

การสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

IMPLEMENTATION OF A DSP-BASED FRAME GRABBER BOARD

อนุชิต รูปเหลือง
ANUSHIT THOOPLUEANG

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ. 2546

ISBN 974-324-490-4

สำนักหอสมุดกลาง พระจอมเกล้าลาดกระบัง

การสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

IMPLEMENTATION OF A DSP-BASED FRAME GRABBER BOARD



อนุชิต ฐูปเหลือง

ANUSHIT THOOPLUEANG

เลขหมู่.....
เลขทะเบียน 47537
วัน, เดือน, ปี 19 ส.ค. 2546

.b.....
.i.....

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า

บัณฑิตวิทยาลัย

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

พ.ศ.2546

ISBN 974-324-496-4

IMPLEMENTATION OF A DSP-BASED FRAME GRABBER BOARD

ANUSHIT THOOPLUEANG

**A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE
REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF
MASTER OF ENGINEERING IN ELECTRICAL ENGINEERING
SCHOOL OF GRADUATE STUDIES
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG**

2003

ISBN 974-324-496-4

COPYRIGHT 2003

SCHOOL OF GRADUATE STUDIES

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล
นักศึกษา	นายอนุชิต รูปเหลือง
รหัสประจำตัว	41061145
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมไฟฟ้า
พ.ศ.	2546
อาจารย์ผู้ควบคุมวิทยานิพนธ์	รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบการสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลสามารถทำงานได้อย่างอิสระไม่ต้องอาศัยเครื่องไมโครคอมพิวเตอร์เริ่มจากการแปลงสัญญาณภาพ ระดับความเข้มเทา 256 ระดับ ที่ได้จาก กล้อง CCD ซึ่งเป็นสัญญาณภาพเชิงอุปมาน ให้เป็นสัญญาณภาพเชิงเลขขนาด 128x128 จุด หรือขนาด 256x256 จุด และเก็บลงหน่วยความจำจนมีปริมาณเพียงพอทำการประมวลผลด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่มีความเสถียรในแง่ของการควบคุมสัญญาณ มีความยืดหยุ่นในการใช้งานและเป็นอุปกรณ์ที่สามารถโปรแกรมได้เป็นตัวประมวลผลแบบ Floating Point ที่มีความเที่ยงตรงสูง สำหรับอัลกอริทึมที่นำมาทดสอบนั้นได้แก่การหาขอบภาพโดยใช้หลักการของ Sobel Operator ผลที่ได้ปรากฏว่าข้อมูลที่แปลงออกมาถูกต้องและแม่นยำ

Thesis Title	Implementation of a DSP-Based Frame Grabber Board
Student	Mr.Anushit Thooplueang
Student ID	41061145
Degree	Master of Engineering
Programme	Electrical of Engineering
Year	2003
Thesis Advisor	Assoc.Prof.Dr.Kobchai Dejhan

ABSTRACT

This thesis will conduce to design and development of digital image processing converter circuit board that no need microprocessor to operate. This circuit will begin to operate with convert image to 256 color levels from CCD to digital image 128x128 pixel or 256x256 pixel and writes to memory storage on board that will enough to operate image processing with TMS320C31. This processing chip is high tolerance, dynamic and friendly used and accuracy to process floating point. From experiment, we used algorithm of Sobel theory to operate on this circuit board. It showed accurate result of data convert.

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความกรุณาของท่าน รศ.ดร.กอบชัย เดชหาญ อาจารย์ที่ปรึกษา ที่กรุณาแนะนำและให้คำปรึกษาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ และให้ความเมตตาแก่ศิษย์ ด้วยดีเสมอมา ผู้เขียนรู้สึกซาบซึ้งในความกรุณาเป็นอย่างยิ่งและขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง

ขอขอบพระคุณ อาจารย์สุรพันธ์ ยิ้มมั่น ภาควิชาฟิสิกส์อุตสาหกรรมและอุปกรณ์การแพทย์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ สจพ.และ อาจารย์ฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ซึ่งเป็นผู้ที่แนะนำและให้คำปรึกษารวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้

ขอขอบคุณ เพื่อนนักศึกษาปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโทรคมนาคม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สจล. ทุก ๆ คนที่รู้จัก สำหรับความเป็นมิตรและความช่วยเหลือต่าง ๆ ที่มีให้กันระหว่างศึกษาอยู่

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่ให้ความสำคัญกับการศึกษาและให้กำลังใจด้วยดีตลอดมา

ประโยชน์อันพึงมีจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ผู้เขียนขอบแต่ผู้มีพระคุณทุกท่าน

อนุชิต รูปเหลือง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV
สารบัญตาราง.....	VI
สารบัญรูป.....	VII
บทที่ 1.บทนำ.....	1
1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาวิจัย.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	1
1.3 ทฤษฎีหรือแนวความคิดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย.....	2
1.4 วิธีดำเนินการศึกษาวิจัย.....	2
บทที่ 2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 ทฤษฎีภาพ.....	3
2.1.1 ภาพที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์.....	3
2.1.2 สัญญาณเชิงคี่ในแนวนอน.....	5
2.1.3 สัญญาณเชิงคี่ในแนวตั้ง.....	6
2.1.4 สัญญาณแบล็กคี่ในแนวนอน.....	6
2.1.5 สัญญาณแบล็กคี่ในแนวตั้ง.....	6
2.1.6 สัญญาณอ็ควอลไลท์เชิง.....	6
2.1.7 สัญญาณภาพรวม.....	7
2.2 หลักการสร้างภาพทางดิจิทัล.....	8
2.3 การตรวจจับขอบในภาพ.....	10
2.3.1 การใช้เทมเพลตในการตรวจจับขอบภาพ.....	13
2.3.2 การตรวจจับขอบโดยการลบภาพต้นฉบับด้วยภาพที่ถูกปรับเรียบ.....	16

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3. ทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข.....	17
3.1 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง.....	17
3.2 สมการผลต่างสี่ขเนือง.....	20
บทที่ 4. การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์.....	21
4.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์.....	21
4.1.1 ส่วนรับสัญญาณภาพ.....	22
4.1.2 ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิตอล A/D.....	25
4.1.2.1 ส่วนควบคุม.....	29
4.1.2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา.....	30
4.1.2.3 วงจรหาร 8.....	33
4.1.2.4 วงจรโมโนสเตเบิล.....	34
4.1.2.5 วงจรฮอร์โมโนสเตเบิล.....	35
4.1.2.6 วงจรเวอร์โมโนสเตเบิล.....	37
4.1.2.7 วงจรนับ 32 และนับ 26.....	39
4.1.2.8 วงจร Select Upper Lower.....	40
4.1.3 ส่วนเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ.....	41
4.1.4 ส่วนประมวลผลและแสดงผล.....	42
4.2 การออกแบบซอฟต์แวร์.....	43
บทที่ 5. ผลการทดลอง.....	45
ผลการทดลองและผลการทดลอง.....	45
บทที่ 6. สรุปผลและข้อเสนอแนะ.....	49
6.1 สรุป.....	49
6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ.....	49

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
เอกสารอ้างอิง.....	50
ภาคผนวก ก. บอร์ดประมวลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 DSP Starter Kit.....	52
ภาคผนวก ข. โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง.....	62
ภาคผนวก ค. รูปแสดง ฮาร์ดแวร์ วงจร Schematics ของชุดแปลงสัญญาณภาพ.....	73
ภาคผนวก ง. การเผยแพร่งานวิจัย.....	79
ประวัติผู้เขียน.....	81

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ผนวก ก.1. แสดงค่ารีซิสเตอร์ที่ความถี่สุมแตกต่างกัน 4 ค่า.....	61

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของหลอดภาพโทรทัศน์.....	3
2.2 แสดงการสแกนภาพบนจอโทรทัศน์แบบอินเทอร์เรซสแกนนิ่ง.....	4
2.3 แสดงการเก็บภาพดิจิทัลจากฟิล์มคี่และคู่เพื่อให้ได้ขนาด 256x256 จุดภาพ.....	5
2.4 แสดงการเติมสัญญาณฮอว์.ซิงค์และฮอว์.แบลิ่งคัลงไปในสัญญาณภาพแต่ละเส้น.....	7
2.5 แสดงการเติมสัญญาณเวอร์.ซิงค์และเวอร์.แบลิ่งคัลงไปในสัญญาณแต่ละฟิล์ม.....	7
2.6 แสดงหลักการสร้างภาพดิจิทัล.....	8
2.7 แสดงภาพขาวดำ.....	9
2.8 แสดงความแตกต่างของระดับสีของรูปในแต่ละพิกเซล.....	9
2.9 แสดงหลักการประมวลผลแบบจุดภาพ.....	10
2.10 แสดงเทมเพลตขนาด 3x3	12
2.11 แสดงการใช้เทมเพลตในการตรวจจับขอบภาพ	13
2.12 แสดงเทมเพลต 8 ทิศทาง.....	14
2.13 แสดงเทมเพลตสองทิศทาง.....	15
3.1 แสดงการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเชิงอุปมาน.....	17
3.2 แสดงสัญญาณสุ่มตัวอย่าง.....	18
3.3 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณจากการสุ่มตัวอย่าง.....	19
4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรแปลงสัญญาณภาพสำหรับจับข้อมูลวีดีโอ.....	21
4.2 แสดงวงจรขยายสัญญาณภาพ.....	22
4.3 แสดงสัญญาณภาพก่อนทำการขยายและแสดงสัญญาณภาพหลังทำการขยาย.....	23
4.4 แสดงวงจรแยกสัญญาณซิงค์.....	23
4.5 แสดงแผนภาพสัญญาณซิงค์เวลาปกติ.....	24
4.6 แสดงแผนภาพสัญญาณซิงค์ที่ทำการออกแบบ.....	24
4.7 แสดงเวลาในการเกิดภาพของระบบ PAL.....	25
4.8 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล.....	27
4.9 แสดงวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา (Clock).....	28
4.10 แสดงแผนภาพเวลาปกติ.....	29
4.11 แสดงแผนภาพเวลาปกติที่ทำการออกแบบ.....	29
4.12 แสดงวงจรสมมุติของส่วนควบคุม.....	30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.13 แสดงวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาที่มีขาควบคุมการทำงาน.....	30
4.14 แสดงสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา.....	31
4.15 แสดงวงจรหาร 8 สร้างสัญญาณ CCLK.....	33
4.16 แสดงผังเวลาสัญญาณควบคุมจังหวะการทำงานของวงจรหาร 8.....	34
4.17 แสดงสัญญาณเวลาของวงจรหาร 8 ในการออกแบบและวัดโดยออสซิลโลสโคป.....	34
4.18 แสดงการกำหนดพื้นที่แสดงภาพ ด้วยวงจร โมโนสเตเบิล.....	35
4.19 แสดงผังเวลาของสัญญาณฮอว์โมโนสเตเบิลและวงจร.....	36
4.20 แสดงผังเวลาของสัญญาณเวอร์โมโนสเตเบิลและวงจร.....	38
4.21 แสดงวงจรมับ 32 และ 256.....	39
4.22 แสดงวงจร Select Upper และ Lower.....	40
4.23 แสดงวงจร Dual Port RAM.....	41
4.24 แสดงการจัดเก็บข้อมูลของแรมสองทาง (Dual Port RAM).....	42
4.25 แสดงแผนภาพแสดงส่วนประมวลผลและแสดงผล.....	42
4.26 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานบนตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSK).....	43
4.27 แสดงโฟลว์ชาร์ตการทำงานบนคอมพิวเตอร์.....	44
5.1 แสดงภาพวัตถุต้นแบบที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลขนาด 512x211.....	45
5.2 แสดงภาพวัตถุต้นแบบปกติขนาด 128x128.....	45
5.3 แสดงภาพผลการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection.....	46
5.4 แสดงภาพเวลาในการหาขอบภาพขนาด 128x128.....	46
5.5 แสดงภาพวัตถุต้นแบบปกติขนาด 512x211.....	47
5.6 แสดงภาพวัตถุต้นแบบปกติขนาด 256x256.....	47
5.7 แสดงภาพผลการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection.....	47
5.8 แสดงภาพเวลาในการหาขอบภาพขนาด 256x256.....	47
5.9 แสดงภาพถ่ายต้นแบบปกติขนาด 512x211.....	48
5.10 แสดงภาพถ่ายต้นแบบปกติขนาด 256x256.....	48
5.11 แสดงภาพผลการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection.....	48
5.12 แสดงภาพเวลาในการหาขอบภาพขนาด 256x256.....	48

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ผนวก ก.1 แสดงฮาร์ดแวร์ของบอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit	53
ผนวก ก.2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของบอร์ดTMS320C3 DSP Starter Kit.....	54
ผนวก ก.3 แสดงการจัดแบ่งหน่วยความจำในโหมด Microcomputer/BootLoader ของบอร์ดTMS320C31 DSP Starter Kit.....	55
ผนวก ก.4 แสดงฟังก์ชันไดอะแกรมของชิป TLC32040.....	56
ผนวก ค.1 แสดงตำแหน่งการวางอุปกรณ์.....	74
ผนวก ค.2 แสดงชุดวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล.....	75
ผนวก ค.3 แสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์ด้านบน.....	76
ผนวก ค.4 แสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์ด้านล่าง.....	77
ผนวก ค.5 แสดงภาพต้นแบบที่พัฒนาสมบูรณ์.....	78

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ปัญหาและที่มาของการศึกษาวิจัย

เทคโนโลยีในปัจจุบันได้มีการใช้ประโยชน์จากภาพถ่าย สำหรับใช้ในการแสดงข้อมูลและการวิเคราะห์ในรูปแบบต่าง ๆ เช่น ภาพถ่ายดาวเทียมที่ใช้แสดงลักษณะของพื้นผิวของโลก การใช้กล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนศึกษารูปร่างและพื้นผิวของวัสดุที่มีขนาดเล็ก ตลอดจนการใช้ประโยชน์ในการรักษาความปลอดภัย เพื่อศึกษาโครงสร้างองค์ประกอบภายในของวัสดุจึงทำให้การแสดงข้อมูลและการวิเคราะห์ด้วยภาพจึงเป็นที่นิยมกันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถทำให้เข้าใจผลลัพธ์ที่ได้มีประสิทธิภาพขึ้น แต่เนื่องจากคุณภาพของภาพที่ได้จากระบบถ่ายภาพต่าง ๆ เหล่านั้นขึ้นอยู่กับเทคนิคการเก็บข้อมูลภาพและกระบวนการจัดการภาพ (Image Processing) ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้นจึงจำเป็นต้องอาศัยเทคนิคที่ดีสำหรับการเก็บข้อมูลภาพและกระบวนการจัดการภาพ โดยทั่วไปเทคนิคการเก็บข้อมูลส่วนใหญ่จะถูกกำหนดและออกแบบให้เหมาะสมกับงานแต่ละด้านอยู่แล้ว แต่กระบวนการจัดการทางภาพเพื่อให้ได้คุณภาพของภาพที่ดียังคงมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องทั้งระบบที่เป็นอนาล็อกและระบบดิจิทัล จากการศึกษาพบว่าในปัจจุบันวิทยาการทางด้านดิจิทัลได้เข้ามามีบทบาทอย่างมากกับชีวิตประจำวัน จึงเป็นเหตุผลทำให้การพัฒนาระบบการจัดการภาพมุ่งไปสู่กระบวนการจัดการภาพด้วยเทคนิคของดิจิทัล (Digital Image Processing Technique) และเป็นงานที่นักวิทยาศาสตร์หลาย ๆ สาขาให้ความสนใจอย่างมาก เช่น ทางการแพทย์ ทางวิศวกรรม ทางการสื่อสาร ฯลฯ เป็นต้น จากที่กล่าวมาแล้วข้างต้นจะเห็นว่าการถ่ายภาพก็เป็นเทคนิคหนึ่งที่มีความสำคัญต่อการตรวจหาและจดจำข้อมูล ดังนั้นในการปรับปรุงคุณภาพของภาพให้ดีขึ้นจึงเป็นเรื่องที่สำคัญมากเพราะจะทำให้ได้ข้อมูลที่มีความถูกต้องโดยงานวิจัยนี้ได้เลือกแนวทางการปรับปรุงคุณภาพของภาพด้วยเทคนิคของกระบวนการจัดการสัญญาณทางดิจิทัล (Digital Signal Processing :DSP) เข้ามาใช้ในการแก้ไขข้อมูลของสัญญาณภาพที่ได้จากกล้องถ่ายภาพขาวดำชนิดซีซีดี (B/W CCD Camera)

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

การศึกษาวิจัยครั้งนี้นำเสนอการออกแบบและสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล จับข้อมูลภาพโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลทศนิยมลอย TMS320C31 DSK Starter Kit (DSK) โดยเริ่มจากการแปลงสัญญาณภาพระดับความเข้ม 256 ระดับจากกล้อง CCD (Charge-Coupled Device) ซึ่งเป็นสัญญาณภาพเชิงอุปมานให้เป็นสัญญาณภาพ

เชิงเลขเก็บลงในหน่วยความจำจนมีปริมาณเพียงพอที่จะทำการประมวลผลด้วยตัวประมวลผล
สัญญาณดิจิทัล TMS320C31

1.3 ทฤษฎีหรือแนวคิดที่ใช้ในการศึกษาวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอการออกแบบและการสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผล
สัญญาณดิจิทัลสำหรับการจับข้อมูลภาพ [1-2] โดยปกติ สัญญาณข้อมูลต่าง ๆ ตามธรรมชาติ เช่น
กระแสไฟฟ้า ศักคาไฟฟ้า ประจุไฟฟ้า ความดัน เวลา และอุณหภูมิ จะอยู่ในรูปของสัญญาณต่อเนื่อง
หรือสัญญาณอนาล็อกปัจจุบันมีการนำเอารูปแบบของสัญญาณเชิงเลขมาใช้งานมากขึ้น ซึ่งการ
วิเคราะห์สัญญาณภาพเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมากโดยเฉพาะการแสดงผลภาพแบบลักษณะเวลาจริง นั้น
มีความจำเป็นที่ต้องใช้ไมโครโปรเซสเซอร์ ที่มีความสามารถในการประมวลผลด้วยความเร็วสูง ซึ่ง
ถ้าเป็นไมโครโปรเซสเซอร์ในตระกูล 80x86 หรือ 68xxx นั้นจะมีความเร็วในการประมวลผลทาง
คณิตศาสตร์ต่ำกว่าไมโครโปรเซสเซอร์ที่ออกแบบมาทางด้านนี้โดยเฉพาะตัวอย่างเช่น ตระกูล
TMS320C31 ด้วยเหตุนี้จึงได้ออกแบบและสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผล
สัญญาณดิจิทัล TMS320C31 แบบทศนิยมลอย เป็นตัวประมวลผลและนำข้อมูลภาพที่ได้ไป
วิเคราะห์ และแสดงผลลักษณะเวลาจริงต่อไป

1.4 วิธีดำเนินการวิจัย

ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้แบ่งขั้นตอนการทำงานออกเป็นหัวข้อต่างๆดังนี้

- 1.4.1 คำนวณเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.4.2 ศึกษาทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณดิจิทัล โปรแกรม และการทำงาน ของดีเอสพี
โปรแกรม เพื่อควบคุมการทำงานและประมวลผลด้วยดีเอสพี สำหรับการปรับปรุง
คุณภาพของภาพ
- 1.4.3 ออกแบบและสร้างอุปกรณ์ในการปรับปรุงคุณภาพโดยเทคนิคดีเอสพีทดสอบการ
ทำงานของระบบกับภาพแบบต่าง ๆ และเก็บข้อมูล
- 1.4.4 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

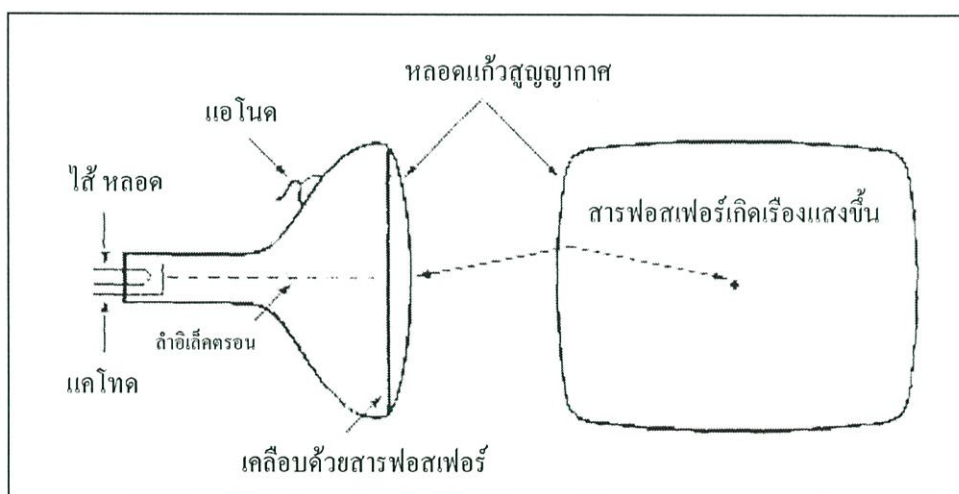
บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ทฤษฎีภาพ

2.1.1 ภาพที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์ [3]

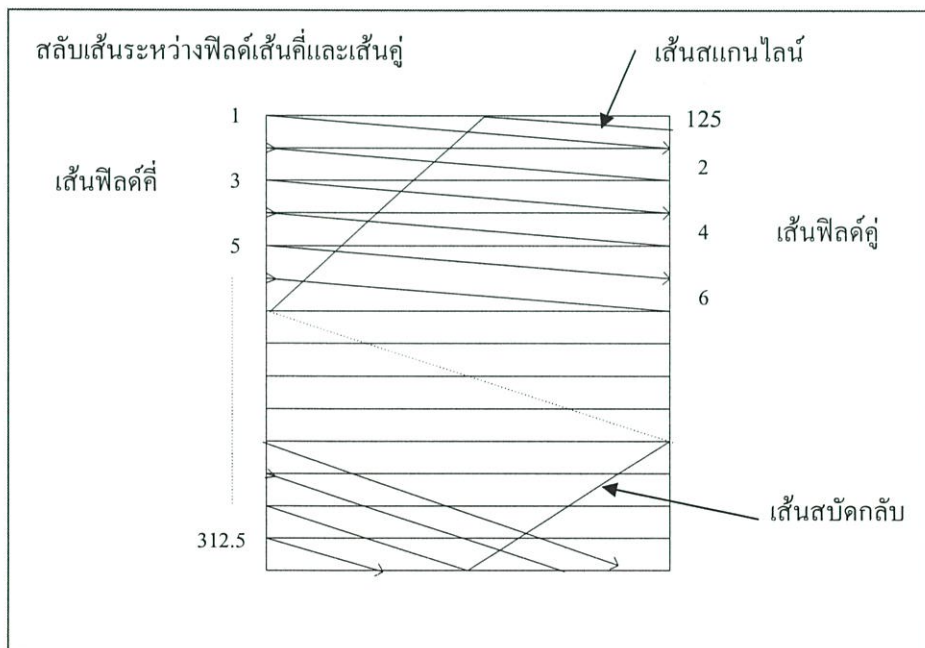
การทำงานเบื้องต้นของหลอดภาพชนิดรังสีแคโทด (CRT: Cathode Ray Tube) โครงสร้างและการสแกนภาพบนหน้าจอภาพ เมื่อสังเกตภาพที่ปรากฏบนหน้าจอโทรทัศน์ จะพบว่าในภาพนั้นประกอบขึ้นด้วยเส้นภาพเล็ก ๆ เรียงกันอยู่ในแนวนอนมากมาย ซึ่งเรียกกันว่า เส้นสแกน (scan line) และเมื่อสังเกตดูเส้นสแกนแต่ละเส้นจะประกอบไปด้วยจุดภาพต่าง ๆ ตลอดทั้งเส้นมีทั้งจุดมืดสว่างมากมายเรียกว่า องค์ประกอบของภาพ (picture element) ดังนั้นภาพที่ปรากฏบนจอโทรทัศน์ก็จะประกอบขึ้นด้วยองค์ประกอบของภาพมากมายที่มีระดับความสว่างแตกต่างกันรวมอยู่จนเกิดเป็นภาพได้ พิจารณาโครงสร้างของหลอดภาพดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 แสดงโครงสร้างพื้นฐานของหลอดภาพโทรทัศน์

ซึ่งเป็นโครงสร้างอย่างง่ายของหลอดโทรทัศน์มีการทำงานเหมือนกับหลอดสูญญากาศทั่ว ๆ ไป คือเมื่อแคโทดได้รับความร้อนจากการเผาของไส้หลอดจะทำให้แคโทดปล่อยอิเล็กตรอนออกมาอิเล็กตรอนที่ถูกปล่อยออกมาจะถูกดึงให้เข้าไปกระทบกับแอโนดที่หน้าจอหลอดภาพ โดยที่แอโนดจะมีแรงดันไฟฟ้าสูงกว่าที่แคโทดมาก ที่หน้าจอหลอดภาพจะถูกฉาบด้วยสารเรืองแสงเรียกว่า สารฟอสเฟอร์ (phosphor) การกระทบของอิเล็กตรอนกับสารฟอสเฟอร์ จะทำให้เกิดจุดสว่างเรืองแสงขึ้นและถ้าหากอิเล็กตรอนดังกล่าวเคลื่อนที่ส่ายไปมาในแนวนอนก็จะทำให้เกิดเส้นภาพขึ้น และในขณะเดียวกันถ้าหากให้ลำอิเล็กตรอนเคลื่อนที่ส่ายไปมาในแนวตั้งด้วย ก็จะทำให้

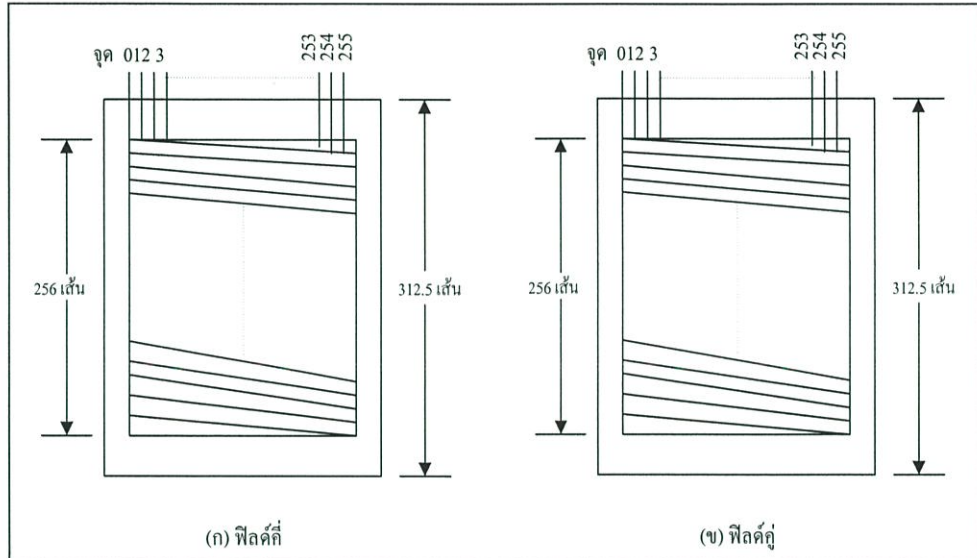
เกิดเป็นภาพขึ้นได้ การบังคับให้ลำอิเล็กตรอนส่ายไปมาไม่ว่าทิศทางใดก็ตามจะใช้สนามแม่เหล็กเป็นตัวควบคุมโดยในหลอดภาพโทรทัศน์จะใช้ขดลวดสนามแม่เหล็กเรียกว่า โย้ค (yoke) เป็นตัวควบคุมโดยการป้อนกระแสไฟฟ้ารูปฟันเลื่อยเข้าไป ซึ่งจะแตกต่างจากหลอดภาพในเครื่องออกซิโคลอปที่ใช้สนามไฟฟ้าสถิตย์เป็นตัวควบคุม เนื่องจากระบบโทรทัศน์ในประเทศไทยที่ใช้อยู่เป็นระบบ PAL (Phase Alternation Line) การสแกนภาพทางแนวนอน (Horizontal) มีความถี่เท่ากับ 15,625 เฮิรตซ์หรือ 64 μs และในทางแนวตั้ง (Vertical) มีค่าเท่ากับ 50 เฮิรตซ์ การสแกนภาพทางแนวนอนจะใช้เส้นสแกนจำนวน 625 เส้นเรียกว่า 1 ภาพ หรือ 1 เฟรมใน 1 เฟรมจะแบ่งการสแกนเป็น 2 ส่วนเรียกว่าฟิลด์ (field) ใน 1 ฟิลด์ จะมีจำนวนเส้นสแกนเท่ากับ 312.5 เส้น โดยแบ่งเป็นฟิลด์เส้นคู่และเส้นคี่ ดังนั้นใน 1 ภาพ หรือ 1 เฟรมก็จะมี 2 ฟิลด์ การสแกนภาพนั้นจะกระทำที่ฟิลด์เส้นคี่ก่อน โดยเริ่มจากด้านบนซ้ายสุดของจอภาพจนกระทั่งสิ้นสุดฟิลด์เส้นคี่ แล้วลำอิเล็กตรอนจะสลับกลับ (retrace) มาด้านบนของจอภาพใหม่และจะทำการสแกนภาพในฟิลด์เส้นคู่จนหมด การสแกนระหว่างฟิลด์เส้นคี่และฟิลด์เส้นคู่นี้จะสแกน โดยวางเส้นภาพสลับกันโดยไม่ทับกันเด็ดขาด วิธีการนี้เรียกว่า การอินเทอร์เรซ (interlace scanning) ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการสแกนภาพบนจอโทรทัศน์แบบอินเทอร์เรซสแกนนิ่ง

เมื่อพิจารณาการสแกนในแนวตั้ง จากรูปที่ 2.3 ทฤษฎีของสัญญาณภาพจะมีการสแกนทั้งหมด 625 เส้น จากการสแกนสองครั้ง ครั้งละ 312.5 เส้น ใน 312.5 เส้น จะมีเส้นของสัญญาณสลับกลับ 25 เส้น จึงทำให้เหลือสัญญาณในการสแกนภาพเพียง 287.5 เส้น ต้องการให้เส้นสแกนเพียง 128 เส้น ในการสแกนหนึ่งครั้ง ทำให้มีเส้นสแกนที่เราไม่ต้องการ 159.5 เส้น เมื่อทำการสแกนครบ

สองครั้งก็จะทำให้ได้เส้นสแกนครบ 256 เส้น เพราะฉะนั้นเราจะใช้วงจร Monostable ทำการหน่วงเวลาและขยายความกว้างของสัญญาณแบลิ่งค์ในแนวตั้ง (Vertical Blank) เพราะว่าเมื่อสแกนเสร็จหนึ่งครั้งจะมีสัญญาณแบลิ่งค์ทางแนวตั้งมาหนึ่งลูก ทำการขยายความกว้าง และหน่วงเวลาของสัญญาณแบลิ่งค์ให้ครบ 159.5 เส้น ซึ่งเป็นเส้นที่ไม่ต้องการ ดังนั้นจะได้เส้นสแกนในแนวตั้งทั้งหมด 256 เส้น ในการสแกนสองครั้งทำให้ได้ขนาดของภาพรวม 256x256 จุดภาพ



รูปที่ 2.3 การเก็บภาพดิจิทัลจากฟิล์มคี่และคู่เพื่อให้ได้ขนาด 256x256 จุดภาพ

จากหลักการที่กล่าวมาจะเห็นว่า การสแกนภาพ 1 ภาพนั้นคือการสแกนภาพนิ่ง 1 ภาพ ถ้าหากเรานำเอาภาพนิ่งที่แตกต่างจากภาพเดิมเล็กน้อยมาแสดงอย่างต่อเนื่องกันไป ด้วยอัตราความเร็วในการแสดงภาพเท่ากับ 25 ภาพต่อวินาที ก็จะทำให้ตาของคนเราสามารถเห็นเป็นภาพเคลื่อนไหวได้ โดยอาศัยคุณสมบัติของตาที่สามารถจดจำภาพได้ชั่วขณะหนึ่ง ซึ่งเป็นเรื่องของธรรมชาติของการมองเห็นแสดงหลักการง่าย ๆ ของการสร้างภาพบนจอโทรทัศน์ ซึ่งจะเห็นว่า การสร้างภาพจะต้องประกอบด้วยสัญญาณภาพ สัญญาณซิงค์ทางแนวนอน (Horizontal) สัญญาณซิงค์ทางแนวตั้ง (Vertical) สัญญาณคู่และคี่ (Odd/Even) เป็นต้น

2.1.2 สัญญาณซิงค์ในแนวนอน (Horizontal Sync)

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อช่วยให้วงจรของการหักเหในแนวนอนของเครื่องส่งและเครื่องรับ มีความถี่ตรงกันตลอดเวลาเพื่อให้เกิดการส่งและรับภาพที่สัมพันธ์กัน โดยในแนวนอนมีความถี่ 15,625 Hz สัญญาณนี้จะเป็นรูปพัลส์รูปสี่เหลี่ยม และจะถูกส่งรวมไปกับสัญญาณภาพเพื่อประกอบเป็นสัญญาณรวมสำหรับเครื่องรับซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างช่วงเวลาของการแบลิ่งค์ สัญญาณซิงค์

แนวนอนจะเกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายของการสแกนเส้นตามแนวนอนหนึ่งเส้น ซึ่งเป็นการเริ่มต้นการลากกลับตามแนวนอนแล้วสแกนเส้นต่อไป สัญญาณซิงค์แนวตั้งจะเกิดตอนที่ภาพสแกนถึงตำแหน่งล่างสุดของจอภาพ

2.1.3 สัญญาณซิงค์ในแนวตั้ง (Vertical Sync)

เป็นสัญญาณที่ช่วยให้วงจรของการหักเหในแนวตั้งของเครื่องส่งและเครื่องรับ มีความถี่ตรงกัน เพื่อให้เกิดการส่งและรับภาพที่สัมพันธ์กัน ในแนวตั้งมีความถี่ 50Hz สัญญาณนี้จะเป็นรูปพัลส์รูปสี่เหลี่ยม และจะถูกส่งรวมมากับสัญญาณภาพเพื่อประกอบเป็นสัญญาณรวมสำหรับเครื่องรับซึ่งเกิดขึ้นในระหว่างช่วงเวลาของการแบลิ่งค์ สัญญาณซิงค์แนวตั้งจะเกิดขึ้นในช่วงสุดท้ายที่ภาพสแกนถึงตำแหน่งล่างสุดของจอภาพ แล้วจึงไปสแกนที่จุดเริ่มต้นของภาพใหม่ แต่เป็นฟิลด์ที่ตรงข้ามกับการสแกนครั้งแรก ในหนึ่งภาพจะได้สัญญาณซิงค์แนวตั้ง 2 พัลส์ เพราะว่ามี การสแกน 2 ครั้ง หรือ 2 ฟิลด์

2.1.4 สัญญาณแบลิ่งค์ในแนวนอน (Horizontal Blanking)

เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อลบการสแกนสะบัดกลับในแนวนอนเพื่อ มิให้สังเกตเห็น ได้ทางจอภาพ สัญญาณในแนวนอนมีความถี่ 15,625 Hz (64 μ s) จะเกิดการแบลิ่งค์ในส่วนลากกลับจากขวามาซ้าย ประมาณ 20% หรือเท่ากับ 12.8 μ s

2.1.5 สัญญาณแบลิ่งค์ในแนวตั้ง (Vertical Blanking)

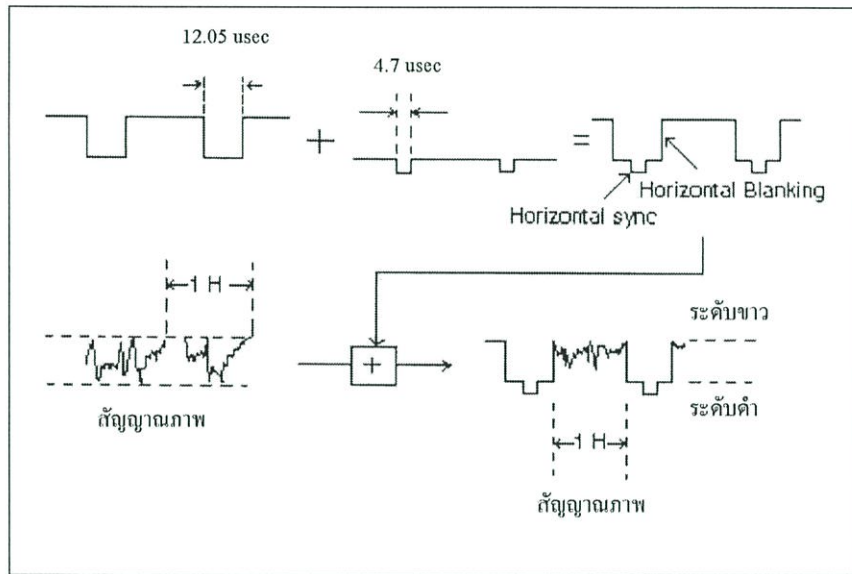
เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อลบการสแกนสะบัดกลับในแนวตั้ง เพื่อมิให้สังเกตเห็น ได้ทางจอภาพ สัญญาณในแนวตั้งมีความถี่ 50 Hz (20 ms) จะเกิดการแบลิ่งค์ลากกลับจากล่างขึ้นบนประมาณ 8% หรือเท่ากับ 1.6 ms

2.1.6 สัญญาณอีควอไลซ์ซิง (Equalizing Pulse)

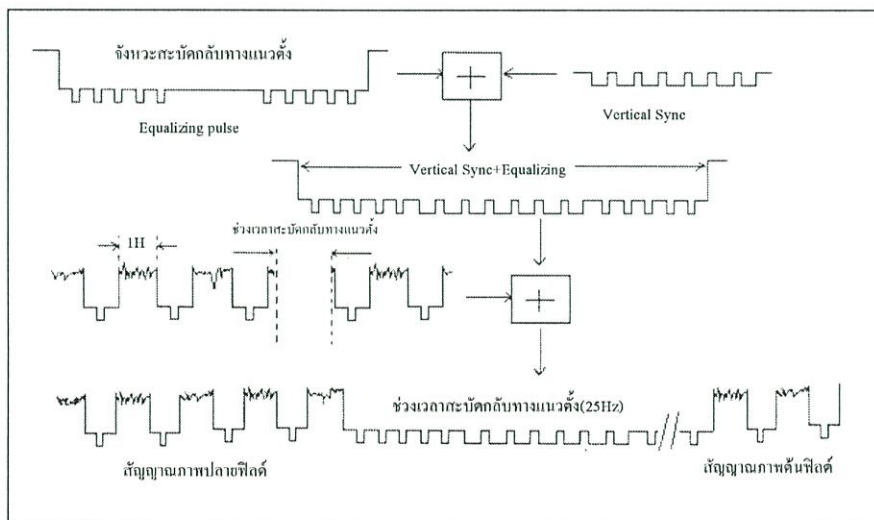
เป็นสัญญาณที่ใช้เพื่อช่วยให้สัญญาณซิงค์ในแนวตั้งยังคงรูปร่างเดิมหลังจากแยกออกสัญญาณซิงค์ในแนวนอนแล้วช่วยทำให้การสแกนแบบไขว้กันเป็นไปโดยเรียบร็อยและยังช่วยให้สัญญาณซิงค์ในแนวนอนไม่ขาดหายไปในช่วงเวลาของสัญญาณซิงค์ทางแนวตั้งอีกด้วยในการสแกนแบบสลับเส้นสัญญาณนี้จะช่วยลดความผิดพลาดที่เกิดขึ้นเนื่องจากการสะบัดกลับผิดตำแหน่งได้

2.1.7 สัญญาณภาพรวม (Composite video signal)

จะประกอบด้วยสัญญาณข้อมูลภาพ สัญญาณแบล็งค์และสัญญาณซิงค์ทั้งแนวอนและแนวตั้ง ความสว่างหรือระดับความเข้มของแต่ละจุดบนจอภาพขึ้นอยู่กับระดับโวลเตจของสัญญาณ ในช่วงสุดท้ายก่อนส่งสัญญาณซิงค์ก็จะมีช่วงเวลาสั้น ๆ เรียกว่า “ขอบหน้า” (Front Porch) ถ้าต้องการให้ได้ภาพที่ไม่บิดเบี้ยวจะต้องทำให้สัญญาณมีระดับเท่ากันก่อนที่จะให้สัญญาณซิงค์ (ช่วงเวลาขอบหน้า) และหลังจากสัญญาณซิงค์ก็จะมีช่วงเวลา “ขอบหลัง” (Back Porch) ซึ่งเป็นระดับความเข้มสีดำเพื่อเตรียมรับสัญญาณต่อไป



รูปที่ 2.4 แสดงการเติมสัญญาณซอร์.ซิงค์และซอร์.แบล็งค์ ลงไปในสัญญาณภาพแต่ละเส้น

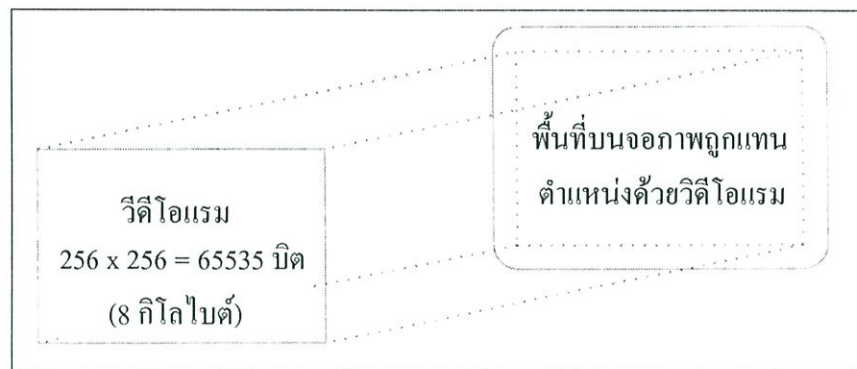


รูปที่ 2.5 แสดงการเติมสัญญาณเวอร์.ซิงค์และเวอร์.แบล็งค์ ลงไปในสัญญาณแต่ละฟิลด์

จากที่กล่าวมานั้นเป็นการแสดงภาพในทางลิเนียร์การแสดงผลภาพในทางดิจิทัลของโทรทัศน์นั้น ความสว่างของจุดภาพ หรือองค์ประกอบภาพจะมีเพียงสองระดับเท่านั้นคือมืดแทนด้วย ลอจิก 0 และสว่างแทนด้วยลอจิก 1 ซึ่งแตกต่างกับการแสดงผลภาพทางลิเนียร์

2.2 หลักการสร้างภาพทางดิจิทัล

จะใช้หลักการของวิดีโอแรม (Video RAM) โดยใช้หน่วยความจำมาแทนตำแหน่งขององค์ประกอบภาพในแต่ละตำแหน่ง โดยมีการกำหนดให้สามารถแสดงเส้นภาพทางแนวนอนได้ 256 เส้น และในแต่ละเส้นภาพจะมีรายละเอียดของจุดภาพเท่ากับ 256 จุด ดังนั้นหน่วยความจำที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 256×256 เท่ากับ 65,536 บิต หรือ 8 กิโลไบต์ (ให้องค์ประกอบภาพ 1 ตำแหน่ง เท่ากับหน่วยความจำ 8 บิต) โดยแสดงหลักการสร้างภาพโดยวิดีโอแรมดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงหลักการสร้างภาพทางดิจิทัล

ด้วยวิธีการใช้วิดีโอแรมนี้ ทำให้เราสามารถอ้างอิงถึงตำแหน่งขององค์ประกอบภาพได้ทุกตำแหน่ง ณ จุดใดก็ได้ โดยอาศัยการอ้างตำแหน่งของหน่วยความจำในตำแหน่งนั้น ภาพดิจิทัลจะแทนด้วยเมตริกซ์ใน 2 มิติ โดยแต่ละหน่วยในเมตริกซ์จะเรียกว่า พิกเซล (pixel) กระบวนการแสดงผลภาพให้ ปรากฏขึ้นมานั้นก็คือ การแสดงค่าของเมตริกซ์ โดยแต่ละพิกเซลจะมีค่าเฉพาะตัวแสดงถึงสีต่าง ๆ โดยปกติภาพ ขาว-ดำ จะมีค่าของพิกเซลอยู่ระหว่าง 0 ถึง 255 เพื่อแสดงความแตกต่างของระดับสี

(255,0,255) ซึ่งสีทั้งแปดนี้จะอยู่ตรงมุมของกล่องสี่เหลี่ยม ส่วนค่าสีที่อยู่ในกล่องจะประกอบไปด้วยค่า RGB ที่มีอัตราส่วนที่แตกต่างกันออกไปและแสดงด้วยสีเฉพาะตัวสำหรับแต่ละอัตราส่วน

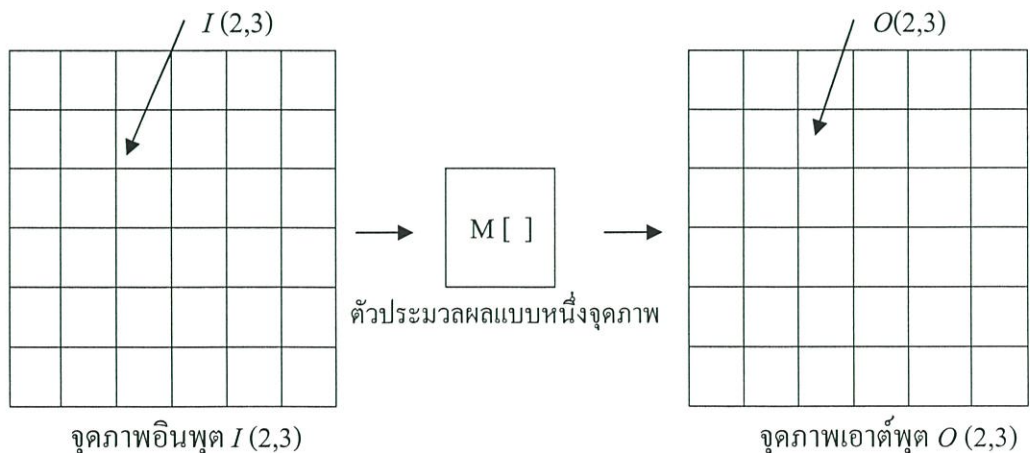
2.3 การตรวจจับขอบในภาพ (Edge detection) [4]

ข้อมูลภาพทางดิจิทัลจะมีลักษณะเป็นลำดับ (Array) แต่ละจุดภาพจะอยู่ในรูปสี่เหลี่ยมเล็ก ๆ ในทางกายภาพแต่ละจุดภาพที่ถูกจัดวางอยู่ในภาพจะมีตำแหน่งบอกพิกัดทางสเปเชียล (Spatial Coordinate) ในรูปคาร์ทีเซียน (Cartesian) เป็น (x,y) เมื่อ x เป็นลำดับในตำแหน่งแนวนอนและ y ในตำแหน่งในแนวตั้ง ปกติแล้วตำแหน่งจุดภาพ (0,0) จะอยู่ด้านบนซ้ายมือสุดของภาพ การจัดลำดับตำแหน่งของจุดภาพจะเรียงจากซ้ายไปขวาในแต่ละเส้นภาพ และการเรียงลำดับของเส้นภาพจะเรียงจากบนลงล่าง ในการประมวลผลข้อมูลภาพทางดิจิทัลจะทำได้ในสองลักษณะ คือ การประมวลผลแบบจุดภาพ (Pixel Point Processing) และการประมวลผลแบบกลุ่มภาพจุดภาพ (Pixel Group Processing)

1. การประมวลผลแบบจุดภาพ (Pixel Point Processing) การประมวลผลแบบจุดภาพนี้ จะทำการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพแบบจุดต่อจุดเป็นหลักการมูลฐาน ค่าระดับสีเทาของแต่ละจุดภาพที่เปลี่ยนได้จากการคำนวณทางคณิตศาสตร์ หรือทางตรรก สมการที่ใช้ในการประมวลผลแบบจุดภาพเขียนได้เป็น

$$O(x,y) = M[I(x,y)] \quad (2.1)$$

เมื่อ $I(x,y)$ เป็นภาพทางด้านอินพุต $O(x,y)$ เป็นภาพทางด้านเอาต์พุตและ $M[]$ เป็นฟังก์ชันในการแทน (Mapping) ข้อมูล โดยจุดภาพที่พิกัดหนึ่งจะถูกปรับปรุงเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาด้วยฟังก์ชันที่กำหนดไว้ ค่าระดับสีเทาใหม่ของจุดภาพจะถูกนำมาแทนค่าลงในตำแหน่งพิกัดเดิมของภาพผลลัพธ์เอาต์พุต หลักการของการประมวลผลแบบจุดภาพดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงหลักการประมวลผลแบบจุดภาพ

2. การประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพ (Pixel Group Processing) จากการประมวลผลแบบจุดภาพ เป็นการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพ ซึ่งวิธีการดังกล่าวไม่สามารถเปลี่ยนแปลงรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมในภาพ เนื่องจากเป็นขบวนการแทนค่าแบบจุดภาพต่อจุดภาพของภาพ อินพุตกับภาพเอาต์พุต ซึ่งขบวนการดังกล่าวไม่คำนึงถึงจุดภาพข้างเคียง (Neighbor) กับจุดภาพ อินพุต ในขณะที่การประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพจะนำเอาค่าระดับสีเทาของจุดภาพบริเวณข้างเคียง มาร่วมพิจารณาและคำนวณหาค่าใหม่ เพื่อนำมาแทนค่าลงในจุดภาพกึ่งกลางของกลุ่มที่กำลังสนใจ อยู่ ลักษณะนี้จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรายละเอียดทางสถาปัตยกรรมในภาพ

ถ้าหากบริเวณใดของภาพดิจิทัลที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาของจุดภาพหรือความสว่าง ทันทีทันใด เช่น จากมืดเป็นสว่าง หรือจากสว่างเป็นมืด บริเวณดังกล่าวจะให้ความถี่สูง ส่วนบริเวณ ใดที่มีค่าระดับสีเทาที่มีการเปลี่ยนแปลงน้อยหรือให้ค่าความสว่างเกือบเท่ากันตลอดบริเวณนั้นจะให้ ค่าความถี่ต่ำ ปกติแล้วบริเวณที่ขอบวัตถุ (Edges) ในภาพจะเป็นบริเวณที่มีความถี่สูง ดังนั้นถ้าหาก นำค่าความสว่างของจุดภาพที่สนใจกับจุดภาพในบริเวณข้างเคียงมาทำการประมวลผล ซึ่งส่งผลให้ ค่าจุดภาพที่สนใจเปลี่ยนแปลงไปย่อมส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความถี่ของจุดภาพในบริเวณนั้น ในการประมวลผลโดยการใช้กลุ่มจุดภาพบางครั้งอาจทำให้ขอบวัตถุคมชัดขึ้น หรือในทางตรงกัน ข้ามความชัดอาจถูกทำลายไป ลักษณะเช่นนี้เรียกว่าเกิดการกรองทางสถาปัตยกรรม (Spatial Filtering)

การประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพ จะใช้วิธีการถ่วงน้ำหนัก (Weighted) ให้กับจุดภาพต่าง ๆ ใน บริเวณข้างเคียง กลุ่มของจุดภาพที่จะถ่วงน้ำหนักนี้เรียกว่า เทมเพลต (Template) หรือ เคอร์เนลส์ (Kernels) จะมีขนาด 3x3 หรือ 5x5 โดยปกติจะใช้เทมเพลตขนาด 3x3 ทั้งนี้เพราะถ้าใช้เทมเพลต ขนาดใหญ่จะใช้เวลาในการประมวลผลนานในการประมวลผลนั้นจะนำเทมเพลตที่เลือกไว้มาทาบ บนภาพดิจิทัล โดยให้จุดกึ่งกลางของเทมเพลตทับกับจุดภาพที่สนใจ ซึ่งจุดภาพดังกล่าวจะถูก เปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาไปตามการถ่วงน้ำหนัก (Weighting) ของจุดภาพในเทมเพลตจากการ เลื่อนเทมเพลตไปที่ละจุดภาพจากซ้ายไปขวาและจากบนลงล่าง ลักษณะการทำงานนี้เรียกว่าการทำ คอนโวลูชันในทางสถาปัตยกรรม (Spatial Convolution)

ถ้าหากเทมเพลตขนาด 3x3 ที่เลือกใช้มีค่าถ่วงน้ำหนักทั้ง 9 จุด หรือสัมประสิทธิ์ทั้ง 9 ของการ ทำคอนโวลูชัน ดังแสดงในรูปที่ 2.10 ในการประมวลผลเพื่อเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาที่ตำแหน่ง (x,y) ใด ๆ ซึ่งอยู่กึ่งกลางของเทมเพลตของตัวประมวลผลแต่ละครั้ง ในการทำคอนโวลูชันภาพอิน พุต $I(x,y)$ กับเทมเพลตของรูป 2.10 จะได้ภาพเอาต์พุตที่จุด (x,y) เป็น $O(x,y)$ โดย

$$O(x,y) = W(1,1)I(x-1,y-1)+W(1,2)I(x-1,y)+W(1,3)I(x-1)$$

$$W(2,1)I(x,y-1)+W(2,2)I(x,y)+W(2,3)I(x,y-1)$$

$$W(3,1)I(x+1,y-1)+W(3,2)I(x+1,y)+W(3,3)I(x+1,y+1) \quad (2.2)$$

หรือเขียนเป็นสูตร

$$O(x,y)=O(x,y)=\sum_{j=1}^3\sum_{i=1}^3W(i,j)I(x+2-i,y+2-j) \quad (2.3)$$

W(1,1)	W(1,2)	W(1,3)
W(2,1)	W(2,2)	W(2,3)
W(3,1)	W(3,2)	W(3,3)

รูปที่ 2.10 แสดงเทมเพลตขนาด 3x3

ในการประมวลผลแบบกลุ่มจุดภาพที่ใช้เทมเพลตขนาด 3x3 ปกติแล้วเส้นภาพเส้นแรกบนสุดและเส้นล่างสุดกับเส้นภาพแนวตั้งแถวแรกกับแถวสุดท้ายจะไม่มีประมวลผล ทั้งนี้เพราะเทมเพลตจะสั้นสั้นขอบภาพทำให้ประมวลผลไม่ได้ ดังนั้นเพื่อให้ภาพเอาต์พุตขนาดเท่าเดิมจะมีการเติมค่าของจุดภาพให้ขอบทั้งสี่ด้านของภาพเอาต์พุต ในการเติมค่าให้จุดภาพดังกล่าวจะต้องมีหลักการในการเติมเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่สมบูรณ์ตามจุดประสงค์ของการใช้เทมเพลตนั้น ๆ เช่น ถ้าเทมเพลตที่ใช้เป็นการหาค่าเกรเดียนต์ (Gradient) บริเวณขอบทั้งสี่ด้านของภาพที่ไม่มีประมวลผลจะถูกแทนด้วยค่าศูนย์เพราะถือว่าบริเวณขอบภาพมีอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาดำ แต่ถ้าเป็นการกรองทางสไปเชียลก็ให้ใส่จุดภาพบริเวณขอบทั้งสี่ด้านของผลลัพธ์ด้วยค่าจุดภาพเดิมของภาพอินพุต อย่างไรก็ตามค่าของจุดภาพที่จะเติมให้ขอบภาพเอาต์พุตก็ไม่มีกำหนดตายตัวว่าเป็นอย่างไรแน่นอน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมและความพึงพอใจในการประมวลผลภาพ

ขอบต่าง ๆ ภายในภาพเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของค่าระดับสีเทาแบบทันทีทันใดจากค่าระดับสีเทาดำ ๆ ไปเป็นค่าระดับสีเทาสูง ๆ หรือในการทางตรงข้ามจะเปลี่ยนค่าจากระดับสีเทาสูง ๆ ไปเป็นระดับสีเทาดำ ๆ ฉะนั้นการตรวจจับขอบภาพจึงเป็นการหาค่าความลาดชัน (Slope) ระหว่างจุดภาพ หรือเรียกว่า ค่าเกรเดียนต์ (Gradient) ขอบต่าง ๆ จะเป็นโครงร่างภายในภาพ โครงร่างต่าง ๆ ภายในภาพจะถูกนำไปใช้ประโยชน์ในการวิเคราะห์ตรวจสอบการเคลื่อนไหวของวัตถุ จากเฟรม (Frame) หนึ่งไปยังวัตถุอีกเฟรมหนึ่งหรืออาจนำไปใช้การรู้จำวัตถุ วิธีพื้นฐานในการตรวจจับขอบภาพทางโดเมนสไปเชียลแบ่งออกได้เป็นสองวิธี คือ การใช้เทมเพลต และการลบภาพต้นฉบับด้วยภาพที่ถูกทำให้เรียบ

2.3.1 การใช้เทมเพลตในการตรวจจับขอบภาพ

เนื่องจากการตรวจจับขอบภายในภาพเป็นการหาค่าความแตกต่างของจุดภาพจากจุดข้างเคียงว่ามีมากน้อยเพียงไร เพื่อไม่ให้เกิดการไบแอส (Bias) ขึ้นในพื้นที่ เทมเพลตที่นำมาใช้ตรวจจับขอบจึงมีเงื่อนไขว่าผลรวมของน้ำหนักถ่วงในแต่ละเทมเพลตจะต้องเป็นศูนย์ ดังนั้นถ้าหากนำไปประยุกต์กับข้อมูลภาพแล้วบริเวณใดที่มีค่าระดับสีเทาเท่ากันหมดจะให้ค่าผลลัพธ์ หลังการประมวลผลเป็นศูนย์ ดังแสดงในรูปที่ 2.11 เทมเพลตที่ใช้ในการตรวจจับขอบ หรือ เทมเพลตเกรเดียนต์ (Gradient template) ค่าผลลัพธ์จากการคำนวณที่ได้จะเป็นค่าเกรเดียนต์ของจุดภาพนั้น ๆ

<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>8</td><td>-1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	-1	-1	-1	-1	8	-1	-1	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>4</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>0</td></tr> </table>	0	-1	0	-1	4	-1	0	-1	0	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr> <tr><td>-2</td><td>4</td><td>-2</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr> </table>	1	-2	1	-2	4	-2	1	-2	1
-1	-1	-1																											
-1	8	-1																											
-1	-1	-1																											
0	-1	0																											
-1	4	-1																											
0	-1	0																											
1	-2	1																											
-2	4	-2																											
1	-2	1																											
(ก) เทมเพลต	(ข) เทมเพลต	(ค) เทมเพลต																											

รูปที่ 2.11 แสดงเทมเพลตเกรเดียนต์ของลาปลาเซียนแบบต่าง ๆ

	ทิศทางของขอบ Prewitt	Kirsh	สามระดับ	ห้าระดับ (Sobel)																																				
ทิศทางของขอบ ↓ เหนือ	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	1	1	1	1	-2	1	-1	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr> <tr><td>-3</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	5	5	5	-3	0	-3	-3	-3	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> </table>	1	2	1	0	0	0	-1	-2	-1
1	1	1																																						
1	-2	1																																						
-1	-1	-1																																						
5	5	5																																						
-3	0	-3																																						
-3	-3	-3																																						
1	1	1																																						
0	0	0																																						
-1	-1	-1																																						
1	2	1																																						
0	0	0																																						
-1	-2	-1																																						
ตะวันตกเฉียงเหนือ	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	1	1	1	1	-2	-1	1	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>5</td><td>5</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	5	5	-3	5	0	-3	-3	-3	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	1	1	0	1	0	-1	0	-1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> </table>	2	1	0	1	0	-1	0	-1	-2
1	1	1																																						
1	-2	-1																																						
1	-1	-1																																						
5	5	-3																																						
5	0	-3																																						
-3	-3	-3																																						
1	1	0																																						
1	0	-1																																						
0	-1	-1																																						
2	1	0																																						
1	0	-1																																						
0	-1	-2																																						
ตะวันตก	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>-1</td></tr> </table>	1	1	-1	1	-2	-1	1	1	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>5</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> </table>	5	-3	-3	5	0	-3	5	-3	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>-2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table>	1	0	-1	2	0	-2	1	0	-1
1	1	-1																																						
1	-2	-1																																						
1	1	-1																																						
5	-3	-3																																						
5	0	-3																																						
5	-3	-3																																						
1	0	-1																																						
1	0	-1																																						
1	0	-1																																						
1	0	-1																																						
2	0	-2																																						
1	0	-1																																						
ตะวันตกเฉียงใต้	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> </table>	1	-1	-1	1	-2	-1	1	1	1	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>0</td><td>-3</td></tr> <tr><td>5</td><td>5</td><td>-3</td></tr> </table>	-3	-3	-3	5	0	-3	5	5	-3	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	0	-1	-1	1	0	-1	1	1	0	<table border="1" style="border-collapse: collapse; width: 60px; height: 60px;"> <tr><td>0</td><td>-1</td><td>-2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>2</td><td>1</td><td>0</td></tr> </table>	0	-1	-2	1	0	-1	2	1	0
1	-1	-1																																						
1	-2	-1																																						
1	1	1																																						
-3	-3	-3																																						
5	0	-3																																						
5	5	-3																																						
0	-1	-1																																						
1	0	-1																																						
1	1	0																																						
0	-1	-2																																						
1	0	-1																																						
2	1	0																																						

ได้	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	-1	1	-2	1	1	1	1	<table border="1"><tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr><tr><td>-3</td><td>0</td><td>-3</td></tr><tr><td>5</td><td>5</td><td>5</td></tr></table>	-3	-3	-3	-3	0	-3	5	5	5	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	-1	0	0	0	1	1	1	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr><tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr><tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr></table>	-1	-2	-1	0	0	0	1	2	1
-1	-1	-1																																						
1	-2	1																																						
1	1	1																																						
-3	-3	-3																																						
-3	0	-3																																						
5	5	5																																						
-1	-1	-1																																						
0	0	0																																						
1	1	1																																						
-1	-2	-1																																						
0	0	0																																						
1	2	1																																						
ตะวันออกเฉียงใต้	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	1	-1	-2	1	1	1	1	<table border="1"><tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr><tr><td>-3</td><td>0</td><td>5</td></tr><tr><td>-3</td><td>5</td><td>5</td></tr></table>	-3	-3	-3	-3	0	5	-3	5	5	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	-1	0	-1	0	1	0	1	1	<table border="1"><tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr></table>	-2	-1	0	-1	0	1	0	1	2
-1	-1	1																																						
-1	-2	1																																						
1	1	1																																						
-3	-3	-3																																						
-3	0	5																																						
-3	5	5																																						
-1	-1	0																																						
-1	0	1																																						
0	1	1																																						
-2	-1	0																																						
-1	0	1																																						
0	1	2																																						
ตะวันออก	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>1</td><td>1</td></tr></table>	-1	1	1	-1	-2	1	-1	1	1	<table border="1"><tr><td>-3</td><td>-3</td><td>5</td></tr><tr><td>-3</td><td>0</td><td>-5</td></tr><tr><td>-3</td><td>-3</td><td>5</td></tr></table>	-3	-3	5	-3	0	-5	-3	-3	5	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	-1	0	1	-1	0	1	<table border="1"><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-2</td><td>0</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr></table>	-1	0	1	-2	0	2	-1	0	1
-1	1	1																																						
-1	-2	1																																						
-1	1	1																																						
-3	-3	5																																						
-3	0	-5																																						
-3	-3	5																																						
-1	0	1																																						
-1	0	1																																						
-1	0	1																																						
-1	0	1																																						
-2	0	2																																						
-1	0	1																																						
ตะวันออกเฉียง	<table border="1"><tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>1</td><td>-2</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>1</td></tr></table>	1	1	1	1	-2	1	-1	-1	1	<table border="1"><tr><td>-3</td><td>5</td><td>5</td></tr><tr><td>-3</td><td>0</td><td>5</td></tr><tr><td>-3</td><td>-3</td><td>-3</td></tr></table>	-3	5	5	-3	0	5	-3	-3	-3	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-1</td><td>-1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	1	-1	0	1	-1	-1	0	<table border="1"><tr><td>0</td><td>1</td><td>2</td></tr><tr><td>-1</td><td>0</td><td>1</td></tr><tr><td>-2</td><td>-1</td><td>0</td></tr></table>	0	1	2	-1	0	1	-2	-1	0
1	1	1																																						
1	-2	1																																						
-1	-1	1																																						
-3	5	5																																						
-3	0	5																																						
-3	-3	-3																																						
0	1	1																																						
-1	0	1																																						
-1	-1	0																																						
0	1	2																																						
-1	0	1																																						
-2	-1	0																																						

รูปที่ 2.12 แสดงเทมเพลต 8 ทิศทาง

เทมเพลตเกรเดียนต์ที่นำมาใช้ในการตรวจจับขอบจะแบ่งเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มที่ไม่คำนึงถึงทิศทางของขอบภาพในภาพ (Omnidirectional) อย่างเช่น เทมเพลตของ Laplacian ดังแสดงใน รูปที่ 2.11 เทมเพลตนี้จะถูกนำไปทำคอนโวลูชันกับภาพโดยใช้สมการที่ (2.1) โดยเทมเพลตจะถูกแทนลงในเทอม $W(i, j)$ ของสมการ เทมเพลตดังกล่าวจะถูกนำมาทาบทับกับข้อมูลภาพ โดยให้จุดกึ่งกลางของเทมเพลตทับบนจุดที่ต้องการคำนวณค่าเกรเดียนต์ และเทมเพลตเกรเดียนต์กลุ่มที่คำนึงถึงทิศทาง (Compress) [5] เช่น เทมเพลตของ Prewitt ของ Kirsh เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.12 เทมเพลตแต่ละแบบจะมี 8 ทิศทาง [6] เทมเพลตแต่ละทิศทางจะถูกนำมาคำนวณค่าเกรเดียนต์ว่า เทมเพลตทิศไหนให้ค่าเกรเดียนต์สูงสุดก็จะเลือกค่าเกรเดียนต์จากเทมเพลตนั้น

ในการใช้เทมเพลตทั้ง 8 ทิศทาง จะต้องใช้เวลาในการคำนวณสูงมาก ดังนั้นเพื่อลดเวลาในการคำนวณจึงมีการนำเอาเทมเพลตเพียงสองทิศที่ตั้งฉากกัน (Orthogonal template) มาคำนวณค่าเกรเดียนต์ร่วมกัน ซึ่งปกติจะเลือกเทมเพลตทิศเหนือกับทิศตะวันตก ดังแสดงในรูปที่ 2.13 เทมเพลตทั้งสองทิศจะให้ค่าเกรเดียนต์ที่ประมาณจากอนุพันธ์ย่อย (Partial derivative) ตามทิศทางของวัตถุในภาพ โดยเทมเพลตทิศตะวันตกจะให้ค่าเกรเดียนต์สูงสำหรับบริเวณที่มีขอบทางแนวตั้ง บริเวณที่ขอบเป็นเส้นเฉียงจะให้ค่าเกรเดียนต์จากการเฉลี่ยของเทมเพลตทั้งสอง สำหรับทิศทางของขอบหรือเกรเดียนต์นี้จะได้จากอาร์คแทนเจน (Arctangent) ของค่าเกรเดียนต์จากเทมเพลตทั้งสอง

	สามระดับ	ห้าระดับ (Sobel)																		
ทิศเหนือ	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>1</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-1</td><td>-1</td></tr> </table>	1	1	1	0	0	0	-1	-1	-1	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>2</td><td>1</td></tr> <tr><td>0</td><td>0</td><td>0</td></tr> <tr><td>-1</td><td>-2</td><td>-1</td></tr> </table>	1	2	1	0	0	0	-1	-2	-1
1	1	1																		
0	0	0																		
-1	-1	-1																		
1	2	1																		
0	0	0																		
-1	-2	-1																		
ทิศตะวันตก	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table>	1	0	-1	1	0	-1	1	0	-1	<table border="1"> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> <tr><td>2</td><td>0</td><td>-2</td></tr> <tr><td>1</td><td>0</td><td>-1</td></tr> </table>	1	0	-1	2	0	-2	1	0	-1
1	0	-1																		
1	0	-1																		
1	0	-1																		
1	0	-1																		
2	0	-2																		
1	0	-1																		

รูปที่ 2.13 เเทมเพลตสองทิศทาง

งานวิจัยนี้เลือกใช้เทมเพลตห้าระดับ หรือบางครั้งเรียกว่า เเทมเพลตของ Sobel ทั้งสองเทมเพลต ในการคำนวณหาค่าเกรเดียนต์ โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักให้จุดภาพจะเป็น 1 และ 2 ถ้าตัวถ่วงน้ำหนักเป็น 1 ก็จะทำให้ค่าข้อมูลภาพนั้นเลย แต่ถ้าตัวถ่วงน้ำหนักเป็น 2 ก็จะทำให้ทำการเลื่อนบิตค่าของข้อมูลจุดภาพไปทางซ้ายมือหนึ่งบิต (Shift left)

จากรูปที่ 2.13 ถ้ากำหนดให้เทมเพลตทิศเหนือ เป็น $W_h(i,j)$ และเทมเพลตทิศตะวันตกเป็น $W_v(i,j)$ เเทมเพลตทั้งคู่จะถูกนำมาทำการคอนโวลูชันกับข้อมูลภาพต้นฉบับ $I(x,y)$ โดยจะให้ค่าเกรเดียนต์ของขอบในแนวนอนและแนวตั้งเป็น $G_h(x,y)$ กับ $G_v(x,y)$ หาได้ดังสมการที่ (2.4) และ (2.5) ตามลำดับ

$$G_h(x,y) = \sum_{i=-1}^3 \sum_{j=-1}^3 W_h(i,j) I(x+2-i, y+2-j) \quad (2.4)$$

$$G_v(x,y) = \sum_{i=-1}^3 \sum_{j=-1}^3 W_v(i,j) I(x+2-i, y+2-j) \quad (2.5)$$

ค่าเกรเดียนต์เฉลี่ยของภาพเอาต์พุต $O(x,y)$ ได้จากสมการที่ (2.6)

$$O(x,y) = \sqrt{[G_h(x,y)]^2 + [G_v(x,y)]^2} \quad (2.6)$$

เพื่อลดเวลาการคำนวณลงค่าเกรเดียนต์ผลลัพธ์ $O(x,y)$ จะคำนวณจากผลรวมของค่าสัมบูรณ์ (Absolute value) ของค่าเกรเดียนต์ทั้งสอง

$$O(x,y) = |G_h(x,y)| + |G_v(x,y)| \quad (2.7)$$

สำหรับทิศทางของขอบหรือเกรเดียนต์คือ $\theta(x,y)$ คำนวณได้ดังสมการที่

$$\theta(x,y) = \tan^{-1} \left[\frac{G_h(x,y)}{G_v(x,y)} \right] \quad (2.8)$$

2.3.2 การตรวจจับขอบโดยการลบภาพต้นฉบับด้วยภาพที่ถูกปรับเรียบ (Edge detection by subtraction smoothing)

ภาพ ๆ หนึ่งจะประกอบด้วยพื้นที่ที่เป็นเอกพันธ์หลาย ๆ พื้นที่ที่ถูกแยกออกจากกันด้วยขอบภาพที่ล้อมรอบแต่ละพื้นที่ ถ้าหากวิเคราะห์ค่าระดับสีเทาในภาพจะพบว่าบริเวณพื้นที่ที่ค่าระดับสีเทาใกล้เคียงกันหรือเป็นเอกพันธ์จะให้ค่าความถี่อยู่ในแถบความถี่ต่ำ ส่วนขอบต่าง ๆ ภายในภาพที่ใช้ในการแบ่งพื้นที่นั้นจะเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่าระดับสีเทาจากค่าหนึ่งไปอีกราคาหนึ่งที่มีความแตกต่างกันสูง บริเวณเหล่านี้จะให้ค่าความถี่อยู่ในแถบความถี่สูง ดังนั้นการตรวจจับขอบภาพในภาพก็จะทำได้ด้วยการดึงข้อมูลภาพแถบความถี่สูงออกมานั้นเอง วิธีการดึงขอบต่าง ๆ ทำได้ทั้งด้านโดเมนความถี่และโดเมนสเปเชียล

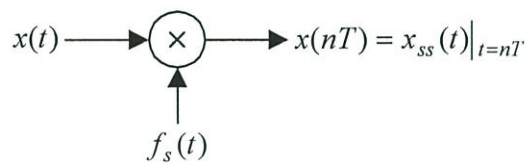
ทฤษฎีการประมวลผลสัญญาณเชิงเลข

3.1 ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง

ในการเปลี่ยนสัญญาณเชิงอุปมานไปเป็นสัญญาณเชิงเลขนั้น จำเป็นจะต้องมีการสุ่มตัวอย่าง ซึ่งความถี่ในการสุ่มตัวอย่างโดยที่ไม่ทำให้สัญญาณสูญเสียข้อมูลที่สำคัญไปนั้นต้องเป็นไปตาม ทฤษฎีการสุ่มตัวอย่าง [7-9] (Sampling Theory) ของแซนนอน (Shannon) ซึ่งกล่าวไว้ว่า ถ้าสัญญาณเชิงอุปมาน $x(t)$ ซึ่งมีแบนด์วิดท์เท่ากับ f_0 แล้ว จะสามารถทำการสุ่มตัวอย่างโดยสัญญาณที่ได้ไม่สูญเสียข้อมูลที่สำคัญ ก็ต่อเมื่อความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง f_s มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับสองเท่าของความถี่ f_0

$$f_s \geq 2f_0 \quad (3.1)$$

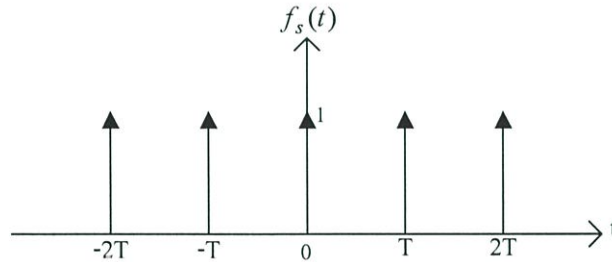
โดยทั่วไปอาจทำการสุ่มตัวอย่างด้วยความถี่ $f_{sn} = 2f_0$ พอดี ซึ่งค่าความถี่นี้เรียกว่า ความถี่ไนควิสต์ (Nyquist Frequency) และคาบเวลา $T_n = 1/2f_0$ นี้ เรียกว่า ช่วงเวลาสุ่มตัวอย่างไนควิสต์ (Nyquist Interval) แต่ในทางปฏิบัติเพื่อหลีกเลี่ยงผลของปรากฏการณ์ไม่เป็นเชิงเส้น (Nonlinearity) ที่อาจเกิดจากการสุ่มตัวอย่าง จึงมักใช้ความถี่ในการสุ่มตัวอย่าง f_s มากกว่าค่าความถี่ไนควิสต์ f_{sn} ขึ้นไป ส่วนจะมีค่ามากกว่าเท่าใดนั้นขึ้นกับลักษณะงานไม่ได้มีการกำหนดค่าที่แน่นอน



รูปที่ 3.1 แสดงการสุ่มตัวอย่างสัญญาณเชิงอุปมาน

รูปที่ 3.1 แสดงการสุ่มตัวอย่างในโดเมนเวลาซึ่งก็คือการคูณสัญญาณเชิงอุปมาน $x(t)$ กับลำดับของอิมพัลส์หนึ่งหน่วย $f_s(t)$ โดยที่อิมพัลส์แต่ละตัวสมมุติให้มีความห่างเท่ากับ T วินาที ซึ่งสามารถแทนได้ด้วยสมการ

$$f_s(t) = \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(t - nT) \quad (3.2)$$

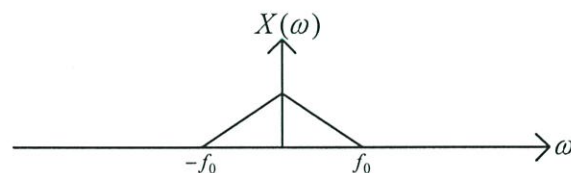


รูปที่ 3.2 แสดงสัญญาณสุ่มตัวอย่าง

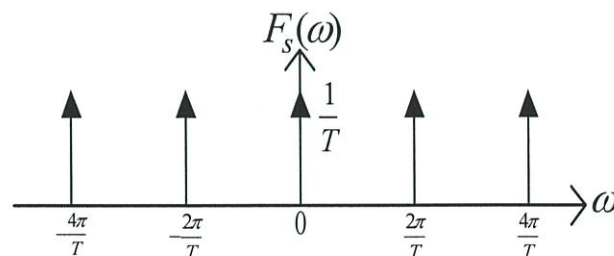
และเมื่อทำการแปลงฟูเรียร์ เพื่อทำการหาค่าสเปกตรัมความถี่ของ $f_s(t)$ จะได้

$$F_s(\omega) = \mathcal{F}\{f_s(t)\} = \frac{2\pi}{T} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \delta(\omega - n\omega_s) \quad (3.3)$$

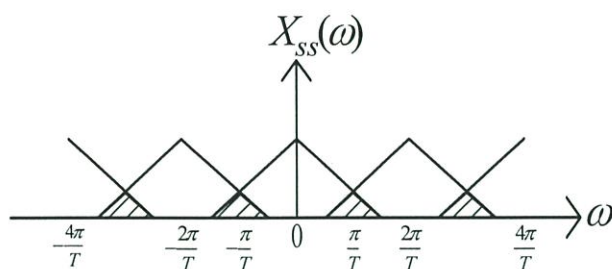
ซึ่งแสดงให้เห็นว่า เมื่อพิจารณาในโดเมนความถี่ สเปกตรัมความถี่ของสัญญาณ $f_s(t)$ เป็นอิมพัลส์ที่วางตัวห่างเท่าๆ กันไปบนแกนความถี่เช่นกัน ดังรูปที่ 3.3 (b)



(a) สเปกตรัมของสัญญาณเชิงอุปมาน $x(t)$



(b) สเปกตรัมของสัญญาณสุ่มตัวอย่าง $f_s(t)$

(c) สเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง $x_{ss}(t)$

รูปที่ 3.3 แสดงสเปกตรัมของสัญญาณจากการสุ่มตัวอย่าง

ถ้าให้ $x_{ss}(t)$ เป็นสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง ดังนี้

$$x_{ss}(t) = f_s(t) \cdot x(t) \quad (3.4)$$

และถ้าให้ $X(\omega)$ เป็นสเปกตรัมความถี่ของ $x(t)$ เนื่องจากในโดเมนเวลาสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่างเป็นการคูณกันของสองสัญญาณ ดังนั้นในโดเมนความถี่จึงเป็นการทำคอนโวลูชัน (Convolution) ของสเปกตรัมของ $f_s(t)$ และ $x(t)$

$$X_{ss}(\omega) = F_s(\omega) * X(\omega) \quad (3.5)$$

การคอนโวลูชันนี้แสดงเป็นแผนภาพดังรูปที่ 3.3 ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จะเห็นว่าสเปกตรัมของสัญญาณที่ได้จากการสุ่มตัวอย่าง $X_{ss}(\omega)$ เป็นการนำสเปกตรัมของ $X(\omega)$ มาวางเรียงห่างเท่าๆ กันไปตลอดบนแกนความถี่ ω ซึ่งจากรูปที่ 3.3 (c) จะเห็นว่า ถ้าความถี่ของสัญญาณสุ่มตัวอย่าง $f_s(t)$ มีค่าน้อยกว่าความถี่ในควิสต์จะทำให้ช่วงห่างของแต่ละกลุ่มของสเปกตรัมเข้ามาเกทับกัน ผลนี้ทำให้เกิดความผิดเพี้ยนไปของสเปกตรัมของสัญญาณเดิมซึ่งผลนี้มีชื่อเรียกว่า ผลการเอเลตซิง (Aliasing Effect) นอกจากนี้ รูปที่ 3.3 ยังแสดงให้เห็นว่าผลตอบสนองความถี่ของวงจรกรองสัญญาณเชิงเลขจะมีผลตอบสนองความถี่ที่มีลักษณะเป็นคาบ คือ เริ่มซ้ำค่าเดิมที่จุดที่มีค่าความถี่เป็น $2\pi/T$ หรือ $f_s/2$ ซึ่งความถี่นี้เรียกว่า ความถี่พับ ซึ่งการที่ผลตอบสนองความถี่มีลักษณะเป็นคาบก็เนื่องมาจากการสุ่มตัวอย่างสัญญาณนั่นเอง

3.2 สมการผลต่างสลับเนื่อง

ในการวิเคราะห์ระบบเชิงอุปมาน คุณสมบัติของระบบในโดเมนเวลา จะสามารถเขียนอธิบายโดยใช้สมการเชิงอนุพันธ์ (Differential Equation) เช่นเดียวกันในระบบเชิงเลขก็จะมีสมการผลต่างสลับเนื่อง (Difference Equation) ไว้ใช้ในการอธิบายคุณสมบัติของระบบในโดเมนเวลา ซึ่งสมการผลต่างสลับเนื่องอันดับที่ n สามารถเขียนได้เป็น

$$y(n) = \sum_{k=0}^n a_k x(n-k) - \sum_{k=1}^m b_k y(n-k) \quad (3.6)$$

โดยที่ $x(n)$ เป็นลำดับสัญญาณขาเข้า $y(n)$ เป็นลำดับสัญญาณขาออกและ a_k, b_k เป็นค่าสัมประสิทธิ์สมการผลต่างสามารถแสดงในรูปสมการฟังก์ชันถ่ายโอน โดยใช้คุณสมบัติการหน่วงเวลาของการแปลงแซค คือ

$$a_k x(n) \leftrightarrow a_k X(z) \quad (3.7)$$

$$a_k x(n-k) \leftrightarrow a_k z^{-k} X(z) \quad (3.8)$$

จากสมการที่ (3.6) จะได้

$$Y(z) = \sum_{k=0}^n a_k z^{-k} X(z) - \sum_{k=1}^m b_k z^{-k} Y(z) \quad (3.9)$$

จัดรูปสมการเพื่อเขียนให้อยู่ในรูปสมการฟังก์ชันถ่ายโอน

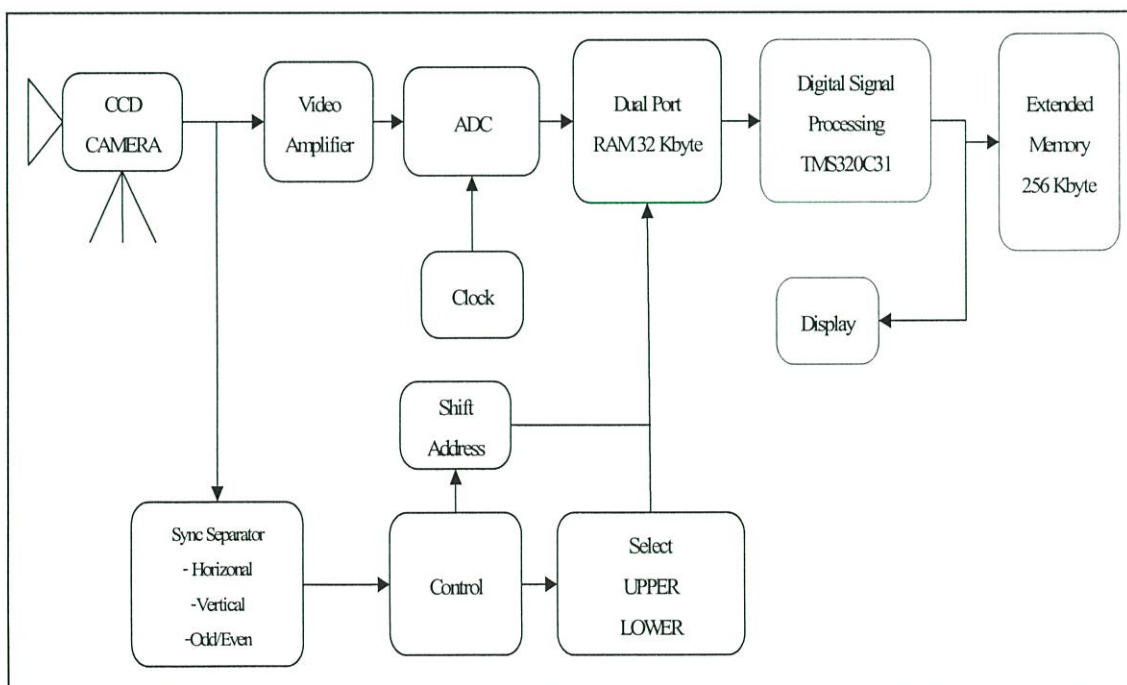
$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^n a_k z^{-k}}{\left(1 + \sum_{k=1}^m b_k z^{-k}\right)} \quad (3.10)$$

บทที่ 4

การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์

4.1 การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์

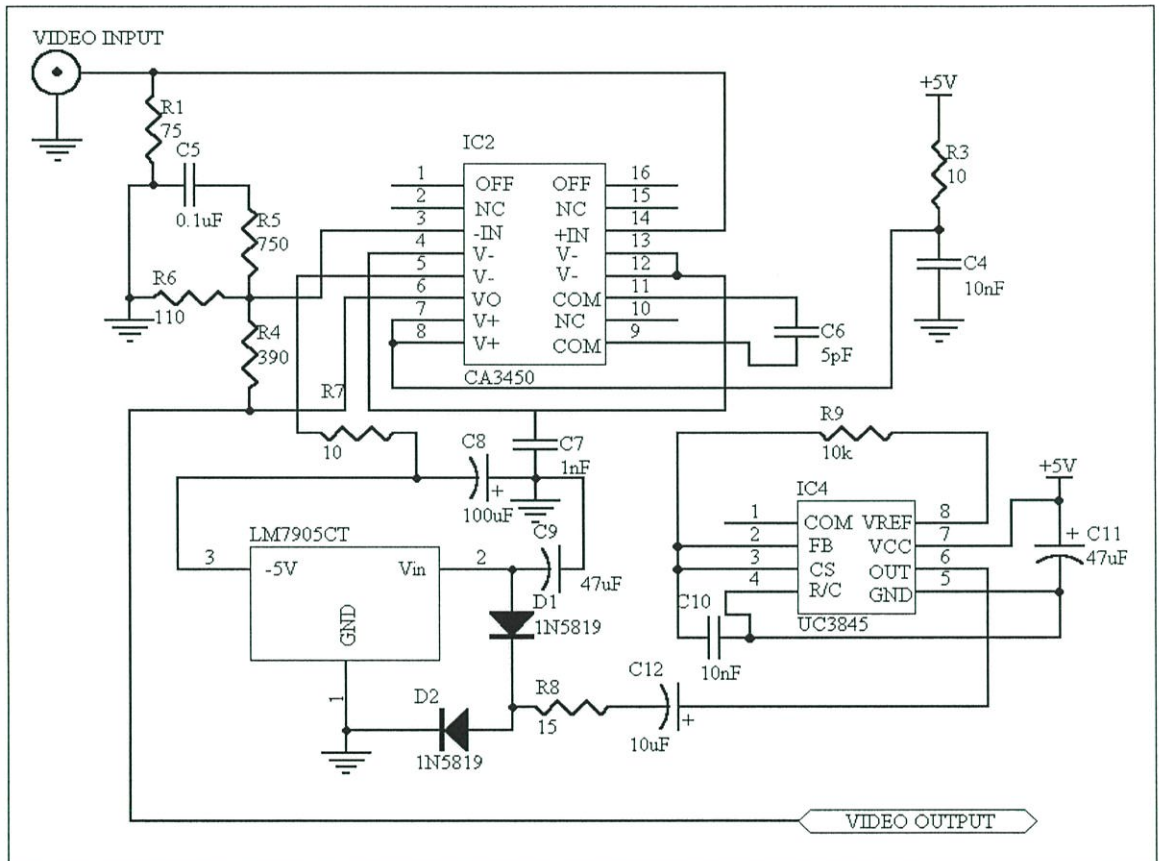
การออกแบบทางด้านฮาร์ดแวร์สำหรับการสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพที่มีตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 จับข้อมูลวีดีโอและประมวลผลข้อมูลภาพ ประกอบด้วย ส่วนประกอบหลัก 4 ส่วน คือ ส่วนรับสัญญาณภาพ ส่วนแปลงสัญญาณภาพ ส่วนเก็บข้อมูล ส่วนประมวลผลและแสดงผล ซึ่งทั้งสี่ส่วนนี้จะต้องทำงานร่วมกันแสดงรายละเอียดดังบล็อกไดอะแกรม รูปที่ 4.1 การทำงานเริ่มจากกล้อง CCD (Charge-Coupled Device) ทำหน้าที่เปลี่ยนสัญญาณแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าตามระดับความสว่างของแสงสีที่ได้รับ สัญญาณภาพจากกล้อง CCD นี้จะส่งต่อไปยังวงจรขยายสัญญาณที่เรียกว่า วงจรขยายสัญญาณภาพ (Video Amplifier) เพื่อขยายสัญญาณภาพให้มีระดับแรงดันที่เหมาะสมให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัลที่เรียกว่า วงจร A/D คอนเวอร์เตอร์ (Analog to digital converter) และแปลงให้เป็นสัญญาณดิจิทัล และสัญญาณที่แปลงได้จะเขียนลงในแรมสองทาง (Dual Port RAM) จำนวน 2 ตัว จากนั้นตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลแบบจุดทศนิยมลอย TMS320C31 [10-11] ก็จะทำการอ่านค่าข้อมูลในหน่วยความจำเพื่อประมวลผลและแสดงผลตามอัลกอริทึมต่อไป



รูปที่ 4.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมวงจรแปลงสัญญาณภาพสำหรับจับข้อมูลวีดีโอ

4.1.1 ส่วนรับสัญญาณภาพ

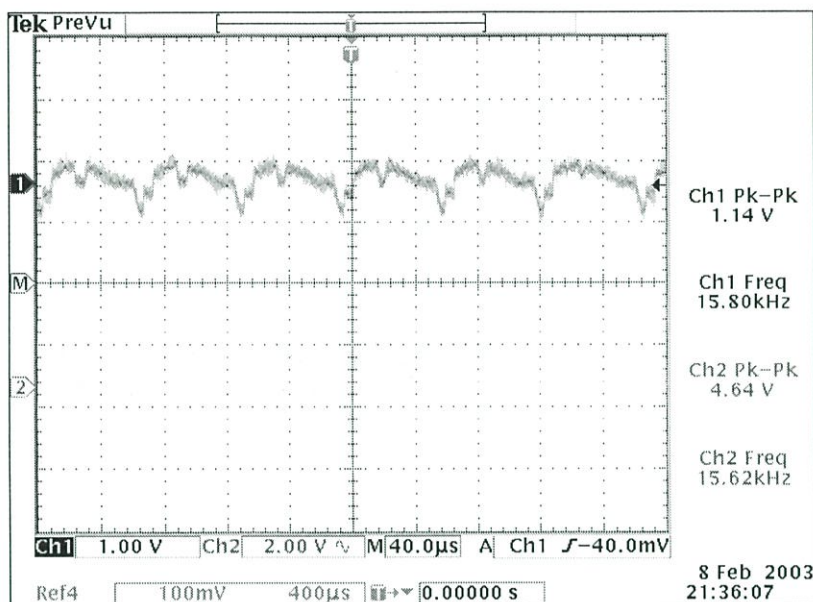
ส่วนรับสัญญาณภาพนี้จะทำหน้าที่รับสัญญาณภาพจากกล้อง CCD ที่เป็นสัญญาณอนาล็อก และทำการขยายสัญญาณภาพที่เหมาะสมให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) พร้อมทั้งทำการแยกสัญญาณภาพ (Composite Video) เป็นสัญญาณซิงค์ในแนวนอน (Horizontal Sync) สัญญาณซิงค์ในแนวตั้ง (Vertical Sync) และสัญญาณคู่ที่ Odd/Even โดยใช้ วงจรขยายสัญญาณภาพ (Video Amplifier) และวงจรแยกสัญญาณซิงค์ (Sync Separator) แสดงผังรูปที่ 4.2 และ 4.3



รูปที่ 4.2 แสดงวงจรขยายสัญญาณภาพ

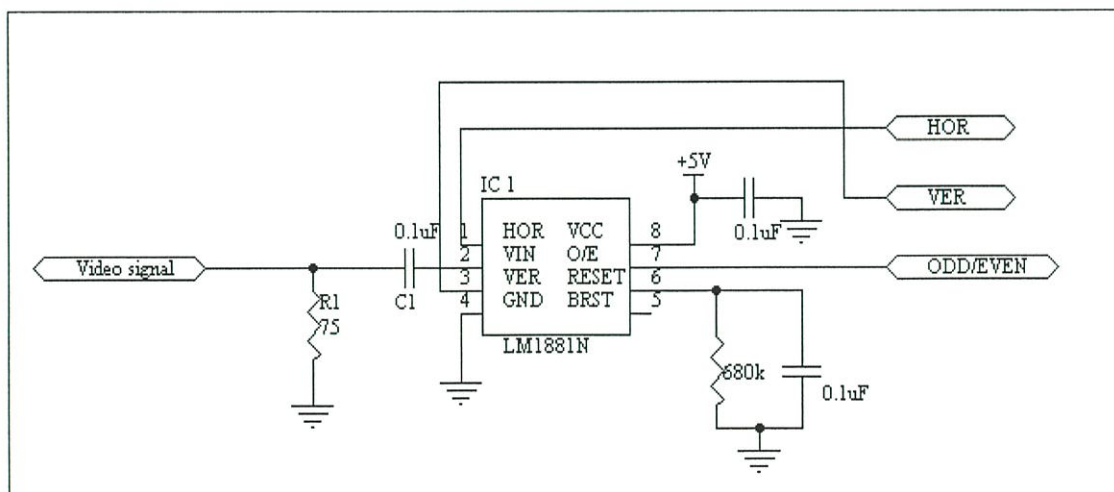
จากรูปที่ 4.2 สัญญาณภาพที่ได้จากกล้อง CCD เป็นสัญญาณอนาล็อกมีขนาดแรงดันของประมาณ 0-3 โวลต์ ซึ่งไม่เพียงพอต่อความต้องการของวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) โดยขนาดแรงดันที่วงจร A/D ต้องการมีค่าตั้งแต่ 4-7 โวลต์ [Data sheet] ฉะนั้นจึงต้องทำการขยายสัญญาณภาพก่อนที่จะส่งให้กับ วงจร A/D ในการออกแบบได้เลือกใช้ไอซีเบอร์ CA3450 ทำหน้าที่เป็นวงจรขยายสัญญาณภาพ (Video Amplifier) ส่วนไอซี UC3845 ทำหน้าที่ในการแปลงแรงดัน +12 V ให้เป็นแรงดัน -7 V แล้วป้อนแรงดัน -7 V ให้กับ LM 7905 CT เพื่อลดแรงดันให้เหลือแรงดัน -5 V เพื่อป้อนให้กับ IC CA3450 ที่ขา 5 เมื่อป้อนแรงดันระดับต่าง ๆ ให้กับ

CA3450 จนครบแล้วจากนั้นวงจรขยายสัญญาณภาพจะขยายสัญญาณภาพพร้อมทั้งส่งสัญญาณภาพที่ขยายให้กับวงจรแปลงสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล (A/D) เพื่อแปลงสัญญาณภาพอนาลอกเป็นดิจิทัล



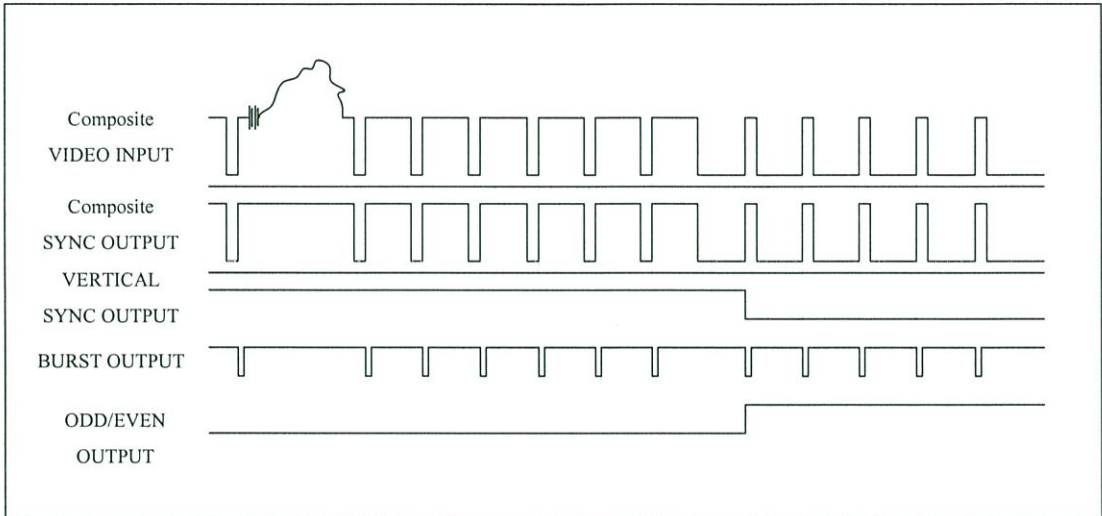
รูปที่ 4.3 แสดงสัญญาณภาพก่อนทำการขยายและแสดงสัญญาณภาพหลังทำการขยาย

จากการออกแบบวงจรขยายสัญญาณภาพได้ทำการวัดสัญญาณภาพเริ่มต้นจากกล้อง CCD มีค่าระดับแรงดันของสัญญาณเท่ากับ 1.14 โวลต์ จากรูปที่ 4.3 Ch 1 และวัดสัญญาณภาพหลังจากขยายสัญญาณที่ขา (6) ของไอซี LM1881 ได้ระดับแรงดันเท่ากับ 4.64 โวลต์ จากรูปที่ 4.3 Ch 2 จะเห็นว่าสัญญาณภาพทางด้านอินพุตจากกล้องถูกทำการขยายประมาณ 4 เท่าของสัญญาณอินพุต

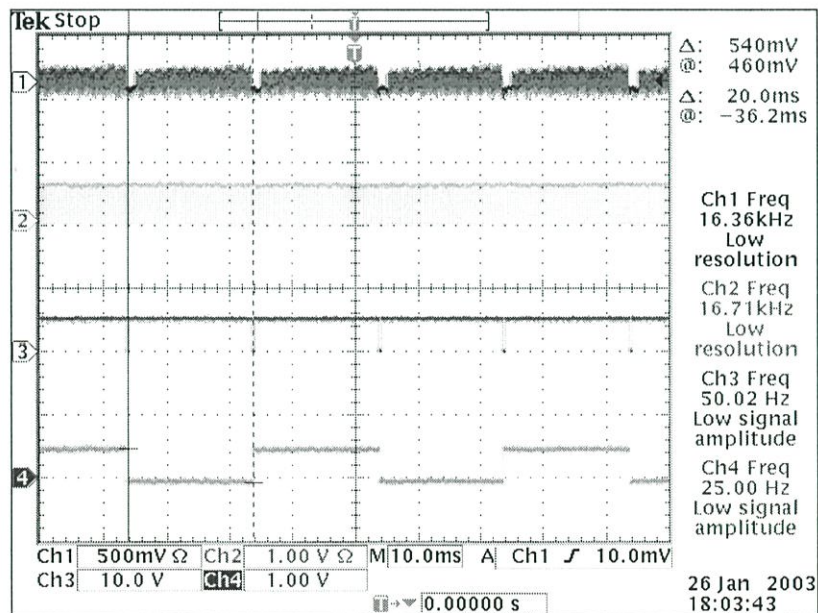


รูปที่ 4.4 แสดงวงจรแยกสัญญาณซิงค์

จากรูปที่ 4.4 วงจรนี้ทำหน้าที่แยกสัญญาณภาพที่ได้จากกล้อง CCD ในการออกแบบเราเลือกใช้ไอซีเบอร์ LM 1881 ทำหน้าที่แยกสัญญาณซึ่งก็ออกจากสัญญาณภาพ (Composite Video) โดยมีตัวต้านทานขนาด 680 k Ω และตัวเก็บประจุไฟฟ้าขนาด 0.1 μ F เป็นตัวกำหนดความถี่ในการแยกสัญญาณซึ่งก็คือสัญญาณเอาพุตที่ได้คือสัญญาณซิงค์ในแนวนอน (Horizontal Sync) สัญญาณซิงค์ในแนวตั้ง (Vertical Sync) และสัญญาณคู่และคี่ Odd/Even ซึ่งสัญญาณทั้งสามนี้ใช้เป็นสัญญาณในการควบคุมวงจรโมโนสเตเบิล



รูปที่ 4.5 แสดงแผนภาพสัญญาณซิงค์เวลาปกติ

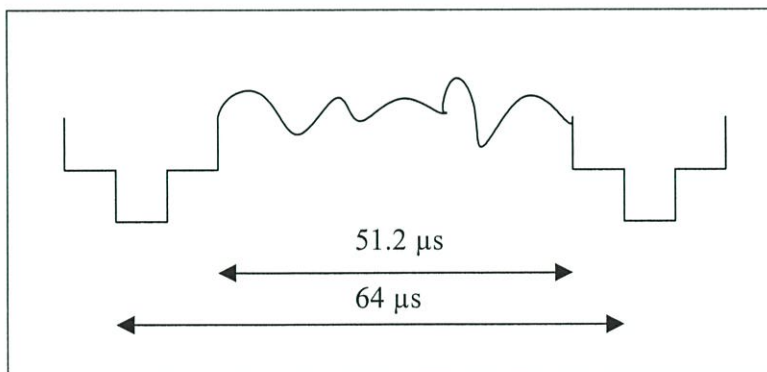


รูปที่ 4.6 แสดงแผนภาพสัญญาณซิงค์ที่ทำการออกแบบ

จากรูปที่ 4.6 หลังจากทำการแยกสัญญาณภาพ Ch1 ด้วยวงจรแยกสัญญาณ เพื่อให้ได้สัญญาณซิงค์ โดยใช้ไอซี LM1881 จะได้สัญญาณ Hor Sync Ch2 เท่ากับ 16.71 kHz สัญญาณ Ver Sync Ch3 เท่ากับ 50.02 Hz และสัญญาณ Odd/even Ch 4 เท่ากับ 25.00 Hz เมื่อนำสัญญาณดังกล่าวมาเปรียบเทียบกับระบบโทรทัศน์ PAL การสแกนภาพทางแนวนอนมีความถี่เท่ากับ 15,625 Hz ทางแนวตั้ง 50 Hz และสัญญาณคู่ที่มีความถี่เป็นครึ่งหนึ่งของสัญญาณทางแนวตั้ง เท่ากับ 25 Hz มีค่าความถี่ของแต่ละสัญญาณถูกต้องตามลำดับ

4.1.2 ส่วนแปลงสัญญาณอนาลอก เป็นสัญญาณดิจิทัล A/D (Analog to Digital Converter)

ส่วนนี้ทำหน้าที่แปลงสัญญาณอนาลอกเป็นสัญญาณดิจิทัล ในการออกแบบเราเลือกใช้ ไอซี เบอร์ CA3318 (Flash A/D) ซึ่งเป็นไอซีที่มีความเร็วในการแปลงสัญญาณสูง สัญญาณอนาลอกที่แปลงเป็นดิจิทัล แล้วจะอยู่ในรูปรหัสเลขฐานสอง (Binary) ขนาด 8 บิต ใช้สัญญาณนาฬิกา (Sampling rate) 5 Hz และสามารถคำนวณค่าระดับสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัลได้จาก 2^n ระดับ โดยที่ n มีค่าเท่ากับจำนวนบิตของ A/D ซึ่งหมายความว่า จะได้ภาพที่มีความละเอียด 2^8 หรือเท่ากับ 256 ระดับ จากทฤษฎีการเกิดสัญญาณภาพในระบบ PAL [12] เวลาในการเกิดภาพจริงประมาณ 80% ของเวลาในการเกิดภาพทางแนวนอน (Horizontal) ซึ่งจากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่า เวลาในการเกิดภาพทางแนวนอนมีค่าประมาณ 64 μ s เพราะฉะนั้นเวลาในการเกิดภาพจริงมีค่าเท่ากับ 64 μ s x 80% = 51.2 μ s



รูปที่ 4.7 แสดงเวลาในการเกิดภาพของระบบ PAL

เราสามารถคำนวณหาความถี่ที่ใช้ในการสุ่มภาพ (Sampling Frequency) ได้จากสมการที่ (4.1)

$$t_s = \frac{t_f}{2^n} \quad (4.1)$$

โดยที่

t_s คือ เวลาในการสุ่มสัญญาณภาพแต่ละจุด

t_i คือ เวลาในการเกิดภาพจริง

2^n คือ ระดับสัญญาณภาพดิจิทัล

แทนค่า ในสมการ (4.1) หาเวลาในการสุ่มสัญญาณภาพแต่ละจุด จะได้

$$t_s = \frac{51.2 \mu s}{2^8} = \frac{51.2 \mu s}{256}$$

$$t_s = 0.2 \mu s$$

เพราะฉะนั้น เวลาในการสุ่มสัญญาณแต่ละจุด = $0.2 \mu s$

สามารถแปลงให้อยู่ในรูปของค่าความถี่จากสมการที่ (4.2)

$$f_s = \frac{1}{t_s} \quad (4.2)$$

โดยที่

f_s คือ ค่าความถี่ที่ใช้ในการสุ่มสัญญาณ

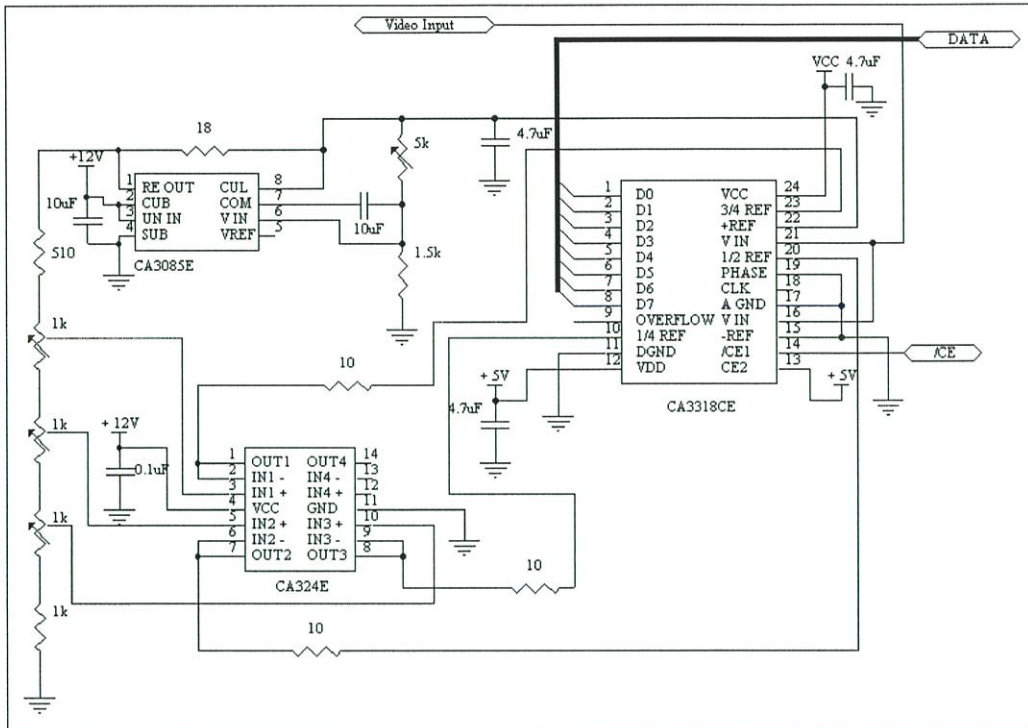
t_s คือ เวลาในการสุ่มภาพแต่ละจุด

แทนค่าในสมการที่ (4.2) หาความถี่ในการสุ่มสัญญาณภาพแต่ละจุดจะได้

$$f_s = \frac{1}{0.2 \mu s}$$

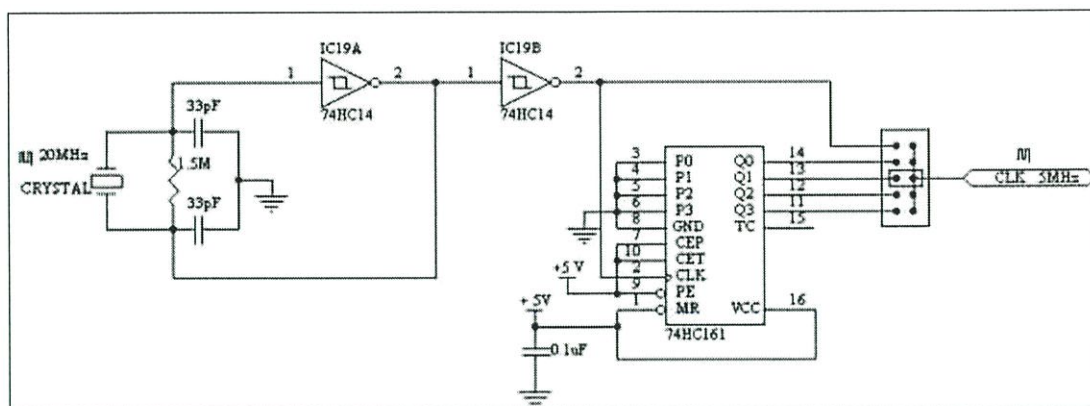
$$= 5 \times 10^6 \text{ Hz}$$

เพราะฉะนั้นความถี่ในการสุ่มภาพแต่ละจุด = 5 MHz



รูปที่ 4.8 แสดงวงจรแปลงสัญญาณอนาลอกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล

จากรูปวงจรที่ 4.8 วงจร A/D ในการควบคุมการทำงาน IC CA3318 สามารถควบคุมการทำงานได้จาก ขา /CE1 และ CE2 โดยขาทั้งสองทำหน้าที่เป็นตัวเลือก (Chip Select) จากรูปที่ 4.8 ขา /CE1 จะรับสัญญาณควบคุมจากวงจรควบคุมส่วนขา CE2 ป้อนแรงดันขนาด +5 V โดยมี C 4.7 μF ทำหน้าที่กรองสัญญาณรบกวนที่มาจากแหล่งจ่ายไฟซึ่งการออกแบบ Flash A/D ให้ทำงานได้นั้นจะต้องป้อนแรงดัน +Ref, ¼ Ref, ½ Ref, ¼ Ref และ - Ref ให้กับ CA3318 เพื่อแยกระดับของสัญญาณภาพอนาลอกว่าแต่ละระดับมีค่าทางดิจิทัลเท่าใด ในการออกแบบเราใช้ IC CA3085E และ IC CA324E เป็นตัวจ่ายแรงดัน (Reference) ดังกล่าว ให้กับ Flash A/D ส่วนสัญญาณภาพที่ถูกแปลงเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วนั้น จะถูกส่งไปยังส่วนเก็บข้อมูลภาพโดยทำการบันทึกลงหน่วยความจำ



รูปที่ 4.9 แสดงวงจรผลิตสัญญาณนาฬิกา (Clock)

วงจรนี้จะทำหน้าที่ผลิตสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจร A/D โดยใช้ Crystal เป็นตัวกำเนิดสัญญาณ Oscillate ที่ความถี่ 20 MHz และ IC 74HC14 ทั้งสองตัวทำหน้าที่แปลงสัญญาณที่ Oscillate ที่ความถี่ 20 MHz ให้เป็นสัญญาณนาฬิกา Clock Pulse แล้วป้อนสัญญาณให้กับ IC 74HC161 ทำการนับแบบฐานสอง (Binary Counter) ทำงานที่ขอบหน้าขึ้นของสัญญาณนาฬิกาที่มีขนาด 4 บิต โดยเริ่มนับตั้งแต่ 0000H ถึง FFFFH และจะนับวนเช่นนี้เรื่อยไป และมีรูปแบบในการนับสามารถดูได้จากรูปที่ 4.10 เมื่อพิจารณา (Timing diagram) จะสังเกตเห็นว่า Clock pulse ที่ได้ มีความถี่ลดลงในลักษณะการหารความถี่ ซึ่งค่าความถี่ที่ได้ทำการหารแล้วนั้น สามารถคำนวณหาได้จากสมการที่ (4.3)

$$Q_n = \frac{f_{osc}}{2^{n1}} \tag{4.3}$$

โดยที่

$$Q_n = \text{ค่าความถี่ที่ได้ (Hz)}$$

$$f_{osc} = 20MHz$$

$$n = \text{ลำดับผลลัพธ์ของความถี่ (0, 1, 2, 3)}$$

$$n1 = \text{จำนวน Clock Pulse ที่ป้อน (1, 2, 3)}$$

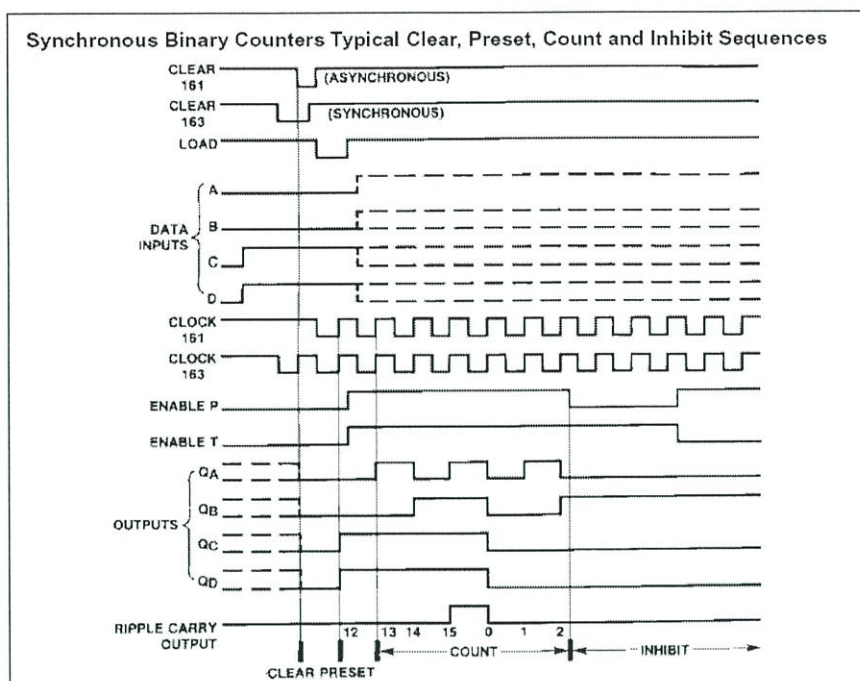
อาทิเช่น

$$Q_0 = \frac{20MHz}{2^1} = 10MHz$$

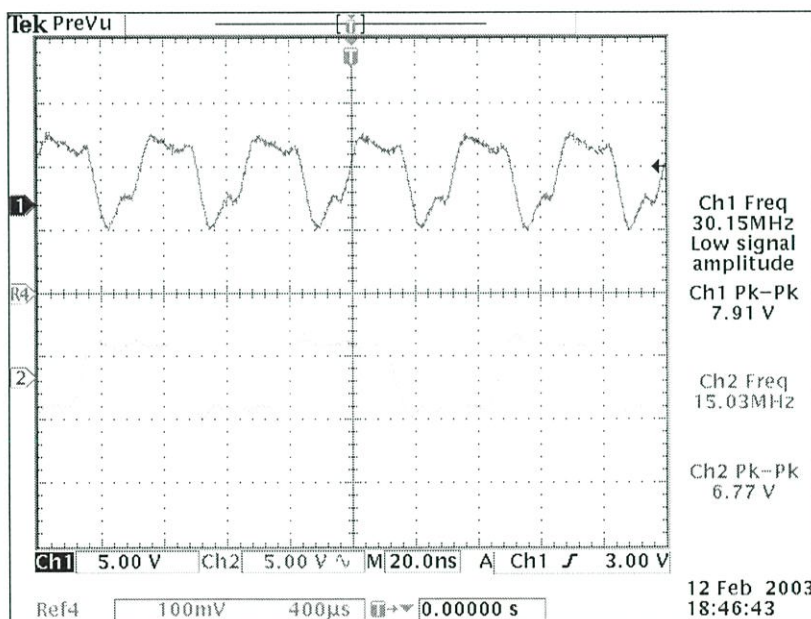
$$Q_2 = \frac{20MHz}{2^3} = 2.50MHz$$

$$Q_1 = \frac{20MHz}{2^2} = 5MHz$$

$$Q_3 = \frac{20MHz}{2^4} = 1.25MHz$$



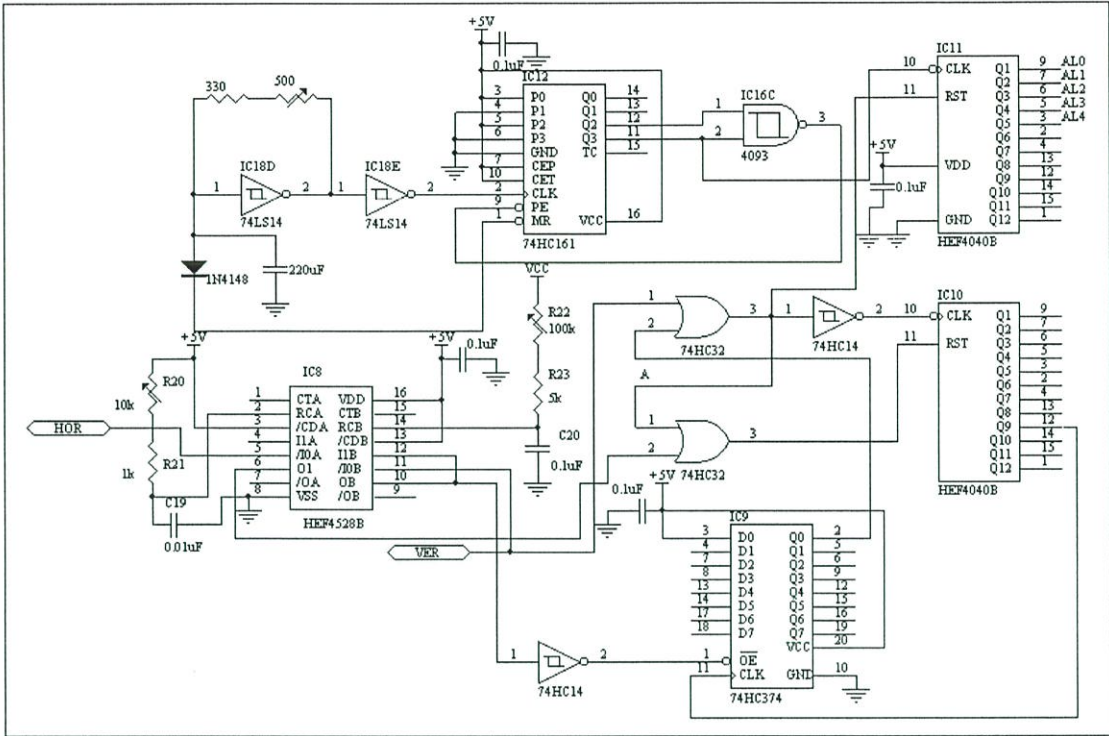
รูปที่ 4.10 แสดงแผนภาพเวลาปกติ



รูปที่ 4.11 แสดงแผนภาพเวลาปกติที่ทำการออกแบบ

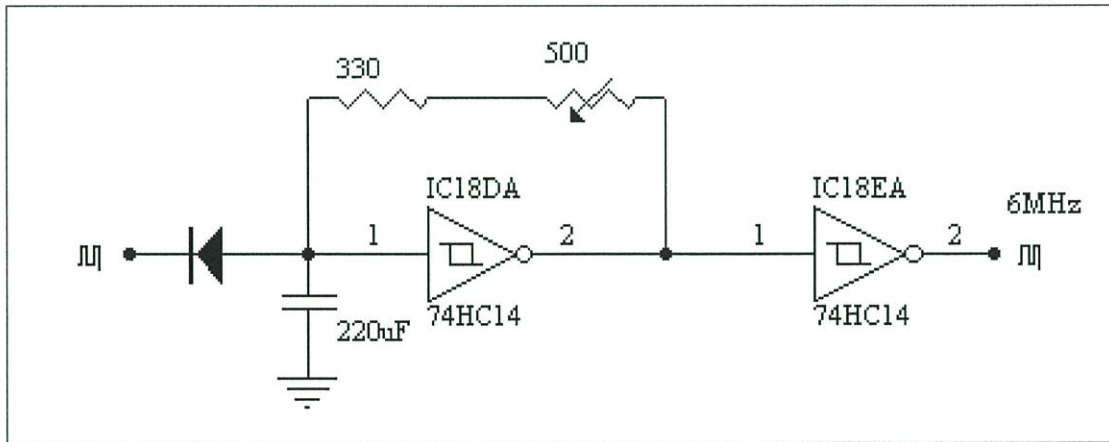
4.1.2.1 ส่วนควบคุม (Control)

ส่วนควบคุมทำหน้าที่ควบคุมตำแหน่งในการแสดงผลของสัญญาณภาพเริ่มต้น ให้มีความถูกต้อง และสัมพันธ์กับสัญญาณภาพที่รับมาจากกล้อง CCD ซึ่งประกอบไปด้วยวงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา วงจรหาร 8 วงจร โมโนสเตเบิล วงจรนับ 32 วงจรนับ 256 และวงจร Select Upper Lower มีขั้นตอนการทำงานของแต่ละวงจรดังนี้

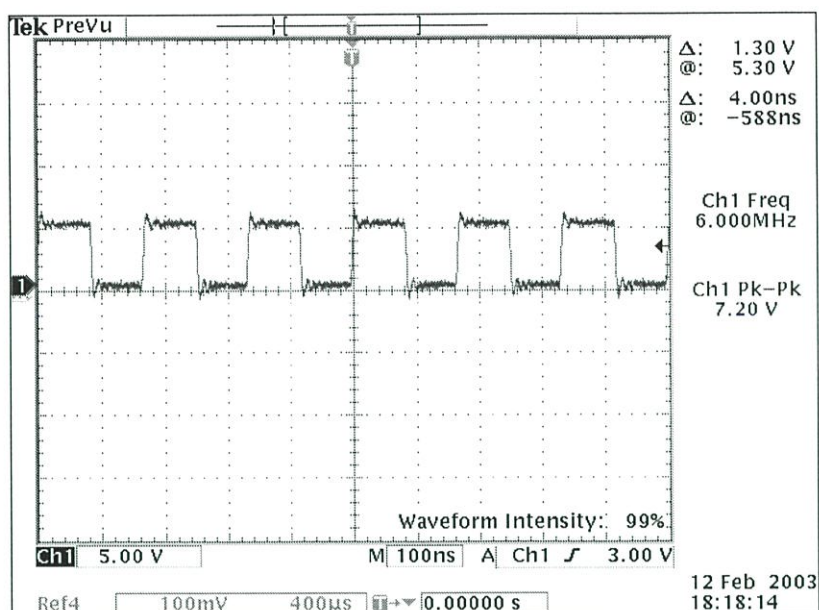


รูปที่ 4.12 แสดงวงจรสมบูรณของส่วนควบคุม

4.1.2.2 วงจรกำเนิดสัญญาณนาฬิกา



รูปที่ 4.13 แสดงวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกามีขาคควบคุมการทำงาน



รูปที่ 4.14 แสดงสัญญาณทางเอาต์พุตของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกา

สัญญาณนาฬิกาในวงจรนี้มีความสำคัญคือ ทำหน้าที่ผลิตสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรนับที่ใช้กำหนดชุดข้อมูลในวิดีโอแรม ซึ่งความถี่ของสัญญาณนาฬิกาที่ใช้จะมีค่าประมาณ 6 MHz วงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาจะใช้วงจรอินเวอร์เตอร์เกต แบบสมิตทริกเกอร์อย่างง่าย ๆ ความถี่ของวงจรกำหนดโดยค่าของความต้านทาน และตัวเก็บประจุ ที่อินพุตของวงจรจะเห็นว่ามิโคคอดต่ออยู่ด้วย ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อหยุดการทำงานของวงจรสร้างสัญญาณนาฬิกาในทุก ๆ เส้นภาพเกิดขึ้นพร้อมกันทุก ๆ ครั้ง ซึ่งสามารถดูสัญญาณควบคุม และสัญญาณนาฬิกาได้จากรูปที่ 4.13

ทั้งนี้สามารถคำนวณหาคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาได้จากสมการที่ (4.4)

$$T_{CLK} = R_{CLK} \times C_{CLK} \quad (4.4)$$

เมื่อ T_{CLK} = คาบเวลาของสัญญาณนาฬิกา (sec)

$$R_{CLK} = \text{ความต้านทาน } (\Omega)$$

$$C_{CLK} = \text{ตัวเก็บประจุ } (F)$$

ในการออกแบบต้องการสัญญาณนาฬิกาที่ความถี่ 6 MHz เพราะฉะนั้นคาบเวลาของสัญญาณนาฬิกาหาได้จากสมการที่ (4.5)

$$T_{CLK} = \frac{1}{f_{CLK}} \quad (4.5)$$

แทนค่า $T_{CLK} = \frac{1}{6 \times 10^6} = 166.667 \times 10^{-9} \text{ sec}$

จะได้คาบเวลามีค่าเท่ากับ 166.667 ns

และสามารถหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าจากรูปที่ 4.13 ได้จากสมการที่ (4.4)

เมื่อ

$$T_{CLK} = 166.667 \text{ ns}$$

$$R_{CLK} = R_{x1} + 330 \Omega \quad (4.6)$$

$$C_{CLK} = 220 \text{ pF}$$

แทนค่าในสมการที่ (4.4)

$$T_{CLK} = R_{CLK} \times C_{CLK}$$

$$166.667 \times 10^{-9} = (R_{x1} + 330) \times 220 \times 10^{-12}$$

$$R_{x1} = \left(\frac{166.667 \times 10^{-9}}{220 \times 10^{-12}} \right) - 330$$

$$= 757.557 - 330$$

$$= 427.577 \Omega$$

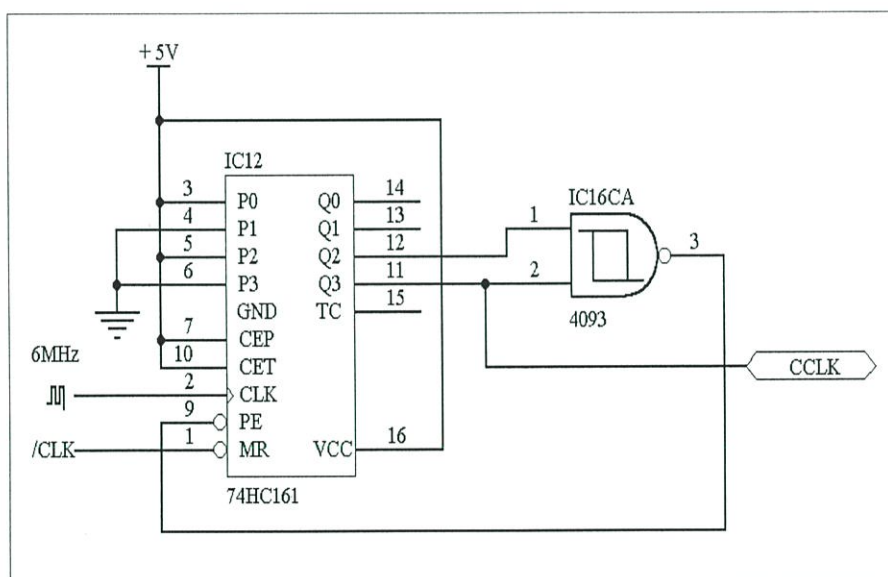
จะได้ค่าความต้านทาน $R_{x1} = 427.577\Omega$

แทนค่าในสมการที่ (4.6)

$$\begin{aligned} R_{CLK} &= R_{R1} + 330k\Omega \\ &= 427.577k\Omega + 330k\Omega \\ &= 757.577k\Omega \end{aligned}$$

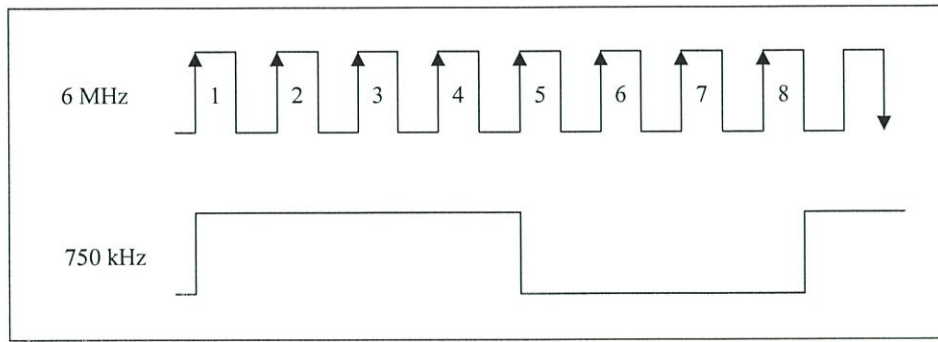
เพราะฉะนั้นค่าความต้านทาน $R_{CLK} = 757.577k\Omega$

4.1.2.3 วงจรหาร 8

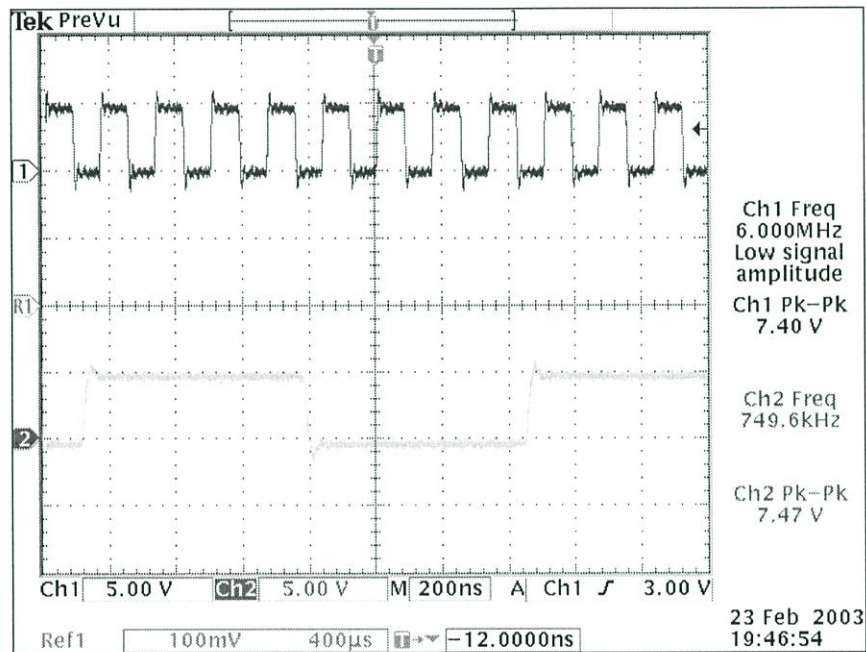


รูปที่ 4.15 แสดงวงจรหาร 8 สร้างสัญญาณ CCLK

วงจรมานำมาสร้างสัญญาณ CCLK (Column Clock) เพื่อใช้เป็นสัญญาณนาฬิกาให้กับวงจรมับ เพื่อใช้กำหนดตำแหน่งของวิดีโอแรม วงจรนับในส่วนนี้แสดงรายละเอียดในรูปที่ 4.15 จากวงจรมันจะใช้ไอซีเบอร์ 74LS161 โดยจัดให้เป็นวงจรหาร 8 และกำหนดให้มีค่าการนับอยู่ในช่วง 5 ถึง C โดยให้ Q_D เป็นสัญญาณ CCLK พิจารณาได้จากแผนผังเวลาในรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงผังเวลาสัญญาณควบคุมจังหวะการทำงานของวงจร 8



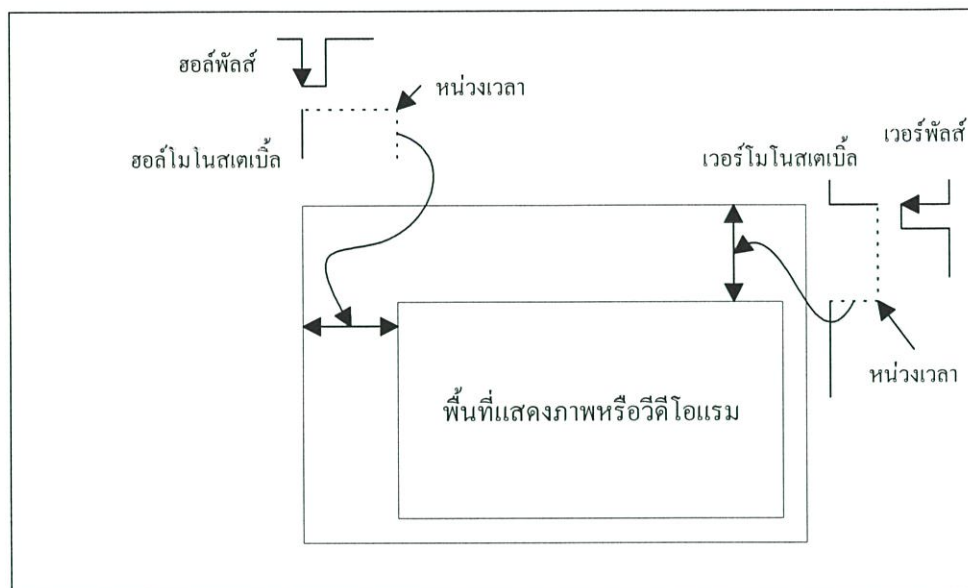
รูปที่ 4.17 แสดงสัญญาณเวลาของวงจร 8 ในการออกแบบและวัด โดยออสซิลโลสโคป

4.1.2.4 วงจรโมนอสเตเบิล

วงจรโมนอสเตเบิลที่ใช้ในการออกแบบมีอยู่สองวงจรคือ วงจรโมนอสเตเบิลทางแนวอน และวงจรโมนอสเตเบิลทางแนวตั้ง โดยมีสัญญาณอินพุตคือ สัญญาณฮอร์พัลส์และเวอร์พัลส์ ตามลำดับโดยที่วงจรโมนอสเตเบิลทางแนวอนจะทำหน้าที่หน่วงเวลาสัญญาณฮอร์พัลส์ ไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่ง เพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งของการสแกนภาพทางแนวอน ให้เริ่มต้นสแกนภาพ จากด้านซ้ายของจอแสดงผลที่ตำแหน่งใด ๆ ตามต้องการโดยการเปลี่ยนแปลงค่าหน่วงเวลา ของวงจรโมนอสเตเบิล

ส่วนวงจรโมนอสเตเบิลทางแนวตั้งจะทำหน้าที่หน่วงสัญญาณเวอร์พัลส์ ไว้ชั่วระยะเวลาหนึ่งเช่นกัน เพื่อเป็นการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นภาพในแนวตั้ง ให้แสดงในตำแหน่งที่ต้องการ โดยการเปลี่ยนแปลงค่าหน่วงเวลาของวงจรโมนอสเตเบิล อีกทั้งยังทำหน้าที่เป็นซิงค์โครไนเซชัน

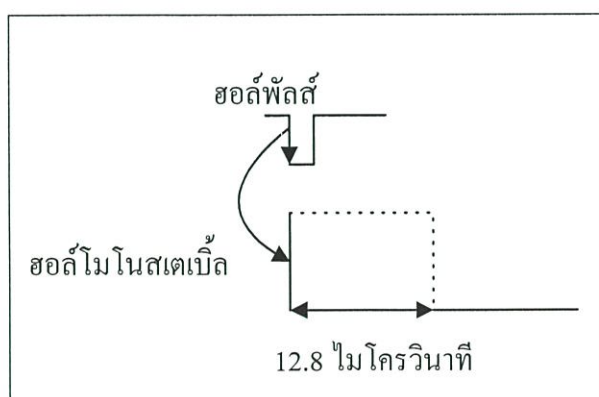
ระหว่างกล้อง CCD กับจอแสดงผลด้วย ถ้าหากไม่มีการซิงค์โครโมเซชัน แล้วการแสดงผลจะไม่สามารถทำได้เลย เพราะการสแกนภาพทางแนวตั้ง และแนวนอนไม่สัมพันธ์กัน



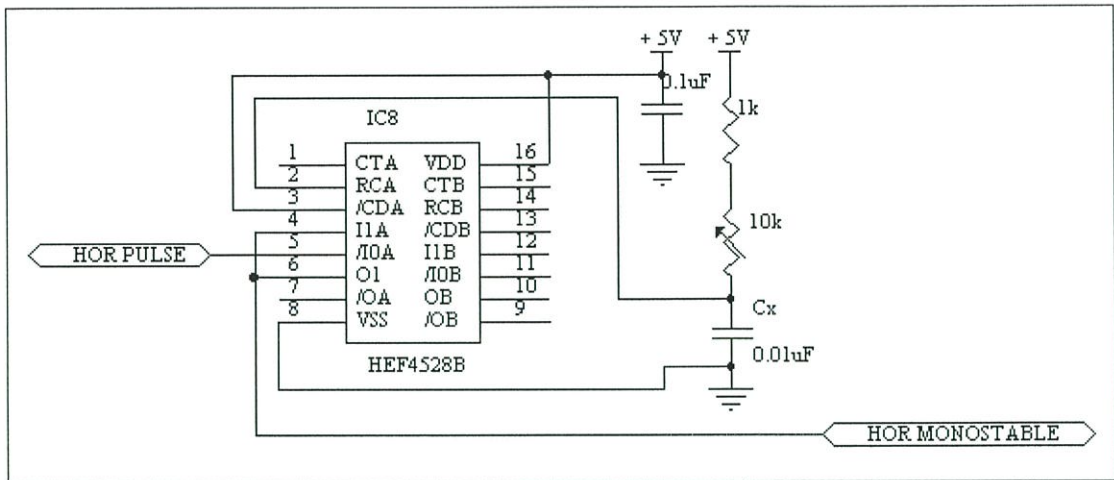
รูปที่ 4.18 แสดงการกำหนดพื้นที่แสดงภาพ ด้วยวงจร โมโนสเตเบิล

สำหรับสัญญาณฮอร์พัลส์และเวอร์พัลส์ในการออกแบบจะกำหนดให้เป็นลอจิก “ 0 ” และใช้ขอบขาดมาทำการกระตุ้นวงจร โมโนสเตเบิล เพื่อทำการหน่วงเวลาตามต้องการ ดังแสดงหลักการดังกล่าวในรูปที่ 4.18 และต่อไปนี้เป็นารออกแบบวงจร โมโนสเตเบิลทั้งสองวงจรได้แก่ วงจรฮอร์โมนอสเตเบิล (Hor – Mono) และเวอร์โมนอสเตเบิล (Ver – Mono)

4.1.2.5 วงจรฮอร์โมนอสเตเบิล



a) แสดงช่วงเวลาของสัญญาณฮอร์โมนอสเตเบิล



b) แสดงวงจรฮอริโมนอสเตเบิล

รูปที่ 4.19 แสดงผังเวลาของสัญญาณฮอริโมนอสเตเบิลและวงจร

จากที่ได้กล่าวมาแล้วว่าวงจร Hor – Mono ทำหน้าที่หน่วงเวลาสัญญาณฮอริโมนอสเตเบิลเพื่อกำหนดตำแหน่งการเริ่มต้นของเส้นภาพ เนื่องจากความยาวของเส้นภาพมีค่าประมาณ 64 ไมโครวินาที ดังนั้นเราจะหน่วงเวลาสัญญาณฮอริโมนอสเตเบิลไว้ประมาณ 12.8 ไมโครวินาที โดยการออกแบบจะใช้วงจรโมนอสเตเบิล ใช้ไอซีเบอร์ 4528 อินพุตของสัญญาณฮอริโมนอสเตเบิลเข้าที่อินพุต B1 (ขา 5) เอาต์พุต Q1 (ขา 6) จะต่อเข้ามาที่อินพุต A1 (ขา 4) ของไอซี 4528 เป็นการป้องกันการกระตุ้นซ้ำ (Retriggerable) ส่วนคาบเวลาของโมนอสเตเบิลนั้นถูกกำหนดโดยค่าของ R_{HOR} และ C_{HOR} จะเห็นได้ว่าวงจรจะได้รับการกระตุ้นเมื่ออินพุตเป็นขอบขาลง (“0”) ดังแสดงในรูปที่ 4.19

สามารถหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าจากรูปที่ 4.19 ได้จากสมการที่ (4.7)

$$T_{HOR} = R_{HOR} \times C_{HOR} \quad (4.7)$$

เมื่อ

$$T_{HOR} = 20 \mu s$$

$$R_{HOR} = R_{x2} + 1k\Omega \quad (4.8)$$

$$C_{HOR} = 0.01 \mu F$$

แทนค่าในสมการที่(4.6)

$$T_{HOR} = R_{HOR} \times C_{HOR}$$

$$20 \times 10^{-6} = (R_{X2} + 1 \times 10^3) \times 0.01 \times 10^{-6}$$

$$R_{X2} = \left(\frac{20 \times 10^{-6}}{0.01 \times 10^{-6}} \right) - 1000$$

$$= 2000 - 1000$$

$$= 1k\Omega$$

จะได้ค่าความต้านทาน $R_{X2} = 1k\Omega$

แทนค่าในสมการที่ (4.8)

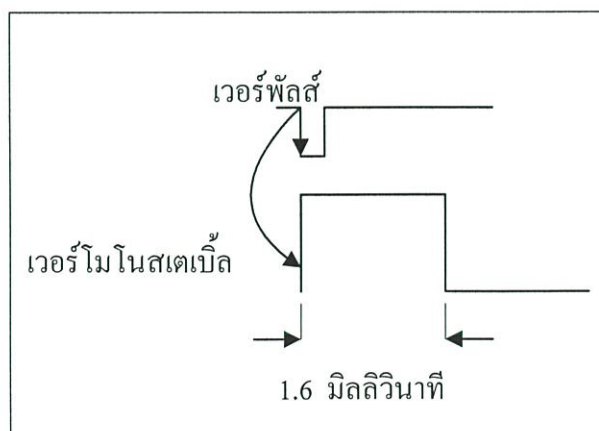
$$R_{HOR} = R_{X2} + 1k\Omega$$

$$= 1k\Omega + 1k\Omega$$

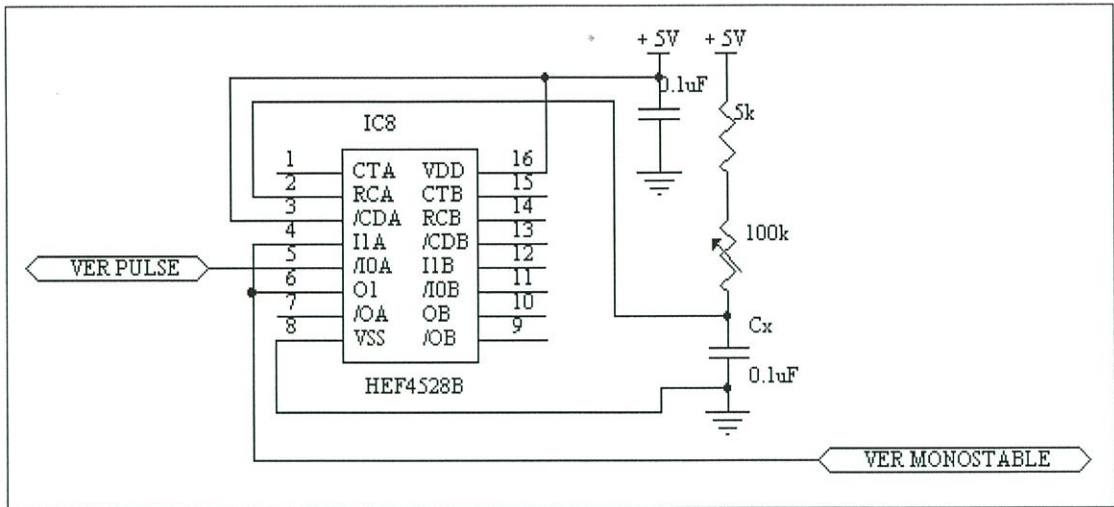
$$= 2k\Omega$$

เพราะฉะนั้นค่าความต้านทาน $R_{HOR} = 2k\Omega$

4.1.2.6 วงจรเวอร์โมโนสเตเบิล



a) แสดงผังเวลาของสัญญาณเวอรืโมโนสเตเบิล



b) แสดงวงจรเวอร์โมโนสเตเบิล

รูปที่ 4.20 แสดงผังเวลาของสัญญาณเวอร์โมโนสเตเบิลและวงจร

เช่นเดียวกับวงจรฮอร์โมโนสเตเบิลซึ่งในวงจรเวอร์โมโนสเตเบิลจะทำหน้าที่ซิงค์โครไนเซชัน และกำหนดตำแหน่งการเริ่มต้นของภาพทางแนวตั้ง เราทราบกันแล้วว่าการสแกนใน 1 ฟิลด์ จะใช้เวลาประมาณ 20 มิลลิวินาที ดังนั้นการออกแบบวงจรเวอร์โมโนสเตเบิลจึงกำหนดให้มีคาบเวลาประมาณ 1.6 มิลลิวินาที โดยใช้ไอซี 4528 เช่นเดียวกับวงจรฮอร์โมโนสเตเบิล และมีลักษณะการทำงานรวมทั้งวงจรที่เหมือนกัน เพียงต่างกันที่คาบการหน่วงเวลาเท่านั้น ดูได้จากรูปที่ 4.20

สามารถหาค่าความต้านทานที่ไม่ทราบค่าจากรูปที่ 4.20 ได้จากสมการที่ (4.9)

$$T_{VER} = R_{VER} \times C_{VER} \quad (4.9)$$

เมื่อ $T_{VER} = 5ms$

$$R_{VER} = R_{X3} + 5k\Omega \quad (4.10)$$

$$C_{VER} = 0.1\mu F$$

แทนค่า $T_{VER} = R_{VER} \times C_{VER}$

$$5 \times 10^{-3} = (R_{X3} + 5 \times 10^3) \times 0.1 \times 10^{-6}$$

$$R_{X3} = \left(\frac{5 \times 10^{-3}}{0.1 \times 10^{-6}} \right) - 5000$$

$$= 50000 - 5000$$

$$= 45k\Omega$$

จะได้ค่าความต้านทาน $R_{X3} = 45k\Omega$

แทนค่าในสมการที่ (4.10)

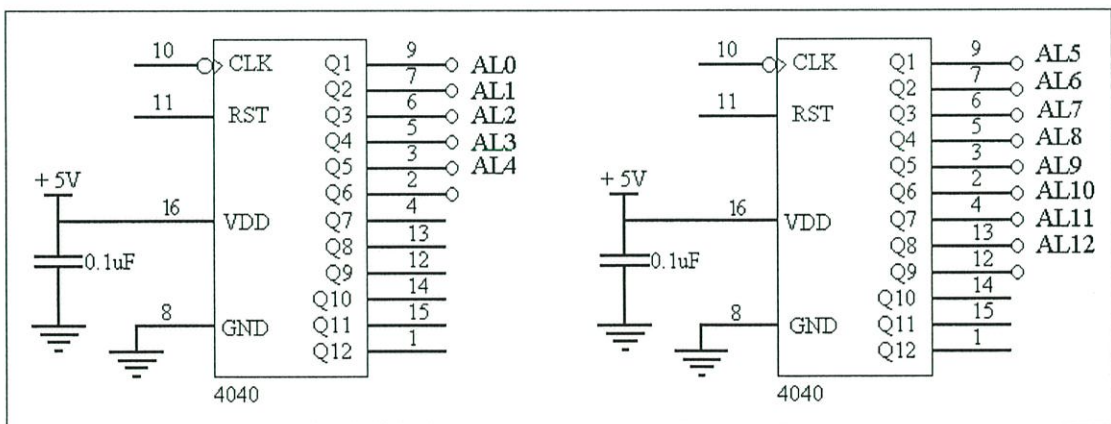
$$R_{VER} = R_{X3} + 5k\Omega$$

$$= 45k\Omega + 5k\Omega$$

$$= 50k\Omega$$

เพราะฉะนั้นค่าความต้านทาน $R_{VER} = 50k\Omega$

4.1.2.7 วงจรนับ 32 และนับ 256

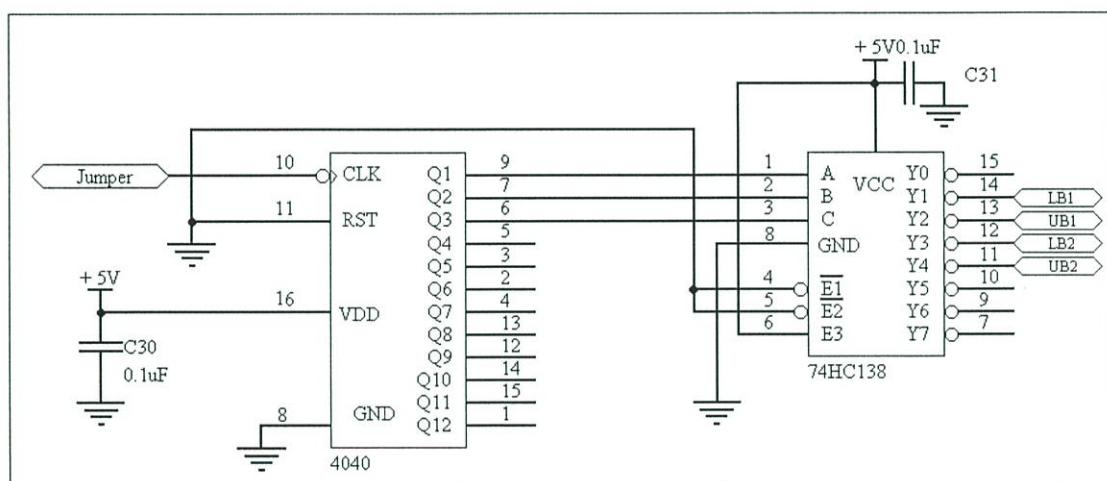


รูปที่ 4.21 แสดงวงจรนับ 32 และ 256

วงจรมีอยู่สองวงจรถือวงจรถับ 32 และวงจรถับ 256 โดยวงจรถับ 32 จะใช้นับตำแหน่งของหน่วยความจำที่จะนำข้อมูลออกมาแสดงในแต่ละเส้นสแกนการนับจะนับเป็น 32 ไบต์ และในแต่ละไบต์จะมี 8 บิต ดังนั้นในแต่ละเส้นภาพจะสามารถแสดงข้อมูลได้เท่ากับ 256 บิต หรือ 256

จุดภาพในหนึ่งเส้นสแกนส่วนการนับ 256 จะใช้เลื่อนตำแหน่งของหน่วยความจำครั้งละ 32 ไบต์ เพื่อแสดงข้อมูลในเส้นภาพต่อ ๆ ไป การนับ 256 นี้จะแสดงว่าวงจรสามารถแสดงเส้นภาพได้ทั้งหมด 256 เส้นภาพ นั่นแสดงว่ารายละเอียดของภาพที่ปรากฏบนจอภาพจะเท่ากับ 8,192 ไบต์ หรือ 8 กิโลไบต์นั่นเอง การออกแบบวงจรนับใช้ไอซีวงจรรนับเบอร์ 4040 ซึ่งเป็นวงจรรนับเลขฐาน 12 สเตต ต่อเป็นวงจรรนับ 32 และ 256 ตามรูปที่ 4.21

4.1.2.8 วงจร Select Upper Lower

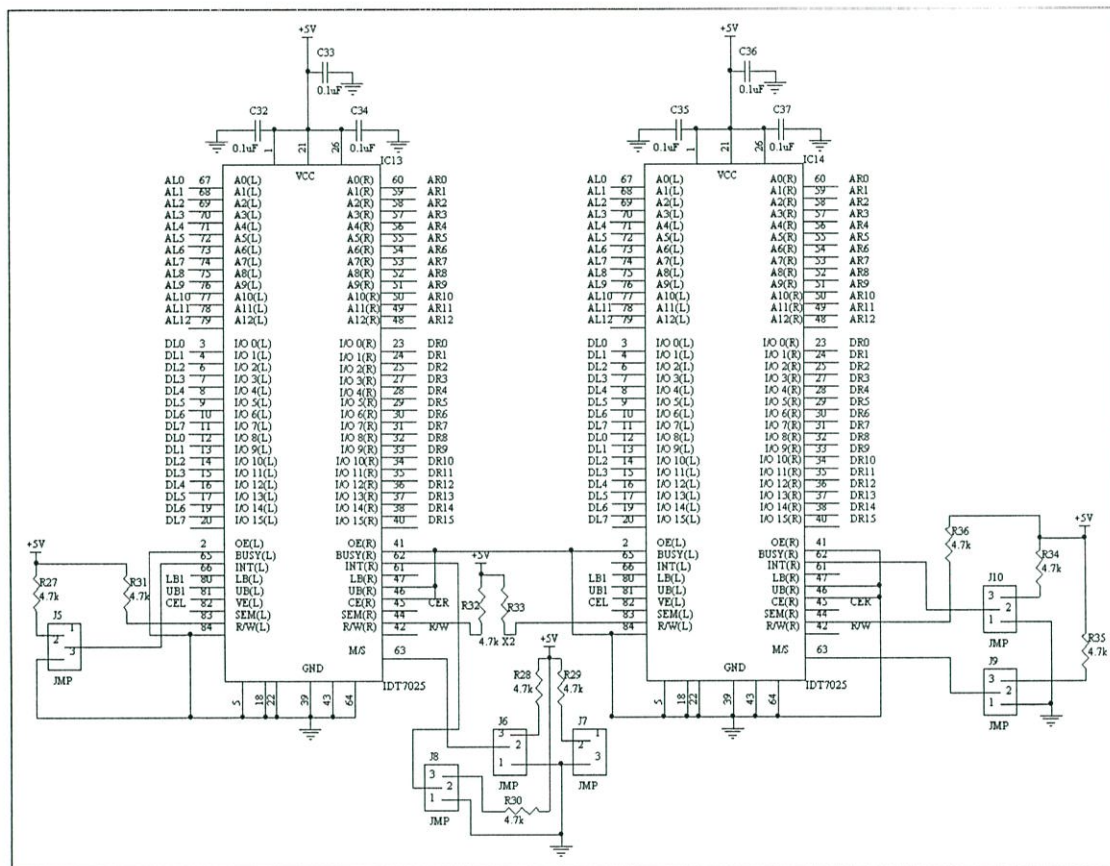


รูปที่ 4.22 แสดง วงจร Select Upper และ Lower

วงจรร Select Upper Lower ทำหน้าที่เลือกบิตบนหรือบิตล่างของ Dual Port RAM เพราะในการออกแบบเราใช้ Dual Port RAM ขนาด 8K x 16 บิต จำนวน 2 ตัว มาต่อขนานกัน ทำให้มีขนาดเท่ากับ 32 บิต เพื่อให้ขนาดบัสข้อมูลของ Dual Port RAM มีขนาดเท่ากับบัสข้อมูลของตัวประมวลผลข้อมูลซึ่งมีขนาด 32 บิต โดยใช้ ไอซี HFE4040B ทำหน้าที่เป็นวงจรรนับ 3 สเตต หรือนับ 8 โดยเริ่มต้นนับจาก 0 ถึง 7 เพื่อส่งเป็นสัญญาณอินพุตให้กับ ไอซี 74HC138 ทำการถอดรหัส โดยต่อขาควบคุมของ ไอซี 74HC138 ดังรูปที่ 4.22 ขา(4) E1 ขา(5) E2 ต่อกับกราวด์ และขา(6) E3 ต่อกับแหล่งจ่ายแรงดัน 5 โวลต์ ซึ่งการต่อขาควบคุมในลักษณะนี้ สามารถอธิบายเอาพุต ของการถอดรหัสได้ดังนี้ ตัวอย่างเช่น ขาอินพุต C,B,A มีค่าทางลอจิก เท่ากับ 001 ตามลำดับ จะได้เอาพุตที่ ขา Y₀ เท่ากับ “1” Y₁ เท่ากับ “0” ส่วน Y₂ ถึง Y₇ เท่ากับ “1” ซึ่งที่ Y₁ มีค่าลอจิก “0” จะต่อกับขา (80) LB(L) ของ Dual Port RAM ที่ต้องการลอจิก “0” ใช้ควบคุมการบันทึกข้อมูลภาพขนาด 8 บิต ลงในบิตล่างของ Dual Port RAM ตัวที่ 1 และเมื่อสัญญาณทางด้านอินพุตเปลี่ยนเป็นลอจิก 010 จะทำให้เอาพุตที่ Y₂ เท่ากับ “0” เสมือนการสั่งให้บันทึกข้อมูลลงในบิตบนของ Dual Port RAM ตัว

ที่ 1 ส่วน Dual Port RAM ตัวที่ 2 จะทำงานในลักษณะเดียวกันกับตัวที่ 1 โดยมีการบันทึกข้อมูลจากบิตต่างก่อนบิตบนตามลำดับ เช่นกัน

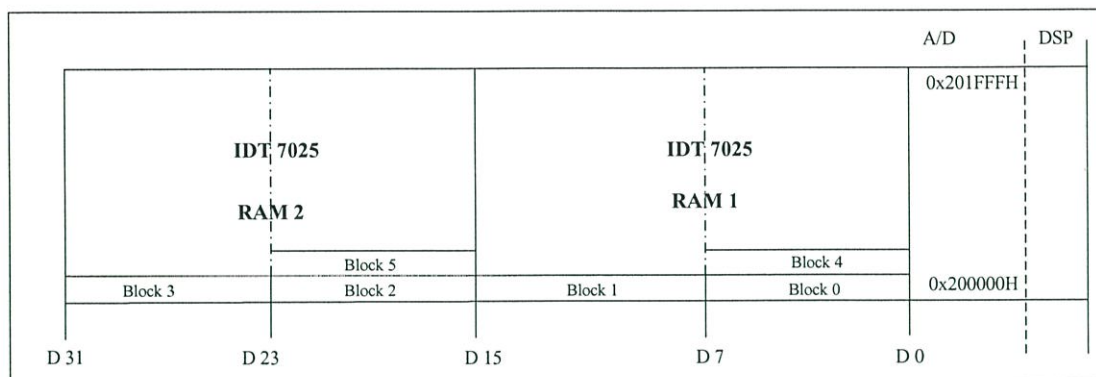
4.1.3 ส่วนเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำ



รูปที่ 4.23 แสดงวงจร Dual Port RAM

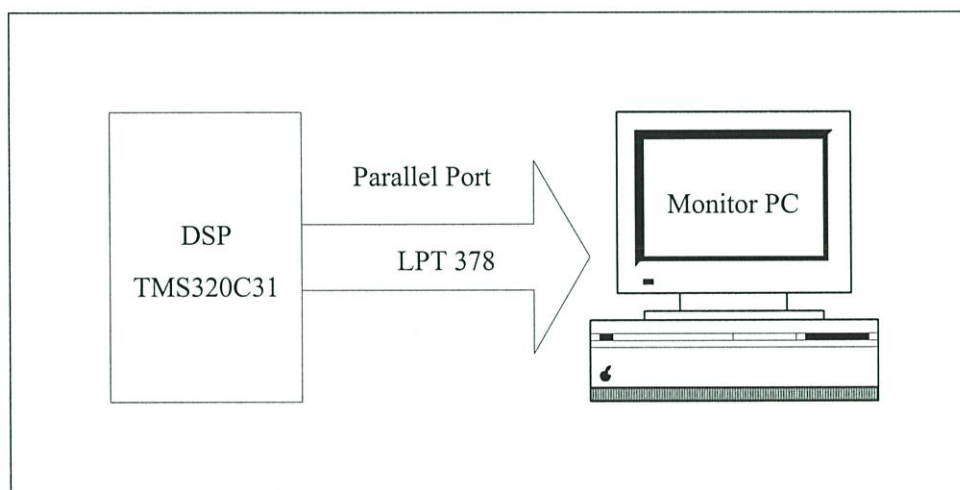
ส่วนเก็บข้อมูลลงหน่วยความจำเราเลือกใช้แรมสองทาง (Dual Port RAM) จำนวน 2 ตัว เบอร์ IDT 7025 ซึ่งแต่ละตัวมีความจุ 8 k x 16 บิต ต่อกันแบบขนานเป็น 32 บิต เพื่อให้ขนาดบัสข้อมูลของ Dual Port RAM มีขนาดเท่ากับบัสข้อมูลของตัวประมวลผลข้อมูลซึ่งมีขนาด 32 บิต ทั้งนี้ข้อมูลภาพจาก A/D จะถูกเขียนลงในแรมสองทางทีละ 8 บิต โดยเริ่มจาก D₀-D₇, D₈-D₁₅, D₁₆-D₂₃, D₂₄-D₃₁ จนครบ 32 บิต เมื่อทำการบันทึกข้อมูลขนาด 32 บิตแล้ว ตำแหน่งในการบันทึกข้อมูลจะถูกเลื่อนขึ้น 1 ตำแหน่ง โดยรับสัญญาณควบคุมในการเลื่อนตำแหน่งจากวงจรนับ 32 และวงจรนับ 256 ซึ่งได้อธิบายมาแล้วในข้างต้น และจะทำการเขียนข้อมูลในลักษณะเดิมอีก โดยเริ่มจาก D₀-D₇, D₈-D₁₅, D₁₆-D₂₃, D₂₄-D₃₁ ใหม่ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งข้อมูลมีความจุเป็นครึ่งหนึ่งของ Dual Port

RAM ซึ่งมีขนาดเท่ากับ 8 กิโลไบต์ แล้วข้อมูลที่บันทึกจะถูกอ่านด้วยตัวประมวลผล เพื่อนำไปประมวลผลต่อไป



รูปที่ 4.24 แสดงการจัดเก็บข้อมูลของแรมสองทาง (Dual Port RAM)

4.1.4 ส่วนประมวลผลและแสดงผล



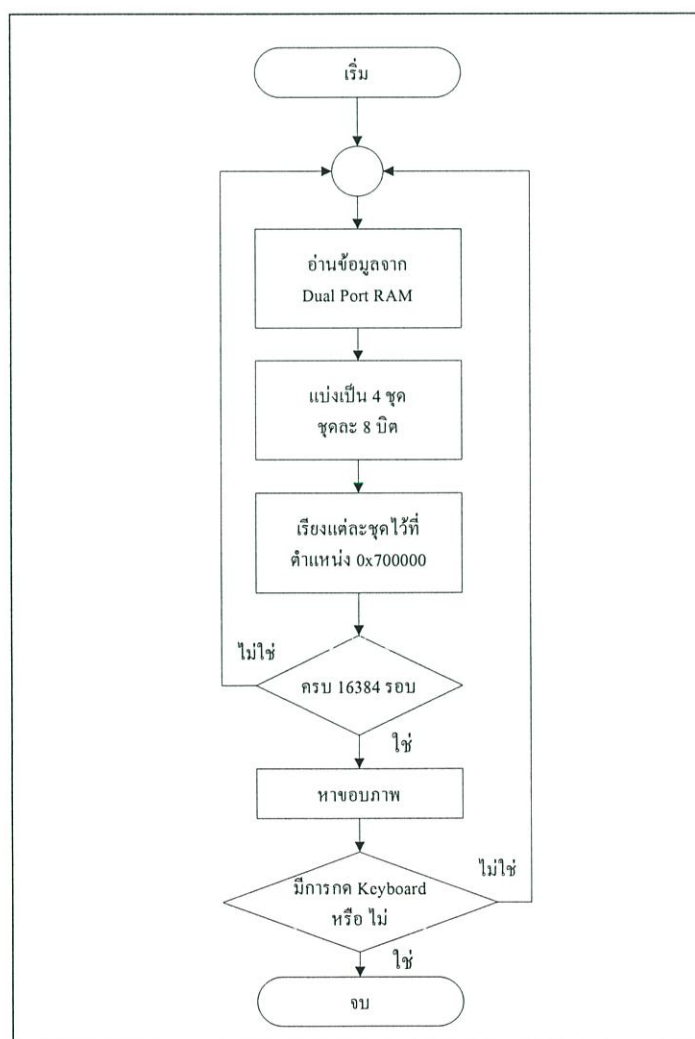
รูปที่ 4.25 แสดงแผนภาพแสดงส่วนประมวลผลและแสดงผล

ในการประมวลผลและแสดงผลใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัลจุดทศนิยมลอยแบบอิสระ (Floating Point) โดยใช้บอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit โดยตัวประมวลผลนี้จะต่อเข้ากับหน่วยความจำแรมสองทางที่ตำแหน่ง 0x200000H ถึง 0x201FFFH และยังสามารถขยายหน่วยความจำของบอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit [13] ออกไปอีก 256 Kbytes เพื่อรองรับการประมวลผลข้อมูลที่มีอัลกอริทึมที่ซับซ้อน และการประมวลผลใน 1 คำสั่งใช้เวลา 40 ns และแสดงผลข้อมูลภาพออกทางจอคอมพิวเตอร์ทางพอร์ตขนาน Parallel Port จอแสดงผลทำหน้าที่แสดงภาพเคลื่อนไหว หรือภาพในลักษณะเวลาจริงโดยวิธีการ (Video RAM) ในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบกำหนดให้แสดงเส้นภาพทางแนวนอนได้ถึง 256 เส้นแต่ละเส้นภาพจะมีรายละเอียดของ

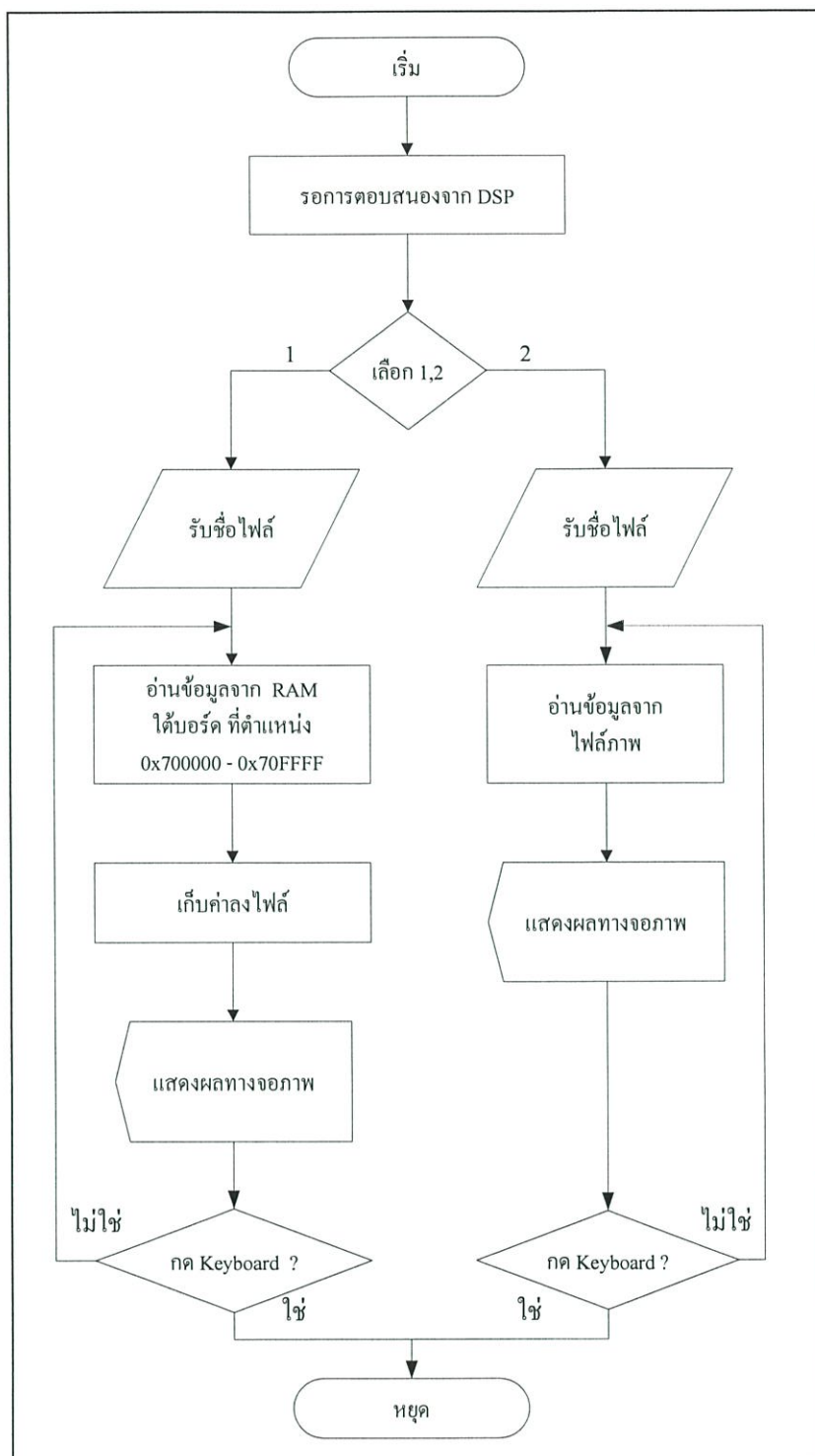
จุดภาพเท่ากับ 256 จุด ดังนั้นหน่วยความจำที่ใช้จะมีค่าเท่ากับ 256×256 เท่ากับ 65,536 บิต หรือเท่ากับ 8 กิโลไบต์ ในการใช้วิธีวิดีโอแรมทำให้เราสามารถอ้างถึงตำแหน่งขององค์ประกอบภาพได้ทุกตำแหน่ง ณ.จุดใดๆก็ได้ และคุณสมบัติในข้างต้นสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในการตรวจจับภาพเคลื่อนไหว การหาขอบภาพ และการตรวจสอบลายนิ้วมือได้ งานวิจัยนี้นำมาประยุกต์ใช้ในการหาขอบภาพโดยวิธี Sobel [14]

4.2 การออกแบบทางด้านซอฟต์แวร์

เนื่องจากการวิจัยนี้ไม่สามารถต่อเข้ากับ Monitor ได้โดยตรงจึงต้องอาศัย PC เป็นตัวกลางระหว่างบอร์ด DSP กับ Monitor การออกแบบทางด้าน Software จึงแบ่งลักษณะการทำงานออกเป็น 2 ส่วนด้วยกันคือ โปรแกรมที่หนึ่ง การทำงานในลักษณะหาขอบภาพเวลาจริงทำงานบน DSP เขียนด้วยโปรแกรมภาษา ซี และโปรแกรมที่สอง ทำงานในลักษณะเวลาจริงไม่ได้หาขอบภาพทำงานบน PC เขียนด้วยภาษา ซี เช่นกันโดยมีลักษณะการทำงานดังโพล์ชาร์ตที่ 1 และ 2



รูปที่ 4.26 แสดงโพล์ชาร์ตการทำงานบนตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (DSP)



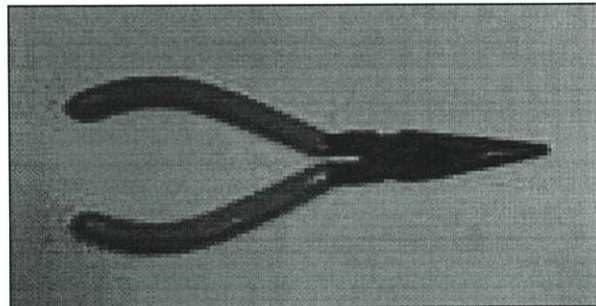
รูปที่ 4.27 แสดงไฟล์วีชาร์ตการทำงานบนคอมพิวเตอร์

บทที่ 5

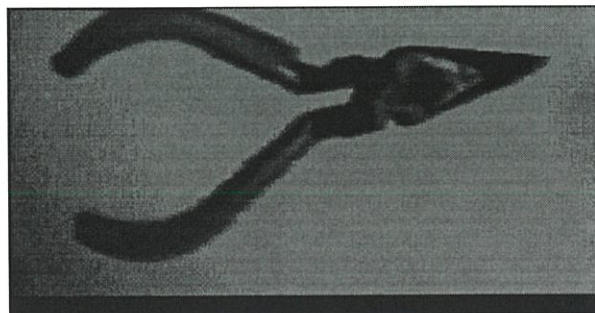
ผลการทดลอง

ผลการทดลองการทำงานของแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพสำหรับจับข้อมูลวิดีโอ

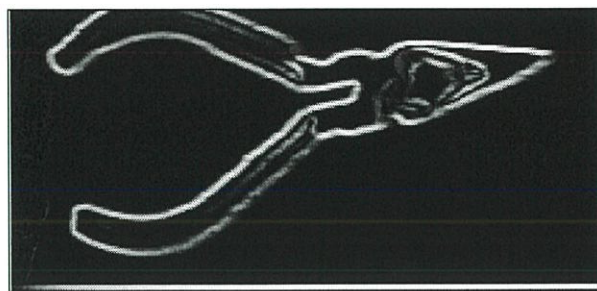
การทดลองได้ทำการจับภาพเป็นสองลักษณะคือทำการจับวัตถุและจับภาพต้นแบบซึ่งผลจากการทดลองแปลงข้อมูลภาพที่ได้จากแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพสำหรับจับข้อมูลภาพแบบ Grey Scale และทำการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection โดยการพิจารณาหาขอบภาพแบบเป็นส่วน ๆ ไปจนครบตามพื้นที่ที่ต้องการหาขอบภาพโดยใช้หน้าต่างขนาด 3x3 เป็นขอบเขตในการหาขอบภาพตามแนวตั้ง และแนวนอน ด้วยตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 เมื่อนำผลจากภาพจริงที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลขนาด 512x211 จุด แสดงดังรูปที่ 5.1 และนำมาเปรียบเทียบกับภาพต้นแบบที่ได้จากแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพสำหรับจับข้อมูลวิดีโอที่ขนาด 128x128 จุด แสดงดังรูปที่ 5.2 จากนั้นทำการหาขอบภาพ แสดงดังรูปที่ 5.3 ผลของภาพที่ได้มีความถูกต้อง และได้ทำการวัดเวลาที่ใช้ในการหาขอบภาพ แสดงดังรูปที่ 5.4 โดยทำการวัดจากการรับค่าเริ่มต้นและค่าสิ้นสุดในการประมวลผลเท่ากับ 329 มิลลิวินาที



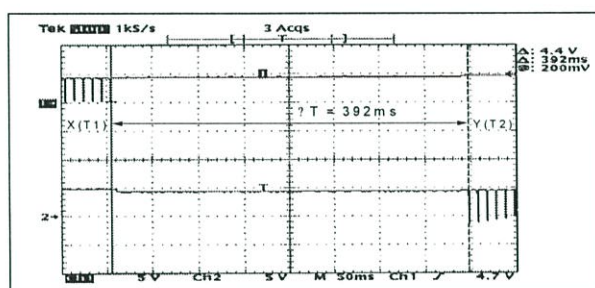
รูปที่ 5.1 ภาพแสดงวัตถุต้นแบบที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัล ขนาด 512x211



รูปที่ 5.2 ภาพแสดงวัตถุต้นแบบปกติขนาด 128x128

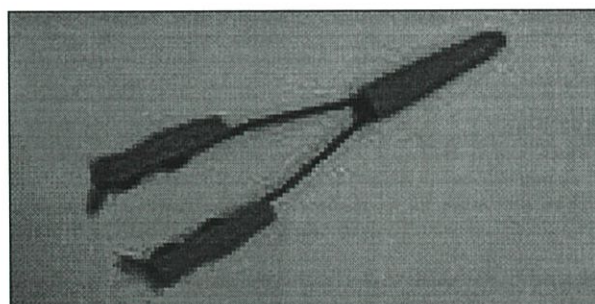


รูปที่ 5.3 ภาพแสดงผลการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection



รูปที่ 5.4 ภาพแสดงเวลาในการหาขอบภาพขนาด 128x128

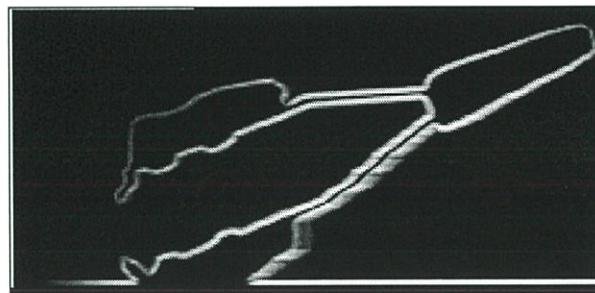
สำหรับข้อมูลภาพวัตถุดั้งเดิมขนาด 256x256 จุด แสดงดังรูปที่ 5.6 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิตอลขนาด 512x211 จุด แสดงดังรูปที่ 5.5 มีความถูกต้องเช่นกัน จากนั้นทำการหาขอบภาพ แสดงดังรูปที่ 5.7 ผลปรากฏว่าใช้เวลาในการหาขอบภาพเท่ากับ 1.595 วินาที แสดงดังรูปที่ 5.8



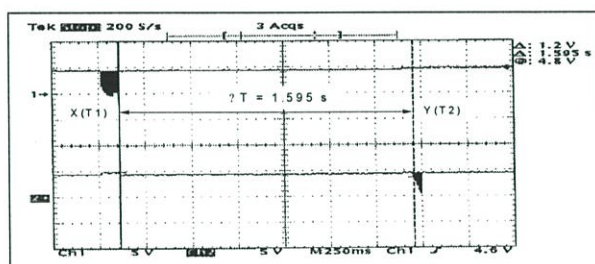
รูปที่ 5.5 ภาพแสดงวัตถุดั้งเดิมที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิตอล ขนาด 512x211



รูปที่ 5.6 ภาพแสดงวัตถุดั้งเดิมแบบปกติขนาด 256x256



รูปที่ 5.7 ภาพแสดงผลการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection



รูปที่ 5.8 ภาพแสดงเวลาในการหาขอบภาพขนาด 256x256

สำหรับข้อมูลภาพต้นแบบขนาด 256x256 จุด แสดงดังรูปที่ 5.10 เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับภาพถ่ายต้นแบบ แสดงดังรูปที่ 5.9 มีความถูกต้องเช่นกัน จากนั้นทำการหาขอบภาพ แสดงดังรูปที่ 5.11 ผลปรากฏว่าใช้เวลาในการหาขอบภาพเท่ากับ 1.595 วินาที แสดงดังรูปที่ 5.12 เช่นกัน



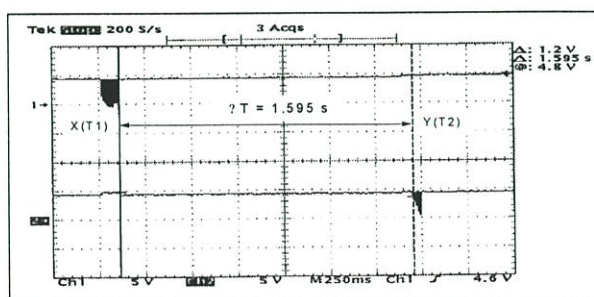
รูปที่ 5.9 ภาพแสดงต้นแบบที่ถ่ายด้วยกล้องดิจิทัลขนาด 512x211 จุด



รูปที่ 5.10 ภาพแสดงต้นแบบปกติขนาด 256x256 จุด



รูปที่ 5.11 ภาพแสดงผลการหาขอบภาพด้วยวิธีการของ Sobel edge detection



รูปที่ 5.12 ภาพแสดงเวลาในการหาขอบภาพขนาด 256x256 จุด

บทที่ 6

สรุปและข้อเสนอแนะ

6.1 สรุป

งานวิจัยนี้เป็นการออกแบบและสร้างแผงวงจรแปลงสัญญาณภาพโดยใช้ตัวประมวลผลสัญญาณดิจิทัล TMS320C31 สัญญาณภาพที่ประมวลได้จะถูกจัดเก็บเป็นพิกเซล (Pixel) ลงในหน่วยความจำ RAM 1 และ RAM 2 ซึ่งมีค่าความแตกต่างในแต่ละจุดภาพ ขาว ดำ อยู่ระหว่างค่า 0 ถึง 255 ระดับ โดยภาพจะถูกจัดเก็บเป็นแบบไบนารี (Binary) แล้วแสดงผลภาพออกสู่จอมอนิเตอร์ หลังจากนั้นนำข้อมูลภาพมาหาขอบภาพโดยใช้หลักการของ Sobel Edge Detector พร้อมทั้งแสดงคาบเวลาในการหาขอบภาพโดยใช้ gal เป็นตัววัดเวลาเริ่มต้นและสิ้นสุดในการหาขอบภาพ

สำหรับงานบางอย่างที่ต้องใช้ข้อมูลภาพสีก็สามารถใช้หลักการเดียวกันแต่ต้องเพิ่มหน่วยความจำ RAM และค่าของความถี่สุ่ม (Sampling) สูงขึ้น

6.2 ปัญหาและข้อเสนอแนะ

6.2.1 การออกแบบวงจรควบคุมค่าเวลาเริ่มต้นในการเกิดภาพ (Initial) จะต้องออกแบบซอฟต์แวร์ให้มีความสัมพันธ์กับฮาร์ดแวร์ เพราะถ้าทั้งสองส่วนมีจุดเริ่มที่ไม่สัมพันธ์กันภาพที่ได้จะไม่สมจริงหรือไม่เห็นภาพเลย

6.2.2 การออกแบบควรคำนวณหาค่าความถี่ที่ใช้ในการสุ่ม (Sampling) ให้เหมาะสมกับความละเอียดหรือจำนวนจุดภาพของซอฟต์แวร์ที่ทำการออกแบบ เพราะถ้าค่าความถี่ไม่เหมาะสมจะทำให้ภาพที่ได้มีการบิดเบี้ยวและเกิดซ้อนทับกัน

6.2.3 ผลของแสงสว่างที่บริเวณรอบ ๆ วัตถุ ถ้าแสงสว่างบริเวณรอบวัตถุมีความสว่างไม่เพียงพอจะทำให้ภาพที่ได้ไม่คมชัด แต่ในการทดลองได้เพิ่มแสงจากหลอดอุลตราไวโอเล็ตส่องไปยังวัตถุทำให้ภาพที่ได้มีความคมชัดมากขึ้น เพราะฉะนั้นในการทดลองบริเวณรอบวัตถุควรควบคุมแสงสว่างให้เพียงพอเพื่อผลของภาพที่ได้จะมีความคมชัดมากขึ้น

6.2.4 สัญญาณรบกวนที่เกิดจากแหล่งจ่ายซึ่งเป็นสัญญาณความถี่ต่ำ ๆ เราสามารถกำจัดสัญญาณที่ไม่ต้องการได้โดยการแยกกราวด์อานอกกับกราวด์ดิจิทัลออกจากกันหรือใช้วงจรฟิลเตอร์ (Filter) เลือกเฉพาะความถี่ที่ต้องการ

เอกสารอ้างอิง

- [1] C. Dumontier, F. Luthin and J.P. Charras, "Real-Time DSP Implementation for MRF-Based Video Motion Detection," IEEE Trans. Signal Processing, vol.8, No. 10, pp. 1341-1347, Oct. 1999.
- [2] M.A. Sid-Ahmed, "Image Processing Theory, Algorithms and Architectures," International Edition, 1995.
- [3] ณรงค์ ย่างสกุล "เทคนิคการออกแบบวงจรดิจิทัลสร้างภาพบนจอโทรทัศน์" Semiconductor Electronics Journal ฉบับที่ 143 ตุลาคม 2537.
- [4] บัณฑิต สุมนวัฒนเดช คเชนทร์ แจ่มกมล และฟูศักดิ์ ชิวสุวิทย์ "แผนวงจรควบคุมการเก็บภาพขนาด 512x512 จุดภาพ โดยใช้ตัวแปลงสัญญาณอนาลอกเป็นดิจิทัล 2 ชุด ร่วมกันทำงาน" เอกสารการประชุมใหญ่ทางวิชาการประจำปี 2536 วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยในพระบรมราชูปถัมภ์, หน้า 630-641, 27-30 พฤศจิกายน 2536.
- [5] G.S. Robinson, "Note : Edge Detection by Compass Gradient Masks," Computer Graphics and Image Processing 6, pp. 492-501, 1977.
- [6] S. Banks, "Siging Processing, Image Processing and Pattern Recognition," Prentice Hall, Singapore 1990.
- [7] J. G. Proakis and D. G. Manolakis, Digital Signal Processing Principles, Algorithms and Application, Prentice Hall 1996.
- [9] วัลลภ สุระกำพลธร การประมวลผลสัญญาณเชิงเลข สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง 2533.
- [10] เอก ไชยสวัสดิ์ สัญญาณและระบบ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี 2538.
- [11] Texas Instruments, "TMS320C3X User's Guide," 1998.
- [10] R. Chassaing, "Digital Signal Processing Laboratory Experiments Using C and the TMS320C31 DSK," John Wiley & Sons, New York, 1999.
- [12] T. Kinugasa, H. Ohtsubo, K. Koshio, T. Imaide, and S. Nonaka, "A Flexible Scanning System for Multi - Format Video Cameras," IEEE. Trans. Consumer Electronics, Vol. 40, No. 3, pp. 605-608, Aug. 1994.

- [13] ชูสิทธิ์ ประดับเพชร สุรพันธ์ ยี่มมัน และ มณฑล ลีลาจินดาไกรฤกษ์ การเพิ่มประสิทธิภาพบอร์ดประมวลผลสัญญาณ TMS320C3x DSP Starter Kit วิศวกรรมลาดกระบัง ปีที่ 18 ฉบับที่ 1 หน้า 1-6 มีนาคม 2544.
- [14] K. Dejhan, F. Cheevasuvit, S. Thongplew, S. Oraintara and N. Arjirith, "A Sobel edge detection digital filter structure and its Distributed arithmetic implementation," Proc. of the 15th Asian Conference on Remote Sensing, NokonRachssims, Thailand, pp. 17-23, Nov. 1994.

ภาคผนวก ก.

บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล

TMS320C31 DSP Starter Kit

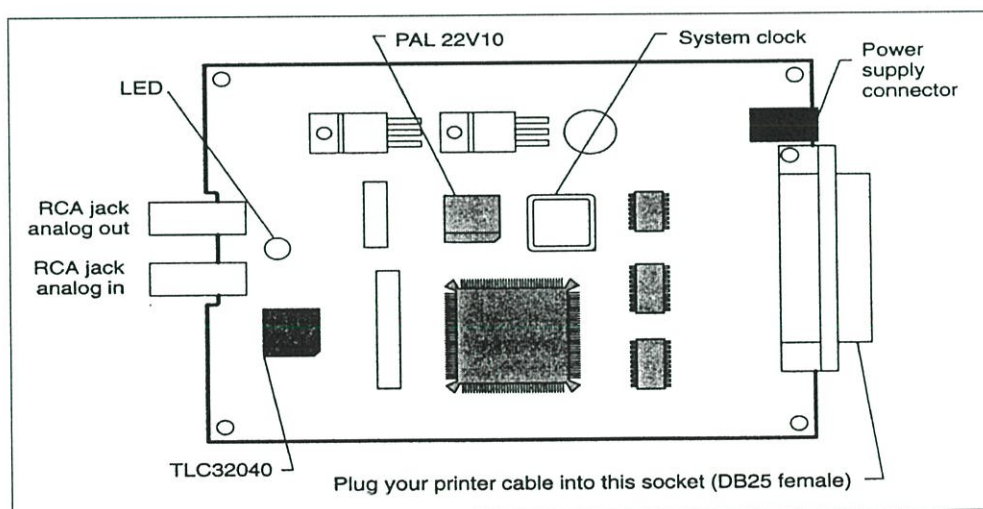
บอร์ดประมวลผลสัญญาณดิจิทัล (TMS320C31 DSP Starter Kit)

บอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit (DSK) เป็นบอร์ดพัฒนาโปรแกรมแบบ Stand – Alone สามารถประมวลผลแบบเวลาจริง (Real-time) ได้โดยเราสามารถที่จะสั่งให้โปรแกรมทำงานหรือหยุดทำงานได้โดยผ่านพอร์ตของคอมพิวเตอร์และสามารถต่อบอร์ดอินเตอร์เฟซแบบต่าง ๆ เข้ากับ บอร์ด DSK ได้

1. ลักษณะของบอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit (DSK)

ฮาร์ดแวร์ของบอร์ด TMS320C31 DSK มีส่วนประกอบพื้นฐานที่ประกอบด้วย

- ชิป DSP TMS320C31
- ชิป A/D - D/A TLC32040
- พอร์ต Input/Output
- พอร์ตขนานของพริ้นเตอร์
- LED แบบ 3 สี



รูปผนวก ก. 1 แสดงฮาร์ดแวร์ของบอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit

จากรูปที่ 1 จะเห็นว่าอุปกรณ์บนบอร์ด DSK จะประกอบด้วย

- Header ขนาด 32 pin จำนวน 4 แถว สัญญาณทุกเส้นของ TMS320C31 DSK ที่ส่งออกไปภายนอกบอร์ดจะต้องผ่าน Header ชุดนี้ซึ่งประกอบด้วย JP2 JP3 JP5 JP6
- Jumper block header ขนาด 11 pin (JP4) จะทำหน้าที่ควบคุมการส่งข้อมูลของพอร์ตอนุกรม ของวงจรมัลติเพล็กซ์อินเตอร์เฟซ TLC32040

-Host Interface Logic จะใช้ PLA 22V10Z และ 74ACT245 ควบคุมการสื่อสารระหว่างบอร์ด DSK กับ Host ของคอมพิวเตอร์

-ออสซิลเลเตอร์ บนบอร์ด TMS320C31 DSK จะใช้สัญญาณนาฬิกาขนาด 50 MHz เพื่อป้อนให้ชิป TMS320C31

-RCA Jack จะทำหน้าที่รับสัญญาณ Analog Input และส่งสัญญาณ Analog Output ของบอร์ด TMS320C31 DSK โดยจะต่ออยู่กับขา I/O ของชิป TLC32040

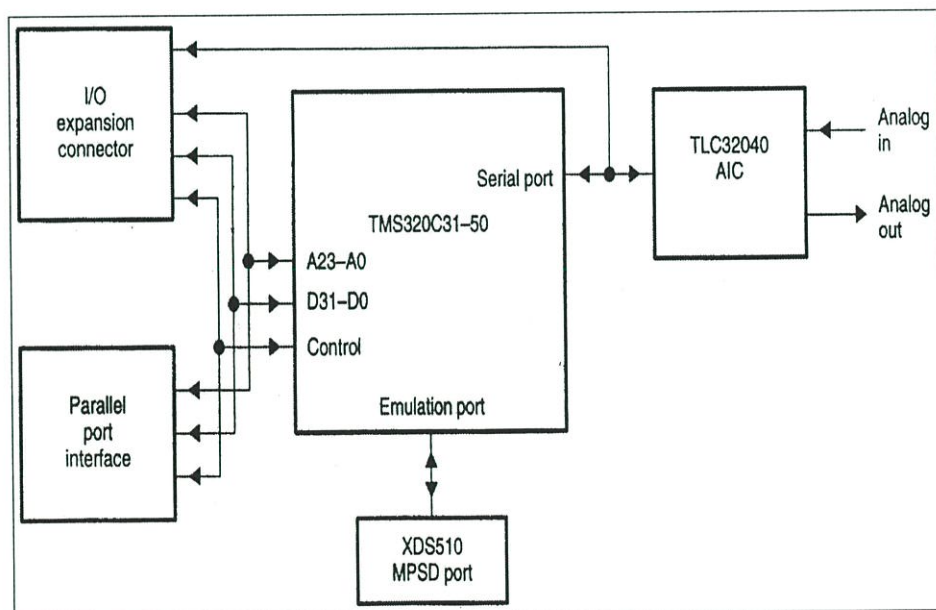
-ชิป TLC32040 จะทำหน้าที่เป็น A/D และ D/A ของบอร์ด TMS320C31 DSK

-ชิป TMS320C31 เป็นตัวประมวลผลขนาด 32 บิต แบบจุดทศนิยมลอย (Floating Point)

-Voltage Regulators ของบอร์ด DSK สามารถใช้ไฟ 7-12 Vdc หรือ 6-9 Vac โดยไฟ DC และ AC จะต้องผ่าน IC Regulator เบอร์ LM7805 และ LM7905 ซึ่งจะได้ไฟ DC +5V และ -5V ตามลำดับ ไฟ DC ที่ได้จะใช้เลี้ยงอุปกรณ์ต่างๆภายในบอร์ดตลอดเวลาที่บอร์ดยังทำงานอยู่

-XDS Emulator Port เป็น Header ขนาด 12 Pin (JP1) ใช้สำหรับการ Upgrade โปรแกรม XDS debugger ในอนาคต

จากที่กล่าวมาข้างต้นสามารถแสดงเป็นรูปบล็อกไดอะแกรมได้ดังรูปที่ 2



รูปผนวก ก. 2 แสดงบล็อกไดอะแกรมของบอร์ด TMS320C31 DSP Starter Kit

2. คุณลักษณะของบอร์ด TMS320C31 DSP STARTER KIT

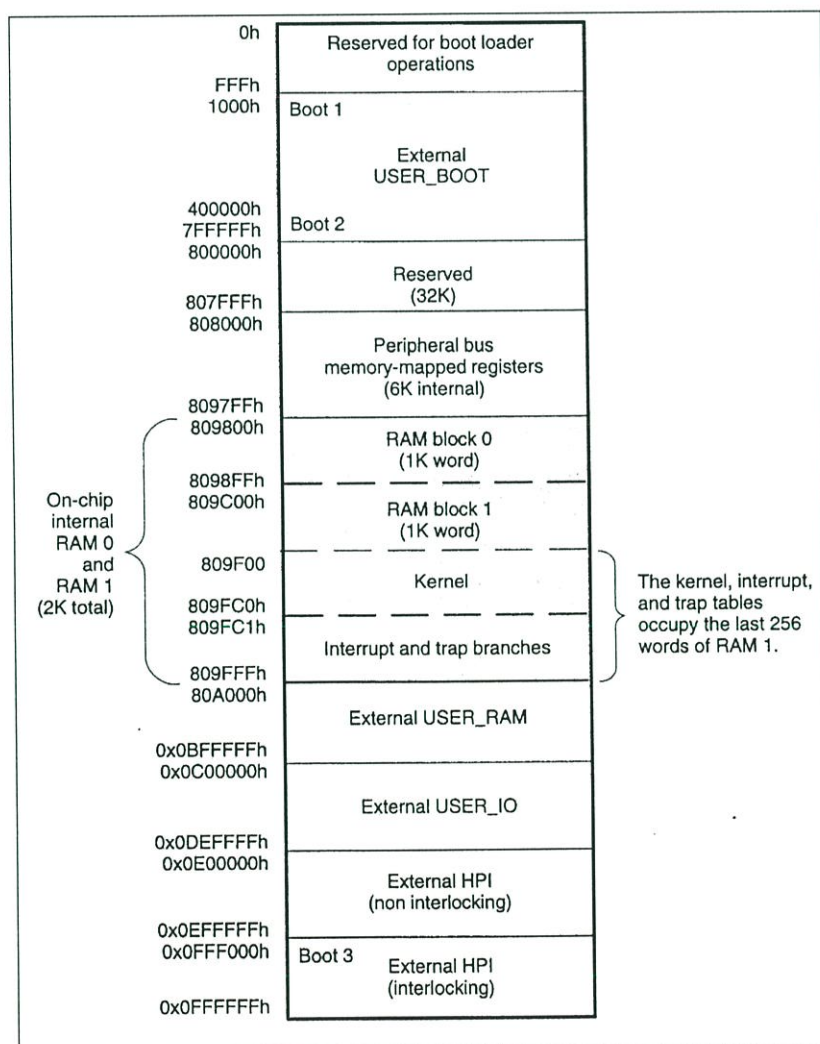
- ใช้ชิป TMS320C31 เป็นตัวประมวลผลขนาด 32 บิต แบบ Floating-Point
- ใช้เวลาในการประมวลผลคำสั่ง 40ns ต่อ 1 คำสั่ง หรือ 50 MFLOP และ 25 MIPS

MFLOP : Million Floating-point Intention Per Second

MIPS : Million Intention Per Second

3. การจัดหน่วยความจำบนบอร์ด TMS320C31 DSP STARTER KIT

บอร์ด TMS320C31 DSK ได้จัดแบ่งหน่วยความจำให้อยู่ในโหมด Microcomputer/Boot Loader ดังแสดงดังรูปที่ 3



รูปผนวก ก. 3 แสดงการจัดแบ่งหน่วยความจำในโหมด Microcomputer/Boot Loader ของบอร์ด

TMS320C31 DSP Starter Kit

4. วงจรอินเทอร์เฟซสัญญาณอนาล็อก TLC32040

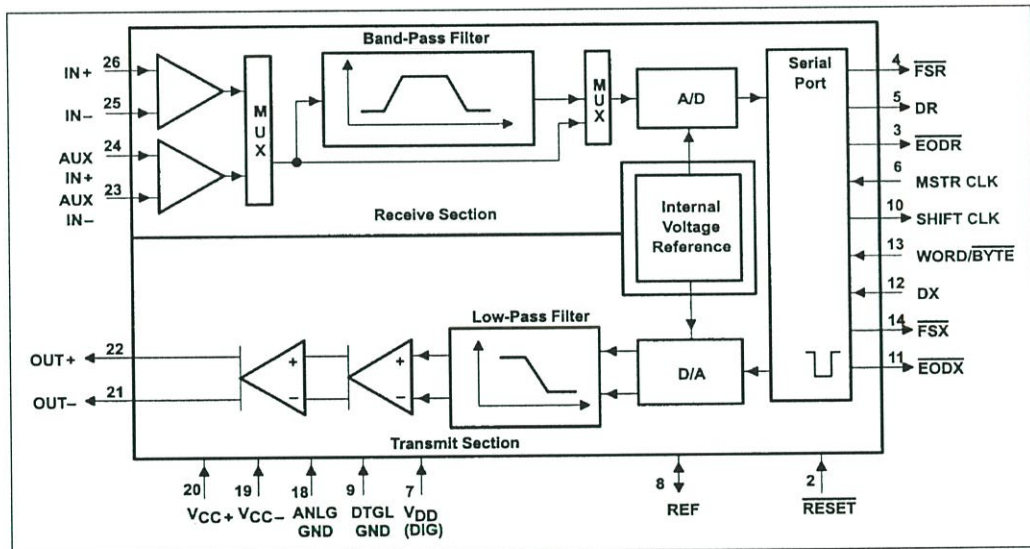
TLC32040 เป็นชิป Analog Interface Circuit (AIC) ที่ใช้เชื่อมต่อกับชิป TMS320C31 ในการทำงานประมวลผลด้าน DSP โดยมีลักษณะดังนี้คือ

- ใช้เทคโนโลยีการผลิต Advanced LinCMOS
- ความละเอียดของ ADC และ DAC เป็น 14 บิต
- สามารถเปลี่ยนอัตราการสุ่มสัญญาณของ ADC และ DAC ได้ถึง 20,000 ครั้ง/วินาที
- มี Switched Capacitor Antialiasing Input Filter และ Output Reconstruction Filter
- มีพอร์ตอนุกรมสำหรับติดต่อโดยตรงกับ TMS320C11, TMS320C17, TMS320C20,

TMS320C25 Digital Signal Processing

- สามารถปรับอัตราการแปลงของ ADC และ DAC ได้โดยใช้โปรแกรมควบคุม

ฟังก์ชันไดอะแกรมแสดงดังรูปที่ 4



รูปผนวก ก. 4 แสดงฟังก์ชันไดอะแกรมของชิป TLC32040

5. การควบคุมวงจรถอนาล็อกอินเทอร์เฟซ

การส่งผ่านข้อมูลในวงจรถอนาล็อกอินเทอร์เฟซ (AIC) จะกระทำกันไนรีจิสเตอร์สำหรับการรับข้อมูล (Data Receive: DR) และรีจิสเตอร์สำหรับการส่งข้อมูล (Data Transmit: DX) รีจิสเตอร์ทั้ง 2 จะทำการส่งข้อมูลในแบบอนุกรม ในการควบคุมรีจิสเตอร์การส่งผ่านข้อมูลของ AIC จะใช้บิตต่าง 2 บิต (LSBs) เป็นตัวกำหนดการติดต่อเมื่อบิตทั้ง 2 มีค่าเป็น 0 จะเป็นการส่งผ่านแบบปกติ เมื่อบิตทั้ง 2 มีค่าเป็น 1 จะเป็นการติดต่อระดับ 2 การควบคุมการติดต่อระดับ 2 นี้ AIC จะยอมให้ส่งผ่านข้อมูลครั้งแรกก่อน

รีจิสเตอร์ A และ B บน AIC จะเป็นตัวควบคุมการทำงานของ AIC โดยรีจิสเตอร์ A ประกอบด้วย TA, RA และเครื่องหมายที่ใช้ควบคุมตัวกรอง (Represent Filter Control) รีจิสเตอร์ B จะประกอบด้วย TB, RB และเครื่องหมายที่ใช้ควบคุม A/D และ D/A รีจิสเตอร์เหล่านี้เป็นส่วนหนึ่งของการตั้งค่าเวลาภายใน

ตำแหน่งบิตที่ใช้สำหรับควบคุมการส่งและรับของรีจิสเตอร์ TA และ RA เป็น

บิต 0-1	—————>	0, 0
บิต 2-6	—————>	RA
บิต 7-8	—————>	don't care (x)
บิต 9-13	—————>	TA
บิต 14-15	—————>	don't care (x)

ตำแหน่งบิตที่ใช้สำหรับควบคุมการส่งและรับของรีจิสเตอร์ TB และ RB เป็น

บิต 0-1	—————>	0, 1
บิต 2-7	—————>	RB
บิต 8	—————>	don't care (x)
บิต 9-14	—————>	TB
บิต 15	—————>	don't care (x)

AIC สามารถกำหนดค่าความถี่สุ่มและค่าแบนด์วิด โดยการใช้ในการติดต่อดระดับ 2 โดยให้ตั้งค่าเป็น 1 ใน 2 บิตแรก (LSBs) ทำให้การติดต่อดระดับ 2 มีค่าเหมือนการติดต่อดระดับ 1 ลำดับข้อมูลจะถูกไหลจากรีจิสเตอร์ส่งข้อมูลพอร์ตอนุกรม และเซต LSBs ทั้ง 2 เป็น 1 สำหรับการติดต่อดระดับ 2 ในแต่ละครั้งมีดังนี้

- 0x3 (3h) ใช้เรียกการติดต่อดระดับ 2
- ค่าที่รีจิสเตอร์ A
- 0x3 เรียกการติดต่อดระดับ 2 ครั้งที่ 2
- ค่าที่รีจิสเตอร์ B
- 0x3 เรียกการติดต่อดระดับ 2 ครั้งที่ 3
- ค่าที่เซตรีจิสเตอร์ควบคุม

สามารถหาค่า A และ B เพื่อออกแบบค่าความถี่สุ่มและค่าแบนด์วิด (BW)

6. การคำนวณหาค่า A และ B เพื่อออกแบบค่าความถี่สุ่มและค่าแบนด์วิด

บอร์ด TMS320C31 DSK มี Input Clock (CLKIN) เป็น 50 MHz สามารถกำเนิดความถี่สัญญาณนาฬิกาสูงสุด (Timer Frequency) เป็น $MCLK = (CLKIN/4) = 12.5 \text{ MHz}$ ซึ่งสูงกว่า Master Clock Frequency ของ AIC ที่มีค่าเท่ากับ 10 MHz AIC Master Clock (MCLK) ที่เข้ามาสามารถวัดสัญญาณได้จากขา 8 ใน JP1 สัญญาณสูงสุดที่ได้จาก AIC สามารถหาได้จาก Input Clockหารด้วย 8 หรือ

$$MCLK = CLKIN/8 = (50 \text{ MHz} / 8) = 6.25 \text{ MHz}$$

Switched – Capacitor Filter Frequency (SCF) เป็นความสัมพันธ์จากกรีจิสเตอร์การส่งของ A

$$SCF = MCLK / (2 \times TA) \quad (1)$$

และความถี่สุ่มเป็นความสัมพันธ์จาก การส่งค่าในรีจิสเตอร์ของ A และ B

$$Fs = MCLK / (2 \times TA \times TB) \quad (2)$$

Input Filter Bandwidth หรือ Cutoff Frequency ตั้งค่าที่ 3600 MHz สำหรับ SCF ที่ 288 kHz ค่า SCF ใหม่จะได้ค่า BW นำไปคำนวณในตัวอย่าง และหาค่า A และ B เพื่อไปตั้งค่า AIC

6.1 ออกแบบ $F_s = 8 \text{ kHz}$

การออกแบบ Cutoff Frequency ของ Input Antialiasing filter เป็น 3600 Hz ที่ SCF 288 kHz จากสมการที่ (1)

$$\begin{aligned} TA &= MCLK / (2 \times SCF) = 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 288 \text{ kHz}) \\ &= 10.85 \approx 11 = (01011)_2 \end{aligned} \quad (3)$$

จากสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} TB &= MCLK / (2 \times TA \times Fs) \\ &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 11 \times 8000) \\ &= 35.51 \approx 36 = (100100)_2 \end{aligned}$$

จากสมการที่ (3) จะได้ SCF (ปฏิบัติ) เป็น

$$\begin{aligned} \text{SCF} &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times \text{TA}) \\ &= 284.09 \text{ kHz} \end{aligned}$$

Cutoff Frequency หรือ Input Filter Bandwidth

$$\begin{aligned} \text{BW} &= 3600 (\text{New SCF} / \text{Set SCF}) \\ &= 3600(284.09 \text{ KHz} / 288 \text{ KHz}) \\ &= 3551.14 \text{ Hz} \end{aligned}$$

จะได้ความถี่สุ่มเป็น

$$\begin{aligned} F_s &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times \text{TA} \times \text{TB}) \\ &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 11 \times 36) \\ &= 7891.41 \text{ Hz} \end{aligned}$$

จากสมการที่ (2.6) จะได้ตำแหน่งบิตที่ใช้ ในการรีจิสเตอร์ควบคุม และตั้งค่า TA = RA ซึ่ง TA มี 5 บิต, TB มี 6 บิต และ xx จะไม่สนใจ (don't care) เช่น

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} 00 & 01011 & 00 & 01011 & 00 \\ \hline xx & TA & xx & RA & \end{array} \quad \longrightarrow \quad 162\text{Ch}$$

แยกบิตที่จะนำไปใช้เป็น 4 กลุ่ม โดยค่า A = 162Ch TB = RB ก็เช่นเดียวกัน

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} 0 & 100100 & 0 & 100100 & 10 \\ \hline x & TB & x & RB & \end{array} \quad \longrightarrow \quad 4892\text{h}$$

6.2 ออกแบบ Fs = 10 kHz

ใช้ Cutoff frequency หรือ BW สำหรับ Input Antialiasing Filter เหมือนกับ Fs = 8 kHz, TA = 11 จะได้

$$\text{TB} = 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 11 \times 10000)$$

$$= 28.41 \approx 28 = (011100)_b$$

ความถี่สุ่มเป็น

$$\begin{aligned} F_s &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times T_A \times T_B) \\ &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 11 \times 28) \\ &= 10146 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ค่า B ได้

$$\begin{array}{c} 0 \mid 011100 \mid 0 \mid 011100 \mid 10 \\ x \mid TB \mid x \mid RB \mid \end{array} \quad \longrightarrow \quad 3872h$$

หรือ $B = 3872h$

6.3 ออกแบบ $F_s = 20 \text{ kHz}$

ออกแบบ $BW = 8000 \text{ Hz}$ จาก

$$BW = 3600 (\text{New SCF} / \text{Set SCF})$$

ค่า Switched – Capacitor Filter Frequency ค่าใหม่ เป็น

$$SCF = 8000(288 \text{ K}) / 3600 = 640 \text{ KHz}$$

ค่า T_A และ T_B เป็น

$$\begin{aligned} T_A &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 640 \text{ k}) \\ &= 4.88 \approx 5 = (00101)_b \\ T_B &= 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 5 \times 20000) \\ &= 31.25 \approx 31 = (011111)_b \end{aligned}$$

ได้ SCF (ปฏิบัติ) เป็น

$$SCF = 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 5) = 625 \text{ kHz}$$

ได้ Bandwidth (ปฏิบัติ) เป็น

$$\begin{aligned} BW &= 3600(625 \text{ k} / 288 \text{ k}) \\ &= 7812.5 \text{ Hz} \end{aligned}$$

ความถี่สุ่ม (ปฏิบัติ) เป็น

$$F_s = 6.25 \text{ MHz} / (2 \times 5 \times 31) = 20161.29 \text{ Hz}$$

ค่า A จะได้

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} 00 & 00101 & 00 & 00101 & 00 \\ \hline xx & TA & xx & RA & \end{array} \quad \longrightarrow \quad 0A14h$$

หรือ A = 0A14h

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} 0 & 011111 & 0 & 011111 & 10 \\ \hline x & TB & x & RB & \end{array} \quad \longrightarrow \quad 3E7Eh$$

หรือ B = 3E7Eh

ดังนั้นสามารถสรุปค่าของรีจิสเตอร์ที่ความถี่สุ่มแตกต่างกัน 4 ค่า ดังตารางที่ 1

ตารางภาคผนวกที่ 1 ค่ารีจิสเตอร์ที่ความถี่สุ่มแตกต่างกัน 4 ค่า

Fs (ออกแบบ), Hz	Fs (ปฏิบัติ)	A	B
8000	7891.41	0x162C	0x4892
10000	10146	0x162C	0x3872
16000	15943	0x0E1C	0x3872
20000	20161.29	0x0A14	0x3E4E

ภาคผนวก ข.

โปรแกรมที่ใช้ในการทดลอง

โปรแกรมที่รันบน PC, โปรแกรมที่รันบน DSK, โปรแกรมวัดเวลา

โปรแกรมที่รันบน PC

```
#include "dsklib.h"
#include <io.h>

unsigned long hex2int(int value, int pos)
{
    int i;
    unsigned long result;

    result = 1;
    for (i = 0; i < pos; i++)
        result *= 16;
    return (result * value);
}

void main(int argc, char *argv[])
{

    char *msg;    // A pointer to any error message if it should occur
    MSGS err;    // An enumerated message for looking up messages

    unsigned long data;
    unsigned long address;
    FILE *ptrIn;
    int cnt = 0;
    char ch;
    char ch1;
    char str[10];
    int quit = 0;
```

```
//clrscr();

printf("\naddress = %d data = %d",address,data);

Detect_Windows();

Init_Communication(10000);

HALT_CPU(); // Put C31 into spin0 mode

//clrscr();

//if(access(argv[1],0) != 0) return 1;

ptrIn = fopen(argv[1], "rb");

address = (unsigned long)0x100000L;

do

{

    ch = fgetc(ptrIn);

    switch (ch)

    {

        case 0x2: break;

        case 0x3: quit = 1;

                break;

        case ' ': break;

        case '\n': break;

        case '\r': break;

        case '$': do

                {

                    ch = fgetc(ptrIn);

                } while (ch != ',');

                break;

        default: ch1 = fgetc(ptrIn);

                str[0] = '0';

                str[1] = 'x';

                str[2] = ch;

                str[3] = ch1;

                str[4] = '\0';
```

```

        sscanf(str, "%lX", &data);
        putmem(address++,1, &data);
        cnt++;
        break;
    }
} while (quit != 1);
/*-----
0xFFFFFFFF pattern marks the end of C31 hexcode to be loaded in
flash memory.
-----*/
data = (unsigned long)0xFFFFFFFF;
putmem(address++,1, &data);
RUN_CPU();

if((err=Load_File("lab51.out",LOAD))==NO_ERR)
{
    RUN_CPU();
}
else
{
//    msg = Error_Strg(err);
    msg = "Error";
    printf("\r\n%s",msg);
    exit(0);
}
}

```

โปรแกรมที่รันบน DSK

```

#include "h:\dsp\c3x_lab\ch3\aiccomc.c"
#include "h:\dsp\c3xtools\math.h"
int AICSEC[4] = {0x162c,0x1,0x4892,0x67};

volatile char *Time1=(volatile char *) 0x300000;
volatile char *Time2=(volatile char *) 0x900000;

void frame(void);
void main(void)
{
    unsigned char a1,a2,a3,a4;
    unsigned int dataRAM1,i;
    // while(1)
    // {
        volatile char *RAM2=(volatile char *) 0x100000;
        volatile int *DUAL=(volatile int *) 0x200000;
        for(i=0;i<=0x7FFF;i++)
        {
            dataRAM1 = *DUAL++;
            a1 = (dataRAM1 & 0x000000ff);
            a2 = (dataRAM1 & 0x0000ff00) / 0x000000ff;
            a3 = (dataRAM1 & 0x00ff0000) / 0x0000ffff;
            a4 = (dataRAM1 & 0xff000000) / 0x00ffffff;

            *RAM2++ = a3;
            *RAM2++ = a4;
            *RAM2++ = a1;
            *RAM2++ = a2;
        }
    }
}

```

```

    frame();
}
void frame(void)
{
    volatile char *RAM2=(volatile char *) 0x100000;
    volatile char *RAM3=(volatile char *) 0x700000;
    int i,j;
    unsigned char m,n;
    char rst1,rst2,rst3,rst4,rst5,rst6,rst7,rst8;
    unsigned char dataRAM2,r1,r2,r3,r4,r5,r6,r7,r8,r9;
    char rst;
    unsigned char b=0;

    for(i=0;i<=65500;i++)
        *Time1 = 0x00000000;

    for (j=1;j<=254;j++)
    {
        for (i=1;i<=254;i++)
        {
            /*    for (n=0;n<=2;n++)
                for (m=0;m<=2;m++)
                {
                    dataRAM2 = *(RAM2 + 254*(j-1+n) + i-1+m); */

            r1 = *(RAM2 + 254*(j-1) + i-1);
            r2 = *(RAM2 + 254*(j-1) + i);
            r3 = *(RAM2 + 254*(j-1) + i+1);

            r4 = *(RAM2 + 254*j + i-1);
            r5 = *(RAM2 + 254*j + i);
            r6 = *(RAM2 + 254*j + i+1);

```

```

r7 = *(RAM2 + 254*(j+1) + i-1);
r8 = *(RAM2 + 254*(j+1) + i);
r9 = *(RAM2 + 254*(j+1) + i+1);

rst1 = r1 + r2*2 + r3 - r7 - r8*2 - r9;
rst2 = r1*2 + r2 + r4 - r6 - r8 - r9*2;
rst3 = r1 - r3 + r4*2 - r6*2 + r7 - r9;
rst4 = -r2 - r3*2 + r4 - r6 - r7*2 + r8*2;
rst5 = -r1 - r2*2 - r3 + r7 + r8*2 + r9;
rst6 = -r1*2 - r2 - r4 + r6 + r8 + r9*2;
rst7 = -r1 + r3 - r4*2 + r6*2 - r7 + r9;
rst8 = r2 + r3*2 - r4 + r6 - r7*2 + r8;

// }

rst = rst1;
if(rst2>rst) rst = rst2;
if(rst3>rst) rst = rst3;
if(rst4>rst) rst = rst4;
if(rst5>rst) rst = rst5;
if(rst6>rst) rst = rst6;
if(rst7>rst) rst = rst7;
if(rst8>rst) rst = rst8;

b++;

/* if (rst[b] > 255) rst[b] = 255;
   if (rst[b] < 0 ) rst[b] = 0;

b++;
if(b==4)
{
b=0;

```

```
*RAM3++ = rst[3]*0x01000000 + rst[2]*0x00010000 + rst[1]*0x00000100 + rst[0];  
    } */  
}  
}  
for(i=0;i<=65500;i++)  
    *Time2 = 0x00000000;  
}
```

โปรแกรมวัดเวลา

CHIP C3X_IMG GAL22V10

STRB A13 A14 A15 A16 A17 A18 A19 A20 A21 A22 GND

OE NC CS NC NC NC NC NC NC NC A23 VCC

EQUATIONS

/CS = /STRB*/A23*/A22*A21*/A20*/A19*/A18*/A17*/A16*/A15*/A14*/A13

EQN2JED - Boolean Equations to JEDEC file assembler (Version V003)

Copyright (R) National Semiconductor Corporation 1990,1991

Document file for 3x_img.eqn

Device: G22V10

\$LABELS 24 STRB A13 A14 A15 A16 A17 A18 A19 A20 A21 A22 GND OE NC CS NC NC

NC NC NC NC NC A23 VCC

Pin	Label	Type
---	-----	----
1	STRB	com input
2	A13	com input
3	A14	com input
4	A15	com input
5	A16	com input
6	A17	com input
7	A18	com input
8	A19	com input
9	A20	com input
10	A21	com input
11	A22	com input
12	GND	ground pin
13	OE	unused
14	NC	unused
15	CS	neg,trst,com output

16	NC	unused
17	NC	unused
18	NC	unused
19	NC	unused
20	NC	unused
21	NC	unused
22	NC	unused
23	A23	com input
24	VCC	power pin

EQN2JED - Boolean Equations to JEDEC file assembler (Version V003)

Copyright (R) National Semiconductor Corporation 1990,1991

Device Utilization:

No of dedicated inputs used : 12/12 (100.0%)

No of feedbacks used as dedicated outputs : 1/10 (10.0%)

Pin	Label	Terms Usage
15	CS	2/11 (18.2%)
Total		2/132 (1.5%)

EQN2JED - Boolean Equations to JEDEC file assembler (Version V003)

Copyright (R) National Semiconductor Corporation 1990,1991

Chip diagram (DIP)

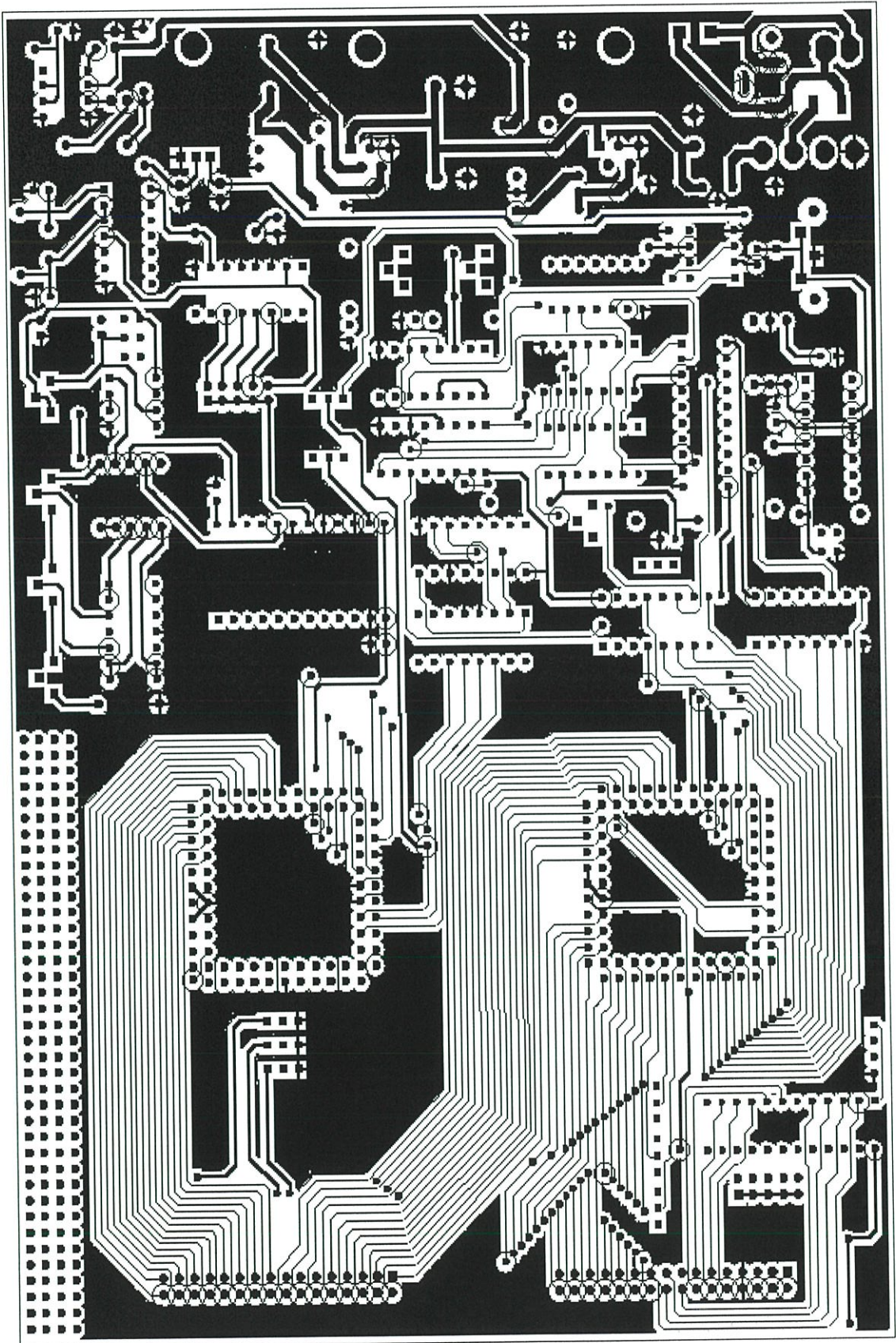
·——— ·
| _ / |

STRB 1	24 VCC
A13 2	23 A23
A14 3	22 NC
A15 4	21 NC
A16 5	20 NC
A17 6	19 NC
A18 7	18 NC
A19 8	17 NC
A20 9	16 NC
A21 10	15 CS
A22 11	14 NC
GND 12	13 OE

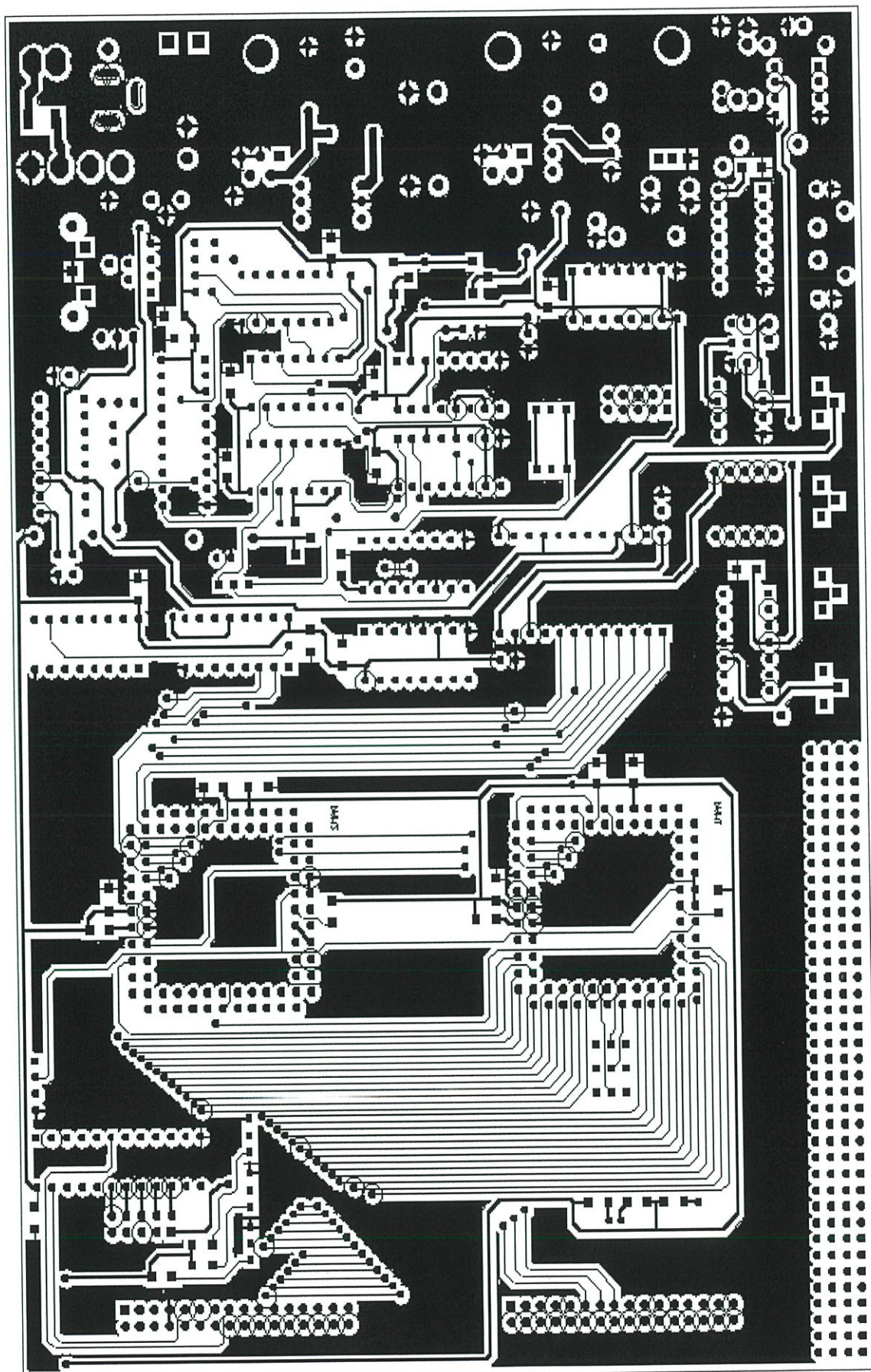
|—————|

ภาคผนวก ค.

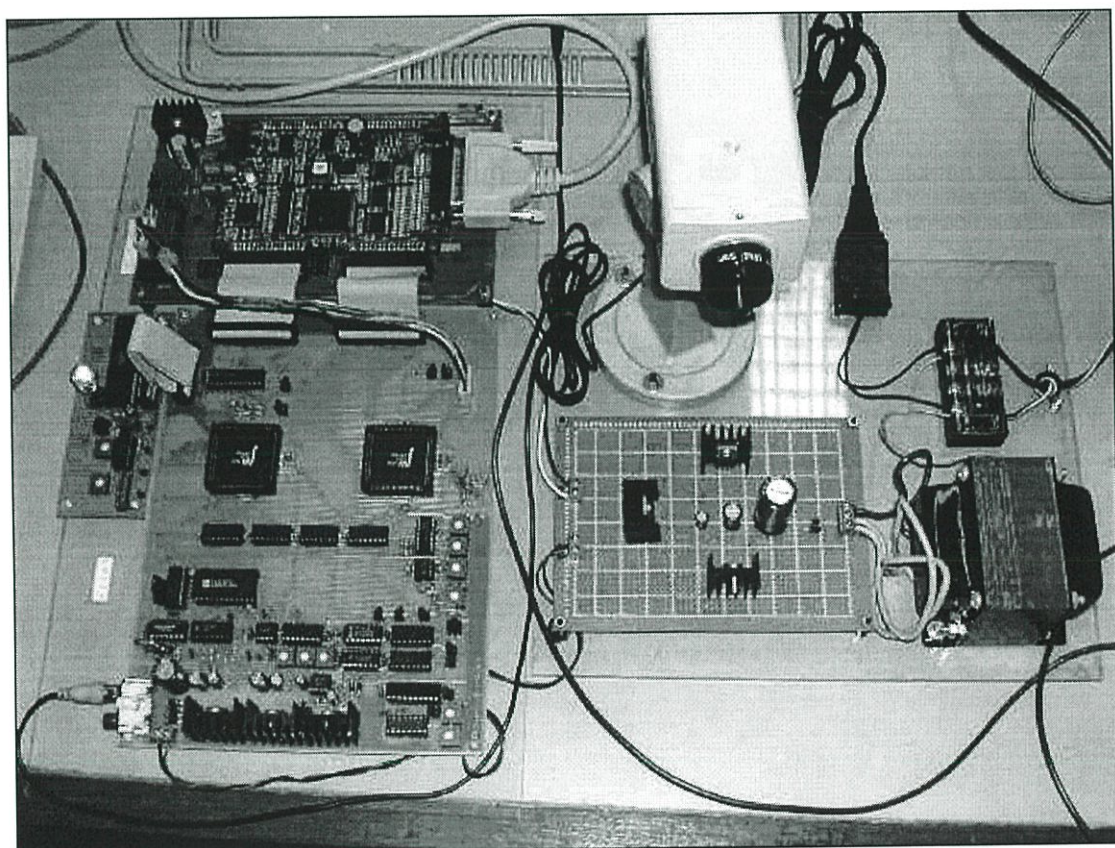
รูปแสดงฮาร์ดแวร์ และวงจร Schematics ของ
ชุดแปลงสัญญาณภาพ



รูปผนวก ค. 3 ภาพแสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์ด้านบน



รูปผนวก ค. 4 ภาพแสดงลายแผ่นวงจรพิมพ์ด้านล่าง



รูปผนวก ค. 5 แสดงภาพต้นแบบที่พัฒนาสมบูรณ์

ภาคผนวก ง.
การเผยแพร่วิจัย

1. อนุชิต รูปเหลือง, สุชาติ สิทธิสำอางค์, กอบชัย เดชหาญ “การออกแบบระบบเครือข่ายคอมพิวเตอร์สำหรับหน่วยงานขนาดใหญ่” วารสารสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ, ปีที่ 29, เล่มที่ 2, หน้า 199-218, เดือน กรกฎาคม-สิงหาคม 2540.
2. อนุชิต รูปเหลือง, สุรพันธ์ ยิ้มมั่น, กอบชัย เดชหาญ “การสร้างอัลกอริทึมของ Sobel Edge Detection ด้วย TMS320C31 โดยปราศจากไมโครคอมพิวเตอร์” วิศวกรรมลาดกระบัง, ปีที่ 19, ฉบับที่ 3, หน้า 84-89, เดือน กันยายน 2545.

ประวัติผู้เขียน

นายอนุชิต รูปเหลือง เกิดเมื่อ วันที่ 22 พฤษภาคม พ.ศ.2507 ที่ อำเภอวิเศษชัยชาญ จังหวัดอ่างทอง สำเร็จการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะ วิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีราชมงคล วิทยาเขตเทเวศร์ ปีการศึกษา 2537

ปี พ.ศ. 2529 เริ่มทำงานครั้งแรกที่โรงเรียนเทคโนโลยีช่างอุตสาหกรรมกรุงเทพ ถนนรามคำแหง เขตห้วยหมาก กรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2532 ทำงานที่โรงเรียนเทคโนโลยีกรุงเทพ เขตพระโขนง กรุงเทพฯ ปี พ.ศ.2534 ทำงานที่โรงเรียนเซนต์จอห์น โปลีเทคนิค ลาดพร้าว กรุงเทพฯ จนถึง ปี พ.ศ. 2537 ปัจจุบันทำงานที่บริษัท ทศท. คอเปอร์เรชั่น จำกัด (มหาชน) ทำงานในตำแหน่ง วิศวกร 6