

การศึกษาประสิทธิภาพการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยด้วยวิธีการอาณานิคมมด

The Study of the Efficiency of Ant Colony Optimization for University Course Timetabling

ทิพวิมล นุชกำแหง,¹ จิรัฏฐา ภูบุญชอบ,¹ สิทธีชัย บุษหมั่น²

Thipwimon Nuchkamhaeng,¹ Jiratta Phuboon-ob,¹ Sittichai Busaman²

Received: 5 September 2013; Accepted: 10 December 2013

บทคัดย่อ

การจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ยากในการหาคำตอบ เนื่องจากมีข้อมูลและข้อบังคับที่ต้องพิจารณาเป็นจำนวนมาก ดังนั้นการจัดตารางสอนจึงจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีการที่มีประสิทธิภาพและเหมาะสมกับปัญหางานวิจัยนี้ทำการศึกษาและเปรียบเทียบวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) สำหรับแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัย (University Course Timetabling Problem) ด้วยวิธีระบบมด (Ant System : AS) และระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุด (MAX-MIN Ant System : MMAS) ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้ขนาดของห้องเรียน รวมถึงอุปกรณ์การเรียนการสอนที่มีความเหมาะสมมากที่สุด โดยออกแบบและทดลองกับข้อมูลการจัดตารางสอนในภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ภายใต้ข้อบังคับในการจัดตารางสอน ผลการทดลองพบว่า ระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุดมีประสิทธิภาพและความเหมาะสมมากกว่าวิธีระบบมด

คำสำคัญ: ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัย วิธีการอาณานิคมมด

Abstract

University Course Timetabling is a highly complicated scheduling task in which it is difficult to derive optimal solutions. There are numerous data and constraints to be considered. As such, it is necessary to apply appropriate and efficient methods to solve each problem. The purpose of this research is to determine the most appropriate size of classrooms and teaching devices for each course offered by the school. To achieve this; optimization algorithms are studied. This work compares the Ant Colony Optimization (ACO) method for solving university course timetabling problem. Specifically, the Ant System (AS) and the MAX-MIN Ant System (MMAS) were compared. The course timetable data of the computer science department, at the Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University were used to conduct the experiments. The experimental result shows that MAX-MIN Ant System is more effective and appropriate than the Ant Systems.

Keywords: university course timetabling problem, ant colony optimization

บทนำ

การจัดตาราง คือ การจัดสรรทรัพยากรต่างๆ ภายใต้ข้อบังคับลงในช่วงเวลาที่มีอยู่ โดยตารางที่ได้นั้นจะต้องตอบสนองหรือใกล้เคียงกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ¹ สำหรับแนวทางที่ใช้ในการจัดตารางสอน คือ นำข้อมูลที่ใช้ในการจัดตารางสอน ได้แก่ ข้อมูลวิชา ข้อมูลอาจารย์และข้อมูลผู้เรียน จัดลงในช่วงเวลา

ว่างของแต่ละห้องใน 1 สัปดาห์ โดยที่ข้อมูลนั้นต้องไม่ถูกจัดซ้ำอีกในช่วงเวลาเดียวกันของวัน ตารางสอนที่ได้จึงจะสามารถนำไปใช้ได้ ตารางสอนโดยทั่วไปนั้น แรกแรกในแนวนอนจะแสดงเวลาของแต่ละวัน ส่วนแนวตั้งในสัปดาห์แรกจะแสดงวันของสัปดาห์ ภายในตารางจะมีเหตุการณ์ระบุไว้ในช่วงเวลาต่างๆ ของแต่ละห้อง²

¹ นิสิต, ผู้ช่วยศาสตราจารย์, คณะวิทยาการสารสนเทศ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม 44150

² รองศาสตราจารย์, คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม 44000

¹ Student, Asst. Prof., Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150

² Assoc. Prof., Faculty of Science and Technology, Rajabhat Mahasarakham University, Mahasarakham, 44000

* Corresponding author: Jiratta Phuboon-ob, Faculty of Informatics, Mahasarakham University, Kantarawichai, Mahasarakham, 44150, thipwi.kung@hotmail.co.th

การจัดตารางสอนในมหาวิทยาลัย ส่วนใหญ่มักจะดำเนินการด้วยวิธีการสังเกตและปรับปรุงข้อมูลตารางสอนในแต่ละภาคการศึกษา โดยเจ้าหน้าที่ผู้รับผิดชอบจนได้ตารางสอนที่สามารถใช้งานได้ ซึ่งการจัดตารางสอนเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่ดีถูกใจผู้ที่เกี่ยวข้อง ไม่ว่าจะเป็นนักศึกษาหรืออาจารย์ผู้สอนนั้นมีความยากลำบากมาก เนื่องจากรูปแบบในการจัดตารางสอนที่เป็นไปได้มีจำนวนที่แตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการจัดตารางสอนอาจจะหลากหลายมาก ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับจำนวนวิชาเรียน จำนวนอาจารย์ผู้สอน จำนวนเวลาเรียนที่เปิดสอน และจำนวนห้องเรียน การที่มนุษย์เป็นผู้จัดตารางสอน จึงอาจมองข้ามรูปแบบของตารางสอนที่มีความเหมาะสมอีกหลายรูปแบบไป และมักพบว่ามีปัญหาเกิดขึ้นมากมาย ไม่ว่าจะเป็นการจัดตารางสอนที่ไม่ตรงกับเวลาที่เหมาะสมของอาจารย์ผู้สอนหรือทำให้อาจารย์สอนนานเกินไปหรือเสียเวลาประชุมของอาจารย์และผู้บริหาร การจัดตารางสอนที่ไม่สามารถจัดสรรทรัพยากรให้เหมาะสมและเพียงพอกับความต้องการ จำนวนนักศึกษาสอดคล้องพอดีกับขนาดของห้องเรียนและอุปกรณ์การเรียน รวมถึงนโยบายและความต้องการของแต่ละมหาวิทยาลัย เป็นต้น จะเห็นว่าการจัดตารางสอนในมหาวิทยาลัย เป็นเรื่องที่สำคัญมีประโยชน์และน่าสนใจอย่างยิ่งต่อระบบการศึกษาเพื่ออำนวยความสะดวกต่อผู้เรียน อาจารย์ผู้สอนและบุคลากรที่เกี่ยวข้องอันจะทำให้เกิดประสิทธิภาพในการเรียนการสอนได้เป็นอย่างมาก

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางสอนในมหาวิทยาลัยพบว่า การแก้ปัญหาการจัดตารางสอนนั้น มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้แนววิธีการต่างๆ ทางด้านปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence) มาใช้ในการแก้ปัญหา เช่น การใช้ต้นไม้ตัดสินใจ (Decision Tree)³ การใช้เจเน็ติกอัลกอริทึมแบบหลายจุดประสงค์^{4,5} การใช้เจเน็ติกอัลกอริทึม^{6,7} การใช้โครงข่ายประสาทเทียม (Artificial Neural Network)⁸ วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization)^{9,10,11,12} การใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสมและประมวลผลแบบขนาน¹³ แต่งานวิจัยเหล่านั้นยังคงดำเนินการตามปัญหาและแนวทางการพัฒนาเฉพาะตน ซึ่งปัจจุบันการจัดตารางสอนจะเน้นไปที่วิธีการค้นหาตารางสอนที่ดีและตรงกับความต้องการด้วยวิทยาการคอมพิวเตอร์ แต่ความยากของวิธีการนี้ คือ ปัญหาการค้นหาปริภูมิขนาดใหญ่ของคอมพิวเตอร์ ที่เรียกว่า ปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) ซึ่งหมายความว่า เวลาในการหาคำตอบของคอมพิวเตอร์กับตัวแปรที่เกี่ยวข้องไม่เป็นไปตามสัดส่วนของสมการ ดังนั้นในกรณีที่ยังมีห้องเรียน จำนวนวิชาและจำนวนชั่วโมงเรียนมากขึ้นเท่าไร เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบก็ยิ่งเพิ่มทวีคูณเท่านั้น ซึ่งอาจจะไม่มีโอกาสหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

ทำให้คอมพิวเตอร์หยุดชะงักการทำงานในที่สุด¹⁴ จากการศึกษพบว่า รูปแบบตารางสอนที่เป็นไปได้ทั้งหมดนั้นมีปริมาณจำนวนมาก ขึ้นอยู่กับวิชาที่เปิดสอน ชั่วโมงเรียนทั้งหมดที่เป็นไปได้ จำนวนห้องเรียน และอาจารย์ผู้สอนทั้งหมด โดยสามารถคำนวณรูปแบบการจัดตารางสอนที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับจำนวนคาบการสอนที่เป็นไปได้คูณกับจำนวนห้องเรียนที่มีทั้งหมดยกกำลังด้วยจำนวนวิชาเรียน ปัจจุบันปัญหาในการค้นหาปริภูมิที่มีขนาดใหญ่ดังกล่าว ถูกแก้ไขด้วยกระบวนการของเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นเทคนิควิธีในการหาคำตอบที่ดีที่สุดวิธีการหนึ่ง โดยมีหลักการ คือ มีระเบียบวิธีในการหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ มีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น ซึ่งมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น วิธีการจำลองการอบเหนียว (Simulated Annealing) วิธีการอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้มีแนวคิดที่จะศึกษาวิธีการอาณานิคมมดเนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมมาแก้ปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย จากการศึกษางานวิจัยในปัจจุบันพบว่า เป็นวิธีการที่มีความน่าสนใจ และยังไม่มีการวิจัยนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเรียนตารางสอนในประเทศไทย

งานวิจัยนี้จึงมุ่งที่จะแก้ปัญหาการจัดตารางสอนโดยใช้การหาคำตอบที่ดีที่สุด ด้วยวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ด้วยวิธีระบบมด (Ant System: AS) และระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุด (MAX-MIN Ant System: MMAS) เพื่อทำการศึกษาเปรียบเทียบวิธีที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด สำหรับเป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดตารางสอนอัตโนมัติและนำไปใช้งานได้ภายใน ภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ต่อไป

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

วิธีการอาณานิคมมด (ACO) ได้ถูกนำมาเผยแพร่ครั้งแรกโดย Marco Dorico¹⁵ ในวิทยานิพนธ์ของเขาในปี ค.ศ. 1992 ซึ่งในวิทยานิพนธ์นี้ ACO ถูกเรียกว่า ระบบมด (Ant System : AS) โดย Dorico ประยุกต์ใช้ AS ในปัญหาการเดินทางของบุรุษไปรษณีย์และปัญหาการมอบหมายงานแบบควอดราติกส์ (Quadratic Assignment Problem) การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย ACO เป็นวิธีการที่มีแนวคิดมาจากพฤติกรรมของการออกหาอาหารของมด การจำลองแบบการเดินทางของมดดังแสดงในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นถึงการเดินทางจากรังของมดไปสู่แหล่งอาหาร โดยมี 2 เส้นทางให้เลือก คือ เส้นทางที่

1 และ 2 ซึ่งมดตัวแรกๆ จะเดินทางแบบสุ่มไปทั้ง 2 เส้นทาง รังมด (ก) เส้นทางที่ 1 เป็นเส้นทางที่สั้นกว่า จะมีระดับฟีโรโมนที่สูงกว่า มดตัวต่อๆ มาที่ต้องเดินทางจากรังไปสู่แหล่งอาหารก็จะตามกลิ่นฟีโรโมนไป ซึ่งเส้นทางที่ 1 จะดึงดูดมดได้มากกว่าเส้นทางที่ 2 แต่อย่างไรก็ตามเส้นทางที่ 2 ก็ยังคงมีมดที่เลือกเดินทางอยู่นั่นเอง แต่เมื่อเวลาผ่านไปฟีโรโมนในเส้นทางที่ 2 มีการระเหยมากขึ้น ทำให้ระดับความเข้มข้นของฟีโรโมนลดลงแต่ในเส้นทางที่ 1 จะมีระดับฟีโรโมนที่เข้มข้นขึ้น เนื่องจากมดเดินทางผ่านมามาก ดังภาพแสดงรังมด (ข, ค) ซึ่งมดเหล่านี้ในขณะที่ย่อหาอาหารจะปล่อยฟีโรโมนไว้ตามทางที่เดินผ่าน โดยมีจุดประสงค์เพื่อเป็นการบอกมดตัวอื่นๆ ว่าเส้นทางนี้เป็นเส้นทางที่เหมาะสมในการเดินทางไปหาอาหารระหว่างอาณาจักรของมันและแหล่งอาหาร ซึ่งมดตัวอื่นที่อยู่ในอาณาจักรเดียวกันก็จะเดินตามเส้นทางที่มีฟีโรโมนอยู่ และก็จะปล่อยฟีโรโมนในเส้นทางนั้นด้วย ทำให้เส้นทางนั้นมีการสะสมของฟีโรโมนมากยิ่งขึ้น ซึ่งกระบวนการเหล่านี้จะดำเนินซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้เส้นทางที่เหมาะสมหรือจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขในการหยุดทำงาน เช่น ครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้^{15,16} เป็นต้น ซึ่งวิธีการ ACO แต่ละประเภทจะมี

ความแตกต่างกันในขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมน โดยอาจมีข้อจำกัดและวิธีการที่แตกต่างกัน ส่วนขั้นตอนอื่นๆ จะมีความคล้ายคลึงกัน ดังนี้

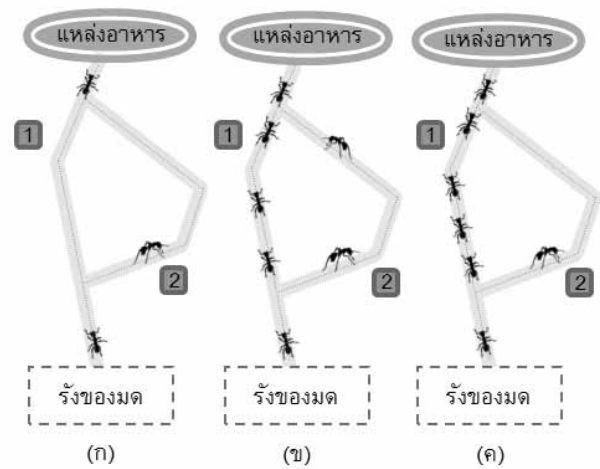


Figure 1 Real ants after a while tend to choose the shortest path between nest and food

```

1  upload problem data and assign parameters setting           % Initialisation procedure
2  create candidate list and encode tour components  $\{r_{nr}, d_{od}, p_{np}\}$ 
3  create events list (E); sort it by priority; 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     end while
15     check duplicate constraint ( $CT_1, CT_2, CT_3$ )           % Check constraint
16     output the best timetables( $T^{best}$ )

```

Figure 2 Pseudo code of Ant Colony Optimization for University Course Timetabling

วิธีการระบบมด

วิธีการระบบมด จะต้องมีการปรับปรุงฟีโรโมนทุกครั้ง เมื่อมดแต่ละตัวสร้างเส้นทางของตนเองเสร็จสิ้นและจะมีการปรับปรุงอีกครั้งด้วยมดตัวที่ดีที่สุดในช่วงหรือในรอบการวนซ้ำนั้นๆ

วิธีระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุด

วิธีระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุด มดตัวที่ดีที่สุดของการวนรอบทั้งหมดเท่านั้นที่จะมีโอกาสปรับปรุงค่าฟีโรโมน โดยการปรับปรุงฟีโรโมนแต่ละครั้งจะมีการกำหนดช่วงค่าสูงสุด

(τ_{max}) และค่าต่ำสุด (τ_{min}) เช่นถ้าหากค่าของ $\tau_{ij} > \tau_{max}$ กำหนดให้ค่า $\tau_{ij} = \tau_{max}$ ในทางตรงกันข้ามกัน หากค่าของ $\tau_{ij} < \tau_{min}$ กำหนดให้ค่า $\tau_{ij} = \tau_{min}$ เพื่อให้มดมีโอกาสเลือกคำตอบที่ไม่เคยเลือกเลยหรือมีโอกาสที่จะไม่เลือกเส้นทางที่มีฟีโรโมนสูงมาก

วิธีการดำเนินงานวิจัย

ข้อมูลทดลอง

งานวิจัยนี้ ได้ทำการศึกษาข้อมูลที่ใช้ในการจัดตารางสอนของภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และ

เทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม พบว่า ข้อมูลที่มีความจำเป็นในการจัดตารางสอน คือ ข้อมูลนักเรียน ข้อมูลวิชาเรียนและข้อมูลห้องเรียน ซึ่งข้อมูลผู้สอนจะมีความสัมพันธ์กับข้อมูลวิชาเรียนและข้อมูลจำนวนคาบเรียนของแต่ละวัน โดยการจัดตารางสอนจะถูกจัดอยู่ภายใต้ข้อบังคับต่างๆ ดังนี้

- ผู้สอนจะต้องสอนเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น
- ห้องเรียนจะต้องถูกใช้เรียนเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น
- ห้องเรียนควรมีขนาดที่เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน

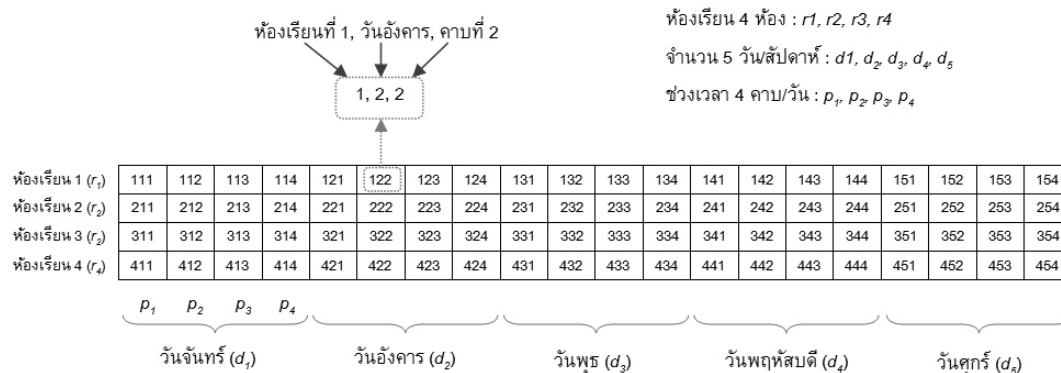


Figure 3 Tour components encoding in candidate list of ants

การประยุกต์ใช้วิธีการอาณานิคมมดกับปัญหาการจัดตารางสอน

งานวิจัยนี้ได้ประยุกต์ใช้โปรแกรม Matlab ในการเขียนโปรแกรม โดยแบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็น 4 ส่วนหลัก คือ ขั้นตอนการกำหนดค่าข้อมูล (บรรทัดที่ 1-3) ขั้นตอนการสร้างคำตอบ (บรรทัดที่ 4-11) ขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมน (บรรทัดที่ 12-14) ขั้นตอนการตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับ (บรรทัดที่ 15) ดังแสดงในรูปที่ 2

ขั้นตอนการกำหนดค่าข้อมูล

หลังจากการอัปโหลดข้อมูลและการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เรียบร้อยแล้ว สร้างตารางเวลาแทนด้วยตัวแปร T ซึ่งเป็นเส้นทางที่มดจะเดินทางผ่าน จะแสดงถึงจำนวนเส้นทางทั้งหมดของตารางเวลาที่สามารถใช้งานได้ ประกอบด้วย จำนวนห้องเรียนทั้งหมด (nr) จำนวนวันทั้งหมด (nd) และจำนวนคาบเรียนทั้งหมด (np) ซึ่งได้ถูกเข้ารหัสเป็นค่าจำนวนเต็มไว้ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยส่วนประกอบของ

ศึกษาเปรียบเทียบค่าที่เหมาะสมด้วยวิธีการอาณานิคมมด

ศึกษาเทคนิควิธีการอาณานิคมมดที่เหมาะสมและมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยมุ่งเน้นวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) 2 วิธี คือ

- วิธีระบบมด (Ant System: AS)
- วิธีระบบมดแบบกำหนดขอบเขตสูงสุด-ต่ำสุด

(Max-Min Ant System: MMAS) จากนั้นนำผลลัพธ์ของค่าน้ำหนักของการละเมิดข้อบังคับมาเปรียบเทียบกับ หากผลรวมค่าน้ำหนักในวิธีการใดน้อย แสดงถึงตารางสอนจากวิธีการนั้นมีประสิทธิภาพและความเหมาะสมมากที่สุด

ต้นที่ 1 เท่ากันหมดทุกตัว ซึ่งจำนวนของเมทริกซ์จะมีขนาดเท่ากับตารางเวลาที่สามารถใช้งานได้

ขั้นตอนการสร้างคำตอบ

เริ่มจากมดตัวที่ m เลือกตารางเวลา T^m จากชุดตารางเวลา T โดยการหาค่าความน่าจะเป็น ρ ของตารางเวลาทุกตัว จากสมการ (1)

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

เมื่อ τ^α คือ ค่าฟีโรโมนของตารางเวลา (ยกกำลัง) ด้วยค่าน้ำหนักของฟีโรโมน

Obj คือ ค่าจุดประสงค์ของการจัดตารางสอนของตารางเวลา

โดยมดตัวที่ m จะทำการเลือกตารางเวลาด้วยการสุ่มตัวเลขมาหนึ่งตัว ซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง $\{0,1\}$ ถ้าค่าที่สุ่มได้มีค่าใกล้เคียงกับค่าความน่าจะเป็นของตารางเวลาใดภายในบัญชีคู่แข่งมากที่สุด ตารางเวลานั้นจะถูกเลือกนำไปใช้ในแต่ละเหตุการณ์

จากนั้นทำการหาค่าความเหมาะสมของคำตอบของมดตัวที่ m ด้วยค่าจุดประสงค์ Obj ดังสมการ (2)

$$Obj = (St - Rt) + (SI * RI) \quad (2)$$

โดย St คือ จำนวนนักศึกษาที่ลงทะเบียน

Rt คือ จำนวนที่นั่งภายในห้องเรียน

SI คือ ความต้องการในการใช้ห้องปฏิบัติการ

RI คือ ประเภทของห้องเรียน

ซึ่งตารางเวลาใดมีค่า Obj น้อย แสดงว่า ผลลัพธ์ของตารางเวลานั้นมีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพมาก (T^{best})

ขั้นตอนการปรับปรุงค่าฟีโรโมน

เมื่อมดตัวที่ m เลือกตารางเวลาที่มีผลลัพธ์ในการจัดที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด (T^{best}) จะต้องปรับปรุงค่าฟีโรโมน τ_{ij} ในตำแหน่งที่เลือกมาด้วย โดยมดทุกตัวจะมีสิทธิ์ปล่อยฟีโรโมน สมการที่ใช้ในการปรับค่าฟีโรโมนแสดงดังสมการ (3) กรณี i, j ไม่ใช่ตารางเวลาที่มดเลือกและสมการ (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 ค่าจุดประสงค์ของการจัดตารางสอนที่มีความเหมาะสมและมีประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

ขั้นตอนการตรวจสอบการละเมิดข้อบังคับ

ผู้สอนต้องสอนเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น (CT_1) คือ การกำหนดให้ในวันและเวลาเดียวกันผู้สอนจะสอนได้หนึ่งกลุ่มให้ TC_s หมายถึง ผู้สอนคนที่ s เมื่อ $s = 1, \dots, n$ CB_{sk} เป็นการสอนในแต่ละคาบของผู้สอนคนที่ s กลุ่มที่ k เมื่อ $k = 1, \dots, N$ สามารถตรวจสอบผู้สอนแต่ละคนว่าสอนซ้ำหรือไม่ ได้ดังสมการ (5)

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

หาผลรวมการสอนซ้ำในช่วงเวลาเดียวกันของอาจารย์ทั้งหมด ได้ดังสมการ (6)

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

ห้องเรียนต้องถูกใช้เรียนเพียงหนึ่งวิชาในช่วงเวลาเดียวกันเท่านั้น (CT_2) คือ การกำหนดให้ในวันและเวลาเดียวกันสามารถใช้เรียนได้เพียงวิชาเดียว

ให้ R_s หมายถึง ห้องเรียนที่ s เมื่อ $s = 1, \dots, n$ CR_{sk} เป็นห้องเรียนห้องที่ s วิชาที่ k เมื่อ $k = 1, \dots, N$ สามารถตรวจสอบห้องเรียนว่าถูกจัดซ้ำหรือไม่ ได้ดังสมการ (7)

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

หาผลรวมห้องเรียนที่ถูกจัดซ้ำในช่วงเวลาเดียวกันได้ดังสมการ (8)

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

ห้องเรียนควรมีขนาดที่เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน (CT_3) คือ กำหนดให้ขนาดของห้องเรียนให้ L_s หมายถึงจำนวนที่นั่งของห้องเรียน s เมื่อ $s = 1, \dots, n$ CL_{sk} เป็นจำนวนที่นั่งในห้องเรียนห้องที่ s ถูกจัดให้ใช้ในวิชาที่ k เมื่อ $k = 1, \dots, N$ โดย A_k คือ จำนวนนักเรียนที่ลงเรียนในวิชาที่ k สามารถหาว่าขนาดของห้องเรียนมีที่นั่งเพียงพอหรือไม่ ได้ดังสมการ (9)

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

หาผลรวมขนาดห้องเรียนมีความเหมาะสมกับจำนวนผู้เรียนหรือไม่ ได้ดังสมการ (10)

$$CT_2 = \sum_{k=1}^N CL_{sk} \quad (10)$$

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การทดลองมีพารามิเตอร์ ดังแสดงในตารางที่ 1 ดังนี้
จำนวนรอบการทำงานต่อจำนวนมด (A/I)

ค่าน้ำหนักของฟีโรโมน (α)

อัตราการระเหยของฟีโรโมน (Evaporation Rate; ER)

ค่าฟีโรโมนสูงสุด ($\tau_{\max}$)

ค่าฟีโรโมนต่ำสุด ($\tau_{\min}$)

Table 1 Parameters used by the algorithms

ตัวแปร	AS	MMAS
A/I	10/5	10/5
α	2	2
ER	0.3	0.3
$\tau_{\max}$	-	3.3
$\tau_{\min}$	-	0.019

ผลการทดลอง

จากการทดลองการทำงานที่มีจำนวนรอบการทำงานต่อจำนวนมดและพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้กำหนดไว้ มีเหตุการณ์ทั้งหมดจำนวน 134 เหตุการณ์ โดยทำการทดลอง 10 ครั้ง เพื่อเปรียบเทียบหาผลลัพธ์การทำงานที่ดีที่สุด ดังแสดงในตารางที่ 2 ซึ่งแสดงผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของการละเมิดข้อบังคับ โดยแบ่งเป็น 3 ประเภท ประกอบด้วย ผู้สอนจะต้องสอนเพียงหนึ่งวิชาในระยะเวลาเดียวกันเท่านั้น (CT_1) ห้องเรียนจะต้องถูกใช้เรียนเพียงหนึ่งวิชาในระยะเวลาเดียวกันเท่านั้น

(CT_2) ห้องเรียนควรมีขนาดที่เหมาะสมกับจำนวนผู้เรียน (CT_3) สามารถสรุปผลลัพธ์ของการละเมิดข้อบังคับโดยรวม ดังแสดงใน Table 3

Table 2 Comparison of the constraint violation results obtained by the two ant algorithms

ครั้งที่	AS			MMAS		
	CT_1	CT_2	CT_3	CT_1	CT_2	CT_3
1	91	75	2	65	38	1
2	84	67	1	69	35	1
3	94	77	2	72	45	2
4	97	75	5	92	60	2
5	99	80	5	89	64	2
6	97	71	3	90	63	2
7	95	66	4	91	35	0
8	87	65	5	75	33	2
9	95	72	2	88	45	1
10	96	58	2	86	25	0

Table 3 Comparison of the results obtained by the two ant algorithms

ครั้งที่	AS	MMAS
1	168	104
2	152	105
3	173	119
4	177	154
5	184	155
6	171	155
7	165	126
8	157	110
9	169	134
10	156	111
รวม	1,672	1,273

ผลการทดลองจาก Table 3 แสดงให้เห็นว่าวิธีการระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุดมีความเหมาะสมและประสิทธิภาพดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการระบบมดเนื่องจากวิธีการระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุดให้ค่าเฉลี่ยของการละเมิดข้อบังคับน้อยกว่า

สรุปผลการวิจัย

การประยุกต์ใช้วิธีการอาณานิคมมด 2 วิธี ด้วยวิธีระบบมดและระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุดในการแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยเพื่อหาขนาดของห้องเรียน รวมถึงอุปกรณ์การเรียนการสอนให้มีความเหมาะสมมากที่สุด พบว่าในการจัดตารางสอนด้วยวิธีการระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุดละเมิดข้อบังคับรวม 1,273 ครั้งและวิธีการระบบมด ละเมิดข้อบังคับรวม 1,672 ครั้ง จากผลการทดลองวิธีการระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุด มีค่าการละเมิดข้อบังคับน้อยกว่าวิธีการระบบมด ดังนั้น จึงสรุปได้ว่าวิธีการระบบมดแบบสูงสุด-ต่ำสุดสามารถจัดตารางสอนได้มีประสิทธิภาพและความเหมาะสมกว่าวิธีการระบบมด ซึ่งสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาระบบการจัดตารางสอนอัตโนมัติ ภายในภาควิชาคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ต่อไปได้

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัย งบประมาณรายได้ ประจำปีงบประมาณ 2557 มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

เอกสารอ้างอิง

1. เอกสิทธิ์ คลั่งเงิน. ระบบจัดตารางเรียนตารางสอน กรณีศึกษา : ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์และสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ [สารนิพนธ์วิทยาศาสตร์มหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2550.
2. วุฒิพงษ์ ชินศรี, นิดาพรรณ สุริรัตน์, สรเดช ครุฑจั่น. การแก้ปัญหาการจัดตารางสอนในระดับมหาวิทยาลัยด้วยเมตาฮิวริสติก: การทบทวนวรรณกรรม. วารสารวิจัย มข., 2555; 17(4): 639-659.
3. ผาณิต จันทรรณู. การพัฒนาระบบสารสนเทศในการจัดตารางเรียน ตารางสอน โดยใช้ต้นไม้ตัดสินใจ. ภาควิชาการจัดการเทคโนโลยีสารสนเทศ คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2554.
4. เรืองชัย มุททาหัตถการ. การจัดตารางสอนอัตโนมัติในมหาวิทยาลัยโดยใช้จีเนติกอัลกอริทึมแบบหลายจุดประสงค์. วารสารเทคโนโลยีสารสนเทศ, 2550; 3(6): 28-33.
5. สิริลักษณ์ จุณณทัศน์, พยุง มีสัง. การจัดตารางสอนโรงเรียนด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบหลายจุดประสงค์. สารนิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ บัณฑิตวิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2547.
6. นกุล โชตเศรษฐ์. การพัฒนาโปรแกรมจัดตารางสอนโดยใช้ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. กรุงเทพมหานคร: จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย; 2548.
7. กาญจน์ วงศ์วิภาพร. การจัดตารางสอนของโรงเรียนแบบอัตโนมัติโดยจีเนติกอัลกอริทึม. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง; 2541.
8. Yu TL. Time-table scheduling using neural network algorithms. in Proceeding on IJCNN 1990; 17-21 June 1990: 279-284.
9. Socha K, Sampels M, Manfrin M. Ant Algorithms for the University Course Timetabling Problem with Regard to the State-of-the-Art. Belgium, 2002.
10. Masri A, Ghaith J. Hybrid Ant Colony Systems For Course Timetabling Problems. 2009 2nd Conference on Data Mining and Optimization; 27-28 October 2009, Selangor, Malaysia. 2009: 279-284.
11. Thatchai T, Pupong P, Chris H. An Ant Colony Based Timetabling Tool. Centre of Operations Research and Industrial Applications (CORIA); 2013.
12. "Ant Colony optimization". <http://www.gotoknow.org/posts/99496>, Last accessed: September 2013.
13. สุขแสง คุณนก. การแก้ปัญหาเชิงชั้นหลายวัตถุประสงค์โดยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสมประมวลผลแบบขนาน กรณีศึกษา: การจัดตารางสอน. ภาควิชาคอมพิวเตอร์ศึกษา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรมสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ; 2005.
14. จิตรกร พูลโพธิ์ทอง. แบบจำลองการจัดตารางสอนในสถาบันอุดมศึกษาและการระบุเงื่อนไขบังคับอย่างเป็นแบบแผน. ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง; 2553.
15. ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. วิธีการเมตาฮิวริสติก เพื่อแก้ปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ: สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น); 2554.

16. สุพรรณ สุดสนธิ์, สมบัติ สินธุเขาวน. วิธีระบบดแบบ
แม็ก-มิน สำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่ง กรณีศึกษา:
โรงงานน้ำตาลมิตรชัย. วิศวกรรมสาร มข. เมษายน –
มิถุนายน 2553; 37(2): 141-149.