การประยุกต์วิธีการหาขอบภาพเพื่อใช้กับโปรแกรมสั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

Application of the Edge Detection in Plastic-Sheet Puncher Control Program

นเร็นศ ชัยธานี* และ อุนนัต พิณโสภณ
ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520
*อีเมล์ naren_me09@yahoo.com

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับการนำเทคนิคการหาขอบภาพแบบต่างๆมาประมวลผลภาพเพื่อหาพิกัดของขอบภาพ แล้วนำพิกัดที่ได้นั้นเปลี่ยนให้เป็นโค๊ดเพื่อที่จะใช้สั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก ซึ่งได้นำเอาวิธีการหาขอบภาพของ Sobel, Prewitt, Frei-Chen, Roberts-Cross และ Laplacian มาเปรียบเทียบกัน เพื่อพิจารณาถึงความเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก โดยเปรียบเทียบกันในเรื่องความแม่นยำของพิกัดที่คำนวณได้เมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ และเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก ซึ่งพบว่าวิธีของ Roberts-Cross และ Laplacian เหมาะสมที่สุด เพราะให้ความแม่นยำมากที่สุดและเวลาที่ใช้ในการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกน้อยที่สุด

คำสำคัญ : การหาขอบภาพ เครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

Abstract

This paper presents the techniques of edge detection for locating the coordination of picture edges. The coordination is then transformed into computer coding in order to control the Plastic-Sheet Puncher. The edge detection techniques studied are Sobel, Prewitt, Frei-Chen, Roberts Cross and Laplacian methods. The precision of the coordinate as well as the punching time obtained from each method is then compared. It was found that Robert-cross and Laplacian are the most appropriate techniques due to their precision and the shortest punching times.

Keywords: Edge Detection, Plastic-Sheet Puncher

1. คำนำ

ในปัจจุบันเทคนิคการหาขอบภาพนั้นมีความสำคัญอย่างมากในการทำงานในด้าน Image processing ไม่ว่าเป็นการตรวจหาตัวหนังสือและตัวเลขบนป้ายทะเบียนรถเพื่อดูว่าเป็นตัวอะไร [2] หรือจะเป็นการตรวจหาขอบถนนและป้ายจราจรของรถอัจฉริยะ หรือจะเป็นหุ่นยนต์เตะฟุตบอลที่ต้องเช็คเส้นขอบสนาม [3] และอื่นๆ ล้วนแต่ต้องใช้เทคนิคการหาขอบภาพมาช่วยในการทำงาน เช่นเดียวกันในบทความวิจัยนี้ได้นำเอาเทคนิคการหาขอบภาพแบบต่างๆมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมสั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก โดยได้นำเอาเทคนิคการหาขอบภาพของ Sobel , Prewitt , Frei-Chen , Roberts-cross และ Laplacian [1] เพื่อใช้ศึกษาเปรียบเทียบถึงความเหมาะสมกับการใช้งานจริง เนื่องจากวิธีการเหล่านี้มีวิธีการใช้งานที่ง่ายและมีการนำมาประยุกต์ใช้งานกันมาก[5] เช่น การปรับความเร็วในการคำนวนทิศทางของภาพโดยวิธีของ Sobel[6] การวิเคราะห์ความถี่ในหนึ่งมิติด้วยวิธีของ Frei-Chen[7] เป็นต้น โดยดูว่าวิธีใดสามารถให้ความแม่นยำมากที่สุด และวิธีใดที่สามารถสร้างโค๊ดสั่งงานให้เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกสามารถทำงานได้เร็วที่สุด ซึ่งการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกจะเป็นการเคลื่อนที่ในสองแนวแกน โดยจะมีหัวเจาะแผ่นพลาสติก 4 หัวไว้สำหรับเจาะแผ่นพลาสติกให้เป็นลายเส้นประ ซึ่งการทดลองได้นำเอาวิธีการต่างๆเหล่านี้มาทำการตรวจหาขอบภาพที่เป็นภาพพื้นฐานทั่วไปคือ ภาพเส้นตรงในแนวตั้ง เส้นตรงในแนวนอน เส้นตรงเอียง 30 45 60 องศาตามลำดับ ซึ่งการวัดค่าความผิดพลาดนั้น ทำโดยนำเอาพิกัดที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมมาเขียน กราฟเปรียบเทียบกับกราฟสมการเส้นตรงที่ใช้เป็นภาพต้นแบบ ซึ่งค่าความผิดพลาดคิดโดยเอาผลรวมของความผิดพลาดของทุกจุดหารด้วยจำนวนของจุดทั้งหมด ส่วนการวัดความเร็วในการเจาะนั้นใช้การเขียนโปรแกรมจับเวลาที่เป็นเวลาที่ใช้ในการเจาะของเครื่องเจาะ โดยเครื่องเจาะจะส่งข้อมูลกลับมาเมื่อทำงานเสร็จสิ้น จากนั้นก็นำผลที่ได้มาวิเคราะห์และสรุปผลเพื่อเลือกเอาวิธีที่ดีที่สุดไปใช้งานจริง

2. ทฤษฎีและการคำนวณ

2.1 การหาขอบภาพ

ขอบภาพ ก็คือชุดของพิกเซลต่อๆกันที่วางอยู่บนขอบระหว่างพื้นที่สองส่วนของภาพการตรวจหาขอบภาพเป็นก้าวแรกในการแยกภาพเป็นส่วนแล้วนำมารวมกันเป็นออบเจ็กต์หรือพื้นที่ใหม่ในบทความนี้จะนำเสนอการหาขอบภาพด้วยอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอนุพันธ์อันดับสอง อนุพันธ์อันดับหนึ่ง ได้แก่ วิธีของ Sobel, Prewitt, Roberts cross และ Frei-Chen อนุพันธ์อันดับสอง ได้แก่ วิธี Laplacian [1] [5]

อนุพันธ์อันดับหนึ่ง ถ้านำมาหาขอบภาพในแนวนอนและแนวตั้ง เราจะเรียกว่าการหา Gradient ซึ่งเป็นเวกเตอร์เมตริกแสดงได้ดังนี้

$$\nabla f = \begin{bmatrix} H_r(x,y) \\ H_c(x,y) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \quad (1)$$

โดยที่ $\frac{\partial}{\partial x} f(x,y)$ จะเป็นการหาขอบภาพในทิศทางแนวนอน (x) และ $\frac{\partial}{\partial y} f(x,y)$ จะเป็นการหาขอบภาพในทิศทางแนวตั้ง (y) ถ้าหาทั้งสองทิศทางจะเป็นขนาดของเวกเตอร์ ซึ่งเขียนใหม่ได้ดังนี้

$$\nabla f = \left[H_r^2(x,y) + H_c^2(x,y)\right]^{1/2} \cong |H_r(x,y)| + |H_c(x,y)| \quad (2)$$

ส่วนทิศทางการตรวจหาขอบภาพได้จากสมการ

$$\theta = \tan^{-1}\left[\frac{H_c(x,y)}{H_r(x,y)}\right] \quad (3)$$

อนุพันธ์อันดับสอง โดยนำเอาสมการที่ (1) มาหาค่าอนุพันธ์อีกครั้ง จะได้สมการใหม่ดังนี้

$$\nabla^2 f = \begin{bmatrix} \frac{\partial^2}{\partial x} f(x,y) \\ \frac{\partial^2}{\partial y} f(x,y) \end{bmatrix} \quad (4)$$

จากการอนุพันธ์อันดับหนึ่งและอนุพันธ์อันดับสองได้ถูกนำมาพัฒนาเป็นวิธีการหาขอบภาพแบบต่างๆดังนี้

- วิธีของ Sobel ใช้ Mask Coefficient ดังนี้ [1] [5]

$$\begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \text{หรือ} \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวนอน

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{หรือ} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวตั้ง

ตัวอย่างการนำ Mask Coefficient มาใช้โดยการ Convolution

ภาพต้นแบบ Mask Coefficient ภาพใหม่

$$\begin{bmatrix} 0 & 5 & 6 & 7 \\ 1 & 5 & 5 & 3 \\ 5 & 3 & 4 & 2 \\ 7 & 4 & 6 & 3 \end{bmatrix} \otimes \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} & & \\ 1 & 7 & \\ 0 & 0 & \\ & & \end{bmatrix}$$

- วิธีของ Prewitt ใช้ Mask Coefficient ดังนี้ [1] [5]

$$\begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \text{หรือ} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวนอน

$$\begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} \text{หรือ} \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวตั้ง

- วิธีของ Frei-Chen ใช้ Mask Coefficient ดังนี้ [1] [5]

$$\begin{bmatrix} -1 & -\sqrt{2} & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & \sqrt{2} & 1 \end{bmatrix} \text{หรือ} \begin{bmatrix} 1 & \sqrt{2} & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -\sqrt{2} & -1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวนอน

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ \sqrt{2} & 0 & -\sqrt{2} \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \text{หรือ} \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -\sqrt{2} & 0 & \sqrt{2} \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวตั้ง

- วิธีของ Roberts cross ใช้ Mask Coefficient ดังนี้ [1] [5]

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวนอน

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

ใช้สำหรับหาขอบภาพในทิศทางแนวตั้ง

- วิธี Laplacian ใช้ Mask Coefficient ดังนี้ [1] [5]

$$\begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.2 ค่าความผิดพลาด

ทฤษฎีการหาค่าความผิดพลาดนั้นมีอยู่หลายวิธี แต่วิธีที่ถูกนำมาใช้กับบทความวิจัยนี้ได้เลือกเอาวิธีค่าความผิดพลาดแท้จริง (True error) [4] ดังสมการ (5) (6)

$$E_t = V_e - V_a \quad (5)$$

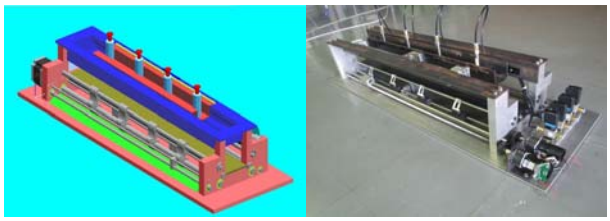
หรือ

$$E_t = \sum (V_e - V_a) / \sum V_e \quad (6)$$

เมื่อ E_t คือค่าความผิดพลาดแท้จริง V_e คือ ผลเฉลยแม่นตรง และ V_a คือ ผลเฉลยโดยประมาณ

2.3 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

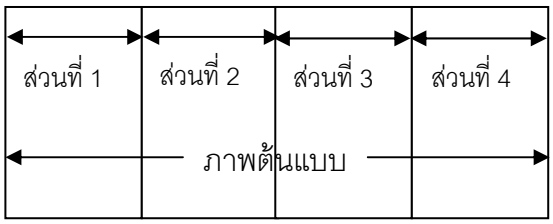
เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกเป็นเครื่องมือที่ใช้ในการเจาะแผ่นพลาสติกให้เป็นรูปเส้นประตามแบบที่ได้ออกแบบไว้ โดยตัวเครื่องได้ออกแบบและสร้างขึ้นมาเอง(รูปที่ 1) ตัวเครื่องมีลักษณะเป็นเครื่องเคลื่อนที่ในสองแนวแกน (X, Y) เคลื่อนที่ด้วยมอเตอร์ไฟฟ้า โดยแกนแรกจะใช้เลื่อนหัวเจาะไปกลับในทิศทางตามแนวแกน X ส่วนอีกแกนจะเป็นการป้อนแผ่นพลาสติกให้เลื่อนในทิศทางตามแกน Y และมีหัวเจาะไว้สำหรับเจาะแผ่นพลาสติกอยู่ 4 หัว ติดอยู่ปลายกระบอกสูบลมสั่งงานด้วยโซลีนอยด์วาล์ว หัวเจาะแต่ละหัวมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.5 มม. รูที่เจาะแต่ละรูห่างกัน 3 มม. หัวเจาะทั้ง 4 หัวนี้ถูกติดตั้งให้อยู่ในแนวเดียวกันบนรางเลื่อนอันเดียวกัน ฉะนั้นหัวเจาะทั้ง 4 หัวจะเคลื่อนที่ไปพร้อมกัน โดยแต่ละหัวจะวางห่างกัน 150 มม. ส่วนตัวเครื่องถูกควบคุมด้วยไมโครคอนโทลเลอร์ โดยจะรับคำสั่งจากคอมพิวเตอร์อีกที เครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนี้สามารถใช้เจาะแผ่นพลาสติกที่มีขนาดกว้าง × ยาวเท่ากับ 600×900 มม.และความละเอียดของจุดที่สามารถเจาะได้อยู่ที่ 200×300 จุด



รูปที่ 1 เครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

2.3.1 โปรแกรมประมวลผลภาพ

โปรแกรมประมวลผลภาพ จะแบ่งภาพออกเป็น 4 ส่วน(รูปที่ 2) แล้วทำการตรวจหาเส้นขอบของภาพต้นแบบที่รับเข้ามา จากนั้นโปรแกรมก็จะทำการคำนวณหาพิกัดของแต่ละหัวเจาะแล้วแปลงเป็นโค๊ดที่เครื่องเข้าใจ แล้วโค๊ดก็จะถูกส่งไปยังชุดควบคุมที่อยู่กับตัวเครื่อง



รูปที่ 2 ภาพที่ถูกแบ่งออกเป็น 4 ส่วน

2.3.2 การสั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

เริ่มจากนำภาพที่ได้ออกแบบไว้เข้าไปในโปรแกรมประมวลผลภาพ โปรแกรมก็จะทำการแสกนหาขอบของภาพแล้วทำการคำนวณหาพิกัดของขอบภาพ จากพิกัดที่ได้จะถูกแปลงให้เป็นโค๊ดเพื่อส่งไปยังเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก จากนั้นส่วนควบคุมในตัวเครื่องเจาะจะทำการแปลงโค๊ดที่ได้ให้เป็นพิกัดต่างๆ แล้วสั่งงานเครื่องให้ทำการเจาะแผ่นพลาสติกตามพิกัดที่ได้รับ ซึ่งจะทำการเจาะทีละแถว หัวเจาะทั้ง 4 เคลื่อนที่ไปด้วยกัน หากหัวไหนมีคำสั่งให้เจาะก็จะทำการเจาะส่วนหัวที่เหลือก็จะไม่เจาะ ไปเลื่อยๆจนกว่าจะหมดทุกจุดในแถวนั้นจึงจะขึ้นเจาะในแถวใหม่ ดังรูปที่ 3

Code 1 หัวเจาะ 1 กับ 3 จะทำการเจาะ หัวเจาะ 2 กับ 4 จะไม่เจาะ

Code 2 หัวเจาะ 1 กับ 4 จะทำการเจาะ หัวเจาะ 2 กับ 3 จะไม่เจาะ

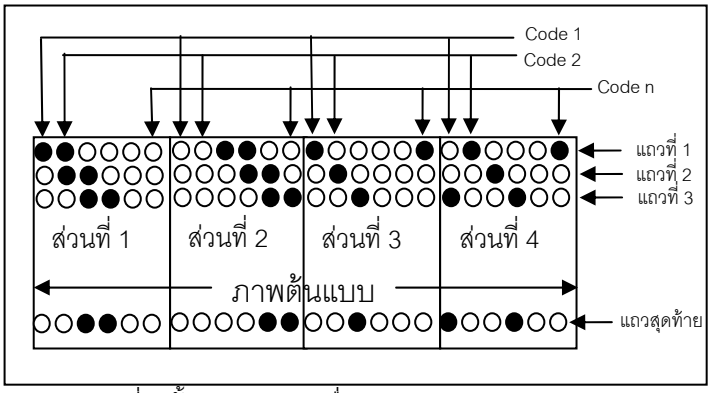
จะเป็นขั้นตอนอย่างนี้ไปเลื่อยๆจนกว่าจะถึงตำแหน่งสุดท้ายที่มีการเจาะ ในรูปที่ 3 จะเป็น Code n ที่มีการเจาะเป็นครั้งสุดท้ายในแถวที่ 1 จากนั้นเครื่องเจาะก็จะทำการเจาะในแถวที่ 2 ต่อไปจนถึงแถวสุดท้าย โดยโค๊ดที่ใช้ในการสื่อสารกันระหว่างเครื่องเจาะกับคอมพิวเตอร์จะมีดังนี้

โค๊ด f จะเป็นการบอกให้เครื่องเจาะทำการขึ้นบันทัดใหม่

โค๊ด r จะเป็นการบอกให้เครื่องเจาะเลื่อนชุดหัวเจาะไปทางขวา

โค๊ด l จะเป็นการบอกให้เครื่องเจาะเลื่อนชุดหัวเจาะไปทางซ้าย

โค๊ด x จะเป็นการบอกให้เครื่องเจาะทำการเจาะ โดย x นั้นจะมีค่าตั้งแต่ 1_{16} ถึง f_{16} เพื่อสั่งงานหัวเจาะทั้ง 4 หัว โดยหัวเจาะทั้ง 4 เปรียบเสมือนชุดข้อมูล 4 บิต สมมติถ้าต้องการสั่งให้หัวเจาะหัวที่ 1 และ 2 ทำการเจาะ ก็สั่งงานเป็น 1100_2 แล้วทำการแปลงเป็นโค๊ดได้เป็น c_{16}



รูปที่ 3 ขั้นตอนการเจาะเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก

3. ขั้นตอนและผลการทดลอง

3.1 ขั้นตอนการทดลอง

จากทฤษฎีการหาขอบภาพแต่ละวิธีได้ถูกนำมาประยุกต์เขียนเป็นโปรแกรมหาขอบภาพและพิกัดของภาพเพื่อสั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก โดยในบทความวิจัยนี้ได้นำเอาโปรแกรม Visual basic 6.0 มาเป็นเครื่องมือในการออกแบบโปรแกรม ซึ่งโปรแกรมที่เขียนขึ้นมานั้นสามารถหาพิกัดต่างๆของภาพและแสดงข้อมูลพิกัดเหล่านั้นออกมาได้ โดยภาพที่ใช้ในการคำนวณนั้นจะเป็นภาพเส้นตรงที่เอียงในองศาต่างๆเพราะสามารถรู้สมการของเส้นดังนี้

ที่ 0 องศา สมการ คือ $Y = 0X$

ที่ 30 องศา สมการ คือ $Y = \frac{1}{\sqrt{3}} X$

ที่ 45 องศา สมการ คือ $Y = X$

ที่ 60 องศา สมการ คือ $Y = \sqrt{3} X$

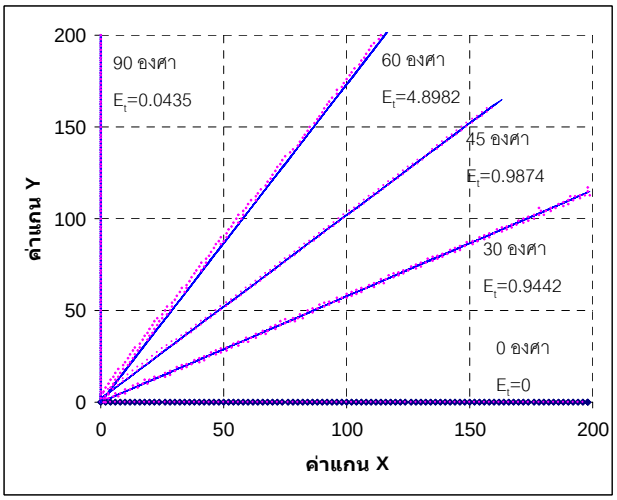
ที่ 90 องศา สมการ คือ $X = 0Y$

จากนั้นก็นำพิกัดที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมไปเขียนเป็นกราฟใน Microsoft Excel เทียบกับสมการเส้นตรงเพื่อดูความผิดพลาดที่เกิดขึ้น

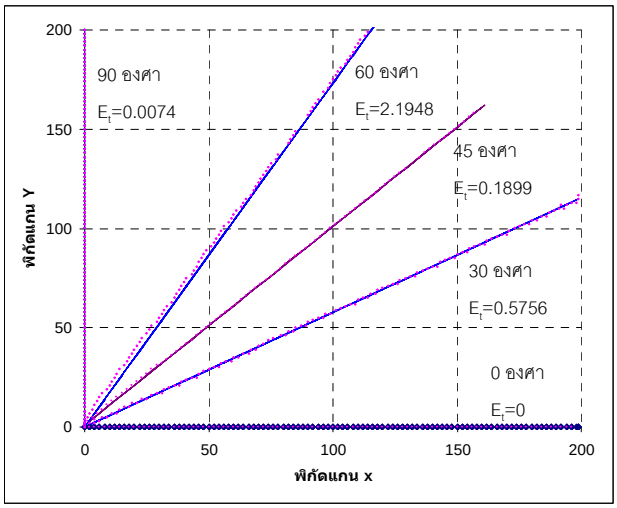
3.2 ผลการทดลอง

3.2.1 เปรียบเทียบความผิดพลาด

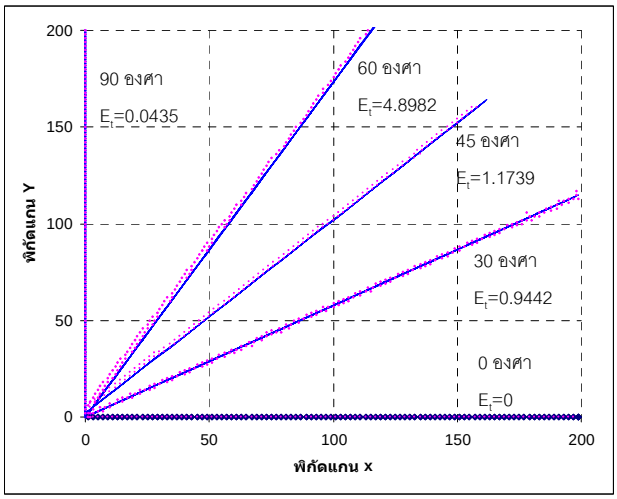
จากสมการที่ (6) ได้ถูกนำมาใช้ในการหาค่าความผิดพลาดเฉลี่ยของพิกัด ซึ่งข้อมูลพิกัดนั้นได้มาจากโปรแกรมประมวลผลภาพของแต่ละวิธีการหาขอบภาพ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับสมการเส้นตรงโดยใช้ค่าพิกัดแกน X เป็นตัวแปรต้นจะได้ค่าในแกน Y ออกมา แล้วนำไปพล๊อตกราฟจะได้ดังกราฟที่ 1 ถึง 5 ซึ่งแสดงถึงค่าความผิดพลาดของแต่ละวิธี โดยเส้นทึบคือเส้นที่ได้จากสมการเส้นตรงและที่เป็นจุดไข่ปลาคือพิกัดที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรม ซึ่งจากการทดลองพบว่าการหาพิกัดของเส้นตรงที่ 0 องศา ทุกวิธีมีค่าความผิดพลาดเป็น 0 และที่ 90 องศา ทุกวิธีมีความผิดพลาดน้อยมากเข้าใกล้ 0 แต่ที่ 30 45 และ 60 องศา ทุกวิธีมีค่าความผิดพลาดที่มากขึ้น อย่างไรก็ตาม วิธี Laplacian นั้นมีค่าความผิดพลาดน้อยที่สุด



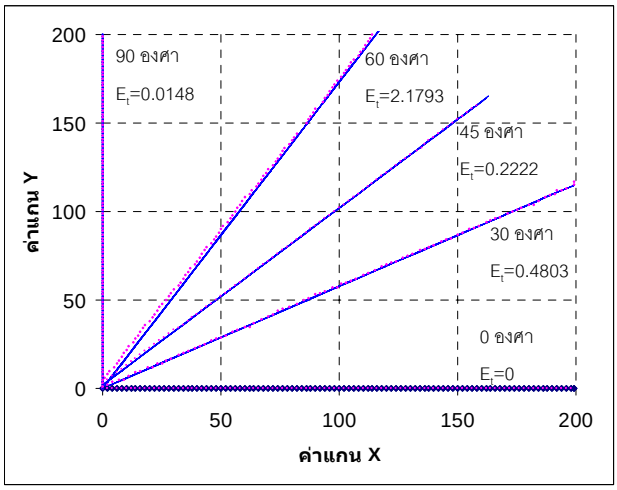
กราฟที่ 1 เปรียบเทียบสมการเส้นตรงกับพิกัดจากโปรแกรมโดยวิธีของ Sobel



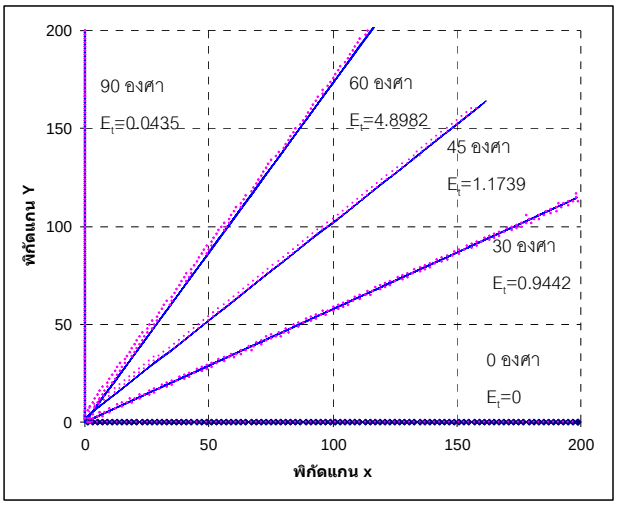
กราฟที่ 2 เปรียบเทียบสมการเส้นตรงกับพิกัดจากโปรแกรมโดยวิธีของ Robert-cross



กราฟที่ 3 เปรียบเทียบสมการเส้นตรงกับพิกัดจากโปรแกรมโดยวิธีของ Perwitt



กราฟที่ 4 เปรียบเทียบสมการเส้นตรงกับพิกัดจากโปรแกรมโดยวิธีของ Laplacian



กราฟที่ 5 เปรียบเทียบสมการเส้นตรงกับพิกัดจากโปรแกรมโดยวิธีของ Frei-chen

จากกราฟสามารถสรุปค่าความผิดพลาดเฉลี่ยทั้งหมดไว้ในตารางที่ 1 เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบดังนี้

ตารางที่ 1 ค่าความผิดพลาดเฉลี่ยที่องศาต่างๆของแต่ละวิธี

	Sobel	Robert-cross	Perwitt	Laplacian	Frei-chen
0 องศา	0	0	0	0	0
30 องศา	0.9442	0.5756	0.9442	0.4803	0.9442
45 องศา	0.9874	0.1899	1.1739	0.2222	1.1739
60 องศา	4.8982	2.1948	4.8982	2.1793	4.8982
90 องศา	0.0435	0.0074	0.0435	0.0148	0.0435

3.2.2 เปรียบเทียบความเร็วในการเจาะ

ความเร็วในการทำงานของเครื่องเจาะวัดโดยเขียนฟังก์ชั่นจับเวลาในโปรแกรม ซึ่งจะเริ่มจับเวลาเมื่อมีการส่งข้อมูลสั่งงานเครื่องเจาะจนกระทั่งเครื่องเจาะทำงานเสร็จ เมื่อเครื่องเจาะทำงานเสร็จจะส่งข้อมูลกับมายังโปรแกรมเพื่อบอกสถานะการทำงานว่าได้ทำงานเสร็จไปแล้ว ส่วนผลการทดลองถูกบันทึกลงในตารางที่ 2-6 โดยตารางที่ 2 จะเป็นความเร็วในการเจาะรูปเส้นตรงที่ 0 องศาของแต่ละวิธี และตารางที่ 3 4 5 และ 6 จะเป็นความเร็วในการเจาะของแต่ละวิธี ที่ใช้เจาะรูปเส้นตรงที่ 30 45 60 และ 90 องศา ตามลำดับซึ่งพบว่าวิธี Laplacian นั้นใช้เวลาในการเจาะน้อยที่สุด ซึ่งเป็นผลมาจากวิธี Laplacain นั้นให้เส้นขอบของภาพที่บาง ทำให้จุดที่เกิดในแถวเดียวกันมีน้อยกว่าวิธีอื่น เป็นผลให้ชุดรางหัวเจาะไม่ต้องเคลื่อนที่มากในแต่ละแถว จึงทำให้ใช้เวลาในการเจาะน้อยกว่าวิธีอื่น

ตารางที่ 2 ความเร็วในการเจาะเส้นตรงที่ 0 องศา

	Sobel	Roberts-cross	Prewitt	laplacian	Frei-cain
เวลา (วินาที)	53	52	53	52	53

ตารางที่ 3 ความเร็วในการเจาะเส้นตรงที่ 30 องศา

	Sobel	Roberts-cross	Prewitt	laplacian	Frei-cain
เวลา (วินาที)	360	226	360	177	360

ตารางที่ 4 ความเร็วในการเจาะเส้นตรงที่ 45 องศา

	Sobel	Roberts-cross	Prewitt	laplacian	Frei-cain
เวลา (วินาที)	354	198	354	172	354

ตารางที่ 5 ความเร็วในการเจาะเส้นตรงที่ 60 องศา

	Sobel	Roberts-cross	Prewitt	laplacian	Frei-cain
เวลา (วินาที)	446	227	446	227	446

ตารางที่ 6 ความเร็วในการเจาะเส้นตรงที่ 90 องศา

	Sobel	Roberts-cross	Prewitt	laplacian	Frei-cain
เวลา (วินาที)	274	269	274	268	274

4.สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองพบว่า กรณีที่เป็นเส้นตรงในแนว 0 องศาและ 90 องศา ตามตารางที่ 1 ทุกวิธีสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีมีความผิดพลาดน้อย แต่ในกรณีที่เป็นเส้นเฉียงที่ 30 45 และ 60 องศาต่างพบว่าวิธีของ sobel,Perwitt และ Frei-chen มีค่าความผิดพลาดค่อนข้างมากกว่าวิธีของ Roberts-cross กับ Laplacian อย่างเห็นได้ชัด และวิธีของ Roberts-cross กับ Laplacian นี้ยังทำให้เวลาที่ใช้ในการทำงานของเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกน้อยกว่าสามวิธีแรกอีกด้วยดังตารางที่ 2 ถึง 5 ดังนั้น วิธีของ Roberts-cross และ Laplacian จึงเหมาะสำหรับที่จะนำมาใช้กับโปรแกรมเครื่องเจาะแผ่นพลาสติก อย่างไรก็ตาม วิธี Laplacian นั้นมี Mask Coefficient ที่เป็นเมตริกเพียงเมตริกเดียว จึงง่ายต่อการใช้งานมากกว่าวิธีของ Roberts-cross เพราะฉนั้นวิธี Laplacian จึงถูกนำมาใช้งานกับโปรแกรมสั่งงานเครื่องเจาะแผ่นพลาสติกนี้

เอกสารอ้างอิง

1.ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล, 2537. “คู่มือการเขียนโปรแกรมวินโดว์ขั้นสูงด้วย Visual C++”, ไทยเจริญการพิมพ์.

2. Siti Norul Huda Sheikh Abdullah, Marzuki Khalid, Rubiyah Yusof, “Comparison of feature extractors in license plate recognition”, Proceedings of the First Asia International Conference on Modeling & Simulation, IEEE, pp.502–506. 2007.

3. Craig L. Murch and Stephan K. Chalup, “Combining Edge Detection and Colour Segmentation in the Four-Legged League”

4.ปราโมทย์ เดชอำไพ, 2544. “ระเบียบวิธีเชิงตัวเลขในงานวิศวกรรม”, สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.
5. VENKATA R. CHAGANTI, 2005. “Edge Detection of Noisy Images Using 2-D Discrete Wavelet Transform”, Thesis of master degree. The Florida State University.
6. Muts Gokstorp, Per-Erik Danielsson,“Velocity Tuned Generalized Sobel Operators For Multiresolution Computation of Optical Flow”, IEEE International Conference, vol.2, pp.765 – 769.1994.
7. Rae-Hong Park, “1D frequency domain analysis of Frei-Chen edge masks” IEEE Volume 34, 19 March 1998, pp.535 – 537