิเวรอนในชั้นซ่อนเร้นที่เหมาะสม ฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นนี้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนลอการิทึมซิกมอยด์ (Logarithm Sigmoid Transfer Function) และชั้นข้อมูลออก (Output Layer) จำนวน 1 ชั้น จะให้ค่าผลลัพธ์ออกมาเป็นค่าตำแหน่งละติจูด-ลองจิจูด (m_lat, m_long) ของสถานีเคลื่อนที่ ฟังก์ชันถ่ายโอนในชั้นนี้เป็นฟังก์ชันถ่ายโอนเชิงเส้น ดังแสดงในรูปที่ 1

โดยการออกแบบนิเวรอลเน็ตเวิร์กเพื่อประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีลักษณะการออกแบบวงจร โดยแบ่งนิเวรอลเน็ตเวิร์กเป็นวงจรรย่อย ๆ หลายวงจร โดยที่แต่ละวงจรรย่อยจะถูกออกแบบให้เป็นวงจรแบบซิงโครนัส และประกอบไปด้วยวิถีข้อมูล (Data Path) และวิถีควบคุม (Control Path) โดยที่วิถีข้อมูลเป็นการทำงานร่วมกันของวงจรชุดผสม (Combination Circuit) และรีจิสเตอร์ (Register) ซึ่งวงจรชุดผสมจะมีหน้าที่ประมวลผลสัญญาณให้ได้ผลลัพธ์ตามที่ต้องการ ส่วนรีจิสเตอร์จะทำหน้าที่รับผลลัพธ์ ณ เวลาต่าง ๆ และเก็บไว้ในระยะเวลาที่ต้องการ ในขณะที่วิถีควบคุมจะสร้างสัญญาณที่จะเข้ามาควบคุมการทำงานของวงจรชุดผสมและรีจิสเตอร์ทั้งหมด ดังแสดงในรูปที่ 2

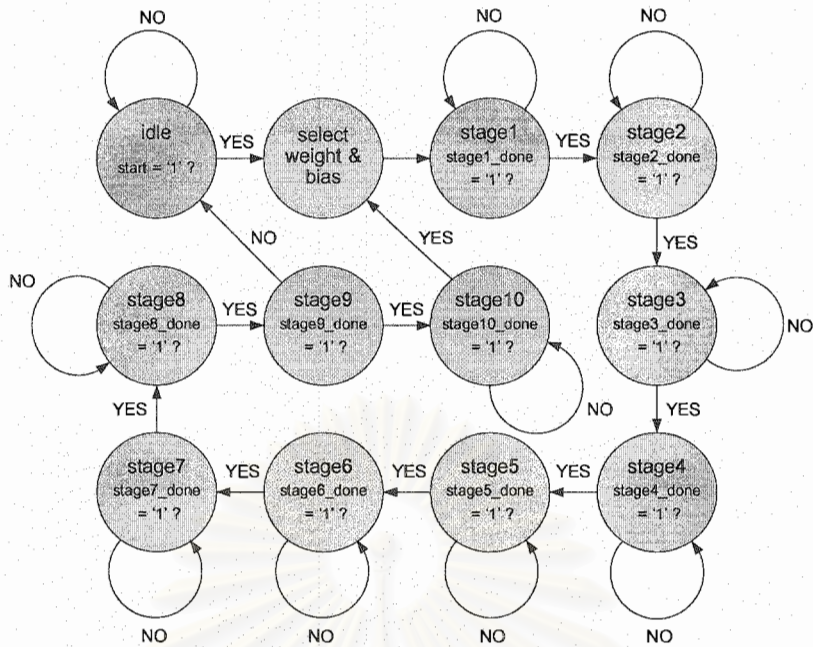


รูปที่ 1 รูปแบบของนิรอลเน็ตเวิร์กที่ใช้ในงานวิจัยนี้



รูปที่ 2 ลักษณะการออกแบบวงจรโดยแบ่งเป็นวิถีข้อมูลและวิถีควบคุม

งานวิจัยนี้ออกแบบนิรอลเน็ตเวิร์กในรูปที่ 1 เป็นวงจรย่อย 11 วงจร ได้แก่ วงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส (Select weight and bias) วงจรชั้นที่ 1 (Stage1) วงจรชั้นที่ 2 (Stage2) วงจรชั้นที่ 3 (Stage3) วงจรชั้นที่ 4 (Stage4) วงจรชั้นที่ 5 (Stage5) วงจรชั้นที่ 6 (Stage6) วงจรชั้นที่ 7 (Stage7) วงจรชั้นที่ 8 (Stage8) วงจรชั้นที่ 9 (Stage9) และวงจรชั้นที่ 10 (Stage10) โดยมีขั้นตอนการทำงานร่วมกันดังแสดงในรูปที่ 3

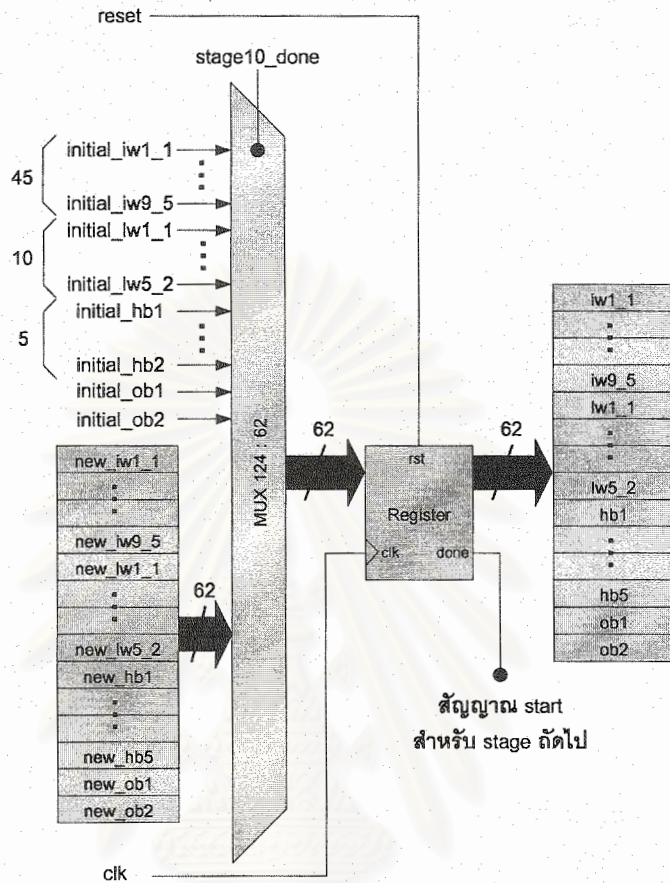


รูปที่ 3 ขั้นตอนการทำงานร่วมกันของวงจรย่อยต่าง ๆ

เริ่มต้น นิวรอลเน็ตเวิร์กจะอยู่ในสถานะว่าง (Idle) ไม่มีการทำงานใด ๆ เกิดขึ้น จนกระทั่งผู้ใช้กดปุ่มเริ่มต้นการทำงาน (สัญญาณ start = '1') วงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสจะเริ่มทำงาน และส่งค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสไปยังวงจรขั้นที่ 1 เมื่อวงจรขั้นที่ 1 ทำงานเสร็จสิ้น (สัญญาณ stage1_done = '1') วงจรขั้นที่ 2 จึงเริ่มทำงาน นั่นคือ สัญญาณ stage1_done จะกลายเป็นสัญญาณ start ของวงจรขั้นที่ 2 นั่นเอง ลักษณะการทำงานจะเป็นเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนถึงการทำงานของวงจรขั้นที่ 4 ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา หลังจากนั้นนิวรอลเน็ตเวิร์กจะเข้าสู่กระบวนการคำนวณเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่ เพื่อเป็นค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณรอบต่อไป วงจรขั้นที่ 5 ถึงวงจรขั้นที่ 9 จะทำงานต่อ ๆ กันตามลำดับ ในวงจรขั้นที่ 9 ซึ่งให้ผลลัพธ์เป็นส่วนต่างระหว่างค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสรอบใหม่กับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสรอบก่อนหน้า หากค่าส่วนต่างดังกล่าวเท่ากับศูนย์ถือว่าการทำงานทั้งหมดเสร็จสิ้น (สัญญาณ stage9_done = '0') นิวรอลเน็ตเวิร์กจะกลับสู่สถานะว่างอีกครั้ง แต่หากไม่เท่ากับศูนย์ (สัญญาณ stage9_done = '1') วงจรขั้นที่ 10 จะเริ่มต้นทำงาน นิวรอลเน็ตเวิร์กจะได้ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่ และส่งค่าไปยังวงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเพื่อเริ่มต้นการทำงานทั้งหมดใหม่อีกครั้ง รายละเอียดของวงจรย่อยต่าง ๆ แสดงได้ดังต่อไปนี้

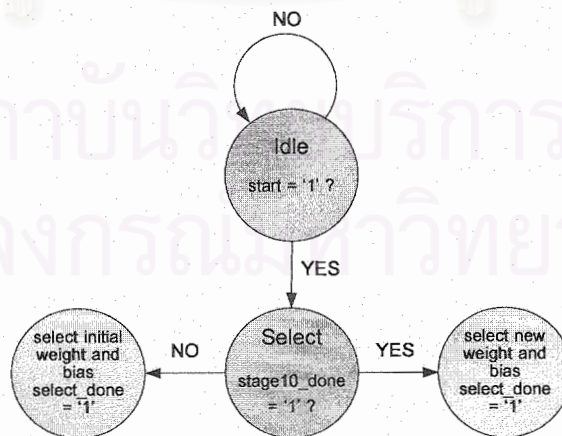
วงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส (Select weight and bias)

ตามปกติ ในการฝึกนิวรอลเน็ตเวิร์ก ต้องมีการกำหนดค่าเริ่มต้นให้กับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเพื่อใช้เป็นพารามิเตอร์เริ่มต้นในการคำนวณของนิวรอลเน็ตเวิร์ก แต่เมื่อการทำงานของวงจรย่อยทั้งหมดเสร็จสิ้น จะได้ค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่เพื่อใช้ในการคำนวณรอบต่อไป วงจรนี้ทำหน้าที่ตัดสินใจว่าจะเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสที่เป็นค่าเริ่มต้น หรือค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่ วิธีข้อมูลของวงจรนี้แสดงได้ดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 วิธีข้อมูลของวงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส

วิธีควบคุมของวงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสออกแบบโดยใช้ Finite-State Machine แสดงได้ดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 วิธีควบคุมของวงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส

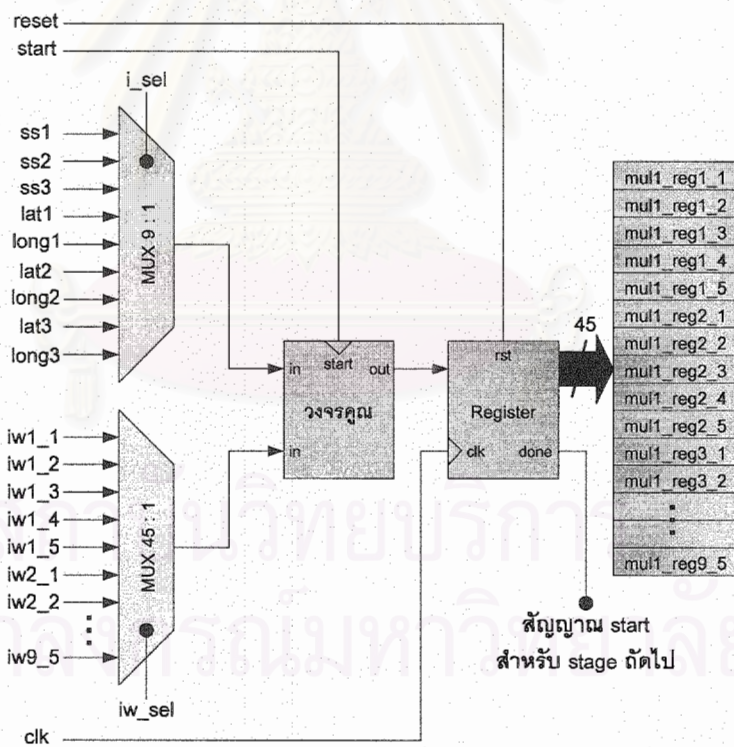
หลักการการทำงานของวงจรนี้คือ เริ่มต้นวงจรจะอยู่ในสถานะว่าง (Idle) เมื่อสัญญาณ start = '1' วงจรจะเข้าสู่สถานะเลือก (Select) เพื่อพิจารณาว่าหากสัญญาณ stage10_done ที่ได้รับจากวงจรขั้นที่ 10 เป็น

ลอจิก '0' วงจรจะเลือกค่าเริ่มต้นของค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอส (initial_iw1_1,..., initial_ob2) แต่หากมีค่าเป็นลอจิก '1' วงจรจะเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่ (new_iw1_1,..., new_ob2) เพื่อใช้เป็นค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสในการคำนวณ (iw1_1,...,ob2) และสัญญาณ select_done จะมีลอจิกเป็น '1' เพื่อส่งค่าไปยังวงจรขั้นที่ 1 ต่อไป

วงจรขั้นที่ 1 (Stage 1)

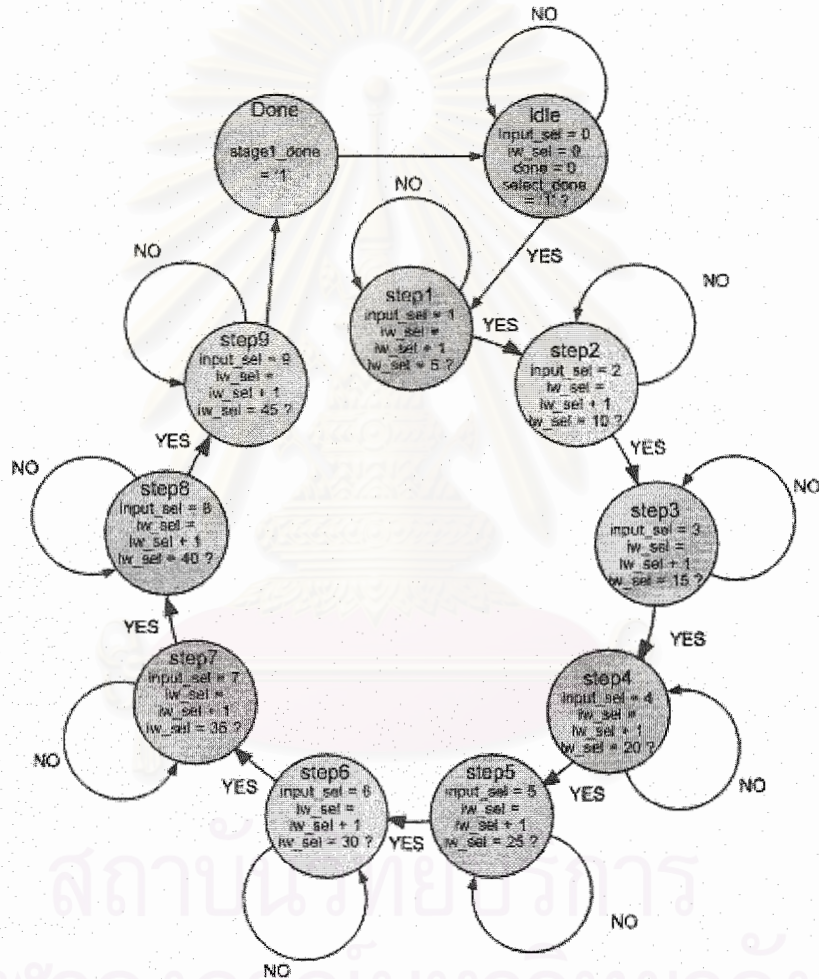
วงจรขั้นที่ 1 มีหน้าที่นำสัญญาณอินพุตทั้งหมดของนิวรอนเน็ตเวิร์กมาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักบางส่วนตามสมการที่ (1) โดยวงจรขั้นที่ 1 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 6

$$\begin{matrix}
 \begin{matrix} iw1_1 \\ iw1_2 \\ iw1_3 \\ iw1_4 \\ iw1_5 \end{matrix} \times \begin{bmatrix} mul1_reg1_1 \\ mul1_reg1_2 \\ mul1_reg1_3 \\ mul1_reg1_4 \\ mul1_reg1_5 \end{bmatrix} \\
 \begin{matrix} iw2_1 \\ iw2_2 \\ iw2_3 \\ iw2_4 \\ iw2_5 \end{matrix} \times \begin{bmatrix} mul1_reg2_1 \\ mul1_reg2_2 \\ mul1_reg2_3 \\ mul1_reg2_4 \\ mul1_reg2_5 \end{bmatrix} \\
 \dots \\
 \begin{matrix} iw3_1 \\ iw3_2 \\ iw3_3 \\ iw3_4 \\ iw3_5 \end{matrix} \times \begin{bmatrix} mul1_reg3_1 \\ mul1_reg3_2 \\ mul1_reg3_3 \\ mul1_reg3_4 \\ mul1_reg3_5 \end{bmatrix} \dots, \dots, \dots, \dots, \dots \\
 \begin{matrix} iw9_1 \\ iw9_2 \\ iw9_3 \\ iw9_4 \\ iw9_5 \end{matrix} \times \begin{bmatrix} mul1_reg9_1 \\ mul1_reg9_2 \\ mul1_reg9_3 \\ mul1_reg9_4 \\ mul1_reg9_5 \end{bmatrix}
 \end{matrix} \quad (1)$$



รูปที่ 6 วิธีข้อมูลของวงจรขั้นที่ 1

หลักการดำเนินงานของวงจรขั้นที่ 1 เป็นไปตามวิธีควบคุมดังแสดงในรูปที่ 7 กล่าวคือ เริ่มต้นวงจรจะอยู่ในสถานะว่าง จนกระทั่งสัญญาณ select_done ที่ถูกส่งค่ามาจากวงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสเป็นลอจิก '1' วงจรจะเริ่มค้นค่าอินพุตเข้ากับค่าถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ 1 (step1 ถึง step10) โดยมีสัญญาณ input_sel เป็นสัญญาณสำหรับเลือกค่าอินพุต และสัญญาณ iw_sel เป็นสัญญาณสำหรับเลือกค่าถ่วงน้ำหนัก เมื่อการคูณทั้งหมดเสร็จสิ้น สัญญาณ stage1_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าไปยังวงจรขั้นที่ 2



รูปที่ 7 วิธีควบคุมของวงจรขั้นที่ 1

วงจรขั้นที่ 2 (Stage2)

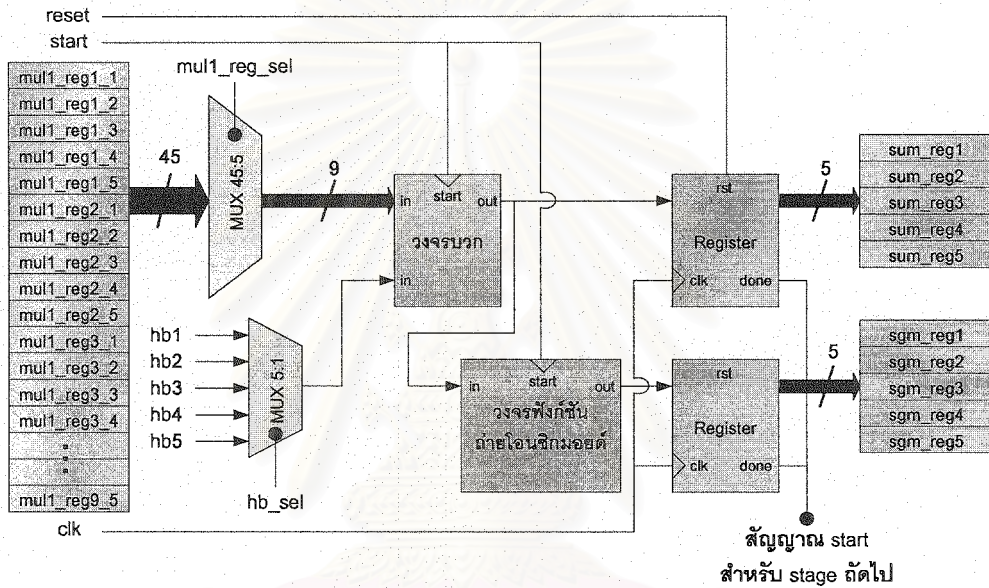
วงจรขั้นที่ 2 มีหน้าที่นำสัญญาณค่าต่าง ๆ และค่าไบแอสบางส่วนมาคำนวณตามสมการที่ (2) (3) และ (4)

$$\begin{bmatrix}
 mul1_reg1_1 + mul1_reg2_1 + mul1_reg3_1 + mul1_reg4_1 + mul1_reg5_1 + hb1 \\
 mul1_reg1_2 + mul1_reg2_2 + mul1_reg3_2 + mul1_reg4_2 + mul1_reg5_2 + hb2 \\
 mul1_reg1_3 + mul1_reg2_3 + mul1_reg3_3 + mul1_reg4_3 + mul1_reg5_3 + hb3 \\
 mul1_reg1_4 + mul1_reg2_4 + mul1_reg3_4 + mul1_reg4_4 + mul1_reg5_4 + hb4 \\
 mul1_reg1_5 + mul1_reg2_5 + mul1_reg3_5 + mul1_reg4_5 + mul1_reg5_5 + hb5
 \end{bmatrix}
 =
 \begin{bmatrix}
 sum_reg1 \\
 sum_reg2 \\
 sum_reg3 \\
 sum_reg4 \\
 sum_reg5
 \end{bmatrix}
 \quad (2)$$

$$\begin{bmatrix} f(\text{sum_reg1}) \\ f(\text{sum_reg2}) \\ f(\text{sum_reg3}) \\ f(\text{sum_reg4}) \\ f(\text{sum_reg5}) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \text{sgm_reg1} \\ \text{sgm_reg2} \\ \text{sgm_reg3} \\ \text{sgm_reg4} \\ \text{sgm_reg5} \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$f(x) = \frac{1}{2} \left(\frac{x}{1+|x|} + 1 \right) \quad (4)$$

วงจรขั้นที่ 2 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 8 ส่วนวิธีควบคุมของวงจรขั้นที่ 2 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรขั้นที่ 1 นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้นสัญญาณ stage2_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรขั้นที่ 3 ต่อไป



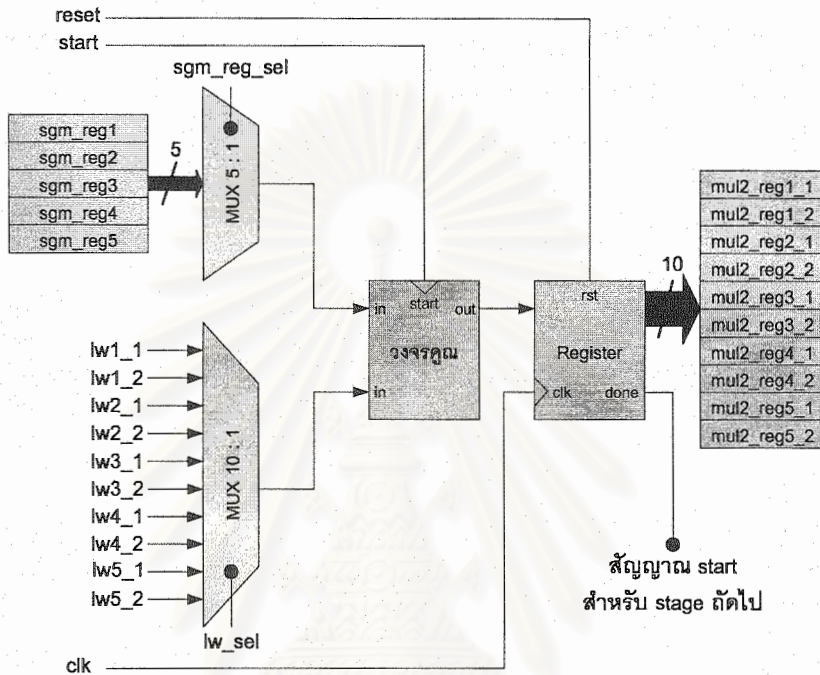
รูปที่ 8 วิธีข้อมูลของวงจรขั้นที่ 2

วงจรขั้นที่ 3 (Stage3)

วงจรขั้นที่ 3 มีหน้าที่นำสัญญาณค่าต่าง ๆ มาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักตามสมการที่ (5)

$$\begin{aligned} \text{sgm_reg1} \times \begin{bmatrix} lw1_1 \\ lw1_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \text{mul2_reg1_1} \\ \text{mul2_reg1_2} \end{bmatrix}, \\ \text{sgm_reg2} \times \begin{bmatrix} lw2_1 \\ lw2_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \text{mul2_reg2_1} \\ \text{mul2_reg2_2} \end{bmatrix}, \\ \text{sgm_reg3} \times \begin{bmatrix} lw3_1 \\ lw3_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \text{mul2_reg3_1} \\ \text{mul2_reg3_2} \end{bmatrix}, \\ \text{sgm_reg4} \times \begin{bmatrix} lw4_1 \\ lw4_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \text{mul2_reg4_1} \\ \text{mul2_reg4_2} \end{bmatrix}, \\ \text{sgm_reg5} \times \begin{bmatrix} lw5_1 \\ lw5_2 \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} \text{mul2_reg5_1} \\ \text{mul2_reg5_2} \end{bmatrix} \end{aligned} \quad (5)$$

วงจรชั้นที่ 3 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 9 ส่วนวิถีควบคุมของวงจรชั้นที่ 3 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรชั้นที่ 1 นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อคำนวณเสร็จสิ้นสัญญาณ stage3_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรชั้นที่ 4 ต่อไป



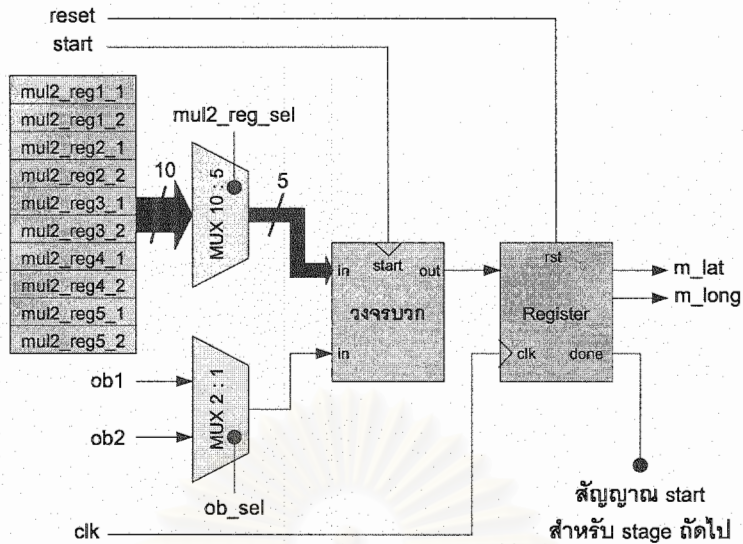
รูปที่ 9 วิธีข้อมูลของวงจรชั้นที่ 3

วงจรชั้นที่ 4 (Stage4)

วงจรชั้นที่ 4 มีหน้าที่นำสัญญาณค่าต่าง ๆ ที่ได้จากวงจรชั้นที่ 3 และค่าไบแอสที่เหลือ มาคำนวณตามสมการที่ (6) ผลลัพธ์ที่ได้จากวงจรมีคือ ค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา (m_lat , m_long)

$$\begin{bmatrix} mul2_reg1_1 + mul2_reg2_1 + mul2_reg3_1 + \\ mul2_reg4_1 + mul2_reg5_1 + ob1 \\ mul2_reg1_2 + mul2_reg2_2 + mul2_reg3_2 + \\ mul2_reg5_2 + mul2_reg4_2 + ob2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} m_lat \\ m_long \end{bmatrix} \quad (6)$$

วงจรชั้นที่ 4 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 10 ส่วนวิถีควบคุมของวงจรชั้นที่ 4 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรชั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage4_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรชั้นที่ 5 ต่อไป



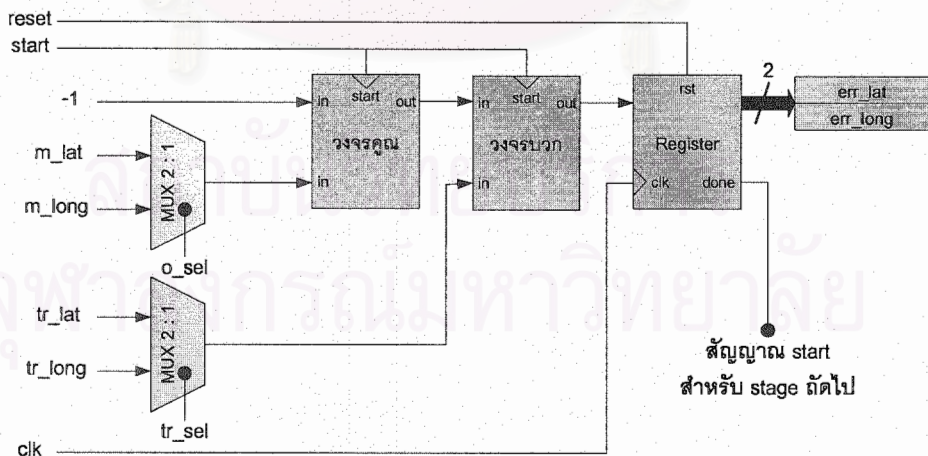
รูปที่ 10 วิธีข้อมูลของวงจรขั้นที่ 4

วงจรขั้นที่ 5

วงจรขั้นที่ 5 มีหน้าที่นำค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่ถูกส่งค่ามาจากวงจรขั้นที่ 4 มาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายของนิรอลเนตเวิร์ก (tr_lat, tr_long) ตามสมการที่ (7) ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นค่าความผิดพลาดของละติจูดและลองจิจูด (err_lat, err_long)

$$\begin{bmatrix} err_lat \\ err_long \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} tr_lat \\ tr_long \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} m_lat \\ m_long \end{bmatrix} \quad (7)$$

วงจรขั้นที่ 5 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 11 ส่วนวิธีกควบคุมของวงจรขั้นที่ 5 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรขั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage5_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรขั้นที่ 6 ต่อไป



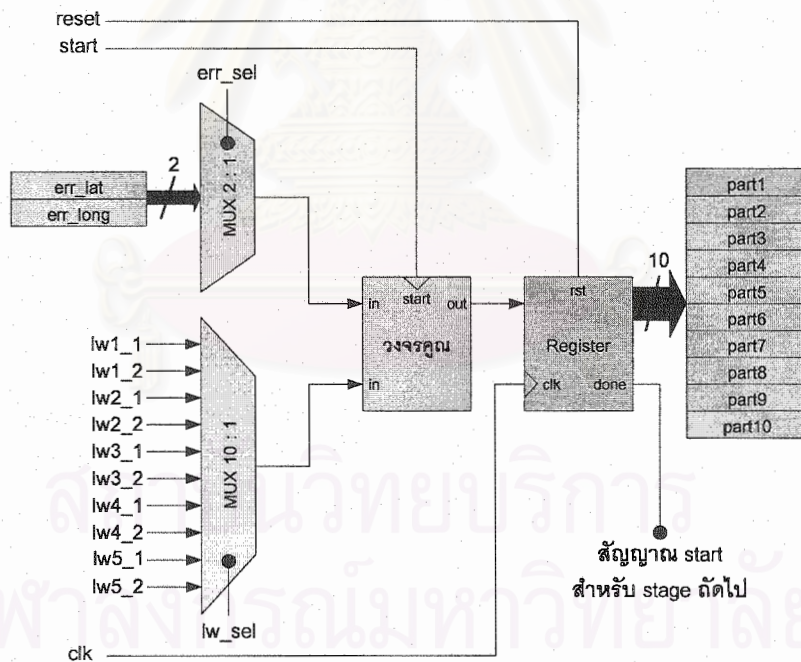
รูปที่ 11 วิธีข้อมูลของวงจรขั้นที่ 5

วงจรขั้นที่ 6 (Stage6)

วงจรขั้นที่ 6 เป็นส่วนหนึ่งของวงจรที่ทำหน้าที่คำนวณเพื่อหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่ที่ใช้ในการคำนวณของนิวรอลเน็ตเวิร์กต่อไป เพื่อให้ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ลดน้อยลง วงจรขั้นที่ 6 จะรับค่าความผิดพลาดจากวงจรขั้นที่ 5 มาคูณกับค่าถ่วงน้ำหนักบางส่วนตามสมการที่ (8)

$$err_lat \times \begin{bmatrix} lw1_1 \\ lw2_1 \\ lw3_1 \\ lw4_1 \\ lw5_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} part1 \\ part3 \\ part5 \\ part7 \\ part9 \end{bmatrix}, \quad err_long \times \begin{bmatrix} lw1_2 \\ lw2_2 \\ lw3_2 \\ lw4_2 \\ lw5_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} part2 \\ part4 \\ part6 \\ part8 \\ part10 \end{bmatrix} \quad (8)$$

วงจรขั้นที่ 6 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 12 ส่วนวิธีควบคุมของวงจรขั้นที่ 6 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรขั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage6_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรขั้นที่ 7 ต่อไป



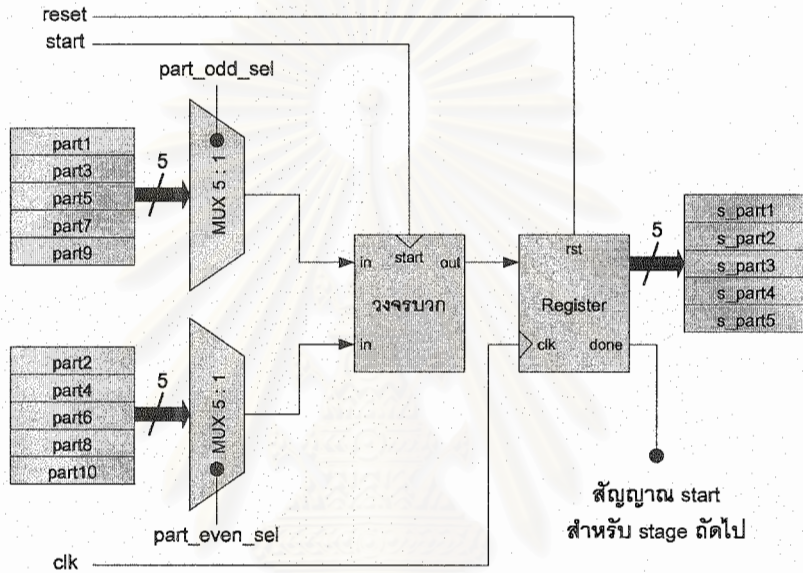
รูปที่ 12 วิธีข้อมูลของวงจรขั้นที่ 6

วงจรขั้นที่ 7 (Stage7)

วงจรขั้นที่ 7 มีหน้าที่นำสัญญาณค่าต่าง ๆ ที่ได้จากวงจรขั้นที่ 6 มาคำนวณตามสมการที่ (9)

$$\begin{bmatrix} part1 + part2 \\ part3 + part4 \\ part5 + part6 \\ part7 + part8 \\ part9 + part10 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} s_part1 \\ s_part2 \\ s_part3 \\ s_part4 \\ s_part5 \end{bmatrix} \quad (9)$$

วงจรชั้นที่ 7 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 13 ส่วนวิธีควบคุมของวงจรชั้นที่ 7 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรชั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage7_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรชั้นที่ 8 ต่อไป



รูปที่ 13 วิธีข้อมูลของวงจรชั้นที่ 7

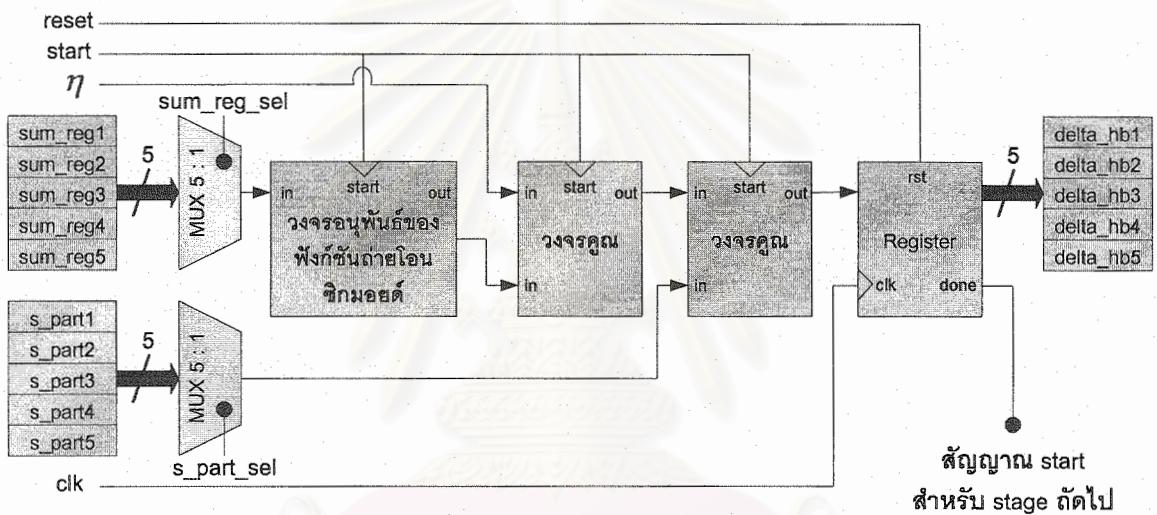
วงจรชั้นที่ 8 (Stage8)

วงจรชั้นที่ 8 มีหน้าที่นำสัญญาณค่าต่าง ๆ จากวงจรชั้นที่ 2 และวงจรชั้นที่ 7 มาคำนวณตามสมการที่ (10) และ (11)

$$\eta \times f' \begin{bmatrix} sum_reg1 \\ sum_reg2 \\ sum_reg3 \\ sum_reg4 \\ sum_reg5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} a \\ b \\ c \\ d \\ e \end{bmatrix}, \quad f'(x) = \begin{cases} \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(1+x)^2} \right], & x > 0 \\ \frac{1}{2} \left[\frac{1}{(1-x)^2} \right], & x < 0 \end{cases} \quad (10)$$

$$\begin{bmatrix} s_part1 \times a \\ s_part2 \times b \\ s_part3 \times c \\ s_part4 \times d \\ s_part5 \times e \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} delta_hb1 \\ delta_hb2 \\ delta_hb3 \\ delta_hb4 \\ delta_hb5 \end{bmatrix} \quad (11)$$

วงจรชั้นที่ 8 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 14 ส่วนวิธีควบคุมของวงจรชั้นที่ 8 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรชั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage8_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรชั้นที่ 9 ต่อไป



รูปที่ 14 วิธีข้อมูลของวงจรชั้นที่ 8

วงจรชั้นที่ 9 (Stage9)

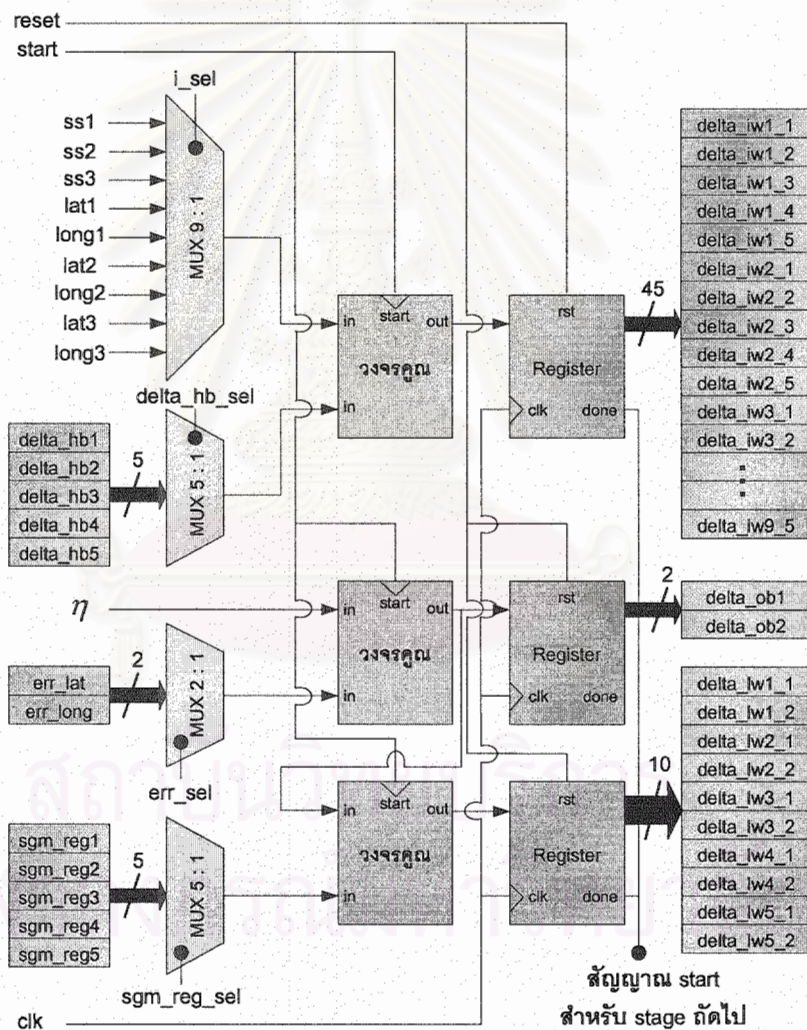
วงจรชั้นที่ 9 มีหน้าที่นำสัญญาณอินพุตทั้งหมด มาคูณกับสัญญาณค่าต่าง ๆ ที่ได้จากวงจรชั้นที่ 8 และนำสัญญาณบางส่วนที่ได้จากวงจรชั้นที่ 2 มาคูณกับค่าความผิดพลาดที่ได้จากวงจรชั้นที่ 5 ตามสมการที่ (12) (13) และ (14)

$$\begin{bmatrix} ss1 \\ ss2 \\ ss3 \\ lat1 \\ long1 \\ lat2 \\ long2 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} delta_hb1 \\ delta_hb2 \\ delta_hb3 \\ delta_hb4 \\ delta_hb5 \end{bmatrix}^T = \begin{bmatrix} delta_iw1_1 & delta_iw1_2 & delta_iw1_3 & delta_iw1_4 & delta_iw1_5 \\ delta_iw2_1 & delta_iw2_2 & delta_iw2_3 & delta_iw2_4 & delta_iw2_5 \\ delta_iw3_1 & delta_iw3_2 & delta_iw3_3 & delta_iw3_4 & delta_iw3_5 \\ delta_iw4_1 & delta_iw4_2 & delta_iw4_3 & delta_iw4_4 & delta_iw4_5 \\ delta_iw5_1 & delta_iw5_2 & delta_iw5_3 & delta_iw5_4 & delta_iw5_5 \\ delta_iw6_1 & delta_iw6_2 & delta_iw6_3 & delta_iw6_4 & delta_iw6_5 \\ delta_iw7_1 & delta_iw7_2 & delta_iw7_3 & delta_iw7_4 & delta_iw7_5 \\ delta_iw8_1 & delta_iw8_2 & delta_iw8_3 & delta_iw8_4 & delta_iw8_5 \\ delta_iw9_1 & delta_iw9_2 & delta_iw9_3 & delta_iw9_4 & delta_iw9_5 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$\eta \times [err_lat \quad err_long] = [delta_ob1 \quad delta_ob2] \quad (13)$$

$$\begin{bmatrix} sgm_reg1 \\ sgm_reg2 \\ sgm_reg3 \\ sgm_reg4 \\ sgm_reg5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \delta_{ob1} & \delta_{ob2} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \delta_{lw1_1} & \delta_{lw1_2} \\ \delta_{lw2_1} & \delta_{lw2_2} \\ \delta_{lw3_1} & \delta_{lw3_2} \\ \delta_{lw4_1} & \delta_{lw4_2} \\ \delta_{lw5_1} & \delta_{lw5_2} \end{bmatrix} \quad (14)$$

วงจรชั้นที่ 9 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 15 ส่วนวิธีควบคุมของวงจรชั้นที่ 9 มีลักษณะการออกแบบคล้ายกับวงจรชั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage9_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรชั้นที่ 10 ต่อไป แต่หากค่าผลลัพธ์ของวงจรมีเท่ากับศูนย์ทั้งหมด ซึ่งหมายความว่าค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสรอบปัจจุบันมีค่าเท่ากับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสรอบก่อนหน้า สัญญาณ stage9_done จะมีลอจิกเป็น '0' ถือว่าสิ้นสุดการทำงานทั้งหมดของนิวรอนเน็ตเวิร์ก จะไม่มีการส่งค่าใด ๆ ไปยังวงจรชั้นที่ 10



รูปที่ 15 วิธีข้อมูลของวงจรชั้นที่ 9

วงจรชั้นที่ 10 (Stage10)

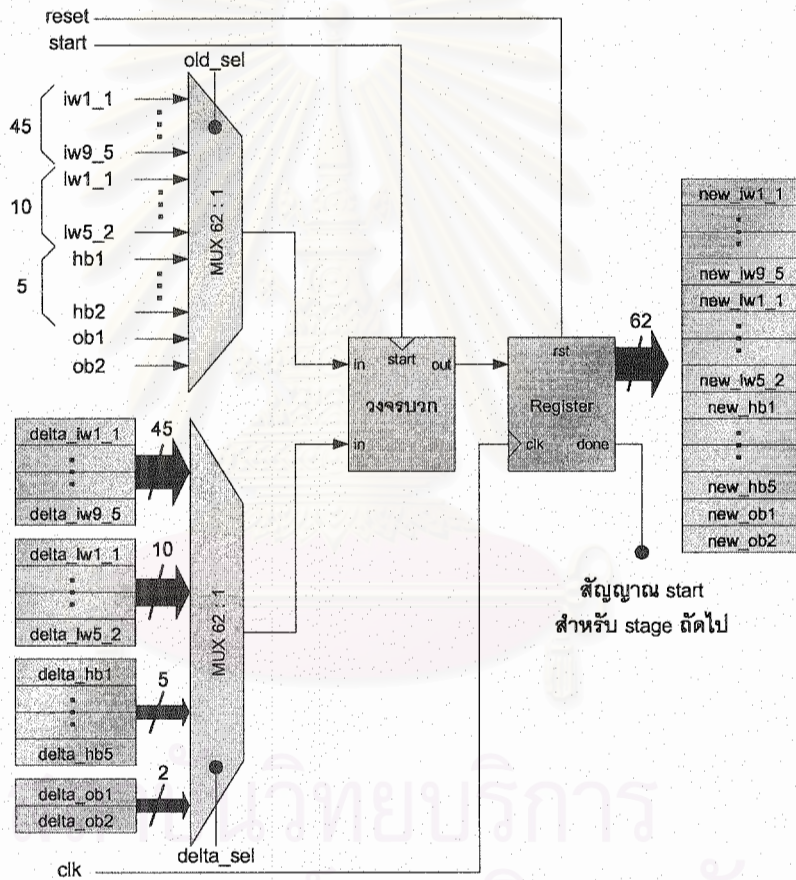
วงจรชั้นที่ 10 มีหน้าที่นำสัญญาณค่าต่าง ๆ จากวงจรชั้นที่ 8 และวงจรชั้นที่ 9 มาบวกกับค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสทั้งหมด เพื่อคำนวณหาค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสใหม่ที่นิเวรอลเนตเวิร์กจะใช้ในการคำนวณรอบต่อไปตามสมการที่ (15) (16) และ (17)

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} iw1_1 & iw1_2 & iw1_3 & iw1_4 & iw1_5 \\ iw2_1 & iw2_2 & iw2_3 & iw2_4 & iw2_5 \\ iw3_1 & iw3_2 & iw3_3 & iw3_4 & iw3_5 \\ iw4_1 & iw4_2 & iw4_3 & iw4_4 & iw4_5 \\ iw5_1 & iw5_2 & iw5_3 & iw5_4 & iw5_5 \\ iw6_1 & iw6_2 & iw6_3 & iw6_4 & iw6_5 \\ iw7_1 & iw7_2 & iw7_3 & iw7_4 & iw7_5 \\ iw8_1 & iw8_2 & iw8_3 & iw8_4 & iw8_5 \\ iw9_1 & iw9_2 & iw9_3 & iw9_4 & iw9_5 \end{bmatrix} + \\
 & \begin{bmatrix} delta_iw1_1 & delta_iw1_2 & delta_iw1_3 & delta_iw1_4 & delta_iw1_5 \\ delta_iw2_1 & delta_iw2_2 & delta_iw2_3 & delta_iw2_4 & delta_iw2_5 \\ delta_iw3_1 & delta_iw3_2 & delta_iw3_3 & delta_iw3_4 & delta_iw3_5 \\ delta_iw4_1 & delta_iw4_2 & delta_iw4_3 & delta_iw4_4 & delta_iw4_5 \\ delta_iw5_1 & delta_iw5_2 & delta_iw5_3 & delta_iw5_4 & delta_iw5_5 \\ delta_iw6_1 & delta_iw6_2 & delta_iw6_3 & delta_iw6_4 & delta_iw6_5 \\ delta_iw7_1 & delta_iw7_2 & delta_iw7_3 & delta_iw7_4 & delta_iw7_5 \\ delta_iw8_1 & delta_iw8_2 & delta_iw8_3 & delta_iw8_4 & delta_iw8_5 \\ delta_iw9_1 & delta_iw9_2 & delta_iw9_3 & delta_iw9_4 & delta_iw9_5 \end{bmatrix} \\
 & = \begin{bmatrix} new_iw1_1 & new_iw1_2 & new_iw1_3 & new_iw1_4 & new_iw1_5 \\ new_iw2_1 & new_iw2_2 & new_iw2_3 & new_iw2_4 & new_iw2_5 \\ new_iw3_1 & new_iw3_2 & new_iw3_3 & new_iw3_4 & new_iw3_5 \\ new_iw4_1 & new_iw4_2 & new_iw4_3 & new_iw4_4 & new_iw4_5 \\ new_iw5_1 & new_iw5_2 & new_iw5_3 & new_iw5_4 & new_iw5_5 \\ new_iw6_1 & new_iw6_2 & new_iw6_3 & new_iw6_4 & new_iw6_5 \\ new_iw7_1 & new_iw7_2 & new_iw7_3 & new_iw7_4 & new_iw7_5 \\ new_iw8_1 & new_iw8_2 & new_iw8_3 & new_iw8_4 & new_iw8_5 \\ new_iw9_1 & new_iw9_2 & new_iw9_3 & new_iw9_4 & new_iw9_5 \end{bmatrix} \quad (15)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \begin{bmatrix} lw1_1 & lw1_2 \\ lw2_1 & lw2_2 \\ lw3_1 & lw3_2 \\ lw4_1 & lw4_2 \\ lw5_1 & lw5_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} delta_lw1_1 & delta_lw1_2 \\ delta_lw2_1 & delta_lw2_2 \\ delta_lw3_1 & delta_lw3_2 \\ delta_lw4_1 & delta_lw4_2 \\ delta_lw5_1 & delta_lw5_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} new_lw1_1 & new_lw1_2 \\ new_lw2_1 & new_lw2_2 \\ new_lw3_1 & new_lw3_2 \\ new_lw4_1 & new_lw4_2 \\ new_lw5_1 & new_lw5_2 \end{bmatrix} \quad (16)
 \end{aligned}$$

$$\begin{bmatrix} hb1 \\ hb2 \\ hb3 \\ hb4 \\ hb5 \\ ob1 \\ ob2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Delta hb1 \\ \Delta hb2 \\ \Delta hb3 \\ \Delta hb4 \\ \Delta hb5 \\ \Delta ob1 \\ \Delta ob2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} new_hb1 \\ new_hb2 \\ new_hb3 \\ new_hb4 \\ new_hb5 \\ new_ob1 \\ new_ob2 \end{bmatrix} \quad (17)$$

วงจรชั้นที่ 10 มีวิธีข้อมูลแสดงได้ดังรูปที่ 16 ส่วนวิถีควบคุมของวงจรชั้นที่ 10 มีลักษณะการออกแบบเช่นเดียวกับวงจรชั้นที่ 1 เช่นกัน นั่นคือ มีสัญญาณสำหรับเลือกค่าต่าง ๆ เพื่อนำมาคำนวณ เมื่อการคำนวณเสร็จสิ้น สัญญาณ stage10_done จะมีลอจิกเป็น '1' และถูกส่งค่าสู่วงจรเลือกค่าถ่วงน้ำหนักและค่าไบแอสต่อไป



รูปที่ 16 วิธีข้อมูลของวงจรชั้นที่ 10

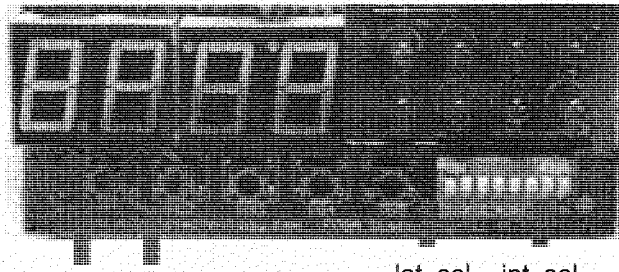
เมื่อออกแบบนิรอลเนตเวิร์กด้วยภาษาวีเอชดีแอลเรียบร้อยแล้ว งานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างอุปกรณ์ต้นแบบสำหรับประมวลค่าตำแหน่งสถานีเคลื่อนที่โดยการคำนวณโหนดวงจรนิรอลเนตเวิร์กที่ออกแบบด้วยภาษาวีเอชดีแอลลงบนบอร์ดเอฟพีจีเอรุ่น Discovery-III XC3S200 ของบริษัท เอเพก อินสตรูเมนต์ จำกัด ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปของบอร์ดมีดังต่อไปนี้

- ชิพเอฟพีจีเอตระกูล Spartan-3 ของบริษัท Xilinx เบอร์ XC3S200 ขนาด 200,000 เกต แพ็กเกจแบบ TQ144 Speed Grade: 4
- Platform Flash PROM เบอร์ XCF01S สามารถโปรแกรมข้อมูลลงจอร์จำได้ 20,000 ครั้ง
- ตัวแสดงผลเจ็ดส่วน (7-Segment) จำนวน 4 หลัก (ถอดออกได้)
- LED จำนวน 8 ดวง (สามารถแยกออกจาก I/O ได้ โดยการถอดหรือหักเอา RNET3 และ RNET4 ออก) และออกความถี่เสียง (Buzzer) จำนวน 1 ตัว
- สวิตช์กดติด (Push Button Switch) จำนวน 5 ตัว สวิตช์เลื่อน (DIP Switch) 8 บิต 1 ตัว
- พอร์ตใช้เชื่อมสัญญาณไปยังบอร์ดหรืออุปกรณ์ภายนอก (Expansion Port) ที่มี I/O เป็น 3.3 โวลต์ จำนวน 4 พอร์ต 80 บิต
- พอร์ต RS-232C จำนวน 1 พอร์ต และ 12C Socket สำหรับ EEPROM
- ออสซิลเลเตอร์ 25 MHz (เปลี่ยนเป็นความถี่อื่น ๆ ได้โดยใช้ Digital Frequency Synthesizer ที่มีอยู่ในเอฟพีจีเอ)
- ความจุจอร์ 200,000 เกต
- 18 Kb block RAMs จำนวน 12 ชุด (รวม 216 Kb)
- 18x18 ฮาร์ดแวร์มัลติพลายเออร์ (Hardware Multiplier) จำนวน 12 ชุด
- Digital Clock Manager (DCM) 12 ชุด และ Digitally Controlled Impedance (DCI)

งานวิจัยนี้ ได้ทดลองความนำไหลลงจอร์นิรอลเนตเวิร์กที่ออกแบบโดยใช้ภาษาวีเอชดีแอล ลงบนบอร์ดเอฟพีจีเอรุ่น Discovery-III XC3S200 ของบริษัท เอเพก อินสตรูเมนต์ จำกัด อย่างไรก็ตาม วงจอร์นิรอลเนตเวิร์กที่ถูกความนำไหลค่านั้นเป็นเพียงส่วนหนึ่งของวงจอร์ทั้งหมด ซึ่งได้แก่ วงจอร์ชั้นที่ 1 วงจอร์ชั้นที่ 2 วงจอร์ชั้นที่ 3 และวงจอร์ชั้นที่ 4 เนื่องจากวงจอร์ทั้งหมดมีขนาดใหญ่มาก จำเป็นต้องใช้ความจุของบอร์ดมาก ซึ่งในปัจจุบันในประเทศไทยไม่มีบอร์ดสำเร็จรูปที่สามารถรองรับวงจอร์ขนาดใหญ่เช่นนี้ได้ ส่วนวงจอร์นิรอลเนตเวิร์กทั้งหมดจะได้มีการพัฒนาเพื่อออกแบบวงจอร์ให้มีขนาดเล็กลง และเลือกใช้บอร์ดที่มีความจุและราคาที่เหมาะสมต่อไปในอนาคต

อุปกรณ์ต้นแบบที่ทดลองสร้างขึ้นมีส่วนแสดงผลเป็นตัวแสดงผลเจ็ดส่วน (7-Segment) 4 หลัก และมีสวิตช์สำหรับควบคุมการทำงาน 4 สวิตช์ ดังแสดงในรูปที่ 18

- สวิตช์กดติด rst มีหน้าที่สำหรับสั่งให้อุปกรณ์ต้นแบบปรับตั้งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ใหม่
- สวิตช์กดติด start มีหน้าที่สำหรับสั่งให้อุปกรณ์ต้นแบบเริ่มต้นการทำงาน
- สวิตช์เลื่อน lat_sel มีหน้าที่สำหรับสั่งให้อุปกรณ์ต้นแบบแสดงค่าตำแหน่งละติจูดเมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง ON และแสดงค่าตำแหน่งลองจิจูดเมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง OFF
- สวิตช์เลื่อน int_sel มีหน้าที่สำหรับสั่งให้อุปกรณ์ต้นแบบแสดงค่าจำนวนเต็มเมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง ON และแสดงค่าจำนวนทศนิยมเมื่อสวิตช์อยู่ที่ตำแหน่ง OFF



รูปที่ 18 ส่วนควบคุมและส่วนแสดงผลของอุปกรณ์ต้นแบบ

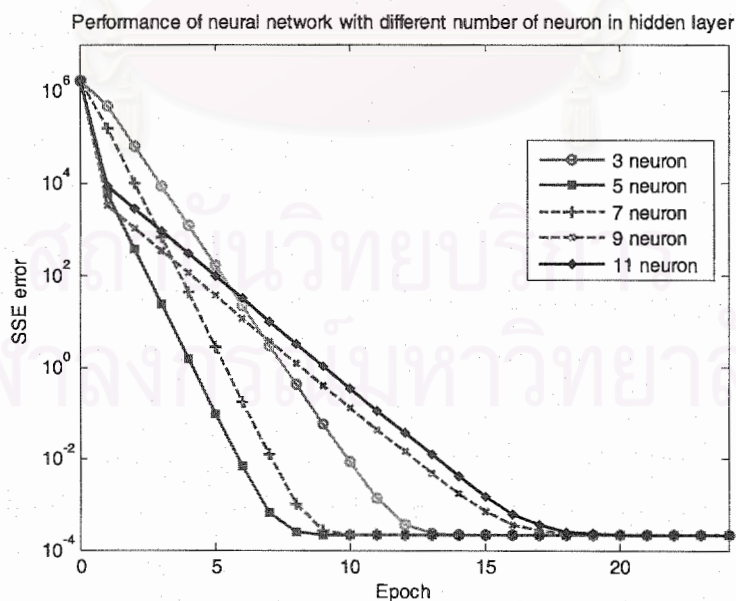
ผลการทดสอบ

กำหนดสัญลักษณ์ที่ใช้ในรูปและตารางต่าง ๆ ดังนี้

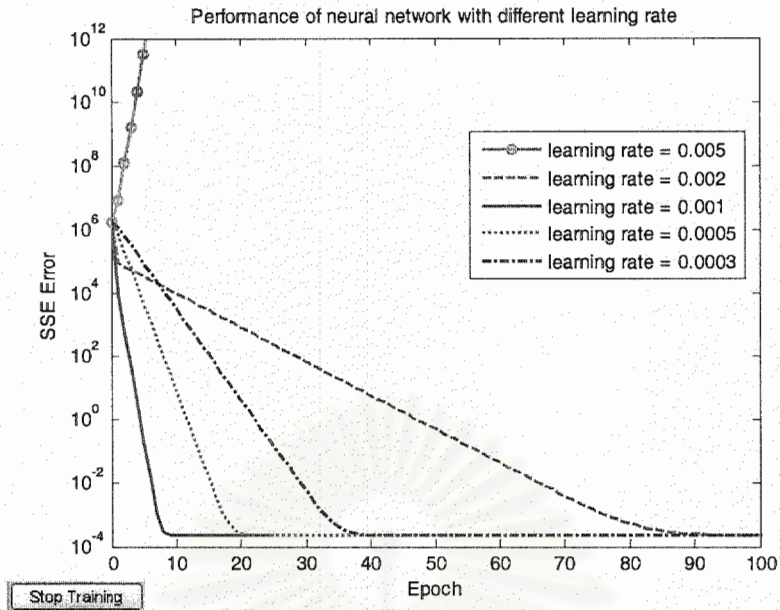
ss1	แทนค่าความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานสถานีที่ 1 รับ ได้จากสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)
ss2	แทนค่าความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานสถานีที่ 2 รับ ได้จากสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)
ss3	แทนค่าความแรงของสัญญาณที่สถานีฐานสถานีที่ 3 รับ ได้จากสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นเดซิเบล (dB)
lat1	แทนตำแหน่งละติจูดของสถานีฐานสถานีที่ 1 มีหน่วยเป็นองศาเหนือ
long1	แทนตำแหน่งลองจิจูดของสถานีฐานสถานีที่ 1 มีหน่วยเป็นองศาตะวันออก
lat2	แทนตำแหน่งละติจูดของสถานีฐานสถานีที่ 2 มีหน่วยเป็นองศาเหนือ
long2	แทนตำแหน่งลองจิจูดของสถานีฐานสถานีที่ 2 มีหน่วยเป็นองศาตะวันออก
lat3	แทนตำแหน่งละติจูดของสถานีฐานสถานีที่ 3 มีหน่วยเป็นองศาเหนือ
long3	แทนตำแหน่งลองจิจูดของสถานีฐานสถานีที่ 3 มีหน่วยเป็นองศาตะวันออก
tr_lat	แทนค่าเป้าหมายของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นองศาเหนือ
tr_long	แทนค่าเป้าหมายของตำแหน่งลองจิจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณา มีหน่วยเป็นองศาตะวันออก
m_lat	แทนตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณาที่ได้จากการประมาณค่าของนิรवलเนตเวิร์กที่ออกแบบ มีหน่วยเป็นองศาเหนือ
m_long	แทนตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่พิจารณาที่ได้จากการประมาณค่าของนิรवलเนตเวิร์กที่ออกแบบ มีหน่วยเป็นองศาตะวันออก
sign_tr_lat	แทนเครื่องหมายของค่าเป้าหมายของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่
int_tr_lat	แทนจำนวนเต็มของค่าเป้าหมายของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่
frac_tr_lat	แทนจำนวนทศนิยมของค่าเป้าหมายของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่
sign_tr_long	แทนเครื่องหมายของค่าเป้าหมายของตำแหน่งลองจิจูดของสถานีเคลื่อนที่

int_tr_long	แทนจำนวนเต็มของค่าเป้าหมายของตำแหน่งล่องจิกูคของสถานีเคลื่อนที่
frac_tr_long	แทนจำนวนทศนิยมของค่าเป้าหมายของตำแหน่งล่องจิกูคของสถานีเคลื่อนที่
sign_m_lat	แทนเครื่องหมายของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่ได้จากการประมาณค่าของนิวโรลเนตเวิร์กที่ออกแบบ
int_m_lat	แทนจำนวนเต็มของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่ได้จากการประมาณค่าของนิวโรลเนตเวิร์กที่ออกแบบ
frac_m_lat	แทนจำนวนทศนิยมของตำแหน่งละติจูดของสถานีเคลื่อนที่ที่ได้จากการประมาณค่าของนิวโรลเนตเวิร์กที่ออกแบบ
sign_m_long	แทนเครื่องหมายของตำแหน่งล่องจิกูคของสถานีเคลื่อนที่ที่ได้จากการประมาณค่าของนิวโรลเนตเวิร์กที่ออกแบบ
int_m_long	แทนจำนวนเต็มของตำแหน่งล่องจิกูคของสถานีเคลื่อนที่ที่ได้จากการประมาณค่าของนิวโรลเนตเวิร์กที่ออกแบบ
frac_m_long	แทนจำนวนทศนิยมของตำแหน่งล่องจิกูคของสถานีเคลื่อนที่ที่ได้จากการประมาณค่าของนิวโรลเนตเวิร์กที่ออกแบบ

พารามิเตอร์สำคัญที่มีส่วนเกี่ยวข้องกับการสู่เข้าในการฝึกนิวโรลเนตเวิร์ก ได้แก่ จำนวนนิวโรนในชั้นซ่อนเร้นของนิวโรลเนตเวิร์ก และค่าอัตราการเรียนรู้ของนิวโรลเนตเวิร์ก โดยการทดสอบเพื่อหาจำนวนที่เหมาะสมที่สุดจะใช้ชุดข้อมูลภาคสนามจำนวน 100 ชุด เป็นชุดข้อมูลสำหรับทดสอบ ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 19 และรูปที่ 20



รูปที่ 19 ผลการทดสอบการสู่เข้าของนิวโรลเนตเวิร์กที่มีจำนวนนิวโรนในชั้นซ่อนเร้นไม่เท่ากัน



รูปที่ 20 ผลการทดสอบการรู้เข้าของนิวโรลเน็ตเวิร์กที่มีค่าอัตราการเรียนรู้ไม่เท่ากัน

จากรูปที่ 19 และ 20 แสดงให้เห็นว่าสำหรับการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ในกรณีที่ใช้ข้อมูลภาคสนามนี้ จำนวนนิวโรนในชั้นซ่อนเร้นและค่าอัตราการเรียนรู้ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 5 และ 0.001 ตามลำดับ ดังนั้นในงานนี้ จึงออกแบบให้นิวโรลเน็ตเวิร์กมีจำนวนนิวโรนในชั้นซ่อนเร้นเท่ากับ 5 และค่าอัตราการเรียนรู้เท่ากับ 0.001

การทดสอบกรณีที่ 1 ใช้ข้อมูลภาคสนามสำหรับฝึกนิวโรลเน็ตเวิร์กจำนวน 50 ชุด และชุดข้อมูลภาคสนามสำหรับทดสอบนิวโรลเน็ตเวิร์กจำนวน 40 ชุด

สำหรับการทดสอบกรณีที่ 1 ตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่นิวโรลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบประมาณค่าได้ และค่าเป้าหมายของตำแหน่ง ถูกแสดงผลผ่านโปรแกรม ModelSim XE ได้ดังรูปที่ 21 22 23 และ 24 และสามารถหาค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ตามสมการที่ (18) และ (19) มาแสดงได้ดังรูปที่ 25

$$x = \frac{|tr_lat - m_lat| \times 10^6}{8.99322}, \quad y = \frac{|tr_long - m_long| \times 10^6}{9.013244} \quad (18)$$

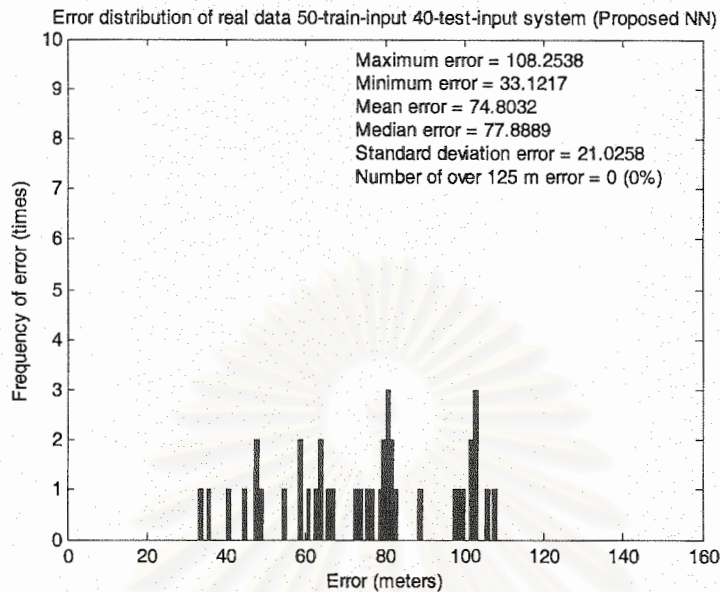
$$error = \sqrt{x^2 + y^2} \quad \text{หน่วย: เมตร} \quad (19)$$

1	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
2	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
3	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000
4	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000
5	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000
6	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000
7	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000
8	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
9	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000
10	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000

รูปที่ 23 ผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ 1 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 21 ถึง 30)

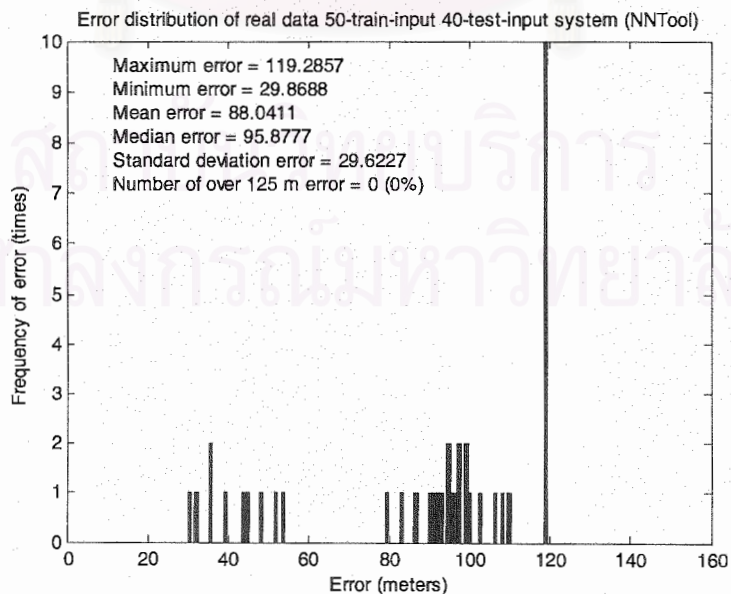
1	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
2	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000	2,000,000
3	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000	3,000,000
4	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000	4,000,000
5	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000
6	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000	6,000,000
7	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000	7,000,000
8	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000	8,000,000
9	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000	9,000,000
10	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000	10,000,000

รูปที่ 24 ผลการทดสอบประสิทธิภาพที่ 1 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 31 ถึง 40)



รูปที่ 25 ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าในกรณีที่ 1 โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบ

จากรูปที่ 25 จะเห็นว่านิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบสามารถประมาณค่าตำแหน่งของสถานีโดยมีความผิดพลาดเฉลี่ยในการประมาณค่าเท่ากับ 74.8032 เมตร และไม่มีการประมาณค่าครั้งใดมีความผิดพลาดเกิน 125 เมตร ซึ่งถือว่าถูกต้องตามที่ FCC กำหนดไว้ กล่าวคือ ระบบการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่ต้องมีความสามารถในการรายงานค่าพิกัดตำแหน่งให้มีความถูกต้องคิดเป็น 67% ของจำนวนครั้งของการประมาณค่าในระยะความผิดพลาด 125 เมตร และเมื่อนำชุดข้อมูลสำหรับฝึกและทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์กชุดเดียวกันมาทดสอบโดยใช้ NNTool ค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าของ NNTool แสดงดังรูปที่ 26

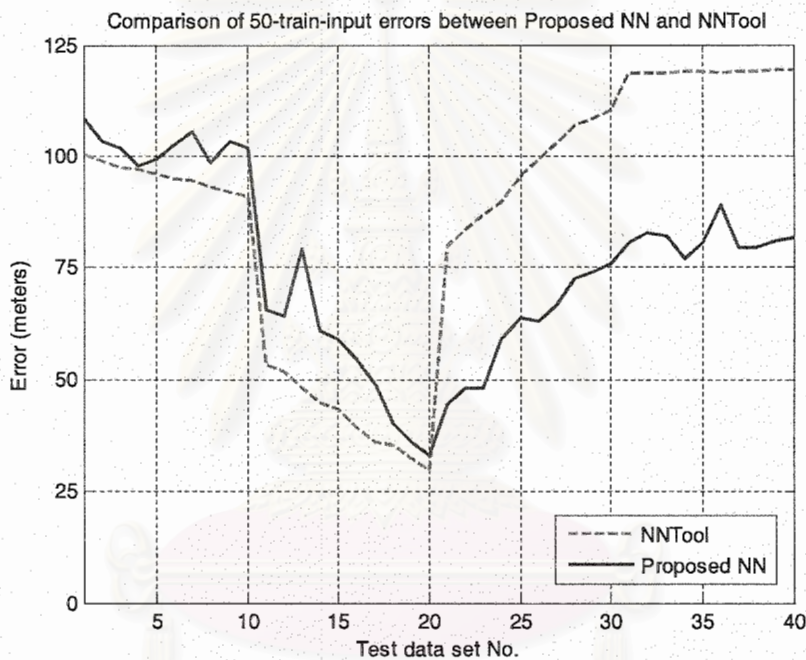


รูปที่ 26 ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าในกรณีที่ 1 โดยใช้ NNTool

จากรูปที่ 26 จะเห็นว่า NNTool สามารถประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ถูกต้องตามข้อกำหนดของ FCC เช่นกัน โดยให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยในการประมาณค่าเท่ากับ 88.0411 เมตร และไม่มีการประมาณค่าครั้งใดให้ค่าความผิดพลาดสูงเกิน 125 เมตร

จากรูปที่ 25 และ 26 เมื่อเปรียบเทียบค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าของทั้ง 2 วิธี จะเห็นว่า การประมาณค่าโดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบและ NNTool มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกัน (แตกต่างกันประมาณ 13 เมตร ซึ่งถือว่าไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญในทางปฏิบัติ) และเพื่อให้การพิจารณามีความชัดเจนมากยิ่งขึ้น จึงได้แสดงค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธี ดังรูปที่ 27

จากรูปที่ 27 จะเห็นว่ารูปแบบของค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธี มีแนวโน้มการเกิดค่าความผิดพลาดในลักษณะเดียวกัน



รูปที่ 27 ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจากการประมาณค่ากรณีที่ 1 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าโดยใช้ NNTool

การทดสอบกรณีที่ 2 ใช้ข้อมูลภาคสนามสำหรับฝึกนิวรอลเน็ตเวิร์กจำนวน 75 ชุด และชุดข้อมูลภาคสนามสำหรับทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์กจำนวน 40 ชุด

สำหรับการทดสอบกรณีที่ 2 ตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่นิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบประมาณค่าได้ และค่าเป้าหมายของตำแหน่ง ถูกแสดงผลผ่าน โปรแกรม ModelSim XE ได้ดังรูปที่ 28 29 30 และ 31

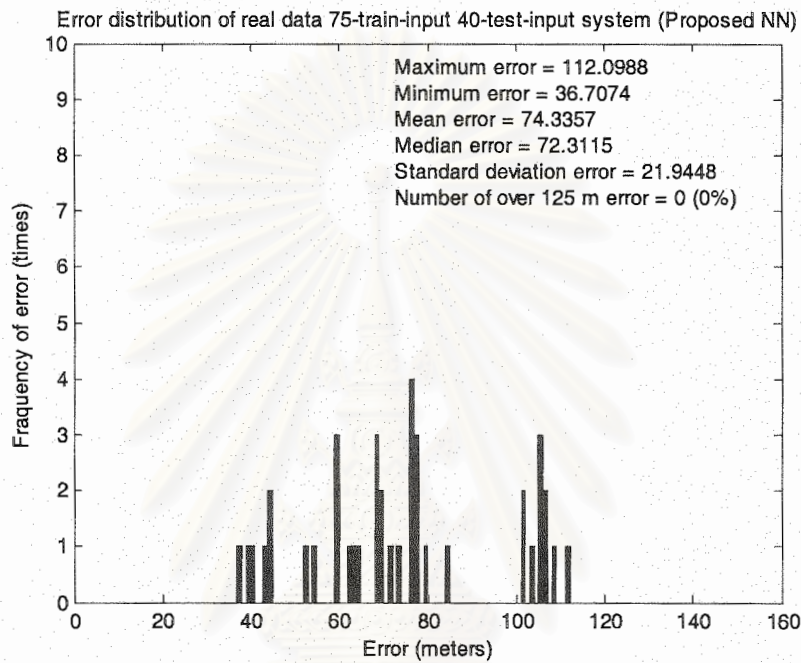
ปี	2557	2558	2559	2560	2561	2562
1	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
2	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
3	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
4	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
5	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
6	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
7	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
8	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
9	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
10	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
11	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
12	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000

รูปที่ 30 ผลการทดสอบกรณีที่ 2 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 21 ถึง 30)

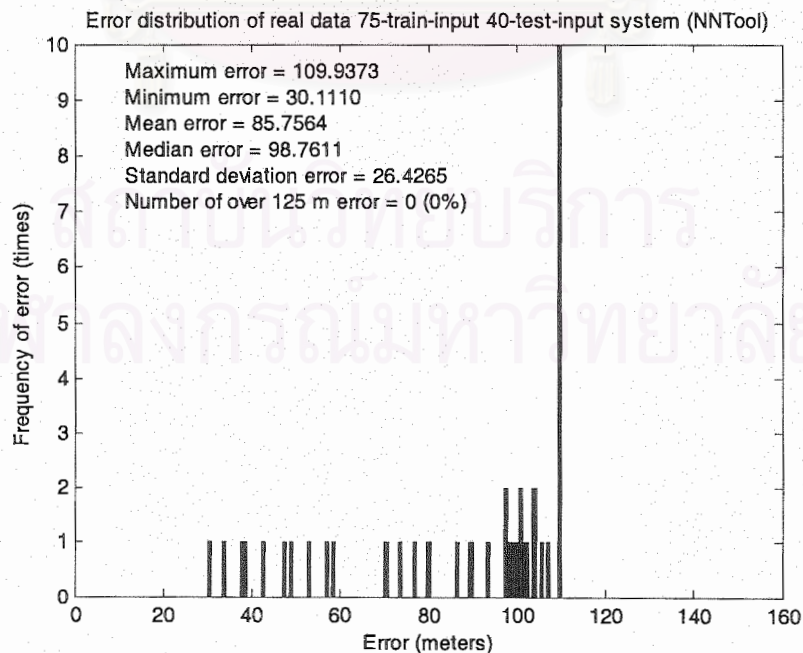
ปี	2557	2558	2559	2560	2561	2562
1	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
2	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
3	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
4	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
5	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
6	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
7	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
8	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
9	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
10	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
11	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
12	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000

รูปที่ 31 ผลการทดสอบกรณีที่ 2 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 31 ถึง 40)

จากรูปที่ 28 29 30 และ 31 สามารถนำค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่มา แสดงได้ดังรูปที่ 32 โดยนิเวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 74.3357 เมตร ส่วนค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าโดยใช้ NNTool แสดงได้ดังรูปที่ 33 โดย NNTool ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 85.7564 เมตร

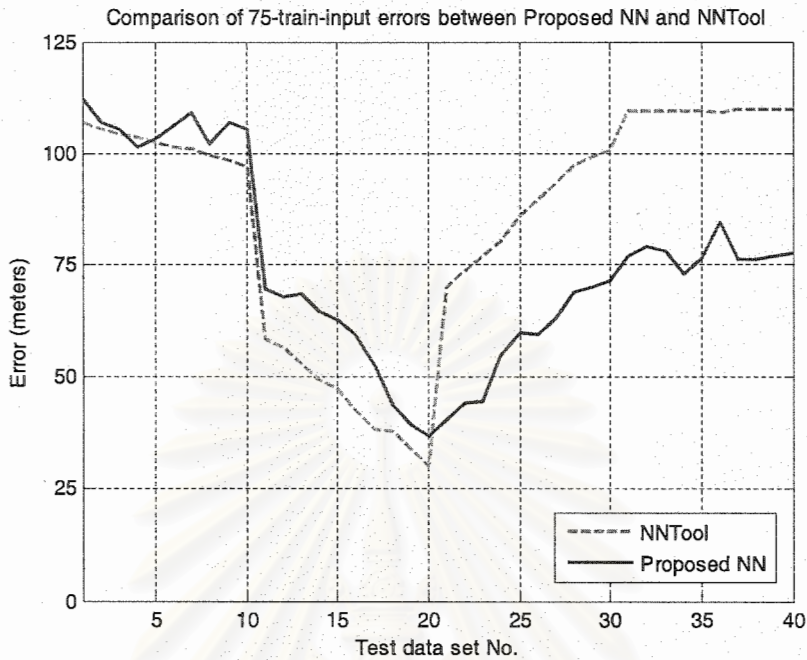


รูปที่ 32 ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าในกรณีที่ 2 โดยใช้นิเวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบ



รูปที่ 33 ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าในกรณีที่ 2 โดยใช้ NNTool

ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธีในกรณีนี้ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 34



รูปที่ 34 ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจากการประมาณค่ากรณีที่ 2 ของนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบเปรียบเทียบกับค่าการประมาณค่าโดยใช้ NNTool

จากรูปที่ 32 33 และ 34 จะเห็นได้ว่าการประมาณค่าของทั้ง 2 วิธี สามารถประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงกันเช่นเดียวกับการทดสอบในกรณีที่ 1 แต่ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นลดลงเนื่องมาจากการเพิ่มจำนวนชุดข้อมูลสำหรับฝึกนิวรอลเน็ตเวิร์ก

การทดสอบกรณีที่ 3 ใช้ข้อมูลภาคสนามสำหรับฝึกนิวรอลเน็ตเวิร์กจำนวน 100 ชุด และชุดข้อมูลภาคสนามสำหรับทดสอบนิวรอลเน็ตเวิร์กจำนวน 40 ชุด

สำหรับการทดสอบกรณีที่ 3 ตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ที่นิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบประมาณค่าได้ และค่าเป้าหมายของตำแหน่ง ถูกแสดงผลผ่านโปรแกรม ModelSim XE ได้ดังรูปที่ 35 36 37 และ 38

ประเภทสินค้า	ปีงบประมาณ 2548	ปีงบประมาณ 2549	ปีงบประมาณ 2550	ปีงบประมาณ 2551	ปีงบประมาณ 2552	ปีงบประมาณ 2553	ปีงบประมาณ 2554
1. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
2. อุปกรณ์เครื่องเขียน	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
3. อุปกรณ์การแพทย์	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
4. อุปกรณ์การช่าง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
5. อุปกรณ์การเกษตร	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
6. อุปกรณ์การขนส่ง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
7. อุปกรณ์การสื่อสาร	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
8. อุปกรณ์การก่อสร้าง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
9. อุปกรณ์การเกษตรกรรม	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
10. อุปกรณ์การประมง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000

รูปที่ 35 ผลการทดสอบครั้งที่ 3 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 1 ถึง 10)

ประเภทสินค้า	ปีงบประมาณ 2548	ปีงบประมาณ 2549	ปีงบประมาณ 2550	ปีงบประมาณ 2551	ปีงบประมาณ 2552	ปีงบประมาณ 2553	ปีงบประมาณ 2554
1. อุปกรณ์คอมพิวเตอร์	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
2. อุปกรณ์เครื่องเขียน	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
3. อุปกรณ์การแพทย์	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
4. อุปกรณ์การช่าง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
5. อุปกรณ์การเกษตร	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
6. อุปกรณ์การขนส่ง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
7. อุปกรณ์การสื่อสาร	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
8. อุปกรณ์การก่อสร้าง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
9. อุปกรณ์การเกษตรกรรม	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000
10. อุปกรณ์การประมง	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000	1,000,000

รูปที่ 36 ผลการทดสอบครั้งที่ 3 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 11 ถึง 20)

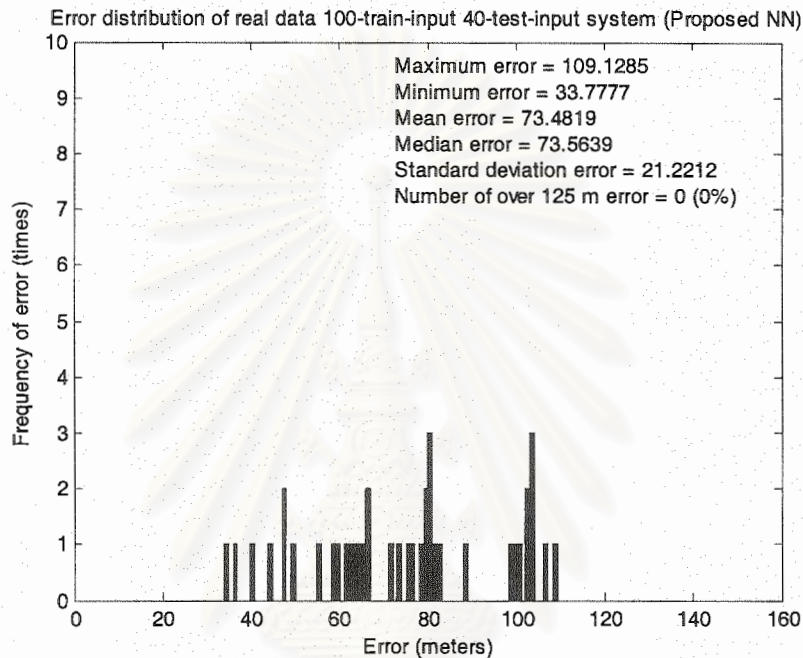
Account Name	Account No.	Balance	Account Name	Account No.	Balance
Account Name 1	10000000	10000000	Account Name 1	10000000	10000000
Account Name 2	20000000	20000000	Account Name 2	20000000	20000000
Account Name 3	30000000	30000000	Account Name 3	30000000	30000000
Account Name 4	40000000	40000000	Account Name 4	40000000	40000000
Account Name 5	50000000	50000000	Account Name 5	50000000	50000000
Account Name 6	60000000	60000000	Account Name 6	60000000	60000000
Account Name 7	70000000	70000000	Account Name 7	70000000	70000000
Account Name 8	80000000	80000000	Account Name 8	80000000	80000000
Account Name 9	90000000	90000000	Account Name 9	90000000	90000000
Account Name 10	100000000	100000000	Account Name 10	100000000	100000000

รูปที่ 37 ผลการทดสอบกรณีที่ 3 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 21 ถึง 30)

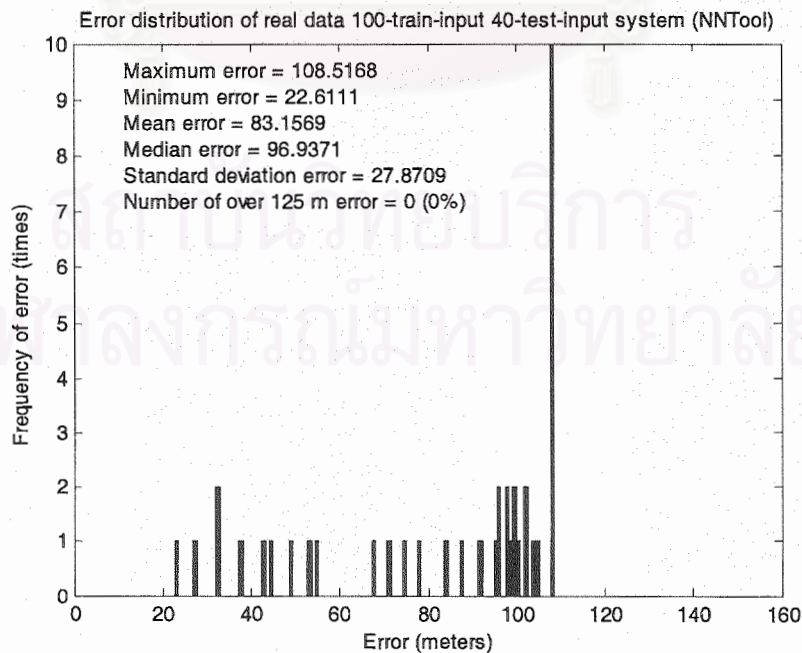
Account Name	Account No.	Balance	Account Name	Account No.	Balance
Account Name 1	10000000	10000000	Account Name 1	10000000	10000000
Account Name 2	20000000	20000000	Account Name 2	20000000	20000000
Account Name 3	30000000	30000000	Account Name 3	30000000	30000000
Account Name 4	40000000	40000000	Account Name 4	40000000	40000000
Account Name 5	50000000	50000000	Account Name 5	50000000	50000000
Account Name 6	60000000	60000000	Account Name 6	60000000	60000000
Account Name 7	70000000	70000000	Account Name 7	70000000	70000000
Account Name 8	80000000	80000000	Account Name 8	80000000	80000000
Account Name 9	90000000	90000000	Account Name 9	90000000	90000000
Account Name 10	100000000	100000000	Account Name 10	100000000	100000000

รูปที่ 38 ผลการทดสอบกรณีที่ 3 (ชุดข้อมูลทดสอบที่ 31 ถึง 40)

จากรูปที่ 35 36 37 และ 38 สามารถนำค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่มาแสดงได้ดังรูปที่ 39 โดยนิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 73.4819 เมตร ส่วนค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าโดยใช้ NNTool แสดงได้ดังรูปที่ 40 โดย NNTool ให้ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยเท่ากับ 83.1569 เมตร

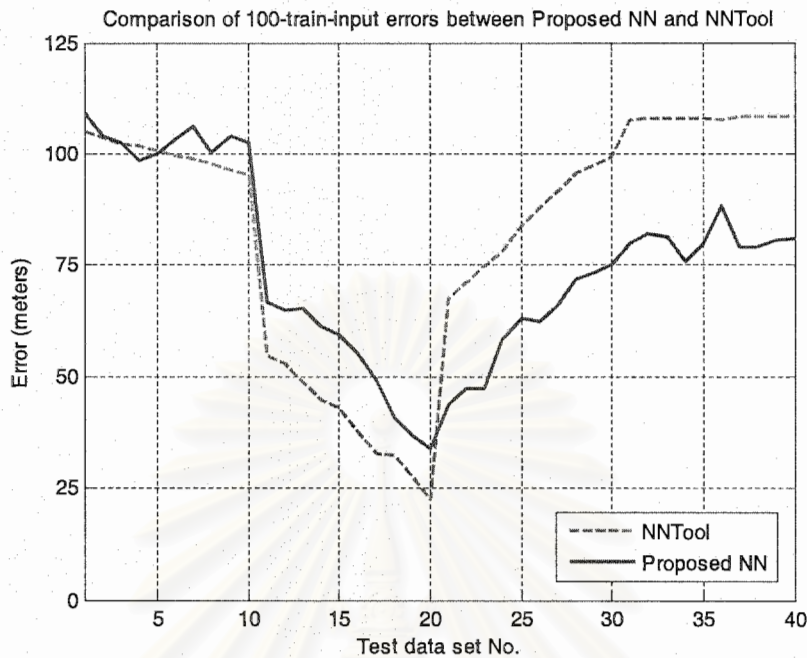


รูปที่ 39 ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าในกรณีที่ 3 โดยใช้นิวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบ



รูปที่ 40 ค่าความผิดพลาดของการประมาณค่าในกรณีที่ 3 โดยใช้ NNTool

ส่วนค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธี ในกรณีนี้สามารถแสดง ได้ดังรูปที่ 41



รูปที่ 41 ค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นของชุดข้อมูลทดสอบแต่ละชุดจากการประมาณค่าทั้ง 2 วิธี ของนิรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าโดยใช้ NNTool

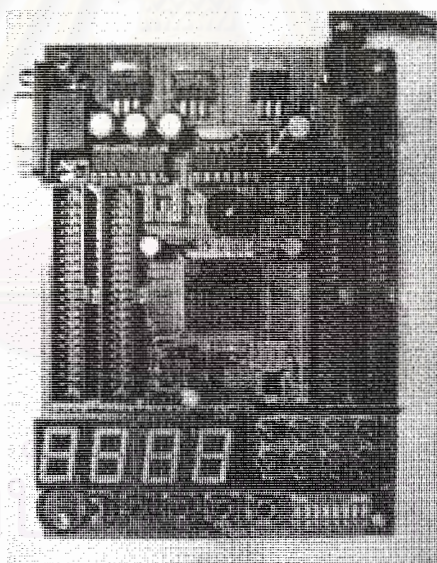
จากรูปที่ 39 40 และ 41 จะเห็นได้ว่าการประมาณค่าทั้ง 2 วิธี สามารถประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ใกล้เคียงกันเช่นกัน และมีค่าความผิดพลาดในการประมาณค่าน้อยกว่า 2 กรณีก่อนหน้านี้ เนื่องจากจำนวนชุดข้อมูลสำหรับฝึกนิรอลเน็ตเวิร์กที่มีมากกว่านั่นเอง

จากผลการทดสอบทั้ง 3 กรณี จะเห็นได้ว่านิรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบสามารถนำมาใช้ประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้ โดยมีความถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของ FCC และเมื่อเปรียบเทียบกับค่าประมาณค่าโดยใช้ NNTool ซึ่งเป็นเครื่องมือที่เป็นที่ยอมรับและมีความน่าเชื่อถือ นิรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบสามารถประมาณค่าได้อย่างใกล้เคียง

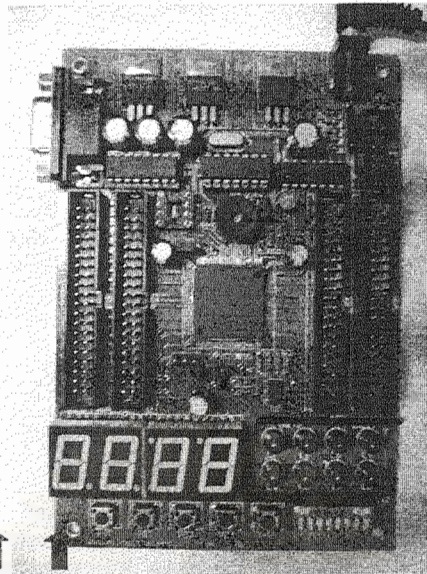
ผลการทดสอบอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่

การทดสอบหัวข้อนี้ เป็นการทดสอบความสามารถในการประมาณค่าของอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ โดยใช้ชุดข้อมูลภาคสนามในการทดสอบ ซึ่งอุปกรณ์ต้นแบบถูกสร้างขึ้นมานำร่องบางส่วนของนิรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบด้วยภาษาวีเอชดีแอลมาควันท์โพลดลงบอร์ดเอพไฟจีเอรูน Discovery XC3S200 ของบริษัท เอเพค อินสตรูเมนต์ จำกัด ทั้งนี้เนื่องจากข้อจำกัดทางด้านฮาร์ดแวร์ ดังที่ได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.3.2 จึงไม่สามารถดาวน์โหลดลงบนบอร์ดได้

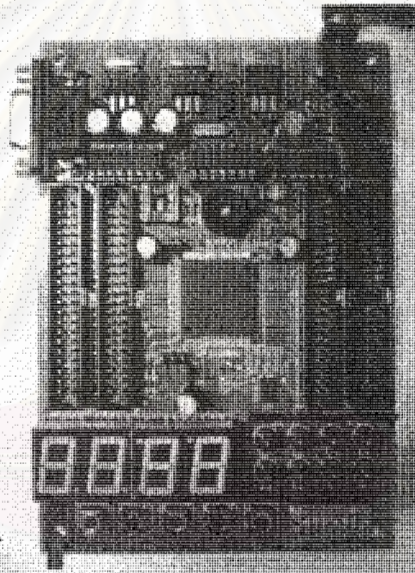
ก่อนเริ่มต้นการประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ควรกดปุ่ม rst ทุกครั้ง และเมื่อกดปุ่ม rst อุปกรณ์ต้นแบบจะแสดงค่า "0000" ดังแสดงในรูปที่ 42 ในช่วงเริ่มต้น สวิตช์ lat_sel และ int_sel ทั้งสอง สวิตช์ จะถูกตั้งไว้ที่ตำแหน่ง ON ดังนั้นเมื่อกดปุ่ม start เพื่อเริ่มต้นการประมาณค่า อุปกรณ์ต้นแบบจะ แสดงค่าจำนวนเต็มของตำแหน่งละติจูด ได้แก่ "0018" ดังแสดงในรูปที่ 43 และเมื่อต้องการตรวจสอบค่า ทศนิยมของตำแหน่งละติจูด สามารถทำได้โดยเลื่อนสวิตช์ int_sel ไปที่ตำแหน่ง OFF อุปกรณ์ต้นแบบจะ แสดงค่าทศนิยมของตำแหน่งละติจูด ได้แก่ "7870" ดังแสดงในรูปที่ 44 เมื่อต้องการตรวจสอบค่าจำนวน เต็มของตำแหน่งลองจิจูด สามารถทำได้โดยเลื่อนสวิตช์ int_sel กลับไปที่ตำแหน่ง ON และเลื่อนสวิตช์ lat_sel ไปที่ตำแหน่ง OFF อุปกรณ์ต้นแบบจะแสดงค่าจำนวนเต็มของตำแหน่งลองจิจูด ได้แก่ "0098" ดัง แสดงในรูปที่ 45 และเมื่อต้องการตรวจสอบค่าทศนิยมของตำแหน่งลองจิจูด สามารถทำได้โดยเลื่อนสวิตช์ int_sel ไปที่ตำแหน่ง OFF อีกครั้ง อุปกรณ์ต้นแบบจะแสดงค่าทศนิยมของตำแหน่งลองจิจูด ได้แก่ "9869" ดังแสดงในรูปที่ 46 นั่นคืออุปกรณ์ต้นแบบได้ประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่อยู่ที่ตำแหน่งละติจูด 18.787 องศาเหนือ และลองจิจูด 98.9869 องศาตะวันออก โดยที่ค่าเป้าหมายในการทดสอบครั้งนี้อยู่ที่ ละติจูด 18.787 องศาเหนือ และลองจิจูด 98.987 องศาตะวันออก



รูปที่ 42 การแสดงผลเมื่อกดปุ่ม rst

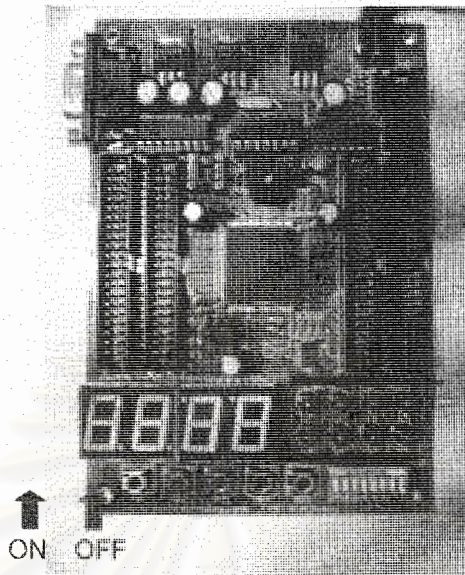


ON ON
รูปที่ 43 การแสดงผลค่าจำนวนเต็มของตำแหน่งละจุด

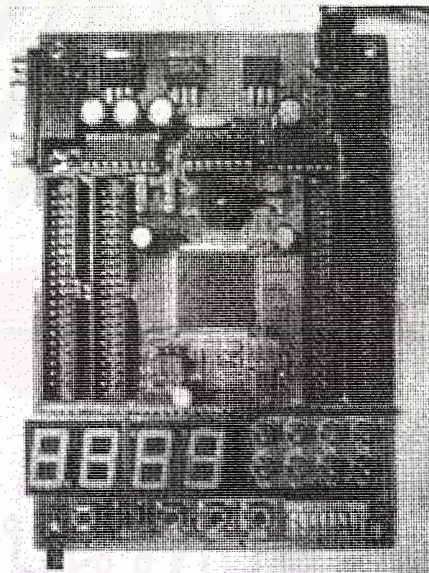


OFF ON
รูปที่ 45 การแสดงผลค่าจำนวนเต็มของตำแหน่งลงจุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 44 การแสดงผลค่าจำนวนทศนิยมของตำแหน่งละติจูด



รูปที่ 46 การแสดงผลค่าจำนวนทศนิยมของตำแหน่งลองจิจูด

จากผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า นิเวรอลเน็ตเวิร์กที่ออกแบบโดยใช้ภาษาวีเอชดีแอลสามารถนำมาพัฒนาเป็นอุปกรณ์ต้นแบบเพื่อประมาณค่าตำแหน่งของสถานีเคลื่อนที่ได้จริง และสามารถประมาณค่าได้ถูกต้องตรงตามข้อกำหนดของ FCC อย่างไรก็ตาม เนื่องจากอุปกรณ์ต้นแบบที่ได้ทดลองสร้างขึ้นนั้น เป็นเพียงส่วนหนึ่งของนิเวรอลเน็ตเวิร์กทั้งหมดที่ออกแบบ จึงยังไม่สามารถทำงานได้อย่างสมบูรณ์ จึงต้องอาศัยเวลาในการพัฒนาประสิทธิภาพต่อไปในอนาคต