ขั้นตอนวิธีจัดเรียงชิ้นงานแบบนอนคอนเว็กโดยใช้ทาบูเสิร์ชและการเรียงหลายเฟส

Non-Convex Nesting Algorithm Using Tabu Search and Multi-Phase Placement

กิตติพงศ์ เอกไชย และ ประดนเดช นีละคุปต์

ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

50 ถ.พหลโยธิน จตุจักร กรุงเทพมหานคร 10900

ABSTRACT -- In this paper we present a packing algorithm to solve a non-convex polygon-nesting problem. The polygons are packed on a strip material, which limits a bin width but not limits a bin height. The objective of a packing algorithm is minimized a bin height. The packing algorithm uses a no-fit polygon to determine feasible positions of two polygons and uses a placement criterion to select the best position and orientation. The packing algorithm uses tabu search to find the best polygon order. In this paper we compare various types of placement criteria and propose a multi-phase placement criterion. The experiments show a multi-phase placement criterion generates better result than other criteria in non-convex polygon data sets. This algorithm generates better result than the Kendall's algorithm about 0.79% to 4.27% in Kendall's data sets and generates better result than the TOPOS algorithm in some data sets.

KEY WORDS -- Nesting Problem, No-Fit Polygon, Tabu Search, Multi-Phase Placement

บทคัดย่อ – บทความนี้กล่าวถึงวิธีการแก้ปัญหาการจัดเรียงชิ้นงาน โดยโพลีกอนชิ้นงานมีรูปแบบนอนคอนเว็กโพลีกอนจัดวางบนวัสดุที่มีความกว้างคงที่ การจัดเรียงพยายามให้ใช้ความยาววัสดุน้อยที่สุด วิธีการจัดเรียงใช้โนฟิตโพลีกอนเพื่อคำนวณหาตำแหน่งการจัดเรียงที่เป็นไปได้ เลือกตำแหน่งการจัดเรียงบนโนฟิตโพลีกอนด้วยกลยุทธ์แบบต่างๆ และใช้ทาบูเสิร์ชเพื่อหาลำดับการจัดเรียงที่ดีที่สุด ในบทความนี้เปรียบเทียบกลยุทธ์การจัดเรียงชิ้นงานแบบต่างๆ ที่ใช้ในอดีต พร้อมทั้งเสนอกลยุทธ์แบบผสมหลายเฟส ผลการจัดเรียงเมื่อใช้กลยุทธ์การจัดเรียงแบบหลายเฟส ให้ผลการทดลองดีกว่ากลยุทธ์แบบอื่นในชุดข้อมูลทดสอบแบบนอนคอนเว็ก และเมื่อเปรียบเทียบกับในงานของ Kendall การจัดเรียงชิ้นงานด้วยวิธีแบบผสมหลายเฟสให้ผลการทดลองที่ดีขึ้น 0.79 ถึง 4.27 เปอร์เซ็นต์ นอกจากนี้ยังพบการจัดเรียงที่ดีกว่าวิธี TOPOS ในบางชุดข้อมูลทดสอบ

คำสำคัญ -- ปัญหาการจัดเรียงชิ้นงาน, โนฟิตโพลีกอน, ทาบูเสิร์ช, กลยุทธ์การจัดเรียงแบบหลายเฟส

1. บทนำ

ปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่แน่นอนหรือที่เรียกว่าปัญหาเนสติ้ง (Nesting Problem) คือปัญหาที่ว่าด้วยการจัดวางชิ้นงานสองมิติลงในแผ่นวัสดุอย่างไรเพื่อให้ประหยัดเนื้อที่ของวัสดุมากที่สุด โดยการจัดเรียงต้องไม่ทำให้เกิดการซ้อนทับของชิ้นงาน และไม่ทำให้ชิ้นงานอยู่นอกพื้นที่ของวัสดุ ปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานมีอยู่ในอุตสาหกรรมหลายชนิด เช่น ในอุตสาหกรรมสิ่งทอ เครื่องหนัง การตัดเหล็ก หรือวัสดุแบบอื่นๆ ปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานเป็นปัญหาชนิดที่ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ในเวลาจำกัด เนื่องจากมีโอกาสในการจัดวางได้หลายแบบมากมาย นักวิจัยสรุปว่าปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานเป็นปัญหาชนิดเอ็นพี (NP) ปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานในบทความนี้มีลักษณะเป็นดังนี้

- ลักษณะของชิ้นงานมีรูปร่างไม่แน่นนอน (Irregular Shape) เป็นโพลีกอน 2 มิติ
- ลักษณะของวัสดุเป็นวัสดุที่มีความกว้างคงที่แต่มีความยาวไม่จำกัด

- วัตถุประสงค์ของการจัดเรียงชิ้นงานพยายามให้ใช้ความยาวของวัสดุน้อยที่สุด

งานวิจัยที่ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียงชิ้นงานที่สำคัญในอดีตได้แก่ Jakobs[1] นำเอาเจนเนติกอัลกอริธึม (Genetic Algorithms) มาใช้ร่วมกับวิธีฮิวริสติกแบบบีแอล (Bottom-Left: BL) วิธีการคือ การแทนชิ้นส่วนที่มีรูปร่างไม่แน่นอนต่างๆ หรือที่เรียกว่าโพลีกอน (Polygon) ให้มีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมซึ่งล้อมรอบโพลีกอนนั้น จากนั้นนำสี่เหลี่ยมที่เกิดจากโพลีกอนขนาดต่างๆ นำมาใส่ในวัสดุใช้วิธีบีแอลจัดให้ชิ้นงานอยู่ทางซ้ายล่างของวัสดุมากที่สุด ทำอย่างนี้จนครบทุกชิ้นก็จะได้การจัดเรียงแบบหนึ่ง การสลับลำดับของชิ้นงานทำให้การจัดเรียงเปลี่ยนแปลงไป เป็นผลให้พื้นที่ที่ใช้ของวัสดุมากน้อยต่างกัน เลือกการจัดลำดับที่ทำให้ใช้วัสดุน้อยที่สุดเป็นคำตอบ โดยใช้วิธีการแบบเจนเนติกอัลกอริธึมเพื่อหาการจัดลำดับที่ดีที่สุด การใช้สี่เหลี่ยมแทนกรอบของรูปร่างที่ไม่แน่นอนต่างๆ ทำให้มีความรวดเร็วในการคำนวณ อย่างไรก็ตามการใช้สี่เหลี่ยมแทนในชิ้นงานที่มีรูปร่างไม่ใกล้เคียงกับสี่เหลี่ยมก็ทำให้สูญเสียพื้นที่วัสดุไปมาก งานชิ้นต่อมาเป็นงานของ Boinsaythip[2] เสนอการจัดเรียงชิ้นงานโพลีกอนด้วยไบนารี่ทรี (Binary Tree) กำหนดให้ใบของทรีคือชิ้นงานหนึ่งชิ้น เมื่อชิ้นงานสองชิ้นเกาะกันเกิดเป็นชิ้นงานใหม่ที่มีขนาดใหญ่ขึ้นและนำเอาชิ้นงานนั้นไปเกาะกับชิ้นงานอื่นๆ ต่อไป โดยใช้เจนเนติกอัลกอริธึมในการสลับกิ่งของทรีต่างๆ เพื่อให้เกิดทรีใหม่ที่ใช้พื้นที่ของวัสดุน้อยกว่าเดิม วิธีการต่อไปเป็นวิธีการของ Rattanapan[3] แทนโพลีกอนต่างๆ ด้วยกริดเซลล์ โพลีกอนรูปร่างต่างๆ กันจะใช้ขนาดของกริดไม่เท่ากัน จากนั้นใช้ความรู้ของคอมพิวเตอร์กราฟฟิกในการหมุน การเลื่อนกริดเซลล์แต่ละอันโดยการใช้เจนเนติกอันกอริธึมสลับตำแหน่งของชิ้นส่วนต่างๆ วิธีนี้มีข้อดีคือ เป็นการจัดวางชิ้นงานในแบบสองมิติจริงๆ โดยไม่ได้ลดรูปแบบของปัญหาเป็นแบบหนึ่งมิติก่อน ทำให้มีคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) มากกว่าวิธีการที่ลดรูปของปัญหาลง อย่างไรก็ตามถ้ากำหนดขนาดกริดหยาบก็ทำให้การจัดวางออกมาไม่ดี แต่ถ้ากำหนดกริดให้มีขนาดที่ละเอียดก็จะเสียเวลาในการคำนวณมากขึ้น งานชิ้นต่อมาเป็นงานของ Oliveira[4] โดยเสนออัลกอริธึมที่มีชื่อว่าวิธี TOPOS เป็นวิธีการที่ให้ผลการจัดเรียงที่ดีที่สุดวิธีการหนึ่งในปัจจุบัน เป็นการจัดวางโพลีกอนโดยใช้อัลกอริธึมแบบโนฟิตโพลีกอน (no-fit polygon) ร่วมกับวิธีแบบกรีดี้ (Greedy Method)โดยนำเอาโพลีกอนวางในแผ่นวัสดุทีละชิ้นโดยเลือกชิ้นที่วางแล้วมีผลดีที่สุดจนวางครบทุกชิ้น ผลที่ดีที่สุดในการวางแต่ละชิ้นนั้นขึ้นอยู่กับการกำหนดกลยุทธ์การวางแบบใด กลยุทธ์ที่ใช้มีอยู่สลับกันได้ถึง 126 แบบ จากการทดลองไม่มีกลยุทธ์แบบใดให้ผลการจัดเรียงที่ดีที่สุดสำหรับทุกชุดข้อมูลทดสอบ งานชิ้นสุดท้ายเป็นงานของ Kendall[5] เป็นการใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกแบบต่างๆ ได้แก่ เจนเนติกอัลกอริธึม, ซิมูเลตเต็ดแอนเนียลลิ่ง , ทาบูเสิร์ช , แอนท์อัลกอริธึม (Ant Algorithms), มีมีติกอัลกอริธึม (Memetic Algorithms) ร่วมกับอัลกอริธึมแบบโนฟิตโพลีกอน โดยการนำโพลีกอนสองตัวนำมาเรียงกัน โดยเลือกตำแหน่งการเรียงที่ทำให้เกิดพื้นที่คอนเว็กฮัล (Convex hull) น้อยที่สุด จากนั้นรวมโพลีกอนทั้งสองชิ้นจะกลายเป็นโพลีกอนรูปใหม่ แล้วนำโพลีกอนชิ้นใหม่นั้นคำนวณโนฟิตโพลีกอนกับโพลีกอนชิ้นต่อไป ทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนหมดทุกโพลีกอน จากนั้นคำนวณหาความยาวของการจัดเรียง ใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกแบบต่างๆ ในการหาลำดับของโพลีกอนที่ดีที่สุดที่ให้ความยาวการจัดเรียงน้อยที่สุด โดยสรุปได้ว่า ทาบูเสิร์ช และ มีมีติกอัลกอริธึมให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด

ในงานชิ้นนี้วิธีการจัดเรียงถูกปรับปรุงจากการจัดเรียงของ Kendall[5] โดยใช้ทาบูเสิร์ชเพื่อหาลำดับของโพลีกอน และทดลองการใช้กลยุทธ์การจัดเรียงที่แตกต่างไปจากงานของ Kendall[5] เพื่อหากลยุทธ์การจัดเรียงที่เหมาะสมสำหรับวิธีการจัดเรียงชิ้นงานทั้งในโพลีกอนแบบคอนเว็ก และโพลีกอนแบบนอนคอนเว็ก พร้อมทั้งเสนอกลยุทธ์การจัดเรียงแบบผสมหลายเฟสที่เกิดจากการผสมกลยุทธ์สองแบบเข้าด้วยกัน

2. วิธีการจัดเรียงชิ้นงาน

2.1. ขั้นตอนของการจัดเรียงชิ้นงาน

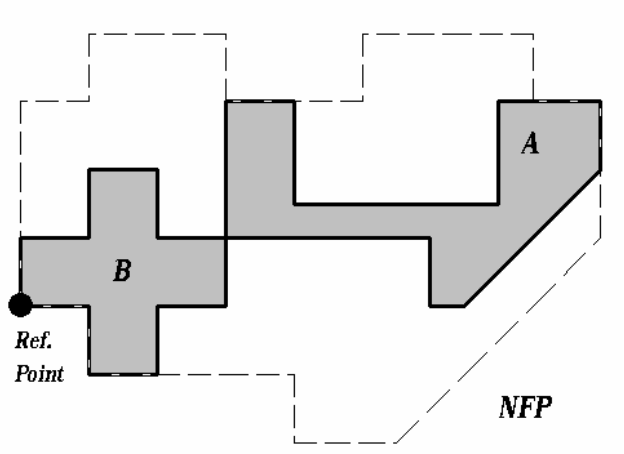
วิธีการจัดเรียงชิ้นงานมีขั้นตอนดังนี้

1. สุ่มลำดับของโพลีกอนเริ่มต้น
2. นำโพลีกอนชิ้นที่หนึ่งและโพลีกอนชิ้นที่สองมาคำนวณหาโนฟิตโพลีกอน โดยโนฟิตโพลีกอนคือตำแหน่งรอบโพลีกอนชิ้นที่หนึ่งที่โพลีกอนชิ้นที่สองสามารถวางได้ และ ชนกับโพลีกอนชิ้นที่หนึ่งพอดี
3. เลือกตำแหน่งบนโนฟิตโพลีกอนที่ดีที่สุด โดยเลือกจากกลยุทธ์การจัดเรียง เช่น เลือกตำแหน่งที่ทำให้เกิดพื้นที่คอนเว็กฮัลน้อยที่สุด หรือเลือกตำแหน่งที่ทำให้เกิดพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบน้อยที่สุดเป็นต้น โดยกลยุทธ์ในการจัดเรียงนี้จะกล่าวถึงในหัวข้อที่ 2.3

4. หลังจากเลือกตำแหน่งการจัดเรียงได้แล้วนำเอาโพลีกอนทั้งสองชิ้นมารวมกันเป็นชิ้นเดียว เกิดเป็นโพลีกอนชิ้นใหม่ เพื่อนำไปเป็นโพลีกอนตั้งต้นในการคำนวณหาโนฟิตโพลีกอนกับโพลีกอนชิ้นต่อไป ทำขั้นตอนที่ 2 ซ้ำจนกระทั่งโพลีกอนทุกชิ้นถูกจัดเรียงทั้งหมด
5. คำนวณหาความยาวของการจัดเรียงที่ใช้
6. ใช้วิธีทาบูเสิร์ชเพื่อหาลำดับของโพลีกอนที่ดีที่สุด

2.2. โนฟิตโพลีกอน

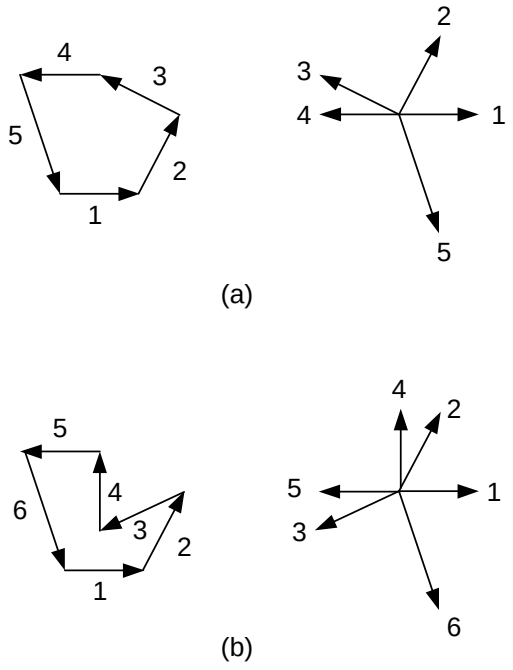
โนฟิตโพลีกอนเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหาตำแหน่งของโพลีกอนทั้งสองชิ้นที่ชนกันพอดีและไม่เกิดการซ้อนทับกัน โดยวิธีโนฟิตโพลีกอนได้รับการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพดีวิธีการหนึ่ง นอกจากนี้โนฟิตโพลีกอนยังมีใช้ในการแก้ปัญหาอีกหลายชนิด เช่น การหาเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์เป็นต้น



รูปที่ 1 แสดงโนฟิตโพลีกอน

โนฟิตโพลีกอนเป็นโพลีกอนที่เกิดขึ้นจากโพลีกอนสองชิ้นได้แก่ โพลีกอนชิ้นที่หนึ่งที่อยู่กับที่และโพลีกอนชิ้นที่สองที่เคลื่อนที่ล้อมรอบ เส้นทางการเคลื่อนที่ของโพลีกอนชิ้นที่สองจะเรียกว่าโนฟิตโพลีกอน หากจุดอ้างอิงของโพลีกอนชิ้นที่สองอยู่ข้างในโนฟิตโพลีกอน แสดงว่าโพลีกอนทั้งสองซ้อนทับกัน แต่ถ้าหากจุดอ้างอิงของโพลีกอนชิ้นที่สองอยู่ภายนอกโนฟิตโพลีกอนแสดงว่าโพลีกอนทั้งสองชิ้นไม่สัมผัสกัน และหากจุดอ้างอิงของโพลีกอนที่สองอยู่บนโนฟิตโพลีกอนแสดงว่าโพลีกอนทั้งสองชนกันสนิทพอดี จากรูปที่ 1 โพลีกอน A เป็นโพลีกอนที่อยู่กับที่ ส่วนโพลีกอน B เป็นโพลีกอนที่เคลื่อนที่ ล้อมรอบโพลีกอน A เส้นประคือโนฟิตโพลีกอน และจุดต่างๆ บนโนฟิตโพลีกอนคือตำแหน่งของโพลีกอน B ที่สามารถจัดวางแล้วชนสนิทกับโพลีกอน A ได้พอดี

โพลีกอนแบ่งออกเป็นสองชนิดคือโพลีกอนแบบคอนเว็ก และโพลีกอนแบบนอนคอนเว็ก โพลีกอนแบบคอนเว็กคือโพลีกอนที่เส้น (Edge) ทุกเส้นของโพลีกอนเรียงลำดับกันตามมุมตามการหมุนในแนวทวนเข็มนาฬิกา โพลีกอนแบบนอนคอนเว็กเป็นโพลีกอนที่มีความซับซ้อนมากกว่าคือเส้นของโพลีกอนแบบนอนคอนเว็กจะไม่เรียงลำดับกัน ตัวอย่างของโพลีกอนแบบคอนเว็กและโพลีกอนแบบนอนคอนเว็กแสดงดังรูปที่ 2 จากรูปที่ 2(b) เส้นที่ 4 และ 5 มีมุมน้อยกว่าเส้นที่ 3 ทำให้เป็นโพลีกอนแบบนอนคอนเว็ก



รูปที่ 2 แสดง โพลีกอนชนิดคอนเว็ก (a)และนอนคอนเว็ก(b)

การหาโนฟิตโพลีกอนสำหรับโพลีกอนที่มีลักษณะเป็นคอนเว็กสามารถคำนวณได้จากสมการผลต่างของมินโควสกี้ (Minkowski 's Different) โดยสมการคือโนฟิตโพลีกอนเท่ากับผลต่างมินโควสกี้ระหว่างโพลีกอนทั้งสอง

$$NFP_{AB} = A \oplus -B$$

โดยที่

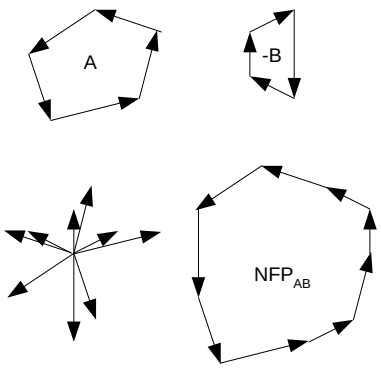
$$A \oplus B = \{a+b \mid a \in A, b \in B\}$$

$$-A = \{-a \mid a \in A\}$$

ให้ A, B เป็นเซ็ตของเส้นบนโพลีกอนทั้งสอง

a,b เป็นเส้นที่อยู่ใน A และ B ตามลำดับ

โนฟิตโพลีกอนในแบบคอนเว็กนั้นเกิดจากการรวมเส้นของโพลีกอนทั้งสองชิ้นเข้าด้วยกัน โดยโพลีกอนชิ้นที่หนึ่งมีทิศทวนเข็มนาฬิกา และชิ้นที่สองมีทิศตามเข็มนาฬิกา เรียงตามมุมของเส้นแต่ละเส้นเริ่มจากมุม -180 องศา จนถึง 180 องศา ตัวอย่างแสดงดังรูปที่ 3



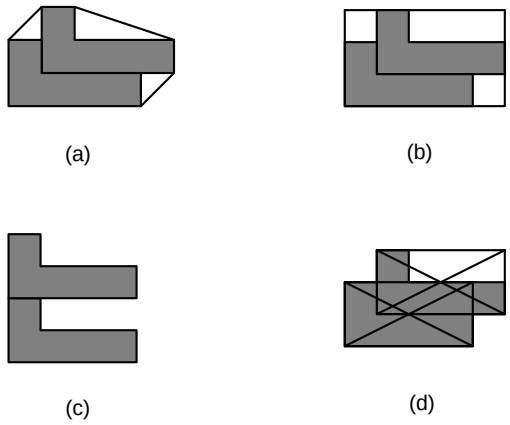
รูปที่ 3 แสดงวิธีการหาโนฟิตโพลีกอนในแบบคอนเว็ก

รูปที่ 3 แสดงถึงวิธีการคำนวณหาโนฟิตโพลีกอนในแบบคอนเว็ก โพลีกอน A และ B หมุนในทิศทวนเข็มนาฬิกา การคำนวณหาโนฟิตโพลีกอนคือ การรวมกันของเส้นระหว่าง A และ –B โดยที่ –B จะมีขนาดเท่ากับ B แต่มีทิศทางตามเข็มนาฬิกา นำเอาเส้นของโพลีกอนทั้งสองมาเรียงต่อกันตามมุมจะได้โนฟิตโพลีกอนของ A และ B

การหาโนฟิตโพลีกอนของโพลีกอนที่มีรูปแบบนอนคอนเว็กนั้นจำเป็นจะต้องเพิ่มวิธีการต่างๆ ซึ่งมีงานวิจัยหลายชิ้นที่แสดงวิธีหาโนฟิตโพลีกอนของโพลีกอนรูปแบบนนอนคอนเว็ก สามารถดูวิธีการหาโนฟิตโพลีกอนได้จากในงานของ Benell [6] หรือจากในหนังสือของ O'Rourke [7]

2.3. กลยุทธ์การเลือกตำแหน่งของโพลีกอน

โนฟิตโพลีกอนเป็นการหาตำแหน่งที่เป็นไปได้ทั้งหมดของโพลีกอนที่สองที่สามารถวางและชนสนิทกับโพลีกอนชิ้นที่หนึ่งพอดี ในส่วนนี้กล่าวถึงการเลือกตำแหน่งบนโนฟิตโพลีกอนที่ทำให้การจัดเรียงดีที่สุด ตำแหน่งบนโนฟิตโพลีกอนมีจำนวนเป็นอนันต์และการตรวจสอบทุกจุดไม่สามารถทำได้ จึงตรวจสอบเฉพาะตำแหน่งที่เป็นมุม (Vertex) ของโนฟิตโพลีกอน โดยเลือกตำแหน่งที่ดีที่สุดซึ่งขึ้นอยู่กับกลยุทธ์การเลือกตำแหน่งแต่ละแบบ ในอดีตมีวิธีการเลือกตำแหน่งหลายแบบ แต่ไม่สามารถกล่าวได้ว่ากลยุทธ์แบบใดดีกว่ากัน ในงานของ Oliveira [4] ใช้กลยุทธ์การจัดเรียงที่สามารถสลับกันได้ 126 แบบ ร่วมกับวิธีการแบบกรีดี้ และเลือกคำตอบที่ดีที่สุด จากการทดลองในงานชิ้นนั้นไม่มีกลยุทธ์ใดให้ผลดีที่สุดในข้อมูลทดสอบทุกชุด



รูปที่ 4 แสดงกลยุทธ์การเลือกตำแหน่งของโพลีกอน

การจัดเรียงที่เสนอในบทความนี้จึงได้ทดสอบกลยุทธ์การเลือกตำแหน่งแบบต่างๆ เพื่อหากลยุทธ์ที่เหมาะสม โดยได้ทดลองกลยุทธ์การจัดเรียงชิ้นงาน 5 แบบได้แก่

1. MinConvexHull - เป็นการเลือกตำแหน่งการจัดเรียงที่ทำให้เกิดพื้นที่คอนเว็กฮัลน้อยที่สุด โดยกลยุทธ์แบบนี้ถูกใช้ในงานของ Kendall [5] ดังตัวอย่างรูปที่ 4(a)
2. MinArea – เลือกตำแหน่งการจัดเรียงที่ทำให้เกิดพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบน้อยที่สุด ดังตัวอย่างรูปที่ 4(b) เนื่องจากลักษณะของวัสดุมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมผืนผ้า กลยุทธ์แบบนี้จะทำให้โพลีกอนมีการจัดเรียงที่คล้ายกับสี่เหลี่ยมผืนผ้ามากที่สุด
3. MinLength – เลือกตำแหน่งการจัดเรียงที่ทำให้โพลีกอนใหม่ที่เกิดขึ้นมีความยาวน้อยที่สุด ดังตัวอย่างรูปที่ 4(c) เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการจัดเรียงคือพยายามใช้ความยาวของวัสดุน้อยที่สุด กลยุทธ์แบบนี้จะทำให้เกิดการจัดเรียงชิ้นงานที่สั้นที่สุดทุกครั้งของการรวมโพลีกอน
4. MinCenterDistance - เลือกตำแหน่งการจัดเรียงที่ทำให้จุดศูนย์กลางของพื้นที่สี่เหลี่ยมล้อมรอบโพลีกอนทั้งสองชิ้นใกล้กันมากที่สุด ดังตัวอย่างรูปที่ 4 (d) กลยุทธ์แบบนี้จะสามารถทำให้โพลีกอนทั้งสองชิ้นอยู่ในตำแหน่งที่ใกล้กันมากที่สุด
5. Hybrid – กลยุทธ์แบบผสมสองเฟส เป็นกลยุทธ์ที่นำเสนอในบทความนี้ โดยในโพลีกอนจำนวนครึ่งแรก ใช้กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance และในโพลีกอนจำนวนครึ่งหลัง ใช้กลยุทธ์

MinLength เนื่องจากการใช้กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance นั้นเหมาะกับการจัดเรียงในช่วงแรกโดยจะทำให้มีการใช้งานวัสดุน้อยที่สุด แต่วัตถุประสงค์ของการจัดเรียงชิ้นงานพยายามให้มีความยาวการจัดเรียงน้อยที่สุด ในช่วงหลังจึงเลือกการจัดเรียงชิ้นงานแบบ MinLength

นอกจากการเลือกตำแหน่งของโพลีกอนตามกลยุทธ์แล้วจำเป็นจะต้องพิจารณาไม่ให้ความกว้างของโพลีกอนที่เกิดจากการจัดเรียงมีขนาดมากกว่าความกว้างของวัสดุ ถ้ามีความกว้างมากกว่าขนาดของวัสดุจะต้องเลือกตำแหน่งการจัดเรียงเป็นตำแหน่งที่มีค่ารองลงมา

2.4 การหมุนของโพลีกอน

ในบางชุดของข้อมูลทดสอบโพลีกอนสามารถหมุนได้เป็นมุมต่างๆ เช่น บางชุดข้อมูลทดสอบอนุญาตให้หมุนได้ 180 องศา หรือ 90 องศา เป็นต้น การเลือกมุมที่ดีที่สุดก็เลือกจากค่าที่ได้จากกลยุทธ์เช่นกัน โดยในแต่ละมุมการหมุน ให้หมุนโพลีกอนชิ้นที่สอง และคำนวณโนฟิตโพลีกอนที่เกิดขึ้น เลือกตำแหน่งที่ให้ค่าดีที่สุด แล้วเปรียบเทียบค่าที่ได้จากมุมการหมุนทุกมุม เลือกมุมที่ให้ค่าที่ดีที่สุด

2.5 ค่าของการจัดเรียงชิ้นงาน

ค่าของการจัดเรียงชิ้นงานคือค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบว่าการจัดเรียงแบบใดดีกว่ากัน เนื่องจากวัตถุประสงค์ของการจัดเรียงชิ้นงานคือพยายามให้ความยาวของวัสดุที่ใช้น้อยที่สุด ค่าของการจัดเรียงชิ้นงานที่ใช้จึงเป็นความยาวการจัดเรียงชิ้นงาน ถ้าการจัดเรียงชิ้นงานเป็นแนวตั้งความยาวการจัดเรียงชิ้นงานคือระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่อยู่ล่างสุดจนถึงตำแหน่งที่อยู่บนสุด ถ้าการจัดเรียงชิ้นงานเป็นแนวนอนความยาวการจัดเรียงชิ้นงานคือระยะห่างระหว่างตำแหน่งที่อยู่ทางซ้ายสุดถึงตำแหน่งที่อยู่ทางขวาสุด

2.6. ทาบูเสิร์ช

การเลือกลำดับของโพลีกอนที่ให้ค่าการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีที่สุดนั้นในอดีตใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกแบบต่างๆ เพื่อแก้ปัญหานี้ โดยวิธีเมต้าฮิวริสติกที่นิยม ได้แก่ เจนเนติกอัลกอริธึม ซิมูเลตเต็ดแอนเนียลลิ่ง และทาบูเสิร์ช วิธีการทั้งสามมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกัน ในบทความนี้เลือกใช้ทาบูเสิร์ช เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้พารามิเตอร์ควบคุมน้อยที่สุด คือ มีเพียงแค่สองตัวเท่านั้น และพารามิเตอร์ที่แตกต่างกันให้ผลการทดสอบที่ต่างกันไม่มากนัก อีกทั้งทาบูเสิร์ชให้ความเร็วในการค้นหาคำตอบที่เร็วกว่าเจนเนติกอัลกอริธึม

ทาบูเสิร์ชเป็นวิธีที่ถูกคิดขึ้นในครั้งแรกโดย Glover (1977) ทาบูเสิร์ชเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีแบบฮิลล์ ไคลมมิ่ง (Hill Climbing) ซึ่งวิธีแบบฮิลล์ ไคลมมิ่งคือการมองหาคำตอบข้างเคียง (Neighborhood) ที่ดีกว่าตัวเอง และเปลี่ยนจุดที่ดีกว่านั้นเป็นคำตอบเริ่มต้นในรอบต่อไป ข้อเสียของวิธีแบบฮิลล์ ไคลมมิ่ง คือเมื่อได้คำตอบที่ไม่มีค่าข้างเคียงที่ดีกว่านี้แล้วก็จะไม่สามารถไปหาคำตอบในที่อื่นได้ โดยที่คำตอบในจุดอื่นอาจจะให้ค่าที่ดีกว่าคำตอบในจุดนี้ เรียกว่า การตกอยู่ในโลคอลออปติมา (Local Optima) วิธีทาบูเสิร์ชสามารถแก้ไขปัญหาการการตกอยู่ในโลคอลออปติมา โดยตัดสินใจจากการจดจำคำตอบในช่วงที่ผ่านมา โดยใช้ทาบูลิสต์ (Tabu List) เก็บคำตอบในช่วงที่ผ่านมา คำตอบที่ถูกเลือกเป็นคำตอบตั้งต้นจะไม่สามารถเลือกได้อีกในอนาคตจนกว่าจะครบจำนวนรอบที่กำหนด จำนวนรอบที่กำหนดจะเท่ากับขนาดของทาบูลิสต์ ลักษณะของทาบูเสิร์ชที่ใช้ในวิธีการจัดเรียงชิ้นงานเป็นดังนี้

2.6.1 คำตอบข้างเคียง (Neighborhood)

ลำดับของโพลีกอนมีลักษณะเป็น 1,2,3,…n การสลับลำดับของโพลีกอนคู่หนึ่ง เช่นสลับลำดับของโพลีกอน 1 กับ 5 การสลับเช่นนี้จะทำให้เกิดลำดับของโพลีกอนใหม่ ลำดับของโพลีกอนที่เกิดขึ้นใหม่นี้เรียกว่าคำตอบข้างเคียง ในงานชิ้นนี้หลีกเลี่ยงการสลับกันระหว่างโพลีกอนที่เหมือนกันเพื่อลดจำนวนของคำตอบข้างเคียง จำนวนคำตอบข้างเคียงมีค่ามากน้อยขึ้นอยู่กับจำนวนโพลีกอนและจำนวนชนิดของโพลีกอน ซึ่งหากไม่มีโพลีกอนที่เหมือนกันเลยจำนวนคำตอบข้างเคียงทั้งหมดจะเท่ากับ $n(n-1)/2$ โดยที่ n คือจำนวนโพลีกอน ถ้าจำนวนโพลีกอนมาก การใช้คำตอบข้างเคียงทั้งหมดจะทำให้การค้นหาช้าและทำงานได้น้อยรอบเกินไป ในทางปฏิบัติจึงมักจะกำหนดจำนวนคำตอบข้างเคียงเป็นค่าคงที่ คือสุ่มคำตอบข้างเคียงจำนวนหนึ่งจากคำตอบข้างเคียงทั้งหมด จำนวนคำตอบข้างเคียงที่ใช้ในการทดลองถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ที่ชื่อว่า NH (Neighborhood Size) การกำหนดจำนวนคำตอบข้างเคียงมีความสำคัญต่อการค้นหาคำตอบ หากจำนวนคำตอบข้างเคียงมากจะทำให้จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบน้อย และหากกำหนดจำนวนคำตอบข้างเคียงน้อยจะทำให้การค้นหาไม่มีประสิทธิภาพ

2.6.2 ทาบูลิสต์ (Tabu List)

ทาบูลิสต์จะใช้เก็บสถิติของการสลับของโพลีกอน ที่ทำให้เกิดคำตอบข้างเคียงที่ดีที่สุด เช่น เมื่อรอบที่ผ่านมาการสลับระหว่างโพลีกอน 1

และ 5 ให้คำตอบข้างเคียงที่ดีที่สุด (1,5) จะถูกเก็บไว้ในทาบูลิสต์ และกำหนดตัวเลขให้ค่าหนึ่ง ในรอบต่อไปการสลับระหว่างโพลีกอน 1 และ 5 จะถูกห้ามไม่สามารถสลับได้ เมื่อผ่านการหาคำตอบในรอบนี้ตัวเลขที่ถูกกำหนดให้ (1,5) จะถูกลดลง 1 ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ จนตัวเลขของ (1,5) ลดลงเหลือศูนย์ก็จะสามารถ เลือกการสลับระหว่าง 1 และ 5 ได้อีกครั้ง ประโยชน์ของทาบูลิสต์คือ ช่วยป้องกันไม่ให้การค้นหากลับไปยังจุดเดิม ตัวเลขที่กำหนดให้กับการสลับแต่ละครั้งเรียกว่าขนาดของทาบูลิสต์ ถูกกำหนดด้วยพารามิเตอร์ที่ชื่อว่า TS (Tabu Size) จากการทดลองที่ผ่านมาหากใช้จำนวนคำตอบข้างเคียงมากขนาดของทาบูลิสต์ควรจะมากด้วย และหากใช้จำนวนคำตอบข้างเคียงน้อยขนาดของทาบูลิสต์ก็ควรจะน้อยตามไปด้วย

3. การทดลอง

การทดลองนี้เป็นการเปรียบเทียบระหว่างการใช้กลยุทธ์การเลือกตำแหน่งชิ้นงานทั้ง 5 แบบได้แก่ กลยุทธ์แบบ MinConvexHull ที่ใช้ในงานของ Kendall[5], MinArea, MinLength, MinCenterDistance และ Hybrid ชุดข้อมูลทดสอบมี 10 ชุด ซึ่งมาจากงานของ Kendall[5] มีลักษณะของชิ้นงานเป็นแบบคอนเว็ก และจากงานของ Oliveira[4] มีลักษณะของชิ้นงานเป็นแบบนอนคอนเว็ก แต่ละการทดสอบจะทำการทดลอง 10 ครั้งในข้อมูลทดสอบและกลยุทธ์แต่ละแบบ หาค่าเฉลี่ยของคำตอบและคำตอบที่ดีที่สุดที่พบในการทดลอง ในการทดลองการคำนวณความยาวการจัดเรียงในแต่ละลำดับของโพลีกอนใช้เวลาไม่เท่ากัน และกลยุทธ์แบบต่างๆ ก็ใช้เวลาในการคำนวณที่แตกต่างกัน การทดลองโดยกำหนดรอบของการค้นหาคำตอบที่เท่ากันจึงไม่เหมาะสม เนื่องจากจะทำให้เวลาที่ใช้สำหรับกลยุทธ์แต่ละแบบแตกต่างกัน ในการทดลองนี้จึงใช้เวลาคงที่ โดยกำหนดเวลาการทดสอบที่เท่ากันในกลยุทธ์ทุกแบบ สำหรับพารามิเตอร์ของวิธีทาบูเสิร์ชที่ใช้สำหรับทุกการทดลอง คือ NH = 20 และ TS = 50 เนื่องจากวิธีทาบูเสิร์ชให้ผลที่ไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อใช้พารามิเตอร์ที่แตกต่างกัน จำนวนคำตอบข้างเคียง (NH) เท่ากับ 20 เป็นค่าที่เหมาะสมไม่มากหรือน้อยจนเกินไป และขนาดของทาบูลิสต์ (TS) เท่ากับ 50 เป็นค่าที่เหมาะสมกับจำนวนของคำตอบข้างเคียง

3.1 เครื่องมือที่ใช้ทดลอง

การทดลองบนเครื่องที่มีซีพียู Celeron 450 MHz หน่วยความจำ 256 Mb และทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows 2000

3.2 ชุดข้อมูลทดสอบ

ชุดข้อมูลทดสอบที่ใช้ในการทดลองนี้มีทั้งหมด 10 ชุด โดยชุดข้อมูลที่มีลักษณะโพลีกอนเป็นคอนเว็กจะเป็นชุดข้อมูลที่มาจากในงานของ Kendall[5] ในงานนั้นใช้ข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนโพลีกอน 13 ชิ้นแตกต่างกัน ในการทดลองนี้ได้เพิ่มจำนวนของโพลีกอนเป็น 2, 3, 4 และ 5 เท่า โดยจะได้จำนวนโพลีกอน เท่ากับ 26, 39, 52 และ 65 ชิ้น สำหรับชุดข้อมูลที่มีลักษณะเป็นโพลีกอนแบบนอนคอนเว็กเป็นชุดข้อมูลที่มาจากงานของ Oliveira[4] ลักษณะของชุดข้อมูลทดสอบแสดงดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รายละเอียดของ ชุดข้อมูลทดสอบ

ชุดข้อมูลทดสอบ	ลักษณะของโพลีกอน	ชนิดของโพลีกอน	จำนวนโพลีกอน	มุมที่หมุนได้ (องศา)	ความกว้างของวัสดุ	เวลาทดสอบ (วินาที)
Kendall13	Convex	13	13	0	6240	180
Kendall26	Convex	13	26	0	6240	300
Kendall39	Convex	13	39	0	6240	480
Kendall52	Convex	13	52	0	6240	600
Kendall65	Convex	13	65	0	6240	900
SHAPE0	Non-Convex	4	43	0	40	1200
SHAPE1	Non-Convex	4	43	0,180	40	2000
SHAPE2	Non-Convex	7	28	0,180	15	1200
SHIRTS	Non-Convex	8	99	0,180	40	3600
TROUSERS	Non-Convex	17	64	0,180	79	3000

ตารางที่ 2 ผลการทดลองการจัดเรียงชิ้นงานเฉลี่ย(การใช้งานวัสดุ)

ชุดข้อมูลทดสอบ	การใช้งานวัสดุเฉลี่ย (%)				
	MinConvexHull (Kendall)	MinArea	MinLength	MinCenter Distance	Hybrid
Kendall13	79.381	79.838	80.694	79.974	80.005
Kendall26	74.664	77.271	77.128	77.716	77.773
Kendall39	72.007	74.607	75.575	76.443	74.116
Kendall52	70.830	73.236	73.745	74.647	73.232
Kendall65	70.086	71.676	73.373	73.997	73.081
SHAPE0	56.436	57.061	54.102	57.451	57.576
SHAPE1	58.958	61.219	57.122	60.546	62.005
SHAPE2	72.378	73.225	73.573	73.275	72.745
SHIRTS	70.943	65.910	73.578	76.715	76.828
TROUSERS	76.518	75.842	76.023	78.748	79.612

ตารางที่ 3 ผลการทดลองการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีที่สุดที่พบในการทดลอง(การใช้งานวัสดุ)

ชุดข้อมูลทดสอบ	การใช้งานวัสดุที่ดีที่สุดที่พบในการทดลอง (%)				
	MinConvexHull (Kendall)	MinArea	MinLength	MinCenter Distance	Hybrid
Kendall13	81.706	81.640	83.681	82.172	83.725
Kendall26	77.233	78.987	79.661	79.296	80.580
Kendall39	73.950	75.491	78.386	79.440	76.159
Kendall52	73.329	75.542	76.141	76.360	75.985
Kendall65	73.978	73.202	73.929	75.323	75.835
SHAPE0	59.552	58.676	55.417	59.552	60.455
SHAPE1	61.385	62.344	58.676	61.385	65.410
SHAPE2	76.123	74.592	76.968	75.829	74.854
SHIRTS	73.915	76.610	75.419	77.985	78.844
TROUSERS	81.169	78.943	77.946	81.713	82.100

4. ผลการทดลอง

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองการจัดเรียงชิ้นงานโดยเป็นค่าของการใช้งานวัสดุเฉลี่ยจากการทดลอง 10 ครั้ง และแสดงผลเป็นแผนภูมิในรูปที่ 5 และ 6 โดยแผนภูมิในรูปที่ 5 แสดงการจัดเรียงชิ้นงานในชุดข้อมูลทดสอบที่มีลักษณะเป็นโพลีกอนแบบคอนเว็ก และแผนภูมิในรูปที่ 6 แสดงการจัดเรียงชิ้นงานในชุดข้อมูลทดสอบที่มีลักษณะเป็นโพลีกอนแบบนอนคอนเว็ก และตารางที่ 3 แสดงผลการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีที่สุดที่พบในการทดลอง

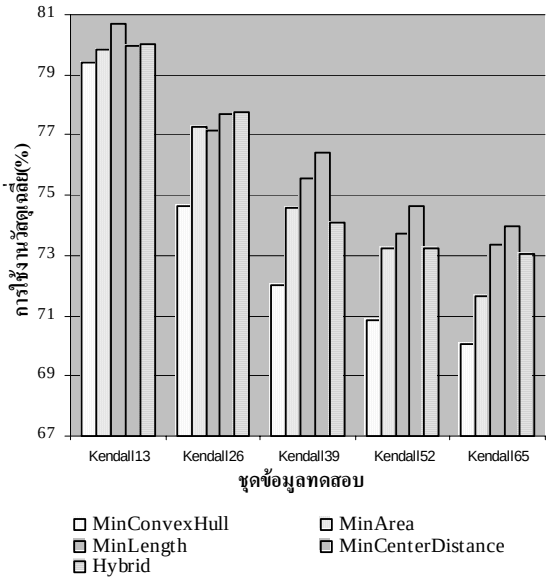
4.1 เปรียบเทียบผลการทดลองในข้อมูลทดสอบแบบคอนเว็ก

จากแผนภูมิที่ 5 ชุดข้อมูลทดสอบ Kendall3 ถึง Kendall65 มีลักษณะของชิ้นงานแบบเดียวกันแต่เพิ่มจำนวนของชิ้นงานมากขึ้น จะเห็นได้ว่าการจัดเรียงชิ้นงานมีค่าที่แย่ลงเมื่อจำนวนชิ้นงานเพิ่มมากขึ้น

เนื่องจากจำนวนลำดับของโพลีกอนที่ต้องค้นหามีมากขึ้นและเวลาในการคำนวณคำตอบแต่ละแบบต้องใช้เวลาเพิ่มมากขึ้นด้วย เมื่อเปรียบเทียบดูจะเห็นว่ากลยุทธ์แบบ MinCenterDistance ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด และรองลงมาเป็นกลยุทธ์แบบ MinLength ส่วนกลยุทธ์แบบ MinConvexHull นั้นให้ผลการทดลองที่แย่ที่สุด สาเหตุที่ทำให้กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด เนื่องจากเมื่อโพลีกอนรวมกันในแต่ละครั้ง จะทำให้เกิดโพลีกอนลักษณะนอนคอนเว็กขนาดใหญ่ ซึ่งเมื่อนำไปคำนวณโนฟิตโพลีกอนกับโพลีกอนชิ้นต่อไปจะทำให้มีตำแหน่งที่เป็นไปได้ของการจัดเรียงเป็นจำนวนมาก การใช้กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance จะทำให้การเลือกตำแหน่งของโพลีกอนใกล้กับจุดศูนย์กลางของโพลีกอนชิ้นใหญ่มากที่สุด ซึ่งกลยุทธ์แบบอื่นอาจเลือกตำแหน่งที่อยู่ภายนอกและเป็นการเพิ่มความยาวของการจัดเรียงมากยิ่งขึ้น สำหรับกลยุทธ์แบบ MinConvexHull ให้ผลที่แย่ที่สุด เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการคำนวณพื้นที่คอนเว็กฮัลมากกว่าเวลาที่ใช้ในการคำนวณกลยุทธ์แบบอื่นๆ ทำให้ทำการค้นหาคำตอบได้น้อยครั้งกว่าวิธีการแบบอื่น สำหรับกลยุทธ์แบบใหม่ที่นำเสนอในบทความนี้คือกลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลการจัดเรียงเฉลี่ยที่แย่กว่ากลยุทธ์แบบ MinCenterDistance และ MinLength เล็กน้อย แต่สามารถพบคำตอบที่ดีที่สุด 3 ใน 5 ของชุดข้อมูลทดสอบแบบคอนเว็ก ทำให้เชื่อว่าหากเพิ่มเวลาการทดสอบจะทำให้การค้นหาคำตอบของกลยุทธ์แบบ Hybrid ได้ค่าเฉลี่ยที่ดียิ่งขึ้น

ตารางที่ 4 เวลาเฉลี่ยในการคำนวณคำตอบด้วยกลยุทธ์แต่ละแบบ

ชุดข้อมูลทดสอบ	เวลาเฉลี่ย (วินาที)				
	Min Convex Hull	Min Area	Min Length	Min Center Distance	Hybrid
Kendall13	0.117	0.057	0.056	0.059	0.059
Kendall26	0.593	0.218	0.206	0.212	0.211
Kendall39	1.646	0.588	0.524	0.520	0.525
Kendall52	3.704	1.154	1.022	1.059	1.056
Kendall65	7.063	2.093	1.840	1.874	1.869



รูปที่ 5 แสดงแผนภูมิแสดงการใช้งานวัสดุเฉลี่ยจากกลยุทธ์แบบต่างๆ ในชุดข้อมูลที่สอบที่มีลักษณะเป็นโพลีกอนแบบคอนเว็ก

จากตารางที่ 4 แสดงเวลาเฉลี่ยของการคำนวณคำตอบจากลำดับโพลีกอนแต่ละครั้งของกลยุทธ์แบบต่างๆ จะเห็นได้ว่าเวลาที่ใช้ในกลยุทธ์แบบ MinConvexHull นั้นเพิ่มขึ้นมากเมื่อจำนวนโพลีกอนเพิ่มขึ้น ขณะที่กลยุทธ์แบบอื่นๆ ใช้เวลาในการคำนวณใกล้เคียงกัน

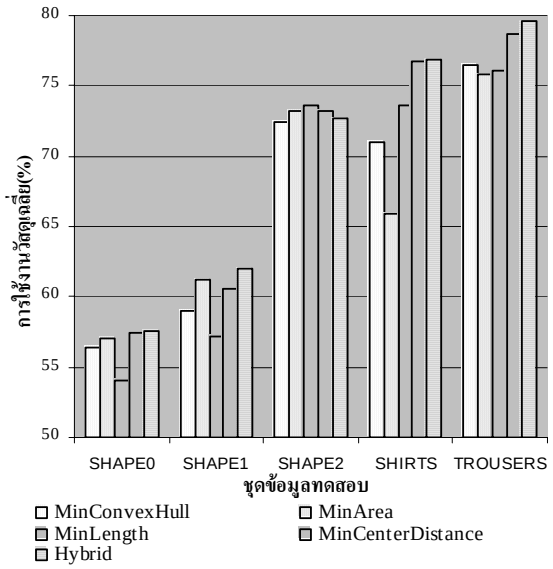
4.2 เปรียบเทียบผลการทดลองในข้อมูลทดสอบแบบนอนคอนเว็ก

จากแผนภูมิที่ 6 เป็นผลการจัดเรียงชิ้นงานเฉลี่ยในชุดข้อมูลทดสอบแบบนอนคอนเว็ก โดยผลการทดลองแบ่งตามชุดข้อมูลเป็นดังนี้

- ชุดข้อมูลทดสอบ SHAPE0 และ SHAPE1 โพลีกอนมีรูปร่างเหมือนกันโดยมีจำนวนโพลีกอน 43 ชิ้น แต่ชุดข้อมูลทดสอบ SHAPE1 อนุญาตให้สามารถหมุนโพลีกอนได้ ทำให้ผลการจัดเรียงของชุดข้อมูลทดสอบ SHAPE1 ได้ผลที่ดีกว่า กลยุทธ์ที่ให้ผลการจัดเรียงเฉลี่ยที่ดีที่สุด คือ Hybrid ขณะที่กลยุทธ์แบบ MinLength ให้ผลการจัดเรียงที่แย่ที่สุดอย่างเห็นได้ชัด
- ชุดข้อมูลทดสอบ SHAPE2 เป็นชุดข้อมูลทดสอบขนาดเล็กคือมีจำนวนชิ้นงาน 28 ชิ้น จากการทดลองการใช้กลยุทธ์แบบ

ต่างๆ ให้ผลของการจัดเรียงชิ้นงานไม่ต่างกันมากนัก โดยกลยุทธ์ที่ให้การจัดเรียงเฉลี่ยที่ดีที่สุดคือ MinLength ขณะที่กลยุทธ์แบบ MinConvexHull ให้ผลการจัดเรียงที่แย่ที่สุด

- ชุดข้อมูลทดสอบ SHIRT เป็นชุดข้อมูลทดสอบขนาดใหญ่คือมีจำนวนชิ้นงาน 99 ชิ้น จากการทดลองพบว่ากลยุทธ์ในแบบ Hybrid และ กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance ให้ผลการจัดเรียงที่ดีกว่ากลยุทธ์แบบอื่น ในขณะที่กลยุทธ์แบบ MinArea ให้ผลการจัดเรียงที่แย่ที่สุด
- ชุดข้อมูลทดสอบ TROUSERS เป็นชุดข้อมูลทดสอบขนาดกลาง มีจำนวนชิ้นงาน 64 ชิ้น จากการทดลองกลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลการจัดเรียงที่ดีที่สุด ขณะที่กลยุทธ์แบบ MinArea ให้ผลการจัดเรียงที่แย่ที่สุด



รูปที่ 6 แสดงแผนภูมิแสดงการใช้งานวัสดุเฉลี่ยจากกลยุทธ์แบบต่างๆ ในชุดข้อมูลที่สอบที่มีลักษณะเป็นโพลีกอนแบบนอนคอนเว็ก

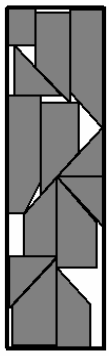
จากผลการทดลองในชุดข้อมูลแบบนอนคอนเว็กจะเห็นได้ว่ากลยุทธ์แบบ MinLength และกลยุทธ์แบบ MinArea มีจุดอ่อน โดยในบางข้อมูลทดสอบกลยุทธ์ทั้งสองแบบนี้ให้ผลการทดลองที่แย่กว่ากลยุทธ์แบบอื่นอย่างเห็นได้ชัด กลยุทธ์แบบ MinConvexHull ยังให้ผลการจัดเรียงที่ไม่ดี เนื่องจากการคำนวณพื้นที่คอนเว็กฮัลใช้เวลามากกว่าการใช้กลยุทธ์แบบอื่น กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance ยังให้ผลการจัดเรียงที่ดีเช่นเดียวกับการจัดเรียงชิ้นงานที่มีรูปร่างแบบคอนเว็ก ในขณะที่กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลการจัดเรียงเฉลี่ยที่ดีที่สุด 4 ใน 5 ของชุดข้อมูลทดสอบแบบนอนคอนเว็ก

4.3 เปรียบเทียบผลการใช้กลยุทธ์ Hybrid กับงานของ Kendall

ในงานของ Kendall[5] ใช้กลยุทธ์การจัดเรียงชิ้นงานแบบ MinConvexHull เมื่อเปรียบเทียบการใช้กลยุทธ์แบบเดิมของ Kendall กับกลยุทธ์แบบ Hybrid ที่เสนอในบทความนี้ ปรากฏว่ากลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลการจัดเรียงที่ดีขึ้นกว่ากลยุทธ์แบบ MinConvexHull ในทุกชุดการทดสอบ โดยสรุปอยู่ในตารางที่ 5 โดยในชุดข้อมูลทดสอบของ Kendall ให้ผลที่ดีกว่า 0.79 ถึง 4.27 เปอร์เซ็นต์ รูปที่ 7 แสดงการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีที่สุดที่พบในการทดลองในชุดข้อมูลทดสอบ Kendall13 โดยใช้กลยุทธ์ Hybrid มีความยาวการจัดเรียงเท่ากับ 22623 คิดเป็นการใช้งานวัสดุเท่ากับ 83.725 %

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบผลการจัดเรียงชิ้นงานระหว่างกลยุทธ์แบบ MinConvexHull และกลยุทธ์แบบ Hybrid

ชุดข้อมูลทดสอบ	การใช้งานวัสดุเฉลี่ย(%)		Hybrid ให้ผลที่ดีขึ้น
	MinConvexHull	Hybrid	
Kendall13	79.381	80.005	0.79 %
Kendall26	74.664	77.773	4.16 %
Kendall39	72.007	74.116	2.93 %
Kendall52	70.830	73.232	3.39 %
Kendall65	70.086	73.081	4.27 %
SHAPE0	56.436	57.576	2.02 %
SHAPE1	58.958	62.005	5.17 %
SHAPE2	72.378	72.745	0.51 %
SHIRTS	70.943	76.828	8.30 %
TROUSERS	76.518	79.612	4.04 %



รูปที่ 7 แสดงการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีที่สุดที่พบในการทดลองในชุดข้อมูลทดสอบ Kendall13

4.4 เปรียบเทียบผลการใช้กลยุทธ์ Hybrid กับวิธี TOPOS

เนื่องจากวิธี TOPOS ทำการทดลองบนระบบที่แตกต่างจากการทดลองนี้ และผลที่แสดงในงานของ Oliveira[4] เป็นผลการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีที่สุด ดังนั้นการเปรียบเทียบวิธี TOPOS กับกลยุทธ์แบบ Hybrid จึงใช้คำตอบที่ดีที่สุดที่พบในการทดลอง ตารางที่ 3 แสดงถึงผลการจัดเรียงที่ดีที่สุดในกลยุทธ์แบบต่างๆ และผลการจัดเรียงด้วยวิธี TOPOS และกลยุทธ์แบบ Hybrid แสดงดังตารางที่ 6

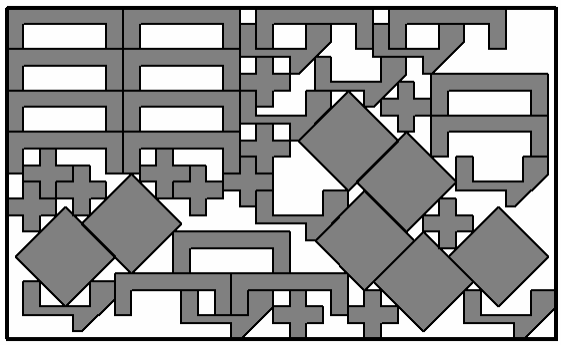
ตารางที่ 6 เปรียบเทียบผลการจัดเรียงชิ้นงานระหว่างวิธี TOPOS และกลยุทธ์แบบ Hybrid

ชุดข้อมูลทดสอบ	ความยาวการจัดเรียง		การใช้งานวัสดุ(%)	
	TOPOS	Hybrid	TOPOS	Hybrid
SHAPE0	66.75	66	59.775	60.455
SHAPE1	61	61	65.410	65.410
SHAPE2	28.9	28.5	73.818	74.854
SHIRTS	66.44	68.49	81.276	78.844
TROUSERS	263.17	265.29	82.76	82.100

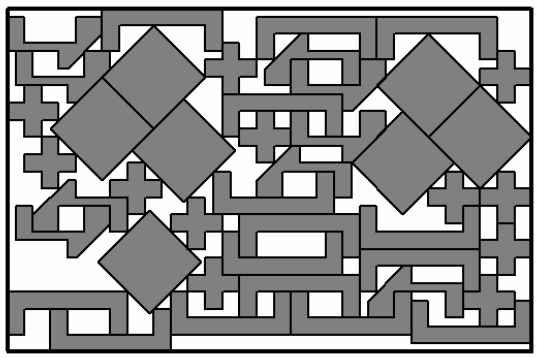
จากตารางที่ 5 สามารถเปรียบเทียบผลการจัดเรียงชิ้นงานระหว่างวิธี TOPOS และกลยุทธ์แบบ Hybrid ได้ดังนี้

- ชุดการทดสอบ SHAPE0 โดย TOPOS ให้ผลเท่ากับ 66.75 ขณะที่ กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลเท่ากับ 66 คิดเป็นผลการทดลองดีกว่า 1.12 เปอร์เซ็นต์
- ชุดการทดสอบ SHAPE1 โดย TOPOS ให้ผลเท่ากับ 61 ขณะที่ กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลคือ 61 เท่ากัน
- ชุดการทดสอบ SHAPE2 โดย TOPOS ให้ผลเท่ากับ 28.9 ขณะที่ กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลคือ 28.5 คิดเป็นผลการทดลองที่ดีกว่า 1.38 เปอร์เซ็นต์ ขณะที่กลยุทธ์แบบ MinLength ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุด คือ 27.717
- ชุดการทดสอบ SHIRTS โดย TOPOS ให้ผลเท่ากับ 66.44 ขณะที่ กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลคือ 68.49 เป็นผลการทดลองที่แย่กว่า 3.08 เปอร์เซ็นต์
- ชุดการทดสอบ TROUSERS โดย TOPOS ให้ผลเท่ากับ 263.17 ขณะที่ กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลคือ 265.29 เป็นผลการทดลองที่แย่กว่า 0.804 เปอร์เซ็นต์

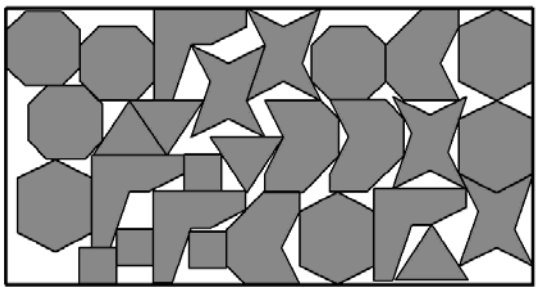
รูปที่ 8 แสดงผลของการจัดเรียงที่ดีที่สุดที่เกิดขึ้นจากกลยุทธ์แบบ Hybrid ในรูป 8(a) แสดงผลของการจัดเรียงชุดการทดสอบ SHAPE0 มีความยาวเท่ากับ 66 ในรูป 8(b) แสดงผลของการจัดเรียงชุดการทดสอบ SHAPE1 มีความยาวเท่ากับ 61 ในรูป 8(c) แสดงผลของการจัดเรียงชุดการทดสอบ SHAPE2 มีความยาวเท่ากับ 28.5 ในรูป 8(d) แสดงผลของการจัดเรียงชุดการทดสอบ SHIRTS มีความยาวเท่ากับ 68.4902 ในรูป 8(e) แสดงผลของการจัดเรียงชุดการทดสอบ TROUSERS มีความยาวเท่ากับ 265.29



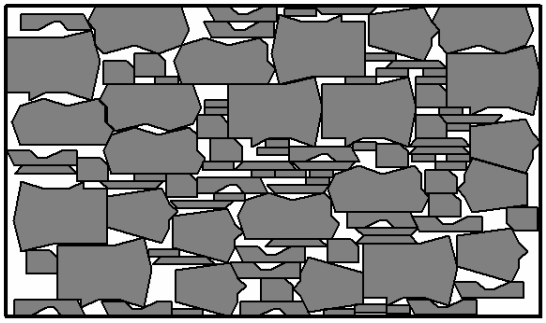
(a) SHAPE0



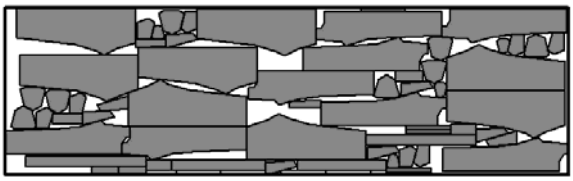
(b) SHAPE1



(c) SHAPE2



(d) SHIRTS



(e) TROUSERS

รูปที่ 8 แสดง ผลการทดลองที่ดีที่สุดที่พบโดยกลยุทธ์แบบ Hybrid

5. บทสรุป

ในงานชิ้นนี้ได้เสนอกลยุทธ์แบบ Hybrid หรือกลยุทธ์การจัดเรียงแบบหลายเฟสซึ่งเกิดจากการรวมเอากลยุทธ์แบบ MinCenterDistance และกลยุทธ์แบบ MinLength โดยในเฟสแรกพยายามที่จะจัดเรียงโพลีกอนให้ชิดกันมากที่สุดจึงเลือกใช้กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance และในเฟสหลังเลือกใช้กลยุทธ์แบบ MinLength เพื่อพยายามลดความยาวของโพลีกอนที่จัดเรียงให้มากที่สุด จากการทดลองโดยทดสอบกลยุทธ์แบบต่างๆ กับโพลีกอนชนิดคอนเว็ก ปรากฏว่าในชุดการทดสอบที่มีโพลีกอนจำนวนน้อย การใช้กลยุทธ์แบบใดก็ให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันมากนัก แต่ในชุดการทดสอบที่มีจำนวนโพลีกอนเพิ่มมากขึ้น กลยุทธ์แบบ MinCenterDistance ให้ผลการทดลองเฉลี่ยที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นกลยุทธ์แบบ MinLength ในขณะที่กลยุทธ์แบบ MinConvexHull ให้ผลการทดสอบเฉลี่ยที่แย่ที่สุด ทั้งนี้เนื่องจากการคำนวณพื้นที่คอนเว็กค่อนข้างใช้เวลาคำนวณนานมากกว่ากลยุทธ์แบบอื่น สำหรับกลยุทธ์การจัดเรียงแบบผสมหลายเฟส หรือ Hybrid ให้ผลการจัดเรียงเฉลี่ยไม่ดีเท่ากับ MinCenterDistance แต่ผลการจัดเรียงที่ดีที่สุดมากถึง 3 ใน 5 ชุดข้อมูลทดสอบ ทำให้มั่นใจได้ว่าหากมีเวลาการทดสอบนานขึ้นกลยุทธ์แบบ Hybrid จะให้ผลการจัดเรียงเฉลี่ยที่ดีขึ้น นอกจากนี้การใช้กลยุทธ์แบบ Hybrid ให้ผลการจัดเรียงชิ้นงานที่ดีขึ้นจากวิธีการของ Kendall[5] ที่ใช้กลยุทธ์แบบ MinConvexHull คิดเป็น 0.79 ถึง 4.27 เปอร์เซ็นต์ในชุดข้อมูลทดสอบของ Kendall[5] และให้ผลการจัดเรียงที่ดีขึ้น 0.51 ถึง 8.30 เปอร์เซ็นต์ในชุดข้อมูลทดสอบแบบนอนคอนเว็ก สำหรับการทดสอบกับข้อมูลทดสอบแบบนอนคอนเว็ก 5 แบบ ในชุดข้อมูลทดสอบที่มีจำนวนโพลีกอนน้อย เช่น ชุดข้อมูลทดสอบ SHAPE2 การใช้กลยุทธ์แต่ละแบบให้ผลการทดลองไม่แตกต่างกันเท่าใดนัก โดยทุกกลยุทธ์ให้ผลการทดลองที่ดีกว่าอัลกอริธึม TOPOS แต่เมื่อจำนวนของโพลีกอนเพิ่มมากขึ้น กลยุทธ์ที่ให้ผลที่ดีกว่ากลยุทธ์แบบอื่นคือ กลยุทธ์แบบ Hybrid จากการเปรียบเทียบอัลกอริธึมที่ใช้กลยุทธ์แบบ Hybrid เทียบกับอัลกอริธึม TOPOS ทำให้สรุปได้ว่าในชุดการทดสอบที่มีจำนวนโพลีกอนน้อย อัลกอริธึมที่ใช้วิธีทาบูเสิร์ชรวมกับกลยุทธ์การจัดเรียงแบบหลายเฟสให้ผลดีกว่า ในขณะที่เมื่อโพลีกอนมีจำนวนมากขึ้น อัลกอริธึม TOPOS ให้ผลการทดลองที่ดีกว่า ถึงแม้ในงานชุดนี้ไม่สามารถบอกได้ว่ากลยุทธ์แบบใดดีที่สุดสำหรับการจัดเรียงชิ้นงาน และกลยุทธ์การ

จัดเรียงแบบหลายเฟสไม่ได้ให้ผลการทดลองที่ดีที่สุดในทุกชุดการทดสอบ แต่เป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่ผู้วิจัยสามารถใช้เป็นกลยุทธ์ในการจัดเรียงได้ โดยไม่ต้องคำนึงถึงรูปร่างของชิ้นงาน ซึ่งกลยุทธ์การจัดเรียงแบบหลายเฟส ให้ผลการทดสอบที่ค่อนข้างดีในทุกชุดการทดสอบ

การปรับปรุงประสิทธิภาพของการจัดเรียงชิ้นงานในอนาคตสามารถใช้วิธีค้นหาคำตอบแบบขนานในวิธีทาบูเสิร์ชเพื่อลดเวลาการค้นหาคำตอบ หรือใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกแบบอื่น เช่น เจนเนติกอัลกอริธึม หรือซิมูเลตเต็ดแอนเนียลลิ่ง เป็นต้น การทำพรีโปรเซสเพื่อลดจำนวนโพลีกอนก่อนเริ่มจัดเรียงชิ้นงานสามารถช่วยลดเวลาการทำงานได้ ในปัญหาการจัดเรียงชิ้นงานเวลาที่สูญเสียไปมากที่สุดคือเวลาในการคำนวณเรขาคณิต เช่นโนฟิตโพลีกอน หรือคอนเว็กฮัล การใช้ฮาร์ดแวร์ช่วยในการคำนวณก็น่าจะเป็นอีกหนทางหนึ่งที่ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพของวิธีการจัดเรียงชิ้นงานได้

เอกสารอ้างอิง

[1] Jakobs S., 1994. “On genetic algorithms for the packing of polygons”, European Journal of Operational Research 88, pp. 165-181

[2] Bounsaythip, C.,Maouche, S., 1997. “Irregular shape nesting and placing with evolutionary approach”, In: Proceeding of the IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernatics, vol. 4, pp. 3425-3430

[3] Ratanapan, K., Dagli, C.H., 1997. “An object – based evolutionary algorithm for solving rectangular piece nesting problem. In: Proceeding of the IEEE Conference on Evolutionary Computation. ICEC, IEEE, Piscataway, NJ, USA, pp. 989-994

[4] Oliveira, J.F., Gomes, A.M., Ferreira, S., 2000. “TOPOS: A new constructive algorithms for nesting problems”, OR Spektrum 22, pp 263-284

[5] Kendall, G., 2000. “Applying meta-heuristic algorithms to the nesting problem utilizing the no fit polygon”, Ph.D. Thesis submitted to the University of Nottingham, October 2000

[6] Benell J.A., Dowsland K.A, and Dowsland, W.B., 2001. “The irregular stock cutting problem – a new procedure for deriving the no-fit polygon”, Computer and Operations Research 28, pp 271-287

[7] O’Rourke, J., 1998. “Computational geometry in C”, Cambridge University Press, 1998

[8] Dowsland, K.A., and Dowsland, W.B., 1995. “Solution approaches to irregular nesting problem”, European Journal of Operation Research, Vol. 84, 1995, pp. 506-521

กิตติพงศ์ เอกไชย สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยมหิดล และปริญญาโท วิศวกรรมคอมพิวเตอร์ จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันทำงานอยู่ที่กลุ่มวิจัยการผลิตอัตโนมัติ ศูนย์เทคโนโลยีอิเล็กทรอนิกส์และคอมพิวเตอร์แห่งชาติ

ประดนเดช นีละคุปต์ สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีทางวิศวกรรมไฟฟ้า จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปี พ.ศ. 2527, ปริญญาโททางวิศวกรรมไฟฟ้า จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปี พ.ศ. 2531 และสำเร็จการศึกษาปริญญาโท สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์จาก George Washington University ปี พ.ศ. 2535, ปริญญาโท สาขาวิศวกรรมไฟฟ้าและคอมพิวเตอร์จาก Drexel University ปี พ.ศ. 2540 ในปี พ.ศ. 2531 เข้าทำงานที่การสื่อสารแห่งประเทศไทย และในช่วงปลายปี พ.ศ. 2531 ได้เข้าทำงานที่ภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยศาสตราจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ มีความสนใจงานวิจัยด้านการแก้ปัญหาด้วย Genetic Algorithm, การออกแบบและทดสอบ VLSI, และด้าน system, micro controller, และการประยุกต์ใช้งาน