สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

ระบบควบคุมคุณภาพอัตโนมัติสำหรับการพิมพ์ขวดพลาสติกแบบนอกสายการผลิต

4.1 ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์

สำหรับการออกแบบและพัฒนาส่วนประกอบฮาร์ดแวร์นั้นจะยึดหลักที่จะนำเอาเครื่องคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคลที่มีอยู่ทั่วไปมาใช้ โดยเพิ่มอุปกรณ์ขยายต่างๆที่จำเป็น ส่วนประกอบทางฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมคุณภาพอัตโนมัติสำหรับการพิมพ์ขวดพลาสติกแบบนอกสายการผลิตของสามารถอธิบายตามรูปที่ 4.1 ได้ดังนี้

1. คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล ทำหน้าที่เก็บข้อมูลภาพอ้างอิงของขวดที่ถูกต้อง ประมวลผลภาพ และคำนวณค่าทางสถิติ สำหรับในระบบนี้ได้ใช้ PC รุ่น Pentium III 1.8 GHz RAM 256 MB

2. การ์ดสำหรับจับภาพวิดีโอ เป็นการ์ดที่ทำหน้าที่ในการแปลงสัญญาณภาพที่ส่งมาจากกล้องซึ่งเป็นสัญญาณแอนาลอกแล้วแปลงเป็นข้อมูลภาพดิจิตอลเก็บไว้ในหน่วยความจำของการ์ดซึ่งจะนำไปประมวลผลในขบวนการวิเคราะห์ภาพต่อไป สำหรับระบบนี้ได้ใช้การ์ดรุ่น FLY VIDEO 98'EZ ซึ่งเป็นการ์ด PCI สำหรับคุณสมบัติที่สำคัญของการ์ดนี้คือ เป็นการ์ดที่รับสัญญาณวิดีโอขาเข้าแบบ PAL-B และสามารถ แสดงภาพที่ความละเอียด 24 บิท ด้วยขนาดภาพ 720 x 576 พิกเซล

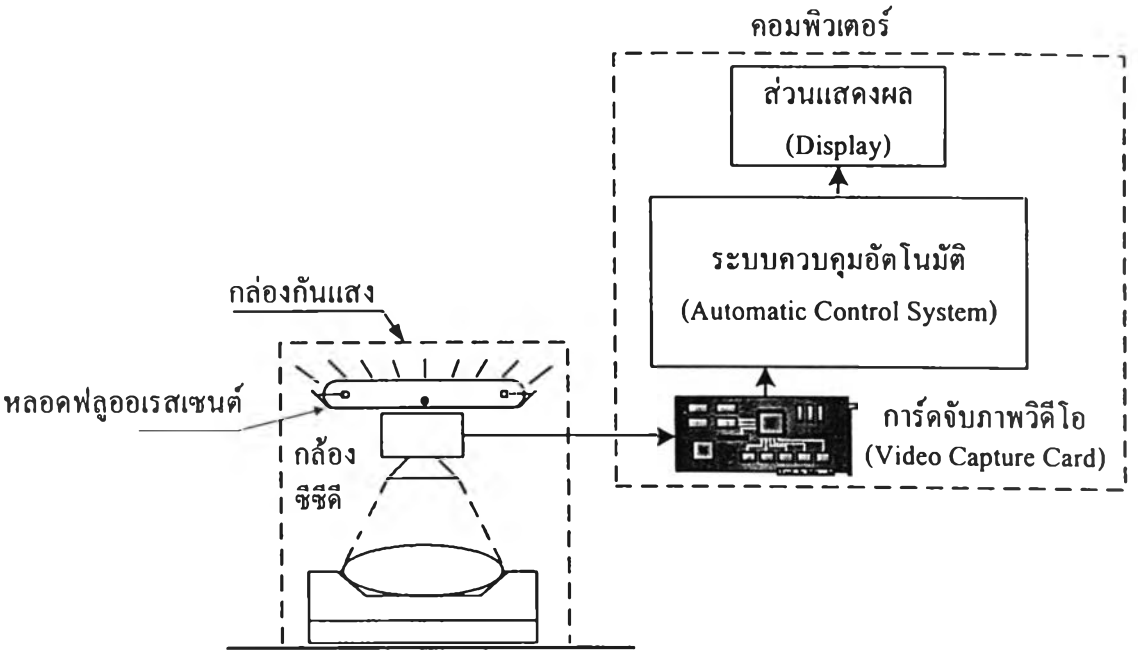
3. กล้องซีซีดี (CCD Camera) เป็นเซ็นเซอร์ในการรับภาพแล้วส่งเป็นสัญญาณวิดีโอมาตรฐานไปให้การ์ดสำหรับเก็บภาพ โดยกล้องที่ใช้นั้นมีความละเอียด 140 เส้น

4. โคมฟลูออเรสเซนต์ (Fluorescent Lamp) ใช้เป็นแหล่งกำเนิดแสง เพื่อควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ขณะที่ระบบทำงาน

5. กล่องกันแสง ใช้ควบคุมความเข้มแสงให้คงที่ เพื่อกันการเปลี่ยนแปลงของแสงขณะตรวจสอบอย่าง เช่น แสงจากธรรมชาติ

4.2 ส่วนประกอบทางซอฟต์แวร์

ส่วนของซอฟต์แวร์นับเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบ เพราะเป็นส่วนที่ควบคุมการทำงานของระบบตั้งแต่การควบคุมฮาร์ดแวร์ของระบบ, การติดต่อกับผู้ใช้งาน, ส่วนที่ทำการตรวจวิเคราะห์ผลิตภัณฑ์ และส่วนการวิเคราะห์ผลทางสถิติ สำหรับซอฟต์แวร์ที่จะทำการพัฒนาบนเครื่องคอมพิวเตอร์จะอยู่ภายใต้ระบบปฏิบัติการ MS-Windows และพัฒนาด้วยด้วยโปรแกรม Microsoft Visual C++ 6.0 โดยมีส่วนประกอบ 2 ใหญ่ๆดังนี้



รูปที่ 4.1 บล็อกไดอะแกรมแสดงอุปกรณ์ของระบบควบคุมคุณภาพการพิมพ์ขวดอัตโนมัติ

4.2.1 ส่วนตั้งระบบ (Setting Phase) [19]

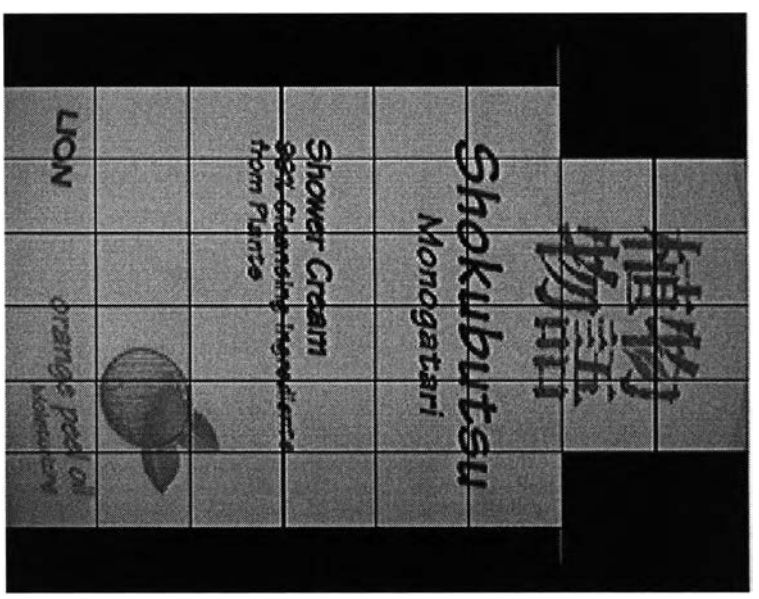
ซอฟต์แวร์ส่วนนี้จะทำหน้าที่ติดต่อกับผู้ใช้งานระบบในการตั้งค่าตัวแปรในการทำงานของฟังก์ชันการตรวจสอบต่างๆ เพื่อให้สามารถตรวจชิ้นงานที่ต้องการได้ โดยแบ่งเป็น 4 ส่วน ดังนี้

1. ส่วนเก็บภาพอ้างอิง จะทำการเก็บภาพอ้างอิงซึ่งคือภาพขวดที่พิมพ์ถูกต้องในตำแหน่งที่หมุนตามแนวแกนตั้งของขวด หรือเก็บภาพขวดที่พิมพ์ถูกหลายๆขวดที่พิมพ์ในเวลาต่างๆกัน โดยสามารถเก็บได้ 30 ภาพในแต่ละแม่พิมพ์

2. ส่วนกำหนดค่าความเข้มสี จะทำการเก็บค่าความเข้มสีที่เข้มที่สุด และจางที่สุดในรูปแบบของความเข้มสีแดง, สีเขียว และ สีน้ำเงิน ที่ใช้พิมพ์ในตำแหน่งต่างๆ บนขวด เพื่อนำไปตรวจสอบความผิดพลาดในด้านความเข้มของสีที่ใช้พิมพ์

3. ส่วนแบ่งภาพ และตัดส่วนภาพ เนื่องจากขนาดของภาพที่สามารถรับได้จากกล้องซีซีดีมีขนาดใหญ่เกินภาพลวดลายที่ใช้พิมพ์ ทำให้ได้ภาพในส่วนที่ไม่ต้องการตรวจสอบมาด้วย จึงมีการตัดภาพในส่วนที่ไม่ต้องการตรวจสอบออก โดยเบื้องต้นจะแบ่งภาพขนาด 720 x 576 พิกเซล ออกเป็นภาพขนาด 90 x 72 พิกเซล จำนวน 64 ภาพ ดังรูปที่ 4.2 แล้วผู้ควบคุมระบบสามารถตั้งค่าเพื่อตัดส่วนของภาพที่ไม่ต้องการตรวจสอบได้ ที่ละส่วนของภาพดังรูปที่ 4.3 โดยส่วนของภาพที่เป็นสีดำจะไม่ถูกนำเข้าสู่กระบวนการตรวจสอบ

รูปที่ 4.2 ภาพที่ถูกแบ่งส่วนเป็น 64 ส่วน แต่ละส่วนมีขนาด 90 x 72 พิกเซล



รูปที่ 4.3 ภาพที่ถูกตัดส่วนที่ไม่ต้องการตรวจสอบออก โดยส่วนที่ถูกตัดออกจะถูกลงสีเป็นสีดำ

รูปที่ 4.4 ตัวอย่างหน้ากากที่ผู้ควบคุมตั้งค่าเอาไว้เพื่อใช้ในกระบวนการเลื่อนตำแหน่ง

4. ส่วนกำหนดพื้นที่เพื่อใช้ในการปรับตำแหน่งภาพ คือ การกำหนดพื้นที่เพื่อใช้ในขั้นตอนวิธีปรับตำแหน่งภาพตามแนวแกนตั้งและแกนนอน โดยในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดตำแหน่งของหน้ากากขนาด 60 x 60 พิกเซล และค่าจุดเปลี่ยนเพื่อสร้างหน้ากากเป็นแบบภาพแบบ 2 ระดับ บนภาพขวด หน้ากากนี้จะนำไปใช้ในฟังก์ชันปรับตำแหน่งของภาพที่ต้องการตรวจสอบให้ทับกับภาพอ้างอิง ให้สนิทกันมากที่สุด ในส่วนการตรวจสอบต่อไป ตัวอย่างภาพของหน้ากากแสดงได้ดังรูปที่ 4.4

5. ส่วนอ่านภาพอ้างอิง จะทำการอ่านข้อมูลภาพอ้างอิงที่ส่วนเก็บภาพอ้างอิงเก็บมาไว้เพื่อหาค่าขอบเขตในการตัดสินใจว่าฉลากถูกหรือผิด ดังที่กล่าวในหัวข้อกระบวนการควบคุมด้วยสถิติ โดยในส่วนนี้จะทำงานด้วยส่วนการตรวจสอบแต่จะไม่มีการตัดสินใจว่าฉลากผิดหรือไม่

4.2.2 ส่วนการตรวจสอบ (Running Phase)

ซอฟต์แวร์ส่วนนี้จะทำหน้าที่ตรวจสอบชิ้นงานตามค่าที่กำหนดไว้ในขั้นตอนติดตั้ง แสดงผลการตรวจสอบ และแจ้งผู้ควบคุม โดยมีขั้นตอนในการทำงานดังนี้

1. การจับภาพ (Image Grabbing) ในส่วนนี้จะดึงเอาข้อมูลภาพดิจิตอลจากการ์ดจับภาพวิดีโอ มาทำการปรับแต่งให้มีความคมชัดด้วยฟังก์ชันของตัวการ์ดจับภาพวิดีโอก่อนส่งไปประมวลผล โดยข้อมูลภาพที่อยู่ในการ์ดจับภาพจะนำมาจากกล้องซีซีดี

2. การประมวลผลภาพ (Image Processing) ในส่วนนี้จะประกอบด้วยฟังก์ชันประมวลผลภาพดิจิตอลหลายๆ ฟังก์ชันตามลำดับที่ใช้งานในกระบวนการดังนี้

2.1 ฟังก์ชันเลือกภาพฉลากอ้างอิงที่เข้าคู่กับภาพฉลากที่ตรวจสอบมากที่สุด (Best Matched Reference Selection Function) [20]

เนื่องจากการหมุนของขวดทำให้ภาพฉลากที่ทำการตรวจสอบเพี้ยนไปจากภาพฉลากอ้างอิงที่เก็บไว้ ดังนั้นวิธีแก้ปัญหาในอัลกอลิทึมนี้คือ การเก็บภาพฉลากอ้างอิงไว้หลายๆภาพที่มุมต่างๆที่ขวดนั้นสามารถหมุนไปได้ สำหรับหน้าที่ของส่วนนี้ก็คือ ทำการหาภาพฉลากอ้างอิงจากชุดภาพอ้างอิงที่มีอยู่ตรงกันกับภาพภาพฉลากที่กำลังทำการตรวจสอบมากที่สุดโดยใช้การวัดค่าความคล้ายคลึง (Similarity Measurement) ระหว่างภาพฉลากที่ตรวจสอบกับภาพฉลากอ้างอิงแต่ละภาพ และเลือกภาพอ้างอิงที่มีค่าความคล้ายคลึงกับภาพฉลากที่ตรวจสอบมากที่สุด สำหรับวิทยานิพนธ์นี้ค่าที่ใช้เป็นตัวแทนในการวัดค่าความคล้ายคลึงระหว่างภาพสองภาพคือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient, γ) ดังสมการที่ 4.1

$$\gamma = \frac{\sum_x \sum_y \left[f_1(x,y) - \overline{f_1} \right] \left[f_2(x,y) - \overline{f_2} \right]}{\left\{ \sum_x \sum_y \left[f_1(x,y) - \overline{f_1} \right]^2 \sum_x \sum_y \left[f_2(x,y) - \overline{f_2} \right]^2 \right\}^{1/2}} \qquad (4.1)$$

โดยที่ γ คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation Coefficient)

$f_1(x,y)$ คือ ค่าความสว่าง (grey-scale) ของภาพที่ 1 ที่ตำแหน่งพิกเซล x, y

$f_2(x,y)$ คือ ค่าความสว่าง (grey-scale) ของภาพที่ 2 ที่ตำแหน่งพิกเซล x, y

$\overline{f_1}$, $\overline{f_2}$ คือ ค่าเฉลี่ยความสว่างของภาพที่ 1 และภาพที่ 2 ตามลำดับ

ค่าสหสัมพันธ์ที่คำนวณได้จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 ในกรณีที่ภาพทั้งสองตรงกันมากที่สุด ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าเท่ากับ 1 แต่ถ้าต่างกันมากที่สุดจะมีค่าเท่ากับ -1 ดังนั้นการหาภาพอ้างอิงที่ตรงกันมากที่สุดก็ทำได้โดยการคำนวณหาค่าสหสัมพันธ์ระหว่างภาพฉลากที่ตรวจสอบกับภาพอ้างอิงต่างๆ และภาพที่อ้างอิงที่ตรงกันมากที่สุดคือ ภาพอ้างอิงที่ให้ค่าสหสัมพันธ์สูงที่สุดนั่นเอง

2.2 ฟังก์ชันปรับตำแหน่ง (Positioning Function)

เนื่องจากการทำงานของฟังก์ชันตรวจสอบภาพ จำเป็นอย่างยิ่งที่ตำแหน่งทำงานของภาพที่ต้องการตรวจสอบและภาพอ้างอิงต้องวางลงที่ตำแหน่งที่ทับกันสนิทกันมากที่สุดจึงจะทำให้การตรวจสอบมีความถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งในกระบวนการผลิตจริงแล้วส่วนของกลไกที่ทำหน้าที่ป้อนชิ้นงานเข้ามาตรวจสอบนั้นอาจทำให้เกิดการเลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานได้ถ้าไม่มีการปรับตำแหน่งของภาพที่ต้องการตรวจสอบให้เลื่อนตามไปให้ทับกับภาพอ้างอิงให้สนิทก็อาจจะทำให้การตรวจสอบเกิดการผิดพลาดได้

สำหรับหลักการของฟังก์ชันปรับตำแหน่ง แบ่งออกเป็นการปรับตำแหน่งในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง ฟังก์ชันปรับตำแหน่งนั้นจะทำหน้าที่เลื่อนฟังก์ชันตรวจสอบไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องบนภาพชิ้นงาน โดยที่ค่าตัวแปรต่างๆที่กำหนดตำแหน่งการเลื่อนที่ได้จะบวกเข้าไปชดเชยการเลื่อนตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง ค่าตำแหน่งของภาพที่ต้องการตรวจสอบใหม่ในแนวตั้งและแนวนอนจะมีค่าดังสมการที่ 4.2 และ 4.3 ดังนี้

$$X' = X + \Delta V \tag{4.2}$$

$$Y' = Y + \Delta H \tag{4.3}$$

โดยที่ X' และ Y' คือ ตำแหน่งใหม่ของพิกเซลของภาพที่ต้องการตรวจสอบ

X และ Y คือ ตำแหน่งใหม่ของพิกเซลของภาพที่ต้องการตรวจสอบ

ΔV คือ การเลื่อนตำแหน่งของภาพอ้างอิงในแนวนอน

ΔH คือ การเลื่อนตำแหน่งของภาพอ้างอิงในแนวตั้ง

หลักการในการหาค่าการเลื่อนตำแหน่งนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าการเลื่อนตำแหน่งจากภาพชิ้นงานที่ถ่ายเข้ามาเทียบกับภาพอ้างอิงที่ได้ถ่ายเข้ามาในขั้นตอนของ ส่วนตั้งค่า (Setting Phase) โดยใช้พื้นที่ที่ผู้ควบคุมตั้งไว้มาเป็นพื้นที่หาค่าการเลื่อนตำแหน่ง แล้วใช้พื้นที่นี้มาหาค่าการเลื่อนตำแหน่งทั้งแนวตั้ง (Vertical Translation : ΔV) และการเลื่อนตำแหน่งทางแนวนอน (Horizontal Translation : ΔH) โดยนำภาพอ้างอิงและภาพอินพุตมาทำหน้ากากภายในพื้นที่ที่กำหนดเอาไว้ แล้วทำการเลื่อนหน้ากากของภาพอินพุต ($B(i,j)$) ไปบนหน้ากากของภาพอ้างอิง ($A(i,j)$) ภายในขอบเขตระยะทางแกนนอนและแกนตั้งที่กำหนด (maxV, maxH) พร้อมๆกับหาค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกัน (Different Pixels : $|B(i,j) - A(i,j)|$) ไปด้วย ตำแหน่งที่เลื่อนไปแล้วทำให้ค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันมีค่าน้อยที่สุด จะเป็นค่าการเลื่อนตำแหน่งที่ต้องการ ดังสมการที่ 4.4

$$(\Delta V, \Delta H) = (m,n)|\mathrm{MIN}\left(\sum_{i,j}|B(i+m,j+n) - A(i,j)|\right) \; ; |m| < \max V, |n| < \max H \tag{4.4}$$

โดยที่ ΔV คือ ค่าการเลื่อนตำแหน่งทางแนวตั้ง (Vertical Translation)

ΔH คือ ค่าการเลื่อนตำแหน่งทางแนวนอน (Horizontal Translation)

(m, n) คือ ค่าการเลื่อนที่ใช้ปรับตำแหน่งภาพอินพุตเพื่อนำไปหาค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันบนภาพอ้างอิง โดยมีค่าตั้งแต่ (-maxV, -maxH) จนถึง (maxV, maxH) ตามลำดับ

B(i, j) คือ ค่าความเข้มแบบสองระดับของหน้ากากภาพอินพุต

A(i, j) คือ ค่าความเข้มแบบสองระดับของหน้ากากภาพอ้างอิง

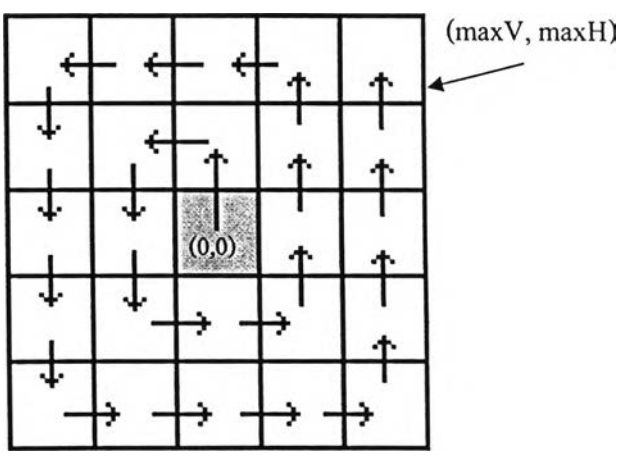
maxV คือ ค่าระยะการเลื่อนทางแกนนอนมากที่สุด

maxH คือ ค่าระยะการเลื่อนทางแกนตั้งมากที่สุด

การทำงานในฟังก์ชันปรับตำแหน่งนี้จะทำในสมมติฐานที่ว่า ภาพอินพุตที่ถ่ายเข้ามาเพื่อทำการตรวจสอบจะไม่เลื่อนไปมากเมื่อเทียบกับการถ่ายภาพอ้างอิง ดังนั้นจึงเริ่มการหาค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันตั้งแต่ค่า (m,n) = (0,0) วนออกแบบก้นหอยทีละรอบไปยังค่ามากที่สุดที่กำหนด (maxV, maxH) ดังรูปที่ 4.5

2.3 ฟังก์ชันตรวจสอบแบบหยาบ

โดยการนับจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันของภาพที่ต้องการตรวจสอบกับภาพอ้างอิงทีละส่วนที่ต้องการตรวจสอบที่กำหนดในขั้นตอนการแบ่งส่วนภาพและตัดส่วนภาพ แล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตที่ได้จากขั้นตอนการอ่านภาพอ้างอิง ส่วนของภาพที่มีค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันน้อยกว่าค่าขอบเขตค่าเฉลี่ยที่กำหนดไว้สำหรับพื้นที่ที่มีการพิมพ์ลวดลายน้อยๆ จะถูกสรุปว่าเป็นส่วนของภาพที่ถูกต้อง ส่วนที่เหลือซึ่งมีค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันมากกว่าค่าขอบเขต จะถูกส่งไปยังขั้นตอนประมวลผลภาพในขั้นตอนต่อไป การใช้ฟังก์ชันนี้จะทำให้ระบบมีความเร็วเพิ่มขึ้นเนื่องจากจะลดส่วนของภาพที่ต้องนำไปเข้าฟังก์ชันปรับภาพซึ่งต้องใช้เวลามาก



รูปที่ 4.5 การหาค่าการเลื่อนตำแหน่งโดยเริ่มจากจุด (0,0) แบบก้นหอย

2.4 ฟังก์ชันปรับภาพให้ตรงกับภาพต้นแบบ (Image Registration) [17]

เนื่องจากภาพฉลากอ้างอิงที่ตรงกันมากที่สุดกับภาพฉลากที่นำมาตรวจสอบที่หาได้มาจากขั้นตอนการปรับตำแหน่งที่กล่าวมาอาจจะยังไม่ทับกันสนิทพอดี เพราะว่าในทางปฏิบัติแล้วการเก็บภาพอ้างอิงนั้นไม่สามารถเก็บได้ทุกความละเอียดขององศาที่ขวดหมุนไปตามแนวแกนตั้ง และการพิมพ์ภาพเป็นการพิมพ์ทีละสีจากอุปกรณ์ดังนั้นจึงต้องทำการปรับภาพทั้งสองให้ทับกันสนิทพอดี โดยใช้เทคนิคการปรับภาพให้ตรงกับภาพต้นแบบ (Model Fitting) ซึ่งขั้นตอนวิธีนี้จะทำการปรับภาพที่ป้อนเข้าให้ตรงกันกับภาพที่เป็นต้นแบบ โดยการคำนวณหาว่า ในแต่ละพิกเซลของภาพขาเข้ามีการเลื่อนตำแหน่งไปเท่าใดเมื่อเทียบกับตำแหน่งพิกเซลที่ตรงกันในภาพต้นแบบ ซึ่งค่าการเลื่อนตำแหน่งของแต่ละพิกเซลนั้นจะเรียกว่า เวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (Translation Vector) โดยในการคำนวณหาเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของแต่ละพิกเซลในภาพขาเข้านั้นจะไม่ทำทุกพิกเซลในภาพเพราะจะใช้เวลาในการคำนวณนานเกินไป แต่จะทำในทุกพิกเซลหลักของภาพซึ่งจุดพิกเซลเหล่านี้จะเรียกว่า จุดควบคุม (Control Point) หลังจากนั้นค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดพิกเซลที่เหลือในภาพนั้นจะใช้การประมาณค่า (Interpolation) จากค่าเวคเตอร์ที่จุดควบคุมเหล่านั้น หลังจากนั้นจะสร้างภาพขาเข้าใหม่จากภาพเดิมโดยการปรับตำแหน่งของภาพเดิมไปตามค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่คำนวณมาได้ จะได้ภาพใหม่ที่สามารถทับได้ตรงกันกับภาพต้นแบบมากกว่าภาพขาเข้าเดิม ซึ่งในการคำนวณต่างๆเหล่านี้อาจจะใช้การทำแบบวนซ้ำ (Iteration) หลายๆครั้ง เพื่อให้ได้ภาพที่ตรงกันสนิทมากขึ้น

รายละเอียดการทำงานของขั้นตอนวิธีนี้สามารถอธิบายได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

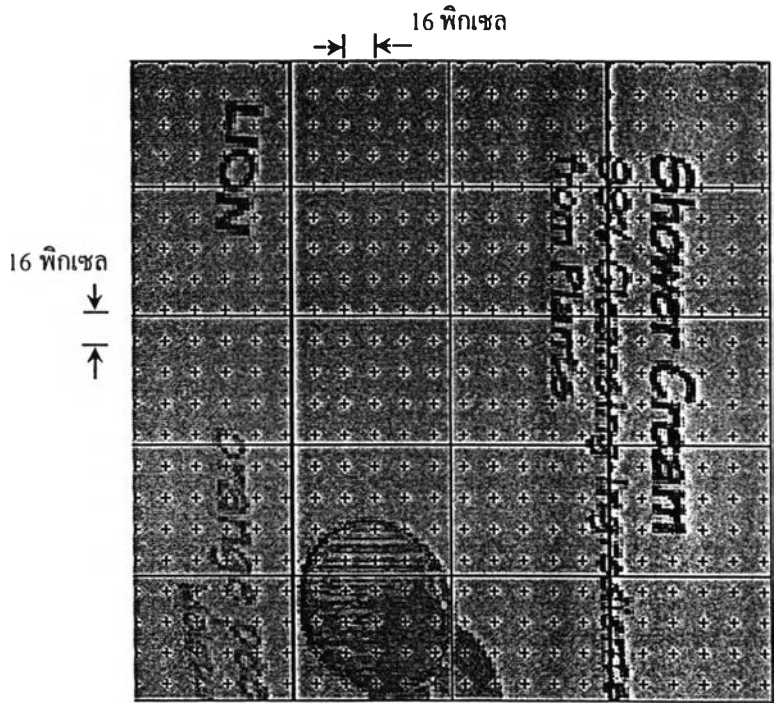
ขั้นตอนที่ 1 เลือกตำแหน่งของจุดควบคุมในภาพต้นแบบและภาพขาเข้าเพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง โดยจะเลือกตำแหน่งพิกเซลในภาพทุกๆ N พิกเซลตามแนวตั้งและแนวนอน ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.6 ซึ่งเป็นการเลือกตำแหน่งของจุดควบคุมทุกๆ 16 พิกเซลทั้งในแนวแกนนอนและแนวแกนตั้ง

ตั้งแต่ขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 4 นั้นจะทำการคำนวณซ้ำตามจำนวนครั้งที่กำหนด โดยมีวิธีดังนี้

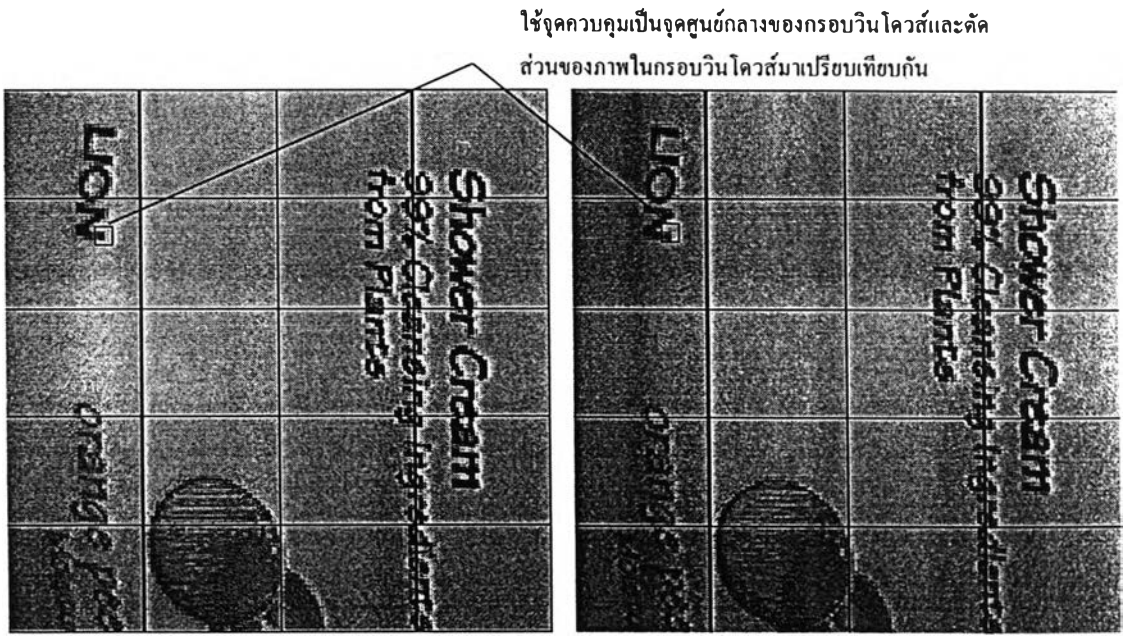
ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดควบคุมต่างๆของภาพขาเข้าเทียบกับภาพต้นแบบซึ่งแบ่ง เป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

2.1 เลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าไปในบริเวณรอบๆที่กำหนดด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่กำหนดขอบเขตว่า แต่ละพิกเซลในภาพขาเข้าจะต้องไม่มีการเลื่อนตำแหน่งไปเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ ไม่เกินค่านี้ และที่ตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าที่เลื่อนไปก็จะนำไปคำนวณหาตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุดกับจุดควบคุมของภาพต้นแบบโดยการตัดส่วนของภาพในบริเวณที่ครอบคลุมจุดที่ทำการคำนวณของทั้งสองภาพแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน สำหรับในขั้นตอนวิธีนี้จะใช้จุดควบคุมเป็นจุดศูนย์กลางกรอบวินโดวส์ที่จะทำการตัดส่วนของภาพทั้งสองมา

เปรียบเทียบกัน ตัวอย่างในรูป 4.7 และค่าที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความเข้าคู่มากที่สุด (Best Match Criteria, F_{BMC}) ระหว่างส่วนของภาพทั้งสองจะใช้ค่าสัมบูรณ์ของค่าผลต่างน้อยที่สุด ที่คำนวณได้จากสมการที่ 4.5 และ ตำแหน่งของจุดควบคุมที่เลื่อนไปของภาพขาเข้าที่ให้ดังกล่าวน้อยที่สุดก็คือตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุด



รูปที่ 4.6 ตัวอย่างของการหาตำแหน่งจุดควบคุมในภาพ โดยการเลือกทุกๆ 16 พิกเซลในแนวนอนและแนวตั้ง



รูปที่ 4.7 การหาตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพที่ต้องการตรวจสอบในบริเวณรอบๆที่ตรงกันกับจุดควบคุมของภาพต้นแบบมากที่สุดโดยการตัดส่วนของภาพทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน

$$F_{BMC}(i_c, j_c, \Delta i, \Delta j) = \sum_{k=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{l=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \left| I(i_c + \Delta i + k, j_c + \Delta j + l) - M(i_c + k, j_c + l) \right| \quad (4.5)$$

โดยที่ $F_{BMC}(i_c, j_c, \Delta i, \Delta i)$ คือ ฟังก์ชันในการวัดความเข้าคู่มากที่สุดในการค้นหาตำแหน่งที่ตรงกัน ระหว่างจุดควบคุม i_c, j_c ในภาพต้นแบบ และจุดควบคุม ในภาพขาเข้าที่เลื่อนตำแหน่งไป $(\Delta i, \Delta j)$

i_c, j_c คือ ตำแหน่งของจุดควบคุมใดๆที่กำลังพิจารณา

$\Delta i, \Delta j$ คือ ระยะเลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมใดๆทีเลื่อนตำแหน่งไปในบริเวณรอบๆ

N คือ ขนาดของกรอบวินโดวส์ที่ตัดส่วนของภาพออกมาใช้ในการเปรียบเทียบ

$I(...,...)$ คือ ค่าความสว่างของพิกเซลใดๆของภาพขาเข้า

$M(...,...)$ คือ ค่าความสว่างของพิกเซลใดๆของภาพต้นแบบ

การทำงานในขั้นตอนที่ 2.1 สามารถอธิบายได้ด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ดังต่อไปนี้ ที่ตำแหน่งของจุดควบคุม i_c, j_c ใดๆของภาพต้นแบบ จะทำการค้นหาตำแหน่งของจุดควบคุมในภาพขาเข้าที่ตรงกันมากที่สุด $(I_{BM} j_{BM})$ โดยทำการเลื่อนตำแหน่งจุดควบคุมของภาพขาเข้าไปในบริเวณรอบๆ $(\Delta i, \Delta j)$ ซึ่งกำหนดของเขตของการเลื่อนตำแหน่ง S ซึ่ง i_{BM}, j_{BM} นี้หาได้ตามสมการที่ 4.6 และ 4.7

$$i_{BM} = i_c + \Delta i_{BM} \quad (4.6)$$

$$j_{BM} = j_c + \Delta j_{BM} \quad (4.7)$$

เมื่อ $(\Delta i_{BM}, \Delta j_{BM}) = (\Delta i, \Delta j) \mid \min(F_{BMC}(i_c, j_c, \Delta i, \Delta j))$

$$\Delta i = \{-S, -S+1, ..., -1, 0, 1, ..., S-1, S\}$$

$$\Delta j = \{-S, -S+1, ..., -1, 0, 1, ..., S-1, S\}$$

โดยที่ i_c, j_c คือ ตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพต้นแบบที่กำลังพิจารณา

i_{BMC}, j_{BMC} คือ ตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าที่ตรงกันมากที่สุดกับตำแหน่งของจุดควบคุม i_c, j_c ของภาพต้นแบบ

S คือ ช่วงขอบเขตของการเลื่อนตำแหน่งซึ่งกำหนดบริเวณที่จะทำการค้นหาตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุดของจุดควบคุม

$F_{BMC}(i_c, j_c, \Delta i, \Delta i)$ คือ ฟังก์ชันในการวัดความเข้าคู่มากที่สุด

2.2 คำนวณหาค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดควบคุมนั้น $\left(V_x\left(i_c,j_c\right),V_y\left(i_c,j_c\right)\right)$ ซึ่งเท่ากับผลต่างของตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพต้นแบบ $\left(i_c,j_c\right)$ กับตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าที่เลื่อนไปในบริเวณรอบๆภาพอ้างอิง ที่ตรงกันกับจุดควบคุมของภาพต้นแบบมากที่สุด $\left(i_{BMC},j_{BMC}\right)$ และค่าเวคเตอร์นี้จะถูกรวมเก็บไว้ในแต่ละรอบของการวนซ้ำในการคำนวณซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 4.8 และ 4.9

$$V_x\left(i_c,j_c\right)=i_c-i_{BMC} \tag{4.8}$$

$$V_y\left(i_c,j_c\right)=j_c-j_{BMC} \tag{4.9}$$

โดยที่ $V_x\left(i_c,j_c\right)$ คือ ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนตั้งที่ตำแหน่งจุดควบคุม i_c,j_c

$V_y\left(i_c,j_c\right)$ คือ ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนนอนที่ตำแหน่งจุดควบคุม i_c,j_c

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> คำนวณหาเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดพิเซลที่เหลือของภาพขาเข้าซึ่งการคำนวณนี้จะอยู่ภายใต้สมมติฐานว่า พิกเซลที่อยู่ใกล้กับจุดควบคุมใดก็ควรจะมีค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดควบคุมนั้น และการหาค่าจะใช้วิธีประมาณค่าจากค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมที่หาได้มาจากขั้นตอนที่ 2 เพื่อการคำนวณที่รวดเร็วการประมาณค่าในขั้นตอนวิธีนี้จะใช้การประมาณค่าแบบเส้นตรง (Linear Interpolation) สำหรับหลักการของการประมาณค่าแบบเส้นตรงนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นการประมาณค่าฟังก์ชัน f(x) ใดๆ เมื่อรู้จุดผ่านของฟังก์ชัน 2 จุด (x_0,x_1) และค่าฟังก์ชันที่จุดทั้งสอง (f_0,f_1) โดยการหาค่าของฟังก์ชันที่อยู่ระหว่างจุดทั้งสอง จะหาด้วยการประมาณค่าฟังก์ชันด้วยเส้นตรง $p(x)$

ค่าของฟังก์ชันที่จุด x ใดๆ ($p(x)$) ในบริเวณระหว่าง x_0 กับ x_1 หาได้ด้วยสมการ 4.10

$$p(x)=f_0+(x-x_0)\times\frac{(f_1-f_0)}{(x_1-x_0)} \tag{4.10}$$

โดยที่ $p(x)$ คือ ค่าประมาณที่ได้จากการประมาณค่าแบบเส้นตรง

f_0,f_1 คือ ค่าของฟังก์ชันที่จุดต้น (x_0) และจุดปลาย (x_1)

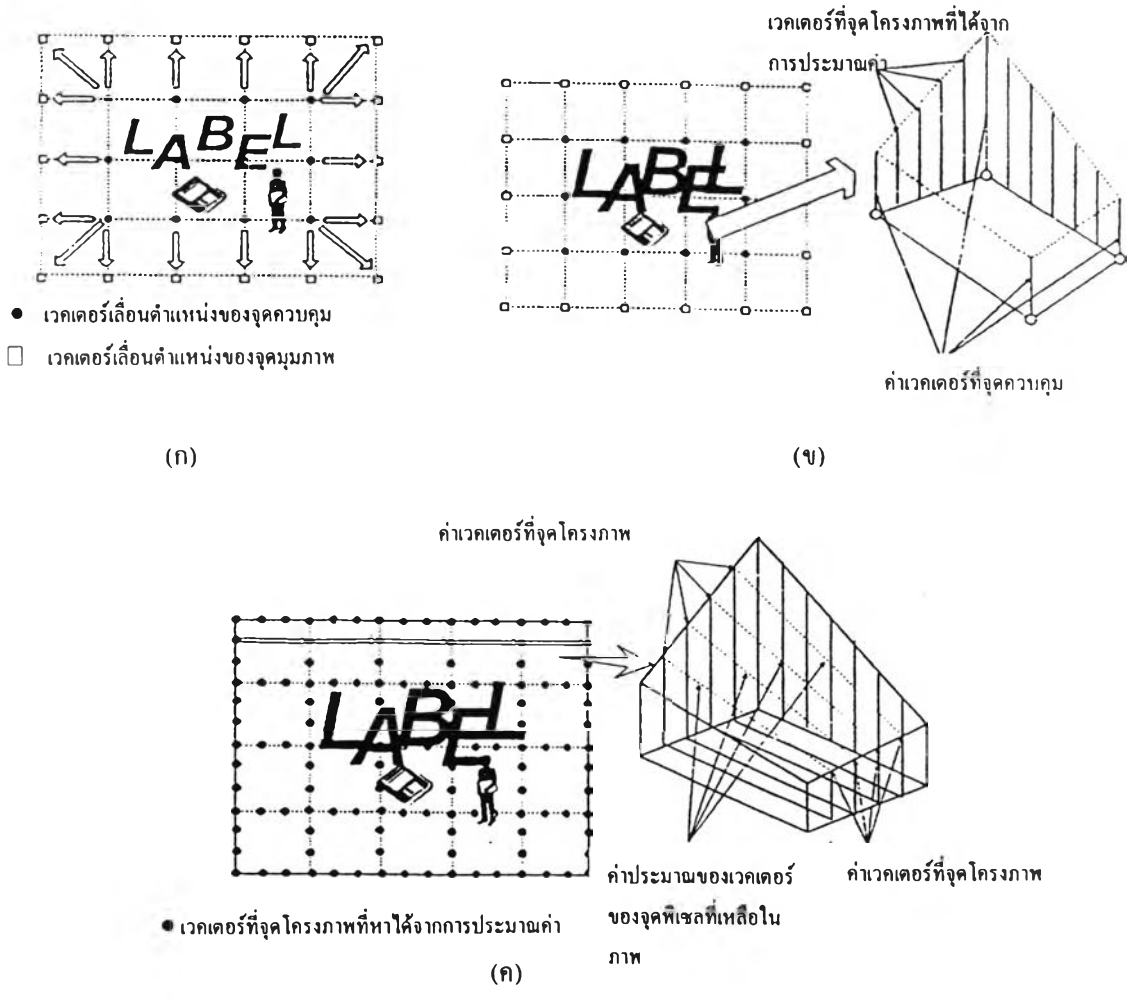
x,x_0,x_1 คือ ตำแหน่งของฟังก์ชัน ที่จุดต้องการค่าประมาณ จุดต้น และจุดปลาย

จากหลักการประมาณค่าที่กล่าวมาแล้วจะนำมาใช้ในการประมาณค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดพิกเซลรอบๆจุดควบคุมโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้

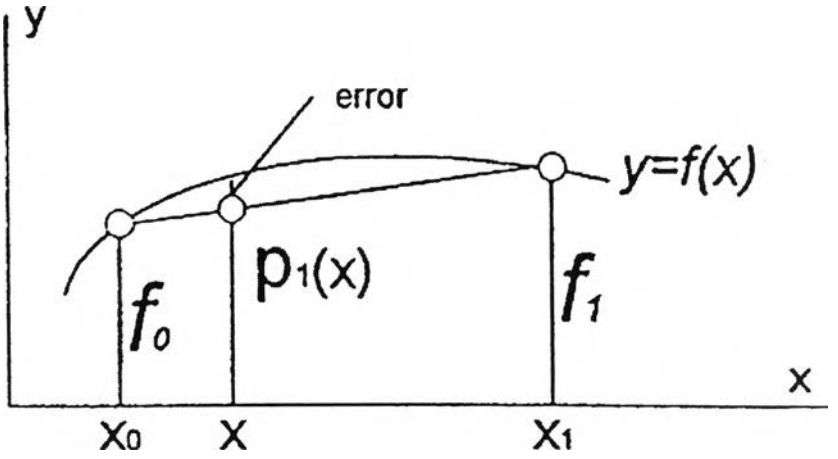
3.1 กำหนดค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่ตำแหน่งจุดมุมของภาพให้มีค่าเท่ากับค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมที่อยู่ใกล้เคียงดังรูปที่ 4.8 ก

3.2 คำนวณหาค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดต่างๆบนโครงของภาพที่เป็นจุดเชื่อมต่อระหว่างจุดควบคุมต่างๆดังรูป 4.8 ค โดยใช้วิธีการประมาณค่าแบบเส้นตรงและใช้ค่าเวคเตอร์เลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมและจุดขอบรูปเป็นค่าของจุดเริ่มต้น และจุดปลายของฟังก์ชันที่ต้องการประมาณค่า

3.3 คำนวณหาค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของพิกเซลที่เหลือในภาพทีละจุดโดยใช้การประมาณค่าแบบเส้นตรงเช่นเดียวกับข้อ 3.2 และใช้ค่าที่คำนวณได้จากข้อ 3.2 เป็นค่าของจุดต้นและจุดปลายดังรูป 4.9



รูปที่ 4.8 การหาค่าประมาณของเวคเตอร์เลื่อนตำแหน่ง (ก) การให้ค่าเวคเตอร์กับจุดที่มุมของภาพเท่ากับค่าเวคเตอร์ของจุดควบคุมที่อยู่ใกล้ที่สุด (ข) การประมาณค่าของเวคเตอร์ที่จุดโครงของภาพ (จุดในเส้นประ) จากค่าเวคเตอร์ของจุดควบคุม (ค) การคำนวณค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดที่เหลือในภาพทีละแถวโดยการประมาณค่าจากค่าเวคเตอร์ที่จุดโครงของภาพ



รูปที่ 4.9 การประมาณค่าแบบเส้นตรง

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> ทำการสร้างภาพใหม่จากภาพขาเข้าเพื่อทำการแก้ไขทางตำแหน่ง (Geometric Correction) ของภาพขาเข้าที่มีการเพี้ยนไปให้ตรงสนิทกับภาพต้นแบบ โดยใช้ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง $\left(V_x(i_c,j_c),V_y(i_c,j_c)\right)$ ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่บอกว่าตำแหน่งพิกเซล ในภาพขาเข้านั้นมีการเลื่อนตำแหน่งไปเท่าใดเมื่อเทียบกับตำแหน่งพิเซลเดียวกันในภาพต้นแบบ โดยค่าความสว่างที่ตำแหน่งพิกเซล (i,j) ของภาพขาเข้า ($I(i,j)$) จะถูกเลื่อนตำแหน่งไปยังภาพใหม่ที่ตำแหน่ง (i',j') ซึ่งค่าตำแหน่งพิกเซลใหม่นี้หาได้โดยสมการที่ 4.11 และ 4.12

$$i' = i + V_x(i,j) \tag{4.11}$$

$$j' = j + V_y(i,j) \tag{4.12}$$

โดยที่ i', j' คือ ตำแหน่งพิกเซลของภาพใหม่ที่เลื่อนตำแหน่งจากตำแหน่งพิกเซลของภาพขาเข้า (i,j)

$V_x(i_c,j_c),V_y(i_c,j_c)$ คือ ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่คำนวณได้ ณ ตำแหน่งพิกเซล i,j

แต่เนื่องจากค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่คำนวณได้ซึ่งมาจากการประมาณค่าแบบเส้นตรงอาจไม่ใช่จำนวนเต็ม (Non-integer) ดังนั้น ตำแหน่งพิกเซล i', j' ของภาพใหม่ที่คำนวณได้อาจจะลงไปยังตำแหน่งพิกเซลที่ไม่ใช่จำนวนเต็มดังตัวอย่างในรูปที่ 4.10 ซึ่งสมมติว่าตำแหน่งพิกเซลที่คำนวณได้ไปตกอยู่ในบริเวณของพิกเซล (k,l), (k+1,l), (k,l+1) และ (k+1,l+1) ดังนั้นค่าความสว่างของภาพขาเข้าที่ตำแหน่ง i,j ($I(i,j)$) ก็จะกระจายอยู่ภายใน 4 พิกเซลนี้ โดยขึ้นอยู่กับ

I25198518

ว่าพื้นที่ของตำแหน่งพิกเซลดังกล่าวไปตกอยู่ในบริเวณพิกเซลใดมากกว่ากัน ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังนี้

พื้นที่ที่ไปตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล k,l : $A(k,l)=(1-v)\times(1-h)$

พื้นที่ที่ไปตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล k+1,l : $A(k+1,l)=v\times(1-h)$

พื้นที่ที่ไปตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล k,l+1 : $A(k,l+1)=(1-v)\times h$

พื้นที่ที่ไปตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล k+1,l+1 : $A(k+1,l+1)=v\times h$

ค่าความสว่างที่กระจายไปในตำแหน่งพิกเซล k,l : $G(k,l)=A(k,l)I(i,j)$

ค่าความสว่างที่กระจายไปในตำแหน่งพิกเซล k+1,l : $G(k+1,l)=A(k+1,l)I(i,j)$

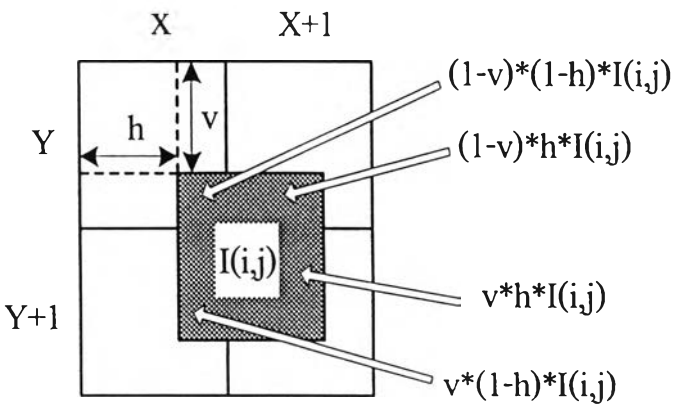
ค่าความสว่างที่กระจายไปในตำแหน่งพิกเซล k,l+1 : $G(k,l+1)=A(k,l+1)I(i,j)$

ค่าความสว่างที่กระจายไปในตำแหน่งพิกเซล k+1,l+1 : $G(k+1,l+1)=A(k+1,l+1)I(i,j)$

โดยที่ k,l คือ ค่าจำนวนเต็มของค่า i',j' ตามลำดับ

v,h คือ ค่าทศนิยมของค่าค่า i',j' ตามลำดับ

$I(i,j)$ คือ ค่าความสว่างของภาพขาเข้า ณ ตำแหน่ง i , j



รูปที่ 4.10 ตำแหน่งของพิกเซลใหม่ที่ไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม ที่อยู่ในพิกเซลอื่น 4 พิกเซล

ในการคำนวณนี้จะใช้อาร์เรย์ 2 มิติขนาดเท่ากับขนาดของภาพใหม่ที่จะทำการสร้าง จำนวน 2 อาร์เรย์ โดยเป็น ค่า ผลรวมของค่าความสว่างของพิกเซลใดๆในภาพขาเข้าที่ตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล p,q ในภาพใหม่ ($G(p,q)$) และค่าผลรวมของพื้นที่ของพิกเซลในภาพขาเข้าที่ตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล p,q ในภาพใหม่ ($A(p,q)$) เมื่อคำนวนครบทุกพิกเซลของภาพขาเข้าและรวมเก็บไว้ในอาร์เรย์ทั้งสองแล้วค่าความสว่างของภาพใหม่ที่ตำแหน่ง p,q ($N(p,q)$) จะเท่ากับผลรวมความสว่างที่ตำแหน่ง พิกเซล p,q หารด้วยผลรวมของพื้นที่ที่ตำแหน่งพิกเซล p,q ดังสมการที่ 4.13

$$N(p,q) = G(p,q) / A(p,q) \qquad (4.13)$$

โดยที่ $N(p,q)$ คือ ค่าความสว่างของภาพใหม่ที่สร้างขึ้นที่ตำแหน่งพิกเซล p,q

$G(p,q)$ คือ ค่าผลรวมของค่าความสว่างที่พิกเซล p,q

$A(p,q)$ คือ ค่าผลรวมของค่าพื้นที่พิกเซลที่ตำแหน่งพิกเซล p,q

การนำเอาฟังก์ชันการปรับภาพให้ตรงกันกับภาพต้นแบบที่ได้อธิบายไปแล้วนั้นจะทำการปรับภาพขาเข้าให้ตรงสนิทกับภาพต้นแบบ สำหรับในการตรวจสอบฉลากที่พิมพ์บนขวดนั้นจะทำการเปรียบเทียบภาพระหว่างภาพฉลากอ้างอิงกับภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบ และเพื่อต้องการปรับภาพให้ภาพทั้งสองตรงกันสนิทแล้วนำไปเปรียบเทียบภาพต่อไป ก็จำเป็นที่ต้องเลือกว่าจะให้ภาพใดเป็นภาพที่จะทำการสร้างภาพใหม่ และภาพใดจะเป็นภาพต้นแบบ ซึ่งเมื่อทดลองใช้งานทั้ง 2 แบบ คือ ใช้ภาพฉลากอ้างอิงเป็นภาพขาเข้า เพื่อสร้างภาพใหม่ กับใช้ภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบเป็นภาพขาเข้า พบว่าให้ผลจากการปรับภาพใกล้เคียงกัน แต่ในขั้นตอนวิธีนี้จะเลือกใช้ภาพลากที่จะตรวจสอบเป็นภาพขาเข้าเพื่อปรับภาพใหม่ และ ใช้ภาพฉลากอ้างอิงเป็นต้นแบบในการปรับภาพ

2.5 ฟังก์ชันการเปรียบเทียบภาพ (Image Comparison Function)

หลังจากที่ทำให้ภาพที่ต้องการตรวจสอบ และภาพอ้างอิงที่จะนำมาเปรียบเทียบกันทับกันสนิทมากที่สุดแล้ว กระบวนการต่อไปจะทำการเปรียบเทียบภาพทั้งสองแบบจุดต่อจุด เพื่อจะตรวจสอบดูว่าภาพทั้งสองนั้นแตกต่างกันอย่างไรบ้าง ถ้าในส่วนใดส่วนหนึ่งของภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบนั้นแตกต่างจากภาพฉลากอ้างอิงก็จะถือว่าเป็นจุดบกพร่องในภาพลากที่ต้องการตรวจสอบ โดยรายละเอียดของขั้นตอนวิธีในส่วนนี้สามารถแบ่งเป็นขั้นตอนย่อยได้ดังนี้

- การลบภาพ (Image Subtraction) คือ การนำเอาภาพมาลบกันแบบจุดต่อจุด แบบค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ดังสมการที่ 4.14 ซึ่งได้ภาพผลลัพธ์ออกมาเป็นภาพผลต่าง (Different Image) ดังตัวอย่างในรูปที่ 4.11 สมการที่ใช้ในกระบวนการนี้แสดงได้ดังสมการ 4.14

$$D(i,j)=\left|R(i,j)-T(i,j)\right| \tag{4.14}$$

โดยที่ $D(i,j)$ คือ ค่าความสว่างของพิกเซล (i,j) ของภาพผลต่าง (different Image)

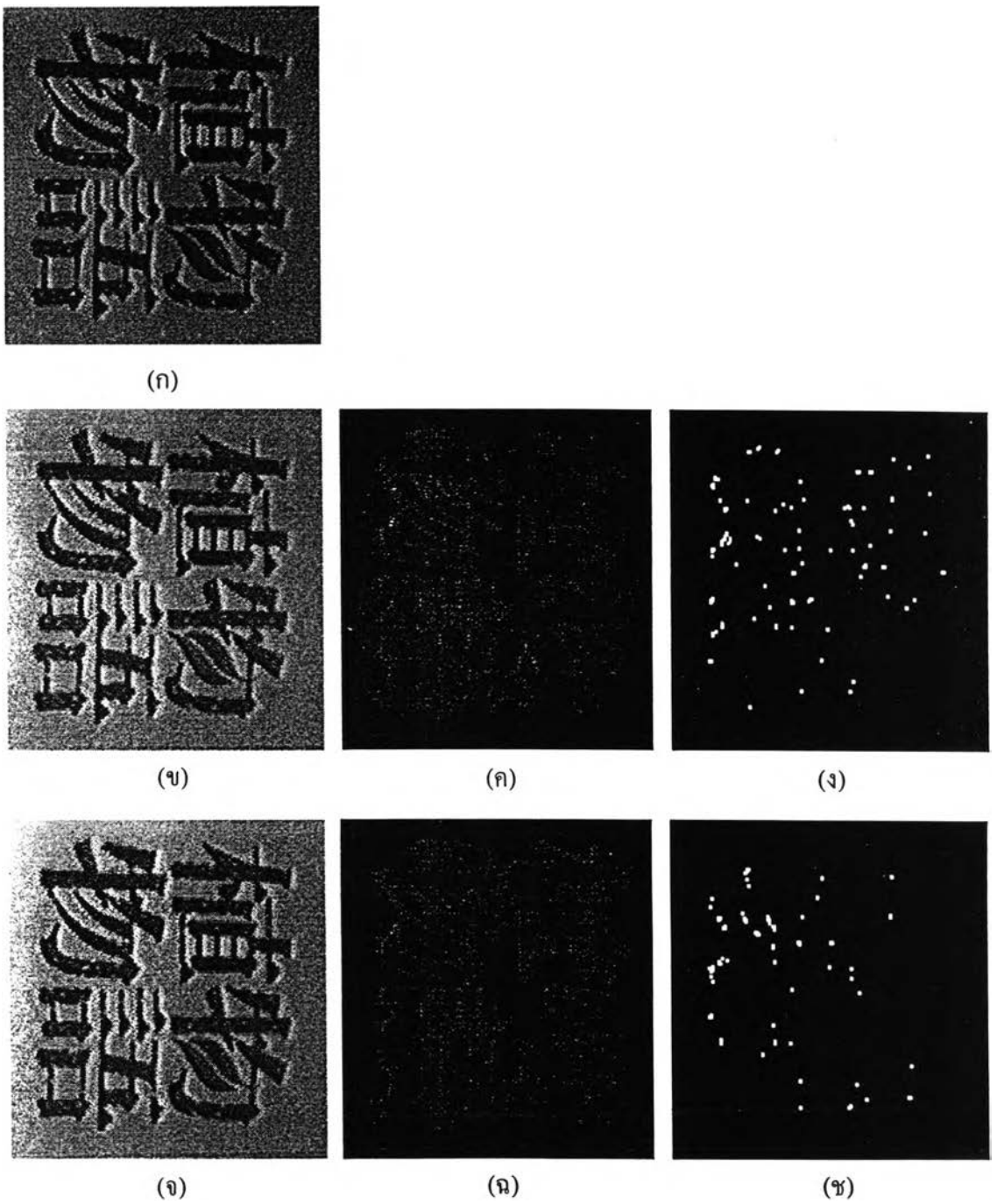
$R(i,j)$ คือ ค่าความสว่างของพิกเซล (i,j) ของภาพอ้างอิง

$T(i,j)$ คือ ค่าความสว่างของพิกเซล (i,j) ของภาพที่ต้องการตรวจสอบ

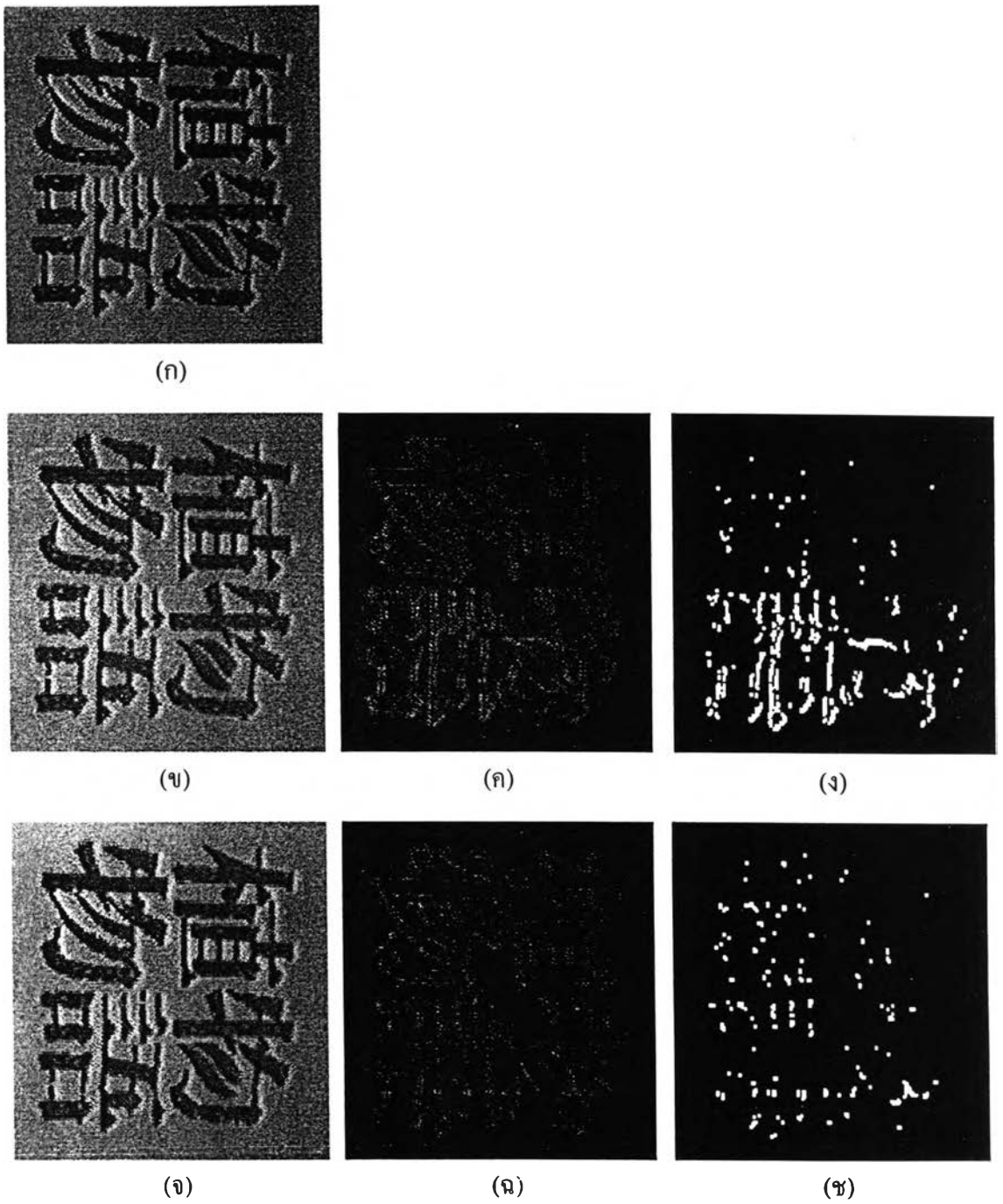
- การดึงส่วนที่เป็นจุดบกพร่องและการตัดสิน (Defect Extraction and Judgement) ภาพผลต่างที่เกิดจากการลบกันในขั้นตอนการลบภาพ ส่วนของภาพที่มีจุดบกพร่องจะมีค่าความสว่างสูงกว่าบริเวณที่ไม่ใช่จุดบกพร่อง ดังนั้นการทำงานในส่วนนี้จะทำการดึงเอาเฉพาะบริเวณที่เป็นจุดบกพร่องออกมาจากภาพ โดยใช้กระบวนการแปลงภาพสองระดับ (Thresholding) จากภาพที่เกิดจากการลบกันซึ่งเป็นภาพแบบ 256 ระดับ ให้กลายเป็นภาพสองระดับ โดยใช้ค่าขีดเริ่มเปลี่ยนซึ่งค่านี้จะมีผลต่อการตรวจสอบ โดยจะเป็นค่าที่ระบุว่าความแตกต่างของความสว่างในภาพทั้งสองจะต้องมีมากเพียงใดจึงถือว่าเป็นบริเวณพิกเซลที่บกพร่อง

จากภาพสองระดับที่แปลงมาจากภาพที่เกิดจากการลบกัน บริเวณพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องจะมีค่า 255 และส่วนที่ไม่ใช่จุดบกพร่องจะมีค่าเท่ากับ 0 สำหรับขั้นตอนวิธีนี้ การจะตัดสินใจว่าฉลากที่พิมพ์บนขวดนั้นดีหรือบกพร่อง จะใช้จำนวนพิกเซลที่เป็นจุดบกพร่องแต่ละส่วนในภาพฉลาก ซึ่งก็คือการนำเอาพิกเซลที่มีค่า 255 ทั้งหมดในแต่ละส่วนของภาพมารวมกันแล้วนำไปเปรียบเทียบกับค่าขอบเขตที่กำหนดเอาไว้ของส่วนนั้น ถ้าค่าจำนวนพิกเซลที่รวมได้มีค่ามากกว่าค่าขอบเขต ก็จะถือว่าเป็นส่วนของภาพที่บกพร่อง ถ้าค่าจำนวนพิกเซลบกพร่องในส่วนของภาพนั้นๆ มีค่าไม่เกินค่าขอบเขต ภาพในส่วนนั้นจะถือว่าเป็นส่วนของภาพที่พิมพ์ไม่บกพร่อง สำหรับค่าขีดเริ่มเปลี่ยนจะขึ้นอยู่กับความละเอียดในการตรวจสอบว่าต้องการตรวจสอบจุดบกพร่องที่มีขนาดเล็กเพียงใด และค่านี้จะมีผลต่อความถูกต้องและความละเอียดของการตรวจสอบค่อนข้างสูง โดยจากการทดลองพบว่า ค่า 16 มีความเหมาะสมในการตรวจสอบมากที่สุด

สำหรับตัวอย่างในการทำงานของขั้นตอนวิธีของการตรวจสอบแบบนี้ แสดงได้ดังรูป 4.11 โดยในรูป (ก) และ (ข) เป็นภาพส่วนหนึ่งของฉลากอ้างอิงที่เก็บไว้และส่วนของภาพฉลากที่ไม่มีจุดบกพร่อง ในรูป (จ) คือส่วนหนึ่งของภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบที่ผ่านการปรับภาพให้ตรงกันกับภาพฉลากอ้างอิง โดยถ้าไม่ทำการปรับภาพให้ตรงกันก่อนที่จะทำการลบภาพกันจะได้ผลลัพธ์ดังรูป (ค) ซึ่งเมื่อทำการดึงเฉพาะส่วนที่เป็นจุดบกพร่องออกมาจะทำให้ส่วนที่ไม่ใช่จุดบกพร่องออกมาด้วยดังรูป (ง) แต่ถ้าทำการลบภาพที่ผ่านกระบวนการปรับภาพแล้ว กับภาพอ้างอิงก็จะได้ดังรูป (จ) และเมื่อทำการดึงส่วนที่เป็นจุดบกพร่องจะได้ดังรูป (ช) เห็นได้ว่าพิกเซลส่วนที่ไม่ใช่จุดบกพร่องปรากฏออกมาน้อยกว่ามาก และเช่นเดียวกับกรณีของภาพฉลากที่มีจุดบกพร่องแสดงได้ดังรูปที่ 4.12 ซึ่งเห็นได้ว่าถ้าไม่มีการปรับภาพให้ตรงกันระหว่างภาพฉลาก



รูปที่ 4.11 ตัวอย่างการทำงานของขั้นตอนวิธีตรวจสอบเมื่อตรวจสอบลวดลายที่พิมพ์ถูกต้อง (ก) ส่วนหนึ่งของภาพฉลากอ้างอิง (ข) ส่วนหนึ่งของภาพฉลากที่ตรวจสอบซึ่งมีความถูกต้อง (ค) ส่วนหนึ่งของภาพที่เกิดจากการลบกันระหว่างภาพฉลากอ้างอิง (ก) กับภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับภาพ(ข) (ง) ภาพของจุดบกพร่องที่ดึงออกมาได้โดยการแปลงภาพสองระดับจากภาพ (ค) (จ) ส่วนหนึ่งของภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบที่ผ่านการปรับภาพให้ตรงกันกับภาพฉลากอ้างอิงในรูป (ก) (ฉ) ภาพที่เกิดจากการลบกันระหว่างภาพฉลากอ้างอิง (ก) กับภาพฉลากที่ตรวจสอบที่ผ่านการปรับภาพให้ตรงกันแล้ว (จ) (ช) ภาพของจุดบกพร่องที่ดึงออกมาได้โดยการแปลงภาพสองระดับจากภาพ (ฉ)

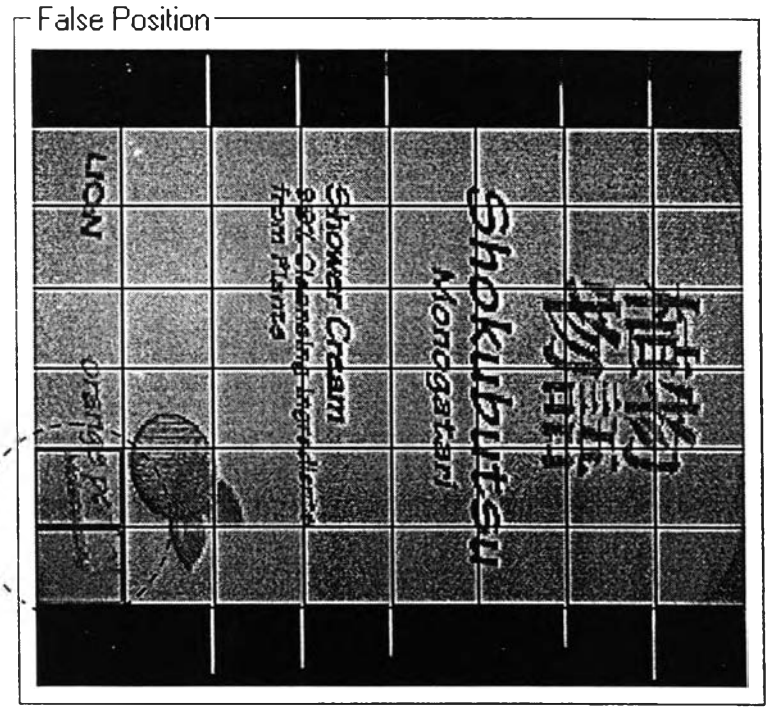


รูปที่ 4.12 ตัวอย่างการทำงานของขั้นตอนวิธีตรวจสอบเมื่อตรวจสอบลวดลายที่พิมพ์ผิดพลาด **(ก)** ส่วนหนึ่งของภาพฉลากอ้างอิง **(ข)** ส่วนหนึ่งของภาพฉลากที่ตรวจสอบซึ่งมีการพิมพ์ขาด **(ค)** ส่วนหนึ่งของภาพที่เกิดจากการลบกันระหว่างภาพฉลากอ้างอิง (ก) กับภาพฉลากที่ตรวจสอบที่ยังไม่ได้ผ่านการปรับภาพ(ข) **(ง)** ภาพของจุดบกพร่องที่ดึงออกมาได้โดยการแปลงภาพสองระดับจากภาพ (ค) **(จ)** ส่วนหนึ่งของภาพฉลากที่ต้องการตรวจสอบที่ผ่านการปรับภาพให้ตรงกันกับภาพฉลากอ้างอิงในรูป (ก) **(ฉ)** ภาพที่เกิดจากการลบกันระหว่างภาพฉลากอ้างอิง (ก) กับภาพฉลากที่ตรวจสอบที่ผ่านการปรับภาพให้ตรงกันแล้ว (จ) **(ช)** ภาพของจุดบกพร่องที่ดึงออกมาได้โดยการแปลงภาพสองระดับจากภาพ (ฉ)

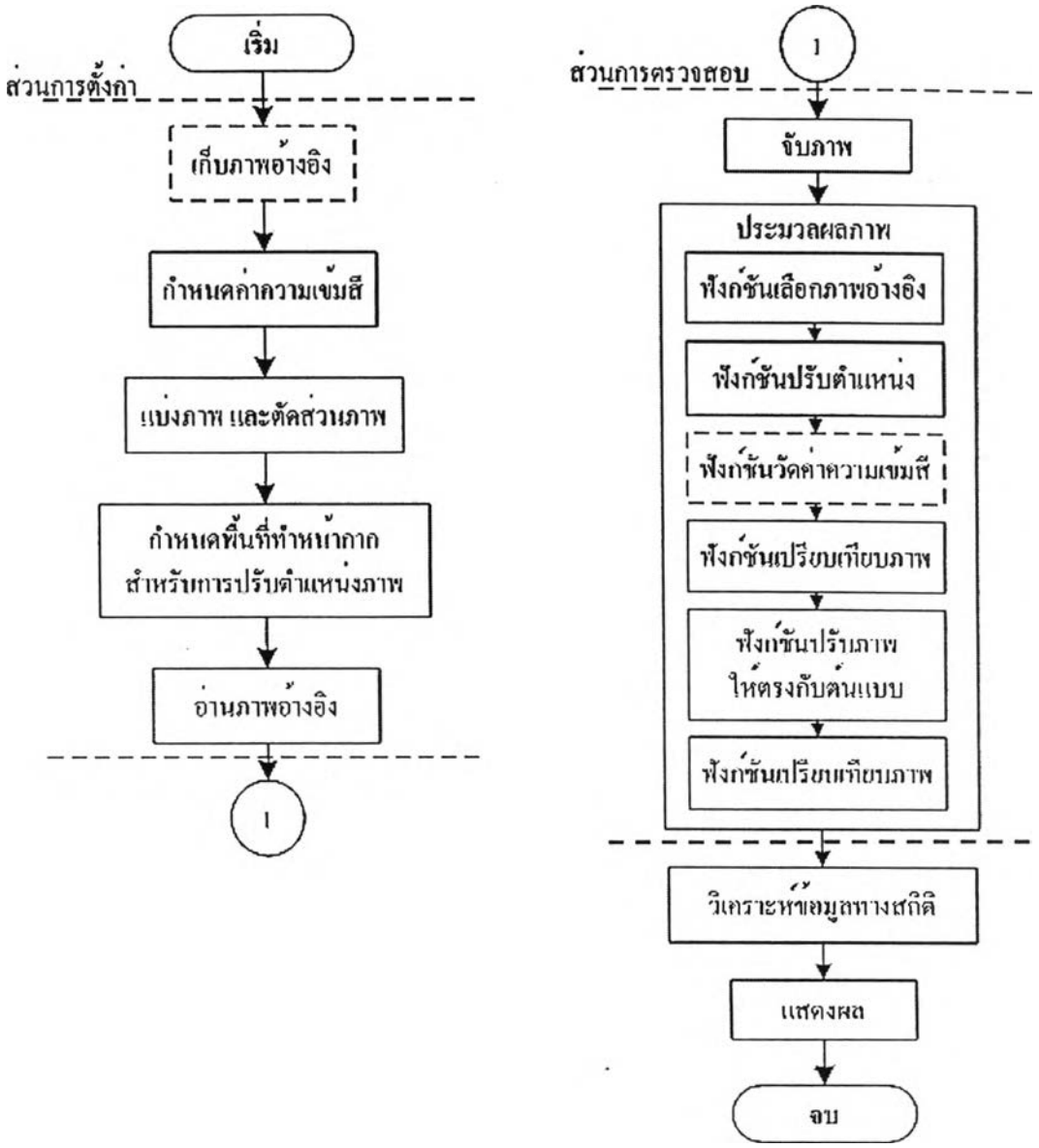
อ้างอิงก่อนที่จะทำการลบภาพกันก็จะทำให้ส่วนที่ไม่ใช่จุดบกพร่องปรากฏออกมาพร้อมกันกับส่วนที่เป็นจุดบกพร่องดังรูป 4.12 (ค) และ (ง) แต่เมื่อทำการปรับภาพให้ตรงกันแล้วผลของการลบกันก็จะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นจุดบกพร่องดังรูป 4.12 (ฉ) และ (ช) โดยมีส่วนที่ไม่ใช่จุดบกพร่องปรากฏออกมาน้อยมาก

3. วิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (Statistical Analysis)โดยนำเอาข้อมูลที่ได้จากการประมวลผล มาวิเคราะห์ทางสถิติด้วยวิธี SPC โดยในวิทยานิพนธ์นี้จะใช้การวิเคราะห์ด้วยแผนภูมิค่าเฉลี่ย และค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน เพื่อหาผลการตรวจสอบโดยเปรียบเทียบข้อมูลผลการนับจำนวนค่าพิกเซลจุดบกพร่องที่ได้กับค่าขีดจำกัดบนและล่างที่คำนวณมาได้จากแผนภูมิ และหาแนวโน้มที่จะเกิดการพิมพ์ผิดพลาดตามทฤษฎีของ SPCซึ่งได้กล่าวไว้ในบทที่ 3

4. แสดงผล (Operator Display) โดยการแจ้งเตือนผู้ควบคุมถ้าเกิดการผิดพลาดหรือเกิดแนวโน้มที่จะผิดพลาดในฉลากที่จะนำมาตรวจถัดไป ในการแจ้งเตือนจะแสดงภาพของขวดที่ถูกตรวจสอบมาพร้อมทั้งระบุส่วนของลวดลายที่มีความผิดพลาดเป็นช่องสี่เหลี่ยมสีแดงดังตัวอย่างในรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 ตัวอย่างการแสดงผลเมื่อมีการตรวจสอบผิดพลาด



รูปที่ 4.14 บล็อคไดอะแกรมของระบบควบคุมคุณภาพอัตโนมัติสำหรับการพิมพ์ขวดพลาสติก