วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

โดย
นายพีระ สกลวิทยานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

โดย
นายพีระ สกลวิทยานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2561
ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร

A NOVEL BINARY DISCRETIZATION FOR PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM

By

MR. Pheera SAKONWITTAYANON

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering (ENGINEERING MANAGEMENT)

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Graduate School, Silpakorn University

Academic Year 2018

Copyright of Graduate School, Silpakorn University

หัวข้อ	วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค
โดย	พีระ สกลวิทยานนท์
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.จุไรรัตน์ นันทานิช)

พิจารณาเห็นชอบโดย

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร. ประจวบ กล่อมจิตร)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์)

..... ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทองแท่ง ทองลิ่ม)

60405309 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสอง, ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค, ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

นาย พีระ สกลวิทยานนท์: วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ชูศักดิ์ พรสิงห์

ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคเป็นหนึ่งในปัญญาประดิษฐ์ที่นักวิจัยรู้จักตั้งแต่ปีพ.ศ. 2538 นำเสนอโดย Kennedy และ Eberhart หลักการทำงานของขั้นตอนวิธีการมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมธรรมชาติการหาอาหารของฝูงสัตว์ที่หาอาหารแบบเป็นฝูง โดยฝูงสัตว์นั้นจะไม่มีหัวหน้าฝูงนำทาง แต่สมาชิกของฝูงจะหาอาหารโดยติดตามสมาชิกตัวที่ใกล้แหล่งอาหารดีที่สุดในขณะนั้น ในเริ่มแรกขั้นตอนวิธีการดังกล่าวได้ถูกออกแบบเพื่อใช้สำหรับการค้นหาค่าเหมาะที่สุดของปัญหาแบบค่าต่อเนื่องเท่านั้น ต่อมาได้ถูกพัฒนาให้นำไปใช้กับปัญหาค่าไม่ต่อเนื่องได้ แต่ต้องมีวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องมาใช้ในการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคในขั้นตอนวิธีการ วิธีการเข้ารหัสแบบไม่ต่อเนื่องมีหลายวิธี แต่วิธีที่ได้รับความนิยมมากที่สุดคือวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบใหม่ “วิธีเกมพนันลูกเต๋า” และนำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคที่เข้ารหัสเลขฐานสองด้วย วิธีเกมพนันลูกเต๋า วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิตจากเว็บไซต์ OR – Library จำนวน 9 ปัญหา ที่มีขนาดของปัญหาแตกต่างกัน 3 ระดับ ในการประเมินประสิทธิภาพจะเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ผลที่ได้จากการทดลองคือวิธีเกมพนันลูกเต๋ามีประสิทธิภาพกว่าวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันทั้งในด้านประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุด ความแม่นยำในการหาค่าเหมาะที่สุด ความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุด พฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุด และเวลาการทำงานของขั้นตอนวิธีการ

60405309 : Major (ENGINEERING MANAGEMENT)
Keyword : Binary Discretization, Particle Swarm Optimization Algorithm,
Uncapacitated Facility Location Problems

MR. PHEERA SAKONWITTAYANON : A NOVEL BINARY DISCRETIZATION FOR PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM THESIS ADVISOR : ASSISTANT PROFESSOR CHOOSAK PORNSING, Ph.D.

Particle Swarm Optimization Algorithm (PSO) is well known as one of artificial intelligence. PSO was developed by Kennedy and Eberhart in 1995, based on natural behavior of flocking animal, that does not has a specific leader but they are searching for food by following a member who is the nearest source food. At the beginning, the original PSO was developed properly for continuous optimization problems, however the PSO can be modified to solve discrete optimization problems but it need a discretization method for encoding to discrete space. The sigmoid function is binary discretization that is used to be employed in the most of literatures that study in the discrete PSO.

This research proposes a novel binary discretization for PSO that called “Sic Bo game method”, then the PSO with the sic bo game method, the sigmoid function method and the hyperbolic tangent function method were modified to solve 9 test problems “uncapacitated facility location problems (UFLP)” from OR – Library that have 3 difference levels for compared their performances, the results of comparison show that the sic bo game method is more effective than the others because the sic bo game method delivers the best computation solution, searching for optimum accurately, the most consistency of optimum, the best behavior of convergence to problem’s global optimum, and decreasing the PSO’s computational time.

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณท่านอาจารย์ ผศ.ดร.ชูศักดิ์ พรสิงห์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่ให้ทั้งคำแนะนำและคำปรึกษาแนวทางในการวิจัย และผลักดันให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จและถูกต้องตามวัตถุประสงค์

ขอขอบพระคุณท่าน รศ.ดร.ประจวบ กล่อมจิตร ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และท่าน ผศ.ดร.ทองแท่ง ทองลิ่ม กรรมการสอบปริญญานิพนธ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำ คำปรึกษาในการทำปริญญานิพนธ์ให้ผ่านไปได้อย่างราบรื่นด้วยดี นอกจากนี้ขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ ตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน รวมทั้งบุคลากรท่านอื่น ๆ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการจัดทำวิทยานิพนธ์ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณครอบครัวที่ให้การสนับสนุนทุก ๆ อย่างในการศึกษาระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

พีระ สกลวิทยานนท์

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 3

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย 3

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ 4

บทที่ 2 หลักการทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 5

2.1 ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม 5

2.2 ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง 8

2.3 วิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง 10

2.4 ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ 18

2.5 เกมพนันลูกเต๋า 19

2.6 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต 20

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 23

3.1 วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค..... 23
3.2 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต 31
3.3 วิธีการทดลอง..... 53
บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 56
4.1 ผลการทดลองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต 56
4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋าเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 59
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ 77
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน..... 77
5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง..... 78
5.3 ข้อเสนอแนะ 78
รายการอ้างอิง 80
ภาคผนวก การพัฒนาตนเอง 84
ประวัติผู้เขียน..... 89

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 แสดงความน่าจะเป็นของผลรวมหน้าลูกเต๋า 3 ลูก (source: [32]) 20
ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนในการก่อสร้างโรงงานแต่ละแห่ง 33
ตารางที่ 3 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน 33
ตารางที่ 4 แสดงค่าในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค และเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น 35
ตารางที่ 5 แสดงการคำนวณต้นทุนในการก่อสร้าง 36
ตารางที่ 6 แสดงการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน 36
ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณต้นทุนการดำเนินงานรวมหรือค่าความเหมาะสม 37
ตารางที่ 8 แสดงตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้น และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคในรอบคำตอบเริ่มต้น 38
ตารางที่ 9 แสดงความเร็วของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 40
ตารางที่ 10 แสดงค่าความน่าจะเป็นจากวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 40
ตารางที่ 11 แสดงผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 41
ตารางที่ 12 แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าความเหมาะสมของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 41
ตารางที่ 13 แสดงการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 42
ตารางที่ 14 แสดงการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 42
ตารางที่ 15 แสดงความเร็วของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 44
ตารางที่ 16 แสดงค่าความน่าจะเป็นจากวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 45
ตารางที่ 17 แสดงผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 45
ตารางที่ 18 แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าความเหมาะสมของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 46
ตารางที่ 19 แสดงการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 46
ตารางที่ 20 แสดงการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบ 47

ตารางที่ 21 แสดงความเร็วของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า..... 49
ตารางที่ 22 แสดงผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า 50
ตารางที่ 23 แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าความเหมาะสมของวิธีเกมพนันลูกเต๋า..... 50
ตารางที่ 24 แสดงการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า..... 51
ตารางที่ 25 แสดงการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า..... 51
ตารางที่ 26 แสดงปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตที่นำมาทดลอง 53
ตารางที่ 27 แสดงขอบเขตการทำงานของขั้นตอนวิธีการในการทดลอง..... 54
ตารางที่ 28 แสดงผลการทดลองของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน..... 57
ตารางที่ 29 แสดงผลการทดลองของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 58
ตารางที่ 30 แสดงผลการทดลองของวิธีเกมพนันลูกเต๋า..... 59
ตารางที่ 31 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียวจากโปรแกรมสำเร็จรูป minitab 62
ตารางที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนร้อยละค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองกับค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง..... 65
ตารางที่ 33 แสดงสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน..... 67
ตารางที่ 34 แสดงเวลาการทำงานเฉลี่ยของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่เข้ารหัสเลขฐานสองแต่ละวิธี 75

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนความนิยมของแบบแผนวิธีการเข้ารหัสที่ถูกนำไปใช้ (Source: [9]) 11

ภาพที่ 2 แสดงสัดส่วนความนิยมของวิธีการสำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ถูกนำไปใช้ (Source: [9]) 15

ภาพที่ 3 กราฟแสดงลักษณะฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ 19

ภาพที่ 4 แสดงรหัสเทียมของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 25

ภาพที่ 5 แสดงรหัสเทียมของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 28

ภาพที่ 6 แสดงรหัสเทียมของวิธีเกมพนันลูกเต๋า 30

ภาพที่ 7 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น 39

ภาพที่ 8 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน 43

ภาพที่ 9 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน 48

ภาพที่ 10 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋า 52

ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนร้อยละค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองกับค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง 64

ภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดด้วยสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน 67

ภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap71 68

ภาพที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap72 69

ภาพที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap73 69

ภาพที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap101 70

ภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap102 70

ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap103 71

ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap131 71

ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap132 72

ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap133 72

ภาพที่ 22 แสดงผลการออกแบบอย่างสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม ใช้การเปรียบเทียบแบบ Tukey's test จากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 76

ภาพที่ 23 แสดงผลการเปรียบเทียบแบบ Tukey's test จากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab 76

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

ความก้าวหน้าทางเทคโนโลยีในด้านคอมพิวเตอร์ในปัจจุบัน มีส่วนช่วยในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการปฏิบัติการโลจิสติกส์ ที่มีความซับซ้อนและมีประสิทธิภาพมากขึ้นกว่าเมื่อก่อน ในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการวางแผนการปฏิบัติการโลจิสติกส์ ได้มีนักวิจัยหลายท่านนำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในงานโลจิสติกส์ไว้มากมาย อาทิเช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม (Production Lot Sizing Problem) ปัญหาการจัดวัสดุคงคลัง (Inventory Management Problem) และปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) เป็นต้น อย่างไรก็ตามการหาคำตอบของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาในงานโลจิสติกส์ที่กล่าวมานั้น มีวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ยุ่งยากซับซ้อน (Complexity) โดยเฉพาะเมื่อเป็นปัญหาที่มีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก หรือเป็นปัญหาแบบโพลิโนเมียล (Polynomial) ทำให้ใช้เวลามากในการคำนวณหาคำตอบด้วยวิธีแม่นตรง (Exact Method) [1] ดังนั้นจึงมีนักวิจัยอีกกลุ่มหนึ่งได้ประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการทางด้านเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristic) มาใช้สำหรับการแก้ไขปัญหาที่ซับซ้อนของระบบโลจิสติกส์ เพื่อให้ได้คำตอบภายในเวลาที่เหมาะสม เช่น การนำขั้นตอนวิธีการระบบอาณานิคมมด (Ant Colony Algorithm: ACA) มาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโลจิสติกส์ เพื่อการกระจายสินค้า [2] การนำวิธีการทางพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) มาค้นหาคำตอบของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) [3] การประยุกต์ขั้นตอนวิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) มาใช้ในการจัดเส้นทางการยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) [4] และการนำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) มาใช้หาตำแหน่งที่ตั้งของโรงงาน (Facility Location Problems: FLP) [5]

สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาโดย Kennedy และ Eberhart ในปี 1995 [6] ใช้แนวคิดพื้นฐานการทำงานของขั้นตอนวิธีการมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมธรรมชาติการหาอาหารของฝูงสัตว์ที่หาอาหารแบบเป็นฝูง โดยฝูงสัตว์นั้นจะไม่มีหัวหน้าฝูงนำทาง แต่สมาชิกของฝูงจะหาอาหารโดยติดตามสมาชิกตัวที่หลังจากนั้นได้มีงานวิจัยอื่น ๆ ที่ได้นำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค มาพัฒนาและ

ประยุกต์ใช้กันอย่างกว้างขวาง โดยเฉพาะการพัฒนาความเร็วของขั้นตอนวิธีการให้ลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุด (speed of convergence) และคุณภาพของค่าเหมาะที่สุด อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกิดขึ้นในงานโลจิสติกส์และห่วงโซ่อุปทานส่วนใหญ่มักจะเป็นปัญหาแบบค่าไม่ต่อเนื่อง (Discrete Optimization Problems)

Guner และ Sevkli [5] ได้นำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ไปประยุกต์ใช้สำหรับการค้นหาคำตอบที่เหมาะที่สุดของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต (Uncapacitated Facility Location Problems: UFLP) ซึ่งเป็นปัญหาค่าไม่ต่อเนื่องที่ได้มีการศึกษากันอย่างแพร่หลายในการวิจัยดำเนินงาน (Operations Research) โดยเขาเรียกขั้นตอนวิธีการนี้ว่า “ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง” (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO)

ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้กันอยู่ในปัจจุบันยังคงต้องการวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (Discretization Methods) แบบใหม่ที่มีประสิทธิภาพ [9] โดยเฉพาะวิธีการที่สามารถลดการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimum) ก่อนที่จะเจอคำตอบที่เหมาะที่สุด (Premature Convergence) [17] เพื่อใช้สำหรับการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดของปัญหาค่าไม่ต่อเนื่องได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่ ที่ทำให้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมีประสิทธิภาพทั้งในด้านการค้นหาค่าเหมาะที่สุด (Global Optimum) และด้านความเร็วในการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุด ในขั้นตอนการประเมินประสิทธิภาพวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่ จะประยุกต์ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคกับปัญหาทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต และเปรียบเทียบกับวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function) และวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน (Hyperbolic Tangent Function)

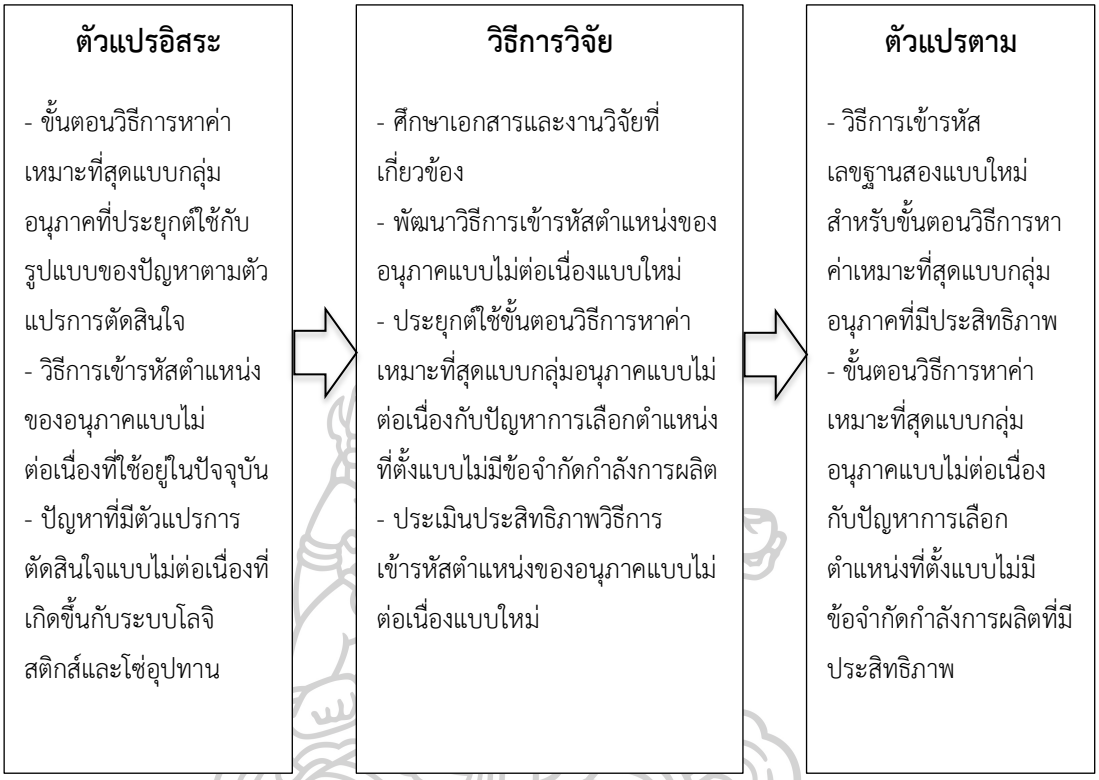
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 นำเสนอวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องระบบเลขฐานสองวิธีการใหม่

1.2.2 ประยุกต์ใช้วิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องระบบเลขฐานสองวิธีการใหม่ในขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องกับปัญหาทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

1.2.3 เปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องระบบเลขฐานสองวิธีการใหม่กับวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันและวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

1.3 กรอบแนวความคิดของงานวิจัย



1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคที่มีประสิทธิภาพเพื่อใช้ในการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง

1.5 แผนการดำเนินงานวิจัย

1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

1.5.2 วิเคราะห์และกำหนดปัญหา เป้าหมายในการดำเนินงานวิจัย และขอบเขตของงานวิจัย

1.5.3 วิเคราะห์ข้อมูลที่เกี่ยวข้องและตั้งสมมุติฐานของงานวิจัย

1.5.4 นำเสนอที่มาของปัญหาและเป้าหมายของงานวิจัยกับอาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

1.5.5 พัฒนาวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

1.5.6 ทดสอบประสิทธิภาพวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค โดยเปรียบเทียบกับวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันและวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

1.5.7 สรุปผลการวิจัย นำเสนออาจารย์ที่ปรึกษาและคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และจัดทำวิทยานิพนธ์

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสอง

วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสอง (Binary Discretization) หมายถึง วิธีการที่ใช้สำหรับแปลงค่าจากค่าตัวแปรรูปแบบใด ๆ ให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง

ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization Algorithm) หมายถึง ลำดับขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหาสำหรับการหาค่าเหมาะที่สุดของปัญหาทางคณิตศาสตร์ ที่เลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของฝูงสัตว์ที่หาอาหารแบบเป็นฝูง โดยฝูงสัตว์นั้นจะไม่มีหัวหน้าฝูง แต่สมาชิกของฝูงจะหาอาหารโดยติดตามสมาชิกตัวที่ใกล้แหล่งอาหารดีที่สุดในขณะนั้น

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต (Uncapacitated Facility Location Problems) หมายถึง ปัญหาทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการตัดสินใจในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานโดยคำนึงถึงต้นทุนการดำเนินงานหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจนี้ ที่ประกอบไปด้วยต้นทุนในการก่อสร้าง (Fixed Costs) และต้นทุนการขนส่งระหว่างสถานที่ตั้งกับลูกค้า (Transportation Costs)

บทที่ 2
หลักการทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะอธิบายถึงข้อมูลที่ได้จากการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ที่ใช้ในการทำงานวิจัยฉบับนี้ ซึ่งประกอบไปด้วย 2.1 เป็นการแนะนำหลักการและขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม และการนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาในงานวิจัยต่าง ๆ 2.2 จะอธิบายถึงขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง และการนำไปประยุกต์ใช้และพัฒนาในงานวิจัยต่าง ๆ 2.3 ได้แสดงวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องแบบต่าง ๆ ที่ใช้กับขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง 2.4 อธิบายลักษณะของฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ 2.5 ส่วนนี้จะแนะนำให้รู้จักเกมพนันลูกเต๋า 2.6 จะอธิบายถึงหลักการของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

2.1 ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม

ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคมีแนวคิดพื้นฐานมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของฝูงสัตว์ที่หาอาหารแบบเป็นฝูง โดยฝูงสัตว์นั้นจะไม่มีหัวหน้าฝูง แต่สมาชิกของฝูงจะหาอาหารโดยติดตามสมาชิกตัวที่ใกล้แหล่งอาหารดีที่สุดในขณะนั้น ซึ่งในปี1995 Kennedy และ Eberhart [6] เป็นนักวิจัยกลุ่มแรกที่นำแนวคิดหรือพฤติกรรมดังกล่าวมาสร้างลำดับขั้นตอนวิธีการแก้ปัญหา (algorithm) ให้สอดคล้องกับวิธีการทางเมตาฮิวริสติก เพื่อให้สามารถหาคำตอบที่เหมาะสมของปัญหาในเวลาโพลิโนเมียลได้

Evers et al. [13] ได้อธิบายว่าขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคประกอบไปด้วยอนุภาคจำนวนมาก ซึ่งแต่ละอนุภาคจะมีความเร็ว $\vec{v}_i(k)$ ความจำตำแหน่งของค่าที่ดีที่สุดของตนเอง $\vec{p}_i(k)$ และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม $\vec{g}_i(k)$ เพื่อใช้ในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่าง ๆ ด้วยความเร็วดังแสดงตามสมการที่ (2.2)

$$\vec{v}_i(k+1) = \omega\vec{v}_i(k) + c_1 r_{1i}(k)\big(\vec{p}_i(k) - \vec{x}_i(k)\big) + c_2 r_{2i}(k)\big(\vec{g}_i(k) - \vec{x}_i(k)\big) \qquad (2.2)$$

และทำการปรับปรุงตำแหน่งของอนุภาคด้วยสมการที่ (2.3)

$$\vec{x_i}(k+1) = \vec{x_i}(k) + \vec{v_i}(k+1); \ \ \forall i = \{1, 2, \dots, n\} \tag{2.3}$$

เมื่อ

$\vec{v}_i(k)$ คือ เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณซ้ำ k

ω คือ น้ำหนักเฉื่อย (inertia weight)

$\vec{x}_i(k)$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณซ้ำ k

$\vec{p}_i(k)$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค (personal best: pbest)

$\vec{g}_i(k)$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม (global best: gbest)

$r_{1i}(k)$ คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข (random number coefficient)

$r_{2i}(k)$ คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข (random number coefficient)

c_1 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

c_2 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม

Schoene et al. [7] ได้อธิบายสมการความเร็วว่า อนุภาคตัวที่อยู่ไกลออกไปจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค อาจมีความเป็นไปได้ที่อนุภาคนั้นจะมีความเร็วมากขึ้น ซึ่งสามารถสังเกตได้จากสมการที่ (2.2) จะเห็นได้ว่าหากมิติใดมิติหนึ่งของตำแหน่งปัจจุบัน $\vec{x}_i(k)$ มีขนาดใหญ่กว่ามิติเดียวกันกับตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $\vec{p}_i(k)$ จะทำให้มีความเร่งในมิตินั้นเป็นค่าลบ หมายความว่าอนุภาคจะถูกดึงกลับไปในทิศทางของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคในมิตินั้น แน่นอนว่านั่นคือตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่อยู่ตำแหน่งถัดไปจากตำแหน่งปัจจุบัน เพราะแต่ละอนุภาคจะเร่งความเร็วไปในทิศทางบวกเพื่อให้อนุภาคแต่ละตัวถูกดึงเข้าหาอนุภาคตัวที่มีตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม ในกรณีเดียวกันอนุภาคตัวที่อยู่ไกลออกไปจากตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม $\vec{g}_i(k)$ ก็จะมีความเร่งมากขึ้นเช่นกันเพื่อไปรวมตัวกับอนุภาคตัวที่มีตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มดังกล่าว นอกจากนั้น สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วของสมการที่ (2.2) ทั้ง c_1 และ c_2 สามารถกำหนดระดับความเร่งของการดึงอนุภาคเข้าหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มตามลำดับ

Clerc et al. [14] ได้สังเกตว่า ในการเคลื่อนตำแหน่งแต่ละมิติ (Dimension) ของอนุภาคจะถูกกำหนดจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มด้วยสัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข $r_i(k)$ ซึ่งการเร่งความเร็วนั้นไม่จำเป็นต้องเป็นไปในทิศทางที่ดีที่สุด

เสมอไป แต่สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลขในแต่ละครั้งของอนุภาคต้องใช้ค่าตัวเลขที่เท่ากันในทุกมิติ และไม่ว่าจะเป็นวิธีใดก็ตาม อนุภาคจะถูกเร่งขึ้นในสองทิศทางที่ต่างกันในเวลาเดียวกันในการดึงอนุภาคไปรวมกลุ่มกับอนุภาคใกล้กับตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มในมิตินั้น เมื่อการคำนวณซ้ำในแต่ละครั้งความเร็วของอนุภาคในครั้งก่อนหน้าจะลดลงโดยการคูณด้วยน้ำหนักเฉื่อย (Inertia Weight: ω) และเปลี่ยนแปลงโดยสัมประสิทธิ์การเร่งความเร็ว เพื่อปรับเปลี่ยนความเร็วที่ใช้ในการคำนวณซ้ำในรอบต่อไป

หนึ่งในปัญหาหลักของการใช้ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค กับปัญหาทดสอบที่มีหลายคำตอบ (Multimodal Test Problems) คือการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ก่อนกำหนด (Premature Convergence) [15] การลู่เข้าสู่คำตอบจะเกิดขึ้นเมื่อกระบวนการเข้าใกล้สถานะคงตัว (Stable State) คือคำตอบไม่เปลี่ยนแปลงหรือเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย ทำให้ติดอยู่กับคำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ เนื่องมาจากพื้นที่ค้นหาจะถูกจำกัดลงทำให้มีโอกาสยากที่จะเจอคำตอบใหม่ที่ดีกว่า F. van den Bergh [19] ได้จำกัดความการลู่เข้าสู่คำตอบเหมาะที่สุดเฉพาะที่ไว้ด้วยสมการที่ (2.4)

$$lim_{t\to\infty}\, gbest = gbest^{*} \tag{2.4}$$

เมื่อ

$gbest$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดในรอบที่ t

$gbest^{*}$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะที่

จะเห็นได้ว่าถ้าตำแหน่งของ $gbest$ ไม่มีการเปลี่ยนแปลง ณ เวลาใด ๆ แล้วขั้นตอนวิธีการจะเกิดการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ก่อนกำหนด ทำให้ขั้นตอนวิธีการติดที่ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะที่ จึงไม่สามารถค้นพบคำตอบที่เหมาะที่สุดได้ ดังนั้นขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ยังต้องการวิธีการใหม่ที่พัฒนาการค้นหาคำตอบที่เหมาะที่สุดที่สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาการลู่เข้าคำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

Hu et al. [23] 2003 ได้เสนอวิธีการหาความเร็วของอนุภาคและการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคแบบใหม่เพื่อใช้กับวิธีการสับเปลี่ยนตำแหน่ง (permutation) ในปัญหาควีน n ตัว (n-queen Problem) ปัญหาควีน n ตัวเป็นตัวอย่างปัญหาคลาสสิกสำหรับปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) มีวิธีการตีโจทย์ปัญหาได้หลายแนวทางและมีวิธีการหาคำตอบมากมาย ปัญหาคือบนกระดานหมากรุกขนาน $n \times n$ เราสามารถวางควีนได้กี่ตัว โดยที่ควีนแต่ละตัวจะไม่โจมตีกันเอง

[18] โดยเขาให้ความเร็วของอนุภาคเป็นความน่าจะเป็นในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค นอกจากนี้ยังใช้สัมประสิทธิ์การเปลี่ยนแปลง (Mutation Factor) ในการเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคเมื่อตำแหน่งนั้นถูกพบว่าเป็นค่าที่ดีที่สุดของกลุ่ม

2.2 ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง

ในปี 1997 Kennedy และ Eberhart [17] ได้เสนอขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบเลขฐานสองเพื่อใช้สำหรับปัญหาค่าไม่ต่อเนื่อง ซึ่งในวิธีการนี้อนุภาคแต่ละตัวจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบมิติ D (D - Dimention) ที่ ระบุคำตอบที่เป็นไปได้ (Possible Solutions) เพื่อใช้ในการคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Value) โดยตำแหน่งของแต่ละอนุภาคจะถูกพิจารณาในมิติ D และแต่ละส่วนประกอบในมิติของอนุภาคจะมีค่าเป็นเลขฐานสองคือ 0 หรือ 1 เท่านั้น โดยอนุภาคแต่ละตัวจะมีค่าความเร็วของแต่ละส่วนประกอบอยู่ในมิติ D เช่นกัน ซึ่งค่าความเร็วของแต่ละส่วนประกอบในมิติ D จะอยู่ในช่วง $[-V_{max}, V_{max}]$ ค่าความเร็วจะถูกนำไปคำนวณในสมการความน่าจะเป็น เพื่อที่จะนำค่าความน่าจะเป็นไประบุตำแหน่งของแต่ละมิติของอนุภาค ในการทำงานของขั้นตอนวิธีการนี้ ที่จุดเริ่มต้นการทำงานของขั้นตอนวิธีการจำนวนของอนุภาคและเวกเตอร์ความเร็วของแต่ละส่วนประกอบอนุภาคนั้นจะถูกสร้างขึ้นอย่างสุ่มและเมื่อขั้นตอนวิธีการนี้ทำการคำนวณค่าไปจนถึงรอบการทำงานลำดับต่อไป ที่ได้พบคำตอบที่เป็นไปได้มาค่าหนึ่ง เวกเตอร์ความเร็วจะถูกนำไปคำนวณในเวกเตอร์ความเร็วใหม่ในรอบการทำงานต่อไป โดยใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($pbest$) และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ($gbest$) ในการคำนวณร่วมด้วยตามสมการที่ (2.5) หลังจากนั้นเวกเตอร์ความเร็วที่ได้จะถูกนำมาคำนวณหาตำแหน่งของอนุภาคในรอบการทำงานใหม่ด้วยความน่าจะเป็น ตามสมการที่ (2.6)

$$v_i^{t+1}(j) = v_i^t(j) + c_1 r_1\left(pbest_i^t(j) - x_i^t(j)\right) + c_2 r_2\left(gbest_i^t(j) - x_i^t(j)\right) \tag{2.5}$$

$$x_i^{t+1}(j) = \begin{cases} 1, & Rand() \le sig\left(v_i^{t+1}(j)\right) \\ 0, & Otherwise \end{cases} \tag{2.6}$$

$$sig\left(v_i^{t+1}(j)\right) = \frac{1}{1+exp^{-v_i^{t+1}(j)}} \tag{2.7}$$

เมื่อ

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบการหาคำตอบที่ t

$x_i^t(j)$ คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบการหาคำตอบที่ t

$sig\left(v_i^{t+1}(j) \right)$ คือ ซิกมอยด์ฟังก์ชันที่ใช้ค่าความเร็วของอนุภาคมาคำนวณ

$pbest$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

$gbest$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม

r_1 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

r_2 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

c_1 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

c_2 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม

Pan et al. [8] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (A Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm: DPSO) สำหรับหาคำตอบที่เหมาะที่สุดในปัญหาการกำหนดงานผลิตแบบต่อเนื่องแบบไม่มีเวลาคอย (The No-wait Flow Shop Scheduling Problem) โดยในวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแต่ละอนุภาคจะเป็นค่าการสับเปลี่ยนตำแหน่งของการแบบไม่ต่อเนื่อง และทำการปรับปรุงตำแหน่งของอนุภาคใหม่บนฐานของระบบไม่ต่อเนื่องที่ประกอบด้วยตัวดำเนินการ 3 แบบ

1. การผสมส่วนประกอบของอนุภาคข้ามเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค (Crossover) สำหรับการสร้างเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคใหม่จากเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค 2 ชุด

2. ใช้วิธีสุ่มตัดคู่ของส่วนประกอบข้ามเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค (Two-cut Point) โดยกำหนดกรอบคลุมเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคใด ๆ วิธีนี้จะเป็นการสร้างเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคโดยทำการเลื่อนกรอบไปทางซ้ายหรือขวาในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคใด ๆ แล้วทำการสับเปลี่ยนตำแหน่ง (Permutation) ในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค จากนั้นนำค่าของส่วนประกอบเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคอีกเวกเตอร์หนึ่งมาแทนที่ในตำแหน่งนอกกรอบที่คลุมเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคใด ๆ อยู่

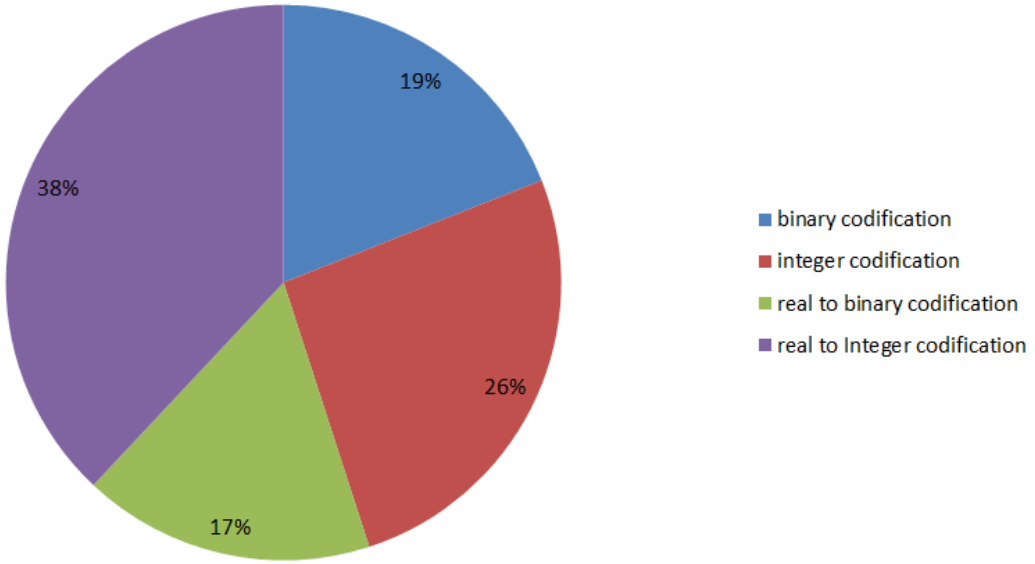
3. สำหรับขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสามารถประยุกต์ร่วมกับวิธีการค่าตัวแปรใกล้เคียง (Hybridized with The Variable Neighborhood: VND)

2.3 วิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง

ในขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k)$ ของคำตอบที่เป็นไปได้จะเป็นการเข้ารหัสจากค่าจริงของตัวแปรในสมการวัตถุประสงของปัญหานั้น ๆ (Objective Function) จึงไม่สามารถนำขั้นตอนวิธีการไปใช้กับปัญหารูปแบบการหาคำตอบที่ไม่ต่อเนื่องได้ (Discrete Problems) ตัวอย่างเช่น ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดเชิงการจัด (Combinatorial Problems) หรือ ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบจำนวนเต็ม (Integer Problems) ซึ่งในการประยุกต์ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคสำหรับการหาคำตอบแบบไม่ต่อเนื่องนั้น จำเป็นต้องมีวิธีการสำหรับการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง เพื่อให้ตำแหน่งของอนุภาคอยู่ในมิติที่ไม่ต่อเนื่อง (Discrete Space) Krause [9] ได้ศึกษาแล้วรวบรวมแบบแผนวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง และแบ่งวิธีการเข้ารหัสออกเป็น 3 แบบดังนี้

1. การเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง (Binary Codification)
2. การเข้ารหัสแบบจำนวนเต็ม (Integer Codification)
3. การเข้ารหัสด้วยค่าตัวแปรจริง (Real Variable) สำหรับการหาคำตอบปัญหาในระบบไม่ต่อเนื่อง ด้วยการแปลงค่าให้อยู่ในมิติไม่ต่อเนื่องได้ 2 วิธีดังนี้
   3.1 การเข้ารหัสด้วยเลขฐานสองแทนค่าตัวแปรจริง (Real to Binary Codification)
   3.2 การเข้ารหัสด้วยจำนวนเต็มแทนค่าตัวแปรจริง (Real to Integer Codification)

และได้แสดงสัดส่วนการนำไปใช้งานของแบบแผนวิธีการเข้ารหัสของทั้ง 3 แบบที่กล่าวมาข้างต้น โดยจากภาพที่ 1 แสดงให้เห็นว่า การเข้ารหัสแบบเลขฐานสองที่ร้อยละ 19 การเข้ารหัสแบบจำนวนเต็มที่ร้อยละ 26 สำหรับทั้งสองวิธีการแรกที่กล่าวไว้เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจะเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง สำหรับการนำไปใช้งานจะต้องมีการปรับเปลี่ยนขั้นตอนบางขั้นตอนในวิธีการค้นหาคำตอบสำหรับขั้นตอนวิธีการหาคำตอบรูปแบบต่อเนื่อง (Continuous Algorithm) เช่น ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง และสุดท้ายการเข้ารหัสด้วยค่าตัวแปรจริงที่ร้อยละ 55 สำหรับวิธีการนี้จะต้องอาศัยวิธีการสำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องมาใช้ในการแปลงค่าจากค่าตัวแปรจริงให้เป็นจำนวนเต็มหรือเลขฐานสอง



ภาพที่ 1 แสดงสัดส่วนความนิยมของแบบแผนวิธีการเข้ารหัสที่ถูกนำไปใช้ (Source: [9])

รูปแบบปัญหาของการหาคำตอบที่ไม่ต่อเนื่อง เช่น ปัญหาเชิงการจัด (Combinatorial Problems), ปัญหาเลขฐานสอง (Binary Problems) และปัญหาจำนวนเต็ม (Integer Problems) จำเป็นต้องมีวิธีการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค เพื่อแปลงค่าจากในมิติต่อเนื่องให้อยู่ในมิติไม่ต่อเนื่อง เพื่อลดจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ (Possible Solutions) สำหรับการค้นหาคำตอบ Krause [9] ได้รวบรวมวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในปัจจุบันไว้ 6 วิธีดังนี้

2.3.1 วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน (Sigmoid Function)

วิธีการนี้เป็นวิธีการที่นิยมมากที่สุดสำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องในระบบเลขฐานสอง ซึ่งวิธีการนี้เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k)$ สามารถเป็นได้เพียงค่า 0 หรือ 1 เท่านั้น โดยใช้ซิกมอยด์ฟังก์ชันกับความน่าจะเป็นที่เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k)$ จะเปลี่ยนค่าเป็น 0 หรือ 1 Hesam Izakian et al. [27] ได้แสดงซิกมอยด์ฟังก์ชัน ไว้ตามสมการที่ (2.8)

$$sig\left(v_i^{t+1}(j)\right) = \frac{1}{1+exp^{-v_i^{t+1}(j)}} \tag{2.8}$$

เมื่อ

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบการหาคำตอบที่ t

$sig\left(v_i^{t+1}(j)\right)$ คือ ซิกมอยด์ฟังก์ชันที่ใช้ค่าความเร็วของอนุภาคมาคำนวณ

2.3.2 วิธีค่าไขปัญหาอย่างสุ่ม (Random Key)

วิธีการค่าไขปัญหาอย่างสุ่มใช้สำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจากค่าต่อเนื่องเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง เพื่อใช้หาคำตอบในระบบจำนวนเต็ม หรือ ปัญหาเชิงการจัด ซึ่งในการถอดรหัส เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจะใช้วิธีการเรียงลำดับค่าไขปัญหาอย่างสุ่มจากน้อยไปมาก ตัวอย่างเช่นสุ่มค่าใช้สำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจากค่าจากค่าต่อเนื่อง $\vec{x}_i = (0.90, 0.35, 0.03, 0.21, 0.17)$ สามารถถอดรหัสด้วยเรียงลำดับค่าไขปัญหาอย่างสุ่มจากน้อยไปมากได้เป็น $\vec{x}_i = (5, 4, 1, 3, 2)$

2.3.3 วิธีค่าตำแหน่งน้อยที่สุด (Smallest Position Value)

วิธีค่าตำแหน่งน้อยที่สุด เป็นการสร้างเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคที่เป็นจำนวนเต็ม ในขั้นแรกจะสร้างดัชนีค่าตำแหน่งน้อยที่สุด โดยที่ดัชนีที่มีค่าน้อยที่สุดเป็นส่วนประกอบในเวกเตอร์เป็นลำดับแรกในขั้นตอนการสับเปลี่ยนตำแหน่ง และใส่ดัชนีที่มีค่าน้อยลำดับถัดไปเป็นส่วนประในเวกเตอร์ตำแหน่งต่อไป ทำขั้นตอนนี้จนครบทุกส่วนประกอบของเวกเตอร์

Ucara and Tasgetiren et al. [20] ได้นำขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคไปประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะที่สุดของปัญหาการกำหนดตารางงานผลิตแบบต่อเนื่อง (Flow Shop Scheduling) ขั้นแรกเป็นการสร้างเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบต่อเนื่อง โดยการสร้างเลขสุ่มใส่ในส่วนประกอบในเวกเตอร์ หลังจากนั้นเขาใช้วิธีค่าตำแหน่งน้อยที่สุด ในการแปลงเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบต่อเนื่อง ให้เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง

2.3.4 วิธีสมการแก้ไขตำแหน่ง (Modified Position Equation)

วิธีสมการแก้ไขตำแหน่ง เป็นวิธีการที่ใช้เฉพาะสำหรับขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค เท่านั้นในขั้นตอนปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k)$ สามารถปรับเปลี่ยนได้ 3 แนวทางดังนี้

1. ตำแหน่งของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k+1)$ เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งเดิม $\vec{x}_i(k)$
2. ตำแหน่งของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k+1)$ เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

3. ตำแหน่งของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k+1)$ เปลี่ยนแปลงตามตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคที่กล่าวมาข้างต้นนั้น จะเป็นไปตามสมการที่ (2.9)

$$\vec{x_i}(k+1) = c_2 \times F_3\left(c_1 \times F_2\left(\omega \times F_1(\vec{x_i}(k), \vec{p}_i(k)), \vec{g}_i(k)\right)\right),\ \forall i = \{1, 2, \dots, n\} \tag{2.9}$$

เมื่อ

$\vec{x}_i(k)$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณซ้ำ k

$\vec{p}_i(k)$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ของอนุภาค i ตั้งแต่เริ่มต้นถึงรอบการหาคำตอบที่ k

$\vec{g}_i(k)$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม ของกลุ่มอนุภาคตั้งแต่เริ่มต้นถึงรอบการหาคำตอบที่ k

ω คือ สัมประสิทธิ์ตัวดำเนินการการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเวกเตอร์จากการสุ่มตัวเลข

F_1 คือ ตัวดำเนินการการเปลี่ยนแปลงตำแหน่งของเวกเตอร์ (Mutation Operator)

F_2 คือ ตัวดำเนินการการไขว้กันระหว่างตำแหน่งของเวกเตอร์ (Crossover Operator)

F_3 คือ ตัวดำเนินการการไขว้กันระหว่างตำแหน่งของเวกเตอร์

$c_1(k)$ คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

$c_2(k)$ คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

2.3.5 วิธีลำดับความสำคัญของค่า (Great Value Priority)

วิธีลำดับความสำคัญของค่า ใช้สำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจากค่าต่อเนื่องเป็นค่าไม่ต่อเนื่อง โดยขั้นตอนแรกให้เลือกค่าที่มากที่สุดจากส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k)$ จากนั้นให้นำมาสลับกับค่าตำแหน่งแรกในส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค เรียกว่าเวกเตอร์สับเปลี่ยนตำแหน่ง (Permutation Vector: $\vec{p}_j$) เมื่อ $\forall j = \{1, 2, \dots, D\}$ และ D คือขนาดมิติของอนุภาคนั้น ๆ ต่อไปทำขั้นตอนนี้จนครบทุกส่วนประกอบของเวกเตอร์ เมื่อสร้างเวกเตอร์สับเปลี่ยนตำแหน่งเสร็จแล้ว เวกเตอร์สับเปลี่ยนตำแหน่งจะถูกนำไปคำนวณค่าในระบบเลขฐานสองได้ตามสมการที่ (2.10)

$$\vec{x}_{ij} = \begin{cases} 1, & if\ \vec{p}_j > \vec{p}_{j+1} \\ 0, & Otherwise \end{cases} \tag{2.10}$$

เมื่อ

$\vec{x}_{ij}$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณซ้ำ j

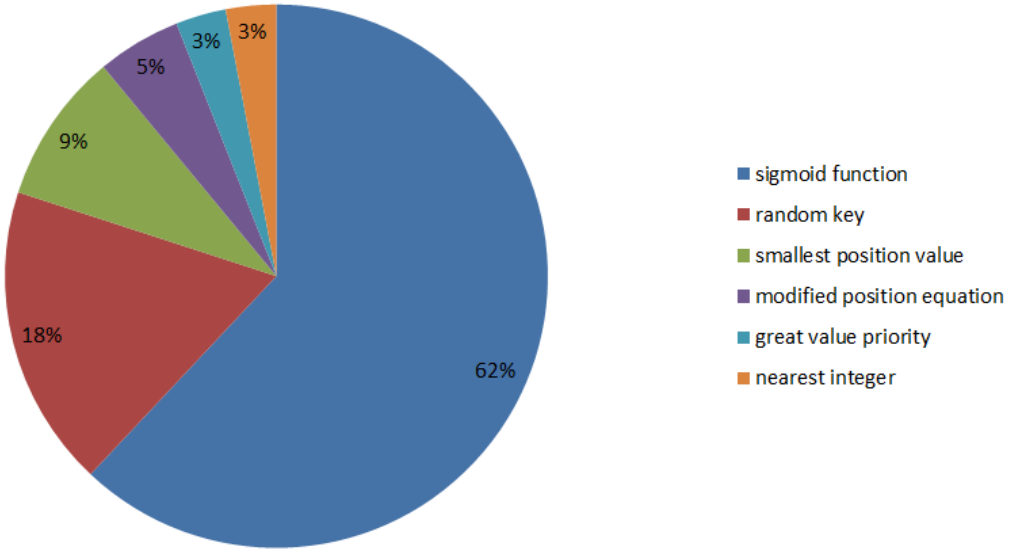
$\vec{p}_j$ คือ เวกเตอร์สับเปลี่ยนตำแหน่งที่รอบการคำนวณซ้ำ j

Congying et al. [21] ได้ใช้วิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบระบบเลขฐานสอง (Binary Particle Swarm Optimization Algorithm: BPSO) สำหรับปัญหาการจัดสรรงานกำลังสอง (Quadratic Assignment Problem) นอกจากนี้เขายังใช้วิธีลำดับความสำคัญของค่าในการแปลงเวกเตอร์ตำแหน่งแบบต่อเนื่อง ให้เป็นเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องอีกด้วย

2.3.6 วิธีจำนวนเต็มที่ใกล้ที่สุด (Nearest Integer)

สำหรับวิธีการวิธีจำนวนเต็มที่ใกล้ที่สุด เป็นการเปลี่ยนเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $\vec{x}_i(k)$ ของคำตอบที่เป็นไปได้ให้เป็นค่าจำนวนเต็ม ด้วยการปรับค่าตัวแปรขึ้นหรือปรับค่าลงตามความใกล้เคียงของค่านั้น

Krause [9] ได้แสดงสัดส่วนการนำไปใช้งานของวิธีการสำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง ที่ถูกนำไปใช้กับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบไม่ต่อเนื่อง จากรูปภาพที่ 2 แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่ถูกนำไปใช้อย่างแพร่หลายมากที่สุดคือวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันที่ร้อยละ 62 ถัดมาคือวิธีค่าไขปัญหาอย่างสุ่ม ซึ่งใช้ได้เฉพาะสำหรับปัญหาแบบจำนวนเต็มที่ร้อยละ 18 วิธีค่าตำแหน่งน้อยที่สุดที่ร้อยละ 9 วิธีสมการแก้ไขตำแหน่งที่ร้อยละ 5 วิธีลำดับความสำคัญของค่าที่ร้อยละ 3 และวิธีจำนวนเต็มที่ใกล้ที่สุดที่ร้อยละ 3



ภาพที่ 2 แสดงสัดส่วนความนิยมของวิธีการสำหรับการเข้ารหัสเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ถูกนำไปใช้ (Source: [9])

Congying et al. [21] ได้นำวิธีค่าไขปัญหาอย่างสุ่มมาประยุกต์ร่วมกับวิธีลำดับความสำคัญของค่า เพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดในปัญหาแบบระบบเลขฐานสอง วิธีการที่เขาใช้ขั้นตอนแรกเขาได้ใช้วิธีค่าไขปัญหาอย่างสุ่มในการแปลงค่าต่อเนื่องให้เป็นค่าไม่ต่อเนื่องและหลังจากนั้นใช้วิธีลำดับความสำคัญของค่าแปลงค่าให้อยู่ในระบบเลขฐานสอง

He et al. [24] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบใหม่โดยใช้การจับกลุ่มอนุภาคอื่น ๆ ในการหาความเร็วของอนุภาคนั้น ๆ ซึ่งแต่ละอนุภาคจะได้รับข้อมูลจากกลุ่มอนุภาคหนึ่ง ๆ เพื่อทำการคำนวณหาความเร็วของอนุภาคใหม่ของตัวเอง (วิธีการแบบดั้งเดิมจะเป็นการใช้ข้อมูลเฉพาะตำแหน่งของอนุภาคนั้น ๆ และตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุดในขณะนั้น) ทำให้สามารถปรับปรุงประสิทธิภาพของการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดได้

Riget and Vesterstrom [26] ได้เสนอวิธีการบนพื้นฐานของการดึงดูด (Attraction) และการดันออก (repulsion) ระหว่างอนุภาค เขาได้กำหนดค่าวิกฤตสำหรับค่าความแตกต่าง (Diversity: $d_{critical}$) โดยเมื่อค่าความแตกต่างน้อยกว่าค่าวิกฤตสำหรับค่าความแตกต่างแล้วอนุภาคจะผลักออกจากกัน และเมื่อค่าความแตกต่างมากกว่าค่าวิกฤตสำหรับค่าความแตกต่างแล้วอนุภาคจะดึงดูดซึ่งกันและกัน หลังจากนั้นเขาได้นำขั้นตอนวิธีการนี้ไปทดสอบกับปัญหาทดสอบที่มีหลายคำตอบ และ

เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม เขาได้ผลลัพธ์ว่าขั้นตอนวิธีการนี้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมแต่ดีกว่าขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบดั้งเดิม

Ho et al. [25] ได้เสนอว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่ม ในขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบแผ่น (Sliced Particle Swarm Optimization Algorithm: SPSO) โดยอนุภาคแบบแผ่นแต่ละอนุภาคจะไม่เป็นอิสระต่อกันอย่างสิ้นเชิง เขาได้แนวการคิดของวิธีการนี้ในเชิงเปรียบเทียบว่า “บางครั้งการตัดสินใจส่วนตัวของมนุษย์แต่ละคนอาจจะดีกว่าการตัดสินใจโดยสังคม” ดังนั้นเขาได้สร้างค่าสำหรับเพิ่มความแตกต่าง (diversity) ตามสมการที่ (2.12) เพื่อปรับเปลี่ยนสมการความเร็วของอนุภาคแต่ละตัว ดังสมการที่ (2.11) เพื่อที่จะพัฒนาประสิทธิภาพการค้นหาของกลุ่มอนุภาค

$$v_i^{t+1} = s_3 r_2 v_i^t + (1 - r_2) c_1 r_1 (p_i^t - x_i^t) + (1 - r_2) c_2 (1 - r_1)(g_i^t - x_i^t) \tag{2.11}$$

$$s_3 = \begin{cases} 1, & Random\ number > 0.05 \\ -1, & Otherwise \end{cases} \tag{2.12}$$

เมื่อ

r_1 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข สำหรับควบคุมทั้งตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของอนุภาคกับตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

r_2 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข สำหรับปรับสมดุลระหว่างตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของอนุภาคกับตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

s_3 คือ ค่าสำหรับเพิ่มความแตกต่าง หาได้จากสมการที่ 2.11

c_1 คือ ตัวแปรสำหรับถ่วงน้ำหนักตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม

c_2 คือ ตัวแปรสำหรับถ่วงน้ำหนักตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของอนุภาค

Shen et al. [28] ได้นำขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบเลขฐานสอง มาปรับปรุงโดยให้ค่าความเร็วของอนุภาคมาจากการสุ่มตัวเลขในช่วงระหว่าง 0 ถึง 1 และนำไปใช้ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.13)

$$\begin{cases} x_i^{t+1} = x_i^t \ if\ 0 < v_i \le a \\ x_i^{t+1} = pbest_{best,i}^t \ if\ 0 < v_i \le \frac{1+a}{2} \\ x_i^{t+1} = gbest_{best,i}^t \ if\ \frac{1+a}{2} < v_i \le 1 \end{cases} \tag{2.13}$$

เมื่อ

$\vec{x}_i(k)$ คือ เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค i ที่รอบการคำนวณซ้ำ t

$\vec{p}_i(k)$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ของอนุภาค i ตั้งแต่เริ่มต้นถึงรอบการหาคำตอบที่ t

$\vec{g}_i(k)$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มตั้งแต่เริ่มต้นถึงรอบการหาคำตอบที่ t

a คือ ค่าจากการสุ่มตัวเลขในช่วง [0.33, 0.50]

อย่างไรก็ตามเขาพบว่าวิธีการนี้ยังเผชิญกับปัญหาการลู่เข้าสู่คำตอบเฉพาะที่ เนื่องจากอนุภาคจำนวน 10% ของอนุภาคทั้งหมดจะถูกบังคับให้ค้นหาคำตอบอย่างสุ่มโดยไม่สนใจตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของอนุภาค ในการวิธีการนี้

Wang et al. [29] ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการแบบใหม่โดยเขาตั้งชื่อว่า “ขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคด้วยความน่าจะเป็นแบบเลขฐานสอง (Probability Binary Particle Swarm Optimization Algorithm: PBPSO)” แก้ปัญหาการลู่เข้าสู่คำตอบเฉพาะที่ ของขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบเลขฐานสองแบบดั้งเดิม และนอกจากนี้วิธีการที่เขาคิดขึ้นมายังใช้ “กฎสองการปรับปรุง (The Two Updating Rule)” อีกด้วย ในการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาคสามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.14)

$$x_i^{t+1}(j) = \begin{cases} 1, & if\ Rand() \leq L\left(x_i^{t+1}(j)\right) \\ 0, & Otherwise \end{cases} \tag{2.14}$$

$$L\left(x_i^{t+1}(j)\right) = \frac{x_i^{t+1}(j) - R_{min}}{R_{max} - R_{min}} \tag{2.15}$$

เมื่อ

$L\left(x_i^{t+1}(j)\right)$ คือ สมการเส้นตรง (Linear function) ค่าที่ได้จะอยู่ในช่วง [0, 1]

$[R_{max}, R_{min}]$ คือ ช่วงของค่าที่กำหนดจากค่าความน่าจะเป็นที่ได้จาก $L\left(x_i^{t+1}(j)\right)$

$x_i^{t+1}(j)$ คือ ค่าในระบบเลขฐานสอง

Lee et al. [30] ได้นำเสนอการปรับปรุงขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบระบบ โดยการใช้ตัวดำเนินการในขั้นตอนวิธีทางพันธุกรรม นั่นคือตัวดำเนินการการกลายพันธุ์ (Mutation Operator) และการแทนค่า จีโนไทป์ - ฟีโนไทป์ (Genotype-phenotype Representation) ในขั้นตอนหาความเร็วของอนุภาคและการปรับเปลี่ยนตำแหน่งของอนุภาค สามารถอธิบายได้ด้วยสมการที่ (2.15), (2.16), และ (2.17)

$$v_i^{t+1} = \omega v_i^t + c_1 r_1 \left(p_i^t - x_{p,i}^t\right) + c_2 r_2 \left(g_i^t - x_{p,i}^t\right) \tag{2.16}$$

$$x_{g,i}^{t+1} = x_{g,i}^t + v_i^{t+1} \tag{2.17}$$

$$x_{p,i}^{t+1} = \begin{cases} o, if\ random\ number \geq\ s(x_{g,i}^{t+1}) \\ 1, if\ random\ number \leq\ s(x_{g,i}^{t+1}) \end{cases} \tag{2.18}$$

$$s\left(x_{g,i}^{t+1}\right) = \frac{1}{1+e^{-x_{g,i}^{t+1}}} \tag{2.19}$$

เมื่อ

$s(x_{g,i}^{t+1})$ คือ ซิกมอยด์ฟังก์ชัน ใช้ในการเปลี่ยนค่าตำแหน่งของอนุภาคให้อยู่ในระบบไม่ต่อเนื่องด้วยค่าความน่าจะเป็นแสดงตามสมาการที่ (2.19)

$x_{g,i}$ คือ ค่าตัวแปรจริง (Genotype) ของอนุภาคตัวที่ i

$x_{p,i}$ คือ ค่าตัวแปรในระบบไบนารี (Phenotype) ของอนุภาคตัวที่ i

2.4 ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์

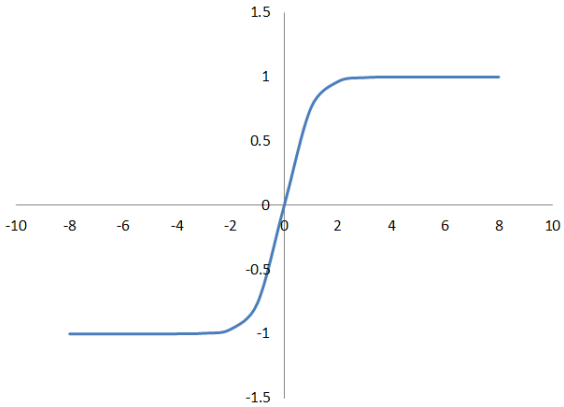
K. Bekir and A. O. Vehbi [31] ได้อธิบายถึงฟังก์ชั่นถ่ายโอน (Transfer Function) ของเครือข่ายหน่วยประสาท (Neural Network) ไว้ 5 ประเภท ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ (Hyperbolic Tangent Function)

ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์เป็นอัตราส่วนระหว่าง ไฮเพอร์โบลิกไซน์ (Hyperbolic Sine: Cosh x) กับ ฟังก์ชันโคไซน์ (Cosine Functions: Cosh x) หรือ อัตราส่วนระหว่างผลลบและผลบวกของฟังก์ชันเอกซ์โพเนนเชียล (Exponential Functions) ในตำแหน่งที่ x และ $-x$ ตามสมการที่ (2.20)

$$tanh(x) = \frac{e^{x}-e^{-x}}{e^{x}+e^{-x}} \quad (2.20)$$

เมื่อ

$tanh(x)$ คือ ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ คำนวณมาจากค่า x มีค่าความน่าจะเป็น [-1, 1]



ภาพที่ 3 กราฟแสดงลักษณะฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์

2.5 เกมพนันลูกเต๋า

Chen et al. [32] เกมพนันลูกเต๋าเป็นเกมการพนันที่เล่นกันอย่างแพร่หลายในคาสิโน นักพนันจะรู้จักกันในชื่อ Sic Bo เกมพนันลูกเต๋ามีต้นกำเนิดมากจากประเทศจีนซึ่งเล่นกันมาตั้งแต่สมัยโบราณ ในประเทศไทยเกมพนันลูกเต๋าเป็นหนึ่งในเกมการพนันที่ได้รับความนิยมอย่างมากเช่นกันรู้จักกันในชื่อ ไฮ - โล โดยกติกาการเล่นจะมีผู้คุมเกมหรือเจ้ามือเป็นผู้เขย่าถ้วยที่มีลูกเต๋าอยู่ 3 ลูก ผู้เล่นสามารถวางเดิมพันบนแต้มของลูกเต๋าทั้ง 3 ลูกได้หลากหลายวิธีเช่น เดิมพันบนผลรวมของหน้าลูกเต๋า เดิมพันในช่วงของผลรวมของหน้าลูกเต๋า เดิมพันบนหน้าลูกเต๋าที่จะออกทั้ง 3 ลูก เดิมพันผลรวมออกเป็นเลข คี่ – คู่ และเดิมพันบนค่า สูง – ค่าต่ำ เป็นต้น

ตารางที่ 1 แสดงความน่าจะเป็นของผลรวมหน้าลูกเต๋า 3 ลูก (source: [32])

ผลรวม	ความน่าจะเป็น
3	1/216
4	3/216
5	6/216
6	10/216
7	15/216
8	21/216
9	25/216
10	27/216
11	27/216
12	25/216
13	21/216
14	15/216
15	10/216
16	6/216
17	3/216
18	1/216

งานวิจัยนี้สนใจในวิธีการเล่นแบบการเดิมพันบนค่าสูง - ต่ำ ซึ่งจะเดิมพันบนผลรวมที่ได้จากหน้าลูกเต๋าทั้ง 3 ลูก และผลรวมจะอยู่ระหว่าง 3 ถึง 18 ในการวางเดิมพันผู้เล่นสามารถเดิมพันได้ 2 วิธี คือเดิมพันบนค่าสูง (11-17) และค่าต่ำ (4-10) โดยมีความน่าจะเป็นที่หน้าลูกเต๋า 3 ลูกจะได้ผลรวมแต่ละค่า ดังตารางที่ 1

2.6 ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

ในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งของโรงงานผลิต คลังสินค้า หรือสถานที่ ที่ตั้งขึ้นเพื่อดำเนินกิจกรรมของบริษัท (ในงานวิจัยฉบับนี้จะเรียกโดยรวมว่า “การเลือกตำแหน่งที่ตั้ง”) จะเป็นการตัดสินใจในระดับที่สำคัญที่สุดในการวางแผนระดับกลยุทธ์ เนื่องจากสถานที่ที่ตั้งจะมีผลต่อต้นทุนการดำเนินงานด้านอื่น ๆ ในระยะยาว โดยจะต้องตัดสินใจให้ต้นทุนการดำเนินการรวมต่ำที่สุด ต้นทุนการดำเนินงานหลัก ๆ ที่เกิดขึ้นจากการตัดสินใจนี้ จะประกอบไปด้วย ต้นทุนในการก่อสร้าง (Fixed Costs) และต้นทุนการขนส่งระหว่างสถานที่ตั้งกับลูกค้า (Transportation Costs) ในการตัดสินใจปัญหานี้จะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เรียกว่า “ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้ง” (Facility Location

Problems: FLP) แต่ถ้าสถานที่ตั้งโรงงานมีข้อจำกัดด้านการตอบสนองต่อลูกค้า (capacity) ด้วยปริมาณสูงสุดที่สามารถส่งมอบให้ลูกค้าได้ ปัญหานี้จะรู้จักในอีกชื่อหนึ่งว่า “ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบมีข้อจำกัดกำลังการผลิต” (Capacitated Facility Location Problems: CFLP) และถ้าในการเลือกสถานที่ตั้งโรงงานไม่พิจารณาข้อจำกัดด้านการผลิตเราจะเรียกได้ว่า “ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต” (Uncapacitated Facility Location Problems: UFLP) [22]

G. Cornuéjols et al. [22] ได้นำเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิตไว้ดังนี้ ในการกำหนดแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหานี้ จะพิจารณาเป็นปัญหาแบบจำนวนเต็ม โดยมีจำนวนของลูกค้า m ราย ที่มีความต้องการสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ และจำนวนของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ n แห่ง แต่ละแห่งมีต้นทุนในการก่อสร้าง fc_j หน่วย ต้นทุนการขนส่ง c_{ij} หน่วยที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j โดยแต่ละที่ตั้งจะไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต และจำนวนความต้องการสินค้าทั้งหมดของลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการตอบสนองโดยโรงงานผลิตเพียง 1 แห่ง ดังนั้นในการตัดสินใจหาจำนวนของโรงงานที่จะตั้ง และเลือกสถานที่ ๆ จะตั้ง ด้วยต้นทุนรวมต่ำที่สุด จะหาได้ด้วยสมการตัดสินใจที่ (2.21) ภายใต้เงื่อนไขสมการข้อจำกัดที่ (2.22) จะทำให้ความต้องการทั้งหมดของลูกค้าแต่ละรายถูกตอบสนองโดยโรงงานตามสมการข้อจำกัดที่ (2.23) และโรงงานนั้นต้องถูกเปิดตามข้อจำกัดที่ (3.14)

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$z = min(\sum_{i=1}^{m}\sum_{j=1}^{n} c_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{n} fc_j y_j) \quad (2.21)$$

สมการเงื่อนไข (Constrained)

$$\sum_{j=1}^{n} x_{ij} = 1, \ \forall i \in m \quad (2.22)$$

$$0 \leq x_{ij} \leq y_j, y_j \in \{0,1\} \quad (2.23)$$

เมื่อ

i คือ ลูกค้ารายที่ i โดยที่ $i = 1, \ldots, m$

j คือ สถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ที่ j โดยที่ $j = 1, \ldots, n$

c_{ij} คือ ต้นทุนการขนส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j

fc_j คือ ต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโรงงานที่ j

x_{ij} คือ ถ้า 1 คือ ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j, 0 คือ อื่น ๆ

y_j คือ ถ้า 1 คือ เลือกสถานที่ตั้งโรงงาน j, 0 คือ อื่น ๆ

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาควิธีการ “วิธีเกมพนันลูกเต๋า” (Sic Bo Game Method) และทดสอบประสิทธิภาพของวิธีเกมพนันลูกเต๋ากับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน โดยนำวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่ดีที่สุดแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิตซึ่งเป็นปัญหาทางโลจิสติกส์แบบค่าไม่ต่อเนื่อง โดยจะนำเสนอการดำเนินงานวิจัยเป็นสามส่วน ส่วนแรกจะอธิบายถึงวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคในงานวิจัย ส่วนที่สองจะอธิบายถึงการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต และส่วนที่สามเป็นวิธีการทดลองการเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋าเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน นำเสนอในหัวข้อต่อไปนี้

3.1 วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

3.2 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

3.3 วิธีการทดลองการเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

3.1 วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค

3.1.1 วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ใช้สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องดั้งเดิมที่ Kennedy และ Eberhart [17] ได้นำเสนอไว้นั้นจะใช้วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน โดยขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน จะเป็นดังนี้

3.1.1.1 ความเร็วของอนุภาค (Particle's Velocity)

ความเร็วของอนุภาคแต่ละอนุภาคจะพิจารณาในรูปแบบของ v_i^t เช่นเดียวกับเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค กำหนดให้ $v_i^t = [v_i^t(1), v_i^t(2), \dots, v_i^t(j)]$ เป็นเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคโดยแต่ละส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค j จะถูกคำนวณตามสมการที่ (3.1) และความเร็วของอนุภาคจะมีค่าจำกัดอยู่ในช่วง [-10, 10]

$$v_i^{t+1}(j) = \omega v_i^t(j) + c_1 r_1\left(pbest_i^t(j) - x_i^t(j)\right) + c_2 r_2\left(gbest^t(j) - x_i^t(j)\right) \quad (3.1)$$

เมื่อ

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

ω คือ น้ำหนักเฉื่อย (inertia weight)

$pbest_i^t(j)$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

$gbest^t(j)$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบที่ t

r_1 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

r_2 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

c_1 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

c_2 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม

3.1.1.2 ซิกมอยด์ฟังก์ชัน

ซิกมอยด์ฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 ทำหน้าที่เข้ารหัสเลขฐานสอง โดยนำความเร็วของอนุภาคจากสมการที่ (3.1) มาคำนวณในสมการที่ (3.2)

$$sig\left(v_i^{t+1}(j)\right) = \frac{1}{1+exp^{-v_i^{t+1}(j)}} \quad (3.2)$$

เมื่อ

$sig\left(v_i^t(j)\right)$ คือ ซิกมอยด์ฟังก์ชัน มีค่าความน่าจะเป็น [0, 1]

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

3.1.1.3 การคำนวณตำแหน่งของอนุภาค (Position of Particles)

ตำแหน่งของอนุภาคหนึ่ง ๆ ของสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบเลขฐานสอง จะแสดงในรูปแบบเมตริกซ์โดยจะเรียกเมตริกซ์นี้ว่าเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค x_i^t กำหนดให้ $x_i^t = [x_i^t(1),\ x_i^t(2), \dots, x_i^t(j)]$ ในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบเวกเตอร์ j ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละส่วนประกอบเวกเตอร์ $x_i^t(j)$ จะถูกเข้ารหัสเป็นเลขฐานสองคือ 0 และ 1 ในการเข้ารหัสเลขฐานสองจะเข้ารหัสด้วยสมการที่ (3.3)

$$x_i^{t+1}(j) = \begin{cases} 1, & Rand() \le sig\left(v_i^{t+1}(j)\right) \\ 0, & Otherwise \end{cases} \tag{3.3}$$

เมื่อ

$x_i^t(j)$ คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบที่ t

$sig\left(v_i^t(j)\right)$ คือ ซิกมอยด์ฟังก์ชัน มีค่าความน่าจะเป็น [0, 1]

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

$Rand()$ คือ การสุ่มตัวเลข

Psuedocode of Sigmoid Function

กำหนด ω, r_1, r_2 , c_1 และc_2

ขั้นตอนที่ 1 ความเร็วของอนุภาค

คำนวณ $v_i^{t+1}(j)$ ตามสมการที่ (3.1)

ขั้นตอนที่ 2 ซิกมอยด์ฟังก์ชัน

คำนวณ $sig\left(v_i^{t+1}(j)\right)$ ตามสมการที่ (3.2)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณตำแหน่งของอนุภาค

คำนวณ $x_i^{t+1}(j)$ ตามสมการที่ (3.3)

- ให้ $x_i^{t+1}(j) = 1$ ถ้า $Rand() \le sig\left(v_i^{t+1}(j)\right)$
- ให้ $x_i^{t+1}(j) = 0$ ถ้า $Rand() \ge sig\left(v_i^{t+1}(j)\right)$

จบการทำงานวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

ภาพที่ 4 แสดงรหัสเทียมของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

3.1.2 วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน (Hyperbolic Tangent Function) ที่เจอในงานวิจัยส่วนใหญ่จะเป็นฟังก์ชั่นถ่ายโอนของเครือข่ายหน่วยประสาท เป็นฟังก์ชันที่มีลักษณะเหมือนกับซิกมอยด์ฟังก์ชัน แตกต่างกันที่ช่วงของค่าที่ฟังก์ชันสามารถเป็นได้คือ ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันจะให้ค่าระหว่าง -1 ถึง 1 แต่ซิกมอยด์ฟังก์ชันจะให้ค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ด้วยลักษณะที่คล้ายกันนี้ผู้วิจัยได้สนใจที่จะนำไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันมาใช้เป็นวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสอง ซึ่งวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ใช้สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องดั้งเดิมนั้นจะใช้วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน [17] โดยขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันจะเป็นดังนี้

3.1.2.1 ความเร็วของอนุภาค

ความเร็วของอนุภาคแต่ละอนุภาคจะพิจารณาในรูปแบบของ v_i^t เช่นเดียวกับเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค กำหนดให้ $v_i^t = [v_i^t(1), v_i^t(2), \dots, v_i^t(j)]$ เป็นเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคโดยแต่ละส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค j จะถูกคำนวณตามสมการที่ (3.4) และความเร็วของอนุภาคจะมีค่าจำกัดอยู่ในช่วง [-10, 10]

$$v_i^{t+1}(j) = \omega v_i^t(j) + c_1 r_1 \left(pbest_i^t(j) - x_i^t(j)\right) + c_2 r_2 \left(gbest^t(j) - x_i^t(j)\right) \quad (3.4)$$

เมื่อ

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

ω คือ น้ำหนักเฉื่อย (inertia weight)

$pbest_i^t(j)$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

$gbest^t(j)$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบที่ t

r_1 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

r_2 คือ สัมประสิทธิ์จากการสุ่มตัวเลข

c_1 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

c_2 คือ สัมประสิทธิ์การเร่งความเร็วไปยังตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่ม

3.1.2.2 ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันเป็นฟังก์ชันที่มีค่าตั้งแต่ -1 ถึง 1 ทำหน้าที่เข้ารหัสเลขฐานสอง โดยนำความเร็วของอนุภาคจากสมการที่ (3.4) มาคำนวณในสมการที่ (3.5)

$$tanh\left(v_i^{t+1}(j)\right) = \frac{e^{v_i^{t+1}(j)} - e^{-v_i^{t+1}(j)}}{e^{v_i^{t+1}(j)} + e^{-v_i^{t+1}(j)}} \tag{3.5}$$

เมื่อ

$tanh\left(v_i^t(j)\right)$ คือ ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ มีค่าความน่าจะเป็น [-1, 1]

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

3.1.2.3 การคำนวณตำแหน่งของอนุภาค

ตำแหน่งของอนุภาคหนึ่ง ๆ ของสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบเลขฐานสอง จะแสดงในรูปแบบเมตริกซ์โดยจะเรียกเมตริกซ์นี้ว่าเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค x_i^t กำหนดให้ $x_i^t = [x_i^t(1),\ x_i^t(2), \ldots, x_i^t(j)]$ ในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบเวกเตอร์ j ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละส่วนประกอบเวกเตอร์ $x_i^t(j)$ จะถูกเข้ารหัสเป็นเลขฐานสองคือ 0 และ 1 ในการเข้ารหัสเลขฐานสองจะเข้ารหัสด้วยสมการที่ (3.6)

$$x_i^{t+1}(j) = \begin{cases} 1, & Rand() \leq abs(tanh\left(v_i^{t+1}(j)\right)) \\ 0, & Otherwise \end{cases} \tag{3.6}$$

เมื่อ

$x_i^t(j)$ คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบที่ t

$tanh\left(v_i^t(j)\right)$ คือ ฟังก์ชันไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ มีค่าความน่าจะเป็น [-1, 1]

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

$Rand()$ คือ การสุ่มตัวเลข

มหาวิทยาลัยศิลปากร

Psuedocode of Hyperbolic Tangent Function

กำหนด ω, r_1, r_2 , c_1 และc_2

ขั้นตอนที่ 1 ความเร็วของอนุภาค

คำนวณ $v_i^{t+1}(j)$ ตามสมการที่ (3.4)

ขั้นตอนที่ 2 ไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

คำนวณ $tanh\left(v_i^{t+1}(j)\right)$ ตามสมการที่ (3.5)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณตำแหน่งของอนุภาค

คำนวณ $x_i^{t+1}(j)$ ตามสมการที่ (3.6)

- ให้ $x_i^{t+1}(j) = 1$ ถ้า $Rand() \leq abs(tanh\left(v_i^{t+1}(j)\right)$
- ให้ $x_i^{t+1}(j) = 0$ ถ้า $Rand() \geq abs(tanh\left(v_i^{t+1}(j)\right)$

จบการทำงานวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

ภาพที่ 5 แสดงรหัสเทียมของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

3.1.3 วิธีเกมพนันลูกเต๋า

ผู้วิจัยขอนำเสนอวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค เรียกว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋า ผู้วิจัยได้แนวคิดมาจากการเลียนแบบการเล่นเกมพนันลูกเต๋า รูปแบบกติกาการเล่นที่เป็นการเดิมพันบนค่า สูง – ต่ำ ของลูกเต๋า ซึ่งจะเดิมพันบนผลรวมที่ได้จากหน้าลูกเต๋าทั้ง 3 ลูก โดยลูกเต๋าลูกที่หนึ่งจะเป็นตัวแทนของตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค ลูกที่สองเป็นตัวแทนของตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และลูกที่สามเป็นตัวแทนของตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ผลรวมของลูกเต๋าทั้งสามลูกแทนความเร็วของอนุภาคจะอยู่ระหว่าง 3 ถึง 18 [32] ได้แสดงให้เห็นว่าผลรวมของลูกเต๋าทั้งสามลูกที่ให้ค่าตั้งแต่ 3 ถึง 10 และ 11 ถึง 18 มีความน่าจะเป็นเท่ากันคือ 108/216 ทำให้สามารถนำมาปรับใช้สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคได้อย่างเหมาะสม โดยขั้นตอนวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบวิธีเกมพนันลูกเต๋าจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.1.3.1 ความเร็วของอนุภาค

ความเร็วของอนุภาคแต่ละอนุภาคจะพิจารณาในรูปแบบของ v_i^t เช่นเดียวกับเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค กำหนดให้ $v_i^t = [v_i^t(1), v_i^t(2), \dots, v_i^t(j)]$ เป็นเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคโดยแต่ละส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค $_j$ จะถูกคำนวณตามสมการที่ (3.10) เป็นผลรวมจากสมการที่ (3.7) ค่าความเร่งที่ส่งผลมาจากตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค $a_i^{t+1}\left(x_i^t(j)\right)$, , สมการที่ (3.8) ค่าความเร่งที่ส่งผลมาจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $a_i^{t+1}\left(pbest_i^t(j)\right)$ และ สมการที่

(3.9) ค่าความเร่งที่ส่งผลมาจากตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค $a_i^{t+1}(gbest^t(j))$ โดยค่าความเร่งทั้งสามค่าจะมีวิธีการคำนวณที่เหมือนกันตามสมการที่ 8, 9 และ 10 อธิบายได้ว่าค่าความเร่งแต่ละค่าจะมีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 6 ตามแต้มของหน้าลูกเต๋า ในการคำนวณค่าความเร่งจะอ้างอิงจากตำแหน่งอนุภาคแบ่งออกเป็น 2 กรณีคือ กรณีแรกตำแหน่งอนุภาคปัจจุบันเป็น 1 จะทำให้ค่าความเร่งมีความน่าจะเป็นที่จะเป็นแต้ม 3 เป็น 0.1 แต้ม 4 เป็น 0.3 แต้ม 5 เป็น 0.3 และแต้ม 6 เป็น 0.3 และ กรณีที่สองตำแหน่งอนุภาคปัจจุบันเป็น 0 จะทำให้ค่าความเร่งมีความน่าจะเป็นที่จะเป็นแต้ม 4 เป็น 0.1 แต้ม 3 เป็น 0.3 แต้ม 2 เป็น 0.3 และแต้ม 1 เป็น 0.3 ตัวอย่างเช่นถ้าตำแหน่งอนุภาคปัจจุบันเป็น 0 และสุ่มตัวเลขจาก [0, 1] มาหนึ่งค่าได้เท่ากับ 1.0 จะทำได้ค่าความเร่งเท่ากับ 1 ในทางกลับกันถ้าตำแหน่งอนุภาคปัจจุบันเป็น 1 และสุ่มตัวเลขจาก [0, 1] มาหนึ่งค่าได้เท่ากับ 1.0 จะทำได้ค่าความเร่งเท่ากับ 6 ดังนั้นความเร็วของอนุภาคจะมีค่าจำกัดอยู่ในช่วง [3, 18]

$$a_i^{t+1}(x_i^t(j))\begin{cases} if\ x_i^t(j)=1,\ a_i^{t+1}(x_i^t(j)) = \begin{cases} 3,\ Rand() \le 0.1 \\ 4,\ Rand() \le 0.4 \\ 5,\ Rand() \le 0.7 \\ 6,\ Rand() \le 1.0 \end{cases} \\ if\ x_i^t(j)=0,\ a_i^{t+1}(x_i^t(j)) = \begin{cases} 4,\ Rand() \le 0.1 \\ 3,\ Rand() \le 0.4 \\ 2,\ Rand() \le 0.7 \\ 1,\ Rand() \le 1.0 \end{cases} \end{cases} \tag{3.7}$$

$$a_i^{t+1}(pbest_i^t(j))\begin{cases} if\ pbest_i^t(j)=1,\ a_i^{t+1}(pbest_i^t(j)) = \begin{cases} 3,\ Rand() \le 0.1 \\ 4,\ Rand() \le 0.4 \\ 5,\ Rand() \le 0.7 \\ 6,\ Rand() \le 1.0 \end{cases} \\ if\ pbest_i^t(j)=0,\ a_i^{t+1}(pbest_i^t(j)) = \begin{cases} 4,\ Rand() \le 0.1 \\ 3,\ Rand() \le 0.4 \\ 2,\ Rand() \le 0.7 \\ 1,\ Rand() \le 1.0 \end{cases} \end{cases} \tag{3.8}$$

$$a_i^{t+1}(gbest^t(j))\begin{cases} if\ gbest^t(j)=1,\ a_i^{t+1}(gbest^t(j)) = \begin{cases} 3,\ Rand() \le 0.1 \\ 4,\ Rand() \le 0.4 \\ 5,\ Rand() \le 0.7 \\ 6,\ Rand() \le 1.0 \end{cases} \\ if\ gbest^t(j)=0,\ a_i^{t+1}(gbest^t(j)) = \begin{cases} 4,\ Rand() \le 0.1 \\ 3,\ Rand() \le 0.4 \\ 2,\ Rand() \le 0.7 \\ 1,\ Rand() \le 1.0 \end{cases} \end{cases} \tag{3.9}$$

$$v_i^{t+1}(j) = a_i^{t+1}(x_i^t(j)) + a_i^{t+1}(pbest_i^t(j)) + a_i^{t+1}(gbest^t(j)) \tag{3.10}$$

3.1.3.2 การคำนวณตำแหน่งของอนุภาค

ตำแหน่งของอนุภาคหนึ่ง ๆ ของสำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบเลขฐานสอง จะแสดงในรูปแบบเมตริกซ์โดยจะเรียกเมตริกซ์นี้ว่าเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค x_i^t กำหนดให้ $x_i^t = [x_i^t(1),\ x_i^t(2), \dots, x_i^t(j)]$ ในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคจะประกอบไปด้วยส่วนประกอบเวกเตอร์ j ตำแหน่ง ซึ่งแต่ละส่วนประกอบเวกเตอร์ $x_i^t(j)$ จะถูกเข้ารหัสเป็นเลขฐานสอง คือ 0 และ 1 ในการเข้ารหัสเลขฐานสองจะเข้ารหัสด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋ารูปแบบกฎิกาการเล่นที่เป็นการเดิมพันบนค่า สูง – ต่ำ ของลูกเต๋า โดยผลรวมของลูกเต๋าทั้งสามลูกที่ให้ค่าตั้งแต่ 3 ถึง 10 จะเป็น “ค่าต่ำ” แทนด้วย 0 และ 11 ถึง 18 จะเป็น “ค่าสูง” แทนด้วย 1 ตามสมการที่ (3.11)

$$x_i^{t+1}(j) = \begin{cases} 1, & v_i^{t+1}(j) \leq 18 \\ 0, & v_i^{t+1}(j) \leq 10 \end{cases} \tag{3.11}$$

เมื่อ

$x_i^t(j)$ คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบที่ t

$v_i^t(j)$ คือ ความเร็วของอนุภาคตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ของอนุภาค i ในรอบที่ t

Psuedocode of Sic Bo Game Method

ขั้นตอนที่ 1 ความเร่ง

- ความเร่งจากตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค

คำนวณ $a_i^{t+1}\left(x_i^t(j)\right)$ ตามสมการที่ (3.7)

- ความเร่งจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

คำนวณ $a_i^{t+1}\left(pbest_i^t(j)\right)$ ตามสมการที่ (3.8)

- ความเร่งจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

คำนวณ $a_i^{t+1}\left(gbest_i^t(j)\right)$ ตามสมการที่ (3.9)

ขั้นตอนที่ 2 ความเร็วของอนุภาค

คำนวณ $v_i^{t+1}(j)$ ตามสมการที่ (3.10)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณตำแหน่งของอนุภาค

คำนวณ $x_i^{t+1}(j)$ ตามสมการที่ (3.11)

- ให้ $x_i^{t+1}(j) = 1$ ถ้า $v_i^{t+1}(j) \leq 18$
- ให้ $x_i^{t+1}(j) = 0$ ถ้า $v_i^{t+1}(j) \leq 10$

จบการทำงานวิธีเกมพนันลูกเต๋า

ภาพที่ 6 แสดงรหัสเทียมของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

3.2 การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

ในส่วนนี้จะอธิบายแบบจำลองปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต และแสดงขั้นตอนวิธีการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้ในการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิตตามที่ G. Cornuéjols et al. [22] ได้นำเสนอเอาไว้มาประยุกต์ใช้งาน โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาในงานวิจัยนี้ จะพิจารณาเป็นปัญหาแบบจำนวนเต็ม มีจำนวนของลูกค้า n ราย ที่มีความต้องการสินค้าชนิดหนึ่ง ๆ และจำนวนของสถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ m แห่ง แต่ละแห่งมีต้นทุนในการก่อสร้าง fc_j หน่วย ต้นทุนการขนส่ง c_{ij} หน่วยที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j โดยแต่ละที่ตั้งจะไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต และจำนวนความต้องการสินค้าทั้งหมดของลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการตอบสนองโดยโรงงานผลิตเพียง 1 แห่ง ดังนั้นในการตัดสินใจหาจำนวนของโรงงานที่จะตั้ง และเลือกสถานที่ ๆ จะตั้ง ด้วยต้นทุนรวมต่ำที่สุด จะหาได้ด้วยสมการตัดสินใจที่ (3.12)

สมการเป้าหมาย (Objective Function)

$$z = min(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{m} fc_j y_j) \tag{3.12}$$

สมการเงื่อนไข (Constrained)

$$\sum_{j=1}^{m} x_{ij} = 1, \ \forall i \in n \tag{3.13}$$

$$0 \leq x_{ij} \leq y_j, y_j \in \{0,1\} \tag{3.14}$$

เมื่อ

i คือ ลูกค้ารายที่ i โดยที่ $i = 1, \dots, n$

j คือ สถานที่ตั้งที่เป็นไปได้ที่ j โดยที่ $j = 1, \dots, m$

c_{ij} คือ ต้นทุนการขนส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j

fc_j คือ ต้นทุนที่ใช้ในการก่อสร้างโรงงานที่ j

x_{ij} คือ ถ้า 1 คือ ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j, 0 คือ อื่น ๆ

y_j คือ ถ้า 1 คือ เลือกสถานที่ตั้งโรงงาน j, 0 คือ อื่น ๆ
สมการข้อจำกัดที่ (3.12) จะทำให้ความต้องการทั้งหมดของลูกค้าแต่ละรายถูกตอบสนองโดยโรงงาน ตามสมการข้อจำกัดที่ (3.13) และโรงงานนั้นต้องถูกเปิดตามข้อจำกัดที่ (3.14)

องค์ประกอบของขั้นตอนการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง มีดังนี้

1. ขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น (initial solution)
2. วิธีการเข้ารหัสตำแหน่งอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (Discretization Methods)
    2.1 วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน
    2.2 วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน
    2.3 วิธีเกมพนันลูกเต๋า
3. คำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Value)

$$F(x) = min(\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{m} c_{ij}x_{ij} + \sum_{j=1}^{m} fc_j y_j) \quad (3.15)$$

4. การคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคคือตำแหน่งที่อนุภาคนั้น ๆ มีค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ดีที่สุดที่อนุภาคนั้น ๆ พบ หาได้จากสมการที่ (3.16)

$$\mathrm{pbest}_i^{t+1} = \begin{cases} \mathrm{x}_i^{t+1}, & \mathrm{pbest}_i^t > \mathrm{x}_i^{t+1} \\ \mathrm{pbest}_i^t, & \mathrm{pbest}_i^t < \mathrm{x}_i^{t+1} \end{cases} \quad (3.16)$$

เมื่อ

pbest_i^t คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค i ในรอบที่ t

x_i^t คือ ตำแหน่งของอนุภาค i ในรอบที่ t

5. การคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคคือตำแหน่งที่อนุภาคนั้น ๆ มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดที่กลุ่มอนุภาคค้นพบ หาได้จากสมการที่ (3.17)

$$\mathrm{gbest}^{t+1} = \begin{cases} \mathrm{pbest}_i^{t+1}, & \mathrm{gbest}^t > \mathrm{pbest}_i^{t+1} \\ \mathrm{gbest}^t, & \mathrm{gbest}^t < \mathrm{pbest}_i^{t+1} \end{cases} \quad (3.17)$$

เมื่อ

pbest_i^t คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค i ในรอบที่ t

gbest^t คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคในรอบที่ t

หัวข้อต่อไปจะเป็นการแสดงตัวอย่างการทำงานของขั้นตอนวิธีการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

3.2.1 ตัวอย่างปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

สำหรับตัวอย่างปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต ผู้วิจัยได้สร้างปัญหาขนาดเล็กขึ้นมาเพื่อใช้ในการแสดงวิธีการตัวอย่างการทำงานของขั้นตอนวิธีการไว้ดังนี้

ตารางที่ 2 แสดงต้นทุนในการก่อสร้างโรงงานแต่ละแห่ง

สถานที่ตั้งโรงงานที่เป็นไปได้	1	2	3	4	5
ต้นทุนในการก่อสร้าง (Fixed Cost)	7500	7500	7500	0	7500

ตารางที่ 3 แสดงต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน

ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน					
	สถานที่ตั้งโรงงาน				
ลูกค้า	1	2	3	4	5
1	6739.725	10355.05	7650.4	5219.5	5776.125
2	3204.8625	5457.075	3845.4	2396.85	2628.4875
3	4914	26409.6	19622.4	13876.8	9147.6
4	32372.1125	29982.225	21024.325	29681.4	21275.0125
5	1715.4625	2152.175	1577.9	1061.75	1250.4625

จำนวนของลูกค้า 5 ราย และจำนวนของสถานที่ตั้งโรงงานที่เป็นไปได้ 5 แห่ง แต่ละแห่งมีต้นทุนในการก่อสร้างตามตารางที่ 2 ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i จากสถานที่ตั้งโรงงาน j ตามตารางที่ 3 โดยแต่ละที่ตั้งโรงงานจะไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต และจำนวนความต้องการสินค้าทั้งหมดของลูกค้าแต่ละรายจะได้รับการตอบสนองโดยโรงงานเพียง 1 แห่งเท่านั้น

3.2.2 ขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ในขั้นตอนการหาค่าที่เหมาะที่สุดขั้นตอนแรก ของขั้นตอนวิธีการขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต เป็นขั้นตอนที่สร้างข้อมูลเริ่มต้นสำหรับนำไปใช้ในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดในรอบ การหาคำตอบที่ t ขึ้นไป

เนื่องจากขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคที่เข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีการทั้ง 3 วิธี มีวิธีการหาขั้นตอนคำตอบเริ่มต้นเหมือนกัน ผู้วิจัยจึงอธิบายขั้นตอนนี้ไว้ในหัวที่ 3.2.1 เป็นหัวข้อเดียว

จากตัวอย่างปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตในหัวข้อที่ 3.2.1 ขั้นตอนวิธีการนี้จะกำหนดให้มีอนุภาคจำนวน 2 อนุภาคแต่ละอนุภาคจะเป็นเวกเตอร์มิติขนาด $j = [1, 2, 3, 4, 5]$ และมีค่าเท่ากับจำนวนสถานที่ตั้งโรงงานที่เป็นไปได้ ในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้นจะประกอบไปด้วยการกำหนดเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค หาค่าความเหมาะสม การคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค เพื่อใช้เป็นค่าตั้งต้นในการทำงานของขั้นตอนวิธีการ ตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค $x_i^{initial} = [x_i^{initial}(1),\ x_i^{initial}(2), \dots, x_i^{initial}(j)]$ ในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น สามารถหาได้จากสมการที่ (3.18)

$$x_i^{initial}(j) = \begin{cases} 1, & Rand() \leq 0.5 \\ 0, & Otherwise \end{cases} \tag{3.18}$$

เมื่อ

$x_i^{initial}(j)$ คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาคของตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

$Rand()$ คือ การสุ่มตัวเลข (Uniformly Distributed Random)

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค $v_i^{initial} = [v_i^{initial}(1), v_i^{initial}(2), \dots, v_i^{initial}(j)]$ ในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น สามารถหาได้จากสมการที่ (3.19)

$$v_i^{initial}(j) = 0;\ \forall i,\ \forall j \tag{3.19}$$

เมื่อ

$v_i^{initial}(j)$ คือ ส่วนประกอบของเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคของตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ตารางที่ 4 แสดงค่าในเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค และเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

อนุภาค		มิติของเวกเตอร์				
		1	2	3	4	5
1	ค่าจากการสุ่มตัวเลข	0.31	0.75	0.48	0.59	0.03
	เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค	1	0	1	0	1
	เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค	0	0	0	0	0
2	ค่าจากการสุ่มตัวเลข	0.73	0.02	0.08	0.35	0.26
	เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค	0	1	1	1	1
	เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค	0	0	0	0	0

จากการคำนวณความเร็วของอนุภาคตามสมการที่ (3.21) และความเร็วของอนุภาค (3.22) จะแสดงเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค และเวกเตอร์ความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น ได้ตามตารางที่ 4

ขั้นตอนที่ 3 ค่าความเหมาะสม

ค่าความเหมาะสมของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตคือ ค่าใช้จ่ายรวมจากการดำเนินงานทั้งหมด สามารถหาได้จากสมการที่ (3.12) ภายใต้สมการข้อจำกัด (3.13) และ (3.14) ผลที่ได้แสดงตามตารางที่ 5 และ ตารางที่ 6

ตารางที่ 5 แสดงการคำนวณต้นทุนในการก่อสร้าง

ต้นทุนในการก่อสร้าง						
	สถานที่ตั้งโรงงานที่เป็นไปได้	1	2	3	4	5
อนุภาค	ต้นทุนในการก่อสร้าง (fixed cost)	7500	7500	7500	0	7500
1	เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค	1	0	1	0	1
	ต้นทุนในการก่อสร้าง	7500	0	7500	0	7500
2	เวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค	0	1	1	1	1
	ต้นทุนในการก่อสร้าง	0	7500	7500	0	7500

ตารางที่ 6 แสดงการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน

ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน					
	ลูกค้า				
อนุภาค	1	2	3	4	5
1	5776.125	2628.4875	4914	21024.325	1250.46
2	5219.5	2396.85	9147.6	21024.325	1061.75

ผลการคำนวณในตารางที่ 3.5 ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน x_{ij} แต่ละลูกค้า i จะได้รับการตอบสนองความต้องการจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างหรือ $y_j = 1$ เท่านั้น ส่วนวิธีการเลือกจะเลือกจากต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด

ตารางที่ 7 แสดงการคำนวณต้นทุนการดำเนินงานรวมหรือค่าความเหมาะสม

ต้นทุนการดำเนินงานรวม			
อนุภาค	ต้นทุนในการก่อสร้าง	ต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้า	รวม
1	22500	35593.4	58093.4
2	22500	38850.025	61350.025

ตารางที่ 7 แสดงต้นทุนการดำเนินงานรวมหรือที่เรียกว่าค่าความเหมาะสมจากการคำนวณต้นทุนในการก่อสร้างได้ตามตารางที่ 5 และต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงานตามตารางที่ 6 ต่อมานำต้นทุนทั้งสองมารวมกัน

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้น

ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้นจะเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งของอนุภาคเริ่มต้น หาได้จากสมการที่ (3.20) และสามารถกำหนดตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้นได้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 8

$$pbest_i^{initial} = x_i^{initial} \tag{3.20}$$

เมื่อ

$pbest_i^{initial}$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้นของอนุภาค i ในรอบคำตอบเริ่มต้น

$x_i^{initial}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคเริ่มต้นของตำแหน่งในอนุภาคลำดับที่ j ในรอบคำตอบเริ่มต้น

ตารางที่ 8 แสดงตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้น และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคในรอบคำตอบเริ่มต้น

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค	1	0	1	0	1	35593.4
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค	0	1	1	1	1	38850.025
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค	0	1	1	1	1	38850.025
	ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค	1	0	1	0	1	35593.4

ขั้นตอนที่ 5 ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเริ่มต้น

ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเริ่มต้นจะเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งของอนุภาคเริ่มต้นหาได้จากสมการที่ (3.21) และกำหนดตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเริ่มต้น ได้ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ 8

$$gbest^{initial} = minimum\,(pbest_i^{initial}) \tag{3.21}$$

เมื่อ

$gbest^{initial}$ คือ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคในรอบคำตอบเริ่มต้น

$pbest_i^{initial}$ คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้นของอนุภาค i ในรอบคำตอบเริ่มต้น

Psuedocode of Initial Solution

ขั้นตอนที่ 1 ตำแหน่งของอนุภาคคำตอบเริ่มต้น

คำนวณ $x_i^{initial}(j)$ ตามสมการที่ (3.18)

- ให้ $x_i^{initial}(j) = 1$ ถ้า $Rand() \leq 0.5$
- ให้ $x_i^{initial}(j) = 0$ ถ้า $Rand() \geq 0.5$

ขั้นตอนที่ 2 ความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

คำนวณ $v_i^{initial}(j)$ ตามสมการที่ (3.19)

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความเหมาะสม (fitness value)

ขั้นตอนที่ 4 ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้น

คำนวณ $pbest_i^{initial}$ตามสมการที่ (3.20)

$pbest_i^{initial} = x_i^{initial}$

ขั้นตอนที่ 5 ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเริ่มต้น

คำนวณ $gbest^{initial}$ตามสมการที่ (3.21)

$gbest^{initial} = minimum\,(pbest_i^{initial})$

จบการทำงานขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ภาพที่ 7 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ต่อไปเป็นตัวอย่างการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคที่เข้ารหัสเลขฐานสองกับปัญหาตัวอย่าง แบ่งได้เป็น 3 ตัวอย่างตามวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้ง 3 วิธี ดังต่อไปนี้

3.2.3 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำตอบเริ่มต้น

ในขั้นตอนนี้จะใช้คำตอบเริ่มต้นของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค เวกเตอร์ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และเวกเตอร์ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค จากหัวข้อที่ 3.2.2 แสดงไว้ตามตารางที่ 8 ตารางแสดงคำตอบเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 ความเร็วของอนุภาค

จากสมการหาความเร็วของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันสมการที่ (3.1) จะใช้ค่าความเร็วจากความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้นในการคำนวณค่าความเร็วของอนุภาคใหม่ และกำหนดให้ $\omega = 1$, $r_1 = Rand()$, $r_2 = Rand()$, $c_1 = 1$ และ$c_2 = 1$ เมื่อแทนค่าในสมการหาความเร็วของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันจะได้ความเร็วของอนุภาคใหม่ ($t = t + 1$) ตามตารางที่ 9

ตารางที่ 9 แสดงความเร็วของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	ความเร็วของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	0	0	0	0
	ความเร็วของอนุภาค ($t = t$)	0	0	0	0	0
2	ความเร็วของอนุภาค ($t = t + 1$)	0.2	-0.8	0	-0.1	0
	ความเร็วของอนุภาค ($t = t$)	0	0	0	0	0

ขั้นตอนที่ 3 วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

ขั้นตอนนี้จะใช้ค่าความเร็วของอนุภาคใหม่จากขั้นตอนที่ 2 นำไปแทนค่าในสมการซิกมอยด์ฟังก์ชันในการหาค่าความน่าจะเป็น ตามสมการที่ (3.2) จะได้ค่าความน่าจะเป็นจากวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ตามตารางที่ 10

ตารางที่ 10 แสดงค่าความน่าจะเป็นจากวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	ความเร็วของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	0	0	0	0
	วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ($t = t + 1$)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	ความเร็วของอนุภาค ($t = t + 1$)	0.2	-0.8	0	-0.1	0
	วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ($t = t + 1$)	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณตำแหน่งของอนุภาค

เมื่อได้ค่าความน่าจะเป็นจากวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันในขั้นตอนที่ 3 แล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการสุ่มตัวเลข (RAND ()) ออกมาจากค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และนำไปคำนวณตำแหน่งของอนุภาคใหม่ ตามสมการที่ (3.3) ได้ตำแหน่งของอนุภาคใหม่ตามตารางที่ 11

ตารางที่ 11 แสดงผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
	วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ($t = t + 1$)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
1	RAND ()	0.8	0.5	0.3	0.6	0.5
	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	0	1	0	1
	วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ($t = t + 1$)	0.5	0.3	0.5	0.5	0.5
2	RAND ()	0.5	0.2	0.7	0.9	0.8
	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	1	0	0	0

ขั้นตอนที่ 5 ค่าความเหมาะสม

หลังจากหาตำแหน่งของอนุภาคใหม่ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ต่อไปนำตำแหน่งของอนุภาคที่ได้ไปคำนวณหาค่าความเหมาะสมด้วยสมการที่ (3.12) สมการค่าความเหมาะสมของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต โดยในส่วนแรกของสมการวัตถุประสงค์จะคำนวณหาต้นทุนในการก่อสร้าง (Fixed Cost) สถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างหรือ $y_j = 1$ ส่วนต่อมาเป็นการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน x_{ij} แต่ละลูกค้า i ภายใต้สมการข้อจำกัด (3.13) และ (3.14) คือลูกค้า i จะได้รับการตอบสนองความต้องการจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างเท่านั้น ส่วนวิธีการเลือก จะเลือกจากต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด ตามตารางที่ 12

ตารางที่ 12 แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าความเหมาะสมของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	0	1	0	1	54827
2	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	1	0	0	0	61556.275

ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ขั้นตอนนี้เราจะได้ตำแหน่งของอนุภาคใหม่พร้อมกับค่าความเหมาะสมที่ได้คำนวณมาแล้ว ต่อไปเป็นการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค โดยตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคคือตำแหน่งที่อนุภาคนั้น ๆ มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดที่อนุภาคนั้น ๆ พบ หาได้จากสมการที่ (3.16)

จากตารางที่ 13 เป็นการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาครอบใหม่ จะเห็นว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ 1 จะเป็นตำแหน่งเดิม และตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ 2 เป็นตำแหน่งเดิมเช่นกันเนื่องจากค่าความเหมาะสมตำแหน่งของอนุภาคใหม่ไม่ดีกว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ตารางที่ 13 แสดงการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	1	0	1	54827
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	1	0	0	0	61556.275
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	1	1	1	1	38850.025

ขั้นตอนที่ 7 การคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

จากตารางที่ 14 ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาครอบใหม่ของทั้ง 2 อนุภาค ที่หาได้จากสมการที่ (3.17) ไม่ดีไปกว่าตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเดิม ทำให้ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคใหม่จึงยังเป็นตำแหน่งเดิม

ตารางที่ 14 แสดงการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	1	0	1	54827
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	1	0	0	0	61556.275
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	1	1	1	1	38850.025
	ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค $(t = t + 1)$	1	0	1	0	1	35593.4

เมื่อขั้นตอนวิธีการทำงานครบทั้ง 7 ขั้นตอนแล้ว ให้วนไปเริ่มการทำงานใหม่ที่ ขั้นตอนที่ 2 โดยทำซ้ำจนกว่าจะครบรอบการทำงานที่กำหนดไว้ที่ $t = T$ แล้วจบการทำงาน และค่าที่เหมาะที่สุดของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตที่หาได้จากการคำนวณครั้งนี้ จะเท่ากับอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาครอบที่ T

Psuedocode of the PSO with Sigmoid Function

ตั้งค่า $t = 0$

ทำงานถึง $t = T$

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความเหมาะสม (fitness value)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

- ให้ $pbest_i^{t+1} = x_i^{t+1}$ ถ้า $pbest_i^t > x_i^{t+1}$
- ให้ $pbest_i^{t+1} = pbest_i^t$ ถ้า $pbest_i^t < x_i^{t+1}$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

- ให้ $gbest^{t+1} = pbest_i^{t+1}$ ถ้า $gbest^t > pbest_i^{t+1}$
- ให้ $gbest^{t+1} = gbest^t$ ถ้า $gbest^t < pbest_i^{t+1}$

ขั้นตอนที่ 6 $t = t + 1$

ขั้นตอนที่ 7 กลับไปที่ขั้นที่ 2

จบการทำงาน

หมายเหตุ T คือ Number of iteration

t คือ t^{th} iteration

ภาพที่ 8 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

3.2.4 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

ขั้นตอนที่ 1 คำตอบเริ่มต้น

ในขั้นตอนนี้จะใช้คำตอบเริ่มต้นของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค เวกเตอร์ความเร็วของอนุภาค เวกเตอร์ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และเวกเตอร์ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค จากหัวข้อที่ 3.2.2 แสดงไว้ตามตารางที่ 8 ตารางแสดงคำตอบเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

ขั้นตอนที่ 2 ความเร็วของอนุภาค

จากสมการหาความเร็วของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์สมการที่ (3.4) จะใช้ค่าความเร็วจากความเร็วของอนุภาคในขั้นตอนคำตอบเริ่มต้นในการคำนวณค่าความเร็วของอนุภาคใหม่ และกำหนดให้ $\omega = 1$, $r_1 = Rand()$, $r_2 = Rand()$, $c_1 = 1$ และ$c_2 = 1$ จะได้ความเร็วของอนุภาคใหม่ $(t = t + 1)$ ตามตารางที่ 15

ตารางที่ 15 แสดงความเร็วของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	ความเร็วของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	0	0	0
	ความเร็วของอนุภาค $(t = t)$	0	0	0	0	0
2	ความเร็วของอนุภาค $(t = t + 1)$	0.2	-0.8	0	-0.1	0
	ความเร็วของอนุภาค $(t = t)$	0	0	0	0	0

ขั้นตอนที่ 3 วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

ขั้นตอนนี้จะใช้ค่าความเร็วของอนุภาคใหม่จากขั้นตอนที่ 2 นำไปแทนค่าในสมการไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันในการหาค่าความน่าจะเป็น ตามสมการที่ (3.5) จะได้ค่าความน่าจะเป็นจากวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน ตามตารางที่ 16

ตารางที่ 16 แสดงค่าความน่าจะเป็นจากวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	ความเร็วของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	0	0	0
	วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน $(t = t + 1)$	0	0	0	0	0
2	ความเร็วของอนุภาค (t = 1)	0.2	-0.8	0	-0.1	0
	วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน $(t = t + 1)$	0.2	-0.7	0	-0.1	0

ขั้นตอนที่ 4 การคำนวณตำแหน่งของอนุภาค

เมื่อได้ค่าความน่าจะเป็นจากวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน ในขั้นตอนที่ 3 แล้ว ในขั้นตอนนี้จะทำการสุ่มตัวเลข (RAND()) ออกมาจากค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1 และนำไปคำนวณตำแหน่งของอนุภาคใหม่ ตามสมการที่ (3.6) ได้ตำแหน่งของอนุภาคใหม่ตามตารางที่ 17

ตารางที่ 17 แสดงผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน $(t = t + 1)$	0	0	0	0	0
	RAND ()	0.2	0.2	0.8	0	0.3
	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	0	1	0
2	วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน $(t = t + 1)$	0.2	-0.7	0	-0.1	0
	RAND ()	0.1	0.4	1	0.8	0.4
	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	1	0	0	0

ขั้นตอนที่ 5 ค่าความเหมาะสม

หลังจากหาตำแหน่งของอนุภาคใหม่ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ต่อไปนำตำแหน่งของอนุภาคที่ได้ไปคำนวณหาค่าความเหมาะสมด้วยสมการที่ (3.12) สมการค่าความเหมาะสมของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต โดยในส่วนแรกของสมการวัตถุประสงค์จะคำนวณหาต้นทุนในการก่อสร้าง สถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างหรือ $y_j = 1$ ส่วนต่อมาเป็นการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน x_{ij} แต่ละลูกค้า i ภายใต้สมการข้อจำกัด (3.13) และ (3.14) คือลูกค้า i จะได้รับการตอบสนองความต้องการจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการ

ก่อสร้างเท่านั้น ส่วนวิธีการเลือก จะเลือกจากต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด ตามตารางที่ 18

ตารางที่ 18 แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าความเหมาะสมของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	0	1	0	52236.3
2	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	1	0	0	0	61556.275

ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ขั้นตอนนี้เราจะได้ตำแหน่งของอนุภาคใหม่พร้อมกับค่าความเหมาะสมที่ได้คำนวณมาแล้ว ต่อไปเป็นการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค โดยตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคคือตำแหน่งที่อนุภาคนั้น ๆ มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดที่อนุภาคนั้น ๆ พบ หาได้จากสมการที่ (3.16)

ตารางที่ 19 แสดงการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	0	0	1	0	52236.3
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t + 1)$	1	1	0	0	0	61556.275
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t + 1)$	0	1	1	1	1	38850.025

จากตารางที่ 19 เป็นการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาครอบใหม่ จะเห็นว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ 1 จะเป็นตำแหน่งเดิม และตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ 2 เป็นตำแหน่งเดิมเช่นกันเนื่องจากค่าความเหมาะสมตำแหน่งของอนุภาคใหม่ไม่ดีกว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ขั้นตอนที่ 7 การคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

จากตารางที่ 20 ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคใหม่ของทั้ง 2 อนุภาค ที่หาได้จากสมการที่ (3.17) ไม่ดีไปกว่าตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเดิม ทำให้ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคใหม่จึงยังเป็นตำแหน่งเดิม

ตารางที่ 20 แสดงการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	0	0	1	0	52236.3
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	1	0	0	0	61556.275
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	1	1	38850.025
	ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	0	1	35593.4

เมื่อขั้นตอนวิธีการทำงานครบทั้ง 7 ขั้นตอนแล้ว ให้วนไปเริ่มการทำงานใหม่ที่ ขั้นตอนที่ 2 โดยทำซ้ำจนกว่าจะครบรอบการทำงานที่กำหนดไว้ที่ $t = T$ แล้วจบการทำงาน และค่าที่เหมาะที่สุดของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตที่หาได้จากการคำนวณครั้งนี้ จะเท่ากับอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาครอบที่ T

มหาวิทยาลัยศิลปากร

Psuedocode of the PSO with Tanh

ตั้งค่า $t = 0$

ทำงานถึง $t = T$

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความเหมาะสม (fitness value)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

- ให้ $pbest_i^{t+1} = x_i^{t+1}$ ถ้า $pbest_i^t > x_i^{t+1}$
- ให้ $pbest_i^{t+1} = pbest_i^t$ ถ้า $pbest_i^t < x_i^{t+1}$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

- ให้ $gbest^{t+1} = pbest_i^{t+1}$ ถ้า $gbest^t > pbest_i^{t+1}$
- ให้ $gbest^{t+1} = gbest^t$ ถ้า $gbest^t < pbest_i^{t+1}$

ขั้นตอนที่ 6 $t = t + 1$

ขั้นตอนที่ 7 กลับไปที่ขั้นที่ 2

จบการทำงาน

หมายเหตุ T คือ Number of iteration

t คือ t^{th} iteration

ภาพที่ 9 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

3.2.5 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋าสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> คำตอบเริ่มต้น

ในขั้นตอนนี้จะใช้คำตอบเริ่มต้นของเวกเตอร์ตำแหน่งของอนุภาค เวกเตอร์ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และเวกเตอร์ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค จากหัวข้อที่ 3.2.2 แสดงไว้ตามตารางที่ 8 ตารางแสดงคำตอบเริ่มต้นของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ความเร็วของอนุภาค

ความเร็วของอนุภาคแต่ละอนุภาค จะคำนวณตามสมการที่ (3.10) เป็นผลรวมจากค่าความเร่งที่ส่งผลมาจากตำแหน่งปัจจุบันของอนุภาค ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และ ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค โดยค่าความเร่งทั้งสามค่าจะมีวิธีการคำนวณที่เหมือนกันตามสมการที่ (3.7), (3.8), และ (3.9) เมื่อนำตำแหน่งของอนุภาค ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค และตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคจากคำตอบเริ่มต้นมาคำนวณ จะได้ความเร็วของอนุภาคตามตารางที่ 21

ตารางที่ 21 แสดงความเร็วของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	ความเร็วของอนุภาค $(t = t + 1)$	11	6	12	11	13
	ความเร่งจากตำแหน่งของอนุภาค	4	1	5	3	3
	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t)$	1	0	1	0	1
	ความเร่งจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค	3	2	4	4	6
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค $(t = t)$	1	0	1	0	1
	ความเร่งจากตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค	4	3	3	4	4
	ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค $(t = t)$	1	0	1	0	1
2	ความเร็วของอนุภาค $(t = t + 1)$	10	14	13	9	15
	ความเร่งจากตำแหน่งของอนุภาค	2	5	4	3	6
	ตำแหน่งของอนุภาค $(t = t)$	0	1	1	1	1
	ความเร่งจากตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค	2	6	3	5	4
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคเริ่มต้น $(t = t)$	0	1	1	1	1
	ความเร่งจากตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค	6	3	6	1	5
	ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค $(t = t)$	1	0	1	0	1

ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณตำแหน่งของอนุภาค

เมื่อได้ความเร็วของอนุภาคจากขั้นตอนที่ 2 จะนำความเร็วของอนุภาคไปตำแหน่งของอนุภาค จากสมการที่ (3.11) โดยผลรวมของลูกเต๋าทั้งสามลูกที่ให้ค่าตั้งแต่ 3 ถึง 10 จะเป็น “ค่าต่ำ” แทนด้วย 0 และ 11 ถึง 18 จะเป็น “ค่าสูง” แทนด้วย 1 ผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋าแสดงไว้ในตารางที่ 22

ตารางที่ 22 แสดงผลลัพธ์การคำนวณตำแหน่งของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์				
1	ความเร็วของอนุภาค ($t = t + 1$)	11	6	12	11	13
	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	1	1
2	ความเร็วของอนุภาค ($t = t + 1$)	10	14	13	9	15
	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	0	1

ขั้นตอนที่ 4 ค่าความเหมาะสม

หลังจากหาตำแหน่งของอนุภาคใหม่ที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 ต่อไปนำตำแหน่งของอนุภาคที่ได้ไปคำนวณหาค่าความเหมาะสมด้วยสมการที่ (3.12) สมการค่าความเหมาะสมของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต โดยในส่วนแรกของสมการวัตถุประสงค์จะคำนวณหาต้นทุนในการก่อสร้าง สถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างหรือ $y_j = 1$ ส่วนต่อมาเป็นการคำนวณต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงาน x_{ij} แต่ละลูกค้า i ภายใต้สมการข้อจำกัด (3.13) และ (3.14) คือลูกค้า i จะได้รับการตอบสนองความต้องการจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างเท่านั้น ส่วนวิธีการเลือก จะเลือกจากต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าจากสถานที่ตั้งโรงงานที่ได้รับการก่อสร้างที่ต่ำที่สุด ตามตารางที่ 23

ตารางที่ 23 แสดงผลลัพธ์การคำนวณค่าความเหมาะสมของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	1	1	57116.425
2	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	0	1	62327

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ขั้นตอนนี้เราจะได้ตำแหน่งของอนุภาคใหม่พร้อมกับค่าความเหมาะสมที่ได้คำนวณมาแล้วจากขั้นตอนก่อนหน้า ต่อไปเป็นการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค โดยตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคคือตำแหน่งที่อนุภาคนั้น ๆ มีค่าความเหมาะสมดีที่สุดที่อนุภาคนั้น ๆ พบ หาได้จากสมการที่ (3.16)

ตารางที่ 24 แสดงการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	1	1	57116.425
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	0	1	62327
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	1	1	38850.025

จากตารางที่ 24 เป็นการคำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาครอบใหม่ จะเห็นว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ 1 จะเป็นตำแหน่งเดิม และตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาคที่ 2 เป็นตำแหน่งเดิมเช่นกันเนื่องจากค่าความเหมาะสมตำแหน่งของอนุภาคใหม่ไม่ดีกว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

ขั้นตอนที่ 6 การคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

จากตารางที่ 25 ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคใหม่ของทั้ง 2 อนุภาคที่หาได้จากสมการที่ (3.17) ไม่ดีไปกว่าตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคเดิม ทำให้ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคใหม่จึงยังเป็นตำแหน่งเดิม

ตารางที่ 25 แสดงการคำนวณตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาคของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

อนุภาค	เวกเตอร์	มิติของเวกเตอร์					ค่าความเหมาะสม
1	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	1	1	57116.425
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	0	1	35593.4
2	ตำแหน่งของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	0	1	62327
	ตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค ($t = t + 1$)	0	1	1	1	1	38850.025
	ตำแหน่งอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค ($t = t + 1$)	1	0	1	0	1	35593.4

เมื่อขั้นตอนวิธีการทำงานครบทั้ง 6 ขั้นตอนแล้ว ให้วนไปเริ่มการทำงานใหม่ที่ ขั้นตอนที่ 2 โดยทำซ้ำจนกว่าจะครบรอบการทำงานที่กำหนดไว้ที่ $t = T$ แล้วจบการทำงาน และค่าที่เหมาะที่สุดของปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตที่หาได้จากการคำนวณครั้งนี้ จะเท่ากับอนุภาคที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาครอบที่ T

Psuedocode of the PSO with Sic Bo Game Method

ตั้งค่า $t = 0$

ทำงานถึง $t = T$

ขั้นตอนที่ 1 ขั้นตอนคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 2 วิธีเกมพนันลูกเต๋า

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณค่าความเหมาะสม (fitness value)

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของอนุภาค

- ให้ $pbest_i^{t+1} = x_i^{t+1}$ ถ้า $pbest_i^t > x_i^{t+1}$
- ให้ $pbest_i^{t+1} = pbest_i^t$ ถ้า $pbest_i^t < x_i^{t+1}$

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มอนุภาค

- ให้ $gbest^{t+1} = pbest_i^{t+1}$ ถ้า $gbest^t > pbest_i^{t+1}$
- ให้ $gbest^{t+1} = gbest^t$ ถ้า $gbest^t < pbest_i^{t+1}$

ขั้นตอนที่ 6 $t = t + 1$

ขั้นตอนที่ 7 กลับไปที่ขั้นที่ 2

จบการทำงาน

หมายเหตุ T คือ Number of iteration

t คือ t^{th} iteration

ภาพที่ 10 แสดงรหัสเทียมของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องเข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋า

3.3 วิธีการทดลอง

3.3.1 ปัญหาทดสอบ

ในการทดลองการเข้ารหัสเลขฐานสองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต จะทดลองกับปัญหาทดสอบ (Test Problem) ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต จากเว็บไซต์ OR – Library [33] ในหัวข้อ “Uncapacitated Warehouse Location” โดยเลือกปัญหาที่จะนำมาทดลองตามตารางที่ 26

ตารางที่ 26 แสดงปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิตที่นำมาทดลอง

Problem	Size (m*n)
Cap71	16*50
Cap72	16*50
Cap73	16*50
Cap101	25*50
Cap102	25*50
Cap103	25*50
Cap131	50*50
Cap132	50*50
Cap133	50*50

จากตารางที่ 26 แสดงจำนวนของสถานที่ตั้งโรงงานที่เป็นไปได้ m แห่ง และจำนวนของลูกค้า n ราย และในไฟล์ข้อมูลปัญหาจะระบุต้นทุนในการก่อสร้าง ของแต่ละสถานที่ตั้งโรงงานที่เป็นไปได้ ความต้องการ (Demand) ของลูกค้าแต่ละราย และต้นทุนที่ใช้ในการขนส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ i $(i = 1, \dots, n)$ จากสถานที่ตั้งโรงงาน j $(j = 1, \dots, m)$

3.3.2 วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ใช้ในการเปรียบเทียบ

ในการประเมินประสิทธิภาพวิธีเกมพนันลูกเต๋าเปรียบจะเปรียบเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

3.3.3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์จากสมการหาความเร็วของอนุภาคสำหรับวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน สมการที่ (3.1) และวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน สมการที่ (3.6) ในการทดลองของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้กำหนดค่าตาม Eberhart and Shi [16] ที่ได้แนะนำค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ ไว้ดังนี้ ω = 0.72984, $r_1 = Rand()$, $r_2 = Rand()$, c_1 = 1.4962 และ c_2 = 1.4962

ตารางที่ 27 แสดงขอบเขตการทำงานของขั้นตอนวิธีการในการทดลอง

Problem	Size (m*n)	No. iteration	No. test
Cap71	16*50	200	100
Cap72	16*50	200	100
Cap73	16*50	200	100
Cap101	25*50	500	100
Cap102	25*50	500	100
Cap103	25*50	500	100
Cap131	50*50	1500	100
Cap132	50*50	1500	100
Cap133	50*50	1500	100

นอกจากนี้ยังได้แนะนำจำนวนของอนุภาคที่ทำให้ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคทำงานกับค่าพารามิเตอร์ข้างต้นได้อย่างมีประสิทธิภาพไว้ที่ N = 30 อนุภาค ผู้วิจัยจึงนำจำนวนอนุภาคที่ 30 อนุภาคมาใช้สำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้

ในขั้นตอนการทดลองเข้ารหัสเลขฐานสองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ของแต่ละปัญหาทดสอบ ผู้วิจัยได้กำหนดขอบเขตการทำงานของขั้นตอนวิธีการไว้ในตารางที่ 27

3.3.4 เครื่องมือที่ใช้ในการทดลอง

3.3.4.1 การทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีนั้น ผู้วิจัยได้ใช้โปรแกรม Microsoft Excel 2010 ในการคำนวณโดยการเขียนเป็นภาษา Visual Basic for Applications

3.3.4.2 การทดลองนี้ทำงานบน Microsoft Windows 10 Home (64 Bit), Intel Core i7-6700HQ 2.60 GHz, RAM 4 GB DDR4

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 4

ผลการทดลองและการวิเคราะห์

สำหรับบทนี้ในส่วนแรกจะนำเสนอผลที่ได้จากการทดลองของการประยุกต์ใช้การเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋า วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันกับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต ส่วนที่สองจะนำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อประเมินประสิทธิภาพการเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋าเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ตามหัวข้อต่อไปนี้

4.1 ผลการทดลองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋าเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

4.1 ผลการทดลองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต

4.1.1 ผลการทดลองการเข้ารหัสเลขฐานสองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

จากตารางที่ 28 คือผลที่ได้จากการทดลองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต ผู้วิจัยได้นำค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันมาหาค่าที่ดีที่สุด (Best) ค่าที่แย่ที่สุด (Worst) และค่าเฉลี่ย (Average)

ตารางที่ 28 แสดงผลการทดลองของวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

Problem	Size (m*n)	No. iteration	No. test	Sigmoid		
				Best	Worst	Average
Cap71	16*50	200	100	932615.75	932615.75	932615.75
Cap72	16*50	200	100	977799.40	977799.40	977799.40
Cap73	16*50	200	100	1010641.45	1010641.45	1010641.45
Cap101	25*50	500	100	797582.29	805097.05	801647.00
Cap102	25*50	500	100	857048.65	866784.49	862354.00
Cap103	25*50	500	100	893782.11	910352.80	902735.00
Cap131	50*50	1500	100	807904.70	832563.54	826131.00
Cap132	50*50	1500	100	886161.08	915135.83	901552.00
Cap133	50*50	1500	100	939258.23	982862.54	961360.00

หมายเหตุ

Sigmoid คือ วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

4.1.2 ผลการทดลองการเข้ารหัสเลขฐานสองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

ตารางที่ 29 ผลที่ได้จากการทดลองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต ผู้วิจัยได้นำค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันมาหาค่าที่ดีที่สุด (Best) ค่าที่แย่ที่สุด (Worst) และค่าเฉลี่ย (Average)

ตารางที่ 29 แสดงผลการทดลองของวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

Problem	Size (m*n)	No. iteration	No. test	Tanh		
				Best	Worst	Average
Cap71	16*50	200	100	932615.75	932615.75	932615.75
Cap72	16*50	200	100	977799.40	977799.40	977799.40
Cap73	16*50	200	100	1010641.45	1010641.45	1010641.45
Cap101	25*50	500	100	797582.29	803195.63	800358.00
Cap102	25*50	500	100	855971.75	866055.13	860774.00
Cap103	25*50	500	100	894801.16	907077.09	899621.00
Cap131	50*50	1500	100	814854.66	834060.90	826055.00
Cap132	50*50	1500	100	886570.53	912763.54	899819.00
Cap133	50*50	1500	100	931650.76	973986.45	956507.00

หมายเหตุ

Tanh คือ วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน

4.1.3 ผลการทดลองการเข้ารหัสเลขฐานสองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋า

ตารางที่ 30 ผลที่ได้จากการทดลองของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องสำหรับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต ผู้วิจัยได้นำค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองของวิธีเกมพนันลูกเต๋ามาหาค่าที่ดีที่สุด (Best) ค่าที่แย่ที่สุด (Worst) และค่าเฉลี่ย (Average)

ตารางที่ 30 แสดงผลการทดลองของวิธีเกมพนันลูกเต๋า

Problem	Size (m*n)	No. iteration	No. test	Sic Bo		
				Best	Worst	Average
Cap71	16*50	200	100	932615.75	932615.75	932615.75
Cap72	16*50	200	100	977799.40	977799.40	977799.40
Cap73	16*50	200	100	1010641.45	1010641.45	1010641.45
Cap101	25*50	500	100	796648.44	800004.98	797221.00
Cap102	25*50	500	100	854704.20	859963.25	854811.00
Cap103	25*50	500	100	893782.11	895027.19	894324.00
Cap131	50*50	1500	100	793439.56	795291.86	793792.00
Cap132	50*50	1500	100	851495.33	851670.13	851499.00
Cap133	50*50	1500	100	893076.71	894801.16	893938.00

หมายเหตุ

Sic Bo คือ วิธีเกมพนันลูกเต๋า

4.2 การวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อประเมินประสิทธิภาพการเข้ารหัสเลขฐานสองของวิธีเกมพนันลูกเต๋าเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

4.2.1 การวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการคำนวณค่าเหมาะที่สุดด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยวิธีการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว

ในการประเมินประสิทธิภาพในการคำนวณค่าเหมาะที่สุด วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองวิธีเกมพนันลูกเต๋าเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบวิธีการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว (One – way Analysis of Variance) โดยจะทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีมีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ดังนี้

สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis: H_0): วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีมีประสิทธิภาพในการคำนวณค่าเหมาะที่สุดเท่ากัน

$H_0: \mu_{Sigmoid} = \mu_{Tanh} = \mu_{Sic\ Bo}$

สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis: H_1): มีวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองอย่างน้อยสองวิธีมีประสิทธิภาพในการคำนวณค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน

$H_1: \mu_{Sigmoid} \neq \mu_{Tanh} \neq \mu_{Sic\ Bo}$ หรือ มี μ อย่างน้อยคู่หนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการคำนวณไม่เท่ากัน

กำหนดระดับทดสอบที่ 5 % ($\alpha = 0.05$)

ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ถ้า $P - value < \alpha$

จากตารางที่ 31 แสดงให้เห็นว่าปัญหาทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดด้านการผลิต Cap71, Cap72 และ Cap73 มีค่าความเหมาะสมที่ได้จากการทดลองที่มีค่าเฉลี่ยที่ทำให้ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับศูนย์ทำให้ไม่สามารถนำไปทดสอบสมมติฐานได้ แต่ปัญหาทดสอบอื่น ๆ สามารถนำไปทดสอบสมมติฐานและวิเคราะห์ผลได้ดังนี้

ปัญหาทดสอบ Cap101 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว จะได้ $P - value = 0.00$ ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P - value < \alpha$ ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน โดยวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ค่าเฉลี่ยค่าเหมาะที่สุดน้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ปัญหาทดสอบ Cap102 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว จะได้ $P - value = 0.00$ ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P - value < \alpha$ ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน โดยวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ค่าเฉลี่ยค่าเหมาะที่สุดน้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ปัญหาทดสอบ Cap103 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว จะได้ $P - value = 0.00$ ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P - value < \alpha$ ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน โดยวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ค่าเฉลี่ยค่าเหมาะที่สุดน้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ปัญหาทดสอบ Cap131 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว จะได้ $P-value = 0.00$ ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P-value < \alpha$ ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน โดยวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ค่าเฉลี่ยค่าเหมาะที่สุดน้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ปัญหาทดสอบ Cap132 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว จะได้ $P-value = 0.00$ ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P-value < \alpha$ ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน โดยวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ค่าเฉลี่ยค่าเหมาะที่สุดน้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

ปัญหาทดสอบ Cap133 จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว จะได้ $P-value = 0.00$ ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P-value < \alpha$ ดังนั้นปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ $\alpha = 0.05$ และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกัน ทำให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดไม่เท่ากัน โดยวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ค่าเฉลี่ยค่าเหมาะที่สุดน้อยที่สุดจึงมีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 31 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียวจากโปรแกรมสำเร็จรูป minitab

Problem	Sigmoid		Tanh		Sic Bo		Hypothesis testing (α = 0.05)		
	Average	StDev	Average	StDev	Average	StDev	F	P - value	H_0 Vs H_1
Cap71	932615.75	0	932615.75	0	932615.75	0	-*	-*	-*
Cap72	977799.40	0	977799.40	0	977799.40	0	-*	-*	-*
Cap73	1010641.45	0	1010641.45	0	1010641.45	0	-*	-*	-*
Cap101	801647	1554	800358	1331	797221	610	341.01	0.00	Reject H_0
Cap102	862354	2470	860774	2106	854811	585	436.45	0.00	Reject H_0
Cap103	902735	3397	899621	2984	894324	518	261.96	0.00	Reject H_0
Cap131	826131	4668	826055	3954	793792	445	2773.31	0.00	Reject H_0
Cap132	901552	5689	899819	5549	851499	25	3834.30	0.00	Reject H_0
Cap133	961360	10190	956507	9774	893938	613	2123.66	0.00	Reject H_0

หมายเหตุ * ไม่สามารถทดสอบสมมติฐานได้เนื่องจากผลการทดลองมีค่าเฉลี่ยเท่ากันและส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับศูนย์

4.2.2 การวิเคราะห์ความแม่นยำด้วยความคลาดเคลื่อนร้อยละค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองและค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง

ส่วนนี้จะทำการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนร้อยละค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองและค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง เพื่อเปรียบเทียบความแม่นยำ (Accuracy) ในการคำนวณค่าเหมาะที่สุดของวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้ง 3 วิธี

ความคลาดเคลื่อนร้อยละ (Percent Deviation: $\%Dev$) คือค่าคลาดเคลื่อนที่แสดงในรูปแบบอัตราร้อยละ หรือขนาดของผลต่างระหว่างค่าที่แท้จริงกับค่าประมาณหารด้วยค่าที่แท้จริง มักใช้เป็นตัวเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างค่าเฉลี่ยค่าเฉลี่ยจากการทดลองกับค่าอ้างอิงทางทฤษฎี คำนวณได้ตามสมการที่ (4.1)

$$\%Dev = \frac{|Optimum_{refer} - Optimum_{experiment}|}{|Optimum_{refer}|} \times 100 \qquad (4.1)$$

เมื่อ

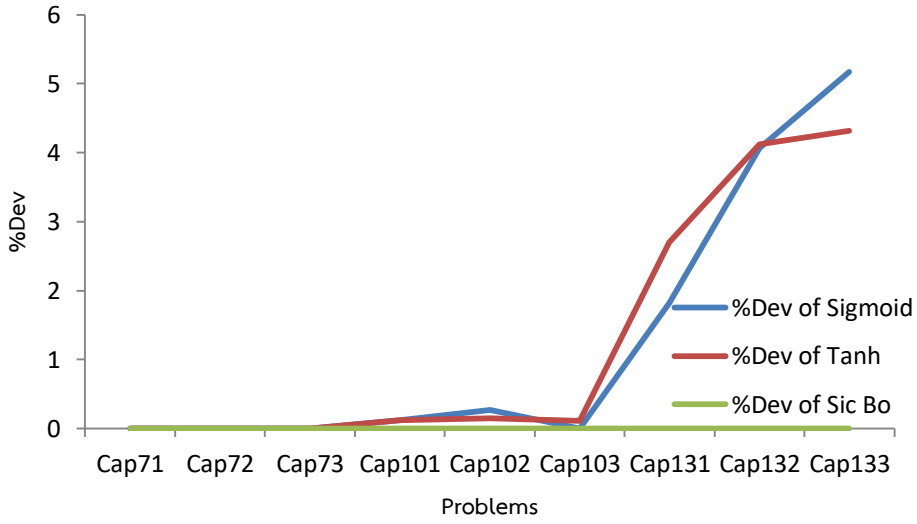
$\%Dev$ คือ ความคลาดเคลื่อนร้อยละ

$Optimum_{experiment}$ คือ ค่าเหมาะที่สุดจากการทดลอง

$Optimum_{refer}$ คือ ค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง

จากตารางที่ 32 แสดงให้เห็นว่า $\%Dev$ หรือความคลาดเคลื่อนร้อยละจะมีค่ามากขึ้นเมื่อค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองได้ผลแย่กว่าค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง และจากภาพที่ 11 เมื่อเทียบ $\%Dev$ ของแต่ละวิธีเข้ารหัสเลขฐานสอง จะเห็นว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋ามีความแม่นยำในการหาค่าเหมาะที่สุดมากเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองวิธี เนื่องจากความคลาดเคลื่อนร้อยละเท่ากับ 0% ในทุก ๆ ปัญหา

ทดสอบ แต่วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันมีความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปัญหาทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้น



ภาพที่ 11 แสดงการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนร้อยละค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองกับค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 32 แสดงผลการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนร้อยละค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองกับค่าเหมาะที่สุดอ้างอิง

Problem	Size (m*n)	No. iteration	No. test	Optimum*	Sigmoid		Tanh		Sic Bo	
					Optimum	$\%Dev$	Optimum	$\%Dev$	Optimum	$\%Dev$
Cap71	16*50	200	100	932615.8	932615.75	0.00	932615.75	0.00	932615.75	0.00
Cap72	16*50	200	100	977799.4	977799.40	0.00	977799.40	0.00	977799.40	0.00
Cap73	16*50	200	100	1010641	1010641.45	0.00	1010641.45	0.00	1010641.45	0.00
Cap101	25*50	500	100	796648.4	797582.29	0.12	797582.29	0.12	796648.44	0.00
Cap102	25*50	500	100	854704.2	857048.65	0.27	855971.75	0.15	854704.20	0.00
Cap103	25*50	500	100	893782.1	893782.11	0.00	894801.16	0.11	893782.11	0.00
Cap131	50*50	1500	100	793439.6	807904.70	1.82	814854.66	2.70	793439.56	0.00
Cap132	50*50	1500	100	851495.3	886161.08	4.07	886570.53	4.12	851495.33	0.00
Cap133	50*50	1500	100	893076.7	939258.23	5.17	931650.76	4.32	893076.71	0.00

หมายเหตุ * อ้างอิงจากงานวิจัย [5] A Discrete Particle Swarm Optimization Algorithm for Uncapacitated Facility Location Problem.

4.2.3 การวิเคราะห์ความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดด้วยสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน

สัมประสิทธิ์ของการแปรผัน (Coefficient of Variation: C.V.) คือ อัตราส่วนระหว่างส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานกับค่าเฉลี่ยเลขคณิตของข้อมูลชุดนั้น ใช้ในการเปรียบเทียบการกระจายของข้อมูลตั้งแต่ 2 ชุดขึ้นไป เพื่อบอกว่าข้อมูลชุดใดมีการกระจายมากหรือน้อยกว่ากัน

$$C.V. = \frac{S.D.}{\bar{x}} \times 100 \qquad (4.2)$$

เมื่อ

$C.V.$ คือ สัมประสิทธิ์ของการแปรผัน

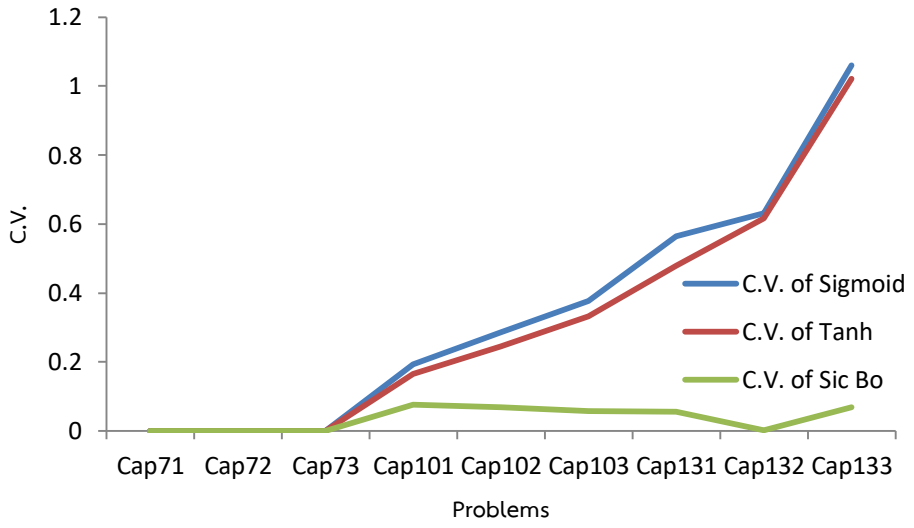
$S.D.$ คือ ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของค่าเหมาะที่สุด

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยเลขคณิตของค่าเหมาะที่สุด

ในการวิเคราะห์จะนำสัมประสิทธิ์ของการแปรผันมาวัดความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดที่คำนวณตามสมการที่ (4.2) แสดงผลไว้ดังตารางที่ 33 โดยถ้าค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองมีการกระจายมากแสดงว่ามีความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดน้อย และถ้าค่าเหมาะที่สุดจากการทดลองมีการกระจายน้อยแสดงว่ามีความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดมาก

ตารางที่ 33 แสดงสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน

Problem	Sigmoid			Tanh			Sic Bo		
	Average	StDev	C.V.	Average	StDev	C.V.	Average	StDev	C.V.
Cap71	932615.75	0	0.0000	932615.75	0	0.0000	932615.75	0	0.0000
Cap72	977799.40	0	0.0000	977799.40	0	0.0000	977799.40	0	0.0000
Cap73	1010641.45	0	0.0000	1010641.45	0	0.0000	1010641.45	0	0.0000
Cap101	801647	1554	0.1939	800358	1331	0.1663	797221	610	0.0765
Cap102	862354	2470	0.2864	860774	2106	0.2447	854811	585	0.0684
Cap103	902735	3397	0.3763	899621	2984	0.3317	894324	518	0.0579
Cap131	826131	4668	0.5650	826055	3954	0.4787	793792	445	0.0561
Cap132	901552	5689	0.6310	899819	5549	0.6167	851499	25	0.0029
Cap133	961360	10190	1.0600	956507	9774	1.0218	893938	613	0.0686

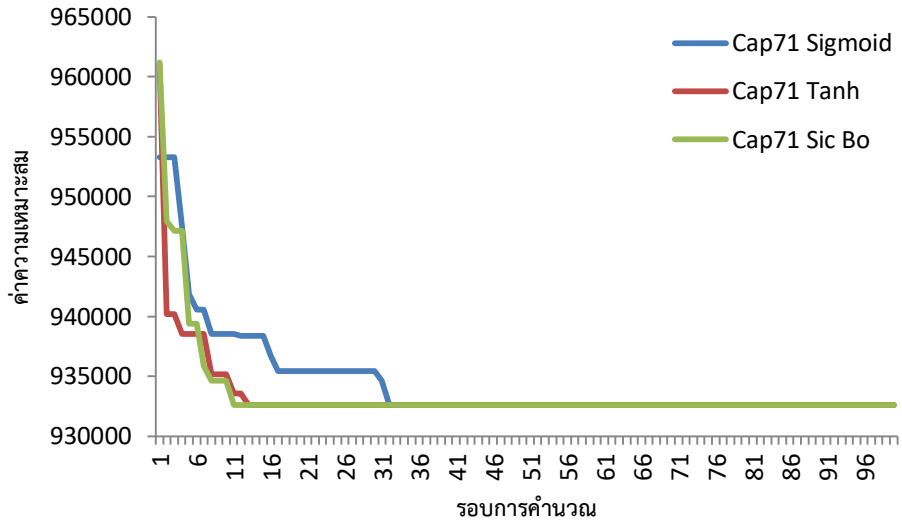


ภาพที่ 12 แสดงการเปรียบเทียบความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดด้วยสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน

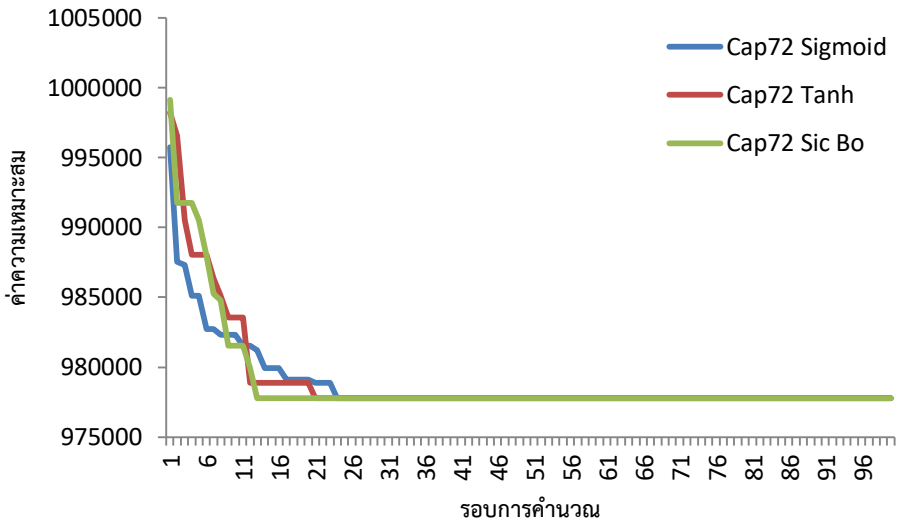
จากภาพที่ 12 สัมประสิทธิ์ของการแปรผันค่าเฉลี่ยของค่าเหมาะที่สุดจากวิธีเกมพนันลูกเต๋ามีค่าน้อยที่สุดเมื่อเทียบกับทั้งสองวิธีข้างต้นอย่างเห็นได้ชัด หมายความว่าในการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่เข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋าในแต่ละครั้งของการทดลองกับปัญหาทดสอบนั้น ๆ มีการกระจายน้อยที่สุดแสดงว่ามีความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดมาก (Consistency) เมื่อเทียบกับวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองอีก 2 วิธี

4.2.4 การวิเคราะห์พฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุด

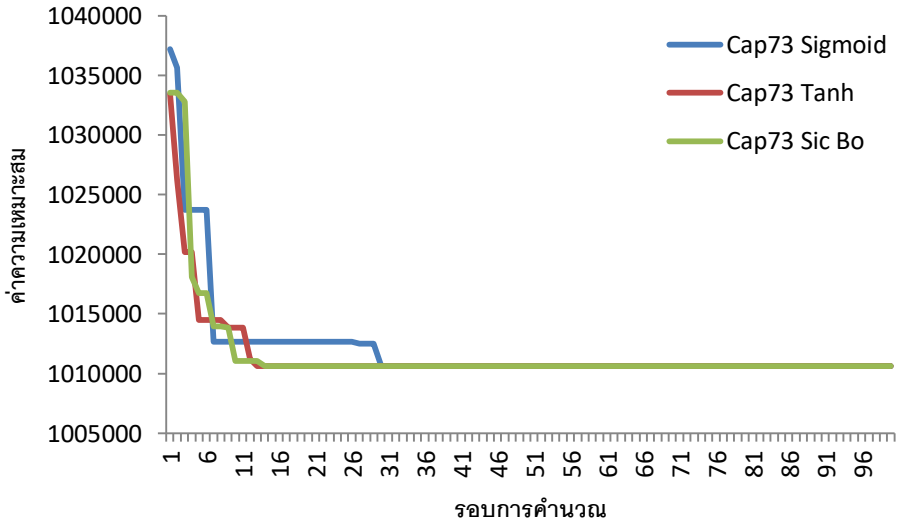
พฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดหรือการที่กระบวนการเข้าใกล้สถานะคงตัว (Stable State) ของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่เข้ารหัสเลขฐานสอง ผู้วิจัยได้เลือกตัวอย่างการคำนวณจากขั้นตอนวิธีการที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองมา 1 ตัวอย่างสำหรับในแต่ละปัญหาทดสอบ และนำมาเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดของทั้งสามวิธีตามปัญหาทดสอบ



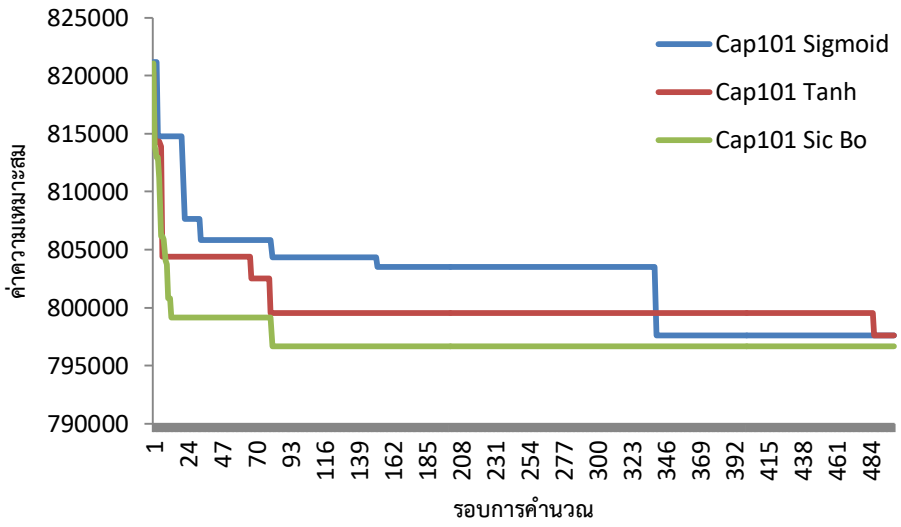
ภาพที่ 13 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap71



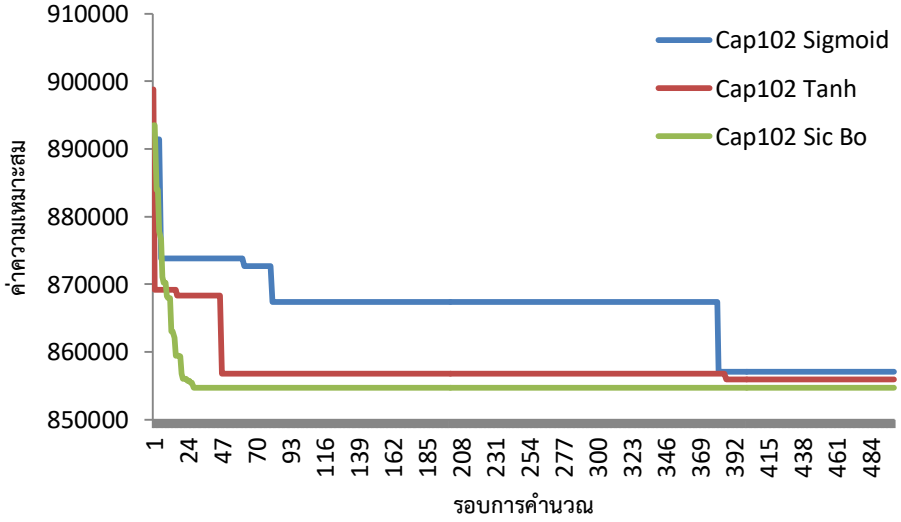
ภาพที่ 14 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap72



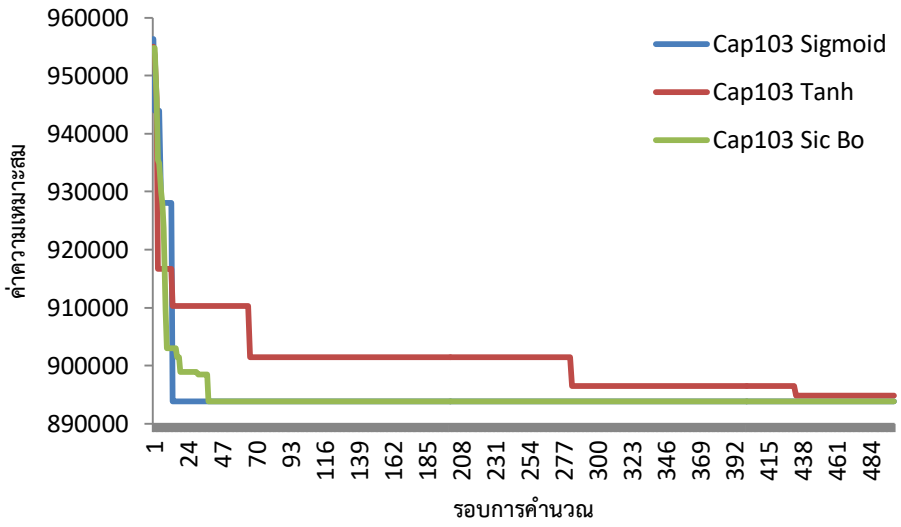
ภาพที่ 15 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap73



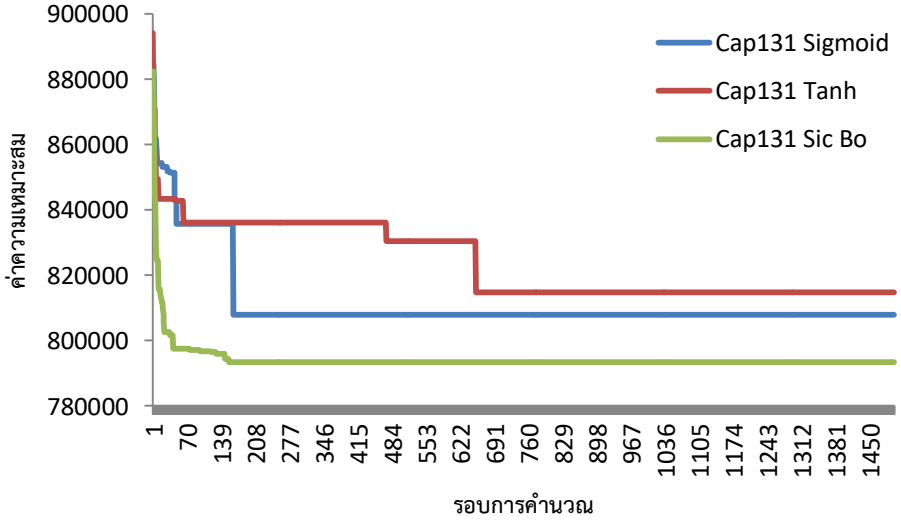
ภาพที่ 16 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap101



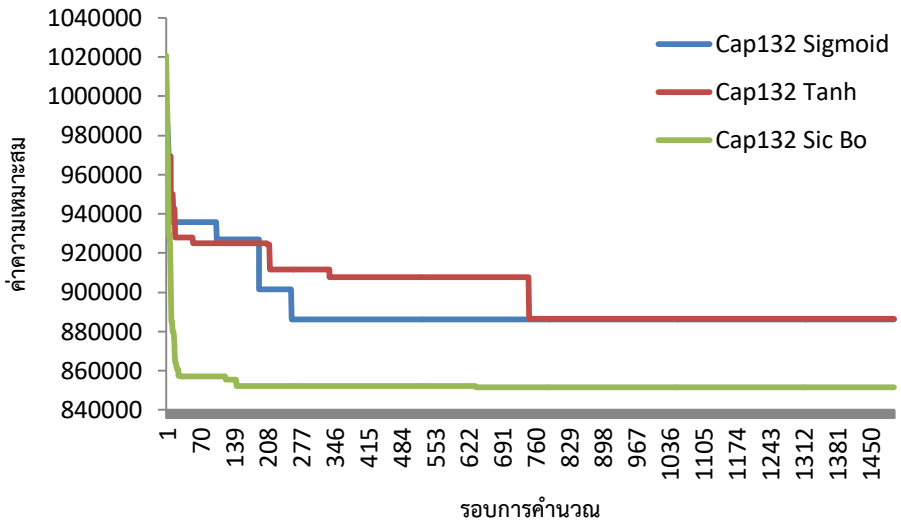
ภาพที่ 17 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap102



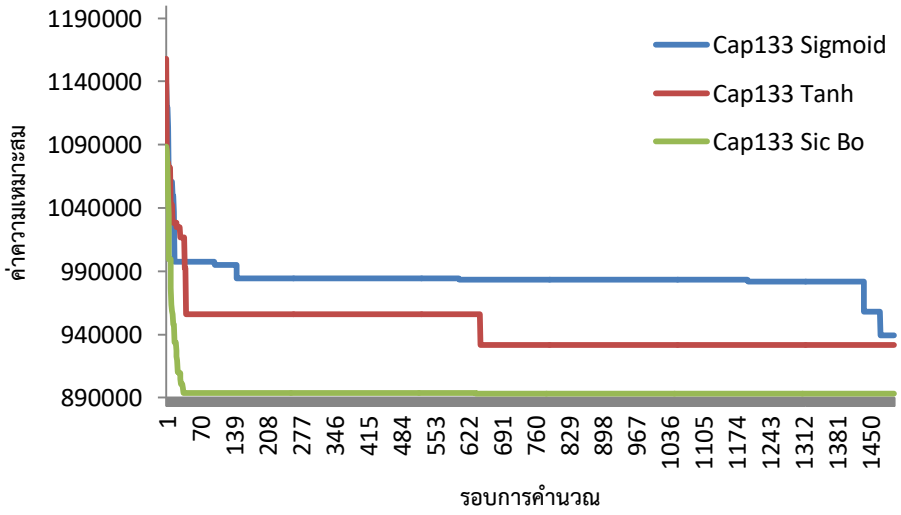
ภาพที่ 18 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap103



ภาพที่ 19 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap131



ภาพที่ 20 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap132



ภาพที่ 21 แสดงการเปรียบเทียบพฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดกับปัญหา Cap133

เมื่อพิจารณาจากภาพที่ 13, 14, และ15 ซึ่งเป็นปัญหาขนาด 16×50 วิธีเกมพนันลูกเต๋าเมื่อเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดของทั้งสองวิธีแทบจะไม่ต่างกัน ซึ่งโดยส่วนใหญ่วิธีเกมพนันลูกเต๋าจะมีพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดดีกว่ายกเว้นภาพที่ 15 ที่วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดก่อน และเมื่อเทียบวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันกับสองวิธีก่อนหน้า จะเห็นว่าวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดเป็นลำดับสุดท้าย

ภาพที่ 16, 17, และ18 เป็นปัญหาขนาด 25×50 วิธีเกมพนันลูกเต๋าเมื่อเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน จะเห็นว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋าจะลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดในรอบการทำงานก่อนหน้าที่อีกสองวิธีที่เหลือลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุด ยกเว้นภาพที่ 18 ที่วิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันเข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุดได้ไวกว่า

ภาพที่ 19, 20, และ21 เป็นปัญหาขนาด 50×50 วิธีเกมพนันลูกเต๋าเมื่อเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน จะเห็นว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋ามีพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดดีกว่าอย่าชัดเจน เนื่องจากวิธีเกมพนันลูกเต๋าลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดทั้งสามปัญหา แต่วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันไม่ลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดเลยทั้งสามปัญหา หมายความว่าทั้งสองวิธีติดอยู่กับคำตอบที่เหมาะที่สุดเฉพาะที่

วิธีเกมพนันลูกเต๋าเมื่อเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันจะมีพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดไม่ต่างกันมากสำหรับปัญหาขนาดเล็ก (16×50) แต่เมื่อเป็นปัญหาขนาดกลาง (25×50) ทั้ง 3 วิธีสามารถลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดได้แต่วิธีเกมพนันลูกเต๋าเริ่มจะเข้าใกล้สถานะคงตัวได้เร็วกว่าอีก 2 วิธี และเมื่อเจอปัญหาขนาดใหญ่ (50×50) วิธีเกมพนันลูกเต๋ามีพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดดีกว่าอย่างชัดเจนเนื่องจากสามารถเข้าใกล้สถานะคงตัวในรอบการทำงานที่ไม่มากทำให้มีความเร็วในการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุด (Speed of Convergence) ที่ดี

4.2.5 การวิเคราะห์เวลาในการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง

ในการวิเคราะห์เวลาการทำงานของขั้นตอนวิธีการที่เข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธี ผู้วิจัยได้เก็บเวลาในการทำงานของขั้นตอนวิธีการ โดยให้ขั้นตอนวิธีการในแต่ละวิธีเข้ารหัสเลขฐานสองทำงาน 100 รอบ ทดสอบจำนวน 10 ครั้ง กับปัญหาทดสอบทั้ง 9 ปัญหา และนำเวลาที่ได้จากการทดสอบทั้ง 10 ครั้งมาหาค่าเฉลี่ย แสดงไว้ตามตารางที่ 4.1 หลังจากนั้นจะทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีมีประสิทธิภาพในการใช้เวลาการทำงานต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ด้วยวิธีการวิเคราะห์ความแปรแรวนแบบวิธีการทดสอบโดยการจำแนกสองทาง (Two-way ANOVA) หรือ การออกแบบอย่างสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม (Randomized Complete Block Design) และใช้การเปรียบเทียบพหุคูณ (Multiple Comparisons) แบบ Tukey’s test

โดยจะทำการทดสอบสมมติฐานเพื่อทดสอบวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีใช้เวลาในการทำงานแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญหรือไม่ดังนี้

สมมติฐานหลัก (Null Hypothesis: H_0): วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองทั้งสามวิธีใช้เวลาในการทำงานเท่ากัน

$H_0: \tau_{Sigmoid} = \tau_{Tanh} = \tau_{Sic\ Bo}$

สมมติฐานรอง (Alternative Hypothesis: H_1): มีวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองอย่างน้อยสองวิธีใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน

$H_1: \tau_{Sigmoid} \neq \tau_{Tanh} \neq \tau_{Sic\ Bo}$ หรือ มี τ อย่างน้อยคู่หนึ่งที่ไม่เท่ากัน

กำหนดระดับทดสอบที่ 5 % ($\alpha = 0.05$)

ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($\text{Reject } H_0$) ถ้า $P - \text{value} < \alpha$

กำหนดให้ Problem 1 คือ Cap71, Problem 2 คือ Cap72, Problem 3 คือ Cap73, Problem 4 คือ Cap101, Problem 5 คือ Cap102, Problem 6 คือ Cap103, Problem 7 คือ Cap131, Problem 8 คือ Cap132, และ Problem 9 คือ Cap133

กำหนดให้ Method 1 คือ Sigmoid Function Method, Method 2 คือ Hyperbolic Tangent Function Method, และ Method 3 คือ Sic Bo game Method

ตารางที่ 34 แสดงเวลาการทำงานเฉลี่ยของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่เข้ารหัสเลขฐานสองแต่ละวิธี

Problem	potential locations (m)	customers (n)	No. iteration	Method		
				Sigmoid	Tanh	Sic Bo
				Ave. Time (Sec)	Ave. Time (Sec)	Ave. Time (Sec)
Cap71	16	50	100	31.7546875	27.7074219	24.0996094
Cap72	16	50	100	31.0457031	26.0503906	22.8605469
Cap73	16	50	100	29.8230469	24.7546875	19.8875
Cap101	25	50	100	38.3203125	38.6550781	33.6953125
Cap102	25	50	100	37.3121094	36.9050781	31.5925781
Cap103	25	50	100	29.4429688	36.128125	35.953125
Cap131	50	50	100	69.7273438	55.2414063	44.7046875
Cap132	50	50	100	54.5875	44.5914063	42.890625
Cap133	50	50	100	66.9203125	44.1773438	36.5523438

General Linear Model: Computational time versus Method, Problem

Factor	Type	Levels	Values
Method	fixed	3	1, 2, 3
Problem	fixed	9	1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9

Analysis of Variance for Computational time, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Method	2	522.48	522.48	261.24	7.60	0.005
Problem	8	2963.16	2963.16	370.39	10.78	0.000
Error	16	549.77	549.77	34.36		
Total	26	4035.41				

S = 5.86180 R-Sq = 86.38% R-Sq(adj) = 77.86%

ภาพที่ 22 แสดงผลการออกแบบอย่างสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม ใช้การเปรียบเทียบแบบ Tukey's test จากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab

Grouping Information Using Tukey Method and 95.0% Confidence

Method	N	Mean	Grouping
1	9	43.21	A
2	9	37.13	A B
3	9	32.47	B

ภาพที่ 23 แสดงผลการเปรียบเทียบแบบ Tukey's test จากโปรแกรมสำเร็จรูป Minitab

จากตารางที่ 34 ผลการออกแบบอย่างสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม ใช้การเปรียบเทียบแบบ Tukey's test ของวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสอง (Method) จะได้ $P-value$ = 0.005 ที่ระดับทดสอบ α = 0.05 คือ $P-value < \alpha$ ดังนั้น ปฏิเสธสมมติฐานหลัก ($Reject\ H_0$) ที่ α = 0.05 และสามารถสรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่ใช้วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองที่ต่างกันใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน โดยการทำงาน 100 รอบของขั้นตอนวิธีการ วิธีเกมพนันลูกเต๋าใช้เวลาน้อยที่สุดเฉลี่ย 32.47 วินาที ถัดมาคือวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ใช้เวลาเฉลี่ย 37.13 วินาที และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันใช้เวลาเฉลี่ย 43.21 วินาที

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงานและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาควิธีการ “วิธีเกมพนันลูกเต๋า” (Sic Bo Game Method) พร้อมทั้งประยุกต์ใช้วิธีเกมพนันลูกเต๋าในขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องกับปัญหาทดสอบปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิต และทำการทดลองเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องระบบเลขฐานสองวิธีเกมพนันลูกเต๋ากับวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันและวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชัน จากการวิเคราะห์ผลการทดลองพบว่า

5.1.1 วิธีเกมพนันลูกเต๋ามีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าเหมาะที่สุดอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันและวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันด้วย การวิเคราะห์ความแปรปรวนแบบการทดสอบโดยการจำแนกทางเดียว

5.1.2 จากการวิเคราะห์ความแม่นยำ (Accuracy) ด้วยความคลาดเคลื่อนร้อยละ วิธีเกมพนันลูกเต๋ามีความแม่นยำในการหาค่าเหมาะที่สุดมากเมื่อเปรียบเทียบกับอีกสองวิธี เนื่องจากความคลาดเคลื่อนร้อยละเท่ากับ 0% ในทุก ๆ ปัญหาทดสอบ แต่วิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์ฟังก์ชันและวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันมีความคลาดเคลื่อนที่เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อปัญหาทดสอบมีขนาดใหญ่ขึ้น

5.1.3 จากการวิเคราะห์ความสม่ำเสมอ (Consistency) ของค่าเหมาะที่สุดด้วยสัมประสิทธิ์ของการแปรผัน สรุปได้ว่าการทำงานของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่เข้ารหัสเลขฐานสองด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋าในแต่ละครั้งของการทดลองกับปัญหาทดสอบนั้น ๆ มีการกระจายน้อยที่สุดแสดงว่ามีความสม่ำเสมอของค่าเหมาะที่สุดมาก เมื่อเทียบกับวิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองอีก 2 วิธี

5.1.4 จากการวิเคราะห์พฤติกรรมการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะที่สุด สามารถสรุปได้ว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋าเมื่อเทียบกับวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์และวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชันจะมีพฤติกรรมการลู่เข้าสู่

ค่าเหมาะที่สุดไม่ต่างกันมากสำหรับปัญหาขนาดเล็ก (16×50) แต่เมื่อเป็นปัญหาขนาดกลาง (25×50) ทั้ง 3 วิธีสามารถลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดได้แต่วิธีเกมพนันลูกเต๋าเริ่มจะเข้าใกล้สถานะคงตัวได้เร็วกว่าอีก 2 วิธี และเมื่อเจอปัญหาขนาดใหญ่ (50×50) วิธีเกมพนันลูกเต๋ามีพฤติกรรมการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดดีกว่าอย่างชัดเจนเนื่องจากสามารถเข้าใกล้สถานะคงตัวในรอบการทำงานที่ไม่มากทำให้มีความเร็วในการลู่เข้าสู่ค่าเหมาะที่สุด (Speed of Convergence) ที่ดี

5.1.5 จากการเปรียบเทียบด้วยการออกแบบอย่างสุ่มสมบูรณ์ในแต่ละกลุ่ม ใช้การเปรียบเทียบแบบ Tukey's test วิธีเกมพนันลูกเต๋าใช้เวลาในการทำงานเฉลี่ยที่น้อยที่สุด ถัดมาคือวิธีไฮเพอร์โบลิกแทนเจนต์และช้าที่สุดคือวิธีซิกมอยด์ฟังก์ชัน

5.2 วิจารณ์ผลการทดลอง

1.1.1 ขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคสามารถนำมาประยุกต์ใช้หาคำตอบกับปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งแบบไม่มีข้อจำกัดกำลังการผลิตที่เป็นปัญหาค่าไม่ต่อเนื่องได้อย่างเหมาะสม

1.1.2 จากผลการทดลองจะเห็นว่า วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่ "วิธีเกมพนันลูกเต๋า" นำมาประยุกต์ใช้ในการเข้ารหัสตำแหน่งของอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องของขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคได้อย่างมีประสิทธิภาพเมื่อเทียบกับวิธีการอื่น ๆ

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยได้ออกแบบวิธีเกมพนันลูกเต๋าให้ไม่มีการใช้ค่าพารามิเตอร์ในการกำหนดรูปแบบการทำงาน เพื่อหลีกเลี่ยงความซับซ้อนของวิธีการ แต่ผู้วิจัยเห็นว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋าสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์เพื่อปรับรูปแบบการทำงานได้ โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นที่จะออกแต้มลูกเต๋าของค่าความเร่ง a_i^{t+1} ได้

5.3.2 สามารถนำวิธีเกมพนันลูกเต๋าไปประยุกต์ใช้ในขั้นตอนการหาคำตอบเหมาะที่สุดแบบไม่ต่อเนื่องวิธีการเมตาฮิวริสติกหรือฮิวริสติกอื่น ๆ ได้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการนั้น ๆ

5.3.3 สามารถนำขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องที่เข้ารหัสเลขฐานด้วยวิธีเกมพนันลูกเต๋า ไปประยุกต์ใช้หาคำตอบกับปัญหาไม่ต่อเนื่องปัญหาอื่น ๆ ได้

5.3.4 ในงานวิจัยนี้วิธีเกมพนันลูกเต๋าเป็นวิธีการที่ใช้ในการเข้ารหัสเลขฐานสอง (Binary Discretization) แต่ผู้วิจัยเล็งเห็นว่าวิธีเกมพนันลูกเต๋าสามารถที่จะนำไปพัฒนาเป็นวิธีการเข้ารหัสไม่แบบต่อเนื่องเชิงการจัด (Combinatorial Discretization) ได้

รายการอ้างอิง

1. ปิตาคะโส, ร., วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการ โลจิสติกส์. 2554.
2. สุพรรณ สุดสนธิ์, et al., อัลกอริทึมระบบอาณานิคมมดสำหรับการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาด ภายใต้การขนส่งที่มีกรอบเวลาจำกัด. วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม ปีที่ 11 ฉบับที่ 3 กันยายน – ธันวาคม 2558, 2558.
3. Grefenstette, J., et al., Genetic algorithms for the traveling salesman problem. In Proceedings of the first International Conference on Genetic Algorithms and their Applications, 1985. 160, No. 168: p. 160-168.
4. Gendreau, M., A. Hertz, and G. Laporte, A tabu search heuristic for the vehicle routing problem. Management science, 1994. 40(10): p. 1276-1290.
5. Guner, A.R. and M. Sevkli, A discrete particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem. Journal of Artificial Evolution and Applications, 2008.
6. Eberhart, R. and J. Kennedy, Particle swarm optimization. In Proceedings of the IEEE international conference on neural networks 1995, November. 4: p. 1942-1948.
7. Schoene, T., S.A. Ludwig, and R.J. Spiteri, Step-optimized particle swarm optimization. In 2012 IEEE Congress on Evolutionary Computation 2012, June: p. 1-9.
8. Pan, Q.K., M.F. Tasgetiren, and Y.C. Liang, A discrete particle swarm optimization algorithm for the no-wait flowshop scheduling problem. Computers & Operations Research, 2008. 35(9): p. 2807-2839.
9. Krause, J., et al., A survey of swarm algorithms applied to discrete optimization problems. In Swarm Intelligence and Bio-Inspired Computation, 2013: p. 169-191.
10. Rini, D.P., S.M. Shamsuddin, and S.S. Yuhaniz, Particle swarm optimization: technique, system and challenges. International journal of computer applications, 2011. 14(1): p. 19-26.

11. Shi, Y., Particle swarm optimization: developments, applications and resources. In Proceedings of the 2001 Congress on Evolutionary Computation (IEEE Cat. No. 01TH8546), 2001(1): p. 81-86.
12. Aminbakhsh, S.A.M.A.N., Hybrid particle swarm optimization algorithm for obtaining Pareto front of discrete time-cost trade-off problem (Doctoral dissertation). Civil Engineering Department, Middle East Technical University, 2013.
13. Evers, G.I., An automatic regrouping mechanism to deal with stagnation in particle swarm optimization. Doctoral dissertation, University of Texas--Pan American, 2009.
14. Clerc, M., Particle swarm optimization John Wiley & Sons, 2010. 93.
15. Amiri, P., Discrete particle swarm optimization for flexible flow line scheduling. Clemson University, ProQuest Dissertations Publishing, 2015.
16. Eberhart, R.C. and Y. Shi, Comparing inertia weights and constriction factors in particle swarm optimization. In Proceedings of the 2000 congress on evolutionary computation. CEC00 (Cat. No. 00TH8512) 2000. 1: p. 84-88.
17. Kennedy, J. and R.C. Eberhart, A discrete binary version of the particle swarm algorithm. In 1997 IEEE International conference on systems, man, and cybernetics. Computational cybernetics and simulation 1997, October. 5: p. 4104-4108.
18. บทความปริศนาควีนแปดตัว. [cited 2561 4 มีนาคม].
19. Van Den Bergh, F., An analysis of particle swarm optimizers. Doctoral dissertation, University of Pretoria, 2001.
20. Ucara, H. and M.F. Tasgetiren, A particle swarm optimization algorithm for permutation flow shop sequencing problem with the number of tardy jobs criterion. In Proceedings of 5th international symposium on intelligent manufacturing systems, 2006: p. 1110–1120.
21. Congying, L., Huanping, Z., and Y. Xinfeng, Particle swarm optimization algorithm

for quadratic assignment problem. In Proceedings of 2011 International Conference on Computer Science and Network Technology 2011, December. 3: p. 1728-1731.

22. Cornuéjols, G., G. Nemhauser, and L. Wolsey, The Uncapicitated Facility Location Problem. Cornell University Operations Research and Industrial Engineering, 1983.
23. Hu, X., Eberhart, , R. C., and Y. Shi, Swarm intelligence for permutation optimization: a case study of n-queens problem. In Proceedings of the 2003 IEEE Swarm Intelligence Symposium. SIS'03 (Cat. No. 03EX706), 2003, April: p. 243-246.
24. He, S., et al., A particle swarm optimizer with passive congregation. Biosystems, 2004. 78(1-3): p. 135-147.
25. Ho, S.L., et al., A particle swarm optimization-based method for multiobjective design optimizations. IEEE transactions on magnetics, 2005. 41(5): p. 1756-1759.
26. Riget, J. and J.S. Vesterstrøm, A diversity-guided particle swarm optimizer-the ARPSO. Dept. Comput. Sci., Univ. of Aarhus, Aarhus, Denmark, Tech. Rep, 2002. 2.
27. Izakian, H., et al., A discrete particle swarm optimization approach for grid job scheduling. International Journal of Innovative Computing, Information and Control, 2010. 6(9): p. 1-15.
28. Shen, Q., et al., Modified particle swarm optimization algorithm for variable selection in MLR and PLS modeling. QSAR studies of antagonism of angiotensin II antagonists. European Journal of Pharmaceutical Sciences, 2004. 22(2-3): p. 145-152.
29. Wang, L., et al., A novel probability binary particle swarm optimization algorithm and its application. Journal of software, 2008. 3(9): p. 28-35.
30. Lee, S., et al., Modified binary particle swarm optimization. Progress in Natural Science, 2008. 18(9): p. 1161-1166.
31. Karlik, B. and A.V. Olgac, Performance analysis of various activation functions in

generalized MLP architectures of neural networks. International Journal of Artificial Intelligence and Expert Systems, 2011. 1(4): p. 111-122.

32. Chen, H.C. and G.K. Chen, LET ME ROLL SICBO, U.S.P.a.T. Office, Editor. 2011: Washington, DC.

33. J.E.Beasley, OR-Library: distributing test problems by electronic mail. Journal of the Operational Research Society, 1990. 41(11): p. 1069-1072.

ภาคผนวก

การพัฒนาตนเอง

เข้าร่วมงานประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward" ประจำปี 2562 จัดโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วันที่ 29 มีนาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร

GRADUATE SCHOOL
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
Suan Sunandha Rajabhat University
www.grad.ssru.ac.th
SSRU

CONFERENCE SCHEDULE

นำเสนอผลงานวิจัยชื่อ วิธีการเข้ารหัสเลขฐานสองแบบใหม่สำหรับขั้นตอนวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค ในการประชุมวิชาการและนำเสนอผลงานวิจัย ระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ 10 "Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward" ประจำปี 2562 จัดโดย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา วันที่ 29 มีนาคม 2562 ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา กรุงเทพมหานคร

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
ร่วมกับ
มหาวิทยาลัยศิลปากร มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ มหาวิทยาลัยราชภัฏบ้านสมเด็จเจ้าพระยา มหาวิทยาลัยกรุงเทพ
มอบเกียรติบัตรฉบับนี้ให้ไว้เพื่อแสดงว่า

นายพีระ สกลวิทยานนท์

ได้เข้าร่วมงานนำเสนอผลงานวิจัย
การประชุมวิชาการและเสนอผลงานวิจัยระดับชาติและนานาชาติ ครั้งที่ ๑๐
"Global Goals, Local Actions: Looking Back and Moving Forward"
ณ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา
วันที่ ๒๙ มีนาคม ๒๕๖๒

รองศาสตราจารย์ ดร.ฤเดช เกิดวิชัย
อธิการบดีมหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สมเดช รุ่งศรีสวัสดิ์
รองอธิการบดีฝ่ายวิชาการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสวนสุนันทา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ดวงสมร รุ่งสวรรค์โพธิ์
คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	พีระ สกลวิทยานนท์
วัน เดือน ปี เกิด	24 กรกฎาคม 2536
วุฒิการศึกษา	- มัธยมศึกษาโรงเรียนตาคลีประชาสรรค์ อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ - วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ อำเภอเมือง จังหวัดนครปฐม
ที่อยู่ปัจจุบัน	561 ถนนพหลโยธิน อำเภอตาคลี จังหวัดนครสวรรค์ 60140