วารสารวิชาการ
อุตสาหกรรมศึกษา

วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา ปีที่ 5 ฉบับที่ 1 มกราคม - มิถุนายน 2554 (1-8)

การประยุกต์ใช้พาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่นอัลกอริทึ่มแบบต่าง ๆ ในการจัดตารางการผลิตแบบทำตามสั่ง

พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์

ภาควิชาวิศวกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น

VARIOUS VERSIONS OF PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM APPLIED FOR JOB-SHOP SCHEDULING PROBLEMS

Pisut Pongchairerks

Production Engineering Program, Faculty of Engineering, Thai-Nichi Institute of Technology

บทคัดย่อ

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์แบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชันอัลกอริทึ่ม หรือ PSO เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์รวมไปถึงปัญหาต่าง ๆทางวิศวกรรม เพราะ PSO มีประสิทธิภาพสูงในการหาคำตอบที่ดีในเวลาอันสั้น ภายหลังจึงมีนักวิชาการหลายท่านได้นำวิธี PSO แบบมาตรฐาน ไปทำการดัดแปลงแก้ไขเพื่อพัฒนาให้ได้วิธี PSO ที่มีประสิทธิภาพที่สูงขึ้น อันนำมาสู่การสร้างวิธี PSO ในเวอร์ชันใหม่ ๆ บทความวิชาการฉบับนี้จึงมีจุดมุ่งหมายที่จะสรุปวิธี PSO ที่สำคัญ ๆ ในเวอร์ชันต่าง ๆ รวมไปถึงเหตุจูงใจในการสร้างวิธี PSO เวอร์ชันนั้น ๆ เพื่อให้เกิดความเข้าใจรวบยอดในการพัฒนาวิธี PSO ให้มีประสิทธิภาพที่ดียิ่ง ๆขึ้นไป ยิ่งไปกว่านั้นบทความวิชาการฉบับนี้ยังได้นำเสนอวิธีการประยุกต์ใช้ PSO กับการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบตามสั่ง ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญที่เกิดขึ้นในอุตสาหกรรมหลากหลายประเภทของประเทศไทย

คำสำคัญ: *พาร์ติเคิลสวอมออฟทิไมเซชันอัลกอริทึ่ม, การจัดตารางการผลิตแบบทำตามสั่ง*

Abstract

Particle swarm optimization, or PSO, is a random search algorithm which is popularly used in finding the optimal solution for the mathematical functions as well as the engineering problems. The reason behind is that PSO is capable to find high quality solutions in a short computational time. Therefore, many researchers have paid their attentions to modify the standard PSO in order to enhance the search performance of PSO; this leads to create many new PSO versions. This academic article then aims to summarize several important versions of PSO and the inspirations of their development. Later on, this academic article presents an application of PSO to job-shop scheduling problems.

Keyword: *Particle swarm optimization Algorithm, Job-shop scheduling problems*

ภูมิหลัง

ปัญหาทางคณิตศาสตร์และทางวิศวกรรมในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนใหญ่แล้วมีลักษณะที่ซับซ้อนและยากที่จะแก้โดยเทคนิคทั่วไป ดังนั้นตั้งแต่ปี ค.ศ. 1960 เป็นต้นมา นักวิจัยส่วนหนึ่งได้ริเริ่มคิดค้นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการ หรือ Evolutionary algorithm (Holland, 1975) ซึ่งวิธีการประเภทนี้จะทำการค้นหากลุ่มคำตอบเบื้องต้นและใช้กลไกที่เลียนแบบมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการในการปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้นไปเรื่อย ๆ จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด PSO ก็ถูกจัดว่าเป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยเลียนแบบทฤษฎีวิวัฒนาการอีกแบบหนึ่ง โดย PSO ได้ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Kennedy and Eberhart (1995) ซึ่งอาศัยหลักการการเลียนแบบพฤติกรรมทางสังคมของสัตว์สังคมเช่น ฝูงนก หรือ ฝูงปลา เป็นต้น

การทำงานของ PSO เลียนแบบมาจากพฤติกรรมทางสังคมของฝูงนกที่มักจะออกหาอาหารพร้อม ๆกันเป็นฝูง และมักจะมีตัวหนึ่งเป็นผู้นำฝูง หรือที่เรียกว่าจ่าฝูง โดยนกในฝูงทุกตัวจะบินตามจ่าฝูงในการหาอาหาร เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับ PSO ฝูงนกใน PSO ซึ่งถูกเรียกว่า Swarm แท้จริงแล้วคือ กลุ่มของพาร์ทิเคิล (Particles) ในพื้นที่หลายมิติ (Dimensional space) ซึ่งพาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะต้องเก็บข้อมูลเวคเตอร์สองเวคเตอร์ อันได้แก่ เวคเตอร์ระบุตำแหน่ง และเวคเตอร์ระบุความเร็วในการบิน เราสมมุติให้ฝูงพาร์ทิเคิลบินอยู่ในพื้นที่ค้นหาหลายมิติ ตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัวในฝูงจะต้องจำตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวมันเอง และตำแหน่งที่ดีที่สุดของเพื่อนร่วมฝูง ความหมายของคำว่า *ตำแหน่งที่ดีที่สุด* ในที่นี้ หมายถึงคำตอบ (Solution) ที่มีค่าคำตอบ (Fitness value) ที่ดีที่สุดนั่นเอง สมาชิกในฝูงจะทำการสื่อสารข้อมูลของตำแหน่งกับสมาชิกตัวอื่น และทำการเปลี่ยนความเร็วและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่เพื่อให้เข้าใกล้ตำแหน่งที่ดีที่สุดมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้ว การสื่อสารเกิดขึ้นได้โดยผ่านทางสองวิธีคือ

- ผ่านทางตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global best position) ซึ่งคือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ฝูงทั้งฝูงค้นพบ
- ผ่านทางตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่ม (Neighbors' best position) ซึ่งหมายความว่า พาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะสื่อสารกับพาร์ทิเคิลตัวอื่นเฉพาะบางตัวที่ถูกเลือกมาโดยวิธีการใดวิธีการหนึ่งแล้วเท่านั้น

ในวิธี PSO แบบมาตรฐาน (Kennedy and Eberhart, 1995; Shi and Eberhart, 1998) ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลถูกใช้เป็นแหล่งข้อมูลเดียวที่ใช้ติดต่อกันภายในฝูง การใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลนำมาสู่การทำให้พาร์ทิเคิลในฝูงบินมากระจุกตัวรวมกันอย่างรวดเร็ว และดังนั้นจึงทำให้มีความเป็นไปได้สูงมากที่ฝูงพาร์ทิเคิลทั้งหมดจะติดกับอยู่ในจุดที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ (Local optimum) ด้วยจุดอ่อนข้อนี้ของ PSO แบบมาตรฐานนี้ ทำให้นักวิจัยทำการปรับปรุงวิธี PSO แบบใหม่ ๆ โดยการใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่มแบบต่าง ๆ แทนการใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล อาทิเช่น Kennedy (1999) และ Veeramachaneni et al. (2003) เป็นต้น

สัญลักษณ์และคำจำกัดความที่ใช้ใน PSO

สัญลักษณ์ละคำจำกัดความของ PSO ที่จำเป็นต้องทราบมีดังต่อไปนี้คือ

1. Uniform[0, 1]: u แทนเลขจำนวนจริงที่เป็นตัวเลขสุ่มที่อยู่ในช่วง [0, 1]
2. พาร์ทิเคิล (PArticle) คือสมาชิกตัวหนึ่งในฝูง (Swarm) โดยพาร์ทิเคิลหนึ่งตัวประกอบด้วย ตำแหน่ง (Position) และความเร็ว (Velocity) ตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะรู้ตำแหน่งปัจจุบันของมัน และรู้ค่าคำตอบของตำแหน่งนั้น ๆ ตัวพาร์ทิเคิลรู้ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ตัวมันเองเคยหาเจอที่เรียกว่า Personal best position และรู้ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่ม และรู้ค่าคำตอบของตำแหน่งนั้น ๆ
3. ฝูง (Swarm) คือเซตของกลุ่มพาร์ทิเคิลทั้งหมด K ตัว ตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ K
4. ตำแหน่งของพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่การวนซ้ำครั้งที่ t ถูกเขียนแทนด้วย $X_i(t)$ โดยตำแหน่งดังกล่าวประกอบด้วย

มิติ D มิติ คือ $X_i(t) = (x_{i1}(t),..., x_{id}(t),...,x_{iD}(t))$ โดยที่ $x_{id}(t)$ คือค่าของตำแหน่งของมิติที่ d ของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i แต่ละตำแหน่ง $X_i(t)$ สามารถแปลงเป็นคำตอบ (Solution) ของปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยค่าของตำแหน่งจะถูกจำกัดในขอบเขต $[X_{min}, X_{max}]$

5. ค่าความเหมะสม (Fitness value): $f(X_i(t))$ คือค่าของคำตอบที่แปลงมาจากตำแหน่ง $X_i(t)$ โดยจะถูกเรียกว่าค่าความเหมาะสมของตำแหน่ง $X_i(t)$

6. ความเร็ว (Velocity): $V_i(t)$ แทนค่าความเร็วของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่การวนซ้ำครั้งที่ t คือถูกเขียนแทนด้วยค่าเวคเตอร์ที่มีมิติ D มิติ คือ $V_i(t) = (v_{i1}(t),..., v_{id}(t),..., v_{iD}(t))$ โดย vid(t) คือค่าของความเร็วที่มิติที่ d ของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่การวนซ้ำครั้งที่ t และ $V_i(t + 1)$ คืออัตราเร็วที่ตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i จะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง $X_i(t)$ ไปตำแหน่ง $X_i(t + 1)$

7. ความเร็สสูงสุด (Maximum velocity): V_{max} คือขีดจำกัดของความเร็ว โดยแต่ละ $v_{id}(t)$ ไม่สามารถมีค่าออกนอกช่วง $[-V_{max}, V_{max}]$

8. น้ำหนักแรงเฉื่อย (Inertia weight): $w(t)$ คือพารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมผลกระทบของความเร็วที่การวนซ้ำก่อนหน้า ที่จะมีผลต่อ ความเร็วในการวนซ้ำปัจจุบันของ ตัวพาร์ทิเคิลทั้ง K ตัว

9. ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Personal best position): P_i คือตำแหน่งที่ถูกพบโดยตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยเขียนแทนด้วย $P_i = (p_{i1},..., p_{id},..., p_{iD})$

10. ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global best position): P_g เป็นสัญลักษณ์ที่ใช้แทนตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล และแทนด้วยเวคเตอร์ของมิติ D มิติ คือ $P_g = (p_{g1},..., p_{gd},..., p_{gD})$ ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล คือตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ถูกพบโดยฝูง

11. ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ (Local best position): P_{li} ใช้เขียนแทนตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i และเขียนแทนด้วยเวคเตอร์ขนาด D มิติ คือ $P_{li} = (p_{li1},..., p_{lid},..., p_{liD})$ โดยที่ p_{lid} คือตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ในมิติที่ d โดย P_{li} คือตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ถูกพบโดยกลุ่มพาร์ทิเคิลจำนวน k ตัวที่มีลำดับหมายเลขติดกัน ยกตัวอย่างเช่น สมมุติเรากำหนดให้ จำนวนพาร์ทิเคิลในฝูงทั้งหมดเป็น $K = 5$ และจำนวนพาร์ทิเคิลในกลุ่มที่เรียงตามลำดับหมายเลขเป็น $k = 3$ ดังนั้น กลุ่มของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ 1 ประกอบด้วย พาร์ทิเคิลตัวที่ 5 ตัวที่ 1 และตัวที่ 2, กลุ่มของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ 2 ประกอบด้วย พาร์ทิเคิลตัวที่ 1 ถึงตัวที่3, กลุ่มของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ 3 ประกอบด้วย พาร์ทิเคิลตัวที่ 2 ถึงตัวที่ 4, กลุ่มของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ 4 ประกอบด้วย พาร์ทิเคิลตัวที่ 3 ถึงตัวที่ 5, และ กลุ่มของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ 5 ประกอบด้วย พาร์ทิเคิลตัวที่ 4, ตัวที่ 5, และตัวที่ 1

12. ตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้กัน (Near neighbor best position): P_{ni} แทนด้วยตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้กัน [4] ของพาร์ทิเคิลตัวที่ i และถูกแทนด้วยเวคเตอร์ขนาด D มิติ ดังนี้คือ สำหรับปัญหาหาค่าต่ำสุด $P_{ni} = (p_{ni1},..., p_{nid},..., p_{niD})$ ซึ่ง $p_{nid} = p_{jd}$ ที่มีค่าที่สูงที่สุดของ $FDR(j, i, d)$ ที่แสดงไว้ในสมการที่ 1 สำหรับปัญหาหาค่าสูงสุด ต่ำสุด $P_{ni} = (p_{ni1},..., p_{nid},..., p_{niD})$ ซึ่ง $p_{nid} = p_{jd}$ ที่มีค่าที่สูงที่สุดของ $-FDR(j, i, d)$

$$FDR(j,i,d) = \frac{f(X_i) - f(P_j)}{|p_{jd} - x_{id}|} \quad \text{เมื่อ } i \neq j \quad (1)$$

เมื่อ FDR ถูกเรียกว่า Fitness-Distance-Ratio และ p_{jd} คือตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัวของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ j ที่มิติที่ d

13. ค่าคงที่อัตราเร่ง (Acceleration constant): แต่ละประเภทของตำแหน่งที่ดีที่สุด อันได้แก่ ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว, ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล, ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ, และตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้กัน จะมีค่าคงที่อัตราเร่งเป็นของมันเอง โดยค่าคงที่อัตราเร่งคือพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อค่าความเร็ว โดย c_p คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว, c_g คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล, c_l คือค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ, และ c_n คือค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้กัน

14. ค่าการวนซ้ำสูงสุด (Maximum iteration): T ใช้เขียนแทนค่าการวนซ้ำสูงสุด โดย วิธี PSO จะหยุดการวนซ้ำเมื่อจำนวนการวนซ้ำเท่ากับค่าการวนซ้ำสูงสุด

ต่อจากนี้ บทความทางวิชาการนี้จะทำการอธิบาย PSO ในเวอร์ชั่นต่าง ๆ โดยเริ่มจาก วิธี PSO แบบมาตรฐาน

วิธี PSO ในเวอร์ชั่นต่าง ๆ

ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะ PSO ในเวอร์ชั่นที่สำคัญ ๆ เท่านั้น อันได้แก่ (1) PSO แบบมาตรฐาน (2) Lbest-PSO (3) Dissipative PSO (4) FDR-PSO (5) GLN-PSO และ (6) GLN-PSOc

1. วิธี PSO แบบมาตรฐาน

วิธี PSO แบบมาตรฐานถูกนำเสนอโดย Kennedy and Eberhart (1995) ซึ่งในเวอร์ชั่นมาตรฐานนี้มีการปรับปรุงเพิ่มเติมภายหลังโดย Shi and Eberhart (1998) ด้วยการเพิ่มตัวพารามิเตอร์น้ำหนักแรงเฉื่อย w ลงในสมการ หลังจากนั้นวิธี PSO แบบมาตรฐานนี้ก็กลายเป็นวิธี PSO ที่นิยมใช้กันแพร่หลายมากที่สุดจนถึงปัจจุบัน วิธี PSO แบบมาตรฐานใช้การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัวกับตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลเท่านั้น ในการเชื่อมต่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวพาร์ทิเคิลในฝูง วิธี PSO แบบมาตรฐานนี้ใช้สมการที่ 2 และสมการที่ 3 ในการเปลี่ยนค่าความเร็วและตำแหน่ง ดังที่จะแสดงดังต่อไปนี้

$$\left.\begin{aligned} v_{id}(t+1) &= w(t)v_{id}(t)+c_p u\left(p_{id}-x_{id}(t)\right)+c_g u\left(p_{gd}-x(t)\right) \\ v_{id}(t+1) &= \begin{cases} -V_{\max} & \text{if } v_{id}(t+1)\le -V_{\max} \\ V_{\max} & \text{if } v_{id}(t+1)\ge V_{\max} \end{cases} \end{aligned}\right\} \quad (2)$$

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (3)$$

ขั้นตอนการทำงานของ PSO แบบมาตรฐานมีดังต่อไปนี้คือ

ขั้นตอนที่ 1: ตั้งค่าพารามิเตอร์ ตั้งค่าการวนซ้ำปัจจุบัน t = 1 กำหนดตำแหน่งและความเร็วของตัวพาร์ทิเคิล K ตัวในฝูง

ขั้นตอนที่ 2: สำหรับตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัว แปลงตำแหน่งไปเป็นคำตอบของปัญหาที่กำหนด และทำการประเมินค่าคำตอบนั้น ๆในฐานะที่เป็นค่าความเหมาะสมของตำแหน่งนั้น ๆ โดยขั้นตอนการแปลงตำแหน่งไปเป็นคำตอบขึ้นอยู่กับแต่ละปัญหาโดยเฉพาะไม่เหมือนกัน

ขั้นตอนที่ 3: ปรับตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว

ขั้นตอนที่ 4: ปรับตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล

ขั้นตอนที่ 5: ปรับความเร็วและตำแหน่งของตัวพาร์ทิเคิลทุกตัวด้วยสมการที่ 2 และสมการที่ 3

ขั้นตอนที่ 6: ถ้าเงื่อนไขการหยุดทำงานสมบูรณ์ ให้หยุดการวนซ้ำ แต่ถ้าเงื่อนไขการหยุดการทำงานไม่สมบูรณ์ ให้ตั้งค่า $t = t + 1$ แล้วกลับไปทำงานที่ขั้นตอนที่ 2

2. วิธี Lbest-PSO

หลายปีต่อมาหลังจากที่วิธี PSO แบบมาตรฐานได้ถูกนำเสนอ นักวิจัยยังคงพยายามคิดค้นวิธี PSO ในรูปแบบอื่น ๆ เพื่อยกระดับความสามารถในการค้นหาของ PSO ให้ดียิ่งขึ้น เนื่องจาก Kennedy (1993) ค้นพบว่าฝูงพาร์ทิเคิลในวิธี PSO แบบมาตรฐานนั้น มีความเป็นไปได้สูงที่จะหยุดการหาคำตอบเพื่อพบค่าคำตอบที่ดีแต่ยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น Kennedy (1993) จึงนำเสนอเวอร์ชั่นใหม่ของ PSO ซึ่งเรียกว่า Lbest-PSO โดยเวอร์ชั่นนี้ จะใช้สมการที่ 4 แทนการใช้สมการที่ 2 ของวิธี PSO แบบมาตรฐาน

$$\left.\begin{aligned} v_{id}(t+1) &= w(t)v_{id}(t)+c_p u\left(p_{id}-x_{id}(t)\right)+c_l u\left(p_{lid}-x(t)\right) \\ v_{id}(t+1) &= \begin{cases} -V_{\max} & \text{if } v_{id}(t+1)\le -V_{\max} \\ V_{\max} & \text{if } v_{id}(t+1)\ge V_{\max} \end{cases} \end{aligned}\right\} \quad (4)$$

ยิ่งไปกว่านั้นผลงานวิจัยของ Kennedy (1993) ได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี Lbest-PSO กับวิธี PSO แบบมาตรฐาน โดยใช้แก้ปัญหาฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์สี่

ฟังก์ชั่น พบว่า วิธี Lbest-PSO ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธี PSO แบบมาตรฐาน ถึง 2 ฟังก์ชั่นจากทั้งหมด 4 ฟังก์ชั่น

3. วิธี Dissipative PSO

Xie et al. (2002) ทำการปรับปรุงวิธี PSO แบบมาตรฐานโดยการนำเสนอ Negative entropy ให้กับ PSO โดยการวิจัยของ Xie et al. (2002) เสนอว่า Negative entropy สามารถทำให้ฝูงพาร์ทิเคิลพัฒนาการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ดียิ่งขึ้น โดยเราสามารถใส่ Negative entropy ลงใน PSO ได้โดยใช้สมการที่ 5 และ 6 ภายหลังจากใช้สมการที่ 2 และ 3 ในวิธี PSO แบบมาตรฐานเพื่อการปรับค่าความเร็วและตำแหน่งของตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัว

$v_{id}(t+1) = U[-V_{max}, V_{max}]$ ถ้า $c_v > U[0, 1]$ (5)
$x_{id}(t+1) = U[X_{min}, X_{max}]$ ถ้า $c_x > U[0, 1]$ (6)

โดย c_v และ c_x คือ Chaotic factor ในช่วง [0, 1] ในผลของงานวิจัยของ Xie et al. (2002) แสดงให้เห็นว่า Dissipative PSO ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า วิธี PSO แบบมาตรฐาน เมื่อนำไปใช้แก้ปัญหาฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์ที่มีจุดที่ดีที่สุดหลายจุด (Multimodal functions)

4. วิธี FDR-PSO

Veeramachaneni (2003) นำเสนอ วิธี PSO ซึ่งตัวพาร์ทิเคิลจะติดต่อสื่อสารกันภายในกลุ่มย่อยของฝูง โดยกลุ่มย่อยจะถูกแยกโดย Fitness-Distance-Ratio (FDR) แรงจูงใจในการพัฒนาวิธี FDR-PSO คือเพื่อเพิ่มความสามารถในการหนีออกจากกระจุกตัวกันในจุดที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ แนวความคิดที่ใช้ใน PSO แบบนี้คือการเพิ่มตำแหน่งที่ดีที่สุดมากขึ้น ทำให้ตัวพาร์ทิเคิลมีเวลาในการค้นหาพื้นที่บริเวณต่าง ๆ ก่อนที่จะเข้ามารวมตัวกัน เพื่อให้ได้ผลสำเร็จตามที่คาด *Kennedy* ได้ทำการแนะนำตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้กัน (Near neighbor best position) อังที่กล่าวไว้แล้วในตอนต้นของรายงานฉบับนี้ โดย FDR-PSO จะปรับความเร็วโดยใช้สมการที่ 7 แทนการใช้สมการที่ 2 ใน PSO แบบมาตรฐาน *(Kennedy, J. 1999)*

$$\left.\begin{array}{l} v_{id}(t+1) = w(t)v_{id}(t) + c_p u\left(p_{id} - x_{id}(t)\right) + c_g u\left(p_{gd} - x(t)\right) \\ \qquad + c_n u\left(p_{nid} - x_{id}(t)\right) \\ v_{id}(t+1) = \begin{cases} -V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \le -V_{max} \\ V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \ge V_{max} \end{cases} \end{array}\right\} \quad (7)$$

ประสิทธิภาพของ FDR-PSO ถูกนำมาเปรียบเทียบกับ วิธี PSO แบบมาตรฐาน และวิธี GA แบบมาตรฐาน โดยผลลัพธ์ที่ได้จาก FDR-PSO หาคำตอบได้ดีกว่าวิธีอื่น ๆในทุกปัญหาที่ทำการทดสอบ

5. วิธี GLN-PSO

Pongchairereks และ Kachitvichyanukul (2009a) ได้นำเสนอ วิธี GLN-PSO ซึ่งใช้ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว, ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล, ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะบริเวณ, และตำแหน่งที่ดีที่สุดของกลุ่มที่ตำแหน่งใกล้กัน ไปพร้อม ๆกัน โดยมีเป้าหมายหลักที่จะให้ตัวพาร์ทิเคิลกระจายกันหาจุดที่ดีที่สุดในบริเวณต่าง ๆออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ พร้อม ๆกันก่อน แล้วจึงค่อย ๆรวมตัวกันค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในภายหลัง GLN-PSO จะปรับความเร็วโดยใช้สมการที่ 8 แทนการใช้สมการที่ 2 ใน PSO แบบมาตรฐาน

$$\left.\begin{array}{l} v_{id}(t+1) = w(t)v_{id}(t) + c_p u\left(p_{id} - x_{id}(t)\right) + c_g u\left(p_{gd} - x(t)\right) \\ \qquad + c_l u\left(p_{lid} - x_{id}(t)\right) + c_n u\left(p_{nid} - x_{id}(t)\right) \\ v_{id}(t+1) = \begin{cases} -V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \le -V_{max} \\ V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \ge V_{max} \end{cases} \end{array}\right\} \quad (8)$$

งานวิจัยของ Pongchairereks และ Kachitvichyanukul (2009a) นำ GLN-PSO มาเปรียบเทียบกับ วิธี PSO แบบ

มาตรฐาน และวิธี FDR-PSO ในปัญหาทางคณิตศาสตร์เหล่านี้คือ Sphere, Rosenbrock, Ratirigin, Griewank, Ackley, และ Move axis parallel hyper-ellipsoid ผลการทดลองคือ GLN-PSO หาผลลัพธ์ได้ดีกว่าในทุก ๆปัญหา

6. วิธี GLN-PSOc

Pongchairereks และ Kachitvichyanukul (2009b) ได้ทำการดัดแปลง GLN-PSO มาเป็นเวอร์ชั่นใหม่อีกเวอร์ชั่นหนึ่ง เรียกว่า GLN-PSOc โดย GLN-PSOc คือ วิธี GLN-PSO ที่ในแต่ละการวนซ้ำ t พาร์ทิเคิลบางตัวในฝูงจะถูกเลือกด้วยความน่าจะเป็น P_c ให้ปรับค่าความเร็วตามสมการที่ 9 แทนที่จะเป็นสมการที่ 8 และปรับตำแหน่งด้วยสมการที่ 10 แทนที่จะเป็นสมการที่ 3 ในขณะที่พาร์ทิเคิลตัวอื่น ๆที่ไม่ได้ถูกเลือกจะมีการปรับความเร็วและตำแหน่งตามสมการของ GLN-PSO ทุกประการ

$$v_{id}\left(t+1\right)=v_{id}\left(t\right) \tag{9}$$

$$x_{id}\left(t+1\right)=\begin{cases} x_{id}(t) & \text{if } u<0.7 \\ p_{gd} & \text{otherwise} \end{cases} \tag{10}$$

Pongchairereks และ Kachitvichyanukul (2009b) ได้นำ GLN-PSOc ไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดตารางเวลา ซึ่งได้ผลลัพธ์ที่ดี

ปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่ง

ปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่ง (French, 1982) สามารถอธิบายได้ดังต่อไปนี้ กำหนดให้มีงาน n งานคือ J_1, J_2, J_3,..., J_i,..., J_n และเครื่องจักร m เครื่องคือ M_1, M_2, M_3,..., M_m การที่จะผลิตงานแต่ละงาน J_i จะต้องดำเนินกระบวนการที่เรียงกันแบบอนุกรมดังนี้คือ O_{i1}, O_{i2},..., O_{ij},..., O_{im} ให้เสร็จสิ้น ซึ่งจะต้องทำกระบวนการแรกให้เสร็จก่อนจึงจะสามารถทำกระบวนการที่สอง กระบวนการที่สาม และต่อเนื่องไปจนกระบวนการสุดท้าย กระบวนการ O_{ij} จะต้องถูกดำเนินการในเครื่องจักรที่ระบุไว้ก่อนแต่แรก โดยเวลาการดำเนินการของกระบวนการ O_{ij} คือ p_{ij}

เป้าหมายของปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่ง คือ การจัดวางกระบวนการทั้งหมดลงในช่วงเวลาที่เครื่องจักรว่างอยู่เพื่อให้ได้เวลาของการผลิตงานทั้งหมดสั้นที่สุด โดยมีเงื่อนไขสองประการดังนี้ คือ (1) เครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่สามารถดำเนินการสองงานพร้อม ๆ กันได้ และ (2) งานแต่ละงานไม่สามารถถูกดำเนินการบนเครื่องจักรสองเครื่องพร้อมกัน

การประยุกต์ใช้ PSO กับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่ง

ตำแหน่ง $X_i(t)$ ของพาร์ทิเคิลแต่ละตัวสามารถถูกแปลงเป็นตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่งได้หนึ่งตาราง โดยจำนวนมิติ D ของ PSO จะต้องเท่ากับจำนวนกระบวนการทั้งหมด หรือ $D = m(n)$ นั่นเอง การแปลงตำแหน่ง $X_i(t)$ ของพาร์ทิเคิลให้เป็นตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่งจะอธิบายโดยการยกตัวอย่างดังต่อไปนี้

ยกตัวอย่างเช่นถ้าการผลิตมีงาน 3 ชิ้นและมีเครื่องจักร 2 เครื่อง จำนวนมิติ D ของ PSO จะต้องเท่ากับ $D = 2(3) = 6$ มิติ สมมุติให้ค่าตำแหน่ง $X_i(t) = (0.8, 0.7, 0.4, 0.2, 0.9, 0.1)$ เนื่องจากการผลิตมีงาน 3 ชิ้น แต่ละงานมี 3 กระบวนการเนื่องจากมีเครื่องจักร 3 เครื่อง ดังนั้น มิติที่มีค่าน้อยที่สุด 2 มิติซึ่งในที่นี้มีค่าเท่ากับ 0.1 และ 0.2 จะถูกกำหนดให้กับงานชิ้นที่ 1 ทำเช่นเดียวกันกับอีก 2 มิติต่อมาซึ่งมีค่าเท่ากับ 0.4 และ 0.7 จะถูกกำหนดให้กับงานชิ้นที่ 2 และสุดท้าย มิติที่มีค่ามากที่สุด 2 มิติจะถูกกำหนดให้กับงานชิ้นที่ 3 ดังนั้นจะได้ว่า $X_i(t) = (0.8, 0.7, 0.4, 0.2, 0.9, 0.1)$ มีค่าเท่ากับ การจัดตารางแบบ (3, 2, 2, 1, 3, 1) ซึ่งหมายถึงการดำเนินการกระบวนการแรกของงานชิ้นที่ 3 ก่อน, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการแรกของงานชิ้นที่ 2, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่สองของงานชิ้นที่ 2, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการแรกของงานชิ้นที่

1, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่สองของงานชิ้นที่ 3, และสุดท้ายให้ดำเนินการกระบวนการที่สองของงานชิ้นที่ 1 ซึ่งเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมดหกกระบวนการ

เพื่อเพิ่มเติมความเข้าใจ จึงขอยกตัวอย่าอีกหนึ่งตัวอย่าง เช่นถ้าการผลิตมีงาน 2 ชิ้น และมีเครื่องจักร 4 เครื่อง แสดงว่าจำนวนมิติ D ของ PSO จะเท่ากับ D = 4(2) = 8 มิติ สมมุติให้ค่าตำแหน่ง $X_i(t)$ = (0.5, 0.1, 0.3, 0.2, 0.7, 0.9, 0.4, 0.6) เนื่องจากการผลิตมีงาน 2 ชิ้น แต่ละงานมี 4 กระบวนการเนื่องจากมีเครื่องจักร 4 เครื่อง ดังนั้น มิติที่มีค่าน้อย 4 มิติจะถูกกำหนดให้กับงานที่ 1 และมิติที่มีค่ามาก 4 มิติจะถูกกำหนดให้กับงานที่ 2 นั่นคือ $X_i(t)$ = (0.5, 0.1, 0.3, 0.2, 0.7, 0.9, 0.4, 0.6) สามารถแปลงเป็นการจัดตารางแบบ (2, 1, 1, 1, 2, 2, 1, 2) ซึ่งหมายถึง การดำเนินการกระบวนการที่หนึ่งของงานชิ้นที่ 2 ก่อน, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่หนึ่งของงานชิ้นที่ 1, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่สองของงานชิ้นที่ 1, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่สามของงานชิ้นที่ 1, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่สองของงานชิ้นที่ 2, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการที่สามของงานชิ้นที่ 2, ถัดมาให้ดำเนินการกระบวนการสุดท้ายของงานชิ้นที่ 1, และดำเนินการกระบวนการสุดท้ายของงานชิ้นที่ 2 ซึ่งเป็นอันเสร็จสิ้นกระบวนการทั้งหมดแปดกระบวนการ รายละเอียดเกี่ยวกับการแปลง $X_i(t)$ เป็นตารางการผลิตสามารถพบได้ใน Gen and Cheng (1997)

วิธี PSO ทุกวิธีที่เสนอมาสามารถใช้ได้กับวิธีการแปลงตำแหน่งของพาร์ทิเคิลเป็นการจัดตารางที่ได้แสดงไว้ในหัวข้อนี้ได้เหมือน ๆกัน จะต่างกันเพียงแต่คุณภาพของตารางที่จัดได้เท่านั้น ซึ่ง GLN-PSO และ GLN-PSOc จะมีประสิทธิภาพสูงกว่า PSO แบบอื่น

สรุป

วิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดของฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์แบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่นอัลกอริทึ่ม หรือ PSO เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาฟังก์ชั่นทางคณิตศาสตร์รวมไปถึงปัญหาต่าง ๆทางวิศวกรรม เพราะ PSO มีประสิทธิภาพสูงในการหาคำตอบที่ดีในเวลาอันสั้น บทความวิชาการฉบับนี้ได้ทำการสรุปบทความวิจัยต่าง ๆที่ทำการคิดค้นวิธี PSO เวอร์ชั่นต่าง ๆ อาทิเช่น วิธี PSO แบบมาตรฐาน, วิธี Lbest-PSO, วิธี Dissipative PSO, วิธี FDR-PSO, วิธี GLN-PSO และ วิธี GLN-PSOc โดยเนื่องมาจากจุดอ่อนของวิธี PSO แบบมาตรฐานซึ่งใช้เพียงตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลในการสื่อสารระหว่างตัวพาร์ทิเคิลภายในฝูง อันเป็นเหตุให้ฝูงพาร์ทิเคิลเกิดการกระจุกตัวที่เร็วเกินไปทำให้มีโอกาสที่จะค้นพบคำตอบที่ดีที่สุดเป็นไปได้น้อยเพื่อใช้กับปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก ๆ ทำให้ผลงานวิจัยรุ่นหลัง ๆ มุ่งเน้นการสร้าง PSO ที่พัฒนาศักยภาพในการค้นหาคำตอบที่ดียิ่งขึ้นนอกเหนือจาก PSO วิธีต่าง ๆที่ได้แสดงไว้นี้ บทความวิชาการนี้ยังได้แสดงการประยุกต์ใช้ PSO กับปัญหาการจัดตารางการผลิตสำหรับการผลิตแบบทำตามสั่ง ซึ่งนับเป็นปัญหาสำคัญทางอุตสาหกรรมอีกด้วย

บรรณานุกรม

French, S. (1982). Sequencing and Scheduling: An Introduction to the Mathematics of the Job-shop. John Wiley and Sons, New York.

Gen, M. and Cheng R.C. (1997). Genetic Algorithms and Engineering Design. John Wiley and Sons, New York.

Holland, J. (1975). Adaptation in Natural and Artificial Systems. Michigan. University of Michigan Press.

Kennedy, J. (1999). Small Worlds and Mega-minds: Effects of Neighborhood Topology on Particle Swarm Performance. Congress on Evolutionary Computation, New York, pp. 1931-1938

Kennedy, J. and Eberhart, R.C. (1995). Particle Swarm Optimization. IEEE International Conference on Neural Network, New Jersey, pp. 1942-1948

Pongchairerks, P. and Kachitvichyanukul, V. (2009a). A Particle Swarm Optimization Algorithm with Multiple Social Learning Structures. International Journal of Operational Research, 6(2), pp. 176-194

Pongchairerks, P. and Kachitvichyanukul, V. (2009b). A Particle Swarm Optimization Algorithm on Job-Shop Scheduling Problems with Multi-Purpose Machines. Asia-Pacific Journal of Operational Research, 26(2), pp.161-184

Shi, Y. and Eberhart, R.C. (1998). A Modified Particle Swarm Optimizer. IEEE International Conference on Evolutionary Computation, New Jersey, pp. 69-73

Veeramachaneni, K., Perem, T., Mohan, C. and Osadciw, L.A. (2003). Optimization Using Particle Swarms with Near Neighbor Interactions. Proceedings of the 2003 Genetic and Evolutionary Computation Conference, Chicago, Illinois, pp 110-122

Xie, X.F., Zhang, W.J. and Yand, Z.L. (2002). A Dissipative Particle Swarm Optimization. Proceedings of IEEE Congress on Evolutionary Computation, Honolulu, Hawaii, pp. 1456-1461