



การปรับปรุงอัลกอริทึมของการตรวจสอบลายปริ้นท์
(Inspection Algorithm Improvement for Printed Circuit Board)

นายธนิศ ชัยรัตน์ 34.161106

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ปริญญาโท สาขา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะ วิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา พ.ศ. 2535

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีก 032514

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
สาขา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การปรับปรุงอัลกอริทึมของ การตรวจลายปริ้นซ์
Inspection algorithm Improvement for printed circuit board

ผู้จัดทำ

นายธนิศ ชัยรัตน์ 34161106



.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

032514

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงอัลกอริทึมของการตรวจสอบลายปริ้นซ์
นักศึกษา	นายธนิต ชัยรัตน์ 34.161106
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์
ระดับการศึกษา	อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
ปีการศึกษา	พ.ศ. 2535

บทคัดย่อ

การตรวจลายปริ้นซ์ในการใช้กระบวนการประมวลผลภาพโดยอาศัยการประมวลผลของคอมพิวเตอร์ ตรวจสอบหาจุดผิดพลาดในการตรวจสอบลายปริ้นซ์ที่ได้ทำมาก่อนนั้นยังมีจุดบกพร่องบางอย่างในการตรวจสอบ จึงได้หาวิธีการตรวจสอบใหม่ขึ้นมา เพื่อให้ตรวจสอบลายปริ้นซ์ได้หลายแบบมากขึ้น

ในการตรวจสอบลายปริ้นซ์จากภาพนั้น จะสามารถนำไปใช้ในงานอุตสาหกรรมการทำแผ่นปริ้นซ์ได้ โดยไม่ต้องอาศัยแผ่นปริ้นซ์ต้นแบบ ของแผ่นที่ต้องการตรวจสอบ

Thesis Title Inspection Algorithm Improvement for Printed
Circuit Board
Name Thanit Chairat 34.161106
Thesis Advisor Kaset Sirisantiamrid
Level of study Bachelor's Degree of Industrial Technology
Academic Year 1992

Abstract

Inspection of printed circuit board used the image processing for inspection method by computer processing. The old method has fail some algoritm. It is not cover. The new method edit some algoritm and reduce new algoritm for inspection of printed circuit board.

The inspection of printed circuit board by image processing can be used in print circuit board's industry and can used it with out master of print circuit board.

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	
ABSTRACT	
บทที่ 1. บทนำ	1
บทที่ 2. การประมวลผลภาพ	2
2.1 การแทนภาพในระบบดิจิทัล	2
2.2 ระบบการประมวลผลภาพทางดิจิทัล	2
2.3 แบบจำลองภาพ	3
2.4 การส่วมแบบสม่าเสมอ	4
บทที่ 3. ขบวนการเตรียมข้อมูลภาพเบื้องต้น	7
3.1 การทำดิจิทัลไเซอร์	7
3.2 ภาพระดับสีเทา	8
3.3 การทำภาพให้คมชัด	10
3.3.1 ฮีสโตแกรมอีควอไลเซชัน	10
3.4 การทำภาพไบนารี	12
3.4.1 แผนภูมิแท่ง	12
3.4.2 การตัดค่าเธรีชโฮลด์	16
3.4.2.1 การเลือกค่าเธรีชโฮลด์ที่ดีที่สุด	18
3.5 การหาโครงร่างหรือแกนกลางของลายวงจร	22
บทที่ 4. การตรวจสอบลายปริ้นซ์	24
4.1 การตรวจสอบแบบเดิม	24
4.1.1 การกำหนดจุดที่ต้องทำการตรวจสอบ	24
4.1.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ	25
4.2 การตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น	29
4.2.1 การกำหนดจุดที่ต้องทำการตรวจสอบ	30
4.2.2 บล็อกตรวจสอบ	34
4.3 การตรวจสอบการบางผิดปรกติ	38

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4	การตรวจสอบส่วนเกินของลายวงจร	41
4.5	การตรวจสอบโดยใช้ภาพจากกล้อง	43
บทที่ 5	บทสรุป	45
	หนังสืออ้างอิง	
	ภาคผนวก	
-	ภาพการตรวจลายปริ้นซ์	



บทที่ 1

บทนำ

การตรวจสอบของการขาดของลายวงจรปรับปรุงครั้งที่ 2 (Opening Inspection version 2) จะเป็นการพัฒนาการตรวจสอบการขาดของลายวงจร ซึ่งเดิมนั้นการขาดของลายวงจรถ้าทำการตัดภาพกระดูก (Skeleton) เพื่อหาจุดที่ขาดหรือไม่ต่อเนื่องของลายวงจร อาจจะเป็นเส้นเดี่ยวโดด ๆ ไม่มีจุดต่อเนื่องในตำแหน่งที่กำหนด ซอฟต์แวร์จะเก็บจุดสุดท้ายที่ไม่ต่อเนื่องไว้ในอาร์เรย์ (Array) เพื่อทำการกำหนดตำแหน่งผิดพลาดหลังจากการตรวจสอบ

การตรวจสอบลายวงจรในครั้งก่อนนั้น มีการตรวจสอบที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์ ซึ่งมีการตรวจสอบการขาด (Opening) การชอร์ต (Shorting) การบางผิดปกติ (Thinning) การเกิดหลุมในเส้นทางเดินของลายวงจร และส่วนเกินนอกลายวงจร (Pinhole and blob) การหนาผิดปกติ (Width tracking) แต่จะยังไม่สามารถตรวจสอบลายวงจรที่มีการใช้อุปกรณ์ในวงจรที่มีอุปกรณ์ประเภทขาลอย (Mouse Surface) หรือการเดินลายวงจรในส่วนที่ต้องการให้มีการตัดลายวงจรโดยไม่มีการเดินลายวงจรในลักษณะครบรอบที่ขาของอุปกรณ์ เช่นส่วนที่ต้องต่อระหว่างส่วนของการ์ดอินเตอร์เฟสกับร่องสลิตของเมนบอร์ดคอมพิวเตอร์ เพราะวิธีการตรวจสอบแบบเดิมนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้

วิธีการตรวจสอบนั้นในส่วนท้ายจะมีการทดสอบกับแผ่นปริ้นซ์เพื่อทดสอบการตรวจเช็คด้วยปริ้นซ์จริง เพื่อเป็นข้อมูลเบื้องต้นสำหรับการนำโปรแกรมไปตรวจสอบ

บทที่ 2

การประมวลผลภาพ

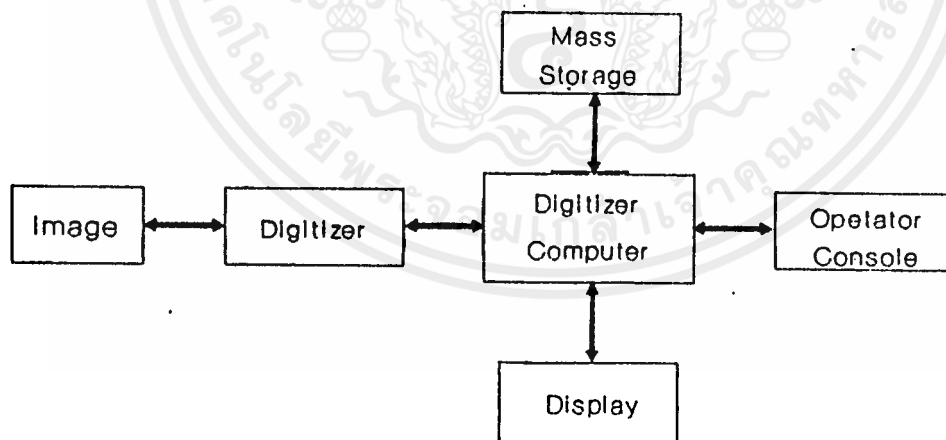
ข้อมูลภาพที่เก็บได้จากกล้องจะอยู่ในรูปของสัญญาณอนาล็อก จากนั้นจะถูกนำมาแปลงให้เป็นรูปสัญญาณทางดิจิทัลที่มีลักษณะเป็นรหัสตัวเลข เพื่อที่จะได้ใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณหรือการประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ได้

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิทัล

ภาพในระบบดิจิทัลมีลักษณะเป็น ฟังก์ชัน 2 มิติ $f(x,y)$ โดยกำหนดให้แนวแกนแนวนอนเป็น x และแนวแกนตั้งเป็น y ณ จุดพิกัดใด ๆ ที่ตำแหน่ง (x,y) จะมีค่าความเข้มของภาพอยู่ที่เราเรียกว่าระดับสีเทา (Gray level) ระนาบและจุดพิกัดของภาพ ซึ่งปกติเราจะใช้จุดกำเนิดของแกนพิกัด (coordinate) อยู่ทางมุมบนซ้ายของภาพและจะนับไปทางแกน y

2.2 ระบบการประมวลผลภาพทางดิจิทัล

ระบบการประมวลผลภาพประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ๆ คือ ดิจิไทเซอร์ (Digitizer) ส่วนประมวลผล (Processing) และส่วนแสดงผล (Display) แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงระบบการประมวลผลภาพทางดิจิทัลทางดิจิทัล

ส่วนดิจิไทเซอร์ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณให้อยู่ในรูปของตัวเลขเพื่อเป็นข้อมูลเข้าของดิจิทัลคอมพิวเตอร์ส่วนนี้ ได้แก่กล้องโทรทัศน์ ดิจิไทเซอร์ภายในประกอบด้วยหลอดวิดิคอนซึ่งทำหน้าที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าทางแสง ภาพจะถูกโฟกัสลงบนผิวของหลอดซึ่งถูกเปลี่ยนให้เป็น

สัญญาณไฟฟ้า จากนั้นภาพดิจิทัลจะได้อาจมาจากการควอนไทซิงสัญญาณนี้

สำหรับภาคประมวล ก็คือ ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจจะใช้ขนาดตั้งแต่ไมโครคอมพิวเตอร์ ถึงเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ ในระบบคอมพิวเตอร์นี้อย่างน้อยที่สุด ควรจะมีหน่วยความจำตั้งแต่ 32 kb ถึง 64 kb หรือมากกว่านี้อย่างน้อยที่สุด ควรจะมีหน่วยความจำสำรอง (Secondary memory) เช่น ดิสก์ เทปแม่เหล็ก ฯลฯ และมีหน่วยแสดงผล เช่น เครื่องพิมพ์ สำหรับคอมพิวเตอร์

ในภาพแสดงผลหน้าที่ของมันก็คือ เปลี่ยนภาพในสัญญาณดิจิทัลที่อยู่ในสัญญาณดิจิทัลที่อยู่ในรูปของเมทริกซ์ ซึ่งประกอบด้วยค่าตัวเลขที่เป็นน้ำหนักของระดับสีเทา ออกมาเป็นภาพที่ตามนุษย์สามารถสังเกตเห็นได้ ส่วนแสดงผลนี้มักจะเป็นอุปกรณ์ CRT, เครื่องพิมพ์ที่สามารถแสดงผลในรูปของกราฟฟิกได้

2.3 แบบจำลองภาพ (Image Model)

ภาพ 2 มิติ สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชัน $f(x,y)$ โดย x และ y เป็นแกนในระนาบของภาพ ค่าของฟังก์ชันที่สุด x,y คือความเข้มของแสงที่จุดนั้น เนื่องจากแสงอยู่ในรูปของพลังงานชนิดหนึ่ง ดังนั้น $f(x,y)$ ไม่เป็นศูนย์และต้องเป็นจำนวนจำกัด นั่นคือ

$$0 < f(x,y) < \infty \quad \dots \dots (2.1)$$

จากธรรมชาติของแสง จะต้องมีแหล่งกำเนิด และส่วนที่สะท้อนของแสง ดังนั้น เราสามารถแยกฟังก์ชัน $f(x,y)$ ออกเป็น 2 ส่วนคือ

- $i(x,y)$ (อิลูมินเอนซ์คอมโพเนนต์)
- $r(x,y)$ (รีเฟลคแทนซ์คอมโพเนนต์)

ผลคูณของ $f(x,y)$ และ $r(x,y)$ ก็คือ ฟังก์ชัน $f(x,y)$

$$f(x,y) = i(x,y) r(x,y) \quad \dots \dots (2.2)$$

เมื่อ

$$0 < i(x,y) < \infty \quad \dots \dots (2.3)$$

และ

$$0 < r(x,y) < 1 \quad \dots\dots (2.4)$$

จากสมการจะเห็นว่า ฟังก์ชันของการสะท้อน ถูกจำกัดขอบเขตระหว่าง 0 (มีการดูดซึมโดยสมบูรณ์) และ 1 (มีการสะท้อนโดยสมบูรณ์) ธรรมชาติของ $i(x,y)$ ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสง ในขณะที่ $r(x,y)$ ขึ้นอยู่กับวัตถุ ที่สะท้อนแสงเข้าตา

ความเข้มของภาพที่จุด (x,y) เราเรียกว่าระดับสีเทา (I) จาก(2.2) และ (2.4) จะได้ว่า

$$L_{min} < I < L_{max} \quad \dots\dots (2.5)$$

ในทฤษฎี L_{min} จะต้องมีค่าบวก ในขณะที่ L_{max} มีค่าจำกัดในทางปฏิบัติ $L_{min} = i_{min} r_{min}$ และ $L_{max} = i_{max} r_{max}$ ช่วงของ $[L_{min}, L_{max}]$ เป็นสากลของระดับสีเทา ให้อยู่ในช่วง $[0, L]$ โดย $[0, L]$ ครอบคลุม ตั้งแต่ช่วงขาวสุดถึงช่วงที่ดำสุด

2.4 การสุ่มแบบสม่ำเสมอ (Uniform Sampling)

เพื่อที่จะประมวลผลสัญญาณ ด้วยคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ $f(x,y)$ จะต้องถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง ทั้งในแกน x แกน y เราเรียกว่า อิมเมจแซมปลิง (Image sampling) และได้ค่าของฟังก์ชัน เราเรียกว่า Gray level quantization

สัญญาณภาพต่อเนื่อง $f(x,y)$ ถูกดิจิไทซ์ ในระนาบ x,y เป็นช่วง ๆ เท่า ๆ กัน ซึ่งเราจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ ขนาด $N \times N$ ดังในสมการ 2.6

$$f(x,y) = \begin{vmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,N-1) \end{vmatrix} \quad \dots\dots (2.6)$$

ทางขวาของสมการนี้ คือ ภาพทางดิจิตอล และทุก ๆ สุ่มาชิกในเมตริกซ์จะเรียกว่า

พิกเซล (Pixel) จากขบวนการสร้างภาพดิจิทัลข้างต้น จะเห็นว่าเราต้องทราบขนาดความละเอียดของภาพ พิกเซล และจำนวนระดับสีเทาในทางปฏิบัติ การทำควอนไทเซชันในระบบภาพดิจิทัล จะเป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่

$$N = 2^n \quad \dots\dots (2.7)$$

และ

$$G = 2^m \quad \dots\dots (2.8)$$

โดยที่ G เป็นจำนวนระดับสีเทา ดังนั้น หน่วยความจำรวมเต็มหนึ่งภาพจะกำหนดโดย

$$b = N \times N \times m \quad \dots\dots (2.9)$$

ในตารางที่ 1 และ 2 ได้แสดงการใช้หน่วยความจำ เป็นจำนวนบิตและไบต์ตามลำดับ เมื่อ ค่า N,m เปลี่ยนไป

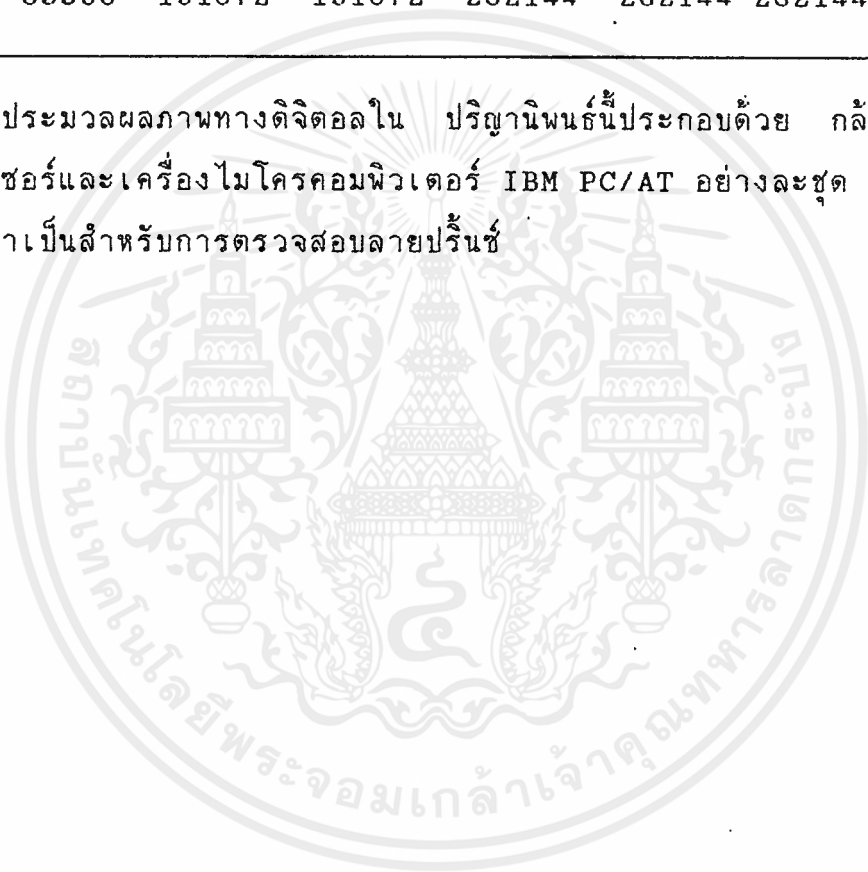
ตาราง 2.1 แสดงจำนวนบิตที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N,m เปลี่ยนไป

	1	2	3	4	5	6	7	8
32	1024	2048	3072	4096	5120	6144	7168	8192
64	4096	8192	12288	16384	20480	24576	28672	32768
128	16384	32768	49152	65536	81920	98304	114688	131072
256	65536	131072	196608	262144	327680	393216	458752	524288
512	262144	524288	786432	1048576	1310720	1572864	1835000	2097152

ตาราง 2.2 แสดงจำนวนไบต์ที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N และ m เปลี่ยนไป

	1	2	3	4	5	6	7	8
32	128	256	512	512	1024	1024	1024	1024
64	512	1024	2048	2048	4096	4096	4096	4096
128	2048	4096	8192	8192	16384	16384	16384	16384
256	8192	16384	32768	62768	65536	65536	65536	65536
512	32758	65536	131072	131072	262144	262144	262144	262144

ระบบการประมวลผลภาพทางดิจิทัลใน ปริณิพนธ์นี้ประกอบด้วย กล้องถ่ายภาพ
โทรทัศน์ ดิจิไตเซอร์และเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC/AT อย่างละชุด อุปกรณ์ดัง
กล่าวเบื้องต้นที่จำเป็นสำหรับการตรวจสอบลายปริ้นซ์



บทที่ 3

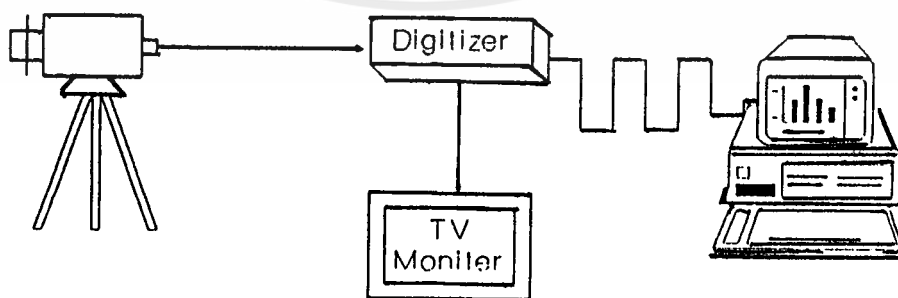
กระบวนการเตรียมข้อมูลภาพเบื้องต้น

ข้อมูลภาพก่อนที่จะนำมาตรวจสอบหรือวิเคราะห์นั้น สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก็คือ คุณภาพของภาพ ซึ่งควรจะเป็นภาพที่มีความละเอียดเหมือนกับภาพเดิม ก่อนจะเก็บเข้ามามากที่สุด แต่ในหลักความเป็นจริงแล้วอาจจะมีสัญญาณรบกวน (noise) ปะปนเข้ามาคล้ำข้อมูลภาพ ดังนั้นเราต้องกำจัดสัญญาณรบกวนนั้นออกไป โดยการทำให้ภาพให้เรียบ (smoothing) หรือ ตัวกรองสัญญาณ (filter) และผลจากการให้แสงไฟที่ส่องไปยังภาพวัตถุที่จะทำการตรวจสอบไม่เหมาะสมแล้วจะทำให้ภาพขาดความคมชัดไป วิธีการหนึ่งที่จะทำให้ภาพมีความคมชัดได้ โดยการทำเอ็นฮานซ์เมนต์ (Enhancement) สำหรับภาพที่มีความคมชัดอยู่แล้ว เราอาจจะผ่านขั้นตอนนี้ไปได้ เพื่อการตรวจสอบจะได้เร็วขึ้น

การตัดค่าความเข้มแสงของภาพให้เหลือ 2 ระดับ จากภาพความเข้ม 256 ระดับก็เพื่อที่จะนำมาประมวลผลได้ง่ายขึ้น ซึ่งการตัดระดับภาพให้เหลือ 2 ระดับนั้น อาจจะใช้วิธีการเลือกค่าการกระจายความเข้มของแสง โดยดูจากแผนภูมิแท่ง (Histogram) แล้วเลือกค่าธรี่ชโฮลด์ (Threshold) เพื่อแยกกลุ่มข้อมูลความเข้มแสงของฉากและวัตถุ ซึ่งมีค่าแตกต่างกันอยู่ สำหรับการเลือกค่าธรี่ชโฮลด์ที่ดีที่สุด อาจจะใช้วิธีการหาแบบอัตโนมัติก็ได้ แต่วิธีนี้จะใช้เวลานานกว่าการเลือกด้วยมือ (manual)

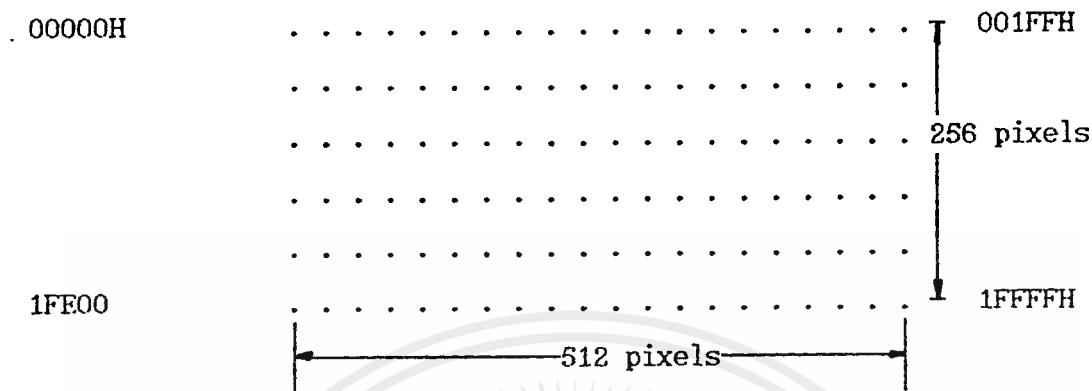
3.1 การทำดิจิไตเซอร์ (Digitizer)

ดิจิไตเซอร์เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณภาพที่รับเข้ามา ให้เป็นข้อมูลรหัสตัวเลข สามารถให้ความแตกต่างของภาพได้เท่ากับ 256 ระดับสีเทา (256 Gray level) จะได้ขนาดของภาพเท่ากับ 512x256 จุดภาพ เก็บลงสู่หน่วยความจำ



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลภาพเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

การกำหนดแอดเดรส (address) ของสัญญาณดิจิทัลของภาพที่จะถูกเก็บลงสู่หน่วยความจำ จะเป็นดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 แสดงแอดเดรส (address) การเก็บสัญญาณ

3.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

ข้อมูลภาพจะได้รับการทำดิจิทัลไอเซอร์ (Digitizer) ซึ่งเป็นภาพรหัสตัวเลข (Digital Image) ภาพหนึ่งภาพจะมีขนาด 512x256 จุดภาพ โดยมีความแตกต่างของระดับความเข้มของแต่ละจุดภาพเท่ากับ 256 ระดับ และตำแหน่งของจุดภาพจะกำหนดแถว x และ คอลัมน์ y ซึ่งสามารถที่จะเขียนให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ได้เป็น $f(x,y)$ แสดงดังรูปที่ 3.3(a) แต่ละจุดภาพจะให้ค่าระดับสีเทาดังแสดงในรูปที่ 3.3(b)

00	0,0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	511
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,5	1,6	
	2,0	2,1	2,2	2,3	2,4	2,5	2,6	
	3,0	3,1	3,2	3,3	3,4	3,5	3,6	
	4,0	4,1	4,2	4,3	4,4	4,5	4,6	
	5,0	5,1	5,2	5,3	5,4	5,5	5,6	
	6,0	6,1	6,2	6,3	6,4	6,5	6,6	
255								

(a)



0

0

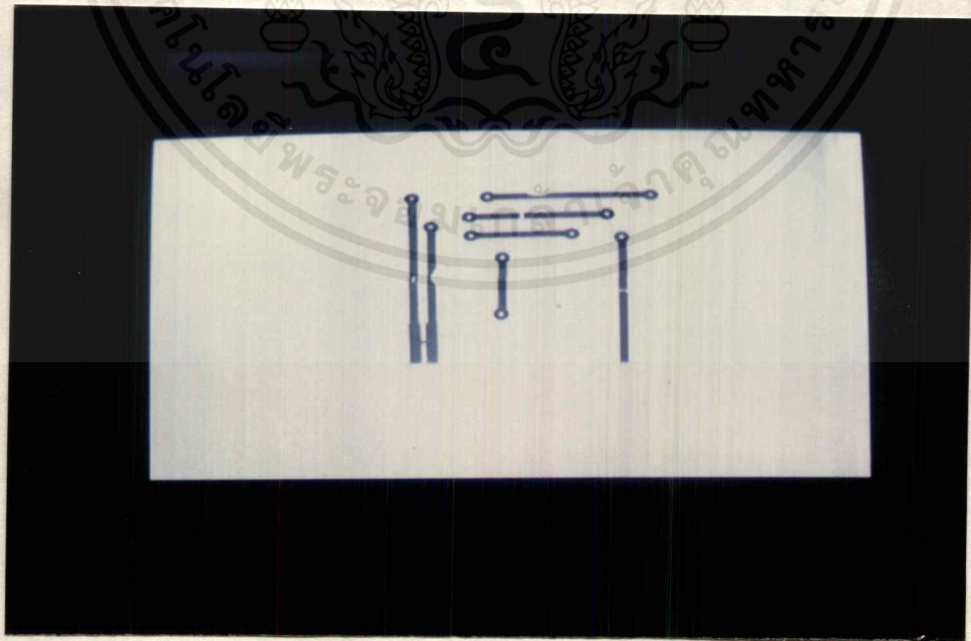
50	55	40	46	45	55	48
60	80	78	73	50	39	48
76	90	89	69	88	30	20
14	24	32	13	10	8	8
20	10	30	24	27	28	30
30	29	18	1	0	12	11
11	15	6	7	8	4	2

255

511

(b)

รูปที่ 3.3 a). แสดงตารางเมตริกซ์ $f(x,y)$ b). แสดงค่าระดับสีเทาในตารางเมตริกซ์ $f(x,y)$



รูปที่ 3.4 แสดงภาพระดับสีเทา (Gray Level) ขนาด 512x256 พิกเซล เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 การทำภาพให้คมชัด (Image Enhancement)

การทำเอ็นแฮนซ์เมนต์ให้กับภาพก็คือ การปรับปรุงให้ดีขึ้นนั่นเองซึ่งมีวิธีการหลายวิธี ดังนี้

3.3.1 ฮิสโตแกรมอีควอลไลซัน (Histogram Equalization) เป็นการแปลงอัตราความแตกต่างของแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยพยายามให้ความหนาแน่นของข้อมูลเป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วง ซึ่งการกระจายฮิสโตแกรมเดิมเสียใหม่นี้ จะทำให้อัตราความแตกต่างของภาพสูงขึ้น สำหรับขั้นตอนในการทำฮิสโตแกรมอีควอลไลซันมีดังนี้

สมมติว่าตัวแปร r คือ ระดับสีเทาหรือค่าตัวเลขของข้อมูลภาพโดยถูกนอร์มอลไลซ์ (normalized) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ($0 < r < 1$) เนื่องจากเราต้องการแปลงการกระจายของค่าระดับสีเทาให้มีการกระจายแบบสม่ำเสมอ และให้ $T(r)$ เนื่องจากเราต้องการแปลงทำให้ได้ข้อมูลใหม่มีค่าเป็น s นั่นคือ

$$S = T(r) \quad \dots \dots (3.2)$$

คุณสมบัติ $T(r)$ คือจะเป็นฟังก์ชันค่าเดียวที่มีการเพิ่มทีละทางเดียวโดยค่า $T(r)$ จะอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เช่นกัน

ในการแปลงกลับจาก s ไปหา r ทำได้โดย

$$r = T^{-1}(s) \quad 0 < s < 1 \quad \dots \dots (3.3)$$

และ $T^{-1}(s)$ ก็มีคุณสมบัติเหมือนกับ $T(r)$

เนื่องจากค่าระดับสีเทาของภาพเป็นปริมาณแบบแรนดอม (Radom quantities) ที่อยู่ในช่วง $[0, 1]$ ถ้าสมมุติว่าค่าระดับสีเทามีลักษณะแบบต่อเนื่อง ให้ $P_r(r)$ และ $P_s(s)$ เป็น Probability density function ของข้อมูลเดิมและข้อมูลเดิมและข้อมูลที่ถูกเปลี่ยนแปลงไป จากทฤษฎีของความน่าจะเป็น ถ้าหากรู้ค่าของ $P_r(r)$ และ $T(r)$ จะได้

$$P_s(s) = [P_r(r) (dr/ds)]_{r=T^{-1}(s)} \quad \dots \dots (3.4)$$

เมื่อพิจารณาถึงฟังก์ชันในการแปลง

$$s = T(r) = \int_0^r P_r(w)dw \quad 0 < r < 1 \quad \dots\dots (3.5)$$

ดังนั้นอนุพันธ์ของ s ที่เทียบกับ r จะได้

$$ds/dr = P_r(r) \quad \dots\dots (3.6)$$

เมื่อแทนค่าสมการ(3.6) ลงในสมการที่ (3.4)

$$P_s(s) = [P_r(r)(1/P_r(r))]_r = T^{-1}(s) \quad \dots\dots (3.7)$$

$$= [1]_r = T^{-1}(s)$$

$$= 1 \quad 0 < s < 1$$

จะพบว่าเมื่อผ่านการแปลงแล้วตัวแปร s จะให้การกระจายแบบสม่ำเสมอ
ในระบบการประมวลผลภาพข้อมูลตัวเลข ความน่าจะเป็นของระดับสีเทาเขียนได้เป็น

$$P_r(r_k) = n_k/n \quad 0 < r_k < 1 \quad \dots\dots (3.8)$$

เมื่อ

k คือ ค่าระดับสีเทา $0, 1, 2, \dots, L-1$

L คือ จำนวนระดับสีเทาของภาพ $P_r(r_k)$ คือความน่าจะเป็นในการเกิดจุด
ภาพที่ระดับสีเทา

n_k คือ จำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากับ k

n คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด

กราฟที่ได้จากสมการพล็อตของ $P_r(r_k)$ กับ r_k คือฮิสโตแกรมนั่นเอง สมการที่(3.2)
จะได้เป็น

$$\begin{aligned}
s_k &= T(r_k) \\
&= S_j = 0^k n_j / n \\
&= S_j = 0^k P_r(r_j) \qquad \dots\dots (3.9)
\end{aligned}$$

เมื่อ $0 < r_k < 1$ และ $k=0, 1, 2, \dots, L-1$

และการแปลงกลับทำได้โดย

$$r_k = T^{-1}(S_k) \quad \text{เมื่อ } 0 < s < 1 \quad \dots\dots (3.10)$$

เทคนิคในการเพิ่มความแตกต่างของภาพที่ได้มานี้ ประสิทธิภาพที่ได้ ขึ้นอยู่กับลักษณะของฮิสโตแกรมของภาพเดิม และขึ้นอยู่กับความสนใจของผู้ใช้ ว่าจะเป็นส่วนไหนของภาพ การปรับปรุงความแตกต่างของภาพนี้ ควรจะกระทำก็ต่อเมื่อกระบวนการอื่น ๆ ได้สิ้นสุดแล้ว ทั้งนี้เพราะเทคนิคในการปรับปรุงความแตกต่างของภาพ จะก่อให้เกิดความผิดเพี้ยนของข้อมูลภาพไปจากข้อมูลเดิม

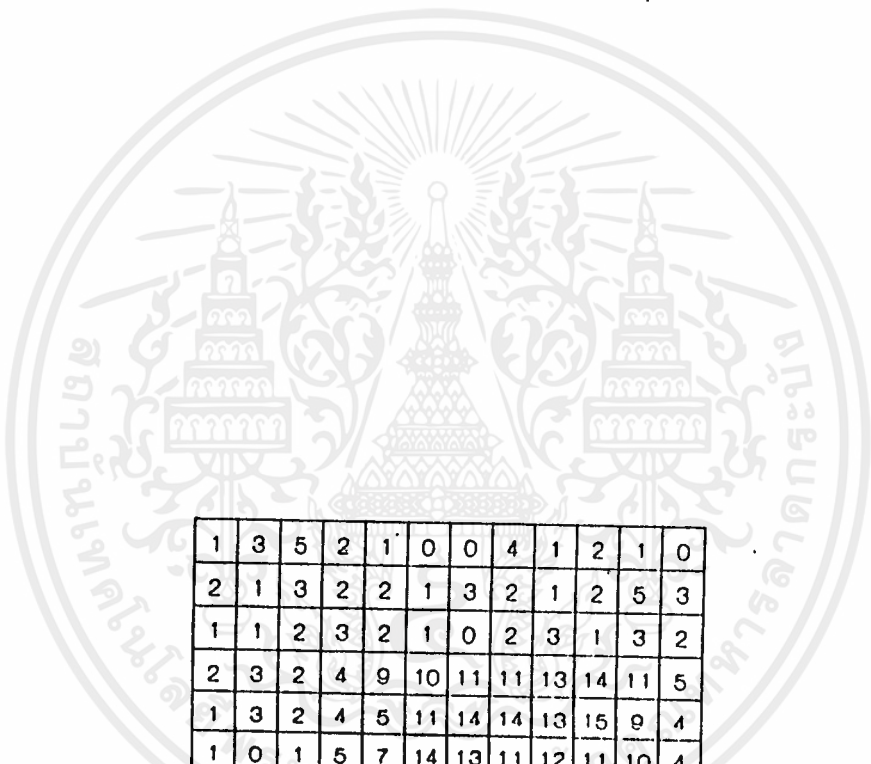
3.4 การทำภาพไบนารี

ภาพลายวงจรที่ถ่ายได้มาจากกล้องนั้นจะมีข้อมูลเป็นค่าระดับความเข้มสีเทา หลังจากผ่านดิิจิตาไลเซอร์แล้วจะเป็นสัญญาณดิจิตอล สำหรับป้อนเข้าสู่เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ เพื่อประมวลผล การประมวลผลในขั้นตอนแรกจะทำการเปลี่ยนระดับความเข้มสีเทาของข้อมูลภาพจาก 256 ระดับให้เป็นระดับความเข้มสีเทาเพียง 2 ระดับ เท่านั้น โดยเราจะนำภาพข้อมูลที่ได้จากการดิิจิตาไลเซอร์มาสร้าง แผนภูมิแท่ง (Histogram) แผนภูมิแท่งดังกล่าวนี้ เป็นการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีเทา (gray) กับจำนวนจุดภาพ (Frequency) เพื่อใช้ในการตุ้กลุ่มข้อมูล ซึ่งใช้ในการปกติแล้วกลุ่มข้อมูลความเข้มของวัตถุกับกลุ่มข้อมูลความเข้มของฉากจะมีค่าแตกต่างกัน ดังนั้นเราสามารถสร้างเป็นภาพสองระดับ (Binary image) ได้ โดยการตั้งค่าเรชโฮลด์ (Threshold) ที่เหมาะสม

3.4.1 แผนภูมิแท่ง (Histogram)

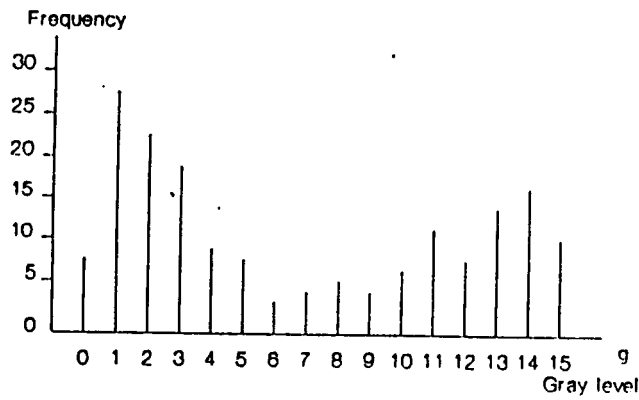
ในการประมวลผลภาพเรามักจะมีการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้น เพื่อให้ง่ายต่อ

การวิเคราะห์หรือตีความได้ถูกต้องโดยมนุษย์หรือคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะเกี่ยวข้องกับความเข้มของจุดภาพ แต่บางครั้งภาพที่รับเข้ามาข้อมูลข่าวสารบางอย่างอาจสูญหายไป ด้วยเหตุนี้เราจึงมีการแปลงค่ารหัสตัวเลขของภาพ (Image transform) เพื่อยกระดับหรือเน้นจุดสนใจของภาพให้ตรงกับความต้องการของผู้ใช้ สำหรับในขั้นต้นของการแปลงค่ารหัสตัวเลขให้เป็นภาพนั้น ต้องพิจารณาถึงการกระจายทางสถิติของข้อมูลตัวเลขของจุดภาพการตรวจสอบการกระจายทางสถิติของข้อมูลตัวเลขของภาพ ทำได้โดยการพล็อตฮิสโตแกรมค่าข้อมูลตัวเลขภาพนั้น กราฟของฮิสโตแกรมได้จากการนับจำนวนจุดภาพที่มีระดับสีเทาต่าง ๆ หรือพูดได้ว่าฮิสโตแกรมของภาพก็คือความถี่ของระดับสีเทาต่าง ๆ ในภาพนั่นเอง แสดงค่าข้อมูลตัวเลขของภาพและฮิสโตแกรมของตัวเลขขนาด 144 จุดภาพ (12x12 จุดภาพ) ดังรูปที่ 3.5



1	3	5	2	1	0	0	4	1	2	1	0
2	1	3	2	2	1	3	2	1	2	5	3
1	1	2	3	2	1	0	2	3	1	3	2
2	3	2	4	9	10	11	11	13	14	11	5
1	3	2	4	5	11	14	14	13	15	9	4
1	0	1	5	7	14	13	11	12	11	10	4
1	1	0	7	8	12	14	14	11	12	4	1
3	4	2	8	15	15	13	13	13	12	13	9
0	1	3	8	14	15	15	13	11	8	3	3
1	1	2	9	13	12	15	14	11	12	4	2
1	3	10	13	14	15	14	15	14	12	10	7
1	1	2	5	6	12	10	5	6	2	1	2

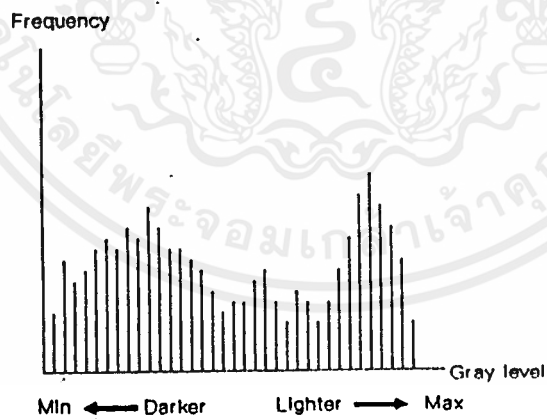
(a)

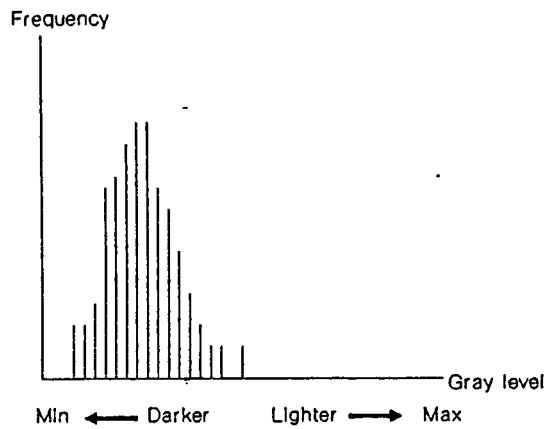


(b)

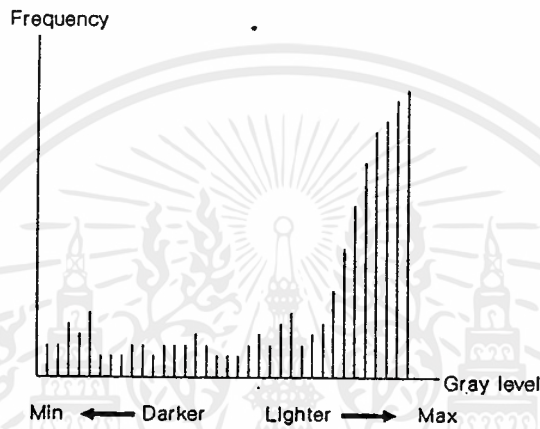
รูปที่ 3.5 a). แสดงค่าข้อมูลตัวเลขของภาพขนาด 144 จุดภาพ (12x12 จุดภาพ)

b). แสดงฮิสโตแกรมของข้อมูลตัวเลข





(b)



(c)

รูปที่ 3.6 แสดงคุณลักษณะที่สำคัญบางอย่างของกราฟฮิสโตแกรม a). ฮิสโตแกรมที่มีการกระจายข้อมูลอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วง b). ฮิสโตแกรมที่มีคอนทราสต์ที่ไม่ดีมืดมากเกินไป c). ฮิสโตแกรมที่มีการปรับปรุงใหม่ให้มีความสว่างขึ้น

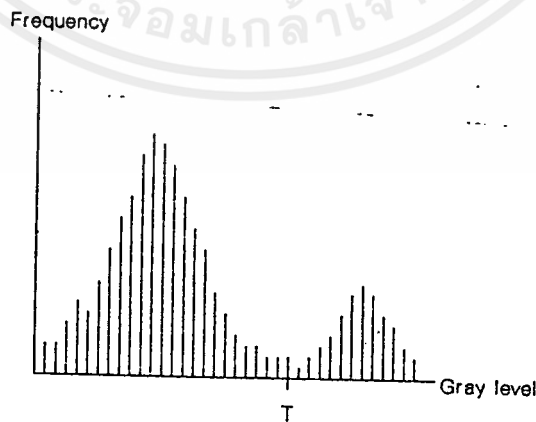
การกระจายข้อมูลข่าวสาร ในฮิสโตแกรมจะเกี่ยวข้องกับการสมดุลของระดับคอนทราสต์ของภาพ ถ้าเราพิจารณาในรูปที่ 3.6(a) จะเป็นการแสดงฮิสโตแกรมซึ่งมีระดับสีเทากระจายไปตลอดย่านอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เห็นรายละเอียดของภาพได้ชัดเจนถูกต้อง ดังนั้นแนวทางปฏิบัติควรจะเลือกฮิสโตแกรมลักษณะแบบนี้หรือว่าคล้ายลักษณะนี้ ซึ่งในการตรวจสอบลายปริ้นซ์นี้ เราสามารถที่จะกำหนดรูปแบบของฮิสโตแกรมได้ โดยจัดแสงไฟที่ส่องไปยังลายวงจรให้เหมาะสมก่อนที่จะเก็บภาพเข้ามา เมื่อเราเปรียบเทียบกับรูปที่ (b) จะเห็นว่าฮิสโตแกรมในลักษณะนี้จะได้ภาพที่มีระดับคอนทราสต์ที่ไม่ดี และจะมีผลทำให้ขาดรายละเอียดของภาพบางส่วนไป กรณีนี้ตำแหน่งของข้อมูลจะอยู่บริเวณค่าความเข้มสูง (Darker) โดยไม่มีการกระจายข้อมูลอย่างเหมาะสม จะได้ภาพที่ขาดจุดเด่นไป และเป็นภาพที่มืดมากเกินไปอาจจะแยกแยะจุดสำคัญออกมาได้ยาก ไม่เหมาะสมที่จะนำภาพมาทำ

การตรวจสอบ หรือในรูปที่ (c) เป็นการแสดงฮิสโตแกรมที่มีการปรับแต่งค่าระดับสีเทา จากส่วน Darker ให้มีการกระจายไปยังส่วน Lighter โดยวิธีการปรับปรุงคุณภาพของ ภาพดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น จากลักษณะฮิสโตแกรมจะเห็นว่าจำนวนจุดภาพบริเวณ Darker มีการลดจำนวนลง เพื่อให้ภาพมีความสว่างหรือมีความคมชัดขึ้น เราไม่สามารถ จะรับประกันได้ว่า ข้อมูลจะสูญเสียไปหรือไม่ อาจจะสูญเสยรายละเอียดบางอย่างไปก็ได้ ดังนั้นเราต้องมีการกระทำที่เหมาะสม

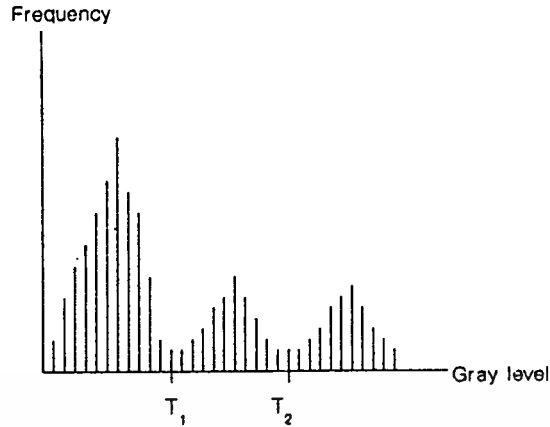
เพราะฉะนั้นฮิสโตแกรมที่แสดงค่าระดับสีเทาของภาพ มีประโยชน์ในการใช้แสดง ลักษณะของภาพที่รับเข้ามา ในการที่จะปรับระบบการถ่ายภาพหรือจัดแสงให้เหมาะสม เพื่อ อยู่ในขอบเขตที่กำหนด หรือเราอาจจะใช้ข้อมูลของฮิสโตแกรมนี้ ทำการแปลงรหัสข้อมูลตัว เล่มเสียใหม่ เพื่อให้ได้ภาพมีลักษณะเด่นชัดขึ้นมาตรงกับจุดประสงค์ของผู้ใช้ อย่างเช่น การ ถ่ายภาพข้อมูลระยะไกล เราไม่สามารถที่จะกำหนดลักษณะของฮิสโตแกรมได้ และกราฟฮิสโตแกรมยังใช้ในการเลือกค่าเรชโฮลด์ เพื่อทำภาพให้เป็นสองระดับอีกด้วย ซึ่งจะกล่าว ในหัวข้อต่อไป

3.4.2 การตัดค่าเรชโฮลด์ (Thresholding)

เรชโฮลด์เป็นค่าที่ใช้ในการแบ่งแยกส่วนวัตถุ (object) และส่วนฉาก (Background) ออกจากกันเพื่อที่จะแปลงค่าระดับสีเทาของภาพให้เป็นภาพไบนารี โดยจะให้ ส่วนวัตถุเป็น "1" (white) และให้ส่วนฉากเป็น "0" (black) แสดงฮิสโตแกรมค่าระดับ สีเทา (Gray level histogram) ดังในรูปที่ 3.7



(a)



(b)

รูปที่ 3.7 a). แสดงฮิสโตแกรมค่าระดับสีเทาที่มี เธรชโฮลด์ค่าเดียว (single threshold) b). แสดงฮิสโตแกรมค่าระดับสีเทาที่มี เธรชโฮลด์สองค่า (multiple thresholds)

เมื่อพิจารณาในรูปที่ 3.7 a) ซึ่งเป็นฮิสโตแกรมค่าระดับสีเทา ที่ได้จากฟังก์ชัน $f(x,y)$ จะประกอบด้วยความสว่างเป็นส่วนของวัตถุและความมืดเป็นส่วนของฉาก ซึ่งส่วนที่เป็นวัตถุและฉาก ซึ่งส่วนที่เป็นวัตถุและฉากจะถูกแบ่งแยกโดยการเลือกค่า เธรชโฮลด์ T ตั้งนั้นแต่ละจุด (x,y) ให้โดย $f(x,y) < T$ เป็นส่วนของวัตถุและส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนของฉาก ในรูปที่ 3.7 b) มีการแบ่งกลุ่มของค่าระดับสีเทาต่างจากแบบทั่วไป คือ จะแบ่งค่าระดับสีเทาเป็น 3 กลุ่ม (2 วัตถุและ 1 ฉาก) เราสามารถใช้วิธีการเดียวกันนี้ แบ่งจุด (x,y) เพื่อแยกเอาวัตถุออกมาให้โดย $T_1 < f(x,y) < T_2$ หรือ จะแยกเอาวัตถุอีกชิ้นออกมาโดย $f(x,y) < T_2$ และส่วนฉากจะให้โดย $f(x,y) > T_1$ วิธีการดังกล่าวนี้จัดเป็นชนิด เธรชโฮลด์สองค่าซึ่งจะให้ความถูกต้องน้อยกว่าแบบ เธรชโฮลด์ค่าเดียว เนื่องจากยากในการที่จะเลือกค่า เธรชโฮลด์ เพื่อเอาบริเวณที่ต้องการตรงกับจุดประสงค์ของผู้ใช้ วิธีการที่กล่าวมาแล้วข้างต้น ค่า เธรชโฮลด์จะถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบดังนี้

$$T = T [x,y,P(x,y),f(x,y)] \dots\dots (3.11)$$

เมื่อ $f(x,y)$ คือ ค่าระดับสีเทาที่จุด (x,y)

$P(x,y)$ คือ ตำแหน่งของค่าระดับสีเทา

เราสามารถสร้างเรขาคณิตของภาพ $g(x,y)$ ได้โดย

$$g(x,y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x,y) < T \\ \dots\dots\dots(3.12) \\ 0 & \text{if } f(x,y) > T \end{cases}$$

เมื่อ T ขึ้นอยู่กับฟังก์ชัน $f(x,y)$ จะถูกเรียกว่า โกลบอลเรขาคณิต (Global threshold) (ดังแสดงให้เห็นในรูปที่ 3.15(a) และถ้า T ขึ้นอยู่กับ 2 ฟังก์ชัน คือ $f(x,y)$ และ $P(x,y)$ แล้วจะถูกเรียกว่า โลคอลเรขาคณิต (Local threshold) ถ้า การรวมกันของค่า T ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุดโคออร์ดิเนต x และ y จะเรียกว่า ไดนามิกเรขาคณิต (dynamic threshold)

3.4.2.1 การเลือกค่าเรขาคณิตที่ดีที่สุด (Optimum thresholding)

วิธีการที่ง่ายสำหรับการเลือกค่าเรขาคณิต เช่น โกลบอลเรขาคณิต (Global thresholding) ที่ใช้แยกความแตกต่างของระดับสีเทาในส่วนวัตถุ (Object) และส่วนฉาก (Background) ออกจากกัน เพื่อตัดระดับภาพที่เหลือเพียงสองระดับ ในความเป็นจริงเป็นการยากที่จะเลือกได้ถูกต้องและให้เกิดความผิดพลาดน้อยที่สุด ซึ่งได้มีวิธีการเลือกค่าเรขาคณิตที่ดีที่สุดแบบอัตโนมัติหลายวิธีด้วยกัน ในที่นี้จะขอเสนอวิธีการโดยใช้ทฤษฎีของความน่าจะเป็นมาช่วย แบ่งแยก (Splitting) และการสร้างแบบจำลอง (Modelling) จากฮิสโตแกรมค่าระดับสีเทา (Gray level histogram) โดยการเลือกค่าเรขาคณิต จะมีการแบ่งแยกจำนวนจุดภาพออกเป็นสองส่วน โดยสมมติให้ C_d เป็นส่วนความมืดของจุดภาพมีค่าความเข้มมากกว่า เรขาคณิต T และ C_l เป็นส่วนความสว่างของจุดภาพมีค่าความเข้มน้อยกว่า เรขาคณิต T การคำนวณหาค่า T จะเริ่มต้นแบ่งแยกที่ระดับสีเทาค่า 0 จนถึง 255 ดังนั้นค่ามีชดิมเลขคณิต (mean) m_d ของส่วนความมืดและ m_l ของส่วนความสว่าง จะมีการคำนวณใหม่ทุกครั้ง เพื่อให้ง่ายต่อความเข้าใจสามารถแสดงหลักการของการเลือกค่าเรขาคณิตได้ดังนี้

กำหนดให้ $\{0, 1, 2, \dots, x, \dots, G-1\}$ เป็นเซตของค่าระดับสีเทา (Gray level)

ที่เป็นค่าบวก (Positive integers) มี 256 ระดับได้จำนวนจุดภาพทั้งภาพคือ

$$N = n_0 + n_1 + n_2 + \dots, n_x, \dots, G-1 \quad \dots (3.13)$$

ค่าระดับสีเทาที่ฮิสโตแกรมจะถูกนอร์มอลไลซ์ (normalized) ใหม่ ให้อยู่ในรูปของฟังก์ชันความหนาแน่นของความน่าจะเป็น (Probability density function) คือ

$$P_x = n_x / N, \quad x = 0, 1, 2, \dots, G-1 \quad \dots (3.14)$$

เราสมมุติว่ามีการแบ่งแยกฮิสโตแกรมที่ระดับ T เพราะฉะนั้นกลุ่มของจุดภาพจะถูกแยกออกเป็น 2 ส่วนคือ C_d จะมีย่านอยู่ในช่วง $[0, T]$ และ C_b จะมีย่านอยู่ในช่วง $[T+1, G-1]$ ดังนั้นเราสามารถที่จะคำนวณค่ามัชฌิมเลขคณิต (mean) และความแปรปรวน (Variance) ได้คือ

$$m_d = \sum_{x=0}^T x \cdot P_x \quad \dots (3.15)$$

$$m_b = \sum_{x=T+1}^{G-1} x \cdot P_x \quad \dots (3.16)$$

$$S_d^2 = \sum_{x=0}^T (x - m_d)^2 \cdot P_x \quad \dots (3.17)$$

$$S_b^2 = \sum_{x=T+1}^{G-1} (x - m_b)^2 \cdot P_x \quad \dots (3.18)$$

ค่า Priori Probabilities สามารถคำนวณได้จาก

$$P(C_d) = \sum_{x=0}^T P_x \quad \dots (3.19)$$

$$P(C_b) = 1 - P(C_d) = \sum_{x=T+1}^{G-1} P_x \quad \dots (3.20)$$

แบบจำลองของพาราเมตริกซ์ $P(x|C_d)$ และ $P(x|C_b)$ เป็นฟังก์ชันการกระจายความน่าจะเป็นแบบเกาส์เซียน (Gaussian distribution function) ของค่าความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อทศวรรษที่ 19 เท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

มีดและค่าความสว่างของจุดภาพ ตามลำดับ ให้โดย

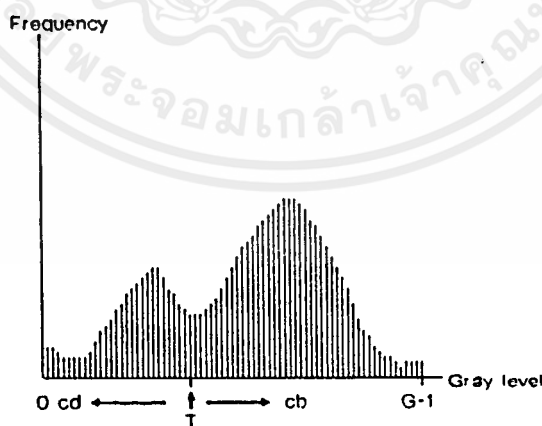
$$P(x|C_a) = 1/2pS_a^2 \exp[-1/2 (x-m_a)^2/S_a^2] \dots\dots (3.21)$$

$$P(x|C_b) = 1/2pS_b^2 \exp[-1/2 (x-m_b)^2/S_b^2] \dots\dots (3.22)$$

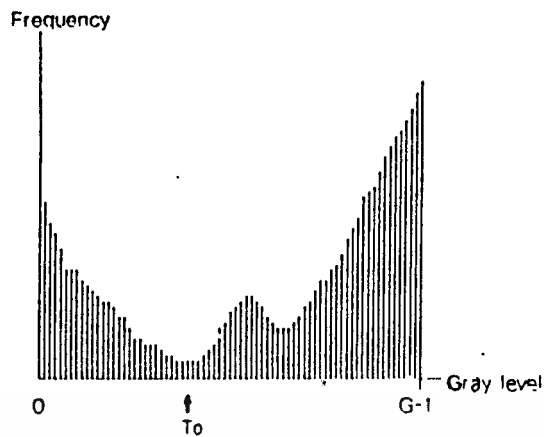
การคำนวณหาค่าเธรชโฮลด์ T สามารถที่จะได้โดย criterion function คือ

$$J(T) = S_x = 0^T [P(x|C_a) - P_x / P(C_a)]^2 + S_x = T + 1^G - 1 [P(x|C_b) - P_x / P(C_b)]^2$$

คุณสมบัติของ Criterion function (J(T)) จะเป็นตัวกำหนดคุณภาพของการ แลกแจบระหว่างแบบจำลองพาราเมตริกซ์ และนอนพาราเมตริกซ์ของการกระจายค่าระดับ สีเทาเพื่อเลือกค่าเธรชโฮลด์ที่ดีที่สุด โดยจะเลือกค่า J(T) ค่าต่ำที่สุดจะทำให้ได้ค่าเธรช โฮลด์ที่ผิดพลาดน้อยที่สุด แสดงรูปฮิสโตแกรมเดิมของภาพและฮิสโตแกรมใหม่ของภาพที่ใช้ คุณสมบัติของ criterion function J(T) ในรูปที่ 3.8



(a)



(b)

รูปที่ 3.8 a). แสดงรูปฮิสโตแกรมเดิม และ b). แสดงฮิสโตแกรมที่ได้มาจากการใช้คุณสมบัติของ criterion function $J(T)$

การเลือกค่าเรชโฮลด์ตั้งที่กล่าวมาจะใช้กับฮิสโตแกรมที่มีลักษณะเป็นค่าเรชโฮลด์เดี่ยว (single threshold) และเราสามารถที่จะพัฒนาต่อไปให้ใช้กับค่าเรชโฮลด์ 2 ค่า (Multithresholding) ได้

...

3.5 การหาโครงร่างหรือแกนกลางของลายวงจร (Skeleton)

เป็นการหาโครงร่างหรือแกนกลางของลายวงจร โดยวิธี thinning algorithm ซึ่งกำหนดค่าให้ "1" แทนจุดที่เป็นลายวงจรและค่า "0" แทนจุดที่ไม่เป็นลายวงจร (background) วิธีการนี้จะทำตามขั้นตอนพื้นฐาน 2 ขั้นตอนอย่างต่อเนื่องในการตรวจสอบจุดที่อยู่รอบนอกของลายวงจรที่มีค่าเป็น "1" และจะต้องมีจุดข้างเคียง (Neighbor-hood) อย่างน้อยหนึ่งจุดในแปดจุดที่มีค่าเป็นศูนย์ "0" เพื่อจะได้กำจัดจุดอื่นๆให้เป็น "0" ได้แสดง thinning algorithm ที่ใช้แปดจุดข้างเคียงแสดงได้ดังรูปที่ 3.9

จุด p1 คือจุดที่ต้องการตรวจสอบว่าจะกำจัดออกไป (ให้เป็น 0) หรือจะให้คงไว้ อัลกอริทึมของการทำ skeleton

ขั้นตอนที่ 1 จุด p1 จะถูกกำจัดออกไป ถ้าสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด แต่จะคงไว้ถ้าไม่เป็นจริงเกิดขึ้นในกรณีใดกรณีหนึ่ง

• 1) $2 \leq N(p1) \leq 6$

เมื่อ $N(p1)$ เป็นจำนวนที่จุดไม่เป็นศูนย์ ที่อยู่ข้างเคียงกับจุด p1 คือ

$$N(p1) = p2 + p3 + p4 + \dots + p9$$

p9	p2	p3
p8	p1	p4
p7	p6	p5

รูปที่ 3.9 แสดงตาราง Thinning algorithm ที่ใช้ 8 จุดข้างเคียง (8 Neighborhood)

2) $S(p_1) = 1$

เมื่อ $S(p_1)$ คือจำนวนของจุดที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 โดยตรวจสอบไปตามลำดับ p_2, p_3, \dots, p_9

3) $p_2 \cdot p_4 \cdot p_6 = 0$ (เมื่อ . แทนด้วยลอจิก AND)

4) $p_4 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$

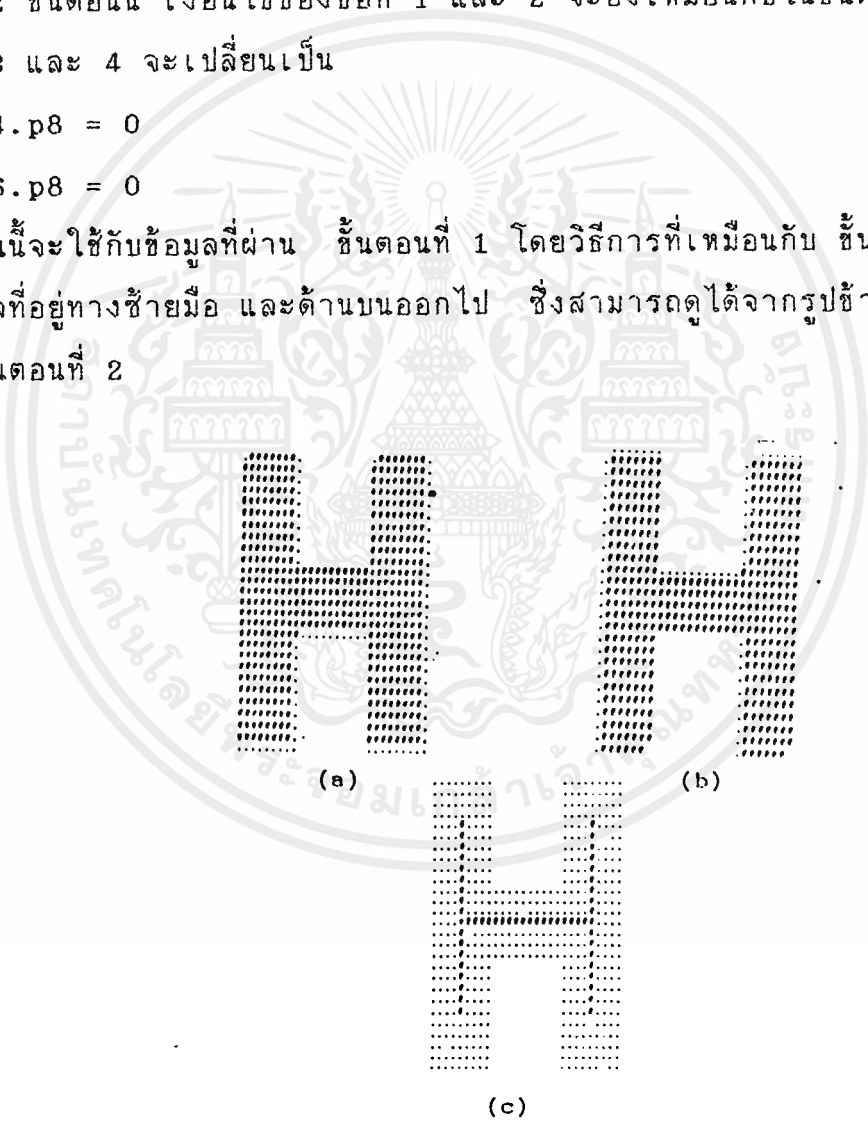
ขั้นตอนนี้จะใช้กับทุกๆจุดภาพที่อยู่โดยรอบของลายวงจรร ถ้าเงื่อนไขสอดคล้องกัน จุด p_1 จะถูกกำจัดออกไป

ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนนี้ เงื่อนไขของข้อที่ 1 และ 2 จะยังเหมือนกับในขั้นตอนที่ 1 แต่เงื่อนไขข้อที่ 3 และ 4 จะเปลี่ยนเป็น

5) $p_2 \cdot p_4 \cdot p_8 = 0$

6) $p_2 \cdot p_6 \cdot p_8 = 0$

ขั้นตอนนี้จะใช้กับข้อมูลที่ผ่าน ขั้นตอนที่ 1 โดยวิธีการที่เหมือนกับ ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดข้อมูลที่อยู่ทางซ้ายมือ และด้านบนออกไป ซึ่งสามารถดูได้จากรูปข้างล่างของขั้นตอนที่ 1 และขั้นตอนที่ 2



รูปที่ 3.10 (a) แสดงการทำตามขั้นตอนที่ 1 (b) แสดงการทำตามขั้นตอนที่ 2 (c) ผลที่ได้จากการทำ thinning algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบลายปริ้นท์

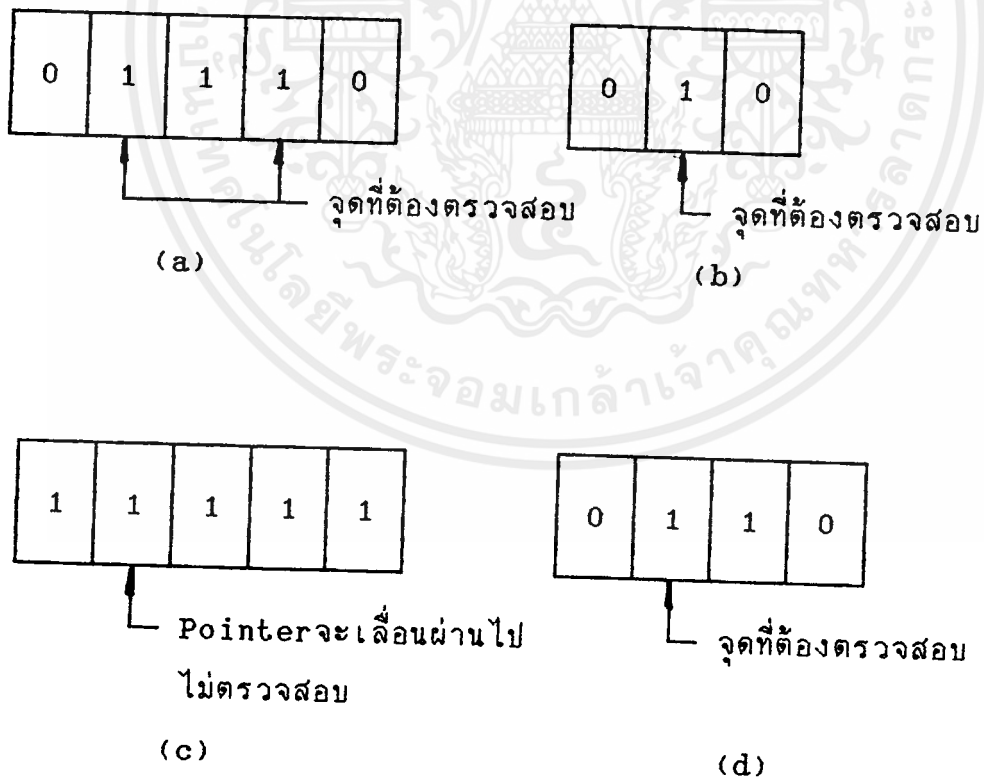
(Inspection of Printed Circuit Board)

การตรวจสอบลายปริ้นท์ตามวิธีการเดิม และวิธีการใหม่นั้น จะมีวิธีการกระทำที่ต่าง ทั้งวิธีการ และความสามารถในการตรวจเช็ค

สำหรับการตรวจสอบลายวงจรของเดิมนั้นจะเป็นการตรวจสอบด้วยขนาด 256x256 จุด (256x256 pixel) สำหรับการขาด (Opening) จะมีการตรวจสอบดังนี้

4.1 การตรวจสอบแบบเดิม

4.1.1 การกำหนดจุดที่ต้องทำการตรวจสอบ จุดที่จะทำการตรวจสอบนั้นจะเป็นจุดที่ค่าตัวแปรเปลี่ยนจาก "0" เป็น "1" หรือ "1" เป็น "0" คือค่าทางด้านซ้าย หรือทางขวาจะเป็น "0" ขณะที่ตัวที่ Pointer ชี้อยู่นั้นเป็น "1" และจุด 1 นี้จะต้องตรวจสอบ (ดังรูปที่ 4.1)



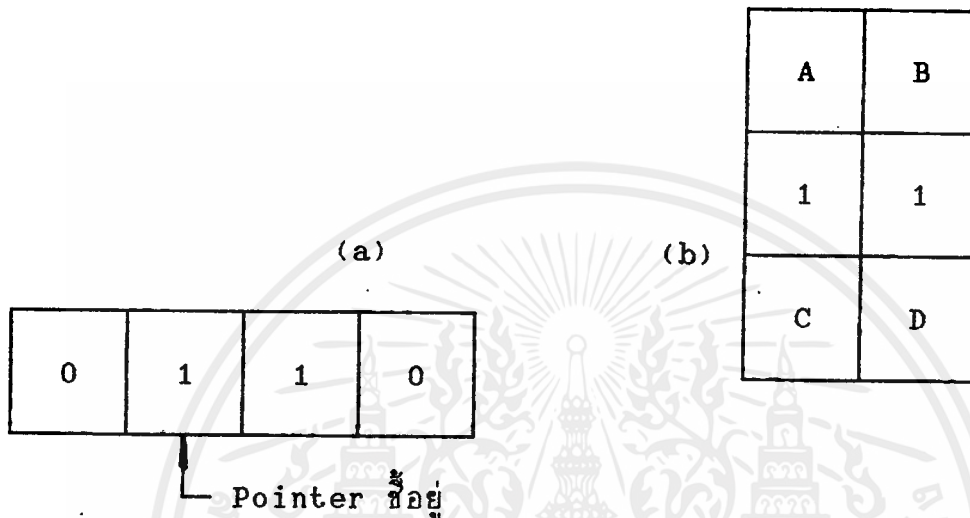
รูปที่ 4.1 แสดง Pointer ชี้จุดที่ต้องทำการตรวจสอบ

4.1.2 ขั้นตอนการตรวจสอบ

กรณีที่ 1: หลังจากกำหนดจุดที่ต้องตรวจสอบแล้ว ให้ตรวจสอบตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้ (ใช้ตารางการตรวจสอบรูปที่ 4.2)

ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ตำแหน่ง 5 นี้ยังต่อเนื่องกับตำแหน่งอื่นอยู่ ถ้าไม่เป็นจริงที่ตำแหน่ง 5 นี้คือจุดปลาย

กรณีที่ 2: การตรวจสอบเมื่อตำแหน่ง Pointer เป็นดังรูปที่ 4.2 (a)



รูปที่ 4.2 แสดงจุดตรวจสอบกรณีที่ 2

1). ให้ $A \text{ OR } B \text{ OR } C \text{ OR } D = 1$

ถ้าเงื่อนไขเป็นจริง ให้ตรวจสอบข้อต่อไป ถ้าเป็นเท็จ ให้ไปทำกรณีที่ 1

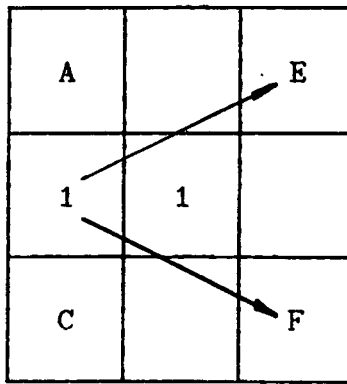
2). ให้ $B \text{ AND } C = 1 \dots (1)$

$A \text{ AND } D = 1 \dots (2)$

ถ้าเงื่อนไขใดเงื่อนไขหนึ่งใน 2 กรณีนี้เป็นจริง ตัดสินใจได้ว่า ตำแหน่งที่ Pointer ชี้อยู่นี้ มีความต่อเนื่องกับจุดอื่นๆ ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ ให้ตรวจสอบเงื่อนไขอื่นๆ ต่อไป

3). ให้ $A \text{ OR } C = 1 \dots (1)$

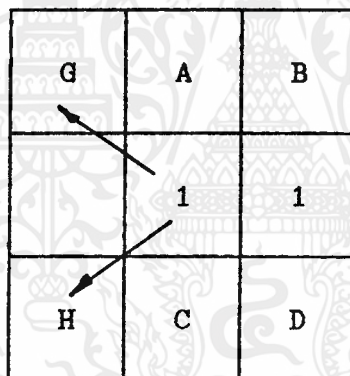
ถ้าเงื่อนไขนี้เป็นจริง ให้ตรวจสอบตามข้างล่างนี้



ให้ $E \text{ OR } F = 1 \dots (2)$

ถ้าเงื่อนไขนี้เป็นจริง ตัดสินใจได้ว่าตำแหน่งที่ Pointer ชี้อยู่นี้ บวกอีก 1 ในแนว
ทะแยงเป็นจุดต่อเนื่องถ้าไม่เป็นจริงแสดงว่าไม่ต่อเนื่อง กับจุดอื่นๆ อีก

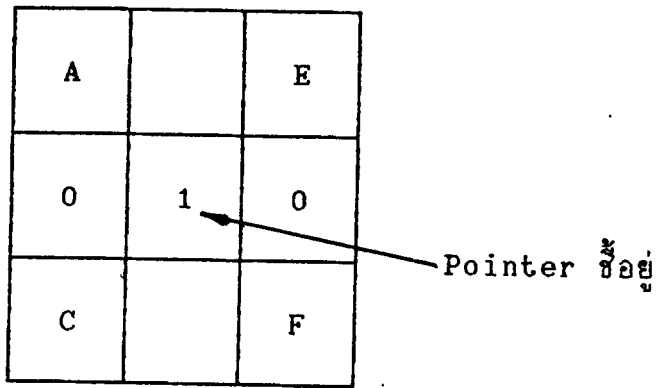
4). ถ้าใน Step 3 เงื่อนไขแรกไม่เป็นจริง ให้ตรวจสอบตามตาราง ข้างล่าง



ให้ $G \text{ OR } H = 1$

จุด B และ D จุดใด จุดหนึ่งต้องเป็น 1 แน่ๆ ถ้าเป็นจริงตามเงื่อนไข แสดง
ว่าเป็นตำแหน่งที่ Pointer ชี้อยู่เป็นจุดต่อเนื่อง ถ้าไม่เป็นจริง แสดงว่า ที่ตำแหน่งนี้
เป็นตำแหน่งที่ไม่ต่อเนื่องกับจุดอื่นๆ อีก

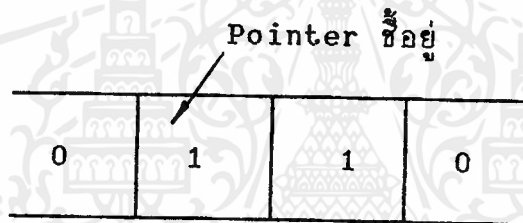
หมายเหตุ ในกรณีที่จุดตรวจสอบเป็นดังรูปข้างล่างนี้



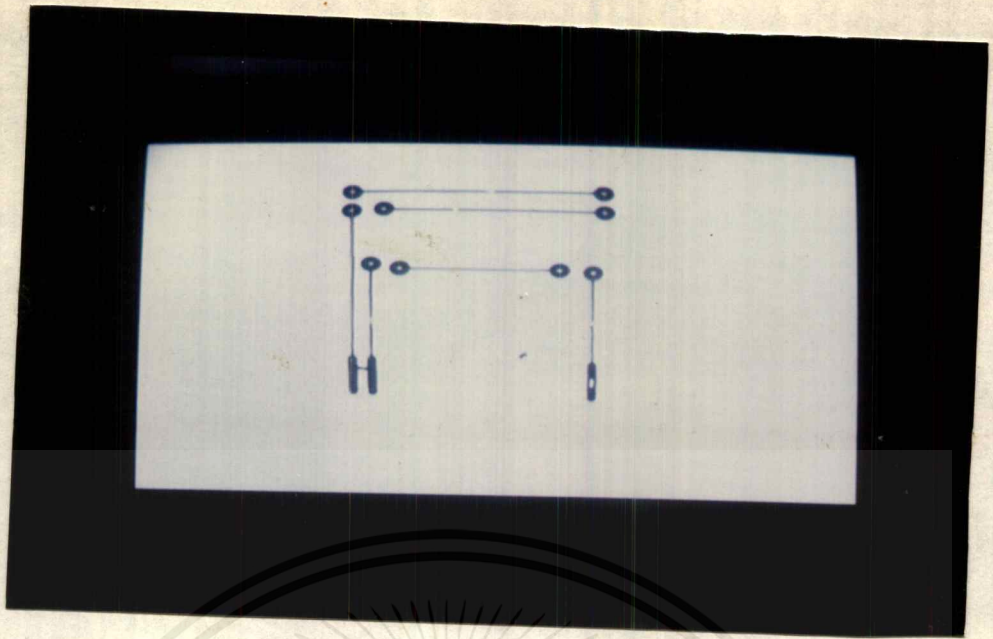
ให้ $A \text{ AND } E = 1 \dots (1)$

$C \text{ AND } F = 1 \dots (2)$

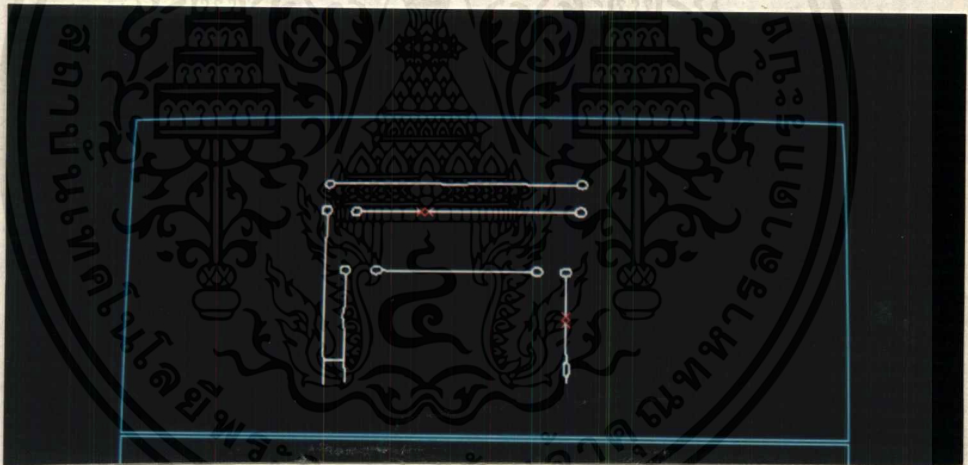
ถ้าเงื่อนไขใดใน 2 เงื่อนไข เป็นจริง ตัดสินใจว่าจุดนี้เป็นจุดต่อเนื่อง ถ้าไม่เป็นจริงทั้ง 2 กรณี ให้ตรวจสอบกรณีที่ 1 การที่ต้องการตรวจสอบ



ในกรณีที่ 2 เนื่องจากในการตรวจกรณีที่ 1 ไม่สามารถแยกแยะได้ว่า ตำแหน่งนี้ต่อเนื่องหรือไม่เนื่องจาก ในการตรวจสอบทั้ง 2 Pixels นี้มีส่วนที่คาบเกี่ยวกันในกรณีที่ 1



รูปที่ 4.3 แสดงภาพที่ต้องการตรวจสอบ



รูปที่ 4.4 แสดงภาพจากการใช้โปรแกรมหาจุดขาด

4.2 การตรวจสอบที่พัฒนาขึ้น

จากข้อมูลภาพที่ได้ จะนำมาทำเป็นภาพ 2 ระดับ (Binary Image). เพื่อแยก
ระหว่างข้อมูลของภาพ (Data) กับฉากของภาพ (Blackground) ออกจากกัน จากนั้น
จะนำข้อมูลของภาพ (data) มาเพื่อตัดหาแกนกลางของภาพ (Skeleton) ขึ้นต่อไป
จึงจะเป็นวิธีการที่จะตรวจสอบการขาดของลายวงจร

จากการพัฒนาที่ได้เพิ่มขึ้น จะทำโดยการกำหนดการหาตำแหน่งสุดท้าย ของลาย
วงจรมีการขาด และจะกำหนดจุดนั้นให้เป็นการกำหนดตำแหน่งบล็อกตรวจสอบ ซึ่งจะวาง
ตามตำแหน่งต่าง ๆ โดยการให้ค่าความสำคัญของตำแหน่งแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน เพื่อ
ให้มีการทำงานของโปรแกรมที่รวดเร็วมากขึ้น โดยผลการตรวจสอบไม่แตกต่างมากนัก

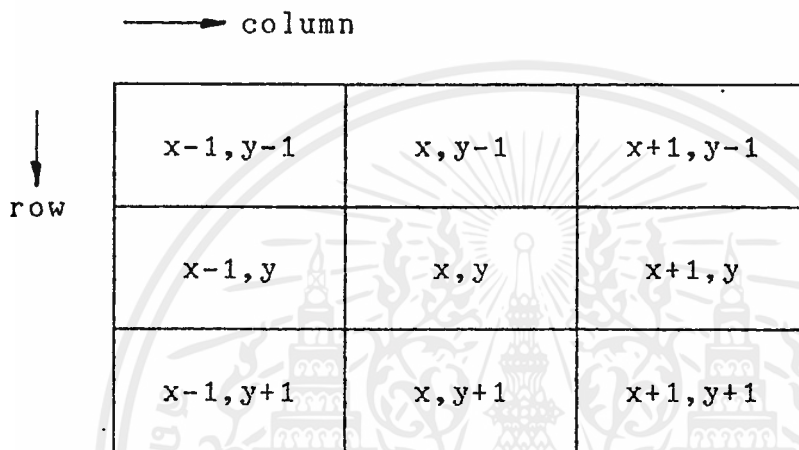
ตารางการให้น้ำหนักทิศทางของการวางตำแหน่งบล็อกตรวจสอบ

ตำแหน่ง ก่อน สุดท้าย	การวางบล็อกตรวจสอบ			
	บน(up)	ขวา(right)	ซ้าย(left)	ล่าง(down)
x-1,y-1				✓
x,y-1				✓
x+1,y-1				✓
x-1,y		✓		
x,y	*	*	*	*
x+1,y			✓	
x-1,y+1	✓			
x,y+1	✓			
x+1,y+1	✓			

* ตำแหน่งสุดท้าย สำหรับหาตำแหน่งก่อนสุดท้าย

4.2.1 การกำหนดจุดที่ต้องทำการตรวจสอบ เมื่อผ่านการทำ Skeleton จะสามารถหาจุดสุดท้ายได้ จากการเปลี่ยนค่าจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 และจะต้องหาตำแหน่งนิกต์ที่รองจากจุดสุดท้าย เพื่อที่จะหาทิศทางการวางของบล็อกตรวจสอบ

การหาจุดสุดท้ายนั้นจะตรวจสอบรอบ ๆ จุดสุดท้ายว่ามีตำแหน่งอยู่ที่ตำแหน่งใด ซึ่งอาจเป็นไปได้ทุกตำแหน่งรอบ ๆ ตัว



รูปที่ 4.5

ตำแหน่งสุดท้าย และรองสุดท้ายจะสัมพันธ์กับการวางบล็อกการตรวจสอบ ซึ่งสามารถตรวจแยกได้เป็น 4 กรณี โดยที่ตำแหน่ง $(x, y) = 1$ เนื่องจากเป็นตำแหน่งสุดท้าย

กรณีการตรวจพบ

1. ตรวจสอบพบจุดรองสุดท้ายที่ $(x-1, y-1)$ หรือ $(x, y-1)$ หรือ $(x+1, y-1)$ จะวางบล็อกตรวจสอบแบบ DOWN ดังรูป 4.6

กรณีการตรวจพบ สมการ $(x-1, y-1) \text{ OR } (x, y-1) \text{ OR } (x+1, y-1) = 1$

$$(x-1, y) \text{ OR } (x+1, y) = 0$$

$$(x-1, y+1) \text{ OR } (x, y+1) \text{ OR } (x+1, y+1) = 0$$

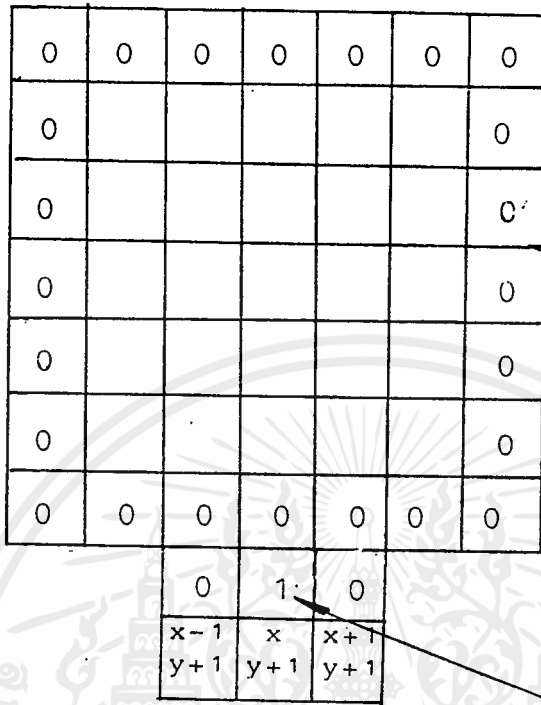
Pixel สุดท้าย

	$x-1$	x	$x+1$			
$y-1$		$y-1$	$y-1$			
	0	1	0			
0	0	0	0	0	0	0
0						0
0						0
0						0
0						0
0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.6

2. ตรวจสอบพบจุดรองสุดท้ายที่ $(x-1, y+1)$ หรือ $(x, y+1)$ หรือ $(x+1, y+1)$ จะวางบล็อกตรวจสอบแบบ UP ดังรูปที่ 4.7

กรณีการตรวจพบ สมการ $(x-1, y+1) \text{ OR } (x, y+1) \text{ OR } (x+1, y+1) = 1$
 $(x-1, y) \text{ OR } (x+1, y) = 0$
 $(x-1, y-1) \text{ OR } (x, y-1) \text{ OR } (x+1, y-1) = 0$

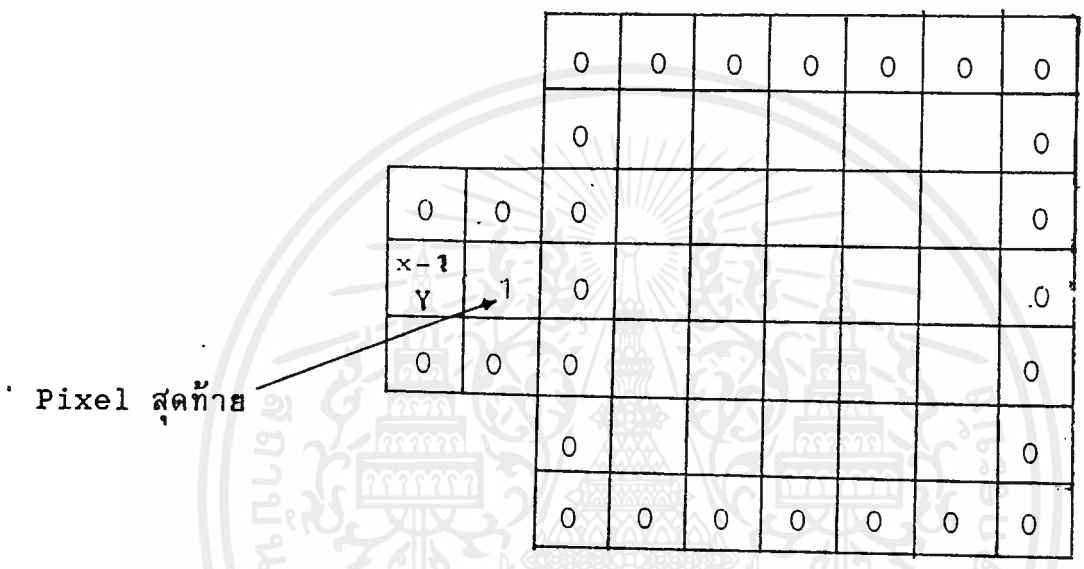


Pixel สุดท้าย

รูปที่ 4.7

3. ตรวจสอบพบจุดรองสุดท้ายที่ $(x-1, y) = 1$ จะวางบล็อกแบบ Right ดังรูปที่ 4.8

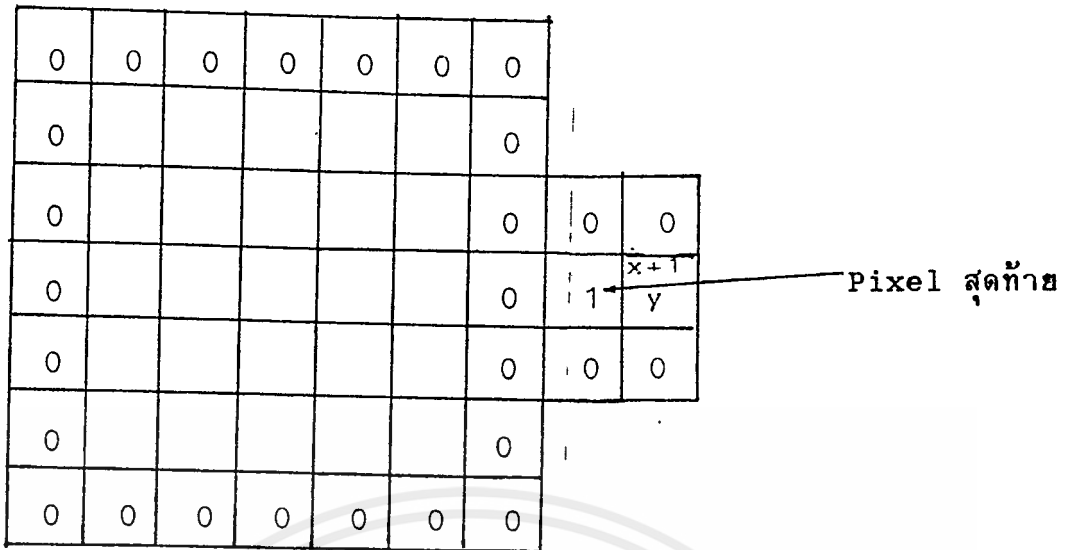
$$\begin{aligned} \text{สมการ} \quad & (x-1, y-1) \text{ OR } (x, y-1) \text{ OR } (x+1, y-1) = 0 \\ & (x-1, y+1) \text{ OR } (x, y+1) \text{ OR } (x+1, y+1) = 0 \\ & (x+1, y) = 0 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.8

4. ตรวจสอบพบจุดตรงสุดท้ายนี้ $(x+1, y) = 1$ จะวางบล็อกแบบ Left ดังรูปที่ 4.9

$$\begin{aligned} \text{สมการ } & (x-1, y-1) \text{ OR } (x, y-1) \text{ OR } (x+1, y-1) = 0 \\ & (x-1, y+1) \text{ OR } (x, y+1) \text{ OR } (x+1, y+1) = 0 \\ & (x-1, y) = 0 \end{aligned}$$



รูปที่ 4.9

4.2.2 บล็อกตรวจสอบ

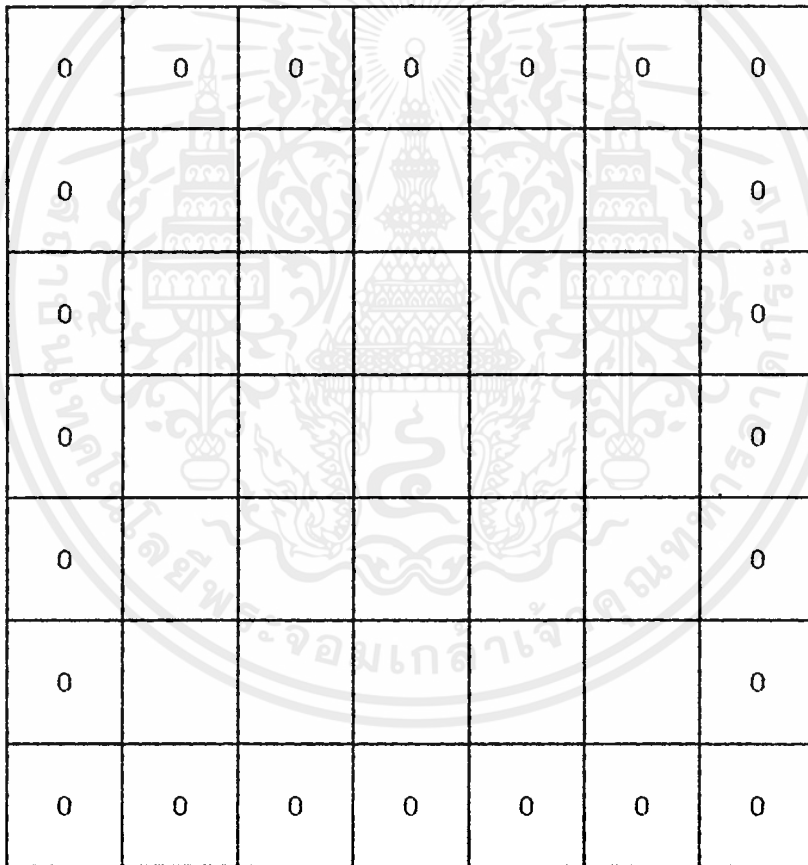
สำหรับบล็อกตรวจสอบนั้นจะกำหนดขนาดบล็อกโดยอาศัยความสามารถในการเก็บภาพของลายวงจรมีความละเอียดชัดเจนเพียงใด และการขาดของลายวงจรส่วนมากแล้วจะมีการขาดอยู่ในช่วงใด ซึ่งโดยปกติจะมีระยะห่างไม่มากนัก เพราะการขาดเนื่องจากการสั่น หรือการขาดเนื่องจากการกัดของกรดกัดปรินซ์จะไม่มากนักและสิ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วยก็คือระยะห่างของซาอุปกรณ์ประเภทขาลอย(Mouse surface) มีประมาณเท่าใดจึงนำมากำหนดขนาดของบล็อกตรวจสอบเพื่อป้องกันความผิดพลาด

ลักษณะของบล็อกตรวจสอบ

บล็อกตรวจสอบที่กำหนดใช้ในการตรวจสอบจะมีขนาด 7x7 จุด(7x7 pixel) เพราะจะมีระยะห่างและการครอบพื้นที่ในแนวกว้างและยาวไม่มากเกินไป เมื่อวางบล็อกตรวจสอบแล้วชนกับขอบของภาพซึ่งอาจมีค่าใด ๆ อยู่ บล็อกตรวจสอบจะยุบส่วนที่เกินนั้นทิ้งเพื่อไม่ให้เกิดการตรวจสอบที่ผิดๆของ โปรแกรมบล็อกตรวจสอบจะมีค่า 0 (ศูนย์) อยู่ในการใช้ตรวจสอบเพราะในการตรวจสอบค่าของข้อมูล(data) ให้ค่าเท่ากับ 1 (หนึ่ง)

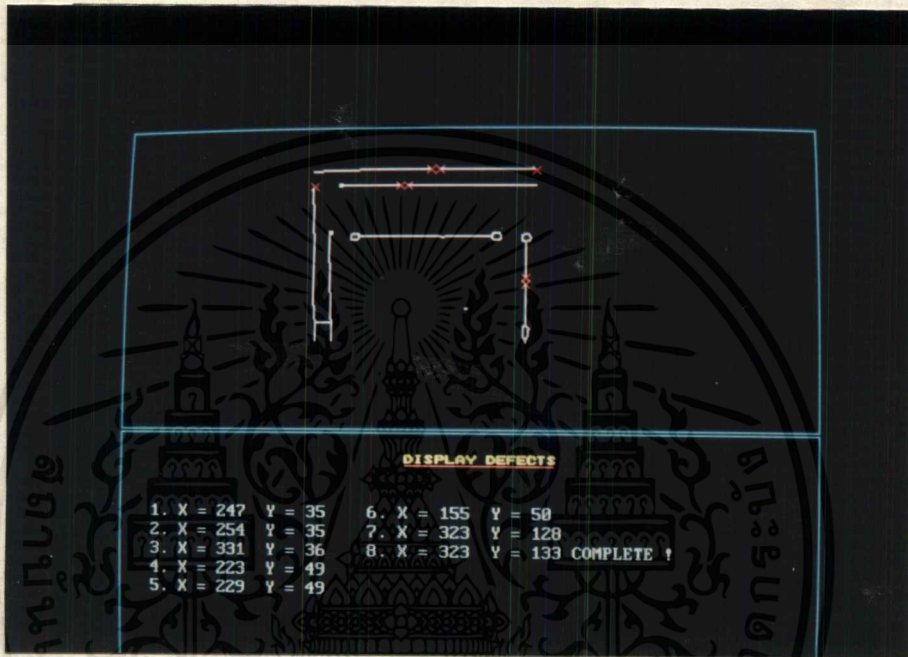
โปรแกรมจะมีความยืดหยุ่นในการเขียนเพื่อให้สามารถแก้ไขขนาดของบล็อกได้ด้วย

เมื่อกำหนดการวางตำแหน่งบล็อกแล้ว วิธีการตรวจสอบว่ามีารขาดของลายวงจรหรือไม่ กระทำโดยการให้ค่าในบล็อกที่มีค่าเป็น 0 (ศูนย์) นำไปกระทำโดยวิธีการทางลอจิกโดยการ OR กันกับภาพข้อมูลที่ตำแหน่งการตรวจสอบ ในบริเวณของบล็อกถ้ามีภาพข้อมูลมีค่าเป็น 1 (หนึ่ง) ซึ่งหมายถึงมีลายทองแดงในบริเวณนั้น แสดงว่าลายทองแดงที่จุดนั้นมีส่วนที่ขาด และจะกำหนดตำแหน่งนี้ไว้ และถ้าในบริเวณนั้นไม่มีลายวงจรอยู่และจะสรุปได้ว่าในส่วนปลายของลายทองแดงนั้น จะเป็นส่วนที่เป็นส่วนของขาเสียบร่องสลิตหรือเป็นขาของอุปกรณ์ประเภทชาลอย (Mouse surface)



0	0	0	0	0	0	0
0						0
0						0
0						0
0						0
0						0
0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 4.10 ลักษณะของบล็อกที่ใช้ในการตรวจสอบ



**หมายเหตุ ในการตรวจสอบจริงใช้บล็อกขนาด 13x13 จุด เพราะจะครอบคลุมการตรวจสอบได้ดีกว่า

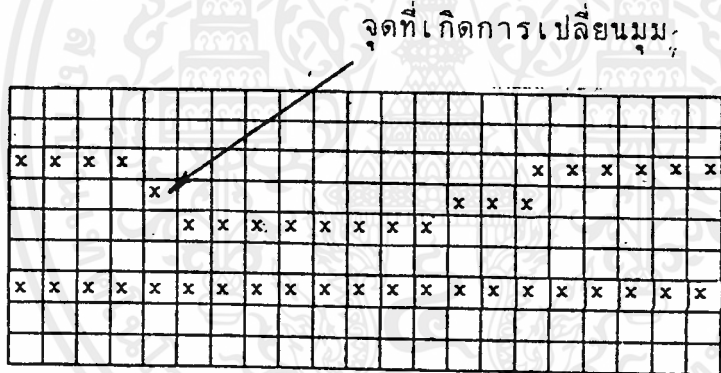
รูปที่ 4.12 ภาพผลสำเร็จที่ตรวจเช็คแล้ว

4.3 การตรวจสอบการบาง (Thinning Inspection)

สำหรับแนวความคิดในการตรวจเช็คการบางของลายปริ้นซ์แบบใหม่นั้นจะใช้หลักการเปลี่ยนมุมของลายปริ้นซ์ และจะตรวจเช็คความกว้างของลายวงจรโดยการหาระยะความกว้างเฉลี่ยที่เกิดการบาง เปรียบเทียบกับลายปริ้นซ์ปกติของลายวงจรมานั้น ซึ่งจะต่างจากวิธีเดิมที่ต้องกำหนดความกว้างของลายปริ้นซ์จึงจะตรวจสอบได้ ซึ่งจะทำให้มีข้อจำกัดในการตรวจสอบ ที่จะตรวจลายต่างขนาด เพราะเมื่อในแผ่นปริ้นซ์ที่มีทั้งลายเล็กและลายใหญ่การบางของลายที่ใหญ่อาจจะหนาเท่ากับลายที่เล็กหรืออาจจะหนากว่า ก็จะทำให้เกิดความผิดพลาดขึ้น

วิธีการตรวจเช็ค

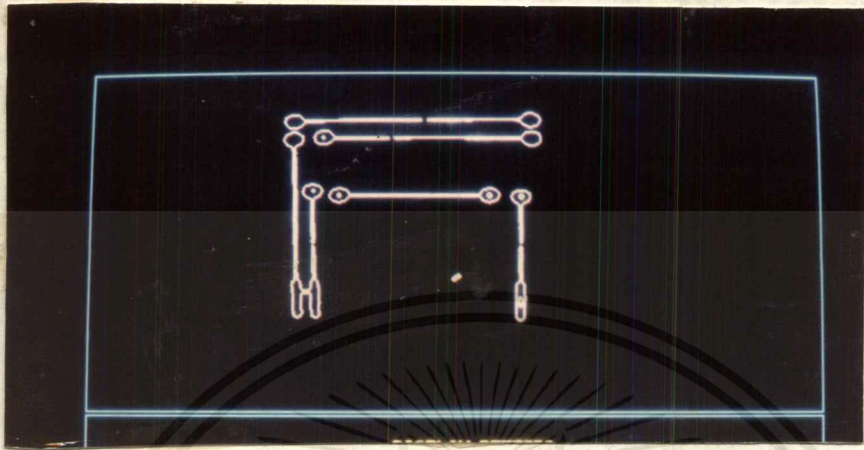
1. ตรวจสอบหาจุดเปลี่ยนมุมของลายปริ้นซ์จากภาพข้อมูลที่ได้ จากภาพที่ผ่านการทำการตัดขอบภาพ (Edge detection) วิธีการหาจาก ทฤษฎีการเปลี่ยนมุมของการตรวจสอบลายปริ้นซ์ (ปริญาณิพันธ์ ปี พ.ศ. 2534) และทำการมาร์คไว้ ดังรูปที่ 4.13



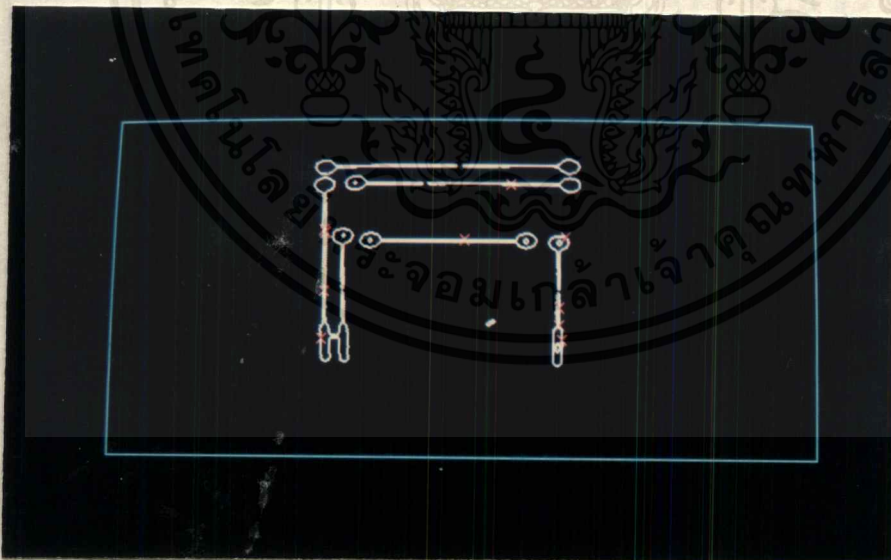
รูปที่ 4.13 แสดงจุดที่ทำการมาร์คที่จุดเปลี่ยนมุม

2. คำนวณหาความกว้างเฉลี่ยของลายปริ้นซ์ปกติโดยเริ่มจากจุดที่เกิดการเปลี่ยนมุมเข้ามาเพื่อหาระยะเฉลี่ยของลายปริ้นซ์จากขอบหนึ่งไปยังอีกขอบหนึ่ง โดยเช็คถอยเข้าไปจำนวน a pixel ก็จะหาพื้นที่ไปยังอีกขอบหนึ่ง ว่ามีพื้นที่เท่าใด ซึ่งจากรูปที่ 4.14 ในระยะ a pixel จะมีจำนวนเท่ากับ 20 pixel

3. คำนวณหาความกว้างเฉลี่ยของจุดที่เริ่มเปลี่ยนมุมไปทางด้านหน้า ในระยะ a pixel แล้วหาพื้นที่เช่นเดียวกับวิธีการใน 2. ซึ่งจากรูปได้พื้นที่เท่ากับ 13 pixel ดังรูปที่ 4.15



(ก)



(ข)

รูปที่ 4.16 ภาพการตรวจสอบการวางของลายปริ๊นท์ (ก).ภาพตัดขอบสำหรับตรวจสอบ
(ข).ภาพผลการตรวจสอบการวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงแก้ไข และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

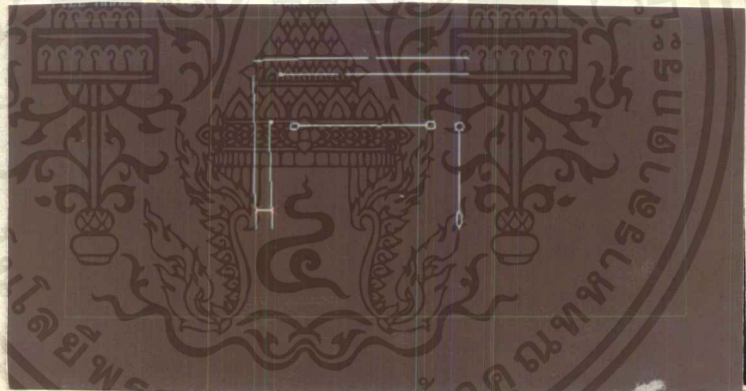
4.4 การตรวจสอบหาส่วนเกินของลายวงจร

สำหรับการปรับปรุงการตรวจหาส่วนเกินของลายวงจรซึ่งเดิมนั้น จะหาจากภาพตัดขอบ(Edge detection) โดยการหาจุดศูนย์กลางของภาพที่ตัดขอบมา ซึ่งลายวงจรที่ผิดปรกติจะมีขอบของภาพจากศูนย์กลางต่างกัน แล้วจึงทำการมาร์คที่จุดนั้นว่าเป็นจุดผิดปรกติ

สำหรับวิธีการใหม่ที่เพิ่มเติมขึ้นนั้น จะใช้ภาพข้อมูลที่ผ่านการทำเป็นภาพไบนารี(Binary image) มาตัดเป็นภาพกระดูก(Skeleton image) แล้วจึงนำภาพที่ได้มาใช้ตรวจสอบ โดยนำการตรวจสอบในวิธีการเดิมและวิธีการใหม่ มาตรวจสอบซึ่งทำได้ดังนี้

วิธีการตรวจสอบ

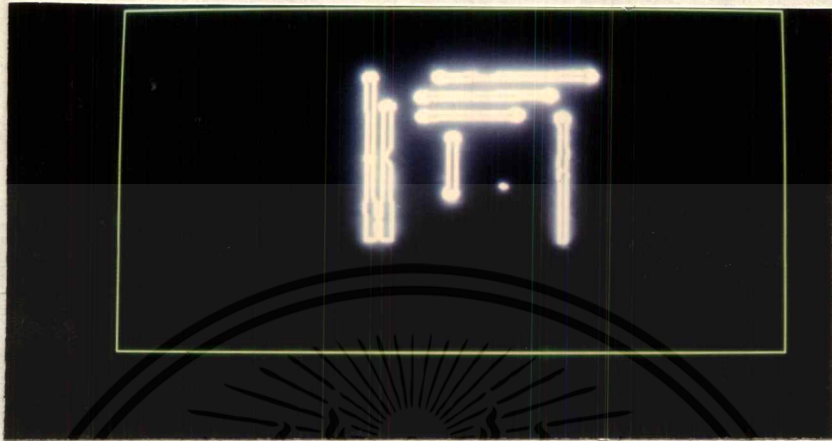
1. นำภาพที่ได้จากการตัดหาภาพกระดูกมาหาระยะของลายวงจร ที่มีขนาดสั้นกว่าปรกติ แล้วทำการจดจำ ตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ และถ้ามีเงื่อนไขให้ไปทำใน 2. เพราะว่าในตรวจในกรณีที่ 1. นั้นไม่สามารถที่จะวิเคราะห์ได้ทีเดียวว่าเป็นส่วนเกินของลายปรินซ์ ซึ่งอาจจะเป็นส่วนของขาอุปกรณ์ได้



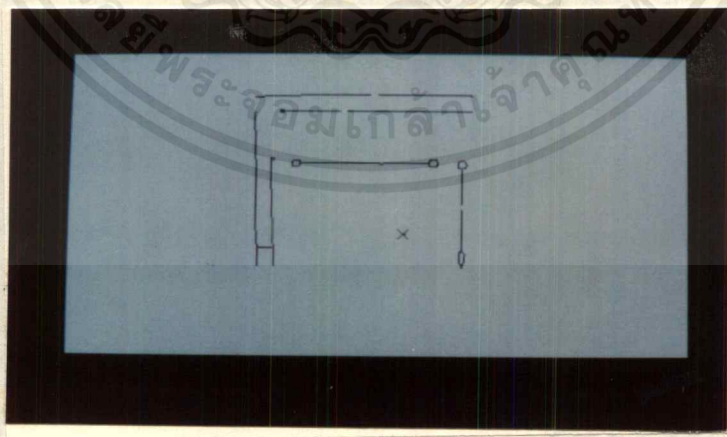
รูปที่ 4.17 (ก). ภาพกระดูกของลายวงจรซึ่งมีส่วนที่เป็นลายวงจรปรกติ และส่วนที่เกินของวงจรเพื่อตรวจสอบตามขั้นตอนที่ 1.

2. นำภาพที่ได้จากการตรวจสอบหาขอบภาพ มาหาจุดศูนย์กลางของวงรอบและหาการกระจายของจุดภาพ ตามวิธีการเดิม(การตรวจสอบลายปรินซ์ ปริญา นินท์ ปีพ.ศ. 2534 โดย อ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ รังสรรค์ น้อยจินดา) เพื่อแยกลักษณะของส่วนที่เป็นส่วนเกินออกจากลายวงจรที่เป็นลายปรกติแล้วทำการมาร์คและกำหนดเป็นจุดที่เป็นส่วนเกิน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.17 (ข). ภาพตัดขอบของลายวงจรซึ่งมีส่วนที่เป็นลายวงจรปกติ และส่วนที่เกินของวงจรเพื่อตรวจสอบตามขั้นตอนที่ 2.



รูปที่ 4.18 แสดงการตรวจเช็คการตรวจสอบหาส่วนเกินของลายวงจร

การตรวจสอบลายวงจรถืออาศัยภาพที่เก็บกล้องนั้น เพื่อให้โปรแกรมที่เขียนขึ้นมาสามารถใช้งานได้กับภาพข้อมูลทีกล้องเก็บมาได้จริง และการเก็บภาพนั้นจะต้องมีการเก็บที่มีความแตกต่างระหว่างส่วนของข้อมูล (data) และฉาก (background) ที่ค่อนข้างชัดเจนไม่เช่นนั้นจะทำให้เกิดการผิดพลาดในวิธีการตรวจสอบ เพราะโปรแกรมไม่สามารถที่จะแยกภาพข้อมูลออกจากฉากได้ ซึ่งทำโดยการจัดแสงที่เหมาะสมหรือใช้กล้องที่มีประสิทธิภาพสูง ซึ่งทั้งนี้จะขึ้นอยู่กับการ์ดที่ใช้เก็บภาพด้วย

การตรวจสอบลายวงจรถือจะมีการตรวจสอบตามทฤษฎีที่ได้กล่าวมาข้างต้นและจะทำการตรวจสอบลายวงจรถือที่มีความแตกต่างระหว่างขนาดของลายวงจรถือ ขนาดเล็กสุดของลายวงจรถือที่กล้องจะสามารถเก็บภาพได้ด้วย การเก็บภาพนั้นจะให้ระยะทางจากกล้องไปยังวัตถุนั้นคงที่เพื่อเปรียบเทียบกันและตามคุณลักษณะของกล้องการมองภาพที่อยู่ในระยะใกล้จะมีขนาดใหญ่กว่าระยะไกล

ระยะทาง ตรวจเช็ค (ซม.)	ขนาดลายปริ้นท์ที่สามารถตรวจได้ (มม.)				
	ขนาด	ซีด	บาง	ฟิน	โบล
7	/	/	/	/	/
10	/	/	*	/	/
13	/	/	*	/	/
16	*	*	*	*	*
19	*	*	*	*	*
22					
25					
28					

* หมายถึงเหตุกล้องจับภาพเริ่มเบลอมามาก ไม่สามารถตรวจสอบได้

ระยะทาง ตรวจเช็ค (ชม.)	ขนาดลายปริ้นท์ที่สามารถตรวจได้ (มม.)				
	ขาด	ขีด	บาง	ฟีนโฮล	บลิบ
7	/	/	/	/	/
10	/	/	/	/	/
13	/	/	*	/	*
16	/	/	*	/	*
19	/	/	*	*	*
22	*	*	*	*	*
25					
28					

*หมายเหตุภาพ
เบลอมากไม่
สามารถตรวจ
สอบได้

สำหรับการตรวจจริงด้วยกล้องแล้วส่วนที่มีผลการตรวจนั้นจะขึ้นอยู่กับ
สภาพแวดล้อม การให้แสง ระยะห่างตลอดจนการเลือกค่าเรซโฮลด์
เปลี่ยนแปลงได้เสมอ

ลักษณะของกล้อง
ซึ่งสามารถที่จะ

บทสรุป

การตรวจสอบลายปริ้นซ์ที่ได้มีการปรับปรุงอัลกอริทึมของการตรวจสอบการขาด (Openning) การบาง (Thinning) และตรวจสอบหาส่วนเกินของลายปริ้นซ์ (Blob) ให้มีความสามารถในการตรวจสอบได้ดีขึ้น มีการใช้ภาพข้อมูลที่มีความละเอียดสูงขึ้น ทำให้ความแม่นยำในการตรวจสอบนั้นดีขึ้นด้วย และจากผลการทดลองการตรวจสอบลายปริ้นซ์ ซึ่งสรุปได้จากการตรวจสอบนั้นสามารถตรวจสอบได้ถูกต้องมากกว่า วิธีการเดิม

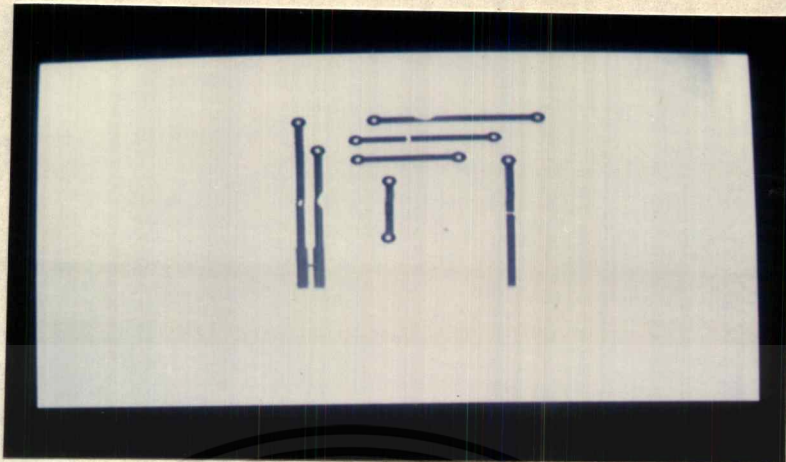


หนังสืออ้างอิง

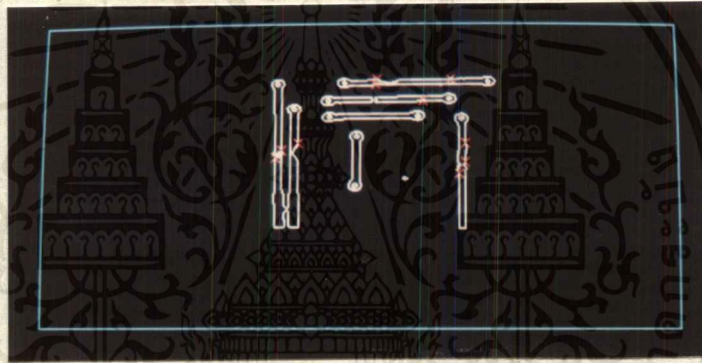
- [1] เกษตร์ คิริสันติสัมฤทธิ์, รั้งสรรค น้อยจินดา, สาท คำมูล, สุริยะ คลังสิน " Inspection of Printed circuit Board ", วารสารประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14 , ณ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ หาดใหญ่, 2534
- [2] เฉลิมเกียรติ สุทธิปัญญา, วันชัย สกุลวิจิตรสินธุ, สัมศักดิ์ สุคนธศิริพร, " Inspection of Printed circuit Board ", ปรินญาณินพนธ์ ระดับปริญญาตรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2533
- [3] รั้งสรรค น้อยจินดา, สาท คำมูล, สุริยะ คลังสิน, " Inspection of Printed circuit Board ", ปรินญาณินพนธ์ ระดับปริญญาตรี, คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง, พ.ศ. 2534
- [4] Rafael C.Gonzalez, "Digital image proessing", Second Edition Addison-Wesley, 1987.

ภาคผนวก

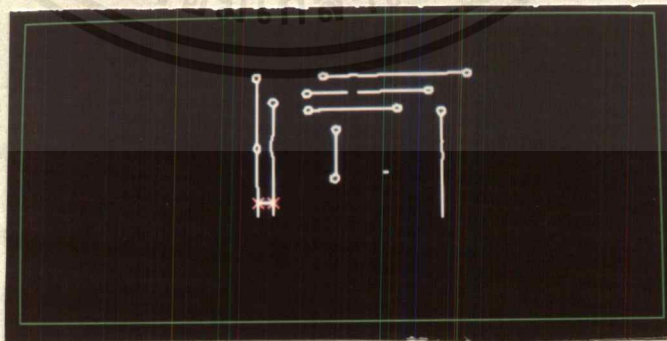
ภาพตัวอย่างการตรวจสอบลายปริ้นซ์



ภาพข้อมูลที่กล้องเก็บข้อมูลขนาดลายปริ้นซ์ 3.0 มม.

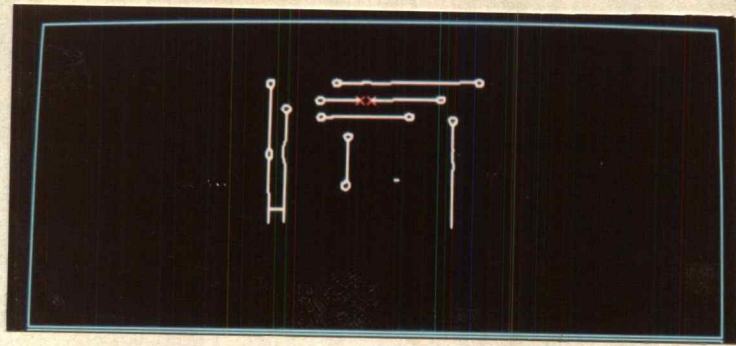


ภาพการตรวจการขางของลายปริ้นซ์



ภาพการตรวจการขีดของลายปริ้นซ์

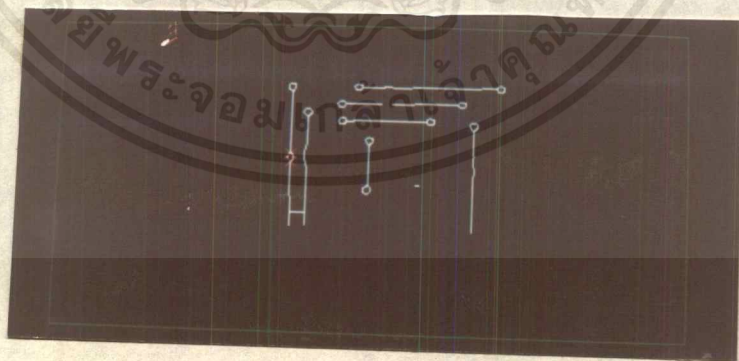
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพการตรวจการขาดของลายปรินซ์

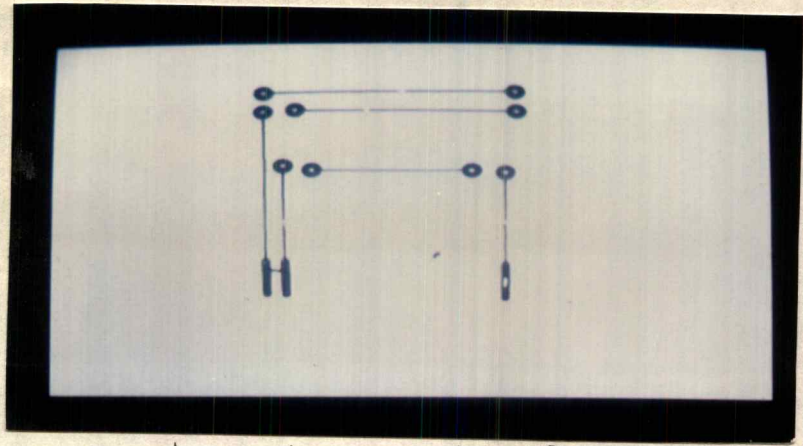


ภาพการตรวจการหาส่วนเกินของลายปรินซ์

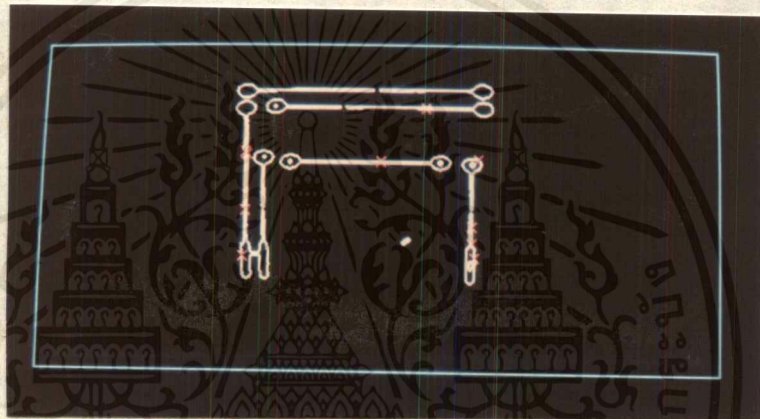


ภาพการตรวจหาหลุมที่เกิดขึ้นในลายปรินซ์

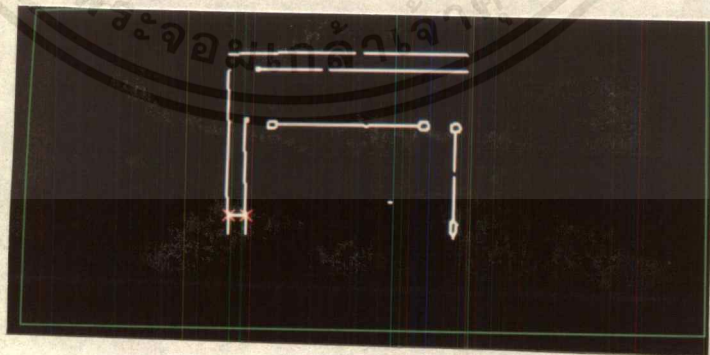
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพข้อมูลที่กล้องเก็บข้อมูลขนาดลายปริ้นซ์ 0.5 มม.

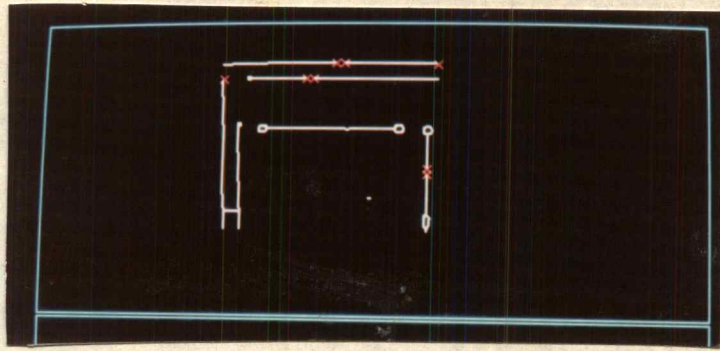


ภาพการตรวจการบางของลายปริ้นซ์

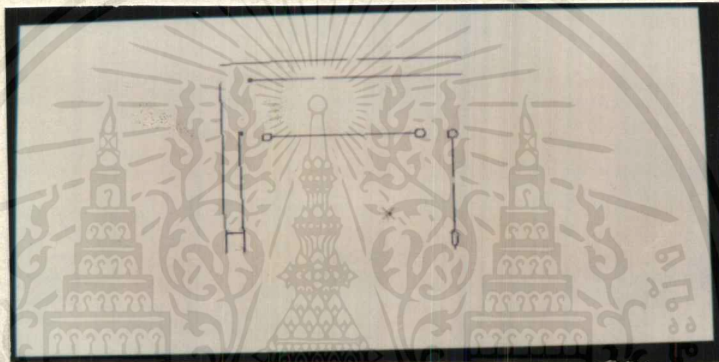


ภาพการตรวจการขีดของลายปริ้นซ์

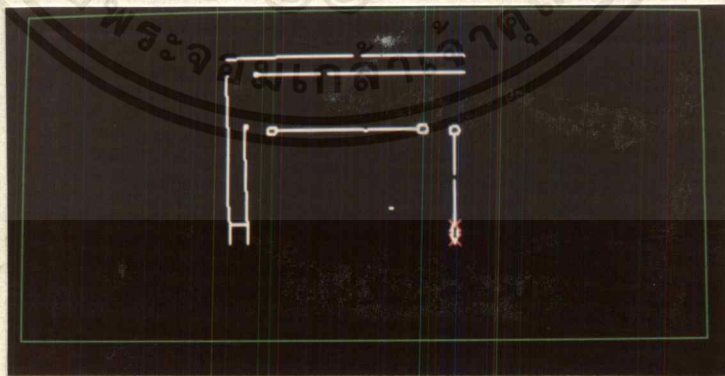
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น. อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพการตรวจการขาดของลายปรินต์

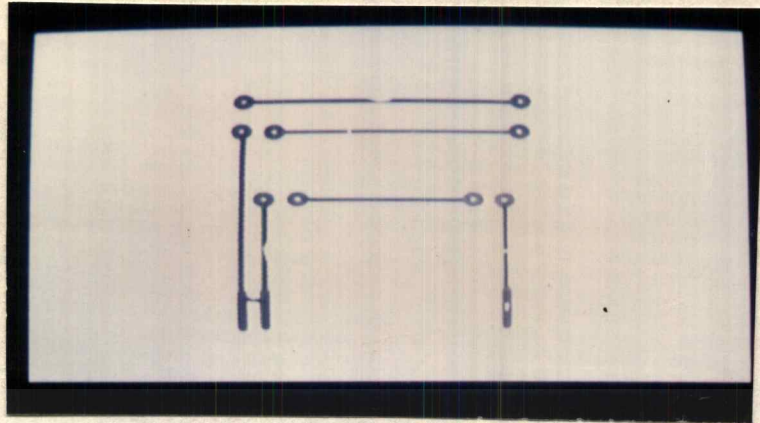


ภาพการตรวจการหาส่วนเกินของลายปรินต์

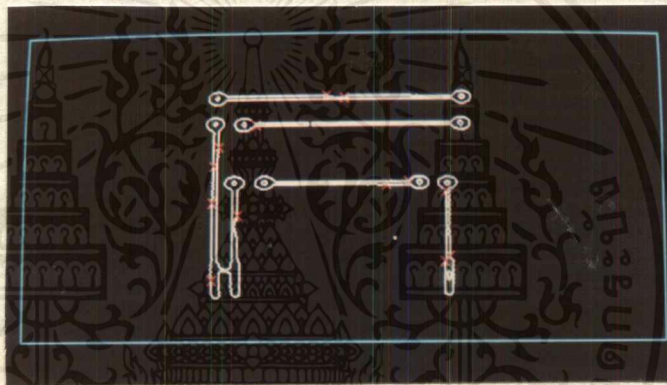


ภาพการตรวจหาหลุมที่เกิดขึ้นในลายปรินต์

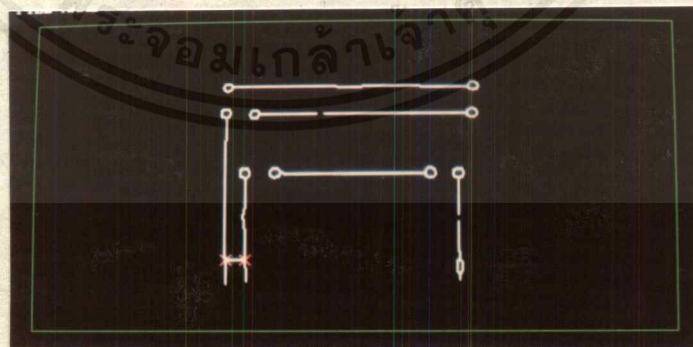
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพข้อมูลที่กล้องเก็บข้อมูลขนาดลายปริ้นซ์ 1.0 มม.

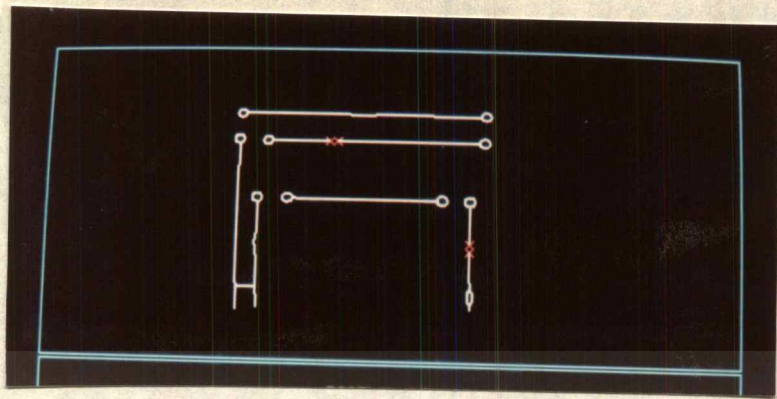


ภาพการตรวจการบางของลายปริ้นซ์

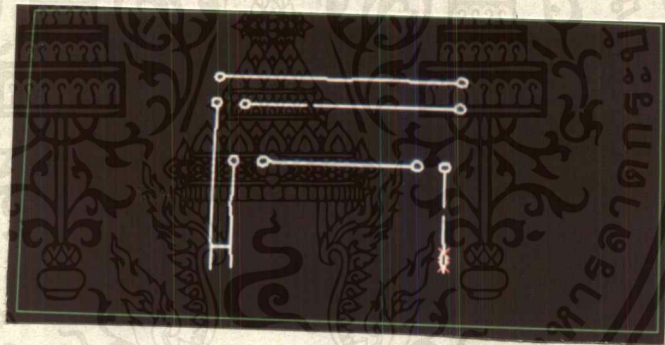


ภาพการตรวจการขีดของลายปริ้นซ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ภาพการตรวจการขาดของลายปรินต์



ภาพการตรวจหาหลุมที่เกิดขึ้นในลายปรินต์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ
(ACKNOWLEDGMENT)

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ที่ให้การอุปการะในทุกๆด้าน และขอบคุณสถาบัน การศึกษาแห่งนี้ ที่ทำให้ข้าพเจ้าได้มีโอกาส จัดทำปฏิญานินพนธ์ ฉบับนี้

ขอกราบขอบคุณท่านอาจารย์ เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์ เป็นอย่างสูง ผู้ซึ่งประสาทวิชา ความรู้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำแนวทาง และวิธีการแก้ไข จนกระทั่งปฏิญานินพนธ์ฉบับ นี้สำเร็จลุล่วง ไปด้วยดี และขอกราบขอบพระคุณท่านอาจารย์ รศ.ดร.พุศักดิ์ ชิวสุวิทย์ , พี่สักรีย์ยา พี่รังสรรค์ พี่อาโมทย์ พี่ศิริโชค พี่มีชวาน ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือด้านเครื่อง มือและอุปกรณ์ ตลอดจนให้คำปรึกษาในการจัดทำปฏิญานินพนธ์ ฉบับนี้ รวมทั้งขอบคุณ อาจารย์ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรมทุก ๆ ท่าน และเพื่อน ๆ ที่คอยให้ กำลังใจตลอดมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้