สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยกระบวนการอิมเมจ

(PRINTED CIRCUIT BOARD INSPECTION BY IMAGE PROCESSING)

จัดทำโดย

นาย ธนศักดิ์	กีรติกรพิสุทธิ์	38014189
นาย ธนเศรษฐ์	มาละวรรณโณ	38014190
นาย ธวัชชัย	ฉิมภาลี	38014197

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ พรสุข รุติโรจน์อนันต์

อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 33957
วัน, เดือน, ปี 23 ก.ค. 2542

เอกสารนี้สงวนไว้สำหรับใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงงาน การตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยกระบวนการอิมเมจ

(PRINTED CIRCUIT BOARD INSPECTION BY IMAGE PROCESSING)

ผู้จัดทำ 1. นาย ธนศักดิ์ กีรติกรพิสุทธิ์ เลขประจำตัว 38014189

2. นาย ธนเศรษฐ์ มาละวรรณโณ เลขประจำตัว 38014190

3. นาย ธวัชชัย ฉิมภาลี เลขประจำตัว 38014197

โครงงานนี้ทำการตรวจสอบแล้วอนุญาตให้ทำการสอบได้

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ พรสุข รุติโรจน์อนันต์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์ การตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ด้วยกระบวนการอิมเมจ

นักศึกษา นาย ธนศักดิ์ กีรติกรพิสุทธิ์
นาย ธนเศรษฐ์ มาละวรรณโณ
นาย ธวัชชัย ฉิมภาลี

อาจารย์ผู้ควบคุม อาจารย์ พรสุข รุติโรจน์อนันต์
รศ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ระดับการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมระบบควบคุม

ภาควิชา วิศวกรรมระบบควบคุม
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2541

บทคัดย่อ

การตรวจสอบลายปริ้นท์โดยใช้กระบวนการของอิมเมจโปรเซสซิ่ง เป็นวิธีการนำภาพมาตรวจสอบหาข้อผิดพลาดของลายวงจรโดยการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อความสะดวกรวดเร็วและถูกต้อง แทนการตรวจสอบด้วยการมองเห็นของมนุษย์

เป้าหมายของโครงงานวิจัยนี้คือแก้ข้อจำกัดในโครงงานวิจัยก่อน ที่สามารถตรวจสอบข้อผิดพลาดของภาพลายวงจรเพียงแผ่นวงจรขนาดเล็กๆเท่านั้น จึงได้มีการพัฒนาเพื่อให้สามารถตรวจสอบแผ่นวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้น เพื่อให้สามารถนำไปใช้งานในอุตสาหกรรมได้อย่างมีประสิทธิมากยิ่งขึ้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title Printed Circuit Board Inspection By Image Processing

Student Mr. Tanasak Keeratikornpisut
Mr. Thanasate Malawanno
Mr. Thawatchai Chimpalee

Thesis Adviser Phornsuk Ratirochanant
Assoc.Prof.Kaset Sirisantisamrid

Level of study Bachelor of Engineering in Control Engineering

Department Control Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang

Year 1998

ABSTRACT

Inspection of printed circuit board using the image processing is an inspection method to find defect on printed circuit board failures with computer . In order to the convenience speed and accuracy , this method is used for replacing the human eye's inspection.

The target of this project is restrictive correction in former project that can be only inspected the defect of small printed circuit board . We are developed the software program , so that can inspect the bigger printed circuit board , and increase efficiency for industrial using.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้จัดขอขอบพระคุณอาจารย์ที่ปรึกษา อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ อาจารย์ พรสุข เทศเจริญ เป็นอย่างสูงสำหรับคำแนะนำและอำนวยความสะดวกในด้านอุปกรณ์กล้องวีดีโอ และ แผงวงจรเก็บภาพที่ใช้ในโครงงานนี้

ขอขอบคุณ กร ตุ๋ย ภาควิชาคอมพิวเตอร์ สำหรับปรึกษาและคำแนะนำทุกๆอย่าง เพื่อนๆ SHOPเครื่องกล บอย โอ๋ ขาว ตี้ เพื่อนๆภาควิชา ระบบควบคุมทุกคนสำหรับกำลังใจ และความอดทนที่มีร่วมกัน รวมถึง Johan นักศึกษาชาวสวีเดนสำหรับ software

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อคุณแม่ ที่เป็นทุกสิ่งทุกอย่างสำหรับลูก สร้างลูกให้ทำหน้าที่ของลูกที่ดี กำลังใจยามท้อแท้ และแนวทางชีวิตที่ระลึกถึงเสมอ

คณะผู้จัดทำ

นาย ธนศักดิ์ กีรติกรพิสุทธิ์
นาย ธนเศรษฐ์ มาละวรรณโณ
นาย ธวัชชัย ฉิมภาลี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	**I**
กิตติกรรมประกาศ	**III**
สารบัญ	**IV**
สารบัญภาพ	**VI**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
บทที่ 2 การประมวลภาพ	**2**
2.1 ระบบจำลองภาพ	**2**
2.2 แบบจำลองภาพ	**2**
2.3 การสุ่มแบบสม่ำเสมอ (Uniform Sampling)	**3**
2.4 การทำงานของแผงวงจรเก็บภาพ	**5**
บทที่ 3 ขบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น	**8**
3.1 การทำดิจิไตเซอร์ (Digitizer)	**8**
3.2 ค่าระดับสีเทา (Gray Scale Image)	**9**
3.3 การทำภาพให้คมชัด (Image Enhancement)	**9**
3.4 การทำภาพไบนารี (Binary Image)	**18**
3.5 การหาโครงร่างหรือแกนกลางของลายวงจร (Skeleton)	**27**
3.6 การเข้ารหัสลูกโซ่เก็บตำแหน่งและทิศทาง (Chain Code)	**29**
3.7 การหาจุดเปลี่ยนแนวเส้น (Conner Detection)	**30**
3.8 การตรวจหาเส้นขอบ (Edge Detection)	**32**
บทที่ 4 การตรวจสอบลายปริ้นท์โดยใช้โปรแกรมที่ทำงานบนดอส	**37**
4.1 การตรวจสอบการขาดของลายวงจร	**37**
4.2 การตรวจสอบการบาง	**43**
4.3 การตรวจสอบหลุมในเส้นทางเดินของลายวงจรและส่วนเกินนอกลายวงจร	**46**
4.4 การตรวจสอบการลัดของลายวงจร	**48**
4.5 การตรวจสอบความกว้างที่เกินผิดปกติของลายวงจร	**50**
4.6 การตรวจสอบแผ่นวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้น	**51**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5 การออกแบบชุดเลื่อนกล้อง 55

5.1 ส่วนประกอบของชุดเลื่อนกล้อง 55

5.2 ขั้นตอนการทำงาน 57

บทที่ 6 การทดลองและสรุปผล 62

6.1 การทดลอง 62

6.2 สรุปผล 76

บทที่ 7 การพัฒนาไปสู่โปรแกรมที่ทำงานบน WINDOWS 77

7.1 จุดประสงค์ของการพัฒนา 77

7.2 ปัญหาที่พบ 79

บทที่ 8 ปัญหาและแนวทางการพัฒนา 80

8.1 ปัญหาที่พบระหว่างการทำโครงงาน 80

8.2 แนวทางการพัฒนาในระดับต่อไป 81

บรรณนานุกรม 83

ภาคผนวก 84

ภาคผนวก ก. 84

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 การจัดเรียงภาพในหน่วยความจำของแผงวงจรควบคุมภาพ 5

2.2 การเรียงภาพที่ดึงมาจากแบงค์แรก 6

2.3 การเรียงภาพจากแบงค์ที่สอง 7

3.1 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลภาพเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์ 8

3.2 แสดงแอดเดรส(address)การเก็บสัญญาณภาพ 9

3.3 ภาพแสดงค่าตัวเลขของขนาดภาพ 144 จุดภาพ 10

3.4 ภาพแสดงฮีสโตแกรมของข้อมูลตัวเลข 10

3.5 ภาพแสดงฮีสโตแกรม 11

3.6 ภาพตัวอย่างการทำเอ็นฮานเมนท์ 14

3.7 กราฟฮีสโตแกรมของ P(x , y) , Q(x , y) กรณี Lower part 15

3.8 กราฟฮีสโตแกรมของ P(x , y) , Q(x , y) กรณี Higher part 16

3.9 กราฟฮีสโตแกรมของ P(x , y) , Q(x , y) กรณี Middle Part 17

3.10 ภาพแสดงฮีสโตแกรมที่มีเธร็ชโฮลด์ค่าเดียว(Single Threshold) 19

3.11 ภาพแสดงฮีสโตแกรม สองค่า (Multiple Threshold) 19

3.12 ภาพแสดง Fixed-Point Iteration 25

3.13 ภาพแสดงความสัมพันธ์ของฮีสโตแกรม 27

3.14 แสดงตาราง Thinning Algorithm 28

3.15 แสดงผลที่ได้จาก Thinning Algorithm 29

3.16 ภาพแสดงทิศทางและการเข้ารหัสแบบ 8 ทิศทาง 30

3.17 ตัวอย่างข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการพิจารณาจุดเปลี่ยนแนวเส้น 31

4.1 ตำแหน่งรอบจุดทดสอบ 37

4.2 บล็อกตรวจสอบแบบ DOWN 38

4.3 บล็อกตรวจสอบแบบ UP 39

4.4 บล็อกตรวจสอบแบบ RIGHT 40

4.5 บล็อกตรวจสอบแบบ LEFT 40

4.6 ลักษณะของบล็อกที่ใช้ในการตรวจสอบ 41

4.7 แสดงลายปริ้นท์ที่เกิดการขาด 42

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.8 แสดงทิศทางการเคลื่อนที่ 43
4.9 แสดงทิศทางการคำนวณ ความกว้างของลายวงจร 44
4.10 แสดงจุดที่ทำเครื่องหมายที่จุดเปลี่ยนมุม 44
4.11 ภาพแสดงระยะตรวจสอบการบาง 45
4.12 ภาพแสดงระยะตรวจสอบการบาง 46
4.13 ลักษณะวงรอบที่มีจำนวนจุดเรียงต่อเนื่องถึงกันน้อยจุด 47
4.14 (a) เส้นทางแยกที่ปกติ 48
(b) เส้นทางแยกที่ผิดปกติ 48
4.15 แบบจำลองการวัดระยะหาข้อผิดพลาดของการลัดวงจร 49
4.16 ลักษณะของลายเส้นที่ปกติและผิดปกติ 50
4.17 การวัดระยะโดยการใช้ทิศทาง และมุมบนตารางหน้าต่าง 3 x 3 51
4.18 การตรวจหาเส้น B เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับเส้น A 51
4.19 ภาพแสดงลักษณะการตัดต่อภาพ 52
4.20 รูปที่จำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง 53
4.21 รูปที่เก็บได้จากการตัดครั้งที่ 1 53
4.22 รูปที่เก็บได้จากการตัดครั้งที่ 2 54
4.23 ภาพวงจรที่ใช้ในการทดสอบ 54
4.24 ภาพที่เก็บจากกล้องครั้งที่ 1 55
4.25 ภาพที่เก็บจากกล้องครั้งที่ 2 55
5.1 ภาพชุดเลื่อนกล้อง 55
5.2 แสดงวงจรทรานซิสเตอร์สวิทชิ่ง 1 เฟส 57
5.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์ 58
5.4 แสดงลักษณะการกระตุ้นแบบเวฟ (Wave Excite) 60
5.5 แสดงลักษณะการกระตุ้นแบบ 2 เฟส (Two Phase Excite) 60
5.6 แสดงลักษณะการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half Step Excite) 61
6.1 ภาพที่เก็บได้จากกล้อง 62
6.2 ภาพที่ผ่าน Histogram Equalization 63
6.3 การทดลองโดยการทำไบนารี่ 64
6.4 กราฟฮีสโตแกรม 64
6.5 ภาพที่ผ่าน Histogram Equalization 65
6.6 การทดลองโดยการทำไบนารี่ 65

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.7 กราฟฮีสโตแกรม	66
6.8 รูปที่ผ่าน Histogram Equalization	66
6.9 การทดลองโดยการทำไบนารี่	67
6.10 กราฟฮีสโตแกรม	67
6.11 ความสว่าง 10 % ของชุดหลอดไฟ	68
6.12 ความสว่าง 40 % ของชุดหลอดไฟ	69
6.13 ภาพโครงกระดูก	69
6.14 ภาพตัดขอบของลายวงจร	70
6.15 ภาพการตรวจสอบการบางของลายวงจร	71
6.16 ภาพการตรวจการช๊อตของลายวงจร	72
6.17 ภาพการตรวจสอบการขาดของลายวงจร	73
6.18 ภาพการตรวจสอบส่วนเกินของลายวงจร	74
6.19 ภาพการตรวจสอบหลุมของลายวงจร	75
7.1 ภาพแสดงโปรแกรมเก็บภาพที่ทำงานบน Windows	78
7.2 ภาพแสดงรูปแบบหน้าต่างของโปรแกรมการตรวจสอบ	79
8.1 แสดงการใช้วัตถุสีดำบังแสง	80
8.2 แสดงการใช้กระดาษบังแสง	81

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ปัจจุบันเทคโนโลยีได้ถูกนำมาใช้ในวงการอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวาง เพื่อเพิ่มประสิทธิ์ภาพและมาตรฐานในการผลิตให้สูงขึ้น รวมถึงอุตสาหกรรมการผลิตแผ่นวงจรพิมพ์ การนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการประมวลผลจึงมีความสำคัญ โดยการตรวจสอบจะต้องอยู่ภายใต้มาตรฐาน การศึกษาวิธีการของอิมเมจโปรเซสซิ่งเพื่อนำมาใช้ประยุกต์กับงานสาขาต่างๆจึงมีกันอย่างแพร่หลายในปัจจุบัน เพื่อเพิ่มผลผลิตให้ได้คุณภาพที่ดีที่สุด

การศึกษาค้นคว้าวิจัยเรื่องการตรวจสอบแผ่นวงจรพิมพ์ได้มีการพัฒนาปรับปรุงขึ้นมาหลายครั้ง สำหรับในโครงที่ผ่านๆมานั้น ได้มีการพัฒนาขึ้นมาเป็นลำดับขั้นซึ่งมีการตรวจสอบที่ค่อนข้างสมบูรณ์มาก แต่ยังคงมีข้อจำกัดทั้งทางด้านตัวอุปกรณ์และตัวโปรแกรม ที่สามารถตรวจสอบวงจรเพียงขนาดเล็กๆเท่านั้น โดยการศึกษาโครงงานในครั้งนี้ ทางผู้จัดทำจึงได้หาวิธีเพื่อปรับปรุงและแก้ไขปัญหา เพื่อให้สามารถตรวจสอบแผ่นวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้นได้ อุปกรณ์ที่ใช้ในการทำการตรวจสอบแผ่นวงจรจะประกอบด้วย กล้องวงจรปิด , คอมพิวเตอร์ , แผงวงจรเก็บภาพ , ชุดเลื่อนกล้องและกล่องปรับแสงสว่าง ประกอบกัน

โดยทำการเก็บภาพด้วยกล้องวงจรปิด ข้อมูลที่ได้ถูกเปลี่ยนแปลงเพื่อนำมาประมวลผลโดยคอมพิวเตอร์และภาพนี้ จะผ่านกระบวนการตรวจสอบต่างๆและสามารถตรวจสอบแผ่นวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้นโดยการเลื่อนกล้องโดยชุดเลื่อนกล้องเพื่อที่จะวิ่งเก็บภาพในขนาด ตามต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่2
การประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพด้วยคอมพิวเตอร์ สามารถทำได้โดยนำสัญญาณที่ได้จากกล้องซึ่งเป็นสัญญาณอนาล็อกและจะถูกนำมาแปลงเป็นสัญญาณดิจิตอลที่มีลักษณะเป็นรหัสตัวเลข สามารถใช้รูปแบบทางคณิตศาสตร์เข้ามาช่วยในการคำนวณและประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

2.1 ระบบจำลองภาพ

ข้อมูลของภาพในระบบดิจิตอลมีลักษณะเป็นฟังก์ชั่น 2 มิติ $f(x, y)$ โดยกำหนดในแนวแกนนอนเป็นแกน x และแนวแกนตั้งเป็นแกน y เรียกตำแหน่ง (x, y) เป็นจุดพิกัดใดๆ โดยในแต่ละจุดพิกัดจะมีค่าความเข้มของภาพที่เรียกว่า ระดับสีเทา (Gray Level) โดยปกติจะใช้จุดกำเนิดของแกนพิกัด (Coordinate) อยู่ทางมุมซ้ายของภาพและจะนับไปทางแกน y

2.2 แบบจำลองภาพ

ภาพที่ได้เป็นภาพลักษณะ 2 มิติ สามารถแสดงด้วยฟังก์ชั่น $f(x, y)$ โดย x , y เป็นแกนในระนาบภาพ ค่าฟังก์ชั่นที่จุด x , y ใดๆ คือค่าระดับสีเทาที่จุดนั้น เนื่องจากแสงอยู่ในรูปของพลังงานชนิดหนึ่ง ดังนั้น $f(x, y)$ จะมีค่าไม่เป็นศูนย์และต้องเป็นจำนวนจำกัดโดย

$$0 < f(x, y) < @ \qquad (2.1)$$

จากธรรมชาติของแสงจะมีแหล่งกำเนิดและส่วนที่สะท้อนแสง ดังนั้นเราสามารถแยกฟังก์ชั่น $f(x, y)$ ออกเป็น 2 ส่วนคือ

$i(x, y)$ (อิลูมิเนชั่นคอมโพเนนท์)
$r(x, y)$ (รีเฟลคแทนซ์คอมโพเนนท์)

ผลคูณของ $i(x, y)$ และ $r(x, y)$ ก็คือฟังก์ชั่น $f(x, y)$

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

เมื่อ
$$0 < i(x, y) < @ \qquad (2.3)$$

และ
$$0 < r(x, y) < 1 \qquad (2.4)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากสมการจะเห็นว่าฟังก์ชั่นของการสะท้อนจะถูกจำกัดขอบเขตระหว่าง 0 (มี การดูดซึมโดยสมบูรณ์) และ 1 (มีการสะท้อนโดยสมบูรณ์) โดยธรรมชาติของ i(x,y)ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสง ในขณะที่ r(x, y) ขึ้นอยู่กับวัตถุที่สะท้อนแสงเข้าตา

ความเข้มแสงที่จุด (x , y) เราเรียกว่าระดับสีเทา (I) จาก (2 . 2) และ (2 .4)จะได้ว่า

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

ในทฤษฎี L_{min} จะมีค่าเป็นบวกในขณะที่ L_{max} มีค่าจำกัดในทางปฏิบัติ $L_{min} = i_{min} r_{min}$ และ $L_{max} r_{min}$ ช่วงของ [L_{min},L_{max}] เป็นสากลของระดับสีเทาให้อยู่ในช่วง [0 , L] โดย [0 , L] คลอบคลุมตั้งแต่ช่วงขาวที่สุดถึงช่วงที่ต่ำที่สุด

2. 3 การสุ่มแบบสม่ำเสมอ (Uniform Sampling)

การที่จะนำข้อมูลไปประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ f (x, y) จะต้องถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่องทั้งในแกน x และแกน yเรียกว่า อิมเมจแซมปลิ้ง (Image Sampling) และค่าของฟังก์ชั่นถูกเรียกว่า Gray level quantization

สัญญาณภาพต่อเนื่อง f (x , y) ถูกดิจิไตซ์ในระนาบ x , yเป็นช่วงเท่าๆกันจึงจัดให้อยู่ในรูปเมตริกซ์ขนาด N x N ดังในสมการ (2 .6)

$$f(x,y) = \begin{bmatrix} f(0,0) & f(0,1) & \dots & f(0,N-1) \\ f(1,0) & f(1,1) & \dots & f(1,N-1) \\ . & & & \\ . & & & \\ . & & & \\ f(N-1,0) & f(N-1,1) & \dots & f(N-1,N-1) \end{bmatrix} \qquad (2.6)$$

ทางขวาของสมการนี้คือ ภาพทางดิจิตอลและทุกๆสมาชิกในเมตริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล (Pixel) ขบวนการสร้างภาพข้างต้นจะเห็นว่าเราต้องทราบขนาดความละเอียดของภาพพิกเซลและจำนวนระดับสีเทาในการปฏิบัติ การทำควอนไตเซชั่นในระบบภาพดิจิตอลจะเป็นเลขจำนวนเต็มโดยที่

$$N = 2^n \qquad (2.7)$$

และ

$$G = 2^m \qquad (2.8)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดย G เป็นจำนวนระดับสีเทาดังนั้นหน่วยความจำเต็มหนึ่งภาพจะถูกกำหนดโดย

$$b = N \times N \times m \qquad (2.9)$$

ในตาราง 1 และ 2 ได้แสดงการใช้หน่วยความจำเป็นจำนวนบิทและไบท์ตามลำดับเมื่อค่า N , m เปลี่ยนไป

ตาราง 2 .1 แสดงจำนวนบิทที่ใช้เก็บภาพเมื่อ 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	32769	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 แสดงจำนวนไบท์ที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N , 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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 การทำงานของแผงวงจรเก็บภาพ

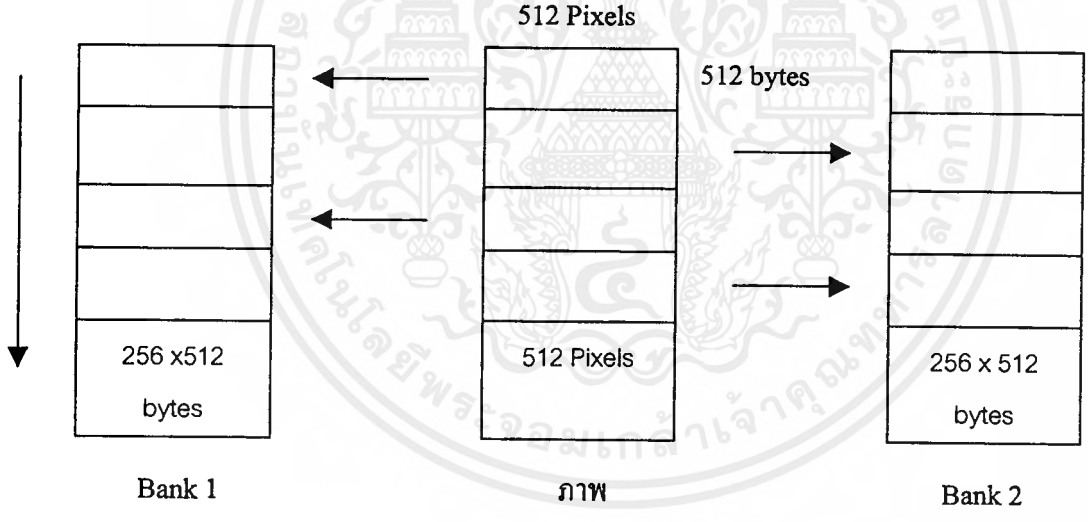
2.4.1 โครงสร้างของแผงวงจรเก็บภาพประกอบด้วย

1. หน่วยความจำแบบ RAM (Random Access Memory) สำหรับเก็บภาพที่ถูกแปลงสัญญาณวิดีโอ ซึ่งเป็นหน่วยความจำที่มีบนแผงวงจรควบคุม 2 แบงค์ (Bank) เพื่อเก็บภาพ 1 ภาพ

2. Digitizer สำหรับแปลงสัญญาณวิดีโอเป็นสัญญาณดิจิตอล

2.4.2 การเข้าถึงหน่วยความจำบนแผงวงจรเก็บภาพ

เนื่องจากแผงวงจรมีหน่วยความจำ 2 แบงค์ซึ่งจะเก็บภาพ 1 ภาพ แต่ละแบงค์จะมีขนาด 256 x 512 bytes การเก็บภาพจะเก็บสลับกันระหว่าง 2 แบงค์ ดังนี้



รูปที่ 2.1 การจัดเรียงภาพในหน่วยความจำของแผงวงจรควบคุมภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2 .4.3 การดึงภาพจากแผงวงจรเก็บภาพ

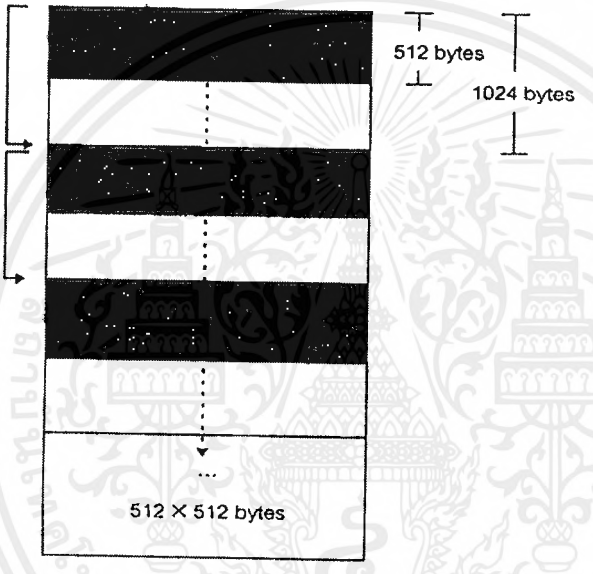
เนื่องจากการเก็บภาพแบบสลับแบงค์ตามที่กล่าวมาแล้วต้องทำการดึงภาพสลับกันระหว่าง 2 แบงค์เช่นกันดังนี้

1 . ทำการจองพื้นที่ ขนาด 512 x 512 bytesในหน่วยความจำของแผงวงจรเก็บภาพ

2 . สั่งให้แผงวงจรเก็บภาพเริ่มการเก็บภาพจากกล้องโดยการส่งค่า 0010H ออกทางพอร์ต 300H

3 . นำข้อมูลที่ได้มาส่งเข้าถึงแบงค์โดยการส่งค่า 000CH ออกทางพอร์ต 300H

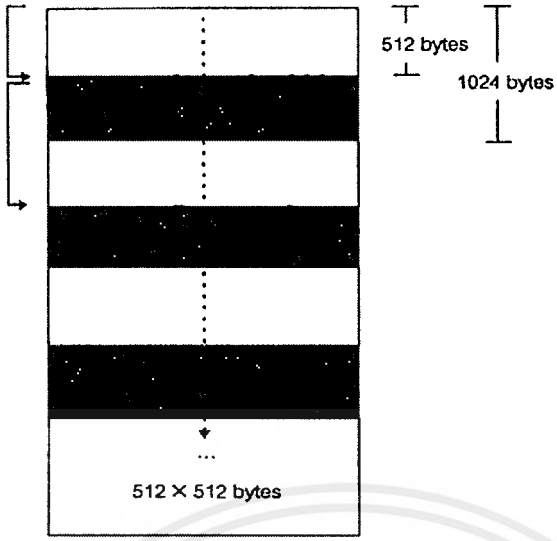
4 . นำภาพที่ได้มาจัดเรียงใหม่โดยดึงข้อมูลมาทีละแบงค์แล้วมาเรียงลำดับครั้งละ 512 bytes บนเนื้อที่หน่วยความจำขนาด 1024 bytes ดังนี้



รูปที่ 2.2 การเรียงภาพที่ดึงมาจากแบงค์แรก

5 . เข้าถึงแบงค์ที่ 2 โดยส่งค่า 000EH ออกทางพอร์ต 300H แล้วเรียงภาพในส่วนที่เหลือดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.3 การเรียงภาพจากแบงค์ที่สอง

6. ทำการหยุดการเก็บภาพจากกล้องมายังแผงวงจรควบคุมภาพโดยส่งค่า 0 ออกทางพอร์ต 300H แล้วนำภาพที่เรียงเสร็จแล้วไปแสดงผลบนมอนิเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
ขบวนการประมวลผลภาพเบื้องต้น

สิ่งหนึ่งที่ต้องคำนึงถึงก่อนที่จะนำข้อมูลภาพมาทำการวิเคราะห์ก็คือ คุณภาพของภาพซึ่งควรจะเป็นภาพที่มีความละเอียดและความคมชัดมากที่สุด แต่ในความเป็นจริงแล้วอาจจะมีสัญญาณรบกวน (noise) ปะปนเข้ามากับข้อมูลภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องกำจัดสัญญาณรบกวนนั้นออกไป มีวิธีการหลายอย่าง เช่น การทำให้ภาพเรียบ (smoothing) หรือตัวกรองสัญญาณ (filter) รวมถึงการให้แสงไฟที่ส่องไปยังภาพวัตถุที่จะทำการตรวจสอบที่ไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ขาดความคมชัดไป จำเป็นต้องมีการทำเอ็นฮานซ์เมนท์ภาพ (Enhancement) สำหรับภาพที่มีความคมชัดอยู่แล้วขั้นตอนนี้ก็ไม่มีความจำเป็น อีกทั้งยังช่วยทำให้การประมวลผลเร็วขึ้น

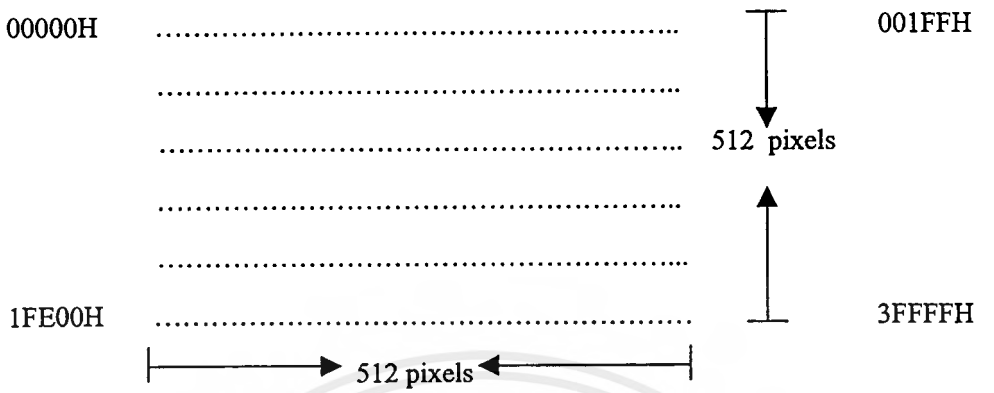
3.1 การทำดิจิไตเซอร์ (Digitizer)

ดิจิไตเซอร์เป็นกระบวนการแปลงสัญญาณภาพที่รับข้อมูลจากกล้อง ผ่านการ์ดซึ่งจะทำหน้าที่เปลี่ยนข้อมูลเข้ามาเป็นข้อมูลรหัสตัวเลขซึ่งสามารถให้ความแตกต่างของภาพได้เท่ากับ 256 ระดับสีเทา (256 Gray level) จะได้ขนาดของภาพเท่ากับ 512 x 512 จุดภาพ

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการรับข้อมูลภาพเข้าเครื่องคอมพิวเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนดแอดเดรส (address) ของภาพหนึ่งภาพจะมีลักษณะดังภาพซึ่งจะถูกเก็บข้อมูลลงสู่หน่วยความจำ



รูปที่ 3.2 แสดงแอดเดรส (address) การเก็บสัญญาณภาพ

3.2 ภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

เมื่อข้อมูลผ่านดิจิไตเซอร์การ์ด ซึ่งจะได้เป็นข้อมูลที่เป็นภาพรหัสตัวเลข (Digital Image) ซึ่งจะมีขนาด 512 x 512 จุดภาพ โดยจะมีระดับความเข้มของภาพ 256 ระดับ สามารถที่จะพิจารณาในรูปพิกัด x , y เป็นคู่ลำดับในรูปเมตริกซ์ดังภาพ

ภาพแสดงลายวงจรซึ่งมีขนาด 512 x 512 จุดภาพ ซึ่งแต่ละจุดจะมีคู่ลำดับ x ,y และมีค่าระดับความเข้มแต่ละจุดภาพ

3 . 3 การทำภาพให้คมชัด (Image Enhancement)

การทำเอ็นฮานซ์เมนท์ให้กับภาพคือการปรับปรุงภาพให้มีคุณภาพดีขึ้นคมชัดขึ้น ซึ่งมีหลายวิธีดังนี้

3.3.1 แผนภูมิแท่ง (Histogram)

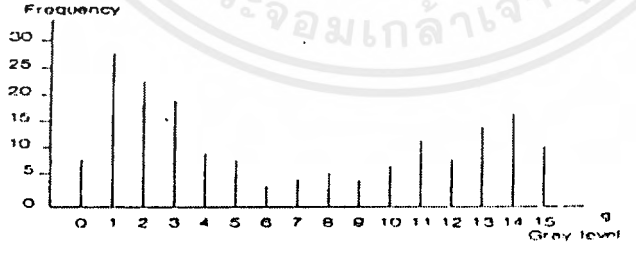
การภาพที่มีประสิทธิภาพย่อมส่งผลให้การประมวลผลภาพดียิ่งขึ้น ซึ่งจะเกี่ยวของกับความเข้มของจุดภาพ แต่ปัญหาที่พบบ่อยครั้งคือการสูญหายของข้อมูลภาพ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนแปลงค่ารหัสของภาพ (Image transform) เพื่อยกระดับและเน้นจุดสนใจของภาพ โดยในวิธีการนี้ต้องพิจารณาถึงการกระจายทางสถิติของข้อมูลตัวเลขของจุดภาพ สามารถตรวจสอบได้ด้วยกราฟฮีสโตแกรม ซึ่งได้จากการนับจำนวนจุดภาพที่มีระดับสีเทาต่างๆหรือความถี่ของระดับสีเทาต่างๆในภาพนั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพแสดงค่าข้อมูลตัวเลขของภาพและฮีสโตแกรมของตัวเลขขนาด 144 จุดภาพ (12 x 12 จุดภาพ) โดยแต่ละพิกัดจะมีค่าระดับสีเทาที่แตกต่างกัน

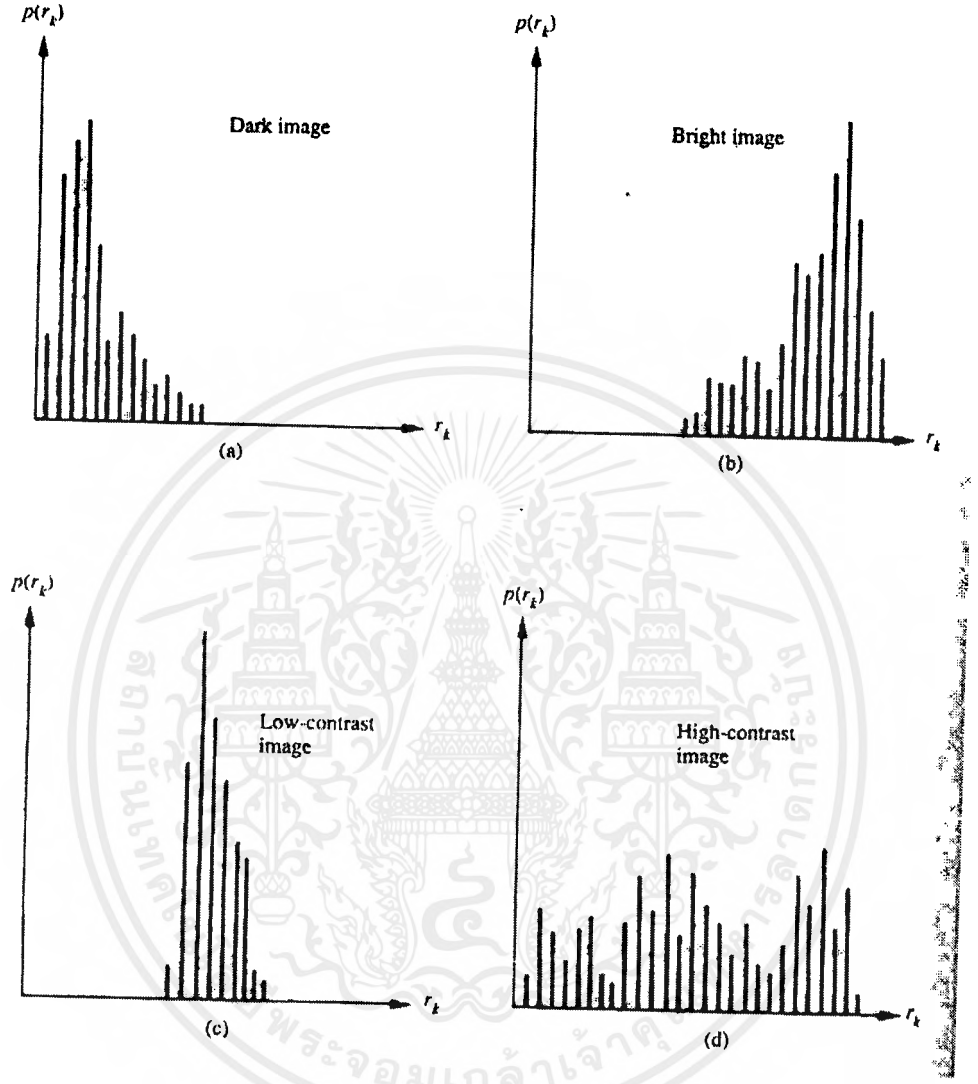
1	3	5	2	1	0	0	4	1	2	1	0
2	1	3	2	2	1	3	2	1	2	5	3
1	1	2	3	2	1	0	2	3	1	3	2
2	3	2	4	9	10	11	11	13	14	11	5
1	3	2	4	6	11	14	14	13	15	9	4
1	0	1	5	7	14	13	11	12	11	10	4
1	1	0	7	8	12	14	14	11	12	4	1
3	4	2	8	15	15	13	13	13	12	13	9
0	1	3	8	14	15	15	13	11	8	3	3
1	1	2	9	13	12	15	14	11	12	4	2
1	3	10	13	14	15	14	15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

รูปที่ 3.3 แสดงค่าตัวเลขของขนาดภาพ 144 จุดภาพ



รูปที่ 3.4 แสดงฮีสโตแกรมของข้อมูลตัวเลข

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.5 แสดงฮีสโตแกรม (a) ภาพที่มีความมืดมาก (b) ภาพที่มีความสว่างมาก (c) ภาพที่มีความคมชัดต่ำ (d) ภาพที่มีความคมชัดสูง

รูปที่ 3.5 (d) เป็นการแสดงฮีสโตแกรมที่มีการกระจายระดับสีเทาอย่างสม่ำเสมอกัน ทำให้รายละเอียดของความชัดเจนและถูกต้องมากขึ้น ซึ่งเป็นฮีสโตแกรมที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้ ซึ่งการตรวจสอบลายปริ้นท์นี้เราสามารถกำหนดลักษณะของฮีสโตแกรมได้โดยการจัดแสงไฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่ส่องไปยังลายวงจรให้เหมาะสมก่อนที่จะเก็บภาพเข้า มาเพื่อการประมวลผล พิจารณารูปที่ 3.5 (c) จะเห็นว่าภาพมีลักษณะการกระจายของระดับสีเทาไม่มีความสม่ำเสมอ ส่งผลให้ขาดความละเอียดของภาพบางส่วนไป ภาพที่ได้จะเป็นภาพที่มืดมากเกินไปทำให้แยกแยะจุดสำคัญออกได้ยากไม่เหมาะที่จะนำมาทำการตรวจสอบ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องการกระจายระดับสีเทาให้เหมาะสม แม้อาจทำให้ความละเอียดของภาพบางส่วนขาดหายไป

จึงกล่าวได้ว่าฮีสโตแกรมที่แสดงระดับสีเทาของภาพ มีประโยชน์ในการใช้แสดงลักษณะของภาพที่รับเข้ามา ในการที่จะปรับระบบการถ่ายภาพหรือจัดแสงให้เหมาะสมเพื่อให้อยู่ในขอบเขตที่เหมาะสม หรือใช้ข้อมูลของฮีสโตแกรมนี้ทำการแปลงข้อมูลตัวเลขใหม่เพื่อให้ได้ภาพที่มีความเด่นชัดตรงกับการนำไปใช้ และยังสามารถนำไปสู่การเลือกค่าเธร็ชโฮลด์ที่มีประสิทธิภาพ

3.3.2 ฮีสโตแกรมอีควอไลเซชั่น (Histogram Equalization)

คือการแปลงค่าอัตราความแตกต่างแบบไม่เชิงเส้นให้เป็นอัตราความแตกต่างแบบเชิงเส้น โดยการกระจายความหนาแน่นของข้อมูลให้เป็นไปอย่างสม่ำเสมอตลอดช่วง ซึ่งวิธีนี้จะทำให้อัตราความแตกต่างของภาพสูงขึ้น ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

ให้ตัวแปร r คือระดับสีเทาหรือค่าตัวเลขของข้อมูลภาพโดยถูกนอร์มอลไลซ์ (Normalized) ให้มีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 ($0 < r < 1$) เนื่องจากต้องการกระจายค่าระดับสีเทาให้มีการ กระจายสม่ำเสมอ และ T (r) และต้องการแปลงทำให้ข้อมูลใหม่มีค่าเป็น s นั่นคือ

$$S = T(r) \qquad (3.1)$$

T(r) คือความสัมพันธ์ที่นำมาใช้ช่วยในการกระจายกราฟฮีสโตแกรม

S คือ ความสัมพันธ์ของกราฟฮีสโตแกรมหลังการกระจายด้วยT (r)

คุณสมบัติของ T (r) คือจะเป็นฟังก์ชั่นค่าเดียวที่มีการเพิ่มทิศทางเดียวโดยค่า T (r) จะอยู่ระหว่าง 0 กับ 1 เช่นกันในการแปลงกลับจาก s ไปหา r ทำได้โดย

$$r = T^{-1}(s) \qquad 0 < s < 1 \qquad (3.2)$$

และ $T^{-1}(s)$ มีคุณสมบัติเหมือน T (s)

พิจารณาค่าระดับสีเทาของภาพซึ่งเป็นปริมาณแบบแรนดอมค่า (Random quantities) อยู่ในช่วง [0 , 1] ถ้าสมมุติว่าค่าระดับสีเทามีลักษณะแบบต่อเนื่อง ให้ Pr (r) และ Pr (s) เป็น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Probability density function ของข้อมูลเดิมและทำการเปลี่ยนแปลงข้อมูลเดิม จากทฤษฎีของความน่าจะเป็นถ้าหากทราบค่าของ $Pr(r)$ และ $T(r)$

จะได้ $$P_s(s) = [Pr(r)(dr/ds)]_r = T^{-1}(s) \qquad (3.3)$$

เมื่อพิจารณาถึงฟังก์ชั่นของการเปลี่ยนแปลง

$$s = T(r) = IO\hat{}r \; Pr(w)\,dw \quad 0 < r < 1 \qquad (3.4)$$

ดังนั้นอนุพันธ์ของ s เทียบกับ r จะได้

$$ds/dr = P_r(r) \qquad (3.5)$$

แทนค่าสมการ (3.5) ลงในสมการ (3.3)

$$P_s(s) = [P_r(r)(1/P_r(r)]_r = T^{-1}(s) \qquad (3.6)$$
$$= [1]_r = T^{-1}(s)$$
$$= 1 \qquad 0 < s < 1$$

จะพบว่าเมื่อผ่านการแปลงแล้วตัวแปร s จะให้การกระจายสม่ำเสมอในระบบการประมวลผลภาพข้อมูลตัวเลขความน่าจะเป็นของระดับสีเทาสามารถเขียนได้เป็น

$$P_r(r_k) = n_k / n \quad 0 < r_k < 1 \qquad (3.7)$$

เมื่อ

k คือ ค่าระดับสีเทา 0, 1, 2 ... L−1

L คือ จำนวนระดับสีเทาของภาพ $P_r(r_k)$ คือความน่าจะเป็นในการเกิดจุดภาพที่ระดับสีเทา

n_k คือ จำนวนจุดภาพที่มีค่าระดับสีทาเท่ากับ k

n คือ จำนวนจุดภาพทั้งหมด

จากสมการของ $P_r(r_k)$ กราฟที่ได้คือ ฮีสโตแกรม และจากสมการ (3.1) จะได้เป็น

$$s_k = T(r_k)$$
$$= Sj = 0\hat{}n_j / n$$
$$= Sj = 0\hat{}k\, P_r(r_j) \qquad (3.8)$$

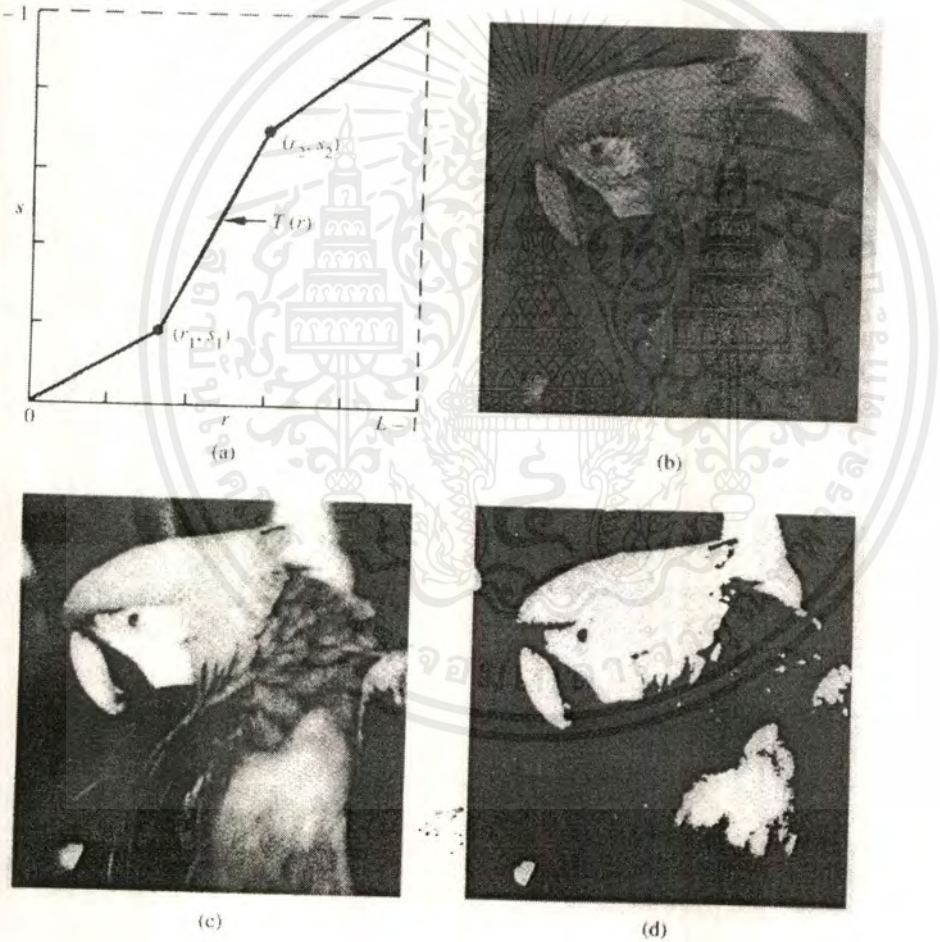
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

และการแปลงกลับทำได้โดย

$$r_k = T^{-1}(S^k) \quad \text{เมื่อ} \quad 0 < s < 1 \qquad (3.9)$$

ประสิทธิภาพของวิธีนี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะฮีสโตแกรมของภาพเดิม และการปรับปรุงภาพด้วยวิธีนี้ควรกระทำเป็นกระบวนการสุดท้าย เพราะเทคนิคในการปรับปรุงความแตกต่างของภาพนี้จะทำให้ข้อมูลเกิดความผิดเพี้ยนไปจากข้อมูลเดิม



รูปที่ 3.6 ภาพตัวอย่างการทำเอ็นฮานซ์เมนท์ (a) คือกราฟของสมการ T (r) (b) ภาพจริง (c) ภาพหลังปรับให้มีความคมชัดมากขึ้น (d) ภาพหลังการเอ็นฮานซ์เมนท์และลือกค่า เธร็สโฮลด์แล้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฮีสโตแกรมอีควอไลเซชั่น (Histogram Equalization) ที่ใช้ในโครงงานครั้งนี้มีลักษณะเป็น การกระจายความเปลี่ยนแปลงแบบเชิงเส้น (Linear density conversion) เช่นเดียวกัน แต่มีวิธีในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกัน โดยมีวิธีการดังนี้

$$Q(x,y) \longleftarrow (a)(P(x,y)) + b \qquad (3.10)$$

ให้ $P(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาของภาพที่จุดพิกัด x , y ใดๆก่อนการแปลงค่า

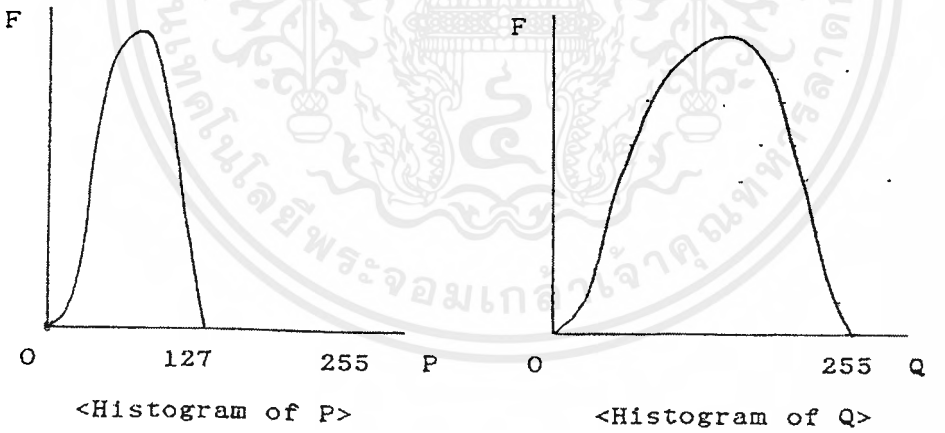
$Q(x,y)$ คือค่าระดับสีเทาของภาพที่จุดพิกัด x , y ใดๆหลังการแปลงค่า

a คืออัตราขยาย (Gain) b คือค่า off – set

$0 < P(x,y) < 255 \quad 0 < Q(x,y) < 255$

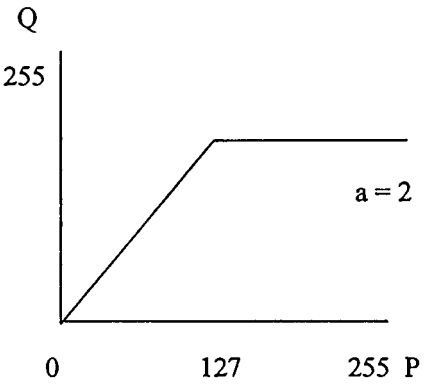
โดยมีการพิจารณา 3 ลักษณะคือ

1. ความถี่ส่วนใหญ่อยู่ทางซ้ายของกราฟฮีสโตแกรม(Enhancement of the lower part of an image) สมมุติให้ a = 2 และค่า offset = 0 โดยตัวภาพที่ได้จะมีลักษณะมืดสมการที่ใช้ในลักษณะนี้จะเพิ่มความสว่างของภาพให้มากขึ้นโดยจะมีการกระจายภาพไปทางขวามือ



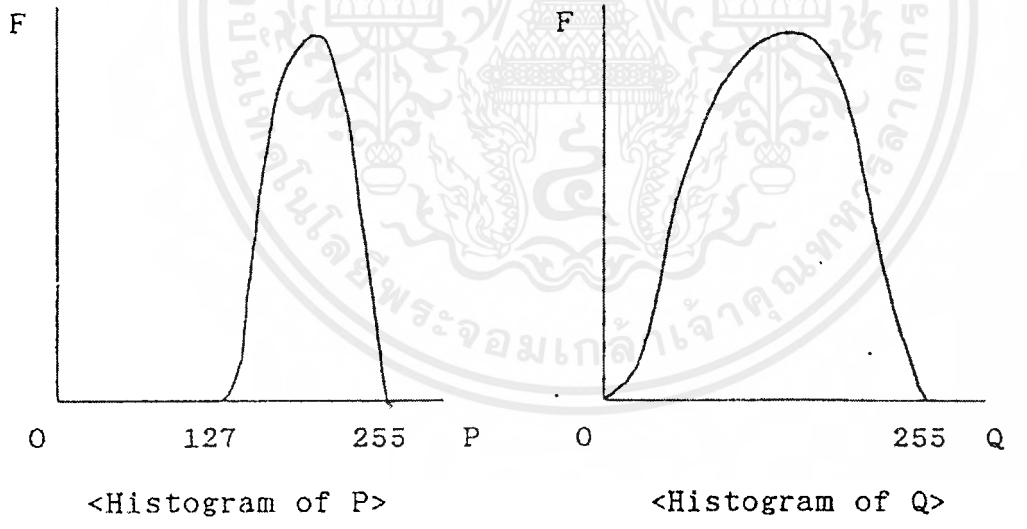
รูปที่ 3.7 กราฟฮีสโตแกรม ของ P (x,y) , Q (x,y) กรณี Lower part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากภาพคือกราฟของความสัมพันธ์ Q (x,y) = 2P (x,y)

2. ความถี่ส่วนใหญ่อยู่ทางขวามือของกราฟฮีสโตแกรม (Enhancement of higher part of image) โดยให้ค่า a = 2 และ b = -255 โดยภาพที่ได้จะมีลักษณะสว่างจ้า เพื่อทำการลดความสว่างลง โดยสมการนี้จะทำการกระจายเพื่อเพิ่มความคมชัดมากขึ้น



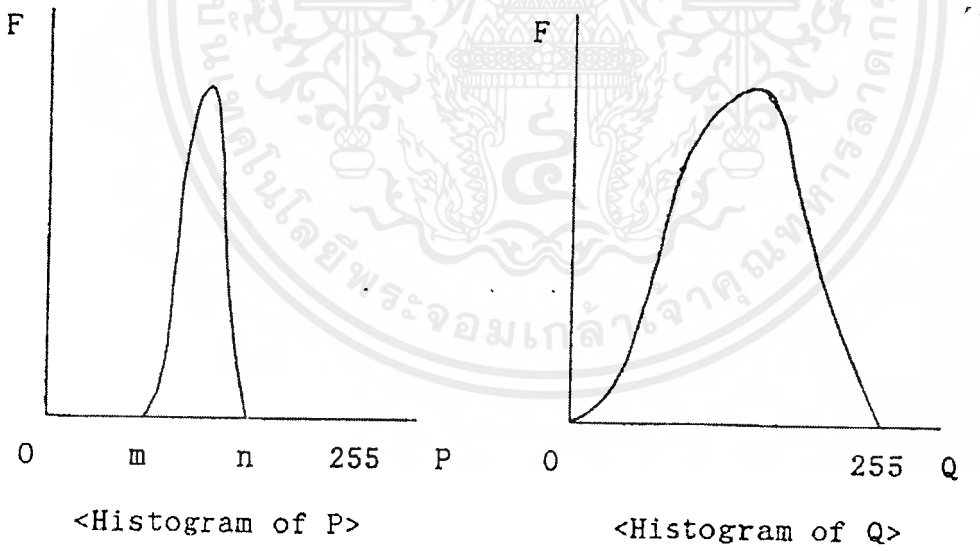
รูปที่ 3.8 กราฟฮีสโตแกรมของ P (x,y) , Q (x,y) กรณี Higher part

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

จากภาพคือกราฟของความสัมพันธ์ $Q(x,y) = 2P(x,y) - 255$

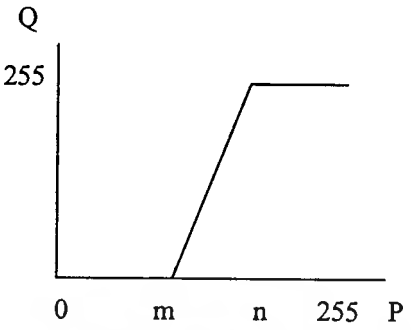
3 .ความถี่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงช่วงหนึ่งของกราฟฮีสโตแกรม (Enhancement of the middle part of an image) The middle part m : $m <= P <= n$ a = $255/(n-m)$ b = $-255 \times m/(n-m)$ ภาพที่มีความถี่ส่วนใหญ่อยู่ในช่วงกลางๆหรือช่วงใดช่วงหนึ่งภาพจะมีความคมชัด (Contrast) ต่ำ ทำให้ภาพที่ได้แสดงลายละเอียดไม่ชัดเจน สมการที่ใช้จะช่วยให้มีการกระจายภาพสม่ำเสมอ



รูปที่ 3.9 กราฟฮีสโตแกรมของ P (x,y) , Q (x,y) กรณี Middle part of an image

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

33957



กราฟของ Q (x,y) = (255 / (n-m)) P (x,y) –255 x m/(n-m

พิจารณาทั้ง 3 วิธี สามารถนำไปใช้กับภาพในแต่ละกรณี ซึ่งได้ภาพที่มีความคมชัดและรายละเอียดของภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น ส่งผลให้การประมวลผลดีขึ้นและในโครงงานนี้จากการที่ได้ทำการทดลองพบว่าการใช้วิธีที่ 2 (Enhancement of higher part of an image) แต่เลือกวิธีการหาค่า a และ b (ค่า gain และค่า offset) ของวิธีที่3(Enhancement of middle part of an image) ซึ่งเป็นวิธีที่สามารถสร้างภาพที่มีความคมชัดมากที่สุด

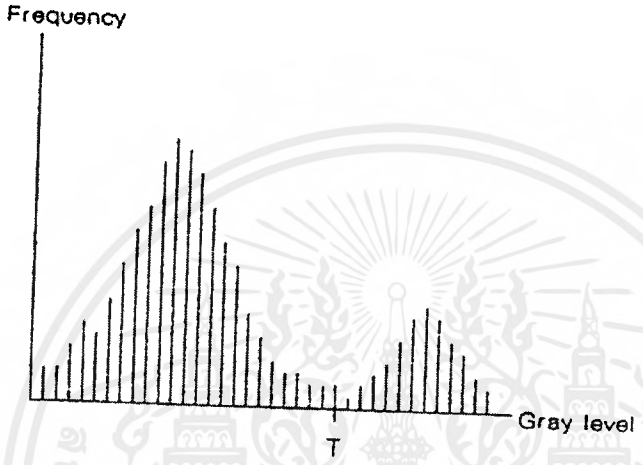
3.4 การทำภาพไบนารี

จากขั้นตอนการทำงานที่เริ่มจากกล้องทำการถ่ายภาพลายวงจร ข้อมูลที่ได้เป็นค่าระดับความเข้มสีเทาหลังจากผ่านดิจิไตเซอร์การ์ดได้เป็นสัญญาณดิจิตอล เป็นข้อมูลที่ป้อนเข้าสู่เครื่องคอมพิวเตอร์เพื่อทำการประมวลผล โดยในขั้นตอนนี้จะทำการเปลี่ยนระดับความเข้มสีเทาของข้อมูลจาก 256 ระดับให้เป็นความเข้มสีเทาเพียง 2 ระดับ โดยนำข้อมูลที่ได้มาสร้างแผนภูมิแท่ง (Histogram) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเข้มสีเทา(gray)กับจำนวนจุดภาพ (frequency) เพื่อใช้ในการดูกลุ่มข้อมูล ซึ่งเราสามารถแบ่งค่าออกเป็น 2 ระดับ (Binary image) โดยการเลือกค่า เธร็ชโฮลด์ (Threshold)

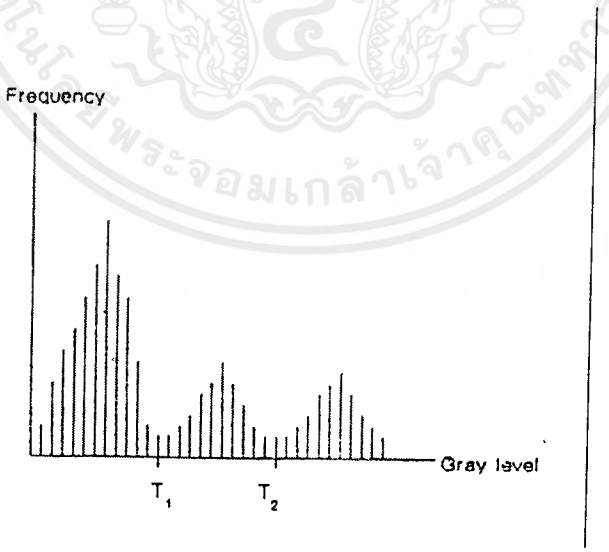
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.1 การตัดค่าเธร็ชโฮลด์

เธร็ชโฮลด์เป็นค่าที่ใช้ในการแบ่งแยกวัตถุ (object) และส่วนฉาก (back ground) ออกจากกัน เพื่อที่จะสามารถแปลงค่าระดับสีเทาของภาพให้เป็นไบนารี โดยกำหนดให้ส่วนวัตถุเป็น 1 (white) และส่วนฉากเป็น 0 (black) โดยแสดงฮีสโตแกรมค่าระดับสีเทา (Gray level histogram) ดังภาพ



รูป 3.10 แสดงการแสดงฮีสโตแกรมที่มีเธร็ชโฮลด์ค่าเดียว (single threshold)



รูปที่ 3.11 แสดงฮีสโตแกรมที่มีเธร็ชโฮลด์สองค่า (multiple threaholds)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อพิจารณารูปที่ 3.10 ซึ่งเป็นฮีสโตแกรมค่าระดับสีเทา ที่ได้จากฟังก์ชั่น f (x, y) จะประกอบด้วยความสว่างเป็นส่วนของวัตถุและความมืดเป็นส่วนของฉาก สามารถแบ่งส่วนที่เป็นวัตถุและฉากโดยการเลือกค่าเธร็ชโฮลด์ T โดยให้ f (x,y) < T เป็นส่วนของวัตถุและส่วนที่เหลือจะเป็นส่วนของฉาก พิจารณารูป 3.11 มีการแบ่งระดับสีเทาที่แตกต่างกันออกไป คือแบ่งระดับสีเทาออกเป็น 3 กลุ่ม (2 วัตถุ และ 1 ฉาก) เราสามารถใช้วิธีเดียวกันนี้แบ่งจุด (x,y) เพื่อใช้พิจารณาแยกวัตถุออกจากฉาก โดยให้ T1 < f (x,y) < T2 หรือจะทำการแยกวัตถุออกมาโดย f (x,y) < T2 และส่วนฉากจะให้ f (x,y) >T1 วิธีดังกล่าวนี้ให้ความถูกต้องน้อยกว่าวิธีเลือก เธร็ชโฮลด์เพียงค่าเดียว

โดยมีวิธีการหาค่าดังนี้

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

เมื่อ f (x,y) คือ ค่าระดับสีเทาที่พิกัด x,y ใดๆ

P (x,y) คือ ตำแหน่งของค่าระดับสีเทา

สามารถหาค่าเธร็ชโฮลด์ของภาพ g (x,y) ได้โดย

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

เมื่อ T ขึ้นอยู่กับฟังก์ f (x,y) จะถูกเรียกว่า โกลบอลเธร็ชโฮลด์ (Global threshold) และถ้า T ขึ้นอยู่กับ 2 ฟังก์ชั่นคือ f (x,y) และ P (x,y) จะถูกเรียกว่า โลคอลเธร็ชโฮลด์ (Local threshold) และถ้าการรวมกันของค่า T ขึ้นอยู่กับระยะห่างจากจุดโคออดิเนท x และ y จะถูกเรียกว่า ไดนามิกเธร็ชโฮลด์ (Dynamic threshold)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4.2 การเลือกค่าเธร็ชโฮลด์ THRESHOLD ที่ดีที่สุด[1]

Reddi *et al.* [2] ได้พัฒนาวิธีการค้นหาแบบรวดเร็ว สำหรับการตัดค่า threshold ของ image โดยนำวิธีการที่ Otsu [3] ได้นำเสนอไว้แล้วมาเป็นพื้นฐาน Otsu ลดปัญหาที่ยุ่งยากให้เป็นปัญหาที่เหมาะสม Reddi et al. จึงได้บ่งบอกทางเลือกของหลักการค้นหา threshold ต่อมา

การพิสูจน์ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยการลดรูปปัญหามาเป็น algorithm แบบวนซ้ำอย่างง่าย ซึ่ง Ridler และ Calvard [4] ตั้งสมมติฐานเอาไว้ และพวกเขาเสนอเอาไว้ในรูปของ block diagram ภายหลัง Trussler [5] ได้อธิบายไว้ใหม่ในรูปของสมการคณิตศาสตร์สั้นๆ ต่อไปนี้

$$T_{k+1} = \frac{1}{2}\left[\frac{\sum_{i=0}^{T_k} n(i)i}{\sum_{i=0}^{T_k} n(i)} + \frac{\sum_{i=T_{k+1}}^{N} n(i)i}{\sum_{i=T_{k+1}}^{N} n(i)}\right] \tag{3.13}$$

โดยที่ $n(i)$ คือ จำนวนรวมทั้งหมดของ grey-level ที่มีค่าเท่ากับ I

T_{k+1} , T_k คือ ค่า threshold ของการวนซ้ำที่ $k+1$ และ k ตามลำดับ

ค่าตัวแปรระหว่างชั้น $\sigma^2(T)$ สำหรับการแบ่งระดับ 2 ระดับ โดยค่า threshold T นิยามดังนี้

$$\sigma^2(T) = p_D(\mu_D - T)^2 + p_B(\mu_B - \mu_T)^2 \tag{3.14}$$

โดยที่

$$p_D = \int_0^T p(x)dx \qquad p_B = \int_T^\infty p(x)dx$$

$$p_D\mu_D = \int_0^T xp(x)dx \qquad p_B\mu_B = \int_T^\infty xp(x)dx \tag{3.15}$$

และ

$$\mu_T = p_D\mu_D + p_B\mu_B$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$p(x)$ คือ ฟังก์ชันของความหนาแน่นความน่าจะเป็น (probability density function) ของ gray-level ในรูปภาพ

x คือ ตัวแปรที่แสดง gray-level

p_D คือ ความน่าจะเป็นที่ pixel จะมีค่าต่ำกว่า T

subscript D หมายถึง dark pixel

p_B คือ ความน่าจะเป็นที่ pixel จะมีค่าสูงกว่า T

subscript B หมายถึง bright pixel

$$\mu_D = \frac{\int_0^T xp(x)dx}{\int_0^T p(x)dx} = \text{mean of dark pixels.}$$

$$\mu_B = \frac{\int_T^\infty xp(x)dx}{\int_T^\infty p(x)dx} = \text{mean of bright pixels.}$$

$$\mu_T = \text{total mean} = \int_0^\infty xp(x)dx$$

สมการ (3.14) สามารถลดรูปเป็น

$$\sigma^2(T) = p_D\mu_D^2 + p_B\mu_B^2 - \mu_T^2 \qquad (3.16)$$

threshold ที่เหมาะสม T^* ถูกเลือกได้โดยการ maximize $\sigma^2(T)$

ถ้าทำการ differentiate เทียบกับ T จะได้ว่า

$$\frac{\partial\sigma^2(T)}{\partial T} = p_D(2\mu_D)\frac{\partial\mu_D}{\partial T} + \frac{\partial p_D}{\partial T}\mu_D^2 + p_B(2\mu_B)\frac{\partial\mu_B}{\partial T} + \frac{\partial p_B}{\partial T}\mu_B^2 = 0 \qquad (3.17)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แต่

$$\frac{\partial p_D}{\partial T} = p(T) \tag{3.18}$$

$$\frac{\partial p_B}{\partial T} = -p(T) \tag{3.19}$$

$$\frac{\partial \mu_D}{\partial T} = \frac{p_D T p(T) - \left[\int_0^T xp(x)dx\right]p(T)}{p_D^2} = \frac{1}{p_D}[T - \mu_D]p(T) \tag{3.20}$$

และ

$$\frac{\partial \mu_B}{\partial T} = \frac{p_B(-Tp(T)) + \left[\int_T^\infty xp(x)dx\right]p(T)}{p_B^2} = \frac{1}{p_B}[-T + \mu_B]p(T) \tag{3.21}$$

ลบสมการ (3.18) – (3.21) แล้วแทนค่าในสมการ (3.17) จะได้

$$2T(\mu_D - \mu_B) = \mu_D^2 - \mu_B^2$$

หรือ

$$T = 0.5(\mu_D - \mu_B) \tag{3.22}$$

นั่นคือ ค่า T ที่เหมาะสมที่สุด เป็น

$$T^* = \frac{1}{2}\left[\frac{\int_0^{T^*} xp(x)dx}{\int_0^{T^*} p(x)dx} + \frac{\int_{T^*}^\infty xp(x)dx}{\int_{T^*}^\infty p(x)dx}\right] \tag{3.23}$$

หรือ สำหรับสมการดิสครีต จากสมการ(3.23) เขียนได้เป็น

$$T^* = \frac{1}{2}\left[\frac{\sum_{i=0}^{T^*} n(i)i}{\sum_{i=0}^{T^*} n(i)} + \frac{\sum_{i=T_k+1}^{N} n(i)i}{\sum_{i=T_k+1}^{N} n(i)}\right] \tag{3.24}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยที่ N คือ จำนวนของ gray-level ของรูปภาพ

สำหรับรูปภาพที่เก็บเป็นข้อมูล 8-bit ค่า $N \leq 2^8 - 1 = 255$

จากสมการ (3.24) ถ้าใช้วิธีการวนซ้ำแบบ fixed-point (fixed-point iteration method) คือ

$$T_{k+1} = \frac{1}{2}\left[\frac{\sum_{i=0}^{T_k} n(i)i}{\sum_{i=0}^{T_k} n(i)} + \frac{\sum_{i=T_k+1}^{N} n(i)i}{\sum_{i=T_k+1}^{N} n(i)}\right] \qquad (3.25)$$

ค่า threshold T จะเป็นเลขจำนวนเต็มที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 255 สำหรับรูปภาพ 8-bit gray-level image เพราะว่าด้านขวามือของสมการ (3.25) ได้ค่าเป็นเลขจำนวนจริง แล้วนำมาปัดเศษให้เป็นเลขจำนวนเต็มที่ใกล้เคียงหลังจากการวนรอบทุกครั้ง ค่าการลู่เข้า (convergence) จะได้มาเมื่อ

$$T_{k+1} = T_k \qquad (3.26)$$

แต่การใช้งานจริงในโครงงานได้ทำการตั้งค่า ให้ $T_{K+1} - T_K < 0.01$ เนื่องจากแทบจะเป็นไปไม่ได้ที่จะได้ค่า $T_{K+1} = T_K$

Convergence

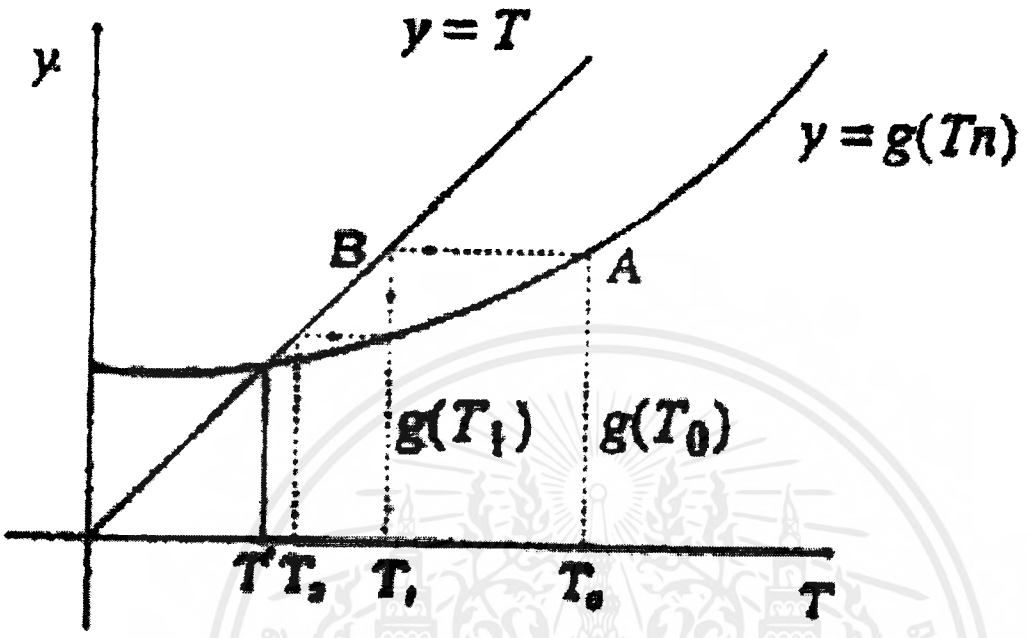
สมการการวนซ้ำสำหรับ single level threshold selection สามารถอธิบายในรูปทั่วไปได้ดังนี้

$$T_{n+1} = g(T_n) \qquad (3.27)$$

อธิบายตามเรขาคณิต การวนซ้ำนี้แสดงได้ดังรูปที่ 3.12

ให้มี T_n ใดๆ แล้ว T_{n+1} เป็นค่าบนแกน x ที่ได้มาจากการ projection จุด $(T_n, g(T_n))$ ลงบนกราฟ $y = T$ พิจารณาจุด $(T_0, g(T_0))$ ที่อยู่บนกราฟ $y = g(T)$ การ projection ในแนวดิ่ง ของ $g(T_0)$ บนเส้น $y = T$ ได้จุด $B = (T_1, T_1)$ จาก T_1 เราสามารถคำนวณ $g(T_1)$ และหา T_2, T_3, T_4 ได้ด้วยการทำอย่างเดียวกัน เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.12 Fixed –Point iteration

จากสมการ (3.25) จะได้ว่า

$$g(1) = \frac{1}{2}\left[\frac{\sum_{i=0}^{1} n(i)i}{\sum_{i=0}^{1} n(i)} + \frac{\sum_{i=2}^{N} n(i)i}{\sum_{i=2}^{N} n(i)}\right] \tag{3.28}$$

เนื่องจาก $n(i) \geq 0$ จะได้

$$\sum_{i=0}^{1} n(i)i \leq \sum_{i=0}^{1} n(i)$$

และ

$$\sum_{i=2}^{N} n(i)i \leq N\sum_{i=2}^{N} n(i) \tag{3.29}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น ทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ดังนั้น

$$g(1) \le \frac{1}{2}\left[\frac{\sum_{i=0}^{1} n(i)}{\sum_{i=0}^{1} n(i)} + \frac{N\sum_{i=2}^{N} n(i)}{\sum_{i=2}^{N} n(i)}\right] \tag{3.30}$$

เช่นเดียวกัน

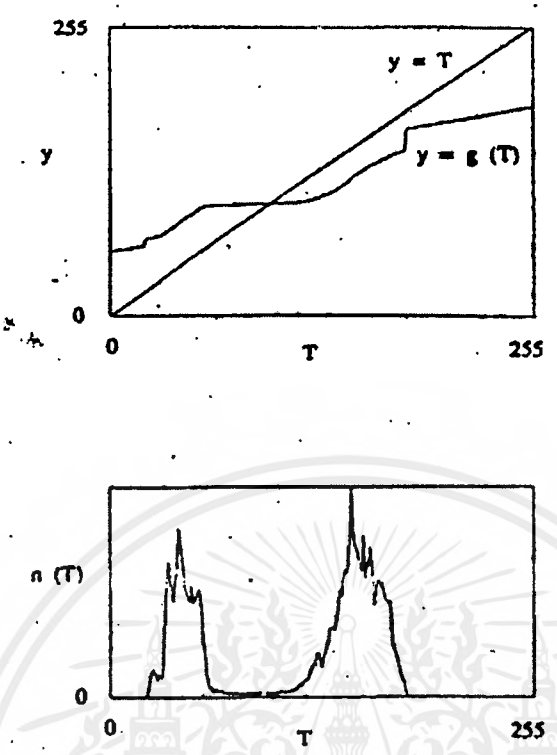
$$\le \frac{1}{2}[1+N] > 0 \tag{3.31}$$

$$g(2) \le \frac{1}{2}[2+N]$$
$$\vdots$$
$$g(N-1) \le \frac{1}{2}[N-1+N] = N - \frac{1}{2} \tag{3.32}$$

นั่นคือ เส้นโค้ง y = g(T) และ y = T สัมพันธ์กันดังรูปที่ 3.12 , รูปที่ 3.13 แสดงตัวอย่างของเส้นโค้ง y = g(T) และ histogram $n(T)$ ที่ได้จากข้อมูลรูปภาพ

การลู่เข้าของสมการ (3.16) จึงบรรลุ ส่วนใหญ่ในการวนซ้ำ 4-7 ครั้ง ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นโค้ง y = g(T) และ เส้นตรง y = T จะแสดงไว้แล้วในรูปที่ 3.13 ซึ่งสามารถบ่งบอกความเร็วของการลู่เข้าของ algorithm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ของฮีสโตแกรม

3.5 การหาโครงร่างหรือแกนกลางของลายวงจร (SKELETON)

เป็นการหาโครงร่างหรือแกนกลางของลายวงจร โดยวิธี Thinning Algorithm ซึ่งกำหนดค่าให้ " 1 " แทนจุดที่เป็นลายวงจรและค่า " 0 " แทนจุดที่ไม่เป็นลายวงจร (background) วิธีการนี้จะทำตามขั้นตอนพื้นฐาน 2 ขั้นตอนอย่างต่อเนื่อง ในการตรวจสอบจุดที่อยู่รอบนอกของลายวงจรที่มีค่าเป็น " 1 " และจะต้องมีจุดข้างเคียง (Neighborhood) อย่างน้อยหนึ่งจุดในแปดจุดที่มีค่าเป็นศูนย์ " 0 " เพื่อจะได้กำจัดจุดอื่นๆ ให้เป็น " 0 " ได้แสดง Thinning Algroithm ที่ใช้แปดจุดข้างเคียงแสดงได้ดังรูปที่ 3.14

จุด p1 คือจุดที่ต้องการตรวจสอบว่าจะกำจัดออกไป (ให้เป็น 0) หรือจะให้คงไว้ตาม อัลกอริทึมของการทำ Skeleton

ขั้นตอนที่ 1 จุด p1 จะถูกกำจัดออกไป ถ้าสอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด แต่จะคงไว้ถ้าไม่เป็นจริงเกิดขึ้นในกรณีใดกรณีหนึ่ง

1. $2 <= N(p1) <= 6$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ N(p1) เป็นจำนวนที่จุดไม่เป็นศูนย์ ที่อยู่ข้างเคียงกับจุด p1 คือ

N(p1) = p2+p3+p4+...+p9

P9	**P2**	**P3**
P8	**P1**	**P4**
P7	**P6**	**P5**

รูปที่ 3.14 แสดงตาราง Thinning Algorithm ที่ใช้ 8 จุดข้างเคียง

2. S (p1) = 1

เมื่อ S (p1) คือจำนวนของของจุดที่เปลี่ยนแปลงจาก 0 เป็น 1 โดยตรวจสอบไปตามลำดับ p2 , p3 , ... , p9

3. p2 * p4 * p6 = 0 (เมื่อ * แทนด้วยลอจิก AND)

4. p4 * p6 * p8 = 0

ขั้นตอนนี้จะใช้กับทุกจุดภาพที่อยู่โดยรอบของลายวงจร ถ้าเงื่อนไขสอดคล้องกัน จุด p1 จะถูกกำจัดออกไป

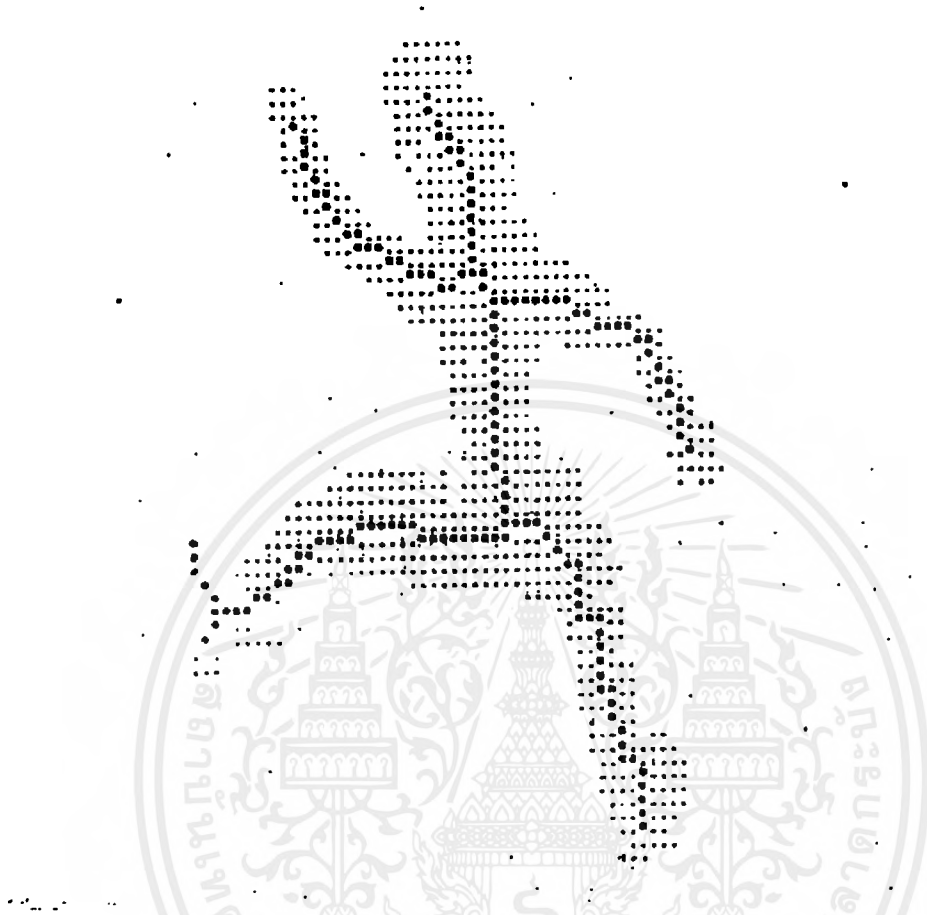
ขั้นตอนที่ 2 ขั้นตอนนี้ เงื่อนไขข้อที่ 1 และ 2 จะยังเหมือนกับในขั้นตอนที่ 1 แต่เงื่อนไขข้อที่ 3 และ 4 จะเปลี่ยนเป็น

5. p2 * p4 * p8 = 0

6. p2 * p6 * p8 = 0

ขั้นตอนนี้จะใช้กับข้อมูลที่ผ่าน ขั้นตอนที่ 1 โดยวิธีการที่เหมือนกัน ขั้นตอนนี้จะเป็นการกำจัดข้อมูลที่อยู่ทางซ้ายมือ และด้านบนออกไป ซึ่งสามารถดูได้จากรูปข้างล่างของขั้นตอนที่ 1 และ ขั้นตอนที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

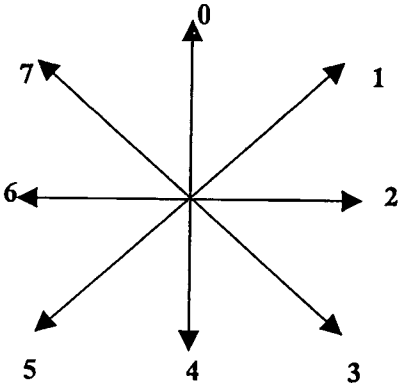


รูปที่ 3.15 ผลที่ได้จากการทำ Thinning Algorithm

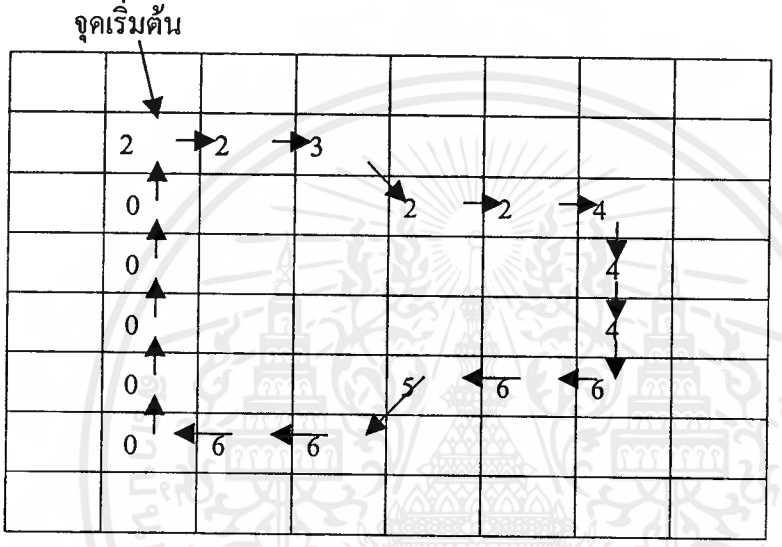
3.6 การเข้ารหัสลูกโซ่เก็บตำแหน่งและทิศทาง (Chain Code)

เป็นการนำข้อมูลภาพที่ผ่านการตรวจหาขอบกภาพมาแล้ว มาทำการเข้ารหัสลูกโซ่เพื่อเก็บขอบเขตของลายวงจร ก็คือค่าโคออร์ดิเนต (x, y Coordinate) และทิศทางของจุดภาพนั้นเอง รหัสลูกโซ่นี้ได้จากการติดตามรอยขอบของวัตถุจนกระทั้งการติดตามนั้นมาถึงจุดเริ่มต้นอีกครั้ง จะสิ้นสุดการเข้ารหัสลูกโซ่และนำข้อมูลที่เข้ารหัสลูกโซ่แล้วนี้ มาพิจารณาทำการตรวจสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นต่อไป รหัสทิศทางการเข้าลูกโซ่ที่ใช้เป็นแบบ 8-Connectivity สามารถแทนค่าตัวเลขให้แก่รหัสทิศทางได้เป็น 0,1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 ตามลำดับ ดังรูปที่ 3.16(a) และตัวอย่างการเข้ารหัสแบบ 8 ทิศทาง แสดงดังในรูปที่ 3.16(b) จะได้รหัสลูกโซ่คือ 223224446656600000

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(a)



(b)

รูปที่ 3.16 (a) ทิศทางของรหัสแบบ 8 ทิศทาง
(b) การเข้ารหัสแบบ 8 ทิศทาง

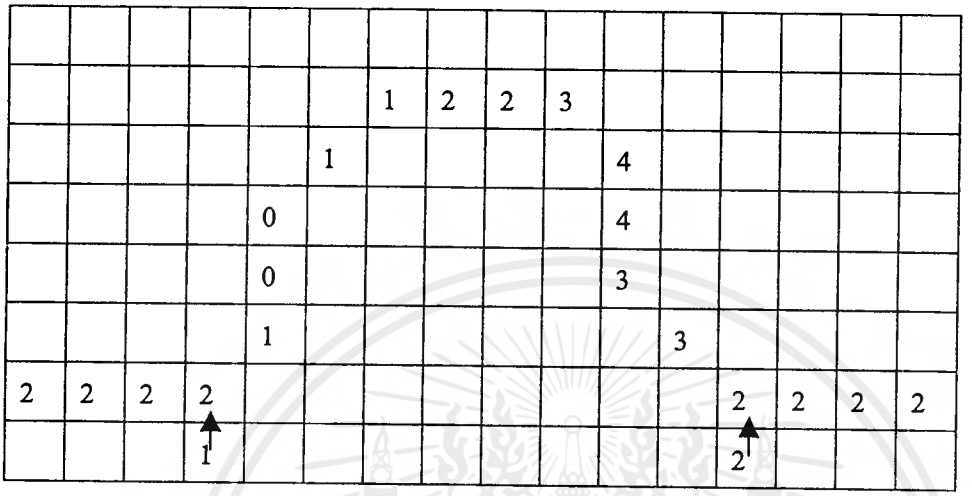
3. 7 การตรวจหาจุดเปลี่ยนแนวเส้น (Corner detection)

หลักการหาจุดเปลี่ยนแนวเส้นนี้ได้มีผู้เสนอวิธีการหลายวิธีด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีส่วนใหญ่แล้วจะใช้สมการคณิตศาสตร์ช่วยในการหาจุดเปลี่ยนแนวเส้น ทำให้เสียเวลาการคำนวณค่อนข้างมาก ไม่เหมาะที่จะนำมาใช้สำหรับการตรวจสอบลายวงจร ดังนี้นเราจึงใช้วิธีการหาจุดเปลี่ยนแนวเส้นโดยอาศัยความแตกต่างของทิศทางที่อยู่ใกล้กันมาพิจารณา จุดเปลี่ยนแนวเส้นที่ตรวจพบจะใช้เป็นจุดอ้างอิงในการตรวจสอบความกว้างที่ใหญ่มากเกินไป และใช้ในการตรวจสอบการลัดวงจรของลายวงจร เราสามารถวางกฎเกณฑ์เพื่อหาจุดเปลี่ยนแนวเส้นได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> นำรหัสลูกโซ่ (แนวของจุดที่เก็บไว้) มาพิจารณาหาจำนวนกลุ่มจุดภาพที่มีการเปลี่ยนทิศทางหลายครั้งใกล้ๆ กัน

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ตั้งข้อกำหนดของการเปลี่ยนแนวเส้นที่มีลักษณะผิดปกติหรือว่ามีการเปลี่ยนแนวเส้นเป็นส่วนโค้ง พิจารณาตัวอย่างในรูปที่ 3



รูปที่ 3.17 ตัวอย่างข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในการพิจารณาจุดเปลี่ยนแนวเส้น

จากรูปที่ 3.17 จะได้ว่า

รหัสลูกโซ่ 2 2 2 2 1 0 0 1 1 2 2 3 4 4 3 3 2 2 2 2 .. (a)

ความแตกต่างของทิศทาง 0 0 0 –1 –1 0 1 0 1 0 1 1 0 –1 0 –1 0 0 0 .. (b)

รวมทิศทางที่ติดกัน 0 –2 0 2 0 2 0 –2 0 .. (c)

รวมทิศทางที่ใกล้กัน 0 –2 0 2 0 2 0 –2 0 .. (d)

ค่าทิศทางการเปลี่ยนแปลง –2 2 2 –2 .. (e)

การกำหนดจุด 1 และ 2 จะสำเร็จได้ต่อเมื่อมีการตรวจสอบค่าทิศทางที่เกิดขึ้นถ้ารวมกันแล้วได้ค่า +2 และ –2 การเคลื่อนที่ของทิศทางการตรวจสอบเมื่อเป็นไปตามเข็มนาฬิกา จะให้ความแตกต่างของทิศทางค่าบวกและทิศทางทวนเข็มนาฬิกาจะได้ค่าลบ ดังแสดงในแถว (b) เมื่อเรารวมทิศทางที่ติดกัน โดยพิจารณาทิศทางที่มีเครื่องหมายเหมือนกันถึงจะรวมกันได้เราจะได้ลักษณะเป็นดังแถว (c) คือ –1 –1 จะได้ –2 หรือ 1 1 จะได้ 2 ถ้าพิจารณาต่อไปอีกค่าการเปลี่ยนทางที่ใกล้กันสามารถรวมกันได้อีก คือ 101 จะได้ 2 หรือ –1 0 –1 เราจะได้ –2 จะเป็นดังแถว (d) ผลสุดท้ายเราจะกำจัดค่า 0 ออก เราจะได้ดังแถว (e) คือที่ตำแหน่งค่า –2, 2, 2, -2 จะได้จุดเปลี่ยนแนวเส้น 4 จุด แต่เราต้องการเพียง 2 จุดคือที่ตำแหน่งค่า –2, -2 เราจะได้จุด 1 และ 2 ออกมา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ตรวจสอบทิศทางของจุด(รหัสลูกโซ่) ที่มีแนวทิศทางต่างออกไปจากแนวทิศทางเดิมมากกว่า หรือเท่ากับ 45 องศา และเป็นไปดังข้อกำหนดในขั้นตอนที่ 2 หรือไม่

ขั้นตอนที่ 4 ทิศทางของจุดที่พิจารณาในขั้นตอนที่ 3 อยู่ในทิศทางเดิมหรือไม่ถ้าใช่ก็ให้พิจารณาตรวจสอบจุดต่อไป แต่ถ้าไม่ใช่ก็ให้ทำการกำหนดจุดนั้นเป็นจุดเปลี่ยนแนวเส้นจุดแรก โดยการที่จะกำหนดจุดแรกได้สำเร็จจะต้องพิจารณาจุดที่ผ่านมาแล้วด้วยว่า เป็นลักษณะเส้นตรงติดต่อกันไป โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางตามค่าที่เรากำหนดไว้ ในที่นี้กำหนดไว้ 6 จุดภาพที่เรียงต่อกันเป็นเส้นตรง

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาจุดเปลี่ยนแนวเส้นถัดไปถ้าไม่เป็นไปตามข้อกำหนดในขั้นตอนที่ 2 และ 3 จะไม่มีการกำหนดจุดเปลี่ยนแนวเส้นทั้ง 2 จุด

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบจุดเปลี่ยนแนวเส้นจุดที่สอง เมื่อเราตรวจสอบจุดแรกได้แล้ว โดยจะทำการตรวจสอบไปข้างหน้าว่าเป็นลักษณะเส้นตรงยาวตามที่เรากำหนดคือ 6 จุดภาพหรือไม่ ถ้าใช่ก็จะกำหนดจุดเปลี่ยนแนวเส้นจุดที่สอง ตรงที่มีการเปลี่ยนแนวเส้นครั้งสุดท้าย

ขั้นตอนที่ 7 เป็นขั้นตอนที่พบจุดเปลี่ยนแนวเส้น.....จุด ดังนั้นจะทำการเก็บตำแหน่งและทิศทางไว้ แล้วนำไปพิจารณาตรวจสอบหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนเส้นขอบลายวงจรทันที

ขั้นตอนที่ 8 กระทำการตรวจสอบจนครบวงรอบ (loop) ของเส้นขอบลายวงจรแล้วจะทำการหาวงรอบของเส้นขอบลายวงจรอื่นๆ ต่อไป

3.8 การตรวจหาเส้นขอบ(Edge Detection)

Partial Difference Operator ปกติแล้วในส่วนของภาพที่จะเกิดเป็นขอลให้เห็นได้นั้นที่ขอบของภาพจะต้องมีค่า gray value ที่ต่างกันอยู่ระดับหนึ่ง ซึ่งจุดๆ นี้ จะช่วยให้เราสามารถที่จะหาขอบเขตของภาพนั้นได้

วิธีการหาขอบของภาพโดย Partial Difference Operator มีรูปแบบดังนี้คือ

$$[DX(f)](i,j)) = \begin{cases} f(i,j) - f(i-1,j), & \text{if } f \text{ is defined at } (i,j) \text{ and } (i-1,j) \\ * & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$[DY(f)](i,j)) = \begin{cases} f(i,j) - f(i,j-1), & \text{if } f \text{ is defined at } (i,j) \text{ and } (i-1,j) \\ * & \text{otherwise} \end{cases}$$

ที่ DX นั้นเป็นความแตกต่างระหว่าง gray level ที่จุดนั้นๆ กับ gray level ที่อยู่ทางซ้ายมือ ส่วน DY นั้นเป็นความแตกต่างระหว่าง gray level ที่อยู่ส่วนล่าง ค่า DX ที่ได้จะเป็นตำแหน่งของ Vertical edges ขณะที่ DY เป็นตำแหน่งของ Horizontal Edges

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บล็อกไดอะแกรมของ DX เขียนได้ดังนี้

ส่วนของ DY ก็เช่นเดียวกัน

ตัวอย่างของ Partial Difference Operator จาก

$$f=\begin{bmatrix} * & 4 & 4 & 1 & 0 & 1 \\ 4 & 5 & 4 & 1 & 1 & 2 \\ 5 & 4 & 5 & 2 & 1 & 2 \\ 6 & 6 & 6 & 2 & 3 & 2 \\ 6 & 7 & 6 & 3 & 3 & * \\ 7 & 7 & 7 & 3 & 4 & 4 \\ 8 & 7 & 7 & 4 & 4 & 5 \end{bmatrix}_{0,6}$$

$$DX(f) = \begin{bmatrix} * & * & 0 & -3 & -1 & 1 \\ * & 1 & -1 & -3 & 0 & 1 \\ * & -1 & 1 & -3 & -1 & -1 \\ * & 0 & 0 & -4 & 1 & -1 \\ * & 1 & -1 & -3 & 0 & * \\ * & 0 & 0 & -4 & 1 & 0 \\ * & -1 & 0 & -3 & 0 & 1 \end{bmatrix}_{0,6}$$

Partial Difference Operator ของ DX

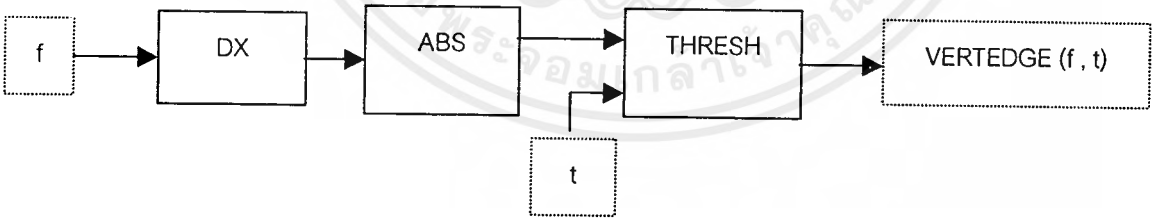
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เช่นเดียวกันค่าของ DY จะได้ว่า

$$DY(f) = \begin{bmatrix} * & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & * \\ -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & * \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ * & * & * & * & * & * \end{bmatrix}_{0,6}$$

จาก DX(f) จะเห็นว่า ใน column ที่ 4 จะให้ค่าความแตกต่างของ gray level สูงสุด ซึ่งค่าของ DX(f) และ DY(f) นี้เราจะไม่คิดเครื่องหมายคือทำเป็นค่า Absolute เมื่อนำมาทำ Thresh แล้วจะได้ดังรูป โดยให้ค่า t=3

บล็อกไดอะแกรมของการทำ edge-detection กับ DX สามารถเขียนได้ดังนี้คือ



ค่าที่ได้จากบล็อกไดอะแกรมนี้คือ Vertedge (f , t) ซึ่งมี input อยู่ 2 ส่วนคือ ข้อมูลภาพและค่า Threshold Value t

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{Vertedge}\quad (f, 3) = \begin{bmatrix} * & * & - & 1 & - & - \\ * & - & - & 1 & - & - \\ * & - & - & 1 & - & - \\ * & - & - & 1 & - & - \\ * & - & - & 1 & - & * \\ * & - & - & 1 & - & - \\ * & - & - & 1 & - & - \end{bmatrix}_{0,6}$$

ตัวอย่างในการ Detect Curved edges

$$f = \begin{bmatrix} - & - & - & 1 & - & - & - & - & - & - \\ 1 & 1 & - & 4 & 4 & 4 & - & - & 1 & - \\ - & 4 & 4 & 4 & 3 & 4 & 4 & 3 & - & 1 \\ 4 & 3 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & - \\ 3 & 4 & 4 & 3 & 4 & 4 & 3 & 4 & 3 & - \\ - & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & 4 & - & 1 \\ 1 & - & - & 4 & 4 & 3 & - & 1 & - & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \end{bmatrix}_{2,4}$$

$$\text{ABS}\,[\,DX(f)\,] = \begin{bmatrix} * & - & - & - & 1 & 1 & - & - & - & - \\ * & 1 & - & 1 & 4 & - & - & 4 & - & 1 & 1 \\ * & - & 4 & - & - & 1 & 1 & - & 1 & 3 & 1 \\ * & 4 & 1 & 1 & - & - & - & - & - & - & 4 \\ * & 3 & 1 & - & 1 & 1 & - & 1 & 1 & 1 & 3 \\ * & - & 4 & - & - & - & - & - & - & 4 & 1 \\ * & 1 & 1 & - & 4 & - & 1 & 3 & 1 & 1 & - \\ * & 1 & - & - & - & - & - & - & - & - & 1 \end{bmatrix}_{2,4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$\text{ABS}\ [\,\text{DY(f)}\,] = \begin{bmatrix} - & 1 & 1 & - & 3 & 4 & 4 & - & - & 1 & - \\ - & 1 & 3 & 4 & - & 1 & - & 4 & 3 & 1 & 1 \\ - & 4 & 1 & - & - & 1 & - & - & 1 & 4 & 1 \\ - & 1 & 1 & - & 1 & - & - & 1 & - & 1 & - \\ - & 3 & - & - & 1 & - & - & 1 & - & 3 & 1 \\ - & 1 & 4 & 4 & - & - & 1 & 4 & 3 & - & 1 \\ - & 1 & - & - & 4 & 4 & 3 & - & 1 & - & 1 \\ * & * & * & * & * & * & * & * & * & * & * \end{bmatrix}_{2,4}$$

$$\text{Vertedge}(f,3) = \begin{bmatrix} * & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ * & - & - & - & 1 & - & - & 1 & - & - & - \\ * & - & 1 & - & - & - & - & - & - & 1 & - \\ * & 1 & - & - & - & - & - & - & - & - & 1 \\ * & 1 & - & - & - & - & - & - & - & - & 1 \\ * & - & 1 & - & - & - & - & - & - & 1 & - \\ * & - & - & - & 1 & - & - & 1 & - & - & - \\ * & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \end{bmatrix}_{2,4}$$

$$\text{Horedge}(f,3) = \begin{bmatrix} - & - & - & - & 1 & 1 & 1 & - & - & - & - \\ - & - & 1 & 1 & - & - & - & 1 & 1 & - & - \\ - & 1 & - & - & - & - & - & - & - & 1 & - \\ - & - & - & - & - & - & - & - & - & - & - \\ - & 1 & - & - & - & - & - & - & - & 1 & - \\ - & - & 1 & 1 & - & - & - & 1 & 1 & - & - \\ - & - & - & - & 1 & 1 & 1 & - & - & - & - \\ * & * & * & * & * & * & * & * & * & * & * \end{bmatrix}_{2,4}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่4
การตรวจลายปริ้นท์โดยใช้โปรแกรมที่ทำงานบนดอส

4.1 การตรวจสอบการขาดของลายวงจร

ข้อมูลภาพที่ได้จากการเก็บภาพของกล้อง จะนำมาทำเป็นภาพ 2 ระดับ (Binary Image) ระหว่างข้อมูลของภาพ (Data) กับฉากของภาพ (Background) ออกจากกัน จากนั้นจะนำข้อของมูลภาพ (Data) มาเพื่อตัดหาแกนกลางของภาพ (Skeleton) ขั้นตอนต่อไปจึงจะเป็นวิธีการที่จะตรวจสอบการขาดของลายวงจร

จะทำโดยการกำหนดหาตำแหน่งสุดท้าย ของลายวงจรที่มีการขาด และจะกำหนดจุดนั้นให้เป็นการกำหนดบล็อกตรวจสอบ ซึ่งจะวางตามตำแหน่งต่างๆ โดยการให้ค่าความสำคัญของตำแหน่งแต่ละตำแหน่งไม่เท่ากัน เพื่อให้มีการทำงานของโปรแกรมที่รวดเร็วมากขึ้น

4.1.1การกำหนดจุดที่ต้องการตรวจสอบ

เมื่อผ่านการทำ Skeleton จะสามารถหาจุดสุดท้ายได้ จากการเปลี่ยนค่าจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 และจะต้องหาตำแหน่งพิกัดที่รองจากจุดสุดท้าย เพื่อที่จะหาทิศทางการวางของบล็อกตรวจสอบ

การหาจุดสุดท้ายนั้นตรวจสอบรอบๆ จุดสุดท้ายว่ามีตำแหน่งอยู่ที่ตำแหน่งใด ซึ่งอาจจะเป็นไปได้ทุกตำแหน่งรอบ ๆ ตัว

Column ↓ **Row** →

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

รูปที่ 4.1 ตำแหน่งรอบจุดทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่งสุดท้ายและรองสุดท้ายจะสัมพันธ์กับการวางบล็อกการตรวจสอบ ซึ่งสามารถตรวจแยกได้เป็น 4 กรณีโดยตำแหน่ง (X , Y) = 1 เนื่องจากเป็นตำแหน่งสุดท้าย

กรณีการตรวจพบการขาดของลายวงจร

1. ตรวจสอบพบจุดรองสุดท้าย (X-1 , Y-1) หรือ (X , Y-1) หรือ (X+1 , Y-1) จะวางบล็อกตรวจสอบแบบ DOWN ดังรูปที่ 4.2

กรณีการตรวจพบ สมการ (X-1 , Y-1) OR (X , Y-1) OR (X+1 , Y-1) = 1

(X-1 , Y) OR (X+1 , Y) = 0

(X-1 , Y+1) OR (X , Y+1) OR (X+1 , Y+1) = 0

		x-1 y-1	**x y-1**	**x+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**	**0**	**0**

รูปที่ 4.2 บล็อกตรวจสอบแบบDown

2. ตรวจสอบพบจุดรองสุดท้ายที่ (X-1 , Y+1) หรือ (X , Y+1) หรือ (X+1 , Y+1) จะวางบล็อกตรวจสอบแบบ UP ดังรูปที่ 4.3

กรณีตรวจพบ สมการ (X-1 , Y+1) OR (X , Y+1) OR (X+1 , Y+1) = 1

(X-1 , Y) OR (X+1 , Y) = 0

(X-1 , Y-1) OR (X , Y-1) OR (X+1 , Y-1) = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

รูปที่ 4.3 บล็อกตรวจสอบแบบ UP

3. ตรวจสอบพบจุดรองสุดท้ายที่ (X-1 , Y) = 1 จะวางบล็อกแบบ RIGHT ดังรูปที่ 4.4

กรณีตรวจพบ สมการ (X-1 , Y-1) OR (X , Y-1) OR (X+1 , Y-1) = 0

(X-1 , Y+1) OR (X , Y+1) OR (X+1 , Y+1) = 0

(X+1 , Y) = 0

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1.2 บล็อกตรวจสอบ

สำหรับบล็อกตรวจสอบนั้นจะกำหนดขนาดของบล็อกโดยอาศัยความสามารถในการเก็บภาพของลายวงจรว่ามีความละเอียดชัดเจนเพียงใด และการขาดของลายวงจรส่วนมากแล้วจะมีการขาดอยู่ในบริเวณหักมุม ซึ่งโดยปกติจะมีระยะห่างไม่มากนักเพราะการขาดเนื่องจากการสกีนหรือการขาดเนื่องจากการกัดของกรดกัดปริ้นท์จะไม่มากนัก และสิ่งที่ต้องคำนึงถึงด้วยก็คือระยะห่างของขาอุปกรณ์ประเภทขาลอย (Mouse Surface) มีประมาณเท่าใดจึงนำมากำหนดขนาดของบล็อกตรวจสอบเพื่อป้องกันความผิดพลาด

ลักษณะของบล็อกตรวจสอบ

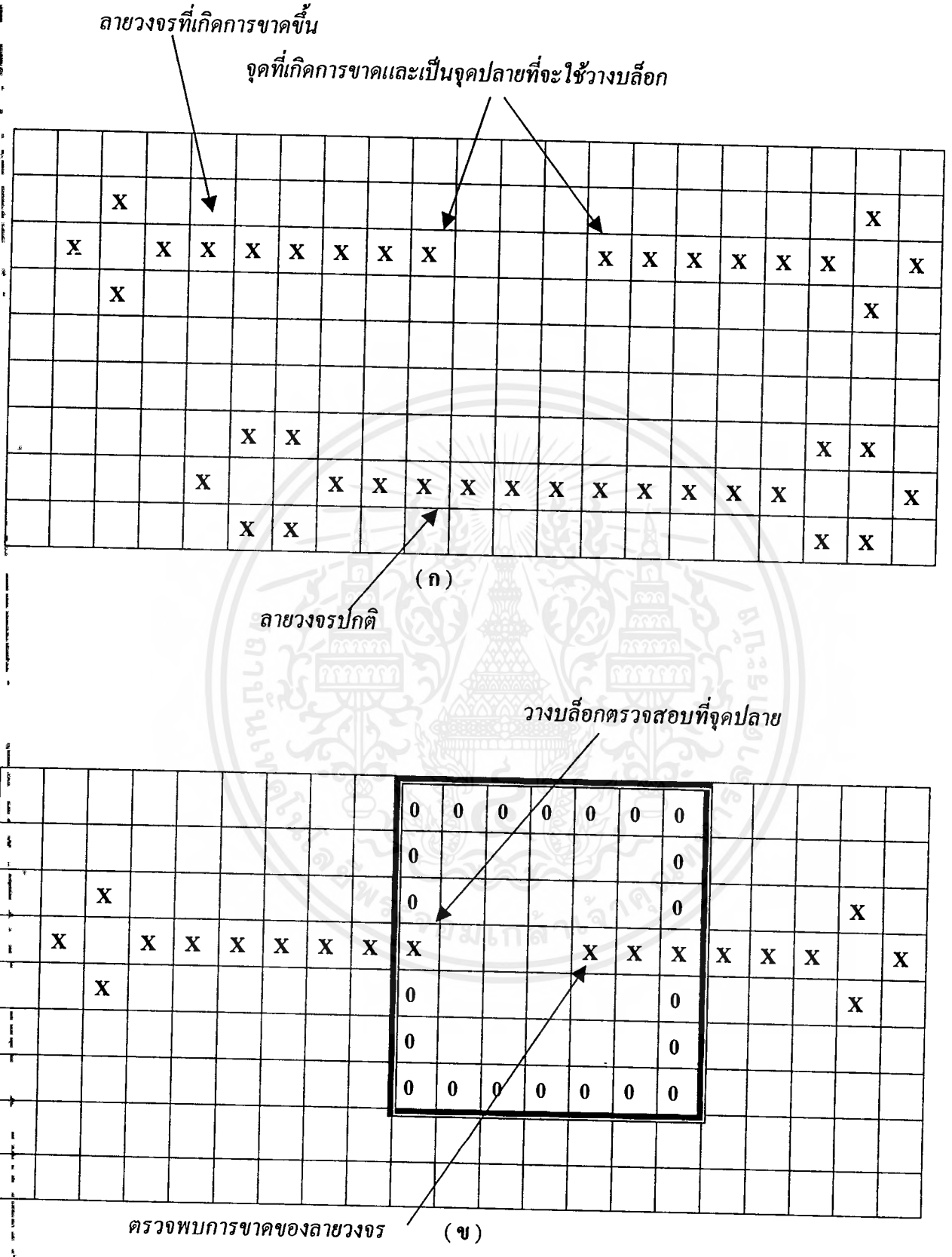
บล็อกตรวจสอบที่กำหนดใช้ในการตรวจสอบจะมีขนาด 7 x 7 จุด (pixel) เพราะจะมีระยะห่างและการครอบพื้นที่ในแนวกว้างและยาวไม่มากเกินไป เมื่อวางบล็อกตรวจสอบแล้วชนกับขอบของภาพซึ่งอาจจะมีค่าใดๆ อยู่ บล็อกตรวจสอบจะยุบส่วนที่เกินนั้นนั้นทิ้งเพื่อไม่ให้เกิดการตรวจสอบที่ผิดพลาดของโปรแกรม บล็อกตรวจสอบจะมีค่า “ 0 “ เพื่อใช้ในการตรวจสอบเพราะในการตรวจสอบค่าของข้อมูล (Data) ให้ค่าเท่ากับหนึ่ง

เมื่อกำหนดการวางตำแหน่งบล็อกแล้ว วิธีการตรวจสอบว่ามีการขาดของลายวงจรหรือไม่กระทำโดยการให้ค่าในบล็อกมีค่าเป็น “ 0 ” นำไปกระทำโดยวิธีการทางลอจิกโดยการ OR กันกับภาพข้อมูลที่ตำแหน่งการตรวจสอบ ในบริเวณของบล็อกถ้ามีข้อมีค่าเป็น “ 1 “ ซึ่งหมายถึงมีลายทองแดงในบริเวณนั้น แสดงว่าลายทองแดงที่จุดนั้นมีส่วนที่ขาดและจะกำหนดตำแหน่งนี้ไว้ และถ้าในบริเวณนั้นไม่มีลายวงจรอยู่และจะสรุปได้ว่าในส่วนของลายทองแดงนั้น จะเป็นส่วนที่เป็นส่วนของขาเสียบร่องสล็อตหรือเป็นขาของอุปกรณ์ประเภทขาลอย (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 4.6 ลักษณะของบล็อกที่ใช้ในการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.7 (ก) แสดงลายปริ้นท์ที่เกิดการขาด

(ข) แสดงการตรวจการขาดของลายปริ้นท์

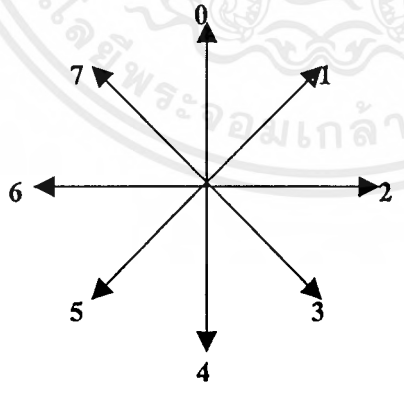
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4. 2 การตรวจสอบการบาง [6] (THINNING INSPECTION)

สำหรับแนวความคิดในการตรวจเช็คการบางของลายปริ้นท์จะใช้หลักการเปลี่ยนมุมของลายปริ้นท์ และตรวจเช็คความกว้างของลายวงจรโดยการหาระยะความกว้างเฉลี่ยที่เกิดการบางเปรียบเทียบกับลายปริ้นท์ปรกติของลายวงจรนั้น

<u>การใช้หลักการเปลี่ยนมุมของภาพ</u>

นำข้อมูลภาพที่ต้องการตรวจสอบ มาทำการสแกนหาส่วนที่เป็นลายวงจรจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง เมื่อพบจุดที่อยู่บนขอบของลายวงจรให้กำหนดจุดนั้นเป็นจุดเริ่มต้น จากนั้นตรวจสอบทิศทางการเคลื่อน ที่ที่ขอบของลายวงจรในจุดถัดไป ทิศทางการเคลื่อนที่ของขอบลายวงจรกำหนดให้มี 8 ทิศทางดังรูปที่ 4.8 การตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ของขอบลายวงจรที่กระทำไปจนกระทั่ง ตลอดเส้นของลายวงจรหรือกลับมาที่จุดเริ่มต้นใหม่อีกครั้งจึงจะสิ้นสุด ในขณะที่ทำการตรวจสอบทิศทางการเคลื่อนที่ ก็จะจัดเก็บตำแหน่ง x , y และทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละจุดไปด้วย ภายหลังจากเสร็จสิ้นการหาทิศทางตลอดเส้นลายวงจร จะทำการคำนวณหาระยะความกว้างของลายวงจร โดยนำจุดที่มีทิศทางตรงกันข้ามมาหักลบกัน แล้วเปรียบเทียบกับค่าความกว้างมาตรฐานที่กำหนด ถ้าระยะความกว้างน้อยกว่าความกว้างมาตรฐานก็จะทำเครื่องหมายแสดงลายวงจรบางผิดปกติที่จุดนั้น (ดังรูปที่ 4.8) จากนั้นสแกนหาส่วนที่เป็นลายวงจรที่เหลือแล้วทำขั้นตอนที่กล่าวมาแล้วข้างต้น

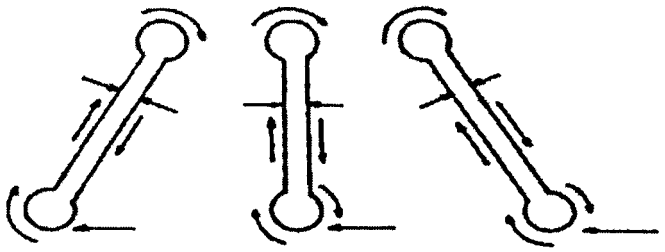


รูปที่ 4.8 แสดง 8 ทิศทางการเคลื่อนที่

<u>หมายเหตุ</u> 1)ทิศทางมีความสำคัญตามเข็มนาฬิกา

2) การเรียงลำดับความสำคัญจะเรียงเพียง 5 ลำดับทิศทางตามเข็มนาฬิกา $\pm$ 2 ลำดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

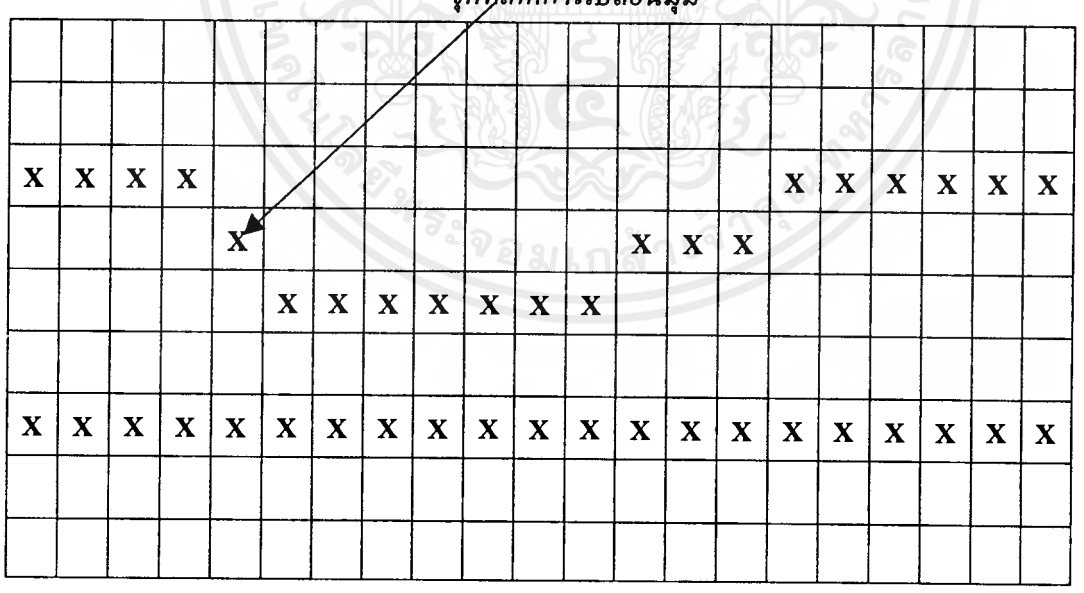


รูปที่ 4.9 แสดงทิศทางและการคำนวณความกว้างของลายวงจร

หลักการตรวจเช็คความกว้างของลายวงจรโดยการหาระยะความกว้างเฉลี่ยที่เกิดการบาง

วิธีการตรวจเช็ค

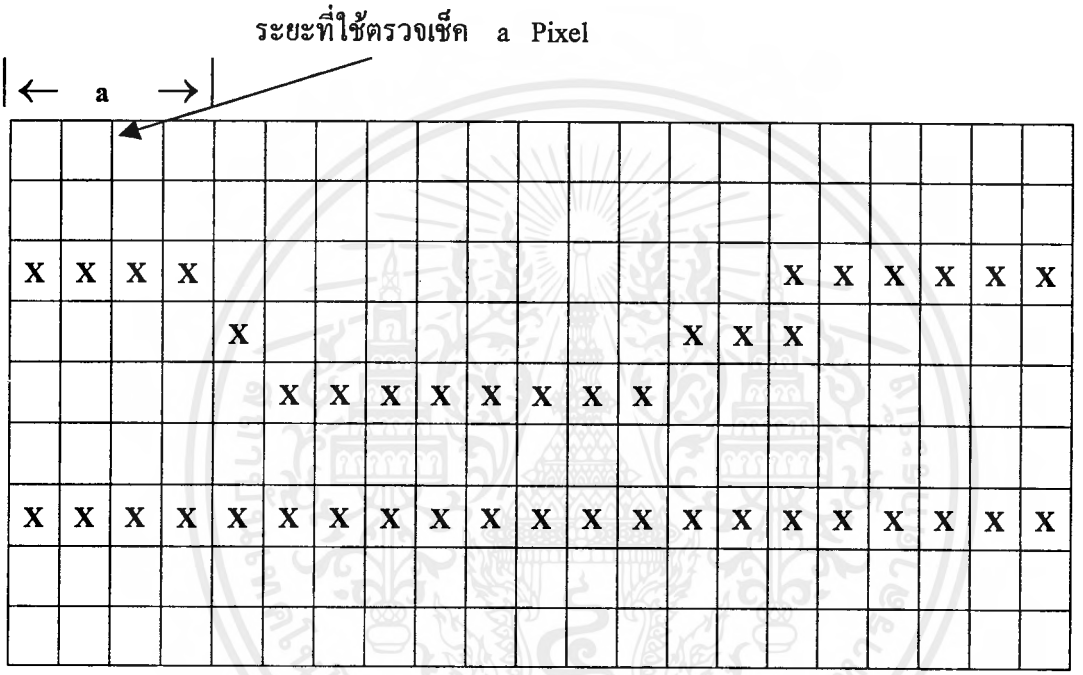
1. ตรวจสอบหาจุดเปลี่ยนมุมของลายปริ้นท์จากภาพข้อมูลที่ได้ จากภาพที่ผ่านการทำการตัดขอบภาพ (Edge Detection) วิธีการหาจาก ทฤษฎีการเปลี่ยนมุมของการตรวจสอบลายปริ้นท์ และทำการกำหนดไว้ ดังรูป ที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงจุดที่ทำเครื่องหมายที่จุดเปลี่ยนมุม

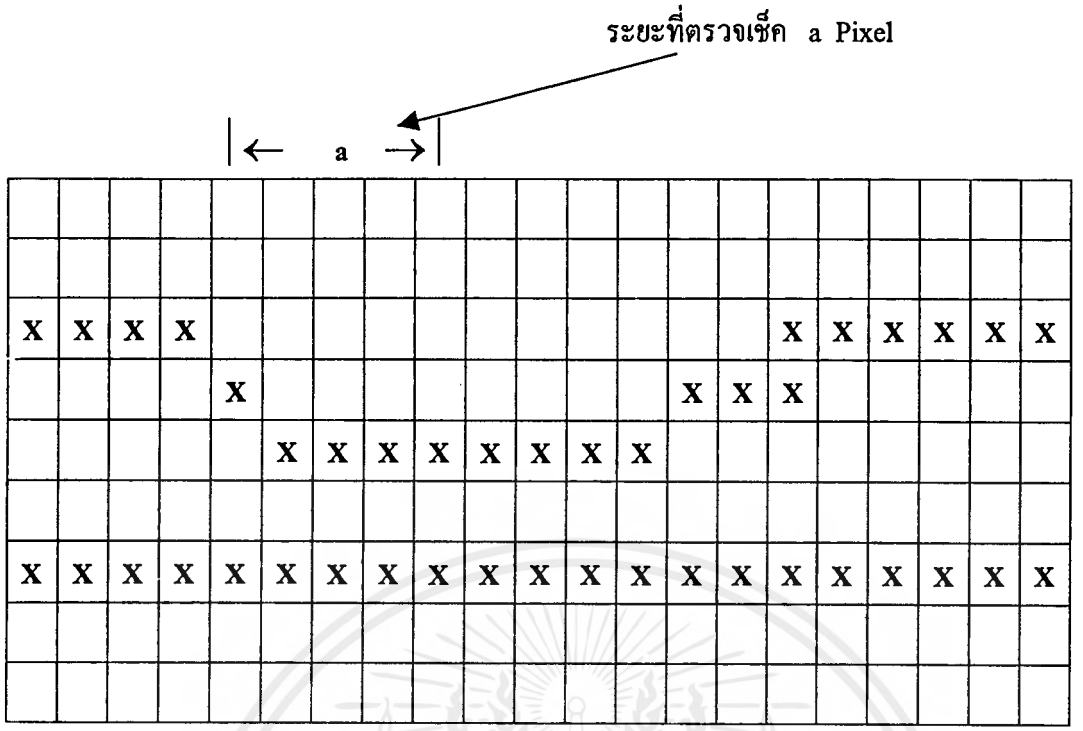
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. คำนวณหาความกว้างเฉลี่ยของลายปริ้นท์ปรกติโดยเริ่มจากจุดที่เปลี่ยนมุม เข้ามาเพื่อหาระยะเฉลี่ยของลายปริ้นท์จากขอบหนึ่งไปยังอีกขอบหนึ่ง โดยเช็คถอยเข้าไปจำนวน a Pixel ก็จะหาพื้นที่ไปยังอีกขอบหนึ่ง ว่ามีพื้นที่เท่าใด ซึ่งจากรูปที่ 4.11 ในระยะ a Pixel จะมีจำนวนเท่ากับ 20
3. คำนวณหาความกว้างเฉลี่ยของจุดที่เริ่มเปลี่ยนมุมไปทางด้านหน้า ในระยะ a Pixel แล้วหาพื้นที่เช่นเดียวกับวิธีการใน ข้อ 2. ซึ่งจากรูปได้พื้นที่เท่ากับ 13 Pixel ดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.11 ภาพแสดงระยะการตรวจสอบการบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.12 ภาพแสดงระยะการตรวจสอบการบาง

4. คำนวณหาความกว้างเฉลี่ยของจุดที่เริ่มเปลี่ยนมุมไปทางด้านหน้า ในระยะ a Pixel แล้วหาพื้นที่เช่นเดียวกับวิธีการใน ข้อ 2. ซึ่งจากรูปได้พื้นที่เท่ากับ 13 Pixel ดังรูปที่ 4.12
5. นำค่าที่ได้ในข้อ 2. และ ข้อ 3. มาเปรียบเทียบกันเพื่อตรวจสอบว่าส่วนที่เกิดการบางนั้นควรยอมรับได้หรือไม่ หากยอมรับไม่ได้ก็จัดให้ว่าเป็นส่วนที่บาง จากรูปพื้นที่รูปที่ 4.11 กับ 4.12 มีขนาด 20 , 30 Pixel ซึ่ง 13 น้อยกว่า 20 และถือเป็นส่วนที่บาง
6. ทำการมาร์คที่จุดเปลี่ยนมุมนั้นๆ

4.3 การตรวจสอบหลุมในเส้นทางเดินของลายวงจรและส่วนเกินนอกลายวงจร (Pinhole and Blob Inspection)

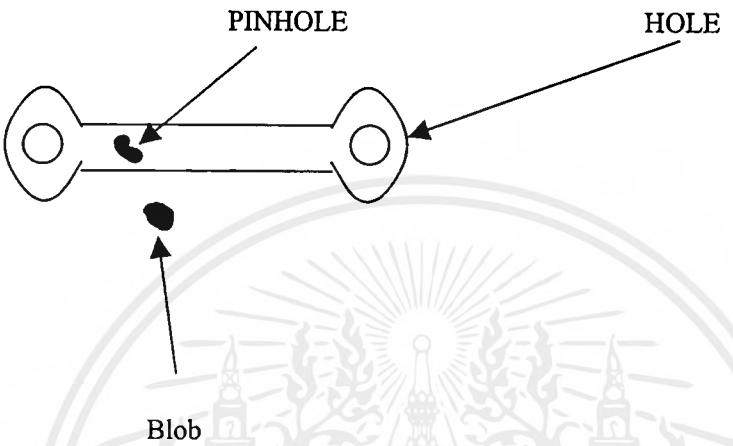
ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นบนแผ่นลายวงจรที่ยากัดทองแดงไม่หมดหรือว่าน้ำยากัดบริเวณในเส้นทางเดินของลายวงจร ข้อผิดพลาดเหล่านี้จะมีลักษณะเป็นชิ้นเล็กๆและมีรูปร่างไม่เป็นรูปวงกลมแนวเส้นจะเรียงกันไม่เป็นระเบียบ ดังนั้นเราสามารถที่จะกำหนดเงื่อนไขในการพิจารณาข้อ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ผิดพลาดนี้ได้โดยพิจารณาตรงวงรอบ (Loop) ที่มีการเรียงจุดไม่มากซึ่งผลอันนี้จะได้ส่วนที่ถูกพิจารณาขึ้นมา 3 ส่วนคือ

1. บริเวณใส่ขาอุปกรณ์ (Hole)
2. ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในลายวงจร (Pinhole)
3. ข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นนอกลายวงจร (blob)

ซึ่ง 3 ส่วนแสดงได้ดังรูป 4.13



รูปที่ 4.13 ลักษณะวงรอบที่มีจำนวนจุดเรียงต่อเนื่องถึงกันน้อยจุด

การแยกข้อบกพร่องของ Pinhole และ blob ออกจาก Hole ทำได้การหาจุดศูนย์กลางของวงรอบ (Loop) เมื่อได้จุดศูนย์กลางแล้วจะทำการกระจายทิศทางออกเป็น 4 ทิศทางเก็บระยะแล้วนำระยะมาเปรียบเทียบกัน ถ้าระยะเท่ากันหรือใกล้เคียงกันแสดงว่าเป็นบริเวณรูขาอุปกรณ์ ถ้าไม่ใช่แสดงว่าเป็นข้อบกพร่องของ Pinhole หรือ blob พร้อมกันนี้ยังพิจารณาลักษณะการเปลี่ยนทิศทางที่ไม่เป็นระบบอีกด้วย

สำหรับการปรับปรุงการตรวจหาส่วนเกินของลายวงจร จากเดิมจะหาจากภาพตัดขอบ (Edge detection) โดยหาจุดศูนย์กลางของที่ตัดขอบมา ซึ่งลายวงจรที่ผิดปกติจะมีขอบของภาพจากจุดศูนย์กลางที่แตกต่างกันจึงสามารถหาข้อผิดพลาดได้

วิธีตรวจสอบ

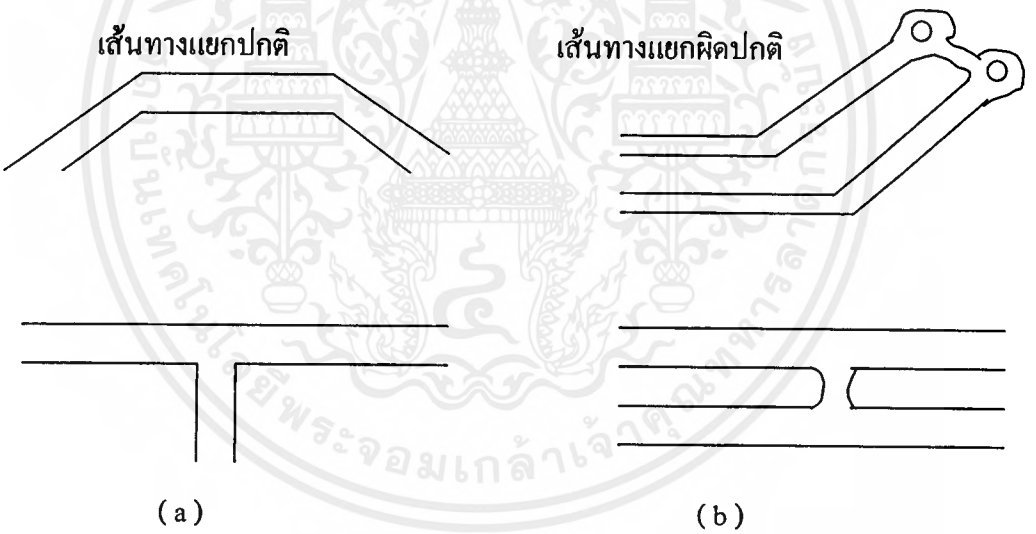
1. นำภาพที่ได้จากการตัดหาภาพกระดูกมาหาระยะของลายวงจรที่มีขนาดสั้นกว่าปกติแล้วทำการจดจำตำแหน่งที่ได้กำหนดไว้ และถ้ามีเงื่อนไขนี้ให้ไปทำใน 2 เพราะว่าในการตรวจกรณี 1 นั้นไม่สามารถวิเคราะห์ได้ทีเดียวว่าเป็นส่วนเกินของลายปรินซ์ซึ่งอาจเป็นส่วนของขาอุปกรณ์ได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. นำภาพที่ได้จากการตรวจสอบหาขอบภาพมาหาจุดศูนย์กลางของวงรอบและหาการกระจายของจุดภาพตามวิธีการเดิม (การตรวจสอบลายปริ๊นซ์ ปริญญานิพนธ์ปี พ.ศ. 2534 โดย อ. เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์ รังสรรค์ น้อยจินดา) เพื่อแยกลักษณะของส่วนที่เป็นส่วนเกินออกจากลายวงจรที่เป็นลายปกติแล้วทำการมาร์คและกำหนดเป็นจุดที่เป็นส่วนเกิน

4.4 การตรวจสอบการลัดของลายวงจร[6] (Short Inspection)

โดยปกติแล้วเส้นทางแยกของลายวงจรจะมีลักษณะแยกออกไปอาจจะตั้งฉากกับเส้นทางเดิมหรือว่าทำมุมมากกว่า 90 องศากับเส้นทางเดิม และจะมีขนาดทางเดิมและทางแยกเท่ากัน หรือ ใกล้เคียงกันจะมีลักษณะดังที่กล่าวมานี้ เมื่อเกิดปัญหาการลัดวงจรขึ้นลักษณะของเส้นที่แยกจะเปลี่ยนแปลงไปคือขนาดของทางเดินจะไม่ราบเรียบ มีขนาดลายเส้นน้อยกว่าเส้นทางเดิมและมีระยะจุดแยกน้อยเกินไป ดังรูปที่ 4.14 แสดงลักษณะรูปร่างของเส้นที่ปกติและที่เกิดการผิดพลาด



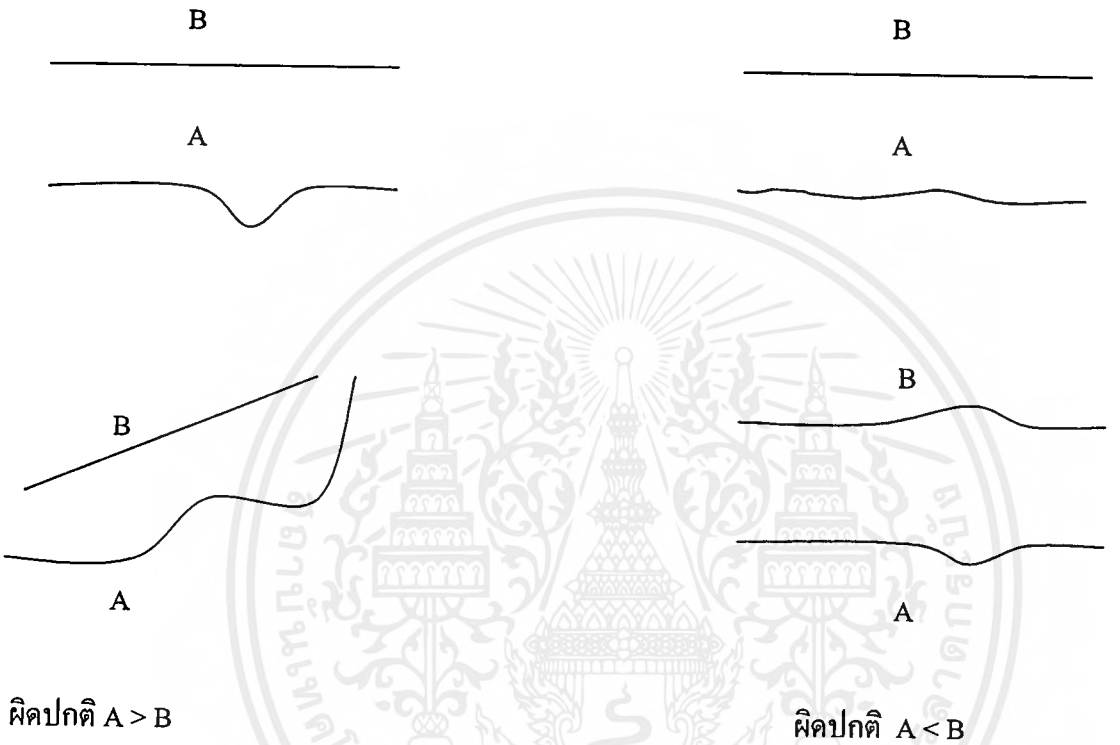
รูปที่ 4.14 (a) เส้นทางแยกที่ปกติ
(b) เส้นทางแยกที่ผิดปกติ

ลักษณะดังกล่าวเราสามารถใช้เงื่อนไขในการตรวจสอบโดยอาศัยการวัดระยะและทิศทางการเปลี่ยนแปลงของเส้นทางเดินและอาศัยจุดเปลี่ยนแปลงแนวเส้น (Corner) เป็นจุดอ้างอิงในการวัดระยะ[7]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การตรวจสอบความกว้างที่เกินผิดปกติของลายวงจร

หลักการตรวจสอบข้อบกพร่องนี้จะมีการหาจุดเปลี่ยนแนวเส้น (Corner detection) ของลายวงจรเพื่อที่จะใช้ในการพิจารณาถึงความกว้างผิดปกติ เมื่อมีการหาจุดเปลี่ยนแนวเส้นจุดแรกและจุดที่สองได้ก็จะมีการตรวจสอบหาข้อบกพร่องทันที ลักษณะรูปร่างของลายเส้นที่ผิดปกติแสดงดังรูป 4.16



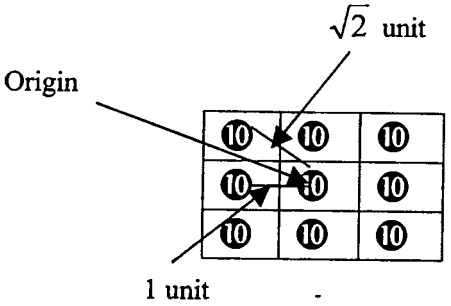
รูปที่ 4.16 ลักษณะของลายเส้นที่ปกติและผิดปกติ

วิธีการตรวจสอบการหาความกว้างที่เกินผิดปกติเราจะให้มีการวัดระยะเปรียบเทียบกันระหว่างเส้น A และ B และมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ของระยะทางระหว่างสองเส้นเมื่อเปรียบเทียบกันถ้าต่ำกว่าค่าที่กำหนดก็จะทำเครื่องหมายที่จุดผิดพลาดทันทีเราเราสามารถหาระยะทางระหว่างจุดสองจุดได้โดยสมการ

$$D_E = \sum \sqrt{(Xm - Xn)^2 + (Ym - Yn)^2}$$

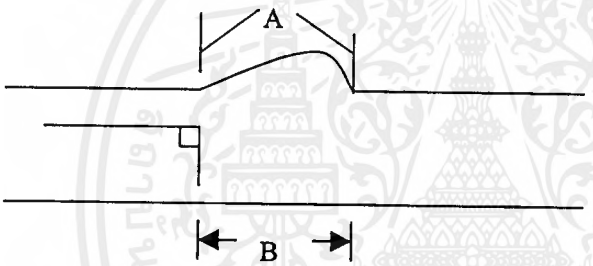
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หรือเราสามารถพิจารณาการวัดระยะในรูปของหน้าต่างได้ดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 การวัดระยะโดยการใช้ทิศทางและมุมบนตารางหน้าต่าง 3×3

หลักการในการวัดระยะเปรียบเทียบสองเส้นจะพิจารณาเส้นในวงรอบเดียวกัน โดยจุดเปลี่ยนแนวเส้นที่ตรวจสอบได้สองจุด (เส้น A) จะเป็นตัวกำหนดทิศทางในการหาจุดสองจุดของอีกเส้นหนึ่ง (เส้น B) เพื่อทำการวัดแล้วมาเปรียบเทียบกัน ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 การตรวจหาเส้น B เพื่อนำมาเปรียบเทียบระยะกับเส้น A

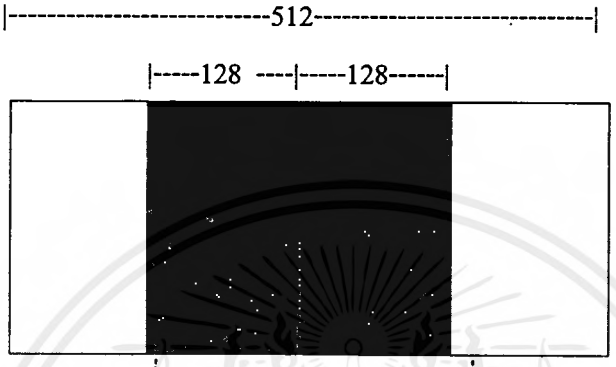
4.6 การตรวจสอบแผ่นวงจรที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

เนื่องจากขีดจำกัดความสามารถของแผงวงจรเก็บภาพสามารถเก็บภาพได้ขนาด 512 x 512 Pixel ซึ่งสามารถเก็บภาพได้ขนาดประมาณ 3 x 3 ตารางนิ้วเท่านั้น แต่ความเป็นจริงเป็นการยากที่จะมีวงจรขนาดดังกล่าว จึงมีความจำเป็นต้องพัฒนาโปรแกรมเดิมที่สามารถตรวจสอบแผ่นวงจรที่มีขนาดเล็ก ให้สามารถตรวจสอบแผ่นที่มีขนาดใหญ่ได้

พิจารณาในส่วนของการตรวจจับภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น มีความจำเป็นที่ต้องมีการเลื่อนกล้องโดยอุปกรณ์ประกอบ เพื่อที่กล้องจะสามารถวิ่งเก็บภาพในส่วนที่ไม่สามารถเก็บได้ภายในครั้งเดียว ซึ่งในส่วนรายละเอียดของอุปกรณ์จะอธิบายอยู่ในบทที่ 5

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในส่วนของ SOFTWARE มีการปรับปรุงโดยจะทำการเก็บภาพครั้งแรก และเลื่อนกล่องไปเพื่อทำการเก็บภาพครั้งที่ 2 ในโครงงานนี้ทางคณะผู้จัดทำได้ทำการจำลองภาพลายวงจร จากโปรแกรม Paints ขนาด 512 x 256 จุดภาพ ซึ่งภาพที่ได้จะมีขอบภาพที่คมชัด โดยทำการเก็บภาพครึ่งแรกขนาด 256 x 256 จุดภาพ และก็จะเลื่อน กล้องไปเพื่อจะได้เก็บภาพที่ 2 ขนาด 256 x 256 จุดภาพ ซึ่งแสดงดังรูป 4.19



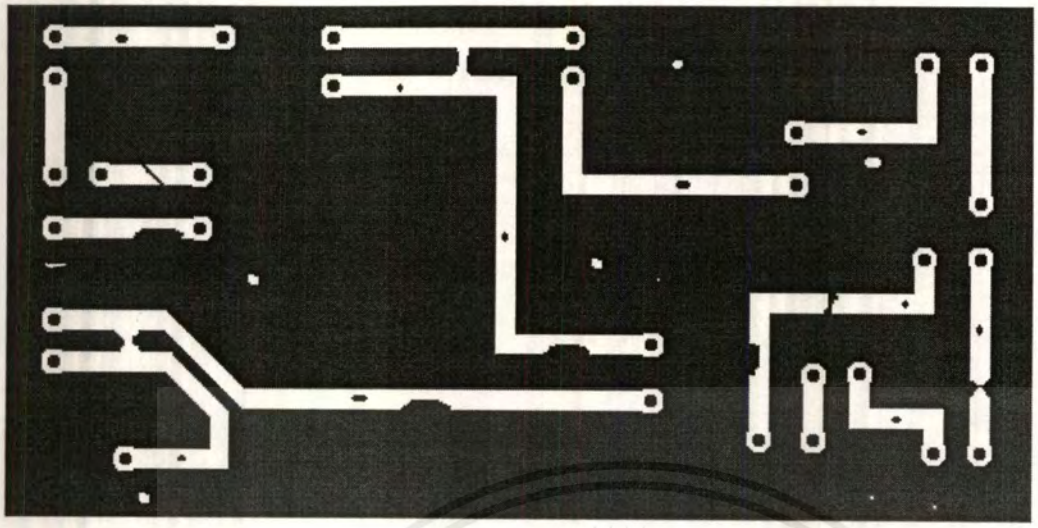
รูปที่ 4.19 ภาพแสดงลักษณะของการตัดต่อภาพ

วิธี คือทำการเก็บภาพขนาด 256 x 256 จุดภาพ 2 ภาพ โดยเก็บภาพในครั้งที่ 1 และครั้งที่ 2 แล้วทำการตัดทางด้านครึ่งขวาของภาพที่เก็บได้ในครั้งที่ 1 คือส่วนที่แรเงาในรูปทางซ้าย และตัดทางด้านครึ่งซ้ายของภาพที่เก็บได้จากครั้งที่ 2 (ภาพทางขวา) มาต่อกันเป็นอีกหนึ่งภาพซึ่งภาพนี้ก็จะทำให้สามารถตรวจสอบตรงรอยต่อได้โดย พิจารณาจุดภาพบริเวณรอยต่อ มีจุดภาพใดที่มีค่าระดับสีเทาที่เท่ากันและจุดภาพของทั้งสองภาพอยู่ในบริเวณที่ติดกันบ้าง จึงมีความจำเป็นต้องมีการพิจารณาบริเวณจุดภาพที่ใกล้ๆกันประกอบด้วยหากมีลักษณะหลายจุดภาพติดต่อกัน

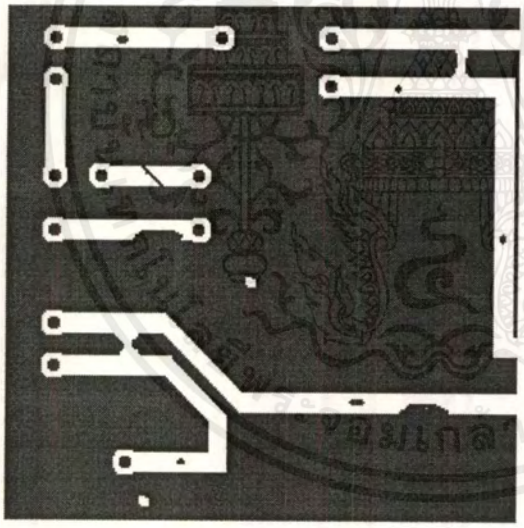
ในโครงงานนี้มีความจำเป็นต้องทำการจำลองภาพขึ้นมาเพื่อประมวลผล เพราะภาพที่ได้จากกล้องผ่านแผงวงจรเก็บภาพ ได้ภาพมีความคมชัดน้อยบริเวณขอบของลายวงจรคดไปมาซึ่งเป็นข้อจำกัดของอุปกรณ์ ภาพที่ได้ไม่สามารถนำมาประมวลผลได้

การจำลองภาพขึ้นมาเพื่อใช้ทดสอบการทำงานของโปรแกรมว่าสามารถใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพเพียงใด และทราบถึงปัญหาและวิธีแก้ไขทั้งตัวโปรแกรมและอุปกรณ์ แต่จากการทดลองภาพที่เก็บได้จริงจากกล้องนั้นเมื่อนำมาผ่าน ขั้นตอนการตรวจสอบการบางเกินไปนั้นไม่สามารถตรวจสอบได้เพราะอัลกอลิทึมนั้นจะเหมาะกับภาพที่มีขอบที่คมชัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

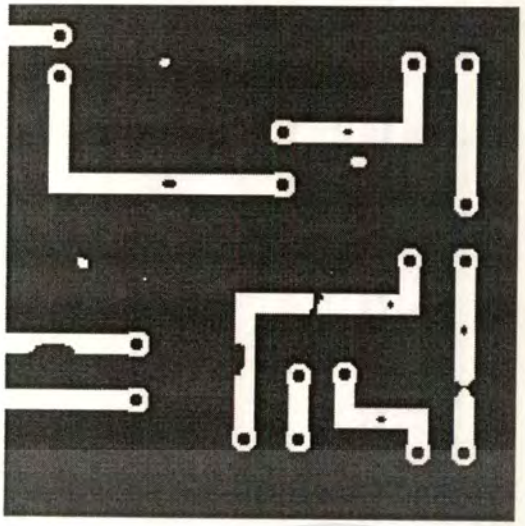


รูปที่ 4.20 รูปที่จำลองขึ้นมาเพื่อใช้ในการทดลอง



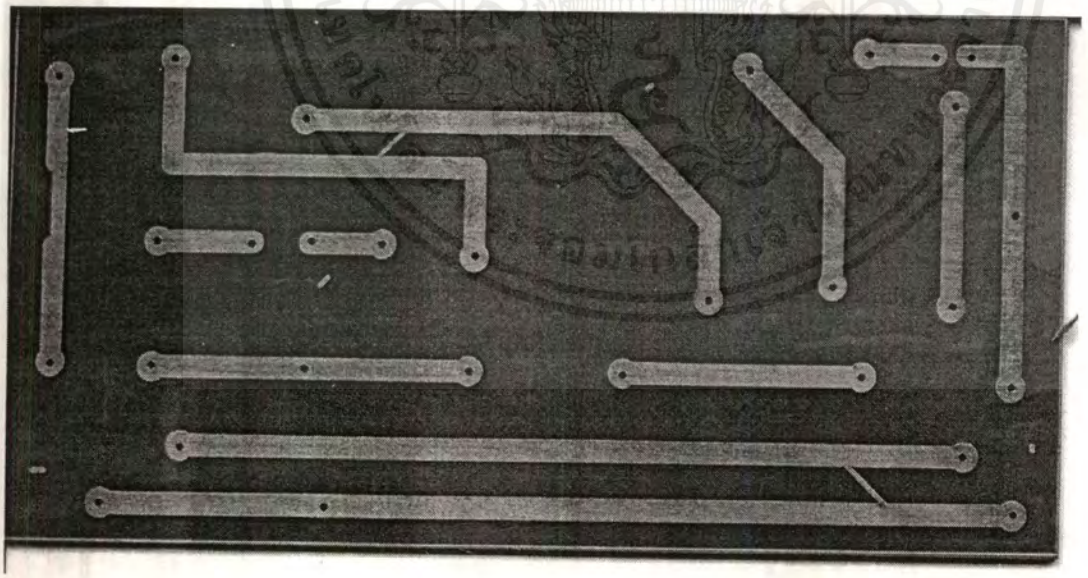
รูปที่ 4.21 รูปที่เก็บได้จากการตัดภาพครั้งที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 4.22 รูปที่เก็บได้จากการตัดภาพครั้งที่ 2

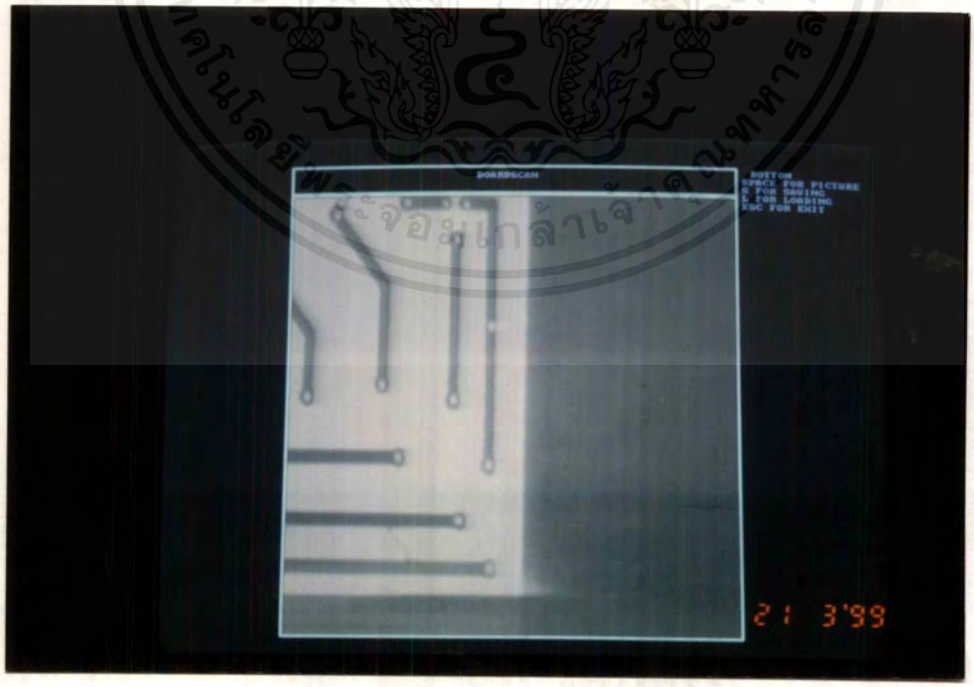
ส่วนในการเก็บภาพจริงจะต้องเก็บภาพครั้งที่ 2 โดยเหลื่อมกับภาพแรกเล็กน้อย เพื่อกันการสูญหายของรายละเอียดในช่วงรอยต่อ



รูปที่ 4.23 ภาพวงจรที่ใช้ในการทดสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.24 ภาพที่เก็บจากกล้องครั้งที่ 1



รูปที่ 4.25 ภาพที่เก็บจากกล้องครั้งที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

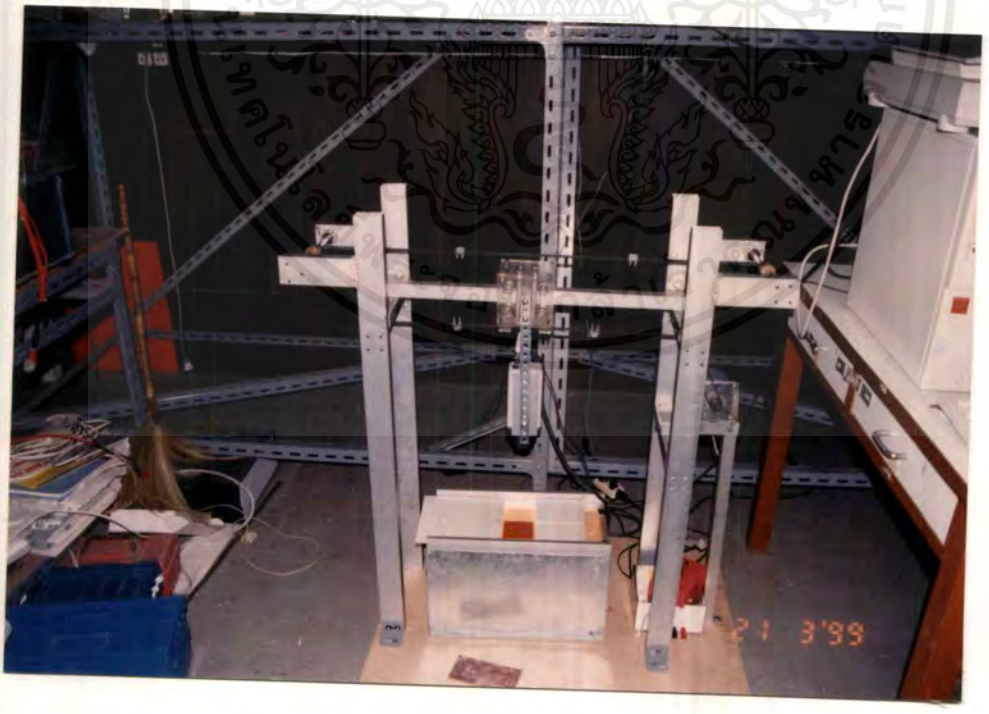
บทที่ 5
การออกแบบชุดเลื่อนกล้อง

เนื่องจากความสามารถที่มีจำกัดของตัวกล้อง ที่สามารถเก็บภาพได้ที่มีขนาดเล็ก (3 x 3 ตารางนิ้ว) ซึ่งทำให้ไม่สามารถที่จะเก็บภาพที่มีขนาดใหญ่ได้ การพัฒนาขีดความสามารถข้อนี้พิจารณาได้สองกรณีคือจัดหากล้องที่มีความสามารถในการเก็บภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น หรือใช้วิธีพัฒนาทางด้านตัวโปรแกรม ซึ่งในโครงงานในครั้งนี้เลือกวิธีการพัฒนาทางด้านตัวโปรแกรม ให้มีความสามารถเก็บภาพและทำการต่อภาพเพื่อให้สามารถประมวลผลภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

โดยการเก็บภาพนั้นจะใช้ชุดเลื่อนกล้องเป็นตัวช่วยในการการเคลื่อนที่ของตัวกล้อง โดยทำการเก็บภาพภาพแรกแล้วเลื่อนตัวกล้องเพื่อที่จะเก็บภาพในครั้งที่สองและครั้งต่อไป จุดสำคัญคือการที่นำภาพมาต่อกันเพื่อให้ได้ภาพที่มีขนาดใหญ่ขึ้น

5.1 ส่วนประกอบของชุดเลื่อนกล้อง

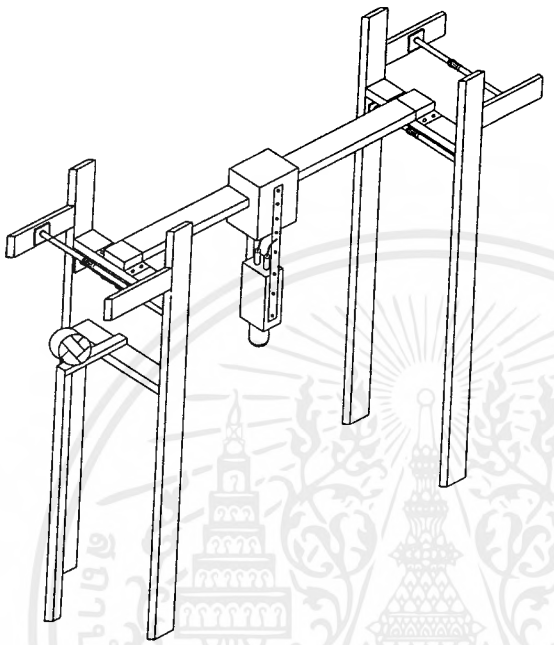
1. ชุดรางเลื่อน
2. ชุดควบคุมมอเตอร์
3. อุปกรณ์ให้แสงสว่าง



รูปที่ 5.1 ภาพชุดเลื่อนกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพไอโซเมตริกซ์ของชุดเลื่อนกล้อง



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.2 ขั้นตอนการทำงาน

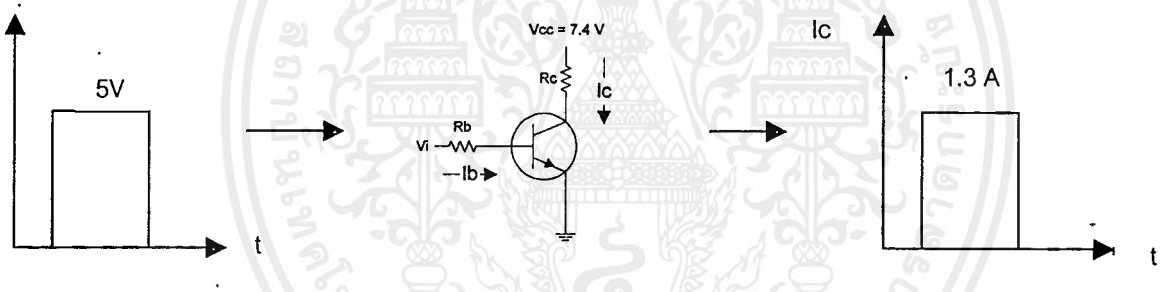
ชุดเลื่อนกล้องจะทำหน้าที่เป็นช่วยในการเคลื่อนที่ของกล้อง หลังจากทำการเก็บเก็บภาพในครั้งแรกโดยมีมอเตอร์เป็นตัวขับเคลื่อน ซึ่งมีแผงวงจรควบคุมที่สามารถสั่งงานได้โดยผ่านทางคอมพิวเตอร์

5.2.1วงจรควบคุมการทำงาน

วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping motor Drive Circuit)

เนื่องจากชุดเลื่อนกล้องต้องการควบคุมตำแหน่งที่แน่นอน และไม่จำเป็นต้องใช้แรงบิด (Torque) จากมอเตอร์ที่สูงมากนัก การออกแบบจึงเลือกใช้สเต็ปปิ้งมอเตอร์ (Stepping motor) ที่มีโหลดเคอเร็นท์ (Load Current) 1.3 A ที่ 7.4 V

วงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ที่ใช้เป็นวงจรทรานซิสเตอร์สวิชชิ่ง (Transistor Switching Network) อย่างง่ายดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 แสดงวงจรทรานซิสเตอร์สวิชชิ่ง 1 เฟส

ที่สถานะอิ่มตัว

$$Ib \cong Ic_{sat} / B_{dc.} \quad = \quad 1.3 / 400 \quad = \quad 3.25 \ mA$$

($B_{dc.}$ ของ IC MJE3055 = 400)

เลือก Ib = 10 mA

$$Ib = (Vi - 0.7) / Rb$$

$$Rb = (Vi - 0.7) / Ib$$

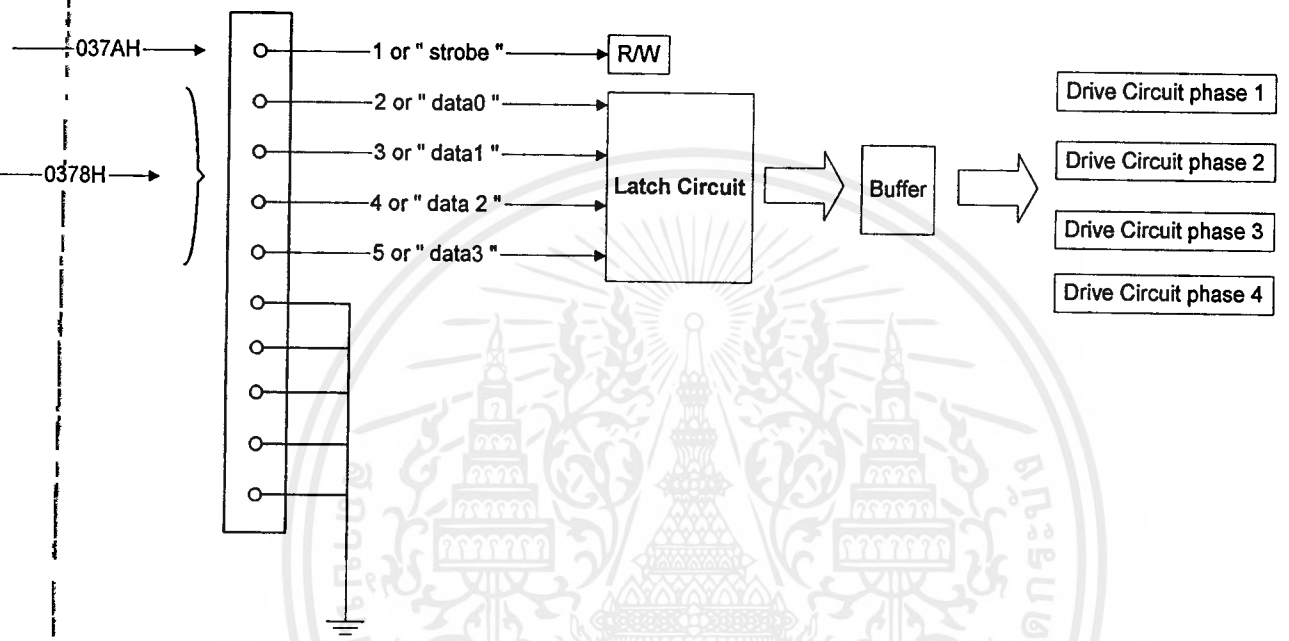
$$= (5 - 0.7) / 10 \ mA$$

$$= 430 \ \Omega$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงจรควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์

การควบคุมกล้องให้สามารถเคลื่อนที่ไปเก็บภาพ เป็นการสั่งงานโดยไมโครคอมพิวเตอร์ ซึ่งส่งข้อมูลคำสั่งเพื่อควบคุมให้วงจรขับทำงาน (Control Signal)โดยคำสั่งจะถูกส่งออกทางพอร์ตขนานLPT2 หรือพอร์ตหมายเลข 0378H และจะใช้พอร์ตหมายเลข 037AH เพื่อส่งสัญญาณควบคุมพอร์ต (Control Port) ดังรูปที่ 5.3



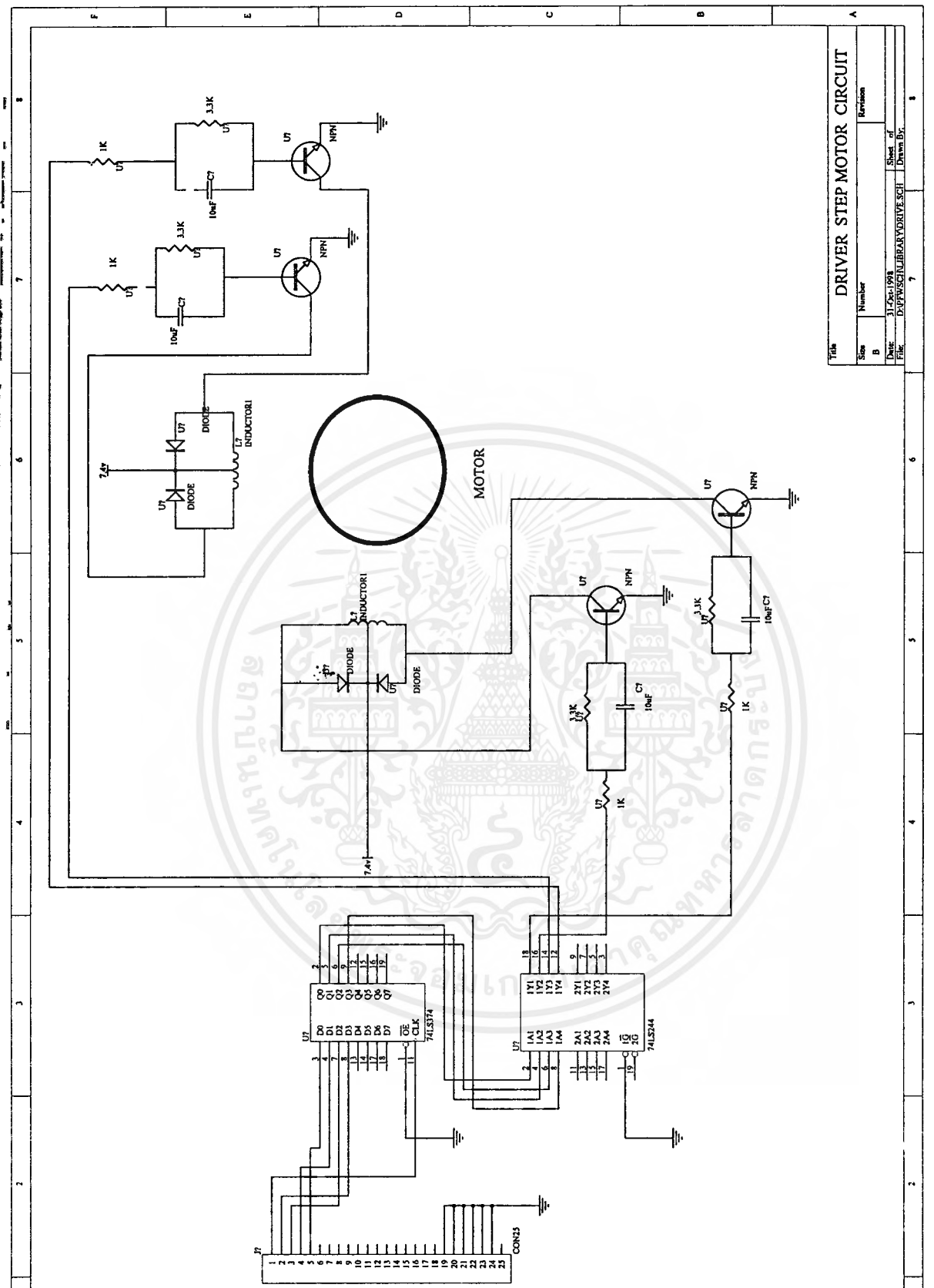
รูป 5.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของวงจรควบคุมสเต็ปปิ้งมอเตอร์

<u>การทำงานของวงจร</u>

จากรูปที่ 5.3 จะมีการส่งค่าที่เป็นข้อมูลในการควบคุมการเคลื่อนที่ของสเต็ปปิ้งมอเตอร์ออกมาทาง พอร์ต LPT2 จำนวน 4 Bits หลังจากที่ค่าถูกส่งออกมาจะ Lacth ค่าไว้ โดย วงจร Lacth Circuit ซึ่งใช้ IC เบอร์ 74LS374 หลังจากที่มีการส่งค่า Control Port ออกมายัง IC นี้จะทำการส่งค่าที่ได้ Lacth ไว้ไปยัง Buffer แล้วรับค่าข้อมูลใหม่ที่ส่งออกมาจาก Port LPT2 ระยะเวลาที่ใช้ในการ Lacth ข้อมูลนั้น ขึ้นอยู่กลับการตั้งค่า Delay ในโปรแกรมที่จะหน่วงเวลาในการส่งข้อมูลออกมาและการตั้งค่านี้ยังส่งผลต่อการเคลื่อนที่ของมอเตอร์ นั้นคือจะทำให้มอเตอร์เคลื่อนที่ได้ Smooth ขึ้นถ้าค่าที่ตั้งไว้นั้นเหมาะสม แต่ถ้าค่าที่ตั้งไว้ไม่ดีก็จะทำให้เคลื่อนที่ไม่ Smooth ตามที่ต้องการในโครงงานนี้ตั้งค่าไว้ที่ 5 Milliseconds

ค่าที่ผ่านจาก Buffer จะส่งค่าที่อยู่ในลักษณะ 5 Volts หรือ 0 Volts ยังวงจรขับสเต็ปปิ้งมอเตอร์เพื่อทำให้ทรานซิสเตอร์ทำงานหรือหยุดทำงาน เพื่อที่จะขับกระแสไปกระตุ้นมอเตอร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



เอกสารนี้ไปเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำสั่งควบคุมการกระตุ้นสำหรับสเต็ปปิ้งมอเตอร์ใช้แบบยูนิโพลาร์ (Unipolar) ต้องการบิตควบคุมจำนวน4บิต โดยมีลักษณะการกระตุ้นดังนี้

1. การกระตุ้นแบบเวฟ (Wave Excite)

	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
STEP 1	■			
STEP 2		■		
STEP 3			■	
STEP 4				■

รูปที่ 5.4 แสดงลักษณะการกระตุ้นแบบเวฟ (Wave Excite)

2. การกระตุ้นแบบ 2 เฟส (Two Phase Excite)

	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
STEP 1	■	■		
STEP 2		■	■	
STEP 3			■	■
STEP 4	■			■

รูปที่ 5.5 แสดงลักษณะการกระตุ้นแบบ 2 เฟส (Two Phase Excite)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. การกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half – Step – Excite)

	PHASE 1	PHASE 2	PHASE 3	PHASE 4
STEP 1				
STEP 2				
STEP 3				
STEP 4				
STEP 5				
STEP 6				
STEP 7				
STEP 8				

รูปที่5.6 แสดงลักษณะการกระตุ้นแบบครึ่งสเต็ป (Half – Step – Excite)

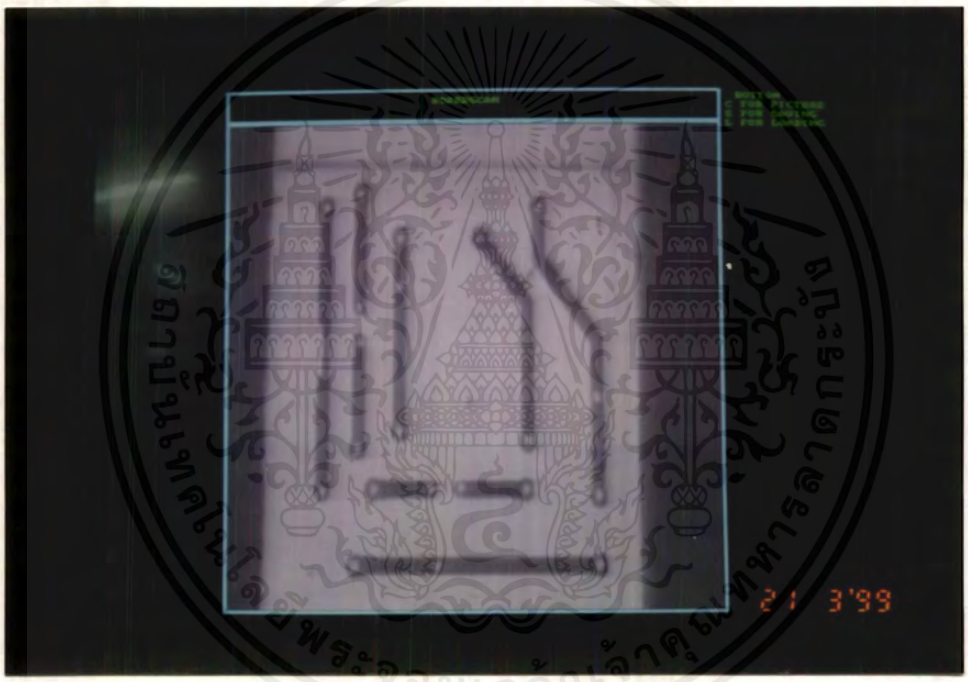
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6
การทดลองและสรุปผล

6.1 การทดลอง

6.1.1 ทำการเก็บภาพจากกล้อง

ในขั้นตอนแรกของการทดลองจะทำการเก็บภาพจากกล้อง ภาพข้างล่างนี้จะเป็นภาพของ ลายวงจรที่เก็บได้จากกล้องที่ความเข้มของแสงจากหลอด 40%



รูปที่ 6.1 ภาพที่เก็บได้จากกล้อง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.2 การทดลองการทำภาพให้คมชัด (Image Enhancement)

ในขั้นตอนการทดลองนี้จะทำการนำภาพที่เก็บมาจากกล้อง ซึ่งขาดความคมชัดในรายละเอียดทำให้การตรวจสอบนั้นเกิดความผิดพลาด จึงต้องนำภาพมาผ่านขบวนการ Enhancement เพื่อให้ภาพมีความคมชัดขึ้น โดยมีวิธีดังนี้คือ

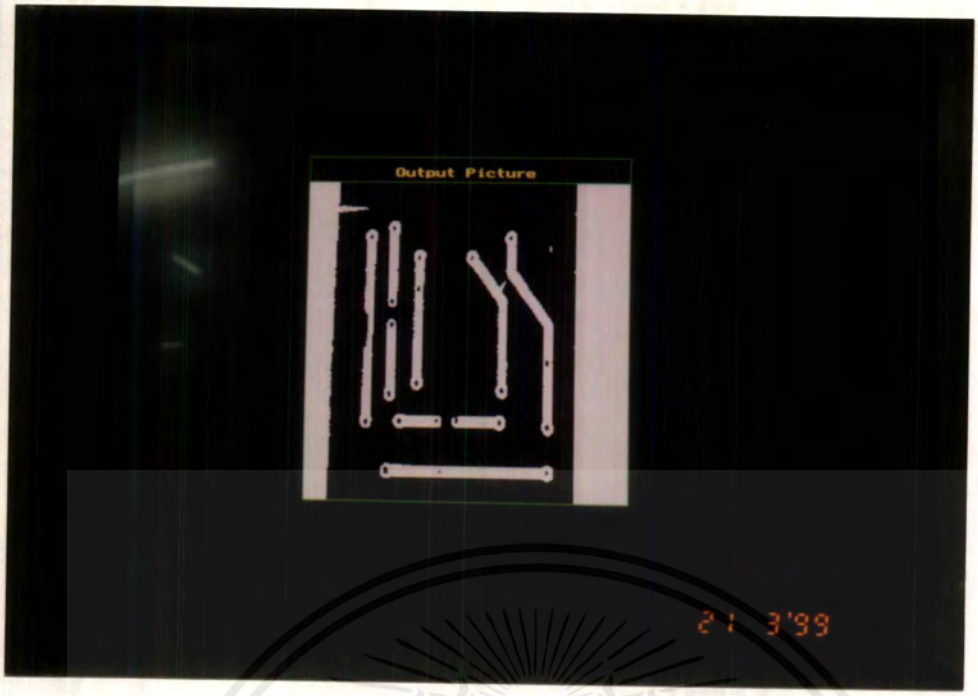
โดยใช้การกระจายความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear density conversion)

1. Enhancement of the lower part of an image

วิธีนี้จะทำให้ภาพที่ได้มีการกระจายของกราฟ Histogram กระจาย อยู่ทาง ด้าน Low Part และภาพที่ 6.2 คือ ภาพของ กราฟ Histogram ที่ผ่านการทำ Enhancement แบบ Low Part ส่วนในภาพที่ 6.3 คือภาพที่ ทำเป็นภาพไบนารี

รูปที่ 6.2 ภาพที่ผ่าน Histogram Equalization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



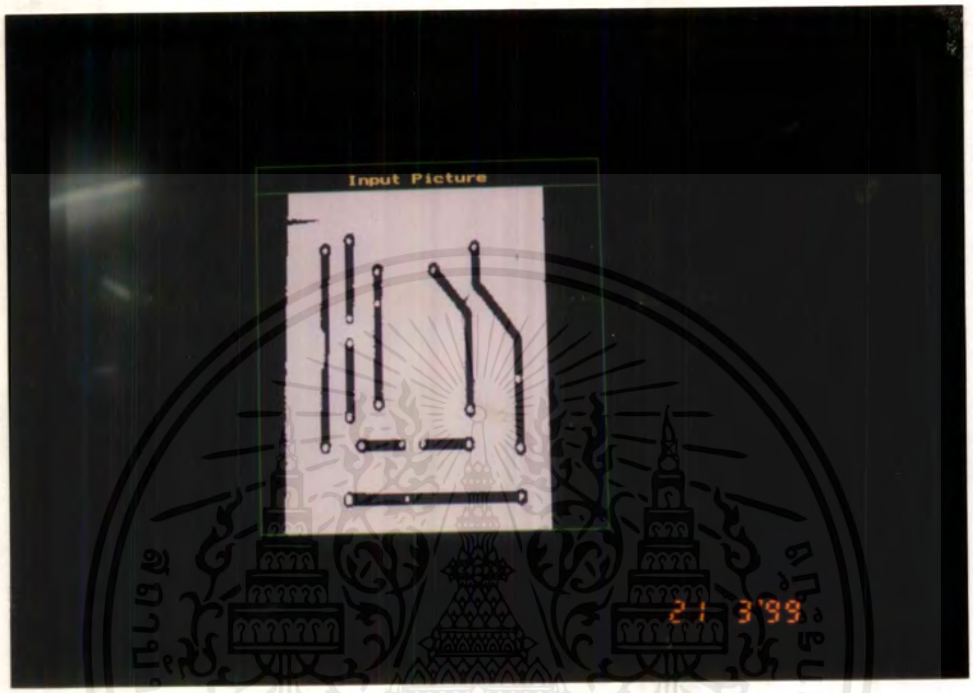
รูปที่ 6.3 การทดลองโดยการทำไบนารี

รูปที่ 6.4 กราฟฮีสโตแกรม

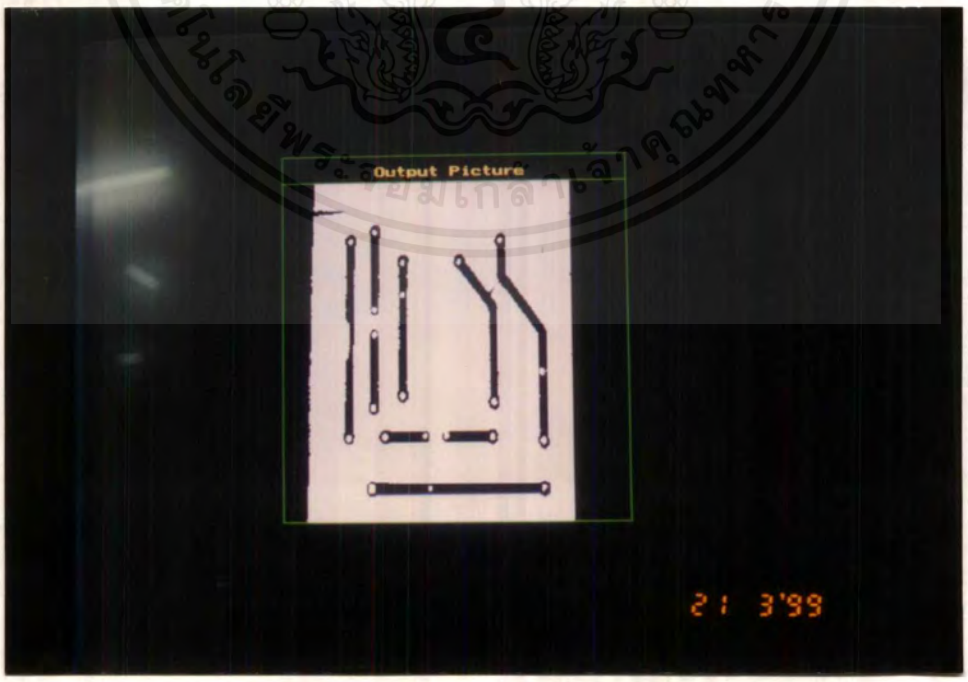
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2. Enhancement of the higher part of an image

วิธีนี้จะทำให้ภาพที่ได้มีการกระจายของกราฟ Histogram กระจาย อยู่ทาง ด้าน High Part และภาพที่ 6.5 คือ ภาพของ กราฟ Histogram ที่ผ่านการทำ Enhancement แบบ High Part ส่วนในภาพที่ 6.6 คือภาพที่ ทำเป็นภาพไบนารี

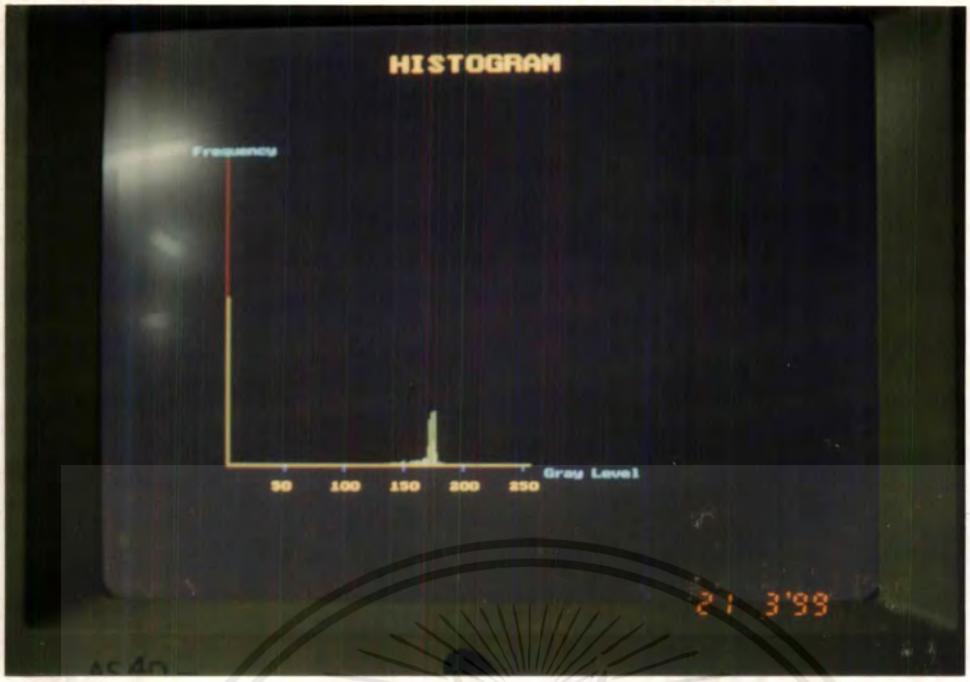


รูปที่ 6.5 ภาพที่ผ่าน Histogram Equalization



รูปที่ 6.6 การทดลองโดยการทำไบนารี

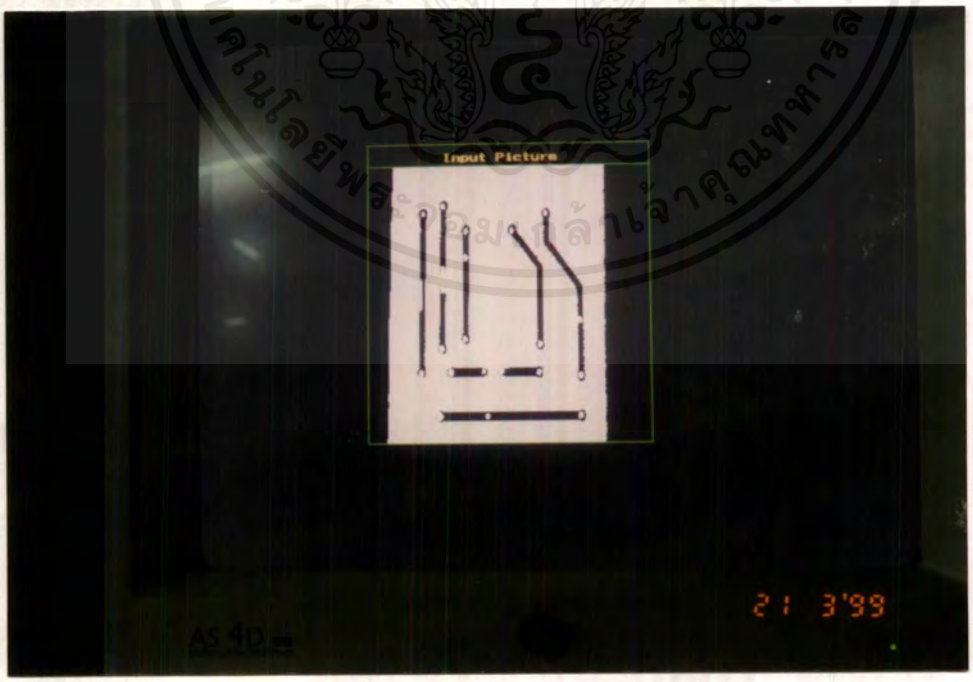
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 6.7 กราฟฮีสโตแกรม

3. Enhancement of the middle part of an image

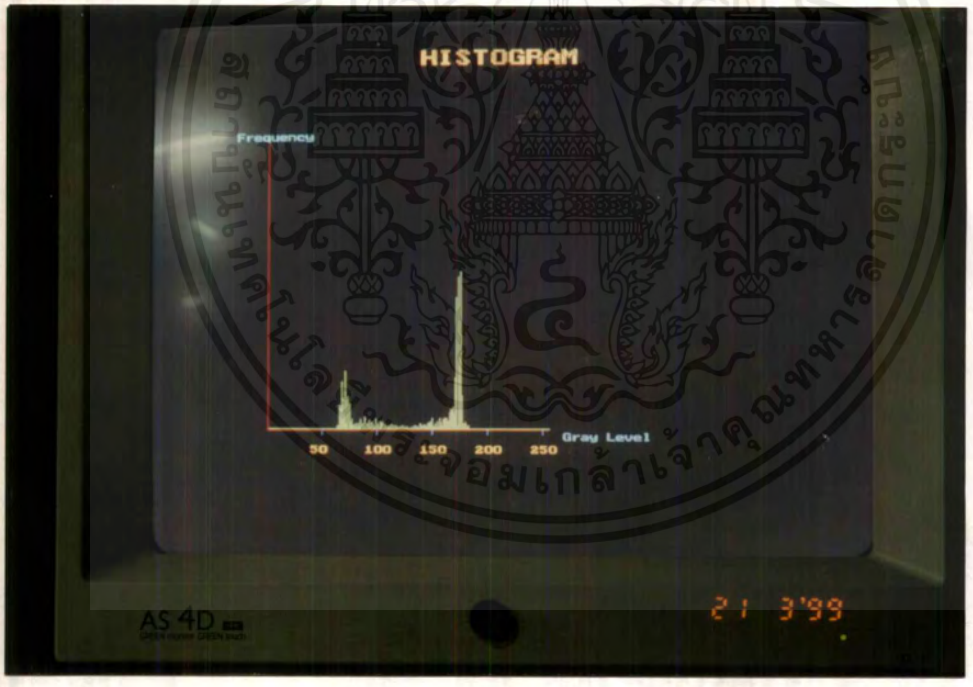
วิธีนี้จะทำให้ภาพที่ได้มีการกระจายของกราฟ Histogram กระจาย ที่สม่ำเสมอทั้งทางด้าน Low Part และ High Part ซึ่งภาพที่ 6.8 คือ ภาพของ กราฟ Histogram ที่ผ่านการทำ Enhancement แบบ Middle Partส่วนในภาพที่ 6.9 คือภาพที่ ทำเป็นภาพไบนารี



รูปที่ 6.8 ภาพที่ผ่าน Histogram Equalization

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.9 การทดลองโดยการทำไบนารี



รูปที่ 6.10 กราฟฮีสโตแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการทดลองทำการ Enhancement ทั้ง 3 วิธี ในวิธี แบบ Low Part จะได้ภาพส่วนที่เป็นลายวงจรหลังจากการทำภาพไบนารี เป็นสีขาวและพื้นส่วนที่ไม่ได้เป็นลายวงจรเป็นสีดำซึ่งได้รายละเอียดที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์ ส่วนการทำแบบ High Part จะได้ภาพส่วนที่เป็นลายวงจรหลังจากการทำภาพไบนารี เป็นสีดำและพื้นส่วนที่ไม่ได้เป็นลายวงจรเป็นสีขาวซึ่งได้รายละเอียดที่ค่อนข้างจะสมบูรณ์ ส่วนในวิธีสุดท้ายนั้นรายละเอียดในส่วนของลายวงจรที่เป็นสีดำนั้นมีบางส่วนที่ยังขาดหายไป เมื่อนำมาเปรียบเทียบทั้ง 3 วิธี ในการทำสองวิธีแรกนั้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในโครงงานนี้

จากการทดลองเก็บภาพในเวลากลางวันและกลางคืน จะได้ภาพที่มีลักษณะแตกต่างกันซึ่งอยู่กับแสงสว่างเพราะฉะนั้นการปรับแสงควบคุมความสว่างก็จะได้ภาพตามลักษณะของแสง

รูปที่ 6.11 ความสว่าง 10 % ของชุดหลอดไฟ

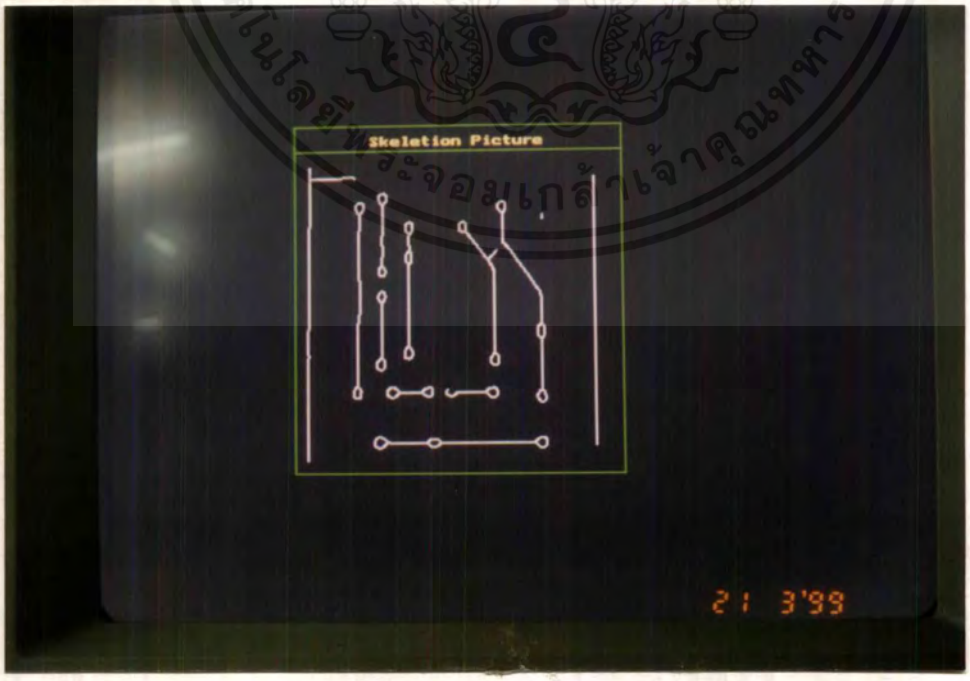
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 6.12 ความสว่าง 40 %ชุดของหลอดไฟ

6.2.3 การทำภาพโครงกระดูกของลายวงจร

ในขั้นตอนการทดลองนี้ จะนำภาพที่ได้ผ่านการทำเป็นภาพไบนารีเสร็จเรียบร้อยมาผ่านโปรแกรมซึ่งจะได้ออกมาเป็นภาพโครงกระดูกของลายวงจร เพื่อที่จะนำไปใช้ ในโปรแกรมการ ตรวจสอบการช๊อต , การขาด และ การเกิดหลุมในลายวงจร

ภาพ ที่ 6.10 ภาพโครงกระดูกของลายวงจร

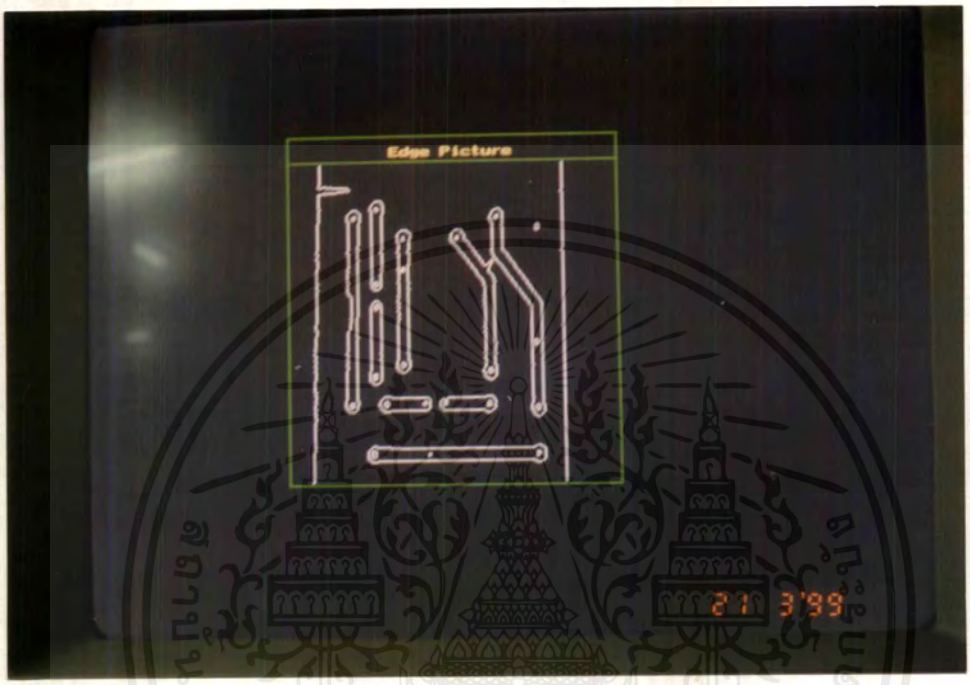


รูปที่ 6.13 ภาพโครงกระดูกของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 การทำภาพตัดขอบของลายวงจร

ในขั้นตอนการทดลองนี้ จะนำภาพที่ได้ผ่านการทำเป็นภาพไบนารีเสร็จเรียบร้อยมาผ่านโปรแกรมซึ่งจะได้ออกมาเป็นภาพตัดขอบของลายวงจร เพื่อที่จะนำไปใช้ ในโปรแกรมการ ตรวจสอบการบาง และ ส่วนเกินของลายวงจร ภาพที่ 6.11 ภาพตัดขอบของลายวงจร

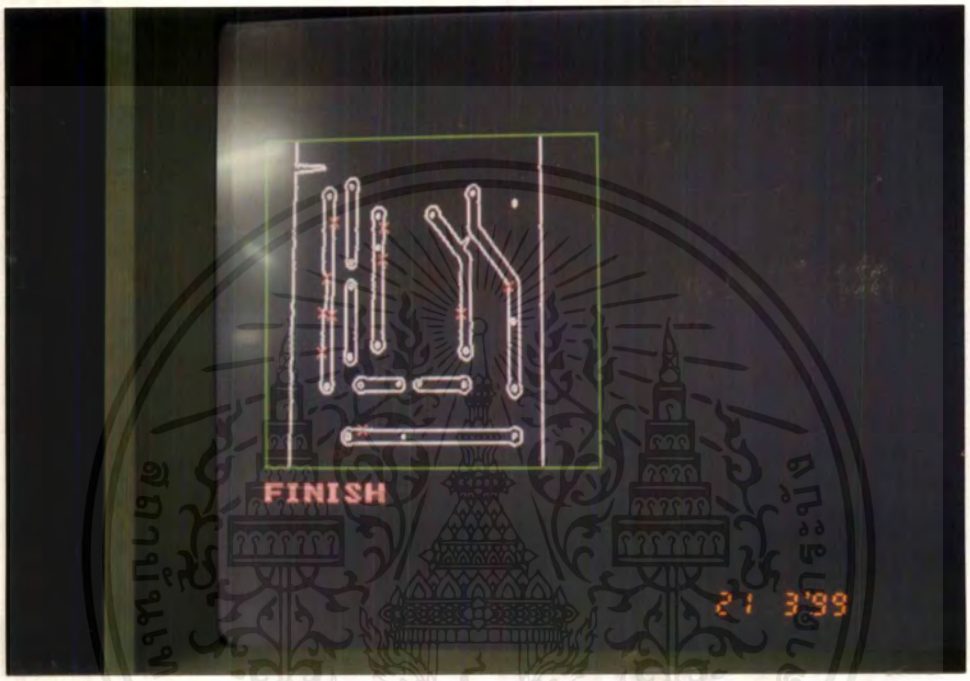


รูปที่ 6.14 ภาพตัดขอบของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.4 การตรวจการบางของลายวงจร

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้นำภาพที่ผ่านการตัดขอบเรียบร้อยแล้วมาทำการผ่านโปรแกรมตรวจสอบที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา แต่ในโปรแกรมนั้นยังมีการตรวจที่ผิดพลาดอยู่เนื่องจากภาพตัดขอบที่ได้นั้น ไม่ได้เป็นเส้นตรงจึงเกิดความผิดพลาดขึ้น ภาพที่ 6.12 เป็นภาพที่แสดงผลของการตรวจสอบ



รูปที่ 6.15 ภาพการตรวจสอบการบางของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.5 การตรวจการช๊อตลายวงจร

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้นำภาพที่ผ่านการทำโครงกระดูกเรียบร้อย มาทำการผ่านโปรแกรมตรวจสอบที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา ซึ่งจากการทดลองนั้นสามารถทำการ Mark จุดที่เกิดการช๊อตได้ถูกต้อง ภาพที่ 6.13 เป็นภาพที่แสดงผลของการตรวจสอบ

รูปที่ 6.16 ภาพการตรวจสอบการช๊อตของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.6 การตรวจการขาดลายวงจร

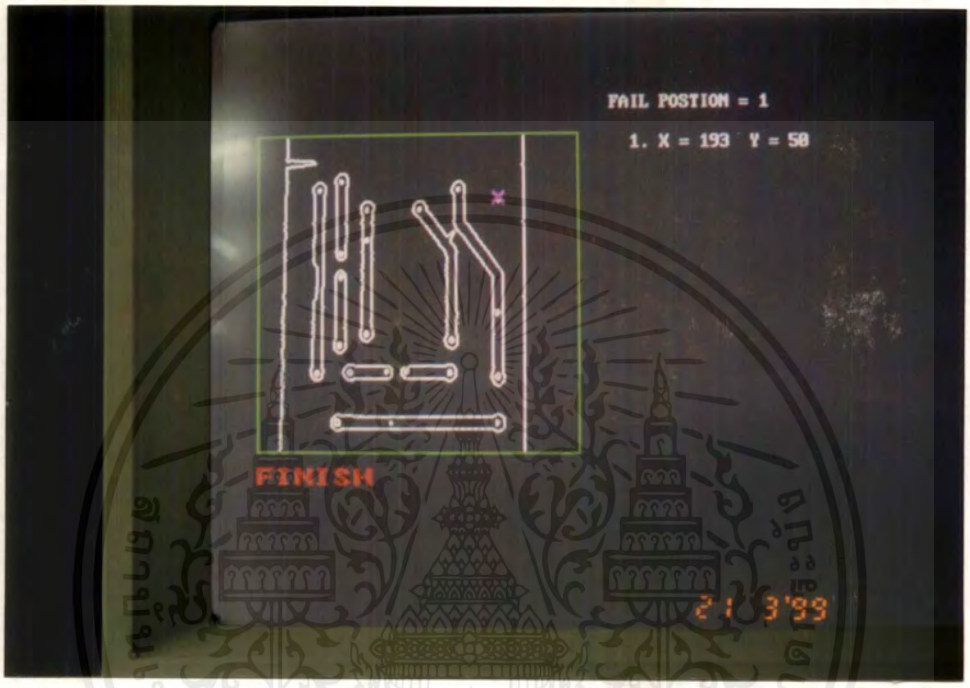
การทดลองในขั้นตอนนี้ได้นำภาพที่ผ่านการทำโครงกระดูกเรียบร้อย มาทำการผ่านโปรแกรมตรวจสอบที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา ซึ่งจากการทดลองนั้นสามารถทำการ Mark จุดที่เกิดการขาดได้ถูกต้อง ภาพที่ 6.14 เป็นภาพที่แสดงผลของการตรวจสอบ

รูปที่ 6.17 ภาพการตรวจสอบการขาดของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.7 การตรวจการเกินของลายวงจร

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้นำภาพที่ผ่านการตัดขอบเรียบร้อย มาทำการผ่านโปรแกรมตรวจสอบที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา ซึ่งจากการทดลองนั้นสามารถทำการ Mark จุดที่เกินได้ถูกต้อง ภาพที่ 6.15 เป็นภาพที่แสดงผลของการตรวจสอบ

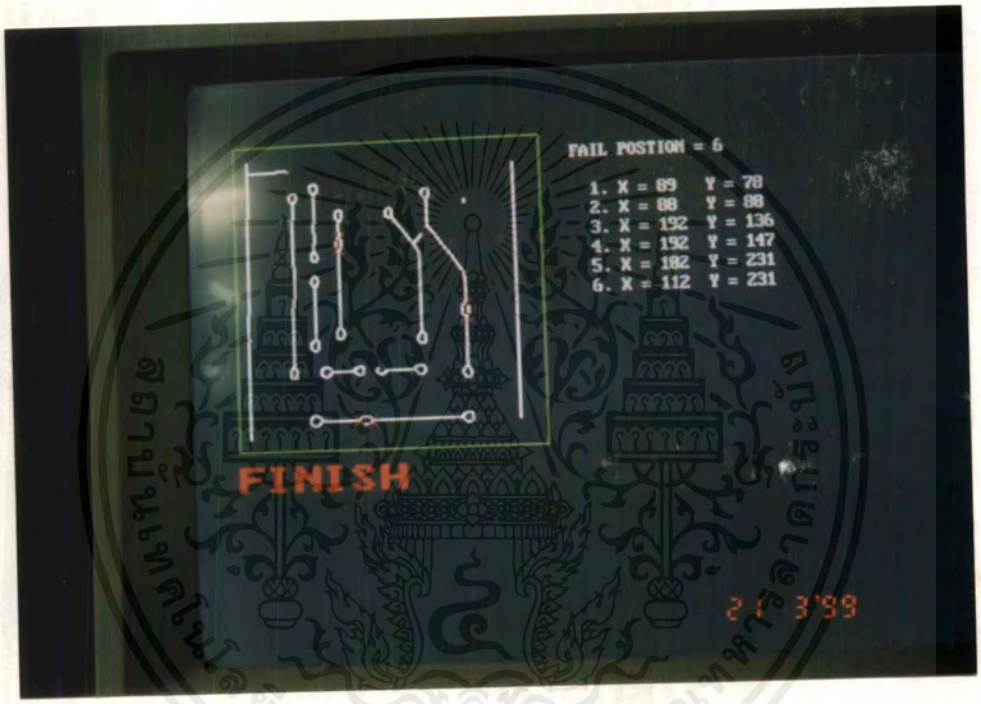


รูปที่ 6.18 ภาพการตรวจสอบส่วนเกินของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2.8 การตรวจการเกิดหลุมของลายวงจร

การทดลองในขั้นตอนนี้ได้นำภาพที่ผ่านการทำโครงกระดูกขอบเรียบร้อยมาทำการผ่านโปรแกรมตรวจสอบที่ได้ทำการเขียนขึ้นมา ซึ่งจากการทดลองนั้นสามารถทำการ Mark จุดที่เกิดหลุมได้ถูกต้อง ภาพที่ 6.16 เป็นภาพที่แสดงผลของการตรวจสอบ



รูปที่ 6.19 ภาพการตรวจสอบหลุมของลายวงจร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

6.2 สรุปผล

จากการทดลองโดยใช้วิธีการ Histogram equalization ทั้ง 3 วิธี สามารถสรุปผลการทดลองได้คือ

ภาพที่ได้จากวิธี Lower part และ Higher part จะให้ภาพที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน และจะได้ภาพที่ค่อนข้างมีความสมบูรณ์ ส่วน Middle part นั้นยังมีรายละเอียดบางส่วนขาดหายไป ไม่เหมาะต่อการนำไปประมวลผล

การปรับความสว่างของแสงที่ 10% และ 40%ที่ความสว่าง10%ภาพลายวงจรที่ได้มีความคมชัดน้อยลายวงจรมีความเข้มน้อยมาก ในส่วนความสว่าง40%นั้นลายวงจรมีความเข้มมากยิ่งขึ้น ภาพที่ได้ถ้ามีความสว่างที่พอเหมาะส่งผลให้ความคมชัดมาก การทำไบนารี่สามารถแบ่งระดับของภาพได้ชัดเจนมากขึ้น นำไปสู่การประมวลผลอย่างมีประสิทธิภาพ

รูปแสดงการตรวจสอบลักษณะต่างๆที่อยู่ในภาคผนวก ข แต่ก็ยังมีความผิดพลาดในการตรวจสอบการบางของลายวงจร เพราะลักษณะของภาพในบริเวณขอบภาพมีความคดงอมาก เมื่อทำการ Edge detection ได้ภาพที่มีความผิดพลาดมากเนื่องจากขอบที่คดงอ ทำให้เกิดความผิดพลาดในการตรวจสอบจนอาจทำให้เครื่องหยุดทำงานได้ ใน ขณะที่การตรวจสอบอื่นๆยังสามารถทำงานได้ตามปกติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 7
การพัฒนาไปสู่โปรแกรมที่ทำงานบนWindows

7.1 จุดประสงค์ของการพัฒนา

เนื่องปัญหาที่เกี่ยวกับความคมชัดของภาพและสัญญาณรบกวนเกิดขึ้นเป็นจำนวนมาก สาเหตุหลักคือประสิทธิภาพของแผงวงจรเก็บภาพที่มีสัญญาณรบกวน จึงทำให้ได้ภาพที่ขาดความคมชัดของภาพไป หรือปัญหานี้อาจมาจากกล้องก็คืออาจมีสัญญาณรบกวนที่เกิดจาก SENSOR ภายในกล้อง ส่วนอีกสาเหตุคือแผงวงจรเก็บภาพนั้นไม่สามารถตั้งค่า ADDRESS ได้ แผงวงจรนี้ถูกตั้งค่า ADDRESS ไว้คงที่ ที่ PORT 0x300H ซึ่งอยู่ใกล้กับ ADDRESS ของ DRIVE A ของเครื่องคอมพิวเตอร์มาก อาจเป็นสาเหตุที่ทำให้คอมพิวเตอร์เกิดหยุดทำงาน และ DRIVE A ไม่สามารถทำงานได้ และแก้ปัญหาโดยให้ทุกครั้งที่จะใช้แผงวงจรเก็บภาพนี้จะต้องตั้งค่าให้คอมพิวเตอร์ตรวจหา DRIVE A ไม่พบทำให้ไม่สะดวกในการใช้งาน จึงแก้ปัญหาโดยการพัฒนาโปรแกรมให้สามารถทำงานบน windowsได้ พร้อมทั้งการใช้งานที่สะดวกขึ้น และ VIDEO CAPTURE CARD V8. ที่ใช้ในปัจจุบัน ใช้กับ Windows เท่านั้น

7.2 ปัญหาที่พบ

7.2.1 จำนวนสีของแผงวงจรเก็บภาพ

แผงวงจรที่ใช้นั้นมีการเก็บภาพในลักษณะของภาพสีที่สามารถเลือกระดับของสีได้ แต่จะแสดงจำนวนสีต่ำสุดที่สุดที่ 65,536 สี ซึ่งในโครงงานนี้เราใช้ภาพที่เป็นระดับสีเทา 256 ระดับ หรือ 256 สี ที่เป็นระดับเทาเท่านั้น เมื่อทำการลดระดับสีไปสู่ 256 สี จะทำให้รายละเอียดขาดหายไปจึงทำให้ เกิดความผิดพลาดขึ้นแต่เรามีทฤษฎีทางด้าน IMAGE ที่เกี่ยวกับรูปสี คือ การลดสีจาก 16 ล้านสี ลงมาเหลือระดับสีเทา 256 ระดับ โดยใช้ COLOR MODEL

5.2.2 COLOR MODEL ที่เลือกใช้

ในโครงงานนี้เลือก YIQ COLOR MODEL ซึ่งเป็นวิธีการในการลดสีลงมาโดยมีรายละเอียดดังนี้

YIQ MODEL ถูกใช้ในการ ส่งสีภาพของ TV ออกอากาศ พื้นฐานคือ YIQ จะเป็นการบันทึกค่าRGB สำหรับที่จะแปลงให้ เข้ากับ MONOCHROME TV STANDARDS ซึ่งค่าส่วนประกอบ Yของระบบ YIQ จะเป็นตัวจัดการเกี่ยวกับข้อมูลของวีดีโอที่ต้องการสำหรับการตั้งMONOCHROME TV

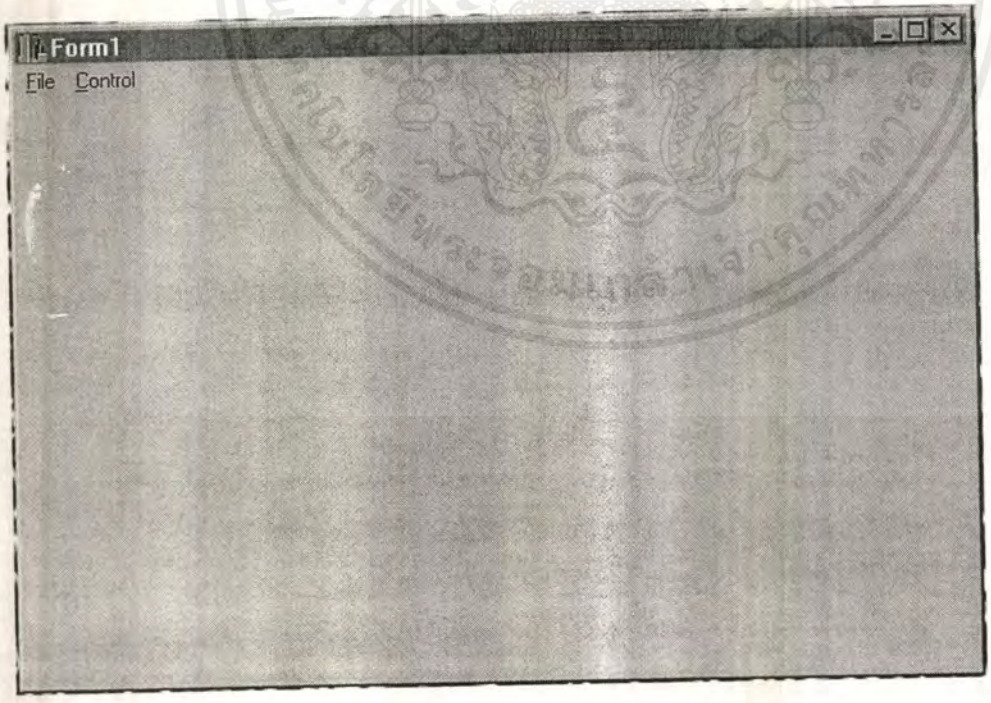
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

RGB TO YIQ จะแปลงโดยสมการ

$$\begin{bmatrix} Y \\ I \\ Q \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.299 & 0.587 & 0.114 \\ 0.596 & -0.275 & -0.321 \\ 0.212 & -0.523 & 0.311 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} R \\ G \\ B \end{bmatrix}$$

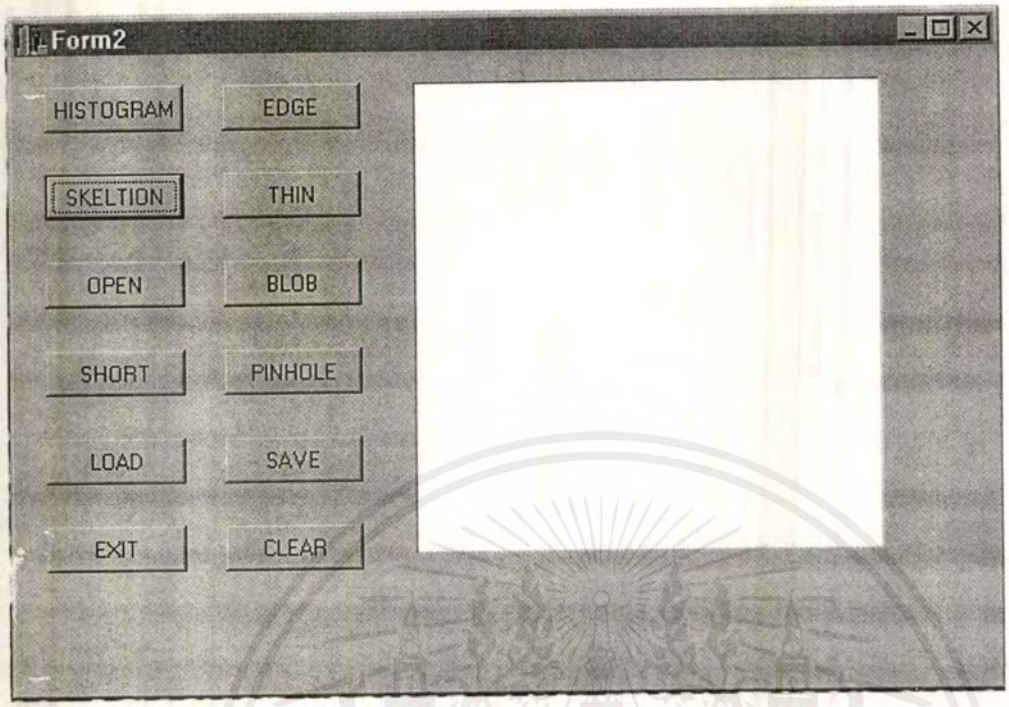
YIQ MODEL ถูกออกแบบโดยนำข้อดีของความไวของระบบการมองเห็นของมนุษย์ ในการเปลี่ยนแปลงของแสง ดังนั้นมาตราฐาน YIQ ถูกเรียกว่า MORE BANDWIDTH (หรือบิตในกรณี ของ DIGITAL COLOR) ถูกใช้แทนด้วย Y และ LESS BANDWIDTH ถูกใช้แทนด้วย I และ Q

ข้อดีของ YIQ MODEL คือจะสนับสนุนมาตราฐานทั่วไป แต่ข้อดีหลักของ YIQ MODEL ใน IMAGE PROCESSING คือ LUMINANCE (Y) และข้อมูลสี (I และ Q) ที่ไม่ขึ้นซึ่งกันและกัน ดังนั้น LUMINANCE COMPONENT ของรูปสามารถที่จะ ผ่านขบวนการโดยปราศจากผลกระทบถึงสีของมัน ซึ่งเราจะสามารถใช้ประโยชน์จาก HISTOGRAM EQUALIZATION กับ ภาพสีที่แสดงใน YIQ FORMAT โดยใช้ค่า Y COMPONENT ความสัมพันธ์ของสีในรูปจะไม่ส่งผลกระทบกับ ขบวนการต่างๆ



รูปที่ 7.1 ภาพแสดงโปรแกรมเก็บภาพที่ทำงานบนWindows

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 7.2 ภาพแสดงรูปแบบหน้าต่างของโปรแกรมการตรวจสอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

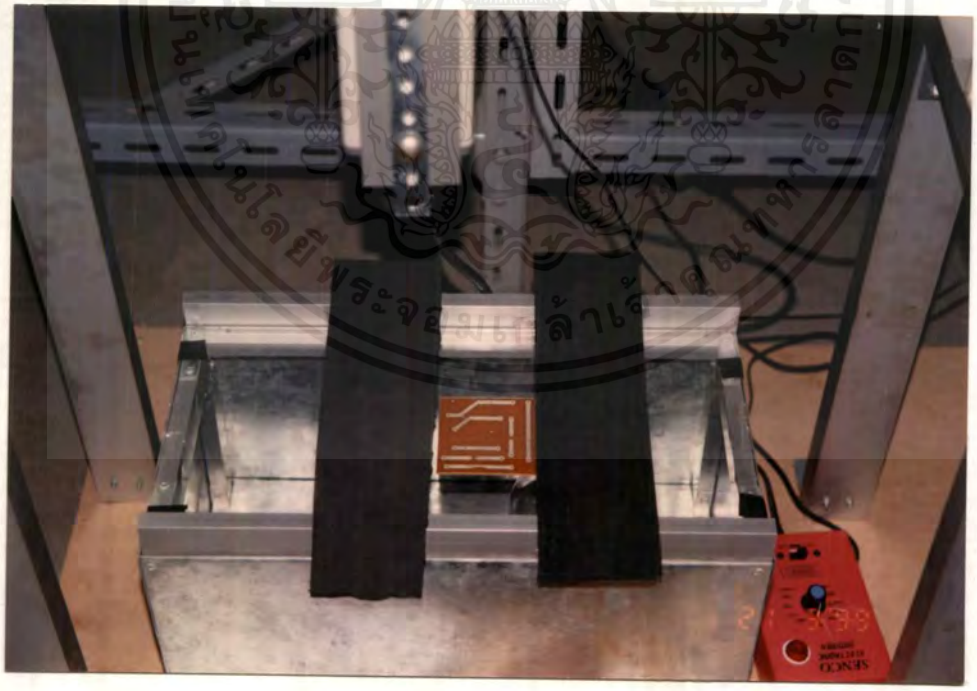
บทที่ 8
ปัญหาและแนวทางในการพัฒนา

8.1 ปัญหาที่พบระหว่างการทำโครงงาน

1. ปัญหาเรื่องแสงสว่าง

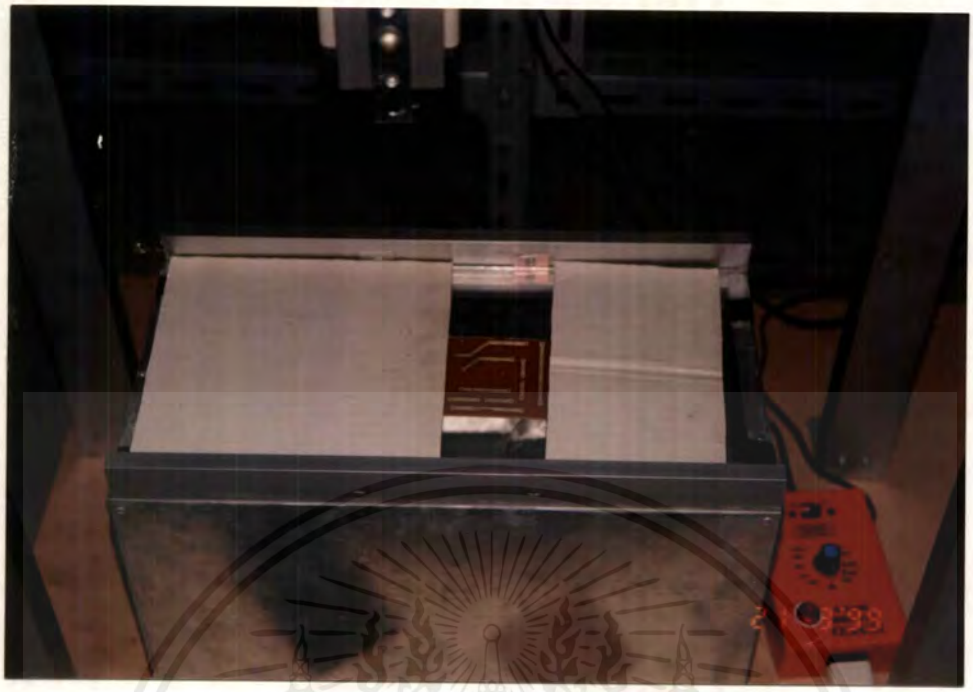
แสงมีส่วนสำคัญมากในการกำหนดความคมชัดของภาพ รวมถึงลักษณะของฮีสโตแกรม ดังนั้นการให้แสงสว่างที่ดีย่อมทำให้ภาพที่เก็บได้คมชัด อีกทั้งการประมวลผลภาพย่อมออกมาอย่างมีประสิทธิภาพ

เพื่อให้แสงที่ส่องให้วัตถุมีความสว่างได้พอเหมาะ จึงได้มีชุดอุปกรณ์กล่องส่องไฟที่สามารถปรับความสว่างได้ โดยว่างแผ่นวงจรลงบนกล่องและส่องไฟทางด่านล่างของแผ่นวงจร พบปัญหาคือมีแสงสว่างลอดออกมาเข้าเลนซ์กล้องทำให้ได้ภาพไม่คมชัดเท่าที่ควร แก้ไขโดยการนำแผ่นวัตถุต่างๆมาใช้บังแสง ดังเช่นรูป 8.1 และรูป 8.2 การที่วัตถุบังแสงที่ต่างกันจะให้ภาพที่มีความคมชัดที่ต่างกัน



รูป 8.1 ใช้วัตถุสีดำบังแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 8.2 ใช้กระดาษบังแสง

2.ปัญหาจากแผงวงจรเก็บภาพ (Digitizer card)
เนื่องจากแผงวงจรเก็บภาพนั้นมีปัญหาที่ไม่สามารถที่จะปรับค่าแอดเดรสได้ ซึ่งโดยปกติแอดเดรสจะถูกกำหนดอยู่ที่ 0 x 300H ซึ่งเมื่อต่อเข้าเมนบอร์ดของคอมพิวเตอร์และใช้โปรแกรมเพื่อเก็บภาพ ประมาณ 2 – 3 ครั้งจะทำให้ไดร์พ เอนั้นไม่ทำงานซึ่งอาจจะเกิดจากการซ้อนทับของแอดเดรส จึงต้องแก้ไขที่ ไบออส เพื่อไม่ให้คอมพิวเตอร์มองเห็นไดร์พเอ

8.2 แนวทางในการพัฒนาในระดับต่อไป

1. ปัญหาสำหรับคอมพิวเตอร์รุ่นใหม่ คือการเก็บภาพจากกล้องผ่านแผงวงจรเก็บภาพซึ่งแผงวงจรเก็บภาพนี้จะมีข้อจำกัดในการทำงาน คือสามารถทำงานได้กับคอมพิวเตอร์ในรุ่นเก่าๆ จึงมีความจำเป็นที่จะต้องจัดหาหรือพัฒนาแผงวงจรนี้ให้มีประสิทธิภาพสามารถทำงานได้กับคอมพิวเตอร์ในรุ่นใหม่ๆได้ อีกทั้งยังสามารถพัฒนาโปรแกรมให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2 .พัฒนาในส่วนของการให้แสงสว่างกับวัตถุ ควรจัดหาอุปกรณ์จัดแสงไฟให้มีคุณภาพและมาตรฐานที่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. ข้อผิดพลาดในส่วนของโปรแกรมการตรวจสอบการบาง เนื่องจากการที่เงื่อนไขและวิธีการตรวจสอบการบางผิดปกติ จะทำการตรวจสอบจุดที่มีการเปลี่ยนมุมในขณะภาพที่เก็บได้มีลักษณะคดงอทำให้การเก็บค่าที่จุดภาพมีความผิดพลาด อาจแก้ไขที่ตัวอุปกรณ์หรือที่ตัวโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

(1). M.A. Sid-Ahmed, A Hardware Structure For The Automatic Selection Of Multi-Level Thresholds In Digital Images , Pattern Recognition , Vol 25 ,No.12,PP 1517-1528,1992

(2). S.S. Reddi , S.F. Ruddin and H.R. Keshawan , An optimal multiple threshold scheme for image segmemtation ,IEEE Trans. *SMC* SMC-14 ,661-665(1984).

(3). N. Otsu , A threshold selection method from gray level histograms , IEEE Trans. *SMC* SMC-9 , 62-66(1978).

(4). T.W. Ridler and S. Calvard ,Picture thresholding using an iterative thresholdselection method ,IEEE Trans. *SMC* SMC-8 , 630-632(1978)

(5). H.J. Trussler , Comments on: picture thresholding using an iterative selection method , IEEE Trans. *SMC* SMC-9 , 311(1979).

(6). **ธนิศ ชัยรัตน์ , "การปรับปรุงอัลกอริทึมของการตรวจสอบลายปริ้นท์" , ปริญญานิพนธ์ระดับปริญญาตรี , คณะวิศวกรรมศาสตร์ , สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง , พ.ศ. 2535**

(7). **รังสรรค์ น้อยจินดา ,สารท คำมูล , สุริยะ คลังสิน , "Inspection of Printed Circuit Board" วารสารการประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 14 เรื่อง**

(8). **Rafe C. Gonzalez And Richard E. Wood , Digital Image Processing**

(9). **ธันวา ศรีประโมง , การเขียนโปรแกรมภาษาซีสำหรับวิศวกรรม , พิมพ์ครั้งที่ 4 พ.ศ.2539**

(10). **ดร. วิทยา เรืองพรวิสุทธิ์ , คู่มือโปรแกรมภาษา C สำหรับผู้เริ่มต้น**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

FLOW CHART

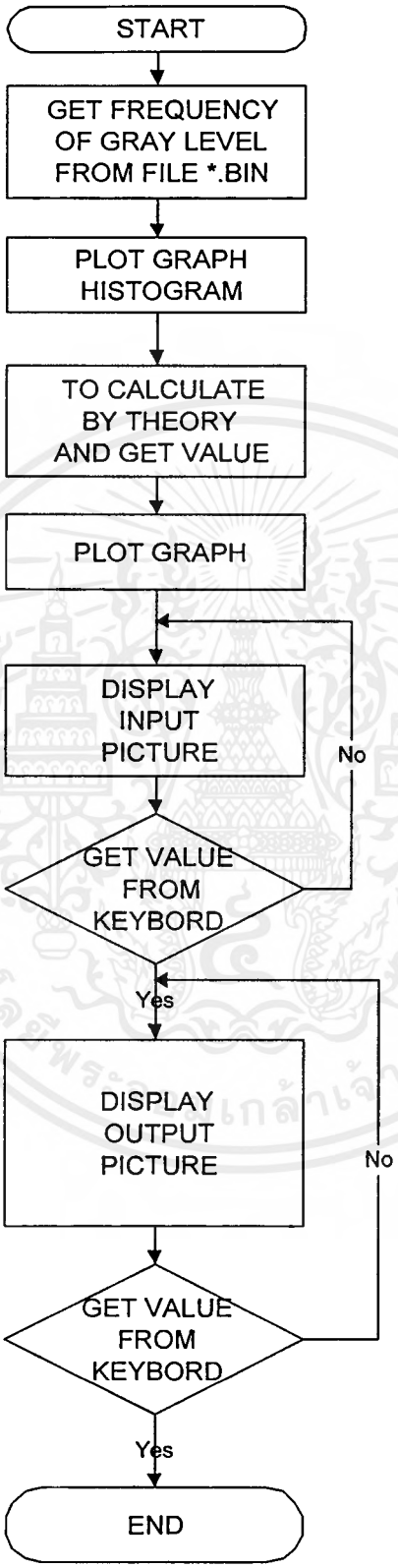
- **การเลือกค่า THRESHOLD ที่ดีที่สุด**
- **การทำ SKELETON**

  STEP 1

  STEP 2
- **การตรวจสอบส่วนเกินนอกลายวงจร**
- **การตรวจการบางของลายวงจร**
- **การตรวจสอบหลุมในเส้นทางเดินของลายวงจร**
- **การตรวจสอบการลัดวงจร**
- **การตรวจสอบความกว้างผิดปกติ**

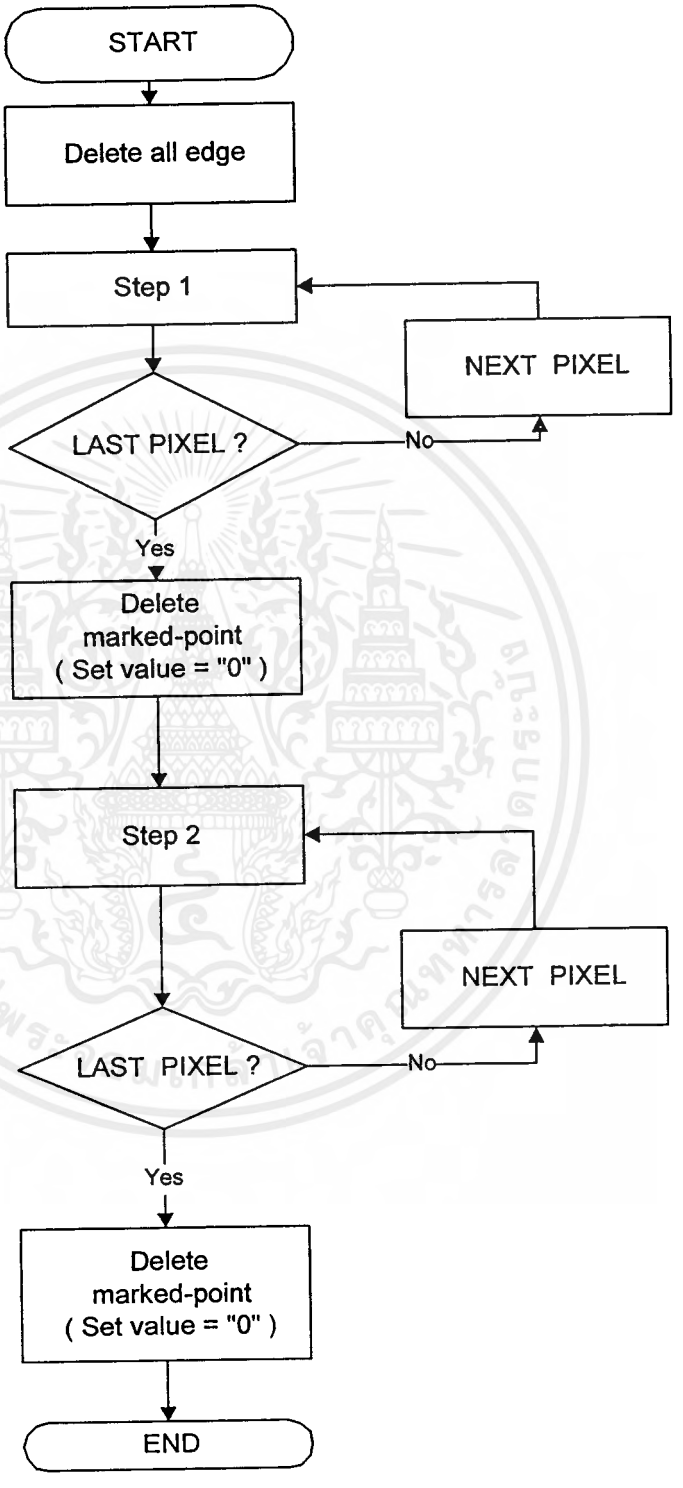
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเลือกค่าTHRESHOLD ที่ดีที่สุด



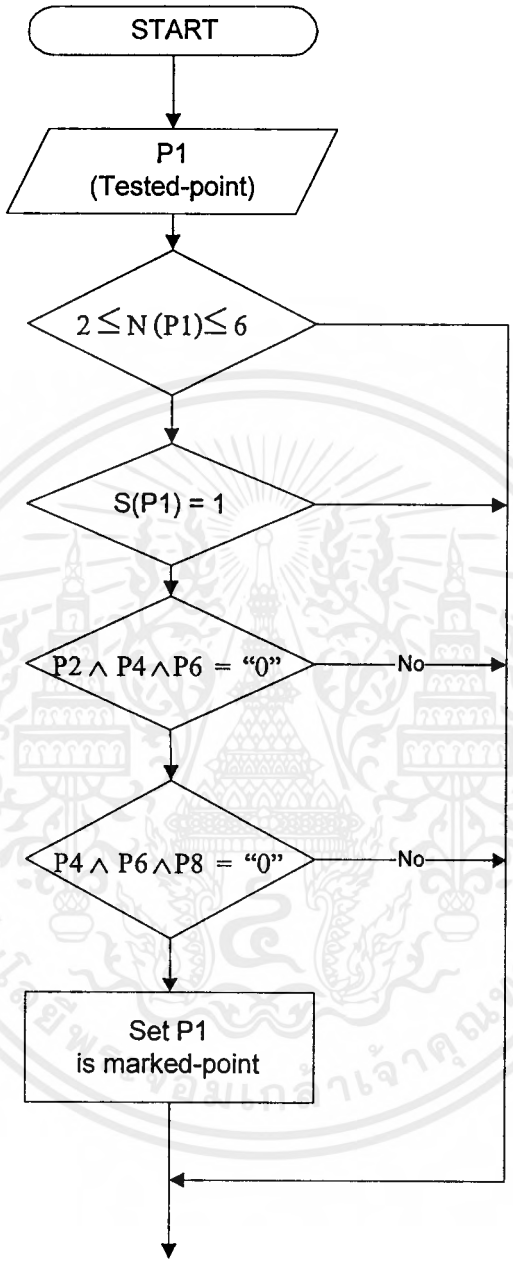
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การทำ SKELETON



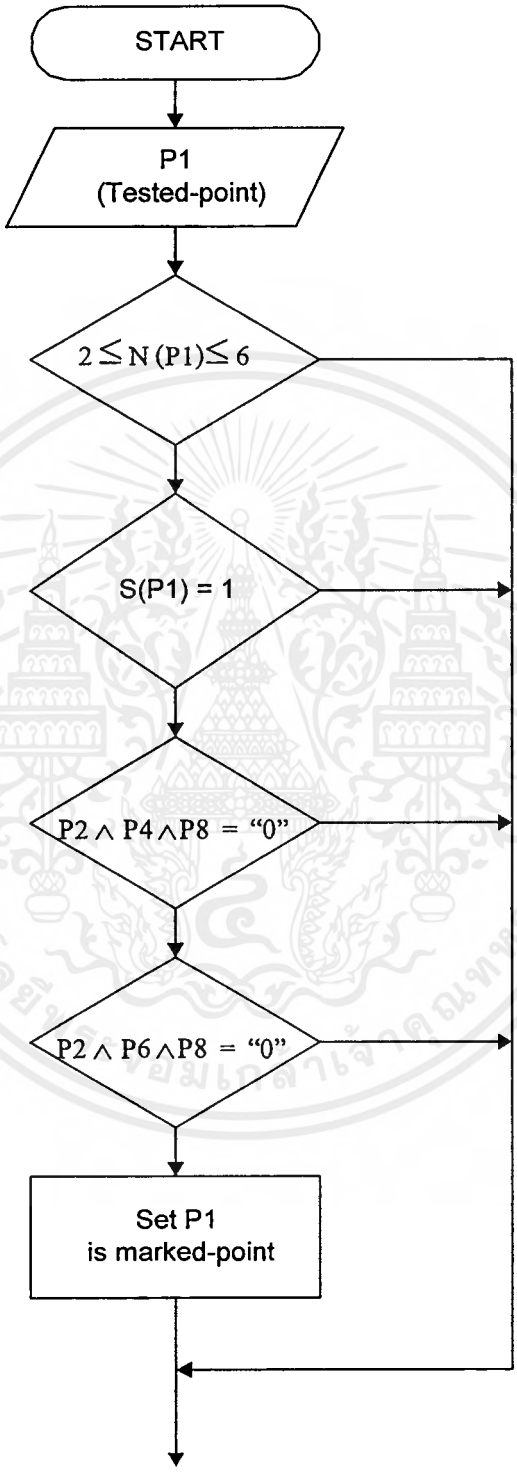
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROUTINE STEP 1



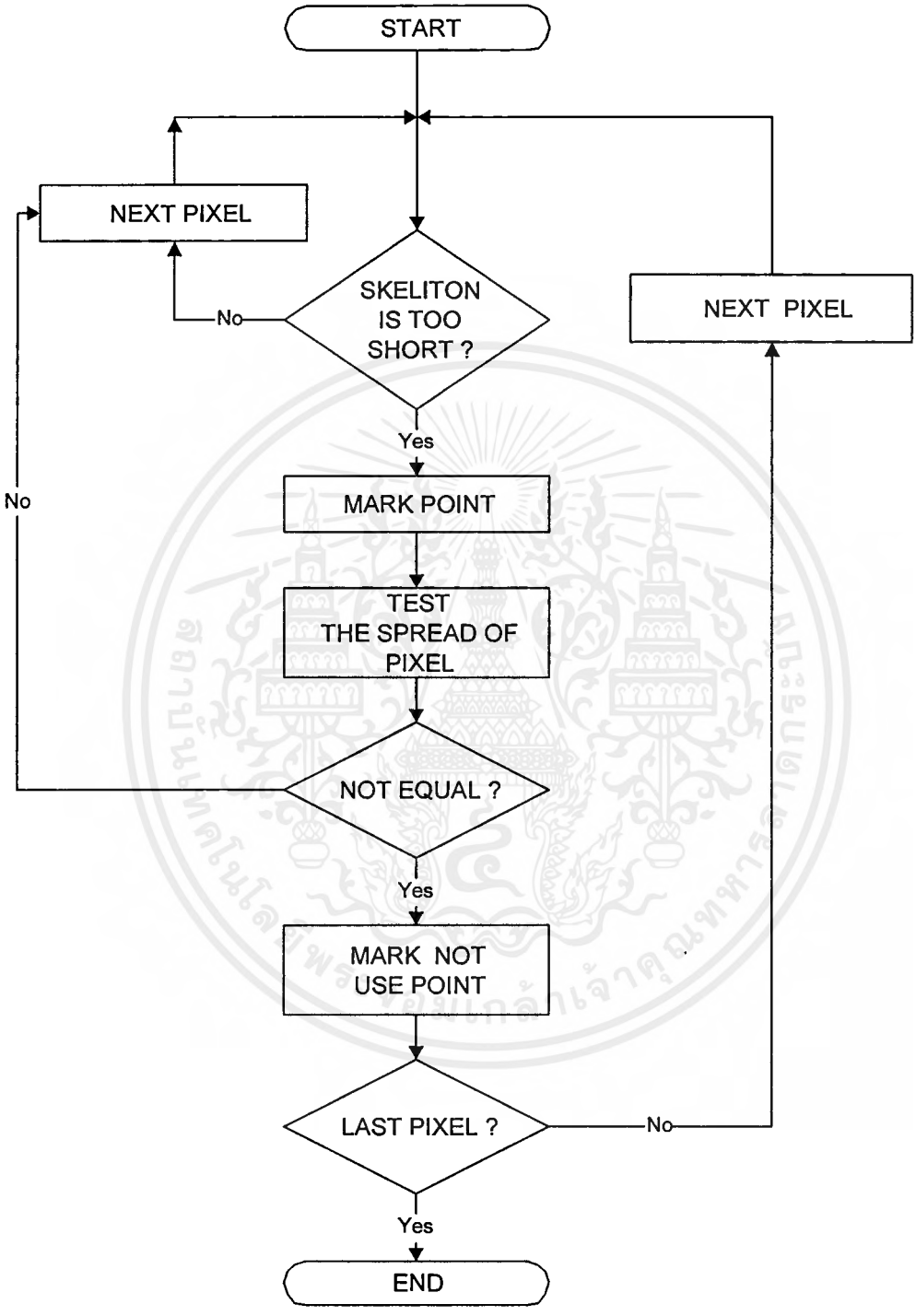
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ROUTINE STEP2



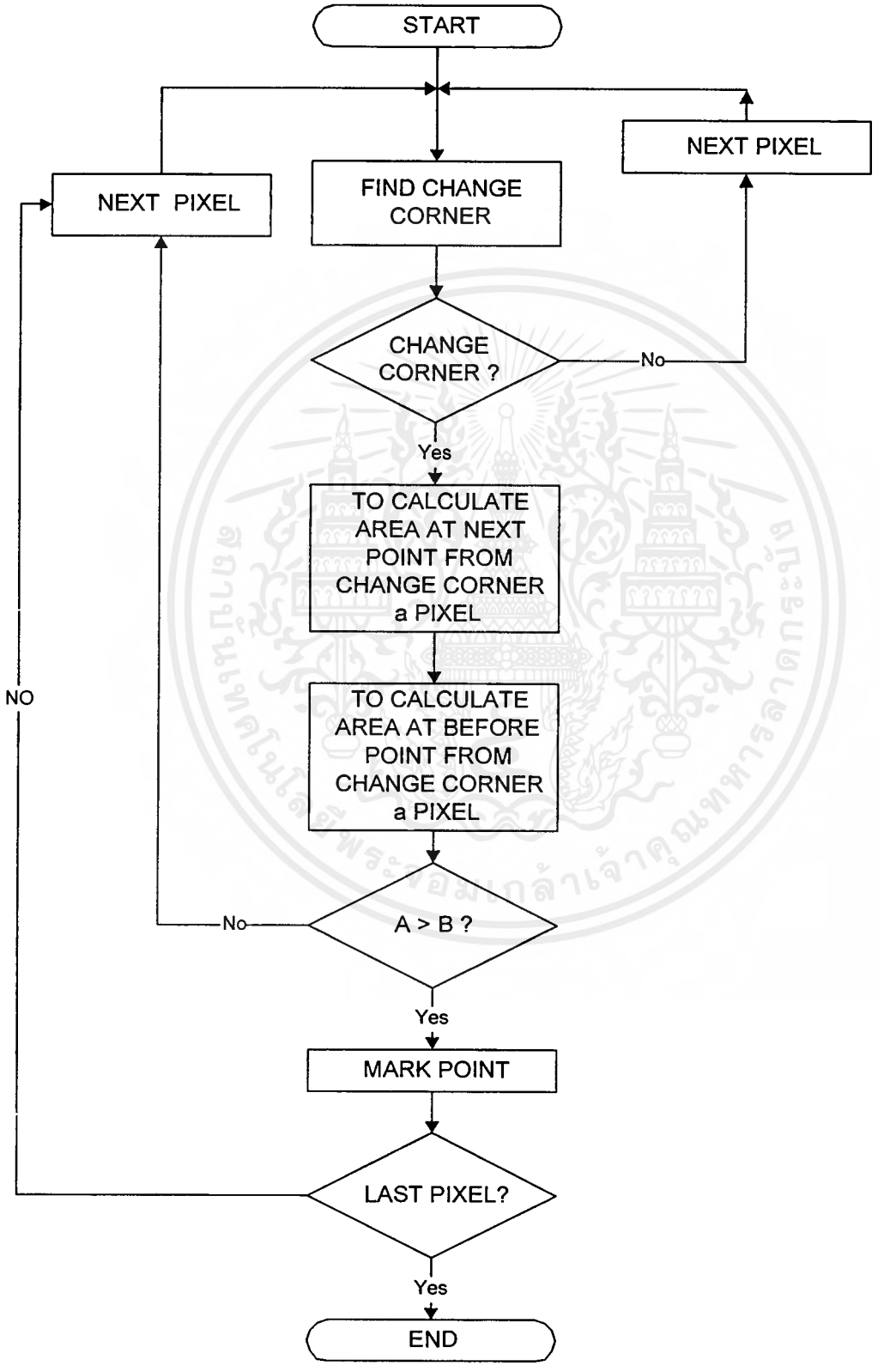
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบส่วนเกินนอกลายวงจร



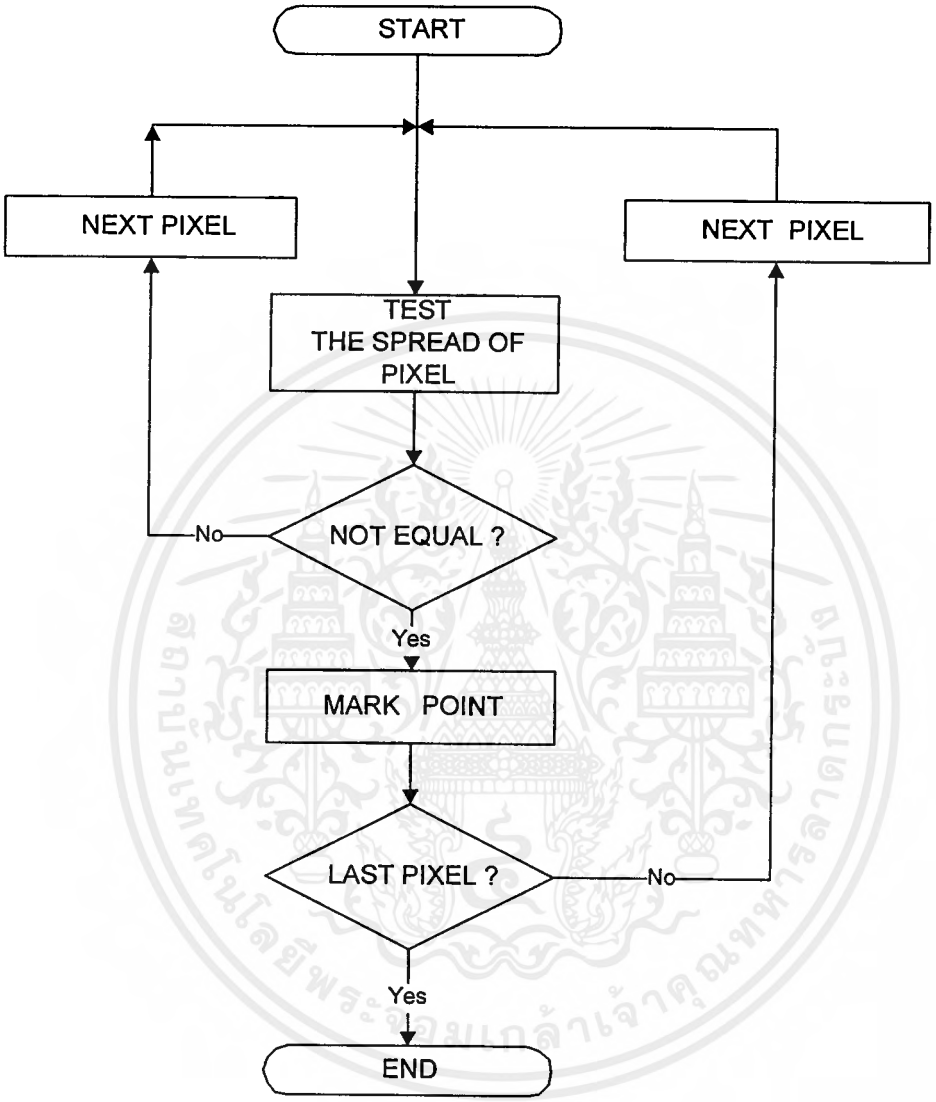
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจการบางของลายวงจร



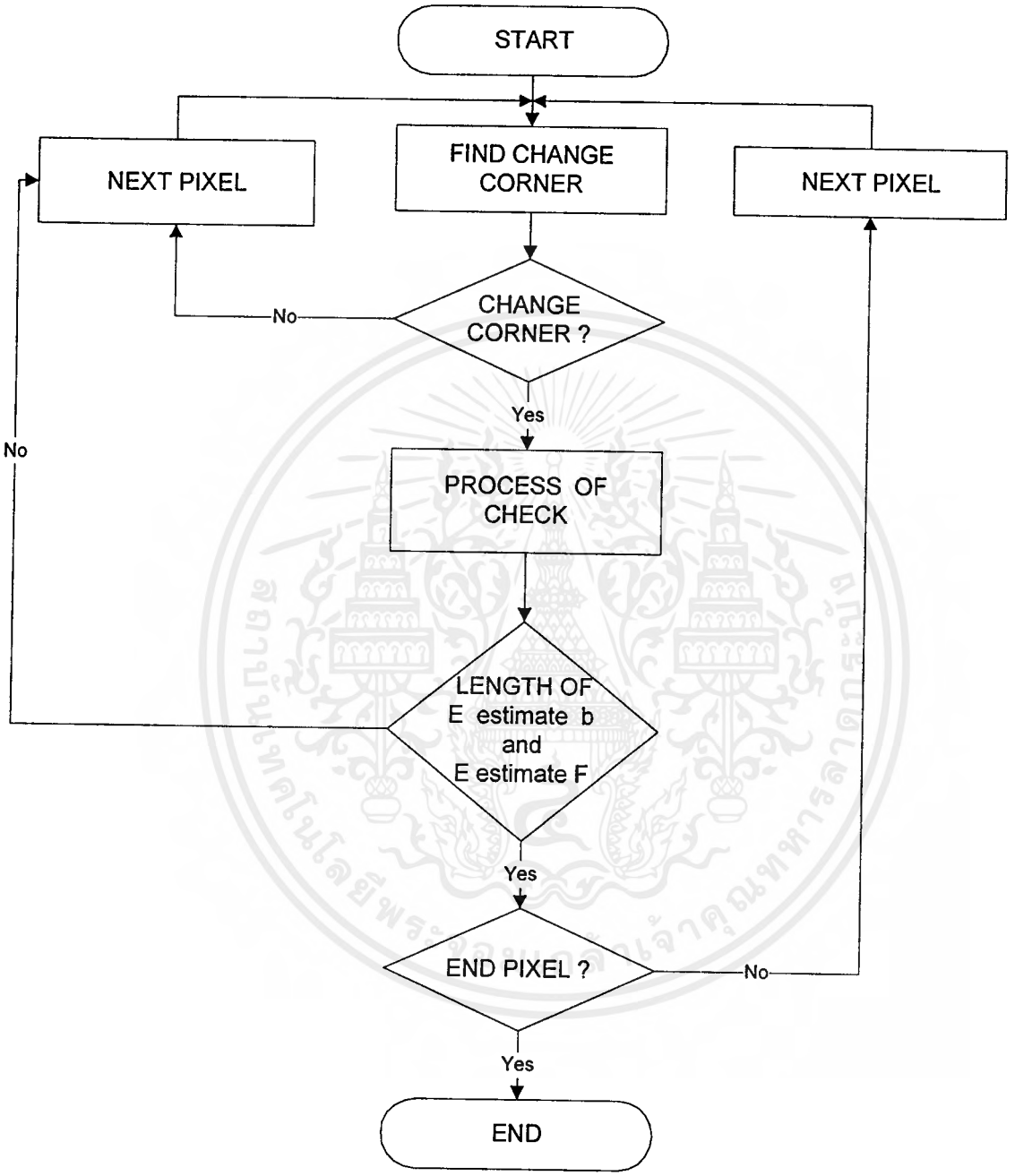
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบหลุมในเส้นทางเดินของลายวงจร



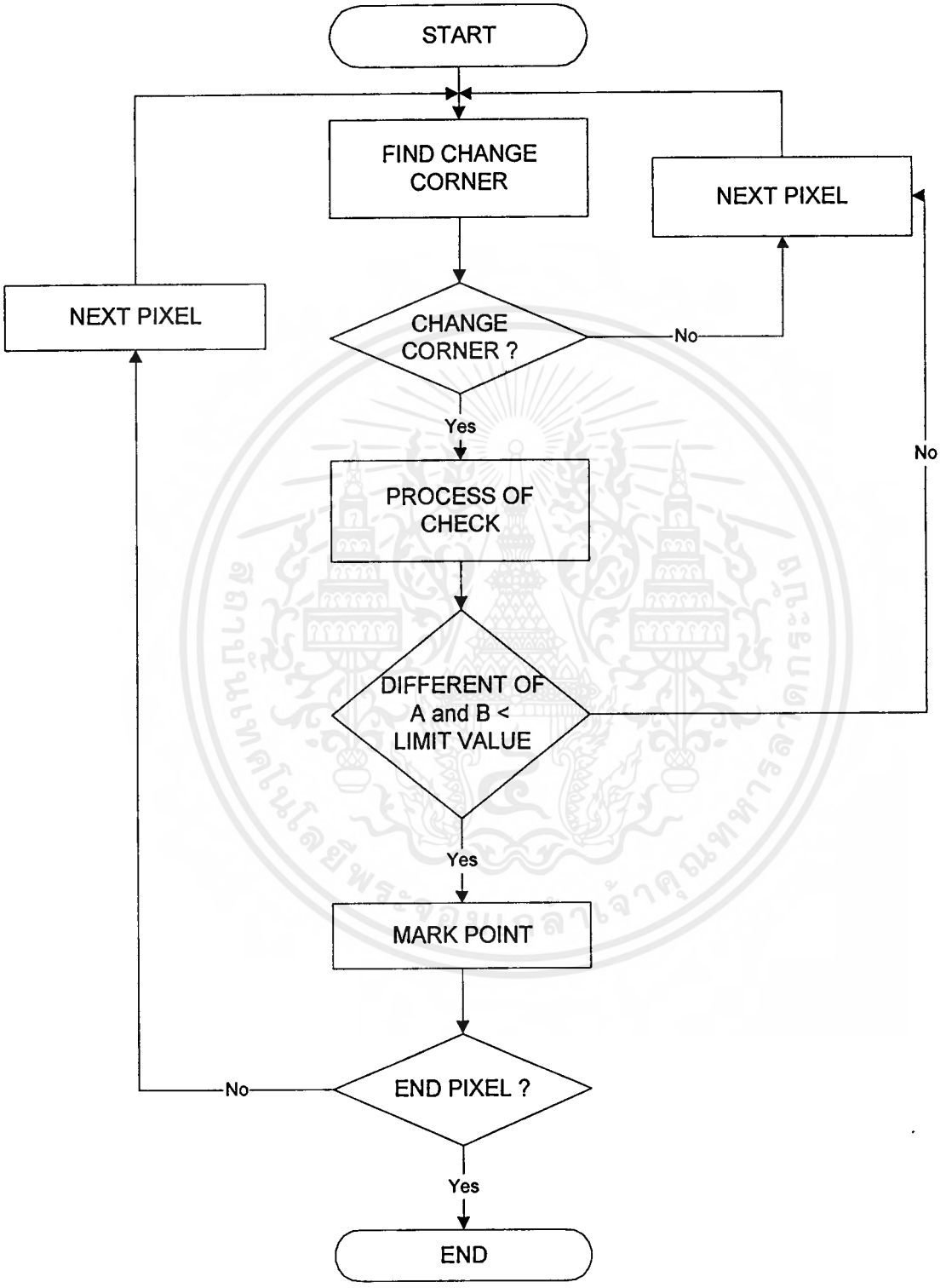
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบการลัดวงจร



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การตรวจสอบความกว้างผิดปกติ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้