



DEVELOPMENT OF LOAD MODELING BY USING MULTI-AGENT SYSTEMS
WITH KALMAN FILTER

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

การพัฒนาแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ตัวกรองคาลมาน
DEVELOPMENT OF LOAD MODELING BY USING MULTI-AGENT SYSTEMS
WITH KALMAN FILTER

ชัยวัฒน์ ลือใจ¹ ชัยยุทธ์ สัมภาวะคุปต์² และธนัตชัย กุลวรวานิชพงษ์¹

¹สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

²ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

บทคัดย่อ

บทความนี้ได้นำเสนอการศึกษาและพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหลดด้วยระบบมัลติเอเจนต์ โดยใช้ข้อมูลการวัดจากสถานีไฟฟ้าย่อยมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี เพื่อนำมาสร้างแบบจำลองโหลดที่สามารถแทนลักษณะของโหลดในเวลาต่าง ๆ โดยแบบจำลองโหลดในงานบทความนี้ได้เลือกใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิตที่เรียกว่าแบบจำลองโหลด ZIP ซึ่งง่ายต่อการคำนวณและไม่ยุ่งยากในการสร้างแบบจำลองแต่ยังให้ประสิทธิภาพที่ดี และได้ใช้ตัวกรองคาลมานเพื่อลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้นในระบบและผลกระทบจากความคลาดเคลื่อนของเครื่องมือวัด ซึ่งผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวกรองคาลมานลดผลกระทบอันเนื่องมาจากสัญญาณรบกวนได้ดีและยังไม่กระทบกับลักษณะของโหลดอีกด้วย โดยกระบวนการตั้งแต่การลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองไปจนถึงการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดนั้นได้ออกแบบให้ทำงานอย่างเป็นระบบด้วยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์ จากคุณสมบัติของเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์นี้สามารถทำงานได้อย่างอัตโนมัติและไม่จำเป็นต้องมีผู้ปฏิบัติการทำงานอยู่ตลอดเวลา ในบทความนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาการสร้างแบบจำลองโหลดให้สามารถแสดงพฤติกรรมของโหลดได้ถูกต้อง ด้วยการอาศัยเทคโนโลยีมัลติเอเจนต์และใช้ตัวกรองคาลมานในการลดสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัด

คำสำคัญ: แบบจำลองโหลด, ตัวกรองคาลมาน, ระบบมัลติเอเจนต์, JADE

ABSTRACT

This paper presents a study and development of load modeling by using multi-agent technology with measurement data from Suranaree University of Technology substation for making time-dependent load model. The load model is the static load model called ZIP-model (constant impedance, constant current and constant power model), which is easy to compute model parameters and also to provide good performance. In addition, error or noise from measurement devices is inevitable, thus a filter is a tool for reducing the effects caused by noise disturbance occurred in the system or by measuring devices. Comparing of effectiveness between the Kalman filter and the single moving average filter (SMA) shows that the Kalman filter can better reduce the effects caused by system and measurement noises and there is no effect on the characteristics of the load. The process to reduce the effect of noises by using a filter before calculating the load model is designed to perform on multi-agent systems. This paper used JADE as a tool to create and control the operation of the agent. JADE is the Java language that can work on all operating system that Java can be operated. The use of agent technology leads to automatic



operations and requires no operator to monitor the system all the times. The objective of this research is to develop accurate load modeling with Kalman filter to reduce noises incorporating with multi-agent technology to implement the system operation automatically.

KEYWORDS: Load Modeling, Kalman Filter, Multi-agent system, JADE

1. บทนำ

การจำลองผลระบบ (System Simulation) ถือว่าเป็นเครื่องมือในการวิเคราะห์ วิจัยที่สำคัญสำหรับการวางแผนและการปฏิบัติการควบคุมในระบบไฟฟ้ากำลังที่มีขนาดใหญ่มาก ๆ ตัวอย่างเช่น การจำลองเพื่อวิเคราะห์เสถียรภาพของระบบไฟฟ้ากำลัง [1] หรือในการจำลองการไหลในสายส่ง [2] เป็นต้น แบบจำลองโหลดก็ถือเป็นส่วนสำคัญมากในการจำลองผล เนื่องจากแบบจำลองโหลดแต่ละแบบก็จะให้ผลการจำลองที่แตกต่างกัน ซึ่งจะมีผลอย่างมากและสำคัญต่อผลลัพธ์ของการจำลองผล และจากงานวิจัยหลายชิ้นที่ผ่านมาได้มีการพัฒนาการหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดโดยได้นำระเบียบวิธีต่าง ๆ มาใช้ เช่น Genetic Algorithm[3], Neural Network[4], Nonlinear Least-Square [5] เป็นต้น นอกจากนั้นยังลดความยุ่งยากในการคำนวณแบบจำลองโหลดโดยการลดพารามิเตอร์ของแบบจำลองลง [6],[7] แต่หากเป็นการวิเคราะห์ระบบไฟฟ้ากำลังขนาดใหญ่ ๆ ความเป็นพลวัตจะไม่มีผลมากกับระบบที่ใหญ่ ๆ จึงเพียงพอที่จะใช้แบบจำลองโหลดแบบสถิต (Static Load) [8]

และเนื่องจากแนวโน้มในปัจจุบัน การควบคุมและการวางแผนปฏิบัติการในระบบไฟฟ้ากำลัง มีแนวโน้มเป็นการควบคุมและวางแผนโดยอัตโนมัติ การจำลองผลรวมไปถึงการสร้างแบบจำลองโหลดจึงควรสร้างขึ้นเองโดยอัตโนมัติจากค่าข้อมูลจากการวัดในภาคสนาม โดยมีการประยุกต์นำเทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์เข้ามาเป็นเครื่องมือช่วยในการสร้างแบบจำลองโหลดที่ต้องทำการตรวจวัดอยู่ตลอดเวลา

2. แบบจำลองโหลด

การสร้างแบบจำลองโหลด คือ การแทนโหลดด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับค่าแรงดัน และ/หรือ ความถี่ที่วัดได้ที่บัส และค่ากำลังที่โหลดผลาญไปในรูปของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ

2.1 แบบจำลอง ZIP หรือแบบจำลองพหุนาม (ZIP Model or Polynomial Model)

แบบจำลองค่าคงที่ของกระแส กำลังไฟฟ้า และอิมพีแดนซ์ นั้นรู้จักในชื่อแบบจำลองแบบ ZIP (ZIP model) ซึ่งเป็นหนึ่งในแบบจำลองที่สำคัญและเหมาะสม โดยแบบจำลองนี้สร้างขึ้นในรูปแบบของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ ซึ่งในบทความนี้ไม่คิดการเปลี่ยนแปลงของความถี่ จึงได้สมการของแบบจำลองดังแสดงในสมการที่ (1) และ (2)

$$P = P_0 \left[Z_p \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_p \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_p \right] \quad \text{เมื่อ } Z_p + I_p + P_p = 1 \quad (1)$$

$$P = P_0 \left[Z_q \left(\frac{V}{V_0} \right)^2 + I_q \left(\frac{V}{V_0} \right) + P_q \right] \quad \text{เมื่อ } Z_q + I_q + P_q = 1 \quad (2)$$

โดยที่ P_0 , Q_0 , V_0 คือ ค่าพิกัดของโหลดกำลังไฟฟ้าแอกทีฟ โหลดกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟ และแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ และ Z_p , I_p , P_p , Z_q , I_q และ P_q คือ สัมประสิทธิ์ของแบบจำลองโหลด

หรือเพื่อความง่ายในการนำไปใช้งาน จากความสัมพันธ์ในสมการที่ (1) และ (2) สมมติว่าค่า P , Q และ V เป็นค่าต่อหน่วย (per unit) ดังสมการที่ (3) และ (4)

$$P = Z_p V^2 + I_p V + P_p \quad (3)$$

$$P = Z_q V^2 + I_q V + P_q \quad (4)$$

2.2 การประยุกต์ใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดกับการคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด

พารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแบบ ZIP สามารถหาได้โดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งก็ได้ โดยวิธีการหาที่เหมาะสมที่สุดที่ถูกใช้ในงานวิจัยนี้คือวิธีการกำลังสองน้อยที่สุด [9]

สมมติว่ามีชุดข้อมูลการวัด y_n รวมกลุ่มกันสำหรับค่าพารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน ส่วน x_n คือ ปัญหากำลังสองน้อยที่สุดที่ต้องการหา ดังความสัมพันธ์ในสมการที่ (5)

$$\min_p \sum_{n=1}^N (y_n - px_n)^2 \quad (5)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ควรหาค่าที่เหมาะสมที่สุดคือสมการที่ (6)

$$\lambda = \sum_{i=1}^n (Z_p \cdot V_i^2 + I_p \cdot V_i + P_p - P_i)^2 \quad (6)$$

โดยที่ P_i และ V_i คือ ค่าอินพุตต่อหน่วย นั่นคือค่าแรงดันและกำลังไฟฟ้าที่ใช้ไปที่สอดคล้องกับแรงดันที่บัส

วิธีการแก้ปัญหาคือการหาค่าตอบคือแปลงสมการในสมการที่ (6) เพื่อให้ได้พารามิเตอร์แต่ละตัว (Z_p, I_p, P_p) จึงทำการอนุพันธ์เทียบกับแต่ละตัวแปร แล้วให้แต่ละสมการมีค่าเท่ากับศูนย์ อย่างน้อยจึงมี 3 สมการ ใน 3 ตัวแปรเพื่อทำการหาค่า โดยสมการที่ได้คือสมการที่ (7), (8) และ (9)

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^4 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i^3 + P_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 = \sum_{i=1}^n 2V_i^2 P_i \quad (7)$$

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^3 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 + P_p \sum_{i=1}^n 2V_i = \sum_{i=1}^n 2V_i P_i \quad (8)$$

$$Z_p \sum_{i=1}^n 2V_i^2 + I_p \sum_{i=1}^n 2V_i + P_p \cdot 2n = \sum_{i=1}^n 2P_i \quad (9)$$

ทำให้อยู่ในรูปเมทริกซ์ของค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟดังสมการที่ (10) และของกำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟที่มีรูปแบบเดียวกัน

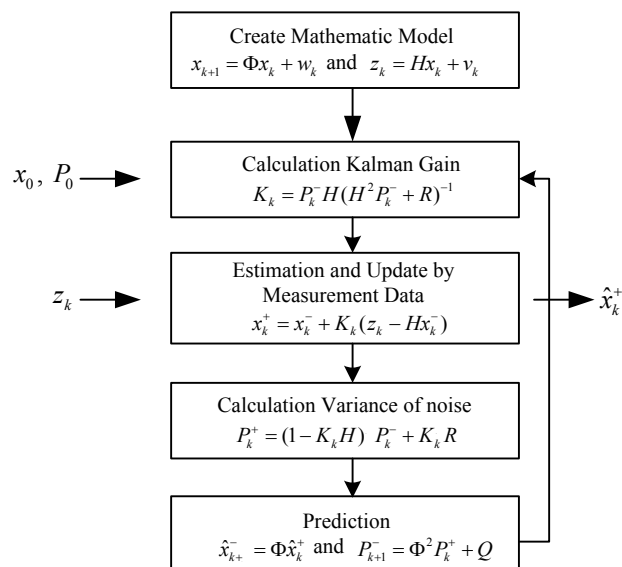
$$\begin{bmatrix} Z_p \\ I_p \\ P_p \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2V_i^4 & \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^3 & \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i \\ \sum_{i=1}^n 2V_i^2 & \sum_{i=1}^n 2V_i & 2n \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} \sum_{i=1}^n 2P_i V_i^2 \\ \sum_{i=1}^n 2P_i V_i \\ \sum_{i=1}^n 2P_i \end{bmatrix} \quad (10)$$

3. การลดผลกระทบของสัญญาณรบกวนจากเครื่องมือวัดด้วยตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter)

โดยปกติ สิ่งที่ต้องการรู้เมื่อวิเคราะห์ระบบ คือ ณ เวลาหนึ่งๆ ระบบมีสถานะ (States) เป็นอย่างไร และสถานะของระบบเปลี่ยนแปลงตามเวลาเป็นอย่างไร ในทางปฏิบัติบ่อยครั้งการหาสถานะของระบบไม่ใช่เรื่องง่าย เพราะมีข้อจำกัดหลายปัจจัย วิธีหนึ่งสำหรับหาสถานะของระบบคือใช้ตัวกรองคาลมาน (Kalman filter) ซึ่งถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งเพื่อใช้ประมวลผลข้อมูลจากเซนเซอร์หลายประเภท ภายใต้สัญญาณรบกวน (Noise) จากหลายแหล่งเพื่อหาค่าประมาณของสถานะของระบบที่ดีที่สุด

(Data Fusion) โดยมีระเบียบขั้นตอนของตัวกรองคาลมานดังต่อไปนี้

1. เขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบในรูปแบบของ Process Model $x_{k+1} = \Phi x_k + w_k$ และ Measurement Model $z_k = Hx_k + v_k$ บันทึกค่า Φ, Q, H และ R
2. หาค่าประมาณเริ่มต้นที่ดีที่สุดของสถานะของระบบ $\hat{x}_0$ และ Variance ของความคลาดเคลื่อน P_0
3. คำนวณค่าสถานะของระบบ $\hat{x}_k^-$ ที่เวลา t_k ล่วงหน้าจาก $\hat{x}_k^- = \Phi \hat{x}_{k-1}^+$ และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์จาก $P_k^- = \Phi^2 P_{k-1}^- + Q$
4. ณ เวลา t_k ที่เซ็นเซอร์วัดค่า z_k ได้ สามารถคำนวณค่า Kalman Gain K_k ได้จาก $K_k = P_k^- H (H^2 P_k^- + R)^{-1}$ ใช้ค่า Kalman Gain K_k เพื่อแก้ไขค่าที่คาดการณ์ไว้ล่วงหน้าจาก $\hat{x}_k^+ = \hat{x}_k^- + K_k [z_k - H\hat{x}_k^-]$ และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการประมาณจาก $P_k^+ = (1 - K_k H)^2 P_k^- + K_k^2 R$
5. คำนวณค่าสถานะของระบบ $\hat{x}_{k+1}^-$ ณ เวลา t_{k+1} ล่วงหน้าจาก $\hat{x}_{k+1}^- = \Phi \hat{x}_k^+$ และคำนวณ Variance ของความคลาดเคลื่อนของการคาดการณ์จาก $P_{k+1}^- = \Phi^2 P_k^+ + Q$
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4 และ 5 ที่เวลา $t_{k+1}, t_{k+2}, \dots$ ไปเรื่อย ๆ
หรือสรุปได้ดังแผนภาพในรูปที่ 1



รูปที่ 1 ขั้นตอนของการประมวลผลด้วย Kalman Filter ที่เวลา t_k ใด ๆ

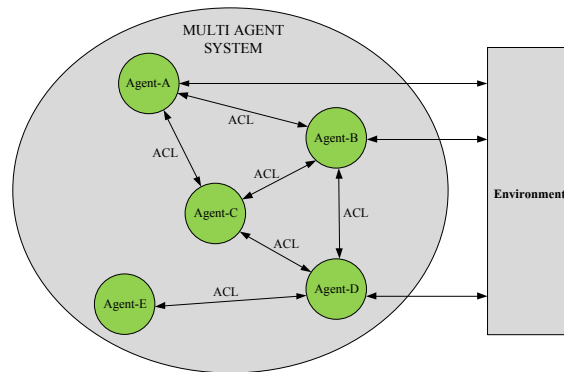
โดยทำตามระเบียบวิธีดังรูปที่ 1 สำหรับการทำงานของตัวกรองคาลมาน เพื่อนำไปลดผลกระทบอันเนื่องจากสัญญาณรบกวน โดยจะนำตัวกรองคาลมานนี้ใช้กับค่าที่วัดได้แต่ละค่า ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและค่าแรงดันไฟฟ้าที่วัดได้จากเครื่องมือวัด

4. เทคโนโลยีระบบมัลติเอเจนต์

เทคโนโลยีเอเจนต์เป็นการนำเอาปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) และวิทยาศาสตร์คอมพิวเตอร์ (Computer Science) ประยุกต์ใช้กับงานด้านต่าง ๆ เช่น ด้านโรงงาน ด้านการทหาร และด้านการออกแบบซอฟต์แวร์ เอเจนต์หลายเอเจนต์จะทำงานร่วม

กันเป็นทีมเป็นเครือข่าย อาจจะทำงานแทนคน เพื่อวัตถุประสงค์หนึ่ง ๆ ได้ โดยมีโครงสร้างพื้นฐานของเอเจนต์ 2 ส่วนหลัก คือ Mechanism for interaction เป็นส่วนกลไกรับข้อมูลผ่าน sensor และการตอบสนองผ่าน actuators กับสภาพแวดล้อมภายนอกได้ และ Agent controller เป็นส่วนตัวควบคุมกระบวนการทำงานของเอเจนต์โดยลักษณะภายในส่วนนี้แตกต่างกันขึ้นอยู่กับเอเจนต์แต่ละประเภท

ปัจจุบันเอเจนต์ไม่ได้ทำงานอยู่เพียงลำพัง แต่สามารถทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์อื่นได้ แต่เพราะเอเจนต์ถูกออกแบบขึ้นมาเพื่อรองรับกับงานเฉพาะด้านเท่านั้น ดังนั้น บางองค์กรที่มีงานเฉพาะด้านหลากหลาย จึงจำเป็นที่จะต้องออกแบบเอเจนต์หลายตัวทำงานร่วมกันเป็นระบบ เพื่อรองรับงานเฉพาะด้านที่มีภายในองค์กรนั้น และช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้สูงขึ้น ระบบการทำงานร่วมกันระหว่างเอเจนต์หลายตัว จะเรียกว่า “ระบบมัลติเอเจนต์” นอกจากสามารถทำงานร่วมกันได้แล้ว เอเจนต์ยังสามารถโต้ตอบสื่อสารระหว่างกันได้ โดยใช้ภาษาการสื่อสารของเอเจนต์โดยเฉพาะ หรือที่เรียกว่า “Agent Communication Language (ACL)” เป็นภาษามาตรฐานที่ใช้สื่อสาร และแลกเปลี่ยนข้อมูลและตอบสนองกับสภาพแวดล้อมภายนอกได้เช่นกัน ดังรูปที่ 2 แสดงลักษณะโครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์



รูปที่ 2 โครงสร้างการทำงานภายในระบบมัลติเอเจนต์

4.1 การออกแบบมัลติเอเจนต์

การออกแบบเอเจนต์ในงานวิจัยนี้จะใช้เครื่องมือในการสร้างเอเจนต์คือ JADE ซึ่งมีพื้นฐานเป็นภาษาจาวา (JAVA) ซึ่งมีความปลอดภัยสูง ง่ายต่อการทำความเข้าใจ สามารถแก้ไขได้เฉพาะผู้ออกแบบเอเจนต์เท่านั้น และสามารถนำไปใช้ได้ทุกแพลตฟอร์มที่มี JAVA ติดตั้งอยู่

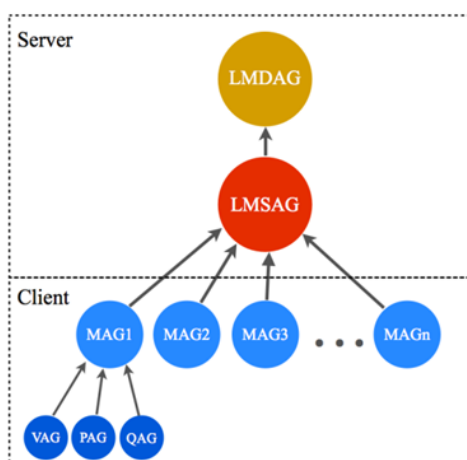
การออกแบบระบบมัลติเอเจนต์นี้ ประกอบด้วยเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ต่าง ๆ ดังนี้

- เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG เอเจนต์ทั้งสามนี้มีหน้าที่ในการทำงานที่คล้ายคลึงกัน คือทำการนำค่าจากเครื่องมือวัดแล้วส่งออกไป ซึ่งกำหนดให้เอเจนต์ทำงานด้วยพฤติกรรมแบบทำงานเป็นเวลาหรือก็คือให้เอเจนต์ส่งข้อมูลการวัดเป็นระยะ ๆ
- เอเจนต์ MAG ทำหน้าที่สำหรับการรวบรวมค่าที่ส่งมาจากทั้ง 3 เอเจนต์คือ เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG แล้วจัดข้อมูลการวัดให้อยู่ในรูปแบบแพ็คเกจเดียวเพื่อส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMSAG ซึ่งกำหนดให้เอเจนต์ MAG ทำงานด้วยพฤติกรรมแบบวงจรทำงานเป็นวงรอบไปเรื่อย ๆ เพื่อรอรับข้อมูลจากเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ที่จะเข้ามาเวลาไหนก็ได้
- เอเจนต์ LMSAG เอเจนต์นี้ทำหน้าที่ในการรวบรวมค่าจากแต่ละเอเจนต์ MAG เพื่อส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMDAG ต่อไป ซึ่งอีกหน้าที่หนึ่งของเอเจนต์นี้คือการทำหน้าที่ติดต่อรับข้อความจากเอเจนต์เครื่องลูกข่ายที่อาจอยู่ห่างไกลออกไปเข้ามายังเครื่องหลักผ่านเครือข่ายภายใน
- เอเจนต์ LMDAG เอเจนต์นี้ถือว่าเป็นเอเจนต์หลักและสำคัญอย่างมาก เนื่องจากเป็นเอเจนต์ที่ทำหน้าที่สำหรับคำนวณหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด โดยเอเจนต์นี้ทำการเรียกใช้โปรแกรม MATLAB เพื่อความสะดวกในการคำนวณทางคณิตศาสตร์

เมื่อได้พารามิเตอร์ออกมาแล้วจึงทำการจัดเก็บในรูปแบบไฟล์ข้อความ (Text file) เพื่อสามารถนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์เมื่อต้องการด้วยการดึงข้อมูลแบบจำลองโหลดจากไฟล์ข้อความดังกล่าว

4.2 การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์ที่ได้ออกแบบ

การทำงานเริ่มต้นที่เอเจนต์ VAG, PAG และ QAG ทำการวัดในภาคสนามในแต่ละสถานที่แล้วส่งข้อมูลไปยังเอเจนต์ MAG เพื่อเอเจนต์ MAG ส่งค่าแรงดัน ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟและค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟไปยังเอเจนต์ LMSAG โดยการทำงานนี้จะเรียงลำดับคือ จะเริ่มที่ MAG1 ต่อไปเป็น MAG2 ต่อไปเรื่อย ๆ จนถึง MAGn (เพื่อจะได้ทำการสร้างแบบจำลองโหลดได้ตามลำดับ) แล้ว LMSAG ก็ทำการรับค่าจากแต่ละ MAG จะส่งต่อไปยังเอเจนต์ LMDAG โดยเอเจนต์ LMDAG ทำหน้าที่รับค่ามาแล้วนำไปคำนวณและหาพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดโดยโปรแกรมคำสั่ง MATLAB แล้วทำการเก็บข้อมูลไว้



รูปที่ 3 สถาปัตยกรรมระบบมัลติเอเจนต์

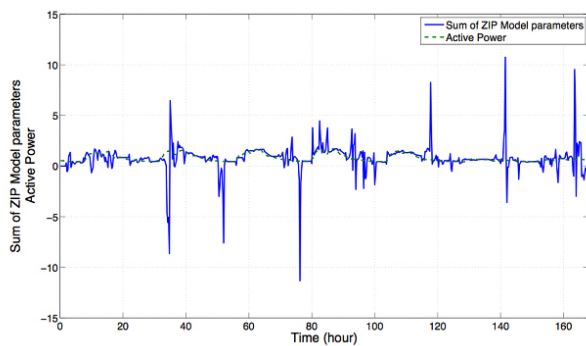
จากรูปที่ 3 สามารถแบ่งการทำงานออกเป็นสองส่วนด้วยกันคือส่วนที่เป็นเครื่องลูกข่าย (Client) ซึ่งประกอบด้วยเอเจนต์ PAG, QAG และ VAG ภายในเอเจนต์ MAG ซึ่งแต่ละเอเจนต์ MAG อาจอยู่ในต่างสถานที่กัน กระจายออกไปตามสถานที่ของเครื่องมือวัด และอีกส่วนหนึ่งคือส่วนเครื่องหลัก (Server) ประกอบด้วยเอเจนต์ LMSAG และ LMDAG ซึ่งอยู่ในคอมพิวเตอร์เครื่องหลักเพื่อความสะดวกในการประมวลและการเรียกใช้งานต่อไป

5. การทดสอบและผลการทดสอบ

การทดสอบเริ่มจากนำข้อมูลจากเครื่องวัดแล้วลดผลกระทบเนื่องจากสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองคาลมานแล้วจึงส่งไปยังเครื่องหลักผ่านเครื่องข่ายภายใน ซึ่งเครื่องหลักมีหน้าที่ในการสร้างแบบจำลองโหลดและบันทึกเก็บไว้ เพื่อให้ผู้ใช้สามารถนำไปใช้ได้ต่อไป และจากการทดสอบกับข้อมูลการวัดในระยะเวลา 1 สัปดาห์ จึงทำให้สามารถกำหนดช่วงระยะแบบจำลองโหลดได้หลายช่วง ซึ่งในการทดสอบได้ทดสอบช่วงระยะแบบจำลองโหลด 2 ชั่วโมงและ 1 วัน ตัวอย่างพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลดแสดงดังตารางที่ 1 และ 2 และผลลัพธ์ของผลรวมของสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหลดในรูปที่ 4 และ 5

ตารางที่ 1 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลอง
โหลดเท่ากับ 2 ชั่วโมง

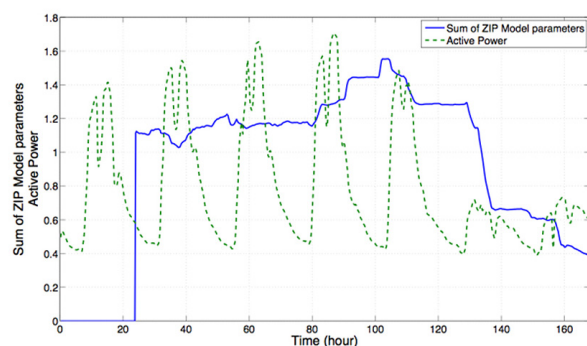
วัน เวลา	Z_p	I_p	P_p	ผลรวม
00:00	-331.186	667.170	-335.380	0.604
00:15	191.164	-390.230	199.732	0.666
00:30	-1067.746	2166.385	-1098.267	0.373
00:45	-980.861	1992.510	-1011.299	0.349
01:00	-559.644	1139.154	-579.100	0.410
01:15	182.589	-365.213	183.150	0.526
01:30	1279.461	-2589.735	1310.994	0.719
01:45	1888.691	-3824.217	1936.342	0.815
02:00	-241.326	482.437	-240.544	0.567



รูปที่ 4 ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหลดของช่วง
ระยะแบบจำลอง 2 ชั่วโมง

ตารางที่ 2 ตัวอย่างพารามิเตอร์ที่มีช่วงระยะแบบจำลอง
โหลดเท่ากับ 1 วัน

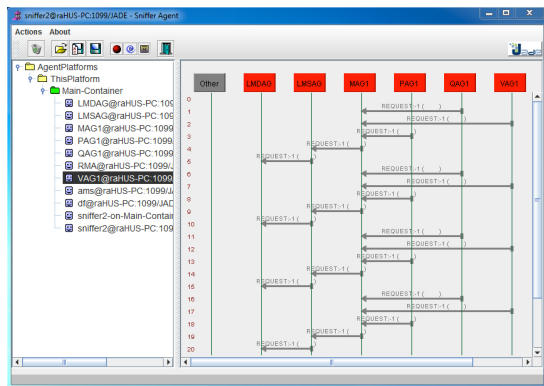
วัน เวลา	Z_p	I_p	P_p	ผลรวม
00:00	-605.167	1191.839	-585.557	1.116
00:15	-606.651	1194.282	-586.506	1.124
00:30	-599.391	1179.908	-579.397	1.120
00:45	-586.149	1153.469	-566.204	1.116
01:00	-579.568	1140.408	-559.727	1.113
01:15	-573.350	1127.929	-553.467	1.112
01:30	-579.800	1140.921	-560.009	1.112
01:45	-556.585	1094.022	-536.324	1.112
02:00	-561.191	1103.363	-541.060	1.112



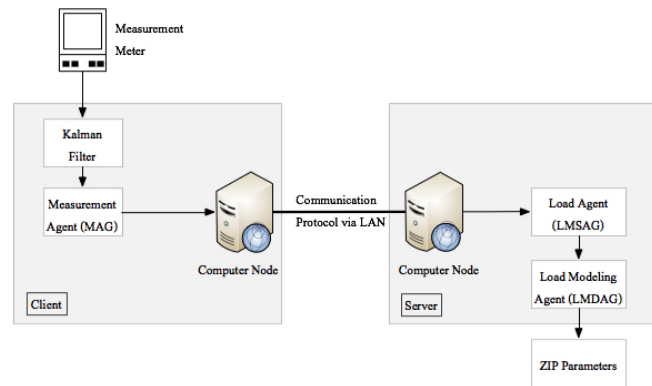
รูปที่ 5 ผลรวมสัมประสิทธิ์แบบจำลองโหลดของช่วง
ระยะแบบจำลอง 1 วัน

จากรูปที่ 4 แสดงผลรวมของพารามิเตอร์ ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลรวมของพารามิเตอร์มีความไม่คงที่และยังไม่เป็นไปตามสมการที่ (1) และ (2) ที่ผลรวมพารามิเตอร์ต้องใกล้เคียง 1 อีกด้วย และหากเปลี่ยนช่วงระยะแบบจำลองโหลดให้กว้างขึ้นเป็น 1 วัน จะได้ผลลัพธ์ดังรูปที่ 5 นั่นคือแบบจำลองโหลดนั้นแทนโหลดของช่วงเวลาของ 1 วันที่ผ่านมา และเมื่อเลื่อนตำแหน่งไปเรื่อย ๆ แบบจำลองโหลดที่ได้ก็คือแบบจำลองโหลดของช่วงเวลา 24 ชั่วโมงที่ทำการพิจารณา และเมื่อพิจารณาจากพารามิเตอร์ที่ได้ด้วยแล้ว ผลรวมพารามิเตอร์ของกำลังไฟฟ้าแอกทีฟที่มีค่าใกล้ 1 ซึ่งมาจากสมการที่ (1) และ (2) และมีนัยยะที่เปลี่ยนแปลงไปตามการใช้โหลด และเมื่อเปรียบเทียบกับช่วงระยะของแบบจำลองโหลดเท่ากับ 2 ชั่วโมงแล้วจึงกล่าวได้ว่าการสร้างแบบจำลองโหลดนั้นควรจะมีช่วงระยะของแบบจำลองโหลดที่กว้างพอสำหรับการพิจารณาเพื่อให้ได้แบบจำลองโหลดที่มีความถูกต้องและแม่นยำ

การทำงานของระบบมัลติเอเจนต์นี้ได้แสดงเส้นทางการรับ-ส่งข้อมูลระหว่างเอเจนต์ที่ใช้เครื่องมือ Sniffer ของ JADE ตามรูปที่ 6 นี้



รูปที่ 6 เส้นทางารรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์



รูปที่ 7 โครงสร้างการทำงานของระบบ

จากรูปที่ 6 เป็นภาพแสดงส่วนติดต่อผู้ใช้ที่เป็นเครื่องสำหรับการติดตามดูเส้นทางารรับ-ส่งข้อความของเอเจนต์ที่มีชื่อว่า Sniffer ซึ่งจากรูปแสดงให้เห็นว่าเริ่มจากการส่งข้อมูลจากเอเจนต์ PAG01, QAG01 และ VAG01 ไปยังเอเจนต์ MAG01 แล้วเอเจนต์ MAG01 จะส่งข้อมูลต่อไปยังเอเจนต์ LMSAG และเอเจนต์ LMSAG ก็ส่งไปยังเอเจนต์ LMDAG ถือเป็นจุดสิ้นสุดของการส่งข้อมูล โดยเอเจนต์ LMDAG จะนำข้อมูลไปประมวลผลต่อไป

โดยระบบจำลองเอเจนต์ที่กล่าวมาสามารถสร้างแบบจำลองโหลด ด้วยการหาค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองโหลด ZIP โดยใช้วิธีกำลังสองน้อยที่สุดดังที่กล่าวไว้ข้างต้น แล้วนำค่าพารามิเตอร์ที่ได้แทนในสมการที่ (3) และ (4) ดังที่ได้สร้างขึ้นเป็นระบบและทำงานได้ดังแผนภาพในรูปที่ 7

การประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองโหลด ที่ได้ออกแบบระบบมัลติเอเจนต์โดยใช้ JADE ซึ่งมีพื้นฐานการทำงานอยู่บนภาษาจาวา ที่มีความปลอดภัยสูง และไม่ยึดติดกับอุปกรณ์ฮาร์ดแวร์เพียงแบบใดแบบหนึ่ง โดยใช้ JADE เป็นเครื่องมือในการสร้างเอเจนต์และอำนวยความสะดวกในการทำงานของเอเจนต์จนเกิดเป็นระบบมัลติเอเจนต์ที่ทำหน้าที่ในการดึงค่าจากจุดวัดแล้วนำมาสร้างแบบจำลองโหลดได้โดยที่ไม่ต้องมีผู้ดูแลควบคุมอยู่ตลอดเวลา ซึ่งจากการทดสอบระบบแล้วสามารถดำเนินการได้อย่างราบรื่น เป็นไปตามที่ได้ออกแบบไว้ และไม่จำเป็นต้องทำการควบคุมดูแลตลอดเวลา

6. สรุป

บทความนี้ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีมัลติเอเจนต์เพื่อสร้างแบบจำลองโหลด โดยได้ออกแบบเอเจนต์ที่จำเป็นสำหรับการสร้างแบบจำลองโหลดได้แก่ เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG เป็นเอเจนต์สำหรับนำค่าการวัด ได้แก่ ค่ากำลังไฟฟ้าแอกทีฟ ค่ากำลังไฟฟ้ารีแอกทีฟและค่าแรงดันไฟฟ้า ตามลำดับ เอเจนต์ MAG เป็นเอเจนต์ที่มีหน้าที่ในการรวบรวมค่าจาก เอเจนต์ PAG, QAG และ VAG แล้วรวบรวมข้อมูลการวัดเป็นแพ็คเกจเพื่อสะดวกในการส่งข้อมูล เอเจนต์ LMSAG เป็น เอเจนต์ในฝั่งของเครื่องหลักสำหรับเป็นจุดติดต่อที่ให้อเจนต์ MAG ในต่างสถานที่ส่งข้อมูลการวัดเข้ามาผ่านเครือข่ายอินเทอร์เน็ตภายใน และเอเจนต์ LMDAG เป็นเอเจนต์ในการเก็บบันทึกข้อมูลการวัดและเรียกโปรแกรมสำหรับคำนวณเพื่อสร้างแบบจำลองโหลดแล้วทำการบันทึกไว้โดยเอเจนต์เหล่านี้กำหนดให้ทำงานสอดคล้องกันเป็นระบบเกิดขึ้นเป็นระบบมัลติเอเจนต์ที่สามารถให้ระบบมัลติเอเจนต์ทำงานได้อย่างอัตโนมัติ ทำให้ไม่ต้องควบคุมหรือดูแลจากผู้ปฏิบัติงานอยู่ตลอดเวลา โดยได้นำข้อมูลการใช้โหลดของมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารีในระยะเวลา 1 สัปดาห์มาทดสอบกับระบบที่ได้ออกแบบ จากการทดสอบทำให้เห็นว่าระบบมัลติเอเจนต์สามารถทำงานได้เป็นอย่างดีตามที่ได้ออกแบบไว้

เอกสารอ้างอิง

- [1] Tomiyamu, K., Ueoka, S., Takano, T., Iyoda, I., Mutsuno, K., Temma, K. and Puserba, J.J. “Modeling of Load During and After System Faults Based on Actual Field Data”, IEEE Power Engineering Society General Meeting, Vol. 3, 2003.
- [2] Maitra, A., Gaikwad, A., Zhang, P. and Ingram, M. “Using System Disturbance Measurement Data to Develop Improved Load Models”, Proceeding of Power Systems Conference and Exposition, 2006, pp. 1978 – 1985.
- [3] Zhu, S.Z., Dong, Z.Y., Wong, K.P. and Wang, Z.H. “Power System Dynamic Load Identification and Stability”, Proceeding of International Conference on Power System Technology, Vol.1, 2000, pp. 13-18.
- [4] He, S. and Starrett, S.K. “Modeling Power System Load using Adaptive Neural Fuzzy Logic and Artificial Neural Networks”, Proceeding of North American Power Symposium (NAPS), 2009, pp. 1-5.
- [5] Rudion, K., Guo, H., Abildgaard, H. and Styczynski, Z.A. “Non-Linear Load Modeling Requirements and Preparation for Measurement”, Power & Energy Society General Meeting, 2009, pp. 1-7.
- [6] Jin, M., Renmu, H. and Hill, D.J. (2003) “Load Modeling by Finding Support Vectors of Load Data From Field Measurements”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 21, No. 2, pp. 726-735.
- [7] Jin, M., Han, D., He, R.M., Dong, Z.Y. and Hill, D.J. (2008) “Reducing Identified Parameters of Measurement-Based Composite Load Model”, IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 23, No. 1, pp. 76-83.
- [8] Zhang, J., Wen, J.Y., Cheng, S.J. and Dong, Z.Y. “Realization of the WAMS Based Power System Aggregate Load Area Model”, IEEE Power and Energy Society General Meeting – Conversion and Delivery of Electrical Energy in the 21st Century, 2008, pp. 1-6.
- [9] Sadeghi, M., and Sarvi G.A. “Determination of ZIP Parameters with Least Squares Optimization Method”, Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 2009, pp. 1-6.