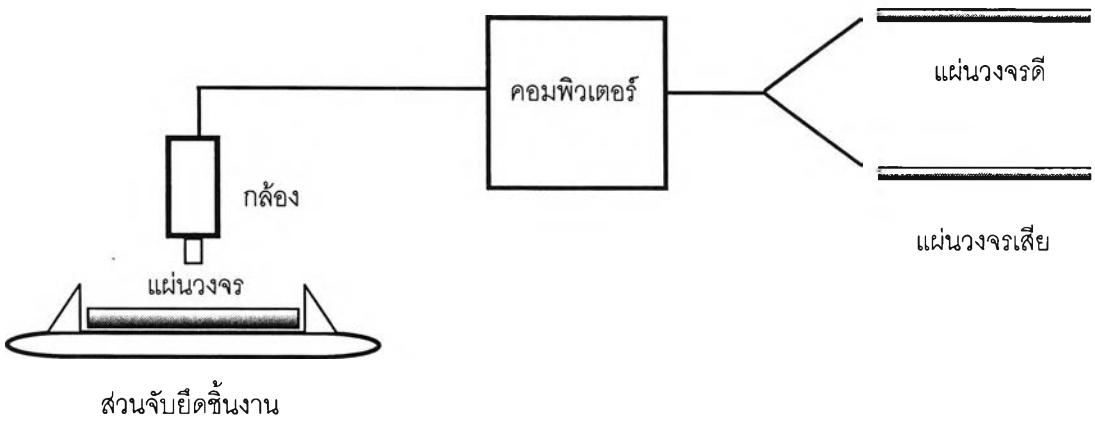
สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎี และแนวคิดในการออกแบบ

3.1 ระบบตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์



รูปที่ 3.1 โครงสร้างโดยทั่วไปของระบบการตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์

ระบบการตรวจพินิจแผ่นวงจรพิมพ์ ดังรูปที่ 3.1 แบ่งออกได้เป็น 2 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

3.1.1 ฮาร์ดแวร์ (Hardware) ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

- ส่วนจับยึดชิ้นงาน ประกอบด้วย หน่วยควบคุม (Control Processor), หน่วยควบคุมการเคลื่อนไหว (Manipulation Control) และเครื่องจับยึดชิ้นงาน (Manipulation) หน้าที่ของส่วนจับยึดชิ้นงาน คือการควบคุมแผ่นวงจรพิมพ์ให้ได้พิกัดที่ต้องการถ่ายภาพ

- กล้อง เป็นส่วนที่ทำหน้าที่ถ่ายภาพ และส่งภาพที่ได้ไปยังส่วนประมวลผลภาพดำเนินการประมวลผลต่อไป กล้องที่ใช้ถ่ายภาพมีความละเอียดอยู่ที่ 24 บิต และ ขนาดภาพเท่ากับ 640 x 480 พิกเซล

- คอมพิวเตอร์ เป็นส่วนที่ใช้ในการประมวลผลภาพประกอบด้วยหน้าที่ของส่วนประมวลผลภาพ คือ การนำสัญญาณภาพที่ได้มาประมวลผลด้วยกระบวนการต่างๆ จากนั้นจึงนำผลลัพธ์ออกมาแสดงยังคอมพิวเตอร์ โดยใช้เป็นคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล รุ่น Pentium 4, 3.0 GHz ในการทำงาน

3.1.2 โปรแกรม (Software)

ส่วนของโปรแกรมเป็นส่วนที่สำคัญที่สุดของระบบ เพราะเป็นส่วนที่ใช้ควบคุมการทำงานของระบบตั้งแต่การควบคุมด้านฮาร์ดแวร์, การติดต่อกับผู้ใช้งาน และที่สำคัญคือทำหน้าที่ประมวลผลภาพ ซึ่งมีกระบวนการหลายกระบวนการ เพื่อที่จะให้ระบบมีความสามารถในการจดจำ และตรวจสอบวัตถุต่าง ๆ หรือชิ้นงานใดๆ โดยทั่วไปแล้วขบวนการเหล่านี้จะประกอบไปด้วยขั้นตอนต่างๆ ที่ทำงานต่อเนื่องกัน โดยในแต่ละขั้นตอนพยายามที่จะเปลี่ยนแปลงข้อมูลภาพ (Iconic Data) ให้เป็นข้อมูลที่สามารถรู้จำได้ (Recognition Data) ในปัจจุบันนี้เทคโนโลยีและระเบียบวิธีต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นทางด้านการมองเห็นของคอมพิวเตอร์ (Computer Vision), การประมวลผลข้อมูลภาพ (Image Processing) และการจดจำรูปแบบ (Pattern Recognition) ยังไม่สามารถจัดการกับสภาพแวดล้อมที่ไม่จำกัด (Unconstrained Environment) ของวัตถุได้ เพราะระเบียบวิธีต่างๆ ที่ถูกพัฒนาขึ้นมาส่วนใหญ่จะเป็นแบบที่ใช้เฉพาะงาน สำหรับงานประยุกต์นั้นๆ เป็นหลัก โดยรายละเอียดของขั้นตอนการประมวลผลภาพกล่าวในหัวข้อ 3.2

3.2 การประมวลผล และการรู้จำภาพ [3],[4],[5]

ขบวนการในการประมวลผลการรู้จำ โดยทั่วไปจะสามารถแบ่งได้เป็นหลายขั้นตอนขึ้นอยู่กันการใช้งาน และมุมมองว่าจะมองขั้นตอนต่างๆ เหล่านั้นอย่างไร โดยในแต่ละขั้นตอนจะทำการแปลงข้อมูลเพื่อให้เหมาะสมสำหรับการทำงานในขั้นตอนต่อไป และโดยทั่วไปแล้วลำดับของแต่ละขั้นตอนจะขึ้นอยู่กับการใช้งานว่าจะต้องทำสิ่งใดก่อนหรือหลัง แต่ส่วนใหญ่จะเรียงลำดับตามที่จะสรุปต่อไปนี้ และนอกจากนี้ในบางระเบียบวิธีอาจจะไม่ใช้บางขั้นตอนหรือใช้อย่างไม่เด่นชัด สำหรับรายละเอียดของแต่ละขั้นตอนสามารถอธิบายได้ดังนี้

3.2.1 การประมวลผลภาพเบื้องต้น (Preprocessing) หรือการปรับสภาพข้อมูลภาพ

เนื่องจากในทางปฏิบัติของการประมวลผลข้อมูลภาพนั้น ข้อมูลภาพที่ได้รับมาจากกล้องจะไม่ได้มีแต่ข้อมูลภาพที่เราสนใจเท่านั้น แต่อาจจะมีข้อมูลส่วนอื่นที่ไม่ต้องการเข้ามาด้วยซึ่งมักจะเป็นข้อมูลที่ไม่แน่นอน (Random Noise) และจะมีผลทำให้การประมวลผลในขั้นตอนอื่นๆทำงานผิดพลาดไปได้ ดังนั้นจึงเป็นหน้าที่ของขั้นตอนนี้ที่จะทำการลดและกำจัดข้อมูลส่วนที่ไม่ต้องการนี้ออกไป หรือทำการแก้ไขให้ได้ข้อมูลภาพที่มีคุณภาพดีที่สุด ก่อนที่จะนำไปผ่านขบวนการอื่นๆถัดไป สำหรับตัวอย่างของฟังก์ชันในขั้นตอนนี้ ได้แก่

3.2.1.1 การดิจิไทซ์ข้อมูล (Digitization) หรือการเก็บค่าของสัญญาณ โดยกำหนดระยะพิกัดของจุดในภาพนี้จะเรียกว่า การสุ่มตัวอย่างข้อมูลภาพ (Image Sampling) ซึ่งจะเป็นการแทนค่าความเข้มแสงของภาพต่อเนื่อง f(x,y) โดยประมาณด้วยแถวลำดับขนาด M x N (M และ N เป็นตัวเลขจำนวนเต็มใดๆ ที่มีมากกว่า 0) และค่าความเข้มที่ใช้ในการแทนค่าโดยประมาณนั้นจะเป็นค่าระดับความเทาที่ได้มาจากการแบ่งค่าความเข้มแสงของรูปภาพออกเป็นช่วงๆ ซึ่งเรียกว่าการแบ่งช่วงของระดับความเทา (Gray Level Quantization) โดยที่ค่าระดับความเทาที่ใช้ในการแทนค่านั้นอาจใช้ตัวเลขที่เป็นจำนวนนับของช่วงระยะที่ถูกแบ่ง ดังนั้นค่าระดับความเทาของตัวอย่างข้อมูล (Sample) จึงถูกกำหนดด้วยตัวเลขที่แทนด้วยระดับใดระดับหนึ่ง ซึ่งเป็นตัวเลขจำนวนนับของช่วงระยะที่ถูกแบ่งออกไปช่วงระยะของค่าระดับความเทาทั้งหมดที่ได้นี้จะเรียกว่า เกรย์สเกล (Gray Scale) ในการสุ่มตัวอย่างข้อมูลภาพ และการแบ่งช่วงระดับความเทานั้น จะต้องกำหนดระยะพิกัดระหว่างตัวอย่างข้อมูลและช่วงระยะที่ถูกแบ่งออกเป็นช่วงๆ ของค่าความเข้มแสงของตัวอย่างข้อมูลให้พอเหมาะจึงได้ภาพที่ดีและเหมาะสม แต่การที่จะกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ให้เหมาะสมทำได้ยาก เนื่องจากคุณภาพของภาพดิจิตอลที่ต้องการจะมีความแตกต่างกันออกไปตามลักษณะของการใช้งาน และอุปกรณ์ที่ใช้ในการสุ่มตัวอย่างข้อมูลก็อาจมีข้อจำกัด อีกทั้งยังต้องคำนึงถึงความเหมาะสมระหว่างมูลค่าของการจัดการข้อมูล และการบิดเบือนของข้อมูลด้วยเพราะว่าในการสุ่มตัวอย่างข้อมูลภาพโดยที่กำหนดความละเอียด (Resolution) ในการสุ่มตัวอย่าง และการแบ่งช่วงระดับความเทาสูงมากก็จะต้องมีการเก็บข้อมูลจำนวนมากทำให้ต้องใช้หน่วยความจำ และใช้เวลาในการทำงานของโปรแกรมมาก แต่ถ้ากำหนดให้ความละเอียดในการสุ่มตัวอย่างข้อมูล และการแบ่งช่วงระดับความเทาน้อยเกินไปก็อาจจะทำให้ภาพที่ได้มีลักษณะไม่ตรงกับความต้องการ และนอกจากนี้ ในการกวาดตรวจภาพก็อาจมีสัญญาณรบกวนปะปนมาด้วย ดังนั้นภาพดิจิตอลที่ได้มาจากการสุ่มตัวอย่างจึงมักจะต้องถูกนำมาปรับปรุงก่อนที่จะนำไปใช้งานเสมอ

ดังนั้นในทางปฏิบัติแล้วการประมวลผลข้อมูลภาพนั้น จึงต้องผ่านขบวนการปรับปรุงภาพเสียก่อนที่จะนำไปผ่านขบวนการอื่นๆ ถัดไป เช่น การเน้นภาพ (Image Enhancement) หน้าที่ของฟังก์ชันนี้จะทำการประมวลผลข้อมูลให้ได้คุณภาพดีกว่าเดิม และเหมาะสมก่อนที่จะนำไปใช้ในขั้นตอนต่อไป เช่น การกำจัดสัญญาณรบกวน หรือการทำให้ภาพคมชัดขึ้น

3.2.1.2 การแบ่งส่วน (Segmentation) เป็นกระบวนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่งในการประมวลภาพ โดยหน้าที่ของกระบวนการนี้ คือการแยกข้อมูลออกเป็นส่วนๆ โดยการจัดข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันด้วยเงื่อนไขอย่างเดียวกันให้อยู่ในส่วนหรือกลุ่มเดียวกัน และจะทำการแยกแยะข้อมูลที่มีความสัมพันธ์กันน้อยให้ออกจากกัน ความสำเร็จของการประมวลผลส่วนหนึ่งขึ้นอยู่กับกระบวนการนี้อยู่ไม่น้อย เพราะความล้มเหลวเกือบทั้งหมดอาจเกิดจากการเลือกใช้ขั้นตอนวิธีที่ไม่ครอบคลุมเงื่อนไขทั้งหมด (Weak Segmentation) หรือ หยาบเกินไป (Rugged Segmentation) ปัญหาใหญ่ของการแบ่งภาพออกเป็นส่วนอยู่ที่ว่าจะสามารถหาขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมเพื่อรวมจุดภาพที่ต้องการให้เป็นกลุ่มเดียวกันได้อย่างไร โดยไม่จำเป็นต้องใช้ขั้นตอนวิธีเดียว แต่อาจนำหลายขั้นตอนวิธีมาใช้ร่วมกันก็ได้ ซึ่งไม่มีการจำกัดที่แน่นอน แต่สิ่งที่จำเป็นคือ เมื่อนำเอาขั้นตอนวิธีเหล่านั้นมารวมกันผลลัพธ์ที่ได้ต้องสนับสนุนไปในทางที่จะบ่งบอกได้ว่าจุดภาพนี้จะเป็นกลุ่มเดียวกันหรือไม่ ขั้นตอนของการแบ่งเป็นส่วนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. การกำหนดค่า (Labeling) คือ การกำหนดค่าให้กับจุดภาพจะมีค่าที่เท่าไหร่ขึ้นอยู่กับคุณสมบัติที่เราสนใจ เช่น ถ้าต้องการหาขอบภาพ คุณสมบัติที่ควรหาคือความแตกต่างของระดับเทา (Gray Level) จะกำหนดค่าของขอบภาพได้โดยการนำภาพมาผ่านตัวกรองเกรเดียนต์ เป็นต้น

2. การกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) [4] เมื่อทำการกำหนดค่าให้กับจุด หรือพิกเซลภาพแล้ว ขั้นตอนต่อไปคือการกำหนดค่าขีดเริ่มเปลี่ยนที่ใช้ในการตัดสินว่าจุดภาพที่พิกเซลใดจัดอยู่ในกลุ่มใด เพื่อความสะดวกโดยมากมักจะแบ่งกลุ่มออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มจุดภาพสีขาว และกลุ่มจุดภาพสีดำ เพราะมีหลายขั้นตอนวิธีที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับภาพที่เป็นสองระดับนี้ได้ การกำหนดขีดเริ่มเปลี่ยนทำได้หลายแบบมีทั้งแบบที่เป็นค่าคงที่ และที่เป็นแบบปรับตามสภาวะรอบข้างได้ โดยวิธีหลังเหมาะสมกว่าเพราะสามารถใช้ได้กับทุกสถานการณ์

3.2.1.3 กระบวนการแทนและการบรรยาย (Representation and Description) กระบวนการข้างต้นที่กล่าวมาทั้งหมด ล้วนแต่เป็นการประมวลผลกับข้อมูลดิบที่เป็นจุดภาพ (Raw Data Pixel) ข้อมูลดิบที่เป็นจุดภาพยังไม่สามารถนำมาใช้งานได้ เพราะข้อมูลดังกล่าวนี้มีจำนวนมาก และยากแก่การหาความหมายจากข้อมูลเหล่านี้ ฉะนั้นวิธีการแทน (Representation) ข้อมูลดิบที่มีอยู่เดิม

ด้วยข้อมูลชนิดใหม่จึงเป็นทางออกที่ดี เช่น ชุดข้อมูลที่รวมกันเป็นกลุ่มพื้นที่สามารถแทนด้วยข้อมูลชนิดอื่นที่อยู่ในรูปของเส้นขอบภาพ (Boundary) หรือ โครงร่างกระดูก (Skeleton) ได้เป็นต้น

ในบางครั้งการแทนข้อมูลที่เป็นจุดภาพด้วยข้อมูลแบบอื่นที่เราต้องการไม่สามารถทำได้โดยตรง จำเป็นต้องผ่านบางกระบวนการเสียก่อน เพื่อเตรียมข้อมูลให้พร้อมพอที่จะเปลี่ยนเป็นข้อมูลปลายทางที่เราต้องการได้ เช่น ต้องการเปลี่ยนจุดภาพที่เรียงกันให้เป็นข้อมูลเวกเตอร์ แต่จะเปลี่ยนจุดภาพเป็นเวกเตอร์โดยทันทีไม่ได้ ต้องนำภาพมาเปลี่ยนเป็นภาพสองระดับเสียก่อน จากนั้นนำมาผ่านอีก 2 กระบวนการคือ (1) ทำให้บาง และ (2) เปลี่ยนข้อมูลนั้นให้เป็นเวกเตอร์

(1) การทำให้บาง (Thinning) คือ กระบวนการเซาะจุดภาพที่อยู่ริมของวัตถุออกไปจนทำให้วัตถุมีขนาดเล็กลง ขั้นตอนวิธีลักษณะนี้มีด้วยกันหลายแบบ มีทั้งแบบที่ทำบางลงแล้วตรงส่วนปลายสั้นลงด้วย หรือแบบที่ทำให้บางแล้วส่วนปลายยังคงยาวเท่าเดิม ขั้นตอนวิธีนี้ใช้สำหรับภาพที่มีค่าของจุดภาพต่างกันสองระดับ (ขาว และดำ) คุณสมบัติที่ดีของการทำให้บางแบบนี้อยู่ที่สามารถรักษาความต่อเนื่องของจุดภาพได้ดีโดยไม่ขาดช่วงเนื่องจากขั้นตอนวิธีนี้ใช้วิธีกัดเซาะริมขอบของภาพเข้าไปทีละจุด จนกระทั่งเหลือแต่โครงร่างซึ่งหมายถึงหนึ่งจุดจะแทนความกว้างของลายเส้นได้ โดยมีขั้นตอนของการทำให้บาง ดังนี้

- กัดเซาะเข้าไปในขอบเขตของภาพครั้งละหนึ่งจุด (พิกเซล)
- ตรวจสอบว่าหลังจากกัดเซาะแล้วภาพมีการเปลี่ยนแปลงหรือไม่
- เมื่อภาพมีการเปลี่ยนแปลง นั่นหมายความว่ายังสามารถกัดเซาะได้อีกดังนั้นให้เริ่มทำจากข้อแรกใหม่
- ถ้าภาพที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงให้จบกระบวนการได้

(2) การทำให้เป็นเวกเตอร์ (Vectorization) โดยจุดประสงค์ของการแปลงจุดภาพให้เป็นเวกเตอร์ก็เพื่อให้สามารถเข้าถึงตำแหน่งได้รวดเร็ว ตรวจสอบส่วนต่างๆ ได้โดยง่าย ลดจำนวนข้อมูลที่ต้องประมวลผลในขั้นตอนถัดไป และสามารถทำการจำแนกได้รวดเร็วขึ้น มีขั้นตอนดังนี้

- หาทิศทางของจุดภาพที่เรียงต่อเนื่องกันไปโดยการเปลี่ยนจุดภาพให้เป็นรหัสเงื่อนไข
- ทำการเปลี่ยนรหัสเงื่อนไขที่มีความสัมพันธ์กันในแนวตรงให้เป็นเวกเตอร์เส้นตรง
- เปลี่ยนรหัสเงื่อนไขที่เรียงกันเป็นเส้นโค้งให้เป็นเวกเตอร์เส้นตรงขนาดเล็กต่อกันจนเป็นรูปโค้ง
- ทำซ้ำตั้งแต่ต้นจนหมดทั้งภาพ

เมื่อผ่านกระบวนการข้างต้นจะทำให้ภาพคม ซึ่งอาจจะใช้วิธีการหาขอบของวัตถุในภาพ (Sharpening และ Edge Detection) ก็ได้ วิธีนี้จะทำให้ภาพใหม่ที่ได้มีความคมชัดในส่วนที่เป็นขอบของภาพมากขึ้น โดยขอบ (edge) ของวัตถุ เป็นบริเวณหรือ ขอบเขต (Boundary) หรือเส้นที่แสดงระดับ (contour) ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพบางอย่างของภาพอย่างเห็นได้ชัด โดยที่แสดงออกมาได้หลายๆ ลักษณะ ซึ่งรวมไปถึงการเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของจุดในภาพ การเปลี่ยนแปลงลักษณะทางกายภาพนี้จะมีความสำคัญมาก หรือน้อยขึ้นอยู่กับลักษณะการใช้งาน การเปลี่ยนแปลงค่าความเข้มของจุดที่ถูกกำหนดให้เป็นขอบของวัตถุในงานบางอย่าง อาจจะไม่นำมาพิจารณาก็ได้ ขึ้นอยู่ความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้

3.2.1.4 ฟังก์ชันปรับตำแหน่ง (Positioning Function) ในกรณีที่ต้องการเปรียบเทียบภาพสองภาพ หรือการวิเคราะห์ภาพเป็นการวิเคราะห์ภาพโดยการเปรียบเทียบภาพชนิดจุดต่อจุด ฟังก์ชันตรวจสอบภาพจะจำเป็นอย่างยิ่งเนื่องด้วยตำแหน่งทำงานของภาพที่ต้องการตรวจสอบและภาพอ้างอิงต้องวางลงที่ตำแหน่งที่ทับกันสนิทกันมากที่สุดจึงจะทำให้การตรวจสอบมีความถูกต้องและแม่นยำ ซึ่งในกระบวนการถ่ายภาพจริงแล้วส่วนของกลไกที่ทำหน้าที่ตั้งพิกัดการถ่ายภาพของชิ้นงานเป็นไปได้อยากที่จะตรงกัน ภาพที่ได้อาจเกิดการเลื่อนตำแหน่งของชิ้นงานได้ในการถ่ายภาพแต่ละครั้ง ถึงแม้จะมีการตั้งพิกัดแล้วก็ตาม ดังนั้นถ้าไม่มีการปรับตำแหน่งของภาพที่ต้องการตรวจสอบให้เลื่อนตามไปให้ทับกับภาพอ้างอิงให้สนิทก็อาจจะทำให้การตรวจสอบเกิดการผิดพลาดได้

สำหรับหลักการของฟังก์ชันปรับตำแหน่ง แบ่งออกเป็นการปรับตำแหน่งในแนวแกนนอน และแนวแกนตั้ง ฟังก์ชันปรับตำแหน่งนั้นจะทำหน้าที่เลื่อนฟังก์ชันตรวจสอบไปยังตำแหน่งที่ถูกต้องไปบนภาพชิ้นงาน โดยที่ค่าตัวแปรต่างๆที่กำหนดตำแหน่งการเลื่อนที่ได้จะบวกเข้าไปชดเชยการเลื่อนตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้ในระดับหนึ่ง ค่าตำแหน่งของภาพที่ต้องการตรวจสอบใหม่ในแนวตั้ง และแนวนอนจะมีค่า ดังสมการที่ 3.1 และ 3.2 ดังนี้

$$X' = X + \Delta \mathrm{V} \qquad (3.1)$$

$$Y' = Y + \Delta \mathrm{H} \qquad (3.2)$$

โดย X' และ Y' คือ ตำแหน่งใหม่ของพิกเซลของภาพที่ต้องการตรวจสอบ

X และ Y คือ ตำแหน่งของพิกเซลของภาพที่ต้องการตรวจสอบ

$\Delta \mathrm{V}$ และ $\Delta \mathrm{H}$ คือ การเลื่อนตำแหน่งของภาพอ้างอิงในแนวตั้ง และแนวนอนตามลำดับ

หลักการในการหาค่าการเลื่อนตำแหน่งนี้จะเป็นการคำนวณหาค่าการเลื่อนตำแหน่งจากภาพชิ้นงานที่ถ่ายเข้ามาเทียบกับภาพอ้างอิงที่ได้ถ่ายเข้ามาขณะตั้งค่า (Setting Phase) โดยใช้พื้นที่ที่ผู้

ควบคุมตั้งไว้มาเป็นพื้นที่หาค่าการเลื่อนตำแหน่ง 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 ตำแหน่งที่เลื่อนไปแล้วทำให้ค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันมีค่าน้อยที่สุดจะเป็นค่าการเลื่อนตำแหน่งที่ต้องการดังสมการ 3.3

$$(\Delta V, \Delta H) = (m,n)|\mathrm{MIN}\left(\sum_{i,j}|B(i+m,j+n)-A(i,j)|\right) \; ; \; |m| < \max V \, , |n| < \max H \qquad (3.3)$$

โดยที่ ΔV คือ ค่าการเลื่อนตำแหน่งทางแนวตั้ง (Vertical Translation)

ΔH คือ ค่าการเลื่อนตำแหน่งทางแนวนอน (Horizontal Translation)

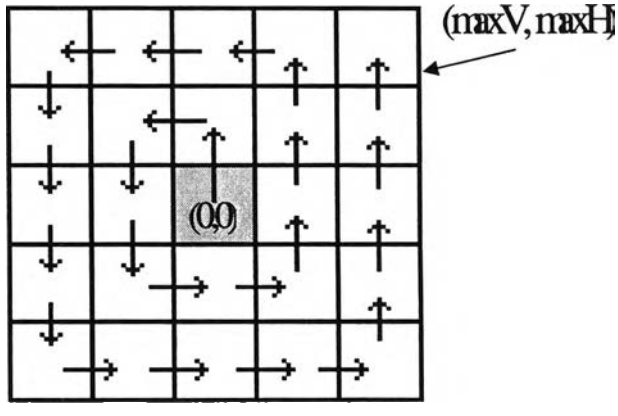
(m, n) คือ ค่าการเลื่อนที่ใช้ปรับตำแหน่งภาพอินพุตเพื่อนำไปหาค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันกับภาพอ้างอิง โดยมีค่าตั้งแต่ (-maxV, -maxH) จนถึง (maxV, maxH) ตามลำดับ

B(i, j) คือ ค่าความเข้มแบบสองระดับของหน้ากากภาพอินพุต

A(i, j) คือ ค่าความเข้มแบบสองระดับของหน้ากากภาพอ้างอิง

maxV, maxH คือ ค่าระยะการเลื่อนทางแกนนอนและแกนตั้งมากที่สุด

การทำงานในฟังก์ชันปรับตำแหน่งนี้จะทำในสมมติฐานที่ว่า ภาพอินพุตที่ถ่ายเข้ามาเพื่อทำการตรวจสอบจะไม่เลื่อนไปมากเมื่อเทียบกับการถ่ายภาพอ้างอิง ดังนั้นจึงเริ่มการหาค่าจำนวนพิกเซลที่ไม่เหมือนกันตั้งแต่ค่า (m,n) = (0,0) วนออกแบบก้นหอยทีละรอบไปยังค่ามากที่สุดที่กำหนด (maxV, maxH) ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การหาค่าการเลื่อนตำแหน่งโดยเริ่มจากจุด (0,0) แบบก้นหอย

- การปรับภาพให้ตรงกับภาพต้นแบบ (Model Fitting) เนื่องจากภาพอ้างอิงกับภาพที่จะนำมาทดสอบที่หาได้มาจากขั้นตอนการปรับตำแหน่ง อาจจะยังไม่ทับกันสนิทพอดี เพราะว่าในทางปฏิบัติแล้วการเก็บภาพอ้างอิงนั้นไม่สามารถเก็บได้ทุกความละเอียดที่มีการถ่ายภาพย่อยแต่ละภาพจากอุปกรณ์ดังนั้นจึงต้องทำการปรับภาพทั้งสองให้ทับกันสนิทพอดี โดยใช้เทคนิคการปรับภาพให้ตรงกับภาพต้นแบบ (Model Fitting) วิธีนี้จะทำการปรับภาพที่ใช้เปรียบเทียบให้ตรงกันกับภาพที่เป็นต้นแบบ โดยการคำนวณหาว่า ในแต่ละพิกเซลของภาพขาเข้ามีการเลื่อนตำแหน่งไปเท่าใดเมื่อเทียบกับตำแหน่งพิกเซลที่ตรงกันในภาพต้นแบบ ซึ่งค่าการเลื่อนตำแหน่งของแต่ละพิกเซลนั้นจะเรียกว่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง (Translation Vector) โดยในการคำนวณหาเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของแต่ละพิกเซลในภาพขาเข้านั้นจะไม่ทำทุกพิกเซลในภาพเพราะจะใช้เวลาในการคำนวณนาน แต่จะทำในทุกพิกเซลหลักของภาพซึ่งจุดพิกเซลเหล่านี้จะเรียกว่า จุดควบคุม (Control Point) หลังจากนั้นค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดพิกเซลที่เหลือในภาพนั้นจะใช้การประมาณค่า (Interpolation) จากค่าเวคเตอร์ที่จุดควบคุมเหล่านั้น หลังจากนั้นจะสร้างภาพขาเข้าใหม่จากภาพเดิมโดยการปรับตำแหน่งของภาพเดิมไปตามค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่คำนวณมาได้ ซึ่งผลลัพธ์จะได้ภาพใหม่ที่สามารถทับได้ตรงกันกับภาพต้นแบบมากกว่าภาพขาเข้าเดิม ซึ่งในการคำนวณต่างๆ เหล่านี้อาจจะใช้การทำแบบวนซ้ำ (Iteration) หลายๆครั้ง เพื่อให้ได้ภาพที่ตรงกันสนิทมากที่สุด โดยรายละเอียดสามารถอธิบายได้เป็น 4 ขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เลือกตำแหน่งของจุดควบคุมในภาพต้นแบบและภาพขาเข้าเพื่อที่จะนำไปใช้ในการคำนวณหาเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง โดยจะเลือกตำแหน่งพิกเซลในภาพทุกๆ N พิกเซลตามแนวตั้งและแนวนอน

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณหาค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดควบคุมต่างๆของภาพขาเข้าเทียบกับภาพต้นแบบซึ่งแบ่ง เป็นขั้นตอนย่อยๆ ดังนี้

2.1 เลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าไปในบริเวณรอบๆ ที่กำหนดด้วยค่าคงที่ค่าหนึ่ง ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่กำหนดขอบเขตว่า แต่ละพิกเซลในภาพขาเข้าจะต้องไม่มีการเลื่อนตำแหน่งไปเมื่อเทียบกับภาพต้นแบบ ไม่เกินค่านี้ และที่ตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าที่เลื่อนไปก็จะนำไปคำนวณหาตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุดกับจุดควบคุมของภาพต้นแบบโดยการตัดส่วนของภาพในบริเวณที่ครอบคลุมจุดที่ทำการคำนวณของทั้งสองภาพแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน สำหรับในระเบียบวิธีนี้จะใช้จุดควบคุมเป็นจุดศูนย์กลางกรอบวินโดวส์ที่จะทำการตัดส่วนของภาพทั้งสองมาเปรียบเทียบกัน และค่าที่จะใช้เป็นเกณฑ์ในการวัดความเข้าคู่กันมากที่สุด (Best Match Criteria, F_{BMC}) ระหว่าง

ส่วนของภาพทั้งสองจะใช้ค่าสัมบูรณ์ของค่าผลต่างน้อยที่สุด ที่คำนวณได้จากสมการที่ 3.4 และตำแหน่งของจุดควบคุมที่เลื่อนไปของภาพขาเข้าที่ให้ดังกล่าวน้อยที่สุดก็คือตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุด

$$F_{BMC}(i_c, j_c, \Delta i, \Delta j) = \sum_{k=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \sum_{l=-\frac{N-1}{2}}^{\frac{N-1}{2}} \left| I(i_c + \Delta i + k, j_c + \Delta j + l) - M(i_c + k, j_c + l) \right| \qquad (3.4)$$

โดย $F_{BMC}(i_c, j_c, \Delta i, \Delta i)$ คือ ฟังก์ชันในการวัดความเข้าคู่กันมากที่สุดในการค้นหาตำแน่งที่ตรงกัน ระหว่างจุดควบคุม i_c, j_c ในภาพต้นแบบ และจุดควบคุม ในภาพ ขาเข้าที่เลื่อนตำแหน่งไป $(\Delta i, \Delta j)$

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} นี้หาได้ตามสมการ 3.5 และ 3.6

$$i_{BM} = i_c + \Delta i_{BM} \qquad (3.5)$$

$$j_{BM} = j_c + \Delta j_{BM} \qquad (3.6)$$

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

หอสมุดกลาง สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

S คือ ช่วงขอบเขตของการเลื่อนตำแหน่งซึ่งกำหนดบริเวณที่จะทำการค้นหาตำแหน่งที่ตรงกันมากที่สุดของจุดควบคุม

2.2 คำนวณหาค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดควบคุมนั้น $\left(V_x(i_c,j_c),V_y(i_c,j_c)\right)$ ซึ่งเท่ากับผลต่างของตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพต้นแบบ (i_c,j_c) กับตำแหน่งของจุดควบคุมของภาพขาเข้าที่เลื่อนไปในบริเวณรอบๆ ที่ตรงกันกับจุดควบคุมของภาพต้นแบบมากที่สุด (i_{BMC},j_{BMC}) และค่าเวคเตอร์นี้จะถูกรวมเก็บไว้ในแต่ละรอบของการวนซ้ำในการคำนวณซึ่งสามารถเขียนเป็นสมการที่ 3.7 และ 3.8

$$V_x(i_c,j_c)=i_c-i_{BM} \tag{3.7}$$

$$V_y(i_c,j_c)=j_c-j_{BM} \tag{3.8}$$

โดยที่ $V_x(i_c,j_c)$ คือ ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนตั้งที่ตำแหน่งจุดควบคุม i_c,j_c

$V_y(i_c,j_c)$ คือ ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งในแนวแกนนอนที่ตำแหน่งจุดควบคุม i_c,j_c

ขั้นตอนที่ 3 คำนวณหาเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดพิกเซลที่เหลือของภาพขาเข้าซึ่งการคำนวณนี้จะอยู่ภาพใต้สมมติฐานว่า พิกเซลที่อยู่ใกล้กับจุดควบคุมใดก็ควรจะมีค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งใกล้เคียงกับจุดควบคุมนั้น และการหาค่าจะใช้วิธีประมาณค่าจากค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งของจุดควบคุมที่หาได้มาจากขั้นตอนที่ 2 เพื่อการคำนวณที่รวดเร็วการประมาณค่าในระเบียบวิธีนี้จะใช้การประมาณค่าแบบเส้นตรง (Linear Interpolation) สำหรับหลักการของการประมาณค่าแบบเส้นตรงนั้น สามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.3 ซึ่งเป็นการประมาณค่าฟังก์ชัน f(x) ใดๆเมื่อรู้จุดผ่านของฟังก์ชัน 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 3.9

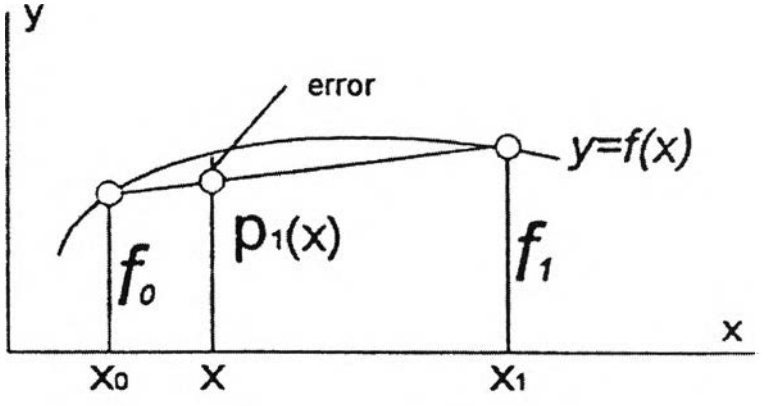
$$p(x)=f_0+(x-x_0)\times\frac{(f_1-f_0)}{(x_1-x_0)} \tag{3.9}$$

โดย $p(x)$ คือ ค่าประมาณที่ได้จากการประมาณค่าแบบเส้นตรง

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

x, x_0, x_1 คือ ตำแหน่งของฟังก์ชัน ที่จุดต้องการค่าประมาณ, จุดต้น และจุดปลาย

จากหลักการประมาณค่าที่กล่าวมาแล้วจะนำมาใช้ในการประมาณค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่งที่จุดพิกเซลรอบๆ จุดควบคุม



รูปที่ 3.3 การประมาณค่าแบบเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 4 ทำการสร้างภาพใหม่จากภาพขาเข้าเพื่อทำการแก้ไขทางตำแหน่ง (Geometric Correction) ของภาพขาเข้าที่มีการเพี้ยนไปให้ตรงสนิทกับภาพต้นแบบ โดยใช้ค่าเวคเตอร์การเลื่อนตำแหน่ง $\left(V_x(i_c, j_c), V_y(i_c, j_c)\right)$ ที่คำนวณได้จากขั้นตอนที่ 2 และ 3 ซึ่งค่านี้จะเป็นค่าที่บอกว่าตำแหน่งพิกเซล ในภาพขาเข้านั้นมีการเลื่อนตำแหน่งไปเท่าใดเมื่อเทียบกับตำแหน่งพิกเซลเดียวกันในภาพต้นแบบ โดยค่าความสว่างที่ตำแหน่งพิกเซล (i, j) ของภาพขาเข้า ($I(i, j)$) จะถูกเลื่อนตำแหน่งไปยังภาพใหม่ที่ตำแหน่ง (i', j') ซึ่งค่าตำแหน่งพิกเซลใหม่นี้หาได้โดยสมการที่ 3.10 และ 3.11

$$i' = i + V_x(i, j) \tag{3.10}$$

$$j' = j + V_y(i, j) \tag{3.11}$$

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 3.4 ซึ่งสมมติว่าตำแหน่งพิกเซลที่คำนวณได้ไปตกอยู่ในบริเวณของพิกเซล (k,l), (k+1,l), (k,l+1) และ (k+1,l+1) ดังนั้นค่าความสว่างของภาพขาเข้าที่ตำแหน่ง i,j ($I(i,j)$) ก็จะกระจายอยู่ภายใน 4 พิกเซลนี้ โดยขึ้นอยู่กับว่าพื้นที่ของตำแหน่งพิกเซลดังกล่าวไปตกอยู่ในบริเวณพิกเซลใดมากกว่ากัน 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 : $G(k+1,l) = A(k+1,l)I(i,j)$

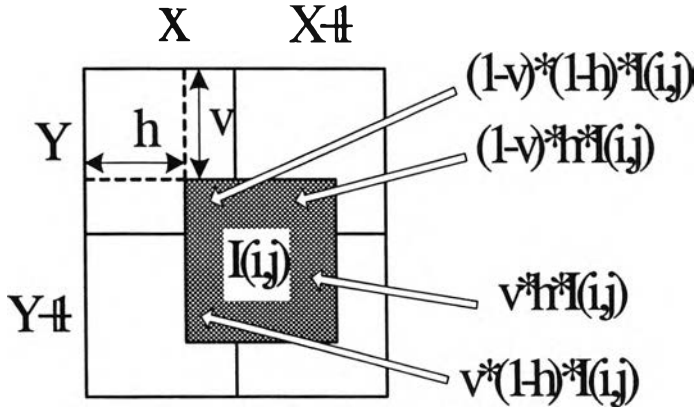
ค่าความสว่างที่กระจายไปในตำแหน่งพิกเซล k,l+1 : $G(k,l+1) = A(k,l+1)I(i,j)$

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 3.4 ตำแหน่งของพิกเซลใหม่ที่ไม่เป็นเลขจำนวนเต็ม จึงไปตกอยู่ในบริเวณพิกเซลอื่นๆอีก 4 พิกเซล

ในการคำนวณนี้จะใช้อาร์เรย์ 2 มิติขนาดเท่ากับขนาดของภาพใหม่ที่จะทำการสร้าง จำนวน 2 อาร์เรย์ โดยเป็น ค่า ผลรวมของค่าความสว่างของพิกเซลใดๆในภาพขาเข้าที่ตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล p,q ในภาพใหม่ ($G(p,q)$) และค่าผลรวมของพื้นที่ของพิกเซลในภาพขาเข้าที่ตกอยู่ในตำแหน่งพิกเซล p,q ในภาพใหม่ ($A(p,q)$) เมื่อคำนวนครบทุกจุดภาพขาเข้าและรวมเก็บไว้ในอาร์เรย์ทั้งสองแล้วค่าความสว่างของภาพใหม่ที่ตำแหน่ง p,q ($N(p,q)$) จะเท่ากับผลรวมความสว่างที่ตำแหน่ง พิกเซล p,q หารด้วยผลรวมของพื้นที่ที่ตำแหน่งพิกเซล p,q ดังสมการที่ 3.12

$$N(p,q) = G(p,q) / A(p,q) \qquad (3.12)$$

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

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

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

การนำเอาฟังก์ชันการปรับภาพให้ตรงกันกับภาพต้นแบบที่ได้อธิบายไปแล้วนั้นจะทำการปรับภาพขาเข้าให้ตรงสนิทกับภาพต้นแบบ สำหรับในการตรวจแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์นั้นจะทำการเปรียบเทียบภาพระหว่างภาพแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์อ้างอิงกับภาพแผ่นวงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ตรวจสอบและเพื่อต้องการปรับภาพให้ภาพทั้งสองตรงกันสนิทแล้วนำไปเปรียบเทียบภาพต่อไป

3.2.1.5 การสร้างภาพใหม่ (Image Restoration) หน้าที่ของฟังก์ชันนี้จะคล้ายกับการเน้นภาพ แต่จะต่างกันตรงที่ขบวนการนี้จะพยายามสร้างภาพขึ้นมาใหม่หรือนำข้อมูลกลับมาจากภาพเดิมที่ถูกทำให้ข้อมูลเลื่อมลง โดยใช้ความรู้พื้นฐานของปรากฏการณ์ที่ทำให้ภาพนั้นเสื่อมลง หรืออาจกล่าวได้ว่าเทคนิคทางด้านการสร้างภาพขึ้นใหม่ก็คือพยายามที่จะคำนวณหารูปแบบของการทำให้เสื่อมสภาพของข้อมูล (Degradation Model) และใช้ขบวนการย้อนกลับ (Reverse) เพื่อที่จะนำเอาข้อมูลเดิมกลับมา เช่น ในกรณีที่ข้อมูลภาพที่ถ่ายเข้ามาได้มีการเลื่อนเนื่องจากการเคลื่อนที่ของวัตถุ (Motion Blur) ดังนั้นในส่วนนี้ก็จะทำการคำนวณหารูปแบบของการเลื่อนว่ามีฟังก์ชันทางคณิตศาสตร์เป็นอย่างไร แล้วพยายามที่จะทำให้ข้อมูลส่วนที่เลือนนั้นหายไปโดยข้อมูลภาพส่วนสำคัญเดิมยังคงอยู่

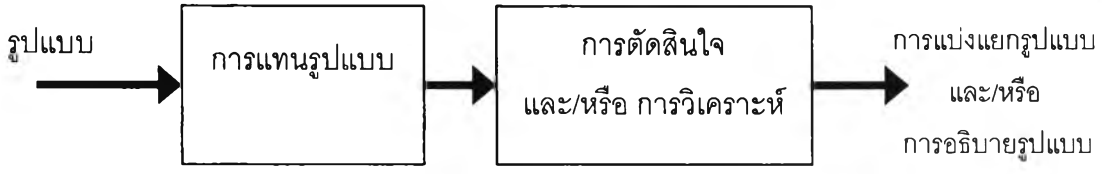
3.2.1.6 การดึงคุณลักษณะสำคัญ (Extraction), การให้คำอธิบาย (Description)

ส่วนนี้จะเป็นส่วนสำคัญส่วนหนึ่งของการประมวลผลภาพเพราะจะเป็นส่วนที่จะดึงค่า หรือวัดค่าคุณสมบัติจากข้อมูลที่ได้มาจากขบวนการแยกภาพในหัวข้อที่แล้ว ซึ่งข้อมูลที่จะทำการดึงออกมานี้

โดยทั่วไปจะเรียกว่า คุณลักษณะสำคัญ (Feature) ในทางอุดมคติแล้วคุณลักษณะสำคัญที่ดีไม่ควรจะขึ้นอยู่กันตำแหน่งของวัตถุ (Location) และการจัดวางวัตถุ (Orientation) ในภาพ และควรจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เพียงพอที่จะสามารถแยกแยะวัตถุหนึ่งออกจากวัตถุอื่นๆได้ โดยทั่วไปแล้วคุณลักษณะสำคัญที่ใช้ในงานด้านการประมวลผลและการรู้จำภาพในอุตสาหกรรม จะมาจากข้อมูลทางด้านรูปร่าง (Shape) และความเข้ม (Intensity) ของวัตถุสำหรับตัวอย่างของคุณลักษณะสำคัญต่างๆที่ใช้งานกัน เช่น ตำแหน่งจุดศูนย์ถ่วง (Centroid) ของวัตถุ, พื้นที่ของวัตถุ (Area), การวางตัวของวัตถุ เส้นรอบวงของวัตถุ เป็นต้น โดยที่คุณลักษณะสำคัญใดที่จะเหมาะสมกับการใช้งานนั้น จะขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบและพัฒนาระเบียบวิธีนั้นๆ ที่จะเลือกใช้คุณลักษณะสำคัญใดที่จะทำให้สามารถรู้จำวัตถุนั้นได้

3.2.1.7 การรู้จำ(Recognition), การเข้าคู่ (Matching)

จากค่าคุณลักษณะสำคัญต่างๆที่วัดและดึงออกมาได้จากขั้นตอนที่แล้ว จะถูกนำมาผ่านขบวนการนี้เพื่อทำการวิเคราะห์ว่าภาพของวัตถุที่กำลังวิเคราะห์นั้นเป็นวัตถุประเภทใดหรือวิเคราะห์ว่าวัตถุนั้นดีหรือเสียอย่างไร โดยส่วนประกอบของระบบรู้จำสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 ส่วนประกอบของระบบรู้จำ

ซึ่งประกอบด้วยส่วนของการแทนรูปแบบ (Pattern Representation) และส่วนของขบวนการตัดสินใจ (Decision Making) ในส่วนของการแทนรูปแบบนี้ จะเป็นขบวนการต่างๆที่กล่าวมาแล้ว ที่จะพยายามแทนรูปแบบ (Pattern) ที่ต้องการรู้จำให้อยู่ในรูปแบบข้อมูลที่สามารถรู้จำได้ สำหรับขั้นตอนของขบวนการตัดสินใจจะเกี่ยวข้องกับการเลือกเกณฑ์ในการตัดสินใจหรือการวัดค่าความคล้ายคลึง (Similarity Measure) ที่ใช้ในการตัดสินใจว่ารูปแบบนี้เป็นชนิดใด โดยทั่วไปแล้วเทคนิคทางด้านการรู้จำนี้สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 วิธี คือ

- การเข้าคู่ต้นแบบ (Template Matching)

เทคนิคนี้จะมีการเก็บเซตของต้นแบบ (template) โดยที่แต่ละต้นแบบก็จะเป็นตัวแทนของแต่ละชนิดของวัตถุที่จะทำการรู้จำ หลังจากนั้นรูปแบบที่ได้มาจากภาพที่กำลังวิเคราะห์ก็จะนำมา

เปรียบเทียบกับรูปแบบของต้นแบบของแต่ละชนิด เพื่อทำการแยกแยะว่าวัตถุที่เรากำลังสนใจในภาพนั้นเป็นวัตถุชนิดใด สำหรับหลักการแยกแยะ (Classification) จะขึ้นอยู่กับเกณฑ์ในการเปรียบเทียบ หรือค่าความคล้ายคลึง เช่น ค่าความสัมพันธ์ (Correlation) หรือพูดได้อย่างง่ายว่า รูปแบบขาเข้า (Input Pattern) จากภาพวัตถุที่กำลังวิเคราะห์จะถูกนำมาเปรียบเทียบกับรูปแบบต้นแบบของแต่ละชนิด ซึ่งถ้ารูปแบบขาเข้าตรงกันกับชนิดใดมากที่สุด ก็จะถือว่าเป็นวัตถุในชนิดนั้น

โดยทั่วไปแล้วรูปแบบขาเข้าที่ใช้ในการวิเคราะห์จะเก็บอยู่ในรูปของข้อมูลภาพ (Raw Image Data) ซึ่งการเปรียบเทียบส่วนใหญ่ก็จะเป็นการเปรียบเทียบภาพโดยที่ขบวนการในการตัดสินใจนั้นค่อนข้างง่ายเพราะการตัดสินใจจะดูจากค่าความคล้ายคลึงว่าภาพนี้ตรงกันกับภาพต้นแบบ (Reference Image) ใดมากที่สุด สำหรับตัวอย่างการใช้งานของเทคนิคนี้ เช่น ใช้ในการรู้จำตัวพิมพ์ (Printed Character Recognition) เป็นต้น สำหรับข้อเสียของเทคนิคนี้คือ วิธีการที่จะเลือกต้นแบบที่ดีของแต่ละชนิดและการเลือกเกณฑ์ในการเข้าคู่ (Matching Criterion) ที่เหมาะสม และนอกจากนี้เมื่อมีส่วนของการผิดเพี้ยน (Distortion) ของข้อมูลเกิดขึ้น รูปแบบที่วิเคราะห์ก็จะทำให้เทคนิคนี้ใช้งานไม่ได้ผล

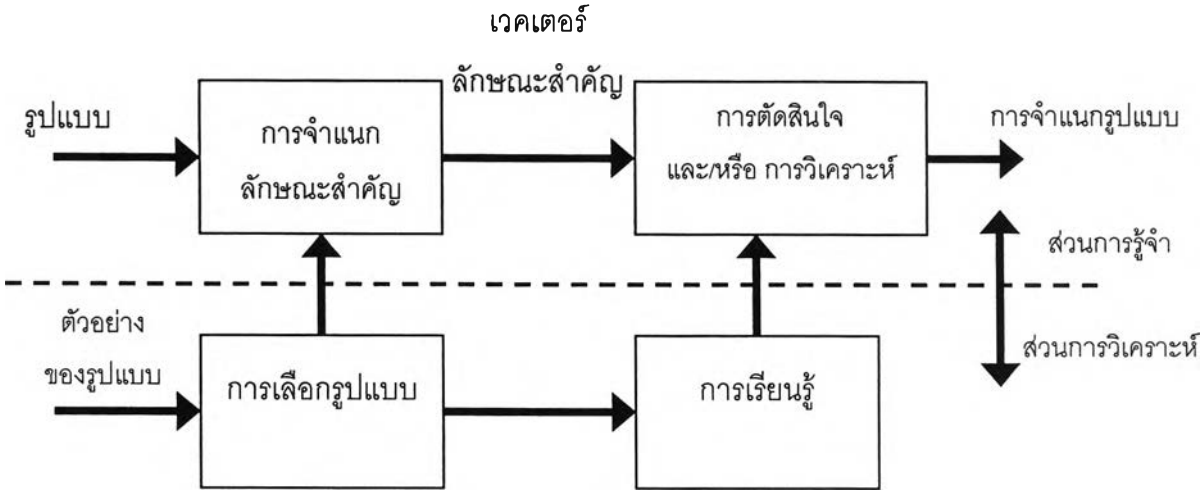
- การรู้จำโดยใช้ทฤษฎีทางด้านการตัดสินใจ (Decision Theoretic)

เทคนิควิธีนี้บางทีอาจเรียกว่าการรู้จำทางสถิติ (Statistic Pattern Recognition) โดยที่รูปแบบจะถูกแทนที่ให้อยู่ในรูปของเซตของเวคเตอร์คุณลักษณะสำคัญขนาดมิติ N (N – Dimension Feature Vector) และขบวนการในการตัดสินใจจะใช้หลักการของการวัดค่าความคล้ายคลึง หรือฟังก์ชันที่แยกแยะความแตกต่าง (Discriminate Function) โดยที่คุณลักษณะสำคัญของรูปแบบอ้างอิงของแต่ละชนิดจะอยู่ในรูปแบบของความน่าจะเป็นหรืออาจจะอยู่ในรูปของฟัซซี่เซต (Fuzzy Set) และขบวนการในการแยกแยะว่ารูปแบบที่กำลังพิจารณาเป็นของชนิดใดก็จะใช้หลักการในการตัดสินใจทางสถิติ (Statistical Decision Rule) หรืออาจจะอยู่ในรูปของฟังก์ชันสมาชิก (Membership Function) ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.6

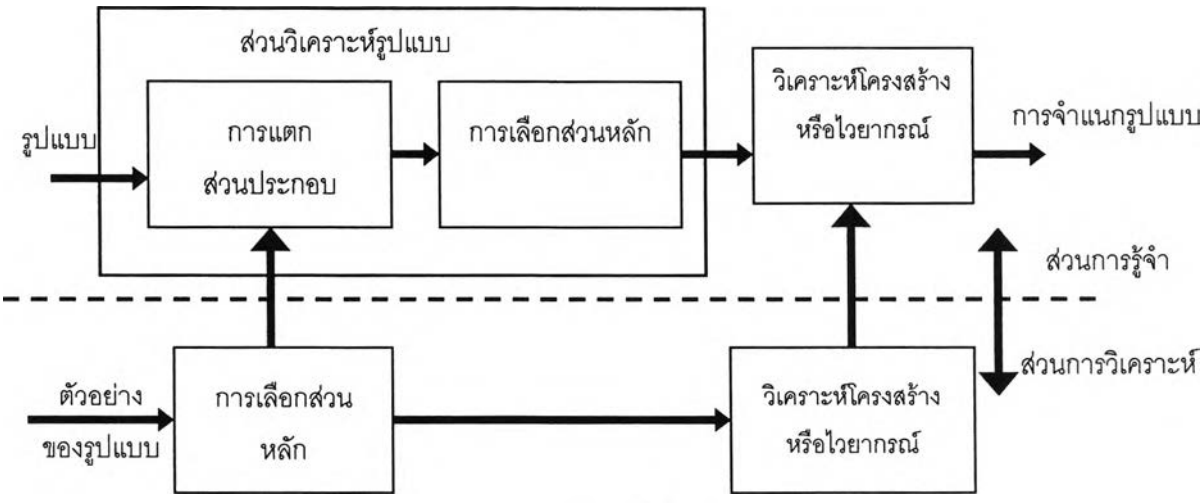
สำหรับเทคนิคการเข้าคู่ต้นแบบ อาจจะพิจารณาเป็นกรณีพิเศษของเทคนิคก็ได้ กล่าวคือ แต่ละรูปแบบถูกแทนด้วยเวคเตอร์คุณลักษณะสำคัญ (Feature Vector) และขบวนการต่างๆในการตัดสินใจก็จะใช้การวัดค่าคล้ายคลึงกับแบบธรรมดา เช่น ค่าความสัมพันธ์ ตัวอย่างการใช้งานของเทคนิคนี้ เช่น การรู้จำตัวอักษร (Character Recognition), การวิเคราะห์ข้อมูลภาพทางการแพทย์ (Biomedical Image Analysis), การวิเคราะห์ภาพถ่ายทางอากาศ (Remote Sensing), การตรวจสอบและระบุวัตถุเป้าหมาย (Target Detection and Identification) , การตรวจสอบชิ้นงาน (Part Inspection)

- การรู้จำโดยใช้วิธีทางโครงสร้างไวยากรณ์ (Structural/Syntactic Pattern Recognition)

สำหรับวิธีนี้รูปแบบจะแสดงอยู่ในรูปของโครงสร้างข้อมูลแบบต่างๆ เช่น สตริง (String), ทรี (Tree), กราฟ (Graph) ของรูปแบบพื้นฐาน (Primitive) และความสัมพันธ์ (Relation) ของรูปแบบเหล่านี้ โดยขบวนการในการตัดสินใจจะใช้วิธีการตรวจความถูกต้องของไวยากรณ์ (Syntax Analyzer or Parser) นอกจากนี้ในบางกรณียังใช้วิธีการวัดค่าความคล้ายคลึงระหว่าง สตริง, ทรี, กราฟ ที่ได้จากภาพต้นแบบเปรียบเทียบกับที่ได้จากภาพวัตถุที่กำลังพิจารณา ซึ่งแสดงได้ดังรูปที่ 3.7



รูปที่ 3.6 บล็อกไดอะแกรมของระบบการรู้จำโดยใช้ทฤษฎีทางด้านการตัดสินใจ



รูปที่ 3.7 บล็อกไดอะแกรมของระบบการรู้จำโดยใช้วิธีทางโครงสร้าง / ไวยากรณ์

สำหรับเทคนิคทางด้านการเข้าคู่ต้นแบบ สามารถมองให้อยู่ในรูปของเทคนิคนี้ได้โดยพิจารณาว่ารูปแบบที่ใช้อยู่ในรูปของ สตริง, ทรี, กราฟ ของรูปแบบพื้นฐาน และขบวนการในการตัดสินใจจะใช้หลักการของการวัดค่าความคล้ายหรือระยะห่างระหว่าง สตริง, ทรี, กราฟ ตัวอย่างการใช้งานของเทคนิคนี้ เช่น การรู้จำตัวอักษร (Character Recognition) , การรู้จำเสียงพูด (Speech Recognition), การจำแนกลายนิ้วมือ (Fingerprint Classification), การรู้จำวัตถุ (Object recognition)

3.3 เทคนิคและระเบียบวิธีที่ใช้ในการตรวจสอบภาพชิ้นงานอัตโนมัติ [6], [7]

ในปัจจุบันงานวิจัยทางด้านเทคนิคในการตรวจสอบภาพชิ้นงานสามารถ แบ่งออกได้เป็น 3 วิธีหลักๆ คือ (1) วิธีเปรียบเทียบภาพแบบจุดต่อจุด (Pixel-by-pixel Image Comparison) ระหว่างภาพที่ต้องการตรวจสอบกับภาพอ้างอิง (2) วิธีตรวจสอบคุณลักษณะสำคัญ (Feature Inspection) (3) วิธีทวนสอบคุณสมบัติ (Generic Property Verification) สำหรับรายละเอียดของแต่ละวิธีอธิบายได้ดังนี้

3.3.1 วิธีการเปรียบเทียบภาพแบบจุดต่อจุด

หลักการของวิธีนี้ค่อนข้างง่าย คือ จะใช้การเปรียบเทียบแบบจุดต่อจุดของภาพที่ต้องการตรวจสอบกับภาพอ้างอิงที่เห็นไว้เป็นมาตรฐาน โดยจะเก็บภาพอ้างอิงที่ไม่มีจุดบกพร่อง (Defect Free) และเก็บไว้ในหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ล่วงหน้า ซึ่งในที่นี้เรียกว่า P(x,y) หลังจากนั้นจะถ่ายภาพชิ้นงานที่ต้องการตรวจสอบ (W(x,y)) โดยก่อนที่จะทำการเปรียบเทียบจะต้องทำการปรับตำแหน่ง (Alignment) ของภาพทั้งสองให้ตรงกันก่อนแล้วจึงทำการลบภาพ P(x,y) จาก W(x,y) ได้ภาพผลลัพธ์ออกมาเป็น D(x,y) โดยที่ D(x,y) คือ ค่าสัมบูรณ์ (Absolute) ของการลบกันของทั้งสองภาพ ถ้า D(x,y) เท่ากับศูนย์ แสดงว่าภาพทั้งสองเหมือนกันมากที่สุด แต่ถ้าค่าในตำแหน่ง x,y ใดของ D(x,y) ที่มีค่าสูงกว่าค่าขีดเริ่มเปลี่ยน (Threshold) ที่กำหนดเอาไว้ ก็จะถือว่าเป็นตำแหน่งของพิกเซลที่เป็นจุดเสีย (Defective Pixel)

3.3.2 วิธีตรวจสอบคุณลักษณะสำคัญ

สำหรับวิธีนี้จะไม่ทำการเก็บภาพต้นแบบไว้แต่จะเก็บค่าคุณลักษณะสำคัญ (Feature) ที่วัดออกมาได้จากภาพต้นแบบที่ไม่มีจุดบกพร่อง และเก็บไว้เป็นค่าอ้างอิง (F(p)) หลังจากนั้นการตรวจสอบก็จะทำการวัดคุณลักษณะสำคัญออกมาโดยใช้วิธีเดียวกันกับที่ใช้ในการเก็บค่าเวคเตอร์อ้างอิง และทำการคำนวณออกมาได้เท่ากับ F(w) หลังจากนั้นจึงนำมาคำนวณหาค่าแตกต่างของเวคเตอร์ (Feature Different Vector) D(w) = F(w) – F(p) และใช้ค่านี้ในการตรวจสอบตามเกณฑ์ตรวจสอบ (Inspection Criteria) ที่กำหนดไว้เพื่อจะตรวจหาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้น

3.3.3 วิธีทวนสอบคุณสมบัติ

โดยทั่วไปแล้ววิธีนี้อาจเรียกว่า Non-reference Method เนื่องจากวิธีนี้จะไม่มีการเก็บค่าต่างๆ จากภาพต้นแบบเอาไว้เป็นค่าอ้างอิงอย่าง 2 วิธีแรก แต่วิธีนี้จะใช้ฐานความรู้ (Knowledge Base) ของคุณสมบัติของชิ้นงานที่จะตรวจสอบ โดยที่ฐานความรู้เหล่านี้จะอยู่ในรูปของเซตของกฎ (rule) ที่กำหนดคุณสมบัติที่ดีของชิ้นงานต่างๆ ส่วนใหญ่แล้ววิธีนี้จะใช้การตรวจสอบคุณสมบัติในพื้นที่เล็กของภาพโดยจะใช้กรอบวินโดวส์ขนาดเล็กๆเคลื่อนที่ไปในบริเวณรอบๆภาพชิ้นงานที่ต้องการจะตรวจสอบ ซึ่งถ้าในขณะใดส่วนของภาพในกรอบวินโดวส์ที่กำลังพิจารณานั้น มีคุณสมบัติที่ขัดแย้งกับกฎที่ตั้งไว้ก็จะถือว่าชิ้นงานมีจุดบกพร่องบริเวณนั้น

3.4 งานวิจัยที่ใกล้เคียง

ในขั้นตอนการพัฒนาอัลกอริทึมในการตรวจสอบนั้นได้เริ่มจากการค้นคว้าสำรวจงานวิจัยที่ใกล้เคียง จากการค้นคว้าสำรวจพบได้ว่าอัลกอริทึมในการตรวจสอบต่างๆ ในงานวิจัยนั้นส่วนใหญ่แล้วจะอยู่บนพื้นฐานของการเปรียบเทียบภาพระหว่างภาพต้นแบบ และภาพทดสอบแบบจุดต่อจุด (Pixel by Pixel Image Comparison) ซึ่งรายละเอียดของแต่ละงานวิจัยมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับการนำไปประยุกต์ใช้งาน และเทคนิคต่างๆ โดยสามารถนำมาสรุปได้ดังต่อไปนี้

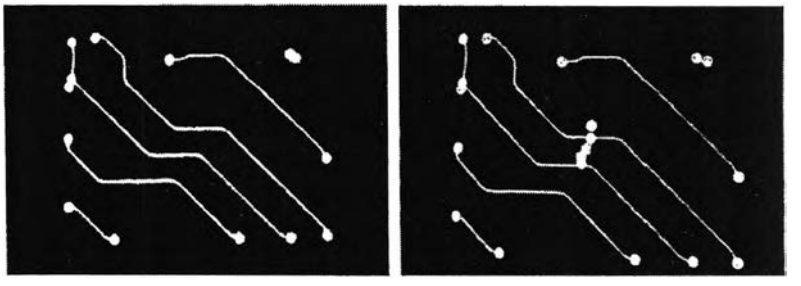
1. Recognition of Pattern Defect of Print Circuit Board using Topological Information (Nakamachi, Koganei) [1]

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาและพัฒนาการตรวจสอบลายเส้นทองแดงบนแผ่นวงจรพิมพ์ อัลกอริทึมที่ใช้อยู่บนพื้นฐานเทคนิคการเปรียบเทียบภาพระหว่างภาพอ้างอิง และ ภาพทดสอบมาใช้ในการตัดสินใจ สามารถแบ่งออกเป็นส่วนๆ ได้ดังนี้

- การทำภาพให้เป็นภาพ Binary แล้วทำการกรอง หรือลดทอนสิ่งที่เราไม่สนใจในภาพออกโดยจะทำทั้งภาพอ้างอิง และภาพทดสอบ จากนั้นอัลกอริทึมการทำภาพให้มีความคมชัด หรือดึงส่วนที่เราสนใจที่ต้องการพิจารณาออกมาให้ชัดเจนที่สุด โดยในงานวิจัยใช้เทคนิคในการทำให้ภาพลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ให้เป็นภาพในลักษณะกราฟ หรือการทำภาพให้ลักษณะลายเส้นเป็นเส้นขนาดเล็กที่สุด
- การปรับตำแหน่ง (Positioning) เป็นอัลกอลิทึมที่สำคัญเนื่องจากในการนำภาพสองภาพมาเปรียบเทียบกันนั้น ตำแหน่งของภาพควรตรงกัน และเป็นบริเวณเดียวกันมาก

ที่สุด ทำโดยใช้การปรับตำแหน่ง ซึ่งจะนำภาพลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่ต้องการทดสอบมาปรับตำแหน่งให้ตรงกันกับภาพอ้างอิง โดยการวัดค่า Normalized Correlation ของ Horizontal / vertical Projection Profile ของลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งสองในการหาตำแหน่งที่ตรงกันของภาพลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ทั้งสอง

- การเปรียบเทียบภาพ โดยในส่วนนี้จะใช้เทคนิคในการเปรียบเทียบภาพโดยตรง ภาพที่นำมาทำเป็นภาพที่ผ่านการปรับปรุงและสร้างเป็นกราฟในเบื้องต้น เราจะทำการแบ่งภาพออกเป็นส่วน ๆ แต่ละส่วนจะแบ่งให้ชัดเจนว่าช่วงสีใดเป็นพื้นเป็นทองแดง(ตัวนำ) และฉนวน แล้วนำเปรียบเทียบกันเพื่อหาความแตกต่างที่เกิดขึ้น ดังรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 กราฟมาตรฐาน และ กราฟที่ตรวจสอบ

2. Automated Pattern Inspection System for PCB Photomasks Using Design Pattern Comparison Method (Toshimitsu,H) [2]

งานวิจัยนี้ได้พัฒนาระบบการตรวจสอบสำหรับตรวจสอบจุดบกพร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งในที่นี้ทำการตรวจหาจุดพลาดบนแผ่นวงจรพิมพ์ ที่เป็น ลายวงจรเปิด ลัดวงจร ส่วนยื่น ส่วนเว้า เป็นหลัก โดยพัฒนาในส่วนของอัลกอริทึมที่ใช้ในการตรวจสอบที่อยู่บนพื้นฐานของการเปรียบเทียบภาพแบบจุดต่อจุด กล่าวคือ จะนำภาพที่เกิดจากการลบกันระหว่างภาพอ้างอิง และภาพที่ต้องการทำการตรวจสอบ ซึ่งจะทำผ่านภาพที่เป็นระดับสี (Multi – threshold level) แล้วทำหน้าต่างครอบบริเวณ ในการวิเคราะห์จะทำในพื้นฐานของรูปสัญญาณไบนารี่ (Binary Signal) ที่ต้องการพิจารณาแล้วจึงนำมาตัดสินใจชิ้นงานที่ตรวจสอบ

3. A Comparative Study on Adaptive Lattice Filter Structures in the Context of Defect Detection (Meylani,R) [4]

งานวิจัยนี้กล่าวเกี่ยวกับการพัฒนาระบบโครงสร้างของกระบวนการกรองสัญญาณรบกวน (Filter) ที่นำมาใช้กับภาพที่เป็นดิจิตอลที่อยู่ใน Gray Level ซึ่งจะกล่าวถึง การทำ Filter แบบ สาม สี่ และแปดตัวแปร ซึ่งเทคนิคและอัลกอริทึมดังกล่าวสามารถนำมาประยุกต์ใช้หาจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นในภาพได้โดยการแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อยที่เรียกว่าแบ่งออกเป็นหน้าต่าง (Windows) โดยในการกำหนดขนาดหน้าต่างที่เราจะนำไปครอบบริเวณจุดที่เราสนใจซึ่งพิจารณาให้เหมาะสมเพื่อขนาดหน้าต่างที่กำหนดไม่หยาบ หรือ ละเอียดเกินไปเนื่องจากถ้าเรากำหนดหยาบไป ในบางครั้งสิ่งที่เราสนใจอาจจะไม่อยู่ในบริเวณพื้นที่หน้าต่างครอบ หรือ ถ้าละเอียดเกินไปก็จะทำให้เสียเวลาในการประมวลผลเป็นต้น อีกทั้งสิ่งที่งานวิจัยนี้นำมาพิจารณา คือ การปรับระดับสีภาพ (Thresholding) ให้เหมาะสม เพื่อที่จะได้ภาพที่เหมาะสม และนำไปสู่กระบวนการประมวลผลภาพที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดต่อไป