สำนักงานวิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การทดสอบ และผลการทดสอบ

จากโปรแกรมการตรวจสอบจุดบกพร่องที่เกิดบนแผ่นวงจรพิมพ์ที่สร้างขึ้นตามอัลกอริทึมการตรวจสอบต่างๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในหัวข้อนี้จะนำโปรแกรมที่สร้างขึ้นมาทำการทดสอบโดยนำมาใช้ตรวจสอบหาจุดบกพร่องจำลองของลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ เพื่อนำมาสรุปความสามารถของอัลกอริทึมว่าเป็นอย่างไร

5.1 โปรแกรมการตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น

การทดสอบโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้น สิ่งที่สำคัญมากที่สุด ในการทดสอบของโปรแกรมคือการทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นว่ามีความสามารถเพียงพอที่จะตรวจหาจุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ได้หรือไม่ และเพื่อให้สามารถทดสอบการทำงานของอัลกอริทึมที่พัฒนาขึ้นได้จริงจึงทำการสร้างโปรแกรมการตรวจสอบจากเทคนิคต่างๆ ที่ได้กล่าวไปแล้ว โดยแบ่งเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนตั้งค่าซึ่งจะให้ผู้ใช้ตั้งค่าต่างๆ ที่จำเป็นต่อการตรวจสอบ รวมถึงค่าอื่นๆ ที่ทำให้ระบบสามารถทำงานได้อย่างรวดเร็วมากขึ้น และส่วนตรวจสอบซึ่งจะทำการตรวจสอบภาพของแผ่นวงจรพิมพ์แล้วแสดงผลให้แก่ผู้ตรวจสอบทราบว่าภาพแผ่นวงจรพิมพ์นั้นๆ มีข้อจุดบกพร่องจำลองหรือไม่

ดังที่กล่าวไว้แล้วว่า ลักษณะของจุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์นั้นเกิดขึ้นได้หลายลักษณะ เช่น วงจรเปิด ลัดวงจร เกิดรอยเว้า เกิดรอยนูน และเกิดส่วนเกิน จากข้อมูลที่ได้จากผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ กล่าวได้ว่าจุดบกพร่องที่เกิดขึ้นหลากหลายนั้น จุดบกพร่องที่ส่งผลทำให้ลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์ไม่สามารถทำงานได้ปกติ เกิดขึ้นมาจากจุดบกพร่องแบบ วงจรเปิด และการลัดวงจร โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจึงแยกแยะ และแสดงผลการตรวจสอบจากการแสดงผลจุดบกพร่องจำลองทั้งหมดออกมาเป็นจุดบกพร่องจำลองแบบลัดวงจร และวงจรเปิด

5.2 การทดสอบการทำงานโปรแกรม

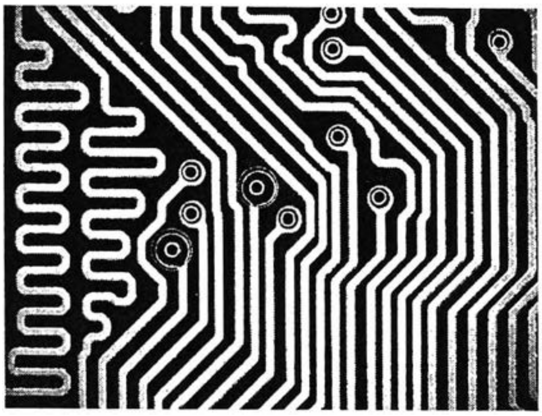
การทดสอบการทำงานของโปรแกรมนั้น เพื่อความสะดวกแล้วจะทำการทดลองโดยการนำภาพที่ได้จากกล้องดิจิตอลในโรงงานผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ ซึ่งเป็นภาพที่ใช้งานจริงอยู่แล้วโดยมีขนาดภาพ 640x480 พิกเซล เนื่องจากการนำระบบไปทดสอบกับกระบวนการจริงนั้นค่อนข้างยุ่งยากเพราะต้องนำโปรแกรมไปติดตั้งร่วมกับอุปกรณ์ต่างๆ เช่น กล้องดิจิตอล เป็นต้น ซึ่งต้องใช้การออกแบบ และระยะเวลานานในการสร้าง แต่เพื่อให้ผลการทดสอบเป็นที่น่าเชื่อถือได้ จึงพยายามจัดสภาพแวดล้อมต่างๆที่ใช้ในการทดสอบให้ใกล้เคียงกับสภาพของกระบวนการผลิตจริงมากที่สุด โดยสภาพแวดล้อมต่างๆ ที่ได้สร้างขึ้นมีดังนี้

5.2.1 ภาพที่ใช้ทำการทดสอบ

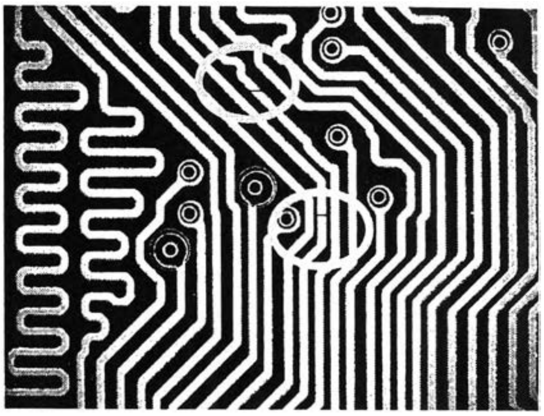
ในการทดสอบอัลกอริทึมการตรวจสอบจุดบกพร่องของโปรแกรมจะใช้ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ในสองลักษณะ คือ ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลายวงจรสมบูรณ์ไม่มีจุดบกพร่อง (ภาพอ้างอิง) และภาพแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นบนลายวงจร (ภาพทดสอบ) ซึ่งรายละเอียดภาพทั้งสองสามารถกล่าวได้ดังนี้

- ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ทีมีลายวงจรสมบูรณ์ไม่มีจุดบกพร่อง (ภาพอ้างอิง) ได้มาจากโรงงาน โดยขั้นตอนคร่าวๆ ได้มาจากการนำแผ่นวงจรพิมพ์มาทำการยึดปรับให้อยู่ในแนวแกนพิกัด x, y ที่กำหนด โดยในส่วนของกล้องต้องกำหนดการแบ่งถ่ายภาพแผ่นวงจรพิมพ์ที่ต้องการถ่ายด้วยว่าจะแบ่งการถ่ายภาพออกเป็นกี่ส่วนในหนึ่งแผ่นวงจรพิมพ์ เพราะแผ่นวงจรพิมพ์มีขนาดไม่เท่ากัน ลายเส้นวงจรก็ไม่เท่ากัน ซึ่งต้องพิจารณาจากหลายเงื่อนไข ซึ่งลักษณะภาพถ่ายที่ได้เป็นดังรูปที่ 5.1(ก)

- ส่วนแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีจุดบกพร่องเกิดขึ้นบนแผ่นวงจรพิมพ์ (ภาพทดสอบ) เนื่องจากต้องการแผ่นวงจรพิมพ์ ที่มีจุดบกพร่องให้ครบทุกแบบหลากหลายทั้งบริเวณที่เกิด และขนาดความกว้างที่เกิดขึ้น ได้นำภาพอ้างอิงที่นำมาจากโรงงานมาทำการปรับเปลี่ยนให้เกิดมีจุดบกพร่องแบบต่างๆ ทั้ง 6 แบบ ครบถ้วน อีกทั้งยังสามารถสร้างจุดบกพร่องที่มีขนาดความกว้างที่เกิดขึ้นเล็กสุดที่น่าจะเกิดขึ้นได้จริง คือขนาดความกว้างของจุดบกพร่องขนาด 1 พิกเซล ดังแสดงในรูปที่ 5.1(ข) แต่ภาพที่ได้ในลักษณะดังกล่าวอาจจะกล่าวได้ว่าเป็นภาพที่ไม่สามารถใช้แทนภาพของแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีลายวงจรแบบที่เกิดจุดบกพร่องจริงไม่ได้ครบทุกสภาวะแวดล้อม



(ก)

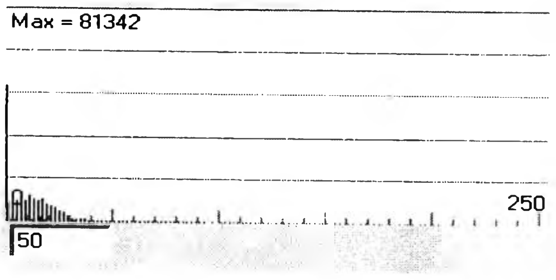


(ข)

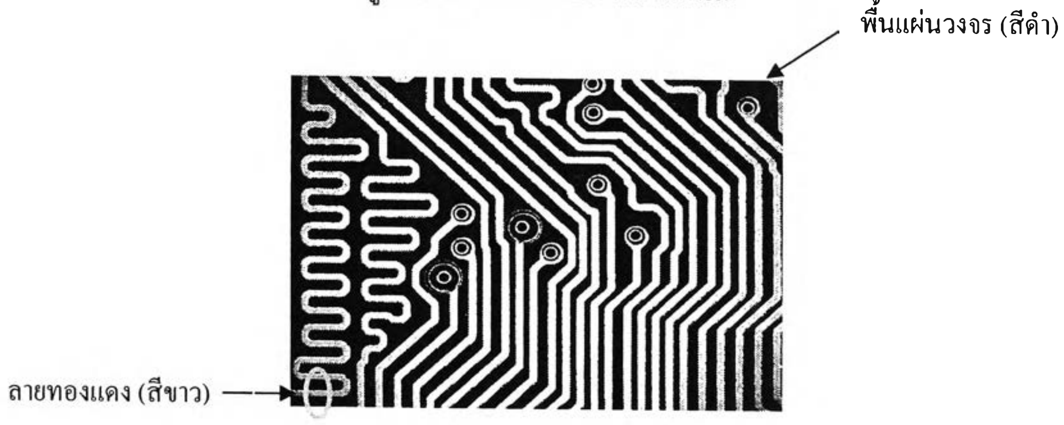
รูปที่ 5.1 ภาพที่ใช้ในการทดสอบ (ก) ภาพอ้างอิง (ข) ตัวอย่างภาพทดสอบที่เกิดจุดบกพร่องจำลอง

5.2.2 โปรแกรมที่ใช้ทดสอบ

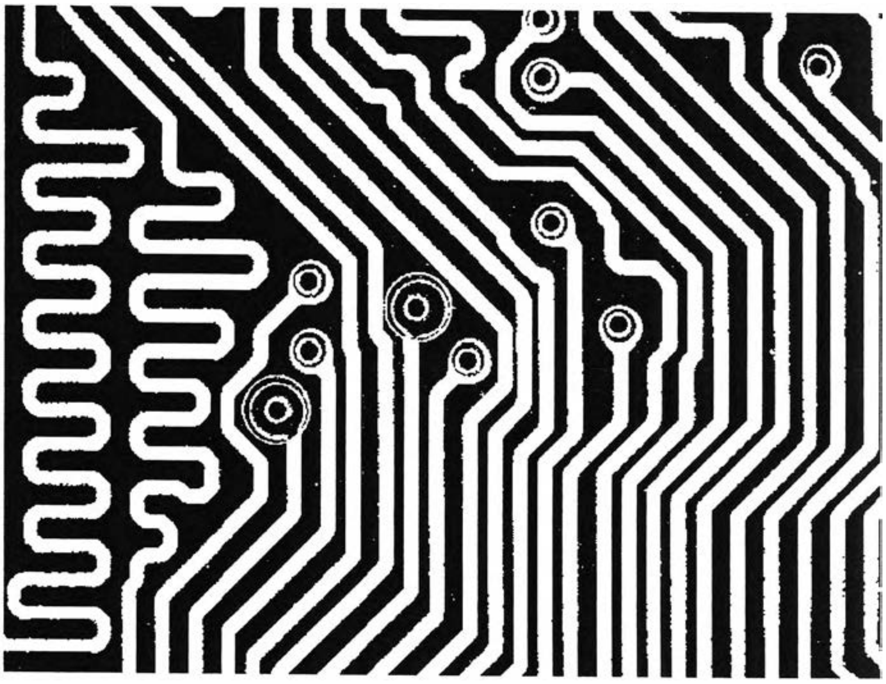
การทำงานของโปรแกรมจะมีค่าที่ผู้ใช้งานต้องพิจารณา เป็นค่าที่ผู้ใช้โปรแกรมต้องทำการกำหนดให้กับโปรแกรม คือค่าระดับการเปลี่ยนสี (Threshold) ของภาพ โดยปกติแล้วระดับสีของภาพใน Gray Scale จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 – 256 ระดับสี กระบวนการนี้ คือ การแบ่งส่วน (Segmentation) ซึ่งจากการทดลองโปรแกรม ภาพที่ใช้เป็นภาพลายเส้นวงจร ซึ่งจะมีความตกต่างของภาพอยู่สองส่วน คือ ส่วนที่เป็นทองแดง (ลายเส้นวงจร) และส่วนที่เป็นแผ่นวงจรพิมพ์ ดังนั้นจึงต้องทำการแบ่งให้ชัดเจนก่อนว่าจะแบ่งระดับสีที่ค่าใดจึงถือว่าเหมาะสม โดยในที่นี้เราจะทำการแบ่งระดับสี เป็น 0-50 เป็นสีดำ (แผ่นวงจรพิมพ์) เกินกว่านั้นให้เป็นขาว(ทองแดง) ถือเป็นค่าที่ค่อนข้างเหมาะสม แต่ก็ขึ้นกับภาพที่นำมาทดสอบเป็นสำคัญ การแบ่งค่าระดับการเปลี่ยนสีแสดงในรูป 5.2 ถึง 5.6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่ากำหนดค่าไม่เหมาะสมจะไม่สามารถนำภาพไปทำการประมวลผลได้ จากนั้นก็เข้าสู่การทำการกรอง หรือปรับให้ภาพชัดเจนขึ้นซึ่งทุกขั้นตอนต้องทำทั้งภาพอ้างอิง และภาพที่นำมาทดสอบ จากนั้นจึงได้ภาพที่พร้อมจะทำการเปรียบเทียบเพื่อหาจุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นต่อไป



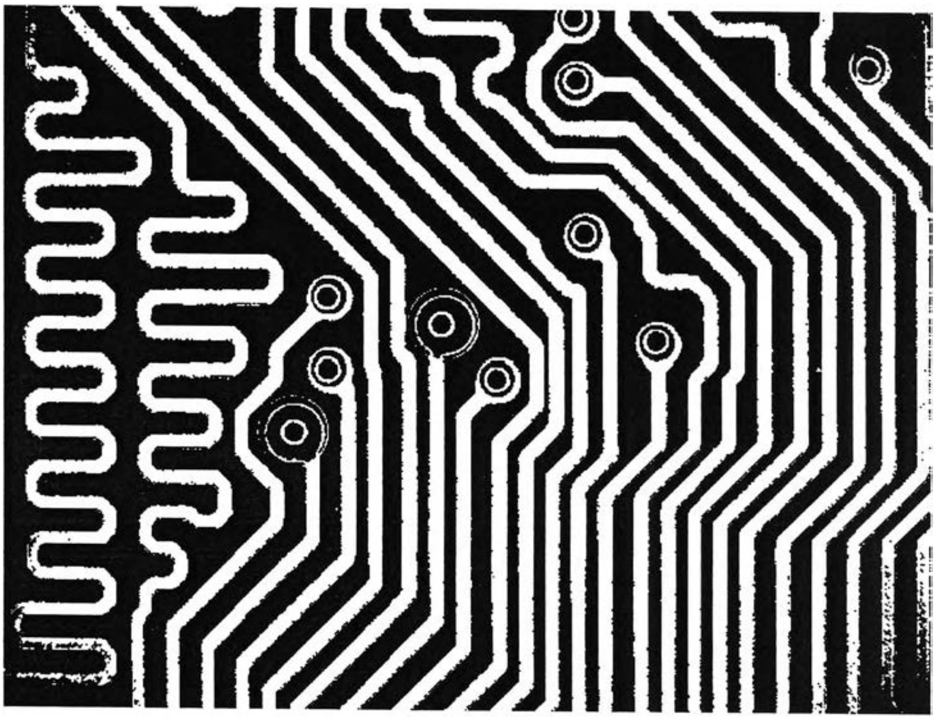
รูปที่ 5.2 แบ่งระดับการเปลี่ยนสี



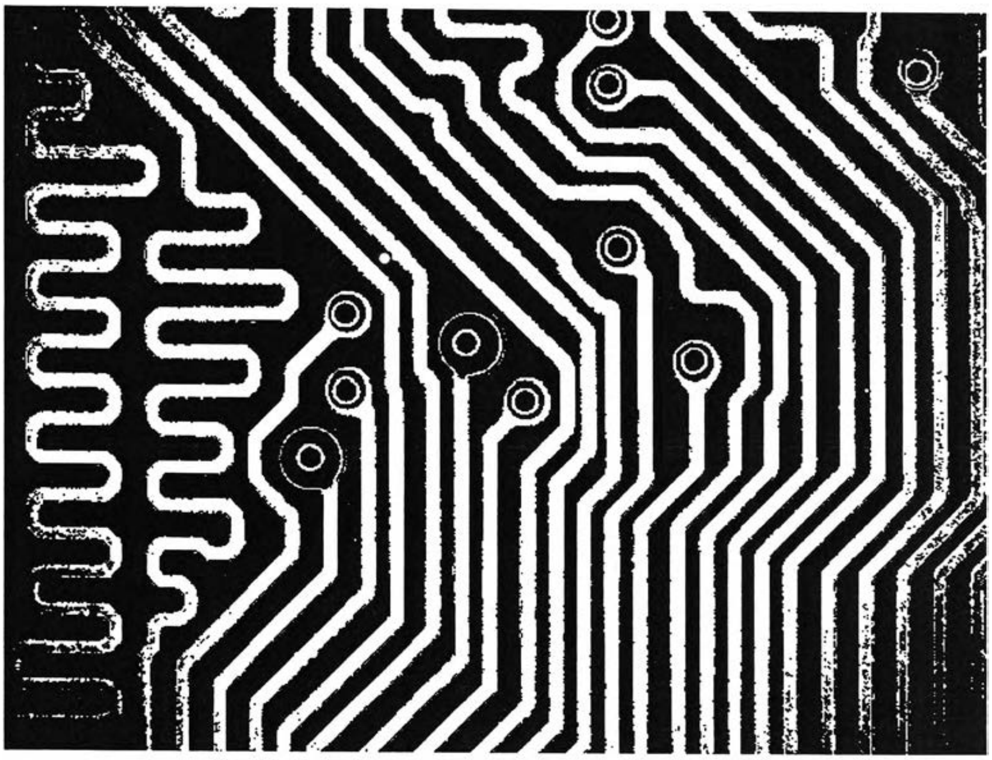
รูปที่ 5.3 ภาพที่ผ่านกระบวนการกรอง



รูปที่ 5.4 แสดงภาพที่ตั้งค่าระดับแบ่งสีที่ 50



รูปที่ 5.5 แสดงภาพที่ตั้งค่าระดับสีที่ 150



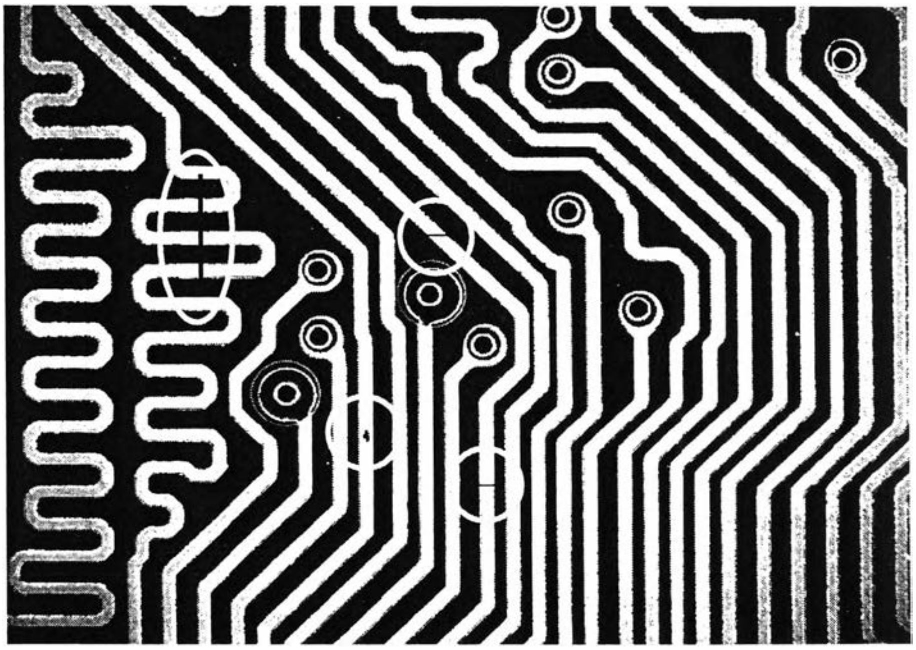
รูปที่ 5.6 แสดงภาพที่ตั้งค่าระดับสีที่ 200

5.3 ตัวแปรที่ทำการศึกษา และทดสอบ

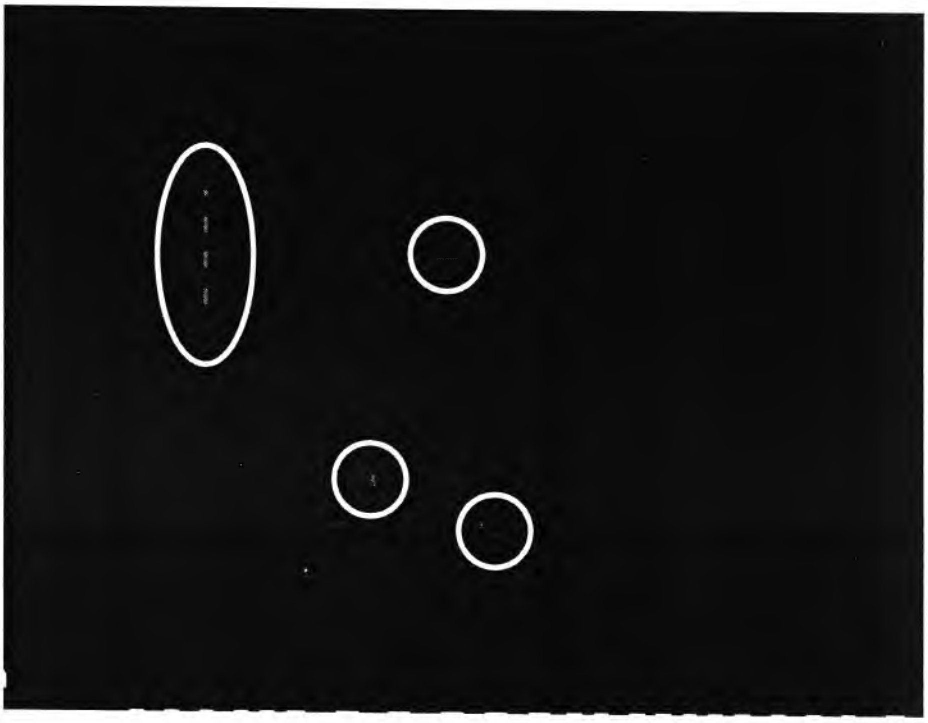
5.3.1จุดบกพร่องที่สามารถตรวจสอบได้

หลักการของอัลกอริทึมการตรวจสอบจุดบกพร่องที่ออกแบบนี้ ทำงานอยู่บนพื้นฐานของการนำภาพสองภาพมาเปรียบเทียบกันระหว่างภาพอ้างอิง กับภาพทดสอบ แบบพิกเซลต่อพิกเซล (Pixel by Pixel) โดยจะทำการเปรียบเทียบตลอดทั้งภาพ ซึ่งผลที่ได้จะได้ภาพที่มีแตกต่างระหว่างภาพทั้งสอง เพื่อใช้นำมาเป็นตัวบ่งชี้ว่าภาพที่นำมาทดสอบมีความแตกต่างจากภาพอ้างอิงบริเวณไหนบ้าง และสามารถบ่งชี้ได้ว่าความแตกต่างที่เกิดบริเวณไดที่มีจุดบกพร่องแบบวงจรเปิด หรือ ลัดวงจร ดังแสดงในรูป 5.7 ถึง 5.12 ตามลำดับ

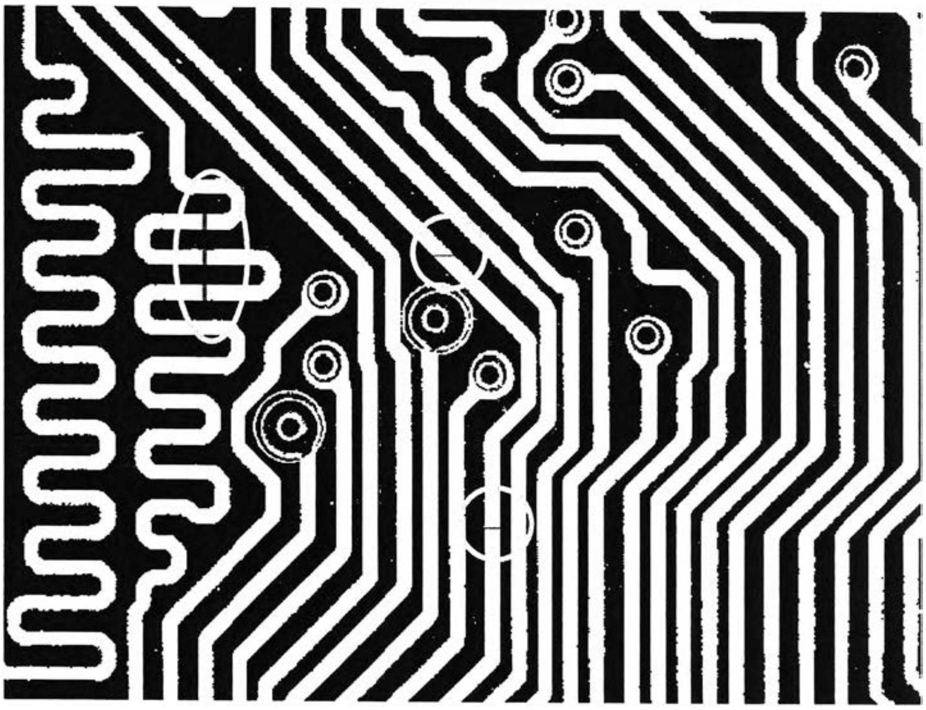
จำนวนจุดที่โปรแกรมสามารถทำการตรวจรู้ได้ว่าเกิดความแตกต่างขึ้น จากการทดลองจำนวนพิกเซลที่สามารถหาพบว่ามีความแตกต่างกันคือหนึ่งพิกเซล โดยความแตกต่างดังกล่าวในทางปฏิบัติแล้วไม่มีผลต่อการทำงานของแผ่นวงจรพิมพ์แต่อย่างใด ซึ่งจุดบกพร่องจำลองดังกล่าวอาจส่งผลมาจากการกำหนดระดับสีที่ไม่เหมาะสม เป็นต้น



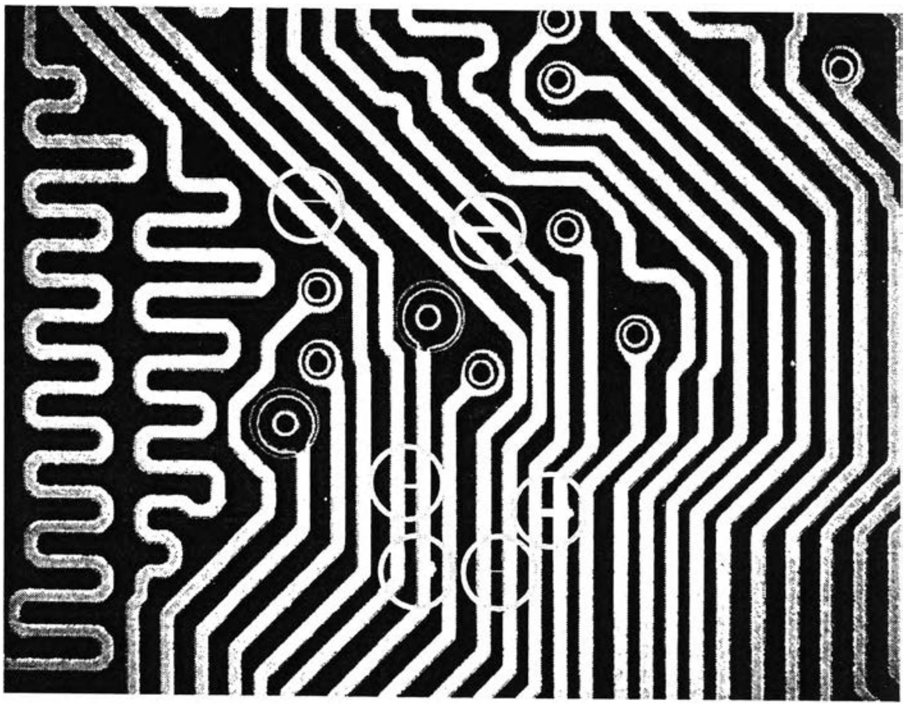
รูปที่ 5.7 ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบมีจุดบกพร่องจำลองแบบวงจรเปิด



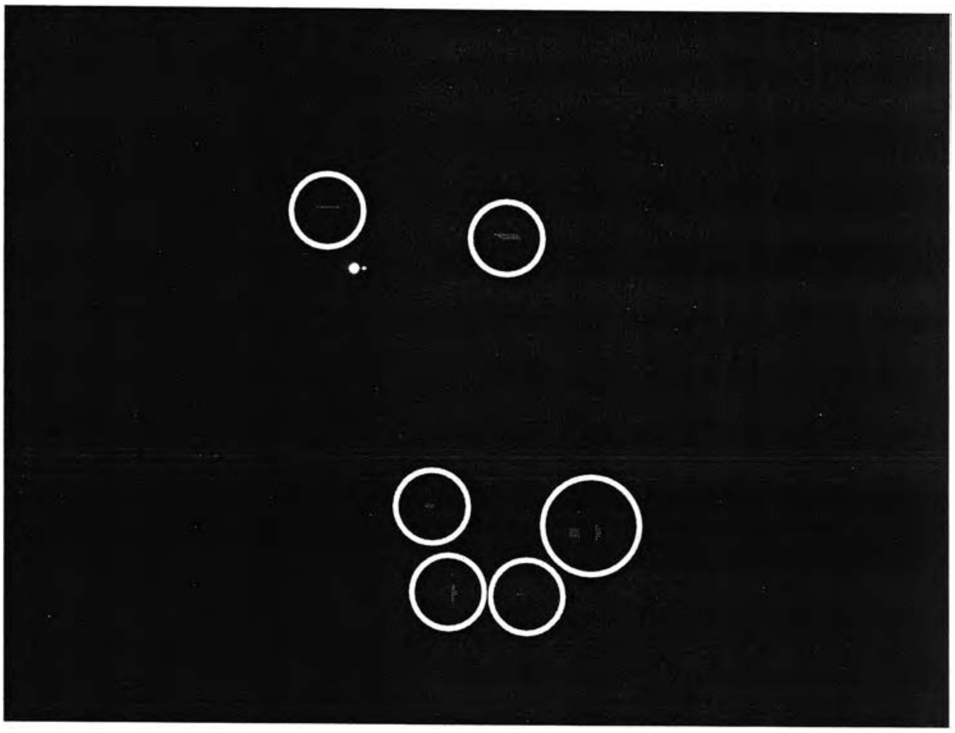
รูปที่ 5.8 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองทั้งหมดที่ตรวจพบจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทดสอบ



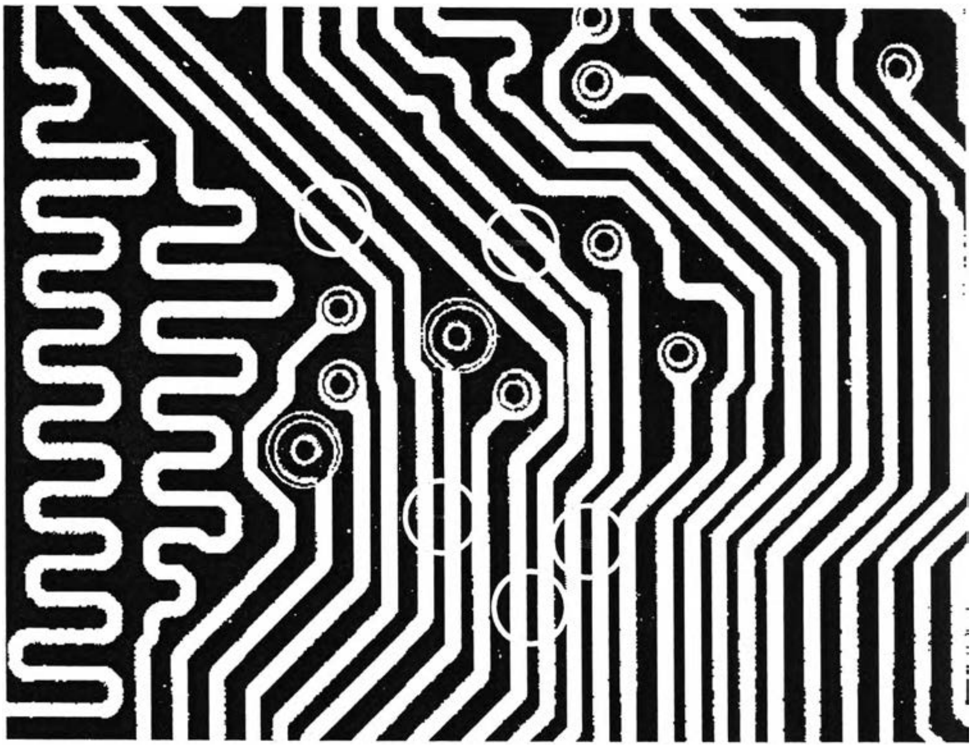
รูปที่ 5.9 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองแบบวงจรเปิดที่ตรวจพบ



รูปที่ 5.10 ภาพแผ่นวงจรพิมพ์ทดสอบมีจุดบกพร่องจำลองแบบลัดวงจร



รูปที่ 5.11 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองทั้งหมดที่ตรวจพบจากแผ่นวงจรพิมพ์ที่ทดสอบ



รูปที่ 5.12 แสดงผลจุดบกพร่องจำลองแบบลัดวงจรที่ตรวจพบ

5.3.2 ผลการทดสอบ

ผลการทดลองที่จะทำขึ้นในหัวข้อนี้แบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ

1. เก็บข้อมูลเพื่อหาค่าตัวแปรที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจำแนก เมื่อได้ค่าขอบเขตของตัวแปรแล้ว จึงนำไปเป็นมาตรฐานเพื่อใช้ในการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

2. ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ได้สร้างขึ้นมาเพื่อตรวจพินิจหาจุดบกพร่องจำลองบนแผ่นวงจรพิมพ์

5.3.2.1 เก็บข้อมูลเพื่อหาค่าตัวแปรที่จะนำไปใช้ในกระบวนการจำแนก

จากการเก็บข้อมูลจากบริษัทผู้ผลิตแผ่นวงจรพิมพ์โดยพิจารณาจากแผ่นวงจรพิมพ์จำนวน 200 แผ่น ปรากฏจุดบกพร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์ แยกตามแบบของจุดบกพร่องได้ผลดังตารางที่ 5.1

ตาราง 5.1 สถิติการเกิดจุดบกพร่องบนแผ่นวงจรพิมพ์

ลำดับ	แบบของจุดบกพร่อง	จำนวน	ร้อยละ
1	ลายวงจรเปิด (Open Circuit)	2	1
2	ลัดวงจร (Short Circuit)	3	1.5
3	ส่วนยื่น (Spur)	5	2.5
4	ส่วนเว้า (Mouse bite)	2	1
5	รูลึก (Pinhole)	1	0.5
6	ส่วนเกิน (Excess copper)	6	3
จำนวนรวมชิ้นงาน		19	9.5

หมายเหตุ จากตารางบริษัทสรุปว่าเป็นแผ่นวงจรที่เสียทั้งหมด ร้อยละ 2.5 (จากลัดวงจร และวงจรเปิด) กรณีอื่นที่เหลือเกิดขึ้นแต่ยังยอมรับได้

จากจุดบกพร่องที่พบแบบของจุดบกพร่องที่มีเงื่อนไข และต้องนำมาพิจารณาอีกครั้งว่ามีผลทำให้แผ่นวงจรพิมพ์ไม่สามารถใช้งานได้หรือไม่ คือ จุดบกพร่องแบบ ส่วนเว้า และ รูลึก ซึ่งต้องพิจารณาจากเงื่อนไขหลายสิ่ง เช่น ขนาด หรือ ระยะของส่วนเว้า รูลึก และกระแสของวงจรที่จะนำแผ่นวงจรพิมพ์ไปใช้ ซึ่งอาจสรุปเป็นแนวทางได้ดังตารางที่ 5.2

ตาราง 5.2 สถิติรายละเอียดของระยะส่วนเว้า และรูลึก เทียบกับกระแส

ลำดับ	แบบของจุดบกพร่อง	ระยะ (ร้อยละ)	กระแส (แอมแปร์)
1	ส่วนเว้า (Mouse bite)	มากกว่า 20 %	200 มิลลิแอมแปร์ – 1 แอมแปร์
		มากกว่า 25 %	1 – 3 แอมแปร์
		มากกว่า 30 %	3 - 5แอมแปร์
		มากกว่า 40 %	5 - 7แอมแปร์
		มากกว่า 50 %	ตั้งแต่ 7 แอมแปร์ขึ้นไป
2	รูลึก (Pinhole)	มากกว่า 20 %	200 มิลลิแอมแปร์ – 1 แอมแปร์
		มากกว่า 25 %	1 – 3 แอมแปร์

ลำดับ	แบบของจุดบกพร่อง	ระยะ (ร้อยละ)	กระแส (แอมแปร์)
2	รูลึก (Pinhole)	มากกว่า 30 %	3 - 5แอมแปร์
		มากกว่า 40 %	5 - 7แอมแปร์
		มากกว่า 50 %	ตั้งแต่ 7 แอมแปร์ขึ้นไป

จากข้อมูลจะเห็นได้ว่า ในการพิจารณาแผ่นวงจรพิมพ์ดี หรือ เสียในกรณีของการเกิดจุดบกพร่องแบบ สึก หรือ รูลึก ซึ่งมีเปอร์เซ็นต์ในการเกิดน้อยอยู่แล้ว อีกทั้งยังมีเงื่อนไขเรื่องของความกว้างของการเกิด มาพิจารณาร่วมอีก จึงจะตัดสินได้ว่าแผ่นวงจรพิมพ์นั้นดี หรือเสีย โดยในทางปฏิบัติแล้วบริษัทผู้ผลิต แผ่นวงจรพิมพ์จะให้ความสำคัญกับจุดบกพร่องแบบ ลัดวงจร และวงจรเปิดมากที่สุด เนื่องจากถือว่า ส่งผลให้การทำงานของอุปกรณ์บนแผ่นวงจรพิมพ์ผิดพลาดไป จากข้อมูลได้กล่าวมาข้างต้น ได้นำมา ทำการพัฒนาโปรแกรมการตรวจพินิจจุดบกพร่องของลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์

5.3.2.2 ผลการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของโปรแกรม

เมื่อได้ข้อมูลที่ได้จากหัวข้อ 5.3.2.1 แล้ว ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมสำหรับตรวจพินิจจุด บกผิดพลาดจำลองบนแผ่นวงจรพิมพ์ จากนั้นทำการทดสอบโปรแกรมโดยนำข้อมูลภาพจำนวน 15 รูปแบบมาเป็นภาพอ้างอิง และภาพทดสอบที่นำมาทดสอบในแต่ละรูปแบบของภาพอ้างอิง รูปแบบ ละ 3 ภาพ โดยแต่ภาพทดสอบจะมีจุดบกพร่องจำลองเกิดขึ้นทุกแบบภาพละ 10 -12 จุดโดยประมาณ มาทำการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพของโปรแกรม ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 5.3 ถึง 5.5

ตาราง 5.3 รายละเอียดของข้อมูลภาพที่นำมาทดสอบโปรแกรม

ลำดับ	แบบของจุดบกพร่อง	จำนวนแผ่นวงจร	จำนวนจุดบกพร่อง ขนาดเล็ก	จำนวนจุดบกพร่อง ขนาดใหญ่
1	ลายวงจรเปิด (Open Circuit)	15	50	50
2	ลัดวงจร (Short Circuit)	15	50	50
3	ไม่มีรอยตำหนิ	15	0	0

ตาราง 5.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

ลำดับ	ประเภทของการตรวจสอบ	จำนวน	ร้อยละ
1	การตรวจพินิจถูกต้องเนื่องจากโปรแกรมแสดงจุดบกพร่องตรงกับจุดบกพร่องจริง (เปิดวงจร และ ลัดวงจร)	162	81
2	การตรวจพินิจผิดพลาดเนื่องจากโปรแกรมไม่แสดงจุดบกพร่องทั้งที่มีจุดบกพร่องจริง (เปิดวงจร และ ลัดวงจร)	14	7
3	การตรวจพินิจผิดพลาดเนื่องจากโปรแกรมแสดงจุดบกพร่องแต่ไม่มีจุดบกพร่องจริง (เปิดวงจร และ ลัดวงจร)	24	12

ตาราง 5.5 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

ลำดับ	ประเภทของการตรวจสอบ	จำนวน	ร้อยละ
1	การตรวจพินิจถูกต้องเนื่องจากโปรแกรมไม่แสดงจุดบกพร่องเนื่องจากไม่มีจุดบกพร่องจริง	15	93.33
2	การตรวจพินิจผิดพลาดเนื่องจากโปรแกรมแสดงจุดบกพร่องทั้งที่ไม่มีจุดบกพร่องจริง	1	6.67
3	การตรวจพินิจถูกต้องเนื่องจากโปรแกรมแสดงจุดบกพร่องทุกแบบทั้งหมดเนื่องจากมีจุดบกพร่องจริง	200	100

5.3.3 อัตราในการตรวจผิด (Error Rate)

การทดลองหาอัตราการตรวจผิดของอัลกอริทึมจะเป็นค่าประสิทธิภาพของอัลกอริทึมว่าสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องและแม่นยำเพียงใด ซึ่งในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบโดยใช้ภาพอ้างอิงเป็นภาพมาตรฐานที่ใช้งานจริง และภาพที่ใช้ทดสอบ โดยรูปแบบของจุดบกพร่องจำลองที่ทดลองกับโปรแกรมได้ทดลองนำภาพที่เกิดจุดบกพร่องจำลองในลักษณะของการลัดวงจร และวงจรเปิดตั้งแต่หนึ่งจุด จนสูงสุดมากกว่าสิบจุด อีกทั้งในส่วนของขนาดของจุดบกพร่องจำลองที่เล็กที่สุดเป็นเส้นขนาดความกว้างหนึ่งพิกเซล โปรแกรมสามารถตรวจพบได้ไม่ว่าจะเป็นการผิดพลาดในทุก

แบบ ดังที่กล่าวมาแล้ว ชุดตัวอย่างแผ่นวงจรพิมพ์ที่นำมาทดลองนี้เป็นภาพที่มีจุดบกพร่องจำลอง จำนวน 200 จุด ซึ่งสามารถแบ่งได้ดังนี้

- แผ่นวงจรที่ลายวงจรไม่มีจุดบกพร่องจำลอง จำนวน 15 ภาพ (ภาพอ้างอิง)

  - ได้นำแผ่นวงจรที่ไม่มีจุดบกพร่องจำลอง จำนวน 15 ภาพ (จุดบกพร่องเป็นศูนย์)

- แผ่นวงจรที่ลายวงจรมีจุดบกพร่องจำลอง จำนวน 200 จุดโดยแบ่งเป็น

  - แผ่นวงจรที่จุดบกพร่องจำลองเนื่องจากวงจรเปิด จำนวน 100 จุด โดยสามารถแบ่งขนาดของพื้นทีจุดบกพร่องเป็น 2 ระดับ คือ

    1) พื้นที่จุดบกพร่องจำลองขนาดใหญ่ จำนวน 50 จุด
    2) พื้นที่จุดบกพร่องจำลองขนาดเล็ก จำนวน 50 จุด

  - แผ่นวงจรที่จุดบกพร่องจำลองเนื่องจากวงจากลัดวงจร จำนวน 100 จุด โดยสามารถแบ่งขนาดของพื้นที่จุดบกพร่องเป็น 2 ระดับ คือ

    1) พื้นที่จุดบกพร่องจำลองขนาดใหญ่ จำนวน 50 จุด
    2) พื้นที่จุดบกพร่องจำลองขนาดเล็ก จำนวน 50 จุด

โดยการนิยามขนาดพื้นที่ของจุดบกพร่องขนาดเล็ก และใหญ่ คือ

- พื้นที่จุดบกพร่องขนาดเล็ก คือ ขนาดพื้นที่จุดบกพร่องมีขนาดเล็กกว่า 20 % ของขนาดพื้นที่ตรวจสอบ (ลายทองแดง)
- พื้นที่จุดบกพร่องขนาดใหญ่ คือ ขนาดพื้นที่จุดบกพร่องมีขนาดใหญ่กว่า 20 % ของขนาดพื้นที่ตรวจสอบ (ลายทองแดง)

ซึ่งในการทดลองนี้ที่ได้ทำการทดลองกับแผ่นวงจรพิมพ์ที่มีขนาดลายทองแดงขนาด 20 มิล (mil) โดยที่ 1 นิ้ว เท่ากับ 1000 มิล

5.3.4 เวลาที่ใช้ในการตรวจสอบต่อหนึ่งชิ้นงาน

เวลาที่จะทำการวัดในการทดลองนี้คือเวลาที่ใช้ในการประมวลผลต่อหนึ่งภาพ เริ่มตั้งแต่การโหลดภาพแผ่นวงจรพิมพ์จนกระทั่งได้ผลการตรวจสอบจุดบกพร่องจำลองออกมา โดยการวัดค่าเวลาเฉลี่ยของภาพทดสอบจำนวน 45 ภาพ ได้เวลาเฉลี่ยต่อภาพคือ 25 วินาที

5.4 วิจารณ์ผลการทดลอง

จากการทดลองโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาเพื่อใช้ตรวจหาจุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นในแผ่นวงจรพิมพ์ พบว่าสามารถทำการตรวจพบจุดบกพร่องจำลองขึ้นในแผ่นวงจรทดสอบว่ามีจุดบกพร่องจำลองที่บริเวณใด แบบใด และยังสามารถแยกแยะได้ว่า จุดบกพร่องจำลองที่เกิดขึ้นที่ลายวงจรบนแผ่นวงจรพิมพ์เป็นจุดบกพร่องจำลองแบบวงจรเปิด หรือ ลัดวงจรได้ถึงร้อยละประมาณ 81 ซึ่งนับว่าเป็นเปอร์เซ็นต์ที่ค่อนข้างสูง