

การสร้างรหัส G-Code ของเส้นทางการหยอดปะเก็นเหลวสำหรับเครื่องยนต์ ด้วยคอมพิวเตอร์วิชัน

G-code generator of gasket glue routing for engine assembly using computer vision

วิษณุ พัฒนาธากุล, สุเทพ อาษา, รศ.ดร.ทวีพล ชื้อสัตย์ และ รศ.สุพรรณ กุลพานิชย์

สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดและควบคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ถนนฉลองกรุง เขตลาดกระบัง กรุงเทพมหานคร 10520

*Email: sohol91@gmail.com, 083-905-4440 *Email: suthepasa@gmail.com, 0814944903

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการหยอดกาวหรือปะเก็นเหลวสำหรับเครื่องยนต์ใช้เครื่องหยอดกาวอัตโนมัติที่ทำงานด้วยการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teach Point) เพื่อกำหนดเส้นทางการเดินของหัวหยอดกาว จากการปฏิบัติงานพบว่า การป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่งต้องใช้เวลาในการป้อนพิกัดนานเมื่อเส้นทางการเดินของหัวหยอดกาวมีความซับซ้อนและเกิดความคลาดเคลื่อนจากการป้อนพิกัดด้วย ในงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์วิชันมาประยุกต์ใช้งานเพื่อสร้างรหัส G สำหรับกำหนดทางเดินของหัวหยอดกาวของเครื่องหยอดกาวแบบอัตโนมัติจากการจับภาพด้วยกล้องดิจิทัล และการประมวลผลภาพ ภาพที่ถ่ายได้จะถูกนำมาประมวลผลภาพแบบ 2 มิติ ด้วยการแปลงเป็นภาพสีเทา แล้วค้นหาขอบภาพ ของชิ้นงาน ทั้งด้านในและด้านนอก หาตำแหน่งกลางของขอบทั้งสองข้างด้วยวิธีการทำโครงกระดูก ซึ่งจะเป็เส้นทางการเดินของหัวกาวและพิจารณาตัดจุดที่ไม่ต้องการออกจากรูปภาพของชิ้นงาน ทำการแปลงพิกัดภาพให้เป็นพิกัดจริงด้วยวิธีการแปลงระนาบของโฮโมกราฟี ก่อนที่จะนำไปสู่กระบวนการแปลงจากภาพเป็นรหัส G ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ รหัส G จะเป็นคำสั่งการเคลื่อนที่ของเครื่องหยอดกาว โดยจะเลื่อนที่ตามรูปร่างของขอบชิ้นงานที่ผ่านการประมวลผลภาพแล้ว ซึ่งการใช้รหัส G จะทำให้เครื่องหยอดกาวเคลื่อนที่ตามตำแหน่งได้ถูกต้องและแม่นยำกว่าการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง ช่วยลดความยุ่งยากจากวิธีการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่งและช่วยลดเวลาในการทำงานของผู้ปฏิบัติงานได้

คำหลัก: การหาขอบภาพ, โฮโมกราฟี, G-Code, เครื่องหยอดปะเก็นเหลว

Abstract.

In the present, the adhesive dispensing equipment is used for filling silicone liquid gasket into the engine by using teach point function to specify the injector routing. However, in the actual operation, we found that when it has the complicated route, it has an error and taken long time for teach point training. Therefore, in this research, we apply the computer vision for making G Code in order to specify the injector route of adhesive dispensing equipment by using the computer vision. Digital camera was used to take an image, and then processed the image to gray scale. After that, applying edge detection for finding the edge for image in both inside and outside, searching the center by using Skeletons method were employed. From this step, we get the injector route and eliminate the unnecessary points of the image finally we use Homography Transformation for processing the image into the real word coordinate, then interpret the x-y coordinates into G Code. The G-Code can be used by manually entering to the adhesive dispensing machine as well.

Keywords: Homography Transformation, G-Code, Adhesive dispensing machine

DRC-2024

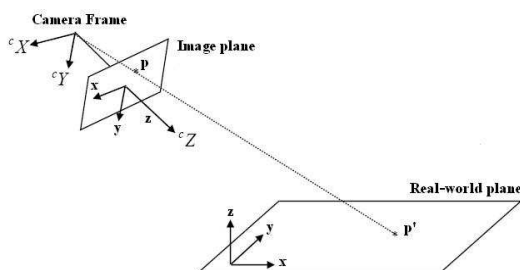
1. บทนำ

งานวิจัยนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาหุ่นยนต์หยอดปะเก็นเหลวสำหรับเครื่องยนต์ เนื่องจากเทคโนโลยีทางวิทยาศาสตร์ได้พัฒนาขึ้นอย่างรวดเร็ว ทำให้เทคโนโลยีหุ่นยนต์หยอดปะเก็นได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวางในการประยุกต์ใช้งาน[1] เช่น เครื่องยนต์จะใช้ปะเก็นเหลวในการยึดประกอบติดหน้าสัมผัสวัสดุทั้งสองชิ้นเข้าหากัน หุ่นยนต์หยอดปะเก็นเหลวจะหยอดปะเก็นได้อย่างรวดเร็ว แม่นยำและถูกต้อง หุ่นยนต์นี้จะช่วยเพิ่มคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ลดต้นทุนการผลิตและปรับปรุงประสิทธิภาพของผลิตภัณฑ์ ดังนั้นจึงมีมูลค่าทางเศรษฐกิจสูงและมีแนวโน้มการประยุกต์ใช้ และพัฒนาวิวัฒนาการมากขึ้น ในบทความนี้จะนำเสนอการใช้หุ่นยนต์ผสมผสานกับเทคโนโลยีการประมวลผลของภาพ เพื่อวางแผนในอุตสาหกรรมการผลิตยนต์ ซึ่งสามารถระบุชิ้นงานที่จะหยอดกาวได้อย่างอัตโนมัติ

2. หลักการ Homography Transform

2.1 Homography Transform

ระบบการวัดบนระนาบเป็นวิธีการวัดในลักษณะเรขาคณิตบนระนาบ นำมาใช้เพื่อแปลงระยะทางในพิกัดบนรูปภาพเป็นค่าระยะทางจริงโดยเทียบกับพิกัดอ้างอิง[2][3][4] ในระบบสองมิติ Homography Matrix จะเป็นตัวแปลงระหว่าง Homogeneous Point และ Homogeneous Coordinate



รูปที่ 1. แสดงความสัมพันธ์ระหว่างจุดบนพิกัดรูปภาพ

(p) และจุดบนพิกัดจริง (p')

จากความสัมพันธ์ระหว่างระนาบในระบบพิกัดรูปภาพ (p) และจุดบนพิกัดจริง (p') สามารถที่เขียนได้เป็น

$$p' = Hp \quad (1)$$

เมื่อ p' และ p เป็น Homogeneous Coordinate ที่ร่วมกันของตำแหน่ง p (พิกัดรูปภาพ) และ p' (พิกัดจริง) ซึ่งมี H เป็น Homography Matrix

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ w' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} h_{11} & h_{12} & h_{13} \\ h_{21} & h_{22} & h_{23} \\ h_{31} & h_{32} & h_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ w \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยในสมการที่ (2) จะเพิ่มจุดสมมติ w และ w' ขึ้นมา โดยให้มีค่าเท่ากับ 1 แล้วคูณ p และ H เมื่อ $\frac{x'}{w'}$ และ $\frac{y'}{w'}$ โดยที่ค่า $w = w' = 1$ จัดรูปแบบสมการใหม่ได้เป็น

$$x'_i = \frac{h_{11}x_i + h_{12}y_i + h_{13}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}}, \quad y'_i = \frac{h_{21}x_i + h_{22}y_i + h_{23}}{h_{31}x_i + h_{32}y_i + h_{33}} \quad (3)$$

ซึ่งสามารถจัดสมการใหม่ให้อยู่ในรูปแบบ Homogeneous ได้เป็นสมการที่ (4) โดยที่ตัวแปร 9 ตัวภายใน H สามารถที่จะแปลความหมายเป็นอัตราการขยายหรือตัวแปลงค่าจุดระหว่างพิกัด ซึ่งในการหาค่า Homography Matrix จำเป็นจะต้องทราบค่าจุดบนพิกัดอย่างน้อย 4 จุด [4]

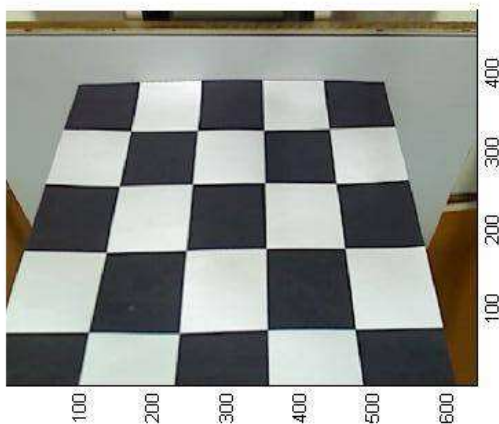
$$\begin{bmatrix} x_1 & y_1 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_1x_1 & x'_1y_1 & x'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ x_4 & y_4 & 1 & 0 & 0 & 0 & x'_4x_4 & x'_4y_4 & x'_4 \\ 0 & 0 & 0 & x_1 & y_1 & 1 & y'_1x_1 & y'_1y_1 & y'_1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & x_4 & y_4 & 1 & y'_4x_4 & y'_4y_4 & y'_4 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} h_{11} \\ h_{12} \\ h_{13} \\ h_{21} \\ h_{22} \\ h_{23} \\ h_{31} \\ h_{32} \\ h_{33} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (4)$$

DRC-2024

Homography Matrix สามารถที่จะหาได้โดยการใช้ระบบสมการเชิงเส้น Singular value decomposition (SVD) เป็นวิธีการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ซึ่งเมื่อทราบค่าของ H ก็จะสามารถที่จะนำไปคำนวณหาค่าจริงของตำแหน่งบนรูปภาพโดยการคูณกันระหว่าง H และ p ดังสมการที่ (1)

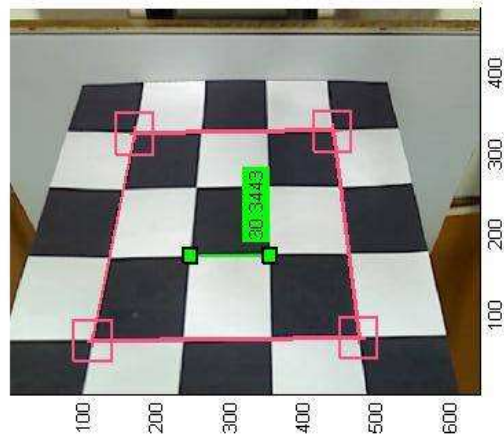
2.2 การสอบเทียบ

ในการสอบเทียบจะใช้หลักการของ Homography Transform [2][3][4] โดยใช้ตารางที่ทราบขนาดเพื่อจะเป็นตัวกำหนดตำแหน่ง 4 จุดของพิกัดรูปภาพเทียบกับขนาดจริงในพิกัดจริง เพื่อที่จะนำไปคำนวณหาค่า Homography Matrix (H) ซึ่งเป็นค่าแปดเตอร์ที่นำไปแปลงค่าจากข้อมูลรูปภาพเป็นค่าในพิกัดจริง



รูปที่ 2. ตารางขนาด 30x30 mm. ที่ใช้ในการสอบเทียบ

ขั้นตอนจะทำการกำหนดจุดแต่ละจุดและนำค่าที่ได้จากกำหนดนี้ไปคำนวณตามสมการที่(4) โดยใช้ฟังก์ชัน SVD ที่เป็นการประมาณค่าแบบ Least Squares (LS) ในโปรแกรม Matlab เป็นตัวช่วยในการคำนวณหาค่า Homography Matrix (H) ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะอยู่ในรูปแบบเมทริกซ์ขนาด 3X3 และสามารถนำค่า H ไปใช้ในสมการที่ (1)



รูปที่ 3. ขั้นตอนและผลลัพธ์ที่ได้จากการสอบเทียบ

2.3 วัตถุตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ



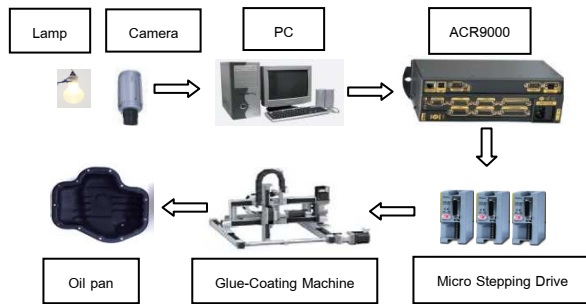
รูปที่ 4. แสดงวิธีการเก็บภาพตัวอย่าง

3. ส่วนประกอบของระบบ

งานวิจัยนี้ได้อ้างอิงต้นแบบหุ่นยนต์หยอดกาวอัจฉริยะซึ่งถูกออกแบบโดย Zhigang Yang และคณะ[1]ซึ่งใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์ เช่นในการประกอบเครื่องยนต์มาเป็นแนวทางในการพัฒนาโดยระบบดังกล่าวแบ่งออกเป็น Machine Vision และ Glue-Coating Robot Machine Vision ทำหน้าที่จับภาพ ตรวจสอบชิ้นงาน สร้างเส้นทางการหยอดปะเก็น หลังจากนั้น Vision Servo จะตรวจสอบคุณภาพการยึดติดของปะเก็น สำหรับ Glue-Coating Robot ทำหน้าที่เคลื่อนที่หยอดปะเก็นด้วยความแม่นยำ

DRC-2024

4.ระบบหุ่นยนต์หยอดกาว



รูปที่ 5. ส่วนประกอบของ หุ่นยนต์หยอดกาว

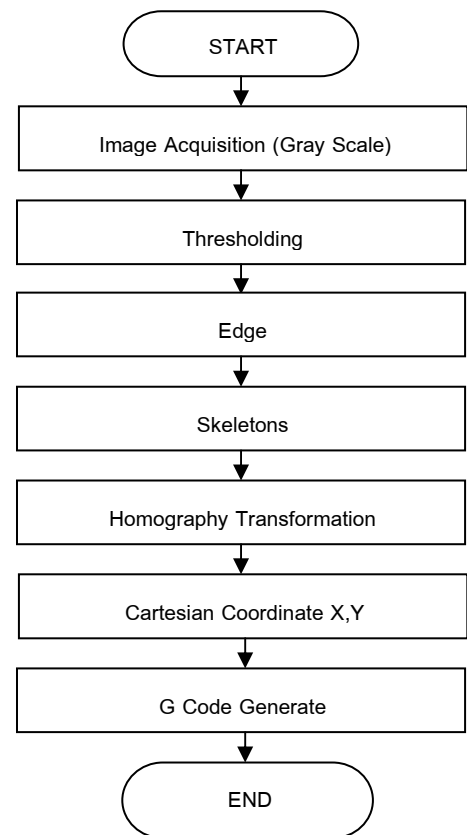
ระบบประกอบไปด้วย แหล่งกำเนิดแสง, กล้องถ่ายภาพ Basler รุ่น SCA1000-30FC ความละเอียด H1034xV779 Pixels frame rate 30 frames/sec , คอมพิวเตอร์, AVR9000 Motion Controller, Stepping Motor, Driver Stepping Motor ในการกำหนดเส้นทางเดินหยอดกาวหรือปะเก็นเหลวสำหรับเครื่องยนต์ใช้เครื่องหยอดกาวอัตโนมัติทำงานด้วยการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่ง (Teach Point) เพื่อกำหนดเส้นทางในการเดินของหัวหยอดกาว จากการปฏิบัติงานพบว่าการป้อนพิกัดแบบเรียนรู้ตำแหน่งต้องใช้เวลาในการป้อนพิกัดนานเมื่อเส้นทางในการเดินของหัวหยอดกาวมีความซับซ้อนและเกิดความคลาดเคลื่อนจากการป้อนพิกัดด้วย

ในงานวิจัยนี้ได้นำคอมพิวเตอร์วิชั่นมาประยุกต์ใช้ งานเพื่อสร้างรหัส G สำหรับกำหนดทางเดินของหัวหยอดกาวของเครื่องหยอดกาวแบบอัตโนมัติจากการจับภาพด้วยกล้องดิจิตอล และการประมวลผลภาพภาพที่ถ่ายได้จะถูกนำมาประมวลผลภาพแบบ 2 มิติ

5. กระบวนการเก็บตัวอย่างภาพ

กระบวนการเก็บตัวอย่างภาพ จะใช้กล้อง CCD Basler รุ่น SCA1000-30FC ในการเก็บตัวอย่างภาพตำแหน่งหรือระยะของกล้องต้องเป็นตำแหน่งเดียวกับตำแหน่งที่ทำการสอบเทียบ ถ้าตำแหน่งของกล้องถูกเปลี่ยนจะต้องทำการสอบเทียบใหม่อีกครั้ง ในการประมวลผลบนคอมพิวเตอร์ที่ใช้ระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และใช้โปรแกรม Matlab 7.0.4 ในการ

วิเคราะห์ผลการทดลอง ซึ่งมีขั้นตอนการประมวลผลดังรูปที่ 6

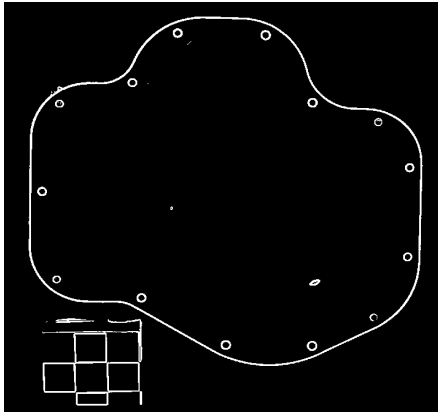


รูปที่ 6. แผนภาพแสดงขั้นตอนการประมวลผลสร้างลายเส้น

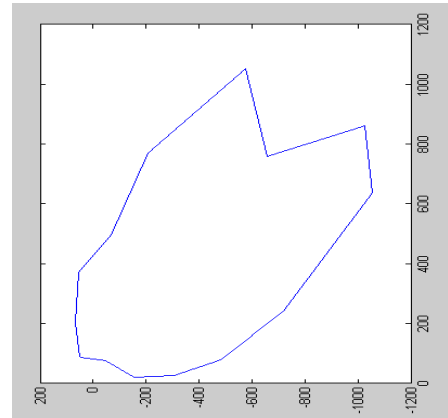
6. การประมวลผลสร้างภาพกำหนดลายเส้นและปรับปรุงลายเส้น



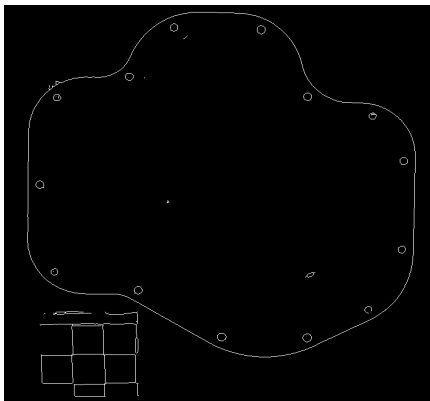
รูปที่ 7. แสดงภาพเทา



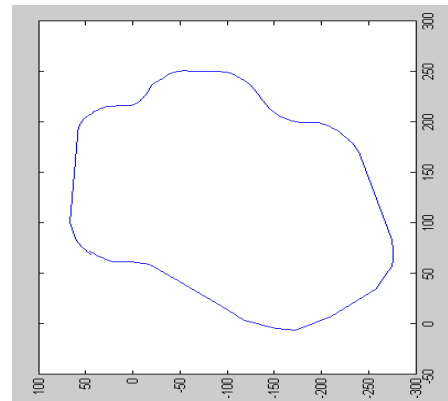
รูปที่ 8. แสดงภาพขอบ (Sobel)



รูปที่ 11. แสดงภาพที่เลือก 15 จุด



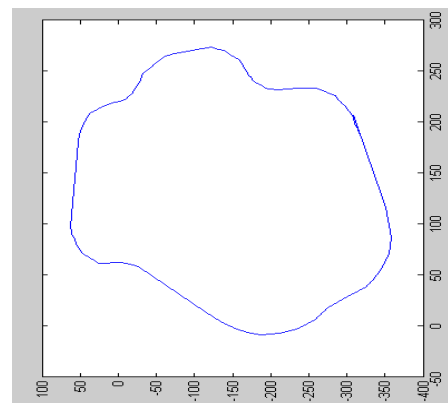
รูปที่ 9. แสดงภาพขอบ (Skeletons)



รูปที่ 12. แสดงภาพที่เลือก 50 จุด

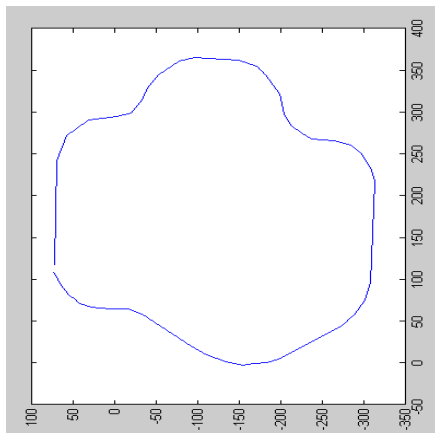


รูปที่ 10. แสดงภาพตัวอย่างใช้ในการเลือกจุด

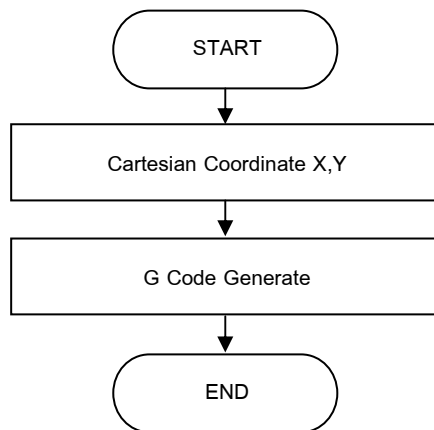


รูปที่ 13. แสดงภาพที่เลือก 75 จุด

DRC-2024



รูปที่ 14. แสดงภาพที่เลือก 100 จุด



รูปที่ 15. แสดงขั้นตอนการแปลง G Code

G01	X1	Y1
	X2	Y2
	X3	Y3
	X4	Y4
	.	.
	.	.
	.	.
	.	.
	.	.
	Xn	Yn

รูปที่ 16. ตารางการแปลง G Code

จากรูปที่ 8 แสดงการหาขอบภาพโดยวิธี Sobel [5] วิธีการทำให้บาง Skeleton [6] ดังรูปที่ 9 รูปที่ 10 แสดงภาพตัวอย่างใช้ในการเลือกจุดแปลงเป็นขนาดจริง Homography Transformation[2][3][4]

เมื่อภาพถูกเปลี่ยนเป็นขนาดจริงแล้ว การเก็บพิกัด X,Y จะทำโดยการระบุตำแหน่งด้วยการคลิกเมาท์ลงไปบนขอบภาพของเส้นทางการเดิน จำนวนของรหัส G-Code จะขึ้นอยู่กับจำนวนการเก็บตำแหน่งพิกัด X,Y จากรูปที่ 14 พิกัด X,Y ทั้งหมด 100 จุด เมื่อเข้าสู่ขั้นตอนการแปลงรหัส G-Code ก็จะได้รหัส G-Code จำนวน 100 รหัสเช่นกัน

7. สรุป

ระบบการสร้างรหัส G-Code บนพื้นผิวชิ้นส่วนเครื่องยนต์จะใช้ Program Matlab 7.0.4 ในการวิเคราะห์ภาพตัวอย่างเพื่อหาตำแหน่ง พิกัด X,Y และแปลงเป็นรหัส G-Code งานวิจัยนี้จะใช้ Homography Transformation ในการแปลงพิกัดภาพเป็นพิกัดขนาดจริง จากการทดลองจะใช้ ตัวอย่างของ oil plan ของเครื่องยนต์พบว่าสามารถหาพิกัด X,Y ได้

ความแม่นยำของตำแหน่ง พิกัด X,Y ขึ้นอยู่กับจำนวนและตำแหน่งของจุดที่ระบุตำแหน่งด้วยการคลิกเมาท์ลงไปบนขอบภาพ

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] Servo Physics Procedia, Volume 24, Part C, 2012, Pages2165-2171Zhigang Yang, Yi An, Yanbin Sun, Jingchun Zhang
- [2] I. Ardpairin and T. Suesut, 2012. "Inspection depth of grooves on tire using 3D computer vision system." Proceedings of 50th Kasetsart University Annual Conference: Architecture and Engineering
- [3] B.D. Badly, et al., 2008. "A Simple low cost 3D scanning system using the laser light-sectioning method." Accepted to IEEE Int'l Inst. Meas. Tech. Conf. (I2MTC)

DRC-2024

[4] Suesut, T. and Inthuset.S, 2009. "Fish Size Measurement by Computer Vision using Light Sectioning." International Conference on Innovations in Agricultural Food and Renewable Energy Productions for Mankind.

[5] Min Max Threshold Range (MMTR) based approach in palmprint authentication by sobel code method Original Research Article Procedia Computer Science, Volume 2, 2010, Pages 149-158
Jyoti Malik, G. Sainarayanan, Ratna Dahiya

[6] Using skeleton-based tracking to increase the reliability of optical motion capture Human Movement Science, Volume 20, Issue 3, June 2001, Pages 313-341
Lorna Herda, Pascal Fua, Ralf Plänkers, Ronan Boulic, Daniel Thalmann