การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในเทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็วจากความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่าง

A Tool Path Planning of Rapid Prototyping Technology Base on a Contour Relationship

ปภากร พิทยชวาล* ธนาคาร เบ้าทอง
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
อ.เมือง จ.นครราชสีมา 30000

Paphakorn Pitayachaval* Thanakharn Baothtong
School of Industrial Engineering, Institute of Engineering, Suranaree University of Technology,
Amphur Muang, Nakhorn Ratchasima 30000
Tel : 0-4422-4264 E-mail: paphakorn@g.sut.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว โดยวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง (contour identification)ในแต่ละชั้น และประยุกต์ใช้แนวคิดความสัมพันธ์แบบพ่อลูก (parent and child)เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือรวมถึงการประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) เพื่อกำหนดเส้นทางเดินของเครื่องมือซึ่งสามารถแบ่งได้เป็น 2 ส่วนคือ 1) เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องมือสร้างต้นแบบทำงาน (operating time) และ 2) เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างซึ่งเป็นช่วงเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน (non-operating time)โดยผลที่คาดว่าจะได้รับคือลดระยะเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างซึ่งจะส่งผลต่อการลดระยะเวลาการสร้างต้นแบบ(fabrication time) โดยแสดงผลการดำเนินงานงานวิจัยด้วยกรณีศึกษา

คำหลัก เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

Abstract

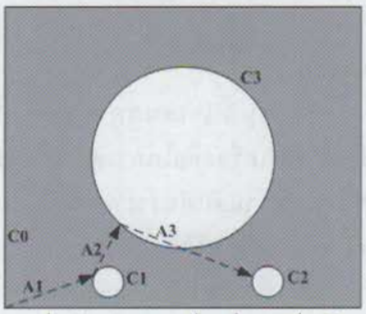
This paper presentsan algorithm for tool path planning of rapid prototyping by identifying a contour relationship in each layer. A concept of parent and child has been applied to establish relationship of the slice contours. Information as contours relationship can be utilized to plan tool path of rapid prototyping and applied the traveling salesman problem to determine the path sequences in order to minimize distance of tool travelling to all contours. The tool path is categorized by twotypes: moving on contours (operating time) and moving between contours (non-operating time).The algorithm had been implemented on a case study, and the distance of total tool path from algorithm was also presented.

Keywords: Rapid prototyping technology, contour identification, tool path planning, travelling salesman problem

1. บทนำ

เทคโนโลยีการสร้างต้นแบบรวดเร็ว (Rapid Prototyping technology, RP) หรือกรรมวิธีการขึ้นรูปแบบชั้น (Layered Manufacturing, LM) คือ กระบวนการสร้างชิ้นงานต้นแบบทีละชั้น (layer by layer) โดยตรงจากแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติ (3D CAD model) ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้คือ แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ 3 มิติรูปทรงต่าง ๆจะถูกแบ่ง (slicing) ออกเป็นชั้น ๆ ตามระนาบ (plane) ที่กำหนดขึ้นด้วยค่าความหนา (thickness) ที่เหมาะสมเส้นโครงร่าง (contours) ในแต่ละชั้นของแบบจำลองจะถูกสกัด (extract) เพื่อนำมาใช้สร้างชิ้นงานต้นแบบ ชั้นของแบบจำลองประกอบด้วยเส้นโครงร่าง(contour) ที่แสดงส่วนของพื้นที่ที่เป็นเนื้อวัสดุ (solid) หรือส่วนของพื้นที่ที่เป็นโพรง (hole) ซึ่งข้อมูลที่เกี่ยวกับจำนวน รูปร่าง และข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นจะถูกส่งไปยังเครื่องสร้างต้นแบบรวดเร็ว (RP machine) เพื่อสร้างชิ้นงานต้นแบบขึ้นทีละชั้นเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนเป็นชิ้นงานต้นแบบที่สมบูรณ์

เส้นโครงร่างที่เกิดจากการแบ่งแบบจำลองเป็นชั้นมีความสำคัญต่อการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว กล่าวคือ ในแต่ละชั้นของแบบจำลองอาจมีเส้นโครงร่างเพียงเส้นเดียว (single contour) หรือมีกลุ่มเส้นโครงร่างซ้อนกัน (nested contours) อยู่บนระนาบเดียวกัน ในชั้นแบบจำลองที่มีกลุ่มเส้นโครงร่างจะส่งผลให้มีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือที่เป็นไปได้หลายเส้นทางเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน ดังรูปที่ 1 คือ 1) เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง ได้แก่ เส้นโครงร่าง C0, C1, C2 และ C3 เป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือสร้างต้นแบบทำงาน (operating time) และ 2) เส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ได้แก่ เส้นทาง A1, A2 และ A3 เป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน (non-operating time) ดังนั้นข้อมูลที่เกี่ยวกับจำนวนเส้นโครงร่างและข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจึงจำเป็นสำหรับการสร้างชิ้นงานต้นแบบ โดยข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เพื่อหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงานรวมทั้งส่งผลให้ระยะเวลาการสร้างต้นแบบลดลงเมื่อพิจารณาจากลักษณะของปัญหาการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ พบว่าสอดคล้องกับรูปแบบปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem, TSP) ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินทางเดินของพนักงานขายเป็นปัญหาที่มีความยากเมื่อขนาดของจำนวนเมืองเพิ่มมากขึ้น ซึ่งการคำนวณหาคำตอบที่ดีที่สุด (optimal solution) จะใช้เวลามาก วิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก (heuristic method) เป็นรูปแบบการหาคำตอบรูปแบบหนึ่ง ซึ่งอาจไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยและใช้งานได้ง่าย ซึ่งได้แก่วิธี Saving Heuristic (saving) และNearest Neighbor Heuristic (NN)ใช้สำหรับแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางเดินของพนักงานขาย หรือปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem, VRP) [1]



รูปที่1 เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

บทความนี้นำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างในชั้นที่กำหนดขึ้น (layered contour) บนระนาบ XY ข้อมูลจากความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาใช้เพื่อวางแผนการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็วด้วยวิธีการสร้างแบบ Laminated Object Manufacturing (LOM) โดยไม่คำนึงถึงการตัดในบริเวณที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนของชิ้นงาน และได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ด้วยวิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้นของแบบจำลองเป็นข้อมูลที่นำมาใช้วางแผนการเคลื่อนที่

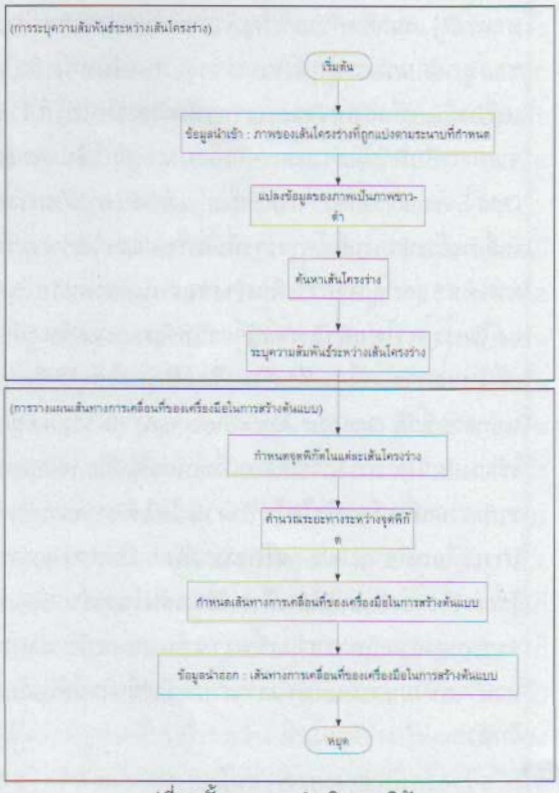
ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบ MaและChu [2] ได้นำเสนอวิธีที่ใช้ระบุความสัมพันธ์ของเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน โดยใช้การลากเส้นจากจุดใด ๆ ผ่านเส้นโครงร่างที่ซ้อนกัน เส้นโครงร่างที่ถูกตัดผ่านเส้นแรกจะเป็นเส้นโครงร่างด้านนอกที่อยู่นอกสุด และเส้นที่ถูกตัดผ่านลำดับต่อมาจะเป็นเส้นโครงร่างด้านในถัดไป ซึ่งเทคนิคนี้เหมาะสำหรับเส้นโครงร่างที่ซ้อนกันเป็นวง และเส้นโคร่งร่างทุกเส้นจะต้องอยู่ในระนาบเดียวกันที่เส้นตรงลากผ่านเส้นโครงร่างทุกเส้นได้ แนวคิด Bounding box [3] ได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง โดยแต่ละเส้นโครงร่างจะถูกสร้างกล่องสี่เหลี่ยมครอบ แต่ละกล่องสี่เหลี่ยมจะถูกเปรียบเทียบทีละคู่ กล่องสี่เหลี่ยมที่ถูกครอบด้วยกล่องสี่เหลี่ยมอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างที่อยู่ภายในกล่องสี่เหลี่ยมนั้นเป็นเส้นโครงร่างที่อยู่ข้างใน แต่ถ้าหากมีการซ้อนทับ (overlap) ระหว่างกล่องสี่เหลี่ยม แนวคิดของ Ray shooting จะถูกนำมาใช้ระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง ด้วยวิธีการลากเส้นตรงผ่านเส้นโคร่งร่างที่ต้องการพิจารณา จากนั้นทำการพิจารณาจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่าง ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดที่สองเกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกัน แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายนอก แต่ถ้าจุดตัดจุดแรกและจุดตัดที่สองเกิดบนเส้นโครงร่างคนละเส้นให้พิจารณาจุดตัดจุดที่สาม ถ้าจุดตัดที่สามเกิดบนเส้นโครงร่างเส้นเดียวกันกับจุดตัดที่สอง แสดงว่าเส้นโครงร่างเส้นนี้คือเส้นโครงร่างภายใน

ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างยังสามารถนำไปใช้เพื่อวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบเพื่อช่วยลดระยะเวลาการสร้างชิ้นงานและหลีกเลี่ยงการชนกันของเครื่องมือ (collision-free tool path) ในการสร้างต้นแบบ Zhu และ Yu [4] ได้นำเสนอวิธี A dexel-base spatio-temporal modeling ใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนของเครื่องมือ เพื่อป้องกันการชนกันของเครื่องมือ ในกรรมวิธีการสร้างต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิด (multi-material layered manufacturing) Choi และ Cheung [5] ได้นำเสนอวิธีการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกัน (multi-colors) ที่ใช้หัวปล่อยวัสดุมากกว่า 1 อัน โดยใช้ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจะขึ้นอยู่กับลักษณะของเส้นโครงร่างในแต่ละชั้น เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือประกอบด้วย 2 ส่วน คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างและเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง นอกจากนี้Tang และ Pang [6] ได้มีการนำเสนอวิธี Maximum Linear Intersection (MLI) และประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problemเพื่อกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด เนื่องจากช่วงระยะเวลาการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน โดยวิธีการลากเส้นตรงให้ผ่านเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันให้มากที่สุด แล้วกำหนดจุดตัดที่เกิดขึ้นบนเส้นโครงร่างเป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างเส้นนั้น เช่นเดียวกับการศึกษาของ Castelino และคณะ [7] แนวคิดการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาประยุกต์ในการวางแผนเส้นทางเดินของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน จากการศึกษาของ Chou และคณะ [8] ได้นำเสมอวิธี Odd-Evenadjusting algorithm เพื่อค้นหาเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างที่สั้นที่สุด และได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายในการแก้ไขปัญหาโดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือไม่ใช่จุดเดียวกัน นอกจากนี้วิธี Genetic Algorithm (GA) [9-10] ได้ถูกนำใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ เพื่อลดช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน โดยพิจารณาเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างออกเป็นส่วนๆ การลดระยะเส้นทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่างนอกจากจะช่วยลดเวลาการสร้างชิ้นงานต้นแบบแล้ว ส่งผลให้สามารถช่วยประหยัดพลังงานการสร้างชิ้นงานต้นแบบได้อีกด้วย

3.การดำเนินงานวิจัย

การดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างและการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบดังรูปที่ 2 โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้ข้อมูลนำเข้า(input) ที่ใช้คือ ภาพของเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนดขึ้นซึ่งข้อมูลภาพนี้จะถูกแปลงเป็นภาพขาว-ดำ (binary

image) จากนั้นค้นหาเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลองและระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างที่อยู่บนระนาบเดียวกันของชิ้นแบบจำลอง ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างจะถูกนำมาเป็นข้อมูลเพื่อใช้วางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยการกำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่าง จุดพิกัดนี้จะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่างของเส้นโครงร่างนั้น จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือข้อมูลนำออก (output) คือ เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็ว



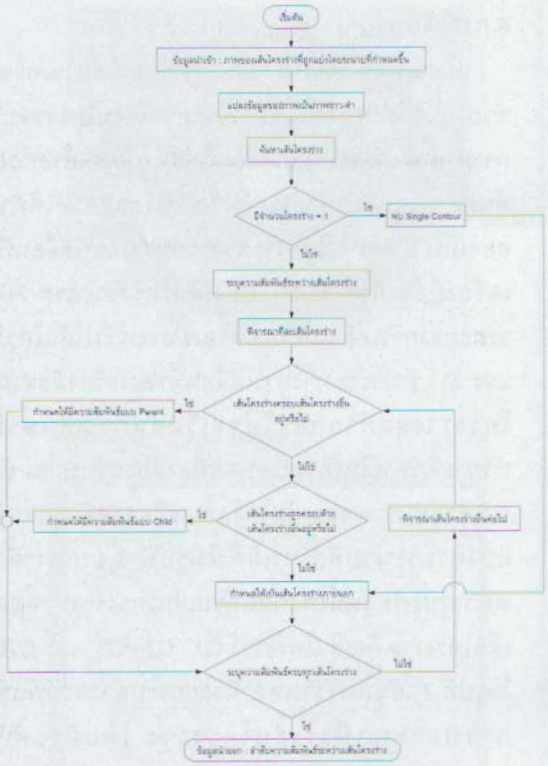
รูปที่ 2 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

3.1การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

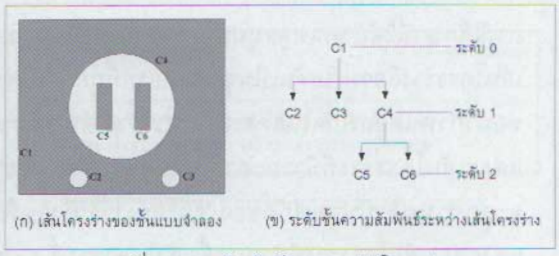
ข้อมูลนำเข้าของการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง คือ ภาพเส้นโครงร่างที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนด ซึ่งภาพนี้จะถูกสกัดเป็นเส้นโครงร่าง โดยข้อมูลของเส้นโครงร่างที่ได้จะถูกเก็บข้อมูลในรูปแบบของเซต (set) คู่อันดับในระนาบ XYดังแสดงในสมการที่ (1)

$$C_x = \{(x_1, y_1), (x_n, y_n)\}, x = 1, \ldots\ldots, i \quad (1)$$

เมื่อเส้นโครงร่าง C_x คือ เซต (Set)ที่ประกอบด้วยสมาชิกคือคู่อันดับในระนาบ XY จากนั้นพิจารณาการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างรายละเอียดขั้นตอนวิธีการระบุความสัมพันธ์ดังในรูปที่ 3 โดยแนวคิดของความสัมพันธ์แบบพ่อลูก (parent and child) จะถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างโดยการพิจารณาทีละเส้นโครงร่าง เส้นเส้นโครงร่างที่ครอบเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบParent และเส้นโครงร่างที่ถูกครอบด้วยเส้นโครงร่างอื่น แสดงว่าเส้นโครงร่างนั้นมีความสัมพันธ์แบบ Child จากตัวอย่างภาพเส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลองดังในรูปที่4 (ก) ประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 6 เส้นโครงร่าง คือ เส้นโครงร่าง C1, C2, C3, C4, C5 และ C6 โดยเส้นโครงร่าง C1 เป็นเส้นโครงร่างนอกสุดที่ครอบเส้นโครงร่างอื่นทั้งหมด และเส้นโครงร่าง C4 ครอบเส้นโครงร่าง C5, C6 แสดงว่าเส้นโครงร่าง C1 มีความสัมพันธ์แบบParentของเส้นโครงร่าง C2, C3, C4, C5 และ C6 เช่นเดียวกับเส้นโครงร่าง C4 มีความสัมพันธ์แบบParentของเส้นโครงร่างC5 และ C6 ส่วนเส้นโครงร่าง C2, C3, C4 และเส้นโครงร่าง C5, C6 มีความสัมพันธ์แบบChild ของเส้นโครงร่าง C1 และ C4 ตามลำดับลำดับ จากข้อมูลความสัมพันธ์นี้สามารถระบุลำดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างดังในรูป 4 (ข) ตัวเลขของระดับ (level) แสดงถึงจำนวน Parent ของเส้นโครงร่างในระดับนั้น เช่น ที่ระดับ 0 เส้นโครงร่าง C1 ไม่มี Parent หรือที่ระดับ 1 เส้นโครงร่าง C2, C3 และ C4มีจำนวน Parent เท่ากับ 1 คือ เส้นโครงร่าง C1 เช่นเดียวกับที่ระดับ 2 เส้นโครงร่าง C5, C6 มีจำนวน Parent เท่ากับ 2 คือ เส้นโครงร่าง C4 และ C1



รูปที่ 3 การระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง



(ก) เส้นโครงร่างของชิ้นแบบจำลอง (ข) ระดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง

3.2 การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างชิ้นงานต้นแบบรวดเร็ว

การวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบรวดเร็วข้อมูลจำนวนเส้นโครงร่างและเซตคู่อันดับของแต่ละเส้นโครงร่างถูกนำมาใช้ในการกำหนดจุดพิกัดของเส้นโครงร่างโดยจุดมุมล่างซ้ายของภาพเส้นโครงร่างจะถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดจุดแรก ซึ่งจุดพิกัดนี้ถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น(home position) เส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ จากนั้นกำหนดจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างทั้งหมด โดยตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดเริ่มต้น จะถูกกำหนดให้เป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่างจะถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทางการเคลื่อนที่ตามแนวเส้นโครงร่าง เมื่อจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างถูกกำหนดขึ้นแล้ว จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัด ข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดจะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยแนวคิดการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายถูกนำมาประยุกต์ในการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยเส้นโครงร่างแต่ละเส้นถูกกำหนดให้เป็นเมืองที่พนักงานขายต้องเดินไปทุกเมืองทั้งหมดแล้วกลับมาที่จุดเริ่มต้น ส่วนเครื่องมือในการสร้างต้นแบบถูกกำหนดให้เป็นพนักงานขาย โดยมุ่งหวังกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับเครื่องมือในการสร้างต้นแบบซึ่งสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้นี้ สมการที่ (2) เป็นสมการวัตถุประสงค์ คือ คำนวณหาเส้นทางที่ให้ผลรวมระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือสั้นที่สุด สมการที่ (3) คือ ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัดสินใจเลือกเดินจากจุดพิกัด iใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ เพียงจุดเดียว เช่นเดียวกับสมการที่ (4) คือ ผลรวมของตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 หมายถึงตัดสินใจเลือกเดินจากจุดพิกัด j ใดๆ ไปยังจุดพิกัด iใดๆ เพียงจุดเดียวสมการที่ (5) สมการกำจัดทัวร์ย่อย (sub tour eliminate) สมการที่ (6) ตัวแปรตัดสินใจมีค่าเท่ากับ 1 เมื่อเลือกเดินทางจากจุดพิกัด iใดๆ ไปยังจุดพิกัด j ใดๆ และมีค่าเท่ากับ 0 กรณีไม่มีการเดินทางเกิดขึ้น

$$Min\ Z\ (T) = \sum_{(i,j)\in T} D_{ij} X_{ij} \qquad (2)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \quad \forall_j \in n \qquad (3)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \quad \forall_i \in n \qquad (4)$$

$$\sum_{i,j\in S} X_{ij} \le |S| - 1, \quad S \subset V, |S| > 1 \qquad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \qquad (6)$$

โดย

n คือ จำนวนจุดพิกัดทั้งหมด

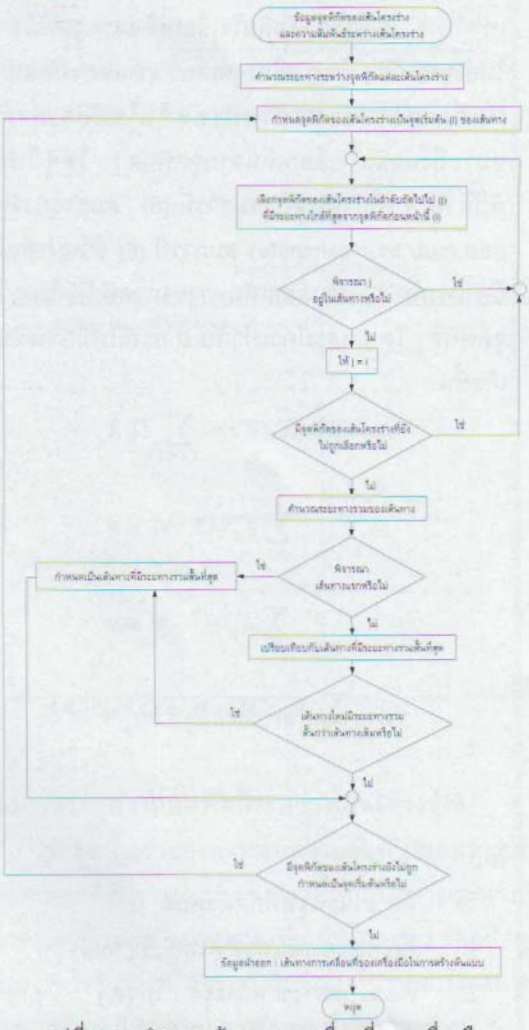
T คือ ชุดของเส้นทาง หรือทัวร์ (Tour)

D_{ij} คือ ระยะทางระหว่างจุด i ไปจุด j

V คือ เซตของจำนวนจุดพิกัดทั้งหมด

$|S|$ คือ ขนาดของรอบย่อยที่เกิดขึ้นแต่ละครั้ง

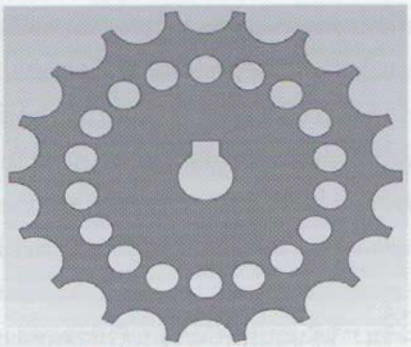
วิธีฮิวริสติก Nearest Neighbor ถูกนำมาใช้ในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมีขั้นตอนการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ดังในรูป 5 โดยข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง จะถูกนำไปใช้ในการจัดลำดับเส้นทางเดินของเครื่องมือ โดยเริ่มต้นเส้นทางที่แต่ละจุดพิกัดของเส้นโครงร่างที่กำหนดได้ จากนั้นเลือกจุดพิกัดของเส้นโครงร่างในลำดับถัดไปที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุดพิกัดก่อนหน้านี้ จนกระทั่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่างถูกเลือกทั้งหมดและกลับมาที่จุดเริ่มต้น จากนั้นคำนวณระยะทางรวมและเปลี่ยนจุดเริ่มต้นไปเรื่อย ๆ จนครบทุกจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ระยะทางรวมที่คำนวณได้จากการเริ่มต้นที่แต่ละจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางสั้นที่สุด ถูกกำหนดให้เป็นเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ



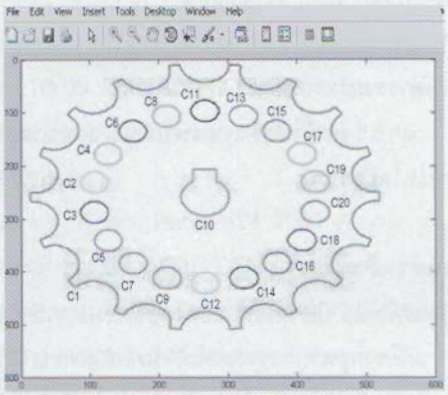
รูปที่ 5 การกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

4.กรณีศึกษา

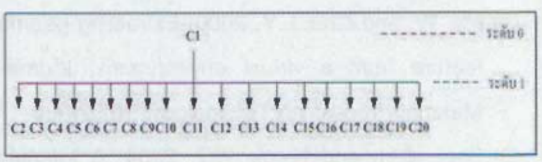
โปรแกรม MATHLAB ถูกนำมาใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ โดยแบ่งช่วงระยะทางที่เครื่องมือไม่ได้ทำงานออกเป็น 3 ช่วง ได้แก่ 1) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่างแรก 2) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่าง และ 3) ช่วงระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่างสุดท้ายกลับไปจุดเริ่มต้นกรณีศึกษานี้ได้ทำการศึกษาเส้นโครงร่างของเฟืองล้อรถจักรยาน ข้อมูลนำเข้าคือ ภาพของเส้นโครงร่างเฟืองล้อจักรยานที่ถูกแบ่งตามระนาบที่กำหนดดังในรูปที่ 6 จากการศึกษาพบว่ารูปภาพรูปนี้ประกอบด้วยเส้นโครงร่างทั้งหมด 20 เส้นโครงร่าง คือเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, ..., C20 ดังในรูปที่ 7 เส้นโครงร่างเหล่านี้จะถูกระบุความสัมพันธ์โดยการพิจารณาทีละเส้นโครงร่าง โดยมีระดับชั้นความสัมพันธ์คือ เส้นโครงร่าง C1 มีความสัมพันธ์แบบ Parent ของเส้นโครงร่าง C1, C2, C3, ..., C20 ดังในรูปที่ 8 จากนั้นกำหนดจุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่างในกรณีศึกษานี้ได้กำหนดจุดมุมล่างซ้าย (0,515) ของภาพเส้นโครงร่างคือจุดเริ่มต้นเป็นจุดพิกัดแรกที่ถูกกำหนดขึ้นต่อมากำหนดจุดพิกัดในแต่ละเส้นโครงร่าง ตำแหน่งของแต่ละเส้นโครงร่างที่มีระยะทางใกล้ที่สุดจากจุด (0,515) จะถูกกำหนดเป็นจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง ซึ่งจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างที่กำหนดขึ้นดังในตารางที่ 1 และแสดงตำแหน่งจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างดังในรูปที่ 9 จากนั้นคำนวณระยะทางระหว่างจุดพิกัดและกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ โดยมีลำดับการเคลื่อนที่ดังในตารางที่ 2 และมีเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือดังในรูปที่ 10 รวมระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือทั้งหมดเท่ากับ1604.4458 ยูนิต(unit) ซึ่งประกอบด้วย 1) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากจุดเริ่มต้นไปยังเส้นโครงร่างC1 เท่ากับ 116.8461 ยูนิต 2) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือระหว่างเส้นโครงร่างเท่ากับ1153.0777 ยูนิต และ 3) ระยะทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือจากเส้นโครงร่าง C10 กลับไปจุดเริ่มต้นเท่ากับ 334.5220 ยูนิต



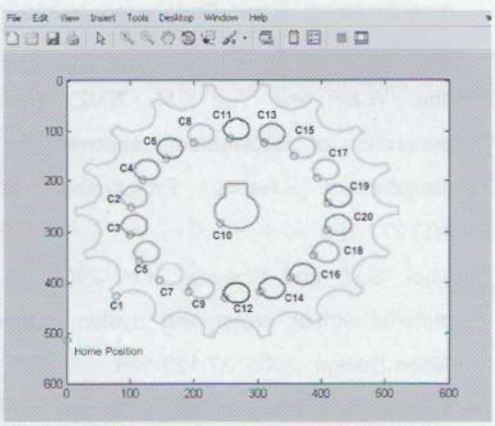
รูปที่ 6 ภาพเฟืองล้อจักรยาน



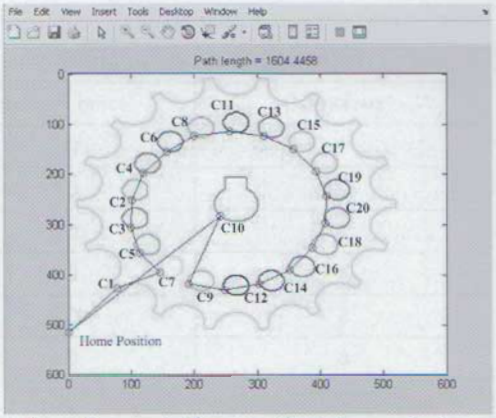
รูปที่ 7 เส้นโครงร่างของเฟืองล้อจักยาน



รูปที่ 8 ระดับชั้นความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง



รูปที่ 9 ตำแหน่งจุดพิกัดของเส้นโครงร่าง



รูปที่ 10 เส้นทางการเคลื่อนของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ

ตารางที่ 1 จุดพิกัดของเส้นโครงร่าง

เส้นโครงร่าง	จุดพิกัด
Home Position	(0,515)
C1	(78,428)
C2	(101,251)
C3	(100,307)
C4	(120,198)
C5	(114,357)
C6	(157,155)
C7	(146,396)
C8	(200,124)
C9	(192,491)
C10	(241,283)
C11	(257,115)
C12	(248,430)
C13	(311,124)
C14	(303,419)
C15	(357,150)
C16	(352,391)
C17	(393,193)
C18	(388,347)
C19	(410,243)
C20	(409,298)

ตารางที่ 2 ลำดับการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ

ลำดับการเคลื่อนที่	เส้นโครงร่าง
จุดเริ่มต้น	Home Position
1	C1
2	C7
3	C5
4	C3
5	C2
6	C4
7	C6
8	C8
9	C11
10	C13
11	C15
12	C17
13	C19
14	C20
15	C18
16	C16
17	C14
18	C12
19	C9
20	C10
จุดสุดท้าย	Home Position

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

วิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่างได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Parent and Child โดยทำการเปรียบเทียบทีละเส้นโครงร่าง เส้นโครงร่างที่ครอบเส้นโครงร่างอื่นกำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Parentและเส้นโครงร่างที่ถูกครอบกำหนดให้มีความสัมพันธ์แบบ Childข้อมูลจำนวนเส้นโครงร่าง ข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และข้อมูลระยะทางระหว่างจุดพิกัดของแต่ละเส้นโครงร่างได้ถูกนำมาใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ รวมถึงได้ประยุกต์ใช้แนวคิดของ Travelling Salesman Problem และใช้วิธีฮิวริสติก Nearest Neighborในการจัดลำดับเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบ เพื่อลดระยะทางการเคลื่อนที่ระหว่างเส้นโครงร่าง ซึ่งเป็นช่วงระยะเวลาที่เครื่องมือไม่ได้ทำงาน ส่งผลให้ระยะเวลาและพลังงานที่ใช้การสร้างต้นแบบลดลง รวมถึงป้องกันการชนกันของเครื่องมือกับชิ้นงานได้อีกด้วย

งานวิจัยในอนาคตจะนำเสนอวิธีการระบุความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโครงร่าง และวิธีการกำหนดเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือในการสร้างต้นแบบไปประยุกต์ใช้กับการสร้างชิ้นงานจริง รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ของเครื่องมือ ในการสร้างชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุหลายชนิดหรือชิ้นงานต้นแบบที่ประกอบด้วยวัสดุที่มีสีแตกต่างกันและใช้หัวปล่อยวัสดุมากกว่า 1อัน

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

เอกสารอ้างอิง

[1] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. 2544. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์.สำนักพิมพ์ส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, หน้า 12-17

[2] Ma, W. and Chu, L.Y. 2000. Extracting geometric feature from a virtual environment. Journal of Material Processing Technology, 107:24-30.

[3] Choi, S.H. and Kwok, K.T. 2004. A topological hierarchy-sorting algorithm for layered manufacturing. Rapid Prototyping Journal, 10(2): 98-113.

[4] Zhu, W.M. and Yu, K.M. 2002. Tool path generation of multi-material assembly for rapid manufacture. Rapid Prototyping Journal, 8(5):277-283.

[5] Choi, S.H. and Cheung, H.H. 2005. A multi-material virtual prototyping system. Computer-Aided Design 2005, 37:123-136.

[6] Tang, K., and Pang, A. 2003. Optimal connection of loops in laminated object manufacturing. Computer-Aided Design, 35(11):1011-1022.

[7] Castellino, K., D'Souza, R. and Wright, P. K. 2002. Toolpath optimization for minimizing

airtime during machining. Journal of Manufacturing Systems, 22(3):173-180.

[8] Chou, C.C., Chen, Y.K. and Chou,S.Y. 2007. Shortest traversal path of n circles in layered manufacturing applications. IEEE Computer Graphics, Imaging and Visualization: New Advances, Bangkok, Thailand, August 13-16,205-210.

[9] Joneja, A., Pang, KW.,Murty, KG., Lam, D. and Yuen, M. 1998. A genetic algorithm for path planning in rapid prototyping. Proceeding of DETC'98 1998 ASMW Design Engineering Technical Conference, September 13-16, Atlanta.

[10] Joneja, A. and Pang, KW. 2001. A new architecture for CAD/CAM systems for rapidprototyping. Department of IEEM, Hong Kong University of Science & technology.