NUEJ
NARESUAN UNIVERSITY
ENGINEERING JOURNAL

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงชีวภูมิศาสตร์และการประยุกต์ใช้
Biogeography-based Optimisation method and its applications: A survey

สายสัมพันธ์ ซุ้นเจริญ[1] ศรีสัจจา วิทยศักดิ์[2*] ภูพงษ์ พงษ์เจริญ[3*]

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail: [1]saisumpans@gmail.com, [2]srisatjav@nu.ac.th, [3]pupongp@nu.ac.th

บทคัดย่อ

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงชีวภูมิศาสตร์ (Biogeography-based Optimisation: BBO) เป็นหนึ่งในวิธีการทางเมต้าฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ที่ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกในปี พ.ศ. 2551 และได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาหลากหลายแขนง โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับการแก้ปัญหาทางด้านวิศวกรรม บทความวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO โดยสืบค้นบทความที่เกี่ยวข้องจากฐานข้อมูลวิชาการระดับนานาชาติ กล่าวคือ ฐานข้อมูล ISI Web of Science, Scopus และ IEEE Xplore ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2551-2558 โดยอธิบายถึงแนวคิด ขั้นตอน และการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO รวมทั้งการจำแนกลักษณะการทำวิจัย และนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์และสังเคราะห์ ทิศทางและแนวโน้มของการวิจัยในอนาคต

คำสำคัญ: วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงชีวภูมิศาสตร์, เมต้าฮิวริสติกส์, การทบทวนวรรณกรรม

Abstract

Biogeography-based Optimisation (BBO) introduced in 2008 is one of the metaheuristics methods and has been continuously and successfully applied to solve optimisation problems especially in the field of engineering design. This paper presents the survey of BBO-related articles indexed by the international academic databases including ISI Web of Science, Scopus, and IEEE Xplore during 2008-2015. The BBO concept, basic application, classification, critical analysis and synthesis are presented in order to foresee the directions of future research.

Keyword: Biogeography based Optimisation method, Metaheuristics, Literature review.

1. บทนำ

ปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดในความเป็นจริง (Real-world optimisation problem) ส่วนใหญ่จะเป็นปัญหาที่ถูกจัดอยู่ในกลุ่มของปัญหาประเภทเอ็นพีแบบยาก (Non-deterministic Polynomial-time hard; NP-hard) [1] ปัญหาประเภทนี้จะไม่มีวิธีการแก้ปัญหา (Algorithm) ที่มีประสิทธิภาพเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหา และเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาไม่สามารถระบุให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันพหุนามได้ (Non-deterministic Polynomial-time) ตัวอย่างของปัญหาประเภทนี้เช่น ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem; TSP) ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) ปัญหาการจัดตาราง (Scheduling problem) [2] ปัญหาการจัดวางเครื่องจักร (Machine layout problem) [3] และปัญหาการเปรียบเทียบยีนหรือโครโมโซมในวงการแพทย์ (DNA matching) [4]

การแก้ปัญหา NP-hard ด้วยกลุ่มวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม (Conventional Optimisation Algorithms: COA) เช่น วิธีการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) และวิธีการขั้นตอนวิธีขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound) ต้องการเวลานานในการค้นหาคำตอบโดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ อีกแนวทางหนึ่งคือการใช้กลุ่มวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่าคำตอบ (Approximation Optimisation Algorithms: AOA) [5] เพื่อลดเวลาที่ต้องใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal solution) ด้วยการประมาณค่าคำตอบที่ใกล้เคียง (Near optimal solutions) ทั้งนี้วิธีการในกลุ่ม AOA นั้นสามารถแบ่งได้อีก 2 กลุ่มย่อยได้แก่ กลุ่มวิธีการหาคำตอบแบบกำหนดโครงสร้างในการสร้างคำตอบ (Constructive approaches) ซึ่งเป็นกลุ่มวิธีการที่มีรูปแบบเฉพาะในการค้นหาคำตอบสำหรับปัญหาใดปัญหาหนึ่ง เช่น วิธีการเส้นทางวิกฤติ

(Critical Path Method) การวางแผนความต้องการวัสดุ (Material Requirement Planning) และวิธีการจัดลำดับงานด้วยกฎการจัดลำดับ (Sequencing rules) เป็นต้น

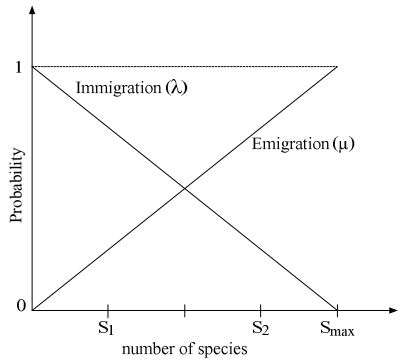
อีกกลุ่มวิธีการหนึ่งที่ได้ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา คือ กลุ่มวิธีการหาคำตอบแบบวนรอบซ้ำ (Iterative approaches) และบ่อยครั้ง วิธีการกลุ่มนี้ ถูกเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า วิธีการเมต้าฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ซึ่งเป็นกลุ่มวิธีที่ใช้กลไกการวนรอบซ้ำเพื่อปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นในแต่ละรอบการค้นหา และใช้การจำลองความฉลาดจากทางธรรมชาติมาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงคำตอบในรอบการวนซ้ำ เช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) [6] วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing: SA) [7] วิธีการค้นหาต้องห้าม (Taboo Search: TS) [8] วิธีการค้างคาว (Bat Algorithm: BA) [9] และวิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงชีวภูมิศาสตร์ (Biogeography-based Optimisation: BBO) [10] เป็นต้น ในกลุ่มวิธีการนี้ วิธีการ BBO ถือว่าวิธีการที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ในทศวรรษปัจจุบัน

วิธีการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงชีวภูมิศาสตร์ (Biogeography-based Optimisation: BBO) ถูกนำเสนอครั้งแรกโดย Simon [10] ในปี พ.ศ. 2551 หลังจากนั้นเป็นต้นมา วิธีการ BBO ได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาหลายประเภท เช่น ปัญหาการคัดเลือกอุปกรณ์ตรวจจับสัญญาณสำหรับการประเมินสภาพเครื่องยนต์ของอากาศยาน [10] ปัญหาการออกแบบการจัดวางเครื่องจักร (Machine layout design problem) [11, 12] ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) [13] ปัญหาการจัดตารางการผลิต (Scheduling problem) [14] เป็นต้น ทั้งนี้ได้มีบทความตีพิมพ์จำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO จากหลายฐานข้อมูลทางวิชาการในระดับนานาชาติ ซึ่งแสดงให้เห็นถึงระดับความนิยมและศักยภาพของวิธีการ BBO เพื่อนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหา

ดังนั้น บทความวิจัยนี้จึงนำเสนอผลการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO โดยจะเริ่มต้นด้วยการนำเสนอแนวคิดของวิธีการ BBO ในลำดับถัดไป ตามด้วยการนำเสนอขั้นตอนการทำงานของวิธีการ BBO ในหัวข้อที่ 3 และการรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO ในหัวข้อที่ 4 หลังจากนั้น นำเสนอการจำแนกลักษณะการทำวิจัยของวิธีการ BBO ในหัวข้อที่ 5 และในส่วนสุดท้ายได้ทำการนำเสนอการวิเคราะห์และสังเคราะห์แนวทางการทำงานวิจัยในอนาคต ในหัวข้อที่ 6 ตามด้วยบทสรุปในหัวข้อที่ 7

2. แนวคิดของวิธีการ BBO

วิธีการ BBO เป็นวิธีที่ได้รับแรงบันดาลใจจากกลไกของการอพยพย้ายถิ่นฐาน (Migration mechanism) ของชนิดพันธุ์ในธรรมชาติของระบบนิเวศใดๆ และบ่อยครั้งที่มีการอพยพย้ายถิ่นฐานไปสู่ถิ่นที่อยู่ใหม่ และอาจเป็นถิ่นที่อยู่ที่ยังไม่เกิดความสมดุลทางธรรมชาติ หรืออาจมีจำนวนของชนิดพันธุ์ที่แตกต่างไปจากเดิมนั้น ย่อมส่งผลให้สิ่งมีชีวิตจำเป็นต้องมีกลไกการเปลี่ยนแปลงหรือกลายพันธุ์ (Mutation mechanism) เพื่อการปรับตัวให้อยู่รอดในสิ่งแวดล้อมใหม่ต่อไป ทั้งนี้ ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการอพยพและจำนวนชนิดพันธุ์ในถิ่นฐานของระบบนิเวศ สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 1



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ของความน่าจะเป็นในการอพยพกับจำนวนชนิดพันธุ์ [10, 15]

จากรูปที่ 1 แกนนอน แสดงถึงจำนวนชนิดพันธุ์ (Number of species) ที่มีความหลากหลายในแต่ละถิ่นที่อยู่ (Habitat) ภายในระบบนิเวศหนึ่งๆ ขณะที่แนวแกนตั้ง แสดงถึงอัตราการอพยพ ซึ่งโดยปกติจะมีทั้งการอพยพออก (Emigration) และอพยพเข้า (Immigration) ทั้งนี้ระดับความสมดุลของชนิดพันธุ์ในแต่ละถิ่นที่อยู่ จะมีผลต่อการย้ายถิ่นฐานของชนิดพันธุ์ จากเส้นกราฟการอพยพออก จะเห็นได้ว่า ถ้าไม่พบว่ามีชนิดพันธุ์ในถิ่นที่อยู่ ย่อมไม่เกิดความน่าจะเป็นของการอพยพออก (μ=0) แต่จะพบการอพยพเข้าเท่านั้น ในทางตรงกันข้าม ถ้าพบว่ามีชนิดพันธุ์ครบทุกชนิด (S_{max}) ในถิ่นที่อยู่แล้ว หรือกล่าวได้ว่าเป็นถิ่นที่อยู่ที่สมบูรณ์ มีค่าดัชนีความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่ (Habitat Suitability Index: HSI) สูง การอพยพเข้าของชนิดพันธุ์เดิมที่มีอยู่แล้ว ย่อมไม่ได้ส่งผลใดๆ จึงไม่ต้องมีความน่าจะเป็นในการเกิดการอพยพเข้า (λ =0)

ตามแนวแกนนอนนั้น จะเห็นตัวอย่างคำตอบ ($Solution_n$; S_n) อยู่หลายคำตอบ เช่น S_1 และ S_2 ซึ่งเป็นคำตอบที่มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ในถิ่นที่อยู่ที่แตกต่างกัน ทั้งนี้ตัวอย่างคำตอบ S_1 เป็นตัวแทนของถิ่นที่อยู่ (Habitat) ที่ไม่ดี ไม่สมบูรณ์ มีค่าดัชนีความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่ต่ำ (Low HSI) มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์ต่ำ หรือขาดสมดุลของชนิดพันธุ์ในถิ่นที่อยู่นั้น จึงควรเปิดโอกาสให้มีความน่าจะเป็นของการอพยพเข้า (λ) สูงขึ้น เพื่อหวังจะเพิ่มระดับความหลากหลายและเร่งการปรับเข้าสู่สมดุลของชนิดพันธุ์ให้เร็วขึ้น

ในทางกลับกัน ตัวอย่างคำตอบ S_2 เป็นตัวแทนของถิ่นที่อยู่ (Habitat) ที่ดีและสมบูรณ์ มีค่าดัชนีความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่สูง (High HSI) มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์สูง กล่าวคือ มีสมดุลของชนิดพันธุ์ในถิ่นที่อยู่นั้นค่อนข้างดี จึงไม่มีความจำเป็นต้องเปิดโอกาสให้มีความน่าจะเป็นของการอพยพเข้าสูงนัก แต่ควรเปิดโอกาสให้มีความน่าจะเป็นของการอพยพออก (μ) เพื่อหวังว่าจะสร้างสมดุลที่ดีของชนิดพันธุ์ (Species) ในถิ่นที่อยู่ (Habitat) นั้นให้เป็นแหล่งขยายชนิดพันธุ์ไปสู่ถิ่นที่อยู่อื่นที่มีระดับความหลากหลายของชนิดพันธุ์ที่ต่ำกว่า ทั้งนี้ความสัมพันธ์ระหว่างความน่าจะเป็นของการอพยพเข้า/ออกและจำนวนชนิดพันธุ์ในถิ่นฐานของระบบนิเวศ ที่แสดงไว้ด้วยรูปที่ 1 นั้น จะเป็นกลไกที่สำคัญและถูกใช้ในขั้นตอนการทำงานของวิธีการ BBO ต่อไป

3. ขั้นตอนการทำงานวิธีการ BBO

การทำงานของวิธีการ BBO [10] แสดงเป็นแผนผังการไหล (Flow chart) ได้ดังรูปที่ 2 ทั้งนี้ขั้นตอนการทำงานของวิธีการดังกล่าว สามารถแบ่งได้ 16 ขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ของวิธีการ BBO ประกอบด้วย จำนวนของถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศ (A group of *n* habitats) จำนวนรอบการวนซ้ำ (Number of iterations: I_{max}) ความน่าจะเป็นของจำนวนคำตอบที่จะเกิดการปรับปรุงคำตอบ (Probability of modification: P_{mod}) และอัตราการกลายพันธุ์สูงสุด (Maximum mutation rate: M_{max}) [10] การกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ส่งผลโดยตรงต่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของวิธีการนี้ ซึ่งจะกล่าวโดยละเอียดในหัวข้อถัดไป

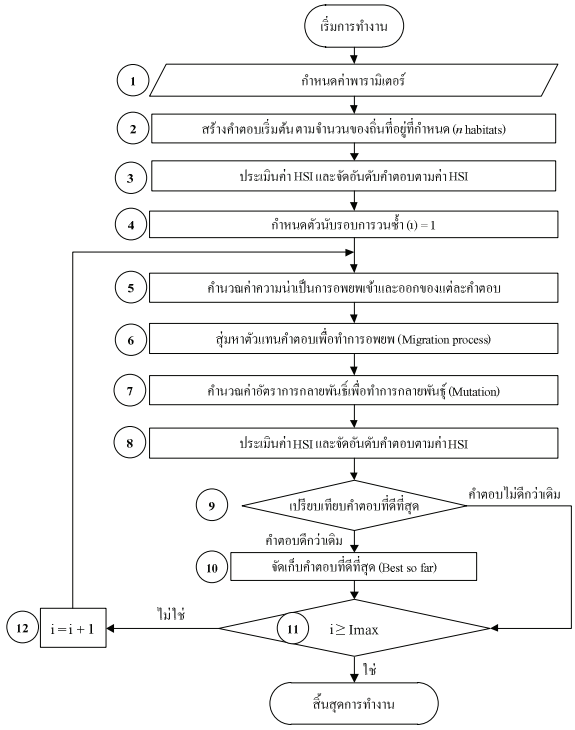
ขั้นตอนที่ 2 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

การสร้างถิ่นที่อยู่ (Habitats) หรือกลุ่มคำตอบเริ่มต้น (Candidate solutions) นั้น จะถูกสร้างตามจำนวนถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศ (*n* habitats) ที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1

ขั้นตอนที่ 3 การประเมินค่าคำตอบ และจัดอันดับตามคุณภาพของแต่ละคำตอบ

คำตอบเริ่มต้นที่ได้สร้างขึ้นไว้ในขั้นตอนที่ 2 จะได้รับการประเมินค่าดัชนีความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่ (Habitat suitability index: HSI) โดยใช้สมการประเมินความเหมาะสม (Fitness function)

คำตอบทั้งหมดภายในระบบนิเวศ จะถูกนำมาจัดเรียงอันดับโดยพิจารณาจากค่าดัชนีความเหมาะสม ที่เรียงลำดับจากน้อยไปมาก ซึ่งอันดับของคำตอบที่ได้นั้น จะถูกนำไปใช้ในขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงคำตอบต่อไป



รูปที่ 2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการ BBO

ขั้นตอนที่ 4 การกำหนดรอบเริ่มต้นของการวนซ้ำ

ทำการกำหนดให้รอบเริ่มต้นของการวนซ้ำ ในรอบการค้นหาที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1 (i =1)

ขั้นตอนที่ 5 การคำนวณค่าความน่าเป็นการอพยพเข้า (λ) และออก (μ) ของแต่ละคำตอบ

ค่าอัตราการอพยพเข้า (λ_k) และค่าอัตราการอพยพออก (μ_k) สำหรับถิ่นที่อยู่ในลำดับที่ k สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 1 และ 2 ตามลำดับ [10]

$$\lambda_k = I\left(1 - \frac{k}{n}\right) \quad (1)$$

$$\mu_k = \frac{Ek}{n} \quad (2)$$

โดย k คือ อันดับของถิ่นที่อยู่ มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง n

n คือ จำนวนถิ่นที่อยู่ทั้งหมดภายในระบบนิเวศ

I คือ ความน่าจะเป็นในการอพยพเข้าสูงสุด (I =1)

E คือ ความน่าจะเป็นในการอพยพออกสูงสุด (E =1)

ขั้นตอนที่ 6 การสุ่มหาคำตอบ เพื่อทำการอพยพ (Migration)

ในขั้นตอนของการอพยพของชนิดพันธุ์ (Species: s) ระหว่างถิ่นที่อยู่นั้น กล่าวคือชนิดพันธุ์อาจจะอพยพออกจากถิ่นที่อยู่หนึ่งไปยังอีกถิ่นที่อยู่หนึ่ง ดังนั้นจึงต้องมีการสุ่มเลือกถิ่นที่อยู่ที่จะมีการอพยพออกของชนิดพันธุ์ (Y_k) โดยใช้หลักความน่าจะเป็นของการอพยพออก และสุ่มเลือกถิ่นที่อยู่ที่เกิดการอพยพเข้า (Z_k) โดยคำนึงถึงความน่าจะเป็นของการอพยพเข้า เมื่อสุ่มเลือกได้แล้ว จึงทำการอพยพชนิดพันธุ์ (s) จากถิ่นที่อยู่หนึ่ง ไปยังอีกถิ่นที่อยู่หนึ่ง [$Z_k(s) \leftarrow Y_k(s)$] ทั้งนี้จำนวนถิ่นที่อยู่ที่จะถูกคัดเลือกทั้งหมดจะต้องมีสัดส่วนที่สอดคล้องกับค่าความน่าจะเป็นของจำนวนคำตอบที่จะถูกปรับปรุงในกระบวนการอพยพ (P_{mod}) [10] เช่น ถ้ากำหนดค่า P_{mod} เท่ากับ 0.9 หมายความว่า จำนวนคำตอบที่จะถูกสุ่มคัดเลือกในกระบวนการอพยพ ควรมีค่าเป็นร้อยละ 90 ของคำตอบทั้งหมด

ขั้นตอนที่ 7 การคำนวณอัตราการกลายพันธุ์

ขั้นตอนการกลายพันธุ์เป็นขั้นตอนการเพิ่มความหลากหลากหลายให้กับถิ่นที่อยู่ (Habitats) ในระบบนิเวศ ซึ่งเป็นการเปิดโอกาสในการพัฒนาความสมบูรณ์ของถิ่นที่อยู่ให้มีความหลากหลายของชนิดพันธุ์สูงขึ้น และหวังว่าจะมีส่วนช่วยให้ค่าดัชนีความเหมาะสมของถิ่นที่อยู่ดีขึ้น (Higher HSI) ทั้งนี้ขั้นตอนการกลายพันธุ์ไม่ได้กำหนดรูปแบบไว้ตายตัว และที่ผ่านมามีรูปแบบการกลายพันธุ์ที่หลากหลาย [10] [13] [16]

ขั้นตอนที่ 8 ประเมินค่า HSI และจัดอันดับคำตอบตามค่า HSI (ให้ดำเนินการเหมือนขั้นตอนที่ 3)

ขั้นตอนที่ 9 – 10 การเปรียบเทียบและจัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุด

เป็นขั้นตอนการเปรียบเทียบคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละรอบ (Local best) กับคำตอบที่ดีที่สุดจากการค้นหาทุกๆรอบที่ผ่านมา (Best so far: BSF) ทั้งนี้เมื่อพบคำตอบที่ดีกว่า จะทำการบันทึกคำตอบ BSF ตัวใหม่ แทนคำตอบเดิมที่แย่กว่า

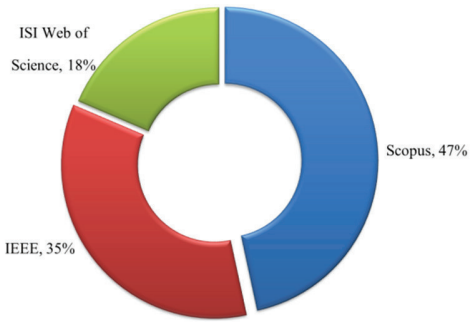
ขั้นตอนที่ 11 – 12 การตัดสินใจเพื่อหยุดการทำงาน

ในทุกรอบของการค้นหาคำตอบของวิธีการ BBO นั้นจะต้องมีการตัดสินใจถึงการหยุดการวนรอบการค้นหา โดยเปรียบเทียบจำนวนรอบการวนซ้ำที่ผ่านมา (i) กับจำนวนรอบของการวนซ้ำสูงสุด (I_{max}) ถ้าค่า i น้อยกว่า I_{max} หมายความว่า การค้นหาคำตอบวิธีการ BBO ยังไม่ครบ จึงวนกลับไปที่ขั้นตอนที่ 5

4. การรวบรวมวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO

วรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO ได้ถูกสืบค้นจากสามฐานข้อมูลวิชาการในระดับนานาชาติ คือ ISI Web of Science, Scopus และ IEEE Xplore โดยสืบค้นครั้งสุดท้าย ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2558 และได้กำหนดช่วงเวลาการสืบค้นในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2551 ซึ่งเป็นปีที่วิธีการ BBO ถูกตีพิมพ์ในวารสารเป็นครั้งแรก ถึงปี พ.ศ. 2558 และได้ใช้คำสำคัญในการสืบค้น คือ Biogeography-based Optimisation หรือ Biogeography Based Optimisation และได้ระบุให้สืบค้นจากชื่อเรื่อง (Article title) บทคัดย่อ (Abstract) หรือจากคำสำคัญ (Keywords) ผลลัพธ์ที่ได้จากการสืบค้นจากทั้ง 3 ฐานข้อมูล ได้ถูกคัดลอกลงในโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อการจัดการเอกสารอ้างอิงที่มีชื่อว่า EndNote เพื่อตรวจสอบบทความที่ซ้ำซ้อนและลบบทความที่เหมือนกันทิ้งไป สุดท้ายจึงพบจำนวนบทความทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO ทั้งสิ้น 414 บทความ ซึ่งจะมีการทำวิจัยที่แตกต่างกันทั้งด้านลักษณะปัญหา และรูปแบบการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO

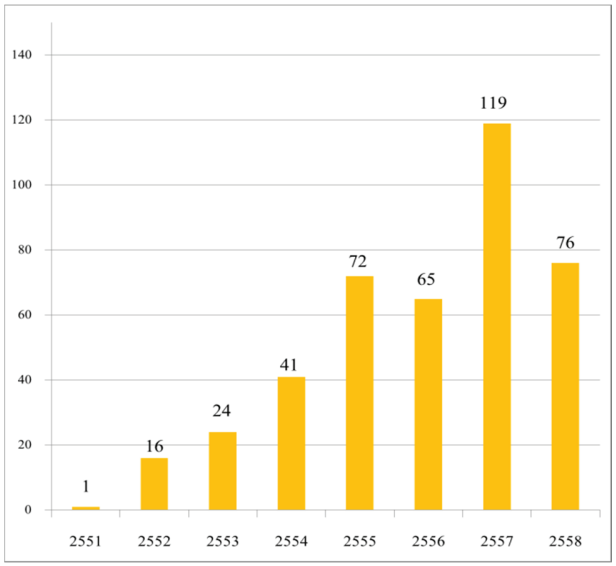
ในจำนวนบทความดังกล่าว เป็นบทความที่ค้นพบจากฐานข้อมูล Scopus คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 47 เป็นบทความจากฐานข้อมูล IEEE Xplore คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 35 และบทความจากฐานข้อมูล ISI Web of Science คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 18 แสดงดังในรูปที่ 3 ทั้งนี้ จากการศึกษาแนวโน้มของจำนวนบทความที่มีการตีพิมพ์เผยแพร่ในแต่ละปี ตั้งแต่ปีแรกที่มีการตีพิมพ์วิธีการ BBO จนถึง ปี 2558 สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4 ซึ่งจะเห็นว่า วิธีการ BBO ได้รับสนใจเพิ่มมากขึ้นอย่างต่อเนื่องในแต่ละปี โดยเฉพาะอย่างยิ่งในปี พ.ศ. 2557 มีจำนวนบทความเพิ่มขึ้นเกือบเท่าตัวเมื่อเปรียบเทียบกับปี พ.ศ. 2556 แต่ยังมีข้อสังเกตว่าจำนวนบทความในปี พ.ศ. 2558 มีจำนวนน้อยลง ทั้งนี้อาจเนื่องมาจาก ฐานข้อมูลวิชาการที่ถูกสืบค้น ณ วันที่ 31 ธันวาคม 2558 นั้น อาจจะยังได้รับข้อมูลบทความที่ตีพิมพ์จากวารสารต่างๆ ไม่ครบถ้วน โดยเฉพาะอย่างยิ่งข้อมูลบทความที่ถูกตีพิมพ์เผยแพร่ในช่วงปลายปี พ.ศ. 2558



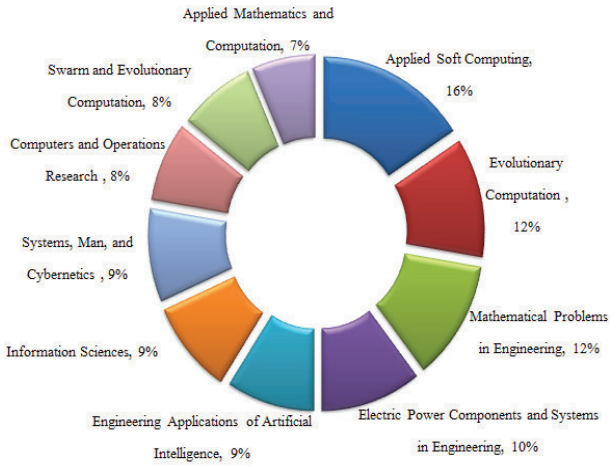
รูปที่ 3 จำนวนบทความในแต่ละฐานข้อมูล

เมื่อจำแนกตามประเภทการตีพิมพ์เผยแพร่ของบทความพบว่ามีบทความเผยแพร่ในการประชุมวิชาการระดับนานาชาติ จำนวน 136 บทความ หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 32.77 ของจำนวน

บทความทั้งหมด ขณะที่มีบทความตีพิมพ์ในวารสารวิชาการระดับนานาชาติ จำนวน 279 บทความ หรือคิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 67.23 โดยวารสารที่มีจำนวนบทความวิจัยตีพิมพ์ที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO สูงสุดเป็นอันดับแรกคือ Applied Soft Computing มีจำนวนทั้งสิ้น 75 บทความ รองลงมาคือ Evolutionary Computation, Mathematical Problems in Engineering, Electric Power Components and Systems และ Engineering Applications of Artificial Intelligence ตามลำดับ ซึ่งวารสารที่มีการตีพิมพ์บทความวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO 10 อันดับแรก แสดงเป็นสัดส่วนดังรูปที่ 5



รูปที่ 4 จำนวนบทความที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO ในแต่ละปี



รูปที่ 5 วารสารที่มีปริมาณการตีพิมพ์บทความที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO มากที่สุด 10 อันดับแรก

5. การจำแนกลักษณะการทำวิจัยของวิธีการ BBO

บทความวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการ BBO สามารถจำแนกโดยใช้เกณฑ์ในการจำแนกที่สำคัญได้ดังนี้ คือ จำแนกโดยใช้ขอบเขตเนื้อหา (Subject areas) ที่กล่าวถึงในบทความ และรูปแบบของการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO ในการแก้ปัญหา โดยบทความทั้ง 414 บทความ ได้ถูกจำแนกตามเกณฑ์ดังกล่าว ดังตารางที่ 1 และอธิบาย พร้อมยกตัวอย่างประกอบ ดังนี้

5.1 ขอบเขตเนื้อหา (Subject areas)

ขอบเขตเนื้อหา (Subject areas) ที่ประยุกต์ใช้วิธีการ BBO แบ่งเป็น 4 กลุ่มย่อย ตามการจำแนกจากฐานข้อมูล Scopus ซึ่งประกอบด้วย กลุ่มชีววิทยาศาสตร์ (Life Sciences) กลุ่มวิทยาศาสตร์สุขภาพ (Health Sciences) กลุ่มสังคมศาสตร์และมนุษย์ (Social Sciences & Humanities) และกลุ่มวิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences) โดยบางบทความที่ถูกค้นพบเฉพาะฐานข้อมูล ISI และ IEEE Xplore จะถูกนำมาจัดเข้าสู่กลุ่มย่อยดังกล่าวเช่นกัน โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

5.1.1 ชีววิทยาศาสตร์ (Life Sciences)

บทความวิจัยในกลุ่มนี้มีจำนวน 12 บทความ ทั้งนี้งานวิจัยด้านชีววิทยาศาสตร์จะเกี่ยวข้องกับการศึกษาโครงสร้างทางชีววิทยาของสิ่งมีชีวิต (Biological) [17] รวมไปถึงงานทางด้านเกษตรกรรม (Agricultural) ชีวเคมี (Biochemistry) ภูมิคุ้มกันวิทยา (Immunology) เภสัชวิทยา (Pharmacology) พิษวิทยา (Toxicology) เป็นต้น ตัวอย่างบทความที่ประยุกต์ใช้วิธีการ BBO แก้ปัญหาทางด้านชีววิทยาศาสตร์ เช่น งานวิจัยของ Liu et al. [18] ประยุกต์ใช้วิธีการ BBO เพื่อการพัฒนาประสิทธิภาพการวินิจฉัย และจัดหมวดหมู่โรคมะเร็งด้วยการวิเคราะห์ข้อมูลที่มีความซับซ้อนทางชีววิทยา เพื่อให้ได้มาซึ่งตัวบ่งชี้ทางชีวภาพ (Biomarker) จากการค้นหาและระบุซับเซตของยีนที่มีความผิดปกติ จากจำนวนยีนตัวอย่างที่เก็บมาทั้งหมด

5.1.2 วิทยาศาสตร์สุขภาพ (Health Sciences)

บทความวิจัยในกลุ่มนี้มีจำนวน 6 บทความ งานวิจัยด้านนี้จะเกี่ยวข้องกับศาสตร์ทางการแพทย์ การพยาบาล ทันตแพทย์ สัตวศาสตร์ และศาสตร์ทางด้านสุขภาพอื่นๆ ยกตัวอย่างเช่น งานวิจัยของ Srivastava et al. [19] ประยุกต์ใช้วิธีการ BBO ในการตรวจสอบความถูกต้องของเปปไทด์ ในการระบุโมเลกุลของสารประกอบหลักกลุ่ม 1 ที่สามารถทำให้เนื้อเยื่อเข้ากันได้ (Major Histocompatibility Complex Class I) ซึ่งการตรวจสอบความถูกต้องของเปปไทด์ เป็นสิ่งสำคัญสำหรับการผลิตวัคซีนที่มีประสิทธิภาพต่อการรักษาโรคที่เกี่ยวข้องกับระบบภูมิคุ้มกันของร่างกาย

ตารางที่ 1 ตารางสรุปการจำแนกบทความที่ได้สืบค้นในช่วง 8 ปีที่ผ่านมา (พ.ศ. 2551 ถึง พ.ศ. 2558)

หัวข้อ	รายละเอียด	จำนวน	หมายเลขอ้างอิงบทความ
ขอบเขตเนื้อหา (Subject areas)	ชีววิทยาศาสตร์ (Life Sciences)	12	18-29
	วิทยาศาสตร์สุขภาพ (Health Sciences)	6	19, 22, 23, 25, 27, 28
	สังคมศาสตร์และมนุษย์ (Social Sciences & Humanities)	40	15, 19, 21-23, 27, 28, 30-62
	วิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences)	367	10, 13, 14, 16, 63-253, 288, 286-431, 254-425
รูปแบบการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO	การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO แบบดั้งเดิม (Conventional BBO)	164	13, 14, 21, 24, 25, 27-29, 31, 36, 39, 48, 49, 53, 57-60, 62, 63, 66, 74-76, 79-81, 83, 84, 87, 92-95, 97-102, 109-111, 118, 122, 124, 128, 132, 135, 137, 140, 142-144, 147, 149-151, 153, 156-158, 162, 164-167, 171-173, 175, 177-179, 182-188, 193-195, 197, 198, 200, 202, 203, 205, 211-214, 217, 220, 223, 224, 226-228, 231, 234, 236, 238, 240, 242, 243, 248, 249, 254, 256, 259, 263, 266, 268, 269, 274, 282, 285, 290, 295, 297, 299, 300, 303, 308, 313, 315, 318, 323-325, 337, 339, 340, 342, 356-358, 363, 366, 375, 377, 378, 380, 382, 386, 389, 393, 395, 396, 399, 404-409, 411, 414, 416, 418, 426
	การปรับปรุงวิธีการ BBO โดยการปรับแต่ง (Modification) กระบวนการ	99	16, 18, 20, 30, 34, 37, 43, 46, 67, 68, 71, 89-91, 105, 112, 114, 115, 119, 120, 123, 126, 130, 133, 136, 145, 148, 155, 160, 176, 189-191, 206, 207, 215, 222, 225, 229, 230, 235, 237, 247, 250-252, 255, 257, 262, 265, 270-273, 278, 279, 284, 286, 288, 289, 291, 293, 294, 298, 309, 316, 317, 319, 333-335, 346-348, 353, 355, 359, 362, 365, 371, 373, 374, 384, 390, 392, 398, 400, 401, 403, 410, 412, 413, 415, 417, 421-425
	การนำวิธีการ BBO ไปผสมผสาน (Hybridisation) กับวิธีการหาคำตอบอื่น	94	19, 22, 23, 26, 32, 33, 35, 41, 45, 52, 54, 55, 61, 72, 78, 85, 86, 88, 96, 103, 104, 106-108, 113, 117, 121, 129, 131, 134, 138, 141, 146, 152, 154, 159, 161, 163, 170, 199, 204, 208-210, 216, 218, 219, 221, 232, 241, 246, 253, 258, 260, 264, 276, 277, 280, 281, 292, 296, 301, 302, 305, 306, 310-312, 314, 322, 326, 328-331, 338, 341, 343-345, 350-352, 361, 367, 369, 379, 387, 388, 391, 394, 397, 419, 420

5.1.3 สังคมศาสตร์และมนุษย์ (Social Sciences & Humanities)

บทความวิจัยในกลุ่มนี้มีจำนวน 40 บทความ อย่างเช่น Chatterjee et al. [59] นำเสนอเทคนิคการแบ่งภาพบนพื้นฐานของเส้นแบ่งสามระดับ (Three-level thresholding based image segmentation technique) สำหรับใช้แบ่งภาพสแกนส่วนหัวมนุษย์ที่ได้จากเครื่องซีทีสแกน (CT-Scan) โดยได้นำวิธีการ BBO เข้ามาแบ่งส่วนของภาพสแกนเพื่อหาเส้นแบ่ง (Three-level thresholding) ที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังพบงานวิจัยที่ประยุกต์ใช้วิธีการ BBO เพื่อการบูรณะรูปภาพ (Image restoration) [87] เพื่อใช้แก้ปัญหาการจับคู่รูปภาพ (Image matching problem) [249] เพื่อพัฒนาประสิทธิภาพการประเมินสิ่งเคลื่อนไหวในการเข้ารหัสวีดีทัศน์ (Motion estimation in video encoding) [132, 193]

5.1.4 วิทยาศาสตร์กายภาพ (Physical Sciences)

การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO มีขอบเขตเนื้อหาที่เกี่ยวข้องกับวิทยาศาสตร์กายภาพมากที่สุดถึง 367 บทความ ดังตารางที่ 1 งานวิจัยในกลุ่มนี้จะเป็นการศึกษาในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับสิ่งไม่มีชีวิต เช่น วิศวกรรมศาสตร์ คณิตศาสตร์ ฟิสิกส์ เคมี วัสดุ สิ่งแวดล้อม พลังงาน โลก ดาวเคราะห์ และดวงดาว หรือเป็นศาสตร์ที่เกิดจากการผสมผสานองค์ความรู้ที่กล่าวถึงข้างต้น (Multidisciplinary) ดังตัวอย่างต่อไปนี้

การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO ในด้านไฟฟ้า-อิเล็กทรอนิกส์ เช่น การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO แก้ปัญหาการจ่ายโหลดอย่างประหยัดในระบบไฟฟ้ากำลัง [37, 63-66] หรือในระบบไฟฟ้ากำลังที่คำนึงถึงความสูญเสียจากการส่งผ่านในระบบไฟฟ้า [133, 135] การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO กับปัญหาด้านระบบโครงข่ายไร้สาย เช่น ปัญหาในอุปกรณ์ตรวจจับแบบไร้สาย (Wireless sensor networks) [156, 157] ปัญหาการประเมินค่าพารามิเตอร์ในระบบเรดาร์ MIMO (Parameter Estimation in MIMO Radar) [223] ปัญหาในระบบวิทยุ (Radio system) [101] การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO กับการออกแบบมอเตอร์ในระบบไฟฟ้ากระแสตรง (DC motor) [136] การออกแบบเครื่องจักรกล [361] การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO กับปัญหาทางด้านสายอากาศ (Antenna) ที่พิจารณาถึงการกำหนดรูปแบบกระจายคลื่นของสายอากาศ (Antenna radiation patterns) [70, 71] การออกแบบสายอากาศทั่วไป [25, 28] การออกแบบสายอากาศแบบยากิ-อูดะ (Yagi-Uda) [97, 98] การออกแบบสายอากาศที่ไม่มีการกำหนดรูปแบบตายตัว (Non-uniform circular antenna) [124, 128]

การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO กับปัญหาในระบบควบคุม [300, 393] เช่น การประยุกต์ใช้ในระบบควบคุมแบบ สัดส่วน – ปริพันธ์ – อนุพันธ์ (Proportional – Integral – Derivative Controller: PID Controller) ซึ่งเป็นระบบควบคุมอัตโนมัติที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด ด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบที่ขึ้นอยู่กับตัวแปร 3 ค่า คือ ค่าสัดส่วน ปริพันธ์ และอนุพันธ์ ค่าสัดส่วนกำหนดจากผลของความผิดพลาดในปัจจุบัน การกำหนดค่าปริพันธ์อยู่บนพื้นฐานของผลรวมความผิดพลาดที่พึ่งผ่านพ้นไป ขณะที่การกำหนดค่าอนุพันธ์อยู่บนพื้นฐานของอัตราการเปลี่ยนแปลงของค่าความผิดพลาด น้ำหนักที่เกิดจากการรวมกันของทั้งสามนี้ จะใช้ในการปรับกระบวนการให้ค่าผิดพลาดเหลือค่าน้อยที่สุด

การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO กับปัญหาในกลุ่มวิทยาศาสตร์กายภาพอื่นๆ เช่น การจัดตารางสำหรับพื้นที่การผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible flow shop) [210] ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบยืดหยุ่นสำหรับกระบวนการผลิตแบบไม่ต่อเนื่อง (The flexible job shop scheduling problem) [14] ปัญหาการจัดตู้บรรทุกในระบบรางรถไฟแบบฉุกเฉิน (Emergency railway wagon scheduling) [32] การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO กับปัญหาการจัดตารางการผลิต เพื่อการจัดการโครงข่ายไฟฟ้าอัจฉริยะ(Smart grid scheduling) [137, 143] ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) [13] ปัญหาการจัดวางตำแหน่งเครื่องจักรเพื่อประสิทธิภาพการใช้พลังงาน (Energy efficient virtual machine placement) [254] ปัญหาการจัดการเชื้อเพลิงหลัก (Core fuel management) [298] ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) [359] ปัญหาด้านพลังงานนิวเคลียร์ (Nuclear research) [236] ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในระบบน้ำวน (Circulating water system) [343] เป็นต้น

5.2 รูปแบบการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO

รูปแบบการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO สามารถแบ่งได้ 4 รูปแบบ คือ การประยุกต์วิธีการ BBO แบบดั้งเดิม (Conventional BBO) การปรับแต่ง (Modification) กระบวนการของวิธีการ BBO การศึกษาค่าพารามิเตอร์ BBO และการนำวิธีการ BBO ไปผสมผสาน (Hybridisation) กับวิธีการหาคำตอบอื่น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

5.2.1 การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO แบบดั้งเดิม

การแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นสามารถทำได้หลายวิธี ทั้งวิธีที่เป็นกลุ่มวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบดั้งเดิม (Conventional optimisation algorithms: COA) กลุ่มวิธีการหาคำตอบแบบกำหนดโครงสร้างในการสร้างคำตอบ

(Constructive approaches) และกลุ่มวิธีการเมต้าฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) ดังนั้น การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO แบบดั้งเดิมจึงมักจะเกี่ยวข้องกับการทดสอบความสามารถในการค้นหาคำตอบของวิธีการ BBO กับวิธีการอื่นๆ ผ่านปัญหาเทียบเคียง (Benchmarking problems) [198, 283] หรือเพื่อทดสอบการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมปัญหาใหม่ที่เพิ่งถูกนำเสนอด้วยวิธีการเมต้าฮิวริสติกส์ [290, 375]

5.2.2 การปรับแต่งของวิธีการ BBO (BBO modification)

คุณภาพของคำตอบที่ได้จากวิธีการเมต้าฮิวริสติกส์ขึ้นอยู่กับความสมดุลของการสำรวจเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ใหม่ (Exploration หรือ Diversification) และการเลือกผลเฉลยโดยอาศัยความรู้เดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว (Exploitation หรือ Intensification) [435, 436] ดังนั้น การปรับความสมดุลระหว่าง Exploration และ Exploitation จึงเป็นแนวทางการพัฒนาคุณภาพคำตอบ วิธีการแรกที่ใช้ในการปรับสมดุลระหว่าง Exploration และ Exploitation ของวิธีการ BBO คือ การปรับปรุงโดยการปรับแต่งกระบวนการคัดเลือกคำตอบ กระบวนการการอพยพ และกระบวนการกลายพันธุ์ของวิธีการ BBO ดังตัวอย่างต่อไปนี้

งานวิจัยของ Sooncharoen [11] ได้ปรับแต่งกลไกการคัดเลือกคำตอบเข้าสู่ขั้นตอนการอพยพของวิธีการ BBO ด้วยการเพิ่มขั้นตอนการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างคำตอบที่ดีสุด (Best solution) ที่ได้จากรอบการค้นหาปัจจุบัน และคำตอบที่ดีที่สุดจากการค้นหาทุกๆ รอบที่ผ่านมา (Best so far: BSF) ถ้าคุณภาพของคำตอบจากรอบการค้นหาปัจจุบันไม่ดีขึ้นภายในจำนวนรอบการวนซ้ำที่กำหนด จะเปลี่ยนรูปแบบการคัดเลือกคำตอบจากการคัดเลือกตามความน่าจะเป็นไปเป็นการคัดเลือกแบบสุ่ม (Random selection) ทั้งนี้ เพื่อเพิ่มการสำรวจ (Exploration) ในการหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ใหม่ของวิธีการ BBO ให้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ยังสามารถนำรูปแบบการปรับปรุงคำตอบอื่นๆ ที่เคยผ่านการทดลองแก้ปัญหาในลักษณะที่คล้ายคลึงกัน แล้วให้ผลลัพธ์ที่ดีเข้ามาปรับใช้กับวิธีการ BBO [11] เช่น การนำรูปแบบการปรับปรุงคำตอบแบบ 2PECX และ 2ORS [437] ที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการประยุกต์แก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรผ่านวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) [438] โดยได้นำมาประยุกต์ใช้ในวิธีการ BBO ด้วย ซึ่งผลการทดลองพบว่าสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

งานวิจัยของ Li et al. [112] นำเสนอตัวแบบการอพยพรูปไซน์ (Sinusoidal migration model) เพื่อใช้ในขั้นตอนการคัดเลือกคำตอบเข้าสู่กระบวนการอพยพ และใช้กระบวนการกลายพันธุ์แบบเกาส์เซียน (Gaussian mutation operator) โดยมีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาความสามารถในการสำรวจเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ใหม่ (Exploration) ของวิธีการ BBO ที่จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบของวิธีการ BBO

5.2.3 การศึกษาค่าพารามิเตอร์ BBO

การปรับปรุงวิธีการ BBO ด้วยการศึกษาถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม เป็นอีกวิธีการหนึ่งที่ใช้ในการปรับสมดุลระหว่าง Exploration และ Exploitation การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้แต่ละองค์ประกอบของวิธีการแก้ปัญหาสามารถทำงานร่วมกันได้อย่างลงตัว ซึ่งจะนำไปสู่กลไกการค้นหาและการปรับปรุงคำตอบที่มีประสิทธิภาพสูงสุด [439] โดยทั่วไปแล้วองค์ประกอบของวิธีการเมต้าฮิวริสติกส์จะประกอบด้วย ตัวแทนคำตอบ (Representations) และตัวดำเนินการ (Operators) ต่างๆ เช่น ตัวดำเนินการคัดเลือกตัวแทนคำตอบ ตัวดำเนินการปรับปรุงคำตอบ ตัวดำเนินการเพื่อตรวจสอบเงื่อนไขต่างๆ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

งานวิจัยของ Attar et al. [199] กล่าวว่า คุณภาพของวิธีการเมต้าฮิวริสติกส์ขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ จึงทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการประยุกต์ใช้วิธีการ BBO เพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางสำหรับการทำงานไหลเลื่อนแบบยืดหยุ่น (Hybrid flexible flowshop scheduling problem) ด้วยวิธีการแสดงผลตอบสนองแบบโครงร่างพื้นผิว (Response surface methodology) ขณะที่งานวิจัยของ Sooncharoen [11] ได้ทำการค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ด้วยวิธีการแฟคทอเรียลเต็มรูปแบบ (Full factorial design)

งานวิจัยของ Dutta et al. [367] ใช้การทดลองแบบลองผิดลองถูก (Trial and error method) เพื่อเลือกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ BBO ที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal power flow problem) เนื่องจากทดสอบแล้วพบว่า ประสิทธิภาพของวิธีการ BBO ขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์ที่กำหนด

งานวิจัยของ Berghida and Boukra [359] กล่าวไว้ว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับวิธีการแก้ปัญหา (Algorithm) มีผลอย่างมากต่อผลลัพธ์สุดท้ายที่ได้ โดยแต่ละปัญหาจะมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแตกต่างกันไป งานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการปีนเขา (Hill Climbing Approach) เพื่อค้นหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับวิธีการ BBO ที่ถูกพัฒนาขึ้นจากวิธีการแบบดั้งเดิม ในการประยุกต์ใช้แก้ปัญหาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle routing problem) ที่เรียกว่าวิธีการ An Enhanced Biogeography-based Optimisation (EBBO)

5.2.4 การนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการค้นหาคำตอบแบบอื่น (Hybridisation)

การนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการหาคำตอบอื่นเป็นอีกหนึ่งวิธีในการปรับสมดุลของวิธีการ BBO เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการค้นคำตอบ ทั้งนี้ควรคำนึงถึงการนำจุดแข็งของแต่ละวิธีมาผสมผสานกัน อย่างเช่น การนำวิธีการ BBO ผสมผสานกับวิธีการ Differential Evolution (DE) ด้วยแนวคิดการนำจุดเด่นด้าน Exploitation ของวิธีการ BBO มาผสมผสานกับจุดเด่นด้าน Exploration ของวิธีการ DE เรียกว่าวิธีการ DE/BBO [108] ซึ่งทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ BBO ที่ถูกปรับปรุงมีคุณภาพที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ นอกจากนี้ยังพบการนำวิธีการอื่นๆ มาผสมผสานกับวิธีการ BBO ด้วย เช่น วิธีการหาอาหารของแบคทีเรีย (Bacterial Foraging Algorithm) [72] วิธีการฮาร์โมนีเซิร์ช (Harmony Search Algorithm) [246, 440] วิธีการอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony) [218] วิธีการวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) [78, 108] ที่มีจุดแข็งด้าน Exploration เพื่อรวมเข้ากับวิธีการ BBO ซึ่งมีจุดแข็งด้านการเลือกผลเฉลยโดยอาศัยความรู้เดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว (Exploitation)

6. การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล

การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO จำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนให้เหมาะสมกับสภาพปัญหา โดยมุ่งหวังให้ได้คุณภาพของคำตอบที่ดีที่สุด คุณลักษณะของปัญหาที่แตกต่างกันมีผลต่อความสามารถในการค้นหาคำตอบ [441] ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นต้องมีการวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูล เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการ BBO

วิธีการ BBO ถูกนำไปประยุกต์ใช้แก้ปัญหาหลายประเภทตามขอบเขตเนื้อหาทั้ง 4 กลุ่ม ที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ BBO จึงควรมีความเหมาะสมกับปัญหา เพื่อนำไปสู่การปรับปรุงประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบ และอาจส่งผลถึงคุณภาพของคำตอบสุดท้ายที่ได้ ซึ่งจะอธิบายโดยละเอียดในหัวข้อย่อยถัดไป

6.1 ค่าพารามิเตอร์ BBO ที่เหมาะสมกับการประยุกต์ใช้แก้ปัญหา

ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ BBO ประกอบด้วย จำนวนของถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศ (n) จำนวนรอบการวนซ้ำ (I_{MAX}) ความน่าจะเป็นของจำนวนคำตอบที่จะเกิดการปรับปรุงคำตอบ (P_{mod}) และอัตราการกลายพันธุ์สูงสุด (M_{max}) การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้เป็นแนวทางในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ BBO สามารถอธิบายได้ดังนี้

1) จำนวนถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศ (n) หมายถึง จำนวนของตัวแทนคำตอบ (Candidate solutions) ที่จะถูกสร้างขึ้นมา โดยคำตอบอาจจะมีโอกาสเกิดความหลากหลายเพิ่มขึ้น เมื่อจำนวนถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศมีจำนวนมากขึ้น

2) จำนวนรอบการวนซ้ำ (I_{max}) เป็นกำหนดรอบการค้นหาเพื่อให้คำตอบมีโอกาสพัฒนาให้ดีขึ้นในแต่ละรอบ

3) ความน่าจะเป็นของจำนวนคำตอบที่จะเกิดการปรับปรุงคำตอบ (P_{mod}) เป็นการคัดเลือกคำตอบเพื่อนำมาปรับปรุงในกระบวนการอพยพของวิธีการ BBO มีหลักการคือ คำตอบที่ดีกว่ามักจะถูกคัดเลือกตามความน่าจะเป็น เพื่อนำมาเป็นแม่แบบในการถ่ายทอดลักษณะเด่นไปยังคำตอบที่แย่กว่า

4) อัตราการกลายพันธุ์สูงสุด (M_{max})

การกลายพันธุ์เป็นกระบวนการปรับปรุงคำตอบ ที่ต่อเนื่องมาจากกระบวนการอพยพ การกำหนดค่า M_{max} ให้มีค่าสูงจะทำให้ถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศเกิดการกลายพันธุ์อย่างรุนแรง ซึ่งอาจเป็นการทำลายลักษณะเด่นที่ถูกถ่ายทอดมาในขั้นตอนการอพยพ คำตอบจึงไม่เกิดการพัฒนาให้ดีขึ้น

จากการทบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO พบว่าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการกลายพันธุ์ของวิธีการ BBO มีความแตกต่างกัน เช่น งานวิจัยของ Simon [10] ใช้กระบวนการกลายพันธุ์แบบดั้งเดิม งานวิจัยของ Hongwei and Lifang [13] นำตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่ได้รับการปรับแต่งของกระบวนการกลายพันธุ์มาประยุกต์ใช้ และงานวิจัยของ Simon et al. [16] นำเสนอทฤษฎีเพื่อดำเนินกระบวนการหลายพันธุ์โดยใช้หลักการสุ่มค่าเปรียบเทียบ ซึ่งยังไม่มีบทความวิจัยที่นำเสนอผลการศึกษาของความแตกต่างด้านทฤษฎีกระบวนการกลายพันธุ์ที่มีต่อประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบของวิธีการ BBO หรือศึกษาถึงผลของความแตกต่างด้านทฤษฎีกระบวนการกลายพันธุ์ที่มีต่อประเภทและขนาดของปัญหา

ตัวอย่างบทความที่กล่าวถึงผลของค่าพารามิเตอร์ BBO ที่มีต่อประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบของวิธีการ BBO เช่น งานวิจัยของ Sooncharoen et al. [12] ได้ศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับประยุกต์ใช้วิธีการ BBO เพื่อแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรผ่านปัญหาเทียบเคียง (Benchmarking problems) จำนวน 5 ชุดข้อมูล โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE) ซึ่งจากการวิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติสามารถสรุปได้ว่า การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ BBO ในระดับที่แตกต่างกัน ดังตารางที่ 2 จะส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบที่ได้อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติในแต่ละชุดข้อมูล ซึ่งค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละชุดข้อมูลของวิธีการ BBO เพื่อแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร แสดงดังตารางที่ 3

การกำหนดจำนวนถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศและจำนวนรอบ การวนซ้ำ ($n*I_{max}$) นั้น ควรกำหนดให้เหมาะสมกับขนาดของปัญหา ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ จำนวนคำตอบที่เป็นไปได้ย่อมมีจำนวนมาก

จึงต้องการปริมาณการค้นหาคำตอบที่มากตามไปด้วย เพื่อเพิ่มโอกาสการค้นพบคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal solutions) ซึ่งการกำหนดค่าของ $n*I_{max}$ มีผลโดยตรงต่อปริมาณการค้นหาคำตอบในแต่ละรอบและรอบการวนซ้ำ จึงส่งผลต่อเวลาที่ต้องใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยเช่นกัน ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ P_{mod} แนะนำให้กำหนดในระดับสูง หรือให้มีค่ามากๆ เพื่อเพิ่มความน่าจะเป็นในการเลือกถิ่นที่อยู่มาเป็นแม่แบบในการถ่ายทอดลักษณะเด่นไปยังถิ่นที่อยู่ที่แย่กว่า ในส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ M_{max} แนะนำให้กำหนดในระดับต่ำ หรือให้มีค่าน้อยๆ เพื่อลดโอกาสการทำลายลักษณะเด่นที่ถูกถ่ายทอดมาจากกระบวนการอพยพ

ตารางที่ 2 การกำหนดระดับค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ BBO

พารามิเตอร์	ระดับ	ค่าพารามิเตอร์		
		ต่ำ	กลาง	สูง
$n*I_{max}$	3	25/100	50/50	100/25
P_{mod}	3	0.1	0.5	0.9
M_{max}	3	0.1	0.5	0.9

ตารางที่ 3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการ BBO เพื่อแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร

ชุดข้อมูล	$n*I_{max}$	P_{mod}	M_{max}
M10P3	50/50	0.9	0.1
M15P9	25/100	0.5	0.1
M20P5	50/50	0.9	0.1
M30P10	25/100	0.9	0.1
M30P27	25/100	0.9	0.1

หมายเหตุ ชุดข้อมูล M10P3 หมายถึง ชุดข้อมูลนี้มีเครื่องจักร (Machine) 10 เครื่องที่มีขนาดแตกต่างกัน เพื่อใช้ผลิตผลิตภัณฑ์ (Product) 3 ชนิด ที่มีลำดับการใช้งานเครื่องจักรไม่เหมือนกัน

นอกจากนี้ยังมีบทความอื่นๆ ที่มีความสอดคล้องในแนวทางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการ BBO ดังกล่าวอีก เช่น งานวิจัยของ Ying et al. [99] ระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการ BBO เพื่อแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem) โดยที่มีขนาดของประชากร (Population size: *popsize*) เท่ากับ 50 จำนวนรุ่นสูงสุด (Maximum generations: MaxGen) เท่ากับ 5,000 รอบสำหรับทุกชุดข้อมูล ความน่าจะเป็นของจำนวนคำตอบที่จะเกิดการปรับปรุงคำตอบ (Island modification probability: P_{mod}) เท่ากับ 1 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation probability: m_i) เท่ากับ 0.001 และงานวิจัยของ Dutta et al. [367] ระบุค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการ BBO เพื่อแก้ปัญหาการไหลของกำลังไฟฟ้าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal power flow) โดยที่มีจำนวนรอบวนซ้ำ (Iteration cycles) เท่ากับ 100 รอบ ความน่าจะเป็นของจำนวนคำตอบที่จะเกิดการปรับปรุงถิ่นที่อยู่ (Habitat modification probability: P_H) เท่ากับ 1 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Mutation probability: P_m) เท่ากับ 0.005

จะเห็นได้ว่า การศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของงานวิจัยที่กล่าวไว้ข้างต้น ซึ่งได้ใช้วิธีการ BBO ประยุกต์แก้ปัญหาที่แตกต่างกัน แต่กลับมีผลการศึกษาที่สอดคล้องกัน ในกรณีที่ต้องใช้วิธีการ BBO ประยุกต์แก้ปัญหาอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวไว้ข้างต้น จึงควรทำการศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมก่อน เพื่อให้วิธีการ BBO มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบสำหรับโจทย์ปัญหานั้นๆดีที่สุด ทั้งนี้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสามารถวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติอื่นๆ มาประยุกต์ใช้ได้ เช่น วิธีทากูชิ (Taguchi method) หรือการทดลองแบบผสม (Mixture design) เป็นต้น อย่างไรก็ตาม กรณีมีความจำเป็นเร่งด่วนหรือไม่มีเวลาในการศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแก้ปัญหาอื่นๆที่ไม่ได้กล่าวไว้ข้างต้น อาจใช้การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่นำเสนอไว้ข้างต้น เป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ต่อไป

6.2 การปรับปรุงวิธีการ BBO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีขึ้น

การปรับแต่งกระบวนการของวิธีการ BBO และการนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการหาคำตอบอื่นจะนำไปสู่การเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการ BBO ซึ่งกระบวนการอพยพของวิธีการ BBO นั้นเปรียบเสมือน Exploitation เนื่องจากหลักการของกระบวนการอพยพ จะพยายามแทนที่ลักษณะเด่นจากถิ่นที่อยู่ที่สมบูรณ์ไปยังถิ่นที่อยู่ที่มีความสมบูรณ์น้อยกว่าเสมอ จึงเป็นการสร้างคำตอบใหม่โดยอาศัยความรู้เดิมที่มีอยู่ก่อนแล้ว ด้วยเหตุนี้การที่กระบวนการอพยพจะมีการแทนที่ลักษณะเด่นจากคำตอบที่ดีกว่าให้กับคำตอบที่แย่กว่าอยู่เสมอ จะทำให้เกิดการ Exploitation เพื่อปรับปรุงคำตอบให้ลู่เข้าหาคำตอบที่ดีกว่าได้อย่างรวดเร็ว การปรับปรุงคำตอบในลักษณะเช่นนี้ อาจเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้คำตอบที่ถูกปรับปรุงมีลักษณะที่เป็นไปตามคำตอบต้นแบบมากเกินไป ซึ่งอาจกลายเป็นการลดความหลากหลายของถิ่นที่อยู่ในระบบนิเวศได้

กระบวนการกลายพันธุ์ (Mutation) นั้นเปรียบเสมือนการสำรวจเพื่อหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ใหม่ (Exploration) เนื่องจากการกลายพันธุ์จะเปลี่ยนแปลงถิ่นที่อยู่แต่ละถิ่นอย่างเป็นอิสระต่อกัน กล่าวคือ การเปลี่ยนแปลงในแต่ละถิ่นที่อยู่จะไม่ขึ้นกับถิ่นที่อยู่อื่นๆในระบบนิเวศ จึงเป็นการสำรวจเพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ใหม่ ในกรณีที่กระบวนการกลายพันธุ์ไม่มีประสิทธิภาพ จะทำให้

การสำรวจคำตอบที่เป็นไปได้ใหม่ไม่ดีขึ้น อาจส่งผลให้ติดอยู่กับคำตอบเดิมๆ (Local optimum) ดังนั้นการศึกษาวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพการทำงานของวิธีการ BBO สามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

6.2.1 การปรับแต่งกระบวนการของวิธีการ BBO

จุดด้อยของวิธีการ BBO คือการที่กระบวนการอพยพอาจทำให้คำตอบที่ถูกปรับปรุงมีลักษณะที่เป็นไปตามคำตอบต้นแบบมากเกินไป ดังที่ได้อธิบายไว้ข้างต้น เนื่องจากใช้รูปแบบการคัดเลือกคำตอบตามความน่าจะเป็นเพียงอย่างเดียว ดังนั้นควรมีการปรับปรุงให้กลไกการคัดเลือกคำตอบให้มีความแตกต่างออกไปจากเดิม เช่น การใช้รูปแบบการคัดเลือกคำตอบแบบสุ่ม (Random selection) การเพิ่มขั้นตอนตรวจสอบเพื่อเปรียบเทียบคุณภาพคำตอบก่อนตัดสินใจทำการรบกวนคำตอบในกรณีที่คำตอบมีคุณภาพไม่ดีขึ้นตามรอบการวนซ้ำที่กำหนด เพื่อช่วยให้วิธีการ BBO มีความสามารถในการ Exploration มากขึ้นและลดความสามารถในการ Exploitation ให้น้อยลงในขั้นตอนการอพยพ หรือการปรับให้กระบวนการกลายพันธุ์มีประสิทธิภาพหรือมีความรุนแรงมากขึ้นเพื่อให้พื้นที่การค้นหาคำตอบสามารถหลุดไปยังพื้นที่ค้นหาคำตอบใหม่ๆ ได้อยู่เสมอเพื่อเพิ่มโอกาสในการสำรวจหาคำตอบที่เป็นไปได้ใหม่ให้ดีกว่าเดิม เช่น การกำหนดให้มีการปรับค่าพารามิเตอร์ M_{max} เพิ่มขึ้นหรือน้อยลงตามคุณภาพของคำตอบในแต่ละรอบการค้นหา การนำรูปแบบการปรับปรุงคำตอบแบบอื่นๆ เช่น Inversion mutation Insertion mutation K-point flipping [442] Shift change [437] เข้ามาช่วยเพิ่มความหลากหลายในการปรับปรุงคำตอบของกระบวนการกลายพันธุ์ เป็นต้น

6.2.2 การนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการหาคำตอบอื่น (Hybridisation)

การนำวิธีการ BBO มาผสมผสานกับวิธีการหาคำตอบอื่นที่สามารถทดแทนการขาดหายไปของประสิทธิภาพการ Exploration ของวิธีการ BBO ให้ดีขึ้นได้นั้นมักจะเกี่ยวข้องกับการปรับปรุงกระบวนการอพยพ กระบวนการกลายพันธุ์ ดังตัวอย่างที่แสดงในตารางที่ 4

การปรับปรุงวิธีการ BBO ด้วยการนำวิธีการอาณานิคมผึ้งเทียม (Artificial Bee Colony: ABC) จะปรับเปลี่ยนรูปแบบการคัดเลือกคำตอบในกระบวนการอพยพจากการคัดเลือกตามความน่าจะเป็นของวิธีการ BBO มาเป็นการคัดเลือกคำตอบที่ได้จากการแบ่งปันข้อมูลจากการสำรวจคำตอบภายในระบบนิเวศของผึ้งงานจำนวนหนึ่งตามที่กำหนด เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการอพยพมีความสามารถในสำรวจหาคำตอบที่เป็นไปได้ใหม่ที่ดีขึ้น นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการหาคำตอบอื่น เช่น วิธีวิวัฒนาการโดยใช้ผลต่าง (Differential Evolution: DE) จะนำกลไกการสร้างคำตอบใหม่ที่มีประสิทธิภาพของวิธี DE มาปรับใช้ในกระบวนการกลายพันธุ์เพื่อช่วยให้กระบวนการกลายพันธุ์สามารถสร้างสำรวจหาคำตอบที่เป็นไปได้ใหม่ได้ดียิ่งขึ้น นอกจากนี้ควรมีการนำวิธีการหาคำตอบอื่นๆ ที่ยังไม่เคยมีการนำมาผสมผสานกับวิธีการ BBO เช่น วิธีการชัฟเฟิลฟอร์กลิปปิ้ง (Shuffled Frog Leaping Algorithm) [443] วิธีการค้นหาแบบนกกาเหว่า (Cuckoo Search Algorithm) [444] เป็นต้น

ดังนั้น การนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการหาคำตอบอื่น หรืองานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับแต่งกระบวนการหาคำตอบของวิธีการ BBO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการ BBO ในรูปแบบปกติ จึงเป็นแนวทางการทำวิจัยอีกทางเลือกหนึ่งที่น่าสนใจที่จะศึกษาค้นคว้าต่อไป

ตารางที่ 4 ตัวอย่างการปรับปรุงวิธีการ BBO ในกระบวนการต่างๆ

กระบวนการ	หมายเลขอ้างอิงบทความ
อพยพ	61, 68, 85, 115, 117, 119, 134, 204, 206, 257, 258, 262, 359
กลายพันธุ์	114, 131, 255
อพยพและกลายพันธุ์	107, 112, 134, 280

7. สรุป

บทความวิจัยนี้ได้นำเสนอถึงแนวคิดวิธีการ BBO ซึ่งเป็นหนึ่งในวิธีการทางเมต้าฮิวริสติกส์ที่มีกลไกการค้นหาและพัฒนาคำตอบผ่าน 2 กระบวนการหลักคือ กระบวนการอพยพ และกระบวนการกลายพันธุ์ รวมทั้ง นำเสนอถึงลำดับการทำงานของวิธีการ BBO การทบทวนวรรณกรรม การจำแนกลักษณะการทำวิจัยของวิธีการ BBO การวิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อมูลจากการทบทวนวรรณกรรม เพื่อนำเสนอถึงแนวทางการทำวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการ BBO ในอนาคต

การประยุกต์ใช้วิธีการ BBO ต้องมีการปรับแต่งให้เหมาะสมกับประเภทของปัญหา เพื่อให้ได้คุณภาพของคำตอบสุดท้ายที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถทำได้โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมให้กับวิธีการ BBO ก่อนนำไปประยุกต์ใช้งาน และการปรับปรุงวิธีการ BBO เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีขึ้นทั้งที่เป็นการปรับแต่งกระบวนการของวิธีการ BBO รวมไปถึงการนำวิธีการ BBO ไปผสมผสานกับวิธีการค้นหาคำตอบอื่น

8. เอกสารอ้างอิง

[1] Talbi, E.-G., *"Metaheuristics: from design to implementation"*. Vol. 74. 2009: John Wiley & Sons.

[2] Lenstra, J.K. and Kan, A., *"Complexity of vehicle routing and scheduling problems"*. Networks, 1981. 11(2): p. 221-227.

[3] Anjos, M.F., Kennings, A., and Vannelli, A., *"A semidefinite optimization approach for the single-row layout problem with unequal dimensions"*. Discrete Optimization, 2005. 2(2): p. 113-122.

[4] Wang, Z., Ji, Z., Su, Z., Wang, X., and Zhao, K., *"Solving the maximal matching problem with DNA molecules in Adleman-Lipton model"*. International Journal of Biomathematics, 2016. 9(2).

[5] Pongcharoen, P., Stewardson, D.J., Hicks, C., and Braiden, P.M., *"Applying designed experiments to optimize the performance of genetic algorithms used for scheduling complex products in the capital goods industry"*. Journal of Applied Statistics, 2001. 28(3-4): p. 441-455.

[6] Goldberg, D.E. and Holland, J.H., *"Genetic Algorithms and Machine Learning"*. Machine Learning. 3(2): p. 95-99.

[7] Kirkpatrick, S., Gelatt, C.D., and Vecchi, M.P., *"Optimization by Simulated Annealing"*. Science, 1983. 220(4598): p. 671-680.

[8] Glover, F., *"Future paths for integer programming and links to artificial intelligence"*. Computers & Operations Research, 1986. 13(5): p. 533-549.

[9] Yang, X.-S., *"A New Metaheuristic Bat-Inspired Algorithm"*, in *Nature Inspired Cooperative Strategies for Optimization (NICSO 2010)*, J.R. González, et al., Editors. 2010, Springer Berlin Heidelberg: Berlin, Heidelberg. p. 65-74.

[10] Simon, D., *"Biogeography-Based Optimization"*. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 2008. 12(6): p. 702-713.

[11] Sooncharoen, S., *"Application of Biogeography-based Optimisation method for solving machine layout problem"*, Master's degree thesis, in Industrial Engineering, 2015, Naresuan University: Phitsanulok, Thailand.

[12] Sooncharoen, S., Vitayasak, S., and Pongcharoen, P., *"Application of Biogeography-Based Optimisation for Machine Layout Design Problem"*. International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research, 2015. 4(3): p. 251-254.

[13] Hongwei, M. and Lifang, X. *"Biogeography based optimization for Traveling Salesman Problem"*. in *Natural Computation (ICNC), 2010 Sixth International Conference on*. 2010.

[14] Rahmati, S.H.A. and Zandieh, M., *"A new biogeography-based optimization (BBO) algorithm for the flexible job shop scheduling problem"*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2012. 58(9-12): p. 1115-1129.

[15] Simon, D., Rarick, R., Ergezer, M., and Du, D., *"Analytical and numerical comparisons of biogeography-based optimization and genetic algorithms"*. Information Sciences, 2011. 181(7): p. 1224-1248.

[16] Simon, D., Omran, M.G.H., and Clerc, M., *"Linearized biogeography-based optimization with re-initialization and local search"*. Information Sciences, 2014. 267: p. 140-157.

[17] Senda, T., *"Structural study in the platform for drug discovery, informatics, and structural life science"*. Yakugaku Zasshi, 2016. 136(3): p. 449-458.

[18] Liu, B., Tian, M., Zhang, C., and Li, X., *"Discrete biogeography based optimization for feature selection in molecular signatures"*. Molecular Informatics, 2015. 34(4): p. 197-215.

[19] Srivastava, A., Ghosh, S., Anantharaman, N., and Jayaraman, V.K., *"Hybrid biogeography based simultaneous feature selection and MHC class I peptide binding prediction using support vector machines and random forests"*. Journal of Immunological Methods, 2013. 387(1-2): p. 284-292.

[20] Zemali, E.A. and Boukra, A., *"Resolving the multiple sequence alignment problem using biogeography-based optimization with multiple populations"*. Journal of Bioinformatics and Computational Biology, 2015. 13(4).

[21] Yong, L., Liu, S., Deng, F., Xiong, W., and Zhang, J., *"Computation and application of eigenvalues of the tridiagonal matrix in biogeography-based optimization"*. Information (Japan), 2013. 16(6 A): p. 3327-3333.

[22] Yin, M. and Li, X., *"A hybrid bio-geography based optimization for permutation flow shop scheduling"*. Scientific Research and Essays, 2011. 6(10): p. 2078-2100.

[23] Wang, Z.C. and Wu, X.B., *"Hybrid biogeography-based optimization for integer programming"*. Scientific World Journal, 2014. 2014.

[24] Singh, J. and Goyal, S.K. *"Transmission constrained economic load dispatch using biogeography based optimization"*. in *5th IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research, IEEE ICCIC 2014*. 2014: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[25] Sharaqa, A. and Dib, N., *"Design of Linear and Elliptical Antenna Arrays Using Biogeography Based Optimization"*. Arabian Journal for Science and Engineering, 2014. 39(4): p. 2929-2939.

[26] Mo, H. and Xu, L., *"Research of biogeography particle swarm optimization for robot path planning"*. Neurocomputing, 2015. 148: p. 91-99.

[27] Li, X. and Yin, M., *"Multiobjective Binary Biogeography Based Optimization for Feature Selection Using Gene Expression Data"*. Ieee Transactions on Nanobioscience, 2013. 12(4): p. 343-353.

[28] Jeyali Laseetha, T.S. and Sukanesh, R., *"Certain investigations on the reduction of side lobe level of an uniform linear antenna array using biogeography based optimization technique with sinusoidal migration model and simplified-BBO"*. Sadhana - Academy Proceedings in Engineering Sciences, 2014. 39(1): p. 81-95.

[29] Bi, X.J., Wang, J., and Li, B., *"Orthogonal waveform design for radar based on biogeography-based optimization"*. Jilin Daxue Xuebao (Gongxueban)/Journal of Jilin University (Engineering and Technology Edition), 2014. 44(3): p. 867-873.

[30] Zheng, Y.J., Ling, H.F., and Xue, J.Y., *"Ecogeography-based optimization: Enhancing biogeography-based optimization with ecogeographic barriers and differentiations"*. Computers and Operations Research, 2014. 50: p. 115-127.

[31] Zheng, Y.J., Ling, H.F., Xu, X.L., and Chen, S.Y., *"Emergency scheduling of engineering rescue tasks in disaster relief operations and its application in China"*. International Transactions in Operational Research, 2015. 22(3): p. 503-518.

[32] Zheng, Y.J., Ling, H.F., Shi, H.H., Chen, H.S., and Chen, S.Y., *"Emergency railway wagon scheduling by hybrid biogeography-based optimization"*. Computers and Operations Research, 2014. 43(1): p. 1-8.

[33] Yong, L., Liu, S., Feng, Q., and Zhou, T., *"Hybrid differential evolution with biogeography-based optimization for absolute value equation"*. Journal of Information and Computational Science, 2013. 10(8): p. 2417-2428.

[34] Xiong, G., Shi, D., and Duan, X., *"Enhancing the performance of biogeography-based optimization using polyphyletic migration operator and orthogonal learning"*. Computers & Operations Research, 2014. 41: p. 125-139.

[35] Wang, X. and Duan, H., *"Biologically adaptive robust mean shift algorithm with Cauchy predator-prey BBO and space variant resolution for unmanned helicopter formation"*. Science China-Information Sciences, 2014. 57(11).

[36] Varshney, T., Goel, L., Gupta, D., and Panchal, V.K. *"Efficient resolution of Mixed Pixels using bio-inspired heuristics"*. in *Optimization, Reliabilty, and Information Technology (ICROIT), 2014 International Conference on*. 2014.

[37] Vanitha, M. and Thanushkodi, K. *"Non convex economic load dispatch problem by Efficient Biogeography Based Optimization algorithm"*. in *Current Trends in Engineering and Technology (ICCTET), 2013 International Conference on*. 2013.

[38] Tian-bin, L., Jian-She, K., Yuan-Yuan, L., and Guang-ke, L. *"Imperfect preventive maintenance model*

with two modes of failure". in *Information Management, Innovation Management and Industrial Engineering (ICIII), 2012 International Conference on*. 2012.

[39] Tamjidy, M., Paslar, S., Baharudin, B.T.H.T., Hong, T.S., and Ariffin, M.K.A., *"Biogeography based optimization (BBO) algorithm to minimise non-productive time during hole-making process"*. International Journal of Production Research, 2015. 53(6): p. 1880-1894.

[40] Su, K., Chang, T., and Zhang, L. *"Novel SLAM algorithm for UGVs based BBO-CEPF"*. in *26th Chinese Control and Decision Conference, CCDC 2014*. 2014: IEEE Computer Society.

[41] Sinha, S., Bhola, A., Panchal, V.K., Singhal, S., and Abraham, A. *"Resolving mixed pixels by hybridization of biogeography based optimization and ant colony optimization"*. in *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on*. 2012.

[42] Sinha, A., Das, S., and Panigrahi, B.K., *"A Linear State-Space Analysis of the Migration Model in an Island Biogeography System"*. Systems, Man and Cybernetics, Part A: Systems and Humans, IEEE Transactions on, 2011. 41(2): p. 331-337.

[43] Sayed, M.M., Saad, M.S., Emara, H.M., and Abou El-Zahab, E.E. *"A novel method for PID tuning using a modified biogeography-based optimization algorithm"*. in *Control and Decision Conference (CCDC), 2012 24th Chinese*. 2012.

[44] Savsani, P., Jhala, R.L., and Savsani, V.J., *"Comparative Study of Different Metaheuristics for the Trajectory Planning of a Robotic Arm"*. Systems Journal, IEEE, 2014. PP(99): p. 1-12.

[45] Ren, Z.-w., Wang, Z.-h., and Sun, L.-n., *"A hybrid biogeography-based optimization method for the inverse kinematics problem of an 8-DOF redundant humanoid manipulator"*. Frontiers of Information Technology & Electronic Engineering, 2015. 16(7): p. 607-616.

[46] Panchal, V.K., Goel, S., and Bhatnagar, M. *"Biogeography based land cover feature extraction"*. in *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*. 2009.

[47] Panchal, V.K., Bhugra, D., Goel, S., and Singhania, V. *"Study on the behaviour of BBO over natural terrain features"*. in *Electronics Computer Technology (ICECT), 2011 3rd International Conference on*. 2011.

[48] Mondal, S., Bhattacharya, A., and Dey, S.H.N. *"Emission dispatch solution using biogeography-based optimization with availability of wind power"*. in *India Conference (INDICON), 2012 Annual IEEE*. 2012.

[49] Mirjalili, S., Mirjalili, S.M., and Lewis, A., *"Let a biogeography-based optimizer train your Multi-Layer Perceptron"*. Information Sciences, 2014. 269: p. 188-209.

[50] Ma, H., Simon, D., Fei, M., and Xie, Z., *"Variations of biogeography-based optimization and Markov analysis"*. Information Sciences, 2013. 220: p. 492-506.

[51] Ma, H., *"An analysis of the equilibrium of migration models for biogeography-based optimization"*. Information Sciences, 2010. 180(18): p. 3444-3464.

[52] Lin, J., *"A hybrid biogeography-based optimization for the fuzzy flexible job-shop scheduling problem"*. Knowledge-Based Systems, 2015. 78(1): p. 59-74.

[53] Gupta, N. and Panchal, V.K. *"Artificial intelligence for mixed pixel resolution"*. in *Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS), 2011 IEEE International*. 2011.

[54] Guo, W., Li, W., Zhang, Q., Wang, L., Wu, Q., and Ren, H., *"Biogeography-based particle swarm optimization with fuzzy elitism and its applications to constrained engineering problems"*. Engineering Optimization, 2014. 46(11): p. 1465-1484.

[55] Guo, W., Huang, C., Wang, L., and Wu, Q., *"Hybrid BBO and GA algorithms based on elite operation"*. Journal of Information and Computational Science, 2012. 9(11): p. 2987-2995.

[56] Goel, L., Gupta, D., and Panchal, V.K. *"Performance governing factors of biogeography based land cover feature extraction: An analytical study"*. in

Information and Communication Technologies (WICT), 2011 World Congress on. 2011.

[57] Chutima, P. and Jitmetta, K., *"Adaptive biogeography-based optimisation for two-sided mixed-model assembly line sequencing problems"*. International Journal of Operational Research, 2013. 16(4): p. 390-420.

[58] Chun, F. and Jian-Ping, L. *"Multi-focus image fusion based on nonsubsampled contourlet transform and multi-objective optimization"*. in *Wavelet Active Media Technology and Information Processing (ICWAMTIP), 2012 International Conference on*. 2012.

[59] Chatterjee, A., Siarry, P., Nakib, A., and Blanc, R., *"An improved biogeography based optimization approach for segmentation of human head CT-scan images employing fuzzy entropy"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2012. 25(8): p. 1698-1709.

[60] Boussaid, I., Chatterjee, A., Siarry, P., and Ahmed-Nacer, M., *"Biogeography-based optimization for constrained optimization problems"*. Computers & Operations Research, 2012. 39(12): p. 3293-3304.

[61] Boussad, I., Chatterjee, A., Siarry, P., and Ahmed-Nacer, M., *"Two-stage update biogeography-based optimization using differential evolution algorithm (DBBO)"*. Computers and Operations Research, 2011. 38(8): p. 1188-1198.

[62] Ashrafinia, S., Naeem, M., and Lee, D. *"A low complexity evolutionary algorithm for multi-user MIMO detection"*. in *Computational Intelligence in Multicriteria Decision-Making (MDCM), 2011 IEEE Symposium on*. 2011.

[63] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K. *"Economic Dispatch Solution Using Biogeography-Based Optimization"*. in *India Conference (INDICON), 2009 Annual IEEE*. 2009.

[64] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K. *"Non convex Economic Load Dispatch problem solution using Biogeography-Based Optimization"*. in *Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2009), 8th International Conference on*. 2009.

[65] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K. *"Biogeography-Based Optimization and its application to nonconvex Economic Emission Load Dispatch problems"*. in *Advances in Power System Control, Operation and Management (APSCOM 2009), 8th International Conference on*. 2009.

[66] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Solution of optimal reactive power flow using biogeography-based optimization"*. World Academy of Science, Engineering and Technology, 2009. 39: p. 852-860.

[67] Dawei, D., Simon, D., and Ergezer, M. *"Biogeography-based optimization combined with evolutionary strategy and immigration refusal"*. in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. 2009.

[68] Ergezer, M., Simon, D., and Dawei, D. *"Oppositional biogeography-based optimization"*. in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. 2009.

[69] Haiping, M., Suhong, N., and Man, S. *"Equilibrium species counts and migration model tradeoffs for biogeography-based optimization"*. in *Decision and Control, 2009 held jointly with the 2009 28th Chinese Control Conference. CDC/CCC 2009. Proceedings of the 48th IEEE Conference on*. 2009.

[70] Lohokare, M.R., Pattnaik, S.S., Devi, S., Bakwad, K.M., and Joshi, J.G. *"Parameter calculation of rectangular microstrip antenna using Biogeography-Based Optimization"*. in *Applied Electromagnetics Conference (AEMC), 2009*. 2009.

[71] Lohokare, M.R., Pattnaik, S.S., Devi, S., Panigrahi, K.B., Bakwad, K.M., and Joshi, J.G. *"Modified BBO and calculation of resonant frequency of circular microstrip antenna"*. in *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*. 2009.

[72] Lohokare, M.R., Pattnaik, S.S., Devi, S., Panigrahi, K.B., Das, S., and Bakwad, K.M. *"Intelligent Biogeography-Based Optimization for discrete variables"*. in *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*. 2009.

[73] Ma, H., Li, X., and Lin, S., *"Analysis of migration rate models for biogeography-based optimization"*. Dongnan Daxue Xuebao (Ziran Kexue Ban)/Journal of Southeast University (Natural Science Edition), 2009. 39(SUPPL. 1): p. 16-21.

[74] Rarick, R., Simon, D., Villaseca, F.E., and Vyakaranam, B. *"Biogeography-based optimization and the solution of the power flow problem"*. in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. 2009.

[75] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S. *"Biogeography Based Optimization technique applied to multi-constraints economic load dispatch problems"*. in *Transmission & Distribution Conference & Exposition: Asia and Pacific, 2009*. 2009.

[76] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S. *"Biogeography Based Optimization to solve economic load dispatch considering valve point effects"*. in *Nature & Biologically Inspired Computing, 2009. NaBIC 2009. World Congress on*. 2009.

[77] Simon, D., Ergezer, M., and Dawei, D. *"Population distributions in biogeography-based optimization algorithms with elitism"*. in *Systems, Man and Cybernetics, 2009. SMC 2009. IEEE International Conference on*. 2009.

[78] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Hybrid Differential Evolution With Biogeography-Based Optimization for Solution of Economic Load Dispatch"*. Power Systems, IEEE Transactions on, 2010. 25(4): p. 1955-1964.

[79] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Biogeography-Based Optimization for Different Economic Load Dispatch Problems"*. Power Systems, IEEE Transactions on, 2010. 25(2): p. 1064-1077.

[80] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K. *"Oppositional Biogeography-Based Optimization for multi-objective Economic Emission Load Dispatch"*. in *India Conference (INDICON), 2010 Annual IEEE*. 2010.

[81] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K. *"Biogeography-Based Optimization for solution of Optimal Power Flow problem"*. in *Electrical Engineering/Electronics Computer Telecommunications and Information Technology (ECTI-CON), 2010 International Conference on*. 2010.

[82] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Solution of Economic Power Dispatch Problems Using Oppositional Biogeography-based Optimization"*. Electric Power Components and Systems, 2010. 38(10): p. 1139-1160.

[83] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Application of Biogeography-based Optimization for Solving Multi-objective Economic Emission Load Dispatch Problems"*. Electric Power Components and Systems, 2010. 38(3): p. 340-365.

[84] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Solving complex economic load dispatch problems using biogeography-based optimization"*. Expert Systems with Applications, 2010. 37(5): p. 3605-3615.

[85] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Hybrid differential evolution to solve reactive power dispatch problems"*. Modelling, Measurement and Control A, 2010. 83(3-4): p. 48-69.

[86] Cai, Z.H., Gong, W.Y., and Ling, C.X., *"Research on a novel biogeography-based optimization algorithm based on evolutionary programming"*. Xitong Gongcheng Lilun yu Shijian/System Engineering Theory and Practice, 2010. 30(6): p. 1106-1112.

[87] Chandrakala, D., Sumathi, S., and Saraswathi, D., *"Blur identification with image restoration based on application of data mining techniques"*. International Journal of Imaging, 2010. 4(10 A): p. 99-122.

[88] de Athayde Costa e Silva, M. and dos Santos Coelho, L. *"Biogeography-Based Optimization Combined with Predator-Prey Approach Applied to Economic Load Dispatch"*. in *Neural Networks (SBRN), 2010 Eleventh Brazilian Symposium on*. 2010.

[89] Gong, W., Cai, Z., Ling, C.X., and Li, H., *"A real-coded biogeography-based optimization with*

mutation". Applied Mathematics and Computation, 2010. 216(9): p. 2749-2758.

[90] Lohokare, M., Panigrahi, K.B., Pattanaik, S.S., Devi, S., and Mohapatra, A. *"Optimal load dispatch using Accelerated Biogeography-Based Optimization"*. in *Power Electronics, Drives and Energy Systems (PEDES) & 2010 Power India, 2010 Joint International Conference on*. 2010.

[91] Pattnaik, S.S., Lohokare, M.R., and Devi, S. *"Enhanced Biogeography-Based Optimization using modified clear duplicate operator"*. in *Nature and Biologically Inspired Computing (NaBIC), 2010 Second World Congress on*. 2010.

[92] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S., *"Multi-objective Optimal Power Flow Using Biogeography-based Optimization"*. Electric Power Components and Systems, 2010. 38(12): p. 1406-1426.

[93] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S., *"Biogeography-based Optimization for Economic Load Dispatch Problems"*. Electric Power Components and Systems, 2010. 38(2): p. 166-181.

[94] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S., *"Combined economic and emission dispatch problems using biogeography-based optimization"*. Electrical Engineering, 2010. 92(4-5): p. 173-184.

[95] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S., *"Biogeography based optimization for multi-constraint optimal power flow with emission and non-smooth cost function"*. Expert Systems with Applications, 2010. 37(12): p. 8221-8228.

[96] Silva, M.A.C., dos S Coelho, L., and Freire, R.Z. *"Biogeography-based Optimization approach based on Predator-Prey concepts applied to path planning of 3-DOF robot manipulator"*. in *Emerging Technologies and Factory Automation (ETFA), 2010 IEEE Conference on*. 2010.

[97] Singh, U., Kumar, H., and Kamal, T.S., *"Design of Yagi-Uda Antenna Using Biogeography Based Optimization"*. Antennas and Propagation, IEEE Transactions on, 2010. 58(10): p. 3375-3379.

[98] Singh, U., Kumar, H., and Kamal, T.S., *"Linear array synthesis using biogeography based optimization"*. Progress In Electromagnetics Research M, 2010. 11: p. 25-36.

[99] Ying, S., Min, L., and Zheng, W. *"Biogeography-Based Optimization for the Traveling Salesman Problems"*. in *Computational Science and Optimization (CSO), 2010 Third International Joint Conference on*. 2010.

[100] Ashrafinia, S., Pareek, U., Naeem, M., and Lee, D. *"Biogeography-based optimization for joint relay assignment and power allocation in cognitive radio systems"*. in *Swarm Intelligence (SIS), 2011 IEEE Symposium on*. 2011.

[101] Ashrafinia, S., Pareek, U., Naeem, M., and Lee, D. *"Source and Relay Power Selection Using Biogeography-Based Optimization for Cognitive Radio Systems"*. in *Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE*. 2011.

[102] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Application of biogeography-based optimisation to solve different optimal power flow problems"*. Generation, Transmission & Distribution, IET, 2011. 5(1): p. 70-80.

[103] Bhattacharya, A. and Chattopadhyay, P.K., *"Hybrid differential evolution with biogeography-based optimization algorithm for solution of economic emission load dispatch problems"*. Expert Systems with Applications, 2011. 38(11): p. 14001-14010.

[104] Boussaid, I., Chatterjee, A., Siarry, P., and Ahmed-Nacer, M., *"Hybridizing Biogeography-Based Optimization With Differential Evolution for Optimal Power Allocation in Wireless Sensor Networks"*. Vehicular Technology, IEEE Transactions on, 2011. 60(5): p. 2347-2353.

[105] Ergezer, M. and Simon, D. *"Oppositional biogeography-based optimization for combinatorial problems"*. in *Evolutionary Computation (CEC), 2011 IEEE Congress on*. 2011.

[106] Goel, S., Sharma, A., and Goel, A. *"Development of Swarm Based Hybrid Algorithm for Identification of Natural Terrain Features"*. in *Computational Intelligence and Communication*

Networks (CICN), 2011 International Conference on. 2011.

[107] Gong, W., Cai, Z., Jia, L., and Li, H., *"A generalized hybrid generation scheme of differential evolution for global numerical optimization"*. International Journal of Computational Intelligence and Applications, 2011. 10(1): p. 35-65.

[108] Gong, W., Cai, Z., and Ling, C.X., *"DE/BBO: a hybrid differential evolution with biogeography-based optimization for global numerical optimization"*. Soft Computing, 2011. 15(4): p. 645-665.

[109] Igelnik, B. and Simon, D., *"The eigenvalues of a tridiagonal matrix in biogeography"*. Applied Mathematics and Computation, 2011. 218(1): p. 195-201.

[110] Jamuna, K. and Swarup, K.S. *"Power system observability Using Biogeography Based Optimization"*. in *Sustainable Energy and Intelligent Systems (SEISCON 2011), International Conference on*. 2011.

[111] Jamuna, K. and Swarup, K.S., *"Biogeography based optimization for optimal meter placement for security constrained state estimation"*. Swarm and Evolutionary Computation, 2011. 1(2): p. 89-96.

[112] Li, X., Wang, J., Zhou, J., and Yin, M., *"A perturb biogeography based optimization with mutation for global numerical optimization"*. Applied Mathematics and Computation, 2011. 218(2): p. 598-609.

[113] Li, X. and Yin, M., *"Hybrid Differential Evolution with Biogeography-Based Optimization for Design of a Reconfigurable Antenna Array with Discrete Phase Shifters"*. International Journal of Antennas and Propagation, 2011.

[114] Lohokare, M.R., Devi, S., Pattnaik, S.S., Panigrahi, B.K., and Joshi, J.G., *"Modified biogeography-based optimisation (MBBO)"*. International Journal of Bio-Inspired Computation, 2011. 3(4): p. 252-266.

[115] Ma, H. and Simon, D., *"Blended biogeography-based optimization for constrained optimization"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011. 24(3): p. 517-525.

[116] Ma, H. and Simon, D., *"Analysis of migration models of biogeography-based optimization using Markov theory"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2011. 24(6): p. 1052-1060.

[117] Mahdad, B. and Srairi, K. *"Differential evolution based dynamic decomposed strategy for solution of large practical economic dispatch"*. in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2011 10th International Conference on*. 2011.

[118] Mandal, K.K., Bhattacharya, B., Tudu, B., and Chakraborty, N. *"A novel population-based optimization algorithm for optimal distribution capacitor planning"*. in *Energy, Automation, and Signal (ICEAS), 2011 International Conference on*. 2011.

[119] Mo, H. and Xu, L., *"Biogeography migration algorithm for traveling salesman problem"*. International Journal of Intelligent Computing and Cybernetics, 2011. 4(3): p. 311-330.

[120] Mo, H. and Xu, Z., *"Research of biogeography-based multi-objective evolutionary Algorithm"*. Journal of Information Technology Research, 2011. 4(2): p. 70-80.

[121] Rathi, A., Agarwal, A., Sharma, A., and Jain, P. *"A new hybrid technique for solution of economic load dispatch problems based on Biogeography Based Optimization"*. in *TENCON 2011 - 2011 IEEE Region 10 Conference*. 2011.

[122] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S., *"Optimal Reactive Power Dispatch Considering Flexible AC Transmission System Devices Using Biogeography-based Optimization"*. Electric Power Components and Systems, 2011. 39(8): p. 733-750.

[123] Roy, P.K. and Mandal, D., *"Quasi-oppositional biogeography-based optimization for multi-objective optimal power flow"*. Electric Power Components and Systems, 2011. 40(2): p. 236-256.

[124] Sharaqa, A. and Dib, N. *"Design of linear and circular antenna arrays using biogeography based optimization"*. in *Applied Electrical*

Engineering and Computing Technologies (AEECT), 2011 IEEE Jordan Conference on. 2011.

[125] Simon, D., *"A Probabilistic Analysis of a Simplified Biogeography-Based Optimization Algorithm"*. Evolutionary Computation, 2011. 19(2): p. 167-188.

[126] Simon, D., *"A dynamic system model of biogeography-based optimization"*. Applied Soft Computing, 2011. 11(8): p. 5652-5661.

[127] Simon, D., Ergezer, M., Dawei, D., and Rarick, R., *"Markov Models for Biogeography-Based Optimization"*. Systems, Man, and Cybernetics, Part B: Cybernetics, IEEE Transactions on, 2011. 41(1): p. 299-306.

[128] Singh, U. and Kamal, T.S., *"Design of non-uniform circular antenna arrays using biogeography-based optimisation"*. Microwaves, Antennas & Propagation, IET, 2011. 5(11): p. 1365-1370.

[129] Wang, L. and Xu, Y., *"An effective hybrid biogeography-based optimization algorithm for parameter estimation of chaotic systems"*. Expert Systems with Applications, 2011. 38(12): p. 15103-15109.

[130] Xin, Y., Jiangtao, C., Kairu, L., and Ping, L. *"Improved opposition-based biogeography optimization"*. in *Advanced Computational Intelligence (IWACI), 2011 Fourth International Workshop on*. 2011.

[131] Yang, W. and Zhihua, C. *"A novel hybrid biogeography-based optimization with differential mutation"*. in *Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference on*. 2011.

[132] Zhang, P., Wei, P., and Yu, H.Y., *"A Biogeography-based Optimization algorithm for fast motion estimation"*. Dianzi Yu Xinxi Xuebao/Journal of Electronics and Information Technology, 2011. 33(5): p. 1018-1023.

[133] Bhattacharya, A. and Roy, P.K., *"Solution of multi-objective optimal power flow using gravitational search algorithm"*. Generation, Transmission & Distribution, IET, 2012. 6(8): p. 751-763.

[134] Bi, X.J. and Wang, J., *"Biogeography-based optimization based on hybrid migration strategy"*. Moshi Shibie yu Rengong Zhineng/Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2012. 25(5): p. 768-774.

[135] Chen, D., Gong, Q., Qiao, H., and Zhao, J., *"Multi-objective generation dispatching for wind power integrated system adopting improved biogeography-based optimization algorithm"*. Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 2012. 32(31): p. 150-158.

[136] Costa e Silva, M.d.A., Coelho, L.d.S., and Lebensztajn, L., *"Multiobjective Biogeography-Based Optimization Based on Predator-Prey Approach"*. Ieee Transactions on Magnetics, 2012. 48(2): p. 951-954.

[137] Datta, S., Basu, M., and Bhattacharya, A. *"Biogeography-Based Optimization for short-term hydrothermal scheduling"*. in *Emerging Trends in Electrical Engineering and Energy Management (ICETEEEM), 2012 International Conference on*. 2012.

[138] Duan, H., Zhao, W., Wang, G., and Feng, X., *"Test-sheet composition using analytic hierarchy process and hybrid metaheuristic algorithm TS/BBO"*. Mathematical Problems in Engineering, 2012. 2012.

[139] Goel, L., Gupta, D., and Panchal, V. *"Extended Species Abundance Models of Biogeography Based Optimization"*. in *Computational Intelligence, Modelling and Simulation (CIMSiM), 2012 Fourth International Conference on*. 2012.

[140] Goel, L., Gupta, D., and Panchal, V.K. *"Biogeography based anticipatory computing framework for intelligent battle field planning"*. in *Hybrid Intelligent Systems (HIS), 2012 12th International Conference on*. 2012.

[141] Goel, L., Gupta, D., and Panchal, V.K., *"Hybrid bio-inspired techniques for land cover feature extraction: A remote sensing perspective"*. Applied Soft Computing Journal, 2012. 12(2): p. 832-849.

[142] Goudos, S.K., Baltzis, K.B., Siakavara, K., Samaras, T., Vafiadis, E., and Sahalos, J.N. *"Reducing the number of elements in linear arrays using biogeography-based optimization"*. in *Antennas and Propagation (EUCAP), 2012 6th European Conference on*. 2012.

[143] Guo, W., Yang, D., Hu, J., Huang, C., Wang, L., and Wu, Q., *"Optimal management of a home smart grid scheduling"*. Journal of Computational Information Systems, 2012. 8(5): p. 1921-1928.

[144] Gupta, M., Gupta, N., Swarnkar, A., and Niazi, K.R. *"Network constrained Economic Load Dispatch using Biogeography Based Optimization"*. in *Engineering and Systems (SCES), 2012 Students Conference on*. 2012.

[145] Haiping, M., Minrui, F., Zhiguo, D., and Jing, J. *"Biogeography-based optimization with ensemble of migration models for global numerical optimization"*. in *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on*. 2012.

[146] Hongwei, M. and Zhenzhen, L. *"Bio-geography based differential evolution for robot path planning"*. in *Information and Automation (ICIA), 2012 International Conference on*. 2012.

[147] Jadhav, H.T., Bhandari, H., Dalal, Y., and Roy, R. *"Economic load dispatch including wind power using plant growth simulation algorithm"*. in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2012 11th International Conference on*. 2012.

[148] Jadhav, H.T., Chawla, D., and Roy, R. *"Modified teaching learning based algorithm for economic load dispatch incorporating wind power"*. in *Environment and Electrical Engineering (EEEIC), 2012 11th International Conference on*. 2012.

[149] Jain, P., Agarwal, A., Gupta, N., Sharma, R., Paliwal, U., and Bhakar, R. *"Profit maximization of a generation company based on Biogeography based Optimization"*. in *Power and Energy Society General Meeting, 2012 IEEE*. 2012.

[150] Jamuna, K. and Swarup, K.S., *"Multi-objective biogeography based optimization for optimal PMU placement"*. Applied Soft Computing, 2012. 12(5): p. 1503-1510.

[151] Jasper, J. and Victoire, T.A.A. *"Dynamic economie dispatch of thermal units by blended biogeography based optimization"*. in *Information and Communication Technologies (WICT), 2012 World Congress on*. 2012.

[152] Jingwen, L. and Jinquan, Z. *"Combining Differential Evolution Algorithm with biogeography-based optimization algorithm for reconfiguration of distribution network"*. in *Power System Technology (POWERCON), 2012 IEEE International Conference on*. 2012.

[153] Kankanala, P., Srivastava, S.C., Srivastava, A.K., and Schulz, N.N., *"Optimal Control of Voltage and Power in a Multi-Zonal MVDC Shipboard Power System"*. Power Systems, IEEE Transactions on, 2012. 27(2): p. 642-650.

[154] Kanoongo, S. and Jain, P. *"Blended Biogeography Based Optimization for different economic load dispatch problem"*. in *Electrical & Computer Engineering (CCECE), 2012 25th IEEE Canadian Conference on*. 2012.

[155] Kanoongo, S. and Jain, P. *"Biogeography based optimization for different economic load dispatch problem with different migration models"*. in *Electrical, Electronics and Computer Science (SCEECS), 2012 IEEE Students' Conference on*. 2012.

[156] Kumar, A., Khosla, A., Saini, J.S., and Singh, S. *"Computational Intelligence based algorithm for node localization in Wireless Sensor Networks"*. in *Intelligent Systems (IS), 2012 6th IEEE International Conference*. 2012.

[157] Kumar, A., Khosla, A., Saini, J.S., and Singh, S. *"Meta-heuristic range based node localization algorithm for Wireless Sensor Networks"*. in *Localization and GNSS (ICL-GNSS), 2012 International Conference on*. 2012.

[158] Laseetha, T.S.J. and Sukanesh, R., *"Investigations on the synthesis of uniform linear antenna array using biogeography-based optimisation techniques"*. International Journal of Bio-Inspired Computation, 2012. 4(2): p. 119-130.

[159] Li, J., Zhao, J., and Zhang, Y., *"Optimal power flow on basis of combining improved differential evolution algorithm with biogeography-based optimization algorithm".* Dianwang Jishu/Power System Technology, 2012. 36(9): p. 115-119.

[160] Li, X. and Yin, M., *"Multi-operator based biogeography based optimization with mutation for global numerical optimization".* Computers & Mathematics with Applications, 2012. 64(9): p. 2833-2844.

[161] Lohokare, M.R., Panigrahi, K.B., Pattnaik, S.S., Devi, S., and Mohapatra, A., *"Neighborhood Search-Driven Accelerated Biogeography-Based Optimization for Optimal Load Dispatch".* Systems, Man, and Cybernetics, Part C: Applications and Reviews, IEEE Transactions on, 2012. 42(5): p. 641-652.

[162] Ma, H.P., Ruan, X.Y., and Pan, Z.X., *"Handling multiple objectives with biogeography-based optimization".* International Journal of Automation and Computing, 2012. 9(1): p. 30-36.

[163] Mandal, B., Roy, P.K., and Bhattacharya, K. *"Hybridization of particle swarm optimization with biogeography based optimization to solve economic load dispatch considering spinning reserve and other non-linerarities"*. in *Advances in Engineering, Science and Management (ICAESM), 2012 International Conference on*. 2012.

[164] Mobini, M.H., Entezari-Maleki, R., and Movaghar, A. *"Biogeography-based optimization of makespan and reliability in grid computing systems"*. in *Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), 2012 4th International Congress on*. 2012.

[165] Mohammed, Z. and Talaq, J. *"Unit commitment by biogeography based optimization method"*. in *Electrotechnical Conference (MELECON), 2012 16th IEEE Mediterranean*. 2012.

[166] Mukherjee, R. and Chakraborty, S., *"Selection of EDM Process Parameters Using Biogeography-Based Optimization Algorithm".* Materials and Manufacturing Processes, 2012. 27(9): p. 954-962.

[167] Mukherjee, R., Chakraborty, S., and Samanta, S., *"Selection of wire electrical discharge machining process parameters using non-traditional optimization algorithms".* Applied Soft Computing Journal, 2012. 12(8): p. 2506-2516.

[168] Mussetta, M., Grimaccia, F., and Zich, R.E. *"Comparison of different optimization techniques in the design of electromagnetic devices"*. in *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on*. 2012.

[169] Muthu Vijaya Pandian, S. and Thanushkodi, K., *"Considering transmission loss for an economic dispatch problem without valve-point loading using an EP-EPSO algorithm".* Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 2012. 20(SUPPL.2): p. 1259-1267.

[170] Nikumbh, S., Ghosh, S., and Jayaraman, V.K. *"Biogeography-based informative gene selection and cancer classification using SVM and Random Forests"*. in *Evolutionary Computation (CEC), 2012 IEEE Congress on*. 2012.

[171] Rajasomashekar, S. and Aravindhababu, P., *"Biogeography based optimization technique for best compromise solution of economic emission dispatch".* Swarm and Evolutionary Computation, 2012. 7: p. 47-57.

[172] Rathi, A., Sadda, A., Nebhnani, L., Maheshwari, V.M., and Pareek, V.S. *"Optimal allocation of distributed static series compensators in power system using Biogeography Based Optimization"*. in *Power Electronics (IICPE), 2012 IEEE 5th India International Conference on*. 2012.

[173] Roy, P.K., Ghoshal, S.P., and Thakur, S.S., *"Optimal VAR control for improvements in voltage profiles and for real power loss minimization using Biogeography Based Optimization".* International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2012. 43(1): p. 830-838.

[174] Roy, P.K., Mandal, B., and Bhattacharya, K., *"Gravitational search algorithm based optimal reactive power dispatch for voltage stability enhancement".* Electric Power Components and Systems, 2012. 40(9): p. 956-976.

[175] Salem, M. and Khelfi, M.F. *"Application of Biogeography based optimization in tuning a PID controller for nonlinear systems"*. in *Complex Systems (ICCS), 2012 International Conference on*. 2012.

[176] Sayed, M.M., Saad, M.S., Emara, H.M., and Abou El-Zahab, E.E. *"A novel method for tuning the PID parameters based on the modified Biogeography-based optimization for hydraulic servo control system"*. in *Power Electronics, Machines and Drives (PEMD 2012), 6th IET International Conference on*. 2012.

[177] Shah, A., Simon, D., and Richter, H. *"Constrained biogeography-based optimization for invariant set computation"*. in *American Control Conference (ACC), 2012*. 2012.

[178] Sharaqa, A.H. and Dib, N.I. *"On the optimal design of non-uniform concentric circular antenna arrays"*. in *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2012 IEEE*. 2012.

[179] Singh, S., Mittal, E., and Sachdeva, G. *"NSBBO for gain-impedance optimization of Yagi-Uda antenna design"*. in *Information and Communication Technologies (WICT), 2012 World Congress on*. 2012.

[180] Singh, S. and Sachdeva, G. *"Mutation effects on BBO evolution in optimizing Yagi-Uda antenna design"*. in *Emerging Applications of Information Technology (EAIT), 2012 Third International Conference on*. 2012.

[181] Singh, S., Tayal, S., and Sachdeva, G. *"Evolutionary performance of BBO and PSO algorithms for Yagi-Uda antenna design optimization"*. in *Information and Communication Technologies (WICT), 2012 World Congress on*. 2012.

[182] Singh, U. and Kamal, T.S. *"Synthesis of thinned planar circular array antennas using biogeography based optimization"*. in *Emerging Technology Trends in Electronics, Communication and Networking (ET2ECN), 2012 1st International Conference on*. 2012.

[183] Singh, U. and Kamal, T.S., *"Synthesis of thinned planar concentric circular antenna arrays using biogeography-based optimisation"*. Microwaves, Antennas & Propagation, IET, 2012. 6(7): p. 822-829.

[184] Singh, U. and Kamal, T.S., *"Optimal synthesis of thinned arrays using biogeography based optimization"*. Progress In Electromagnetics Research M, 2012. 24: p. 141-155.

[185] Subramanian, A. and Ravi, G., *"Multi-type FACTS placement for loss minimization using biogeography based optimization"*. Archives of Electrical Engineering, 2012. 61(4): p. 517-531.

[186] Subramanian, A. and Ravi, G., *"Optimal placement of multi-Type FACTS devices for voltage profile enhancement"*. International Review of Electrical Engineering, 2012. 7(5): p. 5657-5666.

[187] Teagno, L., Tonella, D., and Pirinoli, P. *"Some investigations on new optimization techniques for EM problems"*. in *Antennas and Propagation (EUCAP), 2012 6th European Conference on*. 2012.

[188] Thangavelusamy, D. and Ponnusamy, L., *"BBO based controllers for a multivariable systems"*. Journal of Electrical Engineering, 2012. 12(4): p. 153-165.

[189] Vanitha, M. and Thanushkodi, K., *"An effective biogeography based optimization algorithm to slove economic load dispatch problem"*. Journal of Computer Science, 2012. 8(9): p. 1482-1486.

[190] Xiaojun, B. and Jue, W. *"Constrained Optimization Based on Epsilon Constrained Biogeography-Based Optimization"*. in *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2012 4th International Conference on*. 2012.

[191] Xu, Z.D. and Mo, H.W., *"Improvement for migration operator in biogeography-based optimization algorithm"*. Moshi Shibie yu Rengong Zhineng/Pattern Recognition and Artificial Intelligence, 2012. 25(3): p. 544-549.

[192] Yang, Y., Li, F., Hou, C.Y., and Yang, L., *"Opportunistic group maintenance optimization*

of multi-unit system under dependence". Jisuanji Jicheng Zhizao Xitong/Computer Integrated Manufacturing Systems, CIMS, 2012. 18(4): p. 827-832.

[193] Zhang, P., Wei, P., and Yu, H.Y., *"Biogeography-based optimisation search algorithm for block matching motion estimation"*. Image Processing, IET, 2012. 6(7): p. 1014-1023.

[194] Zhang, P., Wei, P., Yu, H.Y., and Fei, C., *"Biogeography-based optimization algorithm by using chaotic search"*. Dianzi Keji Daxue Xuebao/Journal of the University of Electronic Science and Technology of China, 2012. 41(1): p. 65-69.

[195] Zhu, A., Li, Z., Xu, C., Hu, C., and Niu, J., *"Wrapper scan chain design algorithm for SoC test based on biogeography optimization"*. Yi Qi Yi Biao Xue Bao/Chinese Journal of Scientific Instrument, 2012. 33(12): p. 2774-2780.

[196] Ali, H.M., Ashrafinia, S., Jiangchuan, L., and Lee, D. *"Broadband wireless network planning using evolutionary algorithms"*. in *Evolutionary Computation (CEC), 2013 IEEE Congress on*. 2013.

[197] Annamalai, S. and Govinthasamy, R., *"Biogeography-based optimization for voltage stability improvement and reactive reserve management"*. Turkish Journal of Electrical Engineering and Computer Sciences, 2013. 21(4): p. 913-923.

[198] Appasani, B. and Gupta, N. *"Realization of compact arrays with low side lobes using Biogeography Based Optimization"*. in *Microwave and Photonics (ICMAP), 2013 International Conference on*. 2013.

[199] Attar, S.F., Mohammadi, M., and Tavakkoli-Moghaddam, R., *"Hybrid flexible flowshop scheduling problem with unrelated parallel machines and limited waiting times"*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013. 68(5-8): p. 1583-1599.

[200] Bansal, A.K., Kumar, R., and Gupta, R.A., *"Economic Analysis and Power Management of a Small Autonomous Hybrid Power System (SAHPS) Using Biogeography Based Optimization (BBO) Algorithm"*. Smart Grid, IEEE Transactions on, 2013. 4(1): p. 638-648.

[201] Bhugra, D., Singhania, V., and Goel, S. *"Association rule analysis using biogeography based optimization"*. in *Computer Communication and Informatics (ICCCI), 2013 International Conference on*. 2013.

[202] Dib, N.I., Sharaqa, A.H., and Formato, R.A. *"Variable applied to biogeography based optimized multi-stub matching network"*. in *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2013 IEEE*. 2013.

[203] Du, D. and Simon, D., *"Complex System Optimization Using Biogeography-Based Optimization"*. Mathematical Problems in Engineering, 2013.

[204] Feng, Q., Liu, S., Tang, G., and Chen, H., *"Particle based on biogeography-based optimisation for global optimisation problems"*. International Journal of Innovative Computing and Applications, 2013. 5(4): p. 228-239.

[205] Feng, Q., Liu, S., Tang, G., Yong, L., and Zhang, J., *"Biogeography-Based Optimization with Orthogonal Crossover"*. Mathematical Problems in Engineering, 2013.

[206] Feng, Q., Liu, S., Wu, Q., Tang, G., Zhang, H., and Chen, H., *"Modified Biogeography-Based Optimization with Local Search Mechanism"*. Journal of Applied Mathematics, 2013.

[207] Feng, S., Zhu, Q., Gong, X., and Zhong, S., *"Biogeography-based optimization for motif discovery problem"*. Journal of Computational Information Systems, 2013. 9(17): p. 6999-7010.

[208] Feng, S.L., Zhu, Q.X., Gong, X.J., and Zhong, S., *"Hybridizing biogeography-based optimization with differential evolution for motif discovery problem"*. ICIC Express Letters, 2013. 7(12): p. 3343-3348.

[209] Goutham Kumar, N., Vijay Praneeth Reddy, M., Sharma, V., and Naresh, R. *"Biogeography Based Optimization Approach to optimal short term hydrothermal scheduling"*. in *Computational*

Intelligence and Information Technology, 2013. CIIT 2013. Third International Conference on. 2013.

[210] Gupta, D., Goel, L., and Aggarwal, V. *"A hybrid biogeography based heuristic for the mirrored traveling tournament problem"*. in *Contemporary Computing (IC3), 2013 Sixth International Conference on*. 2013.

[211] Hadidi, A. and Nazari, A., *"Design and economic optimization of shell-and-tube heat exchangers using biogeography-based (BBO) algorithm"*. Applied Thermal Engineering, 2013. 51(1-2): p. 1263-1272.

[212] Jamuna, K., Selva, Y.L., and Gnanasekaran. *"Placement of PMUs for Power System Observability Using Biogeography Based Optimization"*. in *Advances in Computing and Communications (ICACC), 2013 Third International Conference on*. 2013.

[213] Kardan, A.A., Kavian, A., and Esmaeili, A. *"Simultaneous feature selection and feature weighting with K selection for KNN classification using BBO algorithm"*. in *Information and Knowledge Technology (IKT), 2013 5th Conference on*. 2013.

[214] Kumar, R., Gupta, R.A., and Bansal, A.K., *"Economic analysis and power management of a stand-alone wind/photovoltaic hybrid energy system using biogeography based optimization algorithm"*. Swarm and Evolutionary Computation, 2013. 8: p. 33-43.

[215] Li, J., Sun, Y., and Mo, H., *"Research on cluster attack mission planning of multi-UAV based on DAM-BBOPSO algorithm"*. Harbin Gongcheng Daxue Xuebao/Journal of Harbin Engineering University, 2013. 34(10): p. 1242-1248.

[216] Li, W., Guo, W., Wang, L., Kang, Q., and Wu, Q., *"Hybrid BBO and GA algorithms based on elites operation"*. International Journal of Modelling, Identification and Control, 2013. 18(1): p. 9-17.

[217] Li, X. and Wang, C., *"Application of biogeography-based optimization in transmission network planning"*. Dianwang Jishu/Power System Technology, 2013. 37(2): p. 477-481.

[218] Li, X. and Yin, M., *"Hybrid Artificial Bee Colony and Biogeography Based Optimization for Global Numerical Optimization"*. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2013. 10(5): p. 1156-1163.

[219] Lin, J. and Xu, L., *"Parameter estimation for chaotic systems based on hybrid biogeography-based optimization"*. Wuli Xuebao/Acta Physica Sinica, 2013. 62(3).

[220] Liu, W., Ye, Y.L., Si, F.Q., and Xu, Z.G., *"Determination of the optimum initial operation pressure of a steam turbine unit based on a BP(back propagation) neural network and SA-BBO(simulated annealing biogeography-based optimization) algorithm"*. Reneng Dongli Gongcheng/Journal of Engineering for Thermal Energy and Power, 2013. 28(1): p. 18-22.

[221] Liu, Z., Zeng, S., Li, H., Gao, S., and Li, Z., *"Design of wide-beam antenna using dynamic multi-objective BBO/DE"*. International Journal of Computer Applications in Technology, 2013. 46(4): p. 376-382.

[222] Lohokare, M.R., Pattnaik, S.S., Panigrahi, B.K., and Das, S., *"Accelerated biogeography-based optimization with neighborhood search for optimization"*. Applied Soft Computing, 2013. 13(5): p. 2318-2342.

[223] Luo, K. and Manikas, A., *"Superresolution multitarget parameter estimation in MIMO radar"*. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, 2013. 51(6): p. 3683-3693.

[224] Ma, H., Simon, D., Fei, M., and Chen, Z., *"On the equivalences and differences of evolutionary algorithms"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2013. 26(10): p. 2397-2407.

[225] Mahdad, B., Srairi, K., and Bouktir, T., *"Interactive DE for solving combined security environmental economic dispatch considering FACTS technology"*. Frontiers in Energy, 2013. 7(4): p. 429-447.

[226] Mingzhi, S., Le, Y., Wei, L., and Gulliver, T.A. *"Improving wireless sensor network coverage using the VF-BBO algorithm"*. in *Communications, Computers and Signal Processing (PACRIM), 2013 IEEE Pacific Rim Conference on*. 2013.

[227] Mishra, S., Mallesham, G., and Sekhar, P.C., *"Biogeography Based Optimal State Feedback Controller for Frequency Regulation of a Smart Microgrid"*. Smart Grid, IEEE Transactions on, 2013. 4(1): p. 628-637.

[228] Mukherjee, R. and Chakraborty, S., *"Selection of the optimal electrochemical machining process parameters using biogeography-based optimization algorithm"*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2013. 64(5-8): p. 781-791.

[229] Mussetta, M., Pirinoli, P., and Zich, R.E. *"A modified BBO for design and optimization of electromagnetic systems"*. in *Antennas & Propagation (ISAP), 2013 Proceedings of the International Symposium on*. 2013.

[230] Mussetta, M., Pirinoli, P., and Zich, R.E. *"Application of modified BBO to microstrip filter optimization"*. in *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2013 IEEE*. 2013.

[231] Padghan, P. and Mukherjee, A. *"Effective field optimization of high voltage electrode surface by biogeography based algorithm"*. in *Condition Assessment Techniques in Electrical Systems (CATCON), 2013 IEEE 1st International Conference on*. 2013.

[232] Ping, Z., Ping, W., Chun, F., and Hong-Yang, Y., *"A hybrid biogeography-based optimization with simplex method and its application"*. COMPEL - The International Journal for Computation and Mathematics in Electrical and Electronic Engineering, 2013. 32(2): p. 575-585.

[233] Sahu, B., Lall, A., Das, S., and Patra, T.M., *"Economic Load Dispatch in Power System using Genetic Algorithm"*. International Journal of Computer Applications in Technology, 2013. 67: p. 17 - 22.

[234] Said, A.I., El-Saadany, E.F., and Salama, M.M.A. *"Comparison of Biogeography Based Optimization and Genetic Algorithm for power system damping-based controllers design"*. in *Electrical Power & Energy Conference (EPEC), 2013 IEEE*. 2013.

[235] Sayed, M.M., Saad, M.S., Emara, H.M., and Abou El-Zahab, E.E. *"A novel method for type-2 fuzzy logic controller design using a modified biogeography-based optimization"*. in *Industrial Technology (ICIT), 2013 IEEE International Conference on*. 2013.

[236] Sayed, M.M., Saad, M.S., Emara, H.M., and Abou El-Zahab, E.E., *"Improving the performance of the Egyptian second testing nuclear research reactor using interval type-2 fuzzy logic controller tuned by modified biogeography-based optimization"*. Nuclear Engineering and Design, 2013. 262: p. 294-305.

[237] Sayed, M.M., Saad, M.S., Emara, H.M., and Abou El-Zahab, E.E., *"Design an interval type-2 fuzzy logic controller using modified Biogeography-based optimization"*. Journal of Electrical Engineering, 2013. 13(4): p. 127-136.

[238] Sharaqa, A. and Dib, N., *"Position-only side lobe reduction of a uniformly excited elliptical antenna array using evolutionary algorithms"*. Microwaves, Antennas & Propagation, IET, 2013. 7(6): p. 452-457.

[239] Simon, D., Shah, A., and Scheidegger, C., *"Distributed learning with biogeography-based optimization: Markov modeling and robot control"*. Swarm and Evolutionary Computation, 2013. 10: p. 12-24.

[240] Singh, S., Shivangna, S., and Mittal, E. *"Range Based Wireless Sensor Node Localization Using PSO and BBO and Its Variants"*. in *Communication Systems and Network Technologies (CSNT), 2013 International Conference on*. 2013.

[241] Singh, U., Singh, D., and Singh, P. *"Concentric Circular Antenna Array design using hybrid differential evolution with Biogeography Based*

Optimization". in *Computational Intelligence and Computing Research (ICCIC), 2013 IEEE International Conference on*. 2013.

[242] Subramanian, R., Thanushkodi, K., and Prakash, A., *"An efficient meta heuristic algorithm to solve economic load dispatch problems".* Iranian Journal of Electrical and Electronic Engineering, 2013. 9(4): p. 246-252.

[243] Tom, T. and Scaria, R. *"Active and reactive power compensation in distribution system based on biogeography based optimization technique"*. in *Control Communication and Computing (ICCC), 2013 International Conference on*. 2013.

[244] Wang, F., Li, P., Cao, J., and Li, C. *"Local search strategy biogeography-based optimization algorithm for self-tuning of PID parameters"*. in *Control Conference (CCC), 2013 32nd Chinese*. 2013.

[245] Wang, F., Li, P., Li, C., and Cao, J., *"An improved Biogeography-Based Optimization algorithm for self-tuning of PID controller".* Journal of Computational Information Systems, 2013. 9(7): p. 2933-2940.

[246] Wang, G., Guo, L., Duan, H., Wang, H., Liu, L., and Shao, M., *"Hybridizing Harmony Search with Biogeography Based Optimization for Global Numerical Optimization".* Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2013. 10(10): p. 2312-2322.

[247] Wang, J., Li, X., and Su, Z., *"An Improved Biogeography Based Optimization for Parameter Estimation of Chaotic Systems".* Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2013. 10(9): p. 2192-2200.

[248] Wang, X., Cheng, H., Li, K., Li, J., and Sun, J., *"A cross-layer optimization based integrated routing and grooming algorithm for green multi-granularity transport networks".* Journal of Parallel and Distributed Computing, 2013. 73(6): p. 807-822.

[249] Wang, X., Duan, H., and Luo, D., *"Cauchy Biogeography-Based Optimization based on lateral inhibition for image matching".* Optik, 2013. 124(22): p. 5447-5453.

[250] Xiong, G., Shi, D., and Duan, X., *"Multi-strategy ensemble biogeography-based optimization for economic dispatch problems".* Applied Energy, 2013. 111: p. 801-811.

[251] Yang, G.P., Liu, S.Y., Zhang, J.K., and Feng, Q.X., *"Control and synchronization of chaotic systems by an improved biogeography-based optimization algorithm".* Applied Intelligence, 2013. 39(1): p. 132-143.

[252] Yazdani, S., Shanbehzadeh, J., and Aminian, E., *"Feature subset selection using constrained binary/integer biogeography-based optimization".* Isa Transactions, 2013. 52(3): p. 383-390.

[253] Zhao, J., Gong, Q., Chen, D., and Liu, D., *"Fuzzy-dominance combined biogeography-based optimization algorithm and its application in dispatch of power system with wind farm".* Dianli Zidonghua Shebei/Electric Power Automation Equipment, 2013. 33(3): p. 123-128.

[254] Ali, H.M. and Lee, D.C. *"A biogeography-based optimization algorithm for energy efficient virtual machine placement"*. in *Swarm Intelligence (SIS), 2014 IEEE Symposium on*. 2014.

[255] Ananthi Christy, A. and Vimal Raj, P.A.D., *"Adaptive biogeography based predator-prey optimization technique for optimal power flow".* International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2014. 62: p. 344-352.

[256] Bansal, S., *"Optimal Golomb ruler sequence generation for FWM crosstalk elimination: Soft computing versus conventional approaches".* Applied Soft Computing Journal, 2014. 22: p. 443-457.

[257] Bi, X., Wang, J., Li, B., and Li, J., *"An ε constrained biogeography-based optimization with dynamic migration".* Jisuanji Yanjiu yu Fazhan/Computer Research and Development, 2014. 51(3): p. 580-589.

[258] Bi, X.J., Wang, J., and Li, B., *"Multi-objective optimization based on hybrid biogeography-based optimization".* Xi Tong Gong Cheng Yu Dian

Zi Ji Shu/Systems Engineering and Electronics, 2014. 36(1): p. 179-186.

[259] Boghdady, T.A., Sayed, M.M., Emam, A.M., and Abu El-Zahab, E.E. *"A Novel Technique for PID Tuning by Linearized Biogeography-Based Optimization"*. in *Computational Science and Engineering (CSE), 2014 IEEE 17th International Conference on*. 2014.

[260] Camargo, M.P., Rueda, J.L., Ano, O., and Erlich, I. *"Application of hybrid heuristic optimization algorithms for solving optimal hydrothermal system operation"*. in *Innovative Smart Grid Technologies Conference Europe (ISGT-Europe), 2014 IEEE PES*. 2014.

[261] Camargo, M.P., Rueda, J.L., Erlich, I., and Añó, O., *"Comparison of emerging metaheuristic algorithms for Optimal hydrothermal system operation"*. Swarm and Evolutionary Computation, 2014. 18(1): p. 83-96.

[262] Cao, J., Wang, F., and Li, P., *"An improved biogeography-based optimization algorithm for optimal reactive power flow"*. International Journal of Control and Automation, 2014. 7(3): p. 161-176.

[263] Chen, S.W., Song, S.Q., Zhang, L.B., and Gu, X.S., *"Soft sensor of conversion rate in methanol synthesis based on improved biogeography-based optimization"*. Xitong Fangzhen Xuebao / Journal of System Simulation, 2014. 26(1): p. 17-22.

[264] Chen, Z. and Hu, Z.J., *"A modified hybrid PSO-BBO algorithm for dynamic economic dispatch"*. Dianli Xitong Baohu yu Kongzhi/Power System Protection and Control, 2014. 42(18): p. 44-49.

[265] Chutima, P. and Naruemitwong, W., *"A Pareto biogeography-based optimisation for multi-objective two-sided assembly line sequencing problems with a learning effect"*. Computers & Industrial Engineering, 2014. 69: p. 89-104.

[266] Davis, R., Richter, H., Simon, D., and van den Bogert, A. *"Evolutionary optimization of ground reaction force for a prosthetic leg testing robot"*. in *American Control Conference (ACC), 2014*. 2014.

[267] Dib, N. and Sharaqa, A., *"Synthesis of thinned concentric circular antenna arrays using teaching-learning-based optimization"*. International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering, 2014. 24(4): p. 443-450.

[268] Ding, Z., Fei, M., Du, D., and Xu, S., *"Online anomaly detection method based on BBO ensemble pruning in wireless sensor networks"*, in *Communications in Computer and Information Science*2014. p. 160-169.

[269] Ding, Z.G., Fei, M.R., and Ma, H.P., *"Ensemble selection method based on biogeography-based optimization algorithm"*. Xitong Fangzhen Xuebao / Journal of System Simulation, 2014. 26(5): p. 996-999.

[270] Dong, F., Liu, D., Liao, Q., Cen, B., Sun, W., Song, C., and Zhao, Y., *"Application of IBBO-based atomic decomposition algorithm in subsynchronous oscillation suppression"*. Dianli Zidonghua Shebei/Electric Power Automation Equipment, 2014. 34(6): p. 107-113.

[271] Dong, F., Liu, D., Wu, J., Cen, B., Song, C., and Ma, W., *"Design of SVC subsynchronous damping controller based on improved biogeography based optimization algorithm"*. Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems, 2014. 38(8): p. 56-60.

[272] Dong, F., Liu, D., wu, J., Cen, B., Wang, H., Song, C., and Ke, L., *"Design of SVC Controller Based on Improved Biogeography-Based Optimization Algorithm"*. Journal of Applied Mathematics, 2014.

[273] Dong, F., Liu, D., Wu, J., Pan, X., Wang, H., Zhao, Y., and Song, C., *"A method of constructing core backbone grid based on improved BBO optimization algorithm and survivability of power grid"*. Zhongguo Dianji Gongcheng Xuebao/Proceedings of the Chinese Society of Electrical Engineering, 2014. 34(16): p. 2659-2667.

[274] Dong, F., Liu, D., Wu, J., Tang, F., Song, C., Wang, H., Ke, L., Cen, B., Sun, W., and Zhu, Z.,

"Constructing core backbone grid based on the index system of power grid survivability and BBO algorithm". Journal of Applied Mathematics, 2014. 2014.

[275] Duan, H. and Deng, Y., *"Biologically Inspired Model with Feature Selection for Target Recognition Using Biogeography-Based Optimization".* Journal of Aerospace Information Systems, 2014. 11(7): p. 433-446.

[276] Dutta, S. and Roy, P.K. *"Optimal location of TCSC using hybrid DE/BBO algorithm"*. in *Non Conventional Energy (ICONCE), 2014 1st International Conference on*. 2014.

[277] Fadil, S. and Urazel, B., *"A security constrained environmental/economic power dispatch technique using F-MSG algorithm for a power system area including limited energy supply thermal units".* International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2014. 56: p. 185-197.

[278] Fan, J., Duan, H., Xie, G., and Shi, H. *"Improved Biogeography-Based Optimization approach to secondary protein prediction"*. in *2014 International Joint Conference on Neural Networks, IJCNN 2014*. 2014: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[279] Feng, Q., Liu, S., Zhang, J., Yang, G., and Yong, L., *"Biogeography-based optimization with improved migration operator and self-adaptive clear duplicate operator".* Applied Intelligence, 2014. 41(2): p. 563-581.

[280] Feng, S.L., Zhu, Q.X., Zhong, S., and Gong, X.J., *"Hybridizing adaptive biogeography-based optimization with differential evolution for motif discovery problem".* Sensors and Transducers, 2014. 162(1): p. 233-237.

[281] Feng, S.L., Zhu, Q.X., Zhong, S., and Gong, X.J., *"Hybridizing adaptive biogeography-based optimization with differential evolution for global numerical optimization"*, in *2013 2nd International Conference on Frontiers of Mechanical Engineering and Materials Engineering, MEME 2013*2014. p. 1283-1287.

[282] Gao, K., Zheng, X., and Ma, H. *"A new way for path planning based on BBO in crowd animation"*. in *2013 International Conference on Future Computer and Information Technology, ICFCIT 2013*. 2014: WITPress.

[283] García-Torres, J.M., Damas, S., Cordón, O., and Santamaría, J., *"A case study of innovative population-based algorithms in 3D modeling: Artificial bee colony, biogeography-based optimization, harmony search".* Expert Systems with Applications, 2014. 41(4 PART 2): p. 1750-1762.

[284] Goutham Kumar, N., Sharma, V., Naresh, R., and Singhal, P.K. *"Quadratic migration of biogeography based optimization for short term hydrothermal scheduling"*. in *Networks & Soft Computing (ICNSC), 2014 First International Conference on*. 2014.

[285] Guha, D., Roy, P.K., and Banerjee, S. *"Optimal Design of Superconducting Magnetic Energy Storage Based Multi-area Hydro-Thermal System Using Biogeography Based Optimization"*. in *Emerging Applications of Information Technology (EAIT), 2014 Fourth International Conference of*. 2014.

[286] Guo, W., Li, W., Kang, Q., Wang, L., and Wu, Q., *"Chaotic biogeography-based optimisation".* International Journal of Computing Science and Mathematics, 2014. 5(2): p. 127-136.

[287] Guo, W., Wang, L., and Wu, Q., *"An analysis of the migration rates for biogeography-based optimization".* Information Sciences, 2014. 254: p. 111-140.

[288] Gupta, D., Goel, L., and Chopra, A. *"Enhanced heuristic approach for Travelling Tournament Problem based on extended species abundance models of biogeography"*. in *Advances in Computing, Communications and Informatics (ICACCI, 2014 International Conference on*. 2014.

[289] Hammouri, A.I., *"Investigating biogeography-based optimisation for patient admission scheduling problems".* Journal of Theoretical and Applied Information Technology, 2014. 70(3): p. 413-421.

[290] Hammouri, A.I. and Abdullah, S., *"Biogeography-Based optimisation for data clustering"*, in *13th International Conference on New Trends in Intelligent Software Methodology Tools, and Techniques, SoMeT 2014*, H. Haron, H. Fujita, and A. Selamat, Editors. 2014, IOS Press. p. 951-963.

[291] Huang, G.Q., Liu, Q.C., and Lu, Q.Q., *"Metapopulation biogeography-inspired optimization"*. Xitong Fangzhen Xuebao / Journal of System Simulation, 2014. 26(6): p. 1217-1224.

[292] Jain, P., Bhakar, R., and Singh, S.N. *"Hybrid Differential Evolution with BBO for Genco's multi-hourly strategic bidding"*. in *Power Electronics (IICPE), 2014 IEEE 6th India International Conference on*. 2014.

[293] Jalili, S., Hosseinzadeh, Y., and Kaveh, A., *"Chaotic biogeography algorithm for size and shape optimization of truss structures with frequency constraints"*. Periodica Polytechnica: Civil Engineering, 2014. 58(4): p. 397-422.

[294] Jasper, J., Berlin Shaheema, S., and Berlin Shiny, S., *"Natural image enhancement using a biogeography based optimization enhanced with blended migration operator"*. Mathematical Problems in Engineering, 2014. 2014.

[295] Kalaivani, R. and Lakshmi, P., *"Biogeography-Based Optimization of PID Tuning Parameters for the Vibration Control of Active Suspension System"*. Control Engineering and Applied Informatics, 2014. 16(1): p. 31-39.

[296] Kalaivani, R., Lakshmi, P., and Sudhagar, K. *"Hybrid (DEBBO) Fuzzy Logic Controller for quarter car model: DEBBOFLC for Quarter Car model"*. in *Control (CONTROL), 2014 UKACC International Conference on*. 2014.

[297] Kaur, K., Rattan, M., and Patterh, M.S., *"Biogeography-based optimisation of Cognitive Radio system"*. International Journal of Electronics, 2014. 101(1): p. 24-36.

[298] Khoshahval, F., Zolfaghari, A., and Minuchehr, H., *"A new method for multi-objective in core fuel management optimization using biogeography based algorithm"*. Annals of Nuclear Energy, 2014. 73: p. 294-303.

[299] Kim, S.S., Byeon, J.H., Yu, H., and Liu, H., *"Biogeography-based optimization for optimal job scheduling in cloud computing"*. Applied Mathematics and Computation, 2014. 247: p. 266-280.

[300] Kumar, R.H. and Ushakumari, S. *"Biogeography based tuning of PID controllers for Load Frequency Control in microgrid"*. in *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2014 International Conference on*. 2014.

[301] Lin, J., *"Parameter estimation for time-delay chaotic systems by hybrid biogeography-based optimization"*. Nonlinear Dynamics, 2014. 77(3): p. 983-992.

[302] Lin, J., Xu, L., and Zhang, H., *"Hybrid Biogeography Based Optimization for Constrained Optimal Spot Color Matching"*. Color Research and Application, 2014. 39(6): p. 607-615.

[303] Ma, H., Fei, M., Yang, Z., and Wang, H., *"Wireless networked learning control system based on Kalman filter and biogeography-based optimization method"*. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2014. 36(2): p. 224-236.

[304] Ma, H., Simon, D., and Fei, M., *"On the Convergence of Biogeography-Based Optimization for Binary Problems"*. Mathematical Problems in Engineering, 2014.

[305] Ma, H., Simon, D., Fei, M., Shu, X., and Chen, Z., *"Hybrid biogeography-based evolutionary algorithms"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2014. 30: p. 213-224.

[306] Mandal, B., Roy, P.K., and Mandal, S. *"Hybridization of Particle Swarm Optimization with Biogeography-Based Optimization for Reactive Power and Voltage Control"*. in *Emerging Applications of Information Technology (EAIT), 2014 Fourth International Conference of*. 2014.

[307] Niu, Q., Zhang, L., and Li, K., *"A biogeography-based optimization algorithm with mutation strategies for model parameter estimation of*

solar and fuel cells". Energy Conversion and Management, 2014. 86: p. 1173-1185.

[308] Paslar, S., Ariffin, M.K.A., Tamjidy, M., and Hong, T.S., *"Biogeography-based optimisation for flexible manufacturing system scheduling problem".* International Journal of Production Research, 2014. 53(9): p. 2690-2706.

[309] Qingzheng, X., Lemeng, G., Na, W., Jin, P., and Lei, W. *"A novel oppositional biogeography-based optimization for combinatorial problems"*. in *Natural Computation (ICNC), 2014 10th International Conference on*. 2014.

[310] Qiu, X., Cheng, X., and Zhang, Z., *"Nondominated sorting biogeography-based optimization"*, in *9th International Symposium on Linear Drives for Industry Applications, LDIA 2013*2014: Hangzhou. p. 523-530.

[311] Rajagopal, K. and Ponnusamy, L., *"Multi objective optimization of vehicle active suspension system using debbo based pid controller".* International Journal of Engineering and Technology, 2014. 6(1): p. 252-262.

[312] Razi, F.F., Eshlaghy, A.T., Nazemi, J., Alborzi, M., and Pourebrahimi, A., *"A Hybrid Grey Based KOHONEN Model and Biogeography-Based Optimization for Project Portfolio Selection".* Journal of Applied Mathematics, 2014.

[313] Ren, W.J., Zhao, Y.J., Wang, T.R., and Liu, A.J., *"Research on pump-jack fault diagnosis method based on biogeography-based optimization algorithm".* Xitong Fangzhen Xuebao / Journal of System Simulation, 2014. 26(6): p. 1244-1250+1273.

[314] Ren, Z.W. and Zhu, Q.G. *"Hybrid algorithm based on biogeography-based optimization and differential evolution for global optimization"*. in *9th IEEE Conference on Industrial Electronics and Applications, ICIEA 2014*. 2014: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[315] Rodzin, S.I., *"Smart dispatching and metaheuristic swarm flow algorithm".* Journal of Computer and Systems Sciences International, 2014. 53(1): p. 109-115.

[316] Roy, A., Dutta, S., and Roy, P.K. *"Automatic generation control by SMES-SMES controllers of two-area hydro-hydro system"*. in *Non Conventional Energy (ICONCE), 2014 1st International Conference on*. 2014.

[317] Roy, P.K. and Mandal, D., *"Oppositional biogeography-based optimisation for optimal power flow".* International Journal of Power and Energy Conversion, 2014. 5(1): p. 47-69.

[318] Rueda, J.L. and Erlich, I. *"Evaluation of emerging metaheuristic strategies on opimal transmission pricing"*. in *PES General Meeting | Conference & Exposition, 2014 IEEE*. 2014.

[319] Saremi, S., Mirjalili, S., and Lewis, A., *"Biogeography-based optimisation with chaos".* Neural Computing & Applications, 2014. 25(5): p. 1077-1097.

[320] Sarker, J. and Goswami, S.K., *"Solution of multiple UPFC placement problems using Gravitational Search Algorithm".* International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2014. 55: p. 531-541.

[321] Sarrafha, K., Rahmati, S.H.A., Niaki, S.T.A., and Zaretalab, A., *"A bi-objective integrated procurement, production, and distribution problem of a multi-echelon supply chain network design: A new tuned MOEA".* Computers and Operations Research, 2014. 54: p. 35-51.

[322] Savsani, P., Jhala, R.L., and Savsani, V., *"Effect of hybridizing Biogeography-Based Optimization (BBO) technique with Artificial Immune Algorithm (AIA) and Ant Colony Optimization (ACO)".* Applied Soft Computing, 2014. 21: p. 542-553.

[323] Selvi, S. and Manimegalai, D., *"Scheduling independent jobs on computational grid using biogeography based optimization algorithm for makespan reduction".* Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology, 2014. 8(8): p. 964-975.

[324] Shafei, M.A.R., Ibrahim, D.K., Abo El-Zahab, E.E.D., and Younes, M.A.A. *"Biogeography-Based Optimization Technique for maximum power tracking of hydrokinetic turbines"*. in *Renewable*

Energy Research and Application (ICRERA), 2014 International Conference on. 2014.

[325] Shokri-Ghaleh, H. and Alfi, A., *"A comparison between optimization algorithms applied to synchronization of bilateral teleoperation systems against time delay and modeling uncertainties"*. Applied Soft Computing Journal, 2014. 24: p. 447-456.

[326] Singh, U., Singh, D., and Kaur, C. *"Hybrid Differential Evolution with Biogeography Based Optimization for Yagi-Uda antenna design"*. in *Circuit, Power and Computing Technologies (ICCPCT), 2014 International Conference on*. 2014.

[327] Wang, C. and Gao, Y., *"Probability statistics based reactive power optimization of distribution network containing intermittent distributed generations"*. Dianwang Jishu/Power System Technology, 2014. 38(4): p. 1032-1037.

[328] Wang, G.G., Gandomi, A.H., and Alavi, A.H., *"An effective krill herd algorithm with migration operator in biogeography-based optimization"*. Applied Mathematical Modelling, 2014. 38(9-10): p. 2454-2462.

[329] Wang, G.G., Guo, L., Duan, H., and Wang, H., *"A new improved firefly algorithm for global numerical optimization"*. Journal of Computational and Theoretical Nanoscience, 2014. 11(2): p. 477-485.

[330] Wang, W. and Shi, Y., *"Fuzzy c-means and biogeography-based optimization for clustering problem"*. ICIC Express Letters, 2014. 8(10): p. 2751-2756.

[331] Wang, X. and Duan, H., *"A hybrid biogeography-based optimization algorithm for job shop scheduling problem"*. Computers & Industrial Engineering, 2014. 73: p. 96-114.

[332] Wong, L.I., Sulaiman, M.H., Mohamed, M.R., and Hong, M.S. *"Grey Wolf Optimizer for solving economic dispatch problems"*. in *Power and Energy (PECon), 2014 IEEE International Conference on*. 2014.

[333] Xiong, G., Li, Y., Chen, J., Shi, D., and Duan, X., *"Polyphyletic migration operator and orthogonal learning aided biogeography-based optimization for dynamic economic dispatch with valve-point effects"*. Energy Conversion and Management, 2014. 80: p. 457-468.

[334] Xiong, G. and Shi, D., *"An improved analytic model for fault diagnosis of power grids and its self-adaptive biogeography-based optimization method"*. Diangong Jishu Xuebao/Transactions of China Electrotechnical Society, 2014. 29(4): p. 205-211.

[335] Xu, Q., Guo, L., Wang, N., and He, Y., *"COOBBO: A novel opposition-based soft computing algorithm for TSP problems"*. Algorithms, 2014. 7(4): p. 663-684.

[336] Xu, Z.D. and Mo, H.W., *"Novel constrained multi-objective biogeography-based optimization algorithm for robot path planning"*. Journal of Beijing Institute of Technology (English Edition), 2014. 23(1): p. 96-101.

[337] Xu, Z.D. and Mo, H.W., *"Multi-objective disturbance biogeography-based optimization algorithm"*. Kongzhi yu Juece/Control and Decision, 2014. 29(2): p. 231-235.

[338] Yang, L.Z., Ye, K.W., Liu, S.Y., and Ye, S., *"Hybrid biogeography-based optimization strategy"*. Fangzhi Gaoxiao Jichukexue Xuebao, 2014. 27(1): p. 120-124.

[339] Yang, W.G., Ke, L.N., Dong, F.F., and Zheng, Z.P., *"Design of SVC damping controller based on biogeography-based optimization algorithm"*, in *3rd Asian Pacific Conference on Mechanical Components and Control Engineering, ICMCCE 2014*, W. Ge, Editor 2014, Trans Tech Publications Ltd. p. 470-473.

[340] Yin, L.M. and Du, S. *"Research on reactive power compensation for distribution network based on biogeography-based optimization algorithm"*. in *2nd International Conference on Information Technology and Electronic Commerce, ICITEC 2014*. 2014: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[341] Zhang, B., Zhang, M.X., and Zheng, Y.J. *"A hybrid biogeography-based optimization and fireworks*

algorithm". in *2014 IEEE Congress on Evolutionary Computation, CEC 2014*. 2014: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[342] Zhang, L., Gao, Y., Xiong, N., Wang, C., Yang, C., and Shu, J., *"Siting and sizing of distributed photovoltaic power station considering reverse power flow constraints"*. Dianli Xitong Zidonghua/Automation of Electric Power Systems, 2014. 38(17): p. 43-48.

[343] Zhang, L., Wei, L., Ye, Y., Qiao, Z., and Xu, Z., *"Optimization of circulating water system based on LSSVM and SA-BBO algorithms"*. Paiguan Jixie Gongcheng Xuebao/Journal of Drainage and Irrigation Machinery Engineering, 2014. 32(5): p. 410-415+428.

[344] Zhang, L., Ye, Y.L., and Si, F.Q., *"Optimization of condenser vacuum based on neural network and SA-BBO"*, in *3rd International Conference on Energy, Environment and Sustainable Development, EESD 2013*2014: Shanghai. p. 676-679.

[345] Zhang, M.X., Zhang, B., and Zheng, Y.J., *"Bio-inspired meta-heuristics for emergency transportation problems"*. Algorithms, 2014. 7(1): p. 15-31.

[346] Zhang, Q. and Duan, H., *"Chaotic biogeography-based optimization approach to target detection in UAV surveillance"*. Optik, 2014. 125(23): p. 7100-7105.

[347] Zhao, J., Wang, L., Tang, Y.H., Liu, D.C., and Sun, W.T., *"Hydro turbine nonlinear model parameter identification based on improved biogeography-based optimization"*, in *2nd International Conference on Renewable Energy and Environmental Technology, REET 2014*, M. Sun, Editor 2014, Trans Tech Publications Ltd. p. 1617-1621.

[348] Zheng, X.W., Gao, K.G., Wang, X.G., and Ma, C.Z., *"A multi-objective biogeography-based optimization with mean value migration operator"*, in *5th International Symposium on IT in Medicine and Education, ITME 2013*2014: Xining. p. 679-686.

[349] Zheng, X.W., Hong, L., and Wang, X.G., *"A virtual network embedding algorithm incorporating biogeography based optimization"*, in *Joint International Conference on Pervasive Computing and Web Society, ICPCA/SWS 2013*2014, Springer Verlag: Vina del Mar. p. 810-818.

[350] Zheng, Y.J., Ling, H.F., Chen, S.Y., and Xue, J.Y., *"A Hybrid Neuro-Fuzzy Network Based on Differential Biogeography-Based Optimization for Online Population Classification in Earthquakes"*. Fuzzy Systems, IEEE Transactions on, 2014. PP(99): p. 1-1.

[351] Zheng, Y.J., Ling, H.F., Wu, X.B., and Xue, J.Y., *"Localized biogeography-based optimization"*. Soft Computing, 2014. 18(11): p. 2323-2334.

[352] Zheng, Y.J. and Wu, X.B., *"Evaluating a hybrid DE and BBO with self adaptation on ICSI 2014 benchmark problems"*, in *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)*2014. p. 422-433.

[353] Zheng, Y.-J., Ling, H.-F., and Xue, J.-Y., *"Disaster rescue task scheduling: An evolutionary multiobjective optimization approach"*. Emerging Topics in Computing, IEEE Transactions on, 2014. PP(99): p. 1-1.

[354] Zhu, A., Li, Z., Xu, C., and Zhu, W., *"A new wrapper scan chain balance algorithm for intellectual property in soc"*. Open Electrical and Electronic Engineering Journal, 2014. 8(1): p. 42-49.

[355] Zhu, W. and Duan, H., *"Chaotic predator-prey biogeography-based optimization approach for UCAV path planning"*. Aerospace Science and Technology, 2014. 32(1): p. 153-161.

[356] Zou, H.B., Wang, F., Ke, L., and Yin, T.T., *"Searching method of core backbone grid based on biogeography-based optimization algorithm"*, in *2nd International Conference on Advances in Energy and Environmental Science, ICAEES 2014*2014, Trans Tech Publications Ltd: Guangzhou. p. 790-795.

[357] Abood, B., Li, Y., Bacheche, N., and Hussien, A., *"Biogeography-Based Optimization Algorithm for Prolonging Network Lifetime of Heterogeneous Wireless Sensor Networks"*. International Journal of Future Generation Communication and Networking, 2015. 8(2): p. 381-390.

[358] Albasri, F.A., Alroomi, A.R., and Talaq, J.H., *"Optimal Coordination of Directional Overcurrent Relays Using Biogeography-Based Optimization Algorithms"*. IEEE Transactions on Power Delivery, 2015. 30(4): p. 1810-1820.

[359] Berghida, M. and Boukra, A., *"EBBO: an enhanced biogeography-based optimization algorithm for a vehicle routing problem with heterogeneous fleet, mixed backhauls, and time windows"*. International Journal of Advanced Manufacturing Technology, 2015. 77(9-12): p. 1711-1725.

[360] Cai, G., Zhang, P., and Song, J. *"A fault-tolerant control of inverse system based on LS-SVM and BBO"*. in *Mechatronics and Automation (ICMA), 2015 IEEE International Conference on*. 2015.

[361] Cai, S.-h., Long, W., and Jiao, J.-j., *"Hybridizing artificial bee colony with biogeography-based optimization for constrained mechanical design problems"*. Journal of Central South University, 2015. 22(6): p. 2250-2259.

[362] Chouraqui, S. and Benzater, H., *"Multi-objective biogeography-based optimization technique for tuning PUMA 560'S controller"*. Nonlinear Dynamics, 2015. 79(4): p. 2577-2588.

[363] Cui, W.H., Wang, J.S., and Li, S.X., *"KPCA-ESN soft-sensor model of polymerization process optimized by biogeography-based optimization algorithm"*. Mathematical Problems in Engineering, 2015. 2015.

[364] Defeng, W. and Fengkun, R. *"An active disturbance rejection controller for marine dynamic positioning system based on biogeography-based optimization"*. in *Control Conference (CCC), 2015 34th Chinese*. 2015.

[365] Deng, K., Ren, K., Liu, S., and Song, J. *"DAG Scheduling for Heterogeneous Systems Using Biogeography-Based Optimization"*. in *Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2015 IEEE 21st International Conference on*. 2015.

[366] Dib, N. and Sharaqa, A., *"Design of non-uniform concentric circular antenna arrays with optimal sidelobe level reduction using biogeography-based optimization"*. International Journal of Microwave and Wireless Technologies, 2015. 7(2): p. 161-166.

[367] Dutta, S., Roy, P.K., and Nandi, D., *"Hybrid biogeography-based optimisation for optimal power flow incorporating FACTS devices"*. International Journal of Power and Energy Conversion, 2015. 6(1): p. 63-84.

[368] Ekta and Kaur, M. *"Biogeography based optimization: A review"*. in *Computing for Sustainable Global Development (INDIACom), 2015 2nd International Conference on*. 2015.

[369] Ekta and Kaur, M., *"Study of Effect on Performance of DE/BBO on Changing Parametric Values"*. International Journal of Grid and Distributed Computing, 2015. 8(5): p. 81-88.

[370] Farswan, P. and Bansal, J.C., *"Migration in biogeography-based optimization"*, in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, A. Nagar, et al., Editors. 2015, Springer Verlag. p. 385-397.

[371] Garg, H., *"An efficient biogeography based optimization algorithm for solving reliability optimization problems"*. Swarm and Evolutionary Computation, 2015. 24: p. 1-10.

[372] Garg, V. and Deep, K., *"A state-of-the-art review of biogeography-based optimization"*, in *Advances in Intelligent Systems and Computing*, A. Nagar, et al., Editors. 2015, Springer Verlag. p. 529-545.

[373] Golafshani, E.M., *"Introduction of Biogeography-Based Programming as a new algorithm for solving problems"*. Applied Mathematics and Computation, 2015. 270: p. 1-12.

[374] Goudos, S.K., Plets, D., Liu, N., Martens, L., and Joseph, W., *"A multi-objective approach to indoor wireless heterogeneous networks planning based on biogeography-based optimization"*. Computer Networks, 2015. 91: p. 564-576.

[375] Guha, D., Roy, P.K., and Banerjee, S. *"Study of dynamic responses of an interconnected two-area all thermal power system with governor and boiler nonlinearities using BBO"*. in *2015 3rd International Conference on Computer, Communication, Control and Information Technology, C3IT 2015*. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[376] Guo, W., Wang, L., Ge, S.S., Ren, H., and Mao, Y., *"Drift analysis of mutation operations for biogeography-based optimization"*. Soft Computing, 2015. 19(7): p. 1881-1892.

[377] Hadidi, A., *"A robust approach for optimal design of plate fin heat exchangers using biogeography based optimization (BBO) algorithm"*. Applied Energy, 2015. 150: p. 196-210.

[378] Huang, S.J. and Liu, X.Z., *"Fault section estimation in distribution systems using biogeography-based optimization approaches"*. International Transactions on Electrical Energy Systems, 2015. 25(1): p. 155-168.

[379] Jain, P., Bhakar, R., and Singh, S.N., *"Influence of bidding mechanism and spot market characteristics on market power of a large genco using hybrid DE/BBO"*. Journal of Energy Engineering, 2015. 141(3).

[380] Kankashvar, M.R., Kharrati, H., Asl, R.M., and Sadeghiani, A.B. *"Designing PID controllers for a five-bar linkage robot manipulator using BBO algorithm"*. in *6th International Conference on Modeling, Simulation, and Applied Optimization, ICMSAO 2015*. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[381] Kapoor, R., Dhiman, A., and Uppal, A. *"2D non-linear state optimization using evolutionary techniques"*. in *International Conference on Advances in Computing, Communications and Informatics, ICACCI 2015*. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[382] Kaur, M., Singh, U., and Singh, D. *"Design of FIR Filter Using Biogeography Based Optimization"*. in *Advances in Computing and Communication Engineering (ICACCE), 2015 Second International Conference on*. 2015.

[383] Kaur, P., Kumar, S., and Singh, A.P., *"Nature inspired approaches for identification of optimized fuzzy model: A comparative study"*. Journal of Multiple-Valued Logic and Soft Computing, 2015. 25(6): p. 555-587.

[384] Kim, S.-S., Byeon, J.-H., Lee, S., and Liu, H., *"A grouping biogeography-based optimization for location area planning"*. Neural Computing & Applications, 2015. 26(8): p. 2001-2012.

[385] Kouzou, A. and Mohammedi, R.D. *"Optimal reconfiguration of a radial power distribution network based on Meta-heuristic optimization algorithms"*. in *Electric Power and Energy Conversion Systems (EPECS), 2015 4th International Conference on*. 2015.

[386] Kouzou, A., Mohammedi, R.D., and Hellal, A. *"An efficient biogeography-based optimization algorithm for smart radial distribution power system reconfiguration"*. in *1st Workshop on Smart Grid and Renewable Energy, SGRE 2015*. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[387] Kumar, A., Khosla, A., Saini, J.S., and Sidhu, S.S., *"Range-free 3D node localization in anisotropic wireless sensor networks"*. Applied Soft Computing Journal, 2015. 34: p. 438-448.

[388] Kumaran, J. and Ravi, G., *"Long-term sector-wise electrical energy forecasting using artificial neural network and biogeography-based optimization"*. Electric Power Components and Systems, 2015. 43(11): p. 1225-1235.

[389] Ma, H., Fei, M., Simon, D., and Chen, Z., *"Biogeography-based optimization in noisy environments"*. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 2015. 37(2): p. 190-204.

[390] Ma, H., Su, S., Simon, D., and Fei, M., *"Ensemble multi-objective biogeography-based optimization with application to automated warehouse scheduling"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2015. 44: p. 79-90.

[391] Mi, Z., Xu, Y., Yu, Y., Zhao, T., Zhao, B., and Liu, L., *"Hybrid biogeography based optimization for constrained numerical and engineering optimization"*. Mathematical Problems in Engineering, 2015. 2015.

[392] Mittal, E. and Singh, S., *"Multiobjective gain-impedance optimization of Yagi-Uda antenna design using different BBO migration variants"*. Applied Artificial Intelligence, 2015. 29(1): p. 33-48.

[393] Mo, H. and Xu, L., *"Biogeography optimization algorithm for DC motor PID control"*, in *6th International Conference on Swarm Intelligence, ICSI 2015 held in conjunction with the 2nd BRICS Congress on Computational Intelligence, CCI 2015*, A. Gelbukh, et al., Editors. 2015, Springer Verlag. p. 385-394.

[394] Mohana Sundaram, N. and Sivanandam, S.N., *"Intelligent classifier model employing hybrid ELMAN neural network architecture and biogeography based optimization for data classification"*. International Journal of Applied Engineering Research, 2015. 10(15): p. 35027-35038.

[395] Nemade, S.N. and Kolte, M.T. *"Multi-user detection in DS-CDMA system using biogeography based optimization"*. in *Proceedings of International Conference on Advances in Computing, Communication and Control, ICAC3 2015*. 2015: Elsevier.

[396] Rahman, A., Saikia, L.C., and Sinha, N., *"Load frequency control of a hydro-thermal system under deregulated environment using biogeography-based optimised three-degree-of-freedom integral-derivative controller"*. IET Generation, Transmission and Distribution, 2015. 9(15): p. 2284-2293.

[397] Rajagopal, K. and Ponnusamy, L., *"Hybrid DEBBO algorithm for tuning the parameters of PID controller applied to vehicle active suspension system"*. Jordan Journal of Mechanical and Industrial Engineering, 2015. 9(2): p. 85-101.

[398] Ramesh Kumar, A. and Premalatha, L., *"Optimal power flow for a deregulated power system using adaptive real coded biogeography-based optimization"*. International Journal of Electrical Power and Energy Systems, 2015. 73: p. 393-399.

[399] Ramesh Kumar, A. and Premalatha, L., *"Real coded biogeography-based optimization for environmental constrained dynamic optimal power flow"*. Journal of Electrical Engineering and Technology, 2015. 10(1): p. 56-63.

[400] Ramesh Kumar, A. and Premalatha, L., *"Intensification of available transfer capability via real coded biogeography based optimization"*, in *Lecture Notes in Electrical Engineering*2015, Springer Verlag. p. 1235-1243.

[401] Ramesh Kumar, A. and Premalatha, L., *"Congestion management in open access electric network using adaptive real coded biogeography-based optimization"*. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences, 2015. 10(12): p. 5213-5222.

[402] Ren, F., Wu, D., Yin, Z., and Zeng, B., *"A comparative study of population-based optimisation algorithms for thrust allocation in dynamic positioning system"*. International Journal of Modelling, Identification and Control, 2015. 23(2): p. 101-111.

[403] Sharma, A. and Goel, S., *"A BBO based framework for natural terrain identification in remote sensing"*. Memetic Computing, 2015. 7(1): p. 43-58.

[404] Singh, J. and Goyal, S.K. *"Optimization of economic load dispatch problems using biogeography based optimization technique"*. in *Energy Economics and Environment (ICEEE), 2015 International Conference on*. 2015.

[405] Su, K., Chang, T., Zhu, B., and Ha, B., *"PID tuning for LOS stabilization system controller based on BBO algorithm"*, in *Chinese Intelligent Automation Conference, 2015*, H. Li and Z. Deng, Editors. 2015, Springer Verlag. p. 533-539.

[406] Thomas, G., Simon, D., and Michelini, J., *"Biogeography-based optimization of a variable camshaft timing system"*. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2015. 45: p. 376-387.

[407] Waley, S., Mao, C., and Bachache, N.K., *"Biogeography based optimization for tuning FLC controller of PMSM"*, in *6th International Conference on Swarm Intelligence, ICSI 2015 held in conjunction with the 2nd BRICS Congress on Computational Intelligence, CCI 2015*, A. Gelbukh, et al., Editors. 2015, Springer Verlag. p. 395-402.

[408] Wang, J.S., Shen, N.N., Ren, X.D., and Liu, G.N., *"RBF neural network soft-sensor modeling of rotary kiln pellet quality indices optimized by biogeography-based optimization algorithm"*. Journal of Chemical Engineering of Japan, 2015. 48(1): p. 7-15.

[409] Wang, S., Zhang, Y., Ji, G., Yang, J., Wu, J., and Wei, L., *"Fruit classification by wavelet-entropy and feedforward neural network trained by fitness-scaled chaotic abc and biogeography-based optimization"*. Entropy, 2015. 17(8): p. 5711-5728.

[410] Xu, Q., Wang, N., Zhang, J., and Gu, X., *"Enhancing the performance of Biogeography-based optimization in discrete domain"*, in *6th International Conference on Swarm Intelligence, ICSI 2015 held in conjunction with the 2nd BRICS Congress on Computational Intelligence, CCI 2015*, A. Gelbukh, et al., Editors. 2015, Springer Verlag. p. 403-414.

[411] Xue, H. and Han, P. *"Hybrid Optimization Control of Reheat Steam Temperature Based on BBO Algorithm"*. in *Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC), 2015 7th International Conference on*. 2015.

[412] Yang, G.-Q., Liu, Y.-K., and Yang, K., *"Multi-objective biogeography-based optimization for supply chain network design under uncertainty"*. Computers & Industrial Engineering, 2015. 85: p. 145-156.

[413] Yang, Y., *"A Modified Biogeography-Based Optimization for the Flexible Job Shop Scheduling Problem"*. Mathematical Problems in Engineering, 2015. 2015.

[414] Yassin, H.M., Hanafy, H.H., and Hallouda, M.M., *"Optimization of PMSG variable speed wind energy conversion system controller parameters by Biogeography-based optimization"*. Journal of Electrical Engineering, 2015. 15(3): p. 23-34.

[415] Yazdani, S. and Shanbehzadeh, J., *"Balanced Cartesian Genetic Programming via migration and opposition-based learning: application to symbolic regression"*. Genetic Programming and Evolvable Machines, 2015. 16(2): p. 133-150.

[416] Yosef, M., Sayed, M.M., and Youssef, H.K.M., *"Allocation and sizing of distribution transformers and feeders for optimal planning of MV/LV distribution networks using optimal integrated biogeography based optimization method"*. Electric Power Systems Research, 2015. 128: p. 100-112.

[417] Zhang, B., Zhang, M.X., and Qian, N., *"A discrete ecogeography-based optimization algorithm for university course timetabling"*, in *6th International Conference on Swarm Intelligence, ICSI 2015 held in conjunction with the 2nd BRICS Congress on Computational Intelligence, CCI 2015*, Y. Tan, et al., Editors. 2015, Springer Verlag. p. 247-257.

[418] Zhang, P., Fei, C., Peng, Z., Li, J., and Fan, H., *"Multifocus image fusion using biogeography-based optimization"*. Mathematical Problems in Engineering, 2015. 2015.

[419] Zhang, Y., Wang, S., Dong, Z., Phillip, P., Ji, G., and Yang, J., *"Pathological brain detection in magnetic resonance imaging scanning by wavelet entropy and hybridization of biogeography-based optimization and particle swarm optimization"*. Progress in Electromagnetics Research, 2015. 152: p. 41-58.

[420] Zheng, Q., Li, J., Dong, B., Li, R., Shah, N., and Tian, F. *"Multi-objective Optimization Algorithm Based on BBO for Virtual Machine Consolidation Problem"*. in *Parallel and Distributed Systems (ICPADS), 2015 IEEE 21st International Conference on*. 2015.

[421] Zheng, Q., Li, R., Li, X., and Wu, J. *"A multi-objective biogeography-based optimization for virtual machine placement"*. in *15th IEEE/ACM*

International Symposium on Cluster, Cloud, and Grid Computing, CCGrid 2015. 2015: Institute of Electrical and Electronics Engineers Inc.

[422] Zheng, X.-w., Lu, D.-j., Wang, X.-g., and Liu, H., *"A cooperative coevolutionary biogeography-based optimizer"*. Applied Intelligence, 2015. 43(1): p. 95-111.

[423] Zhou, X., Liu, Y., Li, B., and Sun, G., *"Multiobjective biogeography based optimization algorithm with decomposition for community detection in dynamic networks"*. Physica A: Statistical Mechanics and its Applications, 2015. 436: p. 430-442.

[424] Zhu, W. and Duan, H. *"Chaotic biogeography-based optimization approach to receding horizon control for multiple UAVs formation flight"*. in *3rd IFAC Workshop on Multivehicle Systems, MVS 2015*. 2015: IFAC Secretariat.

[425] Zhu, W. and Duan, H., *"Predator-prey biogeography-based optimization for parameters identification of UCAV flight control system"*. Aircraft Engineering and Aerospace Technology, 2015. 87(3): p. 249-259.

[426] Rarick, R., Richter, H., van den Bogert, A., Simon, D., Warner, H., and Barto, T. *"Optimal design of a transfemoral prosthesis with energy storage and regeneration"*. in *American Control Conference (ACC), 2014*. 2014.

[427] Christy, A.A. and Raj, P.A.D.V., *"Adaptive biogeography based predator-prey optimization technique for optimal power flow"*. International Journal of Electrical Power & Energy Systems, 2014. 62: p. 344-352.

[428] Yin, L.-m. and Du, S. *"Research on reactive power compensation for distribution network based on biogeography-based optimization algorithm"*. in *Information Technology and Electronic Commerce (ICITEC), 2014 2nd International Conference on*. 2014.

[429] Lohokare, M.R., Panigrahi, B.K., Pattnaik, S.S., Devi, S., and Mohapatra, A., *"Neighborhood Search-Driven Accelerated Biogeography-Based Optimization for Optimal Load Dispatch"*. Ieee Transactions on Systems Man and Cybernetics Part C-Applications and Reviews, 2012. 42(5): p. 641-652.

[430] Roy, P.K. and Mandal, D., *"Quasi-oppositional Biogeography-based Optimization for Multi-objective Optimal Power Flow"*. Electric Power Components and Systems, 2012. 40(2): p. 236-256.

[431] Laseetha, T.S.J. and Sukanesh, R., *"Certain investigations on the reduction of side lobe level of an uniform linear antenna array using biogeography based optimization technique with sinusoidal migration model and simplified-BBO"*. Sadhana-Academy Proceedings in Engineering Sciences, 2014. 39(1): p. 81-95.

[432] Zich, R.E., Mussetta, M., Grimaccia, F., Albi, R., Carbonara, A., D'Antuono, P., Guffanti, T., and Zucchelli, E. *"Comparison of different optimization techniques in antenna design - Part I"*. in *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2012 IEEE*. 2012.

[433] Zich, R.E., Mussetta, M., Grimaccia, F., Banchetti, J., Guggiari, T., Oregio Catelan, A., Lo Presti, F., Testoni, O., and Zanelli, T. *"Comparison of different optimization techniques in antenna design - Part II"*. in *Antennas and Propagation Society International Symposium (APSURSI), 2012 IEEE*. 2012.

[434] Singh, U., Kumar, H., and Kamal, T.S., *"Design of Yagi-Uda Antenna Using Biogeography Based Optimization"*. IEEE Transactions on Antennas and Propagation, 2010. 58(10): p. 3375-3379.

[435] Xu, J. and Zhang, J. *"Exploration-exploitation tradeoffs in metaheuristics: Survey and analysis"*. in *Control Conference (CCC), 2014 33rd Chinese*. 2014.

[436] Thana Sarttra, Kamonnud Chavalitthitikorn, Natthawadee Chonprasert, and Virinthorn, V. *"Ant Colony Optimization Applied to the Vehicle Routing with Time Windows and Service Level Consideration"*. in *IE Network Conference*. 2012 of Conference.

[437] Murata, T. and Ishibuchi, H. *"Performance evaluation of genetic algorithms for flowshop scheduling problems"*. in *Evolutionary Computation, 1994. IEEE World Congress on Computational Intelligence., Proceedings of the First IEEE Conference on*. 1994.

[438] Vitayasak, S. and Pongcharoen, P. *"Interaction of Crossover and Mutation Operations for Designing Non-rotatable Machine Layout"*. in *Operation Research, Ostrava*. 2011.

[439] Eiben, A.E., Hinterding, R., and Michalewicz, Z., *"Parameter control in evolutionary algorithms"*. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on, 1999. 3(2): p. 124-141.

[440] Jian, L. and Li, X., *"Parameter estimation for chaotic systems based on hybrid biogeography-based optimization"*. Acta Physica Sinica, 2013. 62(3).

[441] Blum, C. and Roli, A., *"Metaheuristics in combinatorial optimization: Overview and conceptual comparison"*. ACM Computing Surveys (CSUR), 2003. 35(3): p. 268-308.

[442] Eiben, A.E. and Smith, J.E., *"Introduction to evolutionary computing"*. Vol. 53. 2003: Springer.

[443] Eusuff, M.M. and Lansey, K.E., *"Optimization of water distribution network design using the shuffled frog leaping algorithm"*. Journal of Water Resources Planning and Management, 2003. 129(3): p. 210-225.

[444] Yang, X.-S. and Deb, S., *"Engineering optimisation by cuckoo search"*. International Journal of Mathematical Modelling and Numerical Optimisation, 2010. 1(4): p. 330-343.

9. ประวัติผู้วิจัย

สายสัมพันธ์ ชุ้นเจริญ จบการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ และปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร แนวทางงานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การจัดการด้านโลจิสติกส์ (Logistics management) และการวิจัยดำเนินงาน (Operations research) โดยเฉพาะในศาสตร์ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมอุตสาหการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย งานวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การออกแบบผังการจัดเรียงสิ่งอำนวยความสะดวก วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ สถิติประยุกต์ และการจัดการการดำเนินงานในสาขาวิศวกรรมอุตสาหการ

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ เป็นอาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จังหวัดพิษณุโลก สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมการผลิต จาก **University of Newcastle upon Tyne** สหราชอาณาจักร งานด้านการสอนและการวิจัยที่สนใจ ได้แก่ การวางแผนการผลิต การจัดลำดับงาน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง กลยุทธ์การผลิตแบบตามสั่ง การจำลองสถานการณ์ด้วยคอมพิวเตอร์ การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ สถิติประยุกต์ และการวิจัยดำเนินงานในระบบอุตสาหกรรม