วิจัยเชิงสำรวจเพื่อศึกษาความแตกต่างของปัญหาและการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณู

A Survey of Different Problem and Optimization base on Flower Pollination Algorithm

เกวลี ผาใต้ (Gawalee Phatai)[1] และ สิรภัทร เชี่ยวชาญวัฒนา (Sirapat Chiewchanwattana)[1]

[1]ภาควิชาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

gawalee.p@kkumail.com, sunkra@kku.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอความสำคัญและความสามารถของขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ เพื่อค้นหาความแตกต่างของปัญหาและการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ ซึ่งใช้ความฉลาดของวิธีการเมตาฮิวริสติกที่ได้แนวคิดจากพฤติกรรมทางธรรมชาติเพื่อแก้ปัญหาและเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดจากวิธีการหาคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหานั้น ๆ

คำสำคัญ: ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้, ปัญหา, การเพิ่มประสิทธิภาพ

Abstract

The main idea of this paper is present the Importance and abilities of Flower Pollination Algorithm to find the different of some problem and optimization with Flower Pollination Algorithm which uses the intelligence of metaheuristic finding the best solution from all feasible solutions.

Keyword: Flower Pollination Algorithm, Problem, Optimization

1. บทนำ

ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ (Flower Pollination Algorithm: FPA) ถูกนำเสนอขึ้นมาโดย Xin-She Yang [1] เป็นกระบวนการที่น่าสนใจที่เกิดขึ้นในธรรมชาติ ลักษณะวิวัฒนาการของการถ่ายละอองเรณูดอกไม้สามารถใช้ในการออกแบบขั้นตอนวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพใหม่ ๆ ซึ่งขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ ได้รับแรงบันดาลใจจากกระบวนการผสมเกสรดอกไม้ กล่าวคือธรรมชาติได้รับการแก้ปัญหาที่ท้าทายมากกว่าล้านล้านปี และระบบชีวภาพจำนวนมากได้พัฒนาขึ้นอย่างมีประสิทธิภาพและมีการเพิ่มวัตถุประสงค์การวิวัฒนาการของธรรมชาติ อาทิเช่น การสืบพันธุ์ โดยขึ้นอยู่กับลักษณะที่ประสบความสำเร็จของระบบชีวภาพ ขั้นตอนวิธีที่เกิดขึ้นความสำเร็จของระบบชีวภาพ ตัวอย่างเช่น ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ด้วยกระบวนการทางพันธุกรรมจากการวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต [2] ขั้นตอนวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค [3]

เพื่อที่จะที่จะนำความรู้ที่ชาญฉลาดจากวิธีการเมตาฮิวริสติก [4] ที่ได้จากพฤติกรรมทางธรรมชาติและพฤติกรรมทางสังคมสำหรับการหาคำตอบที่ดีที่สุดในการแก้ปัญหา [5] และการเพิ่มประสิทธิภาพ [6] โดยที่มีการเสนอผลงานวิจัยจำนวนมากที่ดำเนินการวิจัยโดยใช้ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ ซึ่งทำให้ยากที่จะตัดสินใจเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ในการแก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริง รวมถึงวิธีการเพิ่มประสิทธิภาพ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดให้ได้มากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ [7]

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ (Flower Pollination Algorithm: FPA)

ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ (Flower Pollination Algorithm: FPA) ถูกนำเสนอขึ้นมาโดย Xin-She Yang [8] เป็นขั้นตอนวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดโดยถ้าว่าด้วยตามธรรมชาติแล้ว การถ่ายละอองเรณูของดอกไม้จะมีลักษณะเป็นดังนี้ [9]

- การถ่ายละอองเรณูในต้นเดียวกัน (Self-Pollination) หมายถึง การถ่ายละอองเรณูไปยังเกสรตัวเมียของดอกเดียวกันหรือคนละดอกแต่ดอกดังกล่าวยังคงอยู่ในต้นเดียวกัน

- การถ่ายละอองเรณูข้ามต้น (Cross-Pollination) เป็นการถ่ายละอองเรณูแบบข้ามดอก (จากดอกหนึ่งไปยังอีกดอกหนึ่ง)

สำหรับการถ่ายละอองเรณูต่าง ๆ จะมีผู้ขนถ่ายละอองเรณู (Pollinator) ที่จะคอยผสมเกสรให้ดอกไม้ทั้งต้นเดียวกันและต่างต้น จะมีเป็นลักษณะดังนี้

- ผู้ขนถ่ายละอองเรณูแบบเป็นสิ่งมีชีวิต (Biotic Pollinator) [10] เช่น ผึ้ง ผีเสื้อ [11] นก และค้างคาว [12] เป็นต้น

- ผู้ขนถ่ายละอองเรณูแบบไม่มีชีวิต (Abiotic Pollinator) เช่น น้ำ, ลม [13]

หลักการจะเหมือนกันกับวิธีการถ่ายละอองเกสรดอกไม้ตามธรรมชาติคือจะถ่ายละอองเรณูจากดอกหนึ่งไปยังอีกดอกหนึ่งและใช้วิธี Levy Flights [14] ในการหาวิธีการเดินทางจากดอกหนึ่งไปยังดอกหนึ่ง ซึ่งเขียนออกมาเป็นรูปแบบคณิตศาสตร์ได้คือ

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \gamma L(\lambda)(g_* - x_i^t) \quad (1)$$

โดยค่า x_i^t คือค่าของละอองที่ i หรือคำตอบของตัวแปร x_i ที่รอบการทำงานที่ t และ g_* คือคำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบัน และ γ คือค่าตัวแปรที่มีผลกระทบต่อขนาดที่ใช้ควบคุมการเดินทาง

ส่วนค่า $L(\lambda)$ คือค่าพารามิเตอร์ของการเดินทางในรูปแบบ Levy Flights โดยที่ค่า L>0 แล้วสามารถคำนวณได้จาก

$$L \backsim \frac{\lambda\Gamma(\lambda)\,sin\left(\frac{\pi\lambda}{2}\right)}{\pi}\,\frac{1}{s^{1+\lambda}}\,,(s \gg s_0 > 0) \quad (2)$$

โดยค่า $\Gamma(\lambda)$ คือค่ามาตรฐานของฟังก์ชั่นแกมม่าและค่า s คือค่าสเตปไซส์โดยใช้ Gaussian ของ U และ V มาคิดซึ่งได้รูปแบบเป็น

$$s = \frac{U}{|V|^{\frac{1}{\lambda}}} \quad (3)$$

โดยที่ค่า $U \sim N(0, \sigma^2)$ มาจากค่ามัธยฐานรูปแบบของ Gaussian อย่างง่ายระหว่าง ถึงค่าผันแปรของ $0\sigma^2$ และค่า $V \sim N(0,1)$

สำหรับค่า σ^2 หาได้จาก

$$\sigma^2 = \left[\frac{\Gamma(1+\lambda)}{\pi\Gamma\left(\frac{1+\lambda}{2}\right)}\,\frac{sin(\frac{\pi\lambda}{2})}{2^{(\lambda-1)/2}}\right] \quad (4)$$

นอกจากจะมีการผสมเกสรภายนอกแล้ว ยังมีการผสมเกสรภายในด้วยซึ่งหาจากรูปแบบคณิตศาสตร์คือ

$$x_i^{t+1} = x_i^t + \epsilon(x_j^t - x_k^t) \quad (5)$$

โดยค่า x_j^t และ x_k^t คือค่าละอองเกสรของดอกไม้ทั้ง 2 ดอกและϵ คือค่ารูปแบบระหว่าง [0,1]

สำหรับขั้นตอนวิธีการทำงานของการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ [8] จะเป็นดังนี้

1) การถ่ายละอองเรณูข้ามดอก)Cross-Pollination) จะอาศัยผู้ขนถ่ายแบบเป็นสิ่งมีชีวิต)Biotic Pollinator) โดยวิธีการเคลื่อนที่ของผู้ขนถ่ายแบบเป็นสิ่งมีชีวิตจะใช้วิธีการ Levy flight สมการที่)5)

2) การถ่ายละอองเรณูภายในต้นเดียวกัน (Self-Pollination) จะอาศัยผู้ขนถ่ายแบบไม่มีชีวิต)Abiotic-Pollinator)

3) ผู้ขนถ่ายละอองเรณูสามารถพัฒนาดอกไม้ให้มีความคงตัวจากความน่าจะเป็นการสร้างดอกไม้ตัวใหม่ที่มีสัดส่วนใกล้เคียงกันกับดอกไม้ทั้งสองดอกให้มีความเหมือนกัน

4) การทำงานร่วมกันหรือการเปลี่ยนแปลงของการถ่ายละอองเรณูข้ามดอกและการถ่ายละอองเรณูภายในต้นเดียวกันจะถูกกำหนดโดยการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นที่ p เป็นสมาชิกของ]0, 1] โดยค่าจะเอนเอียงไปทางการถ่ายละอองเรณูภายในต้นเดียวกันเล็กน้อย

Dao, et al. [15] ได้ทำการวิจัยโดยการนำขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ โดยนำเสนอขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ที่มีขนาดกะทัดรัด เพื่อแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพที่มีข้อจำกัดด้านฮาร์ดแวร์ ในวิธีการที่นำเสนอนี้ ประชากรที่แท้จริงของการแก้ปัญหาชั่วคราวจะไม่ถูกจัดเก็บไว้ แต่จะใช้ตัวแทนของความน่าจะเป็นในการจำลองปัญหาต่าง ๆ ของการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงตัวเลขในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีการประเมินความถูกต้อง เวลาในการคำนวณ และหน่วยความจำที่จำกัด ผลการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการเดิมและขั้นตอนวิธีการ

อื่น ๆ แสดงให้เห็นว่าวิธีการที่นำเสนอใหม่นี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานกับหน่วยความจำที่จำกัด

Zhang, et al. [16] ได้ทำการวิจัยโดยการนำขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ เพื่อแก้ปัญหาความสามารถในการค้นหาข้อมูลในท้องถิ่น โดยใช้ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ที่ปรับปรุง ดังต่อไปนี้ คือ Adaptive Gauss Mutation and Shuffled Frog Leaping (AGM-SFLFPA) ขั้นแรกแนวคิดของ Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA) คือ AGM-SFLFPA จัดเรียงประชากรตามค่าที่เหมาะสมของแต่ละกลุ่มและปรับปรุงตำแหน่งที่ไม่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม ไม่เพียงช่วยเพิ่มความสามารถในการค้นหาในระดับท้องถิ่นเท่านั้น แต่ยังช่วยเพิ่มความหลากหลายของประชากร จากนั้นจะมีการใช้กลยุทธ์การกลายพันธุ์ Gauss ซึ่งจะดำเนินการกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดทั่วโลกโดยอัตโนมัติเมื่อคำตอบนั้นอยู่ในวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดในท้องถิ่น ผลการทดลอง AGM-SFLFPA มีความเสถียร ความน่าเชื่อถือ ความเร็วในการลู่เข้าเร็วขึ้น และมีความแม่นยำสูงขึ้น ซึ่งเหมาะสำหรับการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนของฟังก์ชัน multi-extremum ในหลายมิติ

3. วิธีดำเนินงาน

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยแบบ Survey Paper โดยค้นหางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับศึกษาความแตกต่างของปัญหาและการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณู ซึ่งนำมาวิเคราะห์จำนวน 13 ชิ้นงาน

4. ผลการดำเนินงาน

ตารางที่ 1 เปรียบเทียบงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ชื่องานวิจัย	ข้อมูล	ศึกษา	ผลลัพธ์
Multi-objective Flower Algorithm for Optimization [17]	ฟังก์ชันมาตรฐานที่มีความยาก จำนวน 4 ฟังก์ชัน) CEC 2005(	การเพิ่มประสิทธิภาพแบบหลายวัตถุประสงค์ เปรียบเทียบกับ VEGA, NSGA-II, MODE, DEMO, Bees, และ SPEA	MOFPA มีประสิทธิภาพมาก
A Novel Hybrid Flower Pollination Algorithm with Chaotic Harmony Search for Solving Sudoku Puzzles [18]	เกมซูโดกุ จำนวน 3 รูปแบบ	ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ รวมเข้ากับวิธีการค้นหาความบรรสาน (Harmony Search: HS) เพื่อแก้ปัญหาซูโดกุ	FPCHS สามารถแก้ปัญหาเกมซูโดกุได้
An Improved Flower Pollination Algorithm with Chaos [19]	ฟังก์ชันสมการ จำนวน 10 ฟังก์ชัน แบบมีข้อจำกัด	การเพิ่มส่วนต่อขยายของขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้เพื่อจัดการกับ chaotic search เพื่อแก้ปัญหาการหาปริพันธ์แบบมีขอบเขต (Definite Integral)	IFPCH มีประสิทธิภาพมาก
An Improved Chaotic Flower Pollination Algorithm for Solving Large Integer Programming Problems [20]	ฟังก์ชันทดสอบ จำนวน 6 ฟังก์ชัน	การรวมเข้ากับการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) เปรียบเทียบกับ HSและ IHS	FPPSO สามารถได้วิธีการแก้ปัญหาที่ดีที่สุด
DE-FPA, A hybrid differential	ฟังก์ชันมาตรฐาน	การรวมเข้ากับวิธีวิวัฒนาการ โดยใช้ผลต่าง	ประสิทธิภาพของ DE-FPA ทำได้ดีกว่า ทั้ง

ชื่องานวิจัย	ข้อมูล	ศึกษา	ผลลัพธ์
evolution-flower pollination algorithm for function minimization [21]	จำนวน 5 ฟังก์ชัน	(Differential Evolution: DE) และวัดประสิทธิภาพเชิง เปรียบเทียบสำหรับการลดฟังก์ชันการทำงาน	FPA และ DE ในแง่ของประสิทธิภาพและอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบ
A Study on Flower Pollination Algorithm and Its Applications [22]	ฟังก์ชันมาตรฐาน ได้แก่ Spring Design Optimization, Welded Beam Design, Speed Reducer และ Pressure Vessel Design	เพื่อแก้ปัญหาจุดประสงค์การออกแบบเชิงเส้นแบบไม่เชิงเส้นและอัตราการลู่เข้าใกล้เคียงกันเป็นเส้นโค้ง เปรียบเทียบกับ GA และ PSO	อัตราการลู่เข้าของ FPA ใกล้เคียงกับ GA และ PSO มาก
Study of flower pollination algorithm for continuous optimization [23]	ฟังก์ชัน จำนวน 6 ฟังก์ชัน (CEC 2013)	การเพิ่มประสิทธิภาพอย่างต่อเนื่อง เปรียบเทียบกับ PSO	ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของ FPA ระหว่างการทำซ้ำ 10000 รอบทำได้ดีกว่า PSO
Application of mutation operators to flower pollination algorithm [24]	ฟังก์ชันมาตรฐานของการเพิ่มประสิทธิภาพ 17 ข้อ	นำเสนอตัวดำเนินการกลายพันธุ์ใหม่ การสลับแบบไดนามิกและการค้นหาที่ดีขึ้น เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการ ABC, DE, FA, BA และ GWO	ผลลัพธ์เชิงตัวเลขแสดงให้เห็นว่า ALFPA ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าสำหรับฟังก์ชันมาตรฐานอื่นที่นำมาเปรียบเทียบ

ชื่องานวิจัย	ข้อมูล	ศึกษา	ผลลัพธ์
A Review of the Applications of Bio-Inspired Flower Pollination Algorithm [25]	ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้	ทบทวนการใช้งานของขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ดอกเดียว (Single Flower Pollination Algorithm: SFPA) ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้หลายวัตถุประสงค์ (Multi-objective Flower Pollination Algorithm)	สามารถสร้างแรงบันดาลใจให้กับนักวิจัยเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ FPA รวมถึงการใช้ขั้นตอนวิธีในโดเมนอื่นเพื่อแก้ปัญหาในชีวิตจริง ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพเชิงซ้อน และไม่เชิงเส้นในด้านวิศวกรรมและอุตสาหกรรม
Flower Pollination Algorithm with Bee Pollinator for cluster analysis [26]	ชุดข้อมูลปัญญาประดิษฐ์ 2 ชุด และชุดข้อมูลจริง 8 ชุด	การรวมกับขั้นตอนวิธีของผึ้ง การถ่ายละอองเรณูดอกไม้และการครอสโอเวอร์เพื่อเพิ่มความหลากหลายของประชากรและความสามารถในการค้นหาในท้องถิ่น	BPFPA มีความเสถียรสูงกว่า DE, CS, ABC, PSO, FPA และ k-Means และความเร็วในการลู่เข้าเร็วขึ้น สามารถตรวจสอบได้ด้วยผลทางสถิติ
Improved Flower Pollination Algorithm Based on	ฟังก์ชันมาตรฐาน 4 ฟังก์ชัน	ปรับปรุงขั้นตอนวิธีการโดยกลยุทธ์การกลายพันธุ์ (FPA based on	ความสามารถในการเพิ่มประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี MFPA ดีขึ้นเมื่อ

ชื่องานวิจัย	ข้อมูล	ศึกษา	ผลลัพธ์
Mutation Strategy [27]		mutation strategy algorithm: MFPA)	เปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี FPA เดิม, PSO และ BA
Hybrid ant colony system and flower pollination algorithms for global optimization [28]	ชุดข้อมูลจำนวน 12 ชุด	การรวมเข้ากับขั้นตอนวิธีอาณานิคมมดสำหรับปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพ	ขึ้นอยู่กับระดับของการผสมข้ามพันธุ์ ได้แก่ การผสมพันธุ์ในระดับต่ำ , ระดับสูงและโครงสร้างทั่วไปของระดับการผสมที่แตกต่างกัน
Comparison solving discrete space on flower pollination algorithm, PSO and GA [29]	ฟังก์ชันมาตรฐานจำนวน 8 ฟังก์ชัน	ตัดพารามิเตอร์ที่ใช้ในขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีในพื้นที่ที่ไม่ต่อเนื่องและคำนวณความเร็วของ PSO และ GA รวมทั้งการเคลื่อนที่แบบ Levy fight เมื่อใช้พารามิเตอร์แบบไม่ต่อเนื่อง	FPA สามารถทำงานได้ดีกว่า PSO และ GA

5. สรุป

จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการความสำคัญและความสามารถของขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ เพื่อค้นหาความแตกต่างของปัญหาและการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ พบว่า ขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ มีความสามารถในการแก้ปัญหาทั้งฟังก์ชันมาตรฐานและปัญหาที่พบได้ในชีวิตจริง รวมถึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ แต่งานวิจัยชิ้นนี้ก็มีข้อจำกัดอยู่ที่เพียงการศึกษาจากงานวิจัยจากบทความอื่นเท่านั้น งานวิจัยครั้งต่อไปผู้วิจัยจะต้องมีการรวบรวมข้อมูลจริงมาวิเคราะห์ความสำคัญและความสามารถของขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ เพื่อค้นหาความแตกต่างของปัญหาและการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยขั้นตอนวิธีการถ่ายละอองเรณูดอกไม้ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับการสำรวจงานวิจัยในครั้งนี้ต่อไป

6. เอกสารอ้างอิง

[1] X.-S. Yang, "Flower Pollination Algorithm for Global Optimization," in *Unconventional Computation and Natural Computation: 11th International Conference, UCNC 2012, Orléan, France, September 3-7, 2012. Proceedings*, J. Durand-Lose and N. Jonoska, Eds. Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2012, pp. 240-249.

[2] J. H. Holland, *Adaptation in Natural and Artificial Systems: An Introductory Analysis with Applications to Biology, Control and Artificial Intelligence*. MIT Press, 1992, p. 228.

[3] R. Poli, J. Kennedy, and T. Blackwell, "Particle swarm optimization," *Swarm Intelligence,* journal article vol. 1, no. 1, pp. 33-57, June 01 2007.

[4] C. Blum, J. Puchinger, G. R. Raidl, and A. Roli, "Hybrid metaheuristics in combinatorial optimization: A survey," *Applied Soft Computing,* vol. 11, no. 6, pp. 4135-4151, 2011/09/01/ 2011.

[5] K. Sörensen, C. Vanovermeire, and S. Busschaert, "Efficient metaheuristics to solve the intermodal terminal location problem," *Computers & Operations Research,* vol. 39, no. 9, pp. 2079-2090, 2012/09/01/ 2012.

[6] A. Askarzadeh, "A novel metaheuristic method for solving constrained engineering optimization problems: Crow search algorithm," *Computers & Structures,* vol. 169, no. Supplement C, pp. 1-12, 2016/06/01/ 2016.

[7] E. Nabil, "A Modified Flower Pollination Algorithm for Global Optimization," *Expert Systems with Applications,* vol. 57, no. Supplement C, pp. 192-203, 2016/09/15/ 2016.

[8] X.-S. Yang, "Chapter 11 - Flower Pollination Algorithms," in *Nature-Inspired Optimization Algorithms*Oxford: Elsevier, 2014, pp. 155-173.

[9] D. A. Levin, "Pollinator Foraging Behavior: Genetic Implications for Plants," in *Topics in Plant Population Biology*, O. T. Solbrig, S. Jain, G. B. Johnson, and P. H. Raven, Eds. London: Macmillan Education UK, 1979, pp. 131-153.

[10] "Flower Pollination by Insects," in *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families*Boston, MA: Springer US, 2006, pp. 33-33.

[11] "Flower Pollination by Insects (continued)," in *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families*Boston, MA: Springer US, 2006, pp. 34-34.

[12] "Flower Pollination by Birds and Bats," in *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families*Boston, MA: Springer US, 2006, pp. 36-36.

[13] "Flower Pollination by Wind," in *Botany Illustrated: Introduction to Plants, Major Groups, Flowering Plant Families*Boston, MA: Springer US, 2006, pp. 35-35.

[14] M. Tomassini, "Lévy flights in neutral fitness landscapes," *Physica A: Statistical Mechanics and its Applications,* vol. 448, no. Supplement C, pp. 163-171, 2016/04/15/ 2016.

[15] T. K. Dao, T. S. Pan, T. T. Nguyen, S. C. Chu, and J. S. Pan, "A Compact Flower Pollination Algorithm Optimization," in *2016 Third International Conference on Computing Measurement Control and Sensor Network (CMCSN)*, 2016, pp. 76-79.

[16] M. Zhang, J. Dai, J. Zheng, and G. Zhang, "An Improved Flower Pollination Algorithm," in *2016 13th Web Information Systems and Applications Conference (WISA)*, 2016, pp. 179-183.

[17] X.-S. Yang, M. Karamanoglu, and X. He, "Multi-objective Flower Algorithm for Optimization," *Procedia Computer Science,* vol. 18, no. Supplement C, pp. 861-868, 2013/01/01/ 2013.

[18] Abdel-Raouf, Osama, M. Abdel-Baset, and I. Henawy, *A Novel Hybrid Flower Pollination Algorithm with Chaotic Harmony Search for Solving Sudoku Puzzles*. 2014, pp. 126-132.

[19] O. Abdel-Raouf, M. Abdel-Baset, and I. El-henawy, "An Improved Flower Pollination Algorithm with Chaos," *International Journal of Education and Management Engineering,* vol. 4, no. 2, pp. 1-8, 2014.

[20] I. El-henawy and M. Ismail, "An Improved Chaotic Flower Pollination Algorithm for Solving Large Integer Programming Problems," *International Journal of Digital Content Technology and its Applications (JDCTA)* vol. 8, no. 3, pp. 72-81, 2014.

[21] D. Chakraborty, S. Saha, and O. Dutta, "DE-FPA: A hybrid differential evolution-flower pollination algorithm for function minimization," in *High Performance Computing and Applications (ICHPCA), 2014 International Conference on*, 2014, pp. 1-6: IEEE.

[22] K. Balasubramani and K. Marcus, "A study on flower pollination algorithm and its applications," *International Journal of Application or Innovation in Engineering and Management,* vol. 3, no. 11, pp. 230-35, 2014.

[23] S. Łukasik and P. A. Kowalski, "Study of flower pollination algorithm for continuous optimization," in *Intelligent Systems' 2014*: Springer, 2015, pp. 451-459.

[24] R. Salgotra and U. Singh, "Application of mutation operators to flower pollination algorithm," *Expert Systems with Applications,* vol. 79, no. Supplement C, pp. 112-129, 2017/08/15/ 2017.

[25] H. Chiroma, N. L. M. Shuib, S. A. Muaz, A. I. Abubakar, L. B. Ila, and J. Z. Maitama, "A Review of the Applications of Bio-inspired Flower Pollination Algorithm," *Procedia Computer Science,* vol. 62, no. Supplement C, pp. 435-441, 2015/01/01/ 2015.

[26] R. Wang, Y. Zhou, S. Qiao, and K. Huang, "Flower Pollination Algorithm with Bee Pollinator for cluster analysis," *Information Processing Letters,* vol. 116, no. 1, pp. 1-14, 2016/01/01/ 2016.

[27] Y. Wang, D. Li, Y. Lu, Z. Cheng, and Y. Gao, "Improved Flower Pollination Algorithm Based on Mutation Strategy," in *2017 9th International Conference on Intelligent Human-Machine Systems and Cybernetics (IHMSC)*, 2017, vol. 2, pp. 337-342.

[28] K. R. Ku-Mahamud, "Hybrid ant colony system and flower pollination algorithms for global optimization," in *2015 9th International Conference on IT in Asia (CITA)*, 2015, pp. 1-9.

[29] W. Rathasamuth and S. Nootyaskool, "Comparison solving discrete space on flower pollination algorithm, PSO and GA," in *2016 8th International Conference on Knowledge and Smart Technology (KST)*, 2016, pp. 18-21.