

การวิเคราะห์และทำนายสภาพคล่องการจราจรด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยอัตโนมัติไม่เป็นเชิงเส้นร่วมกับข้อมูลอินพุตภายนอก

Traffic Flow Analytics and Prediction using Nonlinear Autoregressive Network with Exogenous Inputs Technique

พีรพล พุทธรเวชมงคล^{#1} วิมล แสนอ้อม^{*2} ชฎาพร เกตุมณี^{*}

[#]หลักสูตรปริญญาโทสาขาเทคโนโลยีวิศวกรรม

^{*}หลักสูตรปริญญาโทสาขาวิศวกรรมดิจิทัล

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น 1771/1 ถนนพัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพมหานคร 10250

¹phpeerapol_st@tni.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการวิเคราะห์และการทำนายสภาพคล่องการจราจรด้วยเทคนิคโครงข่ายประสาทเทียมแบบถดถอยอัตโนมัติไม่เป็นเชิงเส้นร่วมกับข้อมูลอินพุตภายนอก (NARX) โดยมีการแบ่งการกำหนดค่าในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกการกำหนดค่าดีเลย์เท่ากับ 2 และส่วนที่สองค่าดีเลย์เท่ากับ 4 เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์และหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการนำไปสร้างแบบจำลอง NARX โดยอาศัยการใช้ข้อมูลจำลองที่สร้างมาจากสมการแม็กกัสมีความผันผวนเหมือนสภาพคล่องการจราจร จำนวน 1000 ชุดข้อมูล และนำข้อมูลมาวิเคราะห์หาผลลัพธ์ด้วยแบบจำลอง NARX โดยสามารถนำไปพัฒนาต่อในการทำแอปพลิเคชันหรือเว็บแอปพลิเคชันที่ครอบคลุมพื้นที่ใช้งานในกรุงเทพมหานครได้ต่อไปในอนาคต

คำสำคัญ: การวิเคราะห์, การทำนาย, สภาพคล่องการจราจร, NARX, สมการแม็กกัส

ABSTRACT

This paper proposes the traffic flow analytics and prediction using nonlinear autoregressive network with exogenous inputs technique (NARX). The learning of neural network is divided into 2 configuration parts. The configuration delays are 2 and 4 to compare the results and find optimal configuration value for create NARX model using the simulate data. The chaotic simulate data set are generate by Mackey glass equation. Then analyze data set using NARX model. This able to developed to application or web application used in Bangkok.

Keywords: Analytics, Prediction, Traffic Flow, Mackey Glass Equation, NARX

1) ที่มาและความสำคัญ

เมื่อปี พ.ศ. 2559 ที่ผ่านมาจากผลสำรวจสภาพการจราจรกรุงเทพมหานครเป็นอันดับที่ 1 ที่มีการจราจรติดขัดที่สุดในโลก[1] แต่วิถีชีวิตในกรุงเทพมหานครกลับมีความเร่งรีบในการเดินทางเป็นอย่างมาก อีกทั้งปัญหาสภาพการจราจรภายในกรุงเทพมหานครที่ยังไม่ได้รับการแก้ไขมาเป็นเวลานาน ทำให้ผู้คนเริ่มหันมาหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรหนาแน่น แต่ทว่าก็ไม่สามารถคาดการณ์ได้อย่างถูกต้องเสมอไป แม้จะใช้แอปพลิเคชันที่มีในปัจจุบันเพื่อดูข้อมูลการจราจร ณ เวลานั้นๆ เนื่องจากแอปพลิเคชันยังไม่สามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ได้อย่างแม่นยำที่ตอบสนองความพึงพอใจของผู้ใช้ประกอบกับตัวแอปพลิเคชันยังไม่สามารถทำนายผลการจราจรล่วงหน้าได้ ทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดที่จะริเริ่มในการทำระบบวิเคราะห์สภาพคล่องการจราจรที่มีความแม่นยำขึ้นและการทำนายผลสภาพคล่องการจราจรโดยการนำ NARX (Nonlinear Autoregressive Network with Exogenous) มาช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของกระบวนการวิเคราะห์สภาพคล่องการจราจร เพื่อให้คนที่ใช้ชีวิตในเมืองหลวงสามารถรู้ล่วงหน้าถึงสภาพการจราจรและวางแผนการเดินทาง หรือหลีกเลี่ยงเส้นทางที่แออัดได้อย่างถูกต้อง

งานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทำนายสภาพคล่องการจราจรด้วยการกำหนดค่าในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมที่ต่างกันออกไป เพื่อเปรียบเทียบและหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการสร้างแบบจำลอง NARX โดยจำลองข้อมูลสภาพการจราจรขึ้นมาจากสมการแม็กกัสที่มีความใกล้เคียงกัน เพื่อนำไปใช้ในการทำแอปพลิเคชันหรือเว็บแอปพลิเคชันต่อไปในอนาคต

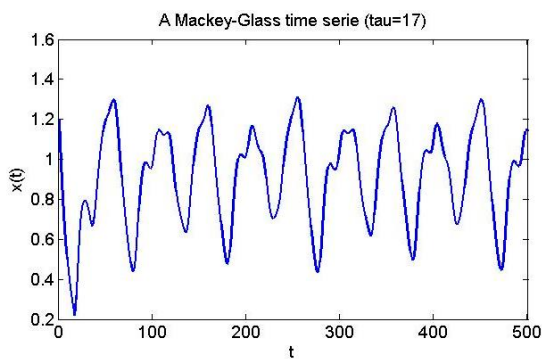
2) ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1) สมการแม็กกัส (Mackey Glass Equation)

สมการแม็กกัสเป็นสมการดิฟเฟอเรนเชียลที่ไม่เป็นเชิงเส้น โดยมีค่าหน่วยเวลา สมการแม็กกัสจะแสดงช่วงของเวลาและ

สัญญาณอลวนซึ่งเหมาะแก่การนำมาใช้ในการจำลองข้อมูลที่มีความผันผวน ไม่เป็นเชิงเส้น [2] ดังรูปที่ 1 โดยในงานวิจัยครั้งนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลสภาพการจราจรของกรุงเทพมหานครซึ่งเป็นข้อมูลแบบอนุกรมเวลา (Time series) ที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น การจำลองการจราจรในช่วงเวลาใดๆ (t) ที่มีค่าหนึ่งเวลา (r) โดยให้มีพีเพอร์ที่เกี่ยวข้องกับเวลาเพื่อให้มีลักษณะใกล้เคียงกับข้อมูลจริง เช่น เทรนด์ ความแปรผันตามฤดูกาล วัฏจักร เป็นต้น สามารถทำได้โดยใช้สมการแม็กกัสดังสมการที่ 1

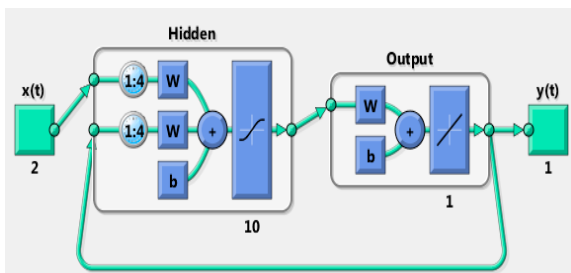
$$\frac{dx(t)}{dt} = \frac{ax(t-r)}{1+(x-r)^{10}} - bx(t) \quad (1)$$



รูปที่ 1: ตัวอย่างข้อมูลที่ใช้สร้างจากสมการแม็กกัส

2.2) แบบจำลอง NARX

โครงข่ายประสาทเทียมเป็นโมเดลทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการประมวลผลสารสนเทศด้วยการคำนวณด้วยเทคนิคคอนเนชันนิสต์ (Connectionist) ที่เลียนแบบมาจากสมองของมนุษย์ ส่วน NARX เป็นโครงข่ายประสาทเทียมชนิดหนึ่งที่ใช้ข้อมูลเชิงเวลาโดยอาศัยข้อมูลอินพุตภายนอกในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียมซึ่งสามารถป้อนกลับข้อมูลที่ได้เพิ่มความแม่นยำในการเรียนรู้ของโครงข่ายประสาทเทียม และสามารถทำนายข้อมูลในอนาคตได้อย่างแม่นยำ



รูปที่ 2: โครงสร้าง NARX แบบ Closed Loop

2.3) งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

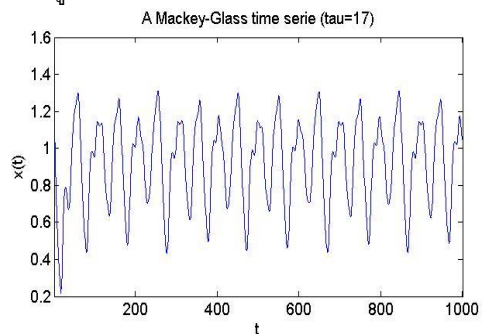
NARX เป็นเทคนิคที่มีประโยชน์ในการคาดการณ์ข้อมูล [3] จึงมีงานวิจัยที่นำ NARX ไปประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ทั้งด้านการคมนาคม ด้านพลังงาน ด้านสิ่งแวดล้อม รวมถึงด้านเศรษฐศาสตร์และด้านอื่นๆ งานวิจัยทางด้านคมนาคมของคุณ Lejla Banjanović-Mehmedović และคณะ [4] ได้นำ NARX ไปพัฒนาระบบการขนส่ง

อัจฉริยะที่ช่วยเพิ่มความคล่องตัวของจราจร ผลจากการนำ NARX ไปใช้กับระบบทำให้ระบบมีความแม่นยำที่สูงขึ้น ด้านเศรษฐศาสตร์ คุณ Anita Thakur [5] และคณะ ได้นำ NARX ไปใช้กับการคาดการณ์ราคาน้ำมันเพื่อกำหนดการผลิตให้ตรงกับความต้องการของผู้บริโภคได้อย่างเหมาะสม ด้านพลังงานมีการนำไปประยุกต์ใช้ในหลายงานวิจัย เช่น คุณ Lidong Zhang และคณะ [6] ได้นำ NARX ในการทำนายการใช้พลังงานของกังหันลมแนวแกนนอนได้อย่างแม่นยำ หรือ คุณ A.G.R. Vaz และคณะ [7] ได้ใช้ NARX ในการประเมินผลของระบบพลังงานแสงอาทิตย์ของเมืองยูเทรกซ์และบริเวณใกล้เคียงเพื่อผลิตให้เพียงพอแก่การใช้งานและสามารถทำนายผลการใช้งานล่วงหน้าได้มากกว่า 15 นาที อีกทั้งงานวิจัยของคุณ Yang Chunshan และ Li Xiaofeng [8] ที่ศึกษาเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของเหมืองข้อมูลกับการใช้ NARX ในการทำนายการใช้ไฟฟ้าของจีน ทำให้สามารถแบ่งแยกประเภทข้อมูลที่เป็นปัจจัยสำคัญต่อการทำนายอย่างชัดเจนและทำนายผลลัพธ์ได้อย่างแม่นยำยิ่งขึ้น แต่อย่างไรก็ตามการจะนำ NARX ไปใช้ต้องมีข้อมูลอินพุตที่ถูกต้องและการกำหนดค่าน้ำหนักที่เหมาะสม

3) วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1) สร้างข้อมูลจำลอง

ใช้สมการแม็กกัสในการสร้างข้อมูลจำลอง เพื่อใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม โดยใช้สมการที่ (1) ในการสร้างข้อมูลจำลองด้วยวิธี 4th-Order Runge-Kutta ด้วยการกำหนดค่า Step Size เท่ากับ 1 และ τ เท่ากับ 17 ข้อมูลที่จำลองมีจำนวนทั้งหมด 1000 ชุด ค่าเริ่มต้นเท่ากับ 1.2 ผลลัพธ์ที่ได้การจำลองข้อมูลจากสมการแม็กกัสแสดงดังรูปที่ 3

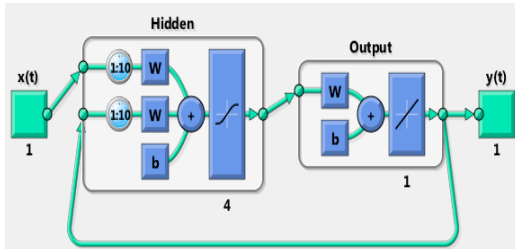


รูปที่ 3: ข้อมูลจำลอง 1000 ชุด ที่ได้จากสมการแม็กกัส

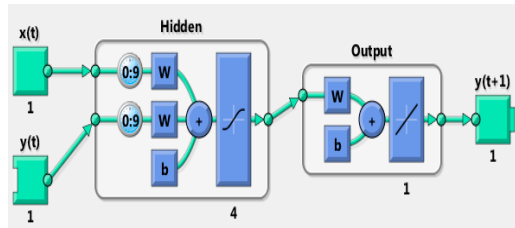
3.2) ฝึกสอนแบบจำลอง NARX

การฝึกสอนแบบจำลอง NARX จะเกี่ยวกับในการกำหนดค่าน้ำหนักที่เหมาะสม (Weights) รวมถึงโครงข่ายประสาทเทียมที่มีค่าชั้นแฝง (Number of Hidden Neurons) อินพุต (Input) และดีเลย์ (Number of Delays) เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ในงานวิจัยนี้นำข้อมูลจำลองที่ได้ที่จากสมการแม็กกัสมาป้อนให้กับแบบจำลอง NARX ผ่านโปรแกรม MATLAB ด้วยชุดคำสั่งของ Neural Network Time Series Tool โดยแบ่งข้อมูลจำลองออกเป็น 3 ชุด ชุดแรกใช้ในการฝึกสอนโครงข่ายประสาทเทียม (Training) จำนวน 70 เปอร์เซนต์ ชุดที่สองใช้ในการตรวจสอบ (Validation) จำนวน 15 เปอร์เซนต์ ชุดที่

สามใช้ในการทดสอบผล (Testing) จำนวน 15 เปอร์เซ็นต์ โครงสร้างแบบจำลอง NARX ที่จะเป็นดังรูปที่ 4 และ 5



รูปที่ 4: โครงสร้างของแบบจำลอง NARX แบบ Close Loop



รูปที่ 5: โครงสร้างของแบบจำลอง NARX แบบ Predict 1 Step Ahead

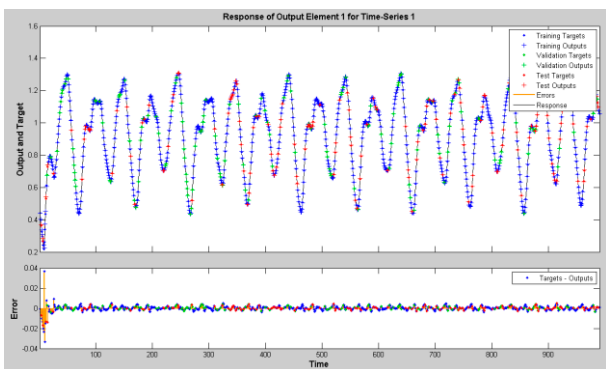
ในการทดลองครั้งนี้ ค่าผิดพลาดเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Square Error : MSE) ถูกนำมาใช้ในการประเมินค่าความแม่นยำในการทำนายของแบบจำลอง NARX ดังสมการที่ (2)

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left(\frac{y(i) - y_i}{y(i)} \right)^2 \quad (2)$$

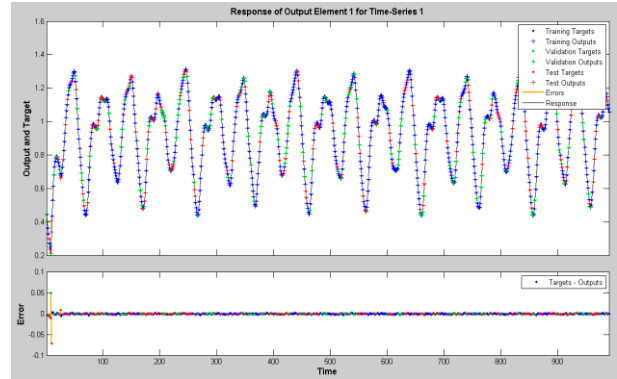
4) ผลการวิจัย

แบบจำลอง NARX ถูกออกแบบให้มีค่าชั้นแฝงเท่ากับ 10 ส่วน การวิเคราะห์เพื่อหาค่าความแม่นยำในการทำนายของแบบจำลองนี้จะขึ้นอยู่กับ การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์หรือดีเลย์ การทำลงแบบจำลองจะถูกแบ่งเป็น 2 กลุ่มตามค่าดีเลย์ซึ่งเท่ากับ 2 และ 4 ตามลำดับ

4.1) ผลลัพธ์ของการทำนายของแบบจำลอง NARX ที่ค่าดีเลย์เท่ากับ 2 และ 4 แสดงในรูปที่ 6 ก) และ ข) ตามลำดับ



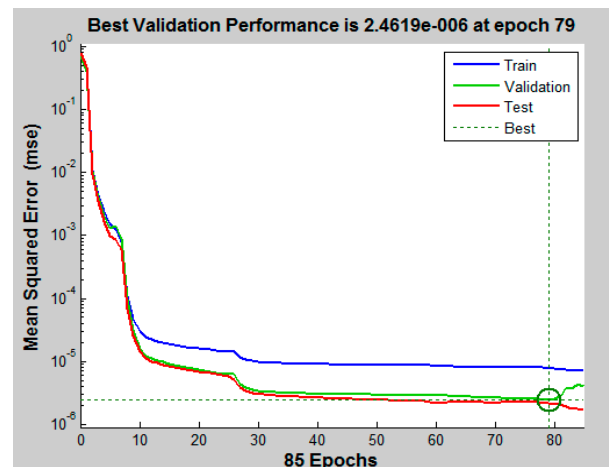
ก) กราฟแสดงการทำนายโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 2



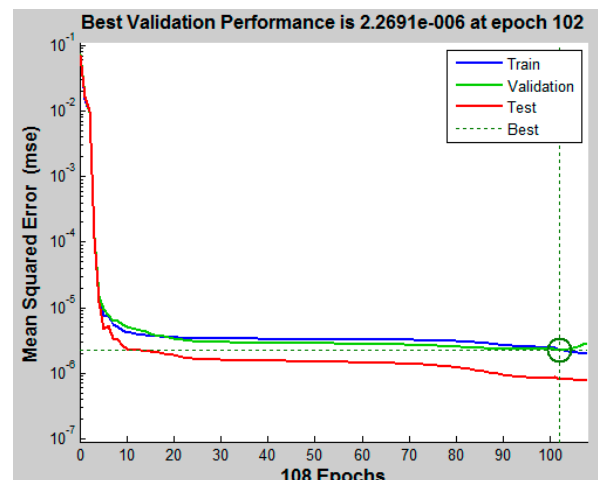
ข) กราฟแสดงการทำนายโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 4

รูปที่ 6: ผลลัพธ์เชิงเวลาข้อมูลของแบบจำลอง NARX

4.2) ค่าความแม่นยำในการทำนายของแบบจำลองด้วย MSE ของแบบจำลองทั้ง 3 ชุด ที่มีค่าดีเลย์เท่ากับ 2 และ 4 แสดงดังรูปที่ 7



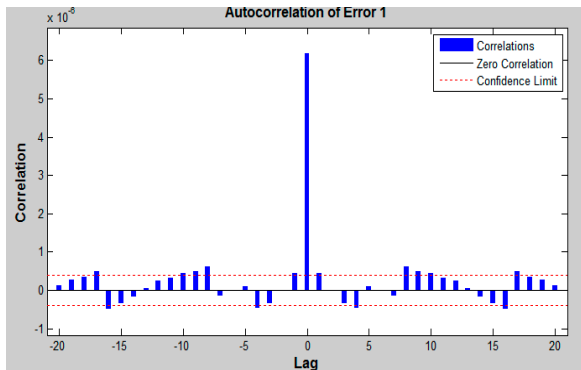
ก) กราฟแสดงความแม่นยำการทำนายโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 2



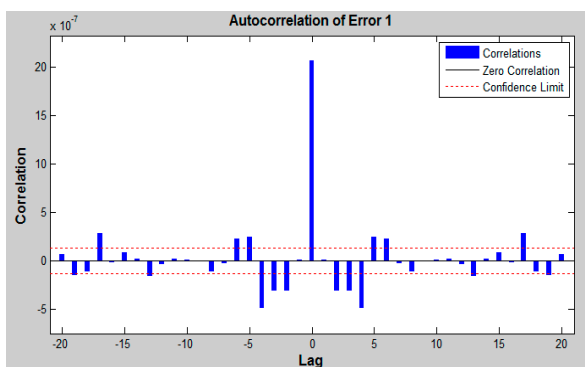
ข) กราฟแสดงความแม่นยำการทำนายโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 4

รูปที่ 7: ผลลัพธ์ความแม่นยำของแบบจำลอง NARX

4.3) ค่าความผิดพลาดของค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลของแบบจำลอง NARX ที่ค่าดีเลย์เท่ากับ 2 และ 4 แสดงในรูปที่ 8



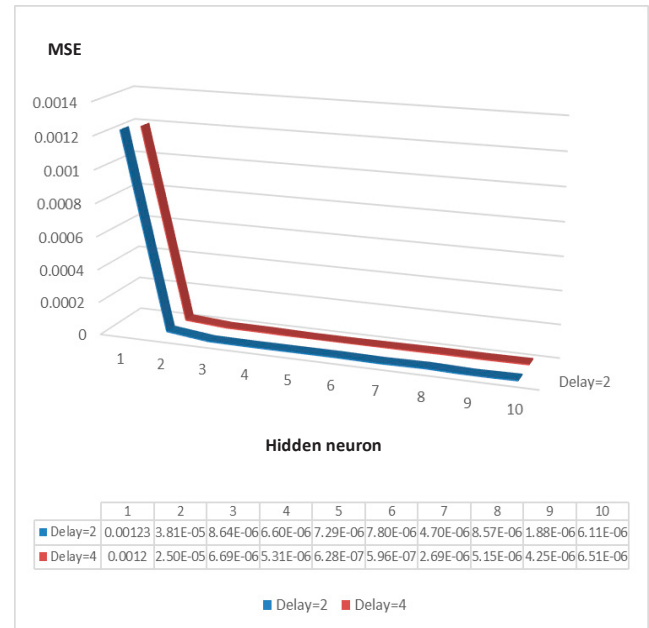
ก) ความผิดพลาดของค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 2



ข) ความผิดพลาดของค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 4
รูปที่ 8: ความผิดพลาดของค่าสหสัมพันธ์ของข้อมูลของแบบจำลอง NARX

การออกแบบจำลองโครงข่ายประสาทเทียม NARX เพื่อวิเคราะห์หาค่าน้ำหนักที่มีผลให้แบบจำลองคาดการณ์ได้แม่นยำมากที่สุดสามารถทำได้โดยการปรับเปลี่ยนค่าดีเลย์และค่าชั้นแฝง[9] จากผลการทดลองที่ 4.1 ถึง 4.3 แบบจำลองถูกออกแบบให้มีค่าชั้นแฝงเท่ากันหมดคือ 10 การออกแบบการทดลองในครั้งนี้เน้นการศึกษาความสำคัญของค่าดีเลย์ที่มีผลต่อการทำนายโดยแบ่งเป็น 2 กลุ่มได้แก่ ค่าดีเลย์เท่ากับ 2 และ 4 จากผลการทดลองพิจารณาจากรูปที่ 6 7 และ 8 ค่าดีเลย์เท่ากับ 4 ส่งผลให้แบบจำลองทำนายได้แม่นยำกว่าค่าดีเลย์เท่ากับ 2 เมื่อพิจารณาจากค่า MSE ซึ่งเป็นการเปรียบเทียบผลของการทำนายเทียบกับค่าจริง โดยแบบจำลองที่มีค่าดีเลย์เท่ากับ 2 ให้ค่าการตรวจสอบที่ดีที่สุดที่รอบ 79 จากจำนวน 85 รอบ โดยมีค่า MSE เท่ากับ 2.4619×10^{-6} ในขณะที่แบบจำลองที่มีค่าดีเลย์เท่ากับ 4 ให้ผลการทำนายที่ดีที่สุดในรอบที่ 102 จากทั้งหมด 108 รอบ ซึ่งมีค่า MSE เท่ากับ 2.2691×10^{-6}

นอกเหนือจากการออกแบบการทดลองที่เน้นการวิเคราะห์ค่าดีเลย์อย่างเดียวแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้ออกแบบการทดลองที่วิเคราะห์แบบจำลองโดยใช้ตัวแปรทั้งค่าชั้นแฝงและค่าดีเลย์ดังตารางที่ 1 โดยค่าชั้นแฝงมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่ 1 ถึง 10 ที่ค่าดีเลย์ 2 และ 4 ตามลำดับ โดยค่าความแม่นยำของแต่ละแบบจำลอง NARX ประเมินโดยค่า MSE ดังกราฟเปรียบเทียบในรูปที่ 9



รูปที่ 9: กราฟแสดงความแม่นยำการทำนายโดยใช้ดีเลย์เท่ากับ 2 และ 4 โดยค่าชั้นแฝงของแบบจำลองมีการเปลี่ยนแปลงจาก 1 ถึง 10 ชั้น

ตารางที่ 1: สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลด้วย NARX

Number of Delays	Number of Hidden Neurons	MSE
2	1	0.00123
	2	3.81e-05
	3	8.64e-06
	4	6.60e-06
	5	7.29e-06
	6	7.80e-06
	7	4.70e-06
	8	8.57e-06
	9	1.88e-06
	10	6.11e-06
4	1	0.0012
	2	2.50e-05
	3	6.69e-06
	4	5.31e-06
	5	6.28e-07
	6	5.96e-07
	7	2.69e-06
	8	5.15e-06
	9	4.25e-06
	10	6.51e-06

5) สรุปผล

การนำโครงข่ายประสาทเทียมแบบ NARX มาใช้ในการวิเคราะห์และทำนายผลการจราจรจากข้อมูลจำลอง พบว่าค่าดีเลย์และค่าชั้นแฝงของโครงข่ายประสาทเทียมมีผลต่อความแม่นยำในการทำนายข้อมูลล่วงหน้า

ในอนาคตพัฒนาแบบจำลอง NARX ให้มีความแม่นยำมากขึ้นและนำไปพัฒนาต่อเป็นระบบ ทำเป็นแอปพลิเคชันบนมือถือ เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการจราจรที่หนาแน่นได้ต่อไปในอนาคต

เอกสารอ้างอิง

- [1] "INRIX 2016 Global Traffic Scorecard," INRIX. [Online]. Available: <http://inrix.com/resources/inrix-2016-global-traffic-scorecard/>. [Accessed: 23-Mar-2017]
- [2] J. D. Farmer and J. J. Sidorowich, "Predicting chaotic time series," *Physical review letters*, vol. 59, no. 8, pp. 845–848, Aug. 1987.
- [3] E. Diaconescu, "The Use of NARX Neural Networks to Predict Chaotic Time Series," *WSEAS Transactions on computer research*, vol. 3, no. 3, pp. 182–191, Mar. 2008.
- [4] L. Banjanović-Mehmedović, I. Butigan, M. Kantardžić, and S. Kasapović, "Prediction of cooperative platooning maneuvers using NARX neural network," in *2016 International Conference on Smart Systems and Technologies (SST)*, 2016, pp. 287–292.
- [5] A. Thakur, A. Tiwari, S. Kumar, A. Jain, and J. Singh, "NARX based forecasting of petrol prices," in *2016 5th International Conference on Reliability, Infocom Technologies and Optimization (Trends and Future Directions) (ICRITO)*, 2016, pp. 610–614.
- [6] L. Zhang *et al.*, "NARX models for predicting power consumption of a horizontal axis wind turbine," in *2016 UKACC 11th International Conference on Control (CONTROL)*, 2016, pp. 1–5.
- [7] A. G. R. Vaz, B. Elsinga, W. G. J. H. M. van Sark, and M. C. Brito, "An artificial neural network to assess the impact of neighbouring photovoltaic systems in power forecasting in Utrecht, the Netherlands," *Renewable Energy*, vol. 85, pp. 631–641, Jan. 2016.
- [8] Y. Chunshan and L. Xiaofeng, "Study and application of data mining and NARX neural networks in load forecasting," in *2015 4th International Conference on Computer Science and Network Technology (ICCSNT)*, 2015, vol. 01, pp. 360–364.
- [9] S.-Y. Yun, S. Namkoong, J.-H. Rho, S.-W. Shin, and J.-U. Choi, "A Performance evaluation of neural network models in traffic volume forecasting," *Mathematical and Computer Modelling*, vol. 27, no. 9-11, pp. 293–310, May 1998.