

# ระบบตรวจสอบอัตโนมัติสำหรับผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง

## The Automatic Visual Inspection System for Optical Connector Endfaces

รจนา มาเจริญ และ กสิน ประกอบไวทยกิจ \*

ห้องวิจัยการออกแบบวงจรอิเล็กทรอนิกส์ด้วยระบบคอมพิวเตอร์(CANDLE)

ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ถนนห้วยแก้ว ต.สุเทพ อ.เมือง จ.เชียงใหม่ 50200

โทร. (053) 944140 โทรสาร (053) 221485 Email : kasin@doe1.eng.cmu.ac.th

### บทคัดย่อ

ในโครงการนี้มีจุดประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์ในการวิเคราะห์หารอยแตก และรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบริเวณผิวหน้าของหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงและเซอโคเนียเฟรูล์โดยอัตโนมัติ อาศัยหลักการของการหาขอบภาพแบบลาปลาเซียน(Laplacian) และพิจารณาความต่อเนื่องของขอบในการหาขนาดและตำแหน่งของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นเพื่อนำไปเป็นเงื่อนไขในการตัดสินใจตามมาตรฐานที่กำหนด ผลจากการทำโครงการนี้โปรแกรมสามารถตรวจสอบภาพผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งประกอบด้วยตัวอย่างที่ผ่านมาตรฐานที่กำหนดและตัวอย่างที่ไม่ผ่านมาตรฐาน โดยโปรแกรมสามารถตรวจสอบและตัดสินใจได้ถูกต้องร้อยละ 73

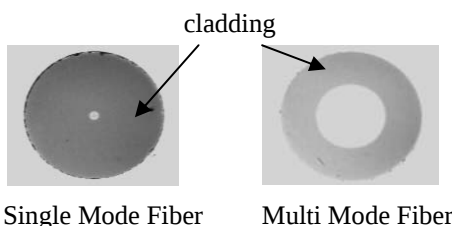
**คำสำคัญ** รอยแตก, รอยขีดข่วน, เส้นใยแก้วนำแสง, การหาขอบภาพ

### 1. บทนำ

ในขั้นตอนการผลิตหัวต่อ(Connector) ของเส้นใยแก้วนำแสงเป็นกระบวนการที่ต้องใช้ความละเอียดในการผลิตเป็นอย่างมาก เพราะเป็นกระบวนการทำงานที่เกี่ยวข้องกับบริเวณผิวหน้าของเส้นใยแก้วนำแสงซึ่งมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 125  $\mu\text{m}$  อันประกอบด้วย 2 ส่วนสำคัญคือปลอกหุ้ม(Cladding) และแกนกลาง(Core) โดยแกนกลางยังแบ่งเป็น 2 ประเภทตามคุณสมบัติของเส้นใยแก้วนำแสง ดังนี้

1. Single Mode Fiber Optic มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 8-10  $\mu\text{m}$

2. Multi Mode Fiber Optic มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 50 หรือ 62.5  $\mu\text{m}$



รูปที่ 1 ผิวหน้าของเส้นใยแก้วนำแสง

โดยการผลิตหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง ขั้นแรกจะต้องปอกเอาส่วนที่เป็นปลอกหุ้มออกให้เหลือแต่แท่งแก้วภายในซึ่งเป็นส่วนที่เรียกว่าแกนกลาง จากนั้นจึงทำการใส่เส้นใยแก้วเข้าไปในแกนของหัวต่อที่เรียกว่า เซอโคเนียเฟรูล์(Zirconia Ferrule) โดยมีแท่งแก้วส่วนหนึ่งยื่นออกมาจากเซอโคเนียเฟรูล์ จึงต้องมีการตัดแท่งแก้วที่ยื่นออกมาให้มีขนาดเท่ากับขนาดของหัวต่อ โดยขั้นตอนนี้อาจทำให้เกิดรอยแตก(Chip out) ของแท่งแก้วได้ หลังจากนั้นจะเป็นขั้นตอนการขัดผิวหน้าของแกนกลางและเซอโคเนียเฟรูล์ให้เรียบเสมอกันโดยขั้นตอนนี้อาจทำให้เกิดรอยขีดข่วน(Scratch) ขึ้นได้เช่นกัน เนื่องจากการทำงานของเส้นใยแก้วนำแสงจะอาศัยหลักการหักเหของแสงที่เดินทางอยู่ภายในส่วนที่เรียกว่าแกนกลาง ดังนั้นรอยแตกและรอยขีดข่วนที่เกิดขึ้นบนผิวหน้าของเส้นใยแก้วนำแสงและเซอโคเนียเฟรูล์จะทำให้การเดินทางของแสงที่บริเวณหัวต่อเชื่อมระหว่างเส้นใยแก้วนำแสง 2 เส้นนี้มีปัญหาเกิดขึ้น หรืออาจทำให้แสงไม่สามารถเดินทางผ่านไปยังเส้นใยแก้วนำแสงอีกเส้นได้ จึงต้องมีการตรวจสอบหารอยแตกและรอยขีด

ชวนของหัวต่อก่อนจะนำชิ้นงานส่งมอบแก่ลูกค้า โดยในการตรวจสอบดังกล่าวต้องใช้เวลาและแรงงานคนในการตรวจสอบเป็นจำนวนมาก นอกจากนี้การตรวจสอบยังอาจเกิดความผิดพลาดในการตัดสินใจเนื่องจากการใช้คนเป็นผู้ตัดสินใจ (Human Error) อีกด้วย

ดังนั้นในโครงการนี้จึงได้ทำการพัฒนาโปรแกรมตรวจสอบผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงขึ้นมาและสามารถตัดสินใจได้โดยอัตโนมัติ โดยโปรแกรมที่สร้างขึ้นจะอาศัยหลักการของการตรวจหาขอบภาพ (edge detection) มาทำการวิเคราะห์หารอยแตกและรอยขีดข่วนบนผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง

## 2. การหาขอบภาพ

การหาขอบภาพ เป็นการหาขอบเขตของวัตถุภายในภาพหรือเป็นการดึงลักษณะโครงร่างที่เด่นของวัตถุออกมา ซึ่งมีการหาอยู่หลายวิธี ในโครงการนี้ได้ทำการศึกษาการหาขอบภาพโดยใช้ฮอน์พันธ์อันดับที่หนึ่งและการหาขอบภาพโดยใช้ฮอน์พันธ์อันดับที่สอง

### 2.1 การหาขอบภาพโดยใช้ฮอน์พันธ์อันดับที่หนึ่ง

การหาขอบภาพโดยใช้ฮอน์พันธ์อันดับที่หนึ่งเป็นการแปลงเกรเดียนต์แบบไม่ต่อเนื่องบนข้อมูลภาพเชิงตัวเลข เนื่องจากการหาขอบภาพเป็นการประมวลผลแบบไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นจึงต้องใช้ออน์พันธ์ย่อยแบบไม่ต่อเนื่องตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน  $x$  และแกน  $y$  ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$\begin{aligned}\nabla_x g(x, y) &= g(x, y) - g(x-1, y) \\ \nabla_y g(x, y) &= g(x, y) - g(x, y-1)\end{aligned}\quad (1)$$

ส่วนขนาดโดยประมาณของเกรเดียนต์  $g(x, y)$  สามารถกำหนดได้ดังนี้

$$|\nabla g(x, y)| = \sqrt{(\nabla_x g(x, y))^2 + (\nabla_y g(x, y))^2} \quad (2)$$

เพื่อให้ง่ายต่อการคำนวณในบางครั้งเราจะให้ขนาดของเกรเดียนต์มีค่าประมาณขนาดของเกรเดียนต์ตามทิศทางที่ตั้งฉากกับแกน  $x$  และแกน  $y$  รวมกัน คือ

$$|\nabla g(x, y)| = |\nabla_x g(x, y)| + |\nabla_y g(x, y)| \quad (3)$$

การหาขอบภาพโดยใช้เกรเดียนต์ในทางปฏิบัติจะมีลักษณะที่แตกต่างกันไปเช่น วิธีของ Roberts สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$|\nabla g(x, y)| = \text{Max} \left( \begin{aligned} &|g(x, y) - g(x+1, y+1)|, \\ &|g(x+1, y) - g(x, y+1)| \end{aligned} \right) \quad (4)$$

วิธีของ Prewitt

$$|\nabla g(x, y)| = \left( \begin{aligned} &\left| \sum_y^{y+2} g(x, y) - \sum_y^{y+2} g(x+2, y) \right| + \\ &\left| \sum_x^{x+2} g(x, y) - \sum_x^{x+2} g(x, y+2) \right| \end{aligned} \right) \quad (5)$$

วิธีของ Sobel จะมีการใช้ ค่าถ่วงน้ำหนัก ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$|\nabla g(x, y)| = \left( \begin{aligned} &\left| \begin{aligned} &g(x, y) + 2g(x, y+1) + g(x, y+2) - \\ &(g(x+2, y) + 2g(x+2, y+1) + g(x+2, y+2)) \end{aligned} \right| + \\ &\left| \begin{aligned} &g(x, y) + 2g(x+1, y) + g(x+2, y) - \\ &(g(x, y+2) + 2g(x+1, y+2) + g(x+2, y+2)) \end{aligned} \right| \end{aligned} \right) \quad (6)$$

จากสมการข้างต้น (4-6) สามารถนำมาเขียนใหม่ในรูปของวินโดว์ได้ดังนี้

Roberts

$$W_1 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Prewitt

$$W_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Sobel

$$W_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -1 \\ 2 & 0 & -2 \\ 1 & 0 & -1 \end{bmatrix} \quad W_2 = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

การนำวินโดว์  $W$  ของแต่ละวิธีมาหาขอบภาพ จะต้องนำวินโดว์ทุกตัวของวิธีนั้นๆ มาทำการคอนโวลูชัน (Convolution) หรือการประสานกับข้อมูลภาพ ซึ่งสามารถแสดงในรูปของสมการได้ดังนี้

$$h_k(x, y) = \sum_i \sum_j w_k(i, j) g(x+i-1, y+j-1) \quad (7)$$

โดย  $h_k(x, y)$  คือจุดภาพ ณ ตำแหน่ง  $x, y$  ที่ผ่าน การคอนโวลูชันแล้วด้วยวินโดว์ที่  $k$

$w_k(i, j)$  คือสมาชิกตัวที่  $i, j$  ของวินโดว์ตัวที่  $k$

เมื่อดำเนินการคอนโวลูชันระหว่างข้อมูลภาพกับวินโดว์ของวิธีที่จะนำมาหาขอบภาพครบทุกวินโดว์แล้วก็นำ  $h_k(x, y)$  สำหรับ  $k$  ทุกตัวมาทำการเปรียบเทียบกัน

ณ.พิกัด  $x, y$  เดียวกันเพื่อเลือกค่าที่สูงที่สุด และนำค่าที่ได้มาเทียบกับกับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน(Threshold) คือ ถ้า น้อยกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจุดภาพนั้นก็ไม่ใช้ขอบภาพ

## 2.2 การหาขอบภาพโดยใช้อนุพันธ์อันดับที่สอง

การหาขอบภาพโดยวิธีนี้จะไม่มีมีการพิจารณาทิศทางของขอบภาพ แต่จะสนใจเฉพาะขนาดของความ เป็นขอบภาพ (เกรเดียนต์) เท่านั้น ดังนั้นวิธีที่ใช้หา ขอบภาพโดยวิธีนี้จะมีเพียงวินโดว์เดียว โดยตัวอย่าง ของวิธีนี้ ได้แก่

### - ตัวดำเนินการลาปลาเซียน (Laplacian)

เกรเดียนต์ของ  $\nabla^2 g(x, y)$  ได้จากการประมาณ อนุพันธ์เชิงเส้นของฟังก์ชันต่อเนื่อง

$$\nabla^2 g(x, y) = 4g(x, y) - (g(x+1, y) + g(x-1, y) + g(x, y+1) + g(x, y-1)) \quad (8)$$

ในรูปที่ 2 แสดงวินโดว์ของลาปลาเซียน ในรูปแบบ ต่างๆ ทั้งที่ใช้จุดภาพในบริเวณใกล้เคียง 4 จุดดังรูปที่ 2 (ก) และ 8 จุดดังรูปที่ 2 (ข) กับ 2 (ค) ซึ่งมีผลต่อ ขอบภาพต่างกัน

$$\begin{array}{ccc} \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 4 & -1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 8 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix} & \begin{bmatrix} 1 & -2 & 1 \\ -2 & 4 & -2 \\ 1 & -2 & 1 \end{bmatrix} \\ \text{(ก)} & \text{(ข)} & \text{(ค)} \end{array}$$

รูปที่ 2 ตัวดำเนินการหาขอบภาพของลาปลาเซียน

การหาขอบภาพจะเลือกวินโดว์ตัวใดตัวหนึ่งจากรูปที่ 2 แล้วนำไปคอนโวลูชันกับข้อมูลภาพ

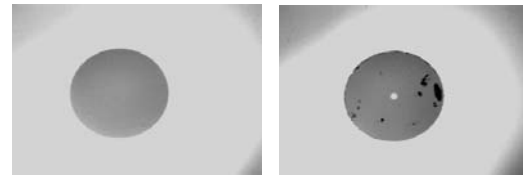
## 3. ขั้นตอนการทดลอง

แบ่งเป็นขั้นตอนการดำเนินงานต่างๆ ดังต่อไปนี้

### 3.1 การเก็บข้อมูล

นำภาพขยายของผิวหน้าของหัวต่อเส้นใยแก้วนำ แสงที่ได้จากกล้องจุลทรรศน์ซึ่งมีลักษณะรูปแบบของ รอยแตกและรอยขีดข่วนในแบบต่างๆ กัน มาเก็บไว้เป็น ข้อมูลคอมพิวเตอร์ โดยภาพที่ใช้ในการศึกษานี้ แบ่ง ออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ภาพที่ไม่มีรอยตำหนิ หรือมีรอยตำหนิเพียงเล็กน้อยโดยยังผ่านมาตรฐานที่ทางบริษัทได้กำหนดไว้
2. ภาพที่มีรอยตำหนิ โดยไม่ผ่านมาตรฐานที่กำหนด



(ก)

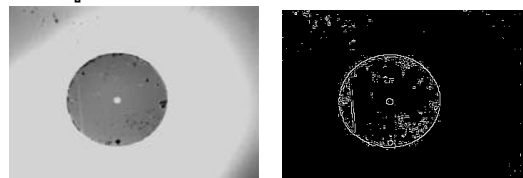
(ข)

รูปที่ 3 ผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง

(ก) ภาพที่ผ่านมาตรฐาน (ข) ภาพที่ไม่ผ่านมาตรฐาน

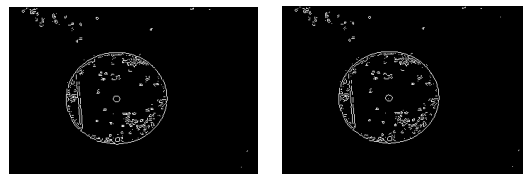
## 3.2 การศึกษาวิธีการหาขอบภาพ

ทำการทดลองหาขอบภาพด้วยวิธีต่างๆ ที่ได้อธิบาย มาในหัวข้อที่ 2 และทำการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่คิดว่า เหมาะสมสำหรับแต่ละวิธีแล้ว โดยผลการทดลองที่ได้ แสดงดังรูปที่ 4



ภาพที่เกิดรอยแตกและรอยขีดข่วน

Roberts



Prewitt

Sobel



Laplacian

Canny

รูปที่ 4 ภาพที่ผ่านการหาขอบโดยวิธีต่างๆ

จะเห็นว่า ขอบภาพที่ได้จากวิธีของ Roberts จะมี ส่วนของขอบที่เราไม่ต้องการอยู่มากโดยส่วนของขอบที่ไม่ต้องการนี้จัดเป็นสัญญาณรบกวนของภาพ และขอบ ที่ได้จากวิธีของ Prewitt และ Sobel สัญญาณรบกวนจะ น้อยกว่าวิธีของ Roberts แต่ความต่อเนื่องของขอบที่เป็นเส้นยังไม่ดีนัก จะเห็นว่าขอบที่ได้จากวิธีของลาปลา เซียนจะให้ความต่อเนื่องของขอบที่เป็นเส้นได้ดีกว่า ส่วนวิธีของ Canny จะตอบสนองต่อสัญญาณรบกวนได้ดี ดังนั้นในโครงการจึงได้เลือกใช้วิธีหาขอบของลาปลา เซียนมาทำการพิจารณา

### 3.3 การกำจัดสัญญาณรบกวน

การกำจัดสัญญาณรบกวนด้วยตัวกรองสัญญาณเชิงเส้น สัญญาณรบกวนโดยทั่วไปจะมีความถี่สูงกว่าสัญญาณภาพปกติ สัญญาณรบกวนประเภทนี้สามารถกำจัดออกได้โดยการใช้ตัวกรองสัญญาณที่ยอมให้ความถี่ต่ำผ่านไปได้ ซึ่งสามารถกำหนดได้ดังนี้

$$W = \left( \frac{1}{b+2} \right)^2 \begin{bmatrix} 1 & b & 1 \\ b & b^2 & b \\ 1 & b & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

โดยที่  $b$  เป็นจำนวนจริงที่มากกว่าศูนย์ วินโดว์ในสมการที่ (9) เป็นวินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  ซึ่งในกรณีที่  $b = 1$  เมื่อตัวกรองสัญญาณไปคอนโวลูชันกับภาพก็จะเหมือนกับการทำการเฉลี่ยข้อมูลภาพภายในวินโดว์ขนาด  $3 \times 3$  (ดูรูปที่ 5 (ก)) และในกรณีที่  $b = 2$  ตัวกรองสัญญาณนี้จะถูกเรียกว่าตัวกรองสัญญาณเกาส์เซียน (Gaussian) (รูปที่ 5 (ข))

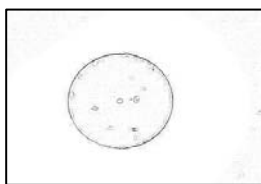
$$W_{average} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix} \quad W_{gaussian} = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 2 & 4 & 2 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

(ก)

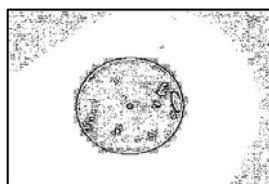
(ข)

รูปที่ 5 ตัวกรองสัญญาณเชิงเส้น (ก) ตัวกรองที่ใช้เฉลี่ยสัญญาณ (ข) ตัวกรองเกาส์เซียน

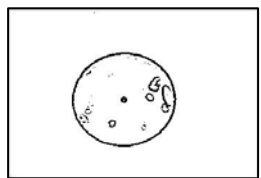
โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทำการกำจัดสัญญาณรบกวน แสดงในรูปที่ 6



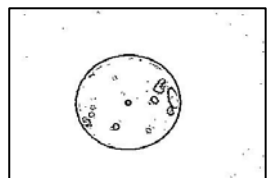
(ก)



(ข)



(ค)



(ง)

รูปที่ 6 ผลลัพธ์ของการกำจัดสัญญาณรบกวน  
(ก) ภาพที่ผ่านการคอนโวลูชันโดยวินโดว์ลาปลาเซียน

(ข) ภาพที่ทำการปรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยน

(ค) ภาพที่ผ่านตัวกรองที่ใช้เฉลี่ยสัญญาณ

(ง) ภาพที่ผ่านตัวกรองเกาส์เซียน

ผลลัพธ์ที่ได้จากการผ่านตัวกรองที่ใช้เฉลี่ยสัญญาณ (รูปที่ 6 (ค)) และตัวกรองเกาส์เซียน (รูปที่ 6 (ง)) สามารถกำจัดสัญญาณรบกวนได้ดีมาก แต่รายละเอียดบางส่วนได้หายไป ส่วนวิธีที่สองกำจัดสัญญาณรบกวนได้ในระดับหนึ่ง แต่ให้รายละเอียดมากกว่าวิธีแรก ซึ่งยังคงมีสัญญาณรบกวนบางส่วนอยู่

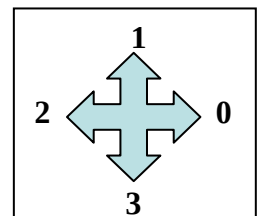
### 3.4 การวิเคราะห์

เมื่อทำการหาขอบภาพแล้ว เราจะนำภาพที่มีลักษณะเป็นขอบมาวิเคราะห์หาค่าพิกัดและตำแหน่งของความเป็นขอบโดยขั้นตอนการหาขนาดนี้จะใช้วินโดว์ขนาด  $2 \times 2$  วิ่งไปยังจุดที่เกิดขอบ หลังจากนั้นจะกำหนดทิศทางการเคลื่อนไปยังจุดที่เกิดขอบจุดต่อไป ซึ่งแสดงดังรูปที่ 7 และจะทำการวิ่งไปยังจุดที่มีขอบต่อเนื่องกันไปเรื่อยๆ จนกระทั่งครบรอบ โดยในการพิจารณาจุดที่เกิดขอบแต่ละครั้งนั้น จะทำการเก็บตำแหน่งของจุดที่พิจารณาแล้วมาด้วย แล้วทำการหาระยะห่างของจุดศูนย์กลางที่เกิดรอยดำหนึ่กับจุดทุกจุดที่เป็นขอบของรอยดำหนึ่ โดยใช้สมการการดังนี้

$$length = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \quad (10)$$

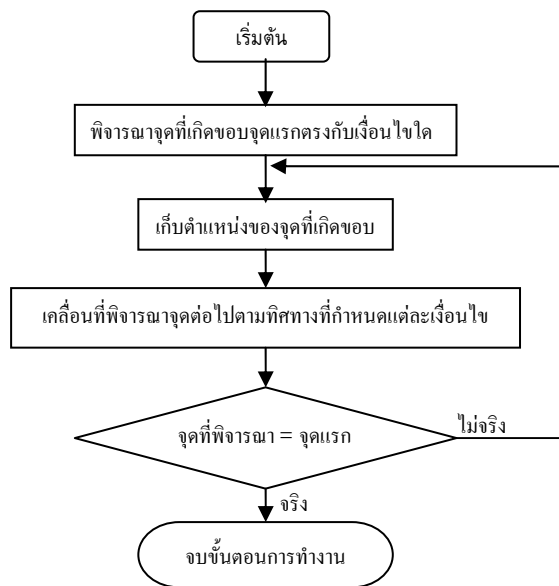
ในการพิจารณาหาตำแหน่งของจุดที่เกิดขอบนั้นจะทำการพิจารณาตามความต่อเนื่องของขอบที่เกิดขึ้น ซึ่งจะใช้วินโดว์  $2 \times 2$  มีเงื่อนไขในการเกิดขอบต่างๆ

|  |   |  |   |
|--|---|--|---|
|  | - |  | 1 |
|  | 1 |  | 6 |
|  | 2 |  | 4 |
|  | 3 |  | 3 |
|  | 0 |  | 0 |
|  | 2 |  | 1 |
|  | 3 |  | 2 |
|  | 0 |  | - |



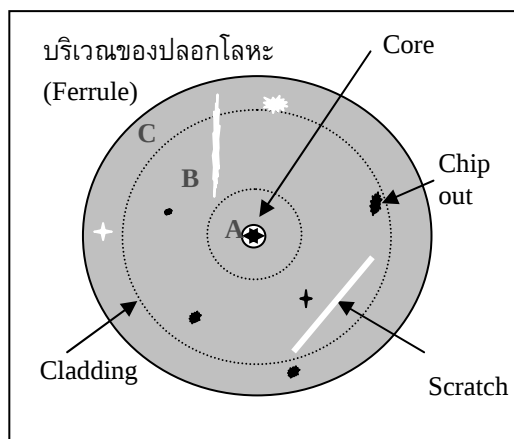
รูปที่ 7 ลักษณะการหาความต่อเนื่องของจุดที่เกิดขอบและทิศทางการเคลื่อนที่

โดยตัวเลขที่แสดงหมายถึงทิศทางในการเคลื่อนที่ เพื่อพิจารณาจุดที่เกิดขอบจุดถัดไป แสดงผังงานการพิจารณาหาตำแหน่งของจุดที่เกิดขอบดังรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผังงานแสดงการพิจารณาหาตำแหน่งของจุดที่เกิดขอบ

เมื่อได้ข้อมูลขนาดและตำแหน่งของรอยตำหนิแต่ละอันแล้ว จากนั้นจะนำไปวิเคราะห์ตามเงื่อนไขซึ่งแบ่งเป็นขอบเขตต่างๆ ต่อไปนี้



รูปที่ 9 การแบ่งส่วนในการพิจารณาบริเวณผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสง

- บริเวณขอบเขต A จะต้องมียรอยแตกและรอยขีดข่วนน้อยที่สุดเนื่องจากเป็นส่วนที่แสงเดินทางและมีความสำคัญมากกว่าส่วนอื่นๆ โดยหากมียรอยขีดข่วนสีขาวยาวน้อยกว่า  $2\ \mu\text{m}$  สามารถมีก็ได้ และรอยแตกที่เป็นจุดดำจุดขาวที่มีขนาดน้อยกว่า  $3\ \mu\text{m}$  มีได้ไม่

เกิน 3 จุด แต่ห้ามมียรอยขีดข่วนสีดำอยู่ นอกจากนี้ในส่วนที่เป็น Core ตรงกลางจะต้องไม่มีรอยแตกเกิดขึ้น

- ส่วนบริเวณ B สามารถมียรอยขีดข่วนสีขาวที่มีขนาดน้อยกว่า  $3\ \mu\text{m}$  ก็เส้นก็ได้ แต่ห้ามมีสีดำ และรอยแตกที่เป็นจุดดำจุดขาวที่มีขนาดน้อยกว่า  $5\ \mu\text{m}$  ก็จุดก็ได้ ส่วนรอยแตกที่มีขนาด  $5-10\ \mu\text{m}$  มีได้ไม่เกิน 3 จุด

- และบริเวณ C จะสามารถมียรอยขีดข่วนก็เส้นก็ได้ และรอยแตกก็จุดก็ได้

#### 4. ผลการทดลองหาขนาดของรอยตำหนิและการตัดสินใจ

ในการพิจารณาหาขนาดและตำแหน่งที่เกิดรอยแตกและรอยขีดข่วนจะกำหนดให้ค่าความเข้มของจุดที่เป็นขอบมีค่าเป็น 1 และจุดที่ไม่เป็นขอบมีค่าความเข้มเป็น 0 โดยจะทำการหาจุดที่เกิดขอบและพิจารณาจุดที่มีขอบต่อเนื่องกันไปอีกเรื่อยๆ จนกระทั่งวนมาถึงจุดเดิม และทำการเก็บตำแหน่งของจุดที่ทำการพิจารณาทั้งหมดมาด้วย เพื่อจะนำมาวิเคราะห์หาขนาดและตำแหน่งที่เกิดรอยตำหนิต่างๆ ได้ และขั้นตอนการตัดสินใจจะนำผลที่ได้จากเงื่อนไขในขอบเขตแต่ละขอบเขตมาเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาโดยจะตรวจสอบกับมาตรฐานที่กำหนดซึ่งจะแบ่งรอยแตกและรอยขีดข่วนเป็นขนาดต่างๆ มีหน่วยเป็น  $\mu\text{m}$  แสดงดังตารางที่ 1 และจะใช้ตัวดำเนินการ “AND” ในการพิจารณา ซึ่งเงื่อนไขในขอบเขตทั้งหมดจะต้องเป็นจริงเท่านั้น จึงจะตัดสินใจว่าชิ้นงานนั้นๆ เป็นชิ้นงานที่ดี

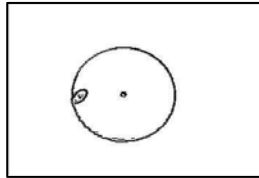
ตารางที่ 1 เงื่อนไขการตัดสินใจ

| ขอบเขต | จำนวนรอยแตก |   |   |    | จำนวนรอยขีดข่วน |   |   |    | การตัดสินใจ |
|--------|-------------|---|---|----|-----------------|---|---|----|-------------|
|        | 2           | 3 | 5 | 10 | 2               | 3 | 5 | 10 |             |
| A      | 3           |   | N | N  | A               | N | N | N  | ผ่าน        |
| B      | A           |   |   | 3  | A               | N | N |    | ผ่าน        |
| C      | A           |   |   |    | A               |   |   |    | ผ่าน        |

A (Allowed) หมายถึง มีจำนวนเท่าไรก็ได้

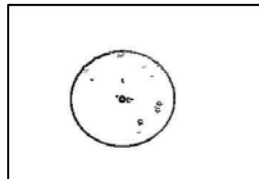
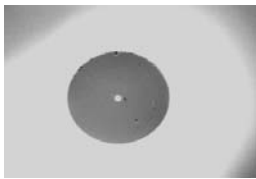
N (No) หมายถึง ห้ามมี

แสดงผลการทดลองการหาขนาดและการตัดสินใจของภาพผิวหน้าหัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงดังรูปที่ 10 และ 11



| ขอบเขต | จำนวนรอยแตก |   |   |    | จำนวนรอยขีดข่วน |   |   |    | การตัดสินใจ |
|--------|-------------|---|---|----|-----------------|---|---|----|-------------|
|        | 2           | 3 | 5 | 10 | 2               | 3 | 5 | 10 |             |
| A      |             |   |   |    |                 |   |   |    | ผ่าน        |
| B      | 2           |   |   |    |                 |   |   |    | ผ่าน        |
| C      | 6           | 0 | 4 | 1  |                 |   |   |    | ผ่าน        |

รูปที่ 10 การหาขนาดและการตัดสินใจของภาพผิวหนัง  
หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ผ่านมาตรฐาน  
หากมีเงื่อนไขในขอบเขตใดขอบเขตหนึ่งไม่ผ่านตาม  
มาตรฐานจะถือว่าชิ้นงานนั้นเป็นชิ้นงานที่เสียแสดงผล  
การทดลองดังรูปที่ 11



| ขอบเขต | จำนวนรอยแตก |   |    |    | จำนวนรอยขีดข่วน |   |   |    | การตัดสินใจ |
|--------|-------------|---|----|----|-----------------|---|---|----|-------------|
|        | 2           | 3 | 5  | 10 | 2               | 3 | 5 | 10 |             |
| A      | 2           |   | 3  |    |                 |   |   |    | ไม่ผ่าน     |
| B      | 10          |   | 13 | 2  |                 |   |   |    | ผ่าน        |
| C      | 10          |   |    | 4  |                 |   |   |    | ผ่าน        |

รูปที่ 11 การหาขนาดและการตัดสินใจของภาพผิวหนัง  
หัวต่อเส้นใยแก้วนำแสงที่ไม่ผ่านมาตรฐาน

จากการทดลองการตัดสินใจของภาพผิวหนังหัวต่อ  
เส้นใยแก้วนำแสง โดยทำการทดลองจำนวน 100 ภาพ  
ซึ่งเป็นภาพที่ผ่านมาตรฐานและภาพที่ไม่ผ่านมาตรฐาน  
รวมกัน ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สรุปผลการตัดสินใจ

| ภาพต้นฉบับ<br>(ภาพ) | โปรแกรมตรวจสอบ<br>ได้ถูกต้อง (ภาพ) |
|---------------------|------------------------------------|
| 100                 | 73                                 |

โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์ความถูกต้องของการตัดสินใจ  
เท่ากับ 73%

## 5. สรุปและข้อเสนอแนะ

ขั้นตอนการหาขนาดของขอบภาพที่จะใช้ใน  
โครงการนี้ จะอาศัยความต่อเนื่องของขอบที่เกิดขึ้นมา  
พิจารณา โดยขอบที่จะนำมาพิจารณาให้ได้ผลลัพธ์ที่  
ถูกต้องนั้นจะต้องมีความต่อเนื่องกันของขอบ ดังนั้น  
วิธีการหาขอบให้ได้ขอบของภาพออกมาให้มีลักษณะที่  
ดีนั้นจึงเป็นสิ่งที่สำคัญ เพราะจะทำให้การแยกแยะวัตถุ  
แต่ละชิ้นออกจากกันได้อย่างถูกต้อง และวิธีการหา  
ขนาดที่ใช้ก็ยังมีปัญหาอยู่ที่ลักษณะการเคลื่อนที่ใน  
ทิศทางที่ 4 ซึ่งหากรูปที่ใช้เป็นวงกลม จะต้องกำหนด  
เงื่อนไขเฉพาะขึ้นมาในแต่ละกรณี เพื่อให้การเคลื่อนที่  
ในการพิจารณาจุดต่อไปได้อย่างเหมาะสม

ในการตัดสินใจชิ้นงานจะอาศัยข้อมูลที่ได้จากการ  
หาขนาดและตำแหน่งที่เกิดรอยตำหนิ เพื่อนำไปเทียบกับ  
มาตรฐานที่กำหนด แล้วจึงทำการตัดสินใจออกมา

ปัญหาที่เกิดขึ้นในการตัดสินใจของโปรแกรมส่วน  
ใหญ่จะมาจากขอบภาพที่ได้ บางอันยังไม่มี  
ต่อเนื่องกัน เช่นกรณีของรอยตำหนิที่เป็นวงกลม หาก  
ขอบไม่มีความต่อเนื่อง โปรแกรมจะคิดว่าเป็นรอยตำหนิ  
เล็กๆ หลายอัน ซึ่งอาจจะมีผลต่อการตัดสินใจทำให้  
ตัดสินใจผิดพลาดได้ และในกรณีที่มิสัญญานรบกวน  
เหลืออยู่ โปรแกรมก็จะคิดว่าเป็นรอยตำหนิที่เกิดขึ้น  
ได้

หลังจากทำการทดลองและได้พบปัญหาที่เกิดขึ้น  
แล้ว จึงมีข้อเสนอแนะต่างๆ ดังต่อไปนี้

1. ควรจะหาวิธีการหาขอบภาพที่สามารถให้ความ  
ต่อเนื่องของขอบภาพของรอยตำหนิที่เกิดขึ้นในแบบ  
ต่างๆ เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการตัดสินใจให้มีความ  
ถูกต้องมากยิ่งขึ้น

2. หาวิธีการกำจัดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น ซึ่งเป็น  
ส่วนของขอบภาพที่ไม่ต้องการ โดยที่รายละเอียดของ  
ขอบรอยตำหนิต่างๆ ไม่หายไป

## 6. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับ  
ทุนอุดหนุนจาก สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย  
ฝ่ายอุตสาหกรรม โครงการโครงการอุตสาหกรรม

สำหรับปริญญาดรี ประจำปี 2546 และการสนับสนุน  
ทางด้านการงานและข้อมูลจากบริษัทแอลทีไอซี จำกัด  
นิคมอุตสาหกรรมภาคเหนือ จ.ลำพูน

## 7. เอกสารอ้างอิง

- นิรุธ อำนวยศิลป์, “คู่มือการเขียนโปรแกรม Visual  
C++ Version 6.0,” ชัคเชส มีเดีย, 2542
- ยุทธนา ลีลาศวัฒนกุล, “คู่มือการเขียนโปรแกรมวินโดวส์  
ขั้นสูงด้วย Visual C++ ฉบับ .NET Episode  
One,” ครั้งที่ 1, ไทยเจริญการพิมพ์, 2546
- สัจจะ จรัสรุ่งรวี, “คู่มือการเขียนโปรแกรมและใช้งาน  
Visual Basic 6.0,” นนทบุรี : อินโฟเพรส, 2542
- สาริต อินทจักร์, “การหาขอบภาพโดยใช้แบบจำลองฟัซ  
ซีและนิวรอลเน็ตเวิร์ค,” วิศวกรรมศาสตร  
มหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า บัณฑิต  
วิทยาลัย สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณ  
ทหารลาดกระบัง, 2538
- Davide Pizzolato, “CImage,” [www.codeproject.  
com /bitmap/CXImage.asp](http://www.codeproject.com/bitmap/CXImage.asp), 2001
- Janakiraman, P.A., “Robotics and image  
processing : an introduction,” New Delhi :  
Tata McGraw-Hill Pub., 1995
- Rafael C. Gonzalez, Richard E. Woods, “Digital  
Image Processing,” Second Edition, Prentice –  
Hall, Inc., 1997
- Valluru B.Rao, Hayagriva V.Rao, “C++ Neural  
Networks and Fuzzy Logic,” MIS:Press, 1995