

การแก้ปัญหาการจัดตารางสอบโดยประยุกต์ใช้ระบบมดแบบ แม็ก-มิน Solving Examination Scheduling Problem using a Max-Min Ant System

ทิพวิมล ชมภูคำ

Thipwimon Chompookham

สาขาวิชาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์และการสื่อสาร คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
Department of Computer Technology and Communications, Faculty of Information Technology,
Rajabhat Maha Sarakham University
Email: thipwimon.ch@rmu.ac.th

Received: 18 Jun 19

Revised: 02 Apr 20

Accepted: 08 Apr 20

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาวิธีการอาณานิคมมดมาประยุกต์ใช้เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสอบ จากนั้นนำคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดมาพัฒนาโปรแกรมจัดการตารางสอบวิชาศึกษาทั่วไป โดยใช้กรณีศึกษาของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม มีวัตถุประสงค์เพื่อ 1) ศึกษาและเปรียบเทียบเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางสอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้เทคนิคที่ดีที่สุด คือ ระบบมดแบบ แม็ก-มิน 2) ออกแบบและพัฒนาระบบจัดการตารางสอบวิชาศึกษาทั่วไป โดยประยุกต์ใช้ระบบมดแบบ แม็ก-มิน ข้อมูลตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง ประกอบด้วย รายวิชาศึกษาทั่วไปจำนวน 5 รายวิชา อาจารย์คุมสอบจำนวน 111 คน กลุ่มนักศึกษาจำนวน 124 กลุ่ม และห้องเรียนจำนวน 54 ห้อง ผลการวิจัย พบว่า ระบบมดแบบแม็ก-มิน โดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพื่อกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ดังนี้ ค่าน้ำหนักของฟีโรโมนเท่ากับ 5 อัตราการระเหยของฟีโรโมนเท่ากับ 0.9 ค่าคงที่ใด ๆ เท่ากับ 5 ค่าฟีโรโมนสูงสุดเท่ากับ 1.11 ค่าฟีโรโมนต่ำสุดเท่ากับ 0.019 ใช้จำนวนมด 80 ตัว จำนวนรอบ 560 รอบ พบว่าการนำระบบมดแบบ แม็ก-มิน มาใช้แก้ปัญหาการจัดตารางสอบนั้นสามารถลดระยะเวลา ข้อผิดพลาด และปรับปรุงประสิทธิภาพโปรแกรมจัดการตารางสอบได้

คำสำคัญ: การจัดตารางคุมสอบ การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด ระบบมดแบบ แม็ก-มิน เมตา-ฮิวริสติก

Abstract

This research investigated an ant colony optimization technique. To find the best ant colony technique to develop the examination scheduling management. Then, we apply the best ant colony technique to develop the examination scheduling management program of General Education (GE) using a case study of the Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University. This research aimed to 1) Study and compare the appropriateness of the ant colony optimization technique in managing the GE examination schedule. In this research, the best technique of any colony technique was the Max-Min Ant system. 2) Design and develop an efficient examination scheduling management program of the GE using the Max-Min Ant system. The data used in the experiment consisted of 5 GE courses, 111 exam proctors, 124 groups of students, and 54 classrooms. We found that the best parameters of the Max-Min Ant System were pheromone = 1.11, the minimum value of pheromone = 0.19 with 80 ants, and training with 560 cycles. We concluded that the Max-Min Ant system could reduced time, errors, and also improve the efficiency of the examination scheduling management program.

Keywords: Examination Schedule Management, Ant colony Optimization, Max-Min Ant System, Meta-Heuristic

1. บทนำ

งานจัดตารางคุมสอบนั้น เป็นงานที่มีความซับซ้อนและมีความสำคัญ ซึ่งเจ้าหน้าที่จะต้องดำเนินการจัดตารางคุมสอบ โดยกำหนดให้อาจารย์ภายในคณะเข้าไปเป็นกรรมการประจำห้องสอบ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการสอบ และดูแลจัดการการสอบให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย ในการนี้อาจารย์แต่ละท่านต้องรับภาระเป็นกรรมการควบคุมการสอบมากกว่า 1 ครั้ง ผู้วิจัยได้สำรวจข้อมูลเบื้องต้นเกี่ยวกับวิธีการจัดตารางคุมสอบวิชาศึกษาทั่วไป (General Education) ของคณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พบว่า ผู้รับผิดชอบที่ทำหน้าที่จัดตารางการสอบต้อง พิจารณาข้อมูลและเงื่อนไขในการจัดหลายประการ ไม่ว่าจะเป็นตรวจสอบข้อมูลอาจารย์คุมสอบแต่ละท่านว่าต้องคุมสอบไม่เกิน 1 ห้องต่อคาบเวลา จำนวนอาจารย์คุมสอบต้องมีสัดส่วนพอตรงกับจำนวนนักศึกษาที่สอบในห้องนั้นๆ (ซึ่งบางห้องต้องใช้อาจารย์คุมสอบมากกว่า 1 คน) อาจารย์คุมสอบควรมีตารางช่วงเวลาคุมสอบเท่า ๆ กัน ห้องเรียนต้องมีที่นั่งสอบเพียงพอ กับจำนวนนักศึกษา เป็นต้น ดังนั้นการจัดตารางคุมสอบแต่ละครั้งจึงจำเป็นต้องใช้ระยะเวลาจำนวนมากในการจัดตารางสอบ มีนักวิจัยหลายท่านศึกษาวิธีแก้ปัญหการจัดตารางเวลา ดังนี้ Cooper Kingston และ Lewis ได้กล่าวว่าปัญหการจัดตารางเวลาประเภทต่าง ๆ จัดเป็นปัญหา NP-Complete คือ กลุ่มของปัญหาใด ๆ ที่ไม่สามารถหาอัลกอริธึมมาแก้ปัญหาก็ได้ภายในเวลาพหุนาม เป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่เนื่องจากมีกลุ่มข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นจำนวนมาก [1][2] (เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่มากขึ้น เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก็จะเพิ่มขึ้นมาก) ซึ่งปัจจุบันปัญหา NP-Complete ดังกล่าว ถูกแก้ไขด้วยกระบวนการของเทคนิคเมตา-ฮิวริสติก ซึ่งเป็นเทคนิควิธีในการค้นหาที่ดีที่สุดในวิธีหนึ่ง โดยมีหลักการเป็นที่ยอมรับว่าคำตอบที่ได้จะมีคุณภาพดีเพียงพอและช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ เช่น วิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing) วิธีค้นหาทาบ (Tabu Search) วิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm) และการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ปัจจุบันมีตัวอย่างงานวิจัยในการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดมาใช้ แก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสมของระบบงานต่างๆ เกี่ยวกับการจัดตารางเวลา ดังนี้ 1) งานวิจัยของ Naji Azimi Z ได้นำเสนอการจัดตารางสอบ (Examination Timetabling) โดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติกซึ่งเปรียบเทียบ ผลการจัดตารางสอบระหว่างวิธีการจำลองการอบเหนียว วิธีการทางพันธุกรรม วิธีค้นหาทาบ และวิธีการระบบอาณานิคมมด [3] ผลการทดลองพบว่าการจัดตารางสอบด้วยเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด มีผลลัพธ์การจัดตารางสอบที่ดีที่สุด 2) งานวิจัยของ Burke และคณะได้นำเสนอการใช้วิธีอัลกอริทึมมดมาใช้จัดตารางการนำเสนอโครงการ [4] 3) งานวิจัยของ นิกโรโกอุม และสมหญิง โภคอุดมได้นำเสนอวิธีการจัด

ตารางคุมสอบของสถานศึกษาด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดเพื่อลดภาระการจัดตารางคุมสอบของเจ้าหน้าที่ ผลการทดลองพบว่าวิธีที่นำเสนอสามารถนำไปใช้ในการจัดตารางคุมสอบของบุคลากรได้อย่างมีประสิทธิภาพ [5] งานวิจัยของพงษ์ศักดิ์ศิริโสม ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแนะนำการใช้ปุ๋ยและรูปแบบการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับชนิดของดินและพืช [6] ซึ่งประสิทธิภาพของโปรแกรมอยู่ในระดับดีถึงดีมาก และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงอย่างมีประสิทธิภาพ จุดมุ่งหมายของงานวิจัยนี้ คือการนำเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหการจัดตารางคุมสอบวิชาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเนื่องจากปัญหาการจัดตารางสอบมีเงื่อนไขจำนวนมาก การนำการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดมาใช้เพื่อจัดการกับปัญหาการจัดตารางสอบสามารถลดระยะเวลาและความซ้ำซ้อนที่เกิดจากการจัดตารางสอบโดยใช้ผู้รับผิดชอบที่จัดตารางสอบลงได้ อีกทั้งยังทำให้การจัดตารางสอบมีความยืดหยุ่นมากยิ่งขึ้นอีกด้วย

1.1 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1) เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด ที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางสอบ

2) เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบจัดตารางสอบโดยประยุกต์ใช้การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด

1.2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ปัญหาการจัดตารางเวลาของมหาวิทยาลัย การจัดตารางสอบ และการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด ซึ่งจะอธิบายดังต่อไปนี้

1.3 ปัญหาการจัดตารางเวลาของมหาวิทยาลัย

ปัญหาการจัดตารางเวลาของมหาวิทยาลัยเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากมีกลุ่มข้อมูลที่ต้องนำมาพิจารณาเป็นจำนวนมาก [2] เช่น จำนวนวิชาและบุคคลที่เกี่ยวข้อง เป็นต้น โดยมีทรัพยากรที่จำกัด เช่น ช่วงเวลาจำนวนห้อง และจำนวนที่นั่งภายในห้อง ซึ่งเป็นที่ยอมรับกันอย่างกว้างขวาง ว่าวิธีหนึ่งที่ใช้จัดการกับปัญหา NP-Complete ได้ คือ 1) การใช้ขั้นตอนวิธีการประมาณ แม้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะไม่สามารถรับประกันได้ว่า คำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหจะได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุด แต่อย่างน้อยก็จะได้คำตอบที่ดีพอและเป็นที่ยอมรับได้ 2) วิธีเมตา-ฮิวริสติก เป็นอีกหนึ่งวิธีซึ่งได้รับความนิยมนำมาใช้แก้ปัญหานี้และเป็นที่ยอมรับว่าคำตอบที่ได้จะมีคุณภาพดีเพียงพอ และช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ ปัจจุบันมีผู้สนใจที่นำวิธีเมตา-ฮิวริสติก มาใช้สำหรับจัดตารางเวลามาก

ขึ้น เช่น วิธีการจำลองการอบเหี่ยว วิธีค้นหา วิธีการทางพันธุศาสตร์ และการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด

1.4 การจัดตารางสอบ

การจัดตารางสอบเป็นงานที่มีความซับซ้อนและมีความสำคัญมาก ซึ่งการจัดตารางสอบนั้นจะต้องดำเนินการจัดตารางสอบเพื่อกำหนดให้อาจารย์ในแต่ละคณะเข้าไปเป็นกรรมการประจำห้องสอบ เพื่อทำหน้าที่ควบคุมการสอบและดูแลจัดการสอบให้เป็นไปด้วยความเรียบร้อย ในการนี้อาจารย์แต่ละท่านต้องรับภาระเป็นกรรมการควบคุมการสอบมากกว่า 1 ครั้ง ซึ่งพบว่าเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบการจัดตารางสอบต้องพิจารณาข้อมูลและเงื่อนไขในการจัดหลายประการจึงต้องใช้เวลากันอย่างมากในการจัดตารางสอบแต่ละครั้ง [5]

1.5 การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO)

Macro Dorico และคณะได้ค้นพบวิธีการที่มีแนวคิดมาจากพฤติกรรมของการออกหาอาหารของมด โดยการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหาร [7] ซึ่งมดเหล่านี้จะปล่อยฟีโรโมน (Pheromone) ไว้ตามทางที่เดินผ่านในขณะที่ออกหาอาหาร โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการบอกมดตัวอื่นๆ ว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางไปหาอาหารระหว่างอาณาจักรของมันและแหล่งอาหาร ซึ่งมดตัวอื่นที่อยู่ใอาณาจักรเดียวกันก็จะเดินตามเส้นทางที่มีฟีโรโมนอยู่และก็จะปล่อยฟีโรโมนในเส้นทางนั้นด้วย ทำให้เส้นทางนั้นมีการสะสมของฟีโรโมนมากยิ่งขึ้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะดำเนินซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่ง ได้เส้นทางที่เหมาะสมหรือจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขในการหยุดทำงาน เช่น ครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ [8] [9] เป็นต้น ลำดับขั้นของเทคนิคอาณานิคมมด สามารถเขียนเป็นรหัสเทียมได้ ดังต่อไปนี้

ตั้งค่าเริ่มต้นที่จำเป็น	1
เมื่อวนซ้ำยังไม่ครบจำนวนรอบที่กำหนดหรือเงื่อนไขอื่น ๆ ที่ส่งผลให้หยุดการวนซ้ำยังไม่ครบกำหนด ดำเนินการดังนี้	2
เมื่อจำนวนมดยังไม่ครบตามจำนวนที่ตั้งไว้	3
สร้างคำตอบเริ่มต้น	4
ปรับปรุงคำตอบ: Local Search (มีหรือไม่มีก็ได้)	5
สิ้นสุดการสร้างคำตอบจากมดแต่ละตัว	6
ปรับปรุงค่าฟีโรโมนและพารามิเตอร์ต่าง ๆ	7
สิ้นสุดการวนซ้ำ	8

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดแต่ละประเภทจะมีความแตกต่างกัน ในขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมนโดยอาจมีข้อจำกัดและวิธีการที่แตกต่างกันตามลำดับขั้นของเทคนิคอาณานิคมมด ส่วนขั้นตอนอื่น ๆ จะมีความคล้ายคลึงกัน ดังจะได้อธิบายความแตกต่างในขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมน ดังนี้ ระบบมด (Ant System : AS) จะต้องมีการปรับปรุงฟีโรโมนทุกครั้งเมื่อมดแต่ละตัวสร้างเส้นทางของตนเองเสร็จสิ้นและจะมีการปรับปรุงอีกครั้งด้วย

มดตัวที่ดีที่สุดในช่วงหรือในรอบการวนซ้ำนั้น ๆ และระบบมดแบบ แมก-มิน (Max-Min Ant System : MMAS) มดตัวที่ดีที่สุดของการวนรอบทั้งหมดเท่านั้นที่จะมีโอกาสปรับปรุงค่าฟีโรโมนโดยการปรับปรุงฟีโรโมนแต่ละครั้งจะมีการกำหนดช่วงค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด เช่น ถ้าหากค่าของฟีโรโมนในรอบนั้นมีค่ามากกว่าค่าสูงสุดที่กำหนดไว้ จะทำการกำหนดให้ค่าฟีโรโมนรอบนั้นมีค่าเท่ากับค่าสูงสุด ในทางตรงกันข้ามกัน หากค่าฟีโรโมนในรอบนั้นมีค่าน้อยกว่าค่าต่ำสุดที่กำหนดไว้ จะทำการกำหนดให้ค่าฟีโรโมนรอบนั้นมีค่าเท่ากับค่าต่ำสุด เพื่อให้มดมีโอกาสเลือกคำตอบที่ไม่เคยเลือกเลยหรือมีโอกาสที่จะไม่เลือกเส้นทางที่มีฟีโรโมนสูงมาก ๆ

2. วัสดุอุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 ศึกษาข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ทำการวิจัย คือ ข้อมูลการจัดตารางสอบ วิชาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคามปีการศึกษา 2558 ประกอบด้วย ข้อมูลอาจารย์คุมสอบ ข้อมูลรายวิชา ข้อมูลห้องสอบ ดัง Tables 1 และข้อบังคับที่ใช้ในการจัดตารางสอบ ประกอบด้วย

- 1) อาจารย์คุมสอบจะต้องคุมสอบ เพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น
- 2) ห้องสอบจะต้องถูกใช้สอบเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น
- 3) ห้องสอบควรจะมีขนาดที่เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

Tables 1 The examination schedule datasets

Data	Sum	Unit
General Education Courses	5	Course
Examiners	111	Person
Classrooms	54	Room
Students	124	Group

2.2 ออกแบบและพัฒนาระบบ

การออกแบบและพัฒนาระบบแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลัก คือ การประยุกต์ใช้วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด สำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางสอบ และส่วนเว็บแอปพลิเคชัน ดังนี้

2.2.1 การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางคุมสอบ

การประยุกต์ใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางสอบ ใช้โปรแกรม Matlab และฐานข้อมูล MySQL ในการพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมด้วยเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ด้วยวิธีการอาณานิคมมด โดยการศึกษาเทคนิควิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุดกับข้อบังคับต่าง ๆ 2 เทคนิควิธี ดังนี้ 1) ระบบมด 2) ระบบมดแบบ แม็ก-มิน โดยแบ่งขั้นตอนการประยุกต์ใช้เทคนิคอาณานิคมมดสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางสอบ ออกเป็น 6 ส่วนหลัก คือ ขั้นตอนการกำหนดค่าข้อมูล (บรรทัดที่ 1-3) ขั้นตอนการสร้างคำตอบ (บรรทัดที่ 4-11)

ขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมน (บรรทัดที่ 12-14) ขั้นตอนการตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับ (บรรทัดที่ 15) ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์ (บรรทัดที่ 16) และขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ (บรรทัดที่ 17) แสดงดัง Figure 1 โดยแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ ดังนี้

```

1      upload problem data and assign parameters setting
      // Initialisation procedure
2      create candidate list and encode tour components
      { $r_m, d_{nd}, p_{np}$ }
3      create events list (E); create pheromone matrix
4      while iteration  $\leq$  maximum_iteration do
      // Construct solution procedure
5      for ant  $m=1$  to max_ants do
6          set empty tour  $T^m$  of ant m
7          for event=1 to n do
8              check feasible timeslots in candidate list
9              choose timeslot into  $T^m$ 
10             calculate Obj of  $T^m$ 
11             record the  $T^{best}$ 
12         pheromone evaporation
      // Pheromone update procedure
13         update pheromone trail of  $T^{best}$ 
14     endwhile
15     check duplicate constraint ( $CT_1, CT_2, CT_3$ )
      // Check constraint
16     output the best timetables ( $T^{best}$ )
      // Performance comparison
17     update timetables
      // Update timetables for used
    
```

Figure 1 Pseudocode of ant colony optimization for the examination schedule

ส่วนที่ 1 ขั้นตอนการกำหนดค่าข้อมูลและพารามิเตอร์

หลังจากการอัปโหลดข้อมูลและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว สร้างตารางเวลาแทนด้วยตัวแปร T ซึ่งเป็นเส้นทางที่มดจะเดินทางผ่าน จะแสดงถึงจำนวนเส้นทางทั้งหมดของตารางเวลาที่สามารถใช้งานได้ ประกอบด้วย จำนวนห้องเรียนทั้งหมด (R_n) จำนวนวันทั้งหมด

(D_n) และจำนวนคาบที่ใช้สอบ (P_n) ซึ่งได้ถูกเข้ารหัสเป็นค่าจำนวนเต็มไว้ ดังแสดงใน Figure 2 โดยส่วนประกอบของ

ตารางเวลาประกอบด้วยเลขรหัส 3 ชุด ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลห้องเรียน ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) ข้อมูลวันที่ใช้สอบ ($D_1, D_2, D_3, \dots, D_n$) และข้อมูลช่วงเวลาสอบ 2 คาบ/วัน (P_1, P_2) ดังตัวอย่าง ถ้ามีห้องเรียน 5 ห้อง มีวันที่ใช้ในการสอบ 3 วัน และมีคาบที่ใช้สอบวันละ 2 คาบ/วัน ตารางเวลาที่ใช้ได้ทั้งหมดในการจัดตารางสอบ แสดงดัง Figure 2

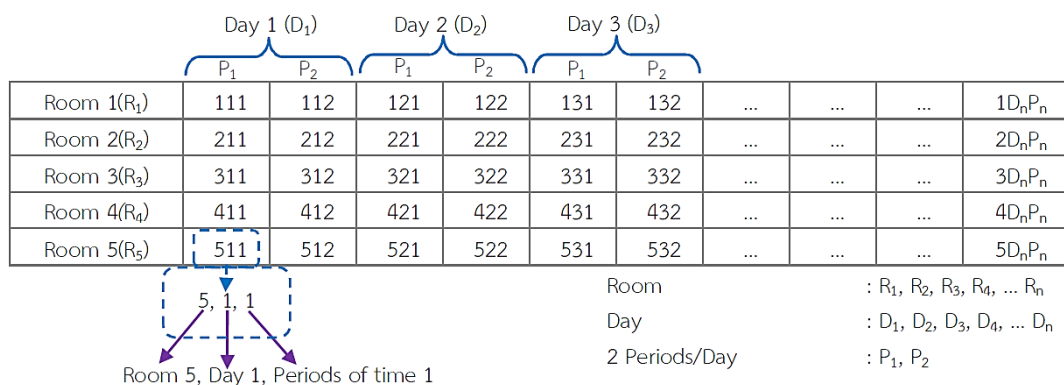


Figure 2 An Example of schedule encoding

จากนั้น สร้างเหตุการณ์ n เหตุการณ์ ซึ่งถูกกำหนดโดยจำนวนรายวิชาศึกษาทั่วไปทั้งหมดในหลักสูตรที่เปิดสอน แทนชุดของเหตุการณ์ e จำนวน n เหตุการณ์ ($e_1, e_2, e_3, \dots, e_n$) และสร้างเมตริกซ์ฟีโรโมน โดยจะตั้งค่าฟีโรโมนเริ่มต้นเท่ากับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้ ซึ่งจำนวนของเมตริกซ์จะมีขนาดเท่ากับตารางเวลาที่สามารถใช้งานได้

Tables 2 Parameter for the examination schedule sets used in this study

Level	α	ER	Q	$\tau_{\max}$	$\tau_{\min}$
Parameter					
Low Setting	1	0.1	1	10	0.019
Medium Setting	3	0.5	3	2	0.019
High Setting	5	0.9	5	1.11	0.019

การกำหนดค่าพารามิเตอร์

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งงานวิจัยนี้แบ่งระดับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ออกเป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low Setting) ระดับกลาง (Medium Setting) และ ระดับสูง (High Setting) ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดัง Tables 2 คือ ดังนี้

α หมายถึง ค่าน้ำหนักของฟีโรโมน
 ER หมายถึง อัตราการระเหยของฟีโรโมน
 Q หมายถึง ค่าคงที่ใด ๆ
 $\tau_{\max}$ หมายถึง ค่าฟีโรโมนสูงสุดมีค่าเท่ากับ $(1/ER)$

$\tau_{\min}$ หมายถึง ค่าฟีโรโมนต่ำสุด

และจำนวนมดที่ใช้ในงานวิจัยนี้ อยู่ในช่วง 20-200 ตัว โดยแบ่งเป็นช่วง ดังนี้ 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ทำการทดลองโดยระบุจำนวนรอบในการทำงาน 1,000 รอบ เนื่องจากจำนวนมดและจำนวนรอบจะมีผลต่อประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้

ส่วนที่ 2 ขั้นตอนการสร้างคำตอบ

เริ่มจาก มดตัวที่ m เลือกตารางเวลา T_m จากชุดตารางเวลา T โดยการหาค่าความน่าจะเป็น ρ ของตารางเวลาทุกตัวจากสมการที่ 1

$$\rho = \frac{\tau^\alpha}{Obj} \quad (1)$$

เมื่อ τ^α คือ ค่าฟีโรโมนของตารางเวลา (ยกกำลัง) ด้วยค่าน้ำหนักของฟีโรโมน

Obj คือ ค่าจุดประสงค์ของการจัดตารางสอบของตารางเวลา

โดยมดตัวที่ m จะทำการเลือกตารางเวลาด้วยการสุ่มตัวเลขมาหนึ่งตัวซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $\{0,1\}$ ถ้าค่าที่สุ่มได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความน่าจะเป็นของตารางเวลาใดภายในบัญชีคู่แข่ง (Candidate List : CL) มากที่สุดตารางเวลานั้นจะถูกเลือกนำไปใช้ในแต่ละเหตุการณ์ จากนั้นทำการหาค่าความเหมาะสมของคำตอบของมดตัวที่ m ด้วยค่าจุดประสงค์ Obj ดังสมการที่ 2

$$Obj = (St - Rt) \quad (2)$$

โดย St คือ จำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียน

Rt คือ จำนวนที่นั่งภายในห้องสอบ

ซึ่งตารางเวลาใดมีค่า Obj น้อยแสดงว่าผลลัพธ์ของตารางเวลานั้นมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมาก (T^{best})

ส่วนที่ 3 ขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมน

ปรับปรุงค่าฟีโรโมน (ด้วยวิธีการที่แตกต่างกันตามประเภทของเทคนิคอาณานิคมมด) เมื่อมดตัวที่ m เลือกตารางเวลาที่มีผลลัพธ์ในการจัดที่มีความเหมาะสม และมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (T^{best}) จะต้องปรับปรุงค่าฟีโรโมน

τ_{ij} ในตำแหน่งที่เลือกมาด้วย โดยมดทุกตัวจะมีสิทธิ์ปล่อยฟีโรโมน โดยสมการที่ใช้ในการปรับค่าฟีโรโมน แสดงดังสมการที่ 3 กรณี i, j ไม่ใช่ตารางเวลาที่มดเลือกและสมการที่ 4 กรณี i, j เป็นตารางเวลาที่มดเลือก

$$\tau_{ij} = (1 - ER)(\tau_{ij}) \quad (3)$$

$$\tau_{ij} = (1 - ER)(\tau_{ij}) + Obj_{best} \quad (4)$$

เมื่อ ER คือ อัตราการระเหยของฟีโรโมน

Obj_{best} คือ Q/Obj_{best} เมื่อ Q คือ ค่าคงที่ใด ๆ

และ Obj_{best} ผลรวมของการละเมิดข้อบังคับที่ให้อำนาจที่ดีที่สุด

ส่วนที่ 4 ขั้นตอนการตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับ

ข้อบังคับ

การตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับที่ 1 ผู้คุมสอบมีหน้าที่คุมสอบได้เพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น (CT_1) คือ การกำหนดให้ในวันและเวลาเดียวกันผู้คุมสอบจะคุมสอบได้หนึ่งห้องให้ C_s หมายถึง ผู้คุมสอบคนที่ s เมื่อ $s=1, \dots, m$ CB_{sk} เป็นการสอบในแต่ละห้องผู้คุมสอบคนที่ s กลุ่มที่ k เมื่อ $k=1, \dots, N$ สามารถตรวจสอบผู้คุมสอบ กลุ่มที่ k สำหรับ C_{ijk} ว่าคุมสอบซ้ำหรือไม่ ได้ดังสมการที่ 5

$$CB_{sk} = \begin{cases} 0 & \text{if } C_s \neq C_{ijk} \\ 1 & \text{if } C_s = C_{ijk} \end{cases} \quad (5)$$

หาผลรวมการคุมสอบซ้ำในช่วงเวลาเดียวกันของอาจารย์ทั้งหมด ได้ดังสมการที่ 6

$$CT_1 = \sum_{k=1}^N CB_{sk} \quad (6)$$

การตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับที่ 2 ห้องสอบจะต้องถูกใช้สอบเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น (CT_2) คือ การกำหนดให้ในวันและเวลาเดียวกันสามารถใช้สอบได้เพียงวิชาเดียวให้ R_s หมายถึง ห้องสอบที่ s เมื่อ $s=1,...,m$ CR_{sk} เป็นห้องสอบห้องที่ s วิชาที่ k เมื่อ $k=1,...,N$ สามารถตรวจสอบห้องสอบ วิชาที่ k สำหรับ R_{ijk} ว่าถูกจัดเข้าหรือไม่ ได้ดังสมการที่ 7

$$CR_{sk} = \begin{cases} 0 & \text{if } R_s \neq R_{ijk} \\ 1 & \text{if } R_s = R_{ijk} \end{cases} \quad (7)$$

หาผลรวมห้องสอบที่ถูกจัดเข้าในช่วงเวลาเดียวกัน ได้ดังสมการที่ 8

$$CT_2 = \sum_{k=1}^N CR_{sk} \quad (8)$$

การตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับที่ 3 ห้องสอบควรมีขนาดที่เหมาะสมกับจำนวนนักเรียนที่เข้าสอบ (CT_3) กำหนดให้ขนาดของห้องสอบ ให้ L_s หมายถึง จำนวนที่นั่งในห้องสอบ s เมื่อ $s=1,...,m$ CL_{sk} เป็นจำนวนที่นั่งในห้องสอบห้องที่ s ถูกจัดให้ใช้วิชาที่ k เมื่อ $k=1,...,N$ โดย A_k คือจำนวนนักเรียนที่เข้าสอบในห้องที่ k สามารถหาขนาดของห้องสอบว่ามีที่นั่งเพียงพอหรือไม่ ได้ดังสมการที่ 9

$$CL_{sk} = \begin{cases} 0 & \text{อื่นๆ} \\ 1 & \text{if } L_s < A_k \end{cases} \quad (9)$$

หาผลรวมขนาดห้องสอบมีความเหมาะสมกับจำนวนผู้เข้าสอบหรือไม่ ได้ดังสมการที่ 10

$$CT_3 = \sum_{k=1}^N CL_{sk} \quad (10)$$

ส่วนที่ 5 ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์

เกณฑ์การเปรียบเทียบผลลัพธ์ ทำได้โดยการนำค่าผลรวมของการละเมิดข้อบังคับทั้ง 3 ข้อ ที่ได้จากขั้นตอนการตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับข้างต้นมารวมกัน ดังสมการที่ 11

$$SumCT = CT_1 + CT_2 + CT_3 \quad (11)$$

เมื่อ $SumCT$ คือ ผลรวมของการละเมิดข้อบังคับทั้งหมด

CT_1 คือ ผลรวมการคุมสอบเข้าในช่วงเวลา

เดียวกันของอาจารย์ทั้งหมด

CT_2 คือ ผลรวมห้องสอบที่ถูกจัดเข้าในช่วงเวลา

เดียวกัน

CT_3 คือ ผลรวมขนาดห้องสอบมีความเหมาะสม

กับจำนวนผู้เข้าสอบหรือไม่

ส่วนที่ 6 ขั้นตอนการปรับปรุงค่าคำตอบ

การปรับปรุงค่าคำตอบ จะถูกดำเนินการหากพบคำตอบที่ได้จากเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมคดียังมีการละเมิดข้อบังคับบางส่วนอยู่ ระบบจะทำการปรับปรุงคำตอบให้พร้อมใช้งาน และสามารถลดความผิดพลาดในการจัดตารางสอบได้

2.2.2 เว็บแอปพลิเคชัน

ทำการพัฒนาระบบจัดตารางสอบในรูปแบบเว็บแอปพลิเคชันด้วยภาษา PHP, HTML, JavaScript และ CSS ระบบจัดการฐานข้อมูล MySQL

3. ผลการวิจัย

3.1 ผลการศึกษาและเปรียบเทียบเทคนิควิธีการอาณานิคมที่เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางคุมสอบ

ผลการศึกษาและเปรียบเทียบเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมคดียี่สิบสองวิธี คือ 1) ระบบมด 2) ระบบมดแบบ แม็ก-มิน โดยกำหนดค่าพารามิเตอร์เป็น 3 ระดับ คือ ระดับต่ำ (Low Setting) ระดับกลาง (Medium Setting) และระดับสูง (High Setting)

จำนวนมดอยู่ในช่วง 20-200 ตัว โดยแบ่งเป็นช่วงดังนี้ 20, 40, 60, 80, 100, 150, 200 ทำการทดลองโดยระบุจำนวนรอบในการทำงาน 1,000 รอบ

จากการทดลองจัดตารางสอบโดยกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆ ตามที่ได้กำหนดไว้ข้างต้นมีผลการทดลองซึ่งสามารถเปรียบเทียบการละเมิดข้อบังคับในการจัดตารางสอบทั้ง 3 ข้อ ในแต่ละวิธีการ ในแต่ละกลุ่มพารามิเตอร์ ดังนี้

กลุ่มที่ 1 พารามิเตอร์ระดับต่ำกับระบบมด สามารถสรุปได้ว่าจำนวนมดที่ละเมิดข้อบังคับน้อยที่สุด คือ 100 ตัว และใช้รอบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 450 รอบขึ้นไป ดัง Figure 3 (A) และพารามิเตอร์ระดับต่ำกับระบบแม็ก-มิน สามารถสรุปได้ว่าจำนวนมดที่ละเมิดข้อบังคับน้อยที่สุด คือ 150 ตัว และใช้รอบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 98 รอบขึ้นไป ดัง Figure 3 (B)

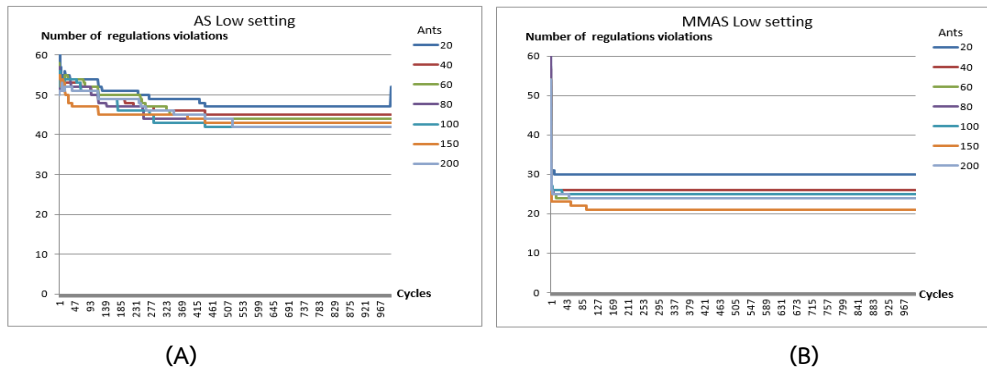


Figure 3 Results of running the ant system low setting (A) and Max-Min ant system low setting (B)

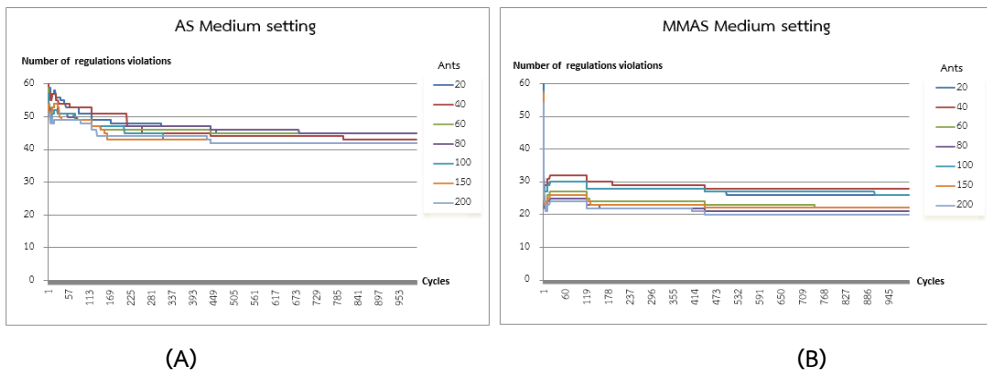


Figure 4 Results of running the ant system medium setting (A) and Max-Min ant system medium setting (B)

กลุ่มที่ 2 พารามิเตอร์ระดับกลางกับระบบมด สามารถสรุปได้ว่าจำนวนมดที่ละเมิดข้อบังคับน้อยที่สุด คือ 150 ตัว และใช้รอบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 162 รอบ ขึ้นไป ดัง Figure 4 (A) และพารามิเตอร์ระดับกลางกับระบบ

มดแบบ แม็ก-มิน สามารถสรุปได้ว่าจำนวนมดที่ละเมิด ข้อบังคับน้อยที่สุด คือ 200 ตัว และใช้รอบในการหาคำตอบที่ ดีที่สุดอยู่ที่ 401 รอบขึ้นไป ดัง Figure 4 (B)

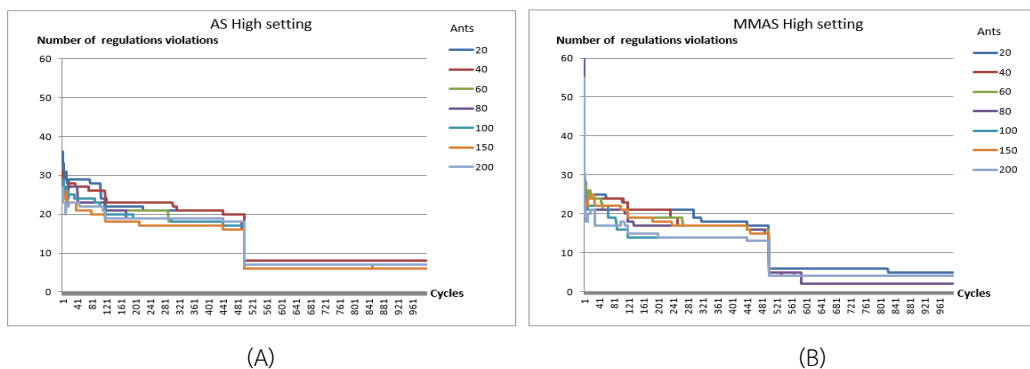


Figure 5 Results of running the ant system high setting (A) and Max-Min ant system high setting (B)

กลุ่มที่ 3 พารามิเตอร์ระดับสูงกับระบบมด สามารถสรุปได้ว่าจำนวนมดที่ละเมิดข้อบังคับน้อยที่สุดคือ 150 ตัว และใช้รอบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 500 รอบขึ้นไป ดัง Figure 5 (A) และพารามิเตอร์ระดับสูงกับระบบมดแบบ แม็ก-มิน สามารถสรุปได้ว่าจำนวนมดที่ละเมิดข้อบังคับน้อยที่สุดคือ 80 ตัว และใช้รอบในการหาคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 560 รอบขึ้นไป ดัง Figure 5 (B)

จากผลการทดลอง พบว่า ผลลัพธ์ของการละเมิด ข้อบังคับที่น้อยที่สุดในแต่ละกลุ่มทั้งหมด 3 กลุ่ม ดัง Figure 6 สรุปได้ว่าวิธีการที่จะนำไปพัฒนาระบบจัดการตารางสอบวิชา ศึกษาทั่วไป คือ ระบบมดแบบ แม็ก-มิน โดยใช้พารามิเตอร์ที่ เหมาะสมเพื่อกำหนดให้เป็นค่าเริ่มต้นของโปรแกรม ดังนี้ ค่า น้ำหนักของฟีโรโมนเท่ากับ 5 อัตราการระเหยของฟีโรโมน เท่ากับ 0.9 ค่าคงที่ใด ๆ เท่ากับ 5 ค่าฟีโรโมนสูงสุดเท่ากับ 1.11 ค่าฟีโรโมนต่ำสุดเท่ากับ 0.019 ใช้จำนวนมด 80 ตัว

จำนวนรอบ 560 รอบ เนื่องจากมีผลการละเมิดข้อบังคับน้อยที่สุด ซึ่งหมายความว่า เป็นวิธีที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด แต่ทั้งนี้ผลการเปรียบเทียบการละเมิดข้อบังคับที่แสดงมาได้นี้มาจากการวิจัยในการประยุกต์ใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดสำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางคุมสอบในส่วนที่ 5 คือ ขั้นตอนการเปรียบเทียบผลลัพธ์ ซึ่งจากผลการทดลองพบว่าถึงแม้จะหาเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดและพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดแล้ว คำตอบที่ได้ก็ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากคำตอบที่ได้ยังมีการละเมิดข้อบังคับอยู่

ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงมีการวิจัยในส่วนที่ 6 คือ ขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ โดยระบบจะทำการตรวจสอบคำตอบที่ได้จากเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด หากพบว่ามีผลการละเมิดข้อบังคับบางส่วนอยู่ ตัวอย่างเช่น มีคำตอบที่เกิดการละเมิดข้อบังคับที่ 2 คือ ห้องสอบจะต้องถูกใช้สอบเพียงหนึ่งวิชาในระยะเวลาเดียวกันเท่านั้น ระบบจะทำการปรับปรุงคำตอบโดยการตรวจสอบห้องสอบที่ว่างในช่วงเวลานั้นมาแทนที่ ซึ่งระบบจะทำการปรับปรุงคำตอบจนกระทั่งพร้อมใช้งาน

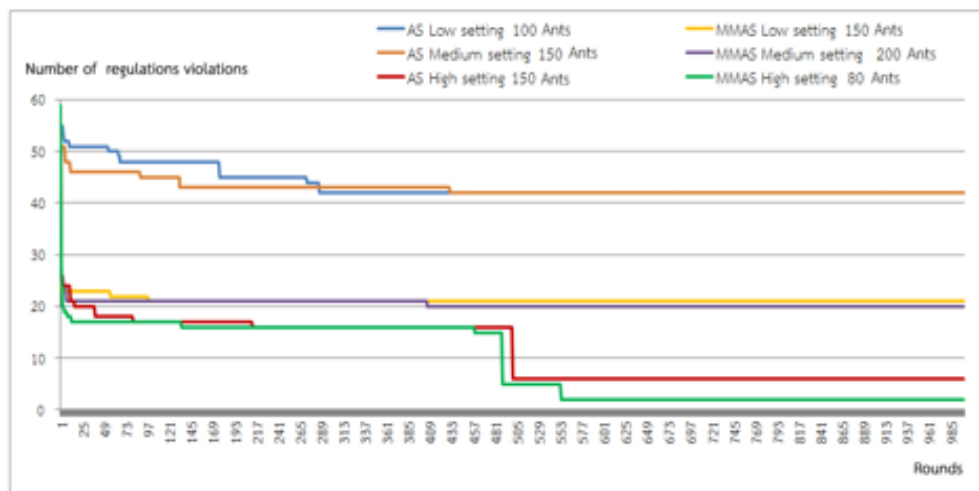


Figure 6 Comparison summary of results

3.2 ผลการออกแบบและพัฒนาระบบจัดตารางคุมสอบโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด

3.2.1 ผลออกแบบระบบ

งานวิจัยนี้ ได้ดำเนินการออกแบบและพัฒนาระบบจัดตารางสอบ โดยมีภาพรวมของระบบ ดัง Figure 7

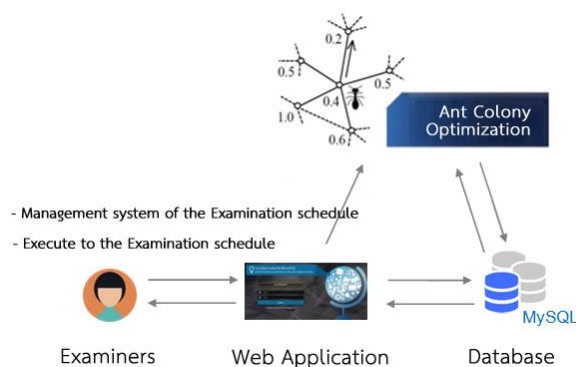


Figure 7 System overview

จาก Figure 7 แสดงการติดต่อสื่อสารและการรับส่งข้อมูลภายในส่วนต่าง ๆ ของระบบ ดังนี้

ผู้จัดตารางสอบ คือ บุคคลที่ทำหน้าที่จัดตารางสอบ ซึ่งผู้จัดตารางสอบจะต้องลงชื่อเข้าใช้งานเพื่อยืนยันสิทธิ์ในการเข้าใช้งาน โดยผู้จัดตารางสอบสามารถจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอบ ดังนี้

- สามารถจัดการข้อมูลรายวิชาศึกษาทั่วไป
- ข้อมูลอาจารย์ ข้อมูลวันที่ใช้สอบ และข้อมูลห้องสอบได้
- ส่งงานจัดตารางสอบ
- สามารถแก้ไขตารางสอบได้ภายหลัง จากที่ระบบมีการจัดตารางอัตโนมัติแล้ว

- สามารถเข้าดูและค้นหาข้อมูลตารางสอบ สามารถพิมพ์และดาวน์โหลดข้อมูลตารางสอบได้

เว็บแอปพลิเคชัน คือ โปรแกรมประยุกต์ที่พัฒนาเพื่อจัดการข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอบ เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล และส่วนส่งการโปรแกรมให้จัดตารางสอบอัตโนมัติ

ฐานข้อมูลระบบ ทำหน้าที่เก็บข้อมูลของระบบการจัดตารางสอบ

เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด ใช้ในการจัดตารางสอบอัตโนมัติ ซึ่งถูกพัฒนามาจาก

ระบบมดแบบ แม็ก-มิน โดยใช้โปรแกรม Matlab เชื่อมต่อกับฐานข้อมูล MySQL มีการทำงานหลัก ดังนี้ 1) การกำหนดค่าข้อมูล 2) การสร้างคำตอบ 3) การปรับปรุงค่าฟิโรโมน 4) การตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับ 5) การเปรียบเทียบผลลัพธ์ 6) การปรับปรุงคำตอบ ซึ่งระบบมดแบบ แม็ก-มิน ที่พัฒนาแล้วเสร็จจะถูก Compile เป็น .exe ไฟล์ นำขึ้นไปไว้บน Server โดยจะถูกเรียกใช้งานเมื่อผู้จัดตารางสอบสั่งงานจัดตารางสอบ และระบบมดแบบ แม็ก-มิน จะทำการดึงข้อมูลจากผู้จัดตารางสอบเตรียมไว้ในฐานข้อมูลมาทำการจัดตารางสอบตามขั้นตอนต่างๆ เมื่อแล้วเสร็จระบบจะบันทึกข้อมูลตาราง

สอบไว้ที่ฐานข้อมูล จากนั้นเว็บแอปพลิเคชันจะดึงข้อมูลตารางสอบที่ถูกระบุที่กัไว้มาแสดงโดยอัตโนมัติ

3.2.2 ผลการพัฒนาระบบ

ผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมจัดการตารางสอบ โดยประยุกต์ใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมด ดัง Figure 8 คือ โปรแกรมช่วยในการจัดตารางสอบ วิชาศึกษาทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม



Figure 8 Management system to examination schedule

กรณีศึกษาที่มีความเหมาะสมและสามารถแก้ปัญหาที่พบจากการจัดตารางโดยมีข้อบังคับที่ใช้ในการจัดตารางสอบ ประกอบด้วย 1) อาจารย์คุมสอบจะต้องคุมสอบ เพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น 2) ห้องสอบจะต้องถูกใช้สอบเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น 3) ห้องสอบควรจะมีขนาดที่เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน ซึ่งพบว่า โปรแกรมจัดการตารางสอบโดยประยุกต์ใช้เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดสามารถลดความผิดพลาดจากการจัดตารางสอบ ทั้งความซ้ำซ้อนกันของเวลาสอบ ความซ้ำซ้อนของอาจารย์คุมสอบ และความซ้ำซ้อนกันของห้องเรียน อีกทั้งยังใช้เวลาในการจัดตารางสอบเพียง 2 ชั่วโมง ซึ่งลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับการจัดตารางสอบแบบเดิมที่ใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์

4. สรุปและอภิปรายผล

งานวิจัยนี้เป็นการนำเทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดมาประยุกต์ใช้เพื่อพัฒนาโปรแกรมช่วยในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอบ เพื่อช่วยให้การจัดตารางสอบมีความเหมาะสมที่สุด โดยพิจารณาเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอบ ซึ่งตารางสอบที่ได้จะต้องไม่

ละเมิดเงื่อนไขข้อบังคับ และควรหลีกเลี่ยงไม่ให้ละเมิดเงื่อนไขเพื่อความสมบูรณ์ ผลจากการวิจัยครั้งนี้ พบว่า เทคนิคการหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการอาณานิคมมดสามารถช่วยแก้ปัญหาในการจัดตารางสอบได้ สอดคล้องกับงานวิจัยของนิกร โภคอุดม และสมหญิง โภคอุดมได้นำเสนอวิธีการจัดการตารางคุมสอบของสถานศึกษาด้วยวิธีระบบอาณานิคมมดเพื่อลดภาระการจัดตารางคุมสอบของเจ้าหน้าที่ [5] ทั้งนี้อาจเนื่องมาจากวิธีเมตา-ฮิวริสติกเป็นที่ยอมรับว่าคำตอบที่ได้จะมีคุณภาพดีเพียงพอและช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณ แต่ทั้งนี้คำตอบที่ได้ก็ยังไม่สามารถนำไปใช้ได้เนื่องจากคำตอบที่ได้อาจมีละเมิดเงื่อนไขข้อบังคับอยู่ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงได้เพิ่มขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบ เพื่อปรับปรุงคำตอบให้พร้อมใช้งาน ทำให้ได้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดตารางสอบ สอดคล้องกับงานวิจัยของพงษ์ศักดิ์ ศรีโสม ได้พัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแนะนำการใช้ปุ๋ยและรูปแบบการใช้ปุ๋ยแบบผสมผสานที่เหมาะสมกับชนิดของดินและพืช และสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้จริงและมีประสิทธิภาพ [6] ซึ่งความน่าเชื่อถือของโปรแกรม วัดโดยการเปรียบเทียบระหว่างตารางสอบที่ได้จากระบบจัดการตารางสอบกับวิธีการจัดตารางสอบ

แบบเดิม คือ จัดตารางสอบโดยผู้ที่มีประสบการณ์ในการจัดตารางสอบ ซึ่งพบว่าตารางสอบที่ได้จากการใช้โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นไม่พบข้อผิดพลาดเลย

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับสนับสนุนจากเงินรายได้ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม (ปีงบประมาณ 2559)

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Cooper, T. and Kingston, J. 1996. The complexity of timetable construction problems. **Practice and theory of Automated Timetabling**. 1153: 281-295.
- [2] Lewis, R. 2008. A survey of metaheuristic-based techniques for university Timetabling problems. **OR Spectrum**. 30(1): 167-190.
- [3] Azimi, Z. 2004. Comparison of metaheuristic algorithms for examination timetabling problem. **Journal of Applied Mathematics and Computing**. 16(1): 337-354.
- [4] Burke, E. and et al. 2005. An ant algorithm hyperheuristic for the project presentation scheduling problem. In **Proceedings of the Congress on Evolutionary Computation 2005 (CEC'05)**, 2-4 September 2005. Edinburgh, UK.
- [5] Pokudom, N. and Pokudom, S. 2012. Ant Colony System for Exam Proctor Schedule. **EAU Heritage Journal**. 6: 40-48. (in Thai)
- [6] Sirisom, P. 2017. The Computer Software Development for recommending the use of Fertilizer and Integrated Fertilizing System which Suitable for Soil Type and Plant. **Journal of Science and Technology, Ubon Ratchathani University**. 19(1): 199-214. (in Thai)
- [7] Dorigo, M. and et al. 2006. Ant colony optimization. **IEEE Comput. Intell. Mag**. 1(4): 28-39.
- [8] Pitakaso R. 2011. **Metaheuristic**. Bangkok: Technologic Promotion Association (Thailand-Japan). (in Thai)
- [9] Sodsoon, S., & Sindhuchao, S. (2010). Max-Min ant system to solve vehicle routing problem case study: Thantip factory of drinking water. **KKU Engineering Journal**, 37(2): 141-149. (in Thai)