การตรวจสอบลายปริ้นซ์

(Inspection of Printed circuit Board)

เฉลิมเกียรติ สุทธิปัญโญ 326304

วันชัย สกุลวิจิตร์สินธุ์ 326322

สมศักดิ์ สุคนธศิรินร 326329

อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์

ปริญญานิพนธ์สำหรับปริญญาอุตสาหกรรมศาตร์บัณฑิต

สาขาเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม

ภาควิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2533

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2533

ภาควิชา เทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม

สาขา เทคโนโลยีคอมพิวเตอร์อุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหาร ลาดกระบัง

เรื่อง การตรวจสอบลายปริ้นซ์ (PCB)

(Inspection of Printed circuit Board)

ผู้จัดทำ

1. นาย เฉลิมเกียรติ สุทธิปัญโญ 326304

2. นาย วันชัย สกุลวิจิตร์สินธุ 326322

3. นาย สมศักดิ์ สุคนธศิริพร 326329

.....อาจารย์ที่ปรึกษา

(อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์)

เลขหมู่ T 33018 ฉ A

เลขทะเบียน 017851

วัน, เดือน, ปี 12 ก.ค. 34

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

หัวข้อปริญญานิพนธ์	การตรวจสอบลายปริ๊นซ์ (PCB)
นักศึกษา	นาย เฉลิมเกียรติ สุทธิปัญโญ 326304
	นาย วันชัย สกุลวิจิตร์สินธุ 326322
	นาย สมศักดิ์ สุคนธศิริพร 326329
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ เกษตร์ ศิริสันติสัมฤทธิ์
ระดับการศึกษา	อุตสาหกรรมศาสตร์ บัณฑิต
	ทางเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม
ปีการศึกษา	พศ.2533

บทคัดย่อ

การตรวจสอบลายปริ๊นซ์ โดยใช้ อิมเมจโปรเซสซิ่ง (Image Processing) โดยปกติจะใช้วิธีการในการตรวจสอบหลายวิธี เช่น วิธีแมทชิ่ง (Matching) ซึ่งเป็นการนำเอาภาพลายปริ๊นซ์ต้นแบบ กับ ภาพที่ต้องการตรวจสอบ มาทำการเปรียบเทียบกันแบบจุดต่อจุด ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้น แต่วิธีนี้ก็มีความยากลำบากมากในทางปฏิบัติ คือจะต้องมีข้อมูลภาพลายปริ๊นซ์ที่จะใช้เปรียบเทียบ และ จะต้องจัดให้ข้อมูลภาพทุกจุดตรงกันจริงๆ เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้ออกมาเป็นข้อผิดพลาดของลายปริ๊นซ์จริงๆ สำหรับปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้ จะขอเสนอเทคนิคในการตรวจสอบลายปริ๊นซ์ โดยวิธีให้โปรแกรมตรวจสอบข้อผิดพลาดของลายวงจรเอง โดยไม่ต้องมีต้นแบบที่ใช้เปรียบเทียบ และไม่ต้องยุ่งยากในการจัดภาพด้วย ในตอนท้ายของวิทยานิพนธ์นี้ ได้แสดงตัวอย่างของการตรวจสอบลายวงจร จากผลการทดลองสามารถตรวจสอบลายปริ๊นซ์ได้เป็นที่พอใจในระดับหนึ่ง ซึ่งยังคงต้องมีการพัฒนาต่อไปอีก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Inspection of Printed Circuit Board
Name	Chalermkiat SUDTIPUN-YO
	Wanchai SAKULVIJITSINTU
	Somsak SUKHONTASIRIPORN
Thesis Advisor	Kaset Sirisantisamrid
Level of Study	Bachelor's Degree Of Computer Technology
	Instrument Department
	Engineering Faculty
Academic Year	1990

ABSTRACT

Normally, inspection of printed circuit board (PCB) by Image processing used various method such as Matching method which is compares reference picture with target picture ,compare pixel to pixel. The result is the errors of picture, but this method has a large problem in practice, because it need comparation at the really correct pixel.

This thesis illustrates PCB inspection techniques by program checking error with itself, without reference picture needed to compare and induce confusion in picture management.

Finally, in this thesis shows example of PCB inspection. From our examination, the programs can inspect PCB in a good level.

However,we hope it is developed further.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อ

Abstract

บทที่ 1 บทนำ 1

(Introduction)

บทที่ 2 พื้นฐานการประมวลผลข้อมูลภาพ

(Introdution Image Processing)

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิตอล 4

2.2 ระบบประมวลภาพทางดิจิตอล 5

2.3 แบบจำลองภาพ 7

2.4 การสุ่มแบบสม่ำเสมอ 8

2.5 ฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์มเบื้องต้น 10

2.6 การคอนโวลูชั่น 16

2.7 การแปลงค่าแบบลิเนียร์ 20

2.8 การหาขอบภาพ (Edge detection) 25

2.9 การตัดระดับ (Thresholding) 26

2.10 การตรวจหาเส้นขอบ (Line detection) 31

2.11 ทฤษฎีเบื้องต้น ในการหาแกนโครงร่างภาพ 36

บทที่ 3 แผ่นเก็บข้อมูลภาพ (Image Card)

3.1 ระบบสัญญาณโดยรวม 44

3.1.1 ส่วนประกอบของภาพ 45

3.1.2 การกวาดภาพ 46

3.1.3 สัญญาณรวม 48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 แผ่นเก็บข้อมูลภาพ
3.2.1 บล๊อกไดแกรม (Block Diagram) 49
3.2.2 การแยกสัญญาณซิงค์ 50
3.2.3 การเปลี่ยนสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล 51
3.2.4 การเปลี่ยนสัญญาณดิจิตอลเป็นสัญญาณอนาลอก 53
3.2.5 การจัดการหน่วยความจำ 54
3.2.6 การดีโคดตำแหน่งแอดเดรสของอินพุทเอาท์พุทพอร์ท 56

บทที่ 4 กรรมวิธีการตรวจสอบลายวงจร
(Inspection PCB.)
4.1 การหาขอบภาพ 61
4.2 การตรวจสอบ 63
4.3 ขั้นตอนการตรวจสอบ 65
4.4 การตัดสินใจของโปรแกรมค้นหา 70
4.5 การเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ 71

บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง 74

บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัย 78

กิติกรรมประกาศ
หนังสืออ้างอิง

ภาคผนวก 1 โปรแกรมคอมพิวเตอร์
ภาคผนวก 2 แผ่นวงจรเก็บข้อมูลภาพ (Image Card)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ
(INTRODUCTION)

ในปัจจุบันนี้ อุตสาหกรรมทางด้านไฟฟ้าและอิเลคทรอนิคส์ นับวันจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนหนึ่งที่นับว่าเป็นพื้นฐานที่สำคัญ ของอุตสาหกรรมเหล่านี้ก็คือการผลิตแผ่นวงจร (Printed Circuit Boards ,PCB) ในปัจจุบันนี้ การผลิตแผ่น PCB ในหลายที่ จะใช้วิธีการ เพิ่มประสิทธิภาพของระบบ ในขบวนการผลิต (Process) เพื่อที่จะให้ได้ชิ้นงานออกมานั้น มีคุณภาพเป็นไปตามกำหนดให้มากที่สุด แต่อย่างไรก็ตามก็ยังคงมีชิ้นงาน ที่ไม่ได้คุณภาพตามกำหนดอยู่ดี จึงต้องมีวิธีการต่างๆ ที่นำมาใช้ พิจารณาแยกแยะคุณภาพของชิ้นงาน กันต่อไป

ในขบวนการการผลิตแผ่น PCB สิ่งหนึ่งที่จะเป็นตัวบ่งบอกถึงคุณภาพของแผ่น PCB ที่ผลิตออกมาก็คือ ขั้นตอนการตรวจสอบคุณภาพ ของลายวงจรที่ทำการผลิตออกมา โดยทั่วๆไปจะตรวจสอบโดยการมองเห็นของคนเพื่อที่จะได้ทราบว่าส่วนไหนของลายวงจร เกิดการชำรุดเสียหาย หรือไม่เป็นไปตามมาตรฐาน ที่กำหนดไว้ ก็สามารถแยกคุณภาพของชิ้นงานได้ แต่ถ้าเป็นขบวนการผลิตที่ใหญ่ๆจำนวนชิ้นงานที่ผลิตมีจำนวนมากๆ และ ต้องการความรวดเร็วในการผลิตมากๆ ดังนั้นจึงได้มีการหาวิธีการอื่น ที่จะมาทำการตรวจสอบแทนคน ซึ่งก็เป็นที่ทราบดีว่ามีข้อจำกัดหลายอย่าง ไม่ว่าจะเป็นประสิทธิภาพ ในการตรวจสอบที่ขึ้นอยู่กับ ขนาดของชิ้นงานแล้ว ยังขึ้นอยู่กับ ความมั่นใจของผู้ตรวจสอบเอง การคุ้มค่าแก่การลงทุนและปัจจัยอื่นๆอีก

จากที่กล่าวมา จึงเป็นมูลเหตุให้มีการพัฒนาในส่วนของการ ตรวจสอบลายวงจร โดยใช้หลักการพื้นฐาน ในการประมวลผลข้อมูลภาพ (Image Processing) สำหรับในปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ จะนำเสนอแนวทางในการพิจารณาอยู่ 2ระดับคือ ในระดับแรกจะอาศัยหลักการพื้นฐานในการเปรียบเทียบ คือจะนำข้อมูลภาพของชิ้นงาน ที่ได้จากขบวนการการผลิต (Process)มาทำการเปรียบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กับข้อมูลภาพที่ออกแบบไว้แล้ว (ออกแบบโดย CAD หรืออื่นๆ) ผลลัพธ์ที่ได้หลังการเปรียบเทียบแล้ว คือ ความผิดพลาดที่เกิดขึ้นในขบวนการผลิต ซึ่งจะเห็นว่าวิธีการนี้ใช้หลักการง่ายๆ ในการที่จะตรวจเช็คได้ว่าแผ่นลายวงจรที่ผลิตออกมานั้นเป็นไปตามที่ออกแบบไว้หรือไม่ แต่อย่างไรก็ตามวิธีการนี้ ก็มีปัญหามากในการปฏิบัติหมายความว่าข้อมูลภาพทั้งสองที่จะนำมาเปรียบเทียบกันนั้นจะต้องวางให้ภาพตรงกันทุกจุดภาพ (Matching) เพื่อให้ผลลัพธ์หลังการ compare ออกมานั้นเป็นผลของความผิดพลาดที่เกิดจากขบวนการการผลิตจริงๆ แต่ในทางปฏิบัตินั้นเป็นการยากมาก ที่จะทำให้ภาพทั้งสองวางทับตรงกันทุกๆจุด จากการปฏิบัติจะทำการกำหนดระยะห่างจากกล้องถึงภาพให้คงที่ เวลาถ่ายภาพ 2 ภาพเข้ามาเปรียบเทียบกัน จะยึดกล้องไว้ไม่ให้เคลื่อนที่ นอกจากนั้นยังต้องให้แสงสว่างคงที่ด้วย

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากความยากลำบากของการตรวจสอบลายวงจร ด้วยวิธีแรก ที่ต้องมีข้อมูลของลายวงจร ที่สมบรูณ์ก่อนที่จะทำการตรวจสอบ และยังต้องปรับค่าต่างๆ ให้ถูกต้องด้วย จึงมีการพัฒนาในระดับที่ ๒ โดย จะให้โปรแกรมสามารถที่จะตรวจสอบ ส่วนที่สงสัยที่คาดว่าจะมีข้อผิดพลาด ของลายวงจรได้ วิธีในการตรวจสอบนั้นมีอยู่หลายวิธี ซึ่งจะให้ข้อดีและข้อเสียต่างกันออกไป วิธีที่นำเสนอในปริญญานิพนธ์นี้ เป็นอีกวิธีหนึ่งที่ใช้ในการตรวจสอบ ซึ่งได้ผลในระดับหนึ่ง ผลการทดลองและรายละเอียด วิธีการต่างๆ เหล่านี้ได้แสดงไว้ ในบทถัดไปของวิทยานิพนธ์ฉบับนี้แล้ว

สำหรับอุปกรณ์ที่ใช้ในการจัดทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้นั้น จะประกอบไปด้วย กล้องถ่ายภาพ, แผ่นวงจรดิจิไตเซอร์, Monitor TV ขาวดำ, เครื่องไมโครคอมพิวเตอร์ IBM PC/AT อย่างละชุด อุปกรณ์ดังกล่าวนี้เป็นอุปกรณ์เบื้องต้น ที่จำเป็นสำหรับงานการตรวจสอบลายวงจร (PCB)

สำหรับเนื้อหาใน บทต่างๆมีดังต่อไปนี้คือ

บทที่ 2 จะเป็นเรื่องเกี่ยวกับ ทฤษฎีพื้นฐานทางด้าน Image Processing คร่าวๆ ที่ได้นำมาใช้ร่วม ในการตรวจสอบลายปริ๊นซ์ด้วย ซึ่งมีดังนี้คือ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(1).FILTERING

-Image Smoothing

-Neighborhoods Average

(2).Edge Detection

-Laplasian

-Sobel

(3).Enhancement

-Linear Density Conversion

บทที่ 3 สำหรับเนื้อหาในบทที่ 3 นี้จะเกี่ยวข้องกับ ส่วนที่เป็น HardWare คือเกี่ยวกับ Digitizer Card จะเป็นการอธิบายเกี่ยวกับ การทำงาน ของส่วนที่ทำหน้าที่ในการ เก็บข้อมูลภาพที่เก็บเข้ามา จากกล้องลงไปเก็บไว้ในแผ่นเก็บข้อมูล (Disk)

บทที่ 4,5 ในส่วนนี้จะอธิบายการทำงานตั้งแต่ การนำข้อมูลภาพลายปริ้นซ์ที่ได้มาผ่านขบวนการตั้งแต่ Filter ให้ Noise ลดลงมากที่สุด แล้วนำไปผ่าน โปรแกรมปรับปรุงภาพ Linear Density Conver-sion เพื่อทำให้ได้ภาพ ที่มีความละเอียดเพิ่มขึ้น คือเปลี่ยนจากภาพ 6 Bit เป็นภาพขนาด 8 Bit (หรือไม่ต้องแปลงก็ได้) แล้วจากนั้นก็จะนำมาผ่านการทำ Threadhold เพื่อให้ภาพที่ได้ เป็น Binary Image คือมี 2 ระดับสีเทาคือ 0 กับ 255 จากนั้นก็จะนำภาพที่ได้ ไปผ่านวิธีการในการตรวจสอบวงจร ในที่นี้จะขอกล่าวถึง วิธีในการตรวจสอบ 2 วิธี วิธีแรกจะใช้ Skeleton จะทำให้ได้ขนาดของลายปริ๊นซ์ บางลงเป็นเส้นเดียว จากนั้นก็จะนำไปผ่านโปรแกรม ที่จะตรวจสอบลายวงจรที่ขาด ก็จะทำให้ทราบว่าวงจรส่วนไหนที่ขาด โปรแกรมก็จะแสดงเครื่องหมาย ให้เห็นตรงที่ขาด ส่วนวิธีที่ 2 จะใช้การเก็บตำแหน่งของลายปริ๊นซ์ มาทำการเปรียบเทียบ ก็สามารถที่จะทำให้ทราบ ข้อผิดพลาดของลายปริ๊นซ์ที่มีขนาดที่เกิน หรือ เว้าเข้าไปได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

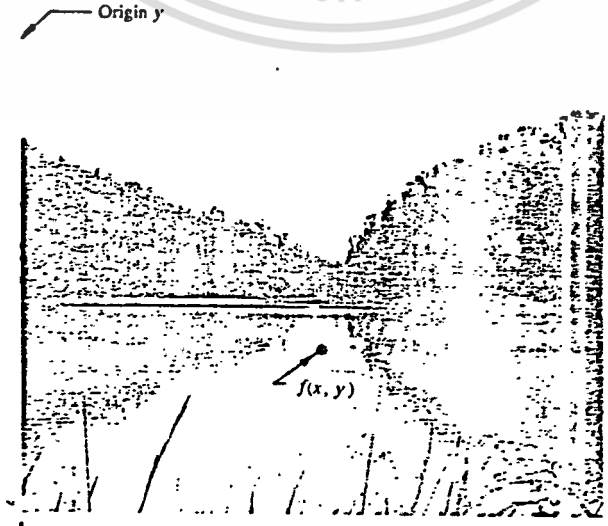
พื้นฐานการประมวลผลข้อมูลภาพ

(Introduction Image Processing)

ในการที่จะศึกษาเกี่ยวกับสัญญาณภาพในทั้ง FREQUENCY DOMAIN และ TIME DOMAIN เพื่อดคุณสมบัติต่าง ๆ จำเป็นที่จะต้องเปลี่ยนสัญญาณภาพ ที่อยู่ในรูปอนาลอกให้เป็นสัญญาณทางดิจิตอล เพื่อประโยชน์ในการคำนวณต่อไปได้ง่ายขึ้น ในบทนี้จะกล่าวถึง ระบบภาพในระบบดิจิตอล ตลอดจนคณิตศาสตร์พื้นฐาน ที่ใช้ในการประมวลสัญญาณภาพ

2.1 การแทนภาพในระบบดิจิตอล (Digital Image Representation)

ภาพ (IMAGE) ในเชิงคณิตศาสตร์ หมายถึง ฟังก์ชั่น 2 มิติ f(x,y) โดย x,y เป็นแกนพิกัดในระนาบของภาพ (Spatial coordinate) ค่าของฟังก์ชั่นที่จุด x,y จะเป็นสัดส่วนกับความสว่าง ซึ่งเรียกว่า ระดับเทา (gray Level) ในรูปที่ 1 แสดงให้เห็นระนาบ และ แกนพิกัดของภาพ ซึ่งโดยทั่วไปเราจะให้จุดกำเนิดของแกนพิกัดอยู่ทางมุมบนซ้ายของภาพ



รูป 2.1 ระนาบและแกนพิกัดที่ใช้ในระบบภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาพในระบบดิจิตอลก็คือ ฟังก์ชั่น f(x,y) ซึ่งถูกสุ่ม (Discretized) ทั้งในแกน x,y และค่าของฟังก์ชั่นก็คือ ระบบสีเทาเราอาจพิจารณาภาพดิจิตอลเป็นเมทริคซ์ ในแถวและคอลัมน์จะแทนตำแหน่งของจุดในภาพ และค่าสมาชิกในเมทริคซ์จะแทนระดับเทาของจุดในตำแหน่งนั้น เราเรียกว่าแต่ละสมาชิกของเมทริคซ์ว่า ฟิกเซิล (Pixel) หรือ (pel) รูปที่ 1 เป็นภาพดิจิตอล ขนาด 64 X 64 ฟิกเซิล (Pixel)

รูป 2.2 ตัวอย่างภาพดิจิตอล ขนาด 64 X 64

2.2 ระบบประมวลภาพทางดิจิตอล (Digital Image Processing System)

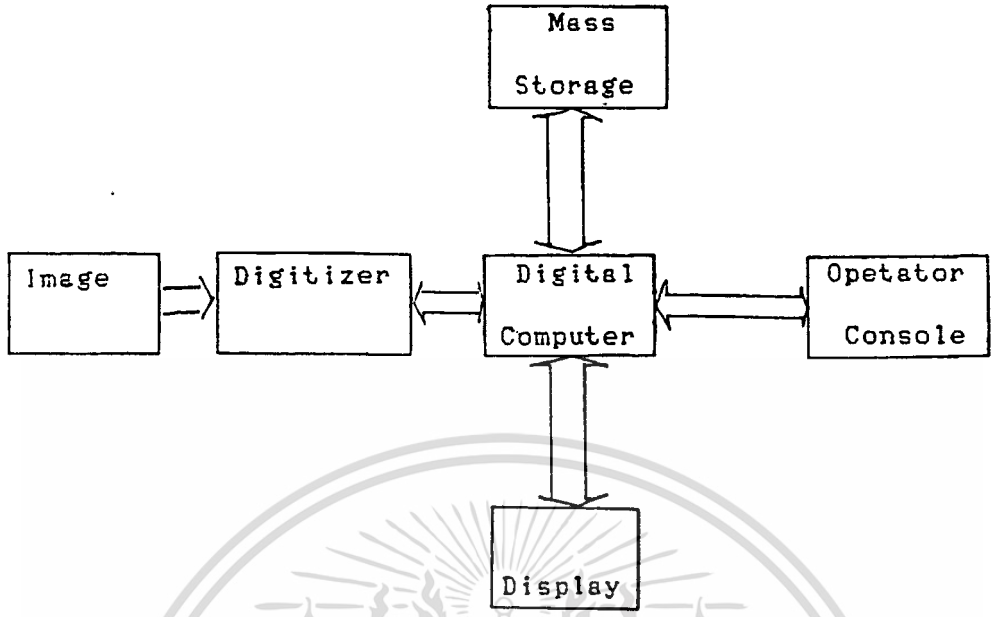
ระบบการประมวลภาพประกอบด้วย 3 ส่วนใหญ่ ๆ คือ

ส่วนเปลี่ยนอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิตอล (Digitizer)

ส่วนประมวลผล (Processing)

ส่วนแสดงผล (Display)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป 2.3 อุปกรณ์ในระบบประมวลภาพดิจิตอล

ส่วนดิจิไตเซอร์ ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณภาพ ให้อยู่ในรูปของตัวเลข เพื่อเป็นข้อมูลเข้าของดิจิตอลคอมพิวเตอร์ส่วนนี้ ได้แก่กล้องโทรทัศน์ ดิจิไทเซอร์ ภายในประกอบด้วยหลอดวิดิคอน ซึ่งทำหน้าที่เป็นสื่อนำไฟฟ้าทางแสง ภาพจะถูกโฟกัสลงบนผิวของหลอด ซึ่งถูกเปลี่ยนให้เป็นสัญญาณไฟฟ้า จากนั้นภาพดิจิตอลจะได้มาจากการควอนไทซิงสัญญาณนี้

สำหรับภาคประมวลผล ก็คือ ดิจิตอลคอมพิวเตอร์ ซึ่งอาจจะใช้ขนาดตั้งแต่ไมโครคอมพิวเตอร์ ถึงเมนเฟรมคอมพิวเตอร์ ในระบบคอมพิวเตอร์นี้อย่างน้อยที่สุด ควรจะมีหน่วยความจำตั้งแต่ 32kB ถึง 64 kB หรือมากกว่า ควรจะมีหน่วยความจำสำรอง (Secondary memory) เช่น ดิสค์ เทปแม่เหล็ก ฯลฯ และมีหน่วยแสดงผล เช่น เครื่องพิมพ์ สำหรับคอมพิวเตอร์

ในภาพแสดงผลหน้าที่ของมันก็คือ เปลี่ยนภาพในสัญญาณดิจิตอลที่อยู่ในรูปของเมทริคซ์ ซึ่งประกอบด้วยค่าตัวเลขที่เป็นน้ำหนักของระดับสีเทา ออกมาเป็นภาพที่ตามนุษย์สามารถสังเกตเห็นได้ ส่วนแสดงผลนี้มักจะเป็นอุปกรณ์ CRT, เครื่องพิมพ์ที่สามารถแสดงผลในรูปของกราฟฟิคได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3 แบบจำลองภาพ (Image Model)

ภาพ 2 มิติ สามารถแสดงได้ด้วยฟังก์ชั่น f(x,y) โดย x และ y เป็นแกนในระนาบของภาพ ค่าของฟังก์ชั่นที่จุด x,y คือความเข้มของแสดงที่จุดนั้น เนื่องจากแสงอยู่ในรูปของพลังงานชนิดหนึ่ง ดังนั้น f(x,y) ไม่เป็นศูนย์และต้องเป็นจำนวนจำกัด

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

จากธรรมชาติของแสง จะต้องมีแหล่งกำเนิด และ ส่วนที่สะท้อนของแสง ดังนั้น เราสามารถแยกฟังก์ชั่น f(x,y) ออกเป็น 2 ส่วนคือ

i (x,y) [อิลูมิเนชั่นคอมโพเนนท์]

r (x,y) [รีเฟลคแทนซ์คอมโพเนนท์]

ผลคูณของ i(x,y) และ r(x,y) ก็คือ ฟังก์ชั่น f(x,y)

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

เมื่อ

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

และ

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

จากสมการจะเห็นว่า ฟังก์ชั่นของการสะท้อน ถูกจำกัดขอบเขตระหว่าง 0 (มีการดูดซึมโดยสมบูรณ์) และ 1 (การสะท้อนโดยสมบูรณ์ ธรรมชาติของ i(x,y) ขึ้นอยู่กับแหล่งกำเนิดแสง ในขณะที่ r(x,y) ขึ้นอยู่กับวัตถุ ที่สะท้อนแสงเข้าตา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ความเข้มของภาพที่จุด (x,y) เราเรียกว่าระดับเทา (l) จาก (2.2) และ (2.4) จะได้ว่า

$$L_{min} \leqslant l \leqslant L_{max} \qquad (2.5)$$

ในทางทฤษฎี L_{min} จะต้องมีค่าบวก ในขณะที่ L_{max} มีค่าจำกัดในทางปฏิบัติ $L_{min} = i_{min} r_{min}$ และ $L_{max} = i_{max} r_{max}$ ช่วงของ $[L_{min}, L_{max}]$ เป็นสากลของระดับเทา ให้อยู่ในช่วง [0,L] โดย [0,L] ครอบคลุม ตั้งแต่ช่วงขาวสุดถึงช่วงที่ต่ำสุด

2.4 <u>การสุ่มแบบสม่ำเสมอ</u> (Uniform Sampling)

เพื่อที่จะประมวลสัญญาณภาพ ด้วยคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชั่นของภาพ f(x,y) จะต้องถูกทำให้เป็นสัญญาณไม่ต่อเนื่อง ทั้งในแกน x และ y ซึ่งเราเรียกว่า Image sampling และได้ค่าของฟังก์ชั่น เราเรียกว่า Gray-level quantization

สัญญาณภาพต่อเนื่อง f(x,y) ถูก digitized ในระนาบ x,y เป็นช่วงๆ เท่าๆกัน ซึ่งเราจัดให้อยู่ในรูปแมตริค ขนาด N X N ดังสมการ 2.7

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทางขวาของสมการนี้ คือ ภาพทางดิจิตอล และทุก ๆ สมาชิกในเมตริกจะเรียกว่า พิกเซิล จากขบวนการสร้างภาพดิจิตอลข้างต้น จะเห็นว่าเราต้องทราบขนาด ความละเอียดของภาพ พิกเซิล และจำนวนระดับเทา ในทางปฏิบัติ การทำควอนไทเซชั่นในระบบภาพดิจิตอล จะเป็นเลขจำนวนเต็ม โดยที่

$$N = 2^n$$

และ

$$G = 2^m$$

โดย G เป็นจำนวนระดับเทา ดังนั้น หน่วยความจำที่ใช้ในการเก็บภาพหนึ่งภาพจะกำหนดโดย

$$b = N \times N \times m$$

ในตารางที่ 1 และ 2 ได้แสดงการใช้หน่วยความจำ เป็นจำนวนบิทและไบท์ตามลำดับ เมื่อค่า N,m เปลี่ยนไป

	1	2	3	4	5	6	7	8
32	1024	2048	3072	4096	5120	6144	7168	8192
64	4096	8192	12288	16384	20480	24576	28672	32768
128	16384	32768	49152	65536	81920	98304	114688	131072
256	65536	131072	196608	262144	327680	393216	458752	524288
512	262144	524288	786432	1048576	1310720	1572864	1835008	2097152

ตาราง 2.1 แสดงจำนวนบิทที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N,m เปลี่ยนไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

027851

	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	32768	65536	131072	131072	262144	262144	262144	262144

ตาราง 2.2 แสดงจำนวนไบท์ที่ใช้ในการเก็บภาพ เมื่อ N และ m เปลี่ยนไป

2.5 ฟูเรียร์ทรานซ์ฟอร์มเบื้องต้น (Concept of the Fourier Transform)

ให้ f(x) เป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่อง ของตัวแปรจำนวนจริง x ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ของ f(x) ซึ่งใช้สัญญลักษณ์ $\mathcal{F}\{f(x)\}$ ถูกนิยามโดยสมการ

$$\mathcal{F}\{f(x)\} = F(u) = \int_{-\infty}^{\infty} f(x)\exp[-j\,2\pi ux]dx \qquad (2.11)$$

เมื่อ $j = \sqrt{-1}$

เมื่อกำหนดฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม F(u) เราสามารถหา f(x) ได้จากการทำอินเวอสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Inverse Fourier Transform)

$$\mathcal{F}^{-1}\{F(u)\} = f(x) = \int_{-\infty}^{\infty} F(u)\exp[j\,2\pi ux]\,du \qquad (2.12)$$

สมการ (2.11) และ (2.12) เรียกว่า คู่สมการของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ซึ่งจะเกิดได้ (exist) ก็ต่อเมื่อ f(x) เป็นฟังก์ชั่นที่ต่อเนื่อง และสามารถอินทีเกรดได้ และ F(u) ต้องสามารถอินทีเกรดได้ด้วย ซึ่งส่วนมาก กรณีเช่นนี้จะเป็นจริงในทางปฏิบัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่อนุญาตให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของฟังก์ชั่นตัวแปรจำนวนจริง f(x) มักจะให้ F(u) เป็นคอมเพ็กส์

$$F(u) = R(u) + j\, I(u) \qquad (2.13)$$

เมื่อ R(U) และ I(u) คือส่วน real และ imaginary ของ F(u) ตามลำดับเพื่อความสะดวก เราจะกระจายสมการ (2.13) ในรูปของ เอ็กซ์โพเน็นเชี่ยล

$$F(u) = |F(u)|\, e^{j\phi(u)} \qquad (2.14)$$

เมื่อ

$$|F(u)| = [R^2(u) + I^2(u)]^{1/2} \qquad (2.15)$$

และ $$\phi(u) = \tan^{-1} [I(u)/R(u)] \qquad (2.16)$$

ขนาดของฟังก์ชั่น F(u) เรียกว่า สเปคตรัมฟูเรียร์ของ f(x)และ O(u) คือ มุมเฟส เมื่อยกกำลังสองของสเปคตรัม (Specturm) จะได้

$$E(u) = |F(u)|^2$$
$$= R^2(u) + I^2(u) \qquad (2.17)$$

ซึ่งเรียกว่า สเปคตรัมพลังงานของ f(x)

ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม สามารถใช้กับฟังก์ชั่น f(x,y) ซึ่งมีตัวแปรอิสระ 2 ตัวถ้าฟังก์ชั่น f(x,y) เป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่อง และสามารถอินทิเกรตได้ และ F(u,v) สามารถอินทิเกรตได้ ดังนั้น คู่สมการของฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มจะเป็น

$$f(x,y) = F(u,v) = \int_{-\infty}^{\infty}\int f(x,y)\exp[-j\,2\pi\,(ux+vy)]\, dxdy \qquad (2.18)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

และ

$$F(u,v) = f(x,y) = \iint_{-\infty}^{\infty} F(u,v)\exp\,[j\,2\,\pi\,(ux+vy)]\,dudv \quad (2.19)$$

เมื่อ u และ v เป็นตัวแปรทางความถี่

ในทำนองเดียวกับกรณี 1 มิติ สเปคตรัมฟูเรียร์, เฟส และ สเปคตรัมพลังงานถูกกำหนดโดยความสัมพันธ์ของสมการต่อไปนี้

$$|F(u,v)| = [R^2(u,v) + I^2(u,v)]^{1/2}$$

$$\phi(u,v) = \tan^{-1}\,[I(u,v) / R(u,v)] \quad (2.21)$$

และ

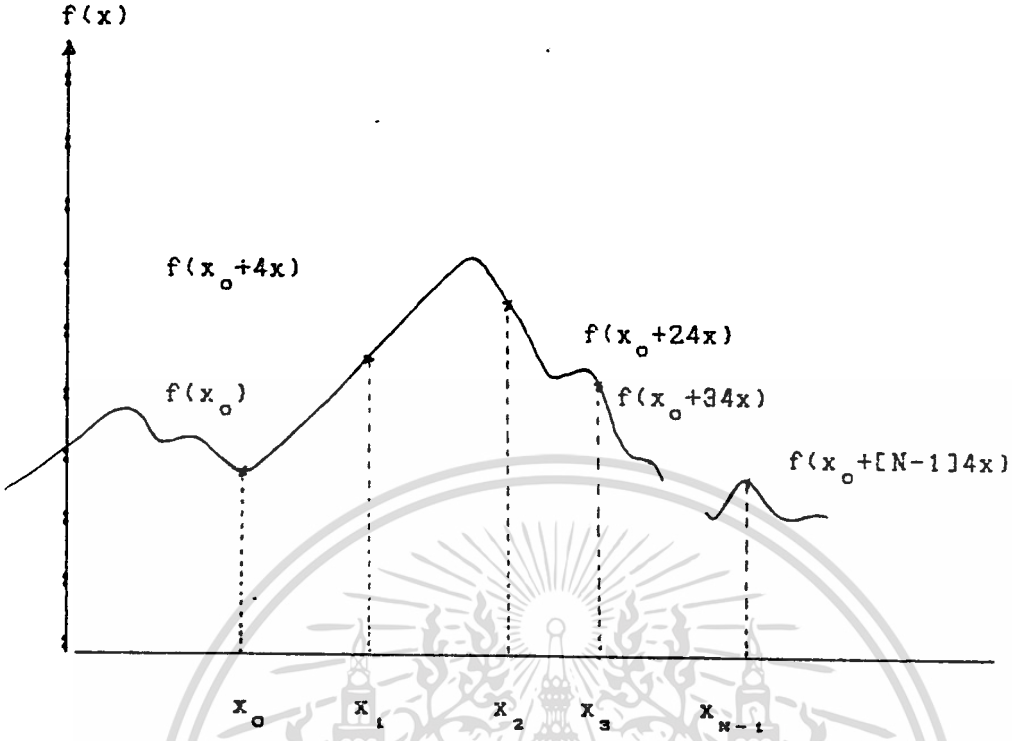
$$E(u,v) = R^2(u,v) + I^2(u,v) \quad (2.22)$$

2.5.1 ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง

(The Discete Fourier Transform)

สมมุติให้ฟังก์ชั่น f(x) เป็นฟังก์ชั่นต่อเนื่องที่ถูกสุ่มในช่วงห่างเท่า ๆ กัน คือ $f(x_o)$, $f(x_o+4x)$, $f(x_o+24x)$,..., $f(x_o+[N-1]4x)$ เป็นจำนวน N ตัวอย่าง โดยมีระยะห่าง 4X หน่วย ดังในรูปที่2.4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.4 ฟังก์ชั่นภาพต่อเนื่องที่ถูกสุ่มในช่วงเท่า ๆ กัน

เราอาจนิยาม f(x) ให้เป็นฟังก์ชั่นดิจิตอล โดย

$$f(x) = f(x_o + x\ x) \qquad (2.23)$$

เมื่อค่า x เป็นค่าของจุดไม่ต่อเนื่องที่ 0, 1, 1,....., N-1 ดังนั้น ขบวนพัลซ์ของ f(x) ข้างต้น อาจเขียนแทนด้วยขบวน f(0), f(1),f(2), ...,f(N-1) จำนวน N ตัวอย่างที่มีช่วงห่างเท่า ๆ กัน

จากสัญญลักษณ์ข้างต้น เราสามารถเขียนคู่สมการของ ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของฟังก์ชั่นสุ่ม f(x) ซึ่งเรียกว่า ฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบไม่ต่อเนื่อง โดย

$$F(u) = 1/N \sum_{x-0}^{N-1} f(x)\exp\ [-j2\pi\ ux/N] \qquad (2.24)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อ U = 0, 1, 2,...,N-1 และ

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} f(u)\exp[j2\pi ux/N] \qquad (2.25)$$

$$f(x) = \sum_{u=0}^{N-1} F(u)\exp[j2\pi ux/N] \qquad (2.25)$$

เมื่อ x=0, 1, 2,..., N-1

ในสมการที่ (2.25) ค่าของ u=0, 1, 2,..., N-1 จะสมนัยกับค่าที่สุ่มมาที่จุด 0, u, 2 u,...,(N-1) u ซึ่งจะเห็นได้ว่า f(u)ในกรณีนี้ จะใช้แทน F(n u) จะเห็นได้ว่า u และ x มีความสัมพันธ์กันโดย

$$\Delta u = 1/N\Delta x \qquad (2.26)$$

ในกรณีฟังก์ชั่นสองตัวแปร สมการคู่ของฟูเรียร์ทราส์ฟอร์ม จะกำหนด โดย

$$F(u,v) = 1/MN \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)\exp[-j2\pi(ux/M+vy/N)] \qquad (2.27)$$

เมื่อ U = 0,1,2,...,M-1, v = 0,1,2,...N-1

และ

$$f(x,y) = \sum_{x=0}^{M-1}\sum_{y=0}^{N-1} f(u,v)\exp[2j\pi(ux/M+vy/N)] \qquad (2.28)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จะเห็นว่าในกรณีนี้ f(x,y) จะถูกสุ่มทั้งสองแกนด้วยระยะห่าง x และ yเท่า ๆ กัน จากการที่เราเขียน f(x,y) ในกรณีนี้ จะหมายถึง ฟังก์ชั่นที่ถูกสุ่มแล้วนั้นก็คือ

$f(x_o+x\ \ x,\ y_o+y\ \ y)$ เมื่อ x = 0.1.2....M-1 และ

y = 0,1,2,...,N-1 ดังนั้น เราสามารถหาความสัมพันธ์ ของพิกัดความถี่และพิกัดภาพได้ดังนี้

$$u = 1/M\,\Delta x \tag{2.29}$$

และ

$$v = 1/N\,\Delta y \tag{2.30}$$

สำหรับฟังก์ชั่นของภาพที่ถูกสุ่มโดยที่ M = N เราจะได้คู่ของสมการฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม

$$F(u,v) = 1/N \sum\sum f(x,y)\exp[-j2\pi\ (ux+vy)/N] \tag{2.31}$$

เมื่อ

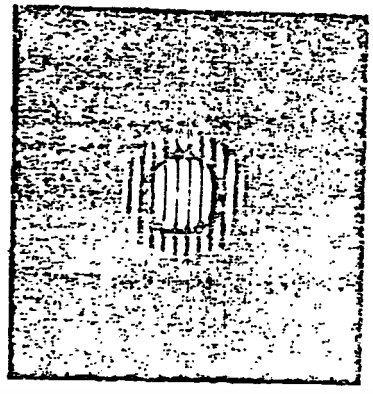
u,v = 0,1,2,...,N-1

และ

$$f(x,y) = 1/N \sum_{u=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{N-1} F(u,v)\exp[j2\pi\ (ux+vy)/N] \tag{2.32}$$

ในรูปที่ 2.5 แสดงภาพและสเปคตราฟูเรียร์ของมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



(ก) ภาพ (ข) สเปคต้าฟูเรียร์ของภาพ

รูปที่ 2.5 ภาพและสเปคตรัมฟูเรียร์ของภาพ

2.6 <u>การคอนโวลูชั่น</u> (Convolution)

เป็นการกระทำทางคณิตศาสตร์ เพื่อวิเคราะห์สัญญาณภาพชนิดหนึ่ง โดยนิยามว่า การ Convolution ของ 2 ฟังก์ชั่น f(x) และ g(a)คือ

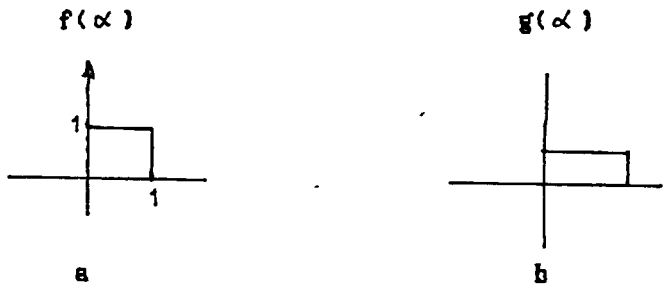
$$f(x) * g(x) = \int_{-\infty}^{\infty} f(\alpha)\, g(x-a)\, d\alpha$$

α = dummy varieble of integration

เมื่อพิจารณาการ convolution ใน TIME DOMAIN จะเห็นว่าเป็นการกระทำที่ยุ่งยากมาก ดังตัวอย่าง

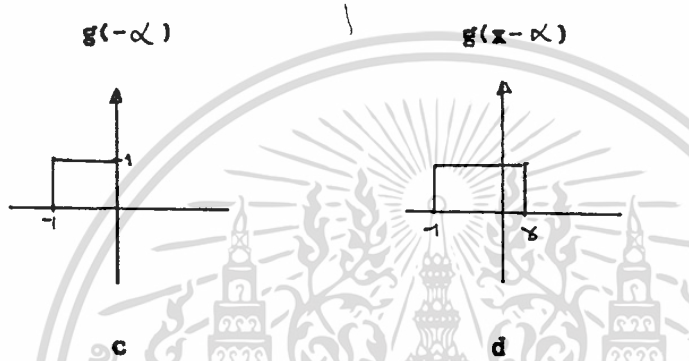
กำหนดฟังก์ชั่น f(x) และ g(x) ตามรูป a และ b

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



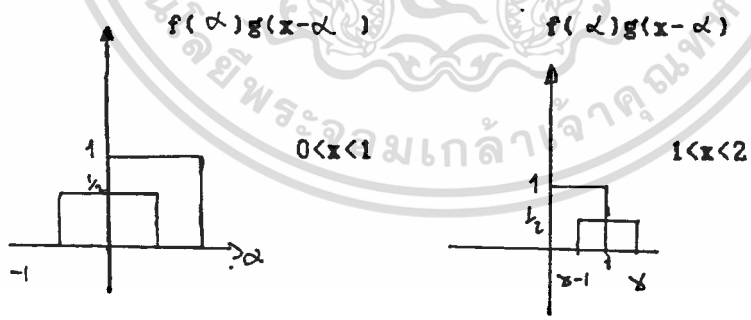
a b

เปลี่ยนรูปเป็น ฟังก์ชั่น g(x-) ตามรูป c และ d



c d

ในแต่ละค่า x ใด ๆ จะได้ผลคูณของ f(α) กับ g(x- α) และอินติเกรตผลลัพท์ จาก -α ถึง α



เนื่องจากผลลัพธ์จะเป็น 0 สำหรับค่าของ ที่อยู่นอกช่วง [0,x] ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ f(x) * g(x) = x/2

สำหรับ x ใน [1,2] ตามรูป f. ในกรณีนี้ f(x) * g(x) = (1-x/2)

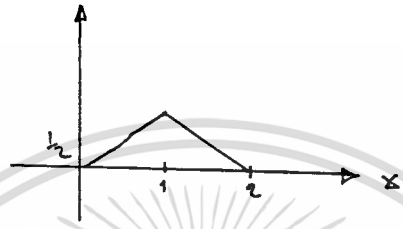
ดังนั้นเมื่อกำหนดให้ f(α) g(x- α) = 0 เมื่อ x อยู่นอก [0,2]

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$f(x) * g(x) = \begin{cases} x/2 & 0<x<1 \\ 1-x/2 & 1<x<2 \\ 0 & \text{elsewhere} \end{cases}$$

จะได้รูปตาม รูป g

f(x) * (x)



กฎที่สำคัญของการ convolution เมื่อพิจารณาใน frequency-domain ก็คือ

$$f(x) * g(x) \longleftrightarrow F(u)\,G(u)$$

และ

$$f(x)\,g(x) \longleftrightarrow F(u) * G(u)$$

โดย F(u) คือ Fourier Transform ของ f(x)

G(u) คือ Fourier Transform ของ g(x)

หมายเหตุ พิจารณาในระบบ one-domainsion

และ กฎของการ convolution นี้สามารถขยายไปสู่ระบบ two-dimension ได้ โดยมีความสัมพันธ์ ดังนี้

$$f(x,y) * g(x,y) \longleftrightarrow F(u,v)\,G(u,v)$$

$$F(x,y)\,g(x,y) \longleftrightarrow F(u,v) * G(u,v)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$F(x,y)\ g(x,y) \qquad F(u,v) * G(u,v)$

ดังนั้น จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนค่าของ function ภาพจาก time-domain ไปสู่ระบบ frequency-domain เพื่อลดปัญหาความยุ่งยากในการคำนวณการ convolution ในระบบ time-domain

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.7) การแปลงค่าแบรดิเซียร์ (Linear Density Conversion)

โดยปกติภาพที่เราถ่าย เข้ามาเก็บไว้ที่ไฟล์ (File) นั้นมีระดับสีเทา (Grey scal) ตั้งแต่ 0 ถึง 255 ระดับ แต่ถ้าเมื่อใดที่ ข้อมูลภาพนั้นมีระดับความสว่าง อยู่ในช่วงใดช่วงหนึ่ง เราก็สามารถที่จะขยายระดับความสว่างของข้อมูลภาพนั้น ให้เต็มช่วง 0 ถึง 255 ได้ วิธีหนึ่งนั่นก็คือการใช้ Linear Density Conversion เพื่อปรับภาพให้ดูดีขึ้น ซึ่งจะมีลักษณะรายละเอียดต่างๆ ดังจะกล่าวต่อไปนี้

ก่อนอื่นขอกล่าวถึงการนำเอา Linear density Conversion ไปใช้ปรับปรุงภาพให้เหมาะสม ตามความต้องการได้เช่น

1.Stretching

เป็นลักษณะการแปลงข้อมูลภาพ จาก 6bit (64 Level) ไปเป็นข้อมูลภาพขนาด 8 Bit (256 Level) ซึ่งก็เป็นการเพิ่มระดับความสว่างขึ้นถึง 4 เท่าตัว

2.Compression

เช่นกันแต่จะเป็นการแปลงภาพขนาด 10 Bits (1024 Level) ซึ่งก็ต้องลดระดับความสว่างของภาพ ลงมาถึง 4 เท่า

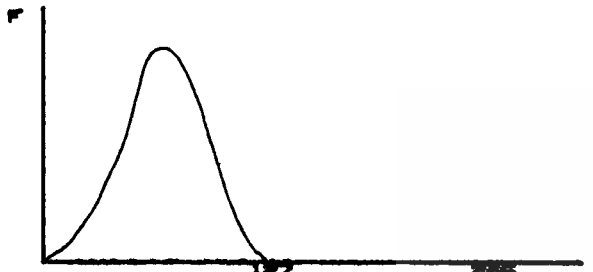
3.Enhancement

เป็นลักษณะการปรับปรุงเฉพราะส่วน เช่น ในการตรวจสอบภาพถ่ายดาวเทียม เพื่อที่จะแยกส่วนที่เป็นพื้นน้ำ หรือพื้นดิน เป็นต้น

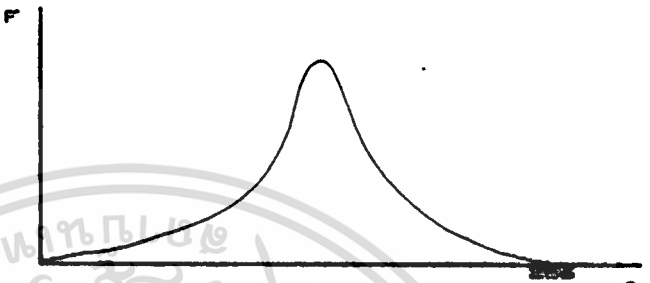
4.Inversion

เป็นลักษณะที่ว่าสามารถ แสดงภาพในลักษณะ ตรงข้าม (Negative) คือ ภาพที่เป็นขาวก็เปลี่ยนให้เป็นดำ หรือ จากภาพสีดำให้เป็นสีขาว เป็นต้น

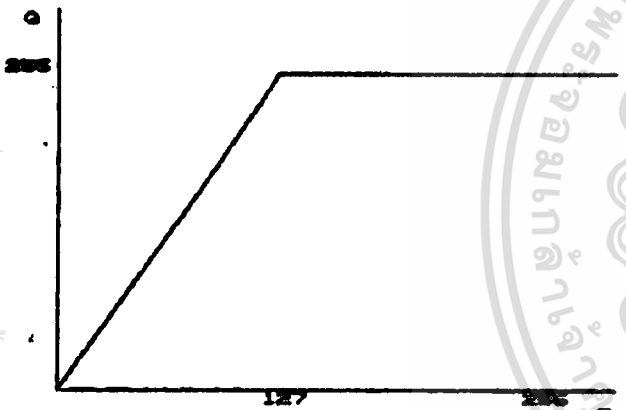
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



< HISTROGRAM OF P >



< HISTROGRAM OF Q >



< CONVERSION FIGURE >

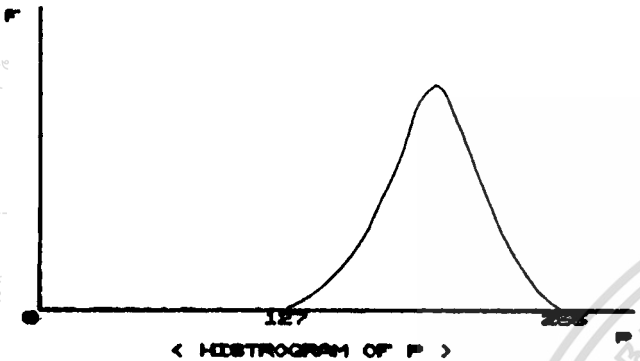
P	Q
0	0
1	1
127	254
128	255
1	1
255	255

< CONVERSION TABLE >

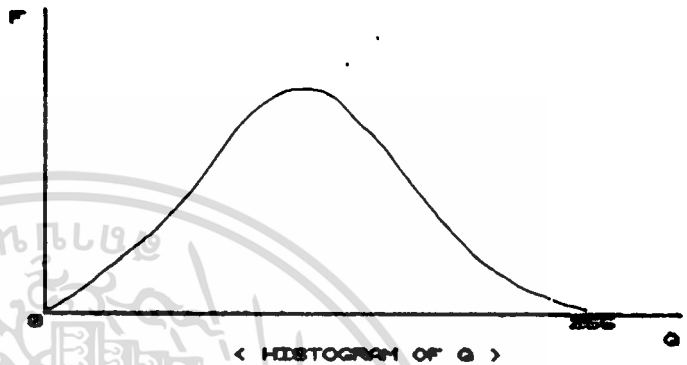
A:Enhancement of the lower part of an image
with gain = 2 and offset = 0 (A=2,B=0)

0 <P(x,y) < 255 0 < Q(x,y) < 255

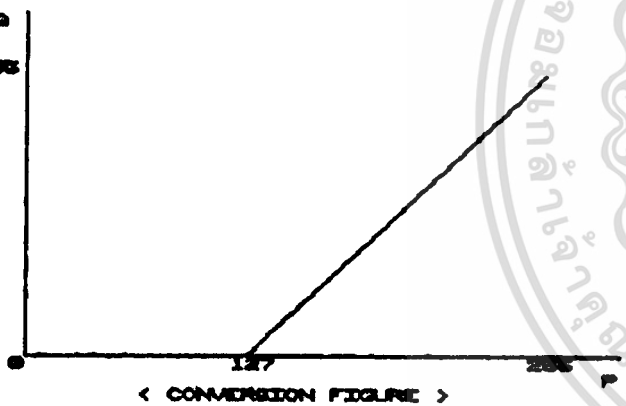
Size	Document Number	REV
A	EX.1	
Date: February 22, 1991	Sheet of	



< HISTROGRAM OF P >



< HISTOGRAM OF Q >



< CONVERSION FIGURE >

P	Q
0	0
1	1
127	0
128	1
1	1
255	255

< CONVERSION TABLE >

B: Enhancement of the higher part of an image
with gain = 2 and offset = -255

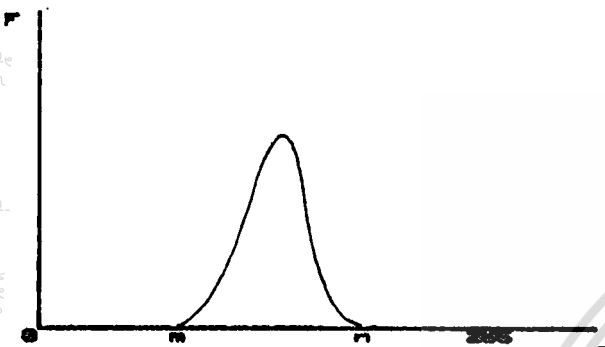
And , B=-255

Size	Document Number	REV
A	Ex.9	
Date: February 22, 1991	Sheet	of

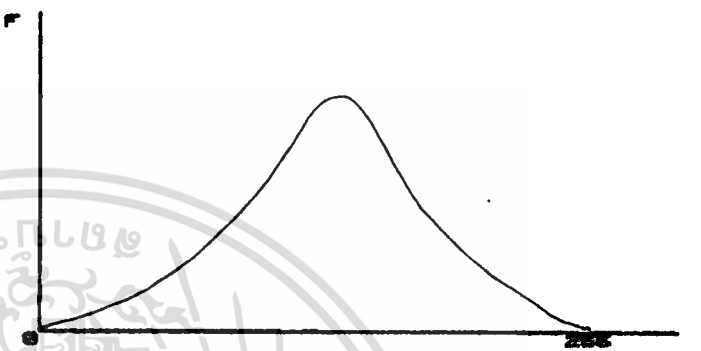
จาก... $y = ax + b$

$0 = (2)(127) + b$

$\therefore b = -349$



< HISTOGRAM OF P >



< HISTOGRAM OF Q >

< CONVERSION FIGURE >

P	Q
0	0
:	:
m	0
:	:
n	255
:	:
255	255

< CONVERSION TABLE >

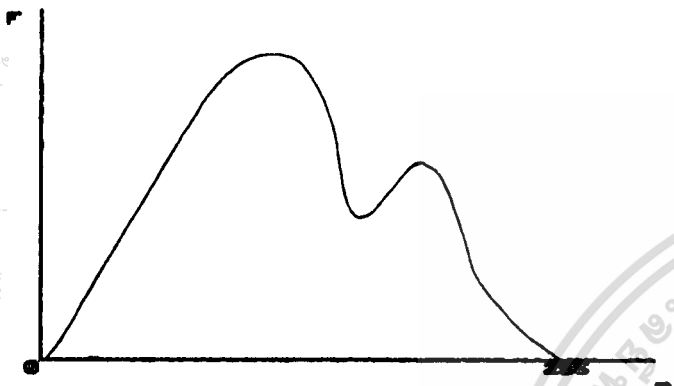
C: Enhancement of the middle part of an image

the middle part :m < P < n

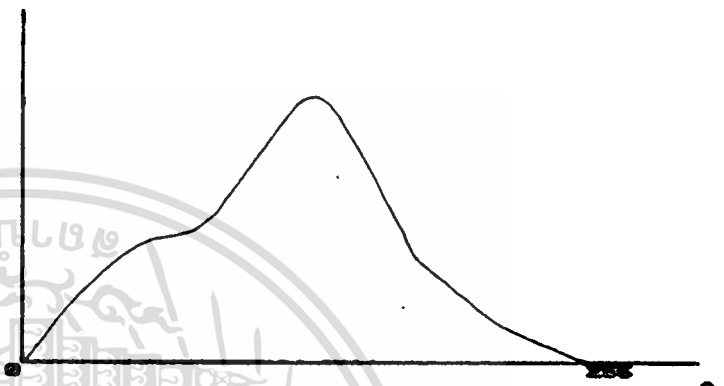
(A) gain = 255/(n-m)

(B) offset = 255-gain . n

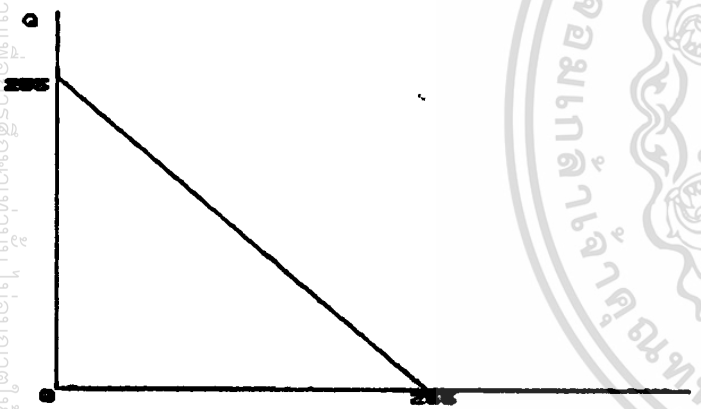
Size	Document Number	REV
A	66. 3	
Date:	February 22, 1991 Sheet of	



< HISTOGRAM OF P >



< HISTOGRAM OF Q >



< CONVERSION FIGURE >

P	Q
0	255
1	1
127	128
128	127
1	1
255	0

< CONVERSION TABLE >

D: Inversion of an image with
(A) gain = -1
(B) offset = 255

Size	Document Number	REV
A		
Date: February 22, 1991	Sheet	of

2.8 การหาขอบภาพ

1. ใช้วิธี Laplacian

$$M(i,j) = \begin{array}{|c|c|c|}\hline -1 & -1 & -1 \\ \hline -1 & 8 & -1 \\ \hline -1 & -1 & -1 \\ \hline \end{array}$$

สมการที่ใช้หาค่าจุดภาพใหม่

$$G(x,y) = \left| \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} f(x-2+i, y-2+j)\ M(i,j) \right|$$

2. ใช้หลักการของ Sobel

$$M_x(i,j) = \begin{array}{|c|c|c|}\hline 1 & 2 & 1 \\ \hline 0 & 0 & 0 \\ \hline -1 & -2 & 1 \\ \hline \end{array} \qquad M_y(i,j) = \begin{array}{|c|c|c|}\hline 1 & 0 & -1 \\ \hline 2 & 0 & 2 \\ \hline 1 & 0 & -1 \\ \hline \end{array}$$

สมการที่ใช้หาค่าจุดภาพใหม่

$$G_x = \left| \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} f(x-2+i, y-2+j)\ M_x(i,j) \right|$$

$$G_y = \left| \sum_{i=1}^{3} \sum_{j=1}^{3} f(x-2+i, y-2+j)\ M_y(i,j) \right|$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$$G(x,y) = \sqrt{(G_x)^2 + (G_y)^2}$$

3. ใช้หลักการของ Differential

$$G[f(x,y)] = \begin{vmatrix} \partial f/\partial x \\ \partial f/\partial y \end{vmatrix}$$

$$G[f(x,y)] = mag[G] = [(\partial f/\partial x)^2 + (\partial f/\partial y)^2]^{1/2}$$

$$G[f(x,y)] = [[f(x,y) - f(x+1,y+1)]^2 + [f(x+1,y) - f(x,y+1)]^2]^{1/2}$$

ทำเป็นค่าบวก

$$G[f(x,y)] = |f(x,y) - f(x+1,y)| + |f(x,y) - f(x,y+1)|$$

2.9 การตัดระดับ (Thresholding)

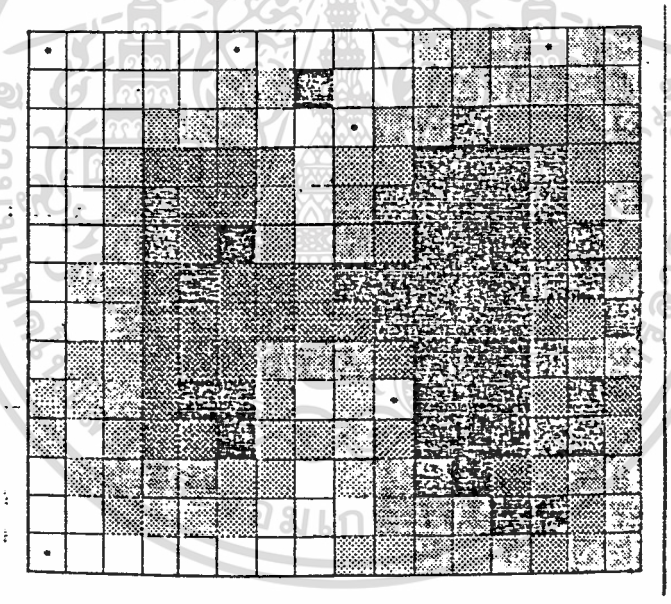
ทฤษฎีอันหนึ่งที่ใช้ในการลดทอนจุดที่เราไม่สนใจออกจากภาพคือ threshold operator ซึ่งจะสร้าง ส่วนของภาพที่เป็นจุดขาวหรือดำ ซึ่งจุดที่เราสนใจอาจจะเป็นจุดขาวหรือดำ โดยการกระทำดังกล่าวนั้นจะทำให้อยู่ในรูปของ binary image ซึ่งมีค่าของ gray values อยู่สองค่า คืออาจจะเป็น 0 กับ 1

พิจารณา image f ในรูปที่ 1 ซึ่ง gray level อยู่ในรูปที่ 2

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

⊙	0	0	0	0	•	0	0	0	0	1	2	3	•	3	3
0	0	0	0	0	1	1	6	0	0	2	3	3	3	3	4
0	0	0	2	1	1	0	0	•	4	4	6	5	5	5	4
0	0	2	7	7	7	5	0	2	5	8	8	8	6	6	5
0	0	2	6	7	7	2	0	4	6	8	8	8	6	5	3
0	0	2	6	7	8	2	0	3	5	8	8	8	7	6	5
0	1	2	7	8	7	7	7	8	8	8	8	8	6	6	4
0	0	4	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7	5	6
0	2	2	7	7	7	3	4	4	7	8	8	8	6	4	3
1	1	4	7	8	8	2	0	1	•	8	8	8	5	6	7
1	0	2	7	7	8	2	2	1	5	8	8	8	6	6	5
0	1	3	3	4	2	2	0	1	4	6	8	7	5	4	3
0	0	2	1	1	2	0	0	0	3	4	4	6	6	5	3
•	0	0	0	0	0	0	0	2	2	3	2	3	5	3	3

รูปที่ 1



รูปที่ 2

จากรูปทั้งสองนั้น gray - level กำหนดให้มีค่าจาก 0 ถึง 8 โดยให้ที่ 0 เป็นตำแหน่งที่เป็นสีขาว และ 8 เป็นส่วนที่เป็นสีดำ ที่ threshold ของ image f โดยให้ค่า t มีค่าเท่ากับ 7 นั้นหมายความว่าค่า gray levelที่น้อยกว่า 7จะถูกกำจัดออกไป โดยค่าที่เท่ากับ 7 หรือ มากกว่า จะถูกกำหนด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ให้มีค่าเป็น 1ซึ่งผลที่ได้จะมี gray level เพียง 2

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมประมวลผลภาพ

1. สร้างเนื้อที่จัดเก็บข้อมูล

ที่รองรับข้อมูลภาพเป็น Array ขนาด 3*256 โดยจะรับข้อมูลเข้ามาเป็น Byte วิธีการรับข้อมูลจะรับทีเดียวเต็ม Buffer คือ 0 ถึง 255 จาก Disk และส่งข้อมูลให้ Array จนครบจำนวน 3 แถว

2. ประมวลผลภาพโดยใช้วิธี Laplacian, Sobel, Differential

ข้อมูที่ถูกประมวลผลจะจัดเก็บใน Array ทีละ Byte จนครบจำนวน 0 ถึง 255 เมื่อเต็ม Buffer แล้วจะเก็บลงใน Disk ทันที

3. การอ่านข้อมูลจาก Disk โดยอ่านเข้ามาครั้งละ 256 จำนวน และเลื่อนข้อมูลภาพใน Array [3,256] ขึ้นไป 1 บรรทัดทุกแถว ข้อมูลที่อ่านเข้ามาจะอยู่แถวสุดท้ายของ Array ต่อไปจะทำตามขั้นตอนใน ข้อ 2 โปรแกรมหยุดจาก Disk ต่อเมื่อ ข้อมูลภาพที่ต้องการถูกอ่านหมดแล้ว คือ 256*256

4. การแสดงผลภาพแบบ Grephic โปรแกรมอ่านข้อมูลจาก Disk จำนวน 256 จุดภาพและแสดงผลบนจอทีลด Pixel ความเข้ม (Intensity) แต่ละจุดถูกแยกแสดงเพียง 2 ระดับ (Binary level) วิธีหาระดับอ้างอิงโดยเฉลี่ยข้อมูลจากทั้งภาพ

ในระดับสูงกว่าค่าอ้างอิงเป็นจุด สว่างสุด ถ้าต่ำกว่าหรือเท่ากับค่าอ้างอิงเป็นจุดดำระดับเท่านั้น จุดที่เป็น* เป็นตำแหน่งที่เราไม่ต้องคำนึงนึง ไม่เกี่ยวข้องกับการทำ threshold

จะเห็นว่าหลักการของการทำ thresholding ก็คือ การกระทำในลักษณะ binary นั่นเองโดยมี input คือ image f และค่าจำนวนจริงคือ t ค่าทาง output ที่ ได้นั้นจะเป็นค่าเฉพาะจุดขาวและดำเท่านั้น

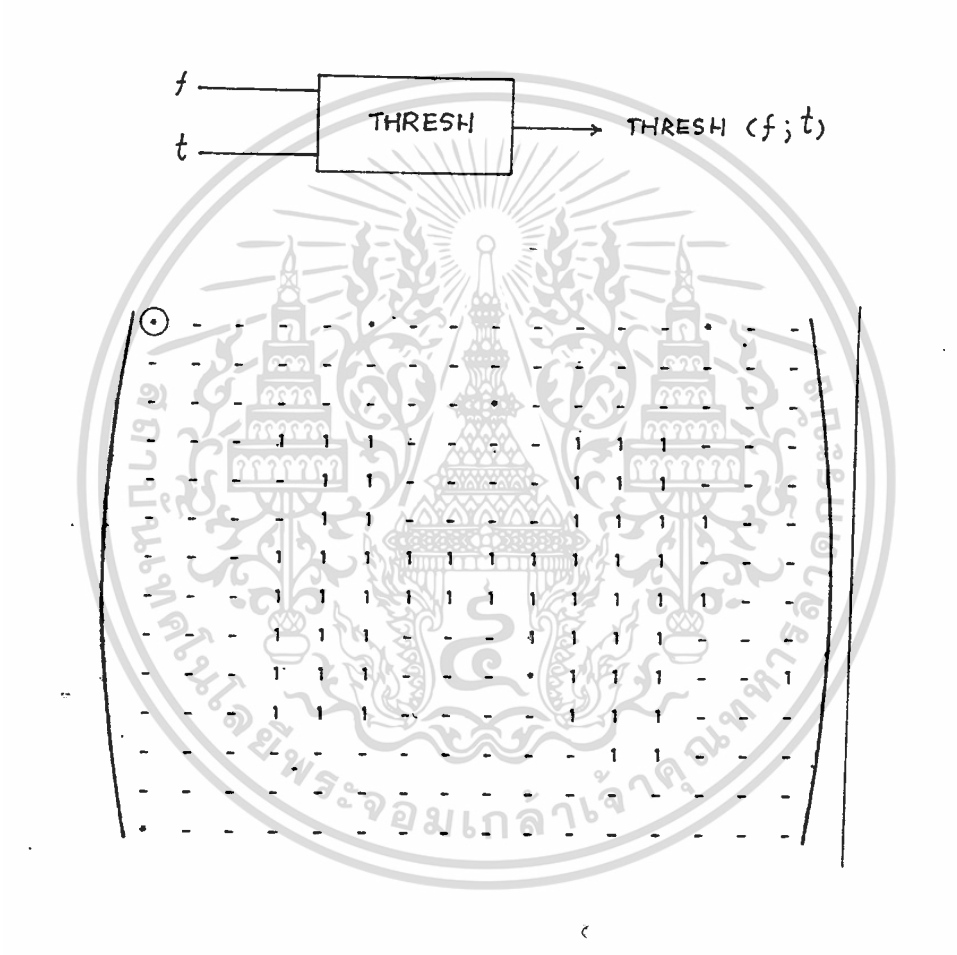
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

นิยามของการทำ thresholding คือ

THRESH(f;t)

defined by

$$[THRESH(f;t)]\ (i,j) = \begin{cases} 1, & \text{if } f(i,j) > \text{or} = t \\ 0, & \text{if } f(i,j) < t \\ *, & \text{if } f(i,j) = * \end{cases}$$

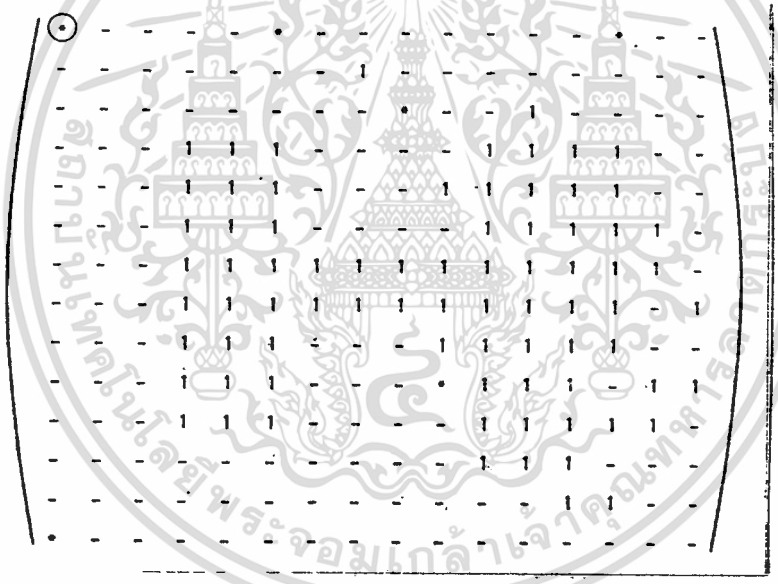


จากรูปที่ 3 จะเห็นว่าจุดสองจุดทางด้านซ้ายบน ของตัว H นั้นมีค่า gray value เป็น 6 ซึ่งเป็นจุดที่ควรจะเป็นส่วนหนึ่งของตัว H แต่ว่าเมื่อเลือกค่า threshold input เป็น 7 ทำให้ที่จุดนั้นต้องถูกกดลงไปเป็น 0 ในทางขวามือของตัว H นั้น จากข้อมูลภาพจะเห็นว่ามีความเข้มมากกว่าทางซ้ายมือซึ่งอาจจะเกิดจากการให้แสงสว่างไม่ที่ถูกต้อง ในการเก็บข้อมูลหรือความผิดพลาดในการสื่อสารข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

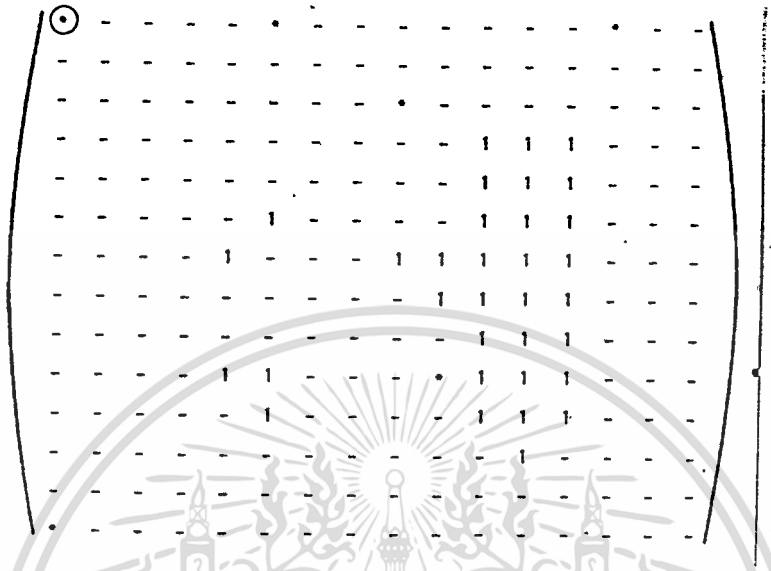
จากที่กล่าวมาแล้วว่าจุดสองจุดทางซ้ายมือ นั้นเป็นจุดที่ถูกต้อง ซึ่งมีค่า gray value เป็น 6 อย่างไรก็ตามเราสามารถที่จะ ดึงค่านี้ขึ้นมาได้โดย ให้ค่า THRESH(f;6) เช่นเดียวกันกับทางขวามือ ที่มีจุดที่เกินออกมา ซึ่งจะกำจัดออกได้โดยให้ค่าที่ THRESH(f;8)ผลที่ได้จากการทำ THRESH (f;6) และ THERSH (f;8) นั้น เป็นดังรูปที่ 4 และ 5 จากรูปจะเห็นว่ายิ่งทำให้เกิด distortion เพิ่มมากขึ้นไปอีก ดังนั้นที่จุด(f;7) จึงเป็นจุดที่มีค่า t ดีที่สุด

ในการกำหนดค่า t ที่ดีที่สุดนั้นวิธีอันหนึ่งก็คือการทำ Histogram เพื่อเลือกค่า threshold ที่ดีที่สุด



รูปที่ 4 THRESH (f;6)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ THRESH (f;8)

2.10 <u>การตรวจหาเส้นขอบ</u> (EDGE DETECTION)

Partial Difference Operator ปกติแล้วในส่วนของภาพที่จะเกิดเป็นขอบให้เห็นได้นั้นที่ขอบของภาพจะต้องมีค่า gray value ที่ต่างกันอยู่ระดับหนึ่ง ซึ่งที่จุด ๆ นี้ จะช่วยให้เราสามารถที่จะหาขอบเขตของภาพนั้นได้

วิธีการหาขอบของภาพโดย Partial Difference Operatir มีรูปแบบดังนี้คือ

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

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

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

บล็อกไดอะแกรม ของ DX เขียนได้ดังนี้

ส่วนของ DY ก็เช่นเดียวกัน

ตัวอย่างของ Partial Difference Operator

จาก

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Partial Difference Operator ของ DX

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

ตัวอย่างของการคำนวณค่า gray value มีดังนี้คือ

[DX(f)](1,5)=5-4=1

[DX(f)](2,5)=4-5=-1

[DX(f)](3,5)=1-4=-3

[DX(f)](5,2)=*, since f(5,2)=*

[DX(f)](0,0)=*, since f(-1,0)=*

เช่นเดียวกันค่าของ DY จะได้ว่า

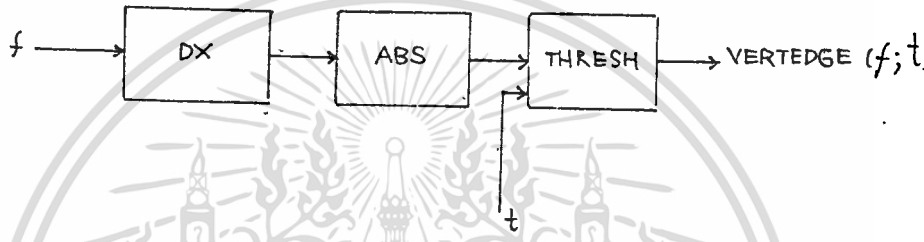
$$DY(f) = \begin{bmatrix} * & -1 & 0 & 0 & -1 & -1 \\ -1 & 1 & -1 & -1 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 & 0 & -2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -1 & 0 & * \\ -1 & 0 & -1 & 0 & -1 & * \\ -1 & 0 & 0 & -1 & 0 & -1 \\ * & * & * & * & * & * \end{bmatrix}_{0,6}$$

จาก DX(f) จะเห็นได้ว่า ใน column ที่ 4 จะให้ค่าความแตกต่างของ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

gray value สูงสุด ซึ่งค่าของ DX(f)และDY(f) นี้เราจะไม่คิดเครื่องหมาย คือทำเป็นค่า Absolute เมื่อนำมาทำ THRESH แล้วจะได้ดังรูปที่ โดยให้ค่า t=3

บล๊อกไดอะแกรมของการทำ edge-detection กับ DX สามารถเขียนได้ดังนี้คือ



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

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

ตัวอย่างในการ Detect Curved edges

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(a) f=

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

ABS[DX(f)]

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

ABS[DY(f)]

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

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

VERTEDGE (f;3)

```
* - - - - - - - - - - -
* - - - 1 - - 1 - - - -
* - 1 - - - - - - - 1 -
* 1 - - - - - - - - - 1
* 1 - - - - - - - - - 1
* - 1 - - - - - - - 1 -
* - - - 1 - - 1 - - - -
* - - - - - - - - - - -
```

2,4

HOREDGE (f;3)

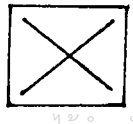
```
- - - - 1 1 1 - - - -
- - 1 1 - - - 1 1 - -
- 1 - - - - - - - 1 -
- - - - - - - - - - -
- 1 - - - - - - - 1 -
- - 1 1 - - - 1 1 - -
- - - - 1 1 1 - - - -
* * * * * * * * * * *
```

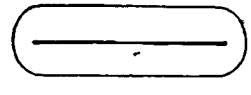
2,4

2.11 <u>ทฤษฎีเบื้องต้น ในการหาขอบโครงร่างภาพ</u>

ทฤษฎี SKELETON

Skeleton คือการหาส่วนที่เป็นโครงร่างของภาพ เพื่อให้เข้าใจได้ง่ายพิจารณาจากรูปข้างล่าง





เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการหาค่า Skeleton นั้นก่อนอื่นจะต้องมีค่า constant image หรือ template โดยที่จุด origin ของแต่ละ plate นั้นจะอยู่ใกล้จุด center

$$D_1 = (\ 1\ )$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

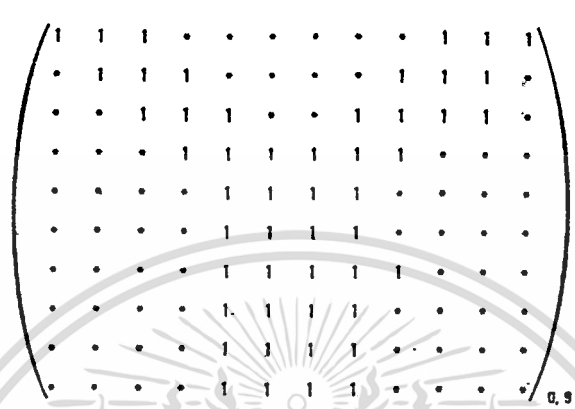
$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

$$D_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อมูลภาพ

(a) T =



ที่จุด (1,8) จะเห็นได้ว่าค่า MAXDISK (1,8) =

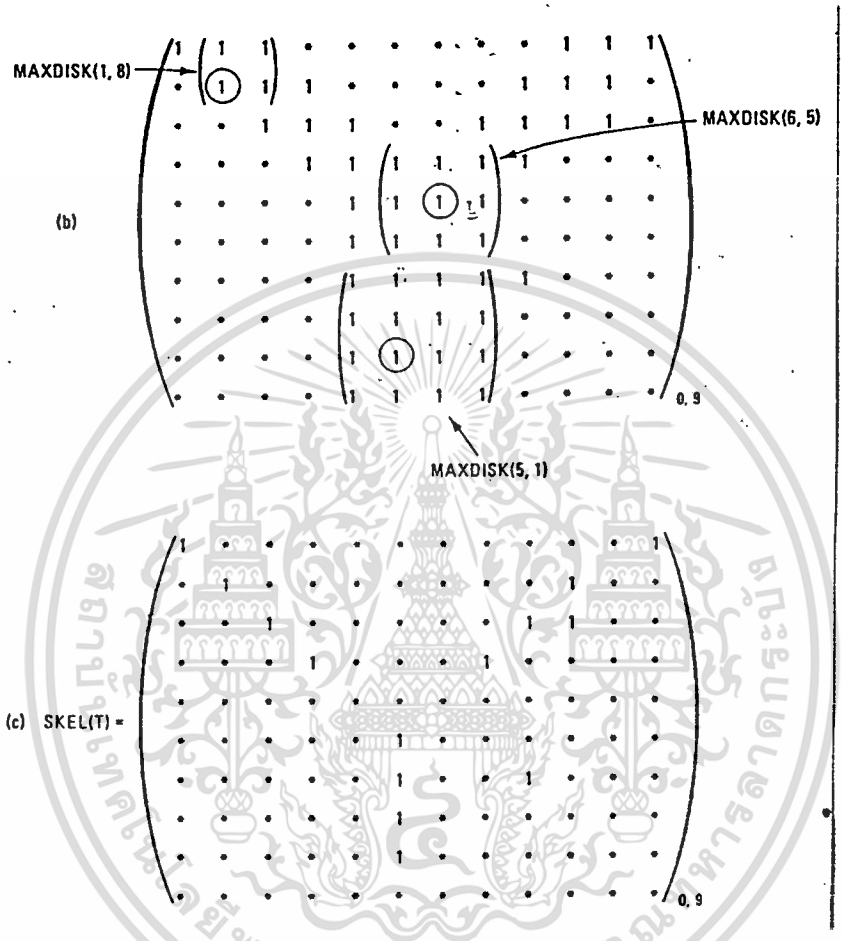
$$\begin{bmatrix} 1 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}_{1,2}$$

(5,1) ค่า MAXDISK (5,1) =

$$\begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}_{4,2}$$

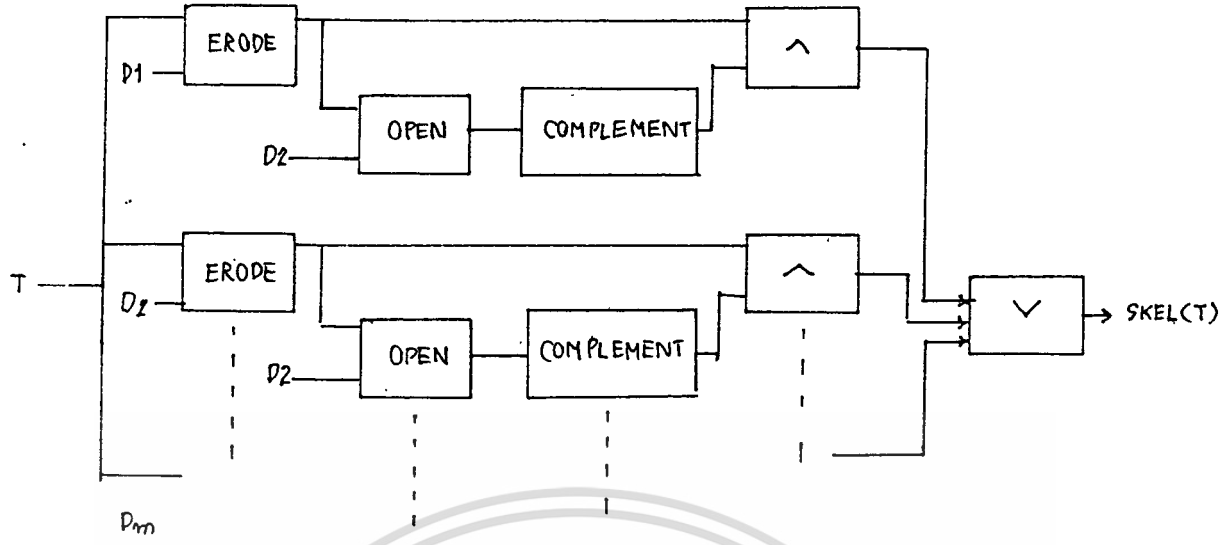
จากรูปที่จุด (1,8)และ(5,1)นั้น อยู่ใน domain ของ skeleton T แต่ว่า จุด(6,5) นั้นยังไม่อยู่ใน domain ของ T เนื่องจากในตำแหน่งนี้ สามารถครอบคลุมในส่วนของ square disk D4 ผลที่ได้จากการทำ skeleton อยู่ในรูปที่ 3 ซึ่งเขียนเป็น SKEL (T)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ได้จะเห็นว่าเป็นลักษณะของอักษรตัว Y ซึ่ง skeleton ที่ได้ค่อนข้างชัดเจน โดยที่จุด (8,3)นั้นเป็นค่าของ noise โดยเป็นจุดที่ไม่เกี่ยวข้องกับการทำ skeleton เลย อย่างไรก็ตาม sKeleton ที่ได้นั้นจุดที่ได้ยังไม่ต่อเนื่องโดยในแถวที่ 5 นั้นไม่มี Pixel ใดที่ถูกจับค่าได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



จากรูปที่ 4 นั้นเป็น Block Diagram ของการทำงาน SKEL ค่าของ m นั้นเป็นค่า mainium ระหว่างจำนวนแถวและ column ของ bound matrix นั้น ๆ

จาก Block Diagram ตัวอย่างของการทำ skeketon มีดังนี้

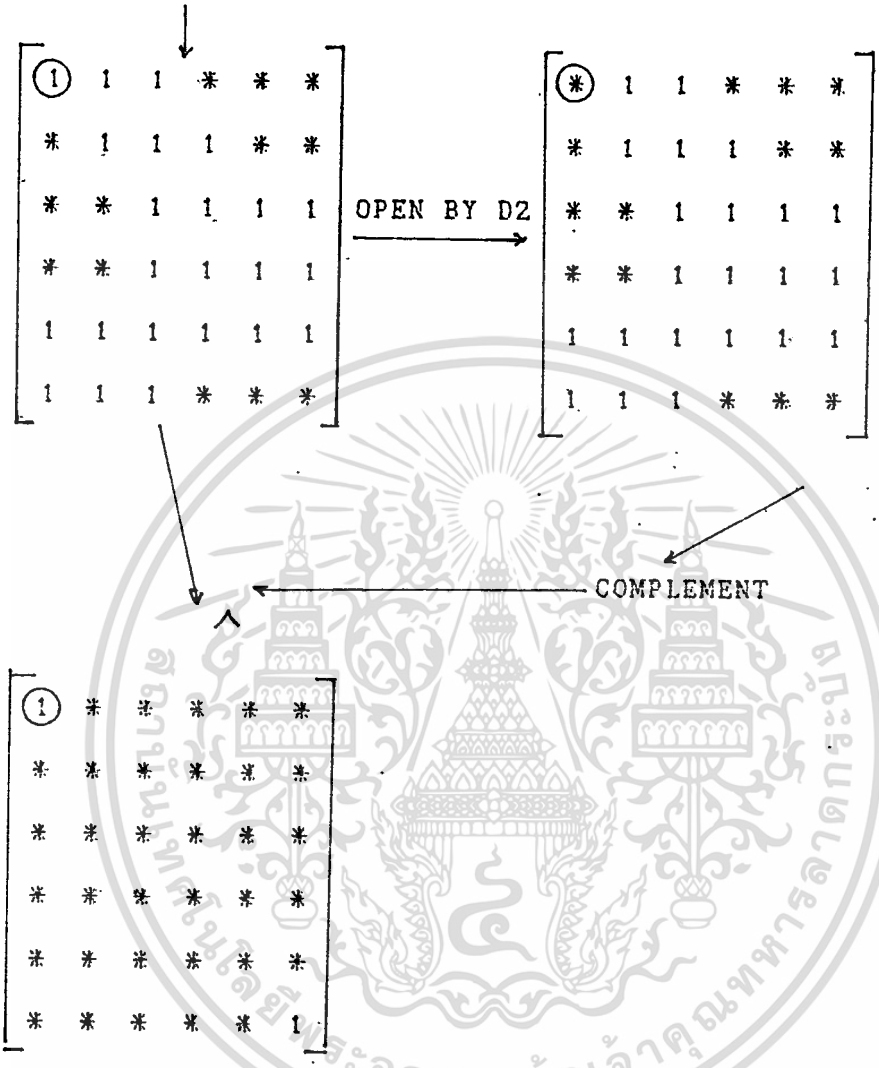
$$R = \begin{bmatrix} \textcircled{1} & 1 & 1 & * & * & * \\ * & 1 & 1 & 1 & * & * \\ * & * & 1 & 1 & 1 & 1 \\ * & * & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & * & * & 1 \end{bmatrix}$$

↓

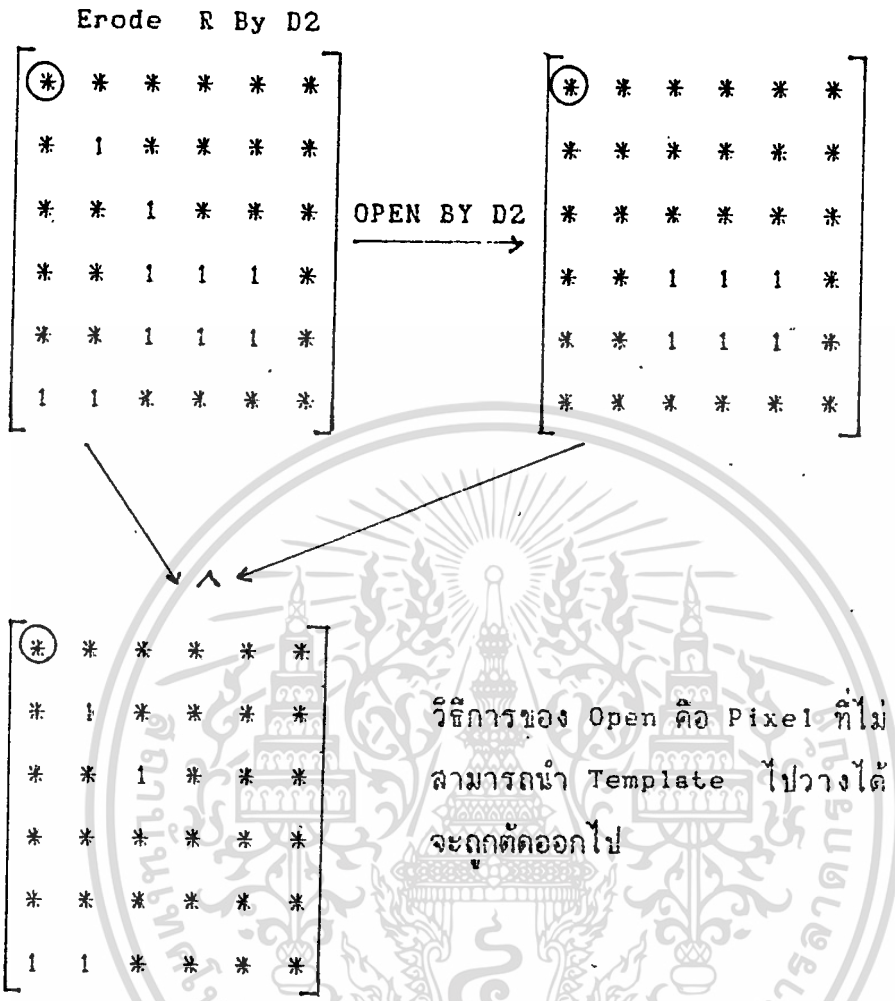
ERODE R BY D1

↓

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

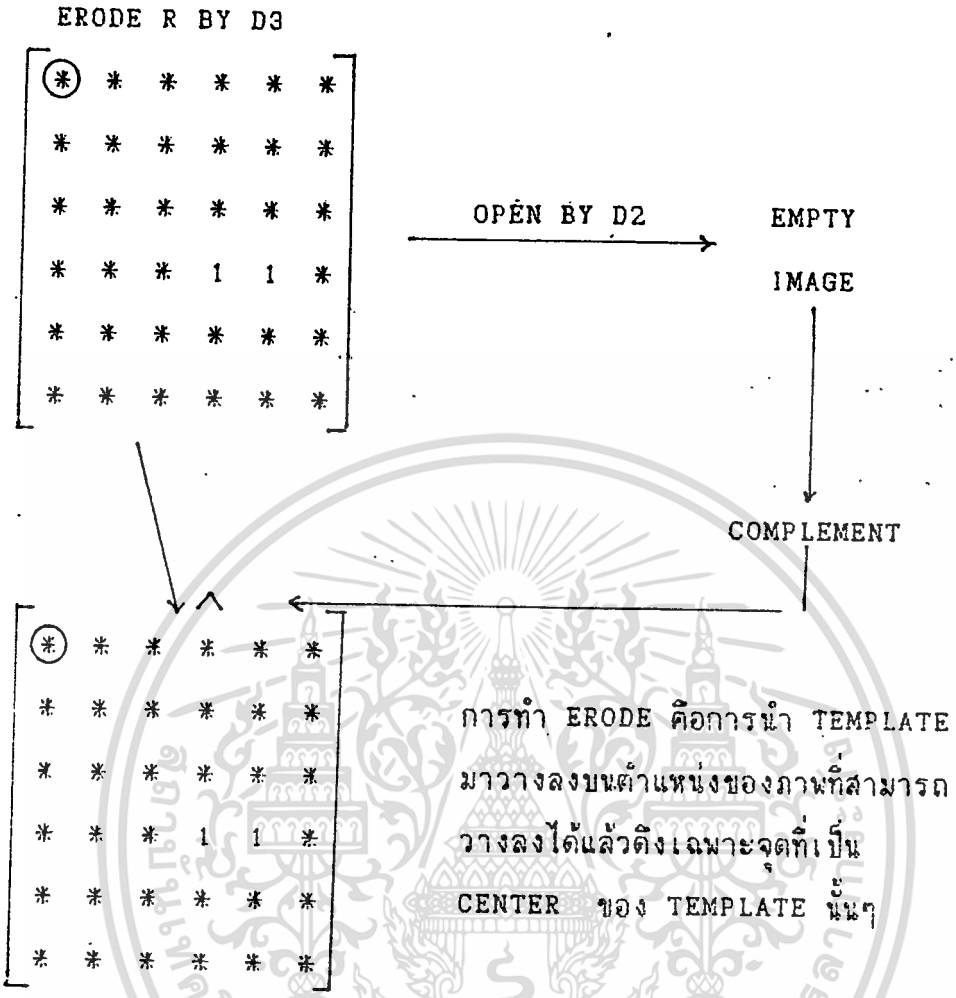


เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



วิธีการของ Open คือ Pixel ที่ไม่สามารถนำ Template ไปวางได้จะถูกตัดออกไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



การทำ ERODE คือการนำ TEMPLATE มาวางลงบนตำแหน่งของภาพที่สามารถวางลงได้แล้วดึงเฉพาะจุดที่เป็น CENTER ของ TEMPLATE นั้นๆ

APPLY V = EXTMAX TO THE THREE OUTPUT IMAGE

SKEL(R) =

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

แผ่นเก็บข้อมูลภาพ
(IMAGE CARD)

ภาพที่ตาเราสามารถมองเห็นได้นั้น เกิดขึ้นเนื่องจาก มีแสงไปกระทบที่วัตถุนั้น แล้วสะท้อนมาเข้าตาเรา ถ้าหากไม่มีแสง เราจะไม่สามารถมองเห็นภาพนั้นได้เลย และการที่เราสามารถมองเห็นภาพเป็นสีต่างๆได้นั้น ก็เนื่องจากว่าวัตถุนั้นๆ มีความสามารถในการดูดกลืนแสง ของแต่ละสีไม่เท่ากัน จึงทำให้เรา สามารถเห็นวัตถุนั้น เป็นสีต่างๆได้ ปกติแล้วภาพที่เห็นนั้น ก็คือแสงสะท้อนออกจากวัตถุนั้นๆ ในการเปลี่ยนความเข้มของแสง ที่สะท้อนออกมานั้นให้เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า เราเรียกสัญญาณที่ได้จากการเปลี่ยนแสงเป็นไฟฟ้า นี้ว่าสัญญาณภาพ อุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนความเข้มของแสง เป็นสัญญาณทางไฟฟ้า นั้นมีอยู่หลายชนิดด้วยกัน แต่ที่นิยมและรู้จักกันดี คือ หลอด วิดิค่อน ซึ่งเราจะพบอยู่ทั่วไปในรูปของกล่องวีดีโอ (Video Camera) หรือกล้องทีวี สัญญาณภาพที่ได้มาจากกล้องวิดิโอหรือกล้องทีวีนั้น จะมีลักษณะเป็นสัญญาณที่ ต่อเนื่อง (Analog Signal) และ จะมีลักษณะของสัญญาณ เป็นสัญญาณรวม หลายๆสัญญาณ (Composite Video Signal)

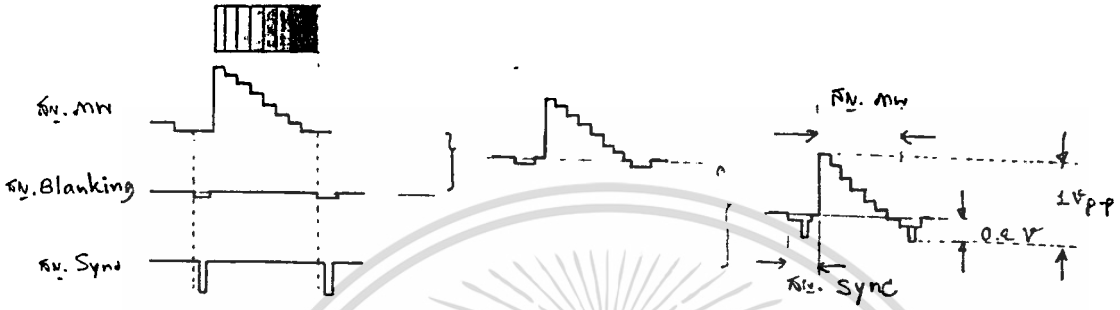
3.1 ระบบสัญญาณโดยรวม
(Composite Signal System)

3.1.1 ส่วนประกอบของภาพ
(Picture Elements)

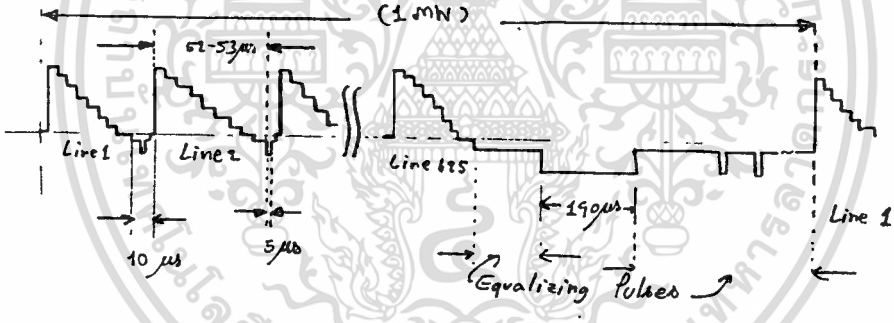
ภาพจะประกอบไปด้วยจำนวนขาวดำมากมาย จัดเรียงตัวกันทำ ให้เกิดภาพขึ้น เราเรียกจุดขาวดำเหล่านี้ว่า ส่วนประกอบของภาพ (Picture Element) นอกจากนี้ระดับความสว่างของจุดภาพ ยังเป็นตัวกำหนดความ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สำหรับ Image Card ที่ใช้ในโครงงานนี้นั้น จะใช้วิธีการแสดงภาพที่เก็บไว้ในหน่วยความจำ โดยไม่มีสัญญาณ Equalizing Pulse เนื่องจากเป็นวิธี การ Scan แบบก้าวหน้า (Progressive Scanning) ซึ่งมีข้อดี คือ ระบบการทำงานของ Card ง่ายขึ้นและยังประหยัดค่าใช้จ่ายด้วย



(3.3) รูปร่างของสัญญาณโทรทัศน์ ที่เกิดขึ้นจากภาพขาวสลับดำ เป็นแถบๆ



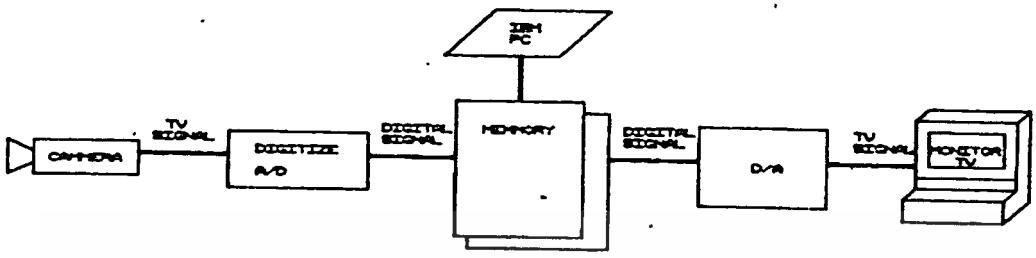
(3.4) ขนาดและช่วงเวลาของสัญญาณภาพที่ใช้ ในการ์ดที่ทดลอง

จากที่กล่าวมาแล้วว่าสัญญาณ Sync ทางแนวนอน จะเกิดขึ้นทุกๆ 64 µs และสัญญาณตัวนี้จะเป็นตัวบอกให้ทราบว่าการ Scan ของเส้น Scan นั้นได้สิ้นสุดลงแล้ว และกลับไปยังขอบด้านซ้ายของจอ เพื่อที่จะ Scan ใน Lineใหม่ต่อไปรอบๆสัญญาณ Sync แต่ละสัญญาณจะมี Blanking Voltage อยู่ด้วย เพื่อให้แน่ใจว่า ในการสบัดกลับของเส้น Scan จะไม่แสดงให้เห็น บนหน้าจอ เมื่อหักลบเวลาในการสบัดกลับแล้ว จะเหลือเวลาที่จะ แสดงภาพจริงประมาณ 52 µs สำหรับแต่ละ Line สัญญาณ Sync ในแนวตั้ง จะเป็นตัวบอกให้ทราบว่า เมื่อไหร่จึงจะจบ Fieldแล้วให้สบัดกลับสู่ด้านบนของจอ เพื่อ Scan Field ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 Image Interface Card

Concept



รูป (3.5)

หลักการทำงานเบื้องต้นคือ การนำเอาสัญญาณภาพที่ได้มาทางกล้องมาผ่านขบวนการแปลงสัญญาณภาพ เป็นสัญญาณ Digital แล้วนำเอาไปเก็บไว้ใน Memory และเมื่อต้องการที่จะแสดงผลข้อมูลที่เก็บไว้ใน Memory ออกมาดูก็จะทำได้โดย นำข้อมูลนั้นมาผ่านขบวนการแปลงข้อมูลที่เป็น Digital ให้มาเป็นสัญญาณภาพดังเดิม แล้วส่งออกไปแสดงผลที่ Moniter TV สำหรับส่วน IBM Pc นั้น จะทำเป็นตัวควบคุมการทำงาน และเป็นตัวนำเอาข้อมูลที่ผ่าน Digitizer มา นำไปผ่านขบวนการ Process ทาง Solfwsre เพื่อที่ให้ข้อมูลเป็นไปตามผลที่ต้องการ

Sync Clamp & Video Buffer

ในส่วนนี้จะทำการแยกสัญญาณ Sync ออกจากสัญญาณภาพ และจะส่งสัญญาณภาพไปยัง A/D ส่วนสัญญาณ Sync จะนำไปผ่านไปยังชุด Sync Detector เพื่อสร้าง Sync Pulse ไว้ใช้ในการควบคุมต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(3) Sync Pulse

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อช่วยทำให้ วงจรหักเหทางแนวนอน และแนวตั้ง ในเครื่องส่ง และ เครื่องรับโทรทัศน์มีความถี่ ตรงกันตลอดเวลา ในระบบยุโรป สัญญาณ Sync ทางแนวนอน เท่ากับ 15,625 Hz และ สัญญาณ Sync ทางแนวตั้ง มีความถี่เท่ากับ 50 Hz

เนื่องจากความถี่ของสัญญาณ Sync มีค่าเท่ากับ ความถี่สัญญาณ Blencking พอดี จึงจำเป็นต้องป้องกันการรบกวนกัน ที่อาจเกิดขึ้นได้ โดยการกำหนดขนาดของ Sync Pulse ให้น้อยกว่าขนาดของ Blanking Pulse โดยการทำให้ Sync Pulse ทางแนวนอนมีขนาดเพียง 5 µs และ Sync ทางแนวตั้งมีขนาดประมาณ 190 µs นอกจากนี้ ยังสามารถทำได้โดย การส่ง Sync Pulse เหล่านี้ปนไปกับ Blanking Pulse อีกด้วย โดยให้ฐานของ Sync Pulse อยู่ทับขอบบนของ Blanking Pulse อีกชั้นหนึ่ง เมื่อจัดระดับความต่างศักย์ ในระดับสูงสุดของ Blanking Pulse เป็นระดับดำมืดจนมองไม่เห็นแล้ว ระดับของ Sync Pulse ที่อยู่บนยอดสูงสุดของ Blanking Pulse ก็จะดำมืดสนิดไปด้วย และ ไม่ทำให้เกิด การรบกวนที่จอแต่อย่างใด

(4) Equalizing Pulse

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อช่วยให้

-สัญญาณ Sync ทางแนวตั้ง ยังคงมีรูปร่างดีเหมือนเดิม หลังจากการแยกออกจากสัญญาณ Sync ทางแนวนอน

-ช่วยให้การ Scan แบบไขว้กัน เป็นไปโดยเรียบร้อยสม่ำเสมอ

-ช่วยให้สัญญาณ Sync ทางแนวนอน ไม่ขาดหายไปในช่วงเวลาของสัญญาณ Sync ทางแนวตั้งอีกด้วย

-สัญญาณนี้มีความจำเป็นสำหรับการ Scan แบบสลับกัน เพราะช่วยลดความผิดผลาด ที่เกิดขึ้นเนื่องมาจาก การสบัดกลับที่ผิดตำแหน่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

lcdo จะเป็นดังรูป จะเห็นว่า ในแต่ละ Field ของการ lcdo จะใช้เวลา $^{1}/_{50}$ วินาที และมีจำนอนของเส้น lcdo เท่ากับ $^{625}/_{2}$= 312.5 เส้น(ยุโรป) ดังนั้น แต่ละเส้น จะใช้เวลาในการ สแกน เท่ากับ $(^{1}/_{50})/_{312.5}$ = 64 µs เพราะฉะ นั้นสัญญาณ Sync ในแนวนอนจะเกิดขึ้นทุกๆ 64 µs

3.1.3 สัญญาณรวม

(Composite Signal)

สัญญาณโทรทัศน์จะประกอบไปด้วย สัญญาณต่างๆดังต่อไปนี้

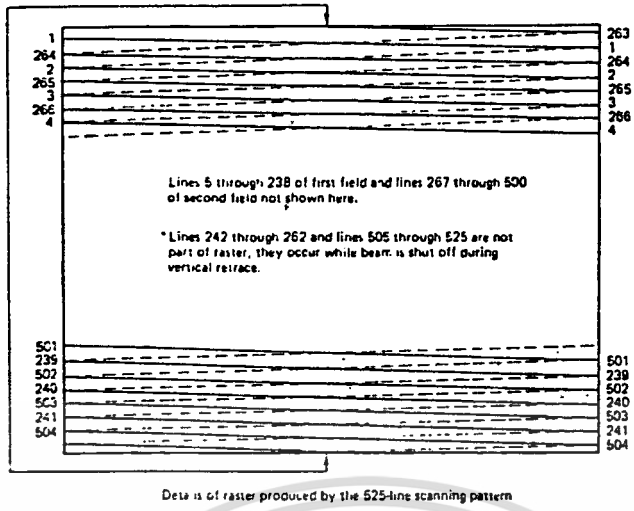
(1) Video And Signal

เป็นสัญญาณที่ใช้ทำให้เกิดภาพ รูปลักษณะต่างๆ และเสียงตามต้องการ แต่สำหรับที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ เป็นสัญญาณภาพอย่างเดียว

(2) Blanking Pulse

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อลบ Scan สบัดกลับทั้งในแนวนอน และในแนวตั้ง เพื่อมิให้สังเกตุเห็นได้ชัดทางจอภาพ สำหรับระบบสัญญาณโทรทัศน์ระบบอเมริกัน สัญญาณ Blanking ระหว่าง Scan (Horizontal Blanking)จะมิขนาดประมาณ 10 µs ทำนองเดียวกันสัญญาณ Blanking ระหว่าง Field (Vertical Blanking)จะมิขนาดประมาณ 1,250 µs ส่วนสัญญาณ Blanking ของสัญญาณโทรทัศน์ ระบบ ยุโรป มิค่าประมาณนี้เช่นกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



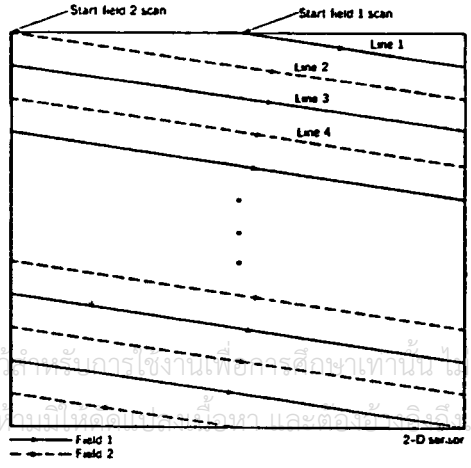
Data is of raster produced by the 525-line scanning pattern

รูป (3.1)

ทางด้านซ้ายใหม่ แต่จะไม่ทับกับเส้นเดิม คือลง มาเส้นล่างแล้ว Scan ไปทางด้านขวาอีก จนถึงเส้นสุดท้ายด้านล่าง ทางขวามือสุด แล้วจึงจะสบัด กลับไปยังมุมบนด้านซ้ายอีก เพื่อเริ่ม Scan ในลักษณะเดิมอีกต่อไปเรื่อยๆ

แต่ในระบบ TV ทั่วๆไป การเกิดภาพ 1 ภาพบนจอนั้นจะเกิดการสแกน ภาพ 2 ครั้ง ในลักษณะการ Scan ของเส้นคู่และเส้นคี่ แทรกกันอยู่ ซึ่งเรียกลักษณะนี้ว่า InterlacedScanning ดังในรูปที่ (3.2)

ลักษณะการทำงาน จะมีการแบ่งเส้น Scan ออกเป็น 2 เส้น หรือ 2 Field คือ Odd Field กับ Even Field และ 2 Field นี้รวมกันจะเรียกว่า Frame เส้นทางการ



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คมชัดของภาพด้วยสิ่งนี้ เป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เราไม่สามารถ ใช้จอภาพจากจอโมโนโครม ของเครื่อง IBM Pc/xt แสดงผลได้ มิจำนวนระดับความสว่างแค่ 2 ระดับ คือ เขียวกับดำ (นอกจากจะเข้า Mode Graphicc) ดังนั้นในการทดลองจะใช้จอ ทีวี (TV)แทนซึ่งสามารถแสดงผลของจุดภาพ ได้หลายระดับ เนื่องจากเป็นจอแบบ Analog

3.1.2 การกวาดภาพ

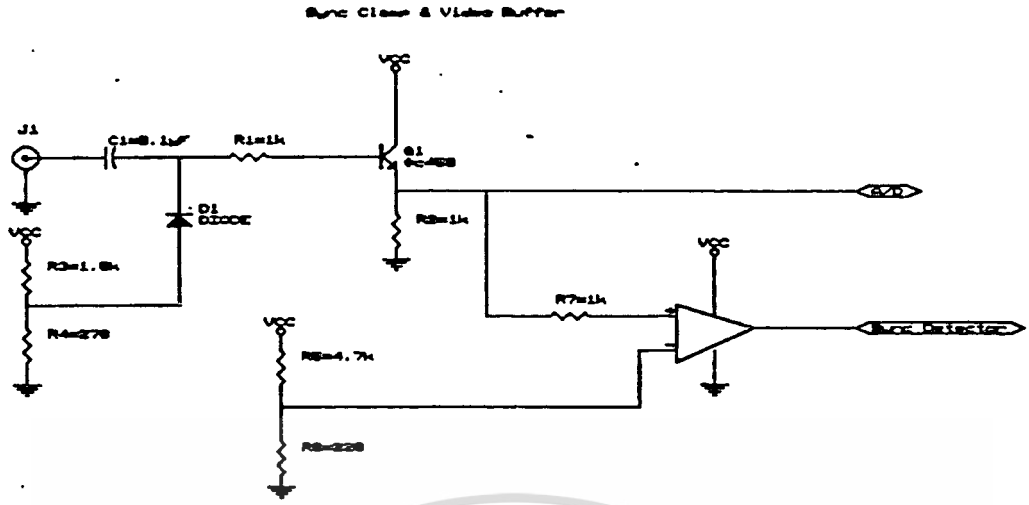
(Scanning)

การสแกน(Scan)ภาพเป็นการนำเอาข้อมูลภาพจาก สัญญาณภาพที่รับมาทำการเรียงกับเป็นภาพดังเดิม เส้นแต่ละเส้นที่ประกอบกันเป็นภาพเรียกว่า เส้น Scan ก่อนอื่นขอกล่าวก่อนว่าระบบการ สแกน ภาพที่มีใช้กันอยู่นี้มีอยู่ 2 แบบ คือ ระบบโทรทัศน์ของอเมริกัน มิจำนวนเส้น 525 เส้น/ภาพ ทำการส่ง 30 ภาพ/วินาที ดังนั้นความถี่ที่ใช้ในการส่งก็เท่ากับ (525 x 30) = 15750 Hz อีกระบบหนึ่งเป็นระบบ ยุโรป ซึ่งมีจำนวนเส้น สแกน 625 เส้น/ภาพ ทำการส่ง 25 ภาพ/วินาที ดังนั้นความถี่ที่ใช้ในการ สแกนเท่ากับ 625 x 25=15,625 Hz

การ สแกน จะมีด้วยกัน 2 วิธี คือ (1) Progrvsive Scanning คือการ สแกนแบบก้าวหน้า (2) Interlaced Scanning หรือวิธีการ สแกนแบบสลับเส้น

ในรูปที่ (1.1) เป็นการ สแกน แบบ Frogressive Scanning เป็นหลักการในการสร้างภาพเบื้องต้นของ TV หลักการทำงานคือ ลำอิเลคตรอน จะ สแกน ไปในทางแนวนอน โดยเริ่มจากมุมบนสุดของด้านซ้าย ไปทางขวา เมื่อไปถึงขวามือสุด ก็จะสบัดกลับไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูป (3.6)

จากรูป 3.6 การทำงานคือ สัญญาณภาพเข้ามาทาง Input จะผ่าน C_1 ซึ่งเป็นตัว Clampling ให้ปลายของสัญญาณ Sync อยู่ที่ระดับกราวพอดี R_1 R_2 D_1 ทำหน้าที่ยกระดับ สัญญาณ DC ของสัญญาณโทรทัศน์ ให้สูงขึ้นประมาณ 0.6 V ที่ขา E ของ Tr จะถูกป้อนเข้าวงจร Voltage Compurater ซึ่งถูกตัดไว้ให้เปรียบเทียบสัญญาณที่ต่ำกว่า 0.2 V ซึ่งเป็นสัญญาณ Sync โดยเมื่อ Sync ผ่านเข้ามาจะทำให้ O/P ที่ขา 7 มีค่า Logic เป็น "0"

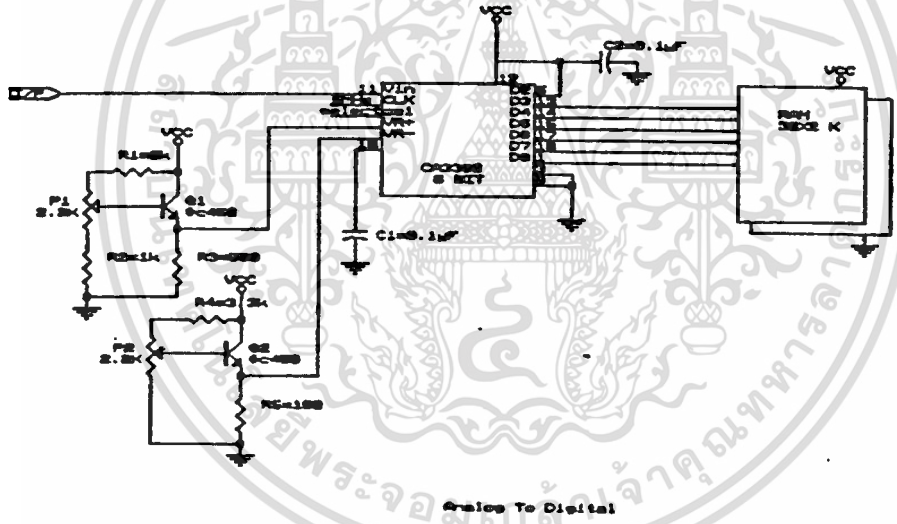
Analog To Digital

วงจร AD Conversion ใช้วงจรดังรูป โดยมี IC.Viedo Flash A/D ขนาด 6 บิท เบอร์ CA 3306 ซึ่งสามารถเปลี่ยนระดับ สัญญาณอินพุทที่เป็นสัญญาณ Analog ในช่วงที่กำหนดจุดต่ำสุดถึงจุดสูงสุด (VRFF - ถึง VRFF+) ให้เป็นสัญญาณ Digital ได้ถึง 64 ระดับ (2^6) ซึ่งมี Speed sampling ได้สูงสุดถึง 15 MH_z แต่เราจะใช้เพียงที่ Speed 5MH_z เท่านั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การกำหนด Clock ที่ต้องใช้เมื่อทำการกำหนด Seed ของ Sampling เราคิดได้จาก การที่ช่วงส่วนที่เป็นสัญญาณภาพจริง ๆ ในหนึ่งLine นั้นจะมีเวลาประมาณ 52 Microsec โดยหักสัญญาณ HSync ออกซึ่งในการเก็บข้อมูลภาพของเรานั้น ต้องการเก็บเพียง256จุด ต่อ 1 เส้นภาพ เราจึงสามารถหาค่า Clock. ได้จาก 52/256 Microsec = 0.2Microsec
ใช้ประมาณ 5 MH_z

IC. ADC. นี้จะมีขา Control 2 ขา คือ ขา CE_1 และCE_2 ซึ่งโดยโครง สร้างขา CE_1 ต้องเป็น "0" และ CE_2 ต้องเป็น "1" จึงมี Output ออกมา ซึ่งในการใช้งานขา CE_2 จะไปต่อกับไฟ + 5V. ส่วนขา CE_1 จะถูกควบคุมโดยสัญญาณ CS และ สัญญาณควบคุม(Select 1)



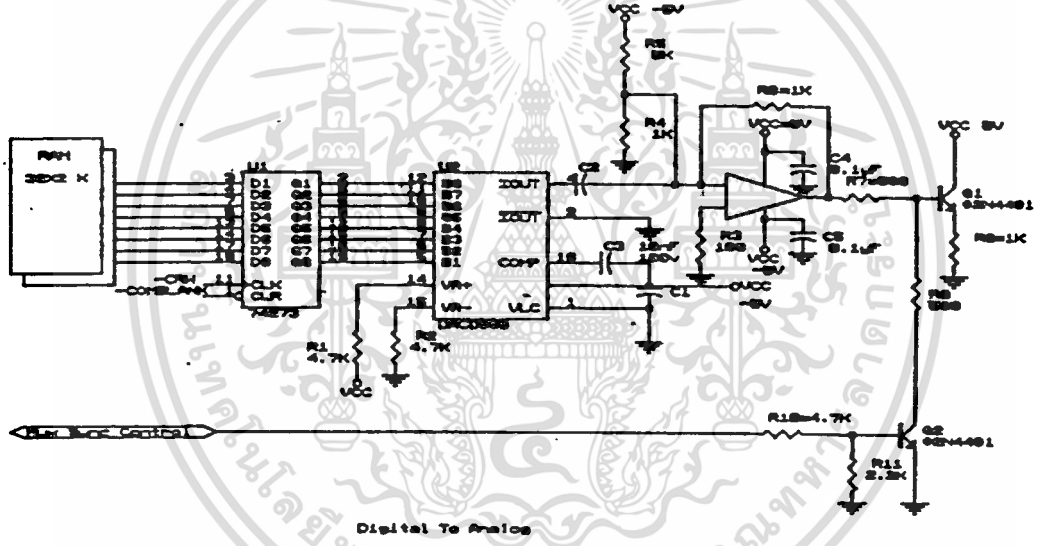
รูป (3.7)

ซึ่งสัญญาณ CS จะมาหยุดไม่ให้ ADC. มี Output ออกมา ในช่วงที่ CPU บน Main Board IBM ติดต่อกับ RAM บนการ์ดส่วนสัญญาณ SELECT1 จะมาเป็นตัว Enable และDisenable ADC. ในช่วงเก็บข้อมูลภาพลง RAM และแสดงภาพนิ่ง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Digital to Analog

ส่วนนี้จะทำหน้าที่ แปลงสัญญาณภาพ ที่เก็บไว้ในรูป Digital กลับมาเป็นสัญญาณภาพที่เป็น Analog โดยจะใช้การทำงานของ IC# DAC0800 ร่วมกับ LM138 ดังในรูปเมื่อต้องการแสดงผลของข้อมูลภาพที่เก็บไว้ Data จาก Ram จะถูกส่งออกมา ผ่าน IC # 74LS273 ซึ่งเป็น 8 Bit Register With Clear ภาพไปเป็น D-Flip-Flops จะทำหน้าที่เป็น Duffer ข้อมูลจาก Ram กับ D/A จากนั้นข้อมูลก็จะถูกส่งไปเข้าขา Data (D_0-D_7) ของ DAC0800 ซึ่งจะทำการแปลงข้อมูลในรูปของ Digital ไปเป็นข้อมูล Analog ส่งออกที่ขา 4



รูป (3.8)

จากรูป 3.8 จะเห็นว่า ที่ O/P ของ ADC0800 จะให้ค่าเป็นศักย์ลบ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องกลับขั้วของสัญญาณ ให้เป็นบวก โดยจะใช้ IC # LM318 ทำหน้าที่เป็นวงจร Inverting Amp. ซึ่งมี Gain เท่ากับ 1 จากนั้นเมื่อสัญญาณถูกกลับขั้วแล้ว ก็จะถูกส่งไปยังวงจรรวมสัญญาณ Syne เพื่อที่จะได้ Composite Syne โดยจะใช้ Transister Q3 เป็นตัวรวม O/p ออกที่ขา E สัญญาณภาพและสัญญาณ Sync จะถูกส่งเข้ามารวมกันที่ขา B ของ Q3 โดยที่สัญญาณ Sync จะผ่านมาจาก Q4 ก่อน ดังแสดงในรูป

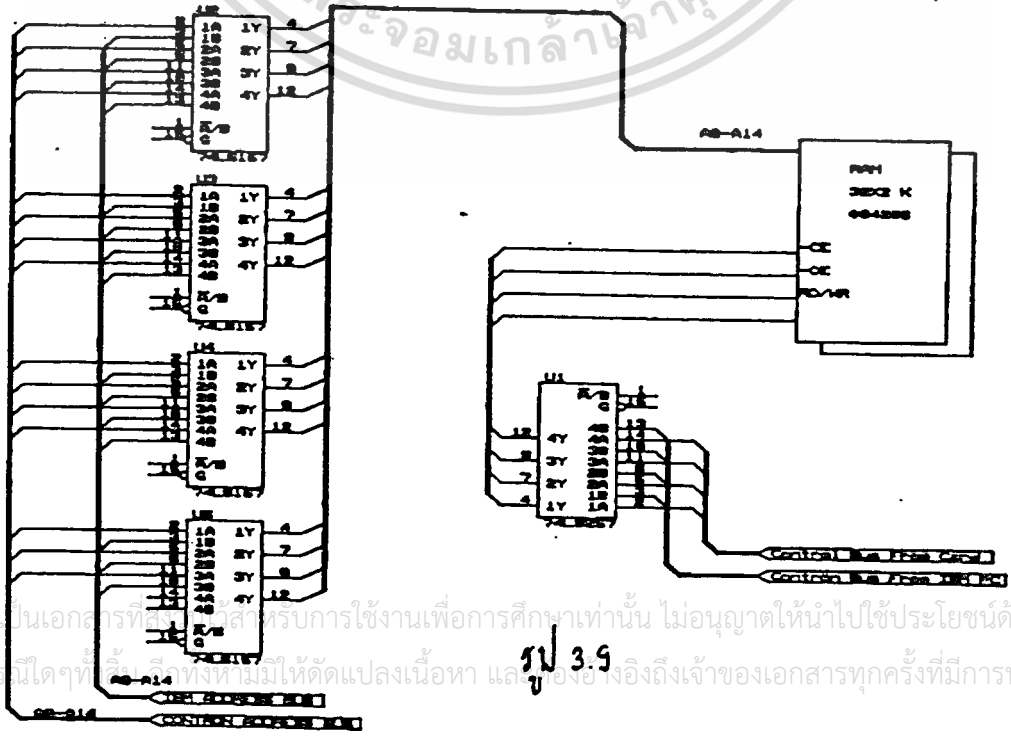
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูป 3.8 จะเห็นว่า ที่ O/P ของ ADC0800 จะให้ค่าเป็นศักย์ลบดังนั้นจึงจำเป็นต้องกลับขั้วของสัญญาณให้เป็นบวกโดยจะใช้ IC # LM318 ทำหน้าที่เป็นวงจร Inverting Amp. ซึ่งมี Gain เท่ากับ 1 จากนั้นเมื่อสัญญาณถูกกลับขั้วแล้ว ก็จะถูกส่งไปยังวงจรรวมสัญญาณ Syne เพื่อที่จะได้Composite Syne โดยจะใช้ Transister Q3 เป็น ตัวรวม O/P ออกที่ขา E สัญญาณภาพและสัญญาณ Syne จะถูกส่งเข้ามารวมที่ขา B ของ Q3 โดยที่สัญญาณ Syne จะผ่านมาจาก Q4 ก่อน ดังแสดงในรูป

การจัดการหน่วยความจำ(Memory management)

บน Card จะมีหน่วยความจำ 64 Kbytes แยกออกจาก Mainboard ของ IBM PC/XT โดยใช้ Ram เบอร์ 84256 ซึ่งเป็น 32K*8 Static Ram จำนวน 2 ตัว เหตุที่ต้องใช้หน่วยความจำถึง 64 Kbyte เนื่องจากต้องการเก็บจุดภาพ (Pixel) 256*256*8 บิทใน 1 ฟิลด์ ในปัจจุบันราคาของ Static Ram กับราคาของ Dtnamic Ram คือไม่ต้องการ Refesh หน่วยความจำการอ้างตำแหน่งก็ไม่ยุ่งยาก ทำให้วงจรไม่ซับซ้อน

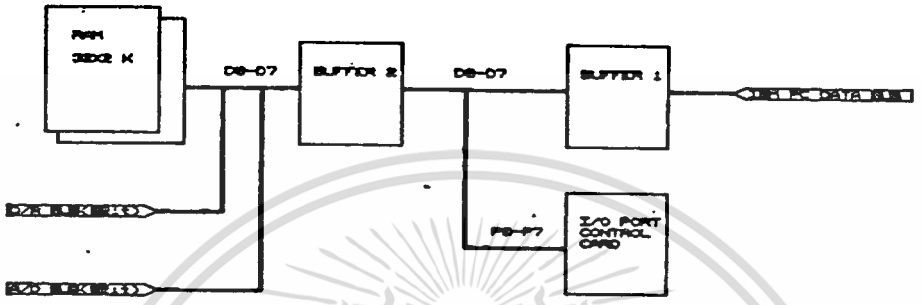
การอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำต้องการทำการ Multiplex ใน Card นี้ใช้ IC เบอร์ 74LS157 และ 74LS257 ซึ่งเป็น Selector ทำการเลือกสัญญาณจาก Addres Bus และสัญญาณควบคุม (Control Signals) จาก Card หรือ IBM PC/XT ออกไปที่ Ram ทั้งสองตามรูป



รูป 3.9

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในการต่อบัสข้อมูล (Dete Bus) จะต้องต่อบัฟเฟอร์ (Buffer) IC เบอร์ 74LS245 เนื่องจากเราต้องการสร้างพอร์ทอินพุทและเอาท์พุท (Input And Output Port) มาควบคุมการทำงานของวงจรด้วย ดังแสดงในรูป 3.10



รูปที่ 3.10 การอินเตอร์เฟสบัสข้อมูลกับ IBM PC/XT

การอ้างตำแหน่งแอดเดรสของ IBM PC/XT

ในการอ้างตำแหน่งแอดเดรสของ IBM PC/XT จะต้องบอกค่าสองค่าคือ เซกเมนต์และ ออฟเซท (Segment And Offset) โดยในรูป Ssgment: Offset ทั้งเซกเมนต์และออฟเซทเป็นข้อมูลขนาด 16 บิท การคำนวณตำแหน่งที่แท้จริงทำได้โดยชิฟท์ไปทางซ้าย (Shift Left) 4 บิท แล้วนำมาบวกค่าออฟเซทจะได้ค่าออฟเซทจะได้ค่าแอดเดรสขนาด 20 บิท ดังตัวอย่าง

ตัวอย่าง การคำนวณตำแหน่งแอดเดรสที่แท้จริงของค่า D0000:FFFF คือ

D0000

OFFFF +

DFFFF

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

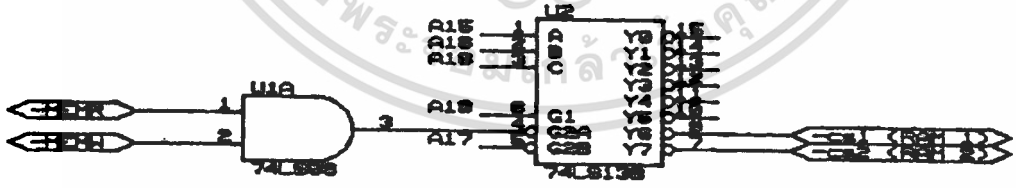
การดิโค้ด (Decode) ตำแหน่งแอดเดรสของหน่วยความจำ

การดิโค้ดตำแหน่งแอดเดรสของ Card นี้ใช้เพียงค่าเซกเมนต์ เนื่องจากหน่วยความนำที่ต้องดีโค้ดเป็น 64 Kbyte ค่าเซกเมนต์ที่ใช้คือ D000H ซึ่งเป็นเซกเมนต์ที่วางอยู่ (IBM PC/XT Technical Reference) ให้ Ram 1 หน่วยความจำ 32 Kbyte ถัดมา เพราะฉะนั้น Ram 1 จะมีค่าออฟเซทแอดเดรสอยู่ช่วง 0000H-7fffH และ Ram 2 จะมีออฟเซทแอดเดรสอยู่ในช่วง 8000H-ffffH ดังนี้

Address	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
Ram 1	1	1	0	1	0	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Ram 2	1	1	0	1	1	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

x : don't care

วงจรดิโค้ดแสดงดังรูปที่ 4.3 ใช้ IC 74LS138 เป็นตัวดิโค้ด เอาท์พุทที่ได้ (Y6,Y7) นำไปเป็นสัญญาณ Chip Enable ของ Ram แต่ละตัว



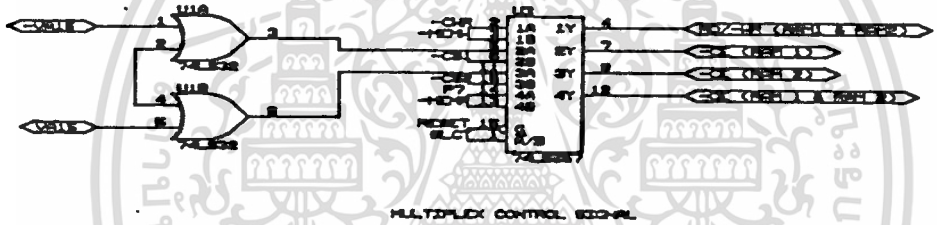
CHIP SELECT SIGNAL

รูปที่ 3.11 การสัญญาณ Chip Select

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเราต้องการติดต่อกับ Ram ตัวใดตัวหนึ่ง จะต้องให้แอดเดรสและต้องทำการEnable ขาสัญญาณควบคุม 3 ขาคือ CE (Chip Enable) ซึ่งใช้สัญญาณจากการดีโค้ดแอดเดรส, ขา OE (Output Enable),ขา RD/WR (Read or Write)

สัญญาณควบคุมจะทำการ Multiplex โดยใช้ IC เบอร์ 74LS257 Tri-state Selector ดังรูปที่ 3.12



รูปที่ 3.12 การ Multiplex สัญญาณควบคุม

การดีโค้ดตำแหน่งแอดเดรสของอินพุทเอาท์พุทพอร์ท

ในการอ้างตำแหน่งแอดเดรสของพอร์ทต่าง ๆ บน IBM PC/XT จะใช้บัสแอดเดรสเพียง 10 เส้นเท่านั้นคือ A0-A9 จะได้แอดเดรสของพอร์ทสูงสุดทั้งหมด 1,024 พอร์ท ซึ่งจะแบ่งออกเป็นกลุ่มสองกลุ่ม

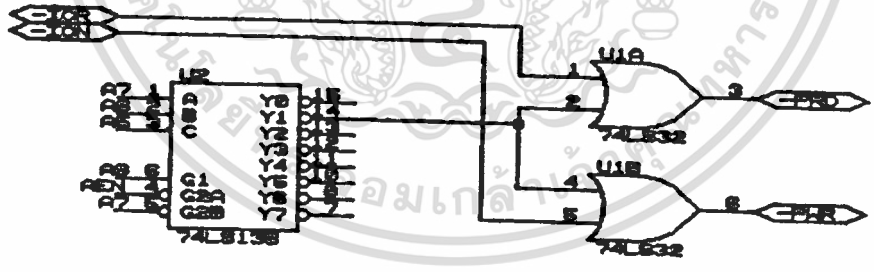
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1) เมื่อบิท A9 เป็น 0 จะเป็นพอร์ทที่อยู่บน Mainboard เท่านั้น ได้แก่พอร์ท 0-1ffH (512 พอร์ท)

2) เมื่อบิท A9 เป็น 1 จะเป็นพอร์ทที่อยู่บน Card ต่าง ๆ ได้แก่พอร์ท 200H -3ffH (512 พอร์ท เช่นกัน)

บน Card เราใช้พอร์ท 300H-31fH ซึ่งเป็นพอร์ทที่ IBM PC/XT เตรียมไว้ให้ Card ต่าง ๆ ได้ใช้ แท้จริงแล้วต้องการใช้เพียงแอดเดรสเดียว แต่เพื่อความประหยัดอุปกรณ์ที่ใช้ในการดีโค้ดแอดเดรสจึงต้องทำเช่นนี้ ในการใช้งานร่วมกับ Card อื่น จึงควรระวังกรณีพอร์ทซ้ำกันด้วย

Address	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0
300 H	1	1	0	0	0	0	0	0	0	0
31f H	1	1	0	0	0	1	1	1	1	1

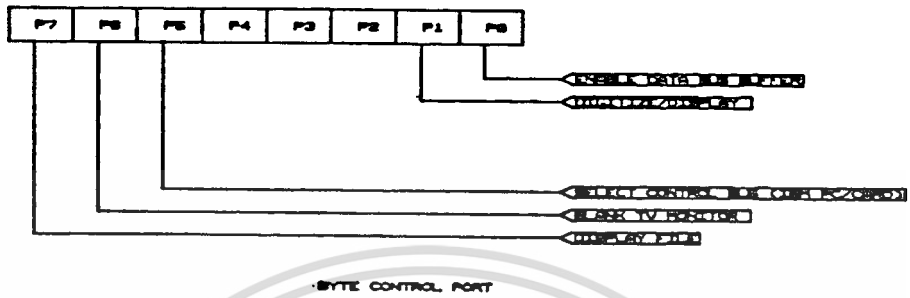


DECODE PORT

รูปที่ 3.14 วงจรดีโค้ดพอร์ท 3000H-31fH

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Byte ควบคุมพอร์ทแต่ละบิทมีความหมายดังรูปที่ 3.15



รูปที่ 3.15

บิท P0 : 1 = CPU สามารถติดต่อกับ Ram ได้.

บิท P1 : 1 = ทำการดิจิไตซ์

0 = แสดงภาพในหน่วยความจำ

บิท P5 : 1 = ต่อ Ram เข้ากับ CPU ใช้ร่วมกับบิท P0

บิท P6 : 1 = ดับจอภาพ

บิท P7 : 1 = Enable การอ่าน Ram ของ Counter

Byte แสดงภาวะใช้เพียง 2 บิทคือ

บิท P0 : แสดงภาวะการทำงานของวงจร

1 = กำลังทำการดิจิไตซ์

บิท P1 : แสดงภาวะของสัญญาณ VB

1 = VB เป็น High

0 = VB เป็น Low

การใช้ Byte ควบคุมตัวอย่างในโปรแกรม Display.asm ซึ่งเป็นโปรแกรมอ่านไฟล์ Image ขนาด 64 Kbyte 256 Gray Level เพื่อแสดงภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

กรรมวิธีการตรวจสอบลายวงจร

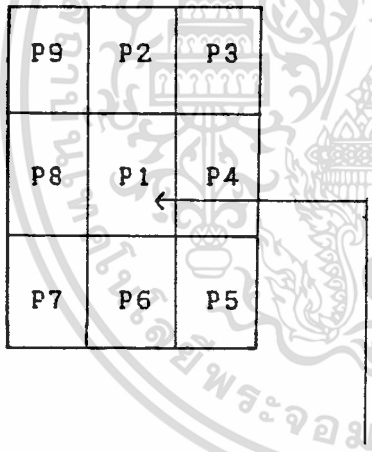
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.1 การหาขอบภาพ

วิธี SKELETON

กระบวนการที่จะทำให้ได้ถึงโครงร่างของวัตถุ ที่เราต้องการนั้น กระบวนการหนึ่งคือการทำ Skeleton ซึ่งผลของการทำกระบวนการนี้ จะทำให้ได้จุดต่อเนื่องที่เป็น Pixel โดดๆต่อเนื่องกันไป ตามแนวแกนกลางของวัตถุ โดยทั้งนี้ตัววัตถุ และพื้น Background ต้องเป็นความสว่างที่แตกต่างกัน ในที่นี้ให้จุดวัตถุมีค่าเป็น 1 และพื้น Background มีค่าเป็น 0

การทำ Skeleton มีขั้นตอนดังนี้



จุดที่ต้องการตรวจสอบว่า จะกำจัดออก (ให้เป็น 0) หรือจะให้คงอยู่ (ทำให้เกิดเป็นแนวกลางวัตถุ)

(a) $2 < N(p1) < 6$

ตรวจสอบว่า ตำแหน่ง P2 + P3 +...+P9 อยู่ในช่วง $2 < N(p1) < 6$ หรือไม่

(b) $S(p1)=1$

S(p1) คือ จำนวนของจุดที่เปลี่ยนแปลงจาก 0-->1โดยตรวจสอบเรียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไปตามลำดับ P2,P3,P4,...,P9,P2

0	0	1
1	P1	0
1	0	1

จากตัวอย่างนี้ N(P1) = 4

S(P1) = 3

(c) P2.P4.P6 = 0 (. คือการคูณ หรือ การ AND)

(d) P4.P6.P8 = 0

จากเงื่อนไขทั้ง 4 ข้อนี้ ถ้าเป็นจริงทุกกรณีให้กำจัดจุด P1 ออกไปได้ ถ้าไม่เป็นจริงแม้เพียงกรณีใด กรณีหนึ่ง ให้คงจุด P1 นี้เอาไว้

หมายเหตุ การตรวจสอบนี้ จะทำตลอดทั้งภาพ โดยการกำจัดจุดออกเป็น 0 หรือ อื่นๆนี้จะกระทำหลังจากตรวจสอบเสร็จสิ้น ทั้งภาพแล้วเท่านั้น

จาก Step แรก(A->0)นี้ ให้เอาผลที่ได้ (จากการ Delete แล้ว) มาเข้าสู่การทำงานใน Step ที่ 2 ซึ่งเช่นเดียวกับ Step แรกเพียงแต่ในข้อ c และ D เปลี่ยนแปลงเป็น

(c') P2.P4.P8 = 0

(d') P2.P6.P8 = 0

หมายเหตุ เช่นเดียวกับใน Step 1 การจะกำจัดจุด (Delete Flag) ต้องหลังจากตรวจสอบแล้วทั้งภาพ

การที่จะทำให้ได้ถึงจุดสุดท้าย (Complete) จะต้องวน Loop จาก Step1->Step2 แล้วกลับมายัง Step1 ใหม่ ในลักษณะนี้เรื่อยไป จนกว่าภาพที่นำมาตรวจสอบ กับภาพหลัง การตรวจสอบแล้วมีค่าเท่ากันทั้งภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

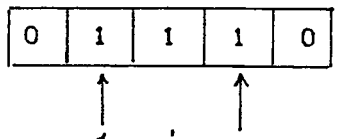
2 การตรวจสอบ (INSPECTION)

วิธีการตรวจสอบถึงความเสียหาย ที่เกิดขึ้นกับแผ่นวงจรนิมม์ วิธีนี้เป็นการตรวจหาจุดที่ขาด หรือไม่ต่อเนื่องของลายวงจร โดยจุดที่จะตัดสินใจว่าเป็นจุดที่เกิดความเสียหาย หรือไม่นั้น เป็นเส้นที่ขาดตอน ในลักษณะเส้นโดดๆ เท่านั้น การตรวจสอบในวิธีนี้ใช้ผลภาพจากการทำ Skeleton มาก่อนหน้านี้แล้วเท่านั้น สำหรับเงื่อนไขในการตรวจสอบ

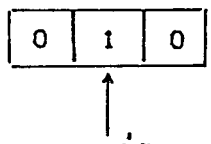
อันดับแรกกำหนดตัวแปร Pointer ให้ชี้ไปที่จุดเริ่มต้นของภาพเสียก่อนแล้วจึงค่อยๆ เลื่อนไปทีละ Pixelในที่นี้เพื่อให้ง่ายต่อการเข้าใจ จะกำหนดให้แต่ละ Pixel มีค่าเป็น 0 และ 1 ,1 หมายความว่า จุดที่ต้องการตรวจสอบ 0 หมายความว่าเป็น Background เมื่อให้ Pointer เลื่อนไปทีละ Pixel จะทำการตรวจสอบว่า ใน Pixel ที่เลื่อนผ่านไปนั้นเป็นค่าใด ถ้าเป็น 0 จะไม่ถูกตรวจสอบจนกว่า จะพบค่าที่เป็น 1 จึงจะเริ่มทำการตรวจสอบ

การกำหนดจุดที่ต้องทำการตรวจสอบ

จุดที่จะทำการตรวจสอบนั้น จะเป็นจุดที่ค่าตัวแปร เปลี่ยนจาก 0 เป็น 1 หรือจาก 1 เป็น 0 คือค่าทางด้านซ้าย หรือขวาจะต้องเป็น 0 ขณะที่ตัวที่ชี้อยู่นั้นเป็น 1 และจุด 1 นี้จะต้องตรวจสอบ ตัวอย่างเช่น



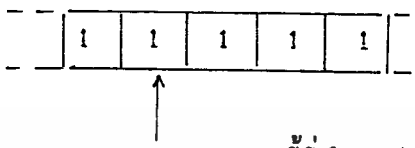
เป็นจุดที่ต้องตรวจสอบ (Pointer เลื่อนมาถึงจุดนี้)



จุดที่ต้องตรวจสอบ (Pointer เลื่อนมาถึงจุดนี้)

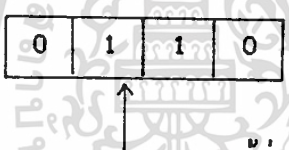
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเป็นกรณีนี้ก็ให้ Pointer เลื่อนผ่านไปได้ โดยไม่ต้องตรวจสอบ เนื่องจากแสดงให้เห็นอยู่แล้วว่า มีความต่อเนื่องอยู่แล้ว



Pointer ชี้ที่ตำแหน่งนี้ เลื่อนผ่านไปได้ เนื่องจากค่าทางซ้าย และ ขวา เป็น 1

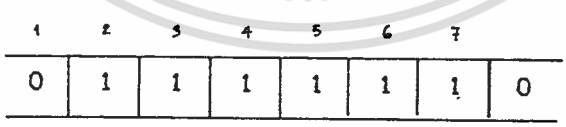
จากที่กล่าวมานี้ การตรวจสอบจะใช้ ในกรณีที่ 1 ,มีข้อยกเว้นอันหนึ่ง คือถ้าเกิดใน Pixel ที่เรียงต่อกันอยู่ในลักษณะนี้



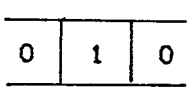
Pointer ชี้ที่จุดนี้

การตรวจสอบในรูปแบบนี้ จะใช้ในกรณีที่ 2

<u>กรณีที่ 1</u>



รูปที่ 1



รูปที่ 2

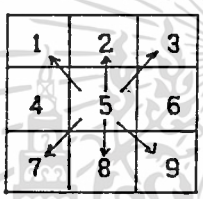
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากการกำหนด จุดที่จะต้องทำการตรวจสอบ ในรูปที่ 1 นั้นจุดที่จะต้องทำการตรวจสอบคือ จุด 2,7 ในรูปที่ 2 คือ Pixel ที่เป็นค่า 1

4.3 ขั้นตอนการตรวจสอบ

กรณีที่ 1 หลังจากกำหนดจุดที่จะต้องตรวจสอบแล้ว

1.1)



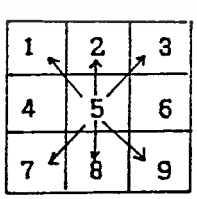
ตำแหน่ง 5 เป็นจุดที่ทำการตรวจสอบ (ตัวแปร Pointer ชี้อยู่)

ให้

```
1 OR 2 OR 3 = 1      --[1]
7 OR 8 OR 9 = 1      --[2]
```

ถ้าเงื่อนไขที่เป็นจริงทั้ง 2 กรณี ตัดสินใจได้ว่า จุดนี้ต่อเนื่องกับจุดอื่นๆ อยู่

1.2)



เช่นเดียวกับ 1.1 แต่เงื่อนไขเปลี่ยนแปลงไปคือ

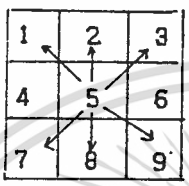
ให้

```
1 AND 2 AND 3 = 0      --[1]
7 AND 8 AND 9 = 0      --[2]
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเงื่อนไขเป็นจริงทั้ง 2 กรณี ตัดสินใจได้ว่า ที่ตำแหน่งนี้ (5) เป็นจุดปลายที่ไม่ต่อเนื่องกับจุดอื่นๆอีกแล้ว

1.3

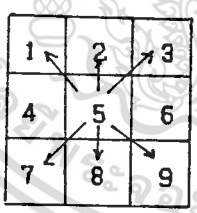


ให้ 1 OR 2 OR 3 = 1 --[1]

7 AND 8 AND 9 = 0 --[2]

ถ้าทั้ง 2 กรณีเป็นจริงให้ตรวจสอบข้อ 1.5

1.4

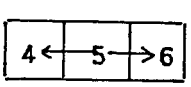


ให้ 1 AND 2 AND 3 = 0 --[1]

7 OR 8 OR 9 = 1 --[2]

ถ้าทั้ง 2 กรณีเป็นจริงให้ตรวจสอบข้อ 1.5

1.5



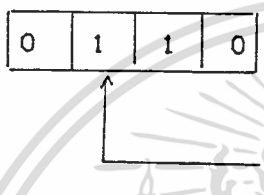
ทำการตรวจสอบค่าทางซ้าย และ ขวาว่ามีค่าตามนี้หรือไม่

4 OR 6 = 1

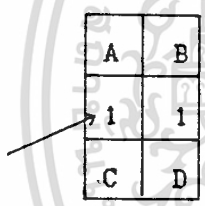
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ถ้าเป็นจริง ตำแหน่ง 5 นี้ยังต่อเนื่อง กับตำแหน่งอื่นอยู่ ถ้าเป็นเท็จ ที่ตำแหน่ง 5 นี้คือจุดปลาย

<u>กรณีที่ 2</u> การตรวจสอบเมื่อตำแหน่งเป็นดังรูป

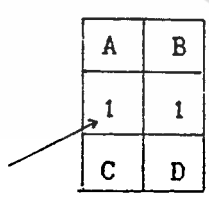


2.1)



ให้ A OR B OR C OR D = 1

ถ้าเป็นจริงตรวจสอบข้อต่อไป ถ้าเป็นเท็จให้ไปทำกรณีที่ 1



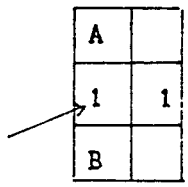
ให้ B AND C = 1 -->[1]

A AND D = 1 -->[2]

กรณีใดใน 2 กรณีนี้เป็นจริง ตัดสินใจได้ว่า ตำแหน่งนี้ (Pointerชี้อยู่) มิความต่อเนื่องกับจุดอื่นๆอยู่ ถ้าไม่เป็นไปตามนี้ให้ตรวจสอบเงื่อนไขอื่นๆ ต่อไป

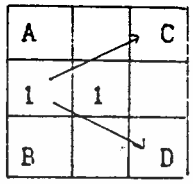
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3)



ให้ A OR B = 1

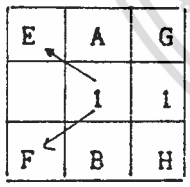
ถ้าเงื่อนไขข้างบนนี้ เป็นจริง ให้ตรวจสอบตามข้างล่างนี้



ให้ C OR D = 1

ถ้าเงื่อนไขนี้เป็นจริง ตัดสินใจได้ว่า ตำแหน่งที่ Pointer ชี้อยู่นี้ บวกอีก 1 เป็นจุดต่อเนื่องถ้าเป็นเท็จแสดงว่าจุดนี้ บวกอีก 1 เป็นจุดที่ไม่ต่อเนื่องกับจุดอื่นๆอีก

2.4) ถ้าในข้อ 2.3 เงื่อนไขแรกไม่เป็นจริงให้ตรวจสอบ



E OR F = 1 (จุด H และ G จุดใดจุดหนึ่งต้องเป็น 1 แน่ๆ)ถ้าเป็นจริงตามเงื่อนไขนี้ แสดงว่าตำแหน่งที่ Pointer ชี้อยู่เป็นจุดต่อเนื่อง ถ้าเป็นเท็จแสดงว่า ที่ตำแหน่งนี้เป็นตำแหน่งที่ไม่ต่อเนื่องกับตำแหน่งอื่นๆอีก

<u>หมายเหตุ</u>

ในกรณีจุดตรวจสอบเป็นดังนี้

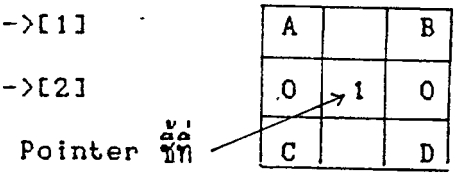
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

0	1	0

ต้องตรวจสอบเสียก่อนว่า

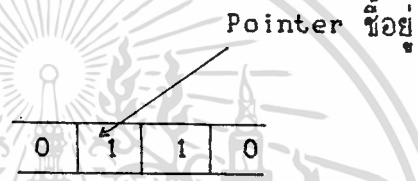
A AND B = 1 -->[1]

C AND D = 1 -->[2]



ถ้ากรณีใดใน 2 กรณีนี้เป็นจริง ตัดสินใจได้ว่า จุดนี้เป็นจุดต่อเนื่อง ถ้าไม่เป็นจริงทั้ง 2 กรณี ให้ตรวจสอบในการตรวจสอบ กรณีที่ 1

การที่ต้องตรวจสอบ



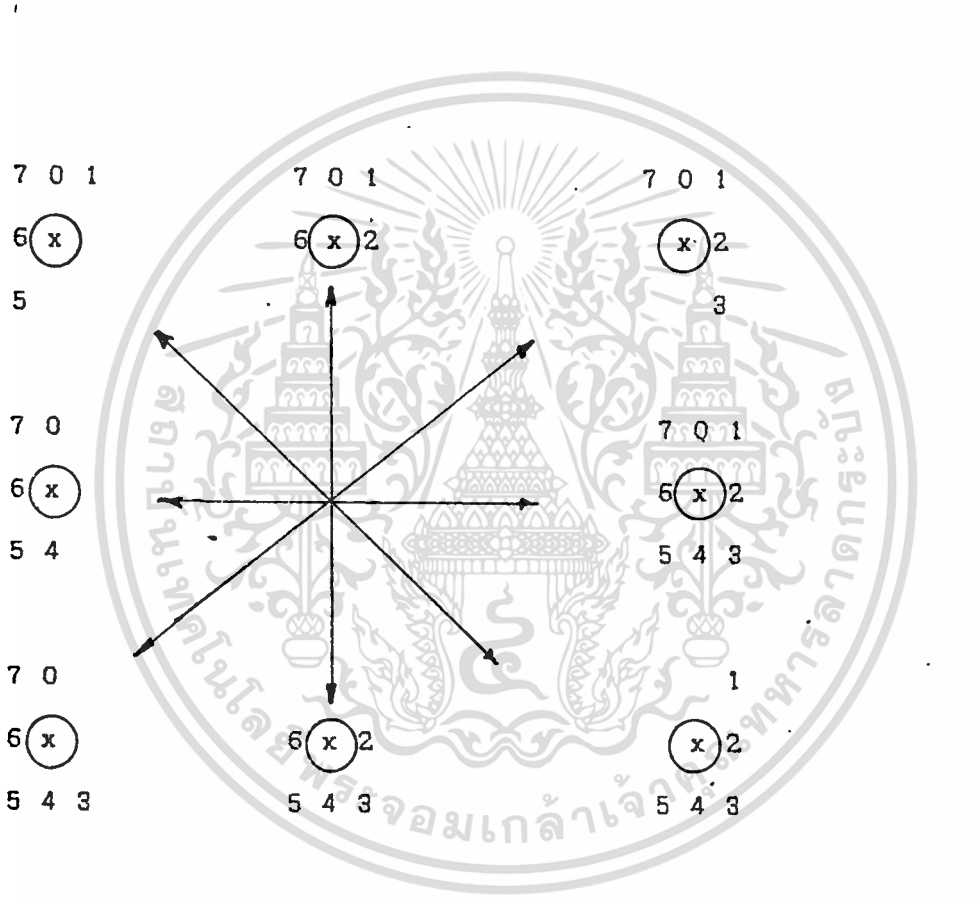
ในกรณีที่ 2 เนื่องจาก

ในการตรวจสอบกรณีที่ 1 ไม่สามารถแยกแยะได้ว่า ตำแหน่งนี้ต่อเนื่องหรือไม่ เนื่องจาก ในการตรวจสอบทั้ง 2 Pixel นี้มีส่วนที่คาบเกี่ยวกัน ในกรณีที่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.4 การตัดสินใจของโปรแกรมค้นหา

1. ถ้าไม่พบตำแหน่งถัดไป ให้ทิศทางต่อไปอยู่ในแนวทางเดิม
2. ทิศทางจะมีความสำคัญ ตามเข็มนาฬิกา
3. การเรียงลำดับความสำคัญจะเรียงเพียง 5 ลำดับจากทิศทางเดิม $\pm$ 2



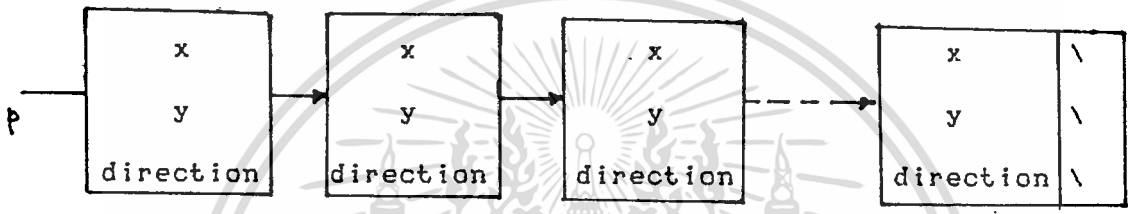
x = จุดปัจจุบัน

ตารางด้านล่างแสดงการหาตำแหน่งต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.5 การเก็บข้อมูลภาพในหน่วยความจำ

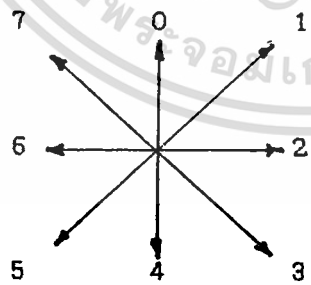
โปรแกรมจะตรวจสอบหาจุดสว่างบนจอคอมพิวเตอร์ ที่มีขนาดเท่ากับ file ของข้อมูลภาพ (256 x 256) โดยจะนำจุดสว่างทั้งหมดแปลงเป็นพิกัด (x,y) เก็บใน Link List ดังรูป



กำหนดที่ความสว่างสุด = 255

กำหนดที่จุดมืด = 50

การเก็บข้อมูลภาพจะต้องเก็บทิศทางการเคลื่อนที่เป็น 8 ทิศทางดังนี้



ในช่วงแรกจะกำหนดทิศทางไปในทิศทาง 2 (-->) เพื่อเป็นจุดเริ่มต้นหาตำแหน่งถัดไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

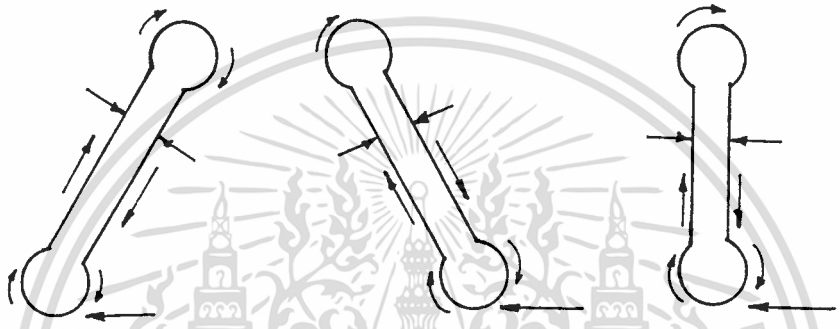
0	x-1 y
1	x-1 y+1
2	x y-1
3	x+1 y-1
4	x+1 y
5	x+1 y+1
6	x y+1
7	x-1 y+1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วิธีตรวจสอบลายวงจรที่มีขนาดแคบกว่าปกติ

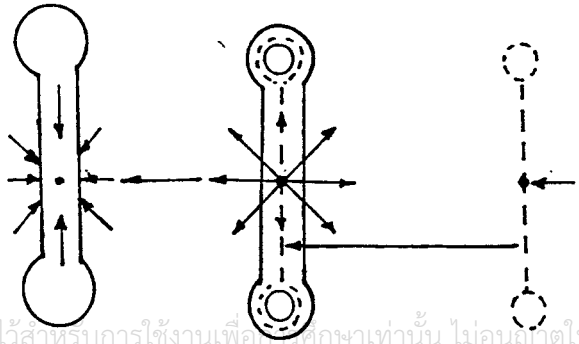
วิธีที่ 1

จากข้อมูลภาพกำหนดจุด X แทนจุดภาพในแนวนอน และจุด Y ในแนวตั้ง ข้อมูลภาพแต่ละจุดที่เก็บในลิงค์ลิช (Link list) จะจัดเรียงกันไม่เป็นลำดับ ดังนั้น จึงต้องใช้โปรแกรมจัดเรียงทุกจุดในลิงค์ลิชท์ใหม่พร้อมกับเก็บทิศทางต่างๆ ไว้ในขณะที่หาจุดถัดไป การวัดระยะแคบกว่าปกติจะนำจุดที่มีทิศทางตรงข้ามกันมาเปรียบเทียบกัน ดังรูป



วิธีที่ 2

นำสเคลลิทอน (Skeleton) ของลายวงจรแต่ละจุดมาทาบลงบนลายวงจรเดียวกันที่มีเฉพาะขอบภาพอย่างเดียว ทำการวัดระยะโดยการกระจายการวัดออกไป 8 ทิศทาง ใน 8 ทิศทางจะเก็บระยะที่แคบที่สุดมาเปรียบเทียบกับความกว้างที่กำหนด ถ้ามีขนาดเล็กเกินไป โปรแกรมจะทำเครื่องหมายส่วนที่เกิดข้อผิดพลาดไว้ ในหนึ่งจุดของสเคลลิทอนจะหา 8 ครั้ง (8 ทิศทาง) ในการวัดระยะเมื่อเปรียบเทียบแล้ว มีขนาดใหญ่กว่ากำหนด โปรแกรมจะผ่านหาจุดต่อไป ดังรูป



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สรุปการทดลอง

จากการเก็บข้อมูลภาพจากกล้อง มีจุดบกพร่องคือ การให้แสงสว่างต้องทำอย่างเหมาะสม ถ้าความเข้มของแสงที่ฉายลงสู่แผ่นวงจรไม่คงที่ จึงยากลำบากที่จะเปลี่ยนข้อมูลภาพให้เป็นไบนารี (Binary) เนื่องจากมีข้อมูลที่ไม่ต้องการอยู่ในระดับเดียวกันกับข้อมูลที่เป็นลายวงจร

ในส่วนของการทำสเคลลิทอน (Skeleton) ถ้าภาพที่ได้มีความสมบูรณ์เพียงพอโปรแกรมจะตรวจสอบจุดผิดผลาดอย่างได้ผล

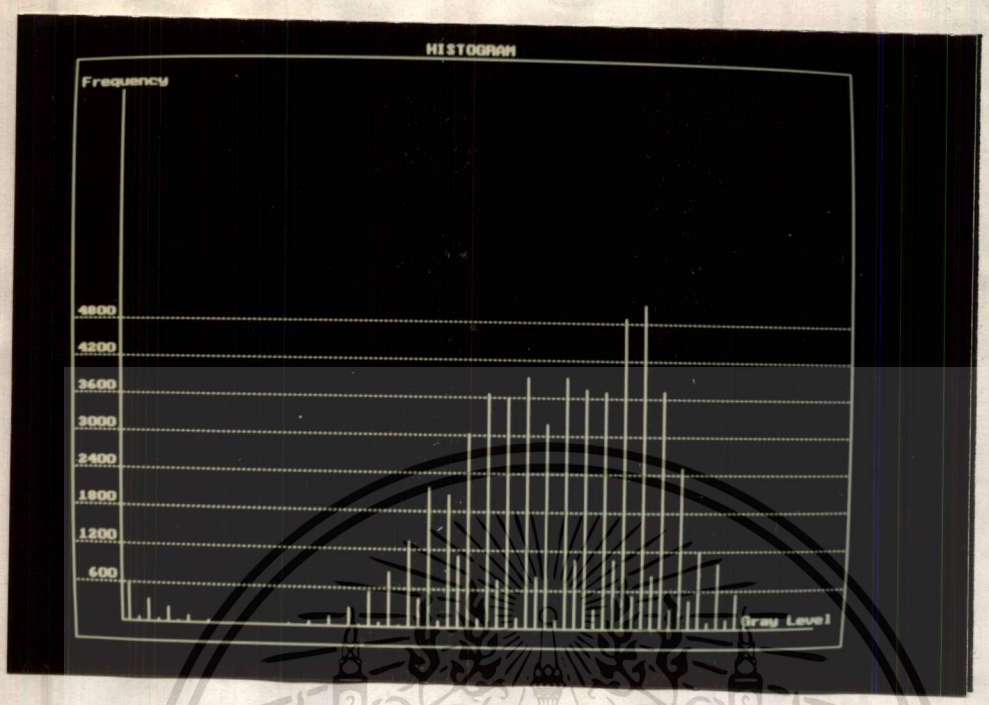
การทดลองหาจุดเสียของลายวงจร

ในการหาส่วนของลายวงจรที่มีลักษณะเล็กผิดปกติ ปัญหาคือ ถ้าข้อมูลภาพก่อนที่จะตรวจสอบเป็นเส้นเดียวโดดๆ โปรแกรมจะไม่ชี้ทุกจุดที่ผิดผลาด แต่จะชี้ให้เห็นถึงความเสียหายโดยชี้ที่จุดปลายที่ใหญ่กว่าทั้งสองด้าน

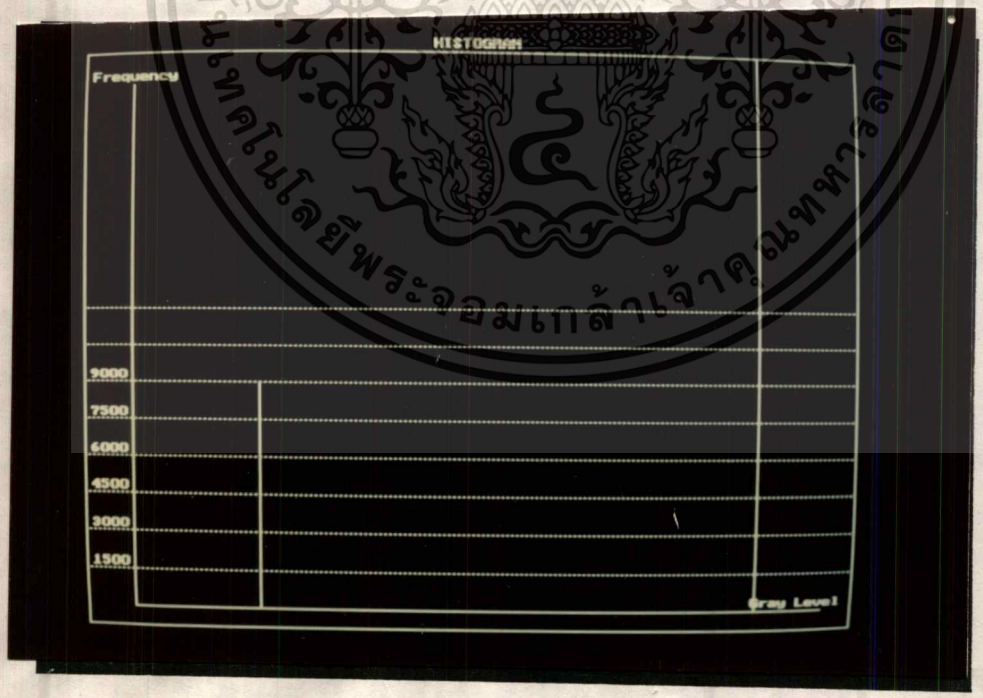
จุดเสียหายที่เป็นจุดขาด (ไม่ต่อเนื่อง) การตรวจสอบโดยโปรแกรม (Inspec) จะชี้จุดขาดอย่างถูกต้อง ยกเว้นในกรณีที่ผู้ออกแบบ ออกแบบเป็นตัวอักษรหรือสัญลักษณ์ต่างๆที่ไม่ใช้ลายวงจร โปรแกรมจะชี้ส่วนที่คล้ายกับเส้นขาดซึ่งเป็นจุดที่ผู้ออกแบบคิดว่าไม่ควรตรวจสอบ

วิธีการทั้งสองวิธีเป็นเพียงการตรวจสอบ ส่วนของลายวงจรที่เล็กกว่าปกติและส่วนที่ขาด โปรแกรมจะชี้ให้เห็นถึงส่วนเสียหายได้ สำหรับส่วนผิดผลาดที่เหลือก็จะต้องมีการพัฒนากันต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า

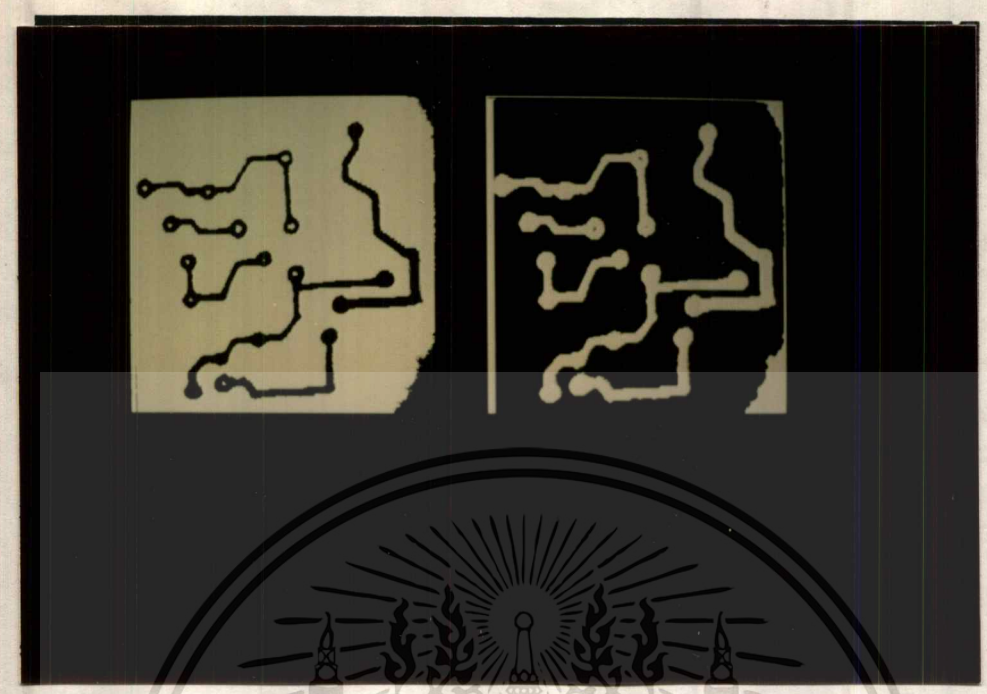


แยกความถี่ของภาพออกเป็นระดับต่างๆจากข้อมูลภาพจริง

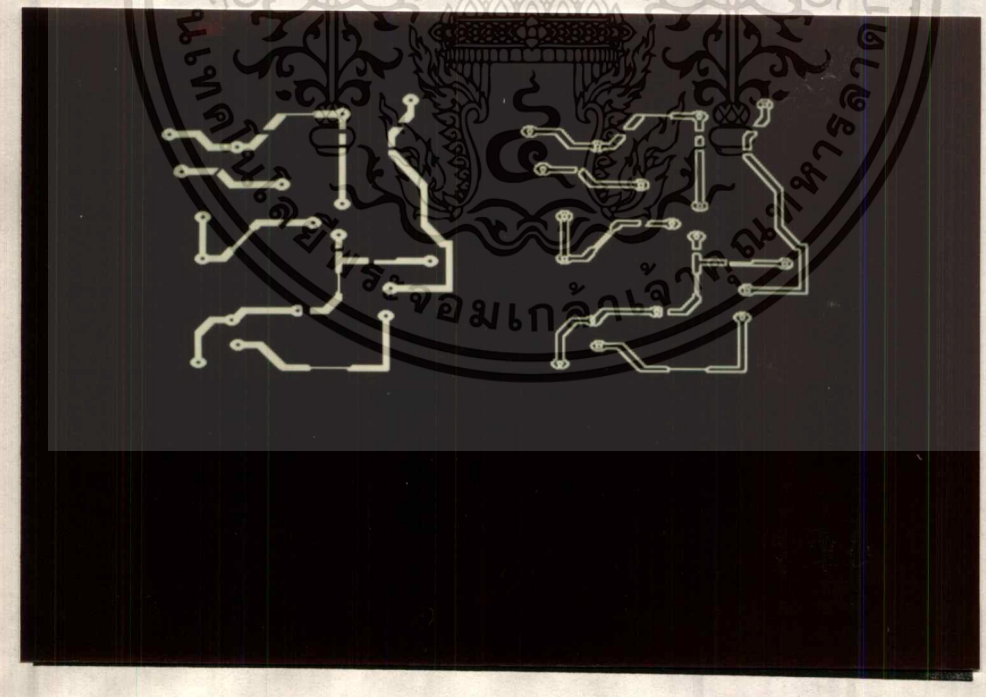


หลังการตัดระดับภาพเหลือเพียงสองระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

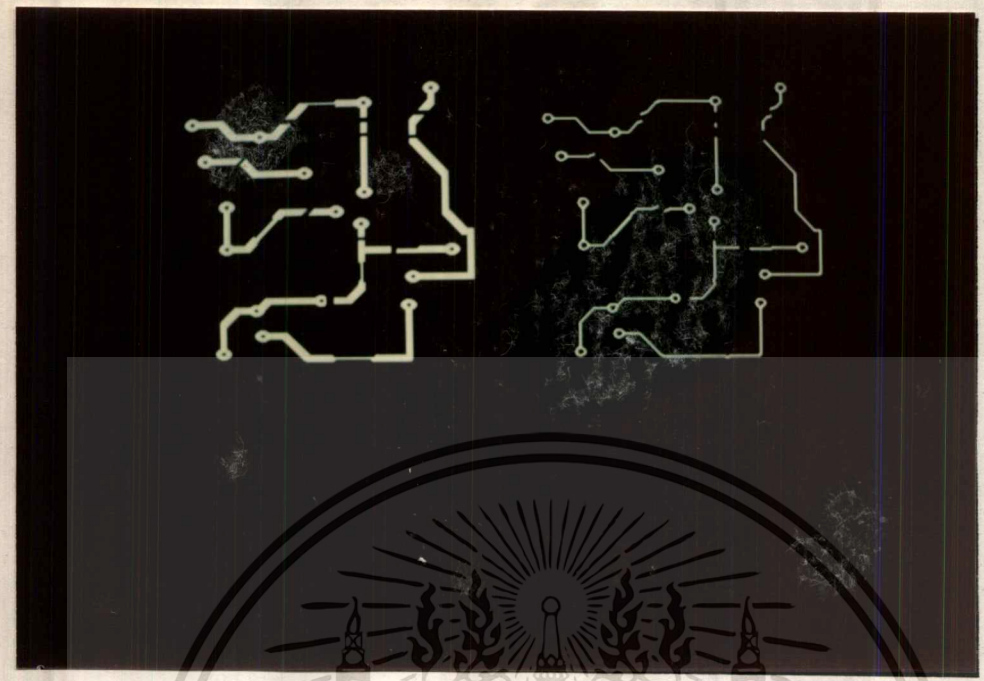


ข้อมูลจากกล้อง หลังทำเป็นระดับไบนารีจะมีส่วนผิดพลาดอยู่



ข้อมูลภาพ(จำลอง) ภาพหลังจากการหาขอบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ข้อมูลภาพ(จำลอง)

หลังการทำสเคลลิทอน

ภาพถูกทำสเคลลิทอน

ใช้โปรแกรม (Inspec) หาจุดขาด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 6

สรุปผลงานวิจัย

จากการทดลอง จะเห็นได้ว่า สามารถที่จะนำข้อมูลภาพลายปริ๊นซ์มาทำการตรวจเช็ค การขาด การบางที่ผิดปกติของลายปริ๊นซ์ได้ ซึ่งในโอกาสต่อไป สามารถที่จะนำไปพัฒนา ให้วงจรสามารถที่จะทำการ เช็คการ Short ของวงจรได้ การเกินของลายปริ๊นซ์ หรือสาเหตอื่นๆ ที่เป็นข้อผิดพลาดได้

ปัญหาที่สำคัญ ในการทดลอง ก็คือการทำภาพที่มีระดับสีเทา 256 ระดับให้เป็นภาพ 2 ระดับคือให้ส่วนลายปริ๊นซ์ กับส่วนพื้นแตกต่างกัน เพื่อที่วงจรสามารถที่จะวิ่ง ตรวจสอบได้ ทั้งนี้เนื่องจากมี Noise เกิดขึ้นมาก ต้องทำการตัดระดับ เพื่อลด Noise ให้หมดไปซึ่งเป็นการยากลำบากพอสมควร

นอกจากนี้ข้อจำกัดทางด้าน HardWare ก็เป็นผลทำให้ ลายปริ๊นซ์ที่จะทำการตรวจสอบนั้น ต้องมีระยะห่างมากพอที่ กล้องจะสามารถแยกแยะความแตกต่างได้ เนื่องจากการทดลอง ใช้กล้อง Video ที่ใช้ถ่ายภาพทั่วๆไป ดังนั้นความละเอียด (Resolution) จึงไม่เท่ากับกล้องที่มีไว้ใช้ตรวจสอบ โดยเฉพาะ ดังนั้นถ้าต้องการตรวจสอบลายปริ๊นซ์ที่ละเอียดมากต้องคำนึงถึงจุดนี้ ด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

(ACKNOWLEDGMENT)

ขอกราบขอบคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ขอขอบคุณสถาบันการศึกษาแห่งนี้ ที่ทำข้าพเจ้าได้มีโอกาส ได้จัดทำปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้

ขอกราบขอบคุณท่านอาจารย์ เกษตร ศิริสันติสัมฤทธิ์ เป็นอย่างสูง ผู้ซึ่งประสาทวิชาความรู้ ตลอดจนให้คำปรึกษาแนะนำแนวทาง และวิธีการแก้ไข จนกระทั่งงานปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี รวมทั้งขอกราบขอบคุณ คุณ สุชาติ ฉิมประดิษฐ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือ และแนะนำในหลายๆด้านในการจัดทำปริญญานิพนธ์ ฉบับนี้

และขอขอบคุณ อาจารย์ (ภาค วิชาเทคโนโลยีการวัดคุมทางอุตสาหกรรม) เพื่อนๆพี่น้องๆ ที่ให้ความช่วยเหลือ ในสิ่งต่างๆและกำลังใจขอขอบคุณไว้ ณ.ที่นี้ด้วยครับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

(REFERENCES)

1. AHMED M. DARWISH AND ANIL K. JAIN,
   IEEE Transaction On Pattern Analysis And Machine Intelligence,Vol.10,No.1,January 1988
2. QIN-ZHONG YE AND PER E. DANIELSSON,
   IEEE Transaction On Pattern Analysis And Machine Intelligence,Vol.10,No.5,September 1988
3. Steve ciarcia,วรสาร Byte (ฉบับประจำเดือน พฤษภาคม-สิงหาคม ปี 1987)
4. Gary M.Miller , "Handbook Of Electronic Communication Gary M.Miller "
5. "Turbo c ",Borland International,Inc.
6. Rafael C. Gonzalez and Paul Wintz," Digital Image Processing",Addison-Wesly Publishing Company,Inc.
7. Technical Reference,IBM.
8. TTL Databook,Texas Instrument Incorporated
9. Robert J. Schalkoff,"Digital Image Processing And Computer Vision"
10. Wayne Niblack,"An Introduction To Digital Image Processing"

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

.X checkplot 27 Mar 91 08:46:36
b:digi.pcb
v1.3 r4 hol s: 1150 component side
approximate size: 10.30 by 4.40 inches