การประยุกต์โฮโลกราฟฟิกอินเตอร์ฟีโรมิทรี่

Holographic Interferometry Application

โดย

นายภาวิน สพโชค

นายสุรยุท ละมูลมอญ

นายสุวิชช์ คุณารัตนพฤกษ์

วัน เดือน ปี 24 ก.ค. 2541

เลขทะเบียน 039163

เลขเรียกหนังสือ T 10801 ภ 111 ก

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039163

การประยุกต์โฮโลกราฟฟิกอินเตอร์ฟีโรมิทรี่

Holographic Interferometry Application

โดย

นายภาวิน สพโชค

นายสุรยุท ละมูลมอญ

นายสุวิชช์ คุณารัตนพฤกษ์

อาจารย์ที่ปรึกษา

ดร. สุริภณ สมควรพาณิชย์

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ประจำปีการศึกษา 2540

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2540

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

เรื่อง การประยุกต์โฮโลกราฟฟีกอินเตอร์ฟีโรมิทรี่

Holographic Interferometry Application

ผู้จัดทำ	นาย ภาวิน	สพโชค	37014319
	นาย สุรยุท	ละมูลมอญ	37014531
	นาย สุวิชช์	คุณารัตนพฤกษ์	37014539

( )

อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานเรื่อง	การประยุกต์โฮโลกราฟฟิกอินเตอร์ฟีโรมิทรี่	
	Holographic Interferometry Application	
จัดทำโดย	นาย ภาวิน	สพโชค
	นาย สุรยุท	ละมูลมอญ
	นาย สุวิชช์	คุณารัตนพฤกษ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. สุริภณ	สมควรพาณิชย์

รายงานฉบับนี้ได้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว

ลงชื่อ.....อาจารย์ที่ปรึกษา

( )

วันที่...../...../.....

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ อาจารย์ที่ปรึกษา และอาจารย์สมศักดิ์ที่ช่วยเกี่ยวกับการทำโฮโลแกรม ขอบคุณอาจารย์เทอดศักดิ์ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการเขียนโปรแกรมต่างๆ และ การทำการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ขอขอบคุณ อาจารย์ สุรพันธ์ ที่ให้แนวทางในการเขียนโปรแกรมสำหรับติดต่อกับกล้อง CCD ขอบคุณเติมเพื่อนภาคคอมพ์ที่ให้ยืมพรินเตอร์ เลเซอร์ มาพิมพ์งานทั้งสองเทอม ขอบคุณพี่อู๋ และเพื่อนๆ ที่ช่วยให้ข้อมูล

นาย ภาวิน สพโชค

นาย สุรยุท ละมูลมอญ

นาย สุวิชช์ คุณารัตนพฤกษ์

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การประยุกต์โฮโลกราฟฟิกอินเตอร์ฟีโรมิทรี่

นาย ภาวิน สพโชค
นาย สุรยุท ละมูลมอญ
นาย สุวิชช์ คุณารัตนพฤกษ์
ดร.สุริภณ สมควรพานิชย์
อาจารย์ที่ปรึกษา
ปีการศึกษา 2540

บทคัดย่อ

แสงถูกพิจารณาว่าเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า (Electromagnetic wave) ซึ่งมีคุณสมบัติต่าง ๆ เช่นการแทรกสอด เลี้ยวเบน ฯลฯ ในโครงงานนี้ได้ศึกษาถึงการเกิดริ้วการแทรกสอดของแสงโดยใช้ วิธีอินเตอร์ฟีเร้นซ์ของไมเคิลสัน จากการศึกษาถึงเงื่อนไขการเกิดของริ้วการแทรกสอดนี้ ทำให้สามารถวิเคราะห์จากริ้วการแทรกสอดได้ว่าพื้นผิวของวัตถุนั้นมีรูปร่างอย่างไร โดยการนำเอาคอมพิวเตอร์มาประยุกต์ใช้ในการวิเคราะห์ดังกล่าว ซึ่งการใช้คอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์ข้อมูลการแทรกสอดนั้น มีด้วยกันหลายขั้นตอน เริ่มต้นจากการเชื่อมต่อคอมพิวเตอร์กับกล้อง ไปสู่การประมวลผลภาพต่าง ๆ เช่นการทำเส้นบาง การทำฟิลเตอร์ภาพ ฯลฯ และท้ายที่สุดคือการสร้างภาพพื้นผิวของวัตถุที่สัมพันธ์กับริ้วการแทรกสอดนั้น ๆ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Holographic Interferometry Application

Mr. Pavin Sopchoak

Mr. Surayut Lamulmon

Mr. Suwit Kunaruttanapruk

Dr. Suripon Somkuanpanich

Advisor

Education Year 1997

Abstract

Light is considered as the electromagnetic wave and has many wave properties such as interference. This project study about conditions of fringe generation from Michelson's Interferometer. The conclusion from studying show how to analyze fringe pattern. CCD camera – interfaced computer is applied to fringe pattern analysis. After fringe pattern is captured by a camera, and processed to an appropriate image, Object surface, related to the fringe pattern, will be generated.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	I
บทคัดย่อ	II
Abstract	III
สารบัญ	IV
สารบัญรูปภาพ	VII
บทที่ 1 บทนำ	1
บทที่ 2 ทฤษฎี	2
2.1 แสงเลเซอร์ (Laser)	2
2.1.1 โมโนโครมาติก (Monochromatic)	2
2.1.2ไดเร็คชันแนลลิตี้ (Directionality)	3
2.1.3 ไดเวอร์เจนซ์ (Divergence)	3
2.1.4 โคฮีเรนซ์ (Coherence light)	3
2.2 การแทรกสอดของคลื่นแสง (Interference)	3
2.3 ริ้วของยังก์ (Young's fringe)	4
2.4 วงแหวนของนิวตัน (Newton's rings)	4
2.5 ไมเคิลสัน อินเตอร์ฟีโรมีเตอร์ (Michelson Interferometer)	5
2.6 การนำการแทรกสอดของแสงไปประยุกต์ใช้งาน	7
2.6.1 การตรวจสอบความแตกต่างของพื้นผิว	7
2.6.2 การวัดความหนาของพื้นผิว	7
2.6.3 การตรวจสอบรูปร่างของพื้นผิว	7
2.7 ความผิดพลาดในการวิเคราะห์รูปริ้วการแทรกสอด	7
2.8 ทฤษฎีของกล้อง CCD	9
2.8.1 Frame transfer architecture	10
2.8.2 Interline transfer architecture	11
2.8.3 Frame interline transfer architecture	11
บทที่ 3 ส่วน Software	13
3.1 ส่วนการรับภาพจากกล้อง CCD	14
3.2 ส่วนการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ	16
3.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลแบบบิทแมป	16

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

		หน้า
	3.2.2 หลักการสำหรับการแปลงภาพสี RGB 24 bits เป็นภาพขาวดำ Grayscale 8 bits 256 ระดับ	17
	3.3 ส่วนการปรับปรุงภาพ	19
	3.3.1 การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการ	19
	3.3.2 การทำฟิลเตอร์ในสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain Filter)	20
	3.3.3 การทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ (Frequency Domain Filter)	21
	3.3.4 การหมุนภาพ (Image Rotation)	31
	3.4 ส่วนการทำให้เส้นสีดำเป็นเส้นบางขนาด 1 pixel	33
	3.4.1 การหา Histogram และ Threshold และแปลงเป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ	33
	3.4.2 การทำให้เส้นสีดำบางลงโดยการตัดขอบ	33
	3.5 ส่วนการประมวลผลภาพลวดลายของ Fringe	38
	3.5.1 การกำหนดเลขระดับของแต่ละฟริ้งก์	38
	3.5.1.1 แบบอัตโนมัติ	38
	3.5.1.2 แบบผู้ใช้กำหนดเอง	41
	3.5.2 การเตรียมพร้อมสำหรับการวาดลักษณะของพื้นผิว	42
	3.5.3 การวาดโครงร่างตาข่ายแสดงลักษณะของพื้นผิว	44
	3.5.4 การหมุนภาพใน 3 มิติ เพื่อสังเกตลักษณะของพื้นผิวในทุกด้าน	45
	3.6 ส่วนแสดงผลของโปรแกรม	50
	3.6.1 การรับภาพจากกล้อง CCD และการบันทึกภาพ	52
	3.6.2 การเปิดภาพ และแปลงภาพเป็นภาพขาวดำ Grayscale	54
	3.6.3 การทำฟิลเตอร์ภาพ 2 มิติ	56
	3.6.3.1 การทำฟิลเตอร์ในสเปเชียลโดเมน	56
	3.6.3.2 การทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่	56
	3.6.4 การหมุนภาพ	58
	3.6.5 การทำเส้นหนาให้บาง (Thining)	59
	3.6.6 การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการ	60
	3.6.7 การประมวลผลของฟริ้งก์ และวาดภาพพื้นผิว	60
บทที่ 4	การทดลอง และผลการทดลอง	62
	4.1 แหล่งกำเนิดแสงโมโนโครมาติก (Monochromatic light source)	62
	4.1.1 Sodium light source	62

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

	หน้า
4.1.2 Laser pointer	62
4.1.3 Helium neon laser	62
4.2 การทดลองหาระยะห่างของฟริ้งก์ที่สัมพันธ์กับมุมสะท้อนของวัตถุ	62
4.3 การประมวลผลภาพฟริ้งก์ที่ได้จากการทดลอง	65
4.5 การทดลองประมวลผลภาพฟริ้งก์แบบต่างๆที่สร้างขึ้นมาเอง	66
บทที่ 5 สรุป และ วิจารณ์	68
5.1 ปัญหาและสาเหตุของปัญหาในการทำงาน	68
5.2 แนวทางการแก้ปัญหา	68
5.3 สรุป	68
หนังสืออ้างอิง	70
ภาคผนวก	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูปภาพ

หน้า

บทที่ 1 บทนำ

-รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโครงงาน 1

บทที่ 2 ทฤษฎี

-รูปที่ 2.1 แสดงการแทรกสอดกันของคลื่นแสง 3

-รูปที่ 2.2 แสดงการแทรกสอดแบบหักล้างของคลื่นที่มีแอมปลิจูดไม่เท่ากัน 4

-รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดริ้วการแทรกสอดของยังก์ 4

-รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดวงแหวนของนิวตัน 4

-รูปที่ 2.5 การจัดอุปกรณ์การทดลองของไมเคิลสันและมอเรย์ 5

-รูปที่ 2.6 แสดงริ้วการแทรกสอดที่ผิวของวัตถุเป็นผิวโค้ง 6

-รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างเลเซอร์และผู้สังเกต 6

-รูปที่ 2.8 แสดงริ้วการแทรกสอดที่เกิดจากพื้นผิวที่มีความต่างระดับกัน 7

-รูปที่ 2.9 รูปแสดงความผิดพลาดในการวิเคราะห์รูปริ้วการแทรกสอด 7

-รูปที่ 2.10 สถาปัตยกรรมแบบ Frame transfer 10

-รูปที่ 2.11 สถาปัตยกรรมแบบ Interline transfer 11

-รูปที่ 2.12 สถาปัตยกรรมแบบ Frame Interline transfer 12

บทที่ 3 ส่วน Software

-รูปที่ 3.1 แสดง Flowchart ขั้นตอนการแปลงภาพสีเป็นภาพ Grayscale แบบคำนวณจากค่าความเข้มแสงจริง 18

-รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของจุดที่สนใจ และจุดที่ติดกัน 8 จุด 20

-รูปที่ 3.3 แสดง Flowchart ขั้นตอนการทำฟิลเตอร์ในสปาเชียลโดเมน 20

-รูปที่ 3.4 แสดง Signal Flow Graph 22

-รูปที่ 3.5 แสดง Flowchart ขั้นตอนการสลับบิท (Bit Reverse) 23

-รูปที่ 3.6 แสดง Flowchart ของการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 1 มิติ 24

-รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการคำนวณหาค่าคู่คำนวณ (Dual Node Pair) 25

-รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ โดยการแปลงทีละแกน 26

-รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะการจัดเรียงลำดับของการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติใหม่ 27

-รูปที่ 3.10 แสดง Flowchart ของการแปลงฟาสฟูเรียร์ใน 2 มิติ 28

-รูปที่ 3.11 แสดง Flowchart ของการจัดเรียงสัญญาณที่ผ่านการ FFT ใหม่ 29

-รูปที่ 3.12 แสดง Flowchart ของการทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ 30

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

-รูปที่ 3.13 แสดง Flowchart ขั้นตอนการหมุนภาพ 32
-รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะจุดที่พิจารณา และจุดรอบข้าง 33
-รูปที่ 3.15 Flowchart ของขั้นตอนการหา Histogram และ Threshold และแปลงเป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ 34
-รูปที่ 3.16 แสดงการทำเส้นบางที่ไม่ดี 35
-รูปที่ 3.17 แสดงการทำเส้นบางที่ดี 35
-รูปที่ 3.18 แสดงการขาดช่วงของเส้นบาง 35
-รูปที่ 3.19 แสดงภาพที่ถูกต้อง 35
-รูปที่ 3.20 แสดงความผิดปกติของบริเวณมุม 35
-รูปที่ 3.21 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำให้เส้นบาง 37
-รูปที่ 3.22 แสดงการตัดสินใจเลือกจุดในการกำหนดเลขระดับแบบอัตโนมัติ 39
-รูปที่ 3.23 เลขระดับของฟริ้งก์ที่เรียงไม่ถูกต้อง 39
-รูปที่ 3.24 แสดงภาพฟริ้งก์แบบธรรมดาและแบบวงกลม 39
-รูปที่ 3.25 แสดงการจัดระดับของฟริ้งก์ในรูปวงกลม 40
-รูปที่ 3.26 แสดงไดอะล็อกสำหรับการแก้ไขโดยผู้ใช้ 41
-รูปที่ 3.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงและความกว้าง 42
-รูปที่ 3.28 แสดงการวาดลักษณะโครงตาข่ายแบบง่ายๆ 44
-รูปที่ 3.29 การเปลี่ยนแกนเป็นรูปใหม่ 44
-รูปที่ 3.30 แสดงการวาดโครงร่างตาข่ายโดยที่เปลี่ยนมุมของแกน 45
-รูปที่ 3.31 แสดงการหมุนของภาพ 3 มิติ 46
-รูปที่ 3.32 Flowchart แสดงขั้นตอนการเรียงใหม่แบบวงกลม 47
-รูปที่ 3.33 Flowchart แสดงขั้นตอนการกำหนดค่าระดับของแต่ละฟริ้งก์ 48
-รูปที่ 3.34 Flowchart แสดงขั้นตอนการเตรียมพร้อมสำหรับการวาดพื้นผิว 49
-รูปที่ 3.35 แสดงลักษณะของโปรแกรมเมื่อเริ่มต้นทำงาน 50
-รูปที่ 3.36 แสดงลักษณะ เมนู และ ทูลบาร์ ของโปรแกรม 50
-รูปที่ 3.37 แสดงการเลือกคำสั่ง Action 51
-รูปที่ 3.38 แสดงการเลือกคำสั่ง Capture 51
-รูปที่ 3.39 แสดงการเลือกคำสั่ง Filter 51
-รูปที่ 3.40 แสดงการเลือกคำสั่ง Process 52
-รูปที่ 3.41 แสดงภาพที่ได้จากกล้อง CCD 53

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หน้า

-รูปที่ 3.42 แสดงวิธีการมองภาพขาวดำ 2 ระดับ 53
-รูปที่ 3:43 แสดงขั้นตอนก่อนการบันทึกภาพ 54
-รูปที่ 3.44 แสดงการเปิดภาพ และการแสดงส่วนหัวของภาพ 55
-รูปที่ 3.45 แสดงภาพไดอะล็อกเตือน และไดอะล็อกสำหรับเลือกชนิดการแปลง 55
-รูปที่ 3.46 แสดงภาพไดอะล็อกสำหรับการเลือกชนิดของฟิลเตอร์ 56
-รูปที่ 3.47 แสดงการเลือกบริเวณที่จะทำการฟิลเตอร์ 57
-รูปที่ 3.48 แสดงตัวอย่างการทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ 57
-รูปที่ 3.49 แสดงตัวอย่างการทำฟิลเตอร์ในสเปเชียลโดเมน 57
-รูปที่ 3.50 แสดงไดอะล็อกสำหรับการหมุนภาพ 58
-รูปที่ 3.51 แสดงไดอะล็อกสำหรับการหา Threshold 59
-รูปที่ 3.52 แสดงภาพเส้นบางที่ได้จากภาพเริ่มต้นในรูปที่ 3.51 59
-รูปที่ 3.53 แสดงการกำหนดขอบเขตรูปวงรีที่ต้องการ 60
-รูปที่ 3.54 แสดงส่วนสำหรับการหมุนภาพ และการมองมุมอื่นๆ 61
-รูปที่ 3.55 แสดงภาพ 3 มิติที่ถูกสร้างจากการวิเคราะห์รูปลวดลายของเส้นฟริ้งก์ 61
บทที่ 4 การทดลองและผลการทดลอง
-รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการทำอินเตอร์ฟีเร้นท์ 62
-รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมสะท้อนของกระจกทดลอง 63
-รูปที่ 4.3 รูปที่พิสูจน์ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์ กับมุมสะท้อน 64
-รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมการสะท้อนจากทฤษฎี 64
-รูปที่ 4.5 (1) – (5) แสดงการประมวลผลภาพริ้วที่ได้จากการทดลอง 65-66
-รูปที่ 4.6 (1) – (5) แสดงการประมวลผลภาพริ้วจำลอง 66-67

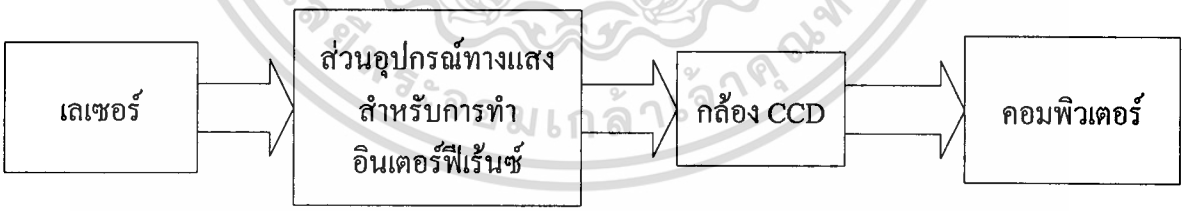
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

ในปี ค.ศ.1860 แมกซ์เวลล์ (Maxwell) ได้เสนอทฤษฎีคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ทฤษฎีของเขาทำนายว่าคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าจะเคลื่อนที่ในอวกาศด้วยความเร็ว 3×10^8 เมตรต่อวินาที ซึ่งค่านี้เท่ากับค่าความเร็วแสง จึงอาจคิดได้ว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า ต่อมาในปี ค.ศ. 1888 เฮิรทซ์ (Hertz) ได้ทำการทดลองสร้างคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าได้สำเร็จ จากความสำเร็จนี้รวมกับการคำนวณทางทฤษฎีแสดงให้เห็นว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าตามขวาง

ในปี ค.ศ. 1887 ไมเคิลสันและมอร์เลย์ (Michelson and Morley) ใช้เครื่องมือที่เรียกว่าไมเคิลสัน อินเตอร์ฟีโรมิเตอร์ (Michelson Interferometer) ซึ่งใช้คุณสมบัติการแทรกสอดของคลื่นแสงมาทดลองเพื่อพิสูจน์ว่า กรอบอีเทอร์ (Ether) ไม่มีจริง และจากการทดลองนี้เองทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงมากมายในวงการฟิสิกส์ และทำให้เกิดยุคใหม่ของทฤษฎีสัมพันธภาพของไอน์สไตน์

จากการทดลองต่างๆ ในอดีต ทำให้ทราบว่าแสงเป็นคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้า และมีคุณสมบัติของคลื่นหลายประการ เช่น การแทรกสอด การเลี้ยวเบน เป็นต้น จากคุณสมบัติการแทรกสอดของคลื่นแสง สามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้มากมายเช่นการวัดระยะทาง การวัดการไหลของของเหลว การวิเคราะห์การสั่นสะเทือน และการวิเคราะห์พื้นผิว ซึ่งในโครงงานนี้ได้นำคุณสมบัติการแทรกสอดของคลื่นแสงมาใช้ในการวิเคราะห์พื้นผิวของวัตถุ และนำคอมพิวเตอร์มาใช้ประมวลผลข้อมูลเหล่านั้น ซึ่งในโครงงานนี้มีการทำงานดังบล็อกไดอะ-แกรม ดังต่อไปนี้



รูปที่ 1.1 แสดงบล็อกไดอะแกรมแสดงการทำงานของโครงงาน

จากบล็อกไดอะแกรม การทำงานของโครงงานนี้ประกอบด้วย ส่วนแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ (Laser) ซึ่งจะให้แสงที่มีคุณสมบัติโคฮีเรนซ์ (Coherence) ส่วนอุปกรณ์ทางด้านแสงสำหรับทำให้เกิดริ้วการแทรกสอด (Fringe) ส่วนรับภาพการแทรกสอด และเชื่อมต่อกับคอมพิวเตอร์ และสุดท้ายคือส่วนประมวลผลภาพริ้วการแทรกสอด ซึ่งก็คือคอมพิวเตอร์นั่นเอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎี

2.1 แสงเลเซอร์ (Laser)

แสงจากหลอดไส้ธรรมดา ทิศทางของคลื่นแสงแต่ละคลื่นจะกระจัดกระจายมีทิศทางไม่แน่นอน และความถี่ของแต่ของแต่ละคลื่นจะไม่เท่ากัน แต่สำหรับแสงเลเซอร์นั้นคลื่นแสงแต่ละคลื่นจะมีความถี่และมีทิศทางเหมือนกัน ถ้าแสงสามารถได้ยินโดยหูของมนุษย์ แสงที่มาจากหลอดไส้จะได้ยินเป็นเสียงเหมือนบริเวณถนนที่มีการจราจรหนาแน่น ในขณะที่แสงเลเซอร์จะได้ยินเหมือนเสียงไวโอลินที่เล่นด้วนตัวโน้ตตัวเดียว

คำว่า " LASER " ย่อมาจาก " Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation " เลเซอร์เป็นอุปกรณ์ทางแสงสำหรับขยายแสง สำหรับการลดแสงนั้นสามารถทำได้ง่าย เช่นการใช้แว่นกันแดด สำหรับการขยายของแสงนั้น ทฤษฎีของฟลูออเรสเซนท์จะไม่สามารถใช้ได้ เพราะว่าจำเป็นต้องใช้วัสดุพิเศษที่จะดูดซับแสงไว้แล้วปล่อยออกมาในช่วงสั้นๆ ตัวอย่างของวัสดุเหล่านี้เช่น Zinc Sulphide , Ne ,Al_20_3 ฯลฯ เมื่อแสงผ่านวัสดุเหล่านี้ แสงในบางช่วงความถี่ที่ตรงกับค่าความถี่รีโซแน้นท์ของวัสดุ (Resonance Frequency) ซึ่งขึ้นอยู่กับชนิดของวัสดุ จะถูกดูดกลืนไว้ เมื่อวัสดุร้อนเพราะว่าอิเล็กตรอนจะคายพลังงาน มันจะเริ่มเปล่งแสงที่เท่ากับความยาวคลื่นเหล่านั้น

เริ่มต้นวัสดุจะถูกให้พลังงานโดยใช้กระแสไฟฟ้า อิเล็กตรอนจะย้ายไปอยู่ในแถบพลังงานที่สูงกว่า ในสถานะเรียกว่า สถานะกระตุ้น (Excite State) อิเล็กตรอนที่ไม่เสถียรจะพยายามลดระดับพลังงานลงมา โดยการคายพลังงานในรูปโฟตอนที่มีค่าความถี่เท่ากับค่าความถี่รีโซแนนท์ แสงเหล่านั้นจะไปกระทบกับวัสดุอีกครั้งหนึ่งจะทำให้เกิดการสร้างโฟตอนใหม่ๆ เพิ่มขึ้นอีกไปเรื่อยๆ เรียกปรากฏการณ์นี้ว่าปรากฏการณ์ลูกโซ่ ซึ่งถูกค้นพบโดยอัลเบิร์ต ไอร์สไตน์

การทำให้เกิดปรากฏการณ์ลูกโซ่นี้สามารถทำได้โดย วางวัสดุเลเซอร์ไว้ที่ปลายด้านหนึ่งของหลอดเลเซอร์และติดกระจกไว้ที่ปลายอีกด้านหนึ่งของหลอด เมื่อให้พลังงานแก่วัสดุทำให้เกิดแสง แสงจะผ่านกระจกส่วนหนึ่ง และจะสะท้อนกลับมายังวัสดุเลเซอร์นี้อีกส่วนหนึ่ง แสงจะถูกขยายจนกระทั่งค่าความสูญเสียเท่ากับค่าของอัตราขยาย แสงจะกลายเป็นเลเซอร์ และช่องว่างระหว่างวัสดุและกระจกเรียกว่าคาวิตี้ (Cavity)

การเกิดแสงเลเซอร์นี้สามารถเกิดได้ทั้งในสถานะของแข็ง ของเหลวและก๊าซ โดยอาศัยหลักการการสะท้อนเช่นเดียวกัน

คุณสมบัติที่สำคัญของแสงเลเซอร์

2.1.1 โมโนโครมาติก (Monochromatic)

แสงโมโนโครมาติก หมายถึงแสงที่มีสีเดียวหรือความถี่เดียว คำว่า Monochromatic มีรากศัพท์มาจากภาษากรีกคือ (mono = single , chroma = color)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.2 ไดเร็คชันแนลลิตี้ (Directionality)

คุณสมบัติข้อนี้คือ แสงเลเซอร์ที่ถูกผลิตออกมานั้นจะมีทิศทางการเคลื่อนที่ที่แน่นอน ไม่กระจายออกไปรอบ ๆ เหมือนกับกรณีของฟลูออเรสเซนต์ (fluorescent) ทั้งนี้เพราะแสงเลเซอร์เกิดจากกระบวนการที่ฟิสิกส์ที่เรียกว่า สติมูเลท อิมิตชั่น (stimulated emission)

2.1.3 ไดเวอร์เจนซ์ (Divergence)

คุณสมบัติข้อนี้จะเกี่ยวข้องกับคุณสมบัติ ไดเร็คชันแนลลิตี้ คือแสงจะมีการบานปลาย (Divergence) น้อยมาก โดยมีมุมเบี่ยงเบน (Divergence angle) ประมาณ 1.0 - 2.0 มิลลิเรเดียน ซึ่งมีค่าน้อยมาก เมื่อเปรียบเทียบกับแสงธรรมชาติทั่วไป

2.1.4 โคฮีเรนซ์ (Coherence light)

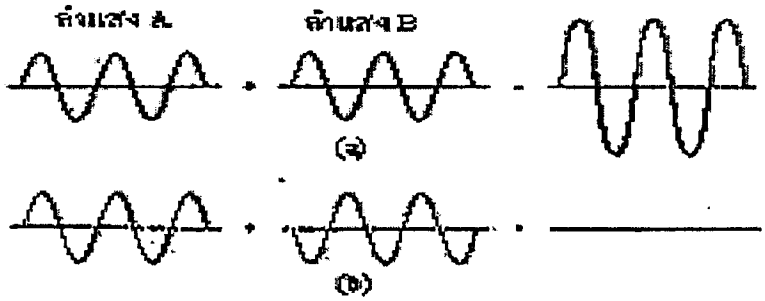
จากทฤษฎีของฟิสิกส์สมัยใหม่ แสงจะมีลักษณะเป็นคลื่น (electromagnetic wave) ถ้าทำการตัดแสงตามขวางแล้วสังเกตุว่าคลื่นแสงมีความยาวคลื่นที่เท่ากัน เราเรียกแสงนี้ว่า โมโนโครเมติก (monochromatic)

ในกรณีแสงที่มาจากหลอดไส้ธรรมดานั้น แสงเกิดมาจากความร้อนทำให้อะตอมของไส้ทังสเตนสั่นทำให้อิเล็กตรอนตกลงมาอยู่ในระดับพลังงานที่ต่ำกว่าทำให้เกิดการคายพลังงานออกมาในรูปของแสง แสงที่ได้นี้มีทิศทางที่ไม่แน่นอน และมีความยาวคลื่นและเฟสที่ไม่แน่นอนอีกด้วย

แต่ในกรณีของแสงเลเซอร์ ทุกลูกคลื่นของแสงจะมีทิศทางที่แน่นอนเป็นลำคลื่น และมีความยาวคลื่นเท่ากันและเฟสที่ตรงกันทุกลูกคลื่นอีกด้วย เราเรียกลักษณะของแสงเลเซอร์นี้ว่าเป็นแสงแบบโคฮีเรนซ์

2.2 การแทรกสอดของคลื่นแสง (Interference)

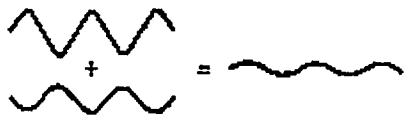
การที่ลำแสงสองลำรวมกันและซ้อนทับกันพอดี แล้วจะเกิดการแทรกสอดขึ้น (Interference) จากหลักของวิชา Physical Optics เราทราบว่าแสงมีลักษณะเป็นคลื่น การรวมกันของคลื่นทุกชนิดที่มีความยาวคลื่นเท่ากันย่อมขึ้นอยู่กับเฟส (Phase) และแอมปลิจูด (Amplitude) พิจารณารูปที่ 2.1 ให้ลำแสง A และ ลำแสง B ซึ่งประพฤติตัวเหมือนกับคลื่นวิทยุหรือแรงดันไฟกระแสสลับ ที่มีแอมปลิจูดเท่ากัน รูปที่ 2.1 (a) ถ้าลำแสงทั้งสองอยู่ในสภาวะที่เฟสตรงกัน (in phase) และสุดท้ายเกิดการนำเอาแอมปลิจูดของแสงทั้งสองมารวมกัน ผลก็คือจะเกิดการแทรกสอดแบบเสริมกัน (Constructive interference) ส่วนรูปที่ 2.1 (b) เฟสของคลื่นทั้งสองต่างกันครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ก็จะปรากฏผลว่าแอมปลิจูดทั้งสองจะเกิดการหักล้างกัน เกิดการแทรกสอดแบบหักล้างกัน (Destructive interference)



รูปที่ 2.1 แสดงการแทรกสอดกันของคลื่นแสง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

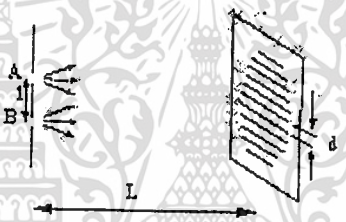
ในกรณีที่ลำแสงทั้งสองลำมีแอมปลิจูดที่ไม่เท่ากันนั้นถึงแม้ว่าลำแสงทั้ง 2 จะต่างกันครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น หลังการแทรกสอดกันจะได้คลื่นที่มีแอมปลิจูดลดลงแต่ไม่เป็น 0 ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงการแทรกสอดแบบหักล้างของคลื่นที่มีแอมปลิจูดไม่เท่ากัน

2.3 ริ้วของยังก์ (Young's fringe)

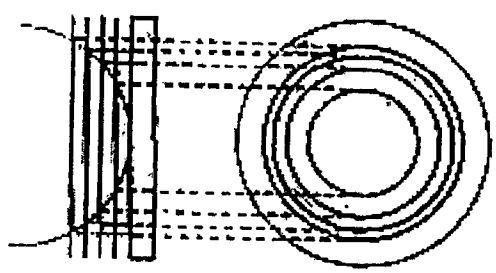
หลักการพื้นฐานของการเกิดริ้วการแทรกสอดก็คือการที่แสงโคฮีเรนต์เคลื่อนที่ผ่านพินโฮล(pinhole) 2 รูซึ่งเปรียบเสมือนเป็นแหล่งกำเนิดแสงใหม่ขึ้นมา 2 แหล่ง เมื่อนำฉากมารับแสงจะปรากฏริ้วการแทรกสอดขึ้นบนฉากรับดังรูปที่ 2.3 โดยที่ ระยะห่างระหว่างพินโฮล A , B (l) ต้องน้อยกว่าระยะห่างระหว่างพินโฮลถึงฉากรับ (L) และระยะห่างของริ้วการแทรกสอด (d) จะมีค่าประมาณ $\frac{\lambda L}{l}$



รูปที่ 2.3 แสดงการเกิดริ้วการแทรกสอดของยังก์

2.4 วงแหวนของนิวตัน (Newton's rings)

ตัวอย่างง่าย ๆ ของการเกิดการแทรกสอดของแสง ก็จะอ้างถึงวงแหวนของนิวตัน (newton's ring) ซึ่งการที่จะสังเกตเห็นการแทรกสอดของแสงนั้น เมื่อเกิดการสะท้อนของแสงจากพื้นผิวสองพื้นผิวซึ่งวางห่างกันเป็นระยะห่างน้อยกว่าความยาวคลื่นแสง รูปที่ 2.4 จะแสดงการเกิดวงแหวนของนิวตัน โดยจะใช้พื้นผิวของของวัตถุเป็นผิวโค้งและสัมผัสกับแผ่นกระจกบาง แล้วก็จะได้วงแหวนของนิวตัน ซึ่งระยะห่างของริ้วการแทรกสอดแต่ละริ้วจะห่างกันเท่ากับ $k\frac{\lambda}{2}$

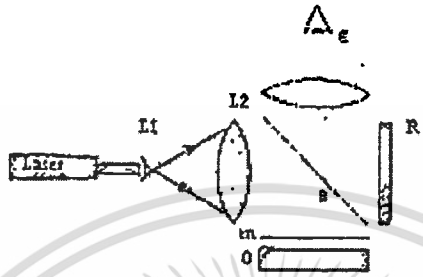


รูปที่ 2.4 แสดงการเกิดวงแหวนของนิวตัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

วงแหวนของนิวตันนี้จะสามารถสังเกตได้แม้ว่าเราจะใช้แสงจากดวงอาทิตย์แต่จะเกิดสีและริ้วการแทรกสอดขึ้นน้อยประมาณ 3-4 ริ้ว และถ้าใช้แสงจากหลอดปรอทจะเห็นสีและริ้วมากขึ้นอีก และถ้าใช้แสงจาก ฮีเลี่ยมนีออนเลเซอร์ (He-Ne laser) จะได้ริ้วมากกว่า 50 ริ้ว

2.5 ไมเคิลสัน อินเตอร์ฟีโรมีเตอร์ (Michelson Interferometer)

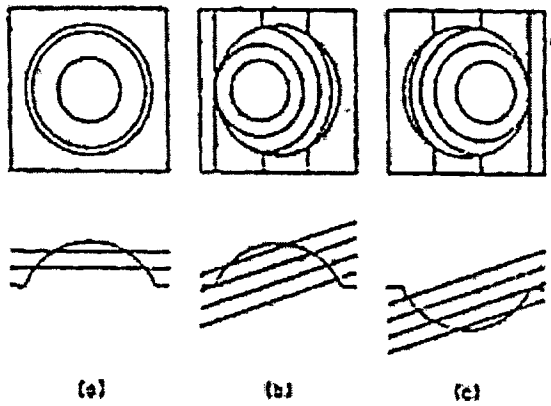


รูปที่ 2.5 การจัดอุปกรณ์การทดลองของไมเคิลสันและมอเรย์

จากที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นเกี่ยวกับการทดลองของไมเคิลสันและมอเรย์ ซึ่งเป็นประโยชน์กับวงการวิทยาศาสตร์มาก รูปที่ 2.5 แสดงการจัดอุปกรณ์การทดลองของไมเคิลสันอย่างง่าย ๆ โดยแสงเลเซอร์จะถูกแยกออกเป็น 2 ลำด้วยบีมสปลิตเตอร์ (the beam splitter) ลำแสงหนึ่งเรียกลำแสงวัตถุ (the object beam) จะตกกระทบพื้นผิววัตถุ และสะท้อนทะลุผ่านบีมสปลิตเตอร์อีกครั้งหนึ่งแล้วไปยังผู้สังเกต ลำแสงอีกลำหนึ่งเรียกว่าลำแสงอ้างอิง (reference beam) จะทะลุผ่านบีมสปลิตเตอร์ โดยตรงตกกระทบกระจกอ้างอิง (reference mirror) แล้วสะท้อนกลับมายังบีมสปลิตเตอร์และสะท้อนไปยังผู้สังเกต หรืออาจกล่าวง่าย ๆ ว่าลำแสงวัตถุและลำแสงอ้างอิงจะกลับมารวมกันอีกครั้งหนึ่งที่ผู้สังเกต ถ้าหากว่าทำการเอียงวัตถุเพียงเล็กน้อยก็จะพบว่าจะเกิดริ้วการแทรกสอดขึ้น ในกรณีที่วัตถุเป็นกระจกเรียบ หลังจากที่ทำการเอียงแล้วจะพบริ้วการแทรกสอดที่มีระยะห่างคงที่ เนื่องจากว่าการส่องสว่างและการสังเกตที่มีทิศทางตั้งฉากกับพื้นผิววัตถุทำให้สามารถสรุปได้ว่า การทำให้พื้นผิววัตถุเปลี่ยนไปครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น (0.5λ) จะเป็นผลทำให้เฟสเปลี่ยนไป π เรเดียน ซึ่งก็คือการเกิด 1 ริ้วการแทรกสอดนั่นเอง

ในการเอียงกระจกอ้างอิงก็จะทำให้มุมของการตัดกันบนระนาบเปลี่ยนไปด้วย ทำให้เราได้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์เกี่ยวกับลักษณะพื้นผิววัตถุ จากรูปที่ 2.6 เมื่อเราใช้วัตถุที่มีพื้นผิวโค้งเหมือนกับรูปที่ 2.4 แล้วทำการทดลองโดยวิธีของไมเคิลสันและการทำอย่างชำนาญก็จะได้ริ้วซึ่งใช้เป็นสัญลักษณ์แทนส่วนผิวโค้งได้ เช่น ผิวนูนหรือผิวเว้า การเอียงกระจกอ้างจะทำให้ลักษณะของริ้วเปลี่ยนไปด้วย และถ้าเอียงกระอ้างอิงด้วยมุมค่าหนึ่งแล้วใช้พื้นผิวเป็นผิวนูนและผิวเว้า จะได้ลักษณะของริ้วที่คล้ายกันแต่กลับข้างกันดังในรูปที่ 2.6 (b) , (c)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

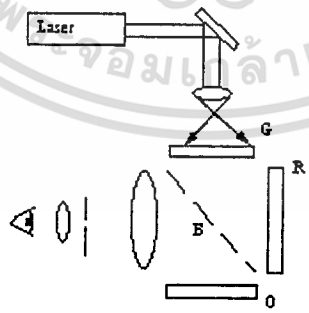


รูปที่ 2.6 แสดงริ้วการแทรกสอดที่ผิวของวัตถุเป็นผิวโค้ง

จากรูปที่ 2.5 เรานำพินโฮล (pinhole)ไปวางไว้ ณ ตำแหน่งโฟกัสของเลนส์ 1 (L1) และแสงของผู้สังเกตซึ่งก็คือแสงที่เกิดจากการรวมกันของลำแสงวัตถุกับลำแสงอ้างอิง ก็จะถูกปรับให้ตรงโดยใช้เลนส์เช่นเดียวกัน โดยวิธีการนี้ความสว่างและมุมการสังเกตจะคงที่ตลอดทั้งผิววัตถุ และเป็นผลให้ได้การส่องสว่างที่สม่ำเสมอรวมทั้งความไวต่อการเกิดริ้วก็จะคงที่ด้วย

แทนที่เราจะมองริ้วโดยตรงเราก็ใช้ฉากมารับแทน เนื่องจากว่าแสงเดินทางเป็นเส้นตรง ดังนั้นภาพของริ้วจะถูกฉายลงบนฉากรับ รูปแบบของริ้วชนิดนี้จะเป็นริ้วที่เกิดจากวัตถุจริง คือเหมือนกับว่าเราฉายแสงลงบนพื้นผิววัตถุโดยตรง ถ้าวัตถุมีผิวเรียบแล้วเราทำการเอียงกระจกอ้างอิง ที่ฉากรับจะมองเห็นเป็นแหล่งกำเนิดแสงที่เหมือนกัน 2 จุด และจะได้ริ้วการแทรกสอดเหมือนกับริ้วของยังก์ (Young's fringe)

อีกวิธีหนึ่งก็คือเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างเลเซอร์กับผู้สังเกตดังรูปที่ 2.7 ถ้าพินโฮล (pinhole) เปลี่ยนตำแหน่ง ริ้วก็จะเปลี่ยนไปด้วย ด้วยวิธีการนี้ทำให้เราสามารถหาความชันและก็เลือกระยะห่างของริ้วที่เหมาะสมในการสังเกตได้ ริ้วชนิดนี้เรียกว่า "interference fringe of observation " (or subjective fringe)



รูปที่ 2.7 ภาพแสดงการเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างเลเซอร์กับผู้สังเกต

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

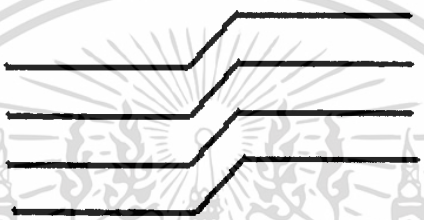
2.6 การนำการแทรกสอดของแสงไปประยุกต์ใช้งาน

2.6.1 การตรวจสอบความแตกต่างของพื้นผิว

ด้วยวิธีการที่ต่าง ๆ ที่เราได้กล่าวมาแล้ว เราสามารถที่จะตรวจสอบความต่างแตกระหว่างพื้นผิววัตถุและพื้นผิวอ้างอิงได้ ถ้าผิววัตถุและผิวอ้างอิงมีผิวที่เหมือนกันไม่ว่าจะเรียบเหมือนกัน หรือโค้งแบบเดียวกัน ถ้าหากนำมาเปรียบเทียบกันจะไม่ปรากฏเห็นริ้วการแทรกสอดขึ้น

2.6.2 การวัดความหนาของพื้นผิว

ถ้าพื้นผิวมีความหนาต่างกัน 2 ระดับเราสามารถใช้การแทรกสอดของแสงช่วยในการหาความหนาโดยการพิจารณาการเลื่อนไปของริ้วการแทรกสอด ดังรูปที่ 2.8

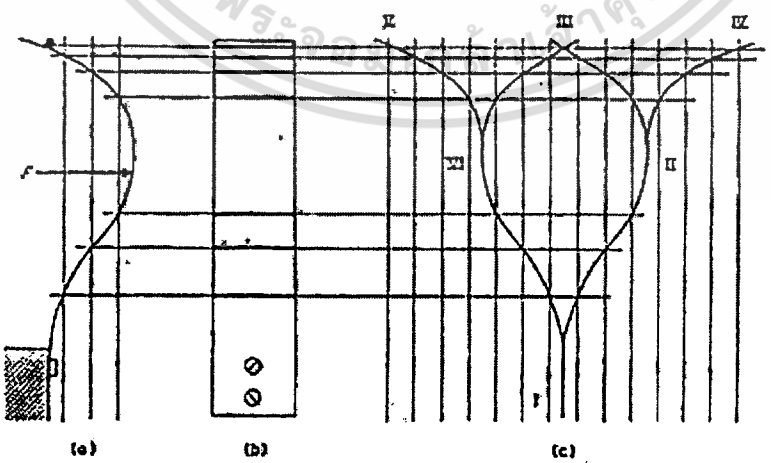


รูปที่ 2.8 แสดงริ้วการแทรกสอดที่เกิดจากพื้นผิวที่มีความต่างระดับกัน

2.6.3 การตรวจสอบรูปร่างของพื้นผิว

จากการที่ทราบว่า แต่ละริ้วการแทรกสอดจะเกิดขึ้นเมื่อพื้นผิวต่างระดับกัน $\lambda/2$ ดังนั้นพื้นผิวแต่ละลักษณะจะให้รูปแบบของริ้วการแทรกสอดที่ไม่เหมือนกัน ดังนั้นจึงสามารถสร้างภาพพื้นผิวของวัตถุที่นำมาทดสอบได้จากริ้วการแทรกสอด ซึ่งมีความละเอียดมากในระดับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น และแสงที่นำมาใช้มักมีความยาวคลื่นในระดับ 600 นาโนเมตร

2.7 ความผิดพลาดในการวิเคราะห์รูปริ้วการแทรกสอด



รูปที่ 2.9 รูปแสดงความผิดพลาดในการวิเคราะห์รูปริ้วการแทรกสอด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากรูปของริ้วการแทรกสอดที่ได้เมื่อจะทำการแปลงกลับไปเป็นรูป 3 มิติจะเกิดความผิดพลาดในการวิเคราะห์ได้ดังรูปตัวอย่าง

จากรูปที่ได้ จากรูป a ริ้วการแทรกสอดที่ได้จะปรากฏบนฉากดังรูป b และเมื่อทำการแปลงกลับจากรูป b มาเพื่อเป็นรูป a โดยกำหนดเงื่อนไขในการรวมกลับของวัตถุที่มีสภาพบิดเบี้ยวไม่ต่อเนื่องเท่านั้นจะเกิดโครงสร้างได้ 4 รูปแบบดังรูป c

ซึ่งรูป I-II-III จะเป็นรูปแบบต้นฉบับ แต่อาจจะได้รูป I-VI-III ซึ่งจะแสดงออกมาในรูปแบบที่ตรงกันข้าม และรูปแบบอีก 2 อย่างที่มีโอกาสเกิดขึ้นได้คือ รูป I-II-IV หรือ I-VI-V ซึ่งการแปลผิดทั้ง 2 แบบนี้เกิดจากการบกพร่องของข้อมูลเมื่อพิจารณาโดยตรง

การแก้ไขสำหรับรูปแบบที่ไม่ต้องการ

จากรูปที่ได้จากการใช้กล้องวีดีโอเก็บภาพมาแล้วทำการเขียนโปรแกรมเพื่อทำการวิเคราะห์รูปแบบของริ้วการแทรกสอดซึ่งจะต้องทำการแก้ไขสำหรับรูปแบบที่ไม่ต้องการ โดยจะมีจุดที่ยุ่งยากคือการตีความหมายของรูปแบบที่เราไม่ทราบที่มีการเกิดขึ้นมา โดยจะต้องใช้กระบวนการวิเคราะห์ที่เป็นไปได้เพื่อทำการประกอบขึ้นใหม่โดยกระบวนการที่ใช้จะแบ่งได้ดังนี้

1. Interferometric compensation

กระบวนการโดยตรงส่วนใหญ่ซึ่งสามารถใช้ในการแก้ไขสำหรับการเคลื่อนที่วัตถุคือการเคลื่อนวัตถุแล้วทำการสังเกตุโดยใช้กระบวนการโฮโลกราฟฟี่แบบ real-time คือในเวลาเดียวกันแรงจะถูกใส่ให้กับวัตถุทำให้เกิดการบิดเบี้ยวของวัตถุตามที่ต้องการ การแก้ไขแบบตรงสำหรับรูปแบบของวัตถุที่ไม่ต้องการจะทำให้เกิดได้ง่าย และจะสามารถทำการวัดได้โดยใช้อุปกรณ์วัดระดับไมโคร กระบวนการนี้จะมีราคาและความยุ่งยากมาก แต่มันจะไม่มีปัญหาในการสร้างเกือบดีเยี่ยมเป็นการทดแทน

2. การแก้ไขโดยใช้ปรากฏการณ์ของมัวย์

จะเป็นทางเลือกในการอธิบายของกระบวนการสังเกตริ้วการแทรกสอดซึ่งจะได้ผลเหมือนกับที่พิจารณามาแล้ว แต่ในการทำจะทำการเพิ่มการแก้ปัญหา ทุกๆจุดบนวัตถุจะถูกกระทำด้วยกันกับลำแสงอ้างอิงซึ่งคือกลุ่มของริ้วการแทรกสอดของยังค์บนเพลทโฮโลแกรม ดังนั้นริ้วการแทรกสอดหลักบนเพลทจะทำให้ตัวมันตัดโดยกลุ่มของรูปทรงทางเรขาคณิตที่กำลังหมุน

โดยในกระบวนการนี้จะมีการทำ Double exposure และ มีการใช้กระบวนการของ sandwich hologram เข้ามาช่วยในการวิเคราะห์ด้วย โดย

Double exposure คือ การจัดอุปกรณ์การทดลองที่คล้ายกับการทดลองทั่วไป แต่มีข้อพิเศษคือจะมีการสร้าง second exposure ขึ้นมาซึ่ง exposure นี้สามารถสร้างได้จากการเอาชัตเตอร์ที่กั้นแสงที่มาจากเลเซอร์ไปยังเลนซ์ ที่แตกออกมา หลังจากผ่านทั้ง 2 exposure แล้ว เพลทโฮโลแกรม จะทำการปรับปรุงและยึด เมื่อรูปภาพมีการสร้างใหม่วัตถุจะดูเหมือนถูกครอบโดยริ้วการแทรกสอดที่แสดงออกมาถึงการเปลี่ยนแปลงในรูปทรงซึ่งมัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ได้รับระหว่าง 2 exposureในขณะที่ exposure แรก ริ้วการแทรกสอดหลักจะถูกบันทึกลงใน เพลทโฮโลแกรม และ exposure ที่สองจะเพิ่มแสงเข้าไปในริ้วการแทรกสอดที่ถูกบันทึกไว้แล้ว ดังนั้นปรากฏการณ์นี้คือ double

Sandwich hologram คือ กระบวนการแทนที่จะทำการสร้าง double exposure บนเพลทโฮโลแกรม 1 เพลท มันสามารถเป็นไปได้ที่จะทำการสร้าง exposure 2 อันบนเพลทที่ต่างกัน หลังจากการรวมกันครั้งสุดท้ายของการประกอบใหม่ของรูป 2 รูป มันจะเป็นไปได้ที่จะศึกษาริ้วการแทรกสอดสาเหตุมาจากมิติที่ต่างกันของวัตถุที่เกิดขึ้นระหว่าง exposure 2 อัน มันมีความเป็นไปได้ในการหาทิศทางการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าหรือถอยหลัง นานเท่าที่มันจะจดจำเพลทที่ทำหน้าที่เป็น exposure อันแรก โดย double exposure ปกติข้อมูลของมันจะสูญหายเพราะเพลทไม่สามารถจดจำว่า exposure ใดเป็นอันแรก การเก็บบันทึกของลำดับเวลาสามารถที่จะบันทึกโดยสม่ำเสมอใน double exposure ก็จะสามารถทราบการเปลี่ยนแปลงที่จะนำเข้ามาระหว่าง exposure 2 อัน

2.8 ทฤษฎีของกล้อง CCD

CCD (Charge-Coupled Device Imager) จากการใช้ โฟโต้เซนเซอร์แบบ โซลิตสเตท ของระบบโทรทัศน์ ได้มีการพัฒนาให้เกิดอุปกรณ์ที่เรียกว่า CCD โดยจะนำไปประยุกต์ใช้ในอุปกรณ์ที่ไม่ใช่ระบบโทรทัศน์เช่น อุปกรณ์ตรวจจับความไวสูง ในชั้นบรรยากาศ

CCD imager ประกอบด้วยแถวและคอลัมภ์ ของ อุปกรณ์โซลิตสเตท ที่ทำหน้าที่เป็นตัวตรวจสอบรูปภาพเรียงกันเป็นขนาดแบบพิกเซล และถูกวางบนฐานที่เป็นซิลิกอนแบบสี่เหลี่ยม พวกมันจะสะสมและเก็บประจุไฟฟ้าซึ่งจะเป็นสัดส่วนกับแสงสว่างที่ได้จากภาพที่อยู่ในจุดโฟกัสของพื้นที่นี้และแต่ละอันจะส่งไปเก็บไว้ที่ shift registers ที่อยู่ระหว่างทาง ประจุจะถูกส่งผ่านจากอุปกรณ์หนึ่งไปอีกอุปกรณ์หนึ่งผ่านฐานรองไปสู่อุปกรณ์ที่เป็นเอาท์พุท ในรูปของลำดับเวลาเพื่อนำมาสร้างเป็นสัญญาณวีดีโอออกมา

CCD photosensor arrays

ฟังก์ชัน ในการตรวจจับ ของ CCD imagers ประกอบโดย ตารางของ โฟโต้ไดโอดขนาดแบบพิกเซล ซึ่งโฟโต้ไดโอดเหล่านี้ถูกพัฒนา ให้ประจุเป็นสัดส่วนกับความสว่างของภาพในจุดที่สังเกต ซึ่งฟังก์ชันนี้ของโฟโต้ไดโอดเป็นการรวมกันระหว่าง ฟังก์ชันของการเก็บและ ส่งถ่ายประจุของ CCD

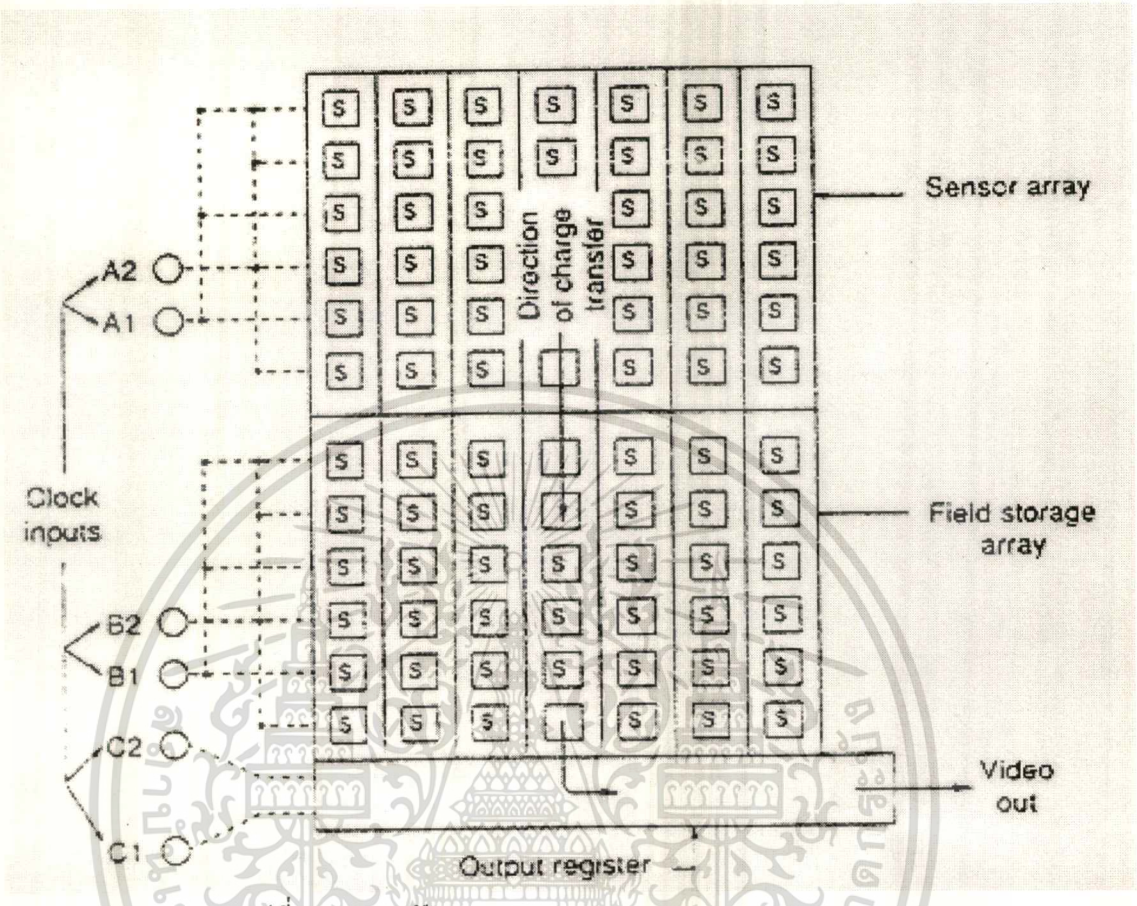
ความละเอียดของกล้อง CCD จะถูกกำหนดโดยจำนวนของอุปกรณ์ที่ใช้ในการตรวจจับ โดยแต่ละแถวของอุปกรณ์จะให้สัญญาณสำหรับการสแกน 1 เส้น จำนวนของแถวควรจะมีอย่างน้อยสุดเท่ากับจำนวนของเส้นการสแกน จำนวนของอุปกรณ์ในแต่ละคอลัมจะกำหนด ความชัดเจนในแนวแกนนอนให้เหมาะสมตามทฤษฎีการ sampling

CCD transfer and readout

จุดสำคัญของ CCD imagers คือกระบวนการของมันซึ่งจะเรียกว่าสถาปัตยกรรมของมัน ในการแปลงรูปแบบของประจุบนตารางของอุปกรณ์ตรวจสอบไปเป็นสัญญาณวีดีโอ โดยทั่วไปจะมีอยู่ 3 รูปแบบ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.1 Frame transfer architecture โดยสถาปัตยกรรมจะแสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.10 สถาปัตยกรรมแบบ Frame transfer

โครงสร้างของ CCD จะถูกแบบเป็น 3 ส่วน ส่วนที่เป็นตารางเซนเซอร์ ส่วนที่เป็นตารางรีจิสเตอร์ที่ใช้ในการเก็บ และรีจิสเตอร์สำหรับเอาท์พุทในแกนนอน ประจุจะเกิดขึ้นและสะสมในแต่ละตัวเซนเซอร์สำหรับเฟรมที่สมบูรณ์ ที่คำสั่งจากสัญญาณ clock ที่จุดสุดท้ายของเฟรม ประจุในแต่ละคอลัมของพิกเซลในพื้นที่ที่เป็นเซนเซอร์จะถูกจะส่งไปสู่คอลัมที่อยู่ตำแหน่งเดียวกันในพื้นที่ที่ใช้เก็บทำให้เกิดที่ว่างสำหรับในการทำงานในเฟรมต่อไป และจากพื้นที่ที่ใช้เก็บ ในสัญญาณจาก clock อีกครั้ง ประจุจะถูกส่งไปที่ละ 1 เส้น ไปสู่รีจิสเตอร์สำหรับเอาท์พุทซึ่งจะสร้างสัญญาณวีดีโอขึ้นมา

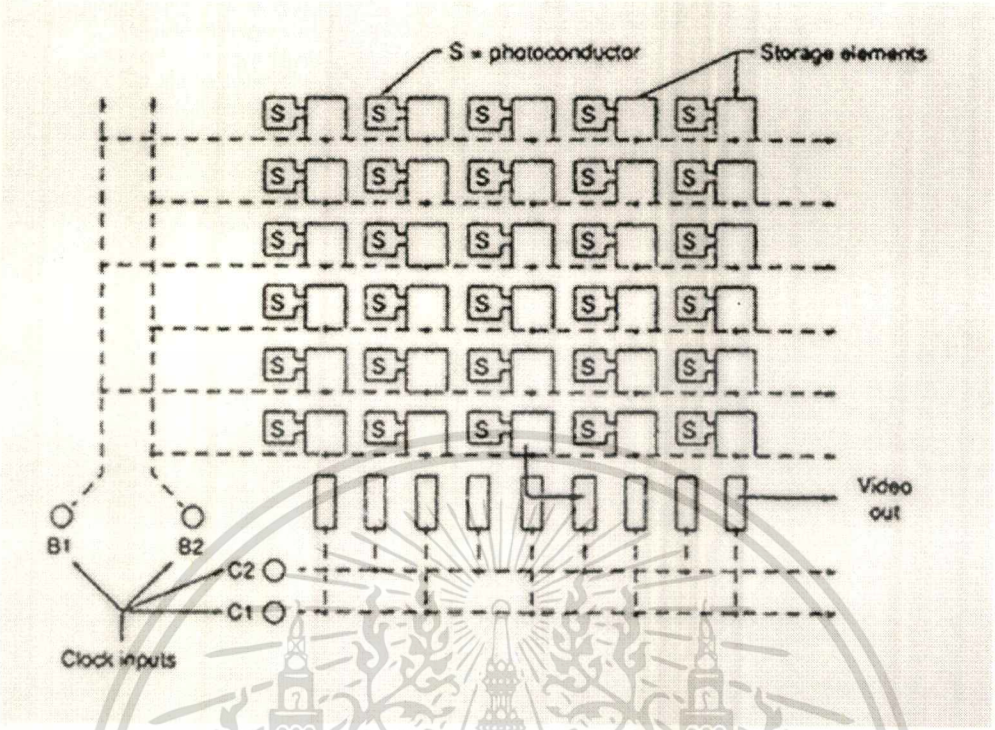
สถาปัตยกรรมแบบ Frame transfer จะเกิดความเสียหายได้จากปัญหาในธรรมชาติของการโอเวอร์โหลดของหน่วยเก็บพิกเซลในส่วนที่เป็นความสว่างเกินของภาพ ผลที่ได้ในแกนตั้งจะทำให้เลอะและแตกออก

การแก้ปัญหาของการเลอะของภาพทำได้โดยหาอุปกรณ์ทาง mechanical shutter มาทำหน้าที่ป้องกันพื้นที่อุปกรณ์ตรวจสอบจากแสงสว่างในระหว่างคาบของการส่งข้อมูล แต่มันจะเป็นข้อเสียเปรียบของพื้นฐานทางอุปกรณ์ mechanical จนถึง ผลิตภัณฑ์อิเล็กทรอนิกส์ทุกชนิด

การเลอะและการแตกของภาพจะสามารถทำการลดได้โดยใช้วิธีการ frame interline transfer

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.8.2 Interline transfer architecture การทำงานของสถาปัตยกรรมแบบ interline transfer แสดงได้ดังรูป



รูปที่ 2.11 สถาปัตยกรรมแบบ Interline transfer

คอลัมภ์ในแนวตั้งของโฟโต้เซนเซอร์ จะต่อสลับกับ คอลัมภ์ของ รีจิสเตอร์ส่งข้อมูลของ CCD หลังจากเปิดไปที่เฟรมแรกและเมื่อมีคำสั่งโดยสัญญาณ clock ประจุที่ถูกสร้างขึ้นในพิกเซลในแต่ละคอลัมจะถูกส่งตามแถวของมันไปที่รีจิสเตอร์ส่งข้อมูลที่อยู่ข้างเคียง โฟโต้เซนเซอร์ที่ว่างเปล่าก็จะถูกกำหนดให้มีค่าความสว่างของเฟรมถัดไป

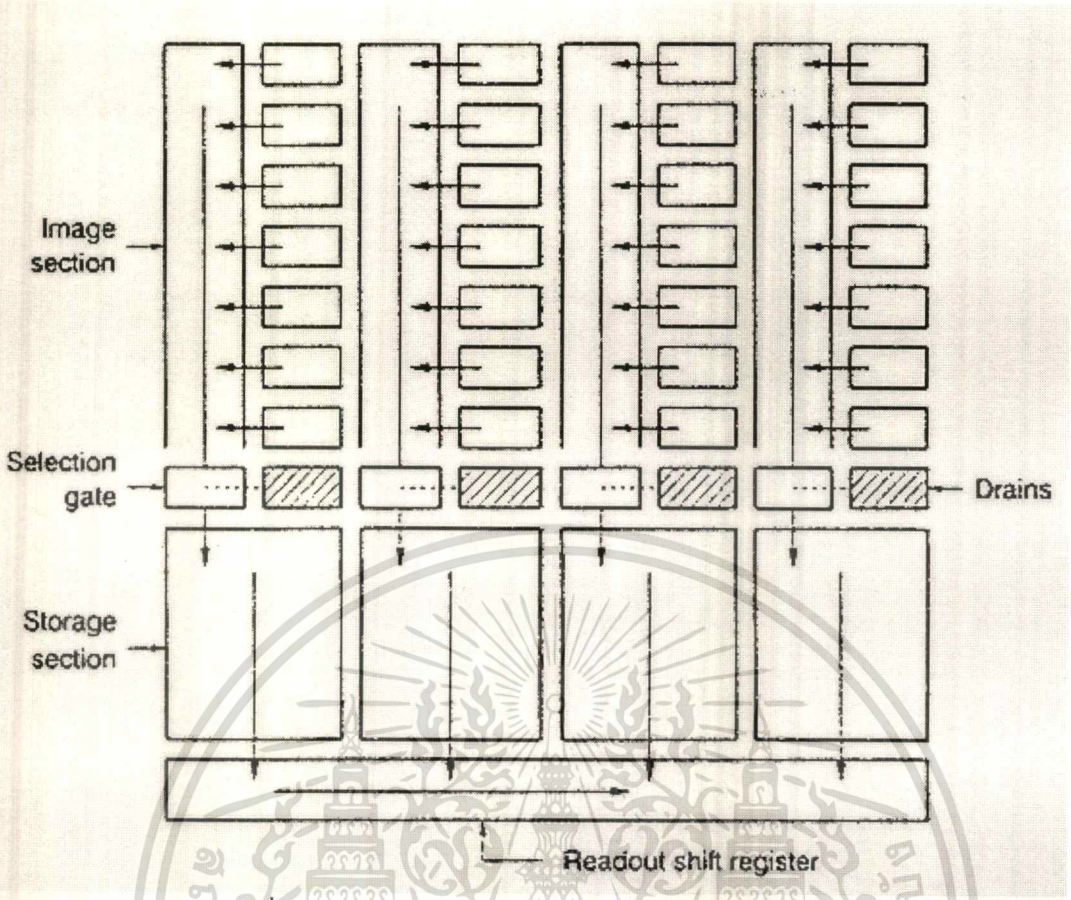
คำสั่งของ clock อันอื่นจะทำให้ประจุเลื่อนจากรีจิสเตอร์ในแนวตั้งไปสู่รีจิสเตอร์ในแนวนอนและจากรีจิสเตอร์เราจะอ่านข้อมูลออกมาเป็นสัญญาณวีดีโอ

ในเบื้องต้นของสถาปัตยกรรมนี้ คอลัมภ์ของรีจิสเตอร์ในแนวตั้งจะต้องถูกครอบด้วยกระจกขุ่น และเพียง 30 ถึง 50 เปอร์เซนต์เท่านั้นของพื้นที่โฟโต้เซนเซอร์ที่จะทำงานได้ การเปลี่ยนทางเชิงซ้อนมากมายของสถาปัตยกรรมนี้ เช่น แสงสว่างด้านข้างของชิป จะมีผลไปเพิ่มประสิทธิภาพของแสง

2.8.3 Frame interline transfer architecture

สถาปัตยกรรมแบบ Frame interline ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อให้ประโยชน์ ในการส่งเฟรมข้อมูล ถึงแม้ว่า การเลอะและการแตกจากแสงสว่างที่มากเกิน คุณสมบัติที่พิเศษของสถาปัตยกรรมแบบ frame interline transfer คือ แถวของเกตตัวเลือกระหว่างภาพและพื้นที่เก็บข้อมูล ดังแสดงได้ดังรูป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.12 สถาปัตยกรรมแบบ Frame interline transfer

เกตจะได้รับการไบอัส ดังนั้นประจุที่เกินของก่อนการกำหนดระดับจะถูกถ่ายออกจากระบบก่อนเริ่มการส่งข้อมูลไปที่พื้นที่เก็บข้อมูล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3 ส่วน Software

ส่วนของ software ที่สร้างไว้สำหรับประมวลผลต่างๆ สามารถแสดงได้ดังนี้

3.1 ส่วนการรับภาพจากกล้อง CCD

3.2 ส่วนการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ

3.3 ส่วนการปรับปรุงภาพ

- 3.3.1 การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการ
- 3.3.2 การทำฟิลเตอร์ในสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain Filter)
- 3.3.3 การทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ (Frequency Domain Filter)
- 3.3.4 การหมุนภาพ (Image Rotation)

3.4 ส่วนการทำให้เส้นสีดำเป็นเส้นบางขนาด 1 pixel

- 3.4.1 การหา Histogram และ Threshold และแปลงเป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ
- 3.4.2 การทำให้เส้นสีดำบางลงโดยการตัดขอบ

3.5 ส่วนการประมวลผลภาพลวดลายของ Fringe

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ส่วนการรับภาพจากกล้อง CCD

เป็นการนำภาพจากกล้อง CCD มาแสดงบนคอมพิวเตอร์ และสามารถทำการบันทึกภาพเหล่านั้นสำหรับทำการประมวลผลในส่วนอื่นๆ ต่อไป

ในระบบการเขียนโปรแกรมบน Windows โดยภาษา Visual C++ จะมี Library มาตรฐานสำหรับติดต่อกับ กล้อง CCD อยู่แล้ว เรียกว่าระบบ Video For Window นอกจากนี้ยังมีการนำ Library ชื่อ CVidcap.lib ซึ่งเชื่อมต่อกับ Video For Windows และมีการอำนวยความสะดวกมากมายในการเขียนโปรแกรมเพื่อควบคุมดังกล่าว ซึ่งสามารถอธิบายการเขียนโปรแกรมได้ดังนี้

1. ทำการอ้างอิง Library ดังกล่าวโดยการใส่ CVidcap.lib เข้าไปอยู่ใน Project Group
2. ทำการ include ไฟล์ชื่อ Vidcap.h
3. สร้างตัวแปร Vidcap จาก Class CVidcap
4. ใส่ Code สำหรับกำหนดตำแหน่งอ้างอิง , ติดต่อกับ Driver และกำหนดให้เริ่มต้น Preview ภาพที่ได้จากกล้อง CCD และแสดงยังจอภาพในตำแหน่งที่ถูกอ้างอิงตอนต้น

Code สำหรับการกำหนดตำแหน่งอ้างอิง

```
VidCap.Create(WS_CHILD | WS_VISIBLE, CRect(0,0, 255, 255), this);
```

จาก Code ดังกล่าวเป็นการจองเนื้อที่ขนาด 256*256 สำหรับแสดงภาพ

Code สำหรับการกำหนดการติดต่อกับ Driver

```
VidCap.DriverConnect(0);
```

Code สำหรับการเริ่มต้น Preview ภาพ

```
VidCap.Preview(TRUE);
```

สำหรับขั้นตอนการบันทึกภาพทำได้ดังนี้

1. กำหนดชื่อ และ ตำแหน่ง (Path File Name) ของแฟ้มที่จะทำการเก็บภาพ
2. ทำการหยุดการแสดงภาพจาก CCD โดยการกำหนดให้เลิกการ Preview
3. ถามผู้ใช้ว่าต้องการเก็บภาพที่ได้นี้หรือไม่
4. ในกรณีที่ผู้ใช้ต้องการเก็บภาพนี้ก็จะใส่ Code สำหรับการเก็บภาพไปไว้ที่ไฟล์ที่กำหนดไว้ตามข้อ 1 จากนั้นก็กำหนดให้เริ่มต้นการ Preview ภาพต่อไป
5. ในกรณีที่ภาพที่แสดงในขณะนั้นยังไม่ดี ผู้ใช้จะตอบไม่ตกลงที่จะเก็บภาพนี้ ก็จะทำการ Preview ภาพต่อไป

Code สำหรับการกำหนดชื่อแฟ้มที่จะทำการเก็บภาพ

```
VidCap.FileSetCaptureFile(gfilename);
```

Code สำหรับการเลิกการ Preview

```
VidCap.Preview(FALSE);
```

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Code สำหรับบันทึกภาพไปไว้ในแฟ้มที่กำหนด

VidCap.FileSaveDIB(gfilename);

นอกจากวิธีการติดต่อกับกล้อง CCD อย่างง่ายๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ในโครงงานนี้ยังได้พัฒนาการประมวลผลภาพที่รับจากกล้อง CCD โดยตรงโดยไม่ได้บันทึกเป็นแฟ้มข้อมูลก่อน โดยอาศัยหลักการของการเขียนโปรแกรมแบบ OOP (Object-Oriented Programming) โดยการสร้าง Class สมาชิกซึ่งถูกสร้างจาก Class พื้นฐาน CVidcap แล้วทำการเขียนทับ (Overwrite) ฟังก์ชัน virtual void OnFrameCallBack ซึ่งจะเป็นฟังก์ชันที่จะถูกเรียกใช้งานทุกครั้งที่พบว่ามีเฟรมภาพใหม่เข้ามา หลังจากทำดังกล่าวแล้วก็จะสามารถประมวลผลภาพได้ทุก ๆ เฟรมที่เข้ามา

การประมวลผลที่ใส่เพิ่มเข้าไปคือการทำภาพสีเป็นภาพขาวดำ (GrayScale) การหากราฟฮิสโทแกรม (Histogram) และการทำภาพเป็นสีขาวและดำ 2 ระดับ และจากการทดลองใช้กล้องจับภาพการเกิดอินเตอร์ฟีเร็นซ์ (Interference) พบว่าความสว่างของแสงในแต่ละขณะไม่เท่ากัน รวมทั้งเลเซอร์ที่ใช้ในการทดลองนั้นกระพริบทำให้การบันทึกภาพไม่สามารถทำได้ง่ายนัด รวมทั้งความต้องการที่จะได้ภาพที่มีความสว่างมากที่สุดด้วย ดังนั้นจึงเพิ่มความสามารถในการบันทึกภาพอัตโนมัติโดยจะบันทึกภาพเมื่อมีจุดที่มีความเข้มแสงสูงกว่าค่าที่ต้องการเป็นจำนวนอย่างน้อยเท่ากับจำนวนที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2 ส่วนการแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ

3.2.1 ความรู้ทั่วไปเกี่ยวกับแฟ้มข้อมูลแบบบิทแมป

แฟ้มรูปภาพแบบบิทแมปแบ่งออกได้เป็นแบบ 1, 4, 8 หรือ 24 บิทต่อพิกเซล ข้อมูลจะถูกเรียงจากข้อมูลในตำแหน่งมุมซ้ายล่างของภาพไปทางขวา เมื่อหมดหนึ่งบรรทัดจะต่อบรรทัดด้านบนโดยเริ่มจากพิกเซลทางด้านซ้ายไปขวา

รูปแบบของแฟ้มรูปภาพแบบบิทแมป ประกอบไปด้วย 4 ส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนหัวซึ่งแสดงข้อมูลของแฟ้มข้อมูล (File Header) ส่วนหัวซึ่งแสดงข้อมูลของภาพ (Image Header) ส่วนแสดงลักษณะของกลุ่มสี (Array of Palette) และส่วนที่เป็นข้อมูลของภาพ ในแฟ้มข้อมูลบิทแมปแบบ 24 บิท ส่วนแสดงลักษณะของกลุ่มสีจะไม่มี เพราะถือว่าเป็นแฟ้มข้อมูลแบบพื้นฐาน

1. รูปแบบของส่วนหัวซึ่งแสดงข้อมูลของแฟ้มข้อมูล (BITMAPFILEHEADER) ประกอบไปด้วย

bfType	คือ ข้อมูลเฉพาะเป็นตัวอักษร "BM" เป็นตัวแปรแบบ unsigned short
bfSize	คือ ขนาดของแฟ้มบิทแมป เป็นตัวแปรแบบ unsigned long
bfReserved1	คือ ข้อมูลสำรองมักจะให้ค่าเป็น 0 เป็นตัวแปรแบบ unsigned short
bfReserved2	คือ ข้อมูลสำรองตัวที่สองมักจะให้ค่าเป็น 0 เป็นตัวแปรแบบ unsigned short
bfOffBits	คือ ค่าออฟเซทจากตำแหน่งแรกของแฟ้มบิทแมปไปยังตำแหน่งเริ่มต้นของข้อมูลบิทแมป เป็นตัวแปรแบบ unsigned long

หมายเหตุ ตัวแปรแบบ unsigned short มีขนาด 2 Bytes และตัวแปรแบบ unsigned long มีขนาด 16-Bytes

2. รูปแบบของส่วนหัวซึ่งแสดงข้อมูลของภาพ (BITMAPINFOHEADER) ประกอบไปด้วย

biSize	คือ ขนาดของส่วน BITMAPINFOHEADER นี้ ควรมีขนาดเท่ากับ 40 เป็นตัวแปรแบบ unsigned long
biWidth	คือ ความกว้างของรูปภาพในหน่วยของพิกเซล เป็นตัวแปรแบบ long
biHeight	คือ ความสูงของรูปภาพในหน่วยของพิกเซล เป็นตัวแปรแบบ long
biPlanes	คือ จำนวนของระนาบ ต้องเป็น 1 เป็นตัวแปรแบบ unsigned short
biBitCount	คือ จำนวนบิทต่อพิกเซล เป็น 1 , 4 , 8 หรือ 24 เป็นตัวแปรแบบ unsigned short
biCompression	คือ ค่าสำหรับตรวจดูว่ามีการบีบลดข้อมูลในแฟ้มหรือไม่ มีค่าเป็น 1 สำหรับ RLE-8 และเป็น 2 สำหรับ RLE-4 เป็นตัวแปรแบบ unsigned long
biSizeImage	คือ ขนาดของบิทแมป เป็นตัวแปรแบบ unsigned long
biXPelsPerMeter	คือ ค่าความละเอียดในแกนนอนหน่วยพิกเซลต่อเมตร เป็นตัวแปรแบบlong
biYPelsPerMeter	คือ ค่าความละเอียดในแกนตั้งหน่วยพิกเซลต่อเมตร เป็นตัวแปรแบบ long
biClrUsed	คือ จำนวนสีที่ใช้ในบิทแมป หรือ 0 เป็นตัวแปรแบบ unsigned long

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

biClrImportant คือ จำนวนสีในส่วนแสดงลักษณะของกลุ่มสี (Image Palette) ที่ถูกพิจารณาว่าสำคัญ เป็นตัวแปรแบบ unsigned long

3. ส่วนแสดงลักษณะของกลุ่มสี จะเปลี่ยนแปลงไปตามรูปแบบของแฟ้มข้อมูล เช่นอาจจะเป็นแบบที่แสดงสีของภาพขาวดำ แบบที่แสดงภาพสี 8 บิท (256 สี)
4. ส่วนที่เป็นข้อมูลของภาพ จะแตกต่างกันไปตามแต่ลักษณะของแฟ้มบิทแมปที่ต้องการ เช่น 1 บิท 4 บิท 8 บิท และ 24 บิท สำหรับ แบบ 24 บิท RGB จะมีข้อมูลของสีสามสีคือ แดง เขียว และสีน้ำเงิน ขนาดสีละ 8 บิท หรืออาจกล่าวได้ว่าข้อมูลแต่ละสี สีละ 256 ระดับ ในหนึ่งพิกเซลสีจะถูกแทนด้วยการผสมแม่สีทั้งสามนั้นเข้าด้วยกัน

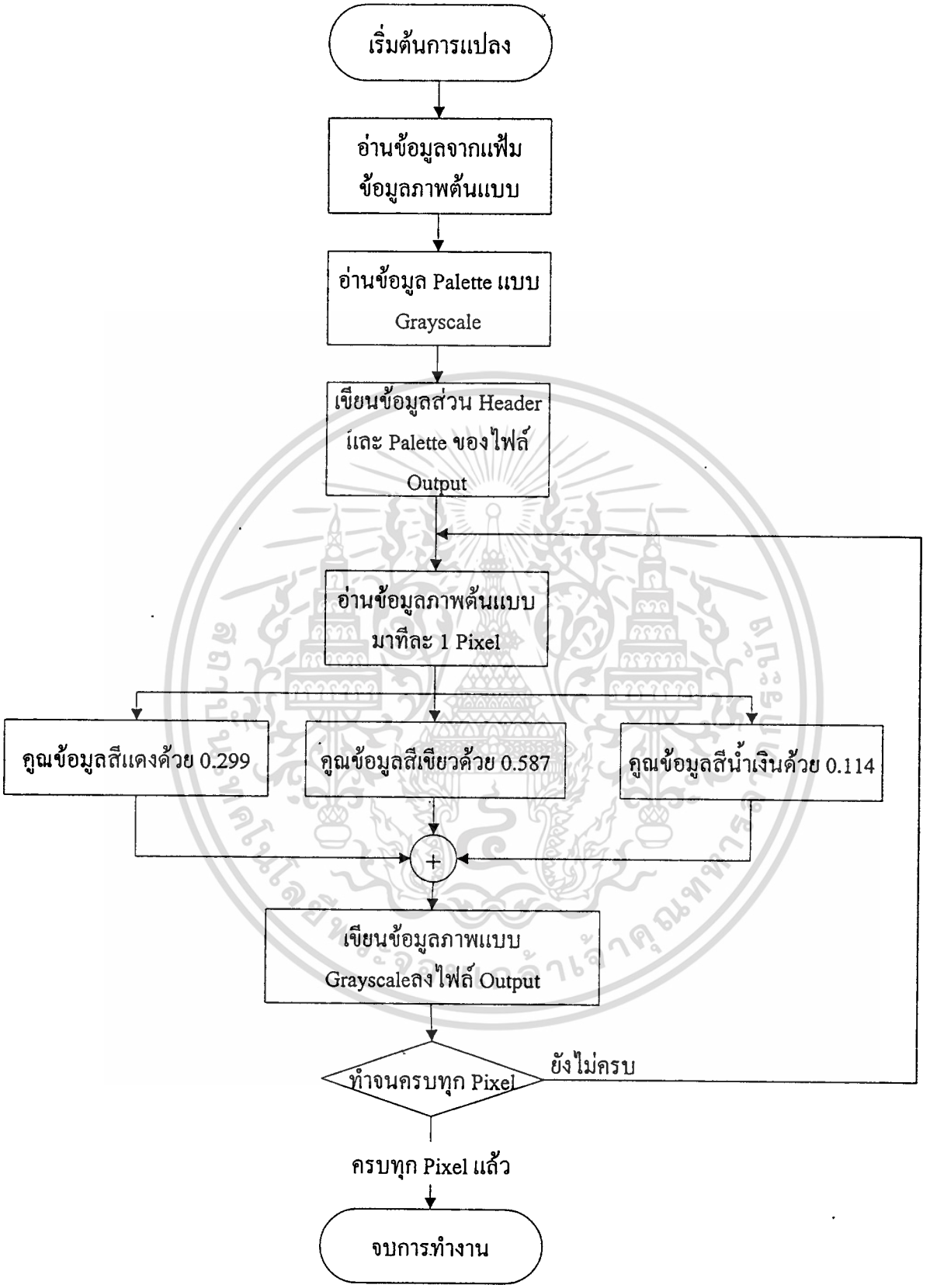
3.2.2 หลักการสำหรับการแปลงภาพสี RGB 24 bits เป็นภาพขาวดำ Grayscale 8 bits 256 ระดับ

ภาพสีที่ได้จากกล้อง CCD เป็นภาพสีขนาด 24 บิท ต่อหนึ่งพิกเซล ซึ่งประกอบไปด้วยข้อมูลสีแดง 8 บิท ข้อมูลสีเขียว 8 บิท และข้อมูลสีน้ำเงิน 8 บิท แต่เนื่องจาก ในงานนี้พบว่า ข้อมูลถูกแสดงได้ด้วยลักษณะมืดและสว่างเท่านั้น อีกทั้งการประมวลผลภาพที่เป็นภาพสีนั้นมีความยาก และสลับซับซ้อน ดังนั้นการประมวลผลในรูปของข้อมูลแบบภาพขาวดำจึงมีความเหมาะสมมากกว่า ด้วยเหตุนี้จึงควรทำการแปลงภาพสีดังกล่าวให้เป็นภาพขาวดำก่อนที่จะนำไปประมวลผลในส่วนอื่นๆต่อไป ซึ่งภาพขาวดำที่ต้องการเป็นแบบ 8 บิท ต่อหนึ่งพิกเซล ซึ่งแต่ละพิกเซลจะมีเฉพาะข้อมูลของความเข้มแสงจากระดับ 0 ถึง 255 เท่านั้น

การแปลงภาพสีเป็นภาพขาวดำ 256 ระดับนั้นมีด้วยกันหลายวิธี แต่แบบที่จะได้ข้อมูลภาพขาวดำ 256 ระดับที่มีความเหมือนภาพต้นแบบที่สุด คือวิธีที่เรียกว่า แบบใช้ค่าความเข้มแสงจริง สำหรับการแปลงในแบบใช้ค่าความเข้มแสงจริงมีหลักการดังนี้ เนื่องจากข้อมูลของสีแต่ละสี จะให้ค่าความเข้มแสงที่มีอัตราส่วนต่างกัน ตามทฤษฎีของทีวี สีเขียวจะมีอัตราส่วนของความเข้มแสงเป็น 0.587 สีน้ำเงินจะมีอัตราส่วนของความเข้มแสงเป็น 0.114 และสีแดงจะมีอัตราส่วนของความเข้มแสงเป็น 0.299 ดังนั้นในการแปลงเราจึงนำค่าของข้อมูลแต่ละสีมาคูณด้วยค่าอัตราส่วน ก่อนที่จะนำมารวมกันเป็นค่าความเข้มแสง 0-255 ในแต่ละพิกเซลของภาพขาวดำ Grayscale 256 ระดับ

สำหรับการเขียนโปรแกรมสามารถอธิบายได้ตาม รูปที่ 3.1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่3.1 แสดง Flowchart ขั้นตอนการแปลงภาพสีเป็นภาพ Grayscale แบบคำนวณจากค่าความเข้มแสงจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3 ส่วนการปรับปรุงภาพ

3.3.1 การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการ

สำหรับการทำงานในส่วนนี้ยังไม่สามารถทำได้สำเร็จ แนวคิดคือการนำเอาภาพที่เป็นภาพของพื้นผิวอย่างเดียว มาเปรียบเทียบกับภาพที่มีฟริ้งก์ (Fringe) แล้ว เพื่อทำการแยกภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการออกจากภาพของฟริ้งก์ที่ต้องการ

สำหรับในส่วนที่สามารถทำได้ในขณะนี้คือการกำหนดของเขตของภาพที่สนใจ โดยกำหนดบริเวณภาพที่สนใจภายในรูป วงรี ขนาดตามที่ต้องการ ส่วนที่อยู่ภายนอกวงรีจะถูกทำให้กลายเป็นสีขาวทั้งหมด การกำหนดพื้นที่ดังกล่าวทำได้โดยการกดเม้าซ์ (mouse) ปุ่มซ้ายค้างไว้แล้วทำการเลื่อนเม้าซ์ไปจะทำให้ได้รูปวงรีขนาดต่าง ๆ ตามแต่ตำแหน่งของเม้าซ์ เมื่อได้ตำแหน่งที่ต้องการก็ทำการกดเม้าซ์ปุ่มขวาเพื่อเริ่มต้นการเปลี่ยนบริเวณภายนอกวงรีให้กลายเป็นสีขาว

การกดปุ่มซ้ายของเม้าซ์ในครั้งแรกก่อนที่จะทำการเลื่อน จะเป็นการกำหนดตำแหน่งจุดศูนย์กลางของวงรี เมื่อทำการเลื่อนเม้าซ์ไป ตำแหน่งของเม้าซ์ต่างๆ จะถูกนำมาคำนวณเป็นความยาวของแกนเอกและแกนโทของวงรี และทำการคำนวณหาสมการวงรี (สมการที่ 3.1) ทำการวาดวงรีตามสมการที่หามาได้ด้วยสีแดง

$$\frac{(x-h)^2}{a^2}+\frac{(y-k)^2}{b^2}=1 \qquad \text{ก.}$$

$$\frac{(y-k)^2}{a^2}+\frac{(x-h)^2}{b^2}=1 \qquad \text{ข.}$$

สมการ 3.1 แสดงสมการวงรี ก.วงรีที่มีแกนเอกขนานแกน X

ข.วงรีที่มีแกนเอกขนานแกน Y

เมื่อๆได้พื้นที่ที่ต้องการทำการกดเม้าซ์ปุ่มขวา ตำแหน่ง X และ Y ของภาพที่ตำแหน่งต่างๆ จะถูกแทนค่าลงในสมการวงรี ถ้าพบว่า อยู่ภายนอกวงรี (มีค่ามากกว่า 1) ก็จะทำการเปลี่ยนข้อมูลที่ตำแหน่งนั้นเป็นสีขาว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

039163

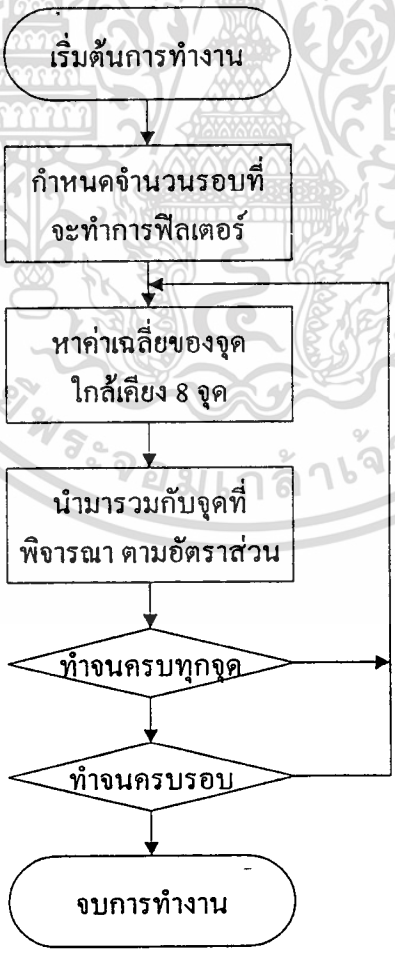
3.3.2 การทำฟิลเตอร์ในสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain Filter)

เป็นการทำให้ภาพที่ได้มีความเรียบมากขึ้น โดยการลดผลต่างของแต่ละจุดกับอีก 8 จุดซึ่งอยู่ติดกัน (อาจเรียกว่าแบบหาค่าเฉลี่ย 8 จุดรอบข้าง) หลักการของการทำฟิลเตอร์แบบนี้คือการอ่านค่าของข้อมูลภาพออกมาครั้งละ 1 ตำแหน่ง แล้วนำค่าของอีก 8 จุดรอบข้างมารวมกันและหาค่าเฉลี่ย นำค่าเฉลี่ยดังกล่าวมารวมกับข้อมูลในตำแหน่งที่สนใจ (ด้วยอัตราส่วนตามที่ต้องการ เช่น 1:1, 2:1 , 3:1) ทำจนกระทั่งครบทั้งภาพ

นอกจากนี้ยังพบว่าการทำฟิลเตอร์แบบนี้เพียงรอบเดียวอาจไม่เพียงพอที่จะได้ภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิมมาก นักจึงมีการกำหนดรอบที่จะทำการฟิลเตอร์ตามที่ต้องการ การเขียนโปรแกรมแสดงได้ดัง รูปที่ 3.3

Side	*Side*	*Side*
Side	*X*	*Side*
Side	*Side*	*Side*

รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะของจุดที่สนใจ และจุดที่ติดกัน 8 จุด



รูปที่ 3.3 แสดง Flowchart ขั้นตอนการทำฟิลเตอร์ในสปาเชียลโดเมน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.3 การทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ (Frequency Domain Filter)

เป็นการทำฟิลเตอร์ภาพเพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณภาพตามที่ต้องการมากขึ้น โดยอาศัยหลักการของการแปลงภาพในสปาเชียลโดเมน (Spatial Domain) ให้ไปอยู่ในโดเมนความถี่ (Frequency Domain) ด้วยการแปลง ฟูเรียร์ใน 2 มิติ (2 Dimension Fourier Transform) และทำการเลือกสเปกตรัมความถี่ที่ต้องการ กำจัดสเปกตรัมที่ไม่ต้องการออก แล้วทำการแปลงฟูเรียร์ผกผันกลับมาเป็นภาพในสปาเชียลโดเมนเช่นเดิม

การทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่นี้มีข้อดีคือ สามารถเลือกกำจัดลักษณะของภาพที่ไม่ต้องการออกได้ เช่น กำจัดเฉพาะสเปกตรัมที่ทำให้เกิดภาพเส้นในแนวนอน เป็นต้น แต่จากการทดลองดูพบว่าฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่นี้จะได้ภาพที่มีความเรียบสู้แบบฟิลเตอร์ในสปาเชียลโดเมนไม่ได้ในบางกรณี ดังนั้นจึงควรนำฟิลเตอร์ทั้ง 2 ชนิดนี้มาใช้ประกอบกันเพื่อให้ได้ภาพที่เหมาะสมที่สุด

ก. การแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มในหนึ่งมิติ (1 Dimension Fast Fourier Transform)

ลักษณะของสัญญาณโดยทั่วไปแบ่งออกได้เป็น แบบต่อเนื่อง (Analog Signal) และ แบบดิจิตอล (Digital Signal) ลักษณะของสัญญาณดิจิตอลคือการสุ่มเอาสัญญาณแบบต่อเนื่อง และทำการจัดระดับ (Quantize) จากนั้นมาทำการเข้ารหัสตัวเลข (Encode) การประมวลผลสัญญาณในคอมพิวเตอร์นั้นลักษณะของข้อมูลที่ใช้เป็นแบบสัญญาณดิจิตอล ดังนั้นการประมวลผลทั้งหมดดังที่จะกล่าวต่อไปนี้จะอยู่ในรูปของสัญญาณดิจิตอลทั้งหมด

การแปลงฟูเรียร์ คือ การแปลงค่าในโดเมนของเวลาให้ไปอยู่ในโดเมนของความถี่ สำหรับสัญญาณแบบต่อเนื่อง การคำนวณหาการแปลงฟาสฟูเรียร์นั้นจะใช้การอินทีเกรต แต่สำหรับสัญญาณแบบดิจิตอลการคำนวณจะใช้การบวกรวมยอด (Summation) หรือที่เรียกกันว่า " Discrete Fourier Transform (DFT) " ซึ่งสามารถแสดงได้ดังสมการต่อไปนี้

$$X(k) = \sum_{n=0}^{N-1} x_0(n) e^{-j2\pi kn/N} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots, N-1$$

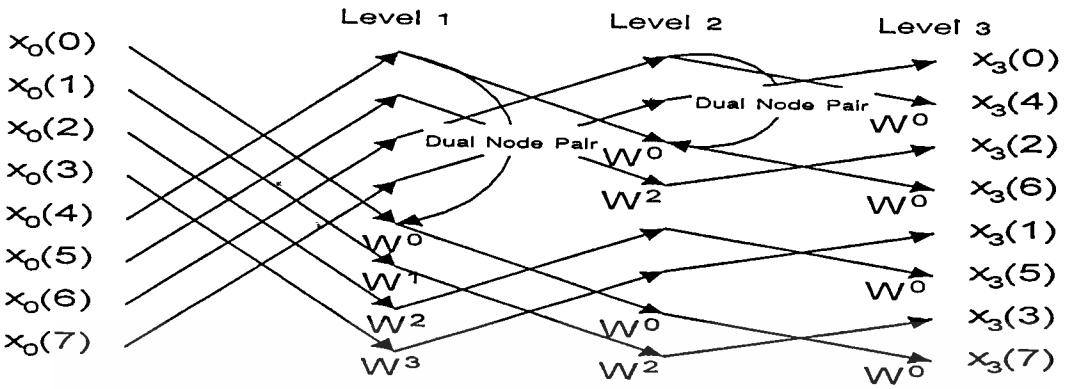
สมการที่ 3 .2 แสดงการคำนวณ DFT

จากสมการที่ 3.2 พบว่าถ้าเราคำนวณตามสมาการนี้จะต้องเสียเวลาในการคำนวณมาก จึงมีผู้คิดวิธีในการลดเวลาในการคำนวณดังกล่าวลง ซึ่งเราเรียกว่า Fast Fourier Transform

หลักการของฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม (Fast Fourier Transform) มีดังนี้คือ จากสมการ 3.2 กำหนดให้ $W = \exp(-j2\pi/N)$ เราพบว่าค่า X(k) เกิดจากเมตริก (Metrix) ของ W^p คูณกับเมตริก ของ $X_0(n)$ ถ้าทำการกระจายเมตริกของ W ให้กลายเป็นผลคูณของเมตริกย่อยๆ จะสามารถประหยัดเวลาในการคำนวณหา DFT ได้มาก วิธีการแยกเมตริกย่อย ๆ นี้ ยังแบ่งออกได้เป็นหลายๆ วิธี เช่น แบบลดทอนทางเวลา (DIT) และแบบลดทอนทางความถี่ (DIF) ในที่นี้จะกล่าวถึงเฉพาะวิธีการลดทอนทางความถี่ที่ใช้ในงานนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หลักการของการแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแบบลดทอนทางความถี่นี้ สามารถแสดงได้โดย Signal Flow Graph ดังต่อไปนี้



รูปที่ 3.4 แสดง Signal Flow Graph

สังเกตว่าในกรณีที่มี N = 8 จะพบว่า จะต้องคำนวณทั้งหมด 3 level ถ้า $N=2^y$ จะต้องใช้ทั้งหมด y level ในการคำนวณ สังเกตการกระโดดข้ามคู่คำนวณ (Dual Node Pair) ใน Level ที่ 1 จะกระโดดข้ามทีละ 4 ใน Levelที่ 2 จะกระโดดข้ามทีละ 2 ซึ่งอาจเขียนเป็นสมการทั่วไปได้ว่ากระโดดข้ามทีละ $\frac{N}{2^L}$ โดยที่ L แทน Level ที่ทำการคำนวณอยู่ สังเกตลำดับของผลลัพธ์สุดท้าย จะพบว่ามีการสลับลำดับในลักษณะที่เรียกกันว่า สลับบิท (Bit Reverse) ซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้

เลขฐาน2 ขนาด 3 บิท สามารถแสดงได้โดย $A_2 2^2 + A_1 2^1 + A_0 2^0$ ลักษณะของตัวเลขเมื่อผ่านการทำการสลับบิท จะได้เป็น $A_0 2^2 + A_1 2^1 + A_2 2^0$ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

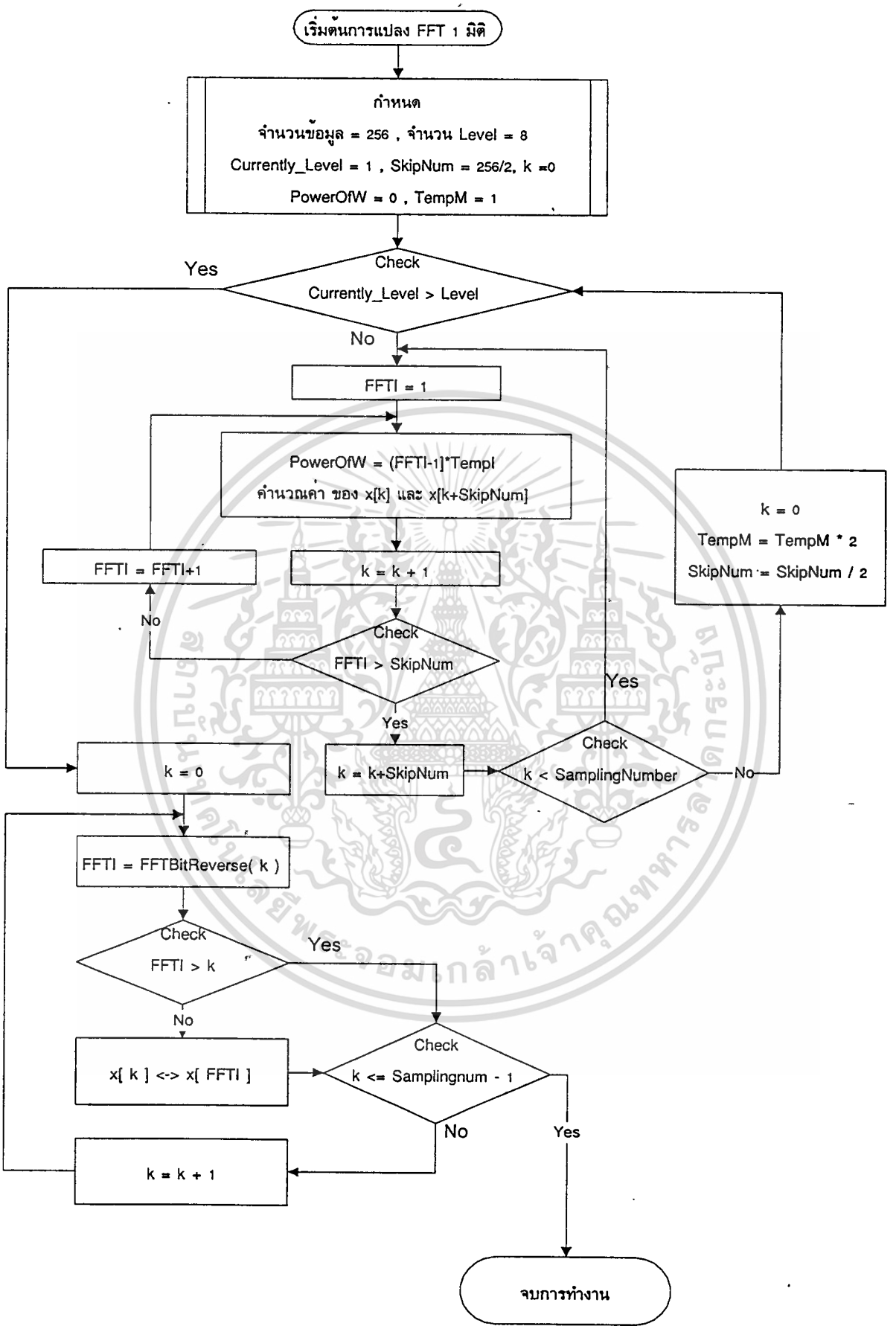
เลข 3 เมื่อเขียนเป็นแบบเลขฐาน 2 ขนาด 3 บิท ได้เป็น 011 การสลับบิทจะได้ 110 หรือแทนด้วยตัวเลข 6 ในฐาน 10

วิธีการสำหรับการสลับบิท (Bit Reverse Algorithm) สมมุติเลข Binary เป็น $A_3 A_2 A_1 A_0$ ทำการหารตัวเลขนี้ด้วย 2 แบบที่ผลลัพธ์เป็นค่าเศษของการหาร จากนั้นคูณผลลัพธ์ที่ได้ด้วย 2 แล้วนำมาลบออกจากตัวเลขเดิม สังเกตว่าถ้า A_0 เป็น 0 จะได้ผลลัพธ์จากการลบเป็น 0 แต่ถ้า A_0 เป็น 1 จะได้ผลลัพธ์เป็น 1 ใช้วิธีการนี้ในการตรวจดูว่าค่าแต่ละบิทเป็นค่า 0 หรือ 1 ทำการคูณค่าผลลัพธ์จากการลบนี้ด้วย 2 ทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบจำนวนบิททั้งหมด ก็จะได้เลขที่เกิดจากการสลับบิทที่ต้องการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

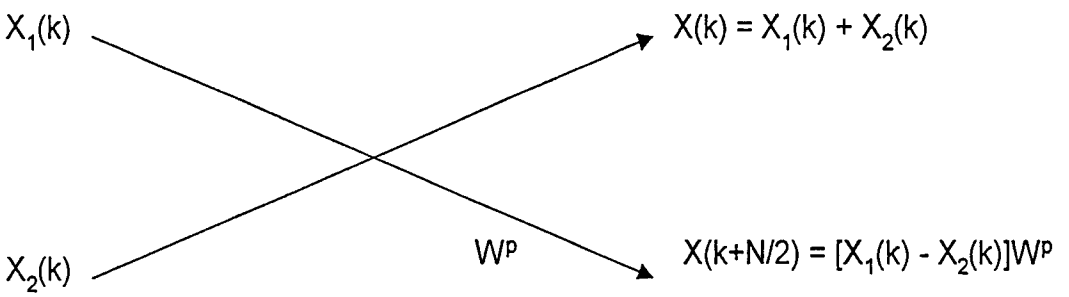
รูปที่ 3.5 แสดง Flowchart ขั้นตอนการสลับบิท (Bit Reverse)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.6 แสดง Flow Chart ของการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 1 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.7 แสดงลักษณะการคำนวณหาค่าคู่คำนวณ (Dual Node Pair)

จากรูปที่ 3.7 เราสามารถหาค่าของคู่คำนวณ (Dual Node Pair) ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$X_L(k) = X_{L-1}(k) + X_{l-1}(k + \frac{N}{2^L})$$

$$X_L(k + \frac{N}{2^L}) = [X_{L-1}(k) - X_{L-1}(k + \frac{N}{2^L})]W^P$$

สมการที่ 3.3 แสดงการหาค่าของ Dual Node Pair

กว่ารคำนวณค่าของ $W^p = \exp(-j2\pi p/N)$ สามารถทำได้โดยการเปลี่ยนให้เป็นจำนวนเชิงซ้อน โดยอาศัยสูตรของออยเลอร์ คือ $\exp(-j\theta) = \text{Cos}(\theta) - j\ \text{Sin}(\theta)$ ในการคำนวณพจน์ของ W^p คูณกับ X(k) ซึ่งเป็นจำนวนเชิงซ้อน

จึงเป็นการคูณกันของส่วนจริง และ ส่วนจินตภาพ กับ พจน์ของ Cosine และ Sine

รูปที่ 3.6 จะแสดง Flow Chart ของการคำนวณ FFT ของสัญญาณในหนึ่งมิติ

ข. การแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผัน ใน 1 มิติ (1 Dimension Inverse Fast Fourier Transform)

เมื่อเราสามารถทำการแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มได้ เราจำเป็นที่จะต้องสามารถแปลงผกผันข้อมูลที่ถูกแปลงให้กลับมาเป็นข้อมูลเดิม การแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผัน สามารถแสดงได้ดังสมการ 3.3

$$X(k) = \frac{1}{N}\sum_{n=0}^{N-1} x_0(n) e^{j2\pi kn/N} \qquad n = 0, 1, 2, \ldots, N-1$$

สมการที่ 3.4 การหาค่าการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผัน

สังเกตว่าการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผันนั้น แตกต่างจากการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มแค่เพียงพจน์ของ $\exp(j\theta)$ เท่านั้น ดังนั้นเราจึงสามารถนำหลักวิธีการ (Algorithm) ของการแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มมาใช้ ในการคำนวณการแปลงผกผันได้

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค. การแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ (2 Dimension Fast Fourier Transform)

ข้อมูลรูปภาพนั้นอยู่ในรูปของฟังก์ชันของ P(x, y) ซึ่งมีลักษณะเป็นสองมิติ การหาค่าฟูเรียร์ทรานส์-ฟอร์มของข้อมูลรูปภาพจึงต้องใช้การแปลงในสองมิติ ดังที่จะได้กล่าวดังต่อไปนี้

กำหนดให้ ฟังก์ชัน h(x, y) ถูกสุ่ม (Sampling) ในแกน x ด้วยค่า T_x และถูกสุ่มในแกน y ด้วยค่า T_y ค่าของฟังก์ชัน h(x, y) ที่ถูกสุ่มแล้วสามารถเขียนได้เป็น $h(pT_x , qT_y)$ เมื่อ p = 0, 1, 2, ..., N-1 และ q = 0, 1, 2, ..., M-1

การคำนวณค่าการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ใน 2 มิติ สามารถแสดงได้ดังสมการ 3.4

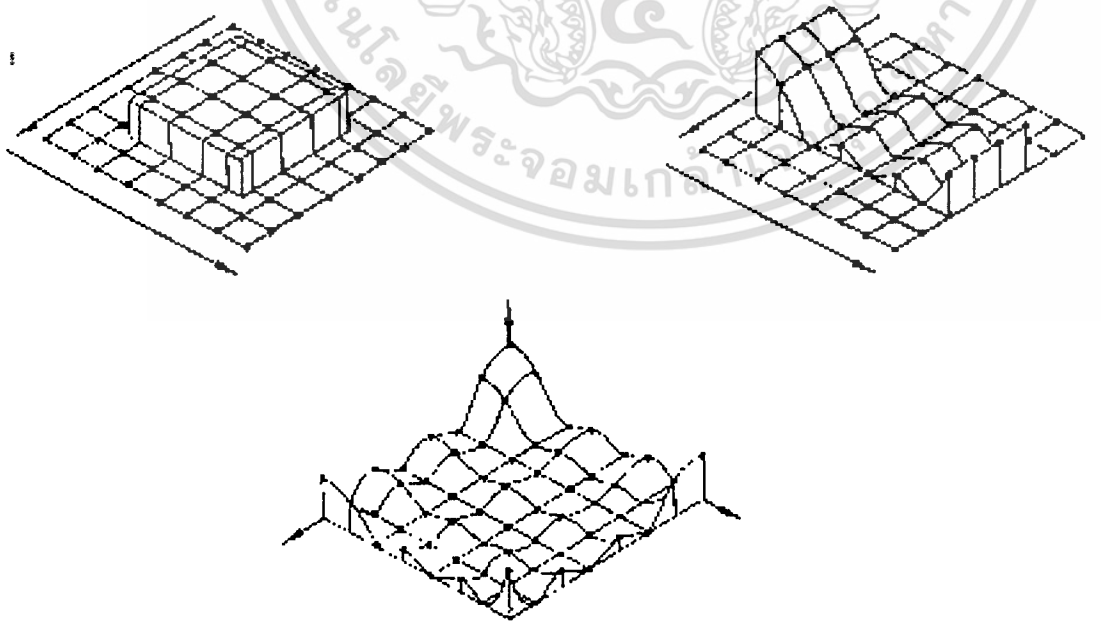
$$H(\frac{n}{NT_x},\frac{m}{MT_y}) = \sum_{q=0}^{M-1}\Big[\sum_{p=0}^{N-1} h(pT_x,qT_y)e^{-j2\pi np/N}\Big]e^{-j2\pi mq/M}$$

p = 0, 1, 2, ..., N-1 n = 0, 1, 2, ..., N-1

q = 0, 1, 2, ..., M-1 m = 0, 1, 2, ..., M-1

สมการที่ 3.5 การหาค่าของการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ

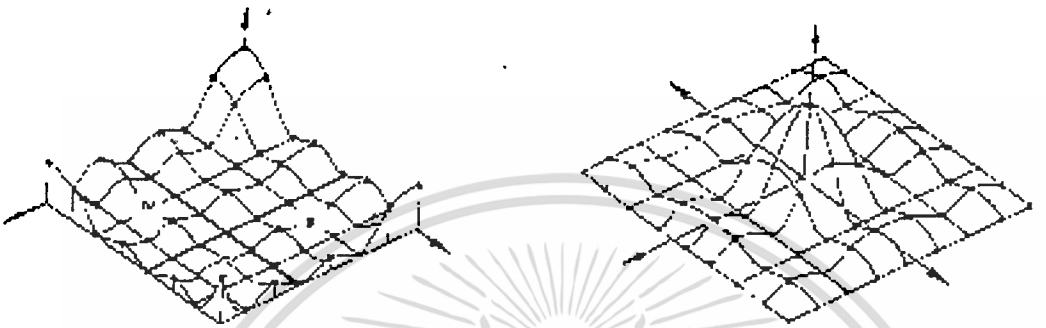
จากสมการที่ 3.5 อาจจะกล่าวได้ว่าการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มในสองมิติ คือการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน1 มิติ ตามแนวแกน x จากนั้นก็มาทำการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 1 มิติ ตามแนวแกน y หรืออาจจะแปลงตามแนวแกน y ก่อน แล้วจึงแปลงตามแนวแกน x ก็สามารถกระทำได้ สำหรับการแปลงในหนึ่งมิตินั้นก็ใช้ขั้นตอนของ ฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว



รูปที่ 3.8 แสดงลักษณะการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ โดยการแปลงทีละแกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การจัดเรียงผลจากการคำนวณฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ เพื่อให้สามารถสังเกตผลที่ได้ง่าย และชัดเจน และสามารถอธิบายได้ดังนี้ เนื่องจากการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ จะทำให้เกิดการซ้ำคาบทั้งในทางแกน x และในทางแกน y เราจึงสามารถเลื่อนแบบวงกลม (Circular Shift) ข้อมูลได้โดยที่ไม่ทำให้เกิดความเสียหาย เมื่อพิจารณา 4 ควอดรันท์ (Quadrant) ถ้านำข้อมูลเฉพาะตรงกลางของทั้ง 4 ควอดรันท์ มา จะได้ภาพที่เหมาะสมมากกว่าในการสังเกตความเปลี่ยนแปลง



รูปที่ 3.9 แสดงลักษณะการจัดเรียงลำดับของการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ ใหม่

การวาดแอมพลิจูด (Amplitude) ของสัญญาณที่ถูกแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มใน 2 มิติ หลังจากที่ได้ทำการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์ม และทำการจัดเรียงลำดับใหม่แล้วจะได้ข้อมูลของแต่ละพิกเซลในรูปของจำนวนเชิงซ้อน นำค่าเหล่านั้นมาคำนวณหาค่าแอมพลิจูด โดย

$$A = \sqrt{(\mathrm{Re}alPart)^2 + (\mathrm{Im}aginaryPart)^2}$$

สมการที่ 3.6 การหาค่าแอมพลิจูดของแต่ละพิกเซล

ง. การแปลงฟาสฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผันใน 2 มิติ (2 Dimension Inverse Fast Fourier Transform)

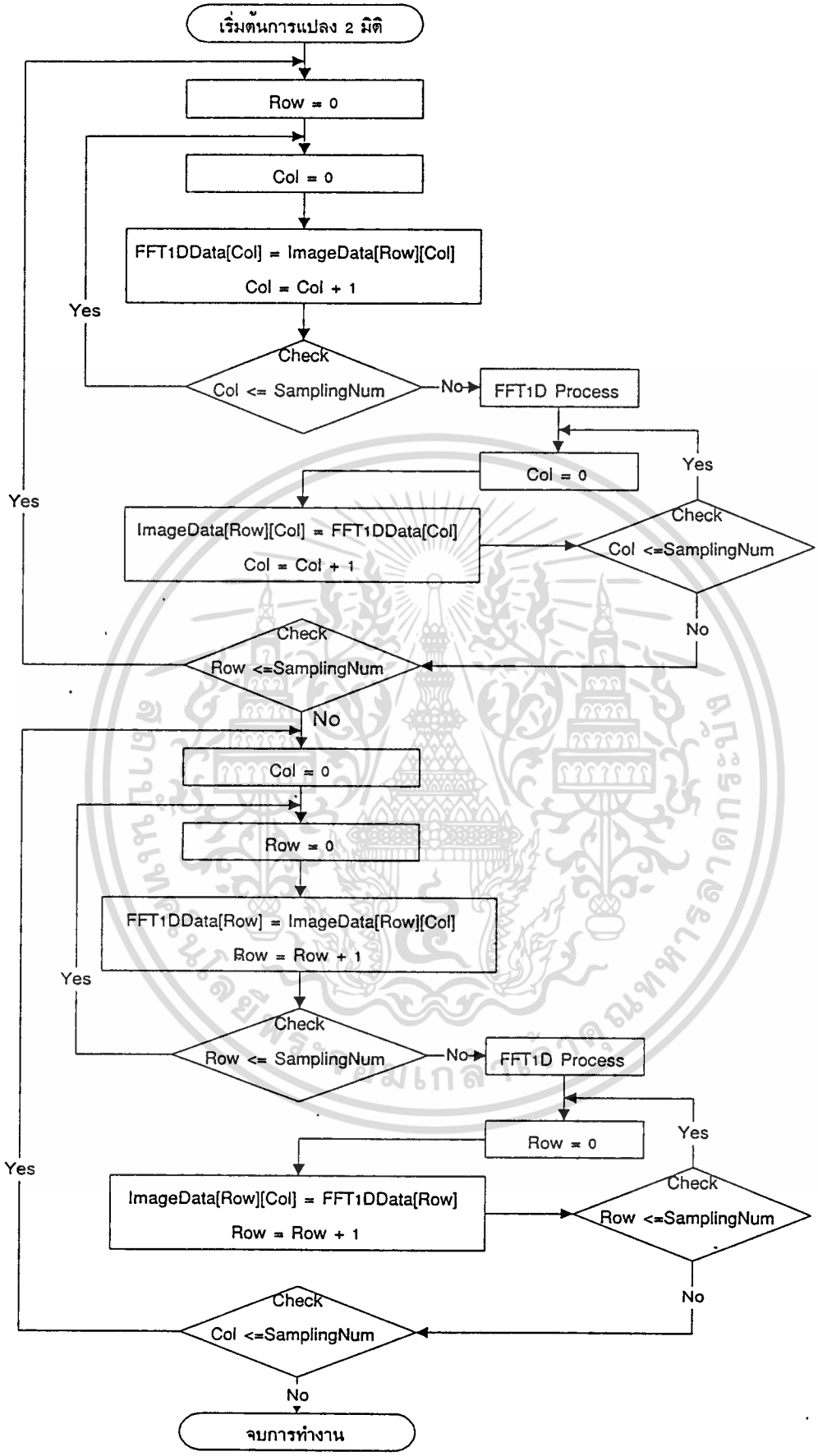
การแปลงผกผันใน 2 มิตินี้ มีลักษณะการแปลงเป็นการแปลงผกผันในหนึ่งมิติทางแกน x จากนั้นนำมาแปลงผกผันทางแกน y หรือจะแปลงผกผันทางแกน y ก่อนแล้วจึงแปลงผกผันทางแกน x ก็สามารถกระทำได้

การคำนวณการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผันใน 2 มิติ สามารถแสดงดังสมการที่ 3.7

$$H(\frac{n}{NT_x},\frac{m}{MT_y}) = \frac{1}{N}\sum_{q=0}^{M-1}\Big[\frac{1}{N}\sum_{p=0}^{N-1}h(pT_x,qT_y)e^{j2\pi np/N}\Big]e^{j2\pi mq/M}$$

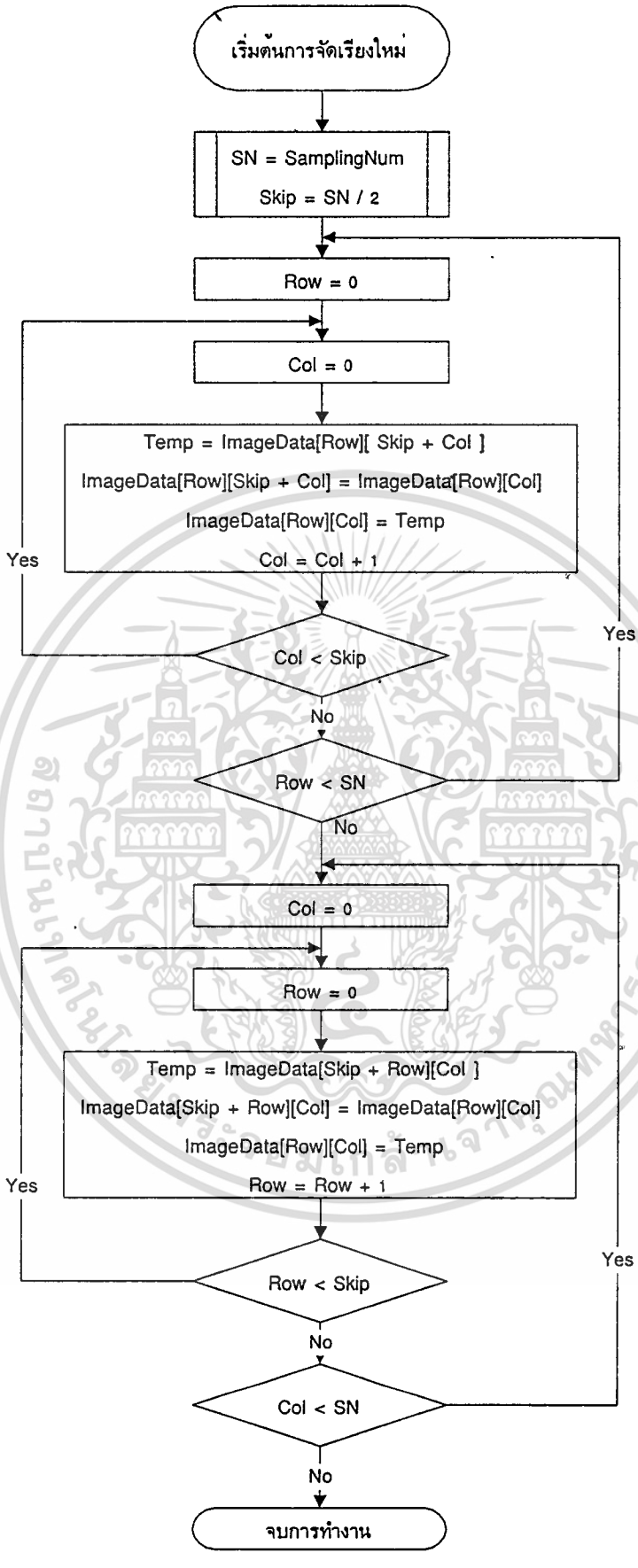
สมการที่ 3.7 การหาค่าการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มผกผันใน 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.10 แสดง Flow Chart ของการแปลงฟาสฟูเรียร์ใน 2 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสาร[illegible]ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.11 แสดง Flow Chart ของการจัดเรียงสัญญาณที่ผ่านการ FFT ใหม่

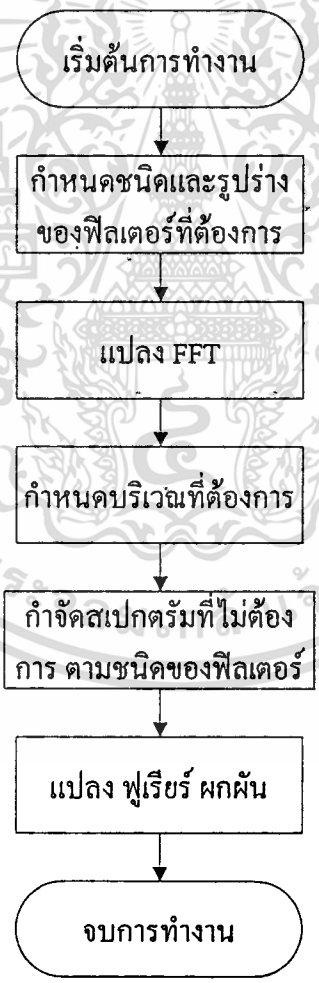
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จ. ขั้นตอนการทำฟิลเตอร์

จากภาพต้นแบบ นำมาแปลงให้ไปอยู่ในโดเมนของความถี่ โดยอาศัยวิธีการดังที่ได้กล่าวมาแล้วในข้อ ก. ถึง ง. จากนั้นก็เป็นการกำหนดรูปแบบของฟิลเตอร์ที่ใช้ เช่น แบบผ่านความถี่ต่ำ (Low Pass Filter) แบบผ่านความถี่สูง (High Pass Filter) แบบแถบผ่านความถี่ (Band Pass Filter) และ แบบแถบกำจัดความถี่ (Band Reject Filter) นอกจากชนิดของฟิลเตอร์แล้วยังสามารถกำหนดรูปร่างของฟิลเตอร์ เช่น สี่เหลี่ยม วงกลม และโดนัท เป็นต้น หลังจากที่กำจัดความถี่ให้ถูกต้องตามชนิด และ รูปร่างของฟิลเตอร์ ก็ทำการแปลงฟูเรียร์ผกผัน ให้กลับไปอยู่ในสปาเชียลโดเมน เช่นเดิม

ภาพในโดเมนความถี่นั้นความถี่ศูนย์จะอยู่ที่จุดศูนย์กลางของภาพ ฟิลเตอร์แบบผ่านความถี่ต่ำ และแบบผ่านแถบความถี่ จะกำจัดสเปกตรัมภายนอกบริเวณที่กำหนด ส่วนแบบผ่านความถี่สูง และแบบกำจัดแถบความถี่ จะกำจัดสเปกตรัมภายในบริเวณที่กำหนด

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสำหรับการทำ ฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ สามารถแสดงได้ดังรูป 3.12



รูปที่ 3.12 แสดง Flowchart ของการทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.4 การหมุนภาพ (Image Rotation)

ลักษณะของเส้นลวดลายของฟริ้งก์ (Fringe) นั้นมักจะอยู่ในลักษณะเอียง ดังนั้นเพื่อความสะดวกของงานในบางกรณี จึงทำการหมุนภาพที่ต้องการให้เส้นฟริ้งก์มีลักษณะอย่างที่ต้องการ เช่น เป็นเส้นแนวนอน หรือ เส้นแนวตั้ง เป็นต้น

หลักการของการหมุนภาพทำได้โดยการ แมปปิ้ง ตำแหน่ง (x , y) ของภาพต้นแบบไปยังภาพซึ่งถูกหมุนไป เป็นมุมตามที่กำหนด สำหรับการแมปปิ้งนั้นความสัมพันธ์ของจุดที่ถูกแมปปิ้งไป กับจุดเดิมเป็นดังนี้

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

สมการที่ 3.8 แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่ง (x , y) ของการหมุนภาพแบบตามเข็มนาฬิกา

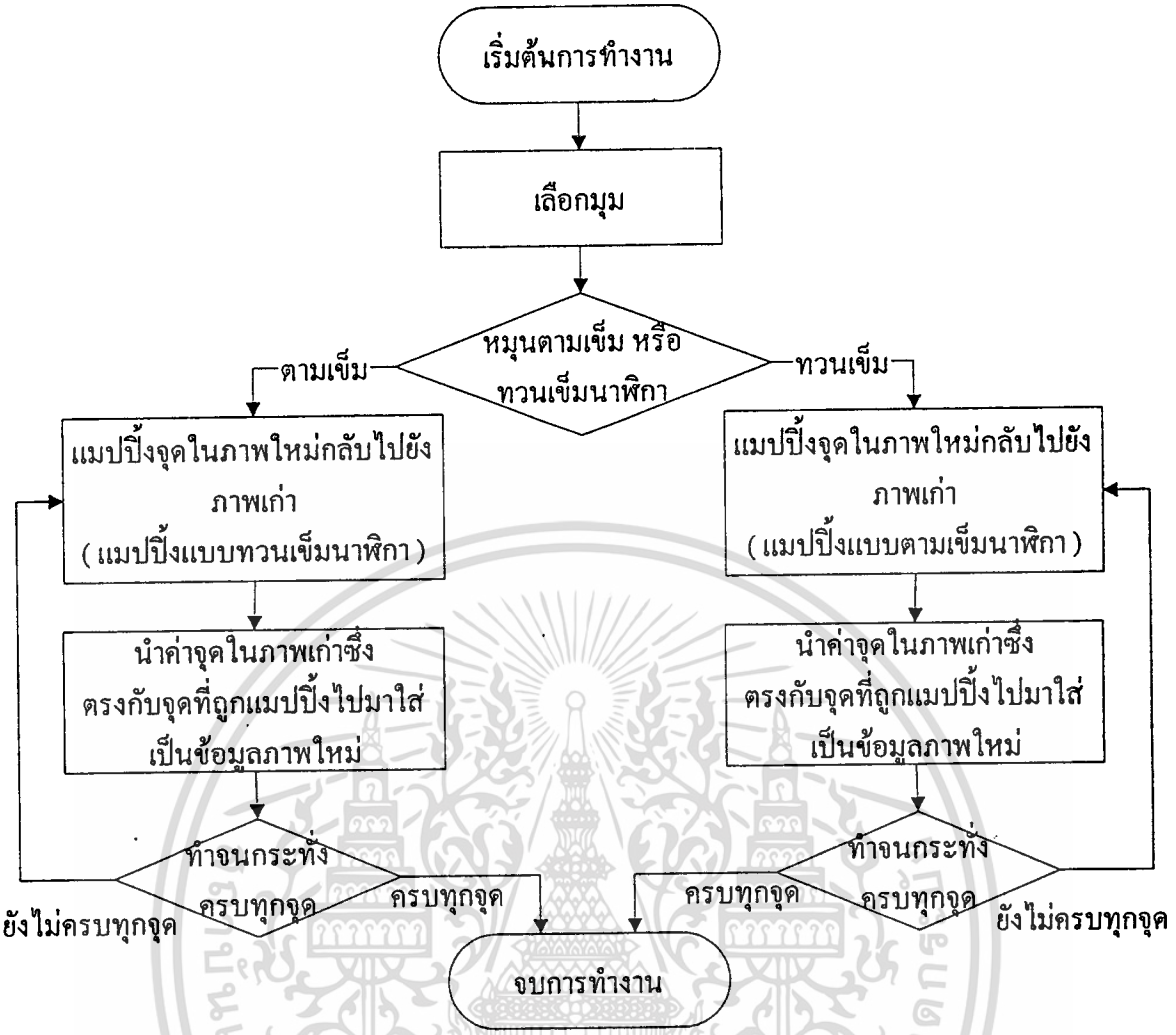
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta \\ \sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

สมการที่ 3.9 แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่ง (x , y) ของการหมุนภาพแบบทวนเข็มนาฬิกา

จากการทดลองพบว่าการแมปปิ้งจุดจากภาพเดิมไปยังภาพใหม่นั้น ทำให้เกิดการสูญหายของจุดบางจุดไปเนื่องจากไปซ้อนทับกันทำให้เกิดลักษณะที่เป็นจุดหาย ๆ ในภาพใหม่ ดังนั้นจึงแก้ปัญหานี้โดยการ แมปปิ้งจุดจากภาพใหม่กลับไปยังภาพเดิม แล้วนำค่าของจุดของภาพเดิมนั้นมาเป็นค่าของจุดที่พิจารณาในภาพใหม่ ดังนั้นการหมุนตามเข็มนาฬิกา ก็คือการแมปปิ้งทวนเข็มนาฬิกาของจุดในภาพใหม่ไปยังภาพเก่านั่นเอง

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมเพื่อหมุนภาพสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.13

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.13 แสดง Flowchart ขั้นตอนการหมุนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 ส่วนการทำให้เส้นสีดำเป็นเส้นบางขนาด 1 pixel

3.4.1 การหา Histogram และ Threshold และแปลงเป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ

ก่อนที่จะเริ่มการทำให้เส้นสีดำกลายเป็นเส้นบางขนาด 1 pixel นั้น ก่อนอื่นต้องทำให้ภาพขาวดำแบบ Grayscale 256 ระดับนั้นกลายเป็นภาพที่มีเพียงสีขาว และ ดำ เพียง 2 สี เท่านั้น เสียก่อน สำหรับการแปลงดังกล่าวสามารถทำได้ง่ายๆ โดยการกำหนดค่าจุดเปลี่ยน (Threshold) มาค่าหนึ่ง จุดใดที่มีค่าความสว่างมากกว่าค่าจุดเปลี่ยน ก็ให้มีค่าเท่ากับ 255 หรือก็คือสีขาว ส่วนจุดใดมีความสว่างต่ำกว่าจุดเปลี่ยน ก็ให้มีค่าเท่ากับ 0 หรือก็คือสีดำ สำหรับการกำหนดจุดเปลี่ยนนั้น ต้องใช้การทดสอบดูว่าค่าจุดเปลี่ยนใดเหมาะสม ซึ่งสามารถพิจารณาอย่างคร่าว ๆ โดยใช้กราฟแสดงการกระจายจุดความเข้มแสง (Histogram) การหากราฟแสดงการกระจายจุดความเข้มแสงดังกล่าวทำได้โดยการนับว่าในภาพมีจุดที่มีความเข้มแสงค่า ๆ หนึ่ง เท่าใด ทำจากจุดที่มีความเข้มแสงเป็น 0 จนกระทั่ง 255 จากนั้นนำมาวาดกราฟโดยให้แกน Y แทนความสว่างจาก 0 ถึง 255 และแกน X แทนจำนวนจุดที่มีค่าความเข้มแสงนั้น นอกจากนี้ยังคำนวณค่าเฉลี่ย (mean,) ของจุดสีดังกล่าว ในขั้นตอนการแปลงภาพขาวดำ 2 ระดับนี้เอง เนื่องจากว่าภาพที่ได้มักจะมีความสว่างในแต่ละจุดไม่เท่ากัน และมีเส้นที่เกินมาเนื่องจากกล้องที่รับภาพเอง ดังนั้นการแปลงภาพในขั้นตอนนี้อาจทำให้ได้ข้อมูลของริ้วการแทรกสอด (Fringe) ที่ไม่ถูกต้อง ดังนั้นผู้ใช้เองจำเป็นที่ต้องแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวโดยการเติมจุดสีขาว หรือสีดำลงไปในตำแหน่งที่ขาดหายไป

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสำหรับการหา Histogram และ ค่า Threshold แสดงดังรูป 3.15

3.4.2 การทำให้เส้นสีดำบางลงโดยการตัดขอบ

การทำให้เส้นสีดำบางลงนั้น ทำได้โดยการพิจารณาลักษณะของจุดโดยเปรียบเทียบกับอีก 8 จุดรอบข้าง ถ้าจุดใดมีลักษณะเป็นขอบ ก็ทำการกำหนดให้จุดนั้นเป็นสีขาวไป สำหรับการพิจารณาขอบนั้นพิจารณาได้ดังนี้ สมมุติกำหนดจุดที่พิจารณาเป็น X และจุดรอบข้างเป็น N0-7 ดังรูปที่ 3.14

N3	*N2*	*N1*
N4	*X*	*N0*
N5	*N6*	*N7*

รูปที่ 3.14 แสดงลักษณะจุดที่พิจารณา และจุดรอบข้าง

จุด X จะสามารถเป็นขอบได้ทั้งหมด 4 ลักษณะคือ ขอบซ้าย ขอบขวา ขอบบน และ ขอบล่าง ในกรณีที่ X เป็นสีดำและเป็นขอบขวา N0 จะเป็นสีขาว ถ้าเป็นขอบซ้าย N4 จะเป็นสีขาว ถ้าเป็นขอบบน N2 จะเป็นสีขาว และถ้าเป็นขอบล่าง N6 จะเป็นสีขาว ทำการเลือกพิจารณาลักษณะขอบทีละแบบ ซึ่งสามารถแสดงเป็นสมการเงื่อนไขได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขอบขวา: (N4&(N2|N3|N5|N6)&(N6|(~N7))&((~N1)|N2)) =255 โดยที่ N0 =0

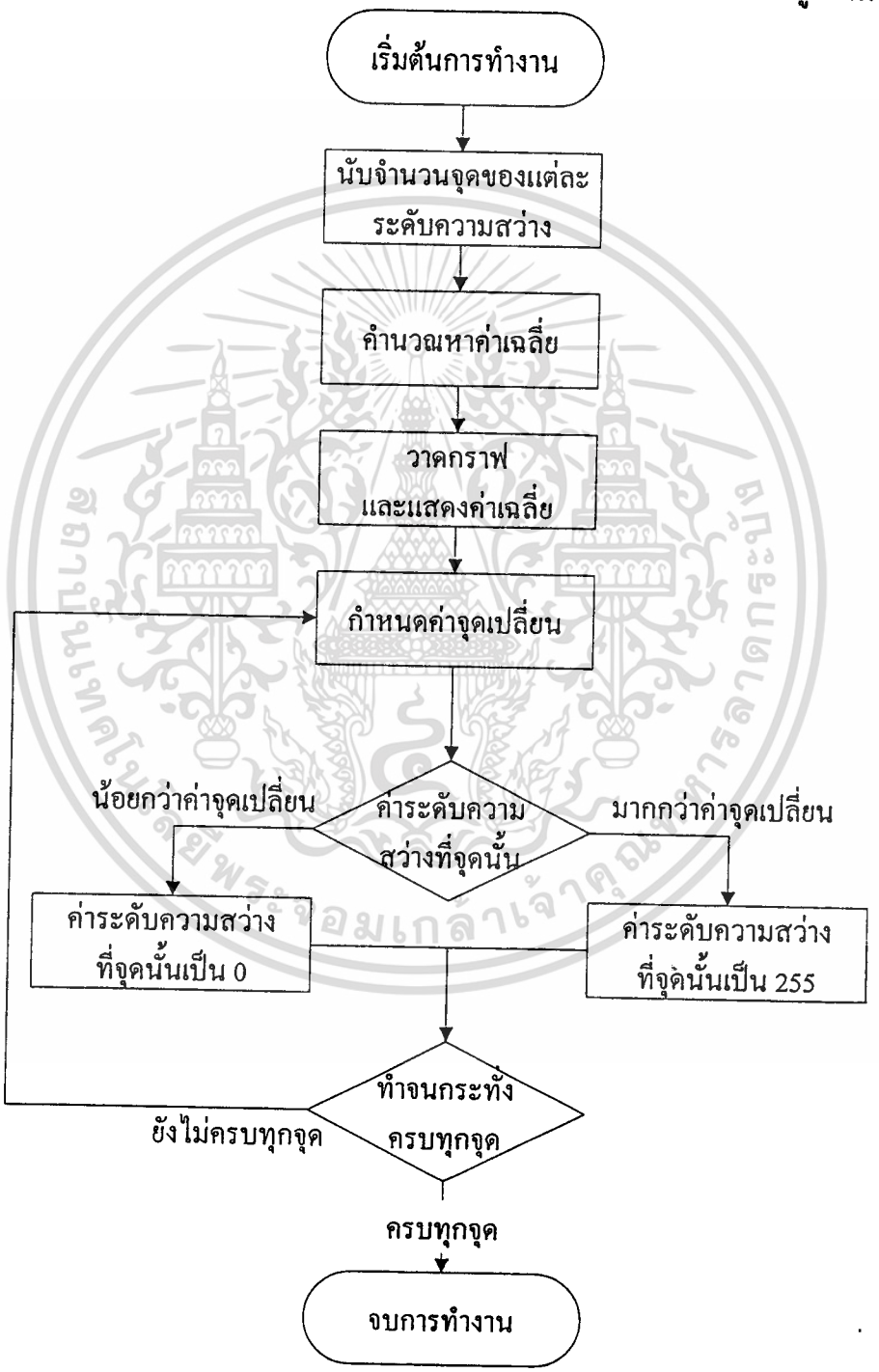
ขอบซ้าย: (N0&(N1|N2|N6|N7)&(N2|(~N3))&((~N5)|N6)) =255 โดยที่ N4 =0

ขอบบน: (N6&(N0|N4|N5|N7)&(N0|(~N1))&((~N3)|N4)) =255 โดยที่ N2 =0

ขอบล่าง: (N2&(N0|N1|N3|N4)&(N4|(~N5))&((~N7)|N0)) =255 โดยที่ N6 =0

สมการที่ 3.10 แสดงเงื่อนไขลักษณะความเป็นขอบแบบต่าง ๆ

หมายเหตุ ในการพิจารณาตามสมการที่3.10 สีขาวมีค่า 0 และ สีดำมีค่า 255 ซึ่งสลับกับข้อมูลภาพทั่วไป



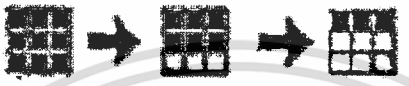
รูปที่ 3.15 แสดง Flowchart ของขั้นตอนการหา Histogram และ Threshold และแปลงเป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำการวนรอบในทุก ๆ ตำแหน่งของภาพ และทำการวนรอบภาพเดิมซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีจุดใดแสดงลักษณะที่เป็นขอบอีก ก็จะเสร็จสิ้นขั้นตอนการทำให้บาง

แต่จากการทดลองทำจริงพบว่า การพิจารณาเฉพาะรูปแบบของขอบดังที่ได้กล่าวมานั้นยังไม่ดีเท่าที่ควร ถ้าต้องการทำให้คุณภาพของภาพบางดีขึ้น การทำให้บางควรมีวิธีการทำดังนี้

1. ไม่ควรทำให้จุดที่เป็นขอบแล้วเป็นสีขาวในทันที เนื่องจากว่าเมื่อคำนวณจุดต่อ ๆ ไป ค่าที่จุดนั้นเป็นสีขาวแล้วจะถูกนำมาเป็นจุดรอบข้างของจุดที่พิจารณาใหม่ จะทำให้ได้เส้นบางที่ชิดกับขอบด้านหนึ่งของเส้นสีดำที่มีความหนา ถ้าต้องการให้เส้นบางที่ได้อยู่ตรงกลางของเส้นสีดำที่มีความหนา ควรบันทึกว่าจุดนั้นเป็นสีขาวแล้วไว้ต่างหาก และไม่มีผลต่อการคำนวณจุดต่อๆไป



รูปที่ 3.16 แสดงการทำเส้นบางที่ไม่ดี

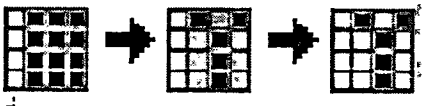
รูปที่ 3.17 แสดงการทำเส้นบางที่ดี

2. จากข้อ 1. การบันทึกความเป็นขอบในลักษณะดังกล่าว อาจทำให้เกิดการขาดช่วงของเส้นบางที่ได้ เนื่องมาจากว่า จุดที่เคยเป็นขอบและถูกทำให้เป็นสีขาวไปแล้วนั้นไม่ถูกนำมาพิจารณา ทำให้จุดอื่นที่พิจารณามีลักษณะเป็นขอบ (พิจารณารูป 3.18) การแก้ไขทำได้โดย เมื่อพบว่าจุดๆใดเป็นขอบแล้ว ให้ทดลองแทนค่าจุดรอบข้างด้วยค่าที่เป็นจริง (เช่นจุดถูกเปลี่ยนเป็นสีขาวแล้ว) แล้วทดสอบความเป็นขอบอีกครั้ง ถ้ายังคงเป็นขอบอยู่ก็ให้เปลี่ยนจุดนั้นเป็นขอบได้เลย

รูปที่ 3.18 แสดงการขาดช่วงของเส้นบาง

รูปที่ 3.19 แสดงภาพที่ถูกต้อง

3. ลักษณะความเป็นขอบที่บริเวณมุม ซึ่งจะทำให้ได้ภาพบางที่ไม่ดีนัก เนื่องจากบริเวณมุมมักจะเกิดลักษณะความไม่เป็นขอบ ทั้งๆที่เป็นขอบ ดังรูปที่ 3.20



รูปที่ 3.20 แสดงความผิดปกติของบริเวณมุม

จากรูป 3.20 จะพบว่าถ้าพิจารณากันตามปกติแล้ว บริเวณมุมจะมีลักษณะที่เป็นขอบ และควรจะถูกทำให้กลายเป็นสีขาว แต่ทว่าเมื่อพิจารณาถึงจุดที่ถูกเปลี่ยนเป็นสีขาวไปก่อนหน้านี้ ก็จะทำให้บริเวณมุมไม่เป็นขอบ แต่จะเป็นจุดโดดเดี่ยวซึ่งลบไม่ได้ จากปัญหาดังกล่าวจึงต้องเพิ่ม code เพื่อตรวจจับการเป็นมุม และลบจุดนั้นให้กลายเป็นสีขาวไป (ดูสมการที่ 3.11)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เงื่อนไขการตรวจจับมุมสำหรับขอบขวา

(((N4&N5&N6)&(~(N0|N1|N2|N3|N7)))=255)|(((N4&N3&N2)&(~(N0|N1|N5|N6|N7)))=255)

เงื่อนไขการตรวจจับมุมสำหรับขอบซ้าย

(((N6&N7&N0)&(~(N1|N2|N3|N4|N5)))=255)|(((N0&N1&N2)&(~(N3|N4|N5|N6|N7)))=255)

เงื่อนไขการตรวจจับมุมสำหรับขอบบน

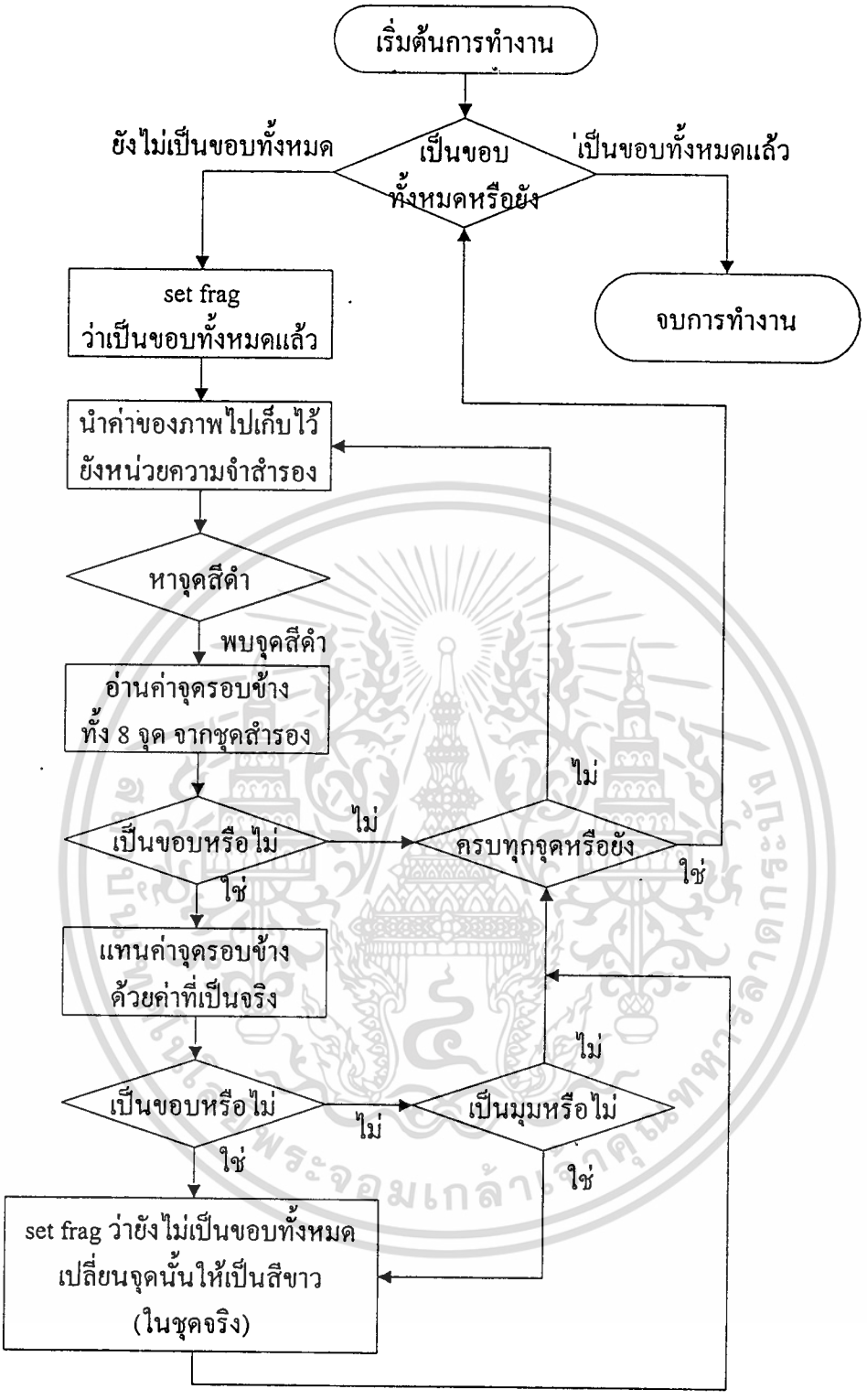
(((N4&N5&N6)&(~(N0|N1|N2|N3|N7)))=255)|(((N6&N7&N0)&(~(N1|N2|N3|N4|N5)))=255)

เงื่อนไขการตรวจจับมุมสำหรับขอบล่าง

(((N0&N1&N2)&(~(N3|N4|N5|N6|N7)))=255)|(((N4&N3&N2)&(~(N0|N1|N5|N6|N7)))=255)

ขั้นตอนการเขียนโปรแกรมสำหรับทำให้เส้นบางแสดงดังรูป 3.21

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.21 Flowchart แสดงขั้นตอนการทำให้เส้นบาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.5 ส่วนการประมวลผลภาพลวดลายของ Fringe

ภาพของฟริ้งก์ที่ถูกนำมาทำให้เป็นลักษณะบางแล้วจะถูกนำมาวิเคราะห์ เนื่องจากว่าลักษณะของการเกิดฟริ้งก์ดังที่แสดงในบทที่ 2 ข้างต้นแล้วนั้น จะพบว่าลวดลายของฟริ้งก์สามารถแสดงถึงระดับความสูงของพื้นผิวได้ โดยเส้นฟริ้งงก์แต่ละเส้นจะแสดงความต่างระดับกันเท่ากับครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่น ($\frac{\lambda}{2}$) ดังนั้นจากความรู้ดังกล่าวทำให้สามารถนำมาวิเคราะห์ และสร้างรูปแบบของพื้นผิวจำลองขึ้นมาได้ โดยการวิเคราะห์ดังกล่าว สามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอนใหญ่ ๆ ได้คือ

3.5.1 การกำหนดเลขระดับของแต่ละฟริ้งก์

3.5.2 การเตรียมพร้อมสำหรับการวาดลักษณะของพื้นผิว

3.5.3 การวาดโครงร่างตาข่ายแสดงลักษณะของพื้นผิว

3.5.4 การหมุนภาพใน 3 มิติ เพื่อสังเกตลักษณะของพื้นผิวในทุกด้าน

3.5.1 การกำหนดเลขระดับของแต่ละฟริ้งก์

ก่อนที่จะทำการวิเคราะห์ในส่วนอื่นๆ ต่อไป ขั้นตอนแรกที่จะทำคือการให้หมายเลขแสดงระดับของฟริ้งก์แต่ละเส้น เพื่อที่กำหนดให้จุดที่มีค่าดังกล่าวเหมือนกันเป็นฟริ้งก์เส้นเดียวกัน และ เพื่อที่จะกำหนดระดับความสูงของเส้นฟริ้งก์แต่ละเส้น เพื่อให้สะดวกในการวิเคราะห์ต่อไป

การกำหนดเลขระดับของแต่ละฟริ้งก์ ถูกแยกออกเป็น 2 แบบด้วยกันคือ

3.5.1.1 แบบอัตโนมัติ

3.5.1.2 แบบผู้ใช้กำหนดเอง

3.5.1.1 แบบอัตโนมัติ มีขั้นตอนการทำดังนี้

ก. การกำหนดขั้นแรกโดยการเริ่มตรวจสอบตำแหน่งของภาพจากจุดมุมซ้ายบนสุดไปทางขวาเมื่อหมดแถว ก็มาเริ่มตรวจสอบที่ตำแหน่งซ้ายสุดของแถวถัดไป เมื่อพบจุดที่เป็นสีดำแล้วก็ทำการตรวจสอบลักษณะการต่อเนื่องเชื่อมต่อของจุดนั้นไปยังจุดถัดไป และทำการกำหนดให้ทุกจุดที่ต่อเนื่องกันนั้นมีค่าเท่ากัน สำหรับฟริ้งก์แรกเป็น 1 และ ฟริ้งก์ที่ตรวจพบต่อไปก็ให้มีค่าเป็น 2 , 3 , 4 , ... ตามลำดับ

ข. การตรวจสอบการเชื่อมต่อของจุด จากข้อ ก. เมื่อพบจุดสีดำ (ค่าเท่ากับ 0) แล้วก็ตรวจสอบว่าจุดรอบข้างทั้ง 8 จุดนั้นมีจุดที่เป็นสีดำทั้งหมดกี่จุด ซึ่งโดยทั่วไปแล้วควรจะมี 0,1 หรือ 2 จุดเท่านั้น

ข.1 กรณีที่มีจุดรอบข้างเป็นสีดำเพียงหนึ่งจุดเท่านั้น ก็ให้ทำการตรวจว่าใน อีก 7 จุดที่เหลือมีจุดใดถูกกำหนดค่าไปแล้วหรือไม่ (จากข้อ ก. ค่าระดับนั้นเริ่มต้นจาก 1 แสดงว่าจุดที่ถูกกำหนดแล้วนั้นจะมีค่ามากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 255) ถ้าไม่มี ก็ให้กำหนดจุด ๆนั้นด้วยค่าเลขระดับตามลำดับตามข้อ ก. แต่ในกรณีที่มี ก็ให้กำหนดจุด ๆ นั้นด้วยค่าระดับของจุดใกล้เคียง หลังจากที่กำหนดค่าดังกล่าว แล้วก็ให้ไปพิจารณาต่อที่จุดที่เป็นสีดำที่อยู่กับจุดที่พิจารณาก่อนหน้านี้ด้วยหลักการเดียวกันนี้ และทำต่อเนื่องไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งพบว่าไม่มีจุดสีดำอยู่ติดกับจุดที่พิจารณา ก็ให้เลิกทำการตรวจสอบ

ข.2 กรณีที่มีจุดรอบข้างเป็นสีดำ 2 จุด สามารถแบ่งได้เป็นสองกรณีคือ แบบธรรมดา และ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ไบบมุมฉาก ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.22 สำหรับแบบธรรมดานั้นสามารถตัดสินใจเลือกจุดใดเป็นจุดต่อไปก็ได้ สำหรับแบบมุมฉากนั้นจะต้องเลือกจุดที่มีลักษณะตรงเป็นหลัก คือจุดในตำแหน่งที่ไม่เฉียงได้แก่ ซ้าย ขวา บน และ ล่างทำจนกระทั่งพบว่าไม่มีจุดสีดำอยู่ติดกับจุดที่พิจารณา ก็เป็นอันเสร็จสิ้น

ก. ข.

รูปที่ 3.22 ก. แบบทั่วไป ข. แบบมุมฉาก

ค. การเรียงลำดับ เลขระดับของแต่ละฟริ้งก์ใหม่

เนื่องจากว่าในการกำหนดเลขระดับของฟริ้งก์แบบอัตโนมัตินั้น ไม่ได้คำนึงถึงลักษณะของภาพที่แท้จริง ทำให้เลขระดับของฟริ้งก์ในบางกรณีไม่ถูกต้อง เช่นในรูป 3.23

รูปที่ 3.23 เลขระดับของฟริ้งก์ที่เรียงไม่ถูกต้อง

จากรูปที่ 3.23 นั้นจะเห็นได้ว่าฟริ้งก์เกิดในพื้นที่จำกัดรูปวงรี ทำให้การกำหนดหมายเลขฟริ้งก์ตามหลักเกณฑ์ในข้อ ก. และ ข. ได้เลขแสดงระดับของฟริ้งก์ไม่ถูกต้อง (คือได้ลำดับเป็น 2-1-3) ที่ถูกต้องแล้ว ควรเป็น 1-2-3 จึงจะถูกต้อง ด้วยเหตุนี้ จึงจำเป็นต้องมีการเรียงลำดับกันใหม่ให้ถูกต้อง การเรียงลำดับใหม่แบ่งออกได้เป็น 2 กรณี คือ

ค.1 แบบที่มีรูปร่างของฟริ้งก์ธรรมดา

ค.2 แบบที่มีรูปร่างของฟริ้งก์เป็นแบบวงกลม

ก. ข.

รูปที่ 3.24 ก. แสดงฟริ้งก์ธรรมดา ข. แสดงฟริ้งก์วงกลม

เราสามารถแบ่งแยกลักษณะรูปร่างของฟริ้งก์ทั้ง 2 แบบ ได้โดยอาศัยหลักการคือ ทดลองตรวจสอบรูปภาพจากซ้ายไปขวา ทุก ๆ แถวในแกน Y ของภาพ ถ้ามีเส้นที่ลากผ่านจากจุดที่มีค่าระดับหนึ่ง ไปยังอีกจุดที่มีค่าระดับเท่ากัน และห่างกันพอสมควรเช่นห่างกันประมาณ 2-3 พิกเซล ก็ให้พิจารณาว่าเป็นแบบวงกลม แต่เพื่อเป็นการป้องกันการตรวจพบโดยบังเอิญเนื่องจากเกิดความเพี้ยนของเส้นดังนั้นจึงต้องพบเส้นที่ลากผ่านจุดที่มี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าระดับเท่ากันมากจำนวนหนึ่งจึงจะกำหนดว่าเป็นแบบวงกลม (คณะผู้จัดทำกำหนดว่าต้องพบเส้นดังกล่าว 5 เส้นขึ้นไป) หลังจากนั้นก็ทำซ้ำในทิศทางจากบนลงล่างในทุกๆ ค่า X ของภาพ โดยใช้หลักการพิจารณาเช่นเดียวกัน ถ้าไม่เป็นไปตามหลักการนี้ ก็ให้พิจารณาเป็นแบบธรรมดา

ค.1 การจัดเรียงฟริ้งก์ที่เป็นแบบธรรมดา

ทำได้โดยการตรวจสอบรูปภาพจากซ้ายไปขวา พิจารณาว่าจุดที่เพิ่งผ่านมา มีค่าระดับสูงกว่าจุดปัจจุบันหรือไม่ ถ้าสูงกว่าก็ให้จุดที่มีค่าระดับเท่ากับจุดที่เพิ่งผ่านมามีค่าระดับใหม่เท่ากับค่าระดับของจุดปัจจุบัน และ จุดที่มีค่าระดับเท่ากับจุดปัจจุบันมีค่าระดับใหม่เท่ากับค่าระดับของจุดที่เพิ่งผ่านมา หรืออาจจะกล่าวง่ายๆว่าเป็นการสลับค่าระดับของจุดที่มีค่าระดับปัจจุบันกับจุดที่มีค่าระดับเท่ากับจุดที่ผ่านมา ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกระทั่งครบทั้งแถว และกลับไปทำแถวนั้นใหม่ทั้งแถว จนกระทั่งไม่ต้องเปลี่ยนค่าจุดใดใดอีก (ก็คือในแถวนั้นเรียงถูกต้องแล้ว) ก็ให้ไปทำแถวต่อ ๆ ไป

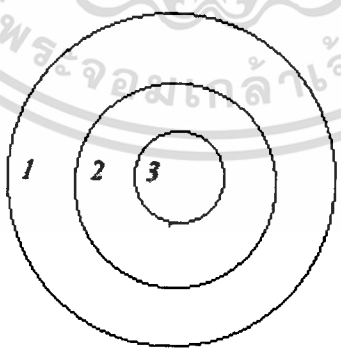
สมมุติแถวหนึ่ง มีลักษณะของค่าระดับของจุดเป็นดังนี้

เริ่มต้น	3 2 5 1 4		
ตรวจแถวครั้งแรก	2 3 5 1 4	2 3 1 5 4	2 3 1 4 5
ตรวจแถวครั้งสอง	2 1 3 4 5		
ตรวจแถวครั้งสาม	1 2 3 4 5		

สังเกตว่าในการตรวจแถวครั้งที่สาม เส้นฟริ้งก์ถูกเรียงลำดับไว้ถูกต้องแล้ว ดังนั้นเมื่อตรวจแถวครบทั้ง 3 ครั้ง ก็เป็นอันเสร็จสิ้นการจัดเรียงระดับใหม่แบบธรรมดา ในแถวนั้น ๆ

ค.2 การจัดเรียงฟริ้งก์ที่เป็นแบบวงกลม

ลักษณะของฟริ้งก์ที่เป็นแบบวงกลมนั้นไม่สามารถที่จะใช้การจัดเรียงใหม่โดยวิธีเดียวกันกับแบบธรรมดา ทั้งนี้พิจารณารูปที่ 3.25



รูปที่ 3.25 แสดงการจัดระดับของฟริ้งก์ในรูปวงกลม

จากรูปที่ 3.25 พบว่าถ้าพิจารณาการจัดเรียงในแนว 123321 นั้นถ้าใช้การพิจารณาเหมือนแบบฟริ้งก์ธรรมดา ในซีกซ้ายจะพบว่าเรียงตามลำดับถูกต้องแล้ว คือ 123 จากน้อยไปหามาก แต่ทางด้านซีกขวา จะพบว่าลำดับจะเรียงจากมากไปหาน้อยคือ 321 ถ้าใช้การจัดเรียงแบบธรรมดาจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดขึ้น

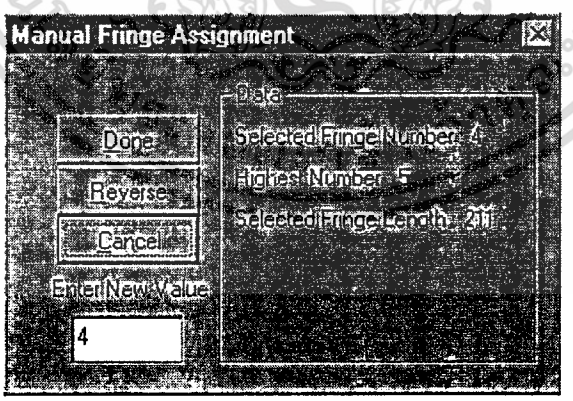
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากข้อผิดพลาดดังกล่าวจึงพิจารณาลักษณะของฟริ้งก์ที่ถูกต้อง โดยลักษณะของฟริ้งก์ที่ถูกต้องนั้น ฟริ้งก์ที่อยู่ติดกันจะต้องมีลำดับไม่ต่างกันเกิน 1 ลำดับ กล่าวคือ อาจจะเท่ากัน มากกว่า1ระดับ หรือน้อยกว่า1 ระดับก็ได้ จากหลักการดังกล่าวจึงนำมาสู่การจัดเรียงลำดับแบบใหม่ โดยการหาเส้นทางที่จะลากผ่านฟริ้งก์ทุกเส้นในภาพนั้น ๆ และกำหนดทิศทางเริ่มต้นเป็นแบบเพิ่มขึ้นจากนั้นเริ่มตรวจสอบไปตามเส้นทางนั้น ๆ โดยกำหนดระดับของฟริ้งก์ให้เป็นไปตามทิศทางนั้น ๆ เมื่อพบว่าเส้นทางนั้นผ่านฟริ้งก์ที่มีระดับเดียวกันแล้วก็ให้เปลี่ยนทิศทางจากแบบเพิ่มขึ้นเป็นแบบลดลง หรือจากแบบลดลงเป็นแบบเพิ่มขึ้น และถ้าค่าฟริ้งก์ต่ำสุดแล้วก็ให้เปลี่ยนทิศทางเป็นแบบเพิ่มขึ้น

หลังจากที่ทำการกำหนดระดับในเส้นฟริ้งก์โดยวิธีดังกล่าวแล้ว ก็ทำการตรวจสอบแถวทั้งหมดอีกครั้งหนึ่งเพื่อค้นหาว่ายังมีเส้นฟริ้งก์ที่ไม่ผ่านแนวเส้นที่พิจารณาหรือไม่ ถ้าพบว่ามีก็ต้องทำการกำหนดระดับให้เส้นนั้นโดยการพิจารณาจากเส้นอื่นๆที่กำหนดค่าแล้ว โดยพิจารณาทิศทางของเส้นที่กำหนดแล้วว่าเป็นไปในทางใด เพื่อใช้ตัดสินใจในการกำหนด เช่นถ้าระดับที่ผ่านมามีค่าดังนี้ 1 – 2 – 3 – 4 – X – 4 เพราะฉะนั้นค่า X ที่ไม่ทราบก็ควรจะเป็น 5

3.5.1.2 แบบผู้ใช้กำหนดเอง

สำหรับการศึกษาถึงความเป็นไปได้ในรูปแบบของพื้นผิวที่ฟริ้งก์รูปร่างต่าง ๆ แสดงออกมานั้น การที่ผู้ใช้สามารถกำหนดระดับของแต่ละฟริ้งก์ได้เองนั้น จะทำให้การศึกษาดังกล่าวสามารถทำได้สะดวกยิ่งขึ้นสำหรับการกำหนดนั้น ผู้จัดทำได้วางรูปแบบไว้ดังนี้คือ เมื่อกดเม้าซ์ปุ่มขวาที่ฟริ้งก์ที่ต้องการ ก็จะปรากฏไดอะล็อก สำหรับแก้ไข โดยที่ไดอะล็อกนั้นจะแสดงข้อมูลต่าง ๆ เช่น จุดนั้นเป็นฟริ้งก์ระดับที่เท่าไร และทั้งภาพนั้นมีฟริ้งก์ทั้งหมดกี่ระดับ เป็นต้น ผู้ใช้สามารถแก้ไขระดับของฟริ้งก์ที่เลือกได้ 3 แบบ คือ ไม่แก้(Cancel) สลับทั้งหมด (Reverse) และ แก้ตามที่ต้องการ



รูปที่ 3.26 แสดงไดอะล็อกสำหรับการแก้ไขโดยผู้ใช้

การสลับทั้งหมดคือการที่สลับค่าระดับของทุก ๆ จุด จากระดับสูงสุดเป็นต่ำสุด และจากระดับต่ำสุดเป็นสูงสุด ซึ่งสามารถแสดงได้ดังตัวอย่างต่อไปนี้

สมมุติว่าในภาพมีฟริ้งก์ที่มีระดับ 1 2 3 4 5 เมื่อทำการสลับจะได้ดังนี้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$1 \rightarrow 5$ $2 \rightarrow 4$ $3 \rightarrow 3$

$4 \rightarrow 2$ $5 \rightarrow 1$

การสลับทั้งหมดนั้นทำได้โดยการหาค่าของฟริ้งก์ที่มีระดับสูงสุด (สำหรับตัวอย่างก็คือ 5) จากนั้นก็บวกค่านั้นด้วย1จากนั้นก็นำค่านั้นมาตั้ง และนำค่าทุก ๆ จุดที่ไม่ใช่สีขาว (มีค่า 255) มาลบ ก็จะสลับระดับของฟริ้งก์ดังกล่าวได้ทั้งหมด

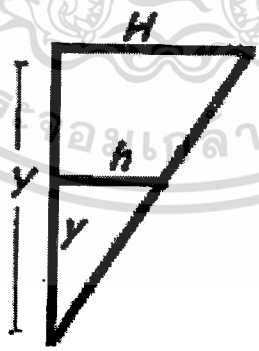
การแก้ตามที่ต้องการนั้น คือการกำหนดให้เส้นฟริ้งก์ที่ต่อเนื่องกับจุดที่ผู้ใช้เลือกนั้นเปลี่ยนค่าตามแต่ที่ผู้ใช้จะกำหนด มีหลักการทำงานคือ นำค่า 100 บวกกับค่าของจุดที่ผู้ใช้เลือก จากนั้นทำการหาว่ามีจุดใดบ้างที่ไม่ใช่สีขาว และ ติดอยู่กับเส้น ๆ นี้ ก็ให้ทำการเปลี่ยนค่าของจุดนั้น ๆ ให้เท่ากับค่าที่เกิดจากการนำ 100 มาบวกกับค่าจุดที่เลือก ทำไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งไม่มีจุดใดติดกับจุดที่มีค่าดังกล่าว จากนั้นก็ทำการเปลี่ยนค่าทุก ๆ จุดที่มีค่าดังกล่าวให้เป็นค่าใหม่ตามที่ผู้ใช้กำหนด การที่ต้องทำเช่นนี้ เพื่อให้สามารถเลือกเปลี่ยนแค่เส้นใดก็ได้อย่างเป็นอิสระ ไม่มีปัญหาที่มีฟริ้งก์สองเส้นที่ไม่ใช่เส้นเดียวกัน แต่มีระดับเดียวกัน

3.5.2 การเตรียมพร้อมสำหรับการวาดลักษณะของพื้นผิว

จากการกำหนดค่าระดับของแต่ละเส้นฟริ้งก์ ในข้อ 3.5.1 ทำให้สามารถวาดเส้นแสดงลักษณะพื้นผิวที่สัมพันธ์กับค่าระดับนั้นได้โดยง่าย การวาดลักษณะพื้นผิวมีด้วยกัน 5 ขั้นตอนคือ

1. กำหนดค่าระดับความสูงของแต่ละฟริ้งก์ โดยการคูณค่าคงที่เข้ากับทุกฟริ้งก์ เช่นถ้ากำหนดว่าแต่ละเส้นฟริ้งก์จะมีค่าระดับต่างกัน 20 ก็นำค่า 20 มาคูณ ตัวอย่างเช่น ค่าระดับของฟริ้งก์จาก 1 ,2 ,3 ,4 ก็จะเป็นเป็น 20 ,40 ,60 ,80 ตามลำดับ

2. การกำหนดค่าระดับตามแนวตั้ง โดยพิจารณาแนวเส้นที่ลากจากฟริ้งก์เส้นหนึ่ง ไปยังอีกเส้นหนึ่งที่มีค่าระดับต่างกันในแนวตั้ง คำนวณค่าความสูงของแต่ละจุดของเส้นที่พิจารณาดังกล่าว แล้วบันทึกเก็บไว้ การคำนวณค่าความสูงดังกล่าวสามารถพิจารณาได้โดยอาศัยความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้ายตามรูปที่ 3.27



รูปที่ 3.27 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ความสูงและความกว้าง

ระดับความสูง h สามารถคำนวณได้จากความสัมพันธ์ของรูปสามเหลี่ยมคล้าย ดังสมการ 3.11

$$h = H * \frac{y}{Y}$$

สมการที่ 3.11 แสดงความสัมพันธ์ของสามเหลี่ยมคล้ายเพื่อคำนวณค่าระดับความสูง

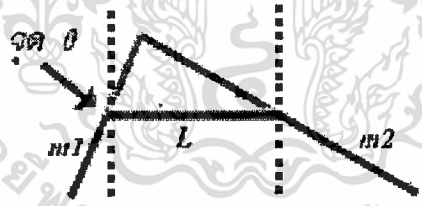
ทำการพิจารณาแนวเส้นตามแนวตั้งดังกล่าวจากซ้ายไปขวาโดยข้ามทีละ 5 พิกเซล ทั้งนี้เพื่อสะดวกในการทำรูปโครงตาข่ายในขั้นตอนหลังต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. หลังจากกำหนดค่าความสูงในแนวเส้นตามแนวตั้งเสร็จแล้ว ก็ทำการกำหนดระดับในแนวเส้นตามแนวนอน โดยพิจารณาแนวเส้นที่ลากจากซ้ายไปขวา โดยที่พิจารณาเส้นแนวนอนดังกล่าวจากล่างขึ้นบน โดยข้ามทีละ 5 พิกเซลเพื่อความสะดวกในการทำรูปโครงตาข่ายในขั้นตอนหลังต่อไป และลากผ่านฟริ้งก์เส้นหนึ่งไปยังอีกเส้นหนึ่ง ในกรณีที่แนวเส้นตามแนวนอนดังกล่าวลากผ่านฟริ้งก์ที่มีระดับต่างกัน ก็ใช้วิธีการคำนวณแบบสามเหลี่ยมคล้ายเหมือนดังข้อที่ 1. แต่ว่าทั้งนี้ถ้าหากแนวเส้นดังกล่าวลากตัดผ่านแนวเส้นแนวตั้งที่ได้คำนวณไว้แล้วจากข้อ 2. ก็ให้คำนวณโดยพิจารณาแนวเส้นแนวตั้งนั้น เป็นฟริ้งก์อีกเส้นหนึ่ง เมื่อทำดังนี้แล้วจะได้ค่าระดับที่มีความโค้งเป็นธรรมชาติมากขึ้น

4. จากข้อ 2. ถ้าหากแนวเส้นตามแนวนอนนั้นลากผ่านฟริ้งก์ที่มีค่าระดับเท่ากันแล้วนั้น ถ้าแนวเส้นตามแนวนอนดังกล่าวลากผ่านแนวเส้นแนวตั้งที่คำนวณไว้ในข้อที่ 2. ก็ให้พิจารณาว่าแนวเส้นแนวตั้งนั้นเป็นเส้นฟริ้งก์ (เช่นเดียวกับในข้อ 2.) แต่ถ้าไม่ผ่านแนวฟริ้งก์แนวตั้งเลย ก็ให้พิจารณาแบบพิเศษ โดยการพิจารณาความชัน (Slope) ของเส้นทางด้านซ้าย และความชันของเส้นทางด้านขวา แล้วนำค่าความชันดังกล่าวมาทำการคำนวณหาค่าจุดตัดของเส้นที่มีความชันทั้ง 2 เส้นนั้น แล้วคำนวณค่าระดับความสูงโดยยึดจุดตัดนั้นเป็นสำคัญ แต่ว่าทั้งนี้ต้องพิจารณาว่า ถ้าจุดตัดนั้นมีค่าระดับความสูงมากกว่าค่าระดับที่ฟริ้งก์ 2 เส้น ห่างจากกัน (จากข้อ 1.) ก็ให้พิจารณาว่าตัดกันที่ค่าระยะห่างเดิมแต่ความสูงเท่ากับค่าระดับที่ฟริ้งก์ 2 เส้นห่างจากกัน ตัวอย่างเช่น ในกรณีที่ค่าระดับของฟริ้งก์ 2 เส้นห่างกันเท่ากับ 20 จากการคำนวณหาจุดตัดพบว่าตัดกันที่ความสูง 25 และระยะห่างจากเส้นฟริ้งก์ทางซ้ายมือเท่ากับ 10 ก็จะถูกเปลี่ยนเป็น ตัดกันที่ความสูง 20 และระยะห่างจากเส้นฟริ้งก์ทางซ้ายมือเท่ากับ 10

การคำนวณหาจุดตัดพิจารณาดังต่อไปนี้



ถ้าให้จุดตัดในแกน X ของฟริ้งก์ทางซ้ายมือมีค่าเป็น 0 และมีค่าระดับความสูงเท่ากับ 0

m1 คือความชันของเส้นทางซ้ายมือ

m2 คือความชันของเส้นทางขวามือ

L คือระยะห่างของจุดตัดฟริ้งก์ทางซ้ายและทางขวา

จุดตัดห่างจากจุด 0 ไปทางแกน X $= \dfrac{m2 * L}{(m2 - m1)}$

จุดตัดทางความสูง $= \dfrac{m1 * m2 * L}{(m2 - m1)}$

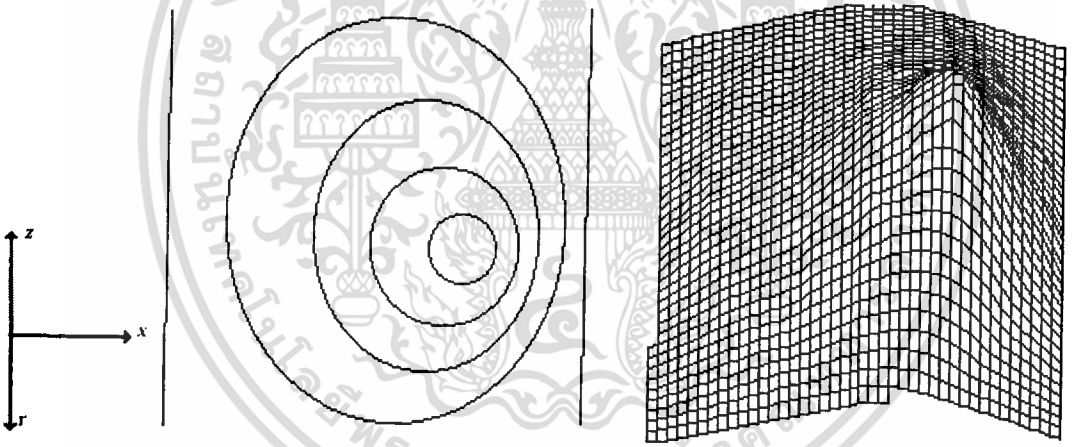
แต่ทั้งนี้ต้องไม่ลืมว่าเป็นการคำนวณโดยยึดหลักว่าจุดตัดในแกน X ของฟริ้งก์ทางซ้ายมือนั้นมีค่าเป็น 0 และมีค่าระดับความสูงเป็น 0 ด้วย ดังนั้นเมื่อคำนวณเสร็จแล้วจึงต้องนำค่าความสูงของจุดทางซ้ายมือมาบวกเพิ่มให้กับค่าจุดตัดทางความสูง และนำค่าจุดตัดในแกน X ของฟริ้งก์ทางซ้ายมือจริงมาบวกเพิ่มกับค่าจุดตัดในแกน X ด้วยจึงจะเป็นค่าที่ถูกต้อง

สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. พิจารณาแนวเส้นในแนวตั้งซึ่งลากจากฟริ้งก์ที่มีค่าระดับเท่ากัน ในข้อที่ 2. นั้นเป็นการพิจารณาเส้นในแนวตั้งที่ลากเชื่อมฟริ้งก์ทีมีค่าระดับต่างกัน ในกรณีที่ลากเส้นที่มีระดับเท่ากันนั้นก็ใช้วิธีการพิจารณาเส้นในแนวนอนที่คำนวณไว้แล้วในข้อ 4. เสมือนเป็นแนวฟริ้งก์ นั่นเอง

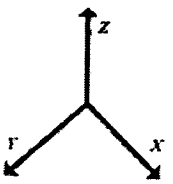
3.5.3 การวาดโครงร่างตาข่ายแสดงลักษณะของพื้นผิว

หลังจากทำขั้นตอนในข้อที่ 3.5.2 เรียบร้อยแล้ว เราจะมีข้อมูลค่าระดับความสูงของแต่ละจุดที่ต้องการสำหรับการวาดภาพพื้นผิวเป็นที่เรียบร้อยแล้ว ลักษณะของข้อมูลจะอยู่ในรูปแบบที่พิกัด (X,Y) จะมีค่าระดับความสูงค่าหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาวาดภาพง่ายๆ ได้โดยการพิจารณาจุดล่างซ้ายไปทางขวา โดยข้ามทีละ 5 พิกเซล และเมื่อหมดหนึ่งแถวแล้วก็ให้ไปพิจารณาแถวที่เหนือขึ้นไปอีก 5 แถว เมื่อตรวจพบว่าจุดใด มีค่าระดับความสูง (จากที่คำนวณไว้ในข้อ 3.5.2) ก็ให้พิจารณาจุดที่ไปทางขวาที่ห่างไปอีก 5 พิกเซลว่ามีค่าระดับความสูงหรือไม่ถ้ามี ก็ให้ลากเส้นจากพิกัด X,Y เดิมโดยเพิ่มค่า Y เท่ากับค่าระดับความสูงของจุดนั้น ลากไปยังจุด X+5 และ ค่า Y ก็เพิ่มค่าเท่ากับค่าระดับความสูงของจุดนั้นๆ เช่นกัน จากนั้นก็พิจารณาว่าจุดที่เหนือไปทางด้านบนอีก 5 พิกเซลนั้นมีค่าความสูงหรือไม่ ถ้ามีก็ให้ทำการลากเส้นในลักษณะเดิมเช่นเดียวกัน ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งครบทั้งภาพก็จะได้ภาพโครงร่างตาข่ายแสดงพื้นผิวแบบง่าย ๆ ดังรูปที่ 3.28



รูปที่ 3.28 แสดงการวาดลักษณะโครงตาข่ายแบบง่าย ๆ

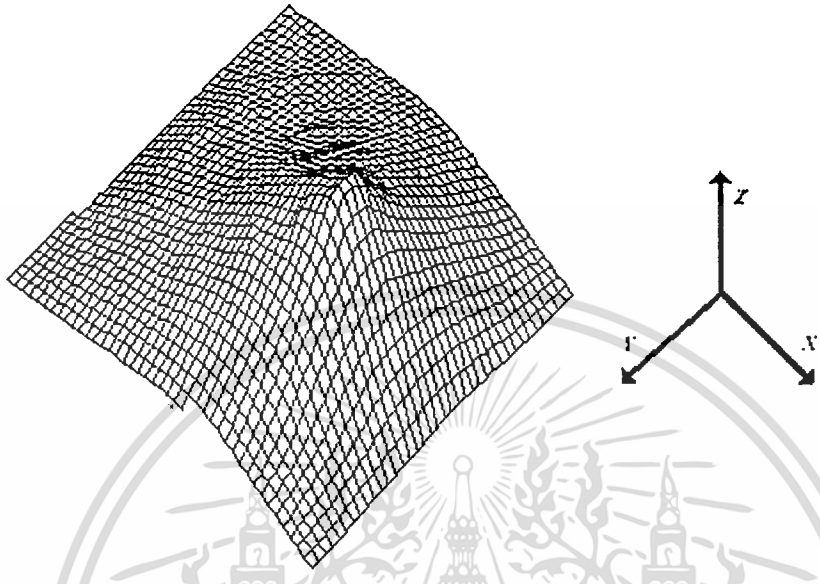
จากรูปที่ 3.28 จะพบว่าเป็นการวาดภาพที่แกนทั้ง 3 แกน (X Y Z) นั้นอยู่ในลักษณะที่ไม่นิยม ทำให้การสังเกตลักษณะของพื้นผิวในบางลักษณะ จะไม่ดีเท่าที่ควรจึงเปลี่ยนรูปใหม่เป็นแบบที่แกนทำมุมกันเปลี่ยนไปเป็นดังในรูปที่ 3.29



รูปที่ 3.29 การเปลี่ยนแกนเป็นรูปใหม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การเปลี่ยนแกนให้เป็นไปดังรูปที่ 3.29 นั้นทำได้การหมุนระนาบ X Y ไปตามเข็มนาฬิกา 45 องศาจากนั้นก็ใช้วิธีการวาดธรรมดาเพียงแต่จุด X Y นั้นต้องเป็นค่าจุดที่ถูกหมุนไปแล้ว สำหรับการหมุนจุดนั้นทำได้โดยการพิจารณาจุด X ใหม่ และ Y ใหม่ เป็นไปตามสมการที่ 3.8 โดยแทนค่าของมุมด้วย 45 องศาเท่านั้นเอง



รูปที่ 3.30 แสดงการวาดโครงร่างตาข่ายโดยที่เปลี่ยนมุมของแกน

3.5.4 การหมุนภาพใน 3 มิติ เพื่อสังเกตลักษณะของพื้นผิวในทุกด้าน

สำหรับการหมุนภาพใน 3 มิตินั้นทำได้ใน 3 ลักษณะคือ หมุนตามแกน X หมุนตามแกน Y และหมุนตามแกน Z การหมุนตามแกนใดนั้นหมายถึงว่าเป็นการหมุนโดยที่ระนาบของการหมุนนั้นตั้งฉากกับแกนนั้นๆ เมื่อพิจารณาการหมุนตามแกน X นั้นค่าโคออดิเนต ของ X (X-Coordinates) จะคงที่ เมื่อพิจารณาการหมุนตามแกน Y นั้นค่าโคออดิเนต ของ Y (Y-Coordinates) จะคงที่ และเมื่อพิจารณาการหมุนตามแกน Z นั้นค่าโคออ-ดิเนต ของ Z (Z-Coordinates) จะคงที่ สำหรับการหมุนตามแกน X ค่า Y และ Z จะเปลี่ยนไปตามสมการที่ 3.12 ก. การหมุนตามแกน Y ค่า X และ Z จะเปลี่ยนไปตามสมการที่ 3.12 ข. การหมุนตามแกน Z ค่า X และ Y จะเปลี่ยนไปตามสมการที่ 3.12 ค.

$$\begin{bmatrix} y' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta \\ -\sin\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y \\ z \end{bmatrix}$$

สมการที่ 3.12 ก. แสดงเมตริกสำหรับการหมุนตามแกน X ไป θ องศา

$$\begin{bmatrix} x' \\ z' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\phi & -\sin\phi \\ \sin\phi & \cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ z \end{bmatrix}$$

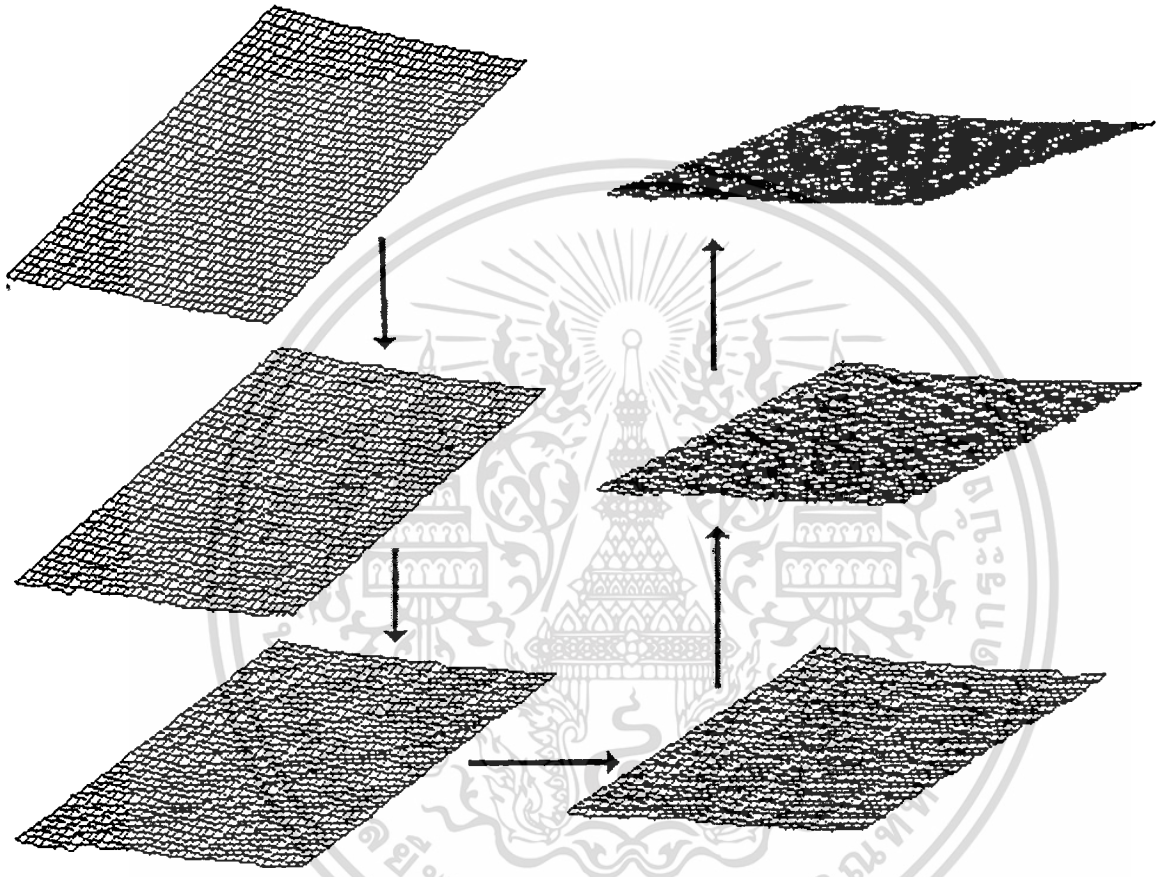
สมการที่ 3.12 ข. แสดงเมตริกสำหรับการหมุนตามแกน Y ไป ϕ องศา

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\varphi & \sin\varphi \\ -\sin\varphi & \cos\varphi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix}$$

สมการที่ 3.12 ค. แสดงเมตริกสำหรับการหมุนตามแกน Y ไป ψ องศา

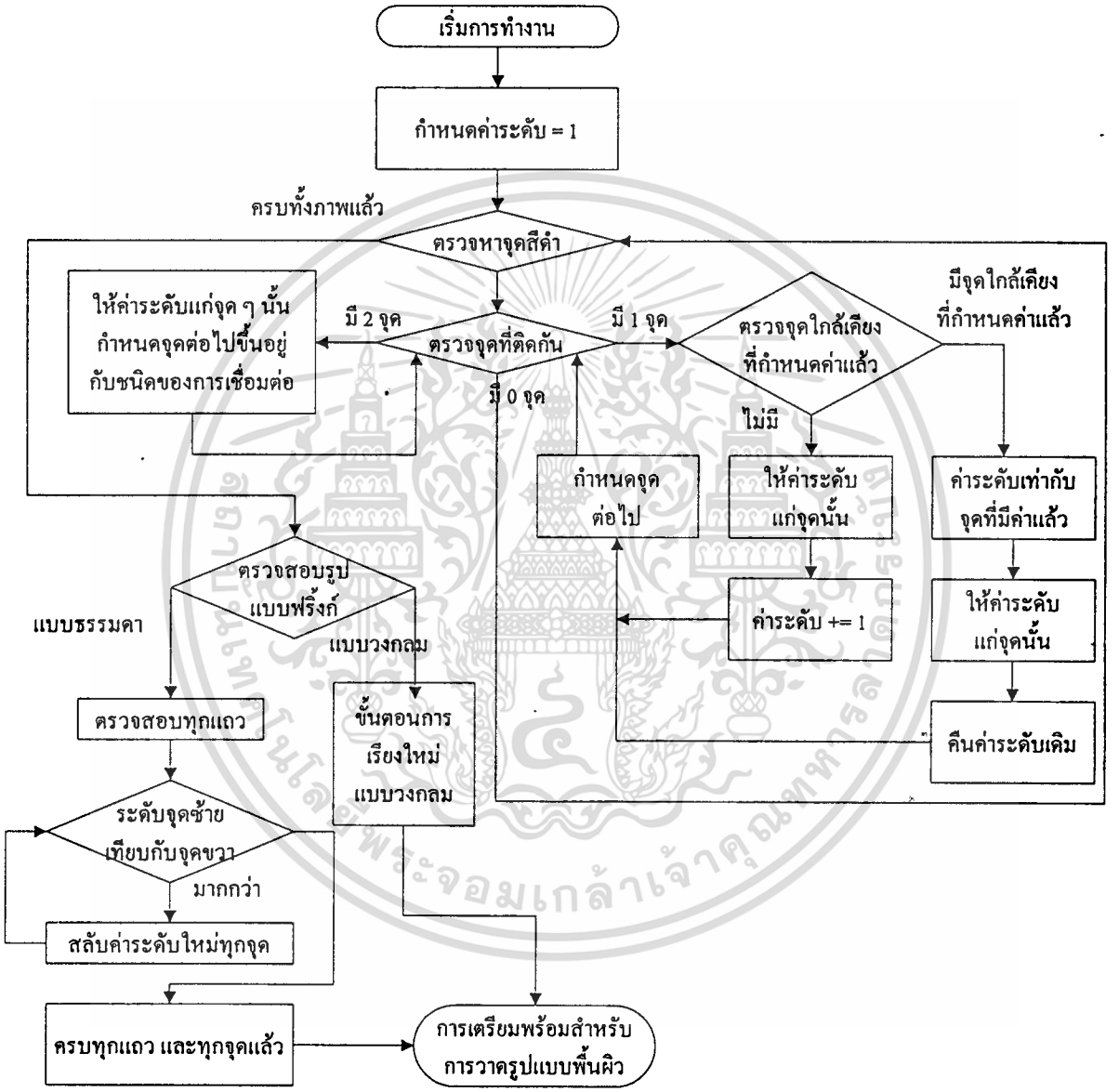
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ในสมการที่ 3.12 นั้นเป็นการหมุนรอบจุดศูนย์กลางดังนั้นจึงต้องกำหนดให้จุดกลางของภาพมีค่าตำแหน่งเป็น (0,0) เช่นภาพขนาด 256*256 นั้นจุด (0,0) คือจุด (127.5,127.5) นั่นเอง สำหรับการหมุนพร้อมกันหลายๆแกน นั้นก็คือการหมุนทีละแกน ไปทุกๆแกนนั่นเอง เช่น การหมุนตามแกน X 30 องศา และแกนY 70 องศาก็ทำได้ โดยการหมุนไปตามแกน X ก่อน 30 องศา แล้วจึงค่อยหมุนตามแกน Y อีก 70 องศา ทั้งนี้เราอาจจะหมุนตามแก่น Y ก่อนแล้วค่อยหมุนตามแกน X ก็จะได้ผลที่เหมือนกัน



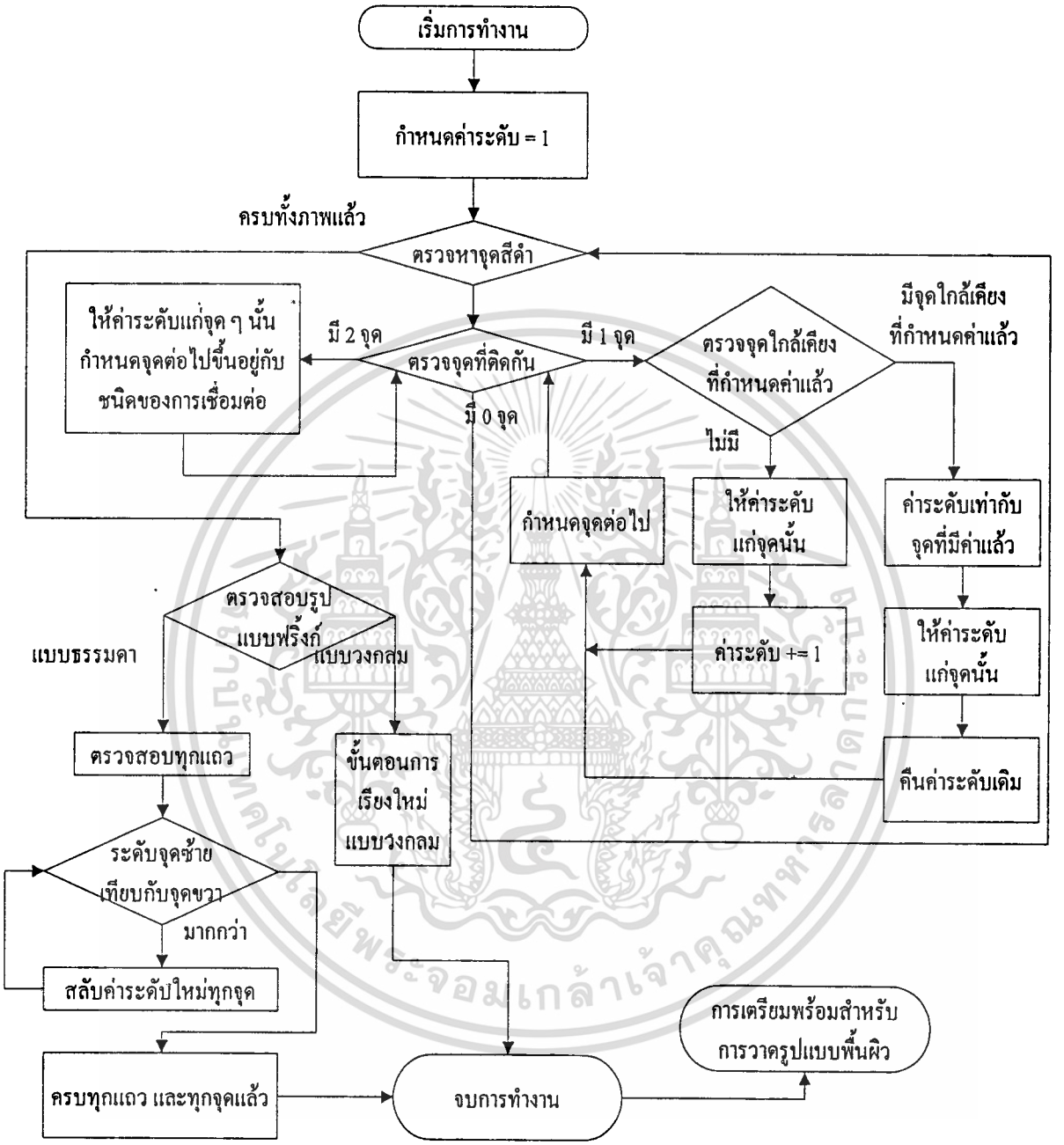
รูปที่ 3.31 แสดงการหมุนของภาพ 3 มิติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



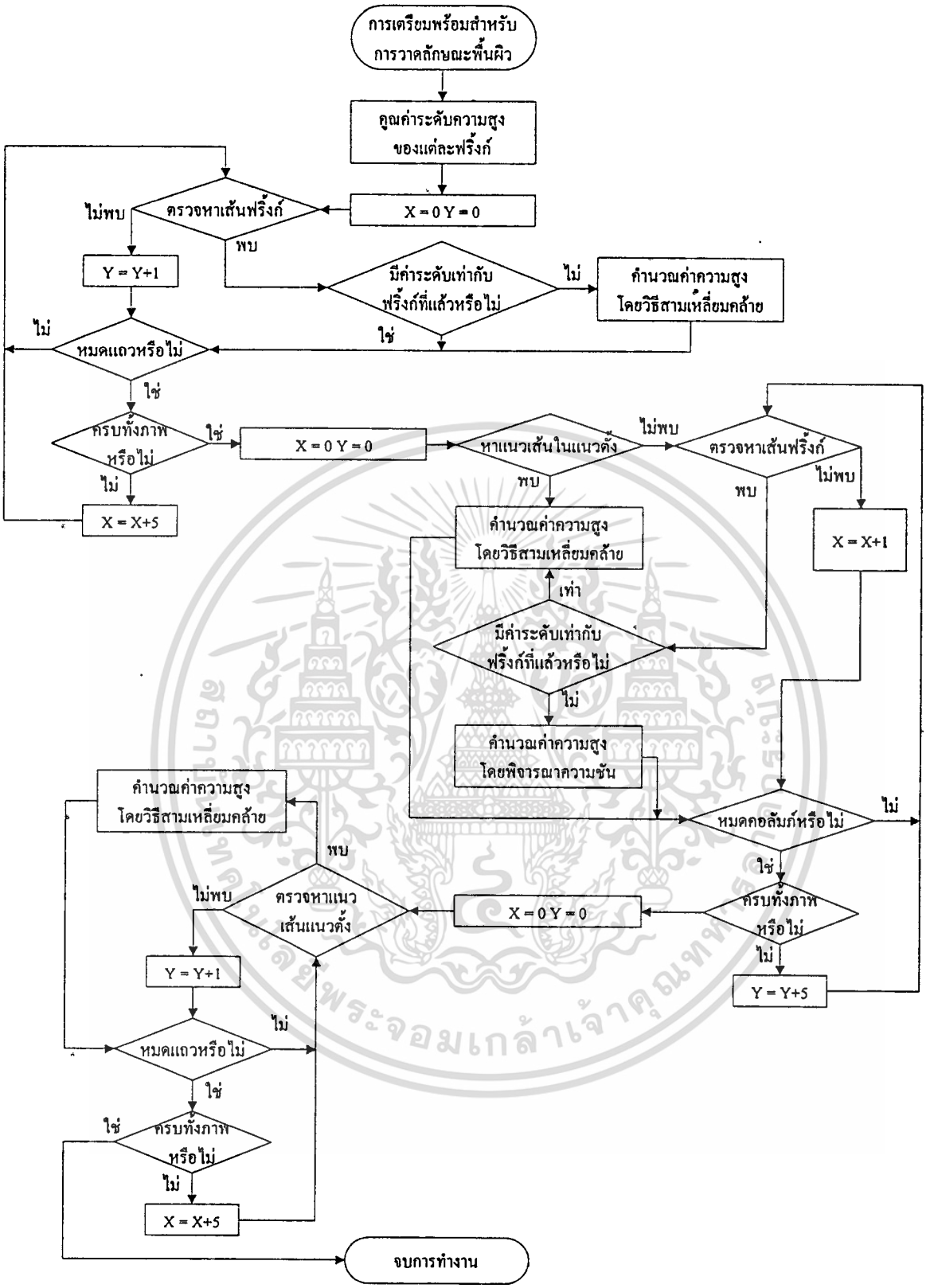
รูปที่ 3.32 Flowchart แสดงขั้นตอนการเรียงใหม่แบบวงกลม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.33 Flowchart แสดงขั้นตอนการกำหนดค่าระดับของแต่ละฟริ้งก์

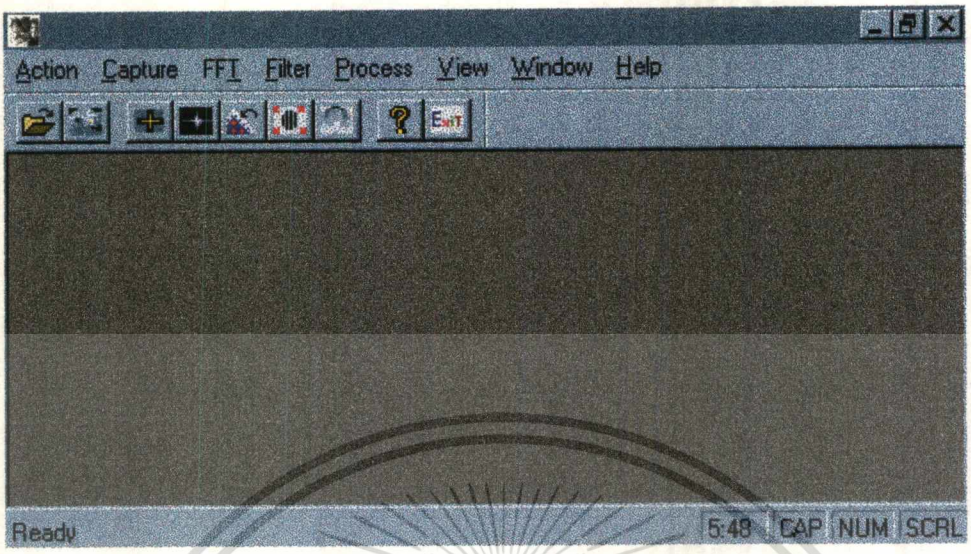
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.34 Flowchart แสดงขั้นตอนการเตรียมพร้อมสำหรับการวาดพื้นผิว

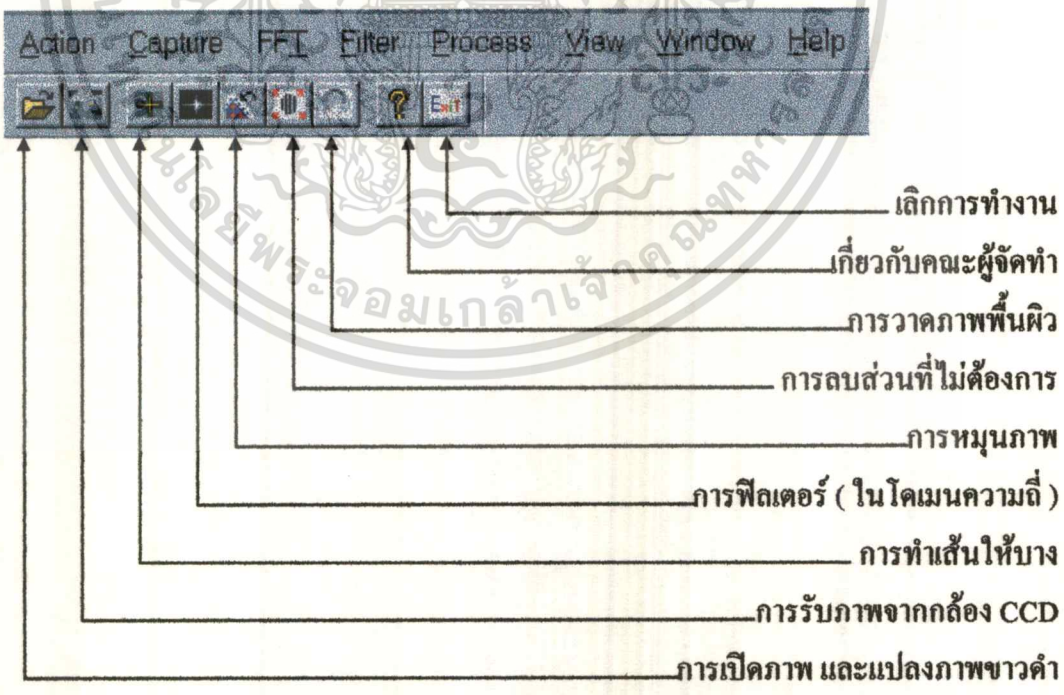
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6 ส่วนแสดงผลของโปรแกรม



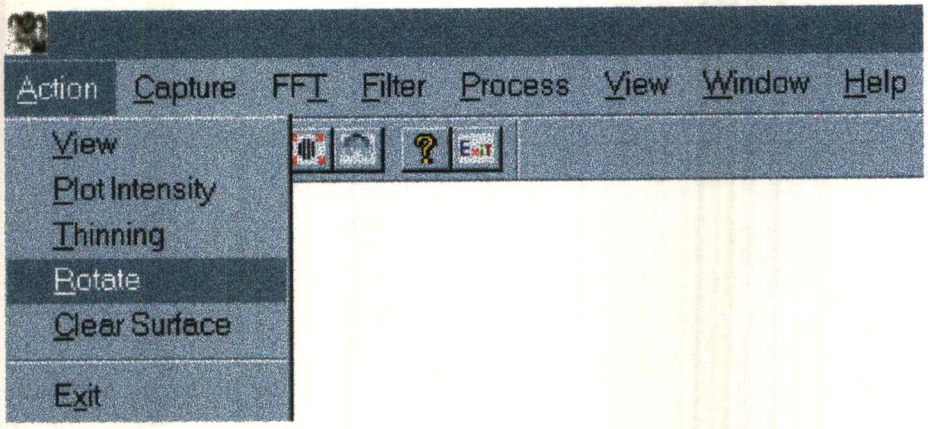
รูปที่ 3.35 แสดงลักษณะของโปรแกรมเมื่อเริ่มต้นทำงาน

เมื่อเริ่มต้นทำงาน โปรแกรมจะประกอบด้วย คำสั่ง (Menu) และ ภาพแทนคำสั่ง (Toolbar) ทางด้านล่างจะมีแถบแสดงสถานะการทำงานต่าง ๆ (Status Bar)



รูปที่ 3.36 แสดงลักษณะ MENU และ TOOLBAR ของโปรแกรม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.37 แสดงการเลือกคำสั่ง Action

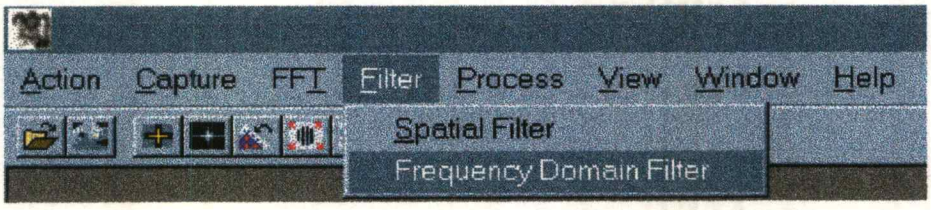
เมื่อเลือกคำสั่ง Action จะมีคำสั่งย่อยให้เลือกคือ

1. View ใช้สำหรับเปิดแฟ้มรูปภาพ (แบบ Bitmap)
2. Plot Intensity ใช้สำหรับขั้นตอนการวาดลักษณะความเข้มแสงของภาพ
3. Thinning ใช้สำหรับขั้นตอนการทำเส้นหนาให้บางขนาด 1 พิกเซล
4. Rotation ใช้สำหรับขั้นตอนการหมุนภาพ
5. Clear Surface ใช้สำหรับขั้นตอนการลบพื้นผิวที่ไม่ต้องการ

รูปที่ 3.38 แสดงการเลือกคำสั่ง Capture

เมื่อเลือกคำสั่ง Capture จะมีคำสั่งย่อยให้เลือกคือ

1. Open CCD ใช้สำหรับสั่งให้เริ่มต้นรับภาพจากกล้อง CCD และแสดงภาพนั้นทางจอภาพ
2. Set Capture Filename ใช้สำหรับกำหนดชื่อแฟ้มข้อมูลสำหรับเก็บภาพจากกล้อง CCD
3. Capture Frame ใช้สำหรับสั่งให้ทำการเก็บภาพที่ปรากฏนั้นลงแฟ้มข้อมูล



รูปที่ 3.39 แสดงการเลือกคำสั่ง Filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อเลือกคำสั่ง Filter จะมีคำสั่งย่อยให้เลือกคือ

1. Spatial Filter ใช้สำหรับการเลือกฟิลเตอร์รูปภาพในสเปเชียลโดเมน
2. Frequency Domain Filter ใช้สำหรับการเลือกฟิลเตอร์รูปภาพในโดเมนความถี่

รูปที่ 3.40 แสดงการเลือกคำสั่ง Process

เมื่อเลือกคำสั่ง Process จะมีคำสั่งย่อยให้เลือกคือ

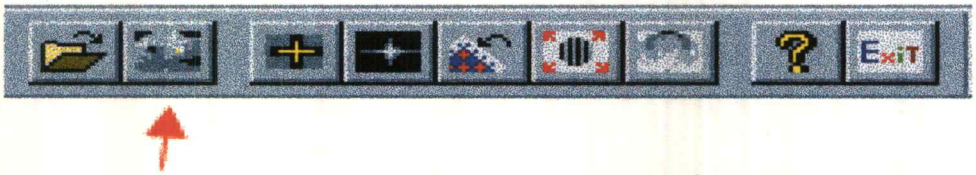
1. Fringe Analysis ใช้สำหรับการประมวลผลและสร้างภาพพื้นผิวของฟริ้งก์
2. Option เป็นการเลือกรูปแบบการใช้งานของโปรแกรม คือ
   2.1 Auto File Mode เป็นการกำหนดให้เป็นการทำงานแบบต่อเนื่อง
   2.2 Manual File Mode เป็นการกำหนดให้เป็นแบบแยกแฟ้มข้อมูล

สำหรับเมนูที่ไม่ได้กล่าวถึงนั้นเป็นชุดคำสั่งที่ไม่จำเป็นสำหรับงาน เช่น FFT เป็นกลุ่มคำสั่งที่สร้างขึ้นมาเพื่อศึกษาการแปลงฟูเรียร์ทรานส์ฟอร์มของภาพ 2 มิติ , View ใช้สำหรับเลือกให้แสดงแถบเครื่องมือ และแถบแสดงสถานะ หรือไม่ เป็นต้น

การใช้งานโปรแกรม

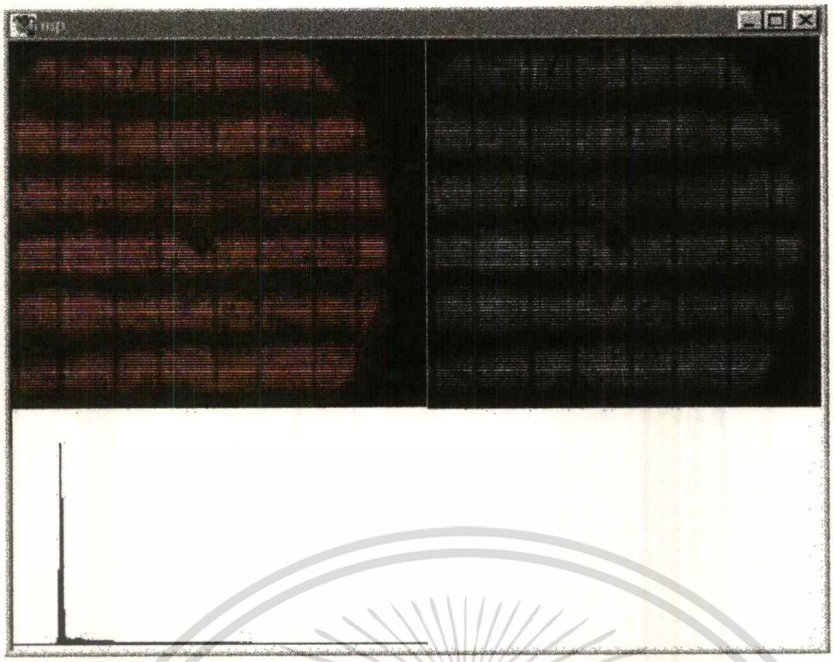
3.6.1 การรับภาพจากกล้อง CCD และการบันทึกภาพ

การรับภาพจากกล้อง CCD ทำได้โดยเลือก Menu - Capture -> Open CCD หรือ กดแถบเครื่องมือรูปกล้อง CCD



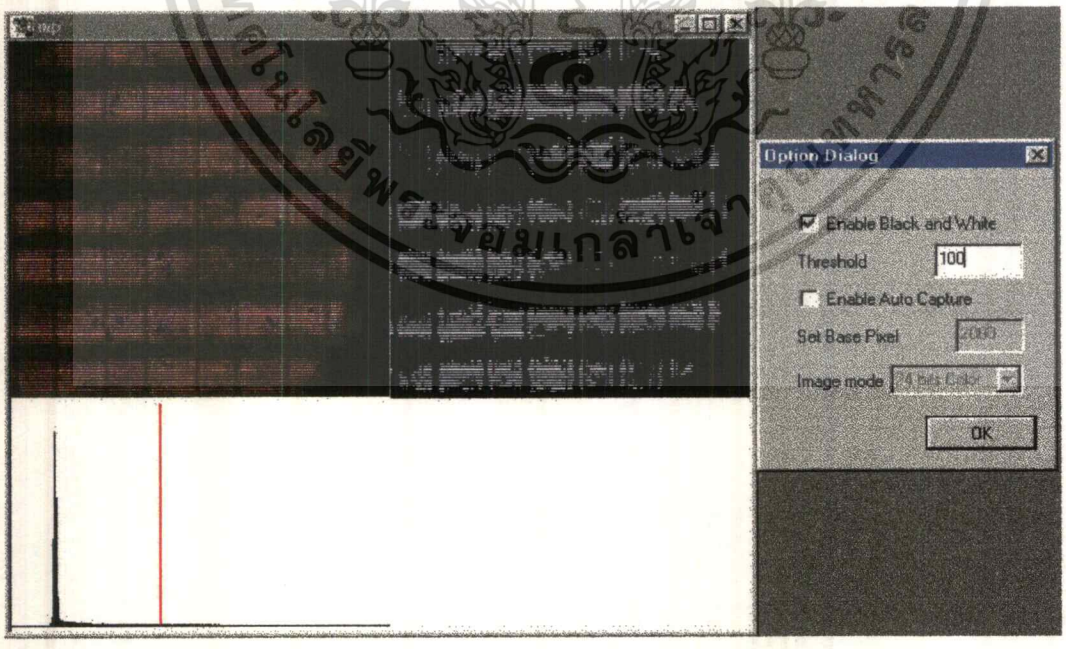
เมื่อภาพจากกล้อง CCD มาแสดงบนจอภาพแล้ว หากต้องการบันทึกภาพนั้นทำได้โดยเลือก Menu - Capture -> Set Capture Filename ไฟล์ไดอะล็อกจะถูกเปิดขึ้นมาเพื่อให้ผู้ใช้เลือกกำหนดชื่อไฟล์สำหรับบันทึกภาพนั้น เมื่อทำการกำหนดชื่อไฟล์แล้วก็เลือก Menu - Capture -> Capture Frame ภาพที่แสดงบนหน้าจอขณะนั้นจะถูกหยุดไว้และแสดงไดอะล็อกสำหรับถามผู้ใช้ว่าต้องการเก็บภาพนั้นไว้หรือไม่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.41 แสดงภาพที่ได้จากกล้อง CCD

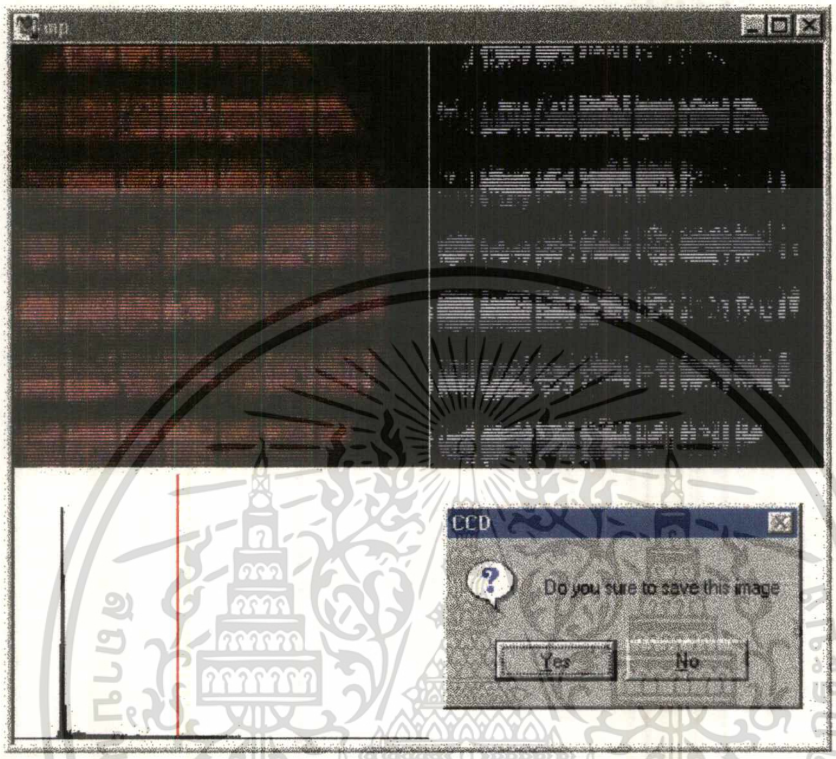
ภาพที่แสดงจะประกอบด้วยภาพสีที่มาจากกล้อง CCD โดยตรง , ภาพขาวดำ (Grayscale) และภาพฮิสโทแกรมของภาพขาวดำนั้น นอกจากนี้ยังสามารถเปลี่ยนการมองภาพขาวดำ (Grayscale) เป็นการมองภาพขาวดำ 2 ระดับ ได้โดยการกดปุ่มขวาของเม้าท์ แล้วทำการเลือก Enable Black and White และทำการกำหนดค่าจุดเปลี่ยน (Threshold)



รูปที่ 3.42 แสดงวิธีการมองภาพขาวดำ 2 ระดับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

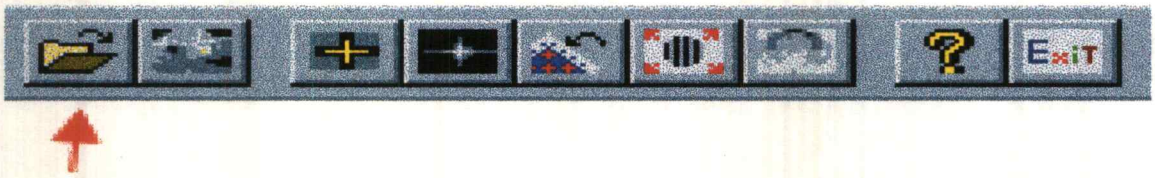
สำหรับการบันทึกภาพอัตโนมัติ (Auto Capture) นั้นสามารถทำได้โดยการเลือก Enable Auto Capture และกำหนดจำนวนจุดน้อยที่สุดที่จะทำการบันทึกภาพ นอกจากนี้ยังสามารถเลือกได้ว่าจะเก็บภาพเป็นแบบสีหรือภาพขาวดำ ก่อนจะทำการบันทึกภาพอัตโนมัติจะแสดงไดอะล็อกสำหรับถามผู้ใช้ว่าต้องการเก็บภาพที่ได้นั้นหรือไม่ เช่นเดียวกับการบันทึกภาพโดยปรกติ



รูปที่ 3.43 แสดงขั้นตอนก่อนการบันทึกภาพ

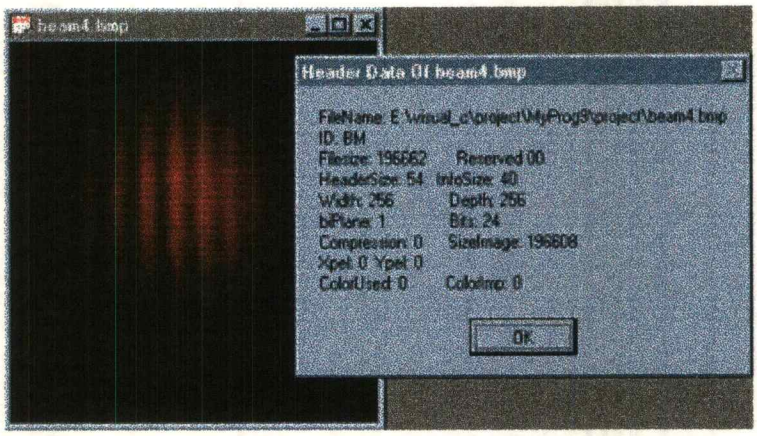
3.6.2 การเปิดภาพ และแปลงภาพเป็นภาพขาวดำ Grayscale

การเปิดภาพสามารถทำได้โดยการเลือก Menu - Action -> View หรือ FFT -> Open Image สำหรับแบบแรกนั้นเป็นการเปิดในรูปแบบไดอะล็อกโดยใช้ ActiveX สามารถขยายและลดขนาดภาพได้ตามที่ต้องการ สำหรับแบบหลังนั้นเป็นการเปิดในรูปแบบ MDI (Multiple Document Interface) โดยใช้ CDib Class จึงสามารถเปิดได้หลายๆ ภาพในเวลาเดียวกัน สำหรับการเปิดแบบ MDI นั้นสามารถเลือกโดยการกดแถบเครื่องมือรูปเปิดแฟ้ม



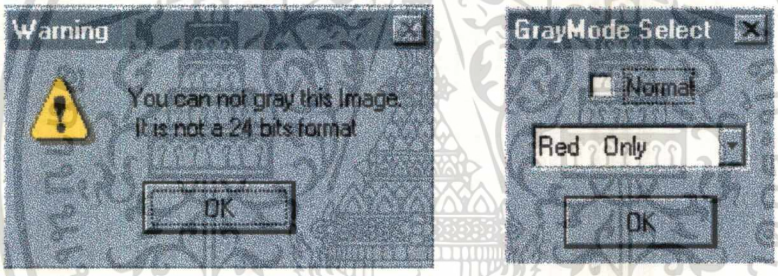
เมื่อเปิดภาพขึ้นมาแล้วทำการกดปุ่มเม้าท์ขวามือ จะแสดงส่วนหัวของภาพที่ถูกเปิดขึ้นมานั้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.44 แสดงการเปิดภาพ และการแสดงส่วนหัวของภาพ

สำหรับการแปลงภาพสีเป็น Grayscale นั้นทำได้โดยการกดปุ่มซ้ายของเม้าท์ 2 ครั้ง (Double Click) ที่ภาพที่ต้องการแปลงนั้น หากภาพนั้นไม่สามารถแปลงได้ (เช่นเป็นภาพขาวดำอยู่แล้ว) จะแสดงไดอะล็อกเตือน หากภาพนั้นสามารถแปลงได้จะแสดงไดอะล็อกสำหรับเลือกชนิดการแปลง



รูปที่ 3.45 แสดงภาพไดอะล็อกเตือน และไดอะล็อกสำหรับเลือกชนิดการแปลง

สำหรับการบันทึกภาพที่ถูกแปลงแล้วทำได้โดยการกดปุ่มขวาของเม้าท์จะปรากฏไฟล์ไดอะล็อก ทำการเลือกชื่อแฟ้มข้อมูลที่ต้องการทำการบันทึก กด Save ก็เป็นอันเสร็จสิ้นการบันทึก

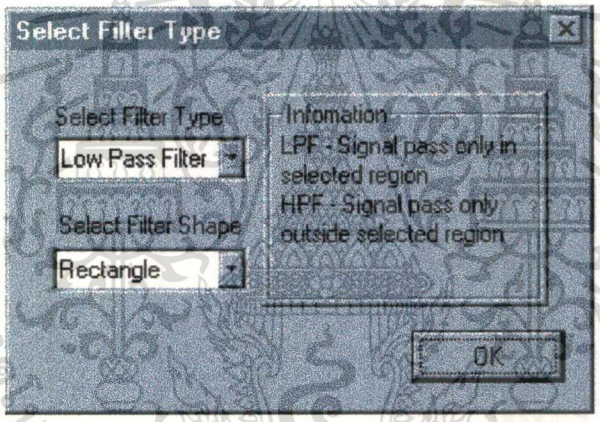
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.3 การทำฟิลเตอร์ภาพ 2 มิติ

3.6.3.1 การทำฟิลเตอร์ในสเปเชียลโดเมน ทำได้โดยการเลือก Menu - Filter -> Spatial Domain จะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับเลือกไฟล์ที่จะทำการฟิลเตอร์ จากนั้นก็จะทำการฟิลเตอร์และแสดงภาพที่ฟิลเตอร์แล้ว

3.6.3.2 การทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่ ทำได้โดยการเลือก Menu - Filter -> Frequency Domain Filter หรือเลือกโดยการกดแถบเครื่องมือ

เมื่อเลือกเมนูดังกล่าวแล้วจะปรากฏไดอะล็อกสำหรับเลือกชนิดและรูปร่างของฟิลเตอร์

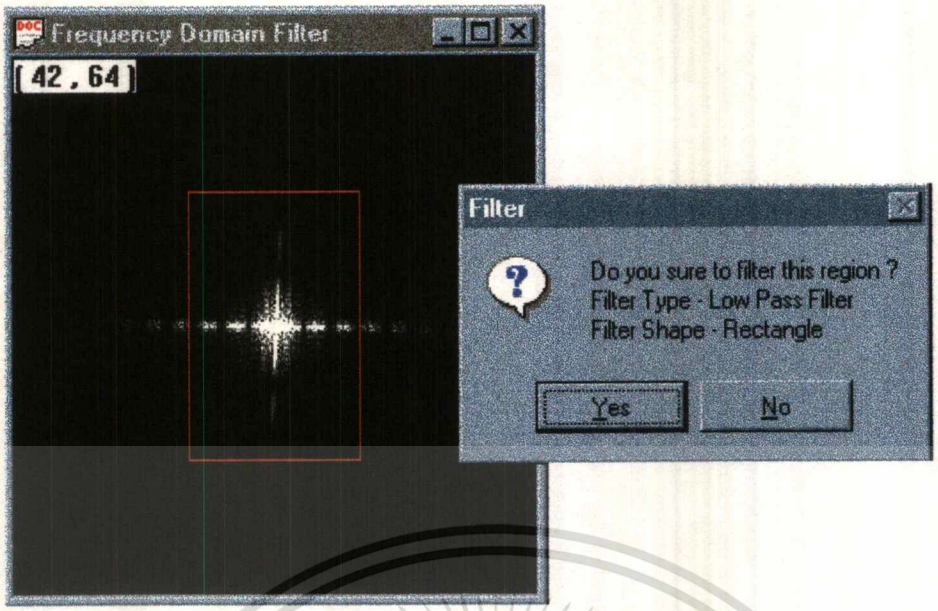


รูปที่ 3.46 แสดงภาพไดอะล็อกสำหรับเลือกชนิดของฟิลเตอร์

หลังจากเลือกชนิดของฟิลเตอร์แล้วจะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับเลือกไฟล์ที่จะนำมาทำฟิลเตอร์ หลังจากที่เลือกไฟล์แล้ว จะทำการแปลง FFT ภาพและแสดงลักษณะสเปกตรัมของภาพนั้น กดปุ่มซ้ายของเม้าท์ค้างไว้ และเคลื่อนที่เม้าท์เพื่อกำหนดของเขตของการฟิลเตอร์ หลังจากที่กำหนดพื้นที่ดังกล่าวเสร็จเรียบร้อยแล้วจึงกดเม้าท์ปุ่มขวา จะปรากฏไดอะล็อกเพื่อถามว่าต้องการจะฟิลเตอร์ขอบเขตนั้นหรือไม่

หลังจากที่ได้กำหนดบริเวณสำหรับการฟิลเตอร์แล้ว สเปกตรัมจะถูกฟิลเตอร์ และแปลงฟูเรียร์ผกผันกลับไปเป็นภาพในสเปเชียลโดเมน ดังเดิม

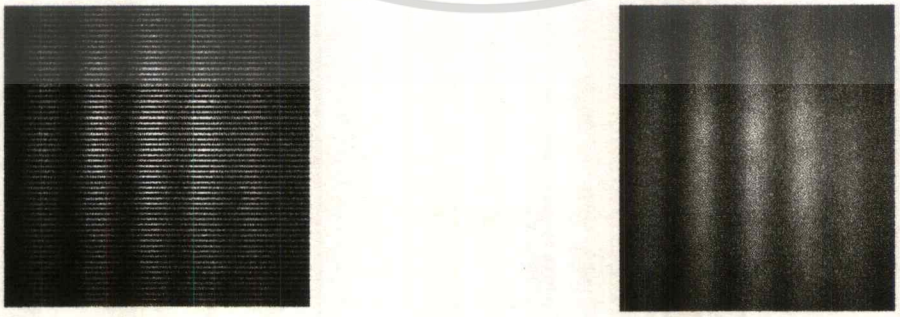
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.47 แสดงการเลือกบริเวณที่จะทำการฟิลเตอร์

ก. ข. ค.

รูปที่ 3.48 แสดงตัวอย่างการทำฟิลเตอร์ในโดเมนความถี่
ก. รูปเริ่มต้น ข. รูปสเปกตรัม ค.รูปหลังฟิลเตอร์แล้ว

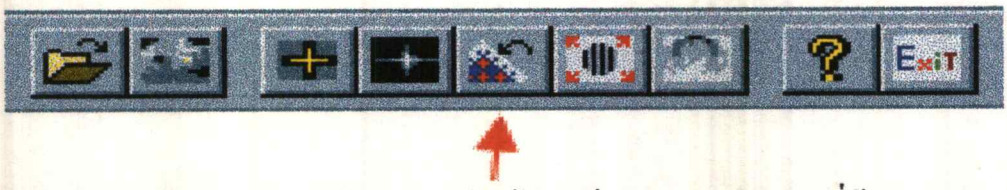


รูปที่ 3.49 แสดงตัวอย่างการทำฟิลเตอร์ในสเปเชียลโดเมน

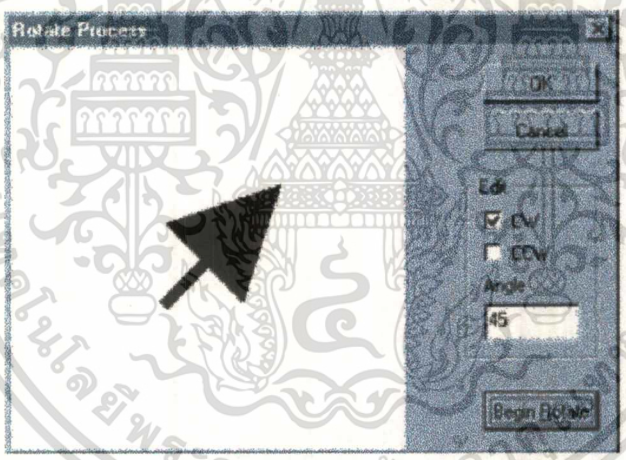
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.4 การหมุนภาพ

ทำได้โดยการเลือก Menu - Action -> Rotate หรือเลือกโดยการกดแถบเครื่องมือ



หลังจากทำการเลือกเรียบร้อยแล้วจะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับเลือกภาพที่ต้องการนำมาหมุนภาพ หลังจากที่เลือกแฟ้มข้อมูลภาพเรียบร้อยแล้ว จะปรากฏไดอะล็อกสำหรับหมุน ไดอะล็อกสำหรับหมุนนั้นจะประกอบด้วย ปุ่มสำหรับเลือกทิศทางการหมุน (Clockwise และ Counter Clockwise) และช่องสำหรับใส่ค่ามุมที่ต้องการหมุนไป หากไม่พอใจการหมุนนั้นก็สามารถกดปุ่มยกเลิก (Cancel) เพื่อกลับไปเป็นรูปเดิมอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้การหมุนอาจใช้การกดปุ่มซ้ายของเม้าท์ค้างไว้แล้วจึงเคลื่อนที่ หากเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจะหมุนแบบทวนเข็มนาฬิกา และหากเคลื่อนที่ไปทางขวาจะหมุนแบบตามเข็มนาฬิกา การบันทึกภาพนั้นทำได้โดยการกดปุ่มขวาของเม้าท์ จะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกให้เลือกชื่อไฟล์ที่จะบันทึกภาพนั้น



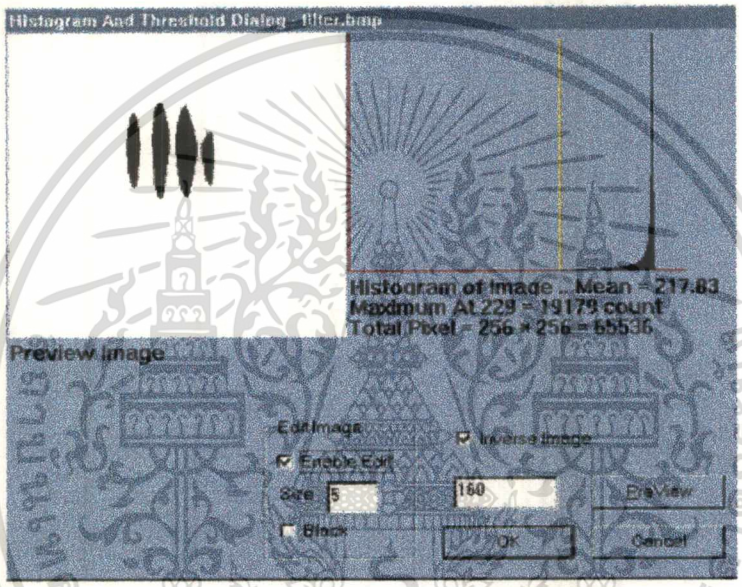
รูปที่ 3.50 แสดงไดอะล็อกสำหรับการหมุนภาพ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.5 การทำเส้นหนา ให้บาง (Thinning)

การทำเส้นหนาให้บางนั้นทำได้โดยการเลือก Menu - Action -> Thinning หรือเลือกโดยการกดแถบเครื่องมือ

หลังจากที่ทำการเลือกแล้ว จะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับเลือกแฟ้มข้อมูลภาพที่จะนำมาทำเส้นบาง เมื่อทำการเลือกแฟ้มข้อมูลที่ต้องการแล้วจะปรากฏไดอะล็อกสำหรับหาค่าแบ่ง (Threshold) เพื่อทำให้ภาพเป็นภาพขาวดำ 2 ระดับ

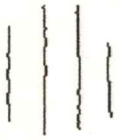


รูปที่ 3.51 แสดงไดอะล็อกสำหรับการหา Threshold

ผู้ใช้สามารถดูว่าค่า Threshold ที่กำหนดนั้นทำให้ได้ภาพเป็นเช่นไร โดยการกดปุ่ม Preview นอกจากนี้การกำหนดค่า Threshold นั้นสามารถใช้การกดปุ่มซ้ายของเม้าท์ค้างไว้แล้วเคลื่อนเม้าท์ หากเคลื่อนที่ไปทางขวาจะเพิ่มค่า Threshold และถ้าเคลื่อนที่ไปทางซ้ายจะลดค่า Threshold ลง

ในขั้นตอนการทำ Threshold นี้ผู้ใช้สามารถแก้ไขภาพเส้นฟริ้งก์ที่ผิดเพี้ยนไปได้โดยการเลือก Enable Edit และเลือกขนาดของจุดเปลี่ยนและเลือกสี (ดำหรือขาว) ถ้าต้องการยกเลิก ก็กด Cancel

เมื่อกด OK ภาพขาวดำก็จะถูกทำให้บาง 1 พิกเซล จากตัวอย่างในรูปที่ 3.51 จะทำให้ได้ภาพเส้นบางดังในรูปที่ 3.52

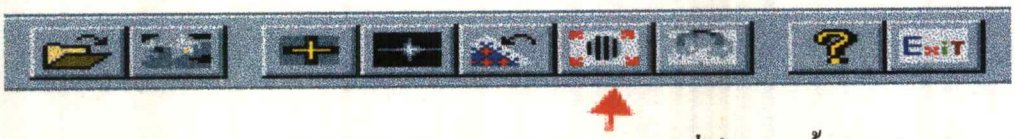


รูปที่ 3.52 แสดงภาพเส้นบางที่ได้จากภาพเริ่มต้นในรูปที่ 3.51

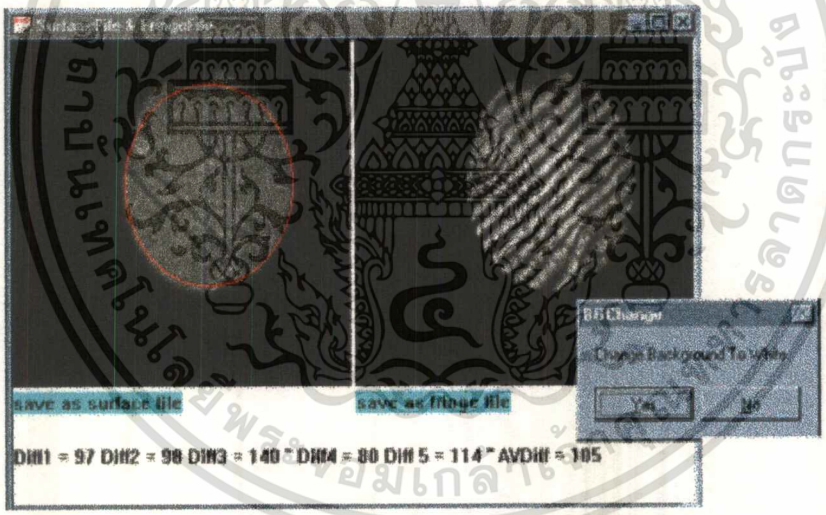
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.6.6 การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการ

การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการเป็นฟังก์ชันที่ยังทำไม่สำเร็จ 100 % เนื่องจากข้อจำกัดหลายๆประการ การลบภาพพื้นผิวที่ไม่ต้องการนี้สามารถกระทำได้โดยเลือก Menu - Action -> Clear Surface หรือโดยการเลือกกดปุ่มบนแถบเครื่องมือ



หลังจากเลือกแล้วจะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับกำหนดภาพที่เป็นภาพพื้นผิวอย่างเดียว และภาพที่เป็นภาพที่ประกอบไปด้วยฟริ้งก์ จากนั้นก็สามารถกำหนดขอบเขตที่จะเลือกไว้ (บริเวณนอกขอบเขตนั้นจะถูกลบทิ้งไป) โดยการกดปุ่มซ้ายของเม้าซ์ค้างไว้และเคลื่อนที่เม้าซ์ไปจะปรากฏขอบเขตรูปวงรี และเมื่อได้ขอบเขตที่ต้องการแล้วจึงกดเม้าซ์ปุ่มขวาเพื่อกำจัดขอบเขตที่ไม่ต้องการ สำหรับการบันทึกภาพนั้นสามารถทำได้โดยการกดปุ่มเม้าซ์บริเวณที่เขียนว่า " save as surface file " หรือ " save as fringe file " จะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับเลือกชื่อแฟ้มข้อมูลสำหรับบันทึกภาพนั้น ๆ



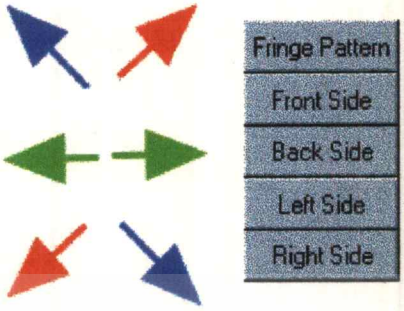
รูปที่ 3.53 แสดงการกำหนดขอบเขตรูปวงรีที่ต้องการ

3.6.7 การประมวลผลของฟริ้งก์ และวาดภาพพื้นผิว

การประมวลผลของฟริ้งก์และการวาดภาพพื้นผิวนั้นสามารถทำได้โดยการเลือก Menu - Process -> Fringe Analysis หรือเลือกกดปุ่มบนแถบเครื่องมือ

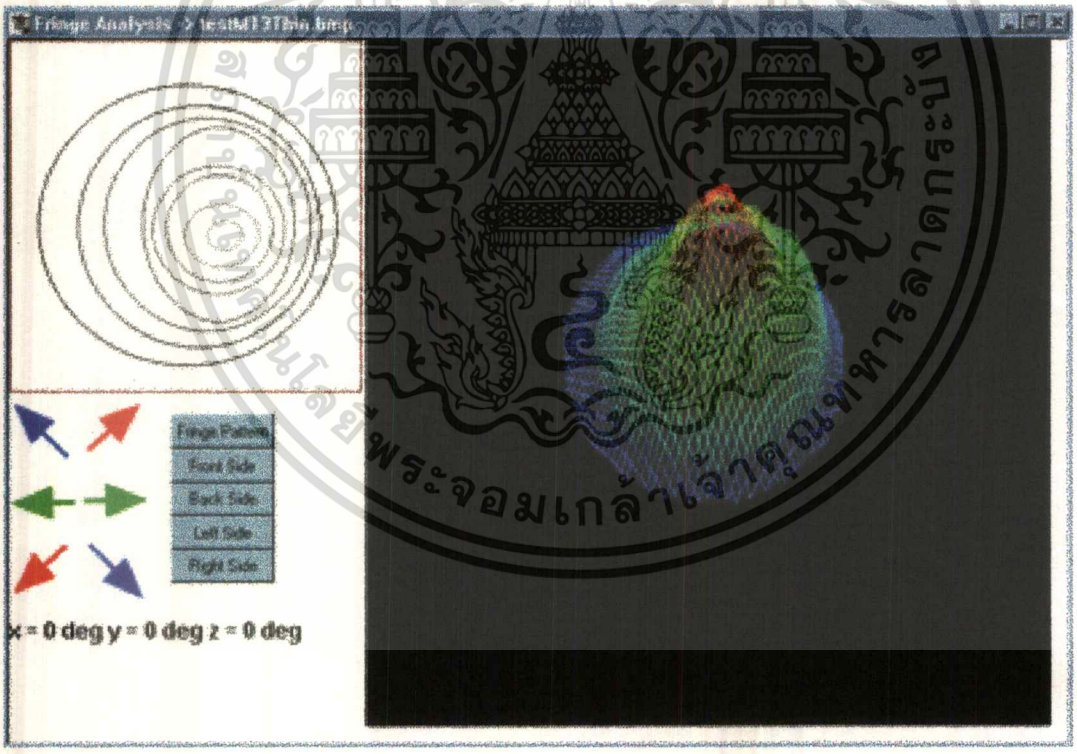
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เมื่อทำการเลือกแล้วจะปรากฏไฟล์ไดอะล็อกสำหรับกำหนดไฟล์ที่จะนำมาวิเคราะห์ เมื่อเลือกแฟ้มข้อมูลภาพที่ต้องการแล้วจะแสดงภาพพื้นผิวที่วิเคราะห์ได้ นอกจากจะแสดงภาพพื้นผิวแล้วยังมีส่วนสำหรับการหมุนภาพ และการมองมุมอื่น ๆ



รูปที่ 3.54 แสดงส่วนสำหรับการหมุนภาพ และการมองมุมอื่น ๆ

สำหรับรูปลูกศรนั้นจะใช้สำหรับควบคุมการหมุนภาพพื้นผิวไปทั้ง 3 แกนคือ สีแดงเป็นการหมุนตามแกน X สีน้ำเงินเป็นการหมุนตามแกน Y และสีเขียวเป็นการหมุนตามแกน Z สำหรับการมองมุมอื่นๆนั้น มองได้ทั้งหมด 4 ด้านคือ ด้านหน้า ด้านหลัง ด้านซ้าย และ ด้านขวา และยังสามารถแสดงรูปร่างลักษณะของฟริ้งก์ก็ได้

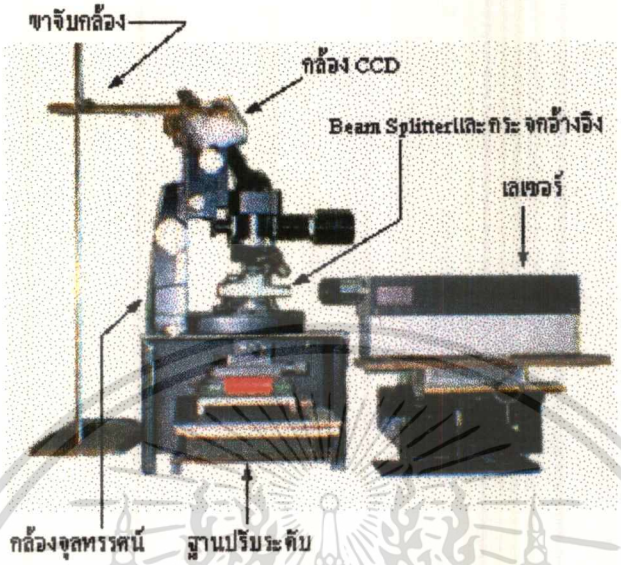


รูปที่ 3.55 แสดงภาพ 3 มิติที่ถูกสร้างจากการวิเคราะห์รูปลวดลายของเส้นฟริ้งก์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

การทดลอง และผลการทดลอง



รูปที่ 4.1 แสดงการจัดอุปกรณ์สำหรับการทำอินเตอร์ฟีเร้นท์

4.1 แหล่งกำเนิดแสงโมโนโครมาติก (Monochromatic light source)

แหล่งกำเนิดแสงโมโนโครมาติกที่ทดลองเลือกใช้ในโครงงานนี้ มีด้วยกัน 3 แหล่งคือ

4.1.1 Sodium light source จะมีความเข้มแสงและกำลังน้อยต่ำสุด สังเกตได้จาก การสะท้อนของแสงเมื่อตกกระทบวัตถุจะสะท้อนกลับมาได้น้อย ในการที่จะเก็บภาพริ้วการแทรกสอดนั้นจะต้องทำการปรับโฟกัสของกล้องอินเตอร์โฟโรมิเตอร์จึงจะสังเกตุเห็นริ้วการแทรกสอดเกิดขึ้นได้

4.1.2 Laser pointer จะให้ความเข้มแสงน้อยกว่า Helium neon laser ซึ่งสังเกตจากแสงที่สะท้อนจากวัตถุกลับมาน้อยกว่า ซึ่งอาจจะเป็นเพราะกำลังของ Laser pointer ต่ำกว่า Helium neon laser ก็เป็นได้ ส่วนการเก็บภาพริ้วการแทรกสอดที่เกิดขึ้นนั้นเราไม่จำเป็นที่จะต้องปรับโฟกัสของกล้องอินเตอร์โฟโรมิเตอร์

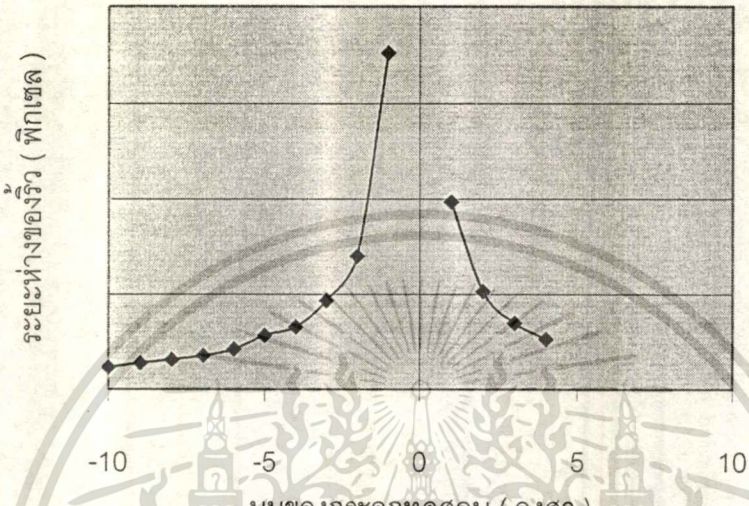
4.1.3 Helium neon laser จะมีความเข้มของแสงดีที่สุด และการเก็บภาพการเกิดริ้วการแทรกสอดก็ไม่ต้องทำการปรับโฟกัสของกล้องอินเตอร์โฟโรมิเตอร์ แต่แหล่งกำเนิดแสงชนิดนี้ที่เรามีอยู่ลำแสงที่ออกมาจะกระพริบและความเข้มแสงสูงซึ่งจะเป็นอันตรายเมื่อลำแสงเข้าตาอาจทำให้ตาบอดได้ และการมองภาพที่จะบันทึกนาน ๆ ก็ทำให้ปวดตาได้ เนื่องจากแสงที่ได้มีการกระพริบ ดังนั้นในการเก็บภาพเราจึงต้องทำการปรับ Preview rate ที่กล้อง CCD ให้มีค่าสูงๆ

4.2 การทดลองหาระยะห่างของฟริ้งก์ที่สัมพันธ์กับมุมสะท้อนของวัตถุ

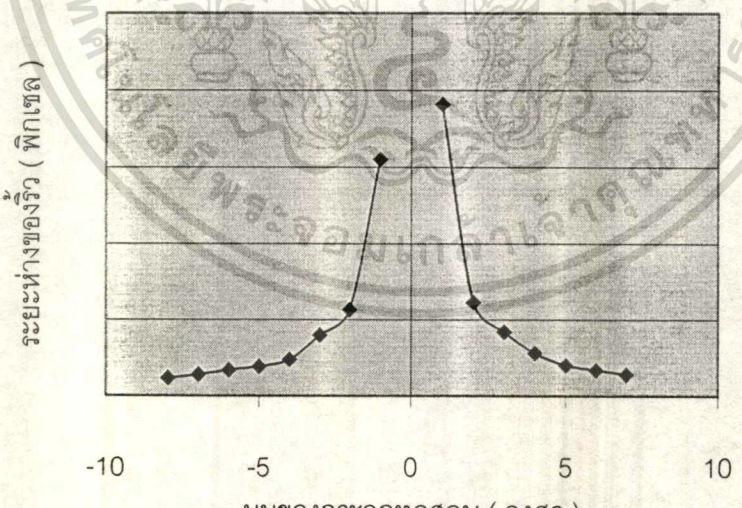
ในการทดลองนี้เราจะใช้วัตถุเป็นกระจกเรียบเคลือบทอง แล้วนำไปวางบนฐานรองซึ่งสามารถปรับมุมให้เอียงเป็นมุมต่าง ๆ ได้ ทั้ง 3 แกน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เริ่มแรกเราจะกำหนดให้จุดๆ หนึ่งเป็นจุดเริ่มต้น โดยเราจะทำการปรับมุมที่ฐานรองทีละแกนและเปลี่ยนมุมไปครั้งละ 1 องศา แล้วทำการเก็บภาพริ้วการแทรกสอดที่ได้ด้วยกล้อง CCD เราทำการปรับไปเรื่อยๆ จนกระทั้งไม่สามารถสังเกตเห็นริ้วการแทรก จากนั้นเราก็ปรับไปที่ตำแหน่งเริ่มต้นแล้วทำการปรับอีกแกนหนึ่ง ทำการบันทึกผลแล้วนำมาวาดกราฟ



รูปที่ 4.2 ก.



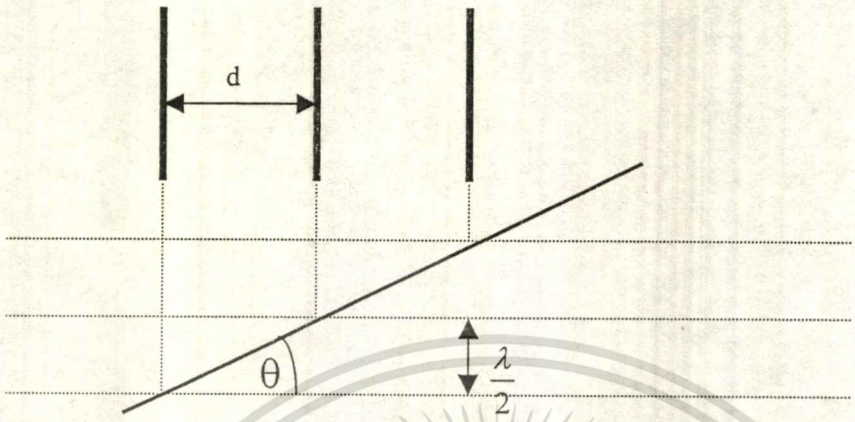
รูปที่ 4.2 ข.

รูปที่ 4.2 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมการสะท้อนของกระจกทดลอง

ก. เมื่อปรับตามแกน X ข. เมื่อปรับตามแกน Y

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากความรู้เกี่ยวกับการเกิดฟริ้งก์ในบทที่ 2 เมื่อวัตถุเอียงไปเป็นมุม θ ต่างๆ จะทำให้ได้ระยะห่างของฟริ้งก์ดังนี้



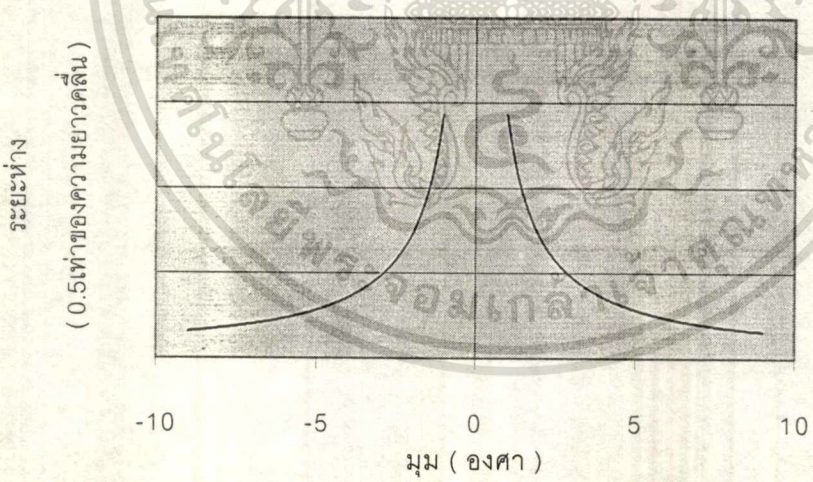
รูปที่ 4.3

จากรูปที่ 4.3 สามารถคำนวณระยะห่างของฟริ้งก์ได้โดย

$$d = \frac{1}{\tan\theta} * \frac{\lambda}{2}$$

สมการที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมการสะท้อน

จากสมการที่ 4.1 สามารถนำมาวาดกราฟได้ดังนี้



รูปที่ 4.4 แสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมการสะท้อนจากทฤษฎี

จากกราฟรูปที่ 4.4 และ รูปที่ 4.2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมการสะท้อนตามทฤษฎี และจากการทดลอง ตามลำดับสามารถสรุปได้ว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1. ความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างของฟริ้งก์กับมุมการสะท้อนจากการทดลองเป็นไปตามทฤษฎี คือมีความสัมพันธ์เป็นฟังก์ชัน $\frac{1}{\tan\theta}$
2. เมื่อปรับระนาบกระจกให้ตั้งฉากกับทิศทางเดินของแสงจะไม่เกิดฟริ้งก์
3. ระยะห่างของฟริ้งก์ที่เกิดจากมุม $+\theta$ และ $-\theta$ มีค่าเท่ากัน

4.3 การประมวลผลภาพฟริ้งก์ที่ได้จากการทดลอง

ขั้นตอนการประมวลผลภาพฟริ้งก์

1. เก็บภาพฟริ้งก์จากการทดลอง
2. นำภาพที่ได้มาทำการแปลงให้เป็นภาพขาวดำเกรย์สเกล (Grayscale)
3. ทำการปรับปรุงภาพให้เหมาะสมด้วยวิธีการต่าง ๆ เช่น ฟิลเตอร์
4. ทำการแปลงภาพให้เป็นภาพขาวและดำ 2 ระดับ และทำเส้นฟริ้งก์ให้บาง (Thinning)
5. ทำการสร้างภาพ 3 มิติ แสดงพื้นผิวที่สัมพันธ์กับรูปฟริ้งก์

ภาพฟริ้งก์ที่ได้จากการทดลองมีหลายๆ รูปแบบ สามารถแสดงตัวอย่างการประมวลผลได้ดังนี้

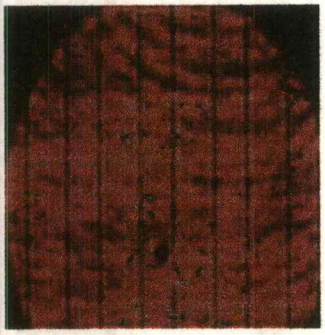
ก. รูปริ้วที่ได้จากการทดลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

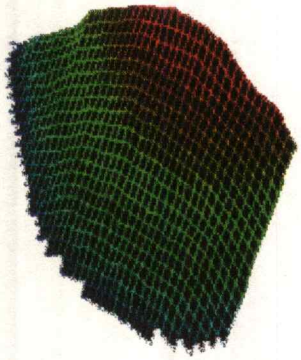
รูปที่ 4.5 (1) แสดงการประมวลผลภาพริ้วที่ได้จากการทดลอง

ก. รูปริ้วที่ได้จากการทดลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

รูปที่ 4.5 (2) แสดงการประมวลผลภาพริ้วที่ได้จากการทดลอง

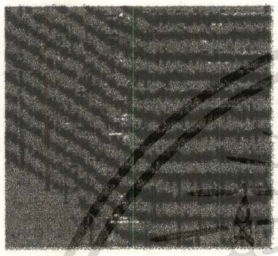
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้





ก. รูปริ้วที่ได้จากการทดลอง ข. รูป ก.ที่ถูกตบแต่ง ค. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

รูปที่ 4.5 (3) แสดงการประมวลผลภาพริ้วที่ได้จากการทดลอง



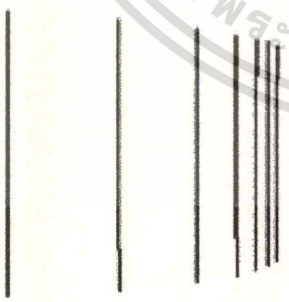
ก. ริ้วที่ได้จากการทดลอง ข.รูปพื้นผิวที่สร้าง

รูปที่ 4.5 (4) แสดงการประมวลผลภาพริ้วที่ได้จากการทดลอง

4.4 การทดลองประมวลผลภาพฟริ้งก์แบบต่างๆ ที่สร้างขึ้นมาเอง

เนื่องจากในการทดลองมีข้อจำกัดหลายประการ เช่น ขาดอุปกรณ์ทางแสงที่มีคุณภาพ เป็นต้น ทำให้ไม่สามารถได้ภาพของฟริ้งก์หลาย ๆ รูปแบบ ดังนั้นเพื่อเป็นการทดลองส่วนของซอร์ฟแวร์ (Software) ที่ได้จัดทำขึ้นเพื่อประมวลผลภาพฟริ้งก์ จึงสร้างภาพฟริ้งก์จำลองขึ้นมา โดยอ้างอิงจากภาพในหนังสือต่าง ๆ

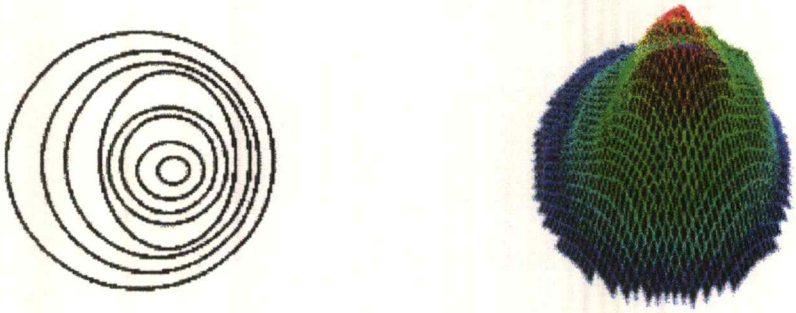
ตัวอย่างการประมวลผลภาพฟริ้งก์แบบต่าง ๆ



ก. รูปริ้วจำลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

รูปที่ 4.6 (1) แสดงการประมวลผลภาพริ้วจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



ก. รูปริ้วจำลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

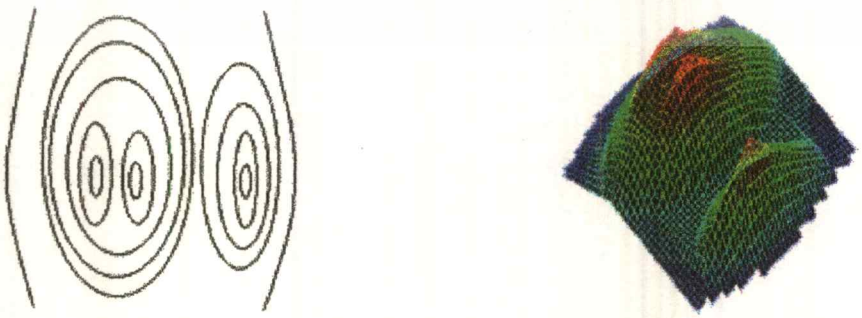
รูปที่ 4.6 (2) แสดงการประมวลผลภาพริ้วจำลอง

ก. รูปริ้วจำลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

รูปที่ 4.6 (3) แสดงการประมวลผลภาพริ้วจำลอง

ก. รูปริ้วจำลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

รูปที่ 4.6 (4) แสดงการประมวลผลภาพริ้วจำลอง



ก. รูปริ้วจำลอง ข. รูปพื้นผิวที่สร้างได้

รูปที่ 4.6 (5) แสดงการประมวลผลภาพริ้วจำลอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5
สรุป และ วิจารณ์

5.1 ปัญหาและสาเหตุของปัญหา ในการทำงาน

ในการทดลองการทำอินเตอร์ฟีเร้นซ์ของคลื่นแสง (Interference) สามารถมองเห็นริ้วการแทรกสอด (Fringe) ที่เกิดมาจากการแทรกสอดกันของแสงได้ แต่ในการทดลองยังได้ภาพของผลจากปรากฏการณ์นี้ออกมาไม่ดีเท่าที่ควร ทั้งนี้มีสาเหตุมาจากหลายประการ สรุปได้ดังนี้

5.1.1 หลอดกำเนิดแสงเลเซอร์ ที่ใช้ในการทดลองมีคุณภาพไม่ดี มีการกระพริบตลอดเวลา และลำแสงก็มีสภาพที่ไม่ดี

5.1.2 ภายในห้องที่ทำการทดลอง ไม่ได้เป็นห้องมืด ทำให้มีแสงจากแหล่งอื่นเข้ามารบกวน

5.1.3 มีการสั่นสะเทือนในห้องที่ทำการทดลองมากทำให้ภาพการแทรกสอดมักจะไม่หยุดนิ่ง

5.1.4 การปรับมุมของอุปกรณ์ทำได้อย่างไม่ดีนัก เพราะว่าใช้การกะระยะจากตาของผู้ทำการทดลอง และขาดอุปกรณ์ปรับแต่งที่แม่นยำ

5.1.5 อุปกรณ์ทางแสงต่าง ๆ เช่น เลนส์ รวมทั้งกล้องมีประสิทธิภาพไม่ดี ทำให้เกิดภาพของริ้วรอยต่างๆ ปะปนมากับภาพริ้วการแทรกสอดมากมาย

5.1.6 เนื่องจากวัตถุที่นำมาทดลองหาลวดลายการแทรกสอดนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสงต่ำกว่าของกระจกอ้างอิง (Reference mirror) มาก ทำให้การแทรกสอดแบบหักล้างกันนั้นไม่ได้ ริ้วการแทรกสอดที่มีความมืดมากเท่าที่ควร

5.2 แนวทางการแก้ปัญหา

5.2.1 จัดหาอุปกรณ์ที่ใช้ทางด้านแสงให้มีความเหมาะสมแก่การทำงาน รวมทั้งจัดหาแหล่งกำเนิดแสงเลเซอร์ที่มีคุณภาพแสงที่ดี

5.2.2 ปรับปรุงวิธีการ และศึกษาแนวทางการจัดอุปกรณ์ทางแสงแบบอื่นๆ

5.2.3 พยายามลดผลของความแตกต่างกันของสัมประสิทธิ์การสะท้อนแสง เช่น อาจหากระจกลดแสงมากั้นระหว่างบีมสปลิทเทอร์กับกระจกอ้างอิงเพื่อให้ลำแสงอ้างอิงและลำแสงวัตถุมีค่าแอมปลิจูดใกล้เคียงกัน

5.3 สรุป

การแทรกสอดของแสง (Interference) สามารถนำมาประยุกต์ใช้ประโยชน์ในการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของวัตถุได้ อย่างละเอียดเพราะว่าสามารถตรวจสอบได้ละเอียดถึงระดับ ครึ่งหนึ่งของความยาวคลื่นแสง ซึ่งโดยส่วนมากแสงที่ใช้จะมีความยาวคลื่นอยู่ในย่าน 600 นาโนเมตร

แต่จากการทดลองในโครงงานนี้พบว่า การทำอินเตอร์ฟีเร้นซ์นี้ ทำได้ยากมาก การที่จะสามารถนำไปใช้ประโยชน์ได้จริงนั้น จะต้องใช้อุปกรณ์ที่ละเอียด คุณภาพดี ซึ่งนั่นก็หมายถึงต้นทุนที่จะเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย โครงงานนี้จึงสามารถกระทำได้ในระดับหนึ่งเท่านั้น ในส่วนของโปรแกรมที่ได้นำเสนอแนวคิดและวิธีใน

ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การนำคอมพิวเตอร์ไปประมวลผลลวดลายของริ้วการแทรกสอด ผลที่ได้ส่วนมากมาจากการวิเคราะภาพจำลองของริ้วการแทรกสอดซึ่งมาจากต้นแบบในหนังสือเป็นส่วนมาก ทั้งนี้ก็มาจากข้อจำกัดที่ไม่สามารถหารูปแบบริ้วการแทรกสอดจริง ๆ เนื่องจากข้อจำกัดหลายประการดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น นอกจากนี้การปรับปรุงภาพให้เหมาะสมก่อนการประมวลผลก็ยังไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร เนื่องจากว่ายังต้องอาศัยผู้ทำการทดลองในการเลือกใช้วิธีต่าง ๆ และแต่งภาพด้วยตัวผู้ทำการทดลองเองอยู่มาก ซึ่งเป็นปัญหาที่ไม่สามารถทำให้ประมวลผลโดยอัตโนมัติได้ แต่ต่อไปถ้าหากสามารถปรับปรุงให้ส่วนทางด้านการจัดแสงมีประสิทธิภาพมากขึ้น ก็เป็นไปได้ว่าจะสามารถประมวลผลได้โดยอัตโนมัติ ต่อไป

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หนังสืออ้างอิง

1. NILS ABRAMSON. " The Making And Evaluation of Holograms " .
   Department of Production Engineering, Royal Institute of Technology
2. J. WILSON, J.F.B. HAWKES. " Lasers Principles and Application ". Prentice Hall
3. P.HARIHARAN. " Optical Holography ". Cambridge University
4. ผศ.ธีรพันธุ์ ม่วงไทย , " ฟิสิกส์ยุคใหม่ " , ภาควิชา ฟิสิกส์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยรามคำแหง
5. Kate Gregory. " Visual C++ ". QUE
6. " Visual C++ 5.0 in 21 Day ". Sam
7. Maher A.Sid-Ahmed. " Image Processing ". McGraw-Hill, Inc.
8. E.Oran Brigham. " The Fast Fourier Transform And Its Application ". Prentice-Hall

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Technical specification

Type	VCM7310	VCM7311
TV standard	PAL/NTSC	
Active pixels (HxV)	512x582(PAL)/512x492(NTSC)	
Lens mount	Integrated, 3.6mm F2,0	
Viewing angle	51 x 39°	
Hor. resolution (TVL)	330	
Min.illumination	< 10 lux	
S/N	49dB	
Iris control	electronic	
CVBS output (750hm) Y/C output	1Vpp	Y:1Vpp C:0.3Vpp
Audio output:	400 m V_{rms} in 10kΩ	
White balance	automatic, fixed mode	
Microphone	yes	
Power supply	DC 5V ±5%	
Power consumption	< 2.5W	
Operating temp.:	0 to 40°C ambient	
Dimensions (WxHxD)	77 x 62 x 84 mm	
Interface	One cable. Video and Audio cinch. DC Power Jack	One cable. Y/C S-VHS, Audio cinch. DC Power Jack
Switches	Power on/off, WB: auto/fixed, BLC, contrast, image neg./pos.	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

SECTION 1 *Key Features*

- Full screen(640x480) or any size window live video display
- Video input sources: 2 composite video (VIDEO-1 & VIDEO-2) and 1 S-video (S-VIDEO) input (or 4 composite video input)
- Video systems supported: NTSC, PAL and SECAM
- Full motion video and still image capture
- Brightness, Contrast, Saturation, sharpness, and Hue display controls
- Design is based on 32-bit PCI local bus (supports PCI bus-master, video data through PCI to VGA display memory)
- No VGA feature connector required for compatibility with virtually all VGA controller cards and systems with on-board video
- No video frame buffer required to get the best cost performance
- Plug and Play supported
- Software support for Windows 3.1 and Windows 95
    - VideoCap utility: video source select, video display adjust (brightness, contrast, saturation, sharpness, and hue), alignment, image file save/retrieval
    - Windows driver: AVI
    - Emulates scanners with TWAIN interface
    - Full motion video/audio capture/playback utility

SECTION 2 *System Requirements*

- 32-bit PCI Local Bus system (with PnP)
- CPU 486DX 33Mhz or higher, Pentium CPU recommended
- 8MB System RAM or more, 16MB memory and 1GB hard disk recommended for motion video capture
- Windows 3.1x or Windows 95
- VGA display in 32K, 64K or 16.7M color mode with hardware assisted video playback acceleration.
- DCI interface needs to be provided by VGA driver

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้