การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่สำหรับฟังก์ชันต่อเนื่องโดยใช้ฟีโรโมน

A NEW SWARM INTELLIGENCE OPTIMIZATION FOR CONTINUOUS FUNCTIONS USING PHEROMONE

ศุภฤกษ์ แสงรัตนชัยกุล

SUPPARUEK SAENGRATTANACHAIYAKUL

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-IT-M-001-008

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่สำหรับฟังก์ชันต่อเนื่องโดยใช้ฟีโรโมน

A NEW SWARM INTELLIGENCE OPTIMIZATION FOR CONTINUOUS FUNCTIONS USING PHEROMONE

T143975

ศุภฤกษ์ แสงรัตนชัยกุล

SUPPARUEK SAENGRATTANACHAIYAKUL

.b. 002669A6
.l. ....

เลขหมู่..........
เลขทะเบียน 143975
วัน.เดือน.ปี 10 ต.ค. 2559

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2559

KMITL-2016-IT-M-001-008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

A NEW SWARM INTELLIGENCE OPTIMIZATION FOR CONTINUOUS FUNCTIONS USING PHEROMONE

SUPPARUEK SAENGRATTANACHAIYAKUL

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF
MASTER OF SCIENCE IN INFORMATION TECHNOLOGY
FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG
2016

KMITL-2016-IT-M-001-008

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

COPYRIGHT 2016

FACULTY OF INFORMATION TECHNOLOGY

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองวิทยานิพนธ์

หัวข้อวิทยานิพนธ์ การหาค่าเหมาะที่สุดด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่สำหรับฟังก์ชันต่อเนื่องโดยใช้ฟีโรโมน

A New Swarm Intelligence Optimization for Continuous Functions using Pheromone

นักศึกษา นายศุภฤกษ์ แสงรัตนชัยกุล

รหัสประจำตัว 54660405

ปริญญา วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชา เทคโนโลยีสารสนเทศ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์	ลายมือชื่อ
รองศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช	
รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพนธ์ โสพัศสถิตย์	
รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุภกิจ นุตยะสกุล	
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติ์สุชาต พสุภา	

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

วัน / เดือน/ ปี ที่สอบ วันอังคารที่ 26 กรกฎาคม 2559 เวลา 09.00 น. เป็นต้นไป

สถานที่สอบ ณ ห้อง M04 คณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

คณะเทคโนโลยีสารสนเทศรับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์ ดร.นพพร โชติกกำธร)

คณบดีคณะเทคโนโลยีสารสนเทศ

วันที่....๒๙....**เดือน**....กรกฎาคม....**พ.ศ**....๒๕๕๙....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่สำหรับฟังก์ชันต่อเนื่องโดยใช้ฟีโรโมน
นักศึกษา	นายศุภฤกษ์ แสงรัตนชัยกุล
รหัสประจำตัว	54660405
ปริญญา	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	เทคโนโลยีสารสนเทศ
พ.ศ.	2559
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร. อาริต ธรรมโน

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอวิธีการแก้ไขปัญหาแบบใหม่ เพื่อหาค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง โดยได้แรงบันดาลใจจากการสื่อสารและพฤติกรรมของแมลงเวลาได้รับอันตราย ซึ่งแมลงจะปล่อยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมนเตือนภัย ออกมา แมลงตัวอื่นที่ได้รับสารนี้จะแสดงพฤติกรรมออกมาในหลายรูปแบบ วิทยานิพนธ์จะมุ่งเน้นไปที่สองพฤติกรรมที่พบมากที่สุดคือ (1) แมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายเพื่อโจมตี และ (2) แมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะหนีออกจากเป้าหมาย พฤติกรรมทั้งสองนี้คือแนวคิดหลักของวิธีการที่นำเสนอ โดยจะถูกทดสอบกับ ฟังก์ชันมาตรฐาน 11 ฟังก์ชัน ประสิทธิภาพของการหาค่าความเหมาะสมที่นำเสนอจะถูกนำไปเปรียบเทียบกับ Abbass's Marriage in Honey Bees Optimization, A Self-organizing model of Marriage in Honey-Bee Optimization, Flower Pollination Algorithm, Firefly Algorithm และ Genetic Algorithm ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการหาค่าความเหมาะสมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในด้านของเวลาที่ใช้ในการประมวลผล และผลลัพธ์ที่ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis	A NEW SWARM INTELLIGENCE OPTIMIZATION FOR CONTINUOUS FUNCTIONS USING PHEROMONE
Student	Mr. Supparuek Saengrattanachaiyakul
Student ID	54660405
Degree	Master of Science
Program	Information Technology
Year	2016
Thesis Advisor	Assoc. Prof. Dr. Arit Thammano

ABSTRACT

This thesis proposes a new meta-heuristic algorithm for continuous Function optimization. The proposed algorithm is inspired by the way in which insects communicate with each other to inform of an impending danger. In doing this, a chemical substance, called the alarm pheromone, is released into the environment. This results in various kinds of responses. This thesis focuses on the two most common responses: (1) it draws nearby insects to attack the target, and (2) it warns the others to flee the area. These two responses are the main concepts of the proposed algorithm. The proposed algorithm is tested on 11 benchmark Functions. The performance of the proposed algorithm is compared with those Abbass's Marriage in Honey Bees Optimization, A Self-organizing model of Marriage in Honey-Bee Optimization, Flower Pollination Algorithm, Firefly Algorithm and Genetic Algorithm. The experimental result show that the proposed algorithm outperforms the compared algorithms in terms of the processing time and the average effectiveness.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยดี เนื่องจากความกรุณาและความเสียสละในการให้ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ พร้อมทั้งให้คำแนะนำตลอดจนประสิทธิ์ประสาทความรู้และสร้างประสบการณ์ที่ดีแก่ผู้วิจัย รวมทั้งช่วยเหลือในดำเนินการทำวิทยานิพนธ์นี้ให้มีความถูกต้องและสมบูรณ์ จากอาจารย์ที่ปรึกษา รองศาสตราจารย์ ดร.อาริต ธรรมโน ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วรพจน์ กรีสุระเดช, รองศาสตราจารย์ ดร.พีระพนธ์ โสพัศสถิตย์, ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุภกิจ นุตยะสกุล และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กิติ์สุชาต พสุภา คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ได้ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์ต่อการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอกราบขอบพระคุณคณาจารย์คณะเทคโนโลยีสารสนเทศทุกท่าน ตลอดจนครูอาจารย์ทุกท่านที่เคยสอนข้าพเจ้ามาตั้งแต่ชั้นอนุบาล ประถม มัธยม และระดับปริญญาตรี ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้แก่ข้าพเจ้า

ขอบขอบคุณพี่ ๆ และน้อง ๆ ในห้องปฏิบัติการรวมทั้งเพื่อน IST ทุกคนที่ให้ความช่วยเหลือพร้อมทั้งความสนิทสนม เป็นกันเองจนสร้างบรรยากาศที่เอื้ออำนวยในการทำงานวิจัยเป็นอย่างดี

และสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณกำลังใจจากครอบครัวของผู้วิจัย ที่อบรมสั่งสอน พร้อมให้การสนับสนุนในทุก ๆ ด้าน ส่งผลให้ผู้วิจัยมีความมุ่งมั่นที่จะทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้วิจัยรู้สึกซาบซึ้งเป็นอย่างยิ่ง จึงใคร่ขอขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้

ศุภฤกษ์ แสงรัตนชัยกุล

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย I

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ II

กิตติกรรมประกาศ III

สารบัญ IV

สารบัญตาราง VII

สารบัญรูป VII

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา 2

1.3 ขอบเขตงานวิจัย 2

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย 2

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย 4

2.2.1 สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม (Swarm Intelligence) 4

2.2.2 ฟีโรโมนเตือนภัย (Alarm Pheromone) 4

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

2.2.1 MBO: Marriage in Honey Bees Optimization-a Haplometrosis Polygynous Swarming Approach 6

2.2.2 SMBO: A Self-organizing Model of Marriage in Honey-bee Optimization 9

2.2.3 On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) algorithm 14

2.2.4 Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Tasks 16

บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย 20

3.1 แนวความคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม 20

3.2 ขั้นตอนในการทำงานของอัลกอริทึม 20

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 ระยะรวมกลุ่มเข้าหาเป้าหมาย 21
3.2.2 ระยะหนีออกจากเป้าหมาย 25
3.2.3 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม (Flow Chart) 26

บทที่ 4 ผลการทดลอง 30
4.1 ฟังก์ชันมาตรฐานที่นำมาใช้ในการทดลอง 30
4.1.1 Sphere Function 31
4.1.2 Weight Sphere Function 32
4.1.3 Goldstein Price Function 33
4.1.4 Rastrigin Function 34
4.1.5 Rosenbrock Function 35
4.1.6 Michalewicz Function 36
4.1.7 Ackley Function 37
4.1.8 Eggholder Function 38
4.1.9 Schwefel Function 39
4.1.10 Styblinski Function 40
4.1.11 Drop-wave Function 41
4.2 การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 42
4.3 ผลการทดลอง 43
4.3.1 ผลการทดลองเปียบเทียบระหว่างการกำหนดค่าตัวแปรสองชุด 43
4.3.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบงานวิจัยที่นำเสนอกับงานวิจัยอื่น 45

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ 50
5.1 สรุปผลการวิจัย 50
5.2 ข้อดีของงานวิจัย 50
5.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย 51
5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ 51

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม 52
ภาคผนวก.......... 53
ภาคผนวก ก. ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์.......... 54
ประวัติผู้วิจัย.......... 60

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 แสดงค่าเฉลี่ยของคำตอบตามความสัมพันธ์ของจำนวนนางพญาและจำนวนตัวอ่อน 8
2.2 แสดงค่าเฉลี่ยของคำตอบของผึ้งงานชนิด 5 8
2.3 ตัวแปรที่ใช้ใน MBO 12
2.4 ตัวแปรที่ใช้ในงานที่นำเสนอ SMBO 13
2.5 ผลการทดลองของ MBO 13
2.6 ผลการทดลองของ SMBO 13
2.7 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 15
2.8 แสดงผลการทดลอง 15
2.9 แสดงฟังก์ชันมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ 18
2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการหิ่งห้อยและ PSO 18
3.1 แสดงประชากรเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม 22
3.2 แสดงค่า Fitness ของประชากรโดยคำนวณจาก The Sphere Function 23
3.3 แสดงระยะห่างจากประชากรที่ปล่อยฟีโรโมน 23
3.4 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของประชากร 25
4.1 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง 42
4.2 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการกำหนดค่าตัวแปรสองชุดในฟังก์ชันแบบ 2 มิติ 44
4.3 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างอัลกอริทึมต่าง ๆ 45

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงพฤติกรรมหลังได้รับฟีโรโมนเตือนภัยของแมลงสังคม 5
2.2 แสดงพฤติกรรมหลังได้รับฟีโรโมนเตือนภัยของแมลงทั่วไป 6
3.1 The Sphere Function 21
3.2 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม 27
4.1 Sphere Function 31
4.2 Weight Sphere Function 32
4.3 Goldstein-Price Function 33
4.4 Rastrigin Function 34
4.5 Rosenbrock Function 35
4.6 Michalewicz Function 36
4.7 Ackley Function 37
4.8 Eggholder Function 38
4.9 Schwefel Function 39
4.10 Styblinsk Function 40
4.11 Drop-wave Function 41

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การหาค่าความเหมาะสม (Optimization) เป็นวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ไขปัญหา ซึ่งคำตอบที่หาได้จะแบ่งออกเป็น 1) คำตอบที่ดีที่สุดในบริเวณที่ศึกษา (Local Optimum) และ 2) คำตอบที่ดีที่สุดของทั้งหมด (Global Optimum) จุดหมายที่แท้จริงของการทำ Optimization คือการหาจุดที่เป็น Global Optimum แต่การที่จะแยก Global Optimum ออกจาก Local Optimum นั้นเป็นเรื่องที่ยาก

มีหลายวิธีการถูกพัฒนาขึ้นเพื่อจะแก้ไขปัญหานี้ แต่วิธีที่นักวิจัยให้ความสนใจมากที่สุด คือ สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม (Swarm Intelligence) ที่ถูกประยุกต์จนแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ได้สำเร็จ สติปัญญาแบบรวมกลุ่มได้แนวคิดมาจากพฤติกรรมการทำงานร่วมกันของสัตว์สังคม เช่น นก มด และผึ้ง เป็นต้น ถึงแม้จะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่ยังต้องใช้เวลาในการประมวลผลนาน

สติปัญญาแบบรวมกลุ่มที่นิยมใช้และรู้จักกันดีที่สุดคือ อัลกอริทึมอาณาจักรมด (Ant colony Algorithm) ซึ่งจะใช้การสื่อสารกันด้วยสารเคมีที่ชื่อว่าฟีโรโมน (Pheromone) เป็นแนวคิดหลักในการทำงานของอัลกอริทึม เมื่อเวลาที่มดออกหาอาหารจะปล่อยฟีโรโมนตามทางที่เดินผ่าน และจะเลือกเส้นทางเดินจากความเข้มข้นของฟีโรโมนที่ถูกปล่อยไว้ตามทาง เนื่องด้วยฟีโรโมนเป็นสารที่จะค่อย ๆ สลายไปในช่วงเวลาสั้น ๆ ทำให้เส้นทางที่มีความเข้มข้นของฟีโรโมนสูง คือ เส้นทางที่ถูกใช้ในปัจจุบัน

โดยวิทยานิพนธ์นี้ได้รับแรงบันดาลใจจากอัลกอริทึมอาณาจักรมดข้างต้น แต่จะเน้นไปที่การสื่อสารกันของแมลงที่ได้รับอันตราย ซึ่งจะปล่อยฟีโรโมนเตือนภัย (Alarm Pheromone) ออกมา แมลงตัวอื่นที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะแสดงพฤติกรรมที่ต่างกันออกมา เช่น การรวมกลุ่มกันเพื่อโจมตีเป้าหมาย และ การหนีออกจากเป้าหมาย เป็นต้น โดยขึ้นอยู่กับประเภทของแมลงที่ใช้ฟีโรโมน ซึ่งพฤติกรรมนี้เองที่ถูกนำมาประยุกต์ใช้กับการหาค่าความเหมาะสม เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.2 ความมุ่งหมายและวัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. เพื่อศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับสติปัญญาแบบรวมกลุ่ม

2. เพื่อศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม โดยใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม

3. เพื่อนำเสนอวิธีการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มใหม่เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง อันจะนำไปสู่ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาที่ดีขึ้น

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

สติปัญญาแบบรวมกลุ่มเป็นอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ที่มีประสิทธิภาพ แต่ถึงอย่างไรตามก็ยังมีปัญหาอยู่หลายประการ ได้แก่ ยังเป็นการยากที่จะแยกแยะว่าคำตอบที่หาได้เป็น Local Optimum หรือ Global Optimum เวลาที่อัลกอริทึมใช้ในการประมวลผลเพื่อหาคำตอบยังต้องใช้เวลานานในงานวิจัยนี้จะมุ่งเน้นในการแก้ไขปัญหาข้างต้น โดยมีขอบเขตการวิจัย ดังนี้

1. คิดค้นอัลกอริทึมแบบใหม่ที่จะใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ของฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง ใช้แนวคิดจากพฤติกรรมของแมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัย เพื่อให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น และใช้เวลาน้อยลง
2. ทำการทดลองเพื่อกำหนดค่าของตัวแปรให้เหมาะสม
3. งานวิจัยนี้ได้ทดสอบประสิทธิภาพในการหาคำตอบใช้ฟังก์ชันมาตรฐาน 11 ฟังก์ชัน

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม
2. ศึกษากระบวนการทำงาน ข้อดี และข้อจำกัดของสติปัญญาแบบรวมกลุ่ม
3. ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องโดยใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มตามขอบเขตการวิจัยที่กำหนด
4. ศึกษาการใช้ฟีโรโมนในการสื่อสารกันของสิ่งมีชีวิต
5. คิดค้นวิธีการปรับปรุงประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องโดยใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม
6. คิดค้นและทดลองเพื่อกำหนดค่าที่เหมาะสมของตัวแปรต่างๆที่ใช้ในการทดลอง
7. เขียนโปรแกรมเพื่อทดสอบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่คิดค้น
8. วิเคราะห์และประเมินผลการทดลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. สรุปผลการดำเนินการวิจัยและข้อเสนอแนะ

10. จัดทำเอกสารที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัย

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. ผู้วิจัยมีความรู้ความเข้าใจเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มมากขึ้น

2. การปรับปรุงประสิทธิภาพของการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มทำให้ประสิทธิภาพในการหาคำตอบดีขึ้น ทั้งในแง่ของผลลัพธ์และเวลาที่ใช้

3. วิทยานิพนธ์นี้จะสามารถเป็นแหล่งค้นคว้าหรือแหล่งอ้างอิงให้กับผู้ที่สนใจได้

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในการวิจัยและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้ได้แบ่งเนื้อหาออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรกอธิบายถึงทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัยและส่วนที่ 2 เป็นรายละเอียดของงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีพื้นฐานที่ใช้ในงานวิจัย

2.1.1 สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม (Swarm Intelligence)

สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม คือ คือกลุ่มพฤติกรรมของระบบแบบกระจายศูนย์ซึ่งถูกนำมาประยุกต์ใช้ในด้านปัญญาประดิษฐ์ ประกอบขึ้นด้วยอนุภาคจำนวนมาก ในแต่อนุภาคจะมีปฏิสัมพันธ์ซึ่งกันและกัน และปฏิบัติตามกฎที่มีร่วมกัน ซึ่งไม่จำเป็นต้องมีศูนย์สั่งการว่าอนุภาคแต่ละตัวจะต้องปฏิบัติอย่างไร ทำให้เกิดเป็นความฉลาดในภาพรวมขึ้นมา แรงบันดาลใจมักจะเกิดจากธรรมชาติ โดยเฉพาะระบบนิเวศวิทยา ตัวอย่างเช่น ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization), ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณาจักรมด (Ant colony Optimization), ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบหิ่งห้อย (Firefly Algorithm) เป็นต้น

2.1.2 ฟีโรโมนเตือนภัย (Alarm Pheromone)

ฟีโรโมน คือ สารเคมีที่ใช้ในการสื่อสารระหว่างกันของสิ่งมีชีวิต มีผลต่อพฤติกรรมของสิ่งมีชีวิตชนิดเดียวกัน ฟีโรโมนสามารถพบได้ในสัตว์เกือบทุกชนิดโดยเฉพาะสิ่งมีชีวิตจำพวกแมลง การได้รับฟีโรโมนนั้นมีอยู่ 3 ทางด้วยกัน คือ

1. ทางกลิ่น ฟีโรโมนประเภทนี้จะต้องเป็นสารที่ระเหยง่าย เช่น ไหมตัวเมียปล่อยฟีโรโมนออกมาจากปล้องสุดท้ายของส่วนท้องมากระตุ้นให้ไหมตัวผู้ให้เคลื่อนที่เข้าหา (อวัยวะรับสัมผัสกลิ่น คือ หนวด)

ทางการกิน พบในพวกผึ้ง คือ ผึ้งราชินีจะสร้างสารฟีโรโมนจากต่อมบริเวณรยางค์ปากเรียกว่าสารนางพญาผึ้ง (Queen's Substance) เพื่อเอาไว้ให้ผึ้งกรรมกรกิน ผึ้งกรรมกร (Worker) จะเป็นหมัน รังไข่ไม่เจริญ และไม่มีการสร้างไข่

2. ทางการดูดซึม พบในสัตว์ไม่มีกระดูกสันหลัง เช่น แมงมุม แมลงสาบ ตัวเมียจะปล่อยฟีโรโมนทิ้งไว้ เมื่อตัวผู้สัมผัสเข้าจะซึมเข้าไปกระตุ้นให้ตัวผู้หาเพื่อการผสมพันธุ์

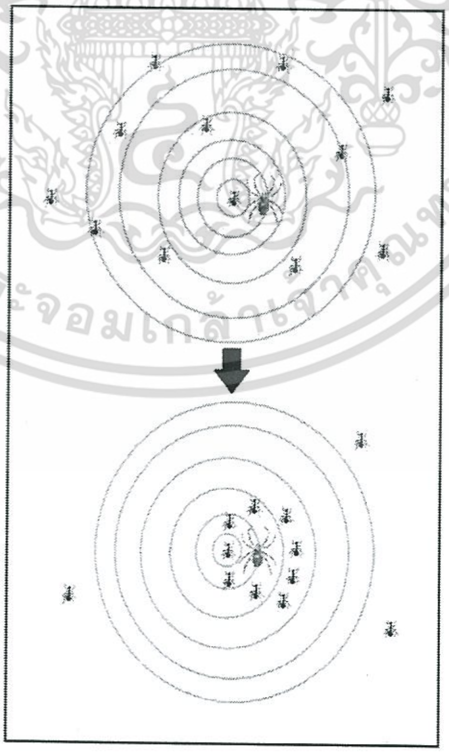
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ฟีโรโมนสามารถแบ่งออกได้หลายชนิดตามวัตถุประสงค์ของตัวฟีโรโมน ได้แก่

- Sex Pheromone สารดึงดูดทางเพศ เพื่อให้เกิดการผสมพันธุ์
- Alarm Pheromone สารเตือนภัย กระตุ้นให้เกิดการต่อสู้ พบในพืชและแมลง
- Aggregation Promoting Substances สารส่งเสริมการรวมกลุ่ม ใช้นำทางและบอกอาณาเขต
- Primer Pheromone ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะยาวกับกระบวนการทางสรีรวิทยาของผู้รับ พบในพวกแมลงสังคม เช่น มด ปลวก ผึ้ง
- Epideictic Pheromone พบในแมลง ใช้บอกถิ่นที่อยู่
- Signal Pheromone ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงระยะสั้น
- Territorial Pheromone บอกเขตแดนสิ่งมีชีวิต เช่น ในสุนัข
- Trial Pheromone เป็นสารเครื่องหมายนำทาง (Trial Substance) ในการออกหากินและกลับรัง

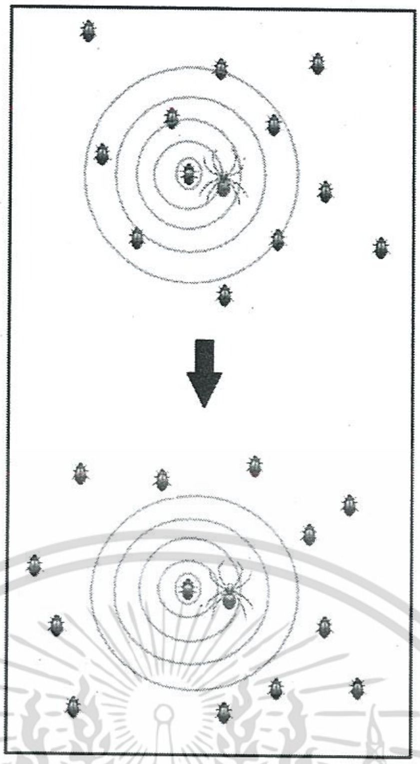
ในงานวิจัยนี้ จะใช้ฟีโรโมนเตือนภัยของแมลงเป็นแนวคิดหลักในการสร้างอัลกอริทึม

พฤติกรรมที่พบได้บ่อยในแมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัย คือ การรวมกลุ่มเพื่อต่อสู้กับศัตรู พบในแมลงสังคม (Social Insect) เช่น มด ผึ้ง ดังรูปที่ 2.1 และ การหนีห่างศัตรู พบในแมลงทั่วไป (Non-Social Insect) เช่น ด้วง จิ้งหรีด ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.1 แสดงพฤติกรรมหลังได้รับฟีโรโมนเตือนภัยของแมลงสังคม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.2 แสดงพฤติกรรมหลังได้รับฟีโรโมนเตือนภัยของแมลงทั่วไป

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 MBO: marriage in honey bees optimization-a Haplometrosis polygynous swarming approach (Hussein A and Abbass, 2001)

งานวิจัยนี้นำเสนอรูปแบบการจับคู่กันของผึ้งน้ำหวานในรูปแบบบริบทของการหาค่าความเหมาะสม รูปแบบที่นำเสนอจะจำลองวิวัฒนาการของผึ้งน้ำหวานที่เริ่มต้นด้วยอาณาจักรแบบเดี่ยว (นางพญาเดี่ยวไม่มีครอบครัว) เพื่อพัฒนาเป็นอาณาจักรแบบสังคม (นางพญาหนึ่งหรือมากกว่าหนึ่งตัวแบบมีครอบครัว) ในมุมมองของการหาค่าความเหมาะสม รูปแบบนี้คล้ายกับกลไกแบบคณะกรรมการ ซึ่งเราทำการพัฒนาวิธีการ โดยใช้การวิเคราะห์แบบคณะกรรมการ รูปแบบนี้นำไปใช้กับ 50 ปัญหาความสอดคล้องแบบบูล (SAT) มีตัวแปร 50 ตัว และค่าคงที่ 215 ตัว เพื่อรับประกันว่าปัญหาถูกเจาะจงเฉพาะการเปลี่ยนเฟสของ 3-SAT เป้าหมายของเราในบทความนี้คือการวิเคราะห์พฤติกรรมของอัลกอริทึมโดยใช้แนวคิดทางชีวภาพ (จำนวนของนางพญา ขนาดของถุงเก็บสเปิร์มในเพศเมีย และจำนวนของครอบครัว) มากกว่าการพยายามที่จะปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมในขณะที่การสูญเสียสาระสำคัญทางชีวภาพต้นแบบ แม้จะมีขั้นตอนวิธีการดีกว่า Walk SAT ซึ่งเป็นหนึ่งในขั้นตอนState-of-the –Art สำหรับ SAT โดยมีรายละเอียดของอัลกอริทึมดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. กำหนดจำนวนนางพญา (Q), จำนวนผึ้งงาน (W), และจำนวนตัวอ่อนที่เกิดจากนางพญาหนึ่งตัว (B)

2. กำหนดขนาดของถุงเก็บสเปิร์มในเพศเมียซึ่งแสดงจำนวนครั้งในการจับคู่ของนางพญาต่อการการบินจับคู่หนึ่งครั้ง (M) และ

3. กำหนด พลังงานและความเร็วของนางพญาแบบสุ่ม

4. กำหนดจำนวนผึ้งงานใช้วิธีการสุ่มค่าเฉพาะที่ไม่ซ้ำกัน และค่าจีโนไทป์ (Genotype) ของกลุ่มนางพญา

5. เลือกผึ้งงานแบบสุ่มเพื่อปรับปรุงจีโนไทป์ของนางพญาแต่ละตัว และกำหนดให้นางพญานั้นถือเป็นผึ้งที่ดีเสมอ ถือเป็นหนึ่งรอบของการบินจับคู่

6. การบินจับคู่แต่ละรอบนางพญาแต่ละตัวจะบินด้วยพลังงานและความเร็วที่ถูกสุ่มขึ้นก่อนการบินแต่ละรอบสำหรับแต่ละตัว

7. เมื่อการบินจับคู่เริ่มต้นขึ้น ผึ้งตัวผู้จะถูกสุ่มขึ้นมาและนางพญาจะย้ายตำแหน่งไปอยู่เหนือผึ้งตัวนั้น ระยะการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นโดยนางพญาขึ้นอยู่กับความเร็วซึ่งแสดงความน่าจะเป็นในการสับเปลี่ยนแต่ละบิต (bit) ในจีโนมของผึ้งตัวผู้ ดังนั้นในตอนเริ่มต้นของการบิน นางพญาจะบินด้วยความเร็วสูงและเคลื่อนที่ไปไกล เมื่อพลังงานลดลง ความเร็วก็จะลดลงดังสมการที่ 2.1 และ 2.2 และสมาชิกใกล้เคียงที่ถูกนางพญาควบคุมก็จะลดลง

$$speed(t+1) = \alpha * speed(t) \tag{2.1}$$

$$energy(t+1) = energy(t) - step \tag{2.2}$$

เมื่อ α มีค่าอยู่ในช่วง $0-1$ (ในงานวิจัยนี้กำหนดให้เป็น 0.9) และ $step$ คือจำนวนพลังงานที่ลดลงไปในการจับคู่แต่ละครั้ง

8. แต่ละครั้งที่นางพญาเคลื่อนที่จะทำการจับคู่กับผึ้งตัวผู้ที่พบโดยใช้ความน่าจะเป็นดังสมการที่ 2.3

$$prob(Q,D) = e^{\frac{-difference}{speed}} \tag{2.3}$$

เมื่อ $difference$ คือระยะห่างระหว่างผึ้งตัวผู้กับนางพญา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

9. ถ้าการจับคู่สำเร็จ สเปิร์มจากผึ้งตัวผู้จะถูกเก็บลงสู่ถุงเก็บสเปิร์มของนางพญา ซึ่งจะสังเกตได้ว่าแต่ละครั้งที่ผึ้งตัวผู้ถูกสุ่มขึ้นมา ยีนส์ (Genes) ครึ่งหนึ่งของผึ้งตัวนี้จะถูกทำเครื่องหมายแบบสุ่ม ดังนั้นยีนส์ที่จะถูกส่งผ่านไปยังตัวอ่อนสำหรับผึ้งตัวหนึ่งๆ จะคงเดิมตลอด

10.เมื่อนางพญาทุกตัวบินจับคู่เสร็จแล้ว พวกมันจะทำการผสมพันธุ์เลือกสัดส่วนสำหรับค่า Fitness และจับคู่กับสเปิร์มที่สุ่มเลือกขึ้นมาจากในถุงเก็บสเปิร์ม ผึ้งงานจะถูกเลือกจากค่า Fitness เพื่อปรับปรุงตัวอ่อน

11. ได้ตัวอ่อนทั้งหมดแล้วจะทำการเรียงลำดับจากค่า Fitness ตัวอ่อนที่มีค่าดีที่สุดจะถูกกำหนดให้ไปแทนทีนางพญาที่มีค่าต่ำที่สุด จนกระทั่งไม่มีตัวอ่อนตัวไหนมี่ค่าดีกว่านางพญา จากนั้นการบินหาคู่ก็จะเริ่มขึ้นอีกครั้งจนกระทั้งครบจำนวนที่ระบุ หรือผลที่ออกมาเป็นที่น่าพอใจ

12. งานวิจัยนี้ทดลองและนำไปเปรียบเทียบกับ Walk SAT ผลที่ได้จากการทดลองแสดงในตารางที่ 2.1 และ 2.2

ตารางที่ 2.1 แสดงค่าเฉลี่ยของคำตอบตามความสัมพันธ์ของจำนวนนางพญาและจำนวนตัวอ่อน

Broods	**Number of Queens**				
	1	**2**	**3**	**4**	**5**
20	2.3 ± 1.5	4.3 ± 2.4	3 ± 1.7	3 ± 2.1	2.3 ± 1.3
40	4 ± 2.2	2.7 ± 1.4	3 ± 1.7	1.7 ± 1.3	2.3 ± 1.7
60	5.3 ± 2.9	4 ± 2.6	3 ± 2.1	0.7 ± 1	1 ± 0.5
80	5 ± 2.6	4.3 ± 2.4	3 ± 2.6	2.3 ± 2.1	3.3 ± 2.1
100	4.3 ± 3.3	3.3 ± 2.1	2.7 ± 1.6	2.3 ± 1.3	0.7 ± 0.6

ตารางที่ 2.2 แสดงค่าเฉลี่ยของคำตอบของผึ้งงานชนิด 5

Worker	**Average Fitness**
Walk SAT	18.1 ± 0.7
Random walk	14.3 ± 0.6
Random new	4.4 ± 0.8
1-point crossover	7.1 ± 0.5
Random flip	0.8 ± 0.0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากผลการทดลองจะเห็นได้ว่า MBO ใช้งานได้ดีในการแก้ปัญหา 3-SAT จากมุมมองของเราเห็นว่าอัลกอริทึมนี้รักษาไว้ซึ่งแนวคิดทางชีวภาพพื้นฐานจำนวนมากและประสบความสำเร็จในการใช้งานกับข้อมูลจริงนอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่า MBO ทำงานได้ดีกว่า Walk SAT

2.2.2 SMBO: A self-organizing model of marriage in honey-bee optimization (Thammano A and Poolsamran P, 2012)

งานวิจัยนี้นำเสนอเทคนิค (Technique) สติปัญญาแบบรวมกลุ่มแบบใหม่โดยการประยุกต์ใช้ MBO มีจุดประสงค์เพื่อให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีขึ้น และใช้เวลาในการประมวลผลน้อยลง

การทำงานอัลกอริทึมแบ่งออกเป็น 5 ระยะดังนี้

1. กำหนดประชากรตั้งต้นแบบสุ่มจำนวน N ตัว ประชากรแต่ละตัวจะถูกกำหนดโดยแถวของเลขฐานสอง (Binary String) ซึ่งเป็นตัวแทนของวิธีแก้ปัญหา ความยาวของประชากรจะถูกกำหนดโดยจำนวนตัวแปรของปัญหา ช่วงของแต่ละตัวแปร และ ความละเอียดของทศนิยม

2. ขั้นตอนการผสมพันธุ์ เริ่มต้นด้วยการกำหนดพลังงานและ ความเร็วของนางพญาโดยการสุ่ม จากนั้นความน่าจะเป็นที่นางพญา q_n จะจับคู่กับผึ้งตัวผู้ d_p จะถูกคำนวณจากสมการที่ 2.4

$$prob(q_n, d_p) = e^{\frac{-difference}{speed}}) \tag{2.4}$$

ผึ้งที่มีความน่าจะเป็นสูงที่สุดจะทำการผสมพันธุ์กับนางพญา และจีโนไทป์จะถูกจัดเก็บไว้ในถุงเก็บสเปิร์มของนางพญา จากนั้นมันจะตายและถูกนำออกจากประชากรผึ้งตัวผู้ หลังจากผสมพันธุ์ในแต่ละครั้ง พลังงานและความเร็วของนางพญาจะลดลงดังสมการที่ 2.5 และ 2.6

$$speed(t+1) = \alpha * speed(t) \tag{2.5}$$

$$energy(t+1) = energy(t) - step \tag{2.6}$$

นางพญาจะผสมพันธุ์ต่อไปจนกระทั่งถุงเก็บสเปิร์มเต็ม หรือ พลังงานเหลือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ เมื่อนางพญาทุกตัวผสมพันธุ์เสร็จแล้วพวกมันจะบินกลับรัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. นางพญาจะถูกเลือกขึ้นมาจากนางพญาทั้งหมดใช้กระบวนการเลือกแบบรูเลตวิล (Roulette Wheel) ตัวที่ถูกเลือกจะทำการให้กำเนิดตัวอ่อนโดยการคลอสโอเวอร์ (Crossover) จีโนไทป์ของตัวเองกับจีโนไทป์ของสเปิร์มที่ถูกสุ่มออกมาจากถุงเก็บสเปิร์ม ในงานวิจัยนี้ใช้การคลอสโอเวอร์แบบสองจุด (Two-point Crossover) ทุกครั้งที่มีการให้กำเนิดตัวอ่อนจะมีการกลายพันธุ์ แบบเลขฐานสองมาตรฐาน (Standard Binary Mutation) โดยทำการสลับค่าที่ถูกเลือกจาก 1 เป็น 0 หรือสลับกัน จากนั้นจะเป็นขั้นตอนการให้อาหาร ผึ้งงานซึ่งเป็นตัวแทนฟังก์ชันการแก้ปัญหาแบบการค้นหาในท้องถิ่น (Local Search) โดยผึ้งงานจะถูกสุ่มขึ้นมาจากผึ้งงานทั้งหมดด้วยวิธีรูเลตวิล และจะถูกใช้เพื่อปรับปรุงจีโนไทป์ของตัวอ่อน ในงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชันการแก้ปัญหาแบบการค้นหาในท้องถิ่น 5 ฟังก์ชันคือ Random Flip, Random New, Random Walk, Two-point Crossover, and One-point Crossover

4. ค่า Fitness ของตัวอ่อนทั้งหมดที่ถูกสร้างขึ้นในระยะที่ 3 จะถูกคำนวณ จากนั้นตัวอ่อนที่มีค่า Fitness ดีกว่านางพญาตัวที่มีค่า Fitness แย่ที่สุดจะถูกเสนอให้เป็นนางพญารุ่นต่อไป และจะถูกจัดลำดับตามค่า Fitness โดยตัวที่อยู่อันดับสูงสุดจะถูกแต่งตั้งให้เป็นนางพญาตัวแรก และอันดับที่สองจะถูกเลือกให้เป็นนางพญาตัวที่สอง ถ้ามันไม่ได้อยู่ในอาณาจักรของนางพญาที่ถูกเลือกไปก่อนหน้า ตัวที่ถูกเสนอชื่อ C จะเป็นสมาชิกของอาณาจักร N ถ้าเป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนด

$$d(C,q_N) \le \varepsilon \tag{2.7}$$

$$N = \arg_{1\le n\le s} \min \, d(C,q_n) \tag{2.8}$$

$$\varepsilon = (5.82574\times10^{-4})A + 0.58878 \tag{2.9}$$

$$A = \prod_{i=1}^{m}(x_i^{\max} - x_i^{\min}) \tag{2.10}$$

เมื่อ $d(C,q_N)$ คือ ระยะห่างยูคลิเดี่ยน (Euclidian Distance) ระหว่างตัวที่ถูกเสนอชื่อ C และ นางพญาตัวที่ n

S คือ จำนวนนางพญาที่ถูกเลือกในครั้งก่อน

N คือ ดัชนีของอาณาจักรที่มีนางพญาใกล้เคียงกับตัวที่ถูกเสนอชื่อ C

ε คือ อาณาเขตของอาณาจักร ถ้าตัวที่ถูกเสนอชื่ออยู่ใกล้นางพญาของอาณาจักร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มากกว่า ε ผู้ถูกเสนอชื่อจะถูกจัดให้เป็นสมาชิกของอาณาจักร N แต่ถ้าระยะระหว่างตัวที่ถูกเสนอชื่อกับนางพญาที่ถูกเลือกไปก่อนหน้ามากกว่าขอบเขตที่กำหนดไว้ ε ผู้ถูกเสนอชื่อจะกลายเป็นนางพญาใหม่

$x_i^{\max}$ คือ ขอบเขตบนของ x_i

$x_i^{\min}$ คือ ขอบเขตล่างของ x_i

m คือ มิติของปัญหา

กระบวนการคัดเลือกจะดำเนินต่อไปจนกระทั่งตัวที่ถูกเสนอชื่อได้รับการพิจารณาครบทุกตัว จากนั้นนางพญาตัวเดิมที่ไม่ได้รับเลือกจะถูกฆ่า และ นำออกจากประชากร ส่วนตัวที่ถูกเสนอชื่อที่ไม่ได้รับเลือกจะถูกปรับลดกลับไปอยู่กับกลุ่มตัวอ่อนเหมือนเดิม ซึ่งประชากรกลุ่มนี้มีโอกาสกลายเป็นผึ้งตัวผู้โดยการแทนที่ว่างของประชากรที่ตายไป สาเหตุการตายมี 2 กรณี คือ ตายหลังจากผสมพันธุ์ และ หมดอายุขัย

5. ทำการจัดประชากรแต่ละตัวให้อยู่ในอาณาจักรที่เหมาะสม

$$D=\left\{d_1,d_2,....,d_p,...,d_P\right\} \tag{2.11}$$

โดย

D คือเซตของประชากร

P คือจำนวนประชากร

ค่าสมาชิกที่คลุมเครือของประชากร d_p ในอาณาจักรที่ถูกควบคุมโดยนางพญา q_n คำนวณจากสมการที่ 2.12 และ 2.13

$$\mu(d_p,q_n) = e^{-\left(\frac{\left\|d_p-q_n\right\|^2}{\sigma_{q_n}^2}\right)} \tag{2.12}$$

$$\sigma_{q_n} = \max_k[d(q_n,q_k)\times\frac{f(q_n)}{f(q_n)+f(q_k)}] \tag{2.13}$$

เมื่อ

$\mu(d_P,q_n)$ คือ ค่าสมาชิกของประชากร d_P ในอาณาจักรของนางพญา q_n

σ_{q_n} คือ ขนาดของอาณาจักรของนางพญา q_n

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

k คือ จำนวนของนางพญา

$f(q_n)$ และ $f(q_k)$ คือ ค่า Fitness ของนางพญา q_n และ q_k ตามลำดับ

$d(q_n, q_k)$ คือ ระยะห่างยูคลิเดียนระหว่างนางพญา q_n และนางพญา q_k

ต่อจากนั้นประชากรแต่ละตัวจะทำการเลือกรังใหม่ โดยจะเลือกอาณาจักรที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงที่สุดคำนวณจากสมการที่ 2.14

$$K = \arg\max_{k}[\mu(d_p, q_k)] \tag{2.14}$$

เมื่อประชากรทั้งหมดถูกจัดลงในอาณาจักรใหม่ อัลกอริทึมจะทำการตรวจสอบเกณฑ์การหยุด ถ้ายังไม่อยู่ในเกณฑ์ กระบวนการทั้งหมดจะถูกทำซ้ำอีกครั้ง โดยอาณาจักรที่เกิดขึ้นใหม่จะใช้เป็นประชากรตั้งต้นสำหรับรุ่นต่อไป

งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบกับ MBO โดยทดสอบกับฟังก์ชันมาตรฐาน 6 ฟังก์ชัน ได้แก่ Michalewicz’s Function, Rastrigin’s Function, Rosenbrock’s Valley Function, Sphere Function, Weighted Sphere Function และ Goldstein–Price’s Function โดยกำหนดตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง ดังตารางที่ 2.3 และ 2.4 ได้ผลดังตารางที่ 2.5 และ 2.6

ตารางที่ 2.3 ตัวแปรที่ใช้ใน MBO

Parameters	**Values**
Number of queens	1, 10, 20, 30, 40
Spermatheca size	100
Number of drones	200
Number of bloods	500
Number of mating flights	400
Mutation rate	0.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.4 ตัวแปรที่ใช้ในงานที่นำเสนอ

Parameters	Values
Number of queens	1, 10, 20, 30, 40
Spermatheca size	100
Number of drones	200
Number of bloods	500
Number of mating flights	400
Mutation rate	0.2

ตารางที่ 2.5 ผลการทดลองของ MBO

Function	Best	Worst	Average	S.D.
Michalwicz	38.847986378	38.813182555	38.841151503	0.008631782
Rastrigin	0.000000000	0.010026249	0.002073527	0.002428718
Rosenbrock	0.000000000	0.000158124	0.000035956	0.000044132
Sphere	0.000000000	0.000070572	0.000019855	0.000019248
Weighted sphere	0.000000954	0.000282288	0.000038662	0.000048092
GoldStein-Price	3.000000000	3.012672906	3.000899331	0.001878220

ตารางที่ 2.6 ผลการทดลองของ SMBO

Function	Best	Worst	Average	S.D.
Michalwicz	38.847986378	38.846033400	38.847231956	0.000824442
Rastrigin	0.000000000	0.030642884	0.007301366	0.011495355
Rosenbrock	0.000000000	0.000061408	0.000016757	0.000021074
Sphere	0.000000000	0.000001907	0.000000763	0.000000752
Weighted sphere	0.000000000	0.000007629	0.000001907	0.000002771
GoldStein-Price	3.000000000	3.000446790	3.000151214	0.000202508

จากการทดลองการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ MBO แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอมีประสิทธิภาพมากกว่าทั้งในด้านของผลลัพธ์และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.3 On the performance of artificial bee colony (ABC) algorithm (D. Karaboga and B. Basturk, 2007)

อาณานิคมผึ้งประดิษฐ์ (ABC) เป็นอัลกอริทึมในการหาค่าความเหมะสมใช้การทำงานอย่างชาญฉลาดของฝูงผึ้งเป็นต้นแบบ งานวิจัยนี้เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ ABC กับวิวัฒนาการเชิงอนุพันธ์ (DE), การหาค่าความเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO) และกระบวนการวิวัฒนาการ (EA) เพื่อใช้แก้ปัญหาของตัวเลขหลายมิติ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

1. ตำแหน่งของแหล่งอาหารจะแสดงให้เห็นถึงความเป็นไปได้ในการแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสม แหล่งอาหารแต่ละที่จะถูกใช้งานโดยผึ้งงานเพียงหนึ่งตัว ดังนั้นจำนวนของผึ้งงาน SN จะเท่ากับจำนวนของแหล่งอาหาร และประชากรเริ่มต้นของผึ้งงานจะถูกสุ่มขึ้นมาจากสมการที่ 2.15

$$x_{i,j} = x_{\min,j} + rand\ (0,1) * (x_{\max,j} - x_{\min,j}) \tag{2.15}$$

เมื่อ $i \in (1,2,....,SN), j \in (1,2,...,D)$ และ D คือ จำนวนมิติของสมการ $x_{\max,j}$ และ $x_{\min,j}$ คือ ขอบเขตบนและขอบเขตล่างของ $x_{i,j}$

2. ผึ้งสังเกตการณ์ และผึ้งสำรวจ จะเริ่มทำหน้าที่และจะคำนวณหาแหล่งอาหารท้าชิงโดยใช้สมการที่ 2.16

$$V_{i,j} = x_{i,j} + \varphi_{i,j} * (x_{i,j} - x_{k,j}) \tag{2.16}$$

เมื่อ $k \in (1,2,....,SN), j \in (1,2,...,D)$ เป็นดัชนีแบบสุ่ม k ไม่เท่ากับ i และ $\varphi_{i,j}$ เป็นตัวเลขแบบสุ่มในช่วง $[-1,1]$

เมื่อตำแหน่งของแหล่งอาหารท้าชิงแต่ละแหล่งถูกกำหนดขึ้นมา ประสิทธิภาพของมันจะถูกเปรียบเทียบกับแหล่งอาหารเดิมหากแหล่งอาหารใหม่มีประสิทธิภาพเท่ากันหรือดีกว่า ก็จะถูกนำไปแทนที่แหล่งอาหารเก่า แต่ถ้าประสิทธิภาพแหล่งอาหารเก่าดีกว่า แหล่งอาหารเก่าจะถูกเก็บไว้เหมือนเดิม

3. ผึ้งงานจะส่งข้อมูลอาหารให้กับผึ้งสังเกตการณ์ และผึ้งสังเกตการณ์จะทำการค้นหาอาหารรอบ ๆ แหล่งอาหารที่ถูกเลือก และจะเลือกแหล่งอาหารขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็น P_i ของแหล่งอาหารนั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$P_i = \frac{fitness_i}{\sum_{i=1}^{n} fitness_i} \tag{2.17}$$

$$fitness = \begin{cases} \frac{1}{1+f_i}, & f_i \geq 0 \\ 1+|f_i|, & f_i < 0 \end{cases} \tag{2.18}$$

เมื่อ f_i คือ ค่าของฟังชั่นจุดประสงค์

ในท้ายที่สุดถ้าตำแหน่งไม่ได้ถูกปรับปรุงจนถึงจำนวนรอบที่กำหนดไว้ ผึ้งงานจะหาแหล่งอาหารใหม่โดยกลับไปสู่ขั้นตอนที่ 1 อีกครั้ง

เมื่อทำการทดสอบกับฟังก์ชันมาตรฐาน 5 สมการ ได้แก่ Schaffer Function, Sphere Function, Griewank, Rastrigin และ Rosenbrock Functions โดยกำหนดค่าตัวแปรดังตารางที่ 2.7 เมื่อทำการทดลองแล้วได้ผลดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

DE		PSO		EA		ABC	
popSize	50	popSize	20	popSize	100	Colony size	100
CF	0.8	ω	$1.0 \longrightarrow 0.7$	p_c	1.0	n_o	50% of the colony
f	0.5	$\phi_{\min}$	0	p_m	0.3	n_e	50% of the colony
		$\varphi_{\max}$	2.0	σ_m	0.01	n_s	1
				n	10	Limit	$n_e \times D$

ตารางที่ 2.8 แสดงผลการทดลอง

Function	**DE**	**PSO**	**EA**	**ABC**
$f_1(\bar{x})$	0 ± 0	0.00453 ± 0.00090	0 ± 0	0 ± 0
$f_2(\bar{x})$	0 ± 0	2.51130E-8 ± 0	0 ± 0	0 ± 0
$f_3(\bar{x})$	0 ± 0	1.54900 ± 0.06695	0.00624 ± 0.00138	0 ± 0
$f_4(\bar{x})$	0 ± 0	13.1162 ± 1.44815	32.6679 ± 1.94017	0 ± 0
$f_5(\bar{x})$	35.3176 ± 0.27444	5142.45 ± 2929.47	79.8180 ± 10.4477	0.13310939 ± 0.262242

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของ ABC กับวิวัฒนาการเชิงอนุพันธ์ (DE), การหาค่าความเหมาะสมแบบกลุ่มอนุภาค (PSO), และกระบวนการวิวัฒนาการ (EA) แสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม ABC มีประสิทธิภาพดีกว่า และสามารถแก้ปัญหาทางวิศวกรรมหลายมิติได้อย่างมีประสิทธิภาพ

2.2.4 Firefly algorithm for continuous constrained optimization tasks (S.Lukasik and S.Zak, 2009)

วิธีการแบบหิ่งห้อยจะใช้ในการแก้ปัญหาการค้นหาในท้องถิ่น (Local Search) ประชากรแต่ละตัวจะทำการค้นหาในพื้นที่ของปัญหาโดยสนใจผลลัพธ์ของประชากรอื่น ๆ ด้วย แต่ยังใช้การเคลื่อนที่แบบสุ่มด้วยเช่นกัน อิทธิพลของการแก้ปัญหาอื่น ๆ ถูกควบคุมโดยค่าความน่าดึงดูดใจสามารถปรับได้ด้วยการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์สองค่า คือ ค่าความน่าดึงดูดใจสูงสุด (β_0) และค่าสัมประสิทธิ์การดูดซึมแสง (γ)

พารามิเตอร์แรกอธิบายความน่าดึงดูดใจที่ $r_j = 0$ นั่นคือเมื่อหิ่งห้อยสองตัวอยู่ในจุดเดียวกันของพื้นที่ค้นหา (S) โดยทั่วไป β_0 จะมีค่าอยู่สองค่าคือ 0 และ 1 β_0 จะมีค่าเป็น 0 เมื่อการค้นหากระจายแบบสุ่มแบบไม่มีส่วนร่วม (Non-Cooperative Distributed Random Search) ถูกนำมาใช้ และ β_0 จะมีค่าเป็น 1 เมื่อเป็นรูปแบบของการค้นหาในท้องถิ่นแบบมีส่วนร่วมถูกใช้กับหิ่งห้อยที่มีความสว่างสูงสุดกำหนดตำแหน่งของหิ่งห้อยตัวอื่น ๆ โดยเฉพาะหิ่งห้อยในบริเวณใกล้เคียง

อีกด้านหนึ่ง ค่าของ γ จะกำหนดรูปแบบของความน่าดึงดูดใจด้วยการเพิ่มระยะห่างจากหิ่งห้อยที่สื่อสารด้วย ใช้ $\gamma = 0$ เพื่อแสดงถึงความความน่าดึงดูดใจที่คงที่ และในทางตรงข้ามให้ $\gamma \to \infty$ เมื่อความน่าดึงดูดใจเข้าใกล้ศูนย์ซึ่งหมายถึงเป็นการค้นหาแบบสุ่มอย่างสมบูรณ์ โดยทั่วไป γ จะมีค่าแนะนำเป็น 0 หรือ 10 ถึงแม้มันจะสะดวกมากขึ้น แต่การที่จะได้รับค่า γ เฉพาะสำหรับปัญหาที่พิจารณา อย่างเช่นค่าสัมประสิทธ์ความดูดกลืนแสงที่กำหนดเองควรจะอยู่บนพื้นฐานของ "ความยาวลักษณะ" ของพื้นที่การค้นหาที่ดีที่สุด ดังสมการ

$$\gamma = \frac{\gamma_o}{r_{\max}} \tag{2.19}$$

หรือ

$$\gamma = \frac{\gamma_o}{r_{\max}^2} \tag{2.20}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ

$$\gamma_o \in [0,1] \tag{2.21}$$

และ

$$r_{\max} = \max d(x_i, x_j), \forall x_i, x_j \in S \tag{2.22}$$

สุดท้ายทำการกำหนดระยะการเคลื่อนที่แบบสุ่ม เช่น ขอบเขตบนและขอบเขตล่าง $(\min u_i, \max u_i)$ และกำหนดวิธีการของรุ่นนั้น ๆ ค่าที่แนะนำได้แก่ $\min u_i = -0.5\alpha$ และ $\max u_i = 0.5\alpha$ ซึ่ง $\alpha \in [0,1]$

u_i ที่ได้สำหรับพื้นที่ค้นหาในแต่ละมิติ k จะได้จากสมการ

$$\mu_{i,k} = \alpha\left(rand - \frac{1}{2}\right) \tag{2.23}$$

เมื่อ $rand$ เป็นจำนวนสุ่มที่ได้จากรูปแบบการกระจายแบบยูนิฟอร์ม $(U(0,1))$

แนะนำให้ใช้วิธีทางเลือก เช่น การกำหนดเวกเตอร์แบบสุ่มโดยส่วนของระยะห่างของหิ่งห้อยกับขอบเขตพื้นที่ค้นหากับสองรูปแบบการสุ่มจำนวนดังสมการ

$$\mu_{i,k} = \begin{cases} \alpha \; rand_2(b_k - x_{i,k}) & if \;\; \mathrm{sgn}(rand_1 - 0.5) < 0 \\ -\alpha \; rand_2(b_k - x_{i,k}) & if \;\; \mathrm{sgn}(rand_1 - 0.5) \geq 0 \end{cases} \tag{2.24}$$

สุดท้ายเป็นที่น่าสังเกตว่าความซับซ้อนในการคำนวณของอัลกอริทึมภายใต้การพิจารณาเป็น $O(m^2)$ ดังนั้นการใช้จำนวนประชากรมากจะทำให้ใช้เวลาในการคำนวณเพิ่มขึ้น แต่จะทำให้อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพมากขึ้นตามไปด้วย

การทดลองจะทำการเปรียบเทียบกับเทคนิคการเพิ่มประสิทธิภาพแบบรวมกลุ่ม (PSO) โดยขั้นตอนทั้งสองจะถูกกำหนดค่า จำนวนประชากร $m = 40$ จำนวนรอบที่ทำงาน $I = 250$ และทำการทดลองซ้ำ 100 ครั้งโดยทดสอบกับฟังก์ชันมาตรฐาน 14 ฟังก์ชัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้
143975

ตารางที่ 2.9 แสดงฟังก์ชันมาตรฐานที่ใช้ทดสอบ

No.	Function	n	S	$f(x)$
1	Himmelblau	2	(-6,6)	0
2	Schwefel	10	(-500,500)	0
3	Easom	2	(-100,100)	-1
4	Rastrigin	20	(-5.12,5.12)	0
5	Griewank	5	(-600,600)	0
6	Rosenbrock	4	(-2.048,2.048)	0
7	Permutation	2	(-2,2)	0
8	Hartman3	3	(0,1)	-3.862
9	Harrtman6	6	(0,1)	-3.322
10	Shekel	4	(0,10)	-10.536
11	Levy	5	(-10,10)	0
12	Sphere	3	(-5.12,5.12)	0
13	Michalewicz	5	$(0,\pi)$	-4.687
14	Powersum	4	(0,2)	0

ตารางที่ 2.10 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการหิ่งห้อยและ PSO

Problem	$avg.\lvert f(x^*) - f(xi\min)\rvert \pm std.dev.\lvert f(x^*) - f(xi\min\rvert$		
	PSO	$FA(\gamma_0 = 0.8)$	$FA(best)$
1	5.75E-21 ± 5.10E-02	2.35E-04 ± 3.76E-04	1.01E-04 ± 1.78E-04
2	4.98E+02 ± 1.59E+02	6.59E+02 ± 2.25E+02	4.14E+02 ± 2.98E+02
3	0.00E+00 ± 0.00E+00	1.42E-01 ± 3.48E-01	3.05E-02 ± 1.71E-01
4	3.04E+01 ± 1.09E+01	1.63E+01 ± 5.78E+00	2.78E+00 ± 5.39E-01
5	4.63E-02 ± 2.59E-02	1.56E-01 ± 4.56E-02	1.48E-01 ± 4.17E-02
6	2.31E-01 ± 6.17E-01	1.10E+00 ± 6.97E-01	5.66E-01 ± 3.36E-01
7	1.16E-17 ± 6.71E-17	7.90E-05 ± 6.82E-05	4.14E-05 ± 2.17E-05
8	2.15E-06 ± 6.51E-15	2.80E-02 ± 7.78E-02	2.21E-03 ± 1.11E-03

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 2.10 (ต่อ) การเปรียบเทียบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการหิ่งห้อยและ PSO

Problem	$avg.\left\|f(x^*)-f(xi\min)\right\| \pm std.dev.\left\|f(x^*)-f(xi\min\right\|$		
	PSO	$FA(\gamma_0=0.8)$	$FA(best)$
9	5.84E-02 ± 5.99E-02	2.18E-01 ± 1.67E-01	2.18E-02 ± 2.33E-02
10	2.86E+00 ± 3.52E+00	3.09E+00 ± 3.72E+00	1.69E-01 ± 1.08E+00
11	4.00E-18 ± 9.15E-18	1.63E-06 ± 1.60E-06	1.44E-06 ± 1.47E-06
12	7.31E-22 ± 1.61E-21	1.59E-06 ± 1.73E-06	6.17E-07 ± 6.23E-07
13	4.61E+00 ± 1.09E-01	6.46E-03 ± 6.46E-02	2.75E-06 ± 5.24E-06
14	3.63E-03 ± 6.76E-03	2.59E-02 ± 3.96E-02	1.00E-02 ± 1.28E-02

จากงานวิจัยที่ได้นำเสนอไปข้างต้นล้วนแล้วแต่เป็นงานวิจัยที่ใช้พฤติกรรมการสื่อสารกันของแมลงมาเป็นแนวคิดในการหาค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยจะใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มเป็นกระบวนการหลัก และแตกต่างกันออกไปในเรื่องของเงื่อนไขการทำงานซึ่งขึ้นอยู่กับวิธีการที่นำเสนอในแต่ละงานวิจัย

ดังที่แสดงในบทที่สองจะเห็นได้ว่า แม้งานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะมีประสิทธิภาพการทำงานที่ดี แต่ในหลาย ๆ ครั้งก็จะเกิดข้อผิดพลาดในการหาคำตอบ เนื่องจากฟังก์ชั่นที่นำมาทดสอบหลายฟังก์ชั่นมีจุดที่เป็นค่า Local Optimum จำนวนมาก อีกทั้งบางงานวิจัยก็ใช้เวลาในการหาคำตอบมาก จึงเกิดแนวคิดที่จะหาวิธีการที่จะมาแก้ไขปัญหาการหาค่าความเหมาะสมให้มีประสิทธิภาพและใช้เวลาที่น้อยลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 แนวความคิดที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม

อัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี แต่วิธีที่นิยมใช้ คือ สติปัญญาแบบรวมกลุ่ม เนื่องจากเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ แต่อย่างไรก็ตาม สติปัญญาแบบรวมกลุ่มยังมีข้อจำกัดหลายประการ หนึ่งในนั้น คือ เวลาที่ใช้ในการประมวนผลที่นาน

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะแก้ไขข้อจำกัดนี้ โดยการใช้พฤติกรรมของแมลงเวลาได้รับฟีโรโมนเตือนภัยมาเป็นต้นแบบในการสร้างอัลกอริทึมใหม่ เพื่อแก้ปัญหาการหาค่าความเหมาะสม ซึ่งพฤติกรรมที่แมลงแสดงออกมามีหลายรูปแบบ ในงานวิจัยนี้จะสนใจสองพฤติกรรมที่พบมากที่สุด คือ (1) แมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายเพื่อโจมตี และ (2) แมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะหนีออกจากเป้าหมาย พฤติกรรมทั้งสองนี้คือแนวคิดหลักของงานวิจัยนี้ โดยจะถูกทดสอบกับฟังก์ชันมาตรฐาน 6 ฟังก์ชัน

3.2 ขั้นตอนในการทำงานของอัลกอริทึม

กระบวนการทำงานอัลกอริทึมที่นำเสนอในแต่ละรอบจะแบ่งขั้นตอนออกเป็น 2 ระยะได้แก่

1. ระยะรวมกลุ่มเข้าหาเป้าหมาย
2. ระยะหนีออกจากเป้าหมาย

โดยจะใช้ The Sphere Function เป็นฟังก์ชันตัวอย่างในการอธิบายวิธีการทำงานของอัลกอริทึมในการหาค่าต่ำสุดของฟังก์ชัน โดยมีสมการดังนี้

$$f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{m} x_i^2 \tag{3.1}$$

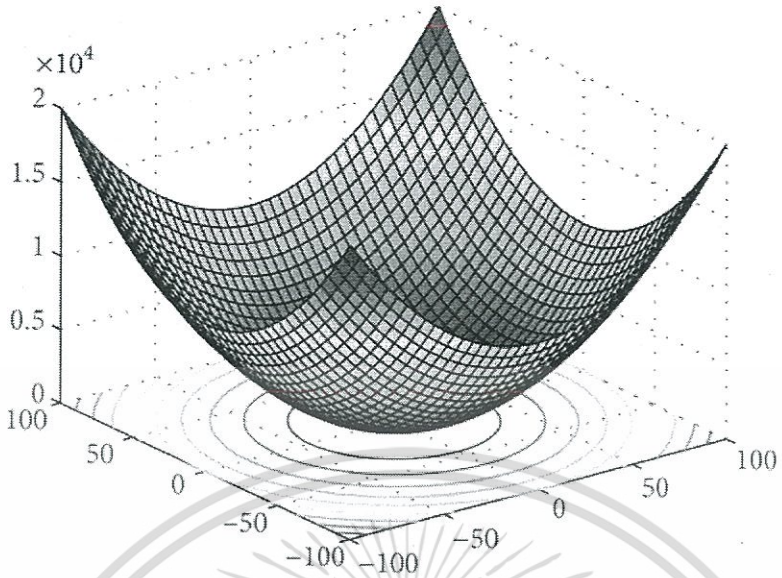
เมื่อ m คือ มิติของข้อมูล

ขอบเขตที่ค้นหาอยู่ในช่วง $-5.12 \le x_1 \le 5.12$

$i = 1, 2, \ldots, m$

โดยค่าต่ำสุดของสมการที่เป็นไปได้ คือ 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.1 The Sphere Function

3.2.1 ระยะรวมกลุ่มเข้าหาเป้าหมาย

1. กำหนดประชากรตั้งต้นเป็นจำนวน N ตัวใน M มิติโดยการสุ่ม

$$X_i = [x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{ij}, ..., x_{iM}] \tag{3.2}$$

เมื่อ $i = 1, 2, 3, ..., N$

$j = 1, 2, 3, ..., M$

กำหนดให้ตัวอย่างประกอบการอธิบายใช้ข้อมูลแบบ 2 มิติ และมีประชากรเริ่มต้น 100 ตัวจะได้ข้อมูลออกมาดังตารางที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.1 แสดงประชากรเริ่มต้นที่ได้จากการสุ่ม

ลำดับที่	มิติที่ 1	มิติที่ 2
1	-3.09020882417829	-3.12246749916917
2	-1.77316200089625	3.89465969028300
3	-0.295916902238735	-0.983353628969564
4	-3.28466968142391	4.80179196054827
5	-0.947653244901169	3.52755093999051
6	1.18092899461990	-1.26350256094477
7	3.86234111321188	2.91688885537816
8	-0.358868138859169	3.21512373064636
9	4.08006796472443	-0.724597318504168
10	-1.69646674306847	0.989666349519322
….	…	…
100	2.88126976282586	-1.35899222905478

2. ทำการคำนวณหาค่า Fitness ของประชากรแต่ละตัว โดยประชากรตัวที่มีค่า Fitness ดีที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นตัวที่ปล่อยฟีโรโมนเตือนภัย

$$I = \underset{i=1}{\overset{N}{\arg\max}}\left[f(x_i)\right] \tag{3.3}$$

เมื่อทำการคำนวณค่า Fitness โดยใช้ The Sphere Function ประชากรตัวที่ 23 ซึ่งมีค่า Fitness ดีที่สุดจะถูกกำหนดให้เป็นตัวปล่อยฟีโรโมน โดยข้อมูลแสดงในตารางที่ 3.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 3.2 แสดงค่า Fitness ของประชากรโดยคำนวณจาก The Sphere Function

ลำดับที่	มิติที่ 1	มิติที่ 2	Fitness
1	-3.09020882417829	-3.12246749916917	19.2991938603971
2	-1.77316200089625	3.89465969028300	18.3124775845377
3	-0.295916902238735	-0.983353628969564	1.05455117263818
4	-3.28466968142391	4.80179196054827	33.8462609484514
5	-0.947653244901169	3.52755093999051	13.3416623067996
6	1.18092899461990	-1.26350256094477	2.99103201184796
7	3.86234111321188	2.91688885537816	23.4259194694361
8	-0.358868138859169	3.21512373064636	10.4658069444536
…	…	…	…
23	-0.648635989654618	-0.649679028507974	0.842811487158291
…	…	…	…
100	2.88126976282586	-1.35899222905478	10.1485753248059

3. คำนวณหาระยะห่างของประชากรที่ปล่อยฟีโรโมนกับประชากรอื่น ๆ จะได้ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.3 แสดงระยะห่างจากประชากรที่ปล่อยฟีโรโมน

ลำดับที่	ระยะห่างในมิติที่ 1	ระยะห่างในมิติที่ 2
1	2.44157283452367	2.47278847066120
2	1.12452601124163	4.54433871879098
3	0.352719087415883	0.333674600461590
4	2.63603369176929	5.45147098905624
5	0.299017255246550	4.17722996849848
6	1.82956498427452	0.613823532436797
7	4.51097710286649	3.56656788388614
8	0.289767850795450	3.86480275915434
9	4.72870395437905	0.0749182899961944
10	1.04783075341385	1.63934537802730
…	…	…
100	3.52990575248048	0.709313200546808

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. กำหนดระยะแสดงผลของฟีโรโมนในแต่ละมิติ ประชากรที่อยู่ในระยะฟีโรโมนในทุกมิติจะเคลื่อนที่แบบสุ่มเข้าหาประชากรที่ปล่อยฟีโรโมน โดยความเร็วที่เคลื่อนเข้าหาจะเพิ่มขึ้นตามระยะห่างจากประชากรที่ปล่อยฟีโรโมน

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + \alpha\left(x_{lj} - x_{ij}^{old}\right) + \beta \tag{3.4}$$

เมื่อ α คือ ค่าคงที่บวกที่เป็นตัวกำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่

β คือ จำนวนแบบสุ่มที่มีค่าอยู่ในช่วง -0.01 ถึง 0.01

ส่วนประชากรที่อยู่นอกระยะฟีโรโมนจะเคลื่อนที่แบบสุ่ม

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + \gamma \tag{3.5}$$

กำหนดให้ ระยะแสดงผลของฟีโรโมนในมิติใดคือค่าเฉลี่ยของระยะห่างในมิตินั้น α มีค่าเท่ากับ 0.5 จะได้ระยะการปล่อยฟีโรโมนในมิติที่ 1 เท่ากับ 2.58715993642336 และในมิติที่ 2 เท่ากับ 1.79514548356646 และคำนวณระยะการเคลื่อนที่ได้ดังตารางที่ 3.4

5. ส่วนประชากรตัวที่ปล่อยฟีโรโมนจะเคลื่อนที่แบบสุ่มรอบ ๆ จุดเดิม ถ้าค่า Fitness ดีจุดใหม่ดีกว่าจะเคลื่อนที่ไปยังจุดนั้น

$$x_{lj}^{new} = x_{lj}^{old} + \gamma \tag{3.6}$$

6. หลังจากนั้นจะทำการตรวจสอบว่าเข้าเกณฑ์การหยุดกระบวนการหรือไม่ ถ้าเข้าเกณฑ์ระยะแรกจะสิ้นสุดลง ประชากรในรอบสุดท้ายจะถูกใช้เป็นประชากรเริ่มต้นของระยะที่สอง ถ้าไม่เข้าเกณฑ์จะทำการคำนวณค่า Fitness เพื่อหาประชากรที่จะทำการปล่อยฟีโรโมน และกลับไปทำขั้นตอนที่ 3 อีกครั้ง

เกณฑ์การหยุดกระบวนการที่ใช้ในระยะนี้คือ

- ถึงจำนวนรอบสูงสุดในการทำงานที่ระบุไว้
- ประชากรที่ปล่อยฟีโรโมนในแต่ละรอบเป็นประชากรตัวเดิม 100 รอบติดต่อกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทำงานในระยะที่หนึ่งได้ผล ดังนี้

- จำนวนรอบในการทำงานเท่ากับ 189 รอบ
- ค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันที่หาได้ คือ 1.41169813497674e-08
- ประชากรตัวสุดท้ายที่ปล่อยฟีโรโมน คือ มิติที่1 5.95947296682005e-05 และ มิติที่ 2 -0.000102788372618412
- ใช้เวลาไป 0.060975 วินาที

ตารางที่ 3.4 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของประชากร

ลำดับที่	ระยะเคลื่อนที่ในมิติที่ 1	ระยะเคลื่อนที่ในมิติที่ 2
1	-0.00381159735259163	0.004.33684645742459
2	0	0.00349461722660977
3	0	-0.00519354788421576
4	-0.00746548136489665	0.0107541036615237
5	0	-0.00910951421140359
6	0	0.00217739939191925
7	0	-0.00574203335610963
8	0	-0.00871322783342565
9	0	0.00127387310720163
10	0	0.00255681584244957
...	...	...
100	-0.00366336332289713	0.0126108758733322

3.2.2 ระยะหนีออกจากเป้าหมาย

ระยะที่สองมีกระบวนการเหมือนกับระยะแรก ยกเว้นประชากรที่ได้รับฟีโรโมนจะหลีกหนีออกจากประชากรที่ปล่อยฟีโรโมน และ จะหยุดกระบวนการเมื่อถึงจำนวนรอบที่กำหนด หรือประชากรที่ปล่อยฟีโรโมนเป็นประชากรตัวเดิม 100 รอบติดต่อกัน

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} - \alpha\left(x_{Ij} - x_{ij}^{old}\right) + \beta \qquad (3.7)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อสิ้นสุดกระบวนการทั้งสองระยะ จะถือว่าอัลกอริทึมทำงานครบ 1 รอบ และกลับไปที่ขั้นตอนที่ 3 ของระยะที่ 1 อีกครั้ง จนครบจำนวนรอบที่กำหนด อัลกอริทึมจะหยุดทำงาน และประชากรตัวสุดท้ายที่ทำการปล่อยฟีโรโมนจะถูกนำไปใช้เป็นคำตอบของปัญหา

จากการทำงานในระยะที่ 2 ได้ผล ดังนี้

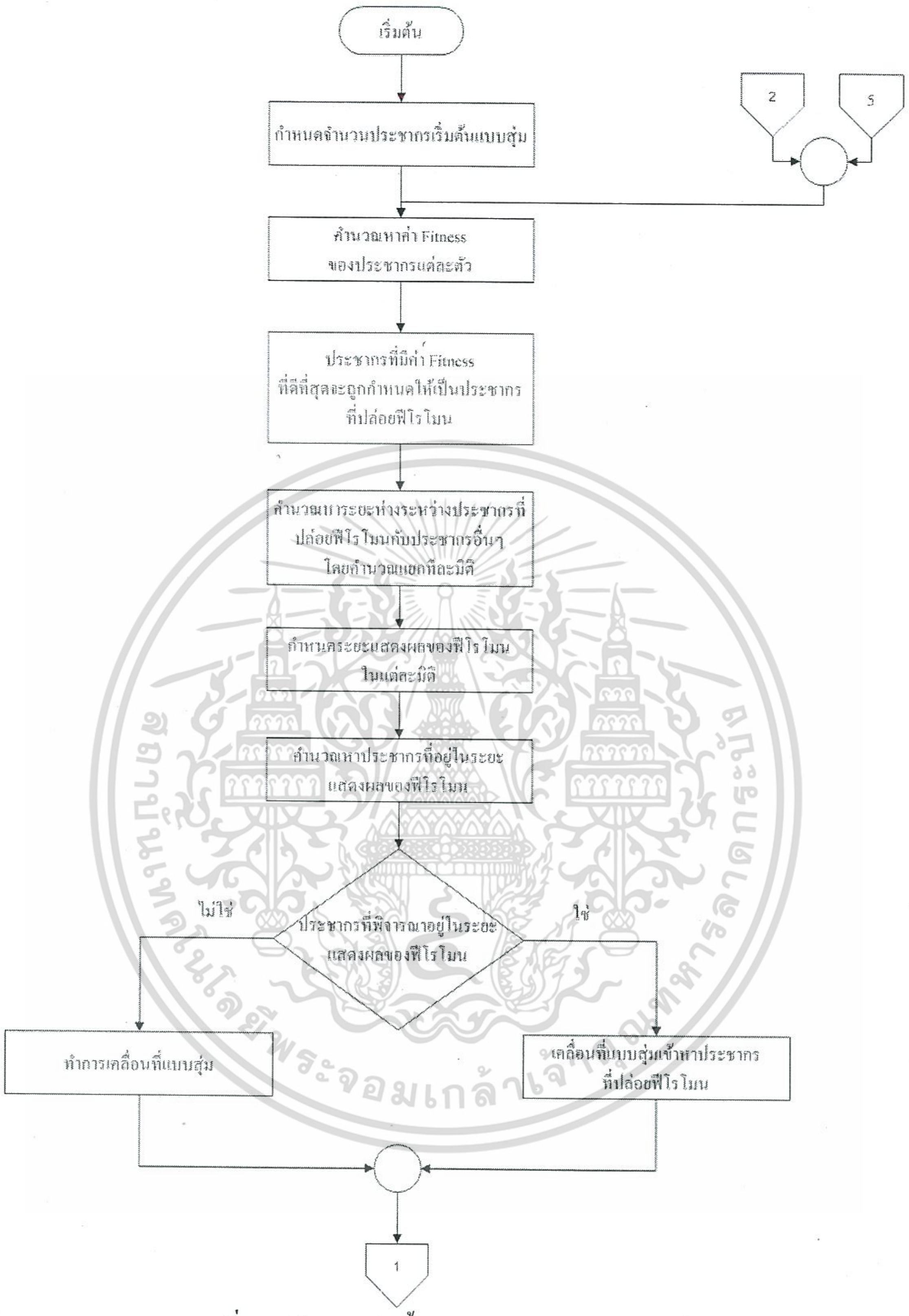
- จำนวนรอบในการทำงานเท่ากับ 238 รอบ
- ค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันที่หาได้ คือ 1.70900547305199e-09
- ประชากรตัวสุดท้ายที่ปล่อยฟีโรโมน คือ มิติที่ 1 3.76832555765124e-05 และ มิติที่ 2 1.69993447581736e-05
- ใช้เวลาไป 0.081206 วินาที

3.2.3 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม (Flow Chart)

ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม การหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่สำหรับฟังก์ชันต่อเนื่อง โดยใช้ฟีโรโมนดังรูปที่ 3.2

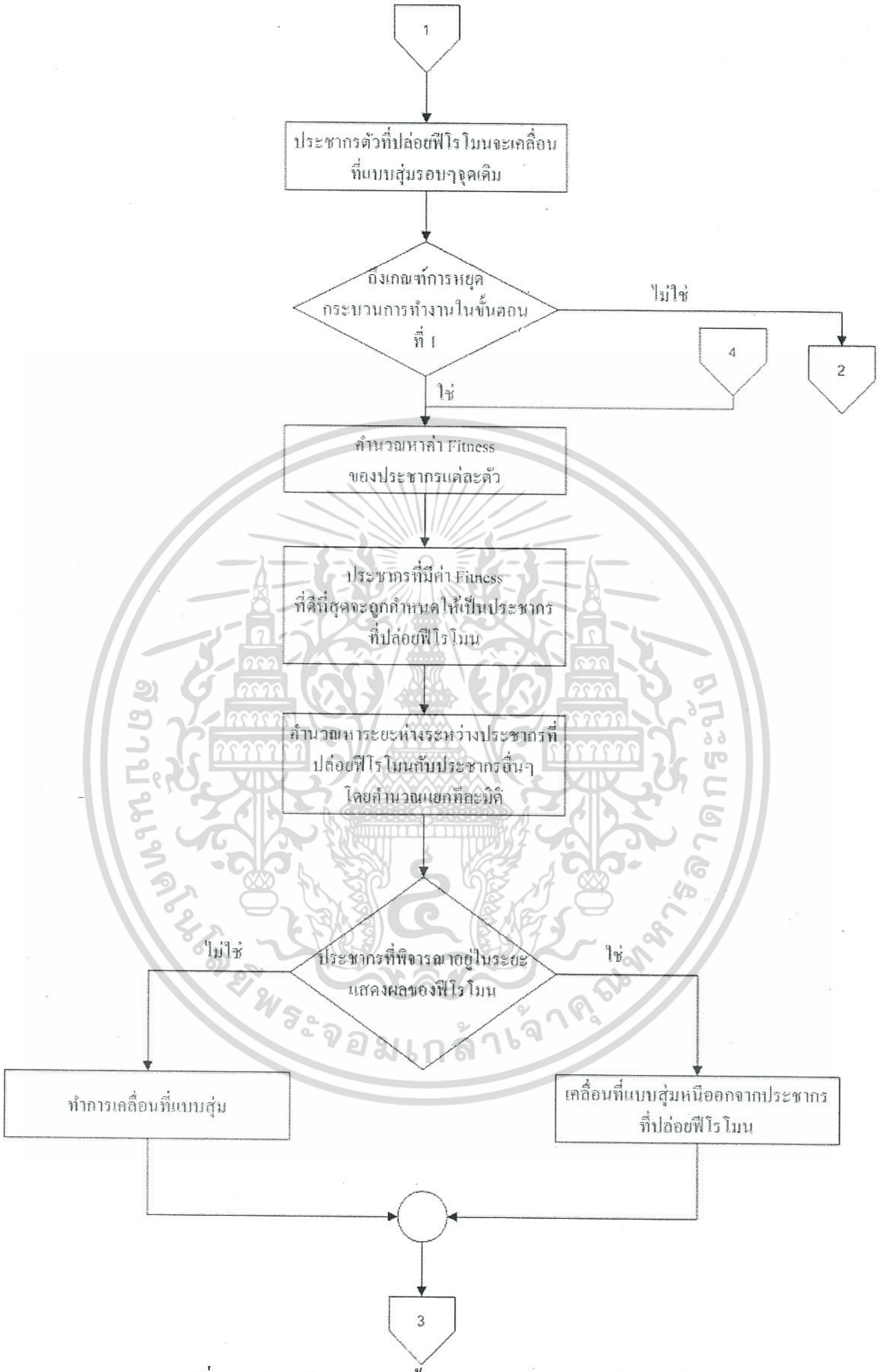
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



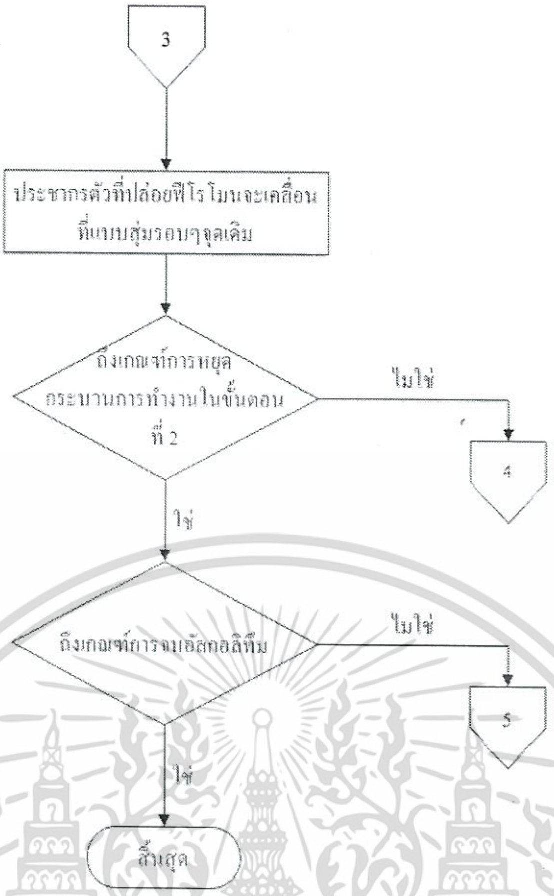
รูปที่ 3.2 ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 (ต่อ) ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.2 (ต่อ) ผังงานแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

บทนี้จะกล่าวถึงการทดสอบประสิทธิภาพของการหาค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องโดยใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มที่งานวิจัยนี้นำเสนอ เปรียบเทียบกับการหาค่าความเหมาะสมที่ได้จากวิธีการอื่น ๆ เนื้อหาในบทนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ส่วนหลัก ๆ ได้แก่ ฟังก์ชันมาตรฐานที่นำมาใช้ในการทดลอง การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง และผลการทดลอง

ในการทดลองนี้จะใช้ตัวย่อสำหรับวิธีการต่าง ๆ ดังนี้

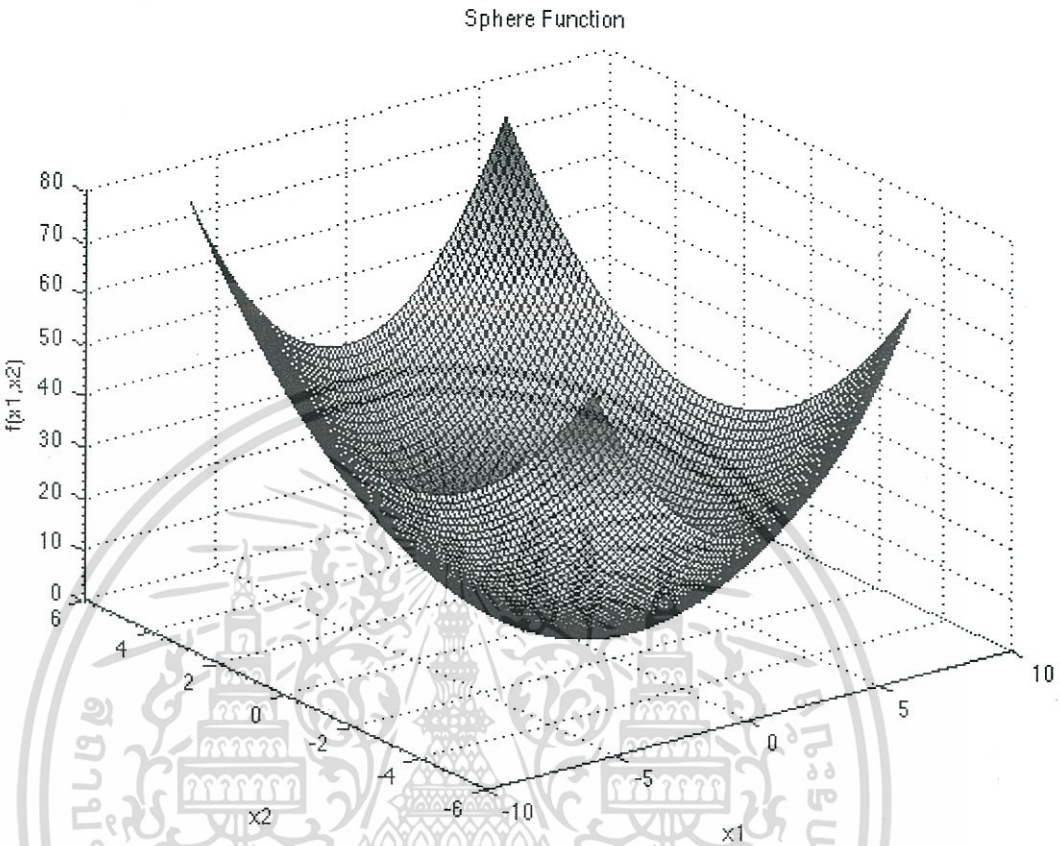
- MBO สำหรับ Marriage in Honey Bees Optimization
- SMBO สำหรับ A Self-organizing Model of Marriage in Honey-Bee Optimization
- FPA สำหรับ Flower Pollination Algorithm
- FF สำหรับ Firefly Algorithm
- GA สำหรับ Genetic Algorithm
- NSIA สำหรับ A New Swarm Intelligence Algorithm

4.1 ฟังก์ชันมาตรฐานที่นำมาใช้ในการทดลอง

งานวิจัยนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของการหาค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องโดยใช้ฟังก์ชันมาตรฐานทั้งหมด 11 ฟังก์ชันได้แก่ Sphere Function, Weight Sphere Function, Goldstein Price Function, Rastrigin Function, Rosenbrock Function, Michalewicz Function, Ackley Function, Eggholder Function, Schwefel Function, Styblinski Function และ Drop-wave Function

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.1 Sphere Function



รูปที่ 4.1 Sphere Function

$$f(x)=\sum_{i=1}^{d}x_i^2 \tag{4.1}$$

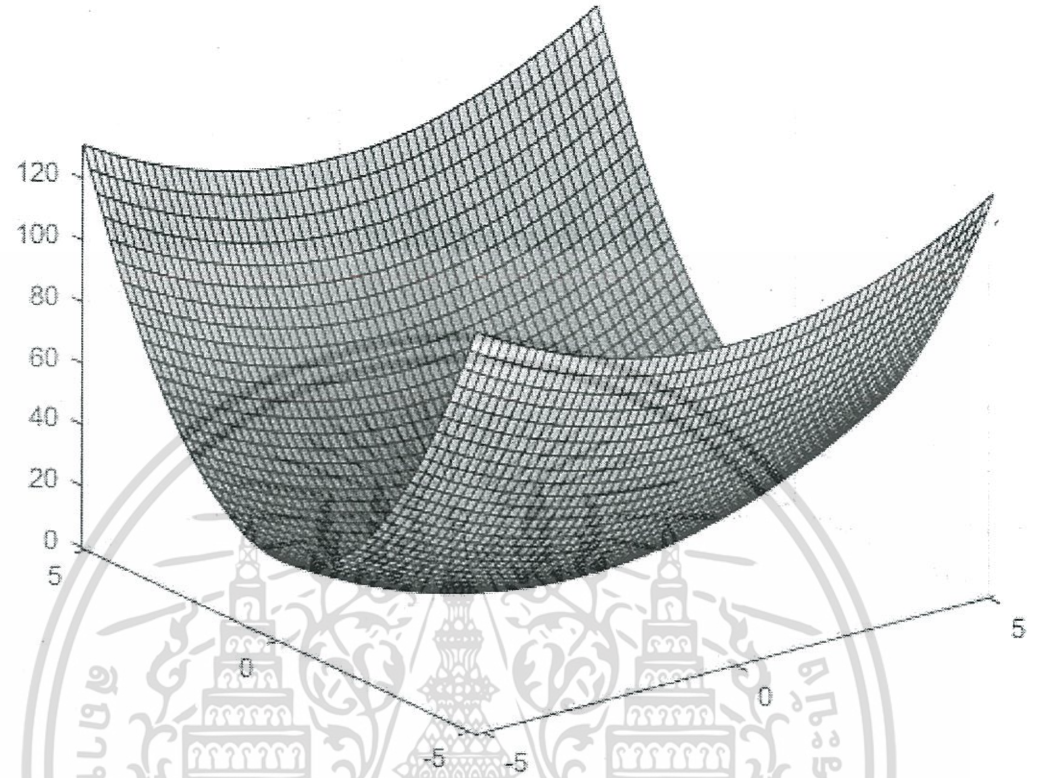
เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

$-5.12 \le x_i \le 5.12$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x)=0$, ที่ $x=(0,...,0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 Weight Sphere Function



รูปที่ 4.2 Weight Sphere Function

$$f(x)=\sum_{i=1}^{d} i^2 x_i^2 \qquad (4.2)$$

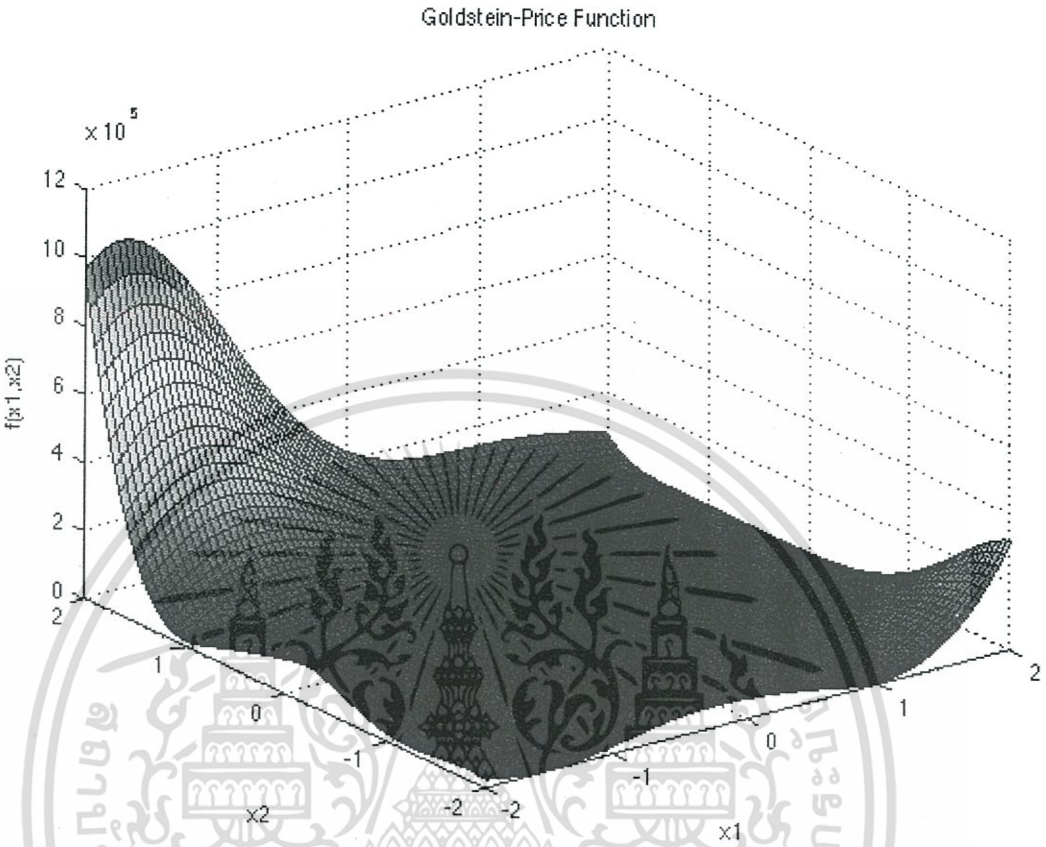
เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

$-5.12 \le x_i \le 5.12$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x)=0$, ที่ $x=(0,...,0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.3 Goldstein Price Function



รูปที่ 4.3 Goldstein-Price Function

$$f(x) = [1 + (x_1 + x_2 + 1)^2 (19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2)] \times [30 + (2x_1 - 3x_2)^2 (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2]$$ (4.3)

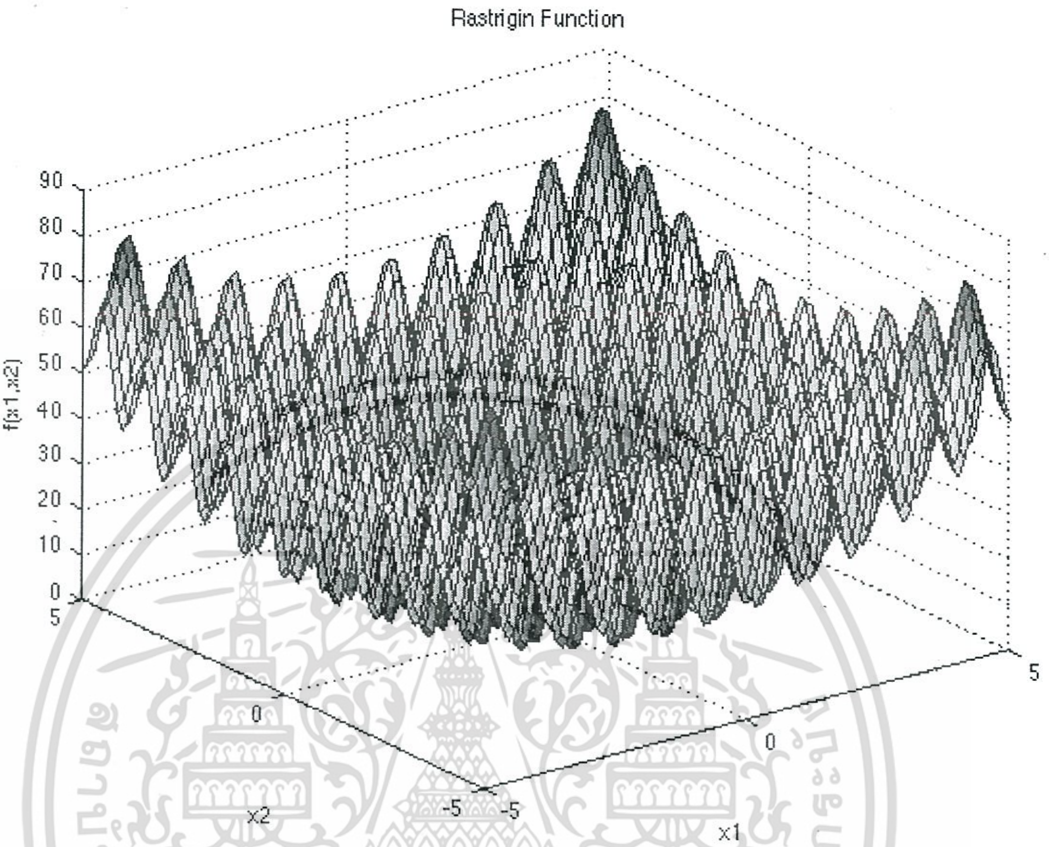
เมื่อ จำนวนมิติ $d = 2$

$-2 \le x_i \le 2$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x) = 3$, ที่ $x = (0, -1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.4 Rastrigin Function



รูปที่ 4.4 Rastrigin Function

$$f(x)=10d+\sum_{i=1}^{d}\left[x_i^2-100\cos(2\pi x_i)\right] \quad (4.4)$$

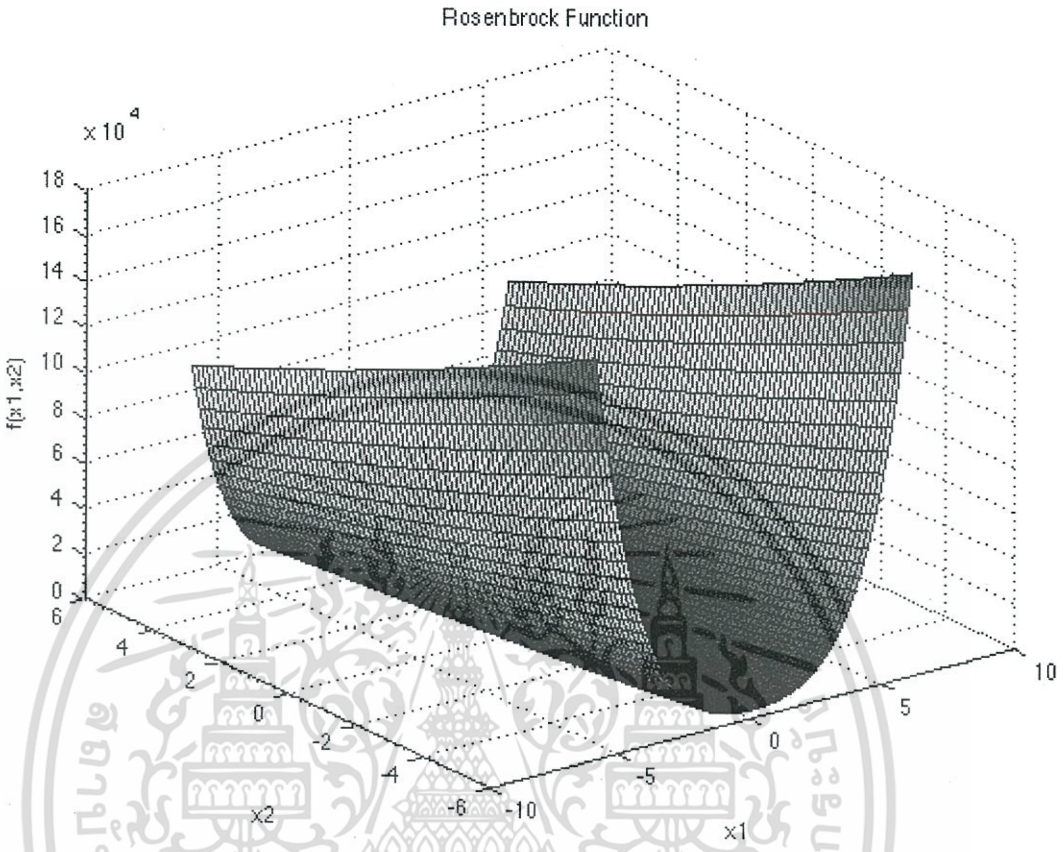
เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

$-5.12 \le x_i \le 5.12$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x)=0$, ที่ $x=(0,...,0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.5 Rosenbrock Function



รูปที่ 4.5 Rosenbrock Function

$$f(x) = \sum_{i=1}^{d-1}\left[100\left(x_{i+1} - x_i^2\right)^2 + \left(x_i - 1\right)^2\right] \qquad (4.5)$$

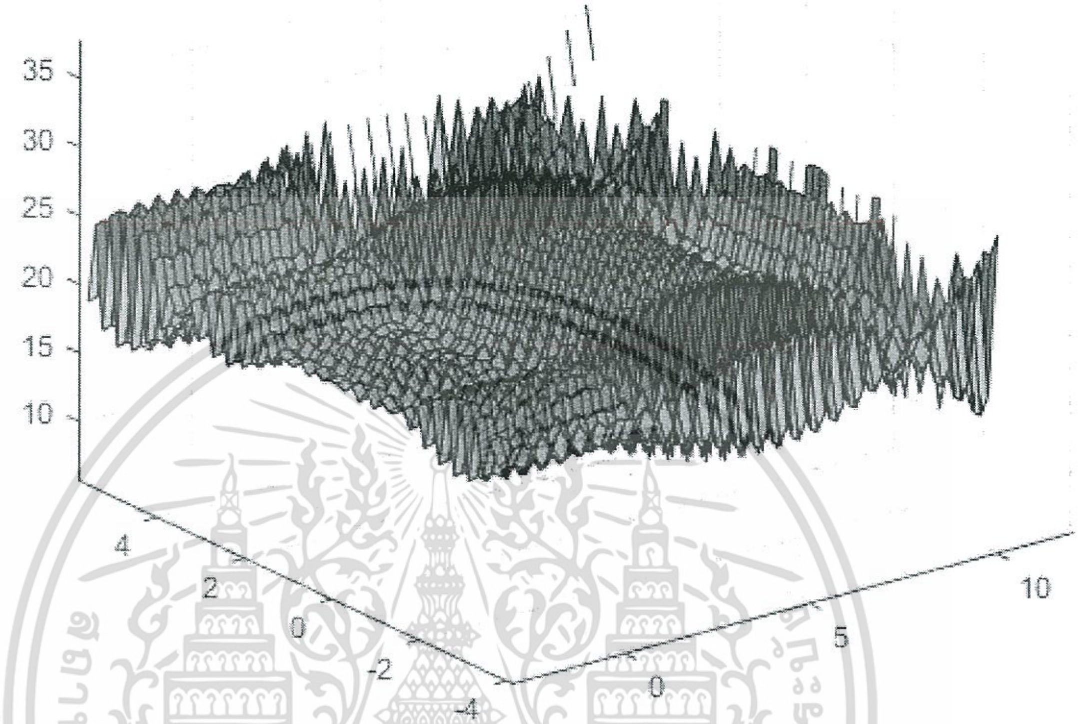
เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

$-5 \le x_i \le 10$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x) = 0$, ที่ $x = (1,...,1)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.6 Michalewicz Function



รูปที่ 4.6 Michalewicz Function

$$f(x) = 21.5 + x_1 \cdot \sin(4\pi x_1) + x_2 \cdot \sin(20x_2) \qquad (4.6)$$

เมื่อ จำนวนมิติ $d = 2$

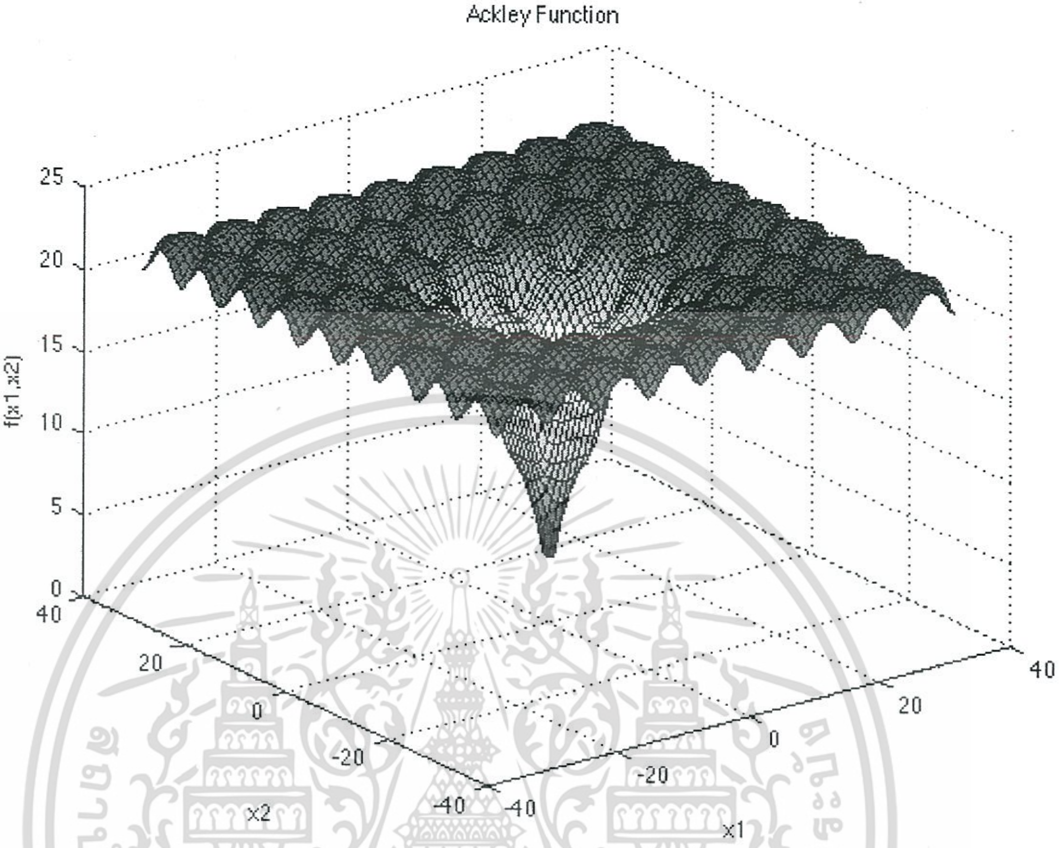
$-3.0 \le x_1 \le 12.1$

$-4.1 \le x_2 \le 5.8$

ค่าสูงสุด คือ $f(x) = 38.850294479$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.7 Ackley Function



รูปที่ 4.7 Ackley Function

$$f(x) = -a \cdot \exp\left(-b\sqrt{\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{d} x_i^2}\right) - \exp\left(\frac{1}{d}\sum_{i=1}^{d}\cos(cx_i)\right) + a + \exp(1) \qquad (4.7)$$

เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

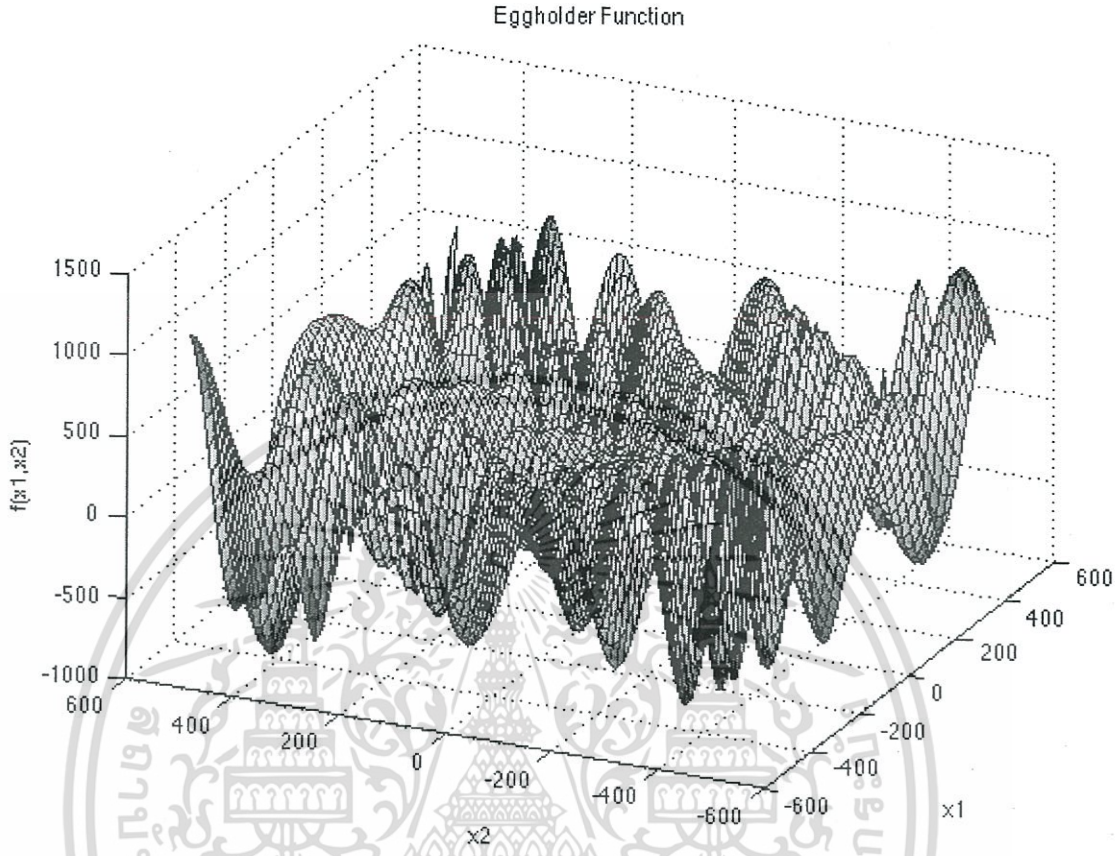
ค่าตัวแปรที่แนะนำ คือ $a = 20$, $b = 0.2$ และ $c = 2\pi$

$-32.768 \le x_i \le 32.768$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x) = 0$, ที่ $x = (0,...,0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.8 Eggholder Function



รูปที่ 4.8 Eggholder Function

$$f(x) = -(x_2 + 47)\sin\left(\sqrt{\left|x_2 + \frac{x_1}{2} + 47\right|}\right) - x_1 \sin\left(\sqrt{\left|x_1 - (x_2 + 47)\right|}\right) - x_1 \sin(\sqrt{\left|x_1 - (x_2 + 47)\right|}) \tag{4.8}$$

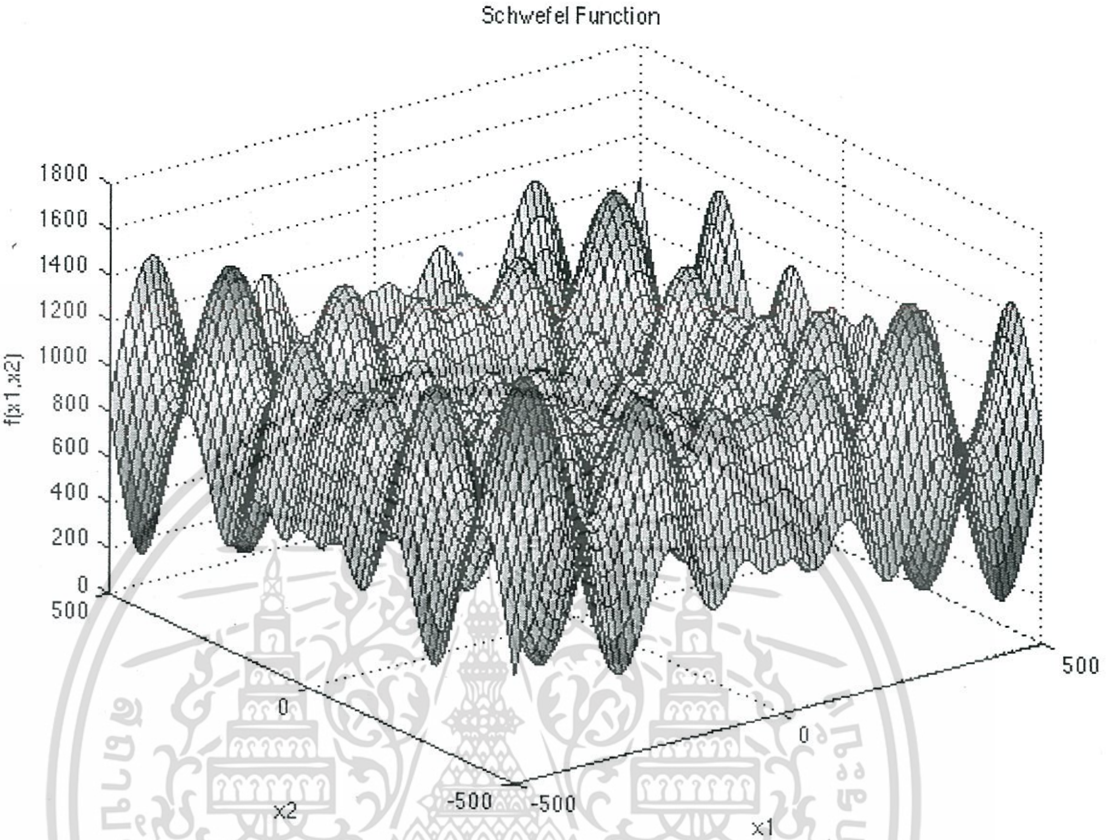
เมื่อ จำนวนมิติ $d = 2$

$-512 \le x_i \le 512$

ค่าสูงสุด คือ $f(x) = -959.6407$, ที่ $x = (512, 404.2319)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.9 Schwefel Function



รูปที่ 4.9 Schwefel Function

$$f(x) = 418.9829d - \sum_{i=1}^{d} x_i \sin\left(\sqrt{|x_i|}\right) \qquad (4.9)$$

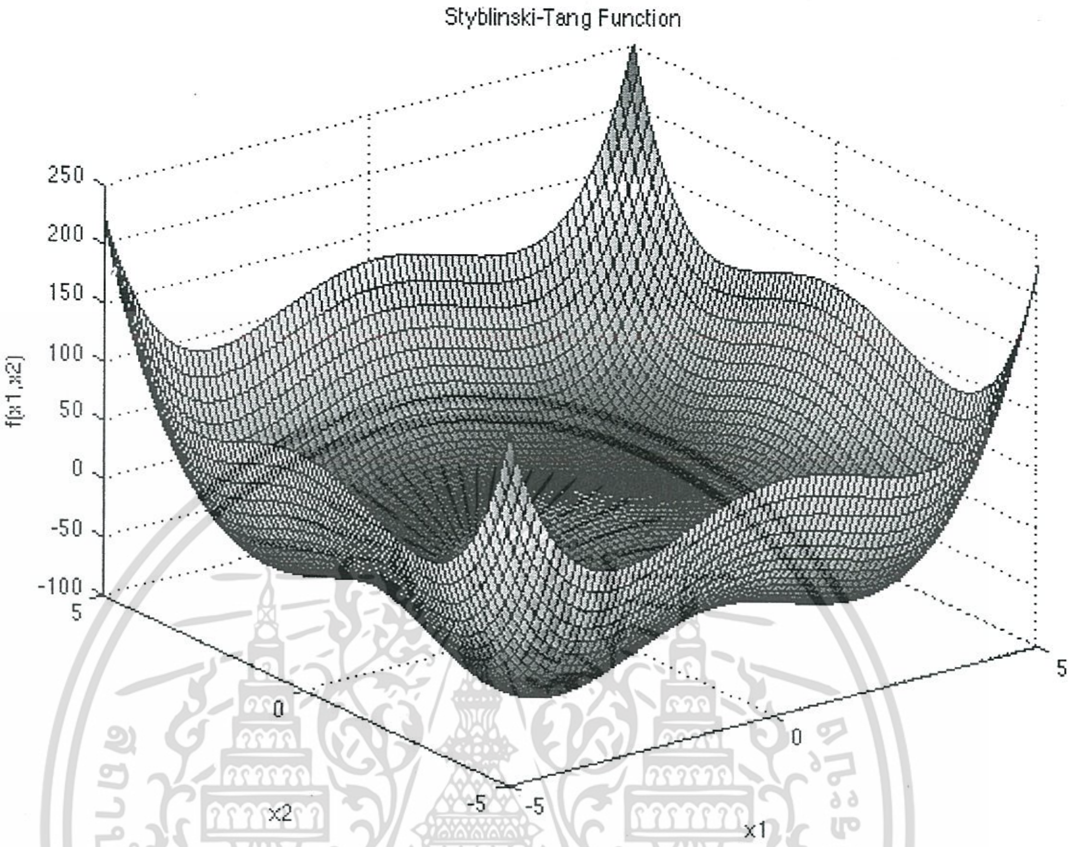
เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

$-500 \le x_i \le 500$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x) = 0$, ที่ $x = (420.9687,...,420.9687)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.10 Styblinski Function



รูปที่ 4.10 Styblinsk Function

$$f(x)=\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{d}\left(x_i^4-16x_i^2+5x_i\right) \qquad (4.10)$$

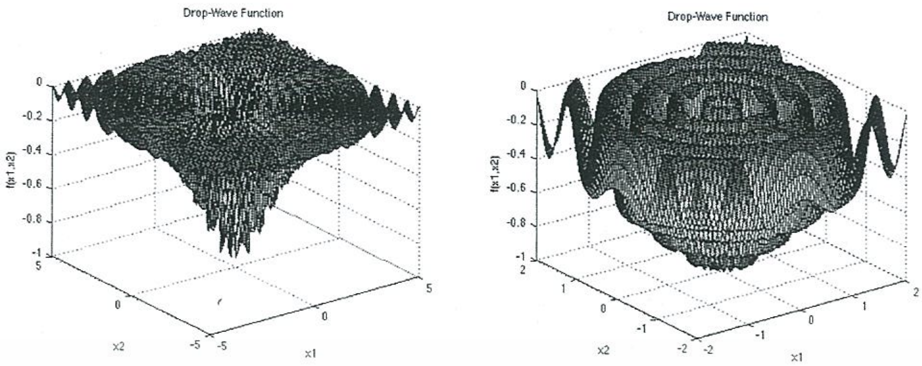
เมื่อ d คือ จำนวนมิติ

$-5 \le x_i \le 5$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x)=-39.16599d$, ที่ $x=(-2.903534,...,2.903534)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.11 Drop-wave Function



รูปที่ 4.11 Drop-wave Function

$$f(x) = -\frac{1+\cos(\sqrt{x_1^2+x_2^2})}{0.5(x_1^2+x_2^2+2)} \quad (4.11)$$

เมื่อ $d = 2$

$-5.12 \le x_i \le 5.12$

ค่าต่ำสุด คือ $f(x) = -1$, ที่ $x = (0,...,0)$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.2 การกำหนดค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ในการทดลองจะกำหนดค่าตัวแปรเป็นสองชุดดังตารางที่ 4.1 เพื่อเป็นการหาค่าตัวแปรที่เหมาะสมซึ่งจะนำไปทำการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น ๆ ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.1 แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
จำนวนประชากรตั้งต้น (n)	500	500
จำนวนมิติ (d)	2, 10, 20, 30	2, 10, 20, 30
ค่าคงที่กำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่ (α) ระยะรวมกลุ่มเข้าหาเป้าหมาย	0.5	$\frac{2}{d}$
ค่าการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (β) ระยะรวมกลุ่มเข้าหาเป้าหมาย	$-0.01 \leq \beta \leq 0.01$	$\frac{-\lvert x_{\max} - x_{\min} \rvert \times d}{200000} \leq \beta \leq \frac{\lvert x_{\max} - x_{\min} \rvert \times d}{200000}$
ค่าคงที่กำหนดความเร็วของการเคลื่อนที่ (α) ระยะหนีออกจากเป้าหมาย	0.5	$\frac{2}{d}$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.1 (ต่อ) แสดงค่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง

ตัวแปรที่ใช้ในการทดลอง	ชุดที่ 1	ชุดที่ 2
ค่าการเคลื่อนที่แบบสุ่ม (β) ระยะหนีออกจากเป้าหมาย	$-0.01 \le \beta \le 0.01$	$\frac{-3 \times d \times \|x_{max} - x_{min}\| \times d}{200} \le \beta \le \frac{3 \times d \times \|x_{max} - x_{min}\| \times d}{200}$
ค่าการเคลื่อนที่แบบสุ่มของประชากรที่ไม่ได้รับฟีโรโมน (γ)	$-0.01 \le \gamma \le 0.01$	$\frac{-\|x_{max} - x_{min}\| \times d}{200000} \le \gamma \le \frac{\|x_{max} - x_{min}\| \times d}{200000}$
จำนวนรอบการทำซ้ำก่อนจบอัลกอริทึม	10	10
ระยะแสดงผลของฟีโรโมน	ค่าเฉลี่ยของระยะห่างในแต่ละมิติ	¼ ของระยะขอบเขตที่พิจารณาบวกกับค่าเฉลี่ยของระยะห่างในแต่ละมิติ

4.3 ผลการทดลอง

4.3.1 ผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการกำหนดค่าตัวแปรสองชุด

เนื่องจากการกำหนดตัวแปรในช่วงแรกของการพัฒนาอัลกอริทึมแม้จะใช้ได้ผลดีในฟังก์ชันแบบสองมิติ แต่เมื่อจำนวนมิติเพิ่มมากขึ้นผลที่ได้จะออกมาไม่มีประสิทธิภาพ จึงได้ทำการปรับเปลี่ยนค่าตัวแปร จากนั้นทำการทดลองซ้ำ ๆ จนสังเกตได้ว่าตัวแปรที่ใช้ในการทดลองมีความสัมพันธ์กับจำนวนของมิติและขอบเขตของฟังก์ชันศึกษาอย่างมีนัยยะ จึงทำการทดลองเพิ่มจนได้ค่าที่เหมาะสมดังตารางที่ 4.1 ผลเปรียบเทียบระหว่างการกำหนดค่าตัวแปรทั้งสองชุดโดยใช้ฟังก์ชันมาตรฐาน 6 ฟังก์ชั่นมาทดสอบในจำนวนมิติ 2, 10 มิติตามลำดับได้ผลดังตารางที่ 4.2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการกำหนดค่าตัวแปรสองชุดในฟังก์ชันแบบ 2 มิติ

Function	Dim.	AL	Result	R.Best	Time(s)
Sphere	2	ชุดที่1	3.15268565849E-12	0.00000000000E+00	1.266588
		ชุดที่2	6.16453434921E-15		5.778550
	10	ชุดที่1	2.86929070629E+00		5.995403
		ชุดที่2	8.14348204108E-08		22.333762
Weight Sphere	2	ชุดที่1	5.96321215624E-11	0.00000000000E+00	1.058964
		ชุดที่2	1.65530711031E-14		5.294447
	10	ชุดที่1	13.1696159132E+00		2.942224
		ชุดที่2	2.11200160253E-06		27.841961

ตารางที่ 4.2 (ต่อ) แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบระหว่างการกำหนดค่าตัวแปรสองชุดในฟังก์ชันแบบ 2 มิติ

Goldstein Price	2	ชุดที่1	3.00015008461E+00	3.00000000000E+00	0.845147
		ชุดที่2	3.00000002320E+00		3.227167
	10	ชุดที่1	-		-
		ชุดที่2	-		-
Rosenbrock	2	ชุดที่1	2.35840364522E-11	0.00000000000E+00	1.035485
		ชุดที่2	1.57658244911E-14		5.156486
	10	ชุดที่1	2.95057463475E+00		1.870657
		ชุดที่2	8.07306166606E-03		29.898155
Michalewicz	2	ชุดที่1	3.64508846102E+01	3.88502944790E+01	1.354628
		ชุดที่2	3.88502943573E+01		0.297156
	10	ชุดที่1	-		-
		ชุดที่2	-		-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากตารางที่ 4.2 จะเห็นได้ว่าเมื่อทำการปรับเปลี่ยนค่าของตัวแปรที่กำหนดก่อนการทดลอง ทำให้ผลการทดลองได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากขึ้น แต่ต้องแลกกับการใช้เวลาที่มากขึ้นตามไปด้วย

4.3.2 ผลการทดลองเปรียบเทียบงานวิจัยที่นำเสนอกับงานวิจัยอื่น

เมื่อได้ค่าตัวแปรที่เหมาะสมแล้ว จึงทำการทดลองเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่นโดยใช้ฟังชันมาตรฐาน 11 ฟังก์ชัน และทดสอบในจำนวนมิติเท่ากับ 2, 10, 20 และ 30 มิติตามลำดับ ได้ผลดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น

Function	AL	Dimension	Result	minimum	Time(s)
Sphere	MBO	2	1.98619851500E-05	0.00000000000E+00	12.600000
	SMBO	2	7.63651651655E-07		11.100000
	FPA	2	6.19243000000E-27		-
	FF	2	4.72459000000E-11		-
	GA	2	1.53934000000E-13		-
	NSIA	2	6.16453434921E-15		5.778550
		10	8.14348204108E-08		22.333762
		20	6.22170440241E-07		24.229920
		30	9.32892257377E-06		28.983404
Weight Sphere	MBO	2	3.87154384525E-05	0.00000000000E+00	12.600000
	SMBO	2	1.91434532159E-06		10.500000
	FPA	2	-		-
	FF	2	-		-
	GA	2	-		-
	NSIA	2	1.65530711031E-14		5.294447
		10	2.11200160253E-06		27.841961
		20	1.92235375715E-04		31.317969
		30	6.13981539759E-02		57.167650

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น

Function	AL	Dimension	Result	minimum	Time(s)
Schwefel	MBO	2	-	0.00000000000E+00	-
	SMBO	2	-		-
	FPA	2	2.55000000000E-05		-
	FF	2	8.61969000000E+01		-
	GA	2	8.30075000000E+02		-
	NSIA	2	2.54552885508E-05		4.569590
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-
Styblinski	MBO	2	-	3.91659900000E+01	-
	SMBO	2	-		-
	FPA	2	-3.91661500000E+01		-
	FF	2	-3.91609500000E+01		-
	GA	2	-2.92704500000E+01		-
	NSIA	2	-3.91661657027E+01		6.213585
		10	-3.77524936418E+01		33.047507
		20	-3.63388195693E+01		59.577714
		30	-3.58675880551E+01		65.262051
Drop-wave	MBO	2	-	1.00000000000E+00	-
	SMBO	2	-		-
	FPA	2	-1.00000000000E+00		-
	FF	2	-1.00000000000E+00		-
	GA	2	-9.57220000000E-01		-
	NSIA	2	1.000000000000E+00		7.711970
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น

Function	AL	Dimension	Result	minimum	Time(s)
Goldstein Price	MBO	2	3.00089900000E+00	3.00000000000E+00	12.000000
	SMBO	2	3.00044600000E+00		10.500000
	FPA	2	-		-
	FF	2	-		-
	GA	2	-		-
	NSIA	2	3.00000002320E+00		3.227167
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-
Rastrigin	MBO	2	2.03651651623E-03	0.00000000000E+00	24.700000
	SMBO	2	7.31798313560E-03		21.000000
	FPA	2	1.69820000000E-13		-
	FF	2	9.21223000000E-09		-
	GA	2	6.63306000000E-02		-
	NSIA	2	6.53699316899E-13		5.469144
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-
Rosenbrock	MBO	2	3.59543782874E-05	0.00000000000E+00	11.700000
	SMBO	2	1.67543843428E-05		10.900000
	FPA	2	7.70467000000E-07		-
	FF	2	1.93476000000E-07		-
	GA	2	2.40795000000E-03		-
	NSIA	2	1.57658244911E-14		5.156486
		10	8.07306166606E-03		29.898155
		20	5.90446832638E-02		12.775582
		30	5.51619722651E-01		25.813245

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงผลการทดลองเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่น

Function	AL	Dimension	Result	minimum	Time(s)
Michalewicz	MBO	2	3.88411500000E+01	3.88502944790E+01	17.000000
	SMBO	2	3.88467200000E+01		15.600000
	FPA	2	-		-
	FF	2	-		-
	GA	2	-		-
	NSIA	2	3.88502943573E+01		0.297156
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-
Ackley	MBO	2	-	0.00000000000E+00	-
	SMBO	2	-		-
	FPA	2	2.07259000000E-12		-
	FF	2	8.17798000000E-05		-
	GA	2	1.24595000000E-06		-
	NSIA	2	1.39402200157E-05		3.868100
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-
Eggholder	MBO	2	-	9.59640700000E+02	-
	SMBO	2	-		-
	FPA	2	-9.59640685153E+02		-
	FF	2	-8.16391000000E+02		-
	GA	2	-3.09245000000E+01		-
	NSIA	2	-9.59640692721E+02		5.197375
		10	-		-
		20	-		-
		30	-		-

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เครื่องหมาย “-” ที่แสดงในตารางหมายถึงฟังก์ชั่นบางฟังก์ชั่นออกแบบมาสำหรับจำนวนมิติที่เฉพาะเจาะจง จึงไม่ได้ทำการทดลองในจำนวนมิติที่นอกเหนือจากที่กำหนดไว้ และในบางงานวิจัยที่เกี่ยวข้องก็ไม่ได้ทำการทดลองและไม่มีบันทึกไว้

จากผลการทดลองงานวิจัยที่นำเสนอสามารถหาคำตอบของฟังก์ชันแบบต่อเนื่องได้ประสิทธิภาพดีกว่างานวิจัยอื่นที่นำมาเปรียบเทียบเป็นจำนวน 8 ฟังก์ชัน จากทั้งหมด 11 ฟังก์ชั่น โดยฟังก์ชันที่ชนะส่วนมากเป็นฟังก์ชันที่มี Local Optimum จำนวนมาก

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นงานวิจัยที่มุ่งเน้นแก้ไขปัญหาของการเพิ่มประสิทธิภาพของฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง โดยจุดหมายที่แท้จริงของการเพิ่มประสิทธิภาพ คือการหาจุดที่เป็น Global Optimum แต่การที่จะแยก Global Optimum ออกจาก Local Optimum นั้นเป็นเรื่องที่ยาก ดังนั้นงานวิจัยนี้จะนำเสนอการหาค่าความเหมาะสมด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่ โดยได้แรงบันดาลใจจากการสื่อสารและพฤติกรรมของแมลงเวลาได้รับอันตราย ซึ่งแมลงจะปล่อยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมนเตือนภัย ออกมา แมลงตัวอื่นที่ได้รับสารนี้จะแสดงพฤติกรรมออกมาในหลายรูปแบบ วิทยานิพนธ์จะมุ่งเน้นไปที่สองพฤติกรรมที่พบมากที่สุดคือ แมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะเคลื่อนที่เข้าหาเป้าหมายเพื่อโจมตี และ แมลงที่ได้รับฟีโรโมนเตือนภัยจะหนีออกจากเป้าหมาย พฤติกรรมทั้งสองนี้คือแนวคิดหลักของวิธีการที่นำเสนอ โดยจะถูกทดสอบกับ ฟังก์ชันมาตรฐาน 11 ฟังก์ชัน ซึ่งจากผลการทดลองในบทที่ 4 แสดงให้เห็นว่า วิธีการที่งานวิจัยนี้นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ เมื่อเทียบกับงานวิธีการของวิจัยอื่นที่งานวิจัยนี้นำมาเปรียบเทียบ

5.2 ข้อดีของงานวิจัย

1) การหาค่าความเหมาะสมด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่ที่งานวิจัยนี้นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพสำหรับการเพิ่มประสิทธิภาพฟังก์ชันแบบต่อเนื่อง และใช้ได้ดีกับฟังก์ชันที่มีจุด Local Optimum จำนวนมาก

2) การหาค่าความเหมาะสมด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่ที่งานวิจัยนี้นำเสนอใช้เวลาในการทำงานน้อยกว่าอัลกอริทึมของงานวิจัยอื่นที่งานวิจัยนี้นำมาเปรียบเทียบ

3) การหาค่าความเหมาะสมด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่ที่งานวิจัยนี้นำเสนอสามารถใช้ได้กับฟังก์ชันแบบต่อเนื่องได้ในหลายรูปทรง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.3 ปัญหาที่พบในงานวิจัย

1. การหาค่าระยะที่เหมาะสมในขั้นตอนการกำหนดระยะแสดงผลของฟีโรโมนสามารถทำได้ยากเนื่องจาก เมื่อจำนวนมิติของปัญหาเพิ่มมากขึ้น ค่าระยะที่เหมาะสมก็จะเปลี่ยนแปลงไปด้วย

2. ประสิทธิภาพการทำงานของอัลกอริทึมที่นำเสนอจะลดลงเมื่อจำนวนมิติของปัญหาเพิ่มมากขึ้น

5.4 แนวทางในการพัฒนาต่อ

1. คิดค้นวิธีการคำนวณหาค่าของระยะแสดงผลของฟีโรโมนที่สามารถใช้ได้ดีกับจำนวนมิติของปัญหาที่มาก

2. คิดค้นวิธีการคำนวณหาค่าความเร็วของการเคลื่อนที่ของแมลงที่สามารถใช้ได้ดีกับจำนวนมิติของปัญหาที่มาก

3. ปรับปรุงกระบวนการบางขั้นตอนเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเมื่อใช้กับจำนวนมิติของปัญหาที่มาก

4. นำการหาค่าความเหมาะสมด้วยการใช้สติปัญญาแบบรวมกลุ่มวิธีใหม่ที่งานวิจัยนี้นำเสนอไปประยุกต์ใช้กับระบบสารสนเทศต่าง ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

D. Jong and K.A. 1975. **An analysis of the Behavior of a Class of Genetic Adaptive Systems**, Doctoral dissertion, University of Michigan.1975

Forest Entomology Research Center 1, Department of National Park, Wildlife and Plant Conservation (Thailand). **Alarm pheromone.** [Online]. Available : http://www.dnp.go.th/FOREMIC/NForemic/technical_term/meaning/alarm%20pheromone.htm.

Goldstein, A.A. and Price, J.F. **On descent from local minima**. Mathematics of Computation. 25(115), 1971. pp. 569–574.

H.A. Abbass. 2001. **MBO: Marriage in Honey Bees Optimization**. A haplometrosis polygynous swarming approach, Proceedings of the congress on evolutionary computation. 2001. pp. 207-214.

Kataboga, D. and Basturk, B. **On the Performance of Artificial Bee Colony (ABC) Al**gorithm. Applied Soft Computing. Volume 8, Issue 1, January 2008. pp. 687–697.

Michalewicz, Z. 1996. **Genetic Algorithms + Data Structures= Evolution Programs.** Springer-Verlag.

Nabil, E. A. 2016. **Modified Flower Pollination Algorithm for Global Optimization**. Expert Systems With Applications. 57, 2016. pp. 192-203.

Pohlheim, H. **The genetic and evolutionary algorithm toolbox for Matlab**. Available: http://www.geatbx.com/docu/fcnindex-01.html. 2006.

Regnier, F.E. and Law, **J.H. Insect pheromone**. Journal of Lipid Research. 9, pp. 541-551

Szymon, L. and Slawomir, Z. 2009. **Firefly Algorithm for Continuous Constrained Optimization Tasks.** Lecture Notes in Computer Science. Volume 5796, 2009. pp. 97-106.

Thammano, A. and Poolsamran, P. 2012. **SMBO: A Self-organizing Model of Marriage in Honey-Bee Optimization**. Expert Systems with Applications. 39, 2012. pp. 5576-5583.

Törn, A. and Zilinskas, A. 1989. **Global optimization (Lecture Notes in Computer Science).** Springer-Verlag

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก.
ผลงานวิจัยที่ได้รับการตีพิมพ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 22-24, 2014

A new swarm intelligence algorithm for continuous function optimization

Arit Thammano[1] and Supparuek Saengrattanachaiyakul[2]

Computational Intelligence Laboratory
Faculty of Information Technology
King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang
Bangkok, 10520 Thailand
(Tel: 662-723-4964, Fax: 662-723-4910)

[1]arit@it.kmitl.ac.th and [2]supparueks@hotmail.co.th

Abstract: This paper proposes a new meta-heuristic algorithm for continuous function optimization. The proposed algorithm is inspired by the way in which insects communicate with each other to inform of an impending danger. In doing this, a chemical substance, called the alarm pheromone, is released into the environment. This results in various kinds of responses. This paper focuses on the two most common responses: (i) it draws nearby insects to attack the target, and (ii) it warns the others to flee the area. These two responses are the main concepts of the proposed algorithm. The proposed algorithm is tested on 6 benchmark functions. The performance of the proposed algorithm is compared with those of Abbass's Marriage in honey-bee optimization (MBO) and Self-organizing model of marriage in honey-bee optimization (SMBO). The experimental results show that the proposed algorithm outperforms the compared algorithms in terms of the processing time and the average effectiveness.

Keywords: Alarm pheromone, Function optimization, Swarm intelligence

1 INTRODUCTION

Optimization is a mathematical discipline that relates to the finding of the global minimum point or the global maximum point of functions. There are many techniques that have been developed over the years to solve optimization problems. In recent years, swarm intelligence has attracted a lot of attention from researchers and has been applied successfully to solve optimization problems. Swarm intelligence is inspired by collaborative behaviors in social animals such as birds, ants, and bees [1]. Even though it is a very promising technique, it requires a large amount of computational time [2]. Some of the most successful swarm intelligence algorithms are Marriage in honey-bee optimization (MBO) [1] and Self-organizing model of marriage in honey-bee optimization (SMBO) [2].

This paper proposes a new swarm intelligence algorithm inspired by the way in which insects communicate with each other to inform of an impending danger.

The rest of the paper is organized as follows: the next section briefly describes the background of alarm pheromones. The proposed algorithm with a detailed description of each step is presented in section 3. Section 4 describes the tested benchmark functions and discusses the experimental results. Finally, the conclusions will be discussed in section 5.

2 ALARM PHEROMONES

Pheromones are the chemical compounds that enable insects of the same species to communication with one another. There are two types of pheromones, releasers and primers. Releaser pheromones initiate immediate behavioral responses in insects upon reception. Primer pheromones cause changes in the physiology of insects that eventually result in behavioral responses [3].

Releaser pheromones can be divided into three basic types: sexual attraction, recruitment, and alarm behavior. Sex pheromones are released to attract the opposite sex in the same species for mating. Recruiting pheromones are used in marking trails to food sources. Alarm pheromones are used to warn other members of an impending danger [3, 4].

Alarm pheromones are in the form of vapors that do not last long in the environment. These substances can be found among social insects such as bees, wasps, and ants, and nonsocial insects such as true bugs, treehoppers, and aphids. These pheromones are used as warnings of predators or other dangers that may harm members of the hive. When social insects get a warning, the labor castes (workers) will gather and prepare to attack the enemy as shown in Fig. 1. The insects that gather will help release more alarm pheromones to encourage other members of the hive to attack the enemy [3, 4]. On the other hand, when

© ISAROB 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 22-24, 2014

nonsocial insects get a warning, they will escape from their current locations immediately as shown in Fig. 2.

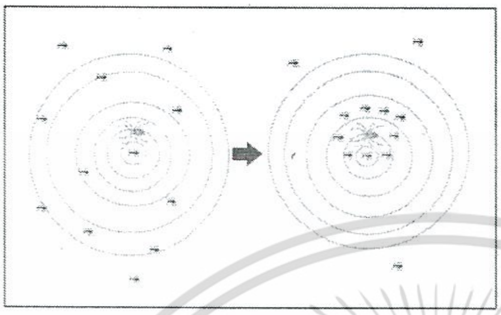


Fig. 1. Alarm pheromone in social insects

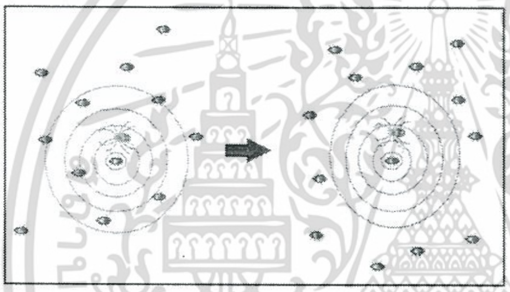


Fig. 2. Alarm pheromone in nonsocial insects

3 PROPOSED ALGORITHM

This paper proposes a new swarm intelligence algorithm for continuous function optimization. The proposed algorithm is inspired by the way in which insects communicate with each other to inform of an impending danger. In doing this, a chemical substance, called the alarm pheromone, is released into the environment. This results in various kinds of responses. This paper focuses on the two most common responses: (i) it draws nearby insects to attack the target, and (ii) it warns the others to flee the area. These two responses are the main concepts of the proposed algorithm. The proposed algorithm consists of 2 phases as follows.

3.1 The first phase

a. An initial population of N individuals is randomly created.

$$X_i = [x_{i1}, x_{i2}, ..., x_{ij}, ..., x_{iM}] \quad (1)$$

where i = 1, 2, 3, ..., N, j = 1, 2, 3, ..., M.

b. The fitness of each individual is calculated. The individual with the highest fitness value is chosen for releasing pheromones.

$$I = \arg\max_{i=1}^{N} [f(X_i)] \quad (2)$$

c. The distances between the releaser and the rest of the population are determined.

d. According to the distance from the releaser, the population is divided into 2 groups. The first group consists of individuals whose positions are within a specified distance (in all dimensions) of the releaser. Each individual of this group smells the pheromones and responses by moving toward the releaser. The step size of the move is proportional to the distance to the releaser.

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + \alpha(x_{Ij} - x_{ij}^{old}) + \beta \quad (3)$$

where α is a positive constant which controls the speed of the individual toward the releaser. β is a random number in the range [-0.01, 0.01].

The second group consists of individuals whose positions are outside a specified distance (in all dimensions) of the releaser. The members of the second group are too far to smell the pheromones; therefore, they move randomly instead.

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} + \beta \quad (4)$$

e. While the others move in accordance with whether or not they sense the alarm pheromones, the releaser itself wanders around its current position. If the fitness of the new position is better than that of the current position, it will move to the new position.

$$x_{Ij}^{new} = x_{Ij}^{old} + \beta \quad (5)$$

f. After the above move, the termination criteria will be checked. If any of the termination criteria are met, the first phase will be terminated. The population in the last run of the first phase is used as the initial population of the second phase. If not, the fitness of all individuals is determined and the new releaser is selected; then go back to step c. The termination criteria used in this phase are as follows:

© ISAROB 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 22-24, 2014

- The maximum number of runs is reached.
- The best individual does not change for 100 consecutive runs.

3.2 The second phase

The second phase is similar to the first phase, except that each individual of the first group who smells the pheromones will move away from the releaser. This phase is terminated either after a specified number of runs or when the best individual does not change for 100 consecutive runs.

$$x_{ij}^{new} = x_{ij}^{old} - \alpha(x_{ij} - x_{ij}^{old}) + \beta \quad (6)$$

Upon completion of both phases, the number of iterations is increased by 1; then go back to step c of the first phase. When the number of iterations reaches a specified maximum number, the algorithm is stopped. The last releaser is returned as the solution to the problem.

4 EXPERIMENTAL RESULTS

The proposed algorithm is tested on 6 benchmark functions. The details of the six functions used in this study are briefly described as follows:

a. The Michalewicz's function [5]

$$f(\bar{x}) = 21.5 + x_1 \cdot \sin(4\pi x_1) + x_2 \cdot \sin(20\pi x_2) \quad (7)$$

where $-3.0 \leq x_1 \leq 12.1$ and $4.1 \leq x_2 \leq 5.8$. The global maximum of the Michalewicz's function is equal to 38.850294479.

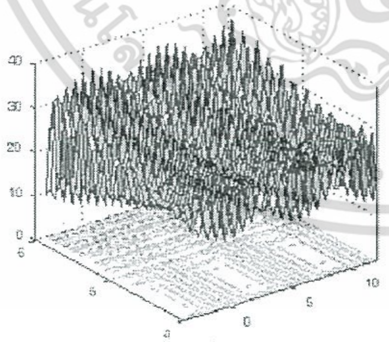


Fig. 3. The Michalewicz's function

b. The Rastrigin's function [6]

$$f(\bar{x}) = 10m + \sum_{i=1}^{m} (x_i^2 - 10\cos(2\pi x_i)) \quad (8)$$

where m is the dimensionality of the problem space. The search space is restricted to $-5.12 \leq x_i \leq 5.12$, i = 1, 2, ..., m. Its global minimum is equal to zero.

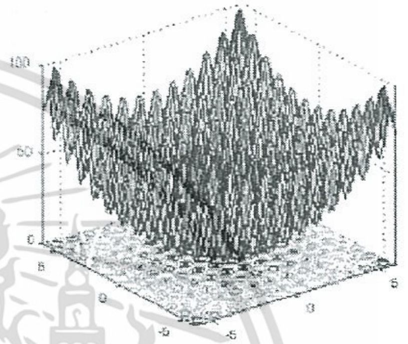


Fig. 4. The Rastrigin's function

c. The Rosenbrock's valley function [7]

$$f(\bar{x}) = \sum_{i=1}^{m-1} [100(x_{i+1} - x_i^2)^2 + (1 - x_i)^2] \quad (9)$$

The search domain is $-2.048 \leq x_i \leq 2.048$, i =1, 2, ..., m. The global minimum of the Rosenbrock's valley function is equal to zero.

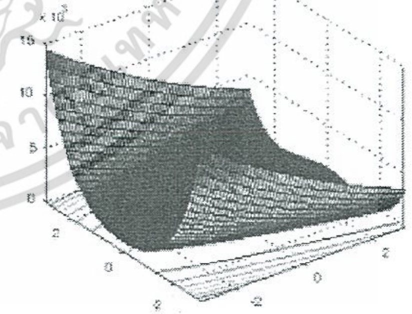


Fig. 5. The Rosenbrock's valley function

© ISAROB 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 22-24, 2014

d. The sphere function [7]

$$f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{m} x_i^2 \qquad (10)$$

where m is the dimensionality of the problem space. The search space is restricted to $-5.12 \le x_i \le 5.12$, i = 1, 2, ..., m. The global minimum of the sphere function is equal to zero.

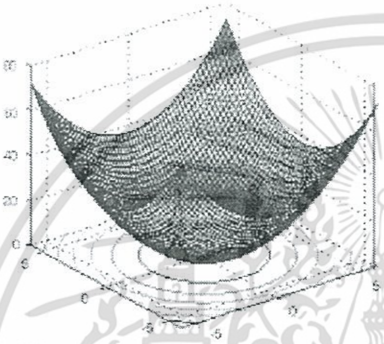


Fig. 6. The sphere function

e. The weighted sphere function [8]

$$f(\vec{x}) = \sum_{i=1}^{m} i^2 x_i^2 \qquad (11)$$

where m is the dimensionality of the problem space. The search space is restricted to $-5.12 \le x_i \le 5.12$, i = 1, 2, ..., m. The global minimum of the weighted sphere function is equal to zero.

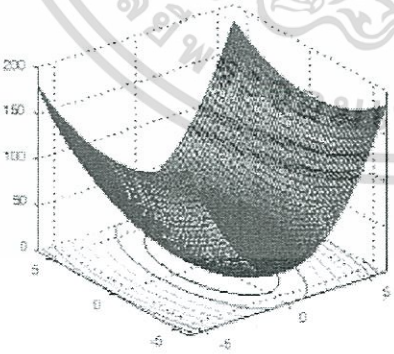


Fig. 7. The weighted sphere function

f. The Goldstein-Price's function [9]

$$f(\vec{x}) = \begin{bmatrix} 1 + (x_1 + x_2 + 1)^2 \times \\ (19 - 14x_1 + 3x_1^2 - 14x_2 + 6x_1x_2 + 3x_2^2) \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} 30 + (2x_1 - 3x_2)^2 \times \\ (18 - 32x_1 + 12x_1^2 + 48x_2 - 36x_1x_2 + 27x_2^2) \end{bmatrix} \qquad (12)$$

where $-2.0 \le x_1 \le 2.0$ and $-2.0 \le x_2 \le 2.0$. The global minimum of the Goldstein-Price's function is equal to 3.

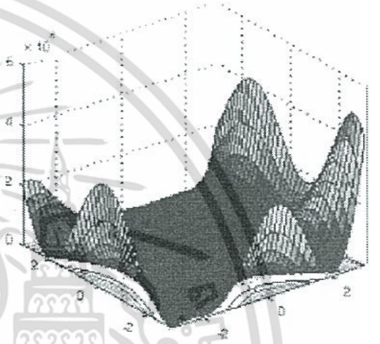


Fig. 8. The Goldstein-Price's function

To evaluate the proposed algorithm, the performance of the proposed algorithm is compared with those of Abbass's Marriage in honey-bee optimization (MBO) and Self-organizing model of marriage in honey-bee optimization (SMBO). Tables 1, 2, and 3 show the values of the parameters of MBO, SMBO, and the proposed method respectively.

For each benchmark function, all three algorithms are run 10 times with different initial populations each time. Then the average and the standard deviation are computed. Table 4 shows the experimental results of the proposed algorithm in comparison to MBO and SMBO.

Table 1. The parameters used in the MBO

Parameters	Values
Number of queens	10
Spermatheca size	100
Number of drones	200
Number of broods	500
Number of mating flights	400
Mutation rate	0.2

© ISAROB 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

The Nineteenth International Symposium on Artificial Life and Robotics 2014 (AROB 19th 2014),
B-Con Plaza, Beppu, Japan, January 22-24, 2014

Table 2. The parameters used in the SMBO

Parameters	Values
Spermatheca size	100
Number of drones	200
Number of broods	500
Number of mating flights	400
Mutation rate	0.2

Table 3. The parameters used in the proposed method

Parameters	Values
Number of populations	100
Maximum number of iterations	10
α	0.1
Maximum number of runs in each phase	500

Table 4. Experimental results

Function	Method	Average	S.D.
Michalewicz	MBO	38.84115	8.63E-03
	SMBO	38.84672	8.24E-04
	Proposed Method	38.26649	2.79E-01
Rastrigin	MBO	2.03E-03	2.43E-03
	SMBO	7.30E-03	1.15E-02
	Proposed Method	7.52E-07	4.39E-07
Rosenbrock	MBO	3.59E-05	4.41E-05
	SMBO	1.67E-05	2.11E-05
	Proposed Method	2.39E-08	3.80E-08
Sphere	MBO	1.98E-05	1.92E-05
	SMBO	7.63E-07	7.52E-07
	Proposed Method	8.23E-09	8.43E-09
Weighted sphere	MBO	3.87E-05	4.81E-05
	SMBO	1.91E-06	2.77E-06
	Proposed Method	6.55E-09	5.61E-09
Goldstein-Price	MBO	3.000899	1.88E-03
	SMBO	3.000446	2.02E-04
	Proposed Method	3.000004	2.74E-06

The experimental results in Table 4 show that the proposed method achieves better performance than both MBO and SMBO in 5 out of 6 benchmark functions.

5 CONCLUSIONS

This paper presents a new swarm intelligence algorithm for continuous function optimization. The proposed algorithm is inspired by the concept of alarm pheromones, which are the chemical compounds released into the environment to warn members of the same species of an impending danger. The performance of the proposed algorithm is compared with those of Abbass's Marriage in honey-bee optimization (MBO) and Self-organizing model of marriage in honey-bee optimization (SMBO). The experimental results show that the proposed algorithm provides the best performance among all compared algorithms.

REFERENCES

[1] Abbass HA (2001), MBO: Marriage in honey bees optimization: A haplometrosis polygynous swarming approach, Proceedings of the congress on evolutionary computation, pp. 207-214

[2] Thammano A and Poolsamran P (2012), SMBO: A self-organizing model of marriage in honey-bee optimization. Expert Systems with Applications, 39, pp. 5576-5583

[3] Regnier FE and Law JH (1968), Insect pheromones, Journal of Lipid Research, 9, pp. 541-551

[4] Forest Entomology Research Center 1, Department of National Parks, Wildlife and Plant Conservation (Thailand), Alarm pheromone [http://www.dnp.go.th/FOREMIC/NForemic/technical_term/meaning/alarm%20 pheromone.htm]

[5] Michalewicz Z (1996), Genetic algorithms + Data structures = Evolution programs, Springer-Verlag

[6] Törn A and Zilinskas A (1989), Global optimization (Lecture notes in computer science). Springer-Verlag

[7] De Jong KA (1975), An analysis of the behavior of a class of genetic adaptive systems, Doctoral dissertion, University of Michigan

[8] Pohlheim H (2006), The genetic and evolutionary algorithm toolbox for Matlab [http://www.geatbx.com/docu/fcnindex-01.html]

[9] Goldstein AA and Price JF (1971), On descent from local minima, Mathematics of Computation, 25(115), pp. 569-574

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นายศุภฤกษ์ แสงรัตนชัยกุล
ที่อยู่	158 ซ.อินทามระ 17 ถ.สุทธิสารวินิจฉัย แขวงสามเสนใน เขตพญาไท จ.กรุงเทพมหานคร 10400
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2551 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) สาขาวิศวกรรมสารสนเทศ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ผลงานวิจัยที่ได้รับตีพิมพ์	"A new swarm intelligence algorithm for continuous Function optimization". 2014. The 19th Artificial life and robotics (AROB). Beppu, Japan. 22-24 January 2014

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้